



Πανεπιστήμιο Πειραιώς
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΜΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ
ΜΟΝΑΔΩΝ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ
ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΜΑΡΓΑΡΙΤΑΣ ΧΡΥΣΑΝΘΟΠΟΥΛΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:

- 1. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΙΔΗΡΑΣ, Καθηγητής Πανεπιστήμιο Πειραιώς**
- 2. Δρ. ΦΙΛΙΠΠΟΣ-ΜΑΡΚΟΣ ΣΠΑΝΙΔΗΣ, Διευθυντής Έργων Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου – ASPROFOS Engineering S.A.**

Αθήνα, Ιανουάριος 2020



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΜΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ
ΜΟΝΑΔΩΝ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ
ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΜΑΡΓΑΡΙΤΑΣ ΧΡΥΣΑΝΘΟΠΟΥΛΟΥ

ΑΜ:1704

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

- 1. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΙΔΗΡΑΣ**, Καθηγητής, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Πειραιώς (επιβλέπων)
- 2. ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΣΙΟΝΤΟΡΟΥ**, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Πειραιώς
- 3. ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΙΑΝΝΑΤΣΗΣ**, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Αθήνα, Ιανουάριος 2020

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων	i
Λίστα Πινάκων	ii
Λίστα Σχημάτων	iii
Λίστα Χαρτών.....	iv
Πρόλογος	i
Περίληψη	i
Abstract.....	i
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο και Στόχος διπλωματικής.....	1
1.2 Οργάνωση κειμένου	2
Κεφάλαιο 2 Το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (ΥΦΑ)	4
2.1 Ιστορική αναδρομή	4
2.2 Σύσταση–Περιβαλλοντικές Ιδιότητες	6
2.3 Μονάδες ΥΦΑ Μικρής Κλίμακας	8
2.3.1 Εφαρμογές	8
2.3.2 Πλεονεκτήματα	10
2.3.3 Αλυσίδα Αξίας ΥΦΑ.....	11
Κεφάλαιο 3 Κίνδυνοι στη Χωροθέτηση Μονάδων ΥΦΑ.....	18
3.1 Επισκόπηση Κινδύνων στα Τεχνικά Έργα	18
3.1.1 Ο Κίνδυνος στα Τεχνικά Έργα	18
3.1.2 Κατηγορίες Κινδύνων στα Τεχνικά Έργα.....	19
3.1.3 Διαχείριση Κινδύνων.....	20
3.2 Κίνδυνοι στα Έργα ΥΦΑ	24
3.2.1 Πυρκαγιές	24
3.2.2 Κρυσταλλικά εγκαύματα	26
3.2.3 Ανατροπή (Rollover).....	26
3.2.4 Ταχεία μετάβαση φάσης (Rapid Phase Transition).....	27
3.3 Επιλογή Κινδύνων Χωροθέτησης Μονάδων ΥΦΑ	27
Κεφάλαιο 4 Μέθοδος Πολυκριτηριακής Ανάλυσης για την Εκτίμηση των Κινδύνων	30
4.1 Μέθοδοι Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων	30
4.1.1 Η Μέθοδος Weighted Sum Model (WSM)	32
4.1.2 Η Μέθοδος Elimination and Choice Translating Reality (ELECTRE)	33
4.1.3 Η Μέθοδος Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)	34

4.1.4	Άλλες Μέθοδοι	34
4.2	Η Διαδικασία της Αναλυτικής Ιεράρχησης	37
4.2.1	Βασικές Αρχές και Αξιώματα Μεθόδου	38
4.2.2	Βήματα και Μαθηματικό Υπόβαθρο Μεθόδου	40
Κεφάλαιο 5 Χωροθέτηση μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας με χρήση της Διαδικασίας		
Αναλυτικής Ιεράρχησης		44
5.1	Μεθοδολογικό Πλαίσιο	44
5.2	Η Χωροθέτηση των Εγκαταστάσεων ΥΦΑ και η Σημασία της	46
5.3	Μελέτη Περίπτωσης (Case Study)	48
5.3.1	Επιλογή Περιοχής.....	48
5.3.2	Υφιστάμενη Κατάσταση Περιοχής Μελέτης	48
5.4	Περιγραφή Έργου	50
5.5	Εξεταζόμενες Εναλλακτικές Θέσεις	51
5.5.1	Μεστά	51
5.5.2	Λευκωνιά.....	52
5.5.3	ΔΕΗ Χίος.....	53
5.5.4	Λημνιά.....	54
5.6	Επιλογή Θέσης με τη Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης	55
5.6.1	Μοντέλο ΑΗΡ	55
5.6.2	Σύγκριση Κινδύνων ως προς το Στόχο.....	58
5.6.3	Σύγκριση Υποκριτηρίων ως προς τους Κινδύνους	60
5.6.4	Σύγκριση Εναλλακτικών Θέσεων ως προς τα Υποκριτήρια.....	62
5.7	Τελική κατάταξη περιοχών προς αξιολόγηση	63
5.8	Ανάλυση Ευαισθησίας – Αποτελέσματα	70
Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα και Προτάσεις Περαιτέρω Έρευνας		74
Βιβλιογραφία.....		76
Διεθνής βιβλιογραφία		76
Ελληνική βιβλιογραφία		81
Νομοθεσία		81
Πηγές χαρτογραφικών δεδομένων		81
Παράρτημα Α: Νομοθεσία σχετική για εγκαταστάσεις ΥΦΑ μικρής κλίμακας.....		83
Παράρτημα Β: Ερωτηματολόγιο		86
Παράρτημα C: Μητρώα Συγκρίσεων		93

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 3.1 Κατηγορίες Κινδύνων στα τεχνικά έργα (Γεωργαντοπούλου, 2013).....	19
---	----

Πίνακας 4.1 Μέθοδοι Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων και βασικά χαρακτηριστικά τους (Velasquez & Hester, 2013; Whaiduzzaman et al., 2014; Basbas, & Makridakis, 2007)	35
Πίνακας 4.2 Κλίμακα του Saaty (Saaty and Kearns, 1985).....	40
Πίνακας 4.3 Τυχαίος δείκτης RI (Saaty & Kearns 1985)	43
Πίνακας 5.1 Μητρώο Σύγκρισης των Κινδύνων ως προς το Στόχο	58
Πίνακας 5.2 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης των Κινδύνων	59
Πίνακας 5.3 Μητρώο Σύγκρισης υποκριτηρίων των Περιβαλλοντικών Κινδύνων	60
Πίνακας 5.4 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης υποκριτηρίων των Περιβαλλοντικών Κινδύνων	61
Πίνακας 5.5 Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το υποκριτήριο «Οικιστικές Περιοχές» των Κινδύνων Ασφαλείας	62
Πίνακας 5.6 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το υποκριτήριο «Οικιστικές Περιοχές» των Κινδύνων Ασφαλείας	63
Πίνακας 5.7 Υπολογισμός τελικής κατάταξης των 4 εναλλακτικών θέσεων χωροθέτησης ...	64
Πίνακας 5.8 Ανάλυση Ευαισθησίας με μεταβολή των Κινδύνων Ασφαλείας	72
Πίνακας 5.9 Ανάλυση Ευαισθησίας με μεταβολή των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων	73

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 2.1 Εξέλιξη παγκόσμιας αγοράς ΥΦΑ (IGU, 2019b)	5
Σχήμα 2.2 Παγκόσμιο Διακίνηση Φυσικού Αερίου (IGU, 2019a)	5
Σχήμα 2.3 Ποσοστό εκπομπών κύριων ρύπων στην ατμόσφαιρα από την χρήση διάφορων πηγών ενέργειας (IEA 2017, IGU 2019a).....	7
Σχήμα 2.4 Αλυσίδα Αξίας Μεγάλης και Μικρής Κλίμακας ΥΦΑ (Sia Partners, 2018).....	12
Σχήμα 2.5 Τύποι δεξαμενών πλοίων ΥΦΑ (GIIGNL, 2019b):.....	16
Σχήμα 4.1 Ενδεικτική δόμηση ιεραρχίας 3 επιπέδων στην ΑHP (Ίδια Επεξεργασία)	39
Σχήμα 4.2 Το διάγραμμα ροής της ΑHP (Ho et al., 2006)	43
Σχήμα 5.1 Διάγραμμα ροής Μεθοδολογικού πλαισίου(Ίδια επεξεργασία)	45
Σχήμα 5.2 Μοντέλο ΑHP για την χωροθέτηση μονάδας μικρής κλίμακας ΥΦΑ.....	57
Σχήμα 5.3 Η βαρύτητα των κινδύνων	59
Σχήμα 5.4 Τελική Κατάταξη των Θέσεων (1.Μεστιά, 2. Λευκωνιά, 3. Χίος-ΔΕΗ, 4. Λημνιά)..	63
Σχήμα 5.5 Επιδόσεις εναλλακτικών θέσεων ως προς τους Περιβαλλοντικούς Κινδύνους	67
Σχήμα 5.6 Επιδόσεις εναλλακτικών θέσεων ως προς τους Κινδύνους Ασφαλείας.....	67
Σχήμα 5.7 Επιδόσεις εναλλακτικών θέσεων ως προς τους Γεωλογικούς/Γεωτεχνικούς Κινδύνους.....	68

Σχήμα 5.8	Επιδόσεις εναλλακτικών θέσεων ως προς τους Μετεωρολογικούς/Ωκεανογραφικούς Κινδύνους (1. Μεστά, 2. Λευκωνιά, 3. Χίος-ΔΕΗ, 4. Λημνιά)	68
Σχήμα 5.9	Επιδόσεις εναλλακτικών θέσεων ως προς τους Τεχνοοικονομικούς Κινδύνους ..	69
Σχήμα 5.10	Επιδόσεις εναλλακτικών θέσεων ως προς τους Κοινωνικούς Κινδύνους	69
Σχήμα 5.11	Επιδόσεις εναλλακτικών θέσεων ως προς τους Κινδύνους λόγω Απαιτήσεων της Νομοθεσίας (1. Μεστά, 2. Λευκωνιά, 3. Χίος-ΔΕΗ,4. Λημνιά)	70

Λίστα Χαρτών

Χάρτης 5.1	Ο χάρτης της Χίου με τις εναλλακτικές θέσεις	51
Χάρτης 5.2	Εξεταζόμενη Θέση «Μεστά»	52
Χάρτης 5.3	Εξεταζόμενη Θέση «Λευκωνιά»	53
Χάρτης 5.4	Εξεταζόμενη Θέση «ΔΕΗ Χίος»	54
Χάρτης 5.5	Εξεταζόμενη Θέση «Λημνιά».....	55

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών (ΜΠΣ) «Βιομηχανική Διοίκηση και Τεχνολογία» με κατεύθυνση στη «Διαχείριση Ενέργειας και Περιβάλλοντος» του Πανεπιστημίου Πειραιώς. Ο τίτλος της εργασίας είναι «ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ». Η εργασία εκπονήθηκε από την μεταπτυχιακή φοιτήτρια Μαργαρίτα Χρυσανθοπούλου, υπό την επίβλεψη του κ. Δημήτριου Σιδηρά Καθηγητή του Πανεπιστημίου Πειραιώς του Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας και του κ. Φίλιππου-Μάρκου Σπανίδη, Διευθυντή Έργων Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου στην εταιρεία ASPROFOS Engineering S.A.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση του αντικειμένου της χωροθέτησης μονάδων υδροποιημένου φυσικού αερίου μικρής κλίμακας, προτείνοντας μια μεθοδολογία που βασίζεται στην ανάλυση και την αξιολόγηση των κινδύνων που απαντώνται στα έργα αυτά. Ως εργαλείο για τον προσδιορισμό της πιθανότητας των κινδύνων, η οποία ως ποσοτικό μέγεθος αντιπροσωπεύει τα κριτήρια αξιολόγησης των εναλλακτικών θέσεων, καθώς και για τη σύγκριση των εναλλακτικών θέσεων ως προς τους κινδύνους αυτούς, χρησιμοποιείται η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process-AHP). Στόχος της διπλωματικής αποτελεί η απόδειξη της προτεινόμενης μεθοδολογίας ως ένα ευέλικτο και χαμηλού κόστους εργαλείο χρήσιμο για το ζήτημα της χωροθέτησης των μονάδων ΥΦΑ.

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, οφείλω αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα κ. Δημήτριο Σιδηρά Καθηγητή του Πανεπιστημίου Πειραιώς του Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, για την συνεργασία που είχαμε. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον συνεπιβλέποντα κ. Φίλιππο-Μάρκο Σπανίδη, Διευθυντή Έργων Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου στην εταιρεία ASPROFOS Engineering S.A., για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο, όσο και για την επίβλεψη, το ενδιαφέρον και την επιστημονική καθοδήγηση που μου παρείχε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους, την οικογένειά μου και τους φίλους μου, για την συμπαράσταση και στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Μαργαρίτα Χρυσανθοπούλου

Πειραιάς, Ιανουάριος 2020

Περίληψη

Η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας και η ανάγκη ενεργειακής μετάβασης σε καθαρότερες μορφές ενέργειας, έχουν συντελέσει τις τελευταίες δεκαετίες στην προώθηση του φυσικού αερίου(ΦΑ), το οποίο λόγω των χαμηλότερων εκπομπών του σε αέρια του θερμοκηπίου θεωρείται καθαρότερη πηγή ενέργειας σε σύγκριση με τα υπόλοιπα ορυκτά καύσιμα, όπως είναι το πετρέλαιο και ο άνθρακας. Το ΦΑ συνήθως εισάγεται με αγωγούς μεταξύ των περιοχών εξαγωγής και εισαγωγής του. Ωστόσο, συχνά τα αποθέματα ΦΑ βρίσκονται μακριά από τις περιοχές ζήτησης, με αποτέλεσμα η μεταφορά του με αγωγούς να καθίσταται τεχνολογικά και οικονομικά ανέφικτη λύση. Ως εκ τούτου, προτιμάται να μεταφέρεται σε υγρή μορφή, ως υγροποιημένο φυσικό αέριο (ΥΦΑ), παρουσιάζοντας αρκετά πλεονεκτήματα στην εφοδιαστική ευελιξία του καυσίμου. Μέχρι στιγμής, η πλειονότητα των έργων ΥΦΑ αφορούσε έργα μεγάλης κλίμακας. Εντούτοις, πρόσφατα εμφανίστηκαν ορισμένα έργα μικρής κλίμακας που αποτελούν περιφερειακούς εφοδιαστικούς κόμβους αποθήκευσης, τα οποία παρουσιάζουν αρκετές δυνατότητες ως προς την λειτουργικότητα και την επεκτασιμότητά τους. Οι μονάδες ΥΦΑ μικρής κλίμακας (Small Scale LNG plants), θεωρείται ότι μπορούν να συνεισφέρουν αποτελεσματικά στην βιώσιμη ενεργειακή ανάπτυξη περιοχών που βρίσκονται μακριά από τα εγκατεστημένα δίκτυα διανομής ΦΑ, όπως είναι η περίπτωση των ελληνικών νησιών, καθώς και άλλων απομακρυσμένων περιοχών στην ελληνική επικράτεια.

Στα πλαίσια αυτό, η παρούσα διπλωματική στοχεύει στην διερεύνηση του αντικειμένου της χωροθέτησης μιας μονάδας μικρής κλίμακας ΥΦΑ, με μελέτη περίπτωσης το νησί της Χίου. Η αναζήτηση της επικρατέστερης θέσης για την χωροθέτηση πραγματοποιείται προτείνοντας μια μεθοδολογία που βασίζεται στην ανάλυση και την αξιολόγηση του κινδύνου έργου, όπου η αξιολόγηση των πιθανών εναλλακτικών θέσεων προκύπτει μέσω της ανάλυσης των παραπάνω κινδύνων. Η εύρεση των κινδύνων που απαντώνται στα έργα ΥΦΑ μικρής κλίμακας προκύπτει πρώτον από την αναζήτηση των κινδύνων που λαμβάνονται υπόψη γενικότερα στα τεχνικά έργα, δεύτερον από τους κινδύνους ασφαλείας που ενέχει η μεταφορά και αποθήκευση του ΥΦΑ, καθώς και από τις απαιτήσεις τις ελληνικής νομοθεσίας που αφορούν τα εν λόγω έργα. Ως εργαλείο για τον προσδιορισμό της πιθανότητας των κινδύνων, η οποία ως ποσοτικό μέγεθος αντιπροσωπεύει τα κριτήρια αξιολόγησης των εναλλακτικών θέσεων, καθώς και για τη σύγκριση των εναλλακτικών θέσεων ως προς τους κινδύνους αυτούς, χρησιμοποιείται η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process-AHP), που είναι μέθοδος Πολυκριτηριακής Ανάλυσης με ευρεία χρήση στη λήψη επιχειρησιακών αποφάσεων. Οι

συγκρίσεις γίνονται μέσω ερωτηματολογίων με τη βοήθεια ομάδας εμπειρογνομόνων με μακροχρόνια συμμετοχή σε έργα της βιομηχανίας του ΥΦΑ. Τέλος, στόχος της διπλωματικής αποτελεί η απόδειξη της προτεινόμενης μεθοδολογίας ως ένα ευέλικτο και χαμηλού κόστους εργαλείο χρήσιμο για το ζήτημα της χωροθέτησης των μονάδων ΥΦΑ.

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από την εργασία αρχικά αφορούν τους κινδύνους που απαντώνται στη χωροθέτηση μονάδων ΥΦΑ μικρής κλίμακας. Επιπλέον, μέσω της μεθόδου ΑΗΡ, αναδεικνύονται οι πιο σημαντικοί κίνδυνοι, που είναι οι Κίνδυνοι Ασφαλείας και οι Τεχνοοικονομικοί Κίνδυνοι. Ακόμη προκύπτει η επικρατέστερη θέση για την χωροθέτηση της μονάδας, η οποία συγκεντρώνει την υψηλότερη επίδοση συγκριτικά με τις υπόλοιπες 3 εναλλακτικές. Τέλος, η αξιοπιστία της μεθόδου και η ορθότητα της απόφασης επιβεβαιώνονται από τον έλεγχο συνέπειας της ΑΗΡ, καθώς και μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας που πραγματοποιείται στους δύο πιο σημαντικούς κινδύνους. Συνεπώς, η μέθοδος ΑΗΡ διαπιστώνεται ότι αποτελεί ευέλικτο, γρήγορο και αποδοτικό τρόπο ανάλυσης των κινδύνων σε έργα χωροθέτησης μονάδων ΥΦΑ μικρής κλίμακας, τα οποία την καθιστούν χρήσιμο εργαλείο στον τομέα αυτό.

Λέξεις Κλειδιά: Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (ΥΦΑ), Χωροθέτηση, Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης

Title: DEVELOPMENT OF MULTICRITERIA RISK ANALYSIS SYSTEM FOR THE SITE SELECTION OF SMALL SCALE LNG PLANTS

Abstract

Increasing energy demand and the need to switch to cleaner forms of energy have contributed in recent decades to the promotion of natural gas, which due to lower greenhouse gas emissions is considered a cleaner source of energy than other fossil fuels such as oil and carbon. Natural gas is usually supplied through pipelines between its extraction and intake areas. However, natural gas reserves are often located far from demand areas, making pipeline transportation technologically and economically infeasible. Therefore, it is preferred to be transported in liquid form, as liquefied natural gas, presenting several advantages in fuel logistics flexibility. To date, most LNG projects have involved large-scale projects. However, some small scale projects, which are regional supply storage hubs, have recently emerged, which have potentials in terms of functionality and scalability. Small Scale LNG plants are considered to be able to contribute effectively to the sustainable energy development of areas remote from the established natural gas distribution networks, such as the case of the Greek islands, as well as other remote areas in the Greek territory.

In this context, the present thesis aims at investigating the subject of site selection of a small scale LNG plant, with a case study on the island of Chios. The search for the dominant location for siting the facility, is carried out by proposing a methodology based on project risk analysis and evaluation, where the assessment of potential alternatives results from the above risk analysis. Finding the risks encountered in small scale LNG projects results first of all from the search for risks generally considered in technical projects, secondly from the security risks involved in LNG transportation and storage, as well as from the requirements of Greek legislation concerning these projects. The Analytical Hierarchy Process (AHP), which is a widespread multi-criteria decision analysis method, is used as a tool for determining the probability of risks, which as a quantitative measure represents the criteria for evaluating alternative locations, and for comparing the alternatives with respect to these risks. The comparisons are made by a group of experts in the LNG industry in the form of questionnaires. Finally, the aim of the thesis is to prove the proposed methodology as a flexible and low-cost tool useful in the issue of LNG location.

The conclusions drawn from the thesis initially concern the risks inherent in the siting of small scale LNG terminal. In addition, the AHP method highlights the most important risks,

which are Security Risks and Techno-Economic Risks. Also, the appropriate location is found, which is ranked higher than the other 3 alternatives. Finally, the reliability of the method and the robustness of the decision are confirmed by the AHP's consistency control as well as by the sensitivity analysis performed on the two most important risks. Therefore, the AHP method is proved to be a flexible, fast and efficient way of analyzing risks in small scale LNG plant siting projects, which make it a useful tool in this field.

Key Words:

Liquefied Natural Gas (LNG), Analytic Hierarchy Process (AHP), Site Selection

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και Στόχος διπλωματικής

Ο ενεργειακός τομέας τις τελευταίες δεκαετίες υφίσταται σημαντικές αλλαγές σε παγκόσμια κλίμακα. Η ζήτηση ενέργειας αυξάνεται και οι διαθέσιμοι πόροι καθίστανται ανεπαρκείς. Παράλληλα, η κλιματική αλλαγή έχει οδηγήσει στη θέσπιση περιβαλλοντικών ρυθμίσεων με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ως αποτέλεσμα, το πετρέλαιο δεν είναι πλέον ο άμεσα προτιμώμενος ενεργειακός πόρος ενώ άλλοι ενεργειακοί πόροι, όπως το φυσικό αέριο (ΦΑ), τα βιοκαύσιμα και οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν καταστεί περισσότερο ελκυστικοί σε παγκόσμια κλίμακα. Το ΦΑ λόγω των χαμηλότερων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προωθείται με αυξανόμενο ρυθμό στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά υποκαθιστώντας σταδιακά το πετρέλαιο και αναμένεται να αποτελέσει σημαντικό μέρος της μετάβασης από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα, και περαιτέρω, στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Strantzali et al., 2018).

Η αυξημένη ζήτηση του ΦΑ έχει καταστήσει ιδιαίτερα σημαντική τη μεταφορά του από τα διαφορετικά μέρη του κόσμου όπου γίνεται η εξόρυξή του αλλά και τη διάθεσή του στις περιοχές παραλαβής, αποθήκευσης και κατανάλωσής του. Παραδοσιακά, το ΦΑ μεταφέρεται από τις περιοχές παραγωγής του στις περιοχές κατανάλωσης μέσω αγωγών. Ωστόσο, η υγροποίηση του ΦΑ παρέχει ασφαλέστερη και οικονομική εναλλακτική λύση για τη μεταφορά καθώς επίσης αυξάνει τις δυνατότητες αποθήκευσής του. Η μεταφορά του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (ΥΦΑ) παρουσιάζει πλεονεκτήματα εφοδιαστικής ευελιξίας λόγω του ότι το καύσιμο μπορεί να μεταφερθεί μέσα σε ειδικές δεξαμενές με χερσαία μέσα (βυτία) και κυρίως όμως μέσω θαλασσίων οδών. Δεδομένου ότι τα αποθέματα ΦΑ βρίσκονται κυρίως σε απομακρυσμένες περιοχές, μακριά από ανεπτυγμένες χώρες, καθίσταται σαφές ότι το ΥΦΑ παίζει ήδη, και θα συνεχίσει να διαδραματίζει, σημαντικό ρόλο στην προμήθεια ΦΑ από τις περιοχές παραγωγής στις αγορές ζήτησης (Kumar et al., 2011).

Από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα μέχρι τις ημέρες μας η βιομηχανία ΥΦΑ έχει γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη υποστηριζόμενη από έργα μεγάλης κλίμακας που εξυπηρετούν την αποθήκευση και μεταφορά του καυσίμου. Τα τελευταία χρόνια η ενεργειακή αγορά έχει επιδείξει μεγάλο ενδιαφέρον για την χρηματοδότηση, κατασκευή και λειτουργία εγκαταστάσεων μονάδων ΥΦΑ μικρής κλίμακας (Small Scale LNG plants), οι οποίες χαρακτηρίζονται ευέλικτες λύσεις (agile solutions) και αποτελούν

περιφερειακούς εφοδιαστικούς κόμβους μικρού κόστους που έχουν αρκετές δυνατότητες λειτουργικότητας και επεκτασιμότητας. Με τις μονάδες αυτές το ΥΦΑ μπορεί να συνεισφέρει αποτελεσματικά στην βιώσιμη ενεργειακή ανάπτυξη περιοχών που βρίσκονται μακριά από τα εγκατεστημένα δίκτυα διανομής ΦΑ. Χαρακτηριστική είναι η προοπτική ανάπτυξης μονάδων ΥΦΑ μικρής κλίμακας στα ελληνικά νησιά, που μπορεί να επιτρέψει τροφοδοσία με ΦΑ μονάδων ηλεκτροπαραγωγής καθώς και εμπορικούς, βιομηχανικούς και οικιακούς καταναλωτές στις περιοχές αυτές. Επιπλέον, ιδιαίτερα σημαντικές είναι και οι προοπτικές που προσφέρουν οι εφαρμογές ΥΦΑ μικρής κλίμακας για τη χρήση του ΦΑ ως καυσίμου στις οδικές και θαλάσσιες μεταφορές.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας διερευνάται το αντικείμενο της χωροθέτησης μιας μονάδας μικρής κλίμακας ΥΦΑ. Σκοπός της διπλωματικής είναι η εύρεση της επικρατέστερης θέσης για την χωροθέτηση μιας τέτοιας μονάδας σε μια μελέτη περίπτωσης για τη νήσο Χίο προτείνοντας μια μεθοδολογία βασισμένη στην ανάλυση και αξιολόγηση κίνδυνου έργου, όπου η αξιολόγηση των πιθανών εναλλακτικών θέσεων προκύπτει μέσω της ανάλυσης των βασικών κινδύνων που υπάρχουν για την χωροθέτηση μιας μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας. Ο προσδιορισμός της πιθανότητας των κινδύνων, η οποία ως ποσοτικό μέγεθος αντιπροσωπεύει τα κριτήρια αξιολόγησης των εναλλακτικών θέσεων, καθώς και η σύγκριση των εναλλακτικών θέσεων ως προς τους κινδύνους αυτούς, πραγματοποιείται με τη Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process-AHP). Ακόμη, στόχος της διπλωματικής αποτελεί να αποδειχθεί η προτεινόμενη μεθοδολογία ως ένα ευέλικτο και χαμηλού κόστους εργαλείο χρήσιμο για το ζήτημα της χωροθέτησης μονάδων ΥΦΑ, καθώς η επιλογή της καταλληλότερης θέσης είναι μια εξαιρετικά κρίσιμη διαδικασία αφού αποτελεί τη βάση για τη μελέτη και την κατασκευή οποιουδήποτε τεχνικού/ βιομηχανικού/ ενεργειακού έργου.

1.2 Οργάνωση κειμένου

Η οργάνωση του κειμένου της διπλωματικής εργασίας έχει ως εξής:

- *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:* Παρουσιάζεται το αντικείμενο και οι στόχοι της διπλωματικής εργασίας.
- *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:* Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθεται το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο αναφορικά με το ΥΦΑ και τις μονάδες μικρής κλίμακας, προκειμένου ο αναγνώστης να κατανοήσει το περιεχόμενο και την εστίαση της εργασίας. Αρχικά παρουσιάζεται η βιομηχανική ιστορία του ΥΦΑ και η πορεία του μέχρι σήμερα, καθώς και η επικρατούσα κατάσταση του καυσίμου στην Ελλάδα. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στη σύσταση του ΥΦΑ στις περιβαλλοντικές του ιδιότητες, ενώ εξηγείται ο λόγος για τον οποίο προωθείται η χρήση του. Έπειτα, παρουσιάζονται οι μονάδες μικρής κλίμακας ΥΦΑ, οι κύριες εφαρμογές τους, τα πλεονεκτήματά τους τα οποία οδηγούν στην ανάπτυξή τους και η αξιακή τους αλυσίδα (value

chain) από την παραγωγή μέχρι τον τερματικό σταθμό αποθήκευσης και διανομής στους τελικούς καταναλωτές.

- *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:* Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η επιλογή των κινδύνων που θα χρησιμοποιηθούν ως κριτήρια για τη χωροθέτηση της μονάδας ΥΦΑ. Αρχικά γίνεται μια γενική επισκόπηση του ζητήματος των κινδύνων στα τεχνικά έργα και αναφέρονται τα βασικά βήματα για τη διαχείριση κινδύνων στο πλαίσιο των έργων αυτών. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι κίνδυνοι που υπεισέρχονται στα έργα ΥΦΑ μικρής κλίμακας και τέλος γίνεται η επιλογή των κινδύνων που ενδιαφέρουν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.
- *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:* Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται μια σφαιρική αναφορά σε ορισμένες από τις μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης που χρησιμοποιούνται. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η μέθοδος που χρησιμοποιείται στα πλαίσια της διπλωματικής, η οποία είναι η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης, ενώ τεκμηριώνονται οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε, τα βασικά βήματά της καθώς και το μαθηματικό της υπόβαθρο.
- *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:* Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται αρχικά το μεθοδολογικό πλαίσιο που ακολουθήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Έπειτα γίνεται αναφορά στην σημασία της χωροθέτησης των μονάδων ΥΦΑ. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε το νησί της Χίου για την εγκατάσταση της μονάδας ΥΦΑ και παρουσιάζεται η υφιστάμενη φυσικο-γεωγραφική εικόνα της ευρύτερης περιοχής. Ακόμα, περιγράφεται το έργο καθώς και οι εξεταζόμενες εναλλακτικές θέσεις. Ακολουθεί η εφαρμογή της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεραρχικής για την ποσοτικοποίηση των κινδύνων-κριτηρίων όπου και πραγματοποιείται η σύγκριση των κινδύνων και η σύγκριση των θέσεων ως προς τους κινδύνους αυτούς. Με αυτή την διαδικασία προκύπτει η τελική κατάταξη των θέσεων ως προς την καταλληλότητά τους για τη χωροθέτηση της υπό εξέταση μονάδας. Τέλος, πραγματοποιείται μια ανάλυση ευαισθησίας, έτσι ώστε να εξεταστούν οι επιπτώσεις στην τελική σειρά ιεράρχησης των εναλλακτικών θέσεων από ενδεχόμενες μεταβολές των κριτηρίων.
- *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:* Συνοψίζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής, τα οποία προέκυψαν από την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης για τη χωροθέτηση της μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας και διατυπώνονται προτάσεις περαιτέρω έρευνας.

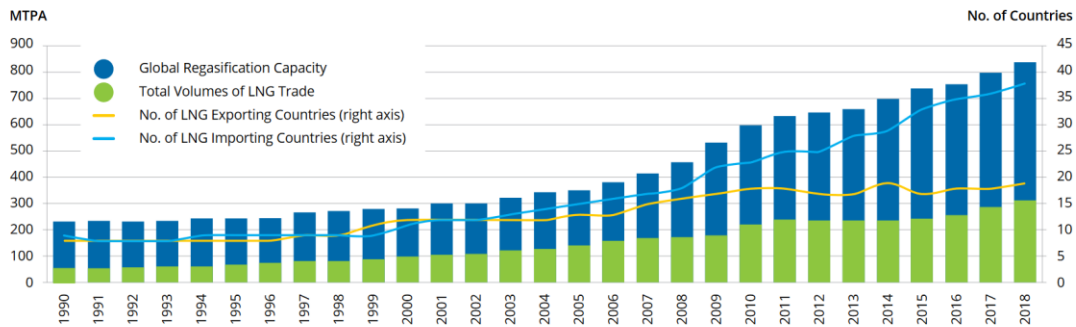
Κεφάλαιο 2

Το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (ΥΦΑ)

2.1 Ιστορική αναδρομή

Η υγροποίηση του ΦΑ χρονολογείται στις αρχές του 19ου αιώνα, όταν ο Βρετανός επιστήμονας Michael Faraday ανακάλυψε το ΥΦΑ πειραματιζόμενος με την υγροποίηση των αερίων. Τα επόμενα βήματα έγιναν από τον Γερμανό μηχανικό Karl Von Linde, όταν το 1873 κατασκεύασε τον πρώτο συμπιεστή ψυκτικού μέσου (IGU, 2015a). Στη συνέχεια, η πρώτη μονάδα ΥΦΑ κατασκευάστηκε το 1912 στη Δυτική Βιρτζίνια των ΗΠΑ η οποία τέθηκε σε λειτουργία από το 1917. Η πρώτη μεταφορά ΥΦΑ με δεξαμενόπλοιο πραγματοποιήθηκε το 1959 όπου φορτίο ΥΦΑ μεταφέρθηκε από την πόλη Lake Charles της Λουιζιάνα των ΗΠΑ έως το Canvey Island του Ηνωμένου Βασιλείου. Το γεγονός αυτό αποτελεί ορόσημο στην ιστορία τόσο του ΥΦΑ, αλλά και γενικότερα του ΦΑ, καθώς η βιομηχανία αποδεσμεύεται από τους περιορισμούς της χερσαίας μεταφοράς του ΦΑ μέσω αγωγών οπότε το καύσιμο μπορεί και διακινείται πλέον σε μεγαλύτερες αποστάσεις και με αρκετή ασφάλεια μέσω των θαλάσσιων οδών (Harris et al., 2014).

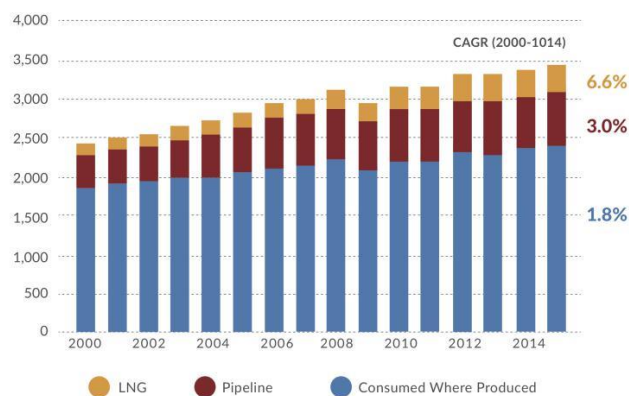
Σήμερα, οι ακολουθούμενες ενεργειακές πολιτικές με στόχο την μείωση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων (άνθρακα και πετρελαίου) στο ενεργειακό μείγμα συνέβαλαν στην ταχεία ανάπτυξη του ΦΑ, το οποίο το 2018, αύξησε την κατανάλωσή του κατά 4,6%, σχεδόν κατά το ήμισυ της αύξησης της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας (IEA, 2019). Ως εκ τούτου το ΥΦΑ αναπτύσσεται και αυτό με αυξημένους ρυθμούς, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1. Μάλιστα σύμφωνα με την μελέτη της BP(2019) η επέκταση του παγκόσμιου εμπορίου ΦΑ οφείλεται κυρίως στο ΥΦΑ, όπου επί του παρόντος, αντιπροσωπεύει το 32% στο συνολικό εμπόριο του ΦΑ (Σχήμα 2.2) που αντιπροσωπεύει περίπου το 10% του συνόλου του ΦΑ που καταναλώνεται ετησίως (IGU, 2019a). Το ΥΦΑ αναπτύσσεται σε διάφορους τομείς όπως είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού οι μεταφορές, με ιδιαίτερη έμφαση στη ναυτιλία, καθώς επίσης και τοπικές βιομηχανικές χρήσεις μέσω επαναεριοποίησης.



Σχήμα 2.1 Εξέλιξη παγκόσμιας αγοράς ΥΦΑ (IGU, 2019b)

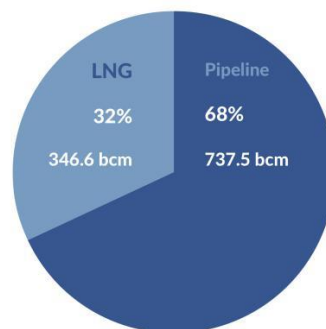
Global Movement of Natural Gas by Mode

Global Gas Trade, 2000-2015



Source: IGU, LNG Report 2017

2016 Global Trade by Transit Mode



Source: BP Energy Outlook, 2017



Σχήμα 2.2 Παγκόσμιο Διακίνηση Φυσικού Αερίου (IGU, 2019a)

Παράλληλα με την εξέλιξη της ενεργειακής αγοράς και την επέκταση της αλυσίδας εφοδιασμού του ΥΦΑ σε παγκόσμια κλίμακα, τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε μια νέα αγορά εφαρμογών ΥΦΑ μικρής κλίμακας (Small Scale LNG; βλ. και Strantzali et al., 2018). Οι υποδομές για τα έργα ΥΦΑ μικρής κλίμακας είναι κρίσιμες για τη διείσδυση σε αγορές με μικρότερη ζήτηση και έλλειψη πρόσβασης σε αγωγούς, καθώς η ανάπτυξη τους επιτρέπει ευέλικτες προμήθειες του ΥΦΑ ως προς τον όγκο, τον προορισμό και το κόστος.

Όσον αφορά την Ελλάδα, από το 1999 λειτουργεί ο τερματικός σταθμός ΥΦΑ του ΔΕΣΦΑ στη Ρεβυθούσα, ο οποίος βρίσκεται στον κόλπο των Μεγάρων 45 km δυτικά της Αθήνας. Η χωρητικότητά του ανέρχεται στα $7 \times 10^9 \text{ m}^3$, από τα οποία τα $2 \times 10^9 \text{ m}^3$ είναι αρκετά για να καλύψουν την ελληνική αγορά, ενώ τα υπόλοιπα $5 \times 10^9 \text{ m}^3$ προορίζονται για εξαγωγή

στις όμορες χώρες. Επίσης, στη Ρεβυθούσα προγραμματίζεται από τον ΔΕΣΦΑ η κατασκευή υποδομής ΥΦΑ μικρής κλίμακας για τη τροφοδοσία πλοίων διανομής μικρής και μεσαίας χωρητικότητας (Poseidon Med II, 2019) τα οποία θα τροφοδοτούν είτε χερσαίους προορισμούς, είτε πλοία (ship to ship fueling). Ακόμη, αναμένεται η εμπορική λειτουργία του Πλωτού Τερματικού Σταθμού Αεριοποίησης ΥΦΑ ανοικτά της Αλεξανδρούπολης το 2022 από άλλους ενεργειακούς οργανισμούς. Το έργο αυτό θα αποτελείται από μία υπεράκτια πλωτή μονάδα παραλαβής, αποθήκευσης και αεριοποίησης ΥΦΑ, με αποθηκευτική ικανότητα 170.000 m³ ΥΦΑ. Έτσι, μέσω ενός υποθαλάσσιου και χερσαίου αγωγού, το καύσιμο θα προωθείται στο εθνικό σύστημα μεταφοράς ΦΑ και από εκεί προς τους τελικούς καταναλωτές, αποτελώντας ένα ακόμη σημείο εισαγωγής ΦΑ στη χώρα μας και στη Νοτιοανατολική Ευρώπη (IENE, 2019).

Σε εξέλιξη βρίσκεται επίσης, το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα POSEIDON MED II, το οποίο στοχεύει στην υιοθέτηση του ΥΦΑ ως ναυτιλιακό καύσιμο στην Ανατολική Μεσόγειο, ενώ παράλληλα καθιστά την Ελλάδα διεθνή κόμβο για τον ανεφοδιασμό των πλοίων με ΥΦΑ και τη διανομή του στην ευρύτερη περιοχή της Νοτιοανατολικής Μεσογείου. Αποτελεί συνέχεια των προγραμμάτων “POSEIDON MED (COSTA II East)” και “Archipelago-LNG”, συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και συμμετέχουν εταίροι από τρεις χώρες, Ελλάδα, Ιταλία και Κύπρο. Περιλαμβάνει έξι ευρωπαϊκά λιμάνια (Πειραιάς, Πάτρα, Ηράκλειο, Ηγουμενίτσα, Λεμεσός και Βενετία), στα οποία θα κατασκευαστούν έργα αποθήκευσης και μεταφόρτωσης του ΥΦΑ.

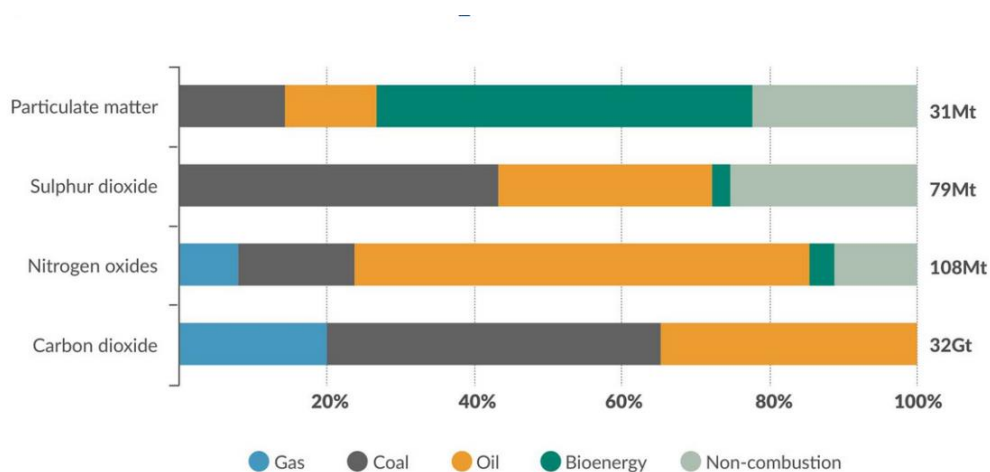
2.2 Σύσταση–Περιβαλλοντικές Ιδιότητες

Το ΥΦΑ είναι ΦΑ το οποίο ψύχεται και συμπυκνώνεται σε υγρή μορφή υπό συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης και σε θερμοκρασία -162°C. Οι ιδιότητες του ΥΦΑ ποικίλλουν ανάλογα με τη σύστασή του, η οποία εξαρτάται από τη σύσταση των κοιτασμάτων ΦΑ καθώς και από την επεξεργασία του. Το ΥΦΑ αποτελείται κυρίως από μεθάνιο σε αναλογία περίπου 87 % έως 99 %, ενώ η σύστασή του περιλαμβάνει και άλλους υδρογονάνθρακες, όπως αιθάνιο, προπάνιο και άλλους βαρύτερους υδρογονάνθρακες, καθώς επίσης άζωτο, αλλά και μικρότερες ποσότητες θείου και διοξειδίου του άνθρακα. Ο όγκος του είναι περίπου το 1/600 του όγκου του ΦΑ. Η πιο συμπυκνωμένη μορφή του επιτρέπει την πιο εύκολη και οικονομική μεταφορά του ΦΑ σε μακρινές αποστάσεις συγκριτικά της μεταφοράς του με αγωγούς.

Το ΥΦΑ είναι ένα άοσμο, άχρωμο και μη διαβρωτικό κρυογενικό υγρό μεταφερόμενο σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση. Επιπλέον, είναι μη τοξικό, ωστόσο, όπως και με άλλα αέρια, η απελευθέρωση μεθανίου από το ΥΦΑ μπορεί να προκαλέσει ασφυξία λόγω

έλλειψης οξυγόνου σε μη αεριζόμενη, περιορισμένη περιοχή ενώ μπορεί να αναφλεγεί εάν αναμειχθεί με κατάλληλες κατ' όγκο συγκεντρώσεις αέρα (Mokhatab et al., 2013).

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.3 το ΦΑ είναι το καθαρότερο από τα υπόλοιπα συμβατικά ορυκτά καύσιμα και η αυξημένη χρήση του μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και στη δημόσια υγεία λόγω του ότι κατά την καύση του παράγονται μειωμένες εκπομπές επιβλαβών αερίων αλλά διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) το οποίο είναι το αέριο στο οποίο οφείλεται κατά κύριο λόγο η δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα, όταν το ΥΦΑ εξατμίζεται και χρησιμοποιείται ως καύσιμο, παράγει πολύ χαμηλές εκπομπές σωματιδίων και σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από αυτές των άλλων υδρογονανθράκων. Τα προϊόντα καύσης από το ΥΦΑ περιέχουν σχεδόν μηδενικές ποσότητες οξειδίων του θείου και χαμηλά επίπεδα οξειδίων του αζώτου.



Σχήμα 2.3 Ποσοστό εκπομπών κύριων ρύπων στην ατμόσφαιρα από την χρήση διάφορων πηγών ενέργειας (IEA 2017, IGU 2019a)

Εκτός από τα άμεσα περιβαλλοντικά οφέλη, το ΦΑ και το ΥΦΑ μπορούν να συμβάλουν στην προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Η δυνατότητα καύσης ΦΑ για παραγωγή ενέργειας είναι ένα ιδανικό συμπλήρωμα σε υβριδικές λύσεις που περιλαμβάνουν χρήση ΑΠΕ, όπως η είναι η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, που μπορεί όμως να είναι διαλείπουσες ή/και ασυνεπείς. Οι μονάδες παραγωγής (ΦΑ) μπορούν να ενεργοποιηθούν και να απενεργοποιηθούν γρήγορα με χαμηλό κόστος και υψηλή απόδοση, για να συμβάλουν στη επαρκή παροχή και σταθερότητα του ενεργειακού δικτύου όταν η ηλιακή ή αιολική ενέργεια κυμαίνεται (IGU, 2016).

Ωστόσο, ενώ οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την καύση του ΦΑ είναι πράγματι χαμηλότερες από εκείνες των άλλων ορυκτών καυσίμων, οι διαφεύγουσες

εκπομπές (fugitive emissions) μεθανίου, το οποίο είναι το κύριο συστατικό του ΦΑ και θεωρείται το δεύτερο σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου μετά το διοξείδιο του άνθρακα, έχει αξιοσημείωτη επίπτωση στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Οι εκτιμήσεις για τις εκπομπές μεθανίου στην αλυσίδα εφοδιασμού του ΦΑ έχουν αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνών και αντιπαραθέσεων (Balcombe et al., 2016). Ως επακόλουθο, είναι σαφές ότι η βιομηχανία ΥΦΑ, θεωρούμενη ως ένα σημαντικά αυξανόμενο τμήμα της εφοδιαστικής αλυσίδας του ΦΑ, θα πρέπει να αναλάβει πιο άμεσο ρόλο στην εκτίμηση της συμβολής της στις εκπομπές μεθανίου και να προετοιμαστεί να λάβει μέτρα για τη μείωση των εκπομπών αυτών στον μέγιστο δυνατό βαθμό (IGU, 2019b).

2.3 Μονάδες ΥΦΑ Μικρής Κλίμακας

Η αλυσίδα εφοδιασμού ΥΦΑ μικρής κλίμακας αναφέρεται γενικά σε εγκαταστάσεις που σχετίζονται με τερματικούς σταθμούς, μονάδες αποθήκευσης, δεξαμενόπλοια κ.λπ. παρόμοιων χαρακτηριστικών, αλλά με μικρότερο μέγεθος, από τις συμβατικές ολοκληρωμένες υποδομές ΥΦΑ. Μέχρι στιγμής δεν έχει γίνει κάποια αυστηρή ταξινόμηση της κλίμακας και δεν υπάρχει κοινά αποδεκτός και σαφής ορισμός ή ταξινόμηση. Παρακάτω παρατίθενται τα όρια που δίνονται από την Διεθνή Ένωση Φυσικού Αερίου (IGU, 2015b) και θεωρούνται ως ένας μέσος δείκτης των ορίων που υπάρχουν στην βιβλιογραφία (DMA, 2012; APEC, 2019).

- Υγροποίηση (liquefaction), επαναεριοποίηση (regasification), εισαγωγή (delivery): 0,05-1mtpa
- Αποθήκευση (storage), μεταφορά (transportation) ΥΦΑ: μέγιστη ποσότητα 30.000m³ (χωρητικότητα δεξαμενής, δεξαμενόπλοιου).

2.3.1 Εφαρμογές

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται οι κύριες εφαρμογές των εγκαταστάσεων ΥΦΑ μικρής κλίμακας.

2.3.1.1 Απομακρυσμένες Περιοχές

Σε ορισμένες περιοχές που είναι πιο απομακρυσμένες, η ανάπτυξη εγκαταστάσεων ΥΦΑ μικρής κλίμακας για την προμήθεια ΦΑ στην περιοχή, είναι οικονομικά ελκυστικότερη από ό,τι άλλες εναλλακτικές λύσεις όπως το δίκτυο αγωγών, η προμήθεια από ΥΦΑ μεγάλης κλίμακας κλπ. Αυτές οι μονάδες ονομάζονται συνήθως "δορυφορικές εγκαταστάσεις"

(satellite LNG). Η μεταφορά του ΥΦΑ στις εγκαταστάσεις αυτές γίνεται συνήθως με φορτηγά, τρένα ή δεξαμενόπλοια. Η πηγή που προμηθεύεται το ΥΦΑ μπορεί να είναι, είτε μια συμβατική μονάδα ΥΦΑ, είτε μια μονάδα μικρής κλίμακας αποθήκευσης ΥΦΑ (IGU, 2015b). Από εκεί διανέμεται στην ευρύτερη περιοχή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε βιομηχανίες, όπως χαρτοβιομηχανίες ή βιομηχανίες χάλυβα (GLE, 2013), σε οικιακούς καταναλωτές ή στην προμήθεια καυσίμου για μεταφορές (οδικές ή θαλάσσιες).

2.3.1.2 Μεταφορές

Καύσιμο σε οδικές μεταφορές

Μία ακόμη από τις εφαρμογές των έργων μικρής κλίμακας είναι για την χρήση του ΥΦΑ ως καύσιμο για τη χερσαία μεταφορά οχημάτων με ΦΑ. Τα οχήματα αυτά μεταφέρουν καύσιμο CNG (compressed natural gas) το οποίο αποθηκεύουν σε δοχεία υψηλής πίεσης ενώ υπάρχουν και οχήματα που τροφοδοτούνται με ΥΦΑ και αποθηκεύουν ΦΑ σε υγρή μορφή σε δοχεία εξαιρετικά χαμηλής θερμοκρασίας. Προς το παρόν, τα οχήματα με CNG είναι τα πιο συνηθισμένα οχήματα κινούμενα με ΦΑ και έχουν χρησιμοποιηθεί σε τόπους παραγωγής του ΦΑ, όπως η Κίνα, το Ιράν και η Αργεντινή (APEC, 2019).

Πρόσφατα, τα οχήματα ΥΦΑ καθίστανται δημοφιλή στις ΗΠΑ, στην Κίνα και αλλού ενώ τα φορτηγά που χρησιμοποιούν το ΥΦΑ ως καύσιμο έχουν γίνει ολοένα και πιο διαδεδομένα σε όλο τον κόσμο λόγω της αυξημένης σχετικής ανταγωνιστικότητας των τιμών των καυσίμων. Ένα πλεονέκτημα των φορτηγών αυτοκινήτων που χρησιμοποιούν ΥΦΑ είναι ότι η δεξαμενή καυσίμων μπορεί να πληρωθεί με περίπου τριπλάσιο όγκο ΦΑ από τα φορτηγά με CNG, παρέχοντας τη δυνατότητα για μεταφορές του καυσίμου σε μεγάλες αποστάσεις. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν ορισμένα τεχνικά εμπόδια, μεταξύ των οποίων είναι το υψηλότερο κόστος και οι ανησυχίες για την ασφάλεια όσον αφορά τη φόρτωση φορτηγών με ΥΦΑ και τη διατήρηση σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες για παρατεταμένες περιόδους, ιδιαίτερα σε σύγκριση με το πετρέλαιο και το ντίζελ. Η αντιμετώπιση αυτών των θεμάτων και η άμβλυνση των κινδύνων ενδέχεται να ενισχύσουν την προοπτική υιοθέτησης χρήσης του ΥΦΑ ως καύσιμο για τις μεταφορές (APEC, 2019).

Ναυτιλιακό Καύσιμο (LNG bunkering)

Τα τελευταία χρόνια η χρήση του ΥΦΑ ως καύσιμο για τις θαλάσσιες μεταφορές προωθείται σε μεγάλο βαθμό. Ο βασικός παράγοντας για αυτό είναι οι περιβαλλοντικοί

κανονισμοί που σχετίζονται με τη ναυτιλία. Οι κανονισμοί του Διεθνή Οργανισμού Ναυσιπλοΐας (International Maritime Organization-IMO) για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης καθορίζονται από τη διεθνή σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία (σύμβαση MARPOL 73/78). Οι ισχύοντες κανονισμοί έχουν θεσπιστεί ξεχωριστά για συγκεκριμένες περιοχές ελέγχου εκπομπών (Emission Control Areas-ECAs) και για τις υπόλοιπες θαλάσσιες περιοχές. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την απόφαση της IMO από την 1η Ιανουαρίου 2015, στις περιοχές ECAs υιοθετείται το όριο 0,1% της περιεκτικότητας των ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο, ενώ για τις υπόλοιπες περιοχές το όριο για το θείο θα μειωθεί από την 1η Ιανουαρίου 2020, από 3,5% που ισχύει σήμερα σε 0,5% (IMO, 2019). Έτσι, καθώς το ΥΦΑ πληροί τον περιορισμό της περιεκτικότητας σε θείο προωθείται ως εναλλακτικό καύσιμο για την ναυτιλία. Στα πλαίσια αυτά, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, η Ελλάδα συμμετέχει στο Ευρωπαϊκό πρόγραμμα POSEIDON MED-II το οποίο στοχεύει στη διάθεση του ΥΦΑ σε έξι κύρια λιμάνια στη νοτιοανατολική Μεσόγειο (Πειραιάς, Πάτρα, Ηράκλειο, Ηγουμενίτσα, Λεμεσός και Βενετία), για την χρήση του ως ναυτιλιακό καύσιμο.

2.3.1.3 Κάλυψη Φορτίου Αιχμής

Οι μονάδες παραγωγής ΥΦΑ μικρής κλίμακας χρησιμοποιούνται συχνά για την κάλυψη του φορτίου αιχμής. Οι μονάδες αυτές περιέχουν τόσο εγκαταστάσεις υγροποίησης όσο και επαναεριοποίησης ώστε να αποθηκεύουν ως ΥΦΑ το ΦΑ μέχρι τις ώρες αιχμής της ζήτησης. Τότε το ΥΦΑ μπορεί γρήγορα να επαναεριοποιηθεί και χρησιμοποιείται είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε για οικιακή κατανάλωση. Η χρήση αυτών των μονάδων έχει κυρίως οικονομικά κίνητρα καθώς το ΦΑ αποθηκεύεται όταν η τιμή του στην αγορά είναι χαμηλότερη και επαναεριοποιείται για να χρησιμοποιηθεί όταν η τιμή του είναι υψηλότερη (IGU, 2015b)

2.3.2 Πλεονεκτήματα

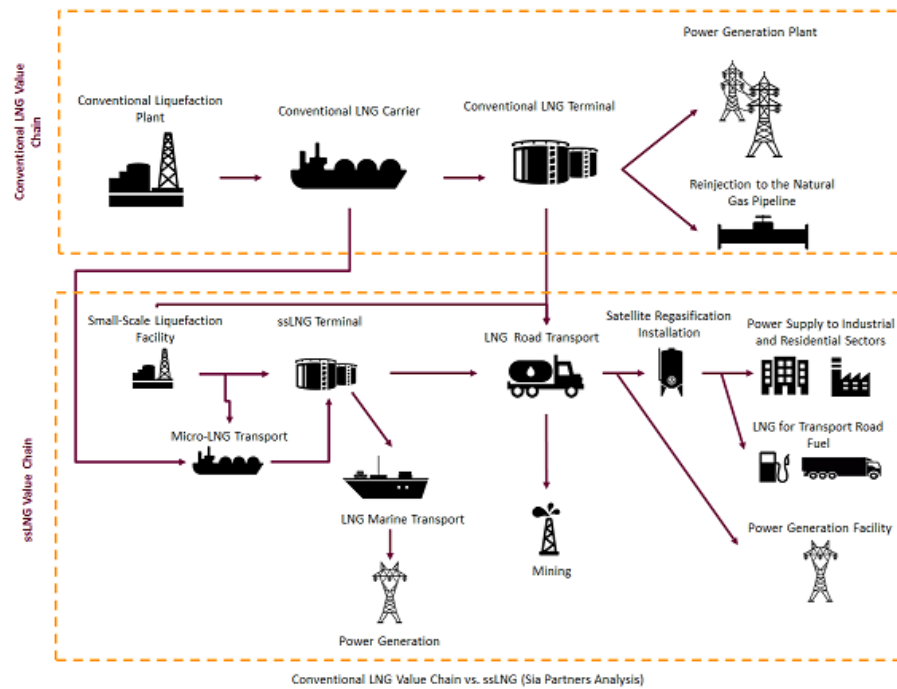
Η σχετικά πρόσφατη ανάπτυξη των έργων ΥΦΑ μικρής κλίμακας οφείλεται σε διάφορους παράγοντες. Ορισμένοι από αυτούς αναφέρονται παρακάτω και συνιστούν τα κύρια πλεονεκτήματά τους (IGU, 2015b; APEC, 2019)

- Περιβαλλοντικά οφέλη: Η χρήση του ΥΦΑ επεκτείνεται σε περιοχές όπου αρχικά δεν υπήρχε δίκτυο ΦΑ και βοηθά στην εδραίωση της χρήσης του ως καύσιμο στη ναυτιλία και στις οδικές μεταφορές. Συνεπώς, συνεισφέρει στην αντικατάσταση της χρήσης των ρυπογόνων ορυκτών καυσίμων, όπως είναι το πετρέλαιο και ο άνθρακας, με αποτέλεσμα την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

- Οικονομικά οφέλη: Οι υποδομές των εγκαταστάσεων ΥΦΑ μικρής κλίμακας έχουν σχετικά χαμηλό αρχικό κόστος λόγω του μικρότερου μεγέθους τους από μια συμβατική μονάδα μεγάλης κλίμακας ΥΦΑ και κατασκευάζονται πολύ ταχύτερα. Ακόμα, σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη μονάδων μικρής κλίμακας είναι η χαμηλότερη τιμή του ΦΑ και επομένως του ΥΦΑ, σε σχέση με αυτή του αργού πετρελαίου. Τα παραπάνω συντελούν στο να δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για επενδύσεις σε υποδομές για υποκατάστατα πετρελαιοειδών, όπως οι μονάδες ΥΦΑ μικρής κλίμακας.
- Ασφάλεια εφοδιασμού: Ακόμη και αν το αέριο είναι προσβάσιμο μέσω αγωγών, πολλές χώρες και επιχειρήσεις προμηθεύονται ΥΦΑ για να αποφύγουν την εξάρτηση από έναν μόνο προμηθευτή. Αυτή η ευελιξία έχει τη δυνατότητα μείωσης του κόστους της ενέργειας. Επίσης, όπου δεν διατίθενται αγωγοί, η μείωση του ενεργειακού κόστους είναι ο υπ' αριθμόν ένα λόγος για την επένδυση στην υποδομή ΥΦΑ. Επιπλέον, η ανάπτυξη μονάδων ΥΦΑ μικρής κλίμακας μειώνει την εξάρτηση από εισαγωγές πετρελαίου και ευνοεί την εισχώρηση των ΑΠΕ.
- Ευελιξία: Οι εγκαταστάσεις ΥΦΑ μικρής κλίμακας έχουν τη δυνατότητα επέκτασης και το μέγεθός τους μπορεί να αυξηθεί ανάλογα με τις ανάγκες της ζήτησης.

2.3.3 Αλυσίδα Αξίας ΥΦΑ

Η αλυσίδα αξίας (Value Chain) των εφαρμογών ΥΦΑ μεγάλης κλίμακας αποτελείται κυρίως από μονάδες υγροποίησης, μεταφοράς, επαναεριοποίησης και τους τελικούς καταναλωτές (σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής ή οικιακή χρήση). Ωστόσο, οι εφαρμογές μικρής κλίμακας περιγράφονται καλύτερα με τον όρο "δίκτυο". Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4, οι μονάδες μικρής κλίμακας ΥΦΑ μπορεί να τροφοδοτούνται με διάφορους τρόπους, όπως από συμβατικές εγκαταστάσεις ΥΦΑ, από μονάδες υγροποίησης μικρής κλίμακας, από μικρότερα δεξαμενόπλοια κ.ά. Συνήθως εξυπηρετεί ένα ευρύτερο φάσμα τελικών χρηστών από ότι οι εφαρμογές μεγάλης κλίμακας.



Σχήμα 2.4 Αλυσίδα Αξίας Μεγάλης και Μικρής Κλίμακας ΥΦΑ (Sia Partners, 2018)

2.3.3.1 Παραγωγή

Στο στάδιο αυτό το ΦΑ υγροποιείται προκειμένου να μειωθεί ο όγκος του και να διευκολυνθεί η μεταφορά του. Τα δομικά στοιχεία μιας μονάδας παραγωγής μικρής κλίμακας είναι πολύ παρόμοια με τα έργα μεγάλης κλίμακας. Έτσι όπως και στη συμβατική διαδικασία ΥΦΑ, η υγροποίηση του ΦΑ για μονάδες μικρής κλίμακας, απαιτεί κάποια βήματα προεπεξεργασίας. Τα στάδια αυτής της διαδικασίας συμβάλλουν στην αποφυγή προβλημάτων στη λειτουργία των κρυογενικών μονάδων και / ή εξασφαλίζουν ότι το προϊόν ΥΦΑ ανταποκρίνεται σε καθορισμένες απαιτήσεις ποιότητας (π.χ. ανεπιθύμητες προσμίξεις, θερμογόνος δύναμη, ποσοστό μεθανίου). Σε πολλές περιπτώσεις, όπου η μονάδα υγροποίησης προμηθεύεται το ΦΑ από αγωγούς, η προεπεξεργασία είναι λιγότερο απαιτητική και πολύπλοκη σε σύγκριση με αυτή της συμβατικής διαδικασίας ΥΦΑ. Ανάλογα με τη σύνθεση του ΦΑ στην είσοδο της μονάδας, μπορεί να χρειαστεί να αφαιρεθεί ο υδράργυρος, το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό, οι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες και το άζωτο. Ο υδράργυρος διαχωρίζεται συνήθως με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα τυπικά απομακρύνεται με μια διαδικασία φυσικής πλύσης. Σε περίπτωση χαμηλής περιεκτικότητας σε διοξείδιο του άνθρακα, μπορεί να εφαρμοστεί και διαδικασία απορρόφησης. Η αφυδάτωση γίνεται με μοριακά κόσκινα ως προσροφητικό μέσο. Στη συνέχεια, οι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες απομακρύνονται μετά από μερική

συμπύκνωση του αερίου που τροφοδοτείται χρησιμοποιώντας μέρος της ενέργειας του ψυκτικού κύκλου (IGU, 2015b). Ακόμη, η απόρριψη του αζώτου μπορεί να επιτευχθεί συνδυάζοντας τα στάδια απόσταξης και λαμβάνοντας υπόψη τα σημεία τήξης των αρχικών συστατικών (Καρώνης κ.ά., 2014). Ορισμένοι προμηθευτές τεχνολογίας κατόρθωσαν να ενσωματώσουν βήματα απόσπασης βαρέων υδρογονανθράκων και/ή αζώτου στις διαδικασίες υγροποίησης του ΥΦΑ, πράγμα που ελαχιστοποιεί τις πρόσθετες επενδύσεις, μια πτυχή ιδιαίτερης σημασίας στα έργα μικρής κλίμακας, καθώς σε συμβατικές μονάδες ΥΦΑ, η απομάκρυνση των βαρέων υδρογονανθράκων και του αζώτου πραγματοποιείται συνήθως σε μια ειδική μονάδα επεξεργασίας πριν από την υγροποίηση του ΦΑ (IGU, 2015b).

Στη συνέχεια ακολουθεί η υγροποίηση του ΦΑ. Η τεχνολογία υγροποίησης βασίζεται στην αρχή ενός κύκλου ψύξης, όπου ένα ψυκτικό μέσο με διαδοχική εκτόνωση και συμπίεση απομακρύνει το θερμικό περιεχόμενο ενός ρεύματος αερίου απορρίπτοντας τη θερμότητα στο περιβάλλον ή στο νερό ψύξης. Το ψυκτικό μέσο μπορεί να αποτελεί μέρος της τροφοδοσίας του ΦΑ (διαδικασία ανοιχτού κύκλου) ή ξεχωριστό υγρό που επανακυκλοφορεί συνεχώς μέσω του υγροποιητή (διεργασία κλειστού κύκλου). Μετά από την υγροποίηση του ΦΑ απαιτείται η εισαγωγή σε μονάδα απόρριψης αζώτου εάν η περιεκτικότητα σε άζωτο είναι πάνω από τις εμπορικές προδιαγραφές του ΥΦΑ, οι οποίες είναι 1% w/w. Η χαμηλή περιεκτικότητα σε άζωτο στο προϊόν ΥΦΑ απαιτείται για να αποφευχθούν οι χαμηλές θερμοκρασίες υγροποίησης, για να μειωθεί η περιεκτικότητα σε άζωτο για την διαχείριση των απαερίων, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο καθώς και για να μειωθεί ο κίνδυνος ανατροπής στις δεξαμενές αποθήκευσης στα τερματικά κατά την παράδοση στους εκάστοτε πελάτες (Mokhatab et al., 2013).

2.3.3.2 Αποθήκευση και Διαχείριση απαερίων (BOG)

Το επόμενο στάδιο μετά την υγροποίηση είναι η αποθήκευση του ΥΦΑ σε ειδικές δεξαμενές που διατηρούν την χαμηλή θερμοκρασία του υγρού έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η ποσότητα που εξατμίζεται. Η διαχείριση των απαερίων (Boil off gas-BOG) αποτελεί σημαντικό ζήτημα της αλυσίδας εφοδιασμού του ΥΦΑ που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διάρκεια των φάσεων σχεδιασμού, εκτέλεσης και λειτουργίας (IGU, 2015b).

Το BOG προκύπτει λόγω της εισροής θερμότητας μέσα στις δεξαμενές, όπου κυρίως τα ελαφρύτερα μέρη του υγροποιημένου αερίου, όπως το μεθάνιο και το άζωτο εξατμίζονται. Συνήθως το εξατμιζόμενο αέριο συλλέγεται και διοχετεύεται με κατάλληλες διατάξεις, είτε για να υγροποιηθεί και να αποθηκευτεί εκ νέου στις δεξαμενές, είτε για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στην εγκατάσταση, είτε στο δεξαμενόπλοιο μεταφοράς του ΥΦΑ.

Εάν δεν απελευθερωθεί το αέριο που έχει εξατμιστεί, η πίεση και η θερμοκρασία αυξάνονται και τίθενται σε λειτουργία τα συστήματα αποσυμπίεσης. Όταν απομακρύνεται το BOG, ο αριθμός του μεθανίου μειώνεται το οποίο είναι σημαντικό για τη χρήση του ΥΦΑ ως καύσιμο διότι οι περισσότεροι κινητήρες απαιτούν έναν ελάχιστο αριθμό μεθανίου για να αποτρέψουν το χαρακτηριστικό κρότο του κινητήρα.

Η διαχείριση του BOG που απαιτείται στα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας καθώς και από τον τελικό αποδέκτη του προϊόντος. Έτσι, κατά την προμήθεια ΥΦΑ μεγάλης κλίμακας απαιτείται σημαντική διαχείριση του BOG σε όλη την αλυσίδα. Χρησιμοποιούνται δεξαμενές αποθήκευσης με ατμοσφαιρική πίεση, όπου το BOG απομακρύνεται. Σε μικρότερες εγκαταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεξαμενές αποθήκευσης υπό πίεση. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται λιγότερη διαχείριση.

Οι τρόποι αποθήκευσης και διαχείρισης του εξατμιζόμενου αερίου στις μονάδες μικρής κλίμακας συνήθως διαφέρουν σε σχέση με τις συμβατικές. Το εύρος αποθήκευσης για τις δεξαμενές μικρής κλίμακας κυμαίνεται από 500 m³ έως 5.000 m³, με επικρατούσα την δεξαμενή αποθήκευσης υπό πίεση. Πάνω από 5.000 m³, επικρατούν οι συμβατικές τεχνολογίες. Παρακάτω παρατίθενται οι τύποι των δεξαμενών με τα βασικά χαρακτηριστικά τους (IGU, 2015b):

1. Δεξαμενές υπό πίεση (Pressurized tanks):

Οι δεξαμενές υπό πίεση έχουν σήμερα μέγιστο μέγεθος 1.200 m³ με ενδεχόμενες βελτιώσεις που θα επιτρέψουν μεγαλύτερη χωρητικότητα. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι προκατασκευάζονται στο εργοστάσιο με θετικές συνέπειες στο χρονοδιάγραμμα του έργου (μια δεξαμενή αυτού του τύπου κατασκευάζεται σε περίπου 6-18 μήνες εξαιρουμένων των εργασιών εγκατάστασης) και το κόστος του. Οι δεξαμενές υπό πίεση διατηρούν την πίεση εντός της δεξαμενής κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης χρονικής περιόδου ούτως ώστε να αποφεύγεται η ανάγκη για διαχείριση του BOG. Μια δεξαμενή αποθήκευσης αυτού του τύπου μπορεί να περιέχει BOG για μία ή δύο εβδομάδες πριν από την παράδοση του, η οποία θα συμβάλει στη συμπύκνωση του στη δεξαμενή υποδοχής.

2. Ατμοσφαιρικές δεξαμενές

Δεξαμενές ατμοσφαιρικής επίπεδης βάσης

Οι ατμοσφαιρικές κυλινδρικές δεξαμενές συνήθως κατασκευάζονται επί τόπου και χρειάζονται 2-4 χρόνια για να κατασκευαστούν σε μεγαλύτερες κλίμακες. Έχουν πολύ καλή μονωτική ικανότητα. Οι συμβατικές κυλινδρικές

ατμοσφαιρικές δεξαμενές δύσκολα ανταγωνίζονται τις δεξαμενές υπό πίεση για μικρά μεγέθη (συνήθως κάτω από 4.000 m³), καθώς θα πρέπει να περιλαμβάνουν σύστημα διαχείρισης BOG για να αντέξουν την πίεση.

Ατμοσφαιρικές μη κυλινδρικές δεξαμενές

Η κατηγορία αυτών των δεξαμενών ενσωματώνει χαρακτηριστικά των ατμοσφαιρικών δεξαμενών, αλλά και μερικά πλεονεκτήματα των δεξαμενών υπό πίεση, όπως είναι η ευελιξία και η προκατασκευή. Οι πρώτες τάσεις δείχνουν ότι αυτά τα συστήματα θα μπορούσαν να καλύψουν το κενό στις περιπτώσεις που οι δεξαμενές υπό πίεση θεωρούνται πολύ μικρές και οι δεξαμενές ατμοσφαιρικής πίεσης επίπεδης βάσης θεωρούνται πολύ μεγάλες.

2.3.3.3 Μεταφορά

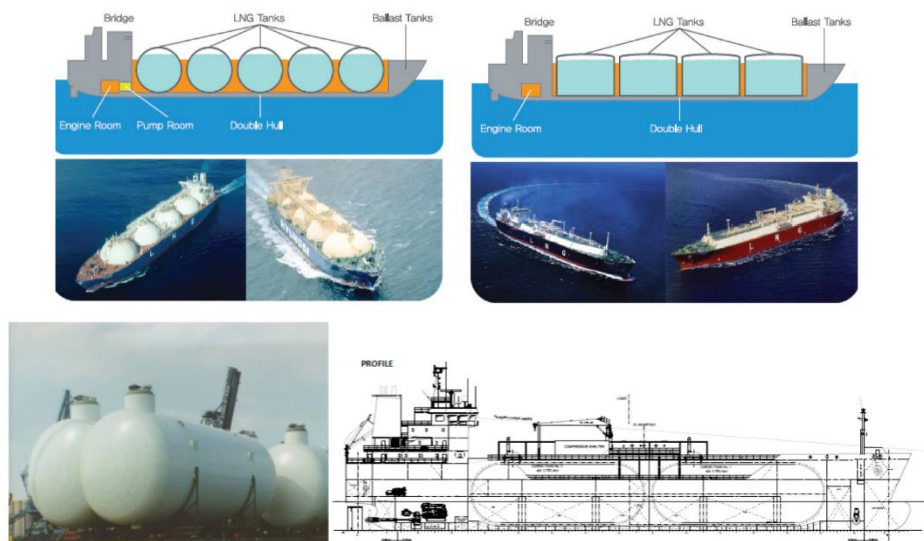
Κατά το στάδιο αυτό το ΥΦΑ μεταφέρεται είτε στους τερματικούς σταθμούς ΥΦΑ είτε απευθείας στους τελικούς καταναλωτές. Η μεταφορά πραγματοποιείται κυρίως μέσω εξειδικευμένων πλοίων και φορτηγών και σε μερικές περιοχές (π.χ. Ιαπωνία) σιδηροδρομικώς (GIIGNL, 2019a). Παρακάτω αναφέρονται πιο αναλυτικά η μεταφορά με φορτηγά και με δεξαμενόπλοια.

Η μεταφορά του ΥΦΑ με φορτηγά αποτελεί μια ώριμη αγορά και είναι αποδοτικότερος μηχανισμός όταν οι μονάδες υγροποίησης βρίσκονται σε σχετικά κοντινή απόσταση με τους τελικούς αποδέκτες του ΥΦΑ. Χρησιμοποιώντας φορτηγά με εξειδικευμένες δεξαμενές μεταφοράς το ΥΦΑ μπορεί να μεταφερθεί σε μικρές εγκαταστάσεις επαναεριοποίησης και σε σταθμούς διανομής καυσίμων γρήγορα και αποτελεσματικά. Από το 1968 έχουν χρησιμοποιηθεί φορτηγά για τη μεταφορά ΥΦΑ σε πολλά μέρη του κόσμου. Τα φορτηγά έχουν χωρητικότητα από 6 έως 20 tn και πληρούν αυστηρές προδιαγραφές της βιομηχανίας για την ασφαλή μεταφορά και διανομή του ΥΦΑ.

Όταν το ΥΦΑ πρόκειται να μεταφερθεί είτε σε μακρινές αποστάσεις, είτε σε νησιωτικές περιοχές, τότε μεταφέρεται με πλοία ειδικής ναυπήγησης. Έτσι, εκτός από τα πλοία bunkers που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη ενότητα που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το ΥΦΑ και αντιπροσωπεύουν την πλευρά της «ζήτησης» (demand side) στην εφοδιαστική αλυσίδα των έργων μικρής κλίμακας, τα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ (LNG carriers) αντιπροσωπεύουν την πλευρά της «προσφοράς» (supply side) (Sharples, 2019). Τα πλοία αυτά είναι ειδικά σχεδιασμένα για να διατηρούν το φορτίο σε ατμοσφαιρική πίεση ή κοντά σε ατμοσφαιρική πίεση σε κρυογενική θερμοκρασία (-162°C). Οι δεξαμενές τους αποτελούνται από διπλές επιστρώσεις στα τοιχώματά τους που απομονώνουν το φορτίο ΥΦΑ, εξασφαλίζοντας μια ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους σύμφωνα με τα πρότυπα

ασφαλείας και προστατεύοντας από ενδεχόμενες συγκρούσεις και ατυχήματα. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι το σύστημα μόνωσης περιορίζει την ποσότητα του ΥΦΑ που εξατμίζεται κατά τη διάρκεια των ταξιδιών. Σε πολλά δεξαμενόπλοια ΥΦΑ χρησιμοποιούνται τα απαέρια (BOG) για τη συμπλήρωση του καυσίμου κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Υπάρχουν αυστηροί διεθνείς κανονισμοί σχετικά με την κατασκευή και τη λειτουργία των συγκεκριμένων πλοίων στη θάλασσα και στους λιμένες.

Η πλειοψηφία των μεγάλων πλοίων ΥΦΑ που υπάρχουν σήμερα έχουν σχεδιαστεί για τη μεταφορά ΥΦΑ είτε σε σφαιρικού τύπου δεξαμενές (Moss sphere design) είτε σε δεξαμενές τύπου μεμβράνης (membrane design). Τα πλοία που χρησιμοποιούνται στην εφοδιαστική αλυσίδα μικρής κλίμακας, μεταφέρουν το ΥΦΑ σε δεξαμενές υπό πίεση μεμβράνης ή τύπου C (Σχήμα 2.5). Επίσης, τα πλοία ΥΦΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να λειτουργήσουν ως μονάδες πλωτής αποθήκευσης (FSU) ή πλωτή μονάδα αποθήκευσης και επαναεριοποίησης (FSRU). Οι πλωτές εγκαταστάσεις επιτρέπουν στους τερματικούς σταθμούς ΥΦΑ να τοποθετηθούν στην ανοικτή θάλασσα ή να αγκυροβοληθούν σε λιμένες (GIIGNL, 2019b).



Σχήμα 2.5 Τύποι δεξαμενών πλοίων ΥΦΑ (GIIGNL, 2019b):

Σφαιρικού τύπου δεξαμενές (Moss sphere design), πάνω αριστερά, Δεξαμενές τύπου μεμβράνης (membrane design), πάνω δεξιά, Δεξαμενές υπό πίεση μεμβράνης ή τύπου C, κάτω

Τα πλοία ΥΦΑ ποικίλλουν σε χωρητικότητα φορτίου, από 1.000m³έως 267.000m³, αλλά η πλειοψηφία των σύγχρονων πλοίων κυμαίνεται μεταξύ 125.000m³και 175.000m³. Λόγω της αυξανόμενης ζήτησης του ΥΦΑ, αναμένεται να κατασκευαστούν περισσότερα πλοία αποθήκευσης ΥΦΑ.

2.3.3.4 Τερματικοί σταθμοί μικρής κλίμακας

Οι τερματικοί σταθμοί μικρής κλίμακας είναι συνήθως εγκαταστάσεις κοντά στη θάλασσα. Η παράδοση του ΥΦΑ γίνεται είτε από δεξαμενόπλοια είτε από φορτηγά, όπως έχει ήδη αναφερθεί, στον τερματικό σταθμό όπου αποθηκεύεται πριν υποβληθεί σε επαναεριοποίηση, το οποίο μετατρέπει το ΥΦΑ πίσω στην αέρια μορφή του (GIIGNL, 2019a).

Συνήθως οι τερματικοί σταθμοί κατασκευάζονταν με σκοπό την επαναεριοποίηση του ΥΦΑ, αλλά αυτό έχει αλλάξει σήμερα. Μερικοί από τους τερματικούς σταθμούς μικρής κλίμακας λειτουργούν για την προμήθεια ΥΦΑ σε πλοία και φορτηγά ή για την αποθήκευση και διανομή σε άλλους τερματικούς σταθμούς.

Κεφάλαιο 3

Κίνδυνοι στη Χωροθέτηση Μονάδων ΥΦΑ

3.1 Επισκόπηση Κινδύνων στα Τεχνικά Έργα

3.1.1 Ο Κίνδυνος στα Τεχνικά Έργα

Η αβεβαιότητα συνδέεται με την ανθρώπινη ζωή και υπάρχει σε όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες και φυσικά και στα τεχνικά έργα. Υπάρχει μια σχέση μεταξύ αβεβαιότητας και κινδύνου, όπου σύμφωνα με τον Hillson (2003): "Ο κίνδυνος είναι η αβεβαιότητα που μπορεί να μετρηθεί και η αβεβαιότητα είναι ένας κίνδυνος που δεν μπορεί να μετρηθεί". Ο κίνδυνος έχει μια πολύπλευρη έννοια, η οποία ορίζεται ως η πιθανότητα ενός επιβλαβούς συμβάντος στο έργο, το οποίο επηρεάζει τους στόχους του, ωστόσο δεν συνδέεται πάντα με αρνητικά αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα ένας από τους ορισμούς που δίνεται για τον κίνδυνο στη διαχείριση έργων είναι αυτός που ορίζει τον κίνδυνο ως ένα αβέβαιο γεγονός ή συνθήκη που, εάν συμβεί, θα έχει μία θετική ή αρνητική επίδραση στους αντικειμενικούς στόχους του έργου (Hilson, 2009; Rose, 2013). Έτσι ένας κίνδυνος μπορεί να έχει μία ή περισσότερες αιτίες και, εάν συμβεί, μία ή περισσότερες συνέπειες. Οι θετικοί κίνδυνοι ονομάζονται ευκαιρίες (opportunities) ενώ οι αρνητικοί απειλές (threats). Η έννοια του κινδύνου ενός έργου εμπεριέχει δύο παράγοντες (Γεωργαντοπούλου, 2013; Rose, 2013):

- **Την πιθανότητα (likelihood)** ότι ένα γεγονός θα συμβεί.
- **Τις επιπτώσεις (impact)** του γεγονότος εάν αυτό συμβεί.

Ο κίνδυνος είναι συνάρτηση και των δυο δηλαδή (Raftery, 2003):

$$\text{Κίνδυνος} = \text{Πιθανότητα} * \text{Επιπτώσεις}$$

Συνεπώς, ο ορθός προσδιορισμός ενός κινδύνου έγκειται στο συνδυασμό τόσο της πιθανότητάς του να συμβεί όσο και στις επιπτώσεις που θα έχει. Έτσι, ένας κίνδυνος με πολύ σοβαρές συνέπειες αλλά σχεδόν μηδενικές πιθανότητες να συμβεί θα αξιολογηθεί ως λιγότερο σημαντικός σε σύγκριση με έναν κίνδυνο με λιγότερο σοβαρές συνέπειες αλλά με αρκετές πιθανότητες να συμβεί.

3.1.2 Κατηγορίες Κινδύνων στα Τεχνικά Έργα

Οι κίνδυνοι ενός έργου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να εξετάσουμε και να κατανοήσουμε πλήρως τις πηγές των εκάστοτε κινδύνων, έτσι ώστε να προκύψει η κατηγοριοποίηση αυτών. Στη βιβλιογραφία υπάρχει εκτεταμένη έρευνα σχετικά με τους διαφορετικούς τρόπους ταξινόμησης των κινδύνων του έργου. Έτσι, οι κίνδυνοι μπορούν να διαχωριστούν ως προς την προέλευσή τους σε εσωτερικούς και εξωτερικούς κινδύνους, ανάλογα με το αν ο φορέας του έργου μπορεί να επηρεάσει την πιθανότητα εμφάνισης του κινδύνου και τις συνέπειές του. Ακόμα, μπορεί να διαχωριστούν σε εγγενείς αβεβαιότητες και αμιγείς κινδύνους. Οι εγγενείς αβεβαιότητες αναφέρονται στη διακύμανση ενός μεγέθους γύρω από μια μέση τιμή, ενώ οι αμιγείς κίνδυνοι δεν ανήκουν στις συνήθεις καθημερινές αβεβαιότητες, έχουν αρνητικές συνέπειες και μπορούν να ελεγχθούν υπό προϋποθέσεις (Γεωργαντοπούλου, 2013).

Σε σύγκριση με πολλές άλλες βιομηχανίες, ο κλάδος των τεχνικών έργων και κατασκευών υπόκειται σε μεγαλύτερους κινδύνους λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων (Akintoye et al., 1997). Έτσι μια πιο συστηματική κατηγοριοποίηση των κινδύνων των τεχνικών έργων σύμφωνα με την Γεωργαντοπούλου (2013), η οποία πραγματοποίησε βιβλιογραφική ανασκόπηση από είκοσι έρευνες με αντικείμενο τους κινδύνους στα τεχνικά έργα, παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα 3.1:

Πίνακας 3.1 Κατηγορίες Κινδύνων στα τεχνικά έργα (Γεωργαντοπούλου, 2013)

Κατηγορίες Κινδύνων	Κίνδυνοι
Διαχειριστικοί Κίνδυνοι	Καθυστέρηση στην προμήθεια υλικών, χαμηλή παραγωγικότητα ανθρώπινου δυναμικού, διαθεσιμότητα του εξοπλισμού κ.ά.
Εξωτερικοί Κίνδυνοι & Κίνδυνοι που σχετίζονται με τη θέση του έργου	Απρόβλεπτες καταστάσεις εδάφους, Φυσικές καταστροφές, Δυσμενείς καιρικές συνθήκες, Δύσκολη πρόσβαση κ.ά.
Κίνδυνοι που αφορούν τα μέσα παραγωγής	Έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού, Εργασιακές διαμάχες και απεργίες, Επαγγελματική ανεπάρκεια των υπεργολάβων / προμηθευτών
Νομικοί Κίνδυνοι	Αλλαγές ρυθμιστικού πλαισίου, Ενδεχόμενες διαφωνίες επί του συμβολαίου και των απαιτήσεων

Πίνακας 3.1 Κατηγορίες Κινδύνων στα τεχνικά έργα (Γεωργαντοπούλου, 2013) (συνέχεια)

Κατηγορίες Κινδύνων	Κίνδυνοι
Οικονομικοί Κίνδυνοι	Πληθωρισμός, Καθυστέρηση πληρωμών από τον κύριο του έργου, Μεταβολές των συναλλαγματικών ισοτιμιών
Πολιτικοί Κίνδυνοι	Αστάθεια της πολιτικής κατάστασης της χώρας, Δυσκολία-καθυστέρηση στη λήψη αδειών, Πόλεμος και πολιτική αναταραχή
Τεχνικοί - Κατασκευαστικοί Κίνδυνοι	Ελαττωματικός σχεδιασμός, Αλλαγή σκοπού, Αλλαγή στη σειρά των εργασιών, Ανεπαρκή σχέδια και προδιαγραφές
Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι	Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι του έργου, Αναταραχή στις δημόσιες δραστηριότητες
Πολιτιστικοί Κίνδυνοι	Διαφορετικό κοινωνικό, πολιτισμικό & θρησκευτικό υπόβαθρο

3.1.3 Διαχείριση Κινδύνων

Σήμερα, η διαχείριση των κινδύνων αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της διαχείρισης του έργου, όπου μια από τις πιο δύσκολες δραστηριότητες της είναι ότι καθορίζει ποιοι είναι οι κίνδυνοι του έργου και που πρέπει να δοθεί προτεραιότητα. Αυτή είναι μια βασική διαδικασία και οι περισσότεροι διευθυντές έργων γνωρίζουν ότι η διαχείριση του κινδύνου είναι απαραίτητη για την καλή διαχείριση του έργου. Κύριος σκοπός της διαχείρισης κινδύνου του έργου είναι ο εντοπισμός, η αξιολόγηση και ο έλεγχος του κινδύνου για την επιτυχία του έργου (Serpella et al., 2014). Πιο αναλυτικά, η διαχείριση κινδύνων περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Σχεδιασμός Διαχείρισης Κινδύνων (Plan Risk Management)
- Προσδιορισμός Κινδύνων (Risks Identification)
- Ποιοτική Ανάλυση Κινδύνων (Perform Qualitative Risk Analysis)
- Ποσοτική Ανάλυση Κινδύνων (Perform Quantitative Risk Analysis)
- Σχεδιασμός Απόκρισης σε Κινδύνους (Plan Risk Responses)
- Έλεγχος Κινδύνων (Control Risks)

3.1.3.1 Σχεδιασμός Διαχείρισης Κινδύνων (*Plan Risk Management*)

Ο σχεδιασμός διαχείρισης κινδύνου είναι η διαδικασία κατά την οποία καθορίζεται ο τρόπος εκτέλεσης των δραστηριοτήτων της διαχείρισης κινδύνων για ένα έργο. Το βασικό όφελος αυτής της διαδικασίας είναι ότι εξασφαλίζεται ο βαθμός και ο τύπος της διαχείρισης του κινδύνου, έτσι ώστε να είναι ανάλογοι με τους κινδύνους και τη σημασία του έργου (Rose,2013). Το σχέδιο διαχείρισης κινδύνου είναι ζωτικής σημασίας για την επικοινωνία των εμπλεκόμενων μερών του έργου, έτσι ώστε να υποστηρίζεται από όλους και να διασφαλίζεται η αποτελεσματική του εκτέλεση κατά τη διάρκεια ζωής του έργου. Σε αυτό περιλαμβάνονται (Jurie Steyn, 2018a):

- *Μεθοδολογία*: Οι διαδικασίες διαχείρισης κινδύνου, τα εργαλεία και οι πηγές δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν.
- *Ρόλοι και ευθύνες*: Ποιος είναι υπεύθυνος για να ηγηθεί και να υποστηρίξει τις διάφορες δραστηριότητες διαχείρισης κινδύνου.
- *Χρηματοδότηση*: Προσδιορίζεται η χρηματοδότηση που απαιτείται για τις δραστηριότητες διαχείρισης κινδύνου και καθορίζονται πρωτόκολλα για την εφαρμογή των κονδυλίων.
- *Χρονοδιάγραμμα*: Καθορίζεται το χρονοδιάγραμμα των διαφόρων δραστηριοτήτων διαχείρισης κινδύνου κατά τη διάρκεια του χρονοδιαγράμματος του έργου και τη συχνότητα των συνεδριάσεων.
- *Κατηγορίες κινδύνου*: Ομαδοποιούνται οι κίνδυνοι σε κατηγορίες
- *Ορισμοί πιθανότητας και επιπτώσεων κινδύνου*: Ορίζονται οι έννοιες του κινδύνου και της πιθανότητας. Επιπλέον καθορίζονται οι μέθοδοι μέτρησης αυτών στα πλαίσια του έργου.
- *Αναφορές*: Καθορίζεται ο τρόπος τεκμηρίωσης, ανάλυσης, αναφοράς και επικοινωνίας των αποτελεσμάτων της διαδικασίας διαχείρισης κινδύνου του έργου.
- *Παρακολούθηση και έλεγχος*: Εξετάζεται η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας διαχείρισης κινδύνου.

3.1.3.2 Προσδιορισμός Κινδύνων (*Risks Identification*)

Δεδομένου ότι δεν είναι δυνατόν να διαχειριστεί κάποιος κίνδυνος ο οποίος δεν έχει πρώτα εντοπιστεί, κάποιοι θεωρούν τον προσδιορισμό των κινδύνων ως το σημαντικότερο βήμα στη διαχείριση κινδύνου. Περιλαμβάνει τον εντοπισμό των κινδύνων που είναι πιθανό να επηρεάσουν το έργο και την καταγραφή των χαρακτηριστικών τους. Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες τεχνικές για τον εντοπισμό κινδύνων, οι πιο συνηθισμένες από τις οποίες είναι οι παρακάτω (Hilson 2009; Jurie Steyn, 2018b):

- **Συνεντεύξεις:** Συνεντεύξεις από συμμετέχοντες στο έργο με εμπειρία, ενδιαφερόμενους και εμπειρογνώμονες με το αντικείμενο του έργου, βοηθούν στον εντοπισμό των κινδύνων. Ακόμη, μπορούν να πραγματοποιηθούν συνεντεύξεις με σημαντικούς μέτοχους του έργου για να αποκτηθεί και η δική τους προοπτική για τους κινδύνους που αντιμετωπίζει το έργο.
- **Brainstorming:** Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει ανταλλαγή ιδεών από την ομάδα του έργου αλλά και από εμπειρογνώμονες που δεν αποτελούν μέρος της ομάδας. Στόχος του είναι ο επαναπροσδιορισμός του προβλήματος για την αναγνώριση κινδύνων που διαφορετικά θα ήταν προβλέψιμοι.
- **Λίστες ελέγχου (Checklists):** είναι λίστες στοιχείων, ενεργειών ή σημείων που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από προηγούμενα έργα.
- **Ανάλυση SWOT (Ανάλυση Δυνατών και Αδύνατων Σημείων, Ευκαιριών και Κινδύνων):** κατά την ανάλυση SWOT το έργο εξετάζεται υπό την προοπτική των δυνατών και αδύνατων σημείων καθώς και υπό των ευκαιριών και απειλών για το έργο.
- **Ανάλυση παραδοχών:** μελετώνται οι παραδοχές και οι υποθέσεις στις οποίες βασίζεται το έργο όπως το εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον του έργου, το επιστημονικό υπόβαθρο του έργου κλπ. Έπειτα, συμπεραίνεται κατά πόσο υπάρχουν ανακρίβειες ή αστοχίες που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν επιπλέον κινδύνους για το έργο.

3.1.3.3 Ανάλυση Κινδύνων (Risk Analysis)

➤ Ποιοτική Ανάλυση Κινδύνων (Perform Qualitative Risk Analysis)

Η ποιοτική ανάλυση κινδύνων αφορά στην ποιοτική αξιολόγηση και ιεράρχηση των κινδύνων, που έχουν εντοπιστεί στο προηγούμενο στάδιο, ώστε να εκτιμηθούν οι διάφορες πιθανές εκβάσεις του έργου. Η ανάλυση ποιοτικού κινδύνου διασφαλίζει επίσης ότι κάθε κίνδυνος υψηλής προτεραιότητας έχει τον αντίστοιχο υπεύθυνο ο οποίος θα αναλάβει την ευθύνη για τον σχεδιασμό της κατάλληλης αντίδρασης σε ενδεχόμενους κινδύνους και την εξασφάλιση της εφαρμογής του.

Οι ποιοτικές μέθοδοι αξιολόγησης κινδύνου βασίζονται σε περιγραφικές κλίμακες και χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της πιθανότητας και της επίδρασης ενός κινδύνου. Αυτές οι σχετικά απλές τεχνικές ισχύουν όταν απαιτείται γρήγορη αξιολόγηση. Ο κύριος στόχος είναι να δοθεί προτεραιότητα στις πιθανές απειλές, προκειμένου να εντοπιστούν εκείνες που έχουν το μεγαλύτερο αντίκτυπο στο έργο. Κατά τη διάρκεια των φάσεων του έργου, οι κίνδυνοι ενδέχεται να μεταβληθούν και συνεπώς επανεξετάζονται τακτικά και ενημερώνονται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου. Οι κύριες μέθοδοι ποιοτικής ανάλυσης κινδύνων είναι οι παρακάτω (Rose,2013):

- Πιθανότητα κινδύνων και αξιολόγηση των επιπτώσεων (Risk probability and impact assessment)
- Μήτρα πιθανοτήτων - επιπτώσεων (Probability and Impact Matrix).

- Αξιολόγηση ποιότητας πληροφορίας κινδύνου (Risk Data Quality Assessment).
- Κατηγοριοποίηση Κινδύνων (Risk Categorization).
- Αποτίμηση επειγόντων κινδύνων (Risk Urgency Assessment). Απόψεις από Εμπειρογνώμονες (Expert Judgement)

➤ *Ποσοτική Ανάλυση Κινδύνων [Perform Quantitative Risk Analysis]*

Η ποσοτική ανάλυση κινδύνου είναι η διαδικασία αριθμητικής ανάλυσης της επίδρασης των προσδιορισμένων κινδύνων στους συνολικούς στόχους του έργου. Το βασικό όφελος αυτής της διαδικασίας είναι ότι παράγει ποσοτικές πληροφορίες για τους κινδύνους με στόχο τη στήριξη λήψης αποφάσεων, προκειμένου να μειωθεί η αβεβαιότητα του έργου. Η εκτέλεση της ποσοτικής ανάλυσης κινδύνου γίνεται έπειτα από την ποιοτική ανάλυση κινδύνου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ενδέχεται να μην είναι δυνατή η εκτέλεση της διαδικασίας ποσοτικής ανάλυσης κινδύνου λόγω έλλειψης επαρκών δεδομένων για την ανάπτυξη κατάλληλων μοντέλων. Απαιτεί συνήθως εξειδικευμένο λογισμικό αξιολόγησης κινδύνου και εμπειρογνωμοσύνη στην ανάπτυξη και ερμηνεία μοντέλων κινδύνου και μπορεί να αποδειχθεί δαπανηρό από πλευράς χρόνου και χρήματος. Η ανάγκη και η χρήση της ποσοτικής ανάλυσης κινδύνου για ένα έργο θα προσδιοριστεί στο σχέδιο διαχείρισης κινδύνου του έργου. Η διεξαγωγή ποσοτικής ανάλυσης κινδύνων θα πρέπει να επαναλαμβάνεται, όπως απαιτείται, ως μέρος της διαδικασίας του ελέγχου κινδύνων για να διαπιστωθεί εάν ο συνολικός κίνδυνος του έργου έχει μειωθεί ικανοποιητικά.

Μια επιλογή από τεχνικές ανάλυσης δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ποσοτική ανάλυση κινδύνου, όπως (Rose, 2013; Jurie Steyn, 2018b):

- Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity analysis)
- Υπολογισμός Αναμενόμενης Αξίας (Expected Value Calculation)
- Μοντελοποίηση και Προσομοίωση (Modeling and simulation)
- Δέντρα Αποφάσεων (Decision tree analysis)

Κρίσιμος παράγοντας της ανάλυσης κινδύνου είναι ο προσδιορισμός της πιθανότητας εμφάνισης προσδιορισμένων κινδύνων. Υπάρχει, συνεπώς, η ανάγκη για μια υποκειμενική προσέγγιση για την εκτίμηση του κινδύνου, με την απαραίτητη αντικειμενικότητα στη μεθοδολογία. Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP), την οποία θα χρησιμοποιήσουμε στη παρούσα διπλωματική, παρέχει ένα ευέλικτο και εύκολα κατανοητό τρόπο για την ανάλυση των κινδύνων του έργου. Πρόκειται για μια μεθοδολογία λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων, η οποία επιτρέπει τον υποκειμενικό και αντικειμενικό παράγοντα να λαμβάνεται υπόψη στην ανάλυση κινδύνου του έργου. ΗΑHP, όπως θα αναφερθεί και στο επόμενο κεφάλαιο, επιτρέπει την ενεργό συμμετοχή των

υπευθύνων λήψης αποφάσεων για την επίτευξη συμφωνίας, και δίνει στους διαχειριστές μια ορθολογική βάση για τις αποφάσεις που λαμβάνουν (Dey, 2001).

3.1.3.4 Σχεδιασμός Απόκρισης σε Κινδύνους (*Plan Risk Responses*)

Μόλις εντοπιστούν και αξιολογηθούν οι κίνδυνοι, το επόμενο βήμα είναι να αποφασιστεί η κατάλληλη δράση που πρέπει να ληφθεί με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες κινδύνου. Το βήμα αυτό, περιλαμβάνει την ανάπτυξη επιλογών, την επιλογή στρατηγικών και την αποδοχή δράσεων για την αντιμετώπιση της συνολικής έκθεσης σε κινδύνους έργου, καθώς και τον καλύτερο τρόπο αντιμετώπισης των κινδύνων και ευκαιριών του έργου. Αυτό το τμήμα χωρίζεται σε στρατηγικές αντιμετώπισης κινδύνων ή απειλών και εκείνων που διαχειρίζονται τις ευκαιρίες (Jurie Steyn, 2018b).

3.1.3.5 Έλεγχος Κινδύνων (*Control Risks*)

Ο έλεγχος κινδύνων περιλαμβάνει την εφαρμογή σχεδίων αντιμετώπισης κινδύνων, την παρακολούθηση προσδιορισμένων κινδύνων, τον εντοπισμό νέων κινδύνων και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας αντιμετώπισης των κινδύνων στο σύνολο του έργου. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι ότι βελτιώνει συνεχώς την αποδοτικότητα της προσέγγισης κινδύνου καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου βελτιστοποιώντας την απόκριση στους εκάστοτε κινδύνους.

3.2 Κίνδυνοι στα Έργα ΥΦΑ

Η βιομηχανία του ΥΦΑ έχει εξαιρετικό ιστορικό ασφαλείας. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στον συνδυασμό των πρακτικών της βιομηχανίας και των κανονισμών που ισχύουν για την πρόληψη ατυχημάτων και τη μείωση των επιπτώσεων εάν συμβούν. Η ασφαλής λειτουργία των εγκαταστάσεων ΥΦΑ, τόσο των πλοίων όσο και των τερματικών σταθμών, αποτελεί μέριμνα και ευθύνη των συμμετεχόντων. Οι κίνδυνοι που υπάρχουν στον χειρισμό του ΥΦΑ και του ΦΑ είναι σημαντικό να μην υποτιμηθούν ούτε και να υπερεκτιμηθούν.

Ωστόσο, η διαρροή του μπορεί να οδηγήσει σε διάφορα επικίνδυνα σενάρια, κυρίως επειδή το ΥΦΑ έχει χαμηλή θερμοκρασία βρασμού και είναι εύφλεκτο όταν εξατμιστεί και αναμιχθεί με τον αέρα σε συγκεκριμένη αναλογία. Οι κυριότεροι κίνδυνοι του ΥΦΑ αναλύονται παρακάτω.

3.2.1 Πυρκαγιές

Ο κίνδυνος ενδεχόμενης πυρκαγιάς και έκρηξης στις εγκαταστάσεις ΥΦΑ μπορεί να προκύψει έπειτα από διαρροές ΥΦΑ, ιδίως κατά τη μεταφορά, συμπεριλαμβανομένων των δραστηριοτήτων φόρτωσης και εκφόρτωσης. Απαιτείται επίσης η ύπαρξη πηγών ανάφλεξης. Οι υπεύθυνοι για το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων ΥΦΑ προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν τις πηγές ανάφλεξης όπως τα οχήματα, τις σπίθες που σχετίζονται με τη συσσώρευση στατικού ηλεκτρισμού, τις πηγές

θερμότητας, όπως οι κλίβανοι διεργασίας και τις αστραπές, αλλά ποτέ δεν μπορεί να εκμηδενισθεί η πιθανότητα ανάφλεξης. Εάν δεν υπάρχει ανάφλεξη, το ΥΦΑ θα εξατμιστεί γρήγορα, θα εξαπλωθεί και θα μεταφερθεί προς την υπήνεμη πλευρά αφού έχει αραιωθεί κάτω από το όριο ευφλεκτότητας του χωρίς ζημιολόγους συνέπειες. Σε περίπτωση ανάφλεξης, το ΥΦΑ παρουσιάζει τα παρακάτω τέσσερα σενάρια κινδύνου πυρκαγιάς (Mokhatab et al.,2013):

- Πυρκαγιά Λίμνης(Pool fire): εάν το ΥΦΑ διαρρεύσει κοντά σε μια πηγή ανάφλεξης, το αέριο που εξατμίζεται θα καεί πάνω από την κηλίδα που θα έχει δημιουργηθεί κατά τη διαρροή. Η κηλίδα που θα σχηματιστεί θα αρχίσει να εξαπλώνεται και αντίστοιχα θα εξαπλώνεται και η πυρκαγιά. Μια «πυρκαγιά λίμνης» έχει υψηλότερη ένταση εκλυόμενης θερμότητας από τις πυρκαγιές πετρελαίου ή βενζίνης και προκειμένου να σβήσει πρέπει να καταναλωθεί πρώτα όλο το ΥΦΑ. Επιπλέον, η θερμική της ακτινοβολία μπορεί να τραυματίσει ανθρώπους και να φέρει υλικές ζημιές σε ιδιοκτησίες σε μεγάλη απόσταση από την ίδια τη φωτιά. Πολλοί ειδικοί συμφωνούν ότι μια μεγάλη πυρκαγιά λίμνης, ειδικά στο νερό, είναι ο σοβαρότερος κίνδυνος από ΥΦΑ.
- Πυρκαγιά νέφους αερίων (Varour cloud flash fire): εάν το ΥΦΑ διαρρεύσει αλλά δεν υπάρξει άμεση ανάφλεξη, το αέριο που έχει εξατμισθεί θα σχηματίσει ένα σύννεφο ατμών και μπορεί να προχωρήσει σε κάποια απόσταση από το σημείο διαρροής κατά τη φορά του ανέμου. Εάν το σύννεφο ατμών βρει στη συνέχεια μια πηγή ανάφλεξης, τα τμήματα του νέφους που υπερβαίνουν τα κατώτερα όρια αναφλεξιμότητας θα αναφλεγούν. Μια πυρκαγιά νέφους αερίων θα συνεχίσει την ανάφλεξη προς την πηγή της διαρροής του ΥΦΑ και θα συνεχίσει ως πυρκαγιά λίμνης (pool fire).
- Πυρκαγιά Τζετ (Jet Fire):σε μια διαρροή υπό πίεση εφόσον υπάρξει πηγή ανάφλεξης θα εμφανιστεί μια «γλώσσα φωτιάς», η οποία θα συνεχίσει να καίει σαν φλόγιστρο. Μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές, αλλά θα περιορίζεται τοπικά. Αυτός ο τύπος πυρκαγιάς δεν είναι πιθανός να συμβεί σε δεξαμενές αποθήκευσης ΥΦΑ δεδομένου ότι δεν αποθηκεύεται συνήθως υπό πίεση. Εντούτοις, πυρκαγιές μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια εργασιών εκφόρτωσης ή μεταφοράς υπό πίεση της αντλίας.

Έκρηξη Αερίου Νέφους (Varour cloud explosions): το μεθάνιο ταξινομείται ως ένας από τους λιγότερο ενεργούς υδρογονάνθρακες ως προς την ανάφλεξή του σε ανοιχτούς χώρους. Μόνο εάν ο εύφλεκτος αέρας βρίσκεται σε περιορισμένη περιοχή, οι ταχύτητες της φλόγας επιταχύνονται για να σχηματίσουν έναν τύπο έκρηξης. Οι εκρήξεις αυτές απαιτούν συνήθως μεγάλα σύννεφα ατμών σε περιορισμένο χώρο για να δημιουργήσουν εκρήξεις που θα έχουν αρνητικές συνέπειες. Μεγάλα αναφλεγμένα σύννεφα ατμού που βρίσκονται σε ανοιχτό χώρο,

για παράδειγμα σε δρόμο, δεν θα δημιουργήσουν έκρηξη, αλλά εάν το ίδιο σύννεφο βρίσκεται σε μια πιο περιορισμένη περιοχή, υπάρχει η πιθανότητα να συμβεί (Drube et al., 2012).

3.2.2 Κρυογενικά εγκαύματα

Το ΥΦΑ είναι ένα κρυογενικό υγρό με θερμοκρασία βρασμού στους $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. Όταν διαρρέει παραμένει στη θερμοκρασία βρασμού πριν εξατμιστεί. Η αποθήκευση και ο χειρισμός του ΥΦΑ μπορούν να εκθέσουν το προσωπικό σε επαφή με υγρά, ατμούς ή στερεές επιφάνειες πολύ χαμηλής θερμοκρασίας. Το ιξώδες των κρυογενικών υγρών είναι χαμηλό, πράγμα που σημαίνει ότι διαπερνούν πορώδη υλικά ρούχων πιο γρήγορα από το νερό. Η επαφή με ένα κρυογενικό μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στο δέρμα και τα μάτια. Τα κρυογενικά εγκαύματα μπορεί να προκληθούν και από την έκθεση στον κρύο ατμό, αλλά με πολύ πιο αργό ρυθμό. Μπορεί επίσης να κάνει τα συνήθη μέταλλα, τα πλαστικά, το καουτσούκ και ορισμένα υλικά ένδυσης να υποστούν ψαθυροποίηση. Συνεπώς, οι κρυογενικές λειτουργίες απαιτούν εξειδικευμένες διαδικασίες, εξοπλισμό και προστατευτικό ρουχισμό. Πρέπει να παρέχεται πάντα κατάρτιση για την εκπαίδευση των εργαζομένων, όσον αφορά τους κινδύνους επαφής με κρυογενικές υγρές και ψυχρές επιφάνειες και την ανάγκη για εξοπλισμό ατομικής προστασίας (π.χ. γάντια, μονωμένα ρούχα; βλ. και (Mokhatab et al., 2013).

3.2.3 Ανατροπή (Rollover)

Η αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ΥΦΑ σε δεξαμενές έχει ως ενδεχόμενο την εκδήλωση ενός φαινομένου γνωστού ως «ανατροπή» (rollover). Η ανατροπή συμβαίνει όταν για μια περίοδο ανεπαρκούς ανάμιξης το ΥΦΑ διαχωρίζεται σε δύο στρώματα λόγω των διαφορετικών πυκνοτήτων στις δεξαμενές αποθήκευσης που συνήθως πραγματοποιείται κατά την εισαγωγή φορτίων διαφορετικής πυκνότητας. Εντός των στρωμάτων αυτών, η πυκνότητα του υγρού είναι ομοιόμορφη, ωστόσο το στρώμα που βρίσκεται στον πυθμένα αποτελείται από υγρό που είναι πυκνότερο από το υγρό του υπερκείμενου στρώματος. Ακολούθως, αν η κατάσταση αυτή διατηρηθεί για κάποια χρονική περίοδο, η εισροή θερμότητας στη δεξαμενή θα αυξήσει την ενέργεια του κατώτερου στρώματος, με αύξηση της θερμοκρασίας του και κατά συνέπεια μείωση της πυκνότητάς του.

Όταν οι πυκνότητες των δύο στρωμάτων προσεγγίσουν την ισορροπία, τότε υπάρχει η δυνατότητα να συμβεί το φαινόμενο της «ανατροπής». Καθώς τα δύο στρώματα αναμιγνύονται, τα απαέρια του κατώτερου στρώματος απελευθερώνονται, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε παραγωγή υψηλού ποσοστού αερίων. Αυτός ο ρυθμός αύξησης της εξάτμισης των απαερίων μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερος από τον κανονικό ρυθμό της δεξαμενής και σε μερικές περιπτώσεις η άνοδος της πίεσης στη δεξαμενή αρκεί για να προκαλέσει εκτόνωση της πίεσης μέσω των βαλβίδων.

Το φαινόμενο είναι γνωστό ως «ανατροπή» (rollover), που σημαίνει ότι τα στρώματα κυλούν ή αντιστρέφονται. Από τεχνική άποψη, αυτό δεν συμβαίνει ακριβώς, αλλά αυτή η ορολογία έχει καθιερωθεί αρκετά σε ολόκληρο τον κλάδο. Ανάλογα με τη σοβαρότητα του συμβάντος, τα αποτελέσματα μπορεί να κυμαίνονται από μικρή αύξηση της πίεσης στη δεξαμενή για μικρό χρονικό διάστημα μέχρι και σημαντική απώλεια του προϊόντος για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσω των βαλβίδων εκτόνωσης της δεξαμενής. Αν και δεν θεωρείται πολύ πιθανό, σε περίπτωση έκτασης του εν λόγω φαινομένου υπάρχει η πιθανότητα βλάβης της δεξαμενής εξαιτίας της υπερβολικής πίεσης (GIIGNL, 2015). Για την πρόληψη αυτού του προβλήματος, οι δεξαμενές ΥΦΑ, διαθέτουν συστήματα προστασίας για την ανατροπή, τα οποία περιλαμβάνουν ανιχνευτές θερμοκρασίας και συστήματα ανάμιξης (Mokhatab et al., 2013).

3.2.4 Ταχεία μετάβαση φάσης (Rapid Phase Transition)

Η ταχεία μετάβαση φάσης ορίζεται ως η διαδικασία που λαμβάνει χώρα όταν ένα υγρό μεταβάλλεται ταχέως σε αέριο και η μεγάλη αύξηση όγκου του μίγματος (λόγω της δημιουργίας αερίου) δημιουργεί μια τοπική αύξηση της πίεσης που μπορεί να προκαλέσει ένα κύμα εκρήξεως (Cleaver et al., 1998). Έτσι ορισμένες φορές οι διαρροές του ΥΦΑ σε νερό μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την ταχεία μετάβαση φάσης (RPT). Ουσιαστικά πρόκειται για μια υπερπίεση, χωρίς φλόγα, που προκαλείται από την πολύ υψηλή ταχύτητα μεταφοράς θερμότητας από το νερό στο ΥΦΑ. Αυτό αναγκάζει το ΥΦΑ να αλλάξει γρήγορα από την υγρή στην αέρια φάση δημιουργώντας ένα ταχέως αναπτυσσόμενο νέφος ατμών. Το σύννεφο μπορεί να επεκταθεί τόσο γρήγορα ώστε να δημιουργηθεί ηχητική έκρηξη και τοπική υπερπίεση. Η "έκρηξη" ταχείας μετάβαση φάσης για ΥΦΑ στο νερό έχει παρατηρηθεί και μελετηθεί εκτενώς τόσο σε εργαστηριακές όσο και σε δοκιμές μεγάλης κλίμακας. Κατά την εκδήλωση του φαινομένου σε δοκιμές μεγάλης κλίμακας, η πραγματική απελευθέρωση ενέργειας είναι μέτρια. Η ταχεία μετάβαση φάσης είναι ένα πολύ απρόβλεπτο φαινόμενο και οι ακριβείς συνθήκες του σχηματισμού του παραμένουν ασαφείς. Η θερμοκρασία του νερού και η πραγματική σύνθεση του ΥΦΑ συνιστούν σημαντικούς παράγοντες για την πρόβλεψη της ύπαρξης ή όχι μιας ταχείας μετάβαση φάσης (GIIGNL, 2019c).

3.3 Επιλογή Κινδύνων Χωροθέτησης Μονάδων ΥΦΑ

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται οι κίνδυνοι που επιλέχθηκαν για το έργο της χωροθέτησης μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας. Η επιλογή των κινδύνων προέκυψε αφού λήφθηκαν υπόψη όσα αναφέρθηκαν στις ενότητες 3.1 και 3.2 αλλά και της νομοθεσίας που ισχύει ως κανονιστικό πλαίσιο για το ΥΦΑ και για τις μονάδες/υποδομές ΥΦΑ που κατασκευάζονται και αδειοδοτούνται στην Ελλάδα. Η νομοθεσία που συλλέχθηκε παρατίθεται στο Παράρτημα Α.

Πιο συγκεκριμένα, οι κίνδυνοι για την χωροθέτηση της μονάδας ΥΦΑ παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2. Παρατηρείται ότι οι κύριες κατηγορίες των κινδύνων που προέκυψαν είναι επτά (7) ενώ κάθε κατηγορία υποδιαιρείται σε επιμέρους κινδύνους (υποσύνολα) μέσω των οποίων καθίσταται εφικτή η περαιτέρω ανάλυση και αξιολόγηση της επικινδυνότητας μιας μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας.

Πίνακας 3.2 Κατηγορίες Κινδύνων και Κίνδυνοι Χωροθέτησης Μονάδων ΥΦΑ

Κατηγορία Κινδύνου	Κίνδυνοι
Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι	<ol style="list-style-type: none"> 1. Προστατευόμενες περιοχές - υδροβιότοποι (NATURA, κλπ.) 2. Μνημεία Αρχαιολογικού και Πολιτιστικού ενδιαφέροντος 3. Δασικά Οικοσυστήματα/Δρυμοί 4. Θέσεις Προστασίας της άγριας ζωής (καταφύγια, habitats, κλπ.) 5. Θαλάσσια οικοσυστήματα (π.χ. συστήματα Ποσειδωνίας) 6. Προστατευόμενα είδη θαλάσσια ζωής (π.χ. χελώνες caretta-caretta, κλπ.) 7. Ενότητα και Αισθητική τοπίου
Κίνδυνοι για την Ασφάλεια	<ol style="list-style-type: none"> 1. Οικιστικές περιοχές 2. Πολιτικά Αεροδρόμια 3. Λιμενικές υποδομές 4. Στρατιωτικές εγκαταστάσεις 5. Βιομηχανικές/Εφοδιαστικές υποδομές 6. Μεταλλευτικές/Λατομικές περιοχές 7. Κτίρια ευάλωτων πληθυσμών (σχολεία, νοσοκομεία, κλπ.) 8. Μονάδες Ηλεκτροπαραγωγής
Γεωλογικοί / Γεωτεχνικοί Κίνδυνοι	<ol style="list-style-type: none"> 1. Σεισμικότητα 2. Παρουσία Τεκτονικών ρηγμάτων 3. Τοπογραφία (μορφολογία εδάφους, κλίσεις, κλπ.) 4. Μορφολογία βυθού και ακτογραμμής 5. Ευστάθεια σχηματισμών και πρανών 6. Κατολισθήσεις/Καθιζήσεις 7. Υδρογεωλογία - Υδρογραφία
Μετεωρολογικοί/Ωκεανογραφικοί Κίνδυνοι	<ol style="list-style-type: none"> 1. Κλιματολογικές συνθήκες 2. Δράση ανέμου (ένταση, ταχύτητα, διεύθυνση) 3. Παλίρροιες – Θαλάσσια ρεύματα <p>Άλλοι Φυσικοί κίνδυνοι</p>
Τεχνοοικονομικοί Κίνδυνοι	<ol style="list-style-type: none"> 1. Κόστος Κατασκευής 2. Κόστος Απόκτηση γης 3. Ανεπάρκεια/ακαταλληλότητα οδικού δικτύου 4. Απόσταση από λιμάνι 5. Απόσταση από βιομηχανικούς καταναλωτές 6. Δυνατότητα επέκταση 7. Εμπλοκή με μελλοντικά έργα <p>Χρηματοδότηση έργου</p>

Πίνακας 3.2 Κατηγορίες Κινδύνων και Κίνδυνοι Χωροθέτησης Μονάδων ΥΦΑ (συνέχεια)

Κατηγορία Κινδύνου	Κίνδυνοι
Κοινωνικοί Κίνδυνοι	<ol style="list-style-type: none">1. Αντίδραση Τοπικών Αρχών2. Αντιδράσεις Τοπικής Κοινωνίας3. Αντισταθμιστικά οφέλη4. Δημόσια Υγεία5. Οικονομία / Απασχόληση
Κίνδυνοι λόγω Απαιτήσεων της Νομοθεσίας	<ol style="list-style-type: none">1. Νομοθεσία και Απαιτήσεις αδειοδότησης2. Χρόνος διαδικασιών και εγκρίσεων3. Αλλαγές Νομοθεσίας / Θεσμικού πλαισίου4. Περιορισμοί χρήσεις γης

Κεφάλαιο 4

Μέθοδος Πολυκριτηριακής Ανάλυσης για την Εκτίμηση των Κινδύνων

4.1 Μέθοδοι Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων

Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των οικονομικών και κοινωνικών συστημάτων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πολυπλοκότητας των σχετικών προβλημάτων απόφασης. Η σημερινή επιχειρησιακή πραγματικότητα αντιμετωπίζει σύνθετα προβλήματα λήψης αποφάσεων και οι εκάστοτε αποφασίζοντες καλούνται να προτείνουν λύσεις από ένα πλήθος πιθανών εναλλακτικών λύσεων με αντικρουόμενα χαρακτηριστικά. Η λήψη αποφάσεων, βασισμένη αποκλειστικά σε προηγούμενες εμπειρίες, κρίσεις και διαίσθηση, έχει γίνει αρκετά δύσκολη, καθώς το ανθρώπινο μυαλό δεν είναι σε θέση να αντιληφθεί όλες τις λεπτομέρειες και τις πολλές παραμέτρους. Για το λόγο αυτό πλέον εφαρμόζονται μαθηματικά μοντέλα για την εξεύρεση λύσεων με στόχο την κατά το δυνατόν βέλτιστη λύση με τις λιγότερες συγκρούσεις (Chourabi et al., 2018). Ο πιο γνωστός κλάδος στη λήψη αποφάσεων είναι η Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων (Multi-Criteria Decision Analysis MCDA ή Multi-Criteria Decision Making-MCDM) (βλ. και Triantaphyllou et al., 1998).

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων αποτελεί έναν εξελισσόμενο χώρο της επιχειρησιακής έρευνας που αφορά τη λήψη αποφάσεων παρουσία πολλαπλών κριτηρίων με αντικρουόμενους στόχους. Ασχολείται με το σχεδιασμό μαθηματικών και υπολογιστικών εργαλείων για την υποστήριξη της υποκειμενικής αξιολόγησης ενός πεπερασμένου αριθμού εναλλακτικών λύσεων απόφασης με ένα πεπερασμένο αριθμό κριτηρίων από έναν μόνο λήπτη αποφάσεων ή από μια ομάδα. Ακόμα υποστηρίζει τον αποφασίζοντα για τη λήψη ορθολογικής απόφασης παρέχοντας υποδείγματα σύνθεσης όλων των βασικών παραμέτρων ενός προβλήματος. Χρησιμοποιεί γνώσεις από πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων των μαθηματικών, της οικονομικής επιστήμης, της τεχνολογίας των υπολογιστών, της ανάπτυξης λογισμικού και των συστημάτων πληροφόρησης (Behzadian et al., 2012). Έχουν αναπτυχθεί πλήθος μεθοδολογικών προσεγγίσεων, οι οποίες μπορεί να έχουν σημαντικές διαφορές, ωστόσο πολλές από αυτές έχουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά, τα οποία είναι τα ακόλουθα (Triantaphyllou et al., 1998):

- *Εναλλακτικές λύσεις (Alternatives)*: Οι εναλλακτικές λύσεις αντιπροσωπεύουν τις διαφορετικές επιλογές που διαθέτει ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων. Συνήθως, το σύνολο των εναλλακτικών λύσεων θεωρείται πεπερασμένο.
- *Πολλαπλά χαρακτηριστικά (Multiple Attributes)*: Κάθε πρόβλημα πολυκριτηριακής ανάλυσης σχετίζεται με πολλαπλά χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αναφέρονται επίσης ως "στόχοι" ή "κριτήρια απόφασης". Τα χαρακτηριστικά αντιπροσωπεύουν τις διαφορετικές διαστάσεις τις οποίες μπορεί να έχουν οι εναλλακτικές λύσεις.
- *Αντικρουόμενα χαρακτηριστικά (Conflict among attributes)*: Δεδομένου ότι τα διαφορετικά χαρακτηριστικά αντιπροσωπεύουν τις διαφορετικές διαστάσεις των εναλλακτικών λύσεων, ενδέχεται να έρχονται σε σύγκρουση μεταξύ τους. Για παράδειγμα, το κόστος μπορεί να συγκρούεται με το κέρδος, κλπ.
- *Διαφορετικές μονάδες μέτρησης (Incommensurable units)*: Τα διαφορετικά χαρακτηριστικά μπορεί να έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης. Για παράδειγμα, στην περίπτωση αγοράς μεταχειρισμένου αυτοκινήτου, τα χαρακτηριστικά "κόστος" και "χιλιόμετρα" (απόσταση που έχει διανύσει το όχημα) μπορούν να μετρηθούν σε χρηματικές μονάδες και χιλιόμετρα, αντίστοιχα.
- *Βάρη απόφασης (Decision weights)*: Οι περισσότερες από τις μεθόδους απαιτούν να αποδίδονται βάρη σπουδαιότητας στα χαρακτηριστικά. Συνήθως, αυτά τα βάρη κανονικοποιούνται (normalization) έτσι ώστε το σύνολό τους να ισοδυναμεί με την μονάδα.
- *Μητρώο απόφασης (Decision Matrix)*: Ένα πρόβλημα πολυκριτηριακής ανάλυσης μπορεί εύκολα να εκφραστεί σε μορφή μητρώου. Ένα μητρώο απόφασης A είναι το μητρώο $(M \times N)$ στο οποίο το στοιχείο a_{ij} υποδεικνύει την απόδοση της εναλλακτικής A_i όταν αξιολογείται με βάση το κριτήριο απόφασης C_j (για $i = 1, 2, 3, \dots, M$, και $j = 1, 2, 3, \dots, N$). Τα βάρη της σχετικής απόδοσης των κριτηρίων τα καθορίζει ο υπεύθυνος λήψης απόφασης (τα βάρη συμβολίζονται ως W_j , για $j = 1, 2, 3, \dots, N$).

Με τα χρόνια έχει προταθεί πληθώρα μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Κάθε μέθοδος έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και διαφοροποιείται με τις υπόλοιπες στο θεωρητικό υπόβαθρο, στον τύπο των ερωτήσεων που θέτουν, καθώς και το είδος των αποτελεσμάτων που λαμβάνει ο χρήστης της μεθόδου (Løken, 2005). Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους μπορεί κανείς να ταξινομήσει τις μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης. Κάποιες από τις κατηγοριοποιήσεις είναι βάσει:

1. Του τύπου των δεδομένων που χρησιμοποιούν, όπου διακρίνονται σε (Triantaphyllou et al., 1998):
 - Διακριτές
 - Στοχαστικές
 - Ασαφείς και
 - Συνδυασμός των παραπάνω τύπων
2. Του αριθμού των συμμετεχόντων στην λήψη απόφασης, όπου διακρίνονται σε (Triantaphyllou et al., 1998):
 - Ατομικές και
 - Ομαδικές
3. Την μορφή των υποδειγμάτων και τον τρόπο ανάπτυξής τους (Pardalos et al., 1995), όπου διακρίνονται στις εξής μεθόδους:
 - Τον πολυκριτήριο μαθηματικό προγραμματισμό (multiobjective mathematical programming).
 - Την πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας (multiattribute utility theory).
 - Την θεωρία των σχέσεων υπεροχής (outranking relations).
 - Την αναλυτική-συνθετική προσέγγιση (preference disaggregation approach)

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης, η οποία ανταποκρίνεται καλύτερα στις απαιτήσεις ενός συγκεκριμένου προβλήματος λήψης αποφάσεων δεν είναι εύκολη. Ως εκ τούτου, ανάλογα με το πλαίσιο λήψης αποφάσεων και το είδος του προβλήματος που πρέπει να επιλυθεί, ορισμένες μέθοδοι είναι πιο κατάλληλες από άλλες για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων (Sapienza et al., 2016). Από τις πιο γνωστές μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytical Hierarchy Process, AHP), η οποία επιλέχθηκε στην παρούσα διπλωματική και θα παρουσιασθεί στην ενότητα 4.2. Ακόμη κάποιες από τις μεθόδους που έχουν μεγάλη εφαρμογή είναι η μέθοδος Weighted Sum Model (WSM), η μέθοδος Elimination and Choice Translating Reality (ELECTRE) και η μέθοδος Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) (βλ. και Triantaphyllou et al., 1998), οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια.

4.1.1 Η Μέθοδος Weighted Sum Model (WSM)

Η μέθοδος Weighted Sum Model (WSM) είναι πιθανώς η πιο συνηθισμένη μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης. Η βασική υπόθεση που διέπει το μοντέλο είναι αυτή της προσθετικής χρησιμότητας (additive utility assumption), δηλαδή η συνολική αξία μιας εναλλακτικής είναι ίση με το άθροισμα των επιμέρους επιδόσεων της εναλλακτικής στη βάση κάθε κριτηρίου που διέπει το

πρόβλημα λήψης απόφασης. Πιο αναλυτικά, εάν υπάρχουν M εναλλακτικές και N κριτήρια, τότε η καλύτερη εναλλακτική λύση είναι εκείνη που ικανοποιεί την παρακάτω σχέση:

$$A_{WSM} = \max_i \sum_{j=1}^N q_{ij} w_j, \text{ για } i=1,2,3,\dots,M$$

Όπου A_{WSM} είναι η τιμή της καλύτερης εναλλακτικής, N είναι ο αριθμός των κριτηρίων απόφασης, q_{ij} είναι η πραγματική αξία της i -ης εναλλακτικής σε όρους του κριτηρίου j , και w_j είναι το βάρος της σπουδαιότητας του κριτηρίου j .

Η εφαρμογή της μεθόδου σε μονοδιάστατα προβλήματα, όπου όλες οι μονάδες είναι οι ίδιες, πραγματοποιείται με ευκολία, ωστόσο, δημιουργούνται δυσκολίες όταν εφαρμόζεται σε πολυδιάστατα προβλήματα, όπου υπάρχουν διαφορετικές διαστάσεις και συνεπώς διαφορετικές μονάδες, καθώς παραβιάζεται η υπόθεση προσθετικής χρησιμότητας και το αποτέλεσμα είναι ισοδύναμο με την «προσθήκη μήλων και πορτοκαλιών» (Triantaphyllou et al., 1998).

4.1.2 Η Μέθοδος *Elimination and Choice Translating Reality (ELECTRE)*

Η μέθοδος ELECTRE πρωτοεμφανίστηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1960 (Triantaphyllou et al., 1998) και περιλαμβάνει μία οικογένεια μεθόδων (ELECTRE I, II, III, IV, IS, TRI) που διαφέρουν ως προς τον βαθμό της πολυπλοκότητας, τις λεπτομέρειες των απαιτούμενων πληροφοριών καθώς και τη φύση των προβλημάτων που εφαρμόζονται (Pavan and Todeschini, 2009).

Η βασική ιδέα της μεθόδου ELECTRE είναι η ανάπτυξη σχέσεων υπεροχής με τη χρήση συγκρίσεων ανά ζεύγη μεταξύ των εναλλακτικών για καθένα από τα κριτήρια ξεχωριστά. Η σχέση υπεροχής του A_i προς το A_j περιγράφει ότι ακόμα και όταν η i -η εναλλακτική λύση δεν κυριαρχεί ποσοτικά της j -η εναλλακτικής, ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων μπορεί να αναλάβει τον κίνδυνο να θεωρήσει το A_i ως καλύτερο από το A_j . Οι εναλλακτικές λύσεις που κυριαρχούν είναι αυτές που υπερέχουν σε ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά σε σχέση με τις υπόλοιπες εναλλακτικές, ενώ τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά τους θεωρούνται ίσα (Triantaphyllou et al., 1998).

Αυτή η μέθοδος χειρίζεται κριτήρια τόσο ποσοτικής όσο και ποιοτικής φύσης και παρέχει πλήρη κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων. Το πρόβλημα είναι να διαμορφωθεί έτσι ώστε να επιλέγει εναλλακτικές λύσεις που προτιμώνται σε σχέση με τα περισσότερα από τα κριτήρια. Οι συγκρίσεις γίνονται με τη βοήθεια των δεικτών συμφωνίας και ασυμφωνίας (concordance, disconcordance indices) όπου ορίζονται συγκεκριμένες τιμές ως κατώφλια (threshold). Με βάση αυτούς τους δείκτες, αναπτύσσονται γραφήματα ως προς τις ισχυρές και αδύναμες σχέσεις. Αυτά τα γραφήματα χρησιμοποιούνται σε μια επαναληπτική διαδικασία για την επίτευξη της κατάταξης των εναλλακτικών επιλογών. Τέλος, η μέθοδος ELECTRE αποδίδει ένα ολόκληρο σύστημα δυαδικών σχέσεων μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων. Επειδή το σύστημα δεν είναι απαραίτητως πλήρες, η

μέθοδος ELECTRE μερικές φορές δεν είναι σε θέση να προσδιορίσει την προτιμώμενη εναλλακτική λύση. Παράγει μόνο έναν πυρήνα από κορυφαίες εναλλακτικές λύσεις. Αυτή η μέθοδος έχει μια σαφέστερη εικόνα των εναλλακτικών λύσεων εξαλείφοντας τις λιγότερο ευνοϊκές, το οποίο είναι ιδιαίτερα ευνοϊκό όταν αντιμετωπίζεται ένα πρόβλημα απόφασης με μικρό αριθμό κριτηρίων αλλά μεγάλο αριθμό εναλλακτικών λύσεων (Pohekar and Ramachandran, 2004).

4.1.3 Η Μέθοδος *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS)

Η μέθοδος TOPSIS αναπτύχθηκε από τους Hwang και Yoon στις αρχές της δεκαετίας του 1980, ως εναλλακτική λύση στη μέθοδο ELECTRE (Triantaphyllou et al., 1998). Η βασική ιδέα αυτής της μεθόδου είναι ότι η επιλεγμένη εναλλακτική λύση θα πρέπει να έχει τη μικρότερη γεωμετρική απόσταση από την θετική ιδανική λύση και την μεγαλύτερη από την αρνητική ιδανική λύση σε έναν πολυδιάστατο υπολογιστικό χώρο. Έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως το γεγονός ότι αποτελεί μια απλή διαδικασία και είναι εύκολη στη χρήση. Ο αριθμός των βημάτων παραμένει ο ίδιος ανεξάρτητα από τον αριθμό των χαρακτηριστικών. Ένα μειονέκτημα είναι ότι η χρήση της Ευκλείδειας Απόστασης, η οποία χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί η σχετική εγγύτητα των εναλλακτικών προς την ιδανική λύση, δεν λαμβάνει υπόψη τη συσχέτιση των χαρακτηριστικών. Το πλεονέκτημα της απλότητας και της ικανότητάς του να διατηρεί το ίδιο μέγεθος βημάτων ανεξάρτητα από το μέγεθος του προβλήματος, επέτρεψε την ταχεία αξιοποίησή της ως εργαλείο λήψης αποφάσεων (Velasquez and Hester, 2013).

4.1.4 Άλλες Μέθοδοι

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται κάποιες επιπλέον μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης μαζί με αυτές που ήδη αναφέρθηκαν και θεωρούνται από τις πιο διαδεδομένες.

Πίνακας 4.1 Μέθοδοι Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων και βασικά χαρακτηριστικά τους (Velasquez & Hester, 2013; Whaiduzzaman et al., 2014; Basbas, & Makridakis, 2007)

Μέθοδοι Πολυκριτηριακής Ανάλυσης	Αντικείμενο	Προσέγγιση	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Τομείς Εφαρμογής
Analytic Hierarchy Process (AHP)	Σύγκριση των χαρακτηριστικών κατά ζεύγη δομημένων σε ιεραρχίες	Χρήσιμη τεχνική για κριτήρια ιεραρχικής σχέσης	Εύχρηστη, η ιεραρχική δομή μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί για να ταιριάζει σε πολλά προβλήματα, διαθεσιμότητα λογισμικών φιλικών στο χρήστη, συμβατότητα με άλλες μεθόδους, δυνατότητα συμμετοχής ομάδας στη λήξη απόφασης	Προβλήματα λόγω αλληλεξάρτησης μεταξύ κριτηρίων και εναλλακτικών λύσεων που μπορεί να οδηγούν σε ασυνέπειες στην απόφαση και την κατάταξη των κριτηρίων, αντιστροφή κατάταξης, απουσία κατωφλίων	Προβλήματα απόδοσης, διαχείριση πόρων, εταιρική πολιτική και στρατηγική, δημόσια πολιτική, στρατηγική πολιτική και σχεδιασμός
Data Envelopment Analysis (DEA)	Αξιολόγηση της επάρκειας μιας παρατήρησης σε σχέση με ένα σύνολο παρόμοιων παρατηρήσεων	Μαθηματικός προγραμματισμός	Δυνατότητα χειρισμού πολλαπλών εισροών και εκροών, η αποδοτικότητα μπορεί να αναλυθεί και να ποσοτικοποιηθεί	Δεν εξετάζει τα ανακριβή δεδομένα. υποθέτει ότι όλες οι εισροές και οι εκροές είναι γνωστές	Οικονομία, ιατρική, υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, οδική ασφάλεια, γεωργία, λιανική και επιχειρηματικά προβλήματα
ELECTRE	Σύγκριση κατά ζεύγη μεταξύ των εναλλακτικών που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και την εξάλειψη εκείνων των εναλλακτικών που μειονεκτούν έναντι άλλων	Ελέγχει μόνο εάν μία εναλλακτική λύση είναι καλύτερη ή χειρότερη από την άλλη	Διαθεσιμότητα λογισμικού Λαμβάνει υπόψη την αβεβαιότητα και την ασάφεια	Δυσκολία κατανόησης της διαδικασίας επίλυσης, Αιθαίρετος ορισμός της σχέσης υπεροχής και των τιμών κατωφλίου Ανεπαρκής κατάταξη των εναλλακτικών επιλογών	Ενέργεια, οικονομία, περιβάλλον, διαχείριση υδάτων και προβλήματα μεταφοράς
Fuzzy Theory	Αξιολόγηση της σημαντικότητας των βαρών σε γλωσσικούς όρους που αντιπροσωπεύονται από ασαφείς αριθμούς	Γλωσσικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή ασαφών όρων στη συνέχεια αντιστοιχίζονται σε αριθμητικές μεταβλητές	Επιτρέπει την ασαφή εισαγωγή, λαμβάνει υπόψη ανεπαρκή στοιχεία	Δύσκολο να αναπτυχθεί, μπορεί να απαιτήσει πολυάριθμες προσομοιώσεις πριν από τη χρήση	Μηχανική, οικονομία, περιβάλλον, κοινωνία, ιατρική και διαχείριση

Πίνακας 4.1 Μέθοδοι Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων και βασικά χαρακτηριστικά (Velasquez & Hester, 2013, Whaiduzzaman et al., 2014, Basbas, & Makridakis, 2007)

(συνέχεια)

Μέθοδοι Πολυκριτηριακής Ανάλυσης	Αντικείμενο	Προσέγγιση	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Τομείς Εφαρμογής
Goal Programming (GP)	Εφαρμογή γραμμικού προγραμματισμού για την επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με πολλαπλά και αντικρουόμενα αντικείμενα	Συνδυασμός της λογικής της βελτιστοποίησης με τον μαθηματικό προγραμματισμό	Ικανότητα χειρισμού σε προβλήματα μεγάλης κλίμακας, μπορεί να παράγει άπειρες εναλλακτικές λύσεις.	Η ικανότητα να αποδίδει βάρη σε συντελεστές, συνήθως πρέπει να χρησιμοποιείται συνδυαστικά με άλλες μεθόδους για το σκοπό αυτό	Σχεδιασμός παραγωγής, προγραμματισμός, σύστημα υγείας, επιλογή χαρτοφυλακίου, συστήματα διανομής, ενεργειακός σχεδιασμός, διαχείριση υδάτων, διαχείριση άγριας ζωής
PROMETHEE	Παρόμοια με τη μέθοδο ELECTRE αλλά με διαφορετικό στάδιο σύγκρισης ανά ζεύγος	Λαμβάνει υπόψη το βαθμό στον οποίο μια εναλλακτική λύση διαφέρει από την άλλη	Ευκολία στη χρήση - Έξι εναλλακτικές συναρτήσεις προτίμησης για τη μοντελοποίηση των αποφάσεων, γεωμετρική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων, διαθεσιμότητα λογισμικού	Η επιλογή της συνάρτησης προτίμησης δεν μπορεί να αιτιολογηθεί πλήρως, δεν είναι πλήρως σαφής διαδικασία	Περιβάλλον, υδρολογία, διαχείριση υδάτων, χρηματοδότηση επιχειρήσεων, χημεία, εφοδιασμός και μεταφορές, παραγωγή, ενέργεια, γεωργία
Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solutions (TOPSIS)	Επιλογή μιας εναλλακτικής λύσης ταυτόχρονα η πιο κοντινή στην ιδανική λύση και η πιο απομακρυσμένη από την αρνητική ιδανική λύση	Κοντά στο ιδανικό και μακριά από το αρνητικό ιδανικό	Έχει μια απλή διαδικασία εύκολη στη χρήση και το πρόγραμμα, ο αριθμός των βημάτων παραμένει ο ίδιος ανεξάρτητα από τον αριθμό των χαρακτηριστικών.	Η χρήση της Ευκλείδειας Απόστασης δεν λαμβάνει υπόψη την συσχέτιση των χαρακτηριστικών, δύσκολο να δοθούν τα βάρη και να διατηρηθεί συνοχή στην κρίση, το αποτέλεσμα της ανάλυσης είναι επιρρεπές σε μεταβολές των κριτηρίων	Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας και logistics, μηχανική, συστήματα παραγωγής, επιχειρήσεις και μάρκετινγκ, περιβάλλον, άνθρωποι πόροι και διαχείριση υδάτινων πόρων
Weighted Sum Model (WSM) ή Simple Additive Weighting (SAW)	Η συνολική αξία μιας εναλλακτικής είναι ίση με το άθροισμα των επιμέρους επιδόσεων της εναλλακτικής στη βάση κάθε κριτηρίου που διέπει το πρόβλημα λήψης απόφασης	Προσθετική χρησιμότητα	Δυνατότητα αντιστάθμισης μεταξύ των κριτηρίων. Διαισθητικό στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, ο υπολογισμός είναι απλός και δεν απαιτεί πολύπλοκα προγράμματα υπολογιστή	Οι εκτιμήσεις δεν αντανακλούν πάντα την πραγματική κατάσταση, το αποτέλεσμα μπορεί να μην είναι λογικό	Διαχείριση υδάτων, επιχειρήσεις, και χρηματοοικονομική διαχείριση

4.2 Η Διαδικασία της Αναλυτικής Ιεράρχησης

Η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytical Hierarchy Process, AHP) είναι μία μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης που ανέπτυξε ο Thomas L. Saaty στη δεκαετία του 1970. Πρόκειται για έναν ευέλικτο και εύκολα κατανοητό τρόπο ανάλυσης πολύπλοκων προβλημάτων, που βασίζεται στην ικανότητα της ανθρώπινης κρίσης να κατασκευάζει ιεραρχίες (Setiawan et al., 2014). Πιο συγκεκριμένα αποτελεί μια συστηματική διαδικασία, όπου το βασικό πρόβλημα διασπάται στα συστατικά του μέρη και οι εκάστοτε λήπτες αποφάσεων καθοδηγούνται μέσω μιας σειράς συγκρίσεων για να εκφράσουν τη σχετική ισχύ των επιπτώσεων των στοιχείων στην ιεραρχία. Η επίλυση προκύπτει από μια διαδικασία αξιολόγησης που βασίζεται στην ποσοτικοποίηση των ανωτέρω συγκρίσεων (Saaty and Kearns 1985). Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη τόσο τους υποκειμενικούς όσο και τους αντικειμενικούς παράγοντες ενός προβλήματος στη διαδικασία λήψης μιας απόφασης (Dey, 2011). Επιπρόσθετα η AHP βασίζεται στην αρχή ότι οι εμπειρίες και οι γνώσεις των ανθρώπων είναι τουλάχιστον εξίσου σημαντικές με τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται και επιτρέπει την ενεργό συμμετοχή των εμπειρογνομόνων στη λήψη των αποφάσεων (Berrittella et al., 2007; Dey, 2011). Έτσι παρέχει μια ορθολογική βάση στη λήψη αποφάσεων και επιτρέπει την ενσωμάτωση των εκτιμήσεων και της κρίσης των εμπειρογνομόνων στις διαδικασίες απόφασης.

Η AHP αποτελεί χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των υπευθύνων λήψης αποφάσεων και των ερευνητών και είναι ένα από τα πιο χρησιμοποιούμενα εργαλεία στον τομέα αυτό (Vaidya and Kumar, 2006). Έχει αναπτυχθεί και εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς, όπως στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη έργων, στην αξιολόγηση και επιλογή έργων, στην επιλογή καλύτερης εναλλακτικής λύσης, στην κατανομή πόρων, στην επίλυση συγκρούσεων, στη διαχείριση ποιότητας, στη διαχείριση κινδύνων σε τεχνικά έργα κ.α. (Spanidis et al., 2019; Vaidya and Kumar, 2006; Setiawan et al. 2014; Dey 2011).

Η ευρεία εφαρμογή της μεθόδου είναι συνέπεια πολλών παραγόντων, οι σημαντικότεροι από τους οποίους συνοψίζονται παρακάτω και καθιστούν τους λόγους για τους οποίους επιλέχθηκε ως μέθοδος ανάλυσης στην παρούσα διπλωματική (Σπανίδης, 2017; Dey, 2011; Ho et al., 2006; Ramanathan, 2001)

- Είναι ευέλικτη, κατανοητή και εύκολα εφαρμόσιμη.
- Η αποσύνθεση του προβλήματος μέσω της ιεραρχικής δομής βοηθά στην αποσαφήνισή του κάθε στοιχείου.
- Αξιοποιείται η εμπειρία των ειδικών, καθώς επιτρέπει την ποσοτικοποίηση των προτιμήσεων των εμπειρογνομόνων.

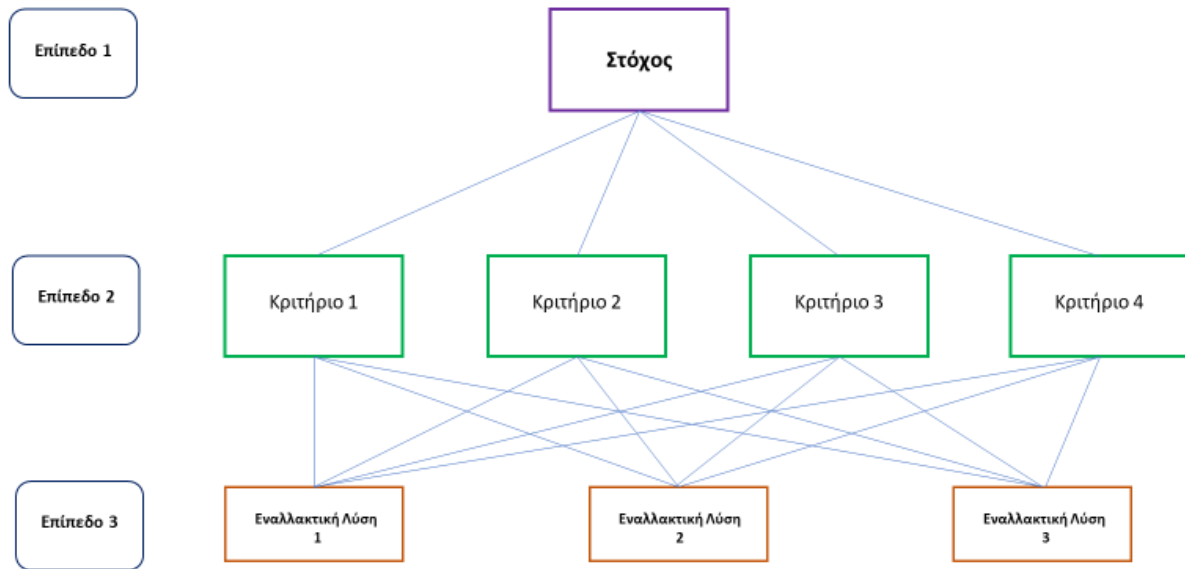
- Επιτρέπει μόχλευση και εξορθολογισμό της γνώσης των εμπειρογνομώνων ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αντικρουόμενων ή μη απόλυτα συμβατών απόψεων.
- Είναι αξιόπιστη καθώς ελέγχει τη μαθηματική συνέπεια των μητρώων που παράγονται.
- Υπάρχει διαθεσιμότητα λογισμικών, φιλικά προς το χρήστη, (π.χ. Expert-Choice, Super Decisions, AHP software της Spice Logic) που αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά τα προβλήματα της πολυπλοκότητας και της ταχύτητας επεξεργασίας των δεδομένων εισόδου.
- Η μέθοδος AHP υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων από ομάδες, υπολογίζοντας το γεωμετρικό μέσο των συγκρίσεων ανά ζεύγη.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ευρύ φάσμα έργων ή επιλογές τεχνολογίας.
- Μπορεί να ενσωματωθεί και με άλλες τεχνικές.

4.2.1 Βασικές Αρχές και Αξιώματα Μεθόδου

Προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή η μέθοδος της AHP θα πρέπει να αναφερθούν οι βασικές αρχές που την διέπουν και διαμορφώνουν τη μεθοδολογία της. Αυτές είναι: η αποσύνθεση, οι σχετικές συγκρίσεις και η σύνθεση προτεραιοτήτων.

Η πρώτη βασική αρχή της AHP είναι η αρχή της αποσύνθεσης, η οποία αναφέρεται στην ανάλυση του προβλήματος σε ιεραρχίες. Η αρχή της αποσύνθεσης επιτρέπει σε ένα πολύπλοκο πρόβλημα να αναλυθεί στις συνιστώσες του κάνοντας το πρόβλημα πιο σαφές και λεπτομερές. Σε μια τυπική ιεραρχία, το ανώτατο επίπεδο αντικατοπτρίζει τον γενικό στόχο του προβλήματος απόφασης. Τα στοιχεία (κριτήρια, υποκριτήρια) που επηρεάζουν την απόφαση τοποθετούνται σε ενδιάμεσα επίπεδα, ενώ το τελικό επίπεδο της ιεραρχικής δομής περιλαμβάνει τις εναλλακτικές λύσεις (Dey, 2011). Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας έχει τη δομή ενός δέντρου, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.1.

Εφόσον έχει πραγματοποιηθεί η αναπαράσταση του προβλήματος σε ιεραρχίες, ακολουθούν οι συγκρίσεις μεταξύ των κριτηρίων και η αξιολόγηση καθεμιάς από τις εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με τα κριτήρια. Η αρχή των σχετικών συγκρίσεων περιλαμβάνει την κατάρτιση των μητρώων προτιμήσεων τα οποία προκύπτουν από τις ανά ζεύγη συγκρίσεις των κριτηρίων (ή υποκριτηρίων) του εκάστοτε επιπέδου και ουσιαστικά συγκρίνεται η σημαντικότητά τους σε σχέση με το στοιχείο που αναφέρεται στο ανώτερο επίπεδο. Μέσω αυτής της διαδικασίας προκύπτουν τα σχετικά βάρη του κάθε κριτηρίου/υποκριτηρίου και της κάθε εναλλακτικής. Η κλίμακα που εφαρμόζεται για την διεξαγωγή των συγκρίσεων είναι η κλίμακα Saaty (Πίνακας 4.2, Saaty and Kearns 1985), η οποία δίνει τη δυνατότητα στον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων να ενσωματώνει την υποκειμενικότητα, την εμπειρία και τη γνώση του με ένα διαισθητικό και φυσικό τρόπο, καθώς επιτρέπει την έκφραση των συγκρίσεων με λεκτικούς όρους (Dey, 2011).



Σχήμα 4.1 Ενδεικτική δόμηση ιεραρχίας 3 επιπέδων στην AHP (Ιδια Επεξεργασία)

Η τελευταία αρχή της μεθόδου είναι η σύνθεση των προτεραιοτήτων. Έτσι αφού έχουν υπολογισθεί τα σχετικά βάρη των στοιχείων από τα μητρώα προτεραιότητας, υπολογίζονται οι καθολικές προτεραιότητες σε όλα τα επίπεδα, έτσι ώστε στη συνέχεια να κατασκευαστεί η ιεραρχία η οποία υποδεικνύει την σειρά των εναλλακτικών.

Η μέθοδος AHP βασίζεται σε **τέσσερα αξιώματα** (Saaty 1987; Vargas,1990):

1. **Το αξίωμα της αμοιβαιότητας** (the reciprocal axiom), το οποίο ορίζει ότι κατά την σύγκριση ανά ζεύγη αιχ δύο εναλλακτικών i και j αναφορικά με ένα κριτήριο/υποκριτήριο ισχύει η αντίστροφη κλίμακα $a_{ij}=1/a_{ji}$. Έτσι εάν ένα κριτήριο κρίνεται ότι είναι 5 φορές πιο σημαντικό από ένα άλλο, τότε το άλλο κριτήριο είναι 1/5 φορές σημαντικό από το πρώτο. Αυτή η απλή αλλά ισχυρή σχέση αποτελεί τη βάση της μεθόδου AHP.
2. **Το αξίωμα της ομοιογένειας** (the homogeneity axiom), που σημαίνει ότι θα πρέπει να υπάρχει ομοιότητα στις συγκρίσεις και η προτίμηση να αντιπροσωπεύεται από μια οριοθετημένη κλίμακα. Για παράδειγμα, δεν είναι δυνατόν να συγκρίνουμε τα πορτοκάλια με μια μπάλα τένις.
3. **Το αξίωμα της ανεξαρτησίας**. Όταν εκφράζονται οι προτιμήσεις, τα κριτήρια λαμβάνονται ανεξάρτητα από τις ιδιότητες των εναλλακτικών.
4. **Το αξίωμα των προσδοκιών** (the axiom of expectations). Αυτό το αξίωμα είναι απλώς η δήλωση ότι οι αποφασίζοντες που έχουν λόγους για τις πεποιθήσεις τους πρέπει να

διασφαλίζουν ότι οι ιδέες τους αντιπροσωπεύονται επαρκώς στο μοντέλο. Όλες οι εναλλακτικές λύσεις, τα κριτήρια και οι προσδοκίες (ρητές και σιωπηρές) μπορούν και πρέπει να εκπροσωπούνται στην ιεραρχία.

Πίνακας 4.2 Κλίμακα του Saaty (Saaty and Kearns, 1985)

Βαθμός Σημαντικότητας	Ορισμός	Ερμηνεία
1	Ίδια σημαντικότητα	Δύο δραστηριότητες συνεισφέρουν εξίσου στον στόχο
3	Μέτρια σημαντικότητα του ενός προς το άλλο	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν ελαφρώς μια δραστηριότητα έναντι της άλλης.
5	Σημαντική υπεροχή του ενός προς το άλλο	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν σημαντικά μια δραστηριότητα έναντι της άλλης.
7	Πολύ μεγάλη υπεροχή	Η δραστηριότητα ευνοείται σε μεγάλο βαθμό και η κυριαρχία της εκδηλώνεται στην πράξη.
9	Εξαιρετικά μεγάλη υπεροχή	Οι λόγοι που ευνοούν τη μια δραστηριότητα έναντι της άλλης είναι του υψηλότερου δυνατού βαθμού επιβεβαίωσης
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα σε δύο παρακείμενες κρίσεις	Όταν απαιτείται συμβιβασμός.
Αντίστροφοι των παραπάνω μη-μηδενικών αριθμών	Αν σε μια δραστηριότητα αντιστοιχίζεται ένας από τους παραπάνω αριθμούς, όταν αυτή συγκρίνεται με μια δεύτερη δραστηριότητα, τότε η δεύτερη έχει την αντίστροφη τιμή όταν συγκρίνεται με την πρώτη.	
Ρητοί αριθμοί	Αναλογίες που προκύπτουν από την κλίμακα	Αν επιβαλλόταν η συνέπεια λαμβάνοντας η αριθμητικές τιμές για το σχηματισμό του πίνακα.

4.2.2 Βήματα και Μαθηματικό Υπόβαθρο Μεθόδου

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιασθούν τα βασικά βήματα και το μαθηματικό υπόβαθρο για την εφαρμογή της μεθόδου AHP. Τα βήματα που αναφέρονται είναι αυτά που προτείνονται από τους Saaty and Kearns (1985), ενώ η μαθηματική επίλυση της διαδικασίας είναι αυτή που παρουσιάζει ο Dey (2011), η οποία και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική, ο οποίος ακολουθεί μια πιο απλή διαδικασία επίλυσης σε σύγκριση με την επίλυση μέσω ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων που προτείνει ο Saaty (1987). Τα βήματα για την εφαρμογή της μεθόδου είναι τα εξής:

Βήμα 1^ο: Προσδιορισμός του προβλήματος και καθορισμός του στόχου του.

Βήμα 2^ο: Δόμηση της ιεραρχίας από την κορυφή (στόχος) μέσω των ενδιάμεσων επιπέδων (κριτήρια βάσει των οποίων εξαρτώνται τα επόμενα επίπεδα) και του χαμηλότερου επιπέδου (το οποίο συνήθως περιλαμβάνει τις εναλλακτικές επιλογές).

Βήμα 3^ο: Στο στάδιο αυτό κατασκευάζονται τα μητρώα βαρών των κριτηρίων που προκύπτουν από την σύγκριση ανά ζεύγη (n x n) για καθένα από τα κατώτερα επίπεδα με ένα μητρώο για κάθε στοιχείο στο αμέσως ανώτερο επίπεδο. Το στοιχείο στο ανώτερο επίπεδο θεωρείται ότι είναι καθοριστικό για εκείνα που βρίσκονται στο κατώτερο επίπεδο, δεδομένου ότι συμβάλλει σε αυτά ή τα επηρεάζει. Σε μια πλήρη ιεραρχία, κάθε στοιχείο στο κατώτερο επίπεδο επηρεάζει κάθε στοιχείο στο ανώτερο επίπεδο. Στη συνέχεια, τα στοιχεία στο κατώτερο επίπεδο συγκρίνονται μεταξύ τους με βάση την επίδρασή τους στο ανωτέρω στοιχείο. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η κατασκευή ενός μητρώου συγκρίσεων (μητρώο A, σχέση 1). Οι συγκρίσεις ανά ζεύγη γίνονται με βάση το ποιο στοιχείο κυριαρχεί στο άλλο και εκφράζονται σύμφωνα με την κλίμακα του Saaty (Πίνακας 4.2). Συνολικά πραγματοποιούνται $n(n - 1) / 2$ συγκρίσεις ανά ζεύγη. Το μητρώο συμπληρώνεται με βάση τη θεμελιώδη μαθηματική σχέση μεταξύ των στοιχείων $a_{jk} \times a_{kj} = 1$ (αξίωμα αμοιβαιότητας-reciprocal).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & a_{ij} & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mj} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

όπου n είναι ο αριθμός των στοιχείων, a_{ij} είναι το αποτέλεσμα της σύγκρισης του στοιχείου i με το στοιχείο j, που προκύπτει χρησιμοποιώντας την κλίμακα Saaty.

Το επόμενο στάδιο είναι η ανάπτυξη του κανονικοποιημένου μητρώου A' (σχέση,2), όπου το κάθε στοιχείο (a_{ij}) διαιρείται με το άθροισμα της στήλης του από τον μητρώο A.

$$A' = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum_{i \in R} a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum_{i \in R} a_{i2}} & \dots & \dots & \frac{a_{1n}}{\sum_{i \in R} a_{in}} \\ \frac{a_{21}}{\sum_{i \in R} a_{i1}} & \frac{a_{22}}{\sum_{i \in R} a_{i2}} & \dots & \dots & \frac{a_{2n}}{\sum_{i \in R} a_{in}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{a_{m1}}{\sum_{i \in R} a_{i1}} & \frac{a_{m2}}{\sum_{i \in R} a_{i2}} & \dots & \dots & \frac{a_{mn}}{\sum_{i \in R} a_{in}} \end{bmatrix}, \quad \text{όπου } R = \{1, 2, \dots, n\} \quad (2)$$

Οι προτεραιότητες των στοιχείων υπολογίζονται ως ο μέσος όρος των στοιχείων του μητρώου A' (μητρώο C)

$$C = \begin{bmatrix} c_{1k}^1 \\ \dots \\ c_{nk}^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{a_{11}}{\sum_{i \in R} a_{i1}} + \frac{a_{12}}{\sum_{i \in R} a_{i2}} + \dots + \frac{a_{1n}}{\sum_{i \in R} a_{in}} \right) \\ n \\ \dots \\ \left(\frac{a_{n1}}{\sum_{i \in R} a_{i1}} + \frac{a_{n2}}{\sum_{i \in R} a_{i2}} + \dots + \frac{a_{nn}}{\sum_{i \in R} a_{in}} \right) \\ n \end{bmatrix}$$

όπου c_{1k}^1 υποδεικνύει την προτεραιότητα του κάθε στοιχείου

Βήμα 4: Επιβεβαίωση συνέπειας μεθόδου

Η συνέπεια της μεθόδου προσδιορίζεται με την ακόλουθη διαδικασία. Αρχικά πολλαπλασιάζονται τα στοιχεία της κάθε στήλης i του μητρώου A με τις καθολικές προτεραιότητες c_{1k}^1 . Στη συνέχεια, διαιρείται το άθροισμα των τιμών κάθε σειράς με το c_{1k}^1 και κατασκευάζεται καινούργιο μητρώο \bar{C} .

$$\bar{C} = \begin{bmatrix} c_{1k}^{-1} \\ \dots \\ c_{nk}^{-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{c_{1k}^1 a_{11} + c_{2k}^1 a_{12} + \dots + c_{nk}^1 a_{1n}}{c_{1k}^1} \\ \dots \\ \frac{c_{1k}^1 a_{n1} + c_{2k}^1 a_{n2} + \dots + c_{nk}^1 a_{nn}}{c_{nk}^1} \end{bmatrix}$$

όπου το μητρώο \bar{C} αναφέρεται σε σταθμισμένο διάνυσμα αθροίσματος.

Έπειτα υπολογίζεται ο μέσος όρος των τιμών του μητρώου \bar{C} , έτσι ώστε να παραχθεί η μέγιστη ιδιοτιμή του μητρώου A

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i \in R} c_{ik}^{-1}}{n}, \text{ όπου } \lambda_{max} \text{ η μέγιστη ιδιοτιμή του μητρώου } A$$

Μετά βρίσκεται ο δείκτης συνέπειας (consistency index) με την παρακάτω σχέση.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Τέλος, ο λόγος συνέπειας, ο οποίος κρίνει την συνέπεια των αποτελεσμάτων υπολογίζεται με την σχέση:

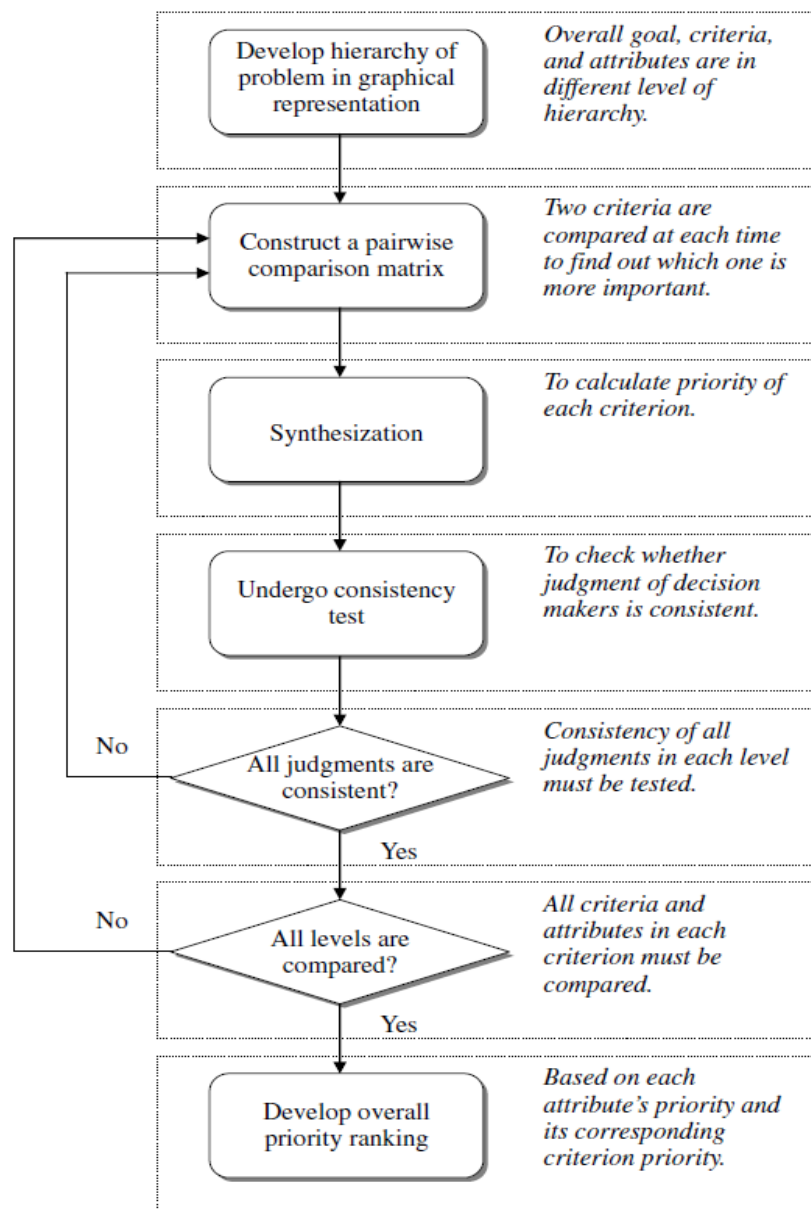
$$CR = \frac{CI}{RI(n)},$$

όπου $RI(n)$ είναι τυχαίος δείκτης του οποίου η τιμή εξαρτάται από την τιμή του n και δίδεται στον Πίνακα 4.3. Εάν ο λόγος CR είναι μικρότερος από 0,10, τα αποτελέσματα είναι αποδεκτά. Ωστόσο εάν ο λόγος CR είναι μεγαλύτερος από την τιμή αυτή θεωρείται ασυνεπής και ο αποφασίζων πρέπει να

αναθεωρήσει τις τιμές του πίνακα. Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της μεθόδου από τους Ho et al.(2006).

Πίνακας 4.3 Τυχαίος δείκτης RI (Saaty & Kearns 1985)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49



Σχήμα 4.2 Το διάγραμμα ροής της AHP (Ho et al., 2006)

Κεφάλαιο 5

Χωροθέτηση μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας με χρήση της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης

5.1 Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζεται και αναλύεται το μεθοδολογικό πλαίσιο το οποίο ακολούθησε η παρούσα διπλωματική. Η μεθοδολογία που προτείνεται αποσκοπεί στην καλύτερη προσέγγιση του στόχου της εργασίας, ο οποίος, όπως έχει αναφερθεί, είναι η εύρεση της επικρατέστερης θέσης για την χωροθέτηση μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας μέσα από την ανάλυση και αξιολόγηση των κινδύνων του έργου με τη χρήση της μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης ΑΗΡ. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε παρατίθεται παρακάτω σε βήματα και παρουσιάζεται με τη μορφή διαγράμματος ροής στο Σχήμα 5.1.

1. Καθορισμός του προβλήματος: Χωροθέτηση μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας
2. Έρευνα για τους κινδύνους της χωροθέτησης μονάδων ΥΦΑ(κίνδυνοι τεχνικών έργων, κίνδυνοι μονάδων ΥΦΑ, κίνδυνοι που προκύπτουν από τις απαιτήσεις της νομοθεσίας)
3. Αναγνώριση κινδύνων χωροθέτησης
Κόμβος Απόφασης: Έχουν ανιχνευθεί σε ικανοποιητικό βαθμό οι κίνδυνοι χωροθέτησης μονάδων ΥΦΑ μικρής κλίμακας;
4. Επιπλέον έρευνα και ανάλυση προκειμένου να εντοπιστούν εκ νέου οι κίνδυνοι
5. Κατηγοριοποίηση των κινδύνων (κριτήρια) και των υποκριτηρίων τους
6. Επιλογή περιοχής μελέτης
7. Επιλογή 4 εναλλακτικών θέσεων για τη χωροθέτηση και έρευνα των συνθηκών που επικρατούν στην καθεμία ως προς τους κινδύνους που έχουν τεθεί για την υλοποίηση της μεθόδου
8. Υλοποίηση ερωτηματολογίου για την διεξαγωγή της μεθόδου ΑΗΡ (συγκρίσεις ανά ζεύγη κινδύνων, υποκριτηρίων, εναλλακτικών περιοχών) από εμπειρογνώμονες προκειμένου να

προσδιοριστούν οι πιθανότητες των κινδύνων/υποκινδύνων καθώς και να βρεθεί η επικρατέστερη θέση για τη χωροθέτηση

9. Υλοποίηση μεθόδου AHP

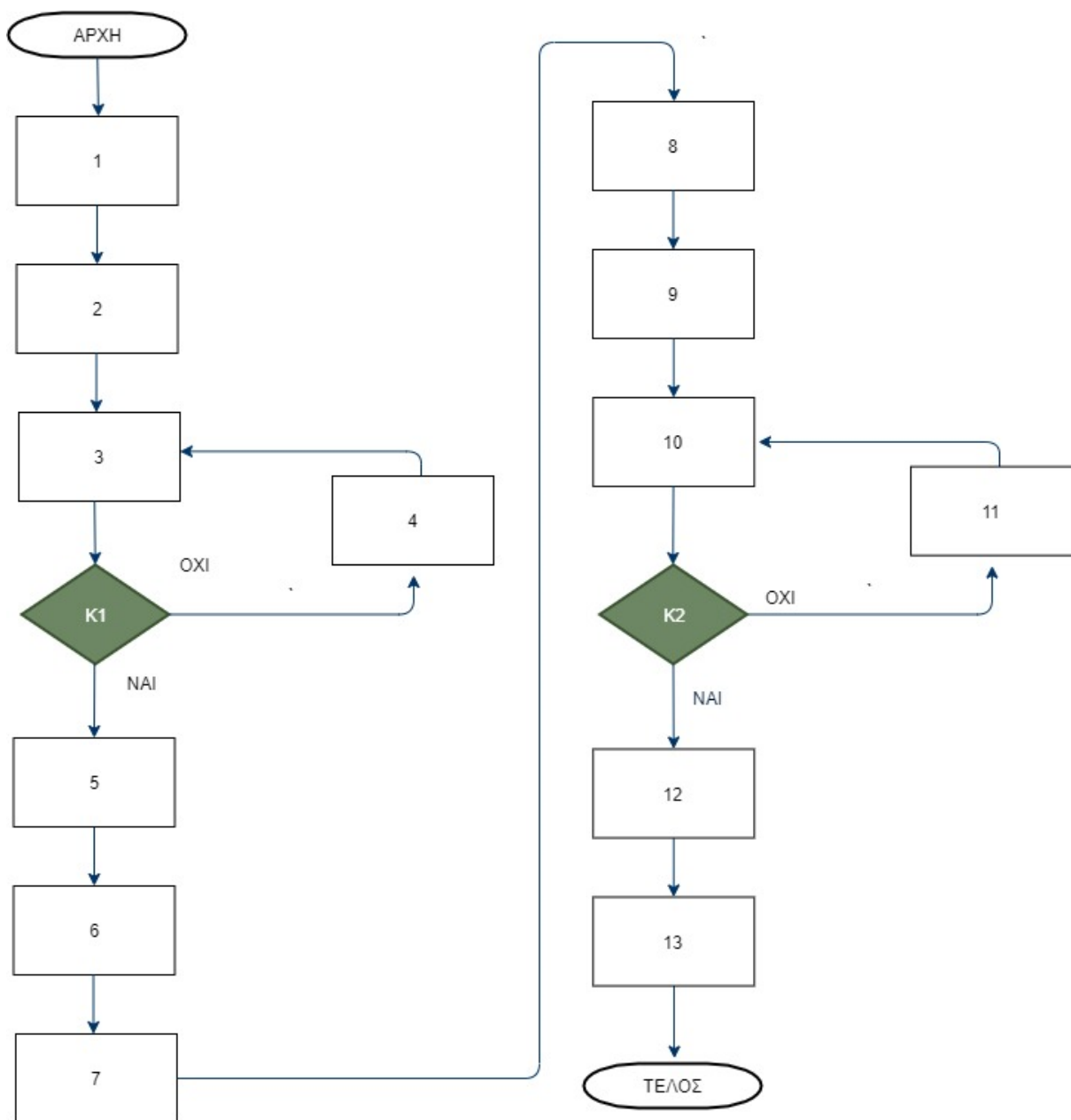
10. Ανάλυση της συνέπειας της μεθόδου

Κόμβος Απόφασης: Είναι μαθηματικώς συνεπής η μέθοδος;

11. Επανάληψη της AHP, επαναυπολογισμός των πιθανοτήτων των κινδύνων

12. Επιλογή θέσης για τη χωροθέτηση μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας με βάση την κατάταξη που προέκυψε από την AHP

13. Πραγματοποίηση ανάλυσης ευαισθησίας στους 2 κινδύνους με τις περισσότερες πιθανότητες



Σχήμα 5.1 Διάγραμμα ροής Μεθοδολογικού πλαισίου(Ιδια επεξεργασία)

5.2 Η Χωροθέτηση των Εγκαταστάσεων ΥΦΑ και η Σημασία της

Γενικά οι αποφάσεις σχετικά με τη χωροθέτηση μίας νέας εγκατάστασης αποτελούν κρίσιμο στοιχείο του σχεδιασμού ενός έργου και σημαντική στρατηγική πρόκληση για ένα ευρύ φάσμα ιδιωτικών και δημόσιων επιχειρήσεων. Οι συνέπειες της χωροθέτησης των εκάστοτε εγκαταστάσεων έχουν διάρκεια, επηρεάζοντας πολλές λειτουργικές και υλικοτεχνικές αποφάσεις. Το υψηλό κόστος που συνδέεται με την απόκτηση γης και την κατασκευή των εγκαταστάσεων καθιστά την επιλογή θέσης ή την ενδεχόμενη μετεγκατάσταση του κάθε έργου μακροπρόθεσμη επένδυση. Έτσι, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων πρέπει να επιλέξουν τοποθεσίες που δεν θα έχουν απλά καλή απόδοση σύμφωνα με την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος, αλλά θα συνεχίσουν να είναι επικερδείς για τη ζωή της εγκατάστασης, ακόμη και όταν αλλάζουν οι περιβαλλοντικοί παράγοντες, μεταβάλλεται ο πληθυσμός και εξελίσσονται οι τάσεις της αγοράς. Επομένως, η εύρεση βέλτιστων θέσεων εγκατάστασης είναι ένα δύσκολο έργο, απαιτώντας από τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να υπολογίζουν και ενδεχόμενα μελλοντικά γεγονότα (Owen and Daskin, 1998).

Το ζήτημα της χωροθέτησης είναι εξίσου μείζονος σημασίας και στις εγκαταστάσεις ΥΦΑ. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, το ΥΦΑ είναι ένα από τα επερχόμενα καύσιμα και η ευρεία υιοθέτηση του από τους τελικούς χρήστες απαιτεί την ύπαρξη ενός δικτύου ανεφοδιασμού με επενδύσεις υψηλής έντασης κεφαλαίου. Οι προμηθευτές ΥΦΑ, έχοντας μακροπρόθεσμη προοπτική επιλέγουν στρατηγικές τοποθεσίες για τις νέες εγκαταστάσεις έτσι ώστε να εξυπηρετήσουν τους πελάτες τους με αποτελεσματικό τρόπο (Schneider and Vis, 2016). Ωστόσο η χωροθέτηση εγκαταστάσεων ΥΦΑ αποτελεί ένα πολυπαραγοντικό πρόβλημα, διότι παρόλο που τα τελευταία 40 χρόνια το ΥΦΑ είχε καλό ιστορικό ασφάλειας, οι εμπειρογνώμονες ανησυχούν ως προς τα ζητήματα χωροθέτησης και τους κανονισμούς εγκατάστασης σταθμών ΥΦΑ, ιδίως όσον αφορά θέματα που σχετίζονται μεταξύ άλλων με ζώνες ασφαλείας, θαλάσσιους κινδύνους, και περιβαλλοντικές επιπτώσεις (D'Alessandro et al., 2016).

Πιο αναλυτικά, η επιλογή χώρου για τερματικούς σταθμούς εισαγωγής ή εξαγωγής ΥΦΑ εξαρτάται από τη θέση ενός τόπου σε σχέση με τις αγορές αερίου ή τις περιοχές παραγωγής, αντίστοιχα. Έτσι, μόλις προσδιοριστεί μια γενική γεωγραφική περιοχή, αξιολογούνται οι εναλλακτικές τοποθεσίες εντός αυτής, καθορίζοντας τις κρίσιμες παραμέτρους τις οποίες πρέπει να πληροί ο χώρος. Μεγάλο μέρος του σχεδιασμού του τερματικού σταθμού επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις δραστηριότητες του πληθυσμού που περιβάλλει τον τόπο. Βασικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι η εγγύτητα και η φύση των δραστηριοτήτων των γειτόνων του τερματικού σταθμού. Οι εγκαταστάσεις θα πρέπει να βρίσκονται μακριά από αστικές περιοχές και σε περιοχές όπου η οπτική όχληση ελαχιστοποιείται κατά το δυνατόν. Επιπλέον, οι

χερσαίες εγκαταστάσεις πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά σε υφιστάμενες λιμενικές εγκαταστάσεις, το οποίο έχει πολλά οφέλη, καθώς μειώνει τα μήκη και τις διαμέτρους των δαπανηρών αγωγών και αντίστοιχα μειώνονται οι πιθανοί κίνδυνοι διαρροής. Εάν μια χερσαία εγκατάσταση βρίσκεται σε ακτογραμμή, θα χρειαστεί να εξετασθούν οι συνθήκες όπως ο άνεμος, το κύμα και τα θαλάσσια ρεύματα, καθώς μπορεί ακραία καιρικά φαινόμενα να εμποδίσουν την αποβίβαση των φορτίων ΥΦΑ από τα δεξαμενόπλοια. Για την κατάσταση αυτή μπορεί να χρειαστεί ένας κυματοθραύστης, ο οποίος προσθέτει σημαντικά στο κόστος του τερματικού σταθμού (Sonne and Bomba, 2008). Επιπρόσθετα, η χωροθέτηση εγκαταστάσεων ΥΦΑ οφείλει να λαμβάνει υπόψη της τις αυστηρές απαιτήσεις ασφαλείας που επιβάλλονται από τις καθιερωμένες κανονιστικές δομές. Αυτές μέχρι στιγμής βασίζονται στη λειτουργία εγκαταστάσεων μεγάλης κλίμακας ΥΦΑ με στόχο την αποφυγή των σοβαρών συνεπειών από ενδεχόμενα ατυχήματα (DMA, 2012), για τα οποία έχει γίνει λόγος στο Κεφάλαιο 3. Τέλος, η διαδικασία επιλογής χωροθέτησης των εν λόγω εγκαταστάσεων θα πρέπει να εξετάζει και την πρόσβαση στους τελικούς χρήστες. Ο απώτερος στόχος της επιλογής τοποθεσίας είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς και αποθήκευσης. Μια προτιμώμενη θέση τερματικού επιτρέπει την ελευθερία επιλογής στο σχεδιασμό των εγκαταστάσεων καθώς και την ασφαλή λειτουργία των δραστηριοτήτων της εγκατάστασης (Sonne and Bomba, 2008).

Όσον αφορά τους τερματικούς σταθμούς ΥΦΑ μικρής κλίμακας, που αποτελεί αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής, θα πρέπει να αναφερθεί ότι είναι πιο ευαίσθητοι στο κόστος ανάπτυξης υποδομής λόγω του μικρότερου μεγέθους του έργου, το οποίο θα πρέπει να υπολογίζεται κατά την επιλογή τοποθεσίας. Για παράδειγμα, η ανάγκη κατασκευής κυματοθραύστη για την προστασία της εγκατάστασης από την ανοιχτή θάλασσα μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι ακριβότερη από τον τερματικό σταθμό. Επομένως, οι ιδανικοί χώροι για έναν τερματικό σταθμό μικρής κλίμακας είναι πιθανόν ένας υφιστάμενος λιμένας χαμηλής κυκλοφορίας ή μια προστατευόμενη φυσική τοποθεσία. Ωστόσο, συχνά κατασκευάζεται τερματικός σταθμός ΥΦΑ μικρής κλίμακας για την εξυπηρέτηση πελάτη με υφιστάμενες εγκαταστάσεις, πράγμα που σημαίνει ότι επιλέγεται τοποθεσία που βρίσκεται δίπλα στην εν λόγω εγκατάσταση, παρά το γεγονός ότι δεν αποτελεί την καλύτερη δυνατή θέση για τον τερματικό σταθμό (WARTSILA, 2018). Ως προς τις απαιτήσεις ασφαλείας, η σοβαρότητα των δυνητικών συνεπειών των διαφόρων σεναρίων ατυχημάτων είναι συχνά ανάλογη με την ποσότητα του ΥΦΑ που διακινείται και θεωρείται ότι για τη διαχείριση των ΥΦΑ μικρής και μεσαίας κλίμακας, οι συνέπειες θα είναι αντίστοιχα μικρότερες. Ωστόσο ισχύουν παρόμοιες απαιτήσεις ασφάλειας και αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση η διατήρηση του υψηλού επιπέδου ασφάλειας των εγκαταστάσεων ΥΦΑ ακόμη και αν ορισμένες απαιτήσεις ενδέχεται να είναι λιγότερο αυστηρές όταν μειώνονται οι λειτουργίες (DMA, 2012).

5.3 Μελέτη Περίπτωσης (Case Study)

5.3.1 Επιλογή Περιοχής

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, ιδανική εφαρμογή των μονάδων ΥΦΑ μικρής κλίμακας αποτελούν τα ελληνικά νησιά, στα οποία παρέχουν ενεργειακή αυτονομία και βιώσιμη ενεργειακή ανάπτυξη, καθώς βρίσκονται μακριά από τα εγκατεστημένα δίκτυα διανομής ΦΑ. Η επιλογή της περιοχής για την εγκατάσταση μονάδας ΥΦΑ είναι στρατηγικής σημασίας. Έτσι στην παρούσα διπλωματική επιλέχθηκε το νησί της Χίου, το οποίο θεωρήθηκε ιδανικό για την εφαρμογή της μονάδας μικρής κλίμακας και την εξέτασή του ως μία μελέτη περίπτωσης. Η επιλογή αυτή βασίστηκε στο Περιφερειακό Χωροταξικό Πλαίσιο Βορείου Αιγαίου(ΦΕΚ Δ 181/2019), καθώς και σε μελέτη της ΔΕΣΦΑ (ΔΕΣΦΑ, 2019).

Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με το Περιφερειακό Χωροταξικό Πλαίσιο (ΠΧΠ) Βορείου Αιγαίου «προωθείται η κατασκευή σταθμού υδροποιημένου ή/και συμπιεσμένου αερίου στη Λέσβο, τη Λήμνο και τη Χίο και η κατασκευή δικτύου διανομής, σε πρώτη φάση στην πόλη της Μυτιλήνης, τη Μύρινα και την πόλη της Χίου. Επιπλέον, προωθείται η εξασφάλιση επαρκών χώρων υποδοχής και αποθήκευσης ΦΑ σε όλα τα κατοικημένα νησιά.» Το ΠΧΠ τονίζει ακόμα ότι στοχεύει στο να αποκτήσει η Περιφέρεια πρόσβαση στη χρήση του ΦΑ ως εναλλακτικό καύσιμο θέρμανσης έναντι του πετρελαίου. Όσον αφορά τη ΔΕΣΦΑ, στο «Σχέδιο ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΣΦΑ 2020-2029», αναφέρεται ότι βρίσκεται υπό μελέτη σκοπιμότητας η δημιουργία μιας αλυσίδας εφοδιασμού (εικονικού αγωγού) για την παροχή ΥΦΑ από τον τερματικό σταθμό της Ρεβυθούσας προς ένα κεντρικό νησί στο Βόρειο Αιγαίο (π.χ. Χίο, Λέσβο, Σάμο, Λήμνο, Ικαρία). Ο εν λόγω σταθμός θα έχει στόχο την τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ προβλέπεται για τα υπόλοιπα νησιά να είναι διασυνδεδεμένα μεταξύ τους με τοπικές ηλεκτρικές διασυνδέσεις. Σύμφωνα με τα παραπάνω, προέκυψε η επιλογή ανάμεσα στα νησιά της Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου. Η επιλογή της Χίου έγινε καθώς θεωρήθηκε ότι η γεωγραφική της θέση υπερτερεί έναντι των υπολοίπων νησιών, καθώς πρώτον βρίσκεται στο κέντρο της Περιφέρειας και θα εξυπηρετεί μία ενδεχόμενη διασύνδεση με τα υπόλοιπα νησιά και δεύτερον η εγγύτητά της με το σταθμό της Ρεβυθούσας, σε σύγκριση με τη Λέσβο και τη Λήμνο(που προτείνονται στο ΠΧΠ), από τον οποίο θα τροφοδοτείται.

5.3.2 Υφιστάμενη Κατάσταση Περιοχής Μελέτης

Η νήσος Χίος είναι το πέμπτο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και ανήκει στο σύμπλεγμα των νησιών του βορειοανατολικού Αιγαίου. Απέχει μόλις 3,5 ναυτικά μίλια από τις ακτές της Μικράς Ασίας, γεγονός που αναμφίβολα καθιστά στρατηγική τη γεωγραφική της θέση. Διοικητικά ανήκει

στην Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου και αποτελεί μαζί με τα Ψαρά και τα Αντίψαρα προς τα δυτικά και τις Οινούσες προς τα ανατολικά την Περιφερειακή Ενότητα Χίου. Ο Δήμος Χίου, ο οποίος περιλαμβάνει όλο το νησί της Χίου είναι πληθυσμιακά ο μεγαλύτερος δήμος της Περιφερειακής Ενότητας, με 51.320 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Η έκτασή του νησιού ανέρχεται περίπου σε 844 km² και έχει μήκος ακτογραμμής 227 km.

Το οικιστικό κέντρο του νησιού, στο οποίο συγκεντρώνονται οι περισσότερες διοικητικές και αστικές λειτουργίες του νησιού, εντοπίζεται στις περιοχές Χίος και Βροντάδος, το οποίο λειτουργεί σαν ενιαία οικιστική ενότητα. Ως δευτερεύων πόλος αναγνωρίζονται τα Καρδάμυλα, τα οποία έχουν αναβαθμιστεί λειτουργικά από την τουριστική ανάπτυξη την τελευταία δεκαετία.

Η Χίος είναι ημιορεινή με το μεγαλύτερο τμήμα της επιφάνειάς της να εκτείνεται με υψόμετρο 400 m και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις φθάνουν το 18% της συνολικής έκτασης του νησιού. Με βάση τη μορφολογία του εδάφους η Χίος μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις περιοχές:

- στη βόρεια ορεινή ζώνη,
- στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα, που είναι πεδινό με εκτεταμένες καλλιέργειες και
- στο νοτιοανατολικό τμήμα, που είναι λοφώδες.

Η ψηλότερη κορυφή της είναι το Πελιναίο όρος (1.297 m) στο βόρειο άκρο. Τις πεδιάδες της Χίου αποτελούν οι παραλιακές πεδινές περιοχές της πόλης της Χίου και της Καλαμωτής. Η πρώτη βρίσκεται στο κέντρο της ανατολικής πλευράς και η δεύτερη στο ΝΑ τμήμα του νησιού. Οι ποταμοί είναι γενικά μικροί σε μήκος, ενώ δεν υπάρχουν λίμνες πέρα από μικρών αβαθών λιμνών – υγροτόπων (ΑΞΩΝ, 2018).

Ως προς τις υποδομές του νησιού, παρατίθενται οι παρακάτω πληροφορίες (ΑΞΩΝ, 2018; PRISMA, 2013; Σάρδη, 2018):

- Το οδικό δίκτυο αποτελείται από το κεντρικό οδικό δίκτυο της Χίου, το οποίο συνδέει την πόλη της Χίου με τα κυριότερα χωριά του νησιού και το δευτερεύον οδικό δίκτυο. Το πρώτο στην πλειοψηφία του είναι ασφαλτοστρωμένο και σε πολύ καλή κατάσταση. Ωστόσο στο βόρειο τμήμα του νησιού παρουσιάζονται προβλήματα λόγω κατολισθήσεων. Το δευτερεύον οδικό δίκτυο αποτελείται κυρίως από χωματόδρομους, ενώ τα τμήματα που είναι ασφαλτοστρωμένα είναι σε κακή κατάσταση λόγω ελλιπούς συντήρησης. Το οδικό δίκτυο εντός και εκτός πόλης, χαρακτηρίζεται από στενότητα διατομής και φτωχά γεωμετρικά χαρακτηριστικά.
- Η ηλεκτροδότηση του νησιού πραγματοποιείται από τον Αυτόνομο Σταθμό Παραγωγής (ΑΣΠ) της ΔΕΗ που λειτουργεί κυρίως με μαζούτ και δευτερευόντως με ντίζελ. Ο ΑΣΠ Χίου έχει ισχύ 77.800 KW και βρίσκεται σε χώρο ιδιοκτησίας της ΔΕΗ στα ανατολικά κεντρικά παράλια του νησιού.

- Τέλος υπάρχουν 26 καταγεγραμμένοι λιμένες στο νησί της Χίου οι οποίοι εξυπηρετούν διαφορετικές χρήσεις (επιβατική, εμπορευματική, τουριστική, αλιευτική, μαρίνας). Οι κυριότεροι είναι πρώτον ο κεντρικός λιμένας της Χίου που βρίσκεται εντός της πόλης, ο οποίος αποτελεί την κύρια θαλάσσια πύλη του και το λιμάνι των Μεστών, το οποίο έχει εμπορευματικό χαρακτήρα και δύναται να λειτουργήσει συμπληρωματικά προς τον κεντρικό λιμένα Χίου.

5.4 Περιγραφή Έργου

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται ενδεικτικά το προτεινόμενο έργο, έτσι ώστε να δοθεί στον αναγνώστη μία εικόνα του εν λόγω έργου και των αναγκών χωροθέτησης. Ωστόσο θα πρέπει να τονισθεί ότι η διαστασιολόγηση της μονάδας και οι τελικές ανάγκες χωροθέτησης θα πρέπει να προκύπτουν από τεχνικοοικονομικές μελέτες οι οποίες θα διαπιστώσουν την βιωσιμότητα της επένδυσης, αλλά και τις ανάγκες της περιοχής, το οποίο δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας και έτσι δίνεται ενδεικτικά μία τάξη μεγέθους.

Αρχικά η μονάδα μικρής κλίμακας ΥΦΑ θα αποτελεί έναν τερματικό σταθμό ο οποίος θα έχει στόχο την τροφοδότηση των μεγάλων ενεργοβόρων παραγωγικών μονάδων, όπως είναι οι μεγάλες βιομηχανίες του νησιού. Έτσι το μέγεθος της μονάδας που προτείνεται σχετίζεται με αυτή τη λειτουργία. Ωστόσο, η θέση που τελικά θα επιλεγεί για την εγκατάσταση της μονάδας θα πρέπει να εξασφαλίζει την δυνατότητα επέκτασής της και για περαιτέρω λειτουργίες της. Πιο συγκεκριμένα αυτές μπορεί να είναι η εξυπηρέτηση των οικιακών και εμπορικών (π.χ. ξενοδοχεία) καταναλωτών, η τροφοδότηση με ΦΑ μονάδων ηλεκτροπαραγωγής για τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και η προμήθεια των πλοίων με ΥΦΑ για τη χρήση του ως ναυτιλιακό καύσιμο. Επιπλέον, γίνεται η υπόθεση ότι η προμήθεια του ΥΦΑ θα πραγματοποιείται με πλοία από την Ρεβυθούσα.

Το μέγεθος της αποθηκευτικής ικανότητας της μονάδας προτείνεται, έστω σε αρχικό στάδιο, να είναι 500 m³ ΥΦΑ. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί περίπου σε 265 tn πετρελαίου (BP, n.d., IGU n.d.). Η έκταση της εγκατάστασης με στόχο την κάλυψη και των μελλοντικών αναγκών, εκτιμάται περίπου στις 20.000 m² (Huebel, 2015). Ακόμα, η μονάδα προτείνεται να τοποθετηθεί σε κοντινή απόσταση από την ακτή, έτσι ώστε να υπάρχει εύκολη πρόσβαση για τα πλοία εφοδιασμού να ανεφοδιάζουν τις δεξαμενές. Ενδεικτικά η μονάδα θα περιλαμβάνει τις εγκαταστάσεις πρόσδεσης, εκφόρτωσης, κρυογενικούς αγωγούς, τη δεξαμενή αποθήκευσης, καθώς και κάθε άλλη αναγκαία υποδομή για τη λειτουργία της μονάδας.

5.5 Εξεταζόμενες Εναλλακτικές Θέσεις

Σε αυτή την ενότητα γίνεται παρουσίαση των τεσσάρων εναλλακτικών θέσεων που επιλέχθηκαν έτσι ώστε να εξεταστούν με τη μέθοδο ΑΗΡ και να διερευνηθεί ποια είναι η καταλληλότερη για την χωροθέτηση της μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας. Οι εν λόγω περιοχές παρουσιάζονται στο Χάρτη 5.1.



Χάρτης 5.1 Ο χάρτης της Χίου με τις εναλλακτικές θέσεις

5.5.1 Μεστά

Η εξεταζόμενη θέση 1 (Θ1) βρίσκεται στο λιμένα Μεστών, όπως φαίνεται στον Χάρτη 5.2. Ο λιμένας Μεστών βρίσκεται στο μυχό του όρμου «Μεστά» στα νοτιοδυτικά παράλια του νησιού. Διοικητικά ανήκει στην Τοπική Κοινότητα Μεστών, της Δημοτικής Ενότητας Μαστιχοχωρίων. Στο συγκεκριμένο λιμένα προσεγγίζουν κυρίως φορτηγά πλοία και δεξαμενόπλοια. Η εκτιμώμενη έκταση της προτεινόμενης θέσης είναι 27.000 m².



Χάρτης 5.2 Εξεταζόμενη Θέση «Μεστά»

5.5.2 Λευκωνιά

Η δεύτερη εναλλακτική θέση (Θ2) που προτείνεται προς εξέταση είναι στην περιοχή Λευκωνιά, που βρίσκεται νοτιοανατολικά του νησιού, 4.5 km νότια της πόλης της Χίου και ανήκει στη Δημοτική Ενότητα Αγίου Μηνά, του Δήμου Χίου. Επιπλέον, η θέση γειτνιάζει με τον Αυτόνομο Σταθμό Παραγωγής της ΔΕΗ της Χίου και βρίσκεται πλησίον του αεροδρομίου του νησιού. Η προτεινόμενη θέση απεικονίζεται στον Χάρτη 5.3 εκτιμώμενης έκτασης 40.000 m².



Χάρτης 5.3 Εξεταζόμενη Θέση «Λευκωνιά»

5.5.3 ΔΕΗ Χίος

Η 3η εξεταζόμενη θέση (Θ3), είναι μαρίνα που βρίσκεται ανατολικά του νησιού και συγκεκριμένα μέσα στο αστικό κέντρο Χίου–Βροντάδου, ανάμεσα στις δύο πόλεις. Η εν λόγω θέση ονομάστηκε στα πλαίσια της εργασίας «ΔΕΗ Χίος», λόγω της εγγύτητάς της με την υπηρεσία της ΔΕΗ του νησιού. Η εξεταζόμενη θέση φαίνεται στον Χάρτη 5.4 και η έκτασή της εκτιμάται στα 22.000 m².



Χάρτης 5.5 Εξεταζόμενη Θέση «Λημνιά»

5.6 Επιλογή Θέσης με τη Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης

5.6.1 Μοντέλο AHP

Στην ενότητα αυτή εφαρμόζεται η μέθοδος AHP για την επιλογή της θέσης εγκατάστασης της μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας. Το μοντέλο της μεθόδου σύμφωνα με το οποίο θα γίνει η ανάλυση απεικονίζεται στο Σχήμα 5.2. Στο μοντέλο αυτό με τη δενδροειδή μορφή διακρίνεται ο στόχος που βρίσκεται στο Επίπεδο 1, ενώ στο επίπεδο 2 και 3 βρίσκονται τα κριτήρια (κύριοι κίνδυνοι) και τα υποκριτήρια (επιμέρους κίνδυνοι) αντίστοιχα, η επιλογή των οποίων αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3 και βασίζεται σε κινδύνους που υπάρχουν στα τεχνικά έργα, σε κινδύνους με θέματα ασφαλείας του ΥΦΑ και σε απαιτήσεις από την υπάρχουσα νομοθεσία.

Η ανάλυση του συστήματος πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Microsoft Excel 365. Το συγκεκριμένο λογισμικό επιλέχθηκε κυρίως λόγω της προσβασιμότητάς του, της ευκολία χρήσης του, καθώς επίσης και για τη δυνατότητα εύκολης εξαγωγής γραφημάτων για την καλύτερη παρουσίαση

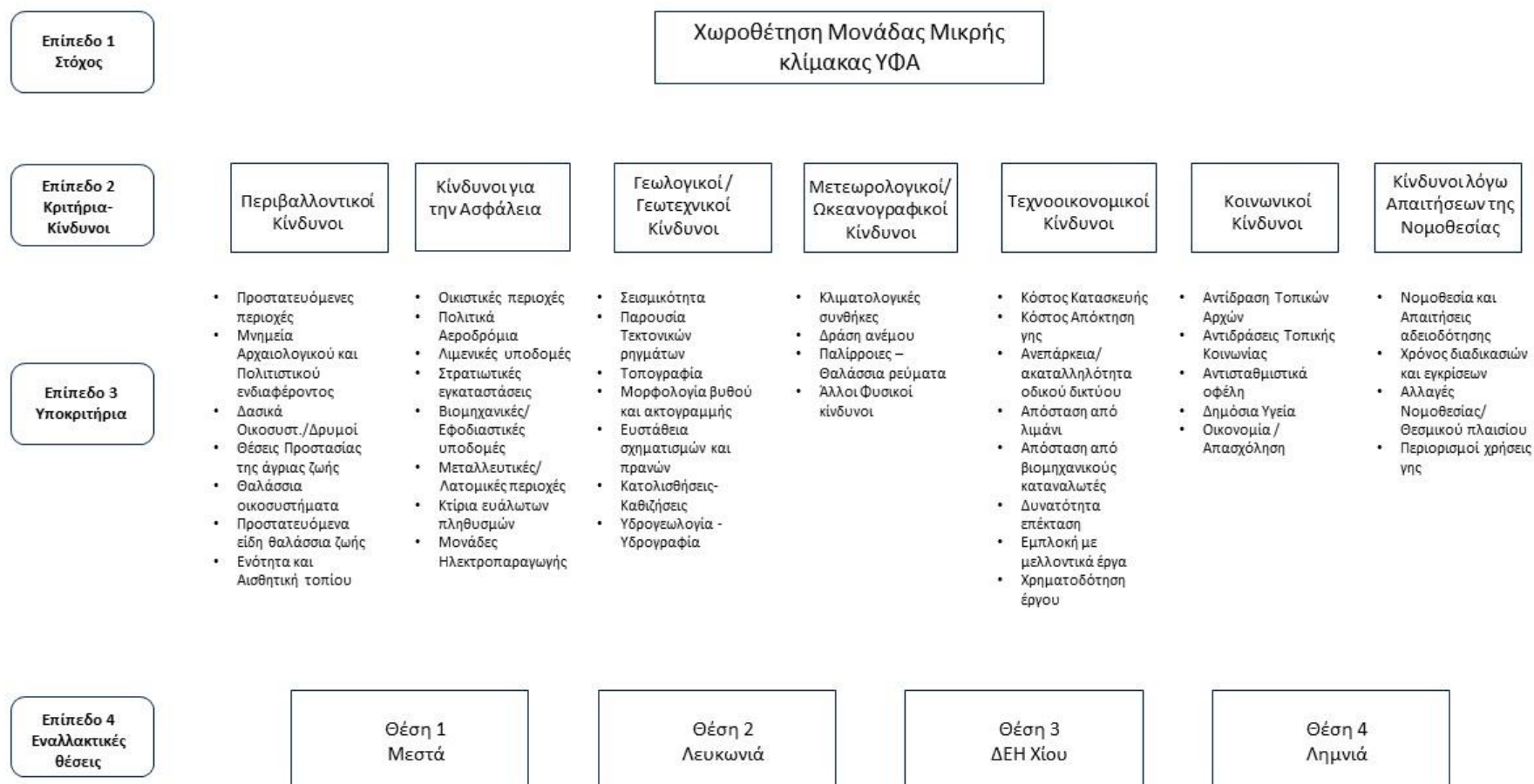
των αποτελεσμάτων. Ωστόσο, υπάρχουν διαθέσιμα και άλλα λογισμικά τα οποία είναι εξειδικευμένα για την επίλυση προβλημάτων με τη μέθοδο ΑΗΡ, όπως το Expert Choice¹, το AHP software της Spice Logic² και το Super decisions³. Επιπλέον, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η πραγματοποίηση των συγκρίσεων ανά ζεύγη σε όλα τα επίπεδα του προβλήματος (κριτήρια-κίνδυνοι, υποκριτήρια, εναλλακτικές) έγινε από ομάδα 3 εμπειρογνομόνων στην βιομηχανία του ΥΦΑ χρησιμοποιώντας τη λεκτική κλίμακα (με τιμές 1-9) που αναπτύχθηκε από τον Saaty (Πίνακας 4.2) μέσω ερωτηματολογίων (Παράρτημα Β). Οι τιμές με τις οποίες πραγματοποιήθηκε η ανάλυση προέκυψε από τον γεωμετρικό μέσο των συγκρίσεων του κάθε ατόμου της ομάδας απόφασης.

Αρχικά, πραγματοποιούνται οι συγκρίσεις ανά ζεύγη μεταξύ των κριτηρίων-κινδύνων (Επίπεδο 1) ως προς τη σημαντικότητά τους για το στόχο του έργου, δηλαδή τη χωροθέτηση της μονάδας. Έπειτα ακολουθούν οι συγκρίσεις ανάμεσα στα υποκριτήρια (Επίπεδο 2) με σκοπό να εξαχθούν τα σχετικά τους βάρη ως προς τον κάθε κίνδυνο. Στη συνέχεια συγκρίνονται οι 4 εναλλακτικές θέσεις σε σχέση με την επίδοσή τους ως προς το κάθε υποκριτήριο (Επίπεδο 4). Τέλος γίνεται η σύνθεση των προτεραιοτήτων, όπου υπολογίζονται οι καθολικές προτεραιότητες σε όλα τα επίπεδα για να κατασκευαστεί η ιεραρχία η οποία υποδεικνύει την σειρά των εναλλακτικών και την επικρατέστερη θέση για την χωροθέτηση της μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας.

¹ <https://www.expertchoice.com/2020>

² <https://www.spicelogic.com/Products/ahp-software-30>

³ <https://www.superdecisions.com/>



Σχήμα 5.2 Μοντέλο ΑΗΡ για την χωροθέτηση μονάδας μικρής κλίμακας ΥΦΑ

5.6.2 Σύγκριση Κινδύνων ως προς το Στόχο

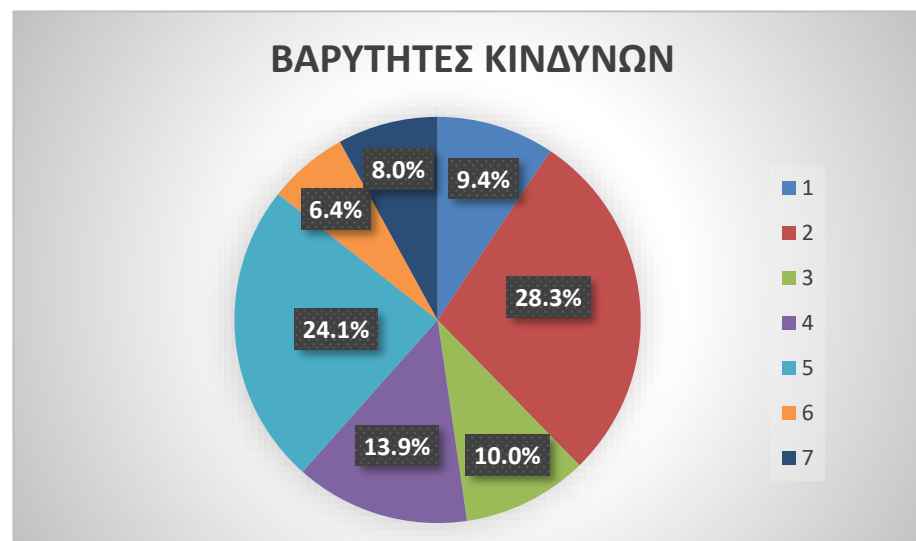
Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζεται το μητρώο σύγκρισης των κινδύνων του έργου της χωροθέτησης σε σχέση με τη σημαντικότητά τους ως προς αυτό. Οι τιμές του Πίνακα 5.1 αποτελούν τις εκτιμήσεις της ομάδας λήψης απόφασης και στηρίζεται στην κρίση και την εμπειρία τους. Οι προτεραιότητες, δηλαδή τα σχετικά βάρη του κάθε κινδύνου προκύπτουν από την κανονικοποίηση του Πίνακα 5.1, όπου εξάγεται ο Πίνακας 5.2. Σε αυτόν παρατηρείται ότι ως πιο σημαντικοί κίνδυνοι για τη χωροθέτηση καθορίζονται οι Κίνδυνοι Ασφαλείας (28.3%), ενώ δεύτεροι πιο σημαντικοί είναι οι Τεχνοοικονομικοί Κίνδυνοι (24.10%). Λιγότερο σημαντικοί θεωρούνται οι Κοινωνικοί Κίνδυνοι (6.4%). Ακόμη πρέπει να αναφερθεί ότι η μέθοδος στο στάδιο αυτό κρίνεται συνεπής, έπειτα από τον έλεγχο συνέπειας ($CR= 0.010 < 0.1$). Η ποσοστιαία βαρύτητα των κινδύνων απεικονίζεται στο Σχήμα 5.3.

Πίνακας 5.1 Μητρώο Σύγκρισης των Κινδύνων ως προς το Στόχο

Κίνδυνοι	Περιβαλλοντικοί	Ασφαλείας	Γεωλ./ Γεωτεχν.	Μετεωρ./Ωκεαν.	Τεχνοοικονομικοί	Κοινωνικοί	Απαιτήσεων Νομοθ.
Περιβαλλοντικοί	1.000	0.350	0.900	0.800	0.400	1.500	1.000
Ασφαλείας	2.857	1.000	2.700	2.500	1.400	3.600	3.500
Γεωλ./ Γεωτεχν.	1.111	0.370	1.000	0.500	0.400	1.700	1.500
Μετεωρ./Ωκεαν.	1.250	0.400	2.000	1.000	0.400	2.500	2.000
Τεχνοοικονομικοί	2.500	0.714	2.500	2.500	1.000	3.250	3.000
Κοινωνικοί	0.667	0.278	0.588	0.400	0.308	1.000	0.700
Απαιτήσεων Νομοθ.	1.000	0.286	0.667	0.500	0.333	1.429	1.000
Άθροισμα	10.385	3.398	10.355	8.200	4.241	14.979	12.700

Πίνακας 5.2 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης των Κινδύνων

	Περιβαλ/κοί	Ασφαλείας	Γεωλ./ Γεωτεχν.	Μετεωρ./ Ωκεαν.	Τεχνοοικ.	Κοινωνικοί	Απαιτήσεων Νομοθ.	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Περιβαλλοντικοί	0.096	0.103	0.087	0.098	0.094	0.100	0.079	0.657	0.094	7.092
Ασφαλείας	0.275	0.294	0.261	0.305	0.330	0.240	0.276	1.981	0.283	7.116
Γεωλ./ Γεωτεχν.	0.107	0.109	0.097	0.061	0.094	0.113	0.118	0.699	0.100	7.033
Μετεωρ./Ωκεαν.	0.120	0.118	0.193	0.122	0.094	0.167	0.157	0.972	0.139	7.090
Τεχνοοικονομικοί	0.241	0.210	0.241	0.305	0.236	0.217	0.236	1.686	0.241	7.144
Κοινωνικοί	0.064	0.082	0.057	0.049	0.073	0.067	0.055	0.446	0.064	7.050
Απαιτήσεων Νομοθ.	0.096	0.084	0.064	0.061	0.079	0.095	0.079	0.558	0.080	7.043
									CI	0.014
									RI	1.320
									CR	0.010



Σχήμα 5.3 Η βαρύτητα των κινδύνων

1.Περιβαλλοντικοί,2. Ασφαλείας,3.Γεωλ/Γεωτ., 4. Μετεωρ./Ωκεαν., 5. Τεχνοοικ.,6. Κοινωνικοί, 7.Νομοθεσίας

5.6.3 Σύγκριση Υποκριτηρίων ως προς τους Κινδύνους

Στο στάδιο αυτό γίνονται οι συγκρίσεις ανά ζεύγη ανάμεσα στα υποκριτήρια των εκάστοτε κινδύνων, έτσι ώστε να καθοριστεί η βαρύτητά τους ως προς αυτά. Τα μητρώα που εξήχθησαν από τη διαδικασία αυτή παρουσιάζονται στο Παράρτημα C. Ενδεικτικά παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.3 το μητρώο της σύγκριση των υποκριτηρίων των Περιβαλλοντικών Κινδύνων, καθώς και το κανονικοποιημένο του μητρώο με τα σχετικά βάρη στον Πίνακα 5.4. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5.4, τα σχετικά βάρη των υποκριτηρίων έχουν την ίδια τιμή (15%) εκτός από την «Ενότητα και Αισθητική τοπίου»(10%), η οποία θεωρήθηκε ότι δεν καθορίζει στον ίδιο βαθμό τους Περιβαλλοντικούς Κινδύνους. Η συνέπεια των κρίσεων επαληθεύεται και εδώ($CR=0.0<0.10$).

Πίνακας 5.3 Μητρώο Σύγκρισης υποκριτηρίων των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

Κίνδυνοι		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
Προστατευόμενες περιοχές	1.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500
Μνημεία Αρχαιολ.&Πολιτιστ.	1.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500
Δασικά Οικοσυστήματα/Δρυμοί	1.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500
Θέσεις Προστασίας της άγριας ζωής	1.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500
Θαλάσσια οικοσυστήματα	1.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500
Προστατευόμενα είδη θαλασσ. ζωής	1.6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500
Ενότητα και Αισθητική τοπίου	1.7	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	1.000
Άθροισμα		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500

Πίνακας 5.4 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης υποκριτηρίων των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Προστατευόμενες περιοχές	1.1	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	1.050	0.150	7.000
Μνημεία Αρχαιολ.&Πολιτιστ.	1.2	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	1.050	0.150	7.000
Δασικά Οικοσυστήματα/Δρυμοί	1.3	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	1.050	0.150	7.000
Θέσεις Προστασίας της άγριας ζωής	1.4	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	1.050	0.150	7.000
Θαλάσσια οικοσυστήματα	1.5	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	1.050	0.150	7.000
Προστατευόμενα είδη θαλασσ. ζωής	1.6	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	1.050	0.150	7.000
Ενότητα και Αισθητική τοπίου	1.7	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.700	0.100	7.000
									CI	0.000
									RI	1.320
									CR	0.000

5.6.4 Σύγκριση Εναλλακτικών Θέσεων ως προς τα Υποκριτήρια

Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνονται οι συγκρίσεις ανάμεσα στις εναλλακτικές θέσεις για την χωροθέτηση ως προς τα υποκριτήρια του κάθε Κινδύνου. Ενδεικτικά παρουσιάζεται η σύγκριση ως προς το υποκριτήριο «Οικιστικές Περιοχές» των Κινδύνων Ασφαλείας. Τα μητρώα σύγκρισης των υπολοίπων παρατίθενται στο Παράρτημα C. Οι συγκρίσεις στο επίπεδο αυτό βασίστηκαν σε υλικό από χάρτες και διαδικτυακούς ιστότοπους που αναφέρονται στην Βιβλιογραφία ως Πηγές Χαρτογραφικών Δεδομένων. Να σημειωθεί, ότι σε περιπτώσεις απουσίας στοιχείων δόθηκαν οι ίδιες βαρύτητες και στις 4 περιοχές.

Η παρούσα σύγκριση που παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.5 αναφέρεται στην εγγύτητα των προτεινόμενων θέσεων με οικισμούς. Έτσι, με βάση τα στοιχεία που λαμβάνονται από τους χάρτες (Google Earth, ΠΧΠ Βορείου Αιγαίου), η ομάδα πραγματοποίησε τις συγκρίσεις. Το αποτέλεσμα αυτών φαίνεται στον Πίνακα 5.6, όπου διακρίνεται ότι η Θ2 έχει τη μεγαλύτερη επίδοση σε σύγκριση με τις υπόλοιπες θέσεις με 51.7%. Αυτό σημαίνει ότι θεωρείται λιγότερο επικίνδυνη η χωροθέτηση της μονάδας στη θέση αυτή ως προς αυτό το υποκριτήριο. Αντίστοιχα η θέση με τον υψηλότερο κίνδυνο στο συγκεκριμένο υποκριτήριο είναι η Θ3 με 5.8%. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα αποτελέσματα αυτά είναι εύλογα, καθώς όσον αφορά τη Θ1, βρίσκεται πιο μακριά από κάποιο οικισμό. Αντίθετα, η Θ3 βρίσκεται μέσα στον οικισμό της Χίου. Η συνέπεια των κρίσεων θεωρείται και αυτή τη φορά επαρκής με $CR=0.03 < 0.10$.

Πίνακας 5.5 Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το υποκριτήριο «Οικιστικές Περιοχές» των Κινδύνων Ασφαλείας

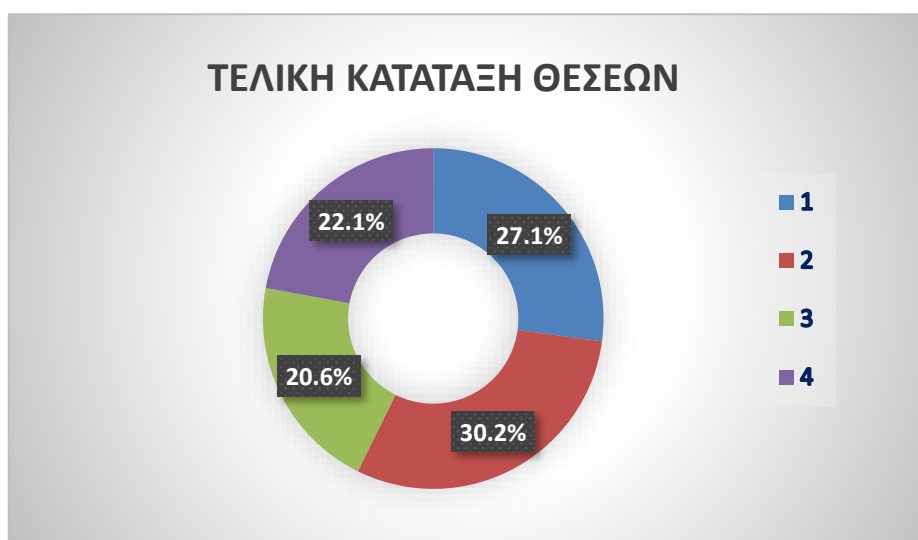
	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.420	5.200	3.150
Θ.2	2.381	1.000	7.000	3.950
Θ.3	0.192	0.143	1.000	0.350
Θ.4	0.317	0.253	2.857	1.000
Άθροισμα	3.891	1.816	16.057	8.450

Πίνακας 5.6 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το υποκριτήριο «Οικιστικές Περιοχές» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.257	0.231	0.324	0.373	1.185	0.296	4.125
Θ.2	0.612	0.551	0.436	0.467	2.066	0.517	4.140
Θ.3	0.049	0.079	0.062	0.041	0.232	0.058	4.037
Θ.4	0.082	0.139	0.178	0.118	0.517	0.129	4.019
						CI	0.027
						RI	0.900
						CR	0.030

5.7 Τελική κατάταξη περιοχών προς αξιολόγηση

Στην ενότητα αυτή υπολογίζονται οι καθολικές προτεραιότητες στο επίπεδο των υποκριτηρίων και των εναλλακτικών θέσεων. Έτσι, οι καθολικές προτεραιότητες των υποκριτηρίων προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό των τοπικών τους προτεραιοτήτων επί την πιθανότητα του κάθε κινδύνου. Αντίστοιχα οι καθολικές προτεραιότητες των εναλλακτικών θέσεων υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας τις τοπικές προτεραιότητές τους με τις καθολικές προτεραιότητες των υποκριτηρίων. Η τελική κατάταξη των θέσεων προκύπτει αθροίζοντας τις καθολικές προτεραιότητες της κάθε θέσης. Συνεπώς η θέση με την μεγαλύτερη επίδοση καθορίζεται ως η επικρατέστερη για την χωροθέτηση της μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας. Τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας απεικονίζονται στον Πίνακα 5.7. Όπως παρατηρείται, η θέση που επικρατεί των υπολοίπων είναι η Θ2 με 30.20%. Η κατάταξη των θέσεων παρουσιάζεται γραφικά και στο Σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4 Τελική Κατάταξη των Θέσεων (1.Μεσά, 2. Λευκωνιά, 3. Χίος-ΔΕΗ, 4. Λημνιά)

Πίνακας 5.7 Υπολογισμός τελικής κατάταξης των 4 εναλλακτικών θέσεων χωροθέτησης

Κίνδυνοι	Πιθανότητα	Υποκριτήρια	Πιθανότητα		1.Μεστά		2.Λευκωνιά		3.Χίος-ΔΕΗ		4.Λημνιά	
			ΤΠ	ΚΠ	ΤΠ	ΚΠ	ΤΠ	ΚΠ	ΤΠ	ΚΠ	ΤΠ	ΚΠ
Περιβαλ/κοί Κίνδυνοι	0.094	Προστατευόμενες περιοχές	0.150	0.014	0.320	0.005	0.433	0.006	0.150	0.002	0.097	0.001
		Μνημεία Αρχαιολ/κά & Πολιτιστ/κά	0.150	0.014	0.218	0.003	0.392	0.006	0.196	0.003	0.194	0.003
		Δασικά Οικοσυστήματα/Δρυμοί	0.150	0.014	0.250	0.004	0.250	0.004	0.250	0.004	0.250	0.004
		Θέσεις Προστασίας της άγριας ζωής	0.150	0.014	0.288	0.004	0.311	0.004	0.222	0.003	0.179	0.003
		Θαλάσσια οικοσυστήματα	0.150	0.014	0.250	0.004	0.250	0.004	0.250	0.004	0.250	0.004
		Προστατευόμενα είδη θαλάσσια ζωής	0.150	0.014	0.250	0.004	0.250	0.004	0.250	0.004	0.250	0.004
		Ενότητα και Αισθητική τοπίου	0.100	0.009	0.304	0.003	0.513	0.005	0.080	0.001	0.104	0.001
Κίνδυνοι για την Ασφάλεια	0.283	Οικιστικές περιοχές	0.134	0.038	0.296	0.011	0.517	0.020	0.058	0.002	0.129	0.005
		Πολιτικά Αεροδρόμια	0.123	0.035	0.285	0.010	0.074	0.003	0.321	0.011	0.321	0.011
		Λιμενικές υποδομές	0.124	0.035	0.356	0.013	0.113	0.003	0.237	0.008	0.294	0.010
		Στρατιωτικές εγκαταστάσεις	0.127	0.036	0.123	0.004	0.375	0.013	0.242	0.009	0.259	0.009
		Βιομηχανικές/Εφοδιαστικές υποδομές	0.121	0.034	0.209	0.007	0.319	0.011	0.290	0.010	0.183	0.006
		Μεταλλευτικές/Λατομικές περιοχές	0.098	0.028	0.250	0.007	0.250	0.007	0.250	0.007	0.250	0.007
		Κτίρια ευάλωτων πληθυσμών	0.139	0.039	0.375	0.015	0.325	0.013	0.062	0.002	0.238	0.009
Μονάδες Ηλεκτροπαραγωγής	0.133	0.038	0.290	0.011	0.071	0.003	0.319	0.012	0.319	0.012		
Γεωλογικοί, Γεωτεχνικοί Κίνδυνοι	0.100	Σεισμική Επικινδυνότητα	0.136	0.014	0.250	0.003	0.250	0.003	0.250	0.003	0.250	0.003
		Παρουσία Τεκτονικών ρηγμάτων	0.176	0.018	0.126	0.002	0.253	0.004	0.275	0.005	0.346	0.006
		Τοπογραφία	0.117	0.012	0.273	0.003	0.279	0.003	0.264	0.003	0.184	0.002
		Μορφολογία βυθού και ακτογραμμής	0.151	0.015	0.263	0.004	0.301	0.005	0.202	0.003	0.234	0.004
		Ευστάθεια σχηματισμών και πρηνών	0.142	0.014	0.250	0.004	0.250	0.004	0.250	0.004	0.250	0.004
		Κατολισθήσεις/Καθιζήσεις	0.144	0.014	0.250	0.004	0.250	0.004	0.250	0.004	0.250	0.004
Υδρογεωλογία - Υδρογραφία	0.135	0.013	0.283	0.004	0.229	0.003	0.268	0.004	0.220	0.003		
Μετεωρ/κοί, Ωκεαν/κοί Κίνδυνοι	0.139	Κλιματολογικές συνθήκες	0.166	0.023	0.250	0.006	0.250	0.006	0.250	0.006	0.250	0.006
		Δράση ανέμου	0.340	0.047	0.191	0.009	0.293	0.014	0.282	0.013	0.234	0.011
		Παλίρροιες – Θαλάσσια ρεύματα	0.266	0.037	0.250	0.009	0.250	0.009	0.250	0.009	0.250	0.009
		Άλλοι Φυσικοί κίνδυνοι	0.229	0.032	0.107	0.003	0.449	0.014	0.184	0.006	0.259	0.008

Πίνακας 5.7 Υπολογισμός τελικής κατάταξης των 4 εναλλακτικών θέσεων χωροθέτησης(συνέχεια)

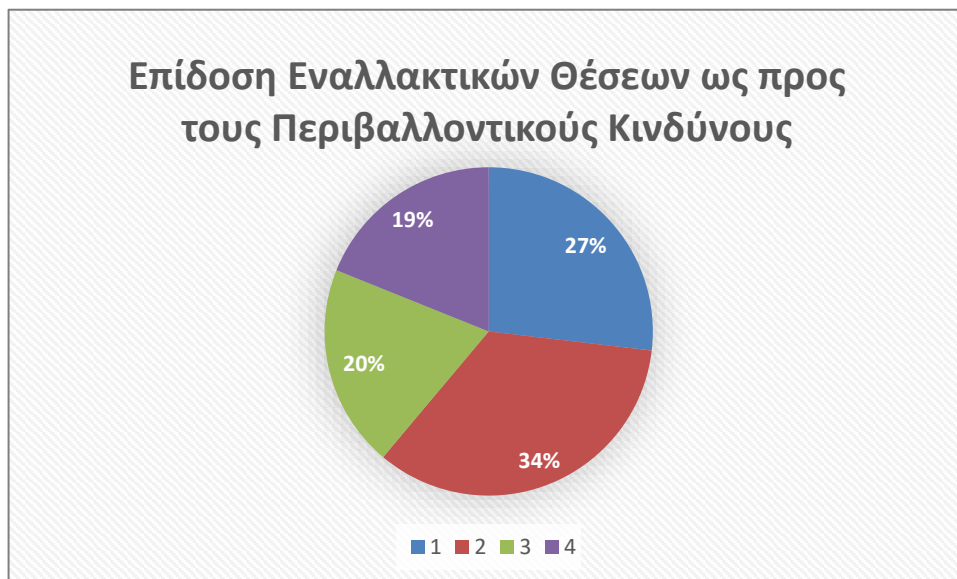
Κίνδυνοι	Πιθανότητα	Υποκριτήρια	Πιθανότητα		1.Μεστά		2.Λευκωνιά		3.Χίος δεη		4.Λημνιά	
			ΤΠ	ΚΠ	ΤΠ	ΚΠ	ΤΠ	ΚΠ	ΤΠ	ΚΠ	ΤΠ	ΚΠ
Τεχνο/κοί Κίνδυνοι	0.241	Κόστος Κατασκευής	0.140	0.034	0.359	0.012	0.171	0.006	0.201	0.007	0.269	0.009
		Κόστος Απόκτηση γης	0.101	0.024	0.143	0.003	0.535	0.013	0.176	0.004	0.146	0.004
		Ανεπάρκεια οδικού δικτύου	0.121	0.029	0.282	0.008	0.308	0.009	0.293	0.009	0.117	0.003
		Λιμενικές υποδομές	0.141	0.034	0.386	0.013	0.126	0.004	0.199	0.007	0.289	0.010
		Απόσταση από βιομηχ. καταναλωτές	0.136	0.033	0.155	0.005	0.356	0.012	0.384	0.013	0.105	0.003
		Δυνατότητα επέκτασης	0.170	0.041	0.318	0.013	0.483	0.020	0.066	0.003	0.134	0.005
		Εμπλοκή με μελλοντικά έργα	0.090	0.022	0.324	0.007	0.422	0.009	0.117	0.003	0.137	0.003
Χρηματοδότηση έργου	0.102	0.024	0.250	0.006	0.250	0.006	0.250	0.006	0.250	0.006		
Κοινωνικοί Κίνδυνοι	0.064	Αντίδραση Τοπικών Αρχών	0.137	0.009	0.347	0.003	0.472	0.004	0.068	0.001	0.113	0.001
		Αντιδράσεις Τοπικής Κοινωνίας	0.160	0.010	0.331	0.003	0.526	0.005	0.058	0.001	0.085	0.001
		Αντισταθμιστικά οφέλη	0.160	0.010	0.290	0.003	0.349	0.004	0.145	0.001	0.216	0.002
		Δημόσια Υγεία	0.342	0.022	0.386	0.008	0.196	0.004	0.098	0.002	0.320	0.007
Κίνδυνοι Απαιτήσεων Νομοθεσίας	0.080	Απαιτήσεις αδειοδότησης	0.272	0.022	0.375	0.008	0.347	0.008	0.085	0.002	0.193	0.004
		Χρόνος διαδικασιών και εγκρίσεων	0.232	0.018	0.342	0.006	0.307	0.006	0.111	0.002	0.240	0.004
		Αλλαγές Νομοθεσίας	0.230	0.018	0.323	0.006	0.288	0.005	0.157	0.003	0.232	0.004
		Περιορισμοί χρήσεις γης	0.266	0.021	0.365	0.008	0.462	0.010	0.052	0.001	0.121	0.003
Κατάταξη συνολικού κινδύνου					0.271		0.302		0.206		0.221	

Για την καλύτερη ανάλυση και κατανόηση της τελικής κατάταξης των εναλλακτικών θέσεων παρουσιάζονται τα Σχήματα 5.5-5.11, στα οποία συγκεντρώθηκαν οι συνολικές επιδόσεις των προτεινόμενων περιοχών ως προς τους κύριους κινδύνους. Ουσιαστικά, αθροίστηκαν τα επί μέρους σχετικά βάρη των θέσεων ως προς το κάθε υποκριτήριο και έτσι υπολογίστηκε η ποσοστιαία επίδοση της κάθε θέσης ως προς τους κινδύνους του συγκεκριμένου έργου. Παρακάτω σχολιάζονται οι επιδόσεις των 4 εναλλακτικών θέσεων ως προς τον κίνδυνο με την υψηλότερη πιθανότητα (Κίνδυνοι Ασφαλείας), καθώς και οι κατηγορίες των κινδύνων (και οι υποκατηγορίες αυτών) που η Θ2 δεν είχε την καλύτερη επίδοση, έτσι ώστε να δοθεί μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα για ενδεχόμενους περιορισμούς του έργου.

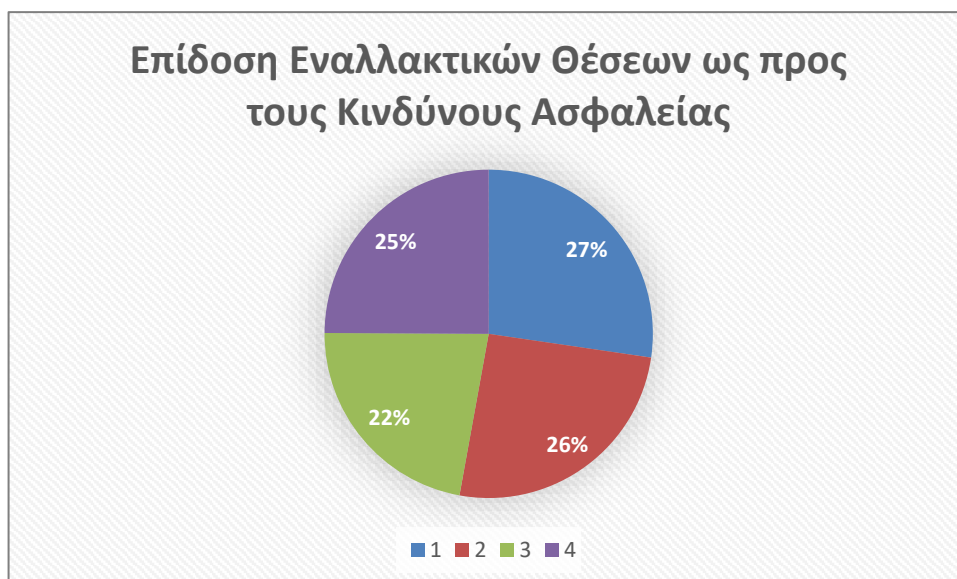
Αρχικά, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.6, στην κατηγορία των Κινδύνων Ασφαλείας, η Θ1 επικρατεί με διαφορά 1% από την Θ2, ενώ ακολουθεί η Θ4 και έπειτα η Θ3. Πιο αναλυτικά, η οριακά χαμηλότερη επίδοση της Θ2 αιτιολογείται από τη μικρότερη επίδοση στα υποκριτήρια «Πολιτικά Αεροδρόμια» και «Μονάδες Ηλεκτροπαραγωγής», καθώς πλησίον της θέσης βρίσκονται και το αεροδρόμιο του νησιού, αλλά και ο Αυτόνομος Σταθμός Παραγωγής της ΔΕΗ. Ακόμη η Θ1 βαθμολογείται υψηλότερα ως προς τις «Λιμενικές Υποδομές» και τα «Κτίρια ευάλωτων πληθυσμών», διότι πρώτον τα λιμενικά έργα που υπάρχουν θεωρείται ότι προσφέρουν ασφάλεια ως προς την εγκατάσταση (π.χ. ύπαρξη κυματοθραύστη) και δεύτερον η Θ2 βρίσκεται σε μικρότερη απόσταση από σχολείο της περιοχής. Ως προς τα υπόλοιπα υποκριτήρια η Θ1 είχε καλύτερη επίδοση από τις υπόλοιπες θέσεις. Η Θ4 συγκεντρώνει σχετικά ενδιάμεσες τιμές ως προς τις υπόλοιπες θέσεις, ωστόσο οι χαμηλές επιδόσεις της ως προς τα υποκριτήρια «Οικιστικές Περιοχές» και «Βιομηχανικές/Εφοδιαστικές υποδομές», την κατατάσσουν 3^η σε αυτή την κατηγορία κινδύνων. Τις χειρότερες επιδόσεις σε αυτή την κατηγορία κινδύνων είχε η Θ3 και συγκεκριμένα στα υποκριτήρια «Οικιστικές Περιοχές» και «Κτίρια ευάλωτων πληθυσμών». Αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι βρίσκεται στον οικιστικό ιστό του νησιού και συγκεκριμένα ανάμεσα στους κεντρικούς οικισμούς της Χίου και του Βροντάδος, όπου υπάρχουν σε κοντινά απόσταση τόσο σχολεία όσο και νοσοκομεία της περιοχής.

Συγκεντρωτικά, η Θ2 επικρατεί των υπολοίπων σε 5 από τις 7 κατηγορίες κινδύνων. Οι κατηγορίες που δεν έχει την καλύτερη επίδοση είναι η κατηγορία των Κινδύνων Ασφαλείας, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, καθώς και η κατηγορία Κινδύνων λόγω Απαιτήσεων της Νομοθεσίας, που συγκεντρώνει ίδιο ποσοστό με τη Θ1 (35% και οι δύο). Όσον αφορά τους Κινδύνους Απαιτήσεων Νομοθεσίας, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι θέσεις Θ1 και Θ2 θα έχουν εξίσου την ίδια ευκολία ως προς τα ζητήματα Νομοθεσίας, με την Θ1 να θεωρείται

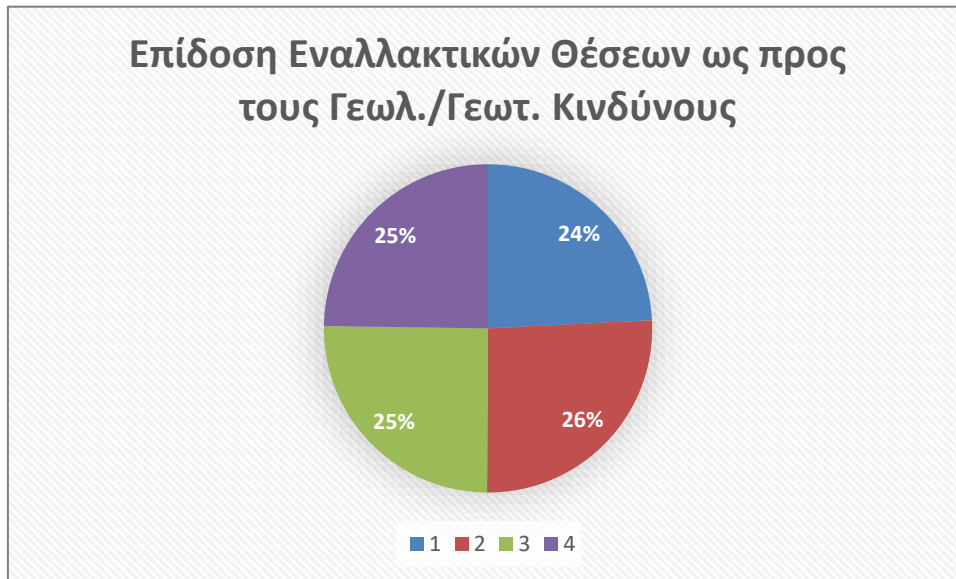
οριακά καλύτερη στις υποκατηγορίες «Νομοθεσία και Απαιτήσεις Αδειοδότησης», «Χρόνος Διαδικασιών και εγκρίσεων» και «Αλλαγές Νομοθεσίας/Θεσμικού πλαισίου» και την Θ2 να είναι καλύτερη στην Υποκατηγορία «Περιορισμοί-Χρήσεις Γης». Οι παραπάνω κρίσεις προέκυψαν από το γεγονός ότι η Θ2, βρίσκεται πλησίον σε βιομηχανία Seveso (Αυτόνομος Σταθμός Παραγωγής ΔΕΗ) με συνέπεια να προκύψουν ενδεχόμενες καθυστερήσεις στην αδειοδότηση της εγκατάστασης λόγω αυτής της γειννίαςης. Επιπλέον θεωρείται ότι η ανάγκη λιμενικών υποδομών στη Θ2 αυξάνει τον απαιτούμενο χρόνο των διαδικασιών για την χωροθέτηση της εγκατάστασης, σε σύγκριση με τη Θ1 που υπάρχει ήδη λιμένας. Ωστόσο οι χρήσεις γης της περιοχής ευνοούν περισσότερο τη Θ2 από την Θ1.



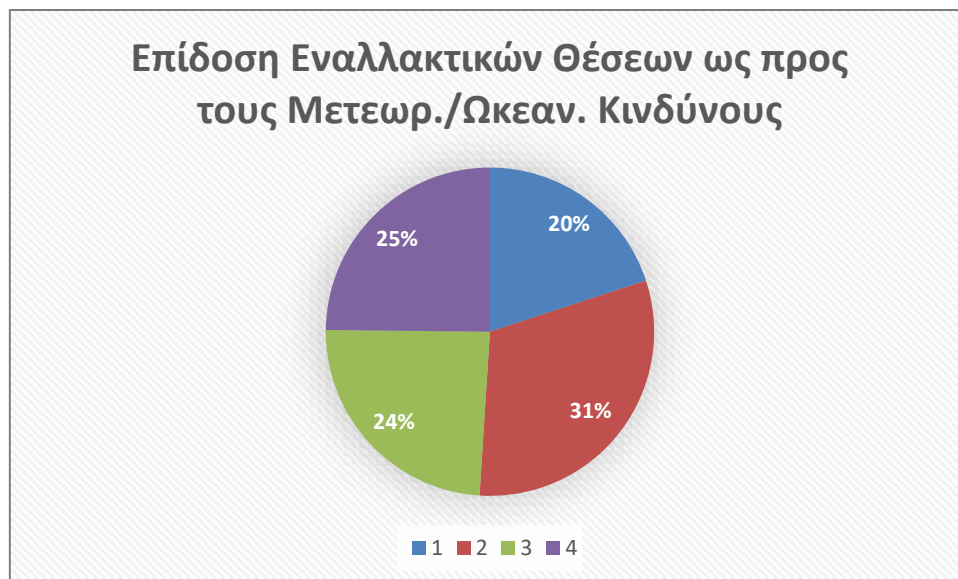
Σχήμα 5.5 Επιδόσεις εναλλακτικών θέσεων ως προς τους Περιβαλλοντικούς Κινδύνους (1. Μεστά, 2. Λευκωνιά, 3. Χίος-ΔΕΗ, 4. Λημνιά)



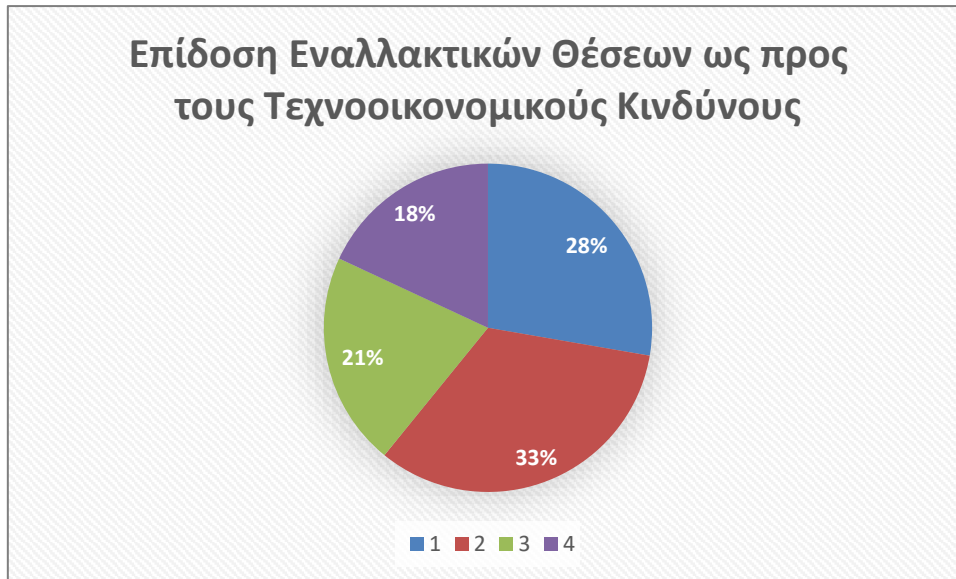
Σχήμα 5.6 Επιδόσεις εναλλακτικών θέσεων ως προς τους Κινδύνους Ασφαλείας (1. Μεστά, 2. Λευκωνιά, 3. Χίος-ΔΕΗ, 4. Λημνιά)



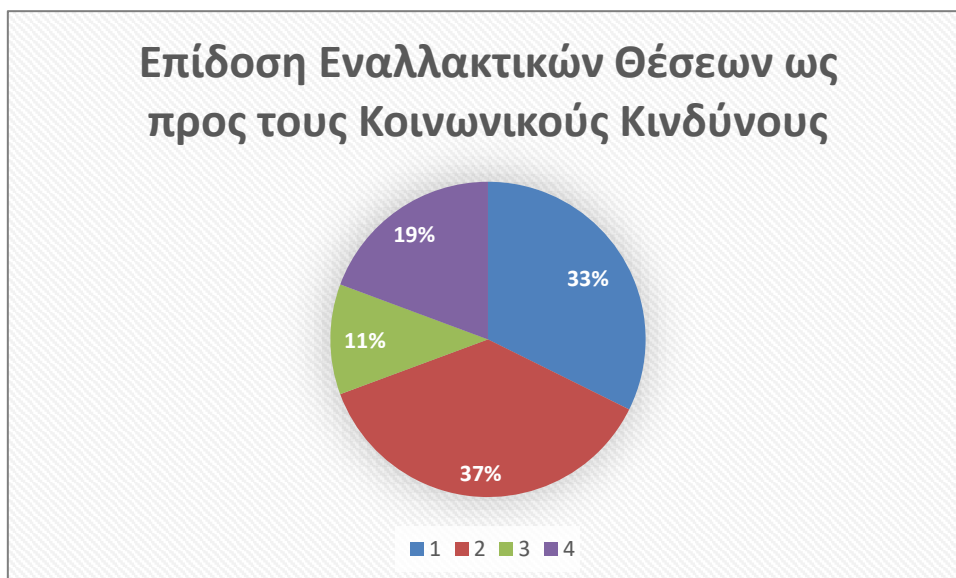
Σχήμα 5.7 Επιδόσεις εναλλακτικών θέσεων ως προς τους Γεωλογικούς/Γεωτεχνικούς Κινδύνους
(1. Μεστά, 2. Λευκωνιά, 3. Χίος-ΔΕΗ, 4. Λημνιά)



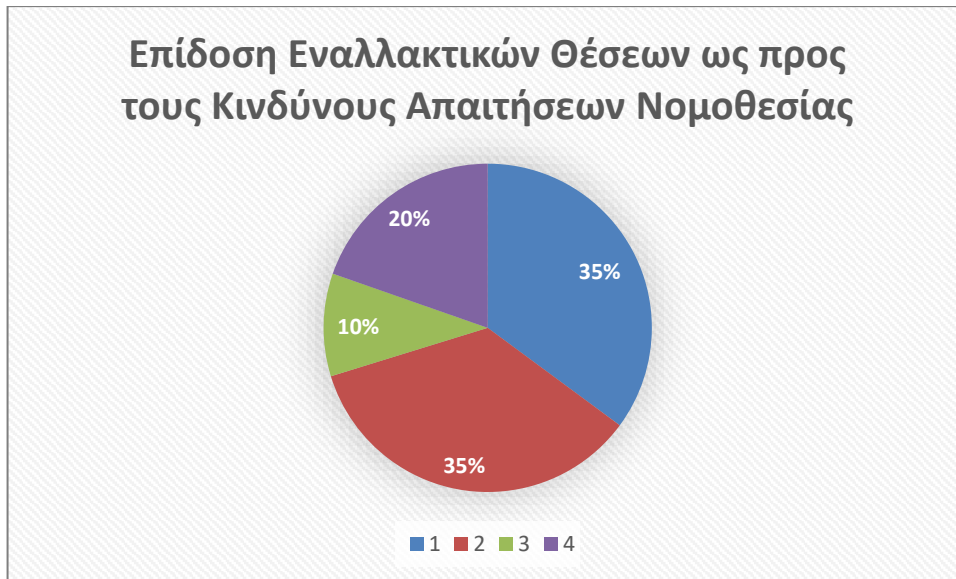
Σχήμα 5.8 Επιδόσεις εναλλακτικών θέσεων ως προς τους Μετεωρολογικούς/Ωκεανογραφικούς
Κινδύνους (1. Μεστά, 2. Λευκωνιά, 3. Χίος-ΔΕΗ, 4. Λημνιά)



Σχήμα 5.9 Επιδόσεις εναλλακτικών θέσεων ως προς τους Τεχνοοικονομικούς Κινδύνους (1. Μεστά, 2. Λευκωνιά, 3. Χίος-ΔΕΗ, 4. Λημνιά)



Σχήμα 5.10 Επιδόσεις εναλλακτικών θέσεων ως προς τους Κοινωνικούς Κινδύνους (1. Μεστά, 2. Λευκωνιά, 3. Χίος-ΔΕΗ, 4. Λημνιά)



Σχήμα 5.11 Επιδόσεις εναλλακτικών θέσεων ως προς τους Κινδύνους λόγω Απαιτήσεων της Νομοθεσίας (1. Μεστά, 2. Λευκωνιά, 3. Χίος-ΔΕΗ, 4. Λημνιά)

5.8 Ανάλυση Ευαισθησίας – Αποτελέσματα

Στα πλαίσια επιβεβαίωσης της σωστής λειτουργίας του μοντέλου, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας, η οποία αποτελεί πρακτικό εργαλείο για την διερεύνηση της ισχύος ενός προβλήματος απόφασης. Αρχικά μπορεί να θεωρηθεί ότι οι επιδόσεις των εναλλακτικών θέσεων δεν παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους (3.1% η πρώτη από την δεύτερη θέση) και ενδεχόμενες μεταβολές στα κριτήρια να επηρεάσουν την τελική κατάταξη. Η ανάλυση ευαισθησίας θα εξετάσει τον βαθμό επιρροής της ποσοστιαίας μεταβολής των δύο επικρατέστερων κινδύνων στην τελική κατάταξη των θέσεων για τη χωροθέτηση. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκε να εξεταστεί η μεταβολή των Κινδύνων Ασφαλείας και των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων, που είναι οι κίνδυνοι με τη μεγαλύτερη πιθανότητα, με εύρος ευαισθησίας $\pm 20\%$ (με βήμα 5%) και για επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων εξετάστηκε και το σενάριο $\pm 80\%$. Οι τιμές των υπόλοιπων κριτηρίων μεταβάλλονται με την ίδια τιμή, έτσι ώστε να διατηρείται το άθροισμά τους ίσο με τη μονάδα.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας φαίνονται στους Πίνακες 5.8, 5.9. Σε όλες τις περιπτώσεις, η βέλτιστη (mostly robust) λύση εξακολουθεί να είναι η υπάρχουσα

(Θ2), ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι δεν παρατηρείται και αλλαγή στην σειρά κατάταξης των υπολοίπων θέσεων ($\Theta2 > \Theta1 > \Theta4 > \Theta3$). Επιπλέον αναφέρεται ότι η διαφορά της πρώτης θέσης (Θ2) με τη δεύτερη (Θ1) παραμένει σχεδόν σταθερή, ενώ η μόνη φορά που μειώνεται αξιοσημείωτα (από 3.1% σε 1.8%) είναι κατά την αύξηση 80% της βαρύτητας των Κινδύνων Ασφαλείας. Ωστόσο, ακόμα και υπό αυτές τις συνθήκες η σειρά κατάταξης δεν μεταβάλλεται.

Συμπερασματικά, η εναλλακτική θέση (Θ2) στην περιοχή της Λευκωνιάς, προκύπτει ως η επικρατέστερη για την χωροθέτηση της μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας στο νησί της Χίου. Η εγκατάσταση της μονάδας στη θέση αυτή συγκεντρώνει κάποια βασικά πλεονεκτήματα και παρουσιάζει αρκετές προοπτικές, όπως είναι η απόσταση από κάποιο οικιστικό κέντρο, η έκταση και συνεπώς η δυνατότητα επέκτασης, η γεινίαση με τον Αυτόνομο Σταθμό Παραγωγής της ΔΕΗ (σε ενδεχόμενη χρήση για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας), καθώς και οι υπάρχουσες χρήσεις γης στην συγκεκριμένη περιοχή, οι οποίες δεν αντικρούονται με τις απαιτούμενες για την εγκατάσταση της μονάδας ΥΦΑ. Επιπλέον, η επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων έπειτα από την ανάλυση ευαισθησίας και η απόδειξη της μαθηματικής συνέπειας της μεθόδου (έλεγχος συνέπειας) αποδεικνύει την ορθότητα της απόφασης αλλά συγχρόνως και την αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Η επίλυση του προβλήματος απόφασης της χωροθέτησης με την εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου που προτείνει η παρούσα διπλωματική κρίνεται σε ικανοποιητικό βαθμό αξιόπιστη, βασιζόμενη στα δεδομένα εισαγωγής που δόθηκαν κατά την επίλυση με την μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης ΑHP.

Πίνακας 5.8 Ανάλυση Ευαισθησίας με μεταβολή των Κινδύνων Ασφαλείας

Αλλαγή	Δ	Ασφ/α	Περιβ/κοί	Γεωλ/κοί	Μετ/κοί	Τεχν/κοί	Κοινωνικοί	Νομοθεσία	1.Μεστά	2.Λευκωνιά	3.Χίος ΔΕΗ	4.Λημνιά
-80%	-0.226	0.057	0.132	0.138	0.177	0.279	0.101	0.118	0.272	0.316	0.199	0.214
-20%	-0.057	0.226	0.103	0.109	0.148	0.250	0.073	0.089	0.272	0.305	0.204	0.219
-15%	-0.042	0.241	0.101	0.107	0.146	0.248	0.071	0.087	0.272	0.304	0.204	0.220
-10%	-0.028	0.255	0.099	0.105	0.144	0.246	0.068	0.084	0.272	0.303	0.205	0.220
-5%	-0.014	0.269	0.096	0.102	0.141	0.243	0.066	0.082	0.271	0.302	0.205	0.221
0%	0.000	0.283	0.094	0.100	0.139	0.241	0.064	0.080	0.271	0.302	0.206	0.221
5%	0.014	0.297	0.091	0.098	0.136	0.239	0.061	0.077	0.271	0.301	0.206	0.222
10%	0.028	0.311	0.089	0.095	0.134	0.236	0.059	0.075	0.271	0.300	0.207	0.222
15%	0.042	0.325	0.087	0.093	0.132	0.234	0.057	0.073	0.271	0.299	0.207	0.223
20%	0.057	0.340	0.084	0.090	0.129	0.231	0.054	0.070	0.271	0.298	0.207	0.223
80%	0.226	0.509	0.056	0.062	0.101	0.203	0.026	0.042	0.270	0.288	0.213	0.229

Πίνακας 5.9 Ανάλυση Ευαισθησίας με μεταβολή των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

Αλλαγή	Δ	Τεχν/κοί	Περιβ/κοί	Ασφ/α	Γεωλ/κοί	Μετ/κοί	Κοινωνικοί	Νομοθεσία	1.Μεστά	2.Λευκωνιά	3.Χίος ΔΕΗ	4.Λημνιά
-80%	-0.193	0.048	0.126	0.315	0.132	0.171	0.096	0.112	0.270	0.298	0.202	0.230
-20%	-0.048	0.193	0.102	0.291	0.108	0.147	0.072	0.088	0.271	0.301	0.205	0.223
-15%	-0.036	0.205	0.100	0.289	0.106	0.145	0.070	0.086	0.271	0.301	0.205	0.223
-10%	-0.024	0.217	0.098	0.287	0.104	0.143	0.068	0.084	0.271	0.301	0.205	0.222
-5%	-0.012	0.229	0.096	0.285	0.102	0.141	0.066	0.082	0.271	0.302	0.206	0.222
0%	0.000	0.241	0.094	0.283	0.100	0.139	0.064	0.080	0.271	0.302	0.206	0.221
5%	0.012	0.253	0.092	0.281	0.098	0.137	0.062	0.078	0.272	0.302	0.206	0.221
10%	0.024	0.265	0.090	0.279	0.096	0.135	0.060	0.076	0.272	0.302	0.206	0.220
15%	0.036	0.277	0.088	0.277	0.094	0.133	0.058	0.074	0.272	0.302	0.207	0.220
20%	0.048	0.289	0.086	0.275	0.092	0.131	0.056	0.072	0.272	0.303	0.207	0.219
80%	0.193	0.362	0.062	0.251	0.068	0.107	0.032	0.048	0.273	0.305	0.210	0.213

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και Προτάσεις Περαιτέρω Έρευνας

Στην παρούσα διπλωματική προτείνεται μια μεθοδολογία για τη χωροθέτηση μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας, η οποία βασίζεται στην ανάλυση και την αξιολόγηση των κινδύνων του εν λόγω έργου. Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόστηκε στο νησί της Χίου, ως μελέτη περίπτωσης, όπου αξιολογήθηκαν 4 εναλλακτικές θέσεις ως προς τους κινδύνους. Ως εργαλείο για τον προσδιορισμό της πιθανότητας των κινδύνων και της αξιολόγησης των εναλλακτικών θέσεων σε σχέση με την επίδοσή τους ως προς τους κινδύνους, επιλέχθηκε η μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης ΑΗΡ. Για την υλοποίηση της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν οι κρίσεις εμπειρογνομόνων (τρεις εμπειρογνώμονες συμμετείχαν στην έρευνα)⁴, οι οποίες εξήχθησαν από σχετικά ερωτηματολόγια. Στα πλαίσια αυτά διατυπώνονται τα εξής συμπεράσματα:

- Βάσει της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που πραγματοποιήθηκε πρώτον ως προς τους γενικότερους κινδύνους που υφίστανται στα τεχνικά έργα, δεύτερον ως προς τους κινδύνους ασφαλείας που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη μεταφορά και αποθήκευση ΥΦΑ και τέλος ως προς τις απαιτήσεις της ελληνικής νομοθεσίας, εντοπίστηκαν οι κυριότερες κατηγορίες κινδύνων (και οι υποκατηγορίες τους) που ενέχουν αυτές οι εγκαταστάσεις. Αυτές είναι οι παρακάτω:
 1. Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι,
 2. Κίνδυνοι Ασφαλείας,
 3. Γεωλογικοί/ Γεωτεχνικοί Κίνδυνοι,
 4. Μετεωρολογικοί/Ωκεανογραφικοί Κίνδυνοι,
 5. Τεχνοοικονομικοί Κίνδυνοι,
 6. Κοινωνικοί Κίνδυνοι και
 7. Κίνδυνοι λόγω Απαιτήσεων της Νομοθεσίας

⁴ Για λόγους εμπιστευτικότητας δεν αναφέρονται τα στοιχεία τους.

- Η εφαρμογή της μεθόδου AHP, η οποία διεξήχθη σύμφωνα με τις κρίσεις των εμπειρογνομόνων, ανέδειξε ως σημαντικότερους κινδύνους σε έργα χωροθέτησης ΥΦΑ μικρής κλίμακας τους Κινδύνους Ασφαλείας και τους Τεχνοοικονομικούς Κινδύνους.
- Η επικρατέστερη θέση, με την υψηλότερη επίδοση από το σύνολο των 4 εναλλακτικών θέσεων, για την χωροθέτηση της μονάδας είναι η Θ2 στην περιοχή της Λευκωνιάς.
- Η αξιοπιστία της μεθόδου και η ορθότητα της απόφασης επιβεβαιώνονται από τον έλεγχο συνέπειας της AHP και μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας στους κινδύνους που συγκέντρωνουν την υψηλότερη πιθανότητα.
- Η μέθοδος AHP διαπιστώνεται ότι αποτελεί ευέλικτο, γρήγορο και αποδοτικό τρόπο ανάλυσης των κινδύνων σε έργα χωροθέτησης μονάδων ΥΦΑ μικρής κλίμακας, όπου μέσω της εφαρμογής της η κρίση των εμπειρογνομόνων ποσοτικοποιείται και αναλύεται με μαθηματικά συνεπή τρόπο. Τα ανωτέρω την καθιστούν ένα χρήσιμο εργαλείο για την λήψη απόφασης αναφορικά με τη χωροθέτηση των εν λόγω εγκαταστάσεων.

Ωστόσο, επειδή η χωροθέτηση μονάδων ΥΦΑ μικρής κλίμακας αποτελεί ένα πολυπαραγοντικό ζήτημα με πολλές παραμέτρους προς εξέταση, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι για την πληρότητα της ανωτέρω εργασίας και για την τελική λήψη απόφασης ενός τέτοιου έργου θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω κάποιοι παράγοντες. Αρχικά, θα πρέπει να γίνει έλεγχος της βιωσιμότητας της επένδυσης μέσω τεχνοοικονομικής ανάλυσης, έτσι ώστε να ορισθεί και το μέγεθος της μονάδας και αντίστοιχα οι ανάγκες χωροθέτησης. Επιπρόσθετα, επειδή η χωροθέτηση στηρίζεται κυρίως στα εισαγόμενα δεδομένα και την ποιότητά τους, είναι σημαντικό να αναζητηθούν ορισμένα από αυτά στα οποία δεν υπήρχε πρόσβαση είτε ήταν δύσκολο να αναγνωρισθούν με ακρίβεια, από τους αρμόδιους φορείς, όπως είναι η Περιφέρεια και ο Δήμος, είτε από αυτοψία της περιοχής από διεπιστημονική ομάδα μελέτης, πρακτική που συνήθως ακολουθείται σε παρόμοιες περιπτώσεις. Τέλος, η παράλληλη εφαρμογή και άλλης πολυκριτηριακής μεθόδου για σύγκριση των αποτελεσμάτων (benchmarking) με την AHP (π.χ. ELECTRE, PROMETHEE κλπ.), θα μπορούσε να διαπιστώσει ενδεχόμενες ελλείψεις της μεθόδου.

Βιβλιογραφία

Διεθνής βιβλιογραφία

- Akintoye, A. S., & MacLeod, M. J. (1997). Risk analysis and management in construction. *International journal of project management*, 15(1), 31-38.
- APEC Energy Working Group. (2019). *Small-scale LNG in Asia-Pacific*, Institute of Energy Economics, Japan
- Balcombe, P., Anderson, K., Speirs, J., Brandon, N., & Hawkes, A. (2016). The natural gas supply chain: The importance of methane and carbon dioxide emissions. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(1), 3-20.
- Basbas, S., & Makridakis, C. M. (2007). A review of the contribution of multi-criteria analysis to the evaluation process of transportation projects. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 2(4), 387-407.
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with applications*, 39(17), 13051-13069.
- Berrittella, M., Certa, A., Enea, M., & Zito, P. (2007). An analytic hierarchy process for the evaluation of transport policies to reduce climate change impacts. *SSRN Electronic Journal*. 10.2139/ssrn.962379.
- BP Approximate conversion factors statistical Review of World Energy, n.d., Ανακτήθηκε από <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-approximate-conversion-factors.pdf>
- BP Energy Outlook. (2019). London, United Kingdom 2019, Ανακτήθηκε από <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf>
- Chourabi, Z., Khedher, F., Babay, A., & Cheikhrouhou, M. (2018). Multi-criteria decision making in work force choice using AHP, WSM and WPM. *The Journal of The Textile Institute*, 110(7), 1092-1101. 10.1080/00405000.2018.1541434.
- Cleaver, P., Dahlsveen, J., Heiersted, R., & Dahlsveen, J. (1998). Rapid phase transition of LNG. In *Twelfth International Conference & Exhibition on Liquefied Natural Gas*.
- D'alessandro, A. A., Izurieta, E. M., & Tonelli, S. M. (2016). Decision-making tools for a LNG regasification plant siting. *Journal of Loss Prevention in the process industries*, 43, 255-262.

- Danish Maritime Authority (DMA), 2012. North European LNG Infrastructure Project: A feasibility study for an LNG filling station infrastructure and test of recommendations. Copenhagen, Denmark.
- Dey, P. K. (2011). Project risk management using multiple criteria decision-making technique and decision tree analysis: a case study of Indian oil refinery. *Production Planning & Control*, 23(12), 903-921.
- Dey, P.K. (2001). Decision support system for project risk management: a case study. *Management Decision*, 39 (8), 634–649.
- Drube, T., Haukoos, B., Thompson, P., and Williams, G. (2012). National Petroleum Council Future Transportation Fuels Study—An Initial Qualitative Discussion on Safety Considerations for LNG Use in Transportation, Draft White Paper, May 22.
- GIIGNL-THE INTERNATIONAL GROUP OF LIQUEFIED NATURAL GAS IMPORTERS (2015). Rollover in LNG Storage Tanks 2nd Edition: 2012 - 2015 | Public Version Summary Report by the GIIGNL Technical Study Group on the Behaviour of LNG in Storage.
- GIIGNL-THE INTERNATIONAL GROUP OF LIQUEFIED NATURAL GAS IMPORTERS. (2019a). The LNG Process Chain, LNG INFORMATION PAPER #2 2019 Update
- GIIGNL-THE INTERNATIONAL GROUP OF LIQUEFIED NATURAL GAS IMPORTERS. (2019b). LNG Ships, LNG INFORMATION PAPER #3 2019 Update.
- GIIGNL-THE INTERNATIONAL GROUP OF LIQUEFIED NATURAL GAS IMPORTERS GIIGNL (2019c). Information Paper # 7 – Questions and Answers (Q&A's) 2019 Update.
- GLE (2013).GLE Position Paper: Overcoming barriers in the Small Scale LNG development. Gas LNG Europe (GLE). <http://www.gie.eu/index.php/news/gle-news/16-news/gle/240-gle-publishes-position-paper-overcoming-barriers-in-the-small-scale-lng-development>
- Harris, S., Clifton, A., Wayne, B., & Robin, J. Y. (2014). LNG Shipping at 50: SIGTTO at 35 & GIIGNL at 43: a Commemorative SIGTTO/GIIGNL Publication 2014. M. Corkhill (Ed.). Riviera Maritime Media Limited.
- Hillson, D. (2003). *Effective opportunity management for projects: Exploiting positive risk*. Crc Press.
- Hillson, D. (2009). *Managing Risk in Projects*. Gower Publishing, Ltd.
- Ho, W., Dey, P.K., Higson, H.E.(2006). Multiple criteria decision making techniques in higher education. *International Journal of Educational Management* 20 (5), 319–337.
- Huebel ,R.R. (2015) Design Considerations for Your Next, Small-Scale LNG Project Santiago, Chile. Oct. 28-29, 2015.
- IEA (2017). "World Energy Outlook 2017", IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2017>

- IEA(2019). "World Energy Outlook 2019", IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>
- International Gas Union (IGU) (2015a). Life Cycle Assessment of LNG, 2012-2015 Triennial Work Report, Programme Committee D.4 Study Group Report In: World Gas Conference, Paris; 2015.
- International Gas Union (IGU) (2015b). Small Scale LNG: 2012-2015 Triennial Work Report, Programme Committee D.3. In: World Gas Conference, Paris; 2015.
- International Gas Union (IGU) (2016). CASE STUDIES ENABLING CLEAN ENERGIES. Ανακτήθηκε στις 05/12/2019 από:
http://www.igu.org/sites/default/files/IGU_CaseStudies_Enabling%20Clean%20Energies_Fi_al_No%20reference%20to%20G20.pdf
- International Gas Union (IGU)(2019a).Global Movement of Natural Gas, Ανακτήθηκε στις 22/11/2019 από <https://www.igu.org/resources-data>
- International Gas Union (IGU)(2019b). WORLD LNG REPORT, Ανακτήθηκε στις 15/11/2019 από:
https://www.igu.org/sites/default/files/node-news_item_field_file/IGU%20Annual%20Report%202019_23%20loresfinal.pdf
- International Gas Union (IGU), n.d., Natural Gas Conversion Pocketbook. Ανακτήθηκε στις 20/12/2019 από:
http://agnatural.pt/documentos/ver/natural-gas-conversion-pocketbook_fec0aeed1d2e6a84b27445ef096963a7eebab0a2.pdf
- International Gas Union, "2018 World LNG Report: 27th World Gas Conference Edition", Ανακτήθηκε στις 10/12/2019 από:
https://www.igu.org/sites/default/files/node-document_field_file/IGU_LNG_2018_0.pdf
- International Maritime Organization (IMO) (2019). Sulphur 2020 – cutting Sulphur oxide emissions. Ανακτήθηκε από:
<http://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/sulphur-2020.aspx>
- Kumar, S., Kwon, H. T., Choi, K. H., Lim, W., Cho, J. H., Tak, K., & Moon, I. (2011). LNG: An eco-friendly cryogenic fuel for sustainable development. Applied energy, 88(12), 4264-4273.
- Løken, E. (2007). Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(7), 1584-1595.
- Melhem, G. A., Saraf, S., & Ozog, H. (2006). Understand LNG Rapid Phase Transitions (RPT). Anio Mosaic Corporation Whitepaper, Houston.

- Mokhatab, S., Mak, J. Y., Valappil, J. V., & Wood, D. A. (2013). Handbook of liquefied natural gas. Gulf Professional Publishing.
- Owen, S. H., & Daskin, M. S. (1998). Strategic facility location: A review. *European journal of operational research*, 111(3), 423-447.
- Pardalos, P.M., Siskos, Y., Zopounidis, C. (Eds.) (1995). Editorial: Advances in multicriteria analysis. Kluwer Academic Publishers, Dordrech
- Pavan, M., Todeschini, R. (2009). Multicriteria Decision Making Methods, in *Comprehensive Chemometrics*, Vol. 1 (eds. B. Walczak, R. Taulér and S. Brown), Elsevier, Amsterdam (The Netherlands), pp. 591-629
- Pohekar, S. D., & Ramachandran, M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 8(4), 365-381.
- Poseidon Med II (2019). Ανακτήθηκε από <https://www.poseidonmedii.eu/>
- Raftery, J. (2003). Risk analysis in project management. Routledge.
- Ramanathan, R. (2001). A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment. *Journal of environmental management*, 63(1), 27-35.
- Rose, K. H. (2013). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)—Fifth Edition. *Project management journal*, 44(3), e1-e1.
- Saaty, T. L. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical modelling*, 9(3-5), 161-176.
- Saaty, T. L., & Kearns, K. P. (1985). Analytical planning: The organization of system (Vol. 7). CHAPTER 3 - The Analytic Hierarchy Process, Pages 19-62, Pergamon, ISBN 9780080325996, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-032599-6.50008-8>.
- Sapienza, G., Brestovac, G., Grgurina, R., & Seceleanu, T. (2016). On applying multiple criteria decision analysis in embedded systems design. *Design automation for embedded systems*, 20(3), 211-238.
- Schneider, R. C., & Vis, I. F. (2016). Maritime Location Decisions for Lng Bunkering Facilities.
- Serpella, A. F., Ferrada, X., Howard, R., & Rubio, L. (2014). Risk management in construction projects: a knowledge-based approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 119, 653-662.
- Setiawan, A., Sediyo, E., & Moekoe, D. A. (2014). Application of AHP method in determining priorities of conversion of unused land to food land in Minahasa Tenggara. *International Journal of Computer Applications*, 89(8).

- Sharples, J. (2019). LNG supply chains and the development of LNG as a shipping fuel in Northern Europe, Oxford Institute for Energy Studies, Ανακτήθηκε στις 15/01/2020 από:
<https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2019/01/LNG-supply-chains-and-the-development-of-LNG-as-a-shipping-Fuel-in-Northern-Europe-NG-140.pdf>
- Sia Partners (2018). Small but Mighty: Small-scale LNG Facilities Introduce a Clean Fuel Alternative, Ανακτήθηκε από <https://energy.sia-partners.com/20180731/small-mighty-small-scale-lng-facilities-introduce-clean-fuel-alternative>
- Sonne, T. R., & Bomba, J. G. (2008). Critical Parameters for LNG Marine Terminal Site Selection. In Offshore Technology Conference. Offshore Technology Conference.
- Spanidis, Philip-Mark P. & Pavloudakis, Francis & Roumpos, Christos. (2019). A Methodology for Natural Hazards Risk Management in Continuous Surface Lignite Mines.
- Steyn, J. (2018a). Introduction to Project Risk Management—Part 1—Planning.
- Steyn, J. (2018b). Introduction to Project Risk Management: Part 2—Identify, analyse, action and monitor project risks.
- Strantzali, E., Aravossis, K., Livanos, G., & Chrysanthopoulos, N. (2018). A Novel Multicriteria Evaluation of Small-Scale LNG Supply Alternatives: The Case of Greece. *Energies*, 11(4), 903.
- Triantaphyllou, E., Shu, B., Sanchez, S. N., & Ray, T. (1998). Multi-criteria decision making: an operations research approach. *Encyclopedia of electrical and electronics engineering*, 15(1998), 175-186.
- Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of operational research*, 169(1), 1-29.
- Vargas, L. G. (1990). An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European journal of operational research*, 48(1), 2-8.
- Velasquez, M., & Hester, P. T. (2013). An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56-66.
- WARTSILA (2018). Developers guide to small-scale LNG terminals, Ανακτήθηκε στις 10/1/2020 από:
<https://www.wartsila.com/docs/default-source/power-plants-documents/downloads/brochures/developers-guide-to-small-scale-lng-terminal.pdf>
- Whaiduzzaman, M., Gani, A., Anuar, N. B., Shiraz, M., Haque, M. N., & Haque, I. T. (2014). Cloud service selection using multicriteria decision analysis. *The Scientific World Journal*, 2014.

Ελληνική βιβλιογραφία

- ΑΞΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΕ. (2018). ΣΧΕΔΙΟ ΠεΣΠΚΑ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ. Αθήνα.
- Γεωργαντοπούλου, Α. (2013). Ανάπτυξη συστήματος στήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση κινδύνων στα τεχνικά έργα. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών
- Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου (ΔΕΣΦΑ). (2019). Σχέδιο ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΣΦΑ 2020-2029, Ιούλιος 2019
- Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE). (2019). Ο Ελληνικός ενεργειακός τομέας, Ετήσια έκθεση 2019
- Καρώνης, Δ., Ζαννίκος, Φ., Λόης, Ε. (2014). Τεχνολογία Καυσίμων και Λιπαντικών. Εκδόσεις Ε.Μ.Π. Αθήνα.
- Σάρδη, Χ.Ν.(2018). ΛΙΜΕΝΟΣΚΟΠΙΟ ΝΗΣΟΥ ΛΕΣΒΟΥ, ΝΗΣΟΥ ΧΙΟΥ, ΝΗΣΟΥ ΣΑΜΟΥ. ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.
- Σπανίδης, Φ.Μ. (2017). Εφαρμογή της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης (ΔΑΙ στην έρευνα Διαδρόμων Αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου. 2ο Εθνικό Συνέδριο «Ενέργεια & Ανάπτυξη 2017», Αθήνα 23-25 Νοεμβρίου 2017.
- PRISMA, Τριανταφυλλίδης, Λ., Μανδουλάς, Χ. (2013). Μελέτη: Αξιολόγηση αναθεώρηση και εξειδίκευση περιφερειακού πλαισίου χωροταξικού σχεδιασμού και αιεφόρου ανάπτυξης Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου. Αθήνα.

Νομοθεσία

- Απόφ. ΥΠΕΝ/Δ ΧΩΡΣ/28990/358. (2019). «Έγκριση αναθεώρησης του Περιφερειακού Χωροταξικού Πλαισίου της Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου και Περιβαλλοντική Έγκριση αυτού». (ΦΕΚ Δ 181/16-04-2019)

Πηγές χαρτογραφικών δεδομένων

1. Geodata: <https://geodata.gov.gr/>
2. Οικοσκόπιο: <http://www.oikoskopio.gr/map/>
3. ΡΑΕ GeoPortal: <http://www.rae.gr/geo/>
4. ΦΙΛΟΤΗΣ: https://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/?sort=site_code&dir=asc
5. ΟΑΣΠ: <https://www.oasp.gr/sites/default/files/No%20265g.pdf>
6. ΥΠΕΝ: ΠΧΠ Βορείου Αιγαίου
[http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=514&language=el-GR,](http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=514&language=el-GR)

<http://mapsportal.ypen.gr/maps/211>,

http://mapsportal.ypen.gr/layers/geonode:edafmap_1997_6,

<http://mapsportal.ypen.gr/maps/205#more>

7. Greek Database of Seismogenic Sources:

http://eqgeogr.weebly.com/uploads/8/2/8/3/8283914/gredass_poster_a0l.pdf

Grecorama(Αρχαιολογικοί χώροι και μνημεία):

<http://grecorama.com/el/archaiologikos-xoros-emporios-chios>

8. (Σχολεία Χίου)

<https://www.google.com/maps/d/viewer?t=h&msa=0&source=embed&ie=UTF8&ll=38.30124249701203%2C26.245738752929697&spn=0.38594%2C0.727158&mid=1JARNaFFlbbuH-Pcjgm1YjL-jxPI&z=10>

9. Google Earth

Παράρτημα Α: Νομοθεσία σχετική για εγκαταστάσεις ΥΦΑ μικρής κλίμακας

Πίνακας Α 1 Νομοθεσία σχετική για εγκαταστάσεις ΥΦΑ μικρής κλίμακας

Νομοθεσία	Περιγραφή Νομοθεσίας	Ημερομηνία
ΦΕΚ 157/Α/ 31-08-2016 Διεθνείς Συμβάσεις/ Ελληνική Νομοθεσία	Κύρωση των τροποποιήσεων της Διεθνούς Σύμβασης «περί ασφαλείας της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα, 1974» (SOLAS), η οποία κυρώθηκε με τον Ν. 1045/1980 (Α' 95), ως αυτές υιοθετήθηκαν την 11η Ιουνίου 2015 με την απόφαση MSC 392 (95) της Επιτροπής Ναυτικής Ασφάλειας του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (ΙΜΟ)	31-08-2016
ΦΕΚ 354/Β/ 17-02-2016 Ελληνική Νομοθεσία	Καθορισμός κανόνων, μέτρων και όρων για την αντιμετώπιση κινδύνων από ατυχήματα μεγάλης έκτασης σε εγκαταστάσεις ή μονάδες, λόγω της ύπαρξης επικίνδυνων ουσιών, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2012/18/ΕΕ «για την αντιμετώπιση των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων σχετιζόμενων με επικίνδυνες ουσίες και για την τροποποίηση και στη συνέχεια την κατάργηση της οδηγίας 96/82/ΕΚ του Συμβουλίου» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4ης Ιουλίου 2012. Αντικατάσταση της υπ' αριθ. 12044/613/2007 (Β' 376), όπως διορθώθηκε (Β' 2259/2007)	17-02-2016
L-307 Νομοθεσία Ευρωπαϊκή	Οδηγία 2014/94/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 22ας Οκτωβρίου 2014 , για την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων Κείμενο που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τον ΕΟΧ	28-10-2014
ΦΕΚ 2389/Β/ 08-09-2014 Ελληνική Νομοθεσία	Κανονισμός Πιστοποίησης Πλοίων «Τεχνική και Λειτουργική Συμβατότητα με το Σταθμό ΥΦΑ Ρεβυθούσας»	08-09-2014
ΦΕΚ 2136/Β/ 05-08-2014 Νομοθεσία Ευρωπαϊκή & Ελληνική	Εναρμόνιση της Ελληνικής Νομοθεσίας προς την Οδηγία 2012/33/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Νοεμβρίου 2012 «για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/32/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με την περιεκτικότητα των καυσίμων πλοίων σε θείο»	05-08-2014
L/317/04-11-2014 Νομοθεσία Ευρωπαϊκή	Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 1143/2014 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 22ας Οκτωβρίου 2014 για την πρόληψη και διαχείριση της εισαγωγής και εξάπλωσης χωροκατακτητικών ξένων ειδών.	04-11-2014
L/124 25-04-2014 Νομοθεσία Ευρωπαϊκή	Οδηγία 2014/52/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 16ης Απριλίου 2014 για την τροποποίηση της οδηγίας 2011/92/ΕΕ σχετικά με την εκτίμηση των επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων δημοσίων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον.	25-04-2014

Πίνακας Α 1 Νομοθεσία σχετική για εγκαταστάσεις ΥΦΑ μικρής κλίμακας (συνέχεια)

Νομοθεσία	Περιγραφή Νομοθεσίας	Ημερομηνία
ΦΕΚ 135/Β/ 27-01-2014 Νομοθεσία Ελληνική	Εξειδίκευση των περιεχομένων των φακέλων περιβαλλοντικής αδειοδότησης έργων και δραστηριοτήτων της Κατηγορίας Α' της απόφασης του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής με αρ. 1958/2012 (Β' 21) όπως ισχύει, σύμφωνα με το άρθρο 11 του ν. 4014/2011 (Α' 209), καθώς και κάθε άλλης σχετικής λεπτομέρειας.	27-01-2014
ΦΕΚ 45/Β/ 15-01-2014 Νομοθεσία Ελληνική	Εξειδίκευση των διαδικασιών γνωμοδοτήσεων και τρόπου ενημέρωσης του κοινού και συμμετοχής του ενδιαφερόμενου κοινού στη δημόσια διαβούλευση κατά την περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων της Κατηγορίας Α' της απόφασης του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής υπ' αριθμ. 1958/2012 (ΦΕΚ Α' 21), σύμφωνα με τα οριζόμενα στο άρθρο 19 παράγραφος 9 του ν. 4014/2011 (ΦΕΚ Α' 209), καθώς και κάθε άλλης σχετικής λεπτομέρειας.	15-01-2014
ΦΕΚ 229/ΑΑΠ/ 19-06-2012 Νομοθεσία Ελληνική	Έγκριση καταλόγου μικρών νησιωτικών υγροτόπων και καθορισμός όρων και περιορισμών για την προστασία και ανάδειξη των μικρών παράκτιων υγροτόπων που περιλαμβάνονται σε αυτόν.	19-06-2012
ΦΕΚ 1367/Β/ 27-04-2012 Νομοθεσία Ελληνική	Καθορισμός Δεικτών Αξιολόγησης και Ανωτάτων Επιτρεπόμενων Ορίων Δεικτών Περιβαλλοντικού Θορύβου που προέρχεται από την λειτουργία συγκοινωνιακών έργων, τεχνικές προδιαγραφές ειδικών ακουστικών μελετών υπολογισμού & εφαρμογής (ΕΑΜΥΕ) αντιθορυβικών πετασμάτων, προδιαγραφές προγραμμάτων παρακολούθησης περιβαλλοντικού θορύβου και άλλες διατάξεις.	27-04-2012
ΦΕΚ 21/Β/ 13-01-2012 Νομοθεσία Ελληνική	Κατάταξη δημόσιων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και υποκατηγορίες σύμφωνα με το άρθρο 1, παράγραφος 4 του Ν.4014/2011 (ΦΕΚ Α 209/2011), όπως ισχύει	13-01-2012
ΦΕΚ 2471/Β/ 10-08-2012 Νομοθεσία Ελληνική	Τροποποίηση και κωδικοποίηση της υπουργικής απόφασης 1958/2012 - Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και υποκατηγορίες σύμφωνα με το άρθρο 1 παράγραφος 4 του Ν. 4014/21.9.2011 (ΦΕΚ 209/Α/2011) όπως αυτή έχει τροποποιηθεί και ισχύει	10-08-2012
L/26/ 28-01-2012 Νομοθεσία Ευρωπαϊκή	Οδηγία 2011/92/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 13ης Δεκεμβρίου 2011 για την εκτίμηση των επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων δημοσίων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον.	28-01-2012
ΦΕΚ 209/Α/ 21-09-2011 Νομοθεσία Ελληνική	Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων, ρύθμιση αυθαιρέτων σε συνάρτηση με δημιουργία περιβαλλοντικού ισοζυγίου και άλλες διατάξεις αρμοδιότητας Υπουργείου Περιβάλλοντος	21-09-2011
ΦΕΚ 179/Α/ 22-08-2011 Νομοθεσία Ελληνική	Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις	22-08-2011

Πίνακας Α 1 Νομοθεσία σχετική για εγκαταστάσεις ΥΦΑ μικρής κλίμακας (συνέχεια)

Νομοθεσία	Περιγραφή Νομοθεσίας	Ημερομηνία
ΦΕΚ 60/Α/ 31-03-2011 Νομοθεσία Ελληνική	Διατήρηση της βιοποικιλότητας και άλλες διατάξεις.	31-03-2011
L/334/ 17-12-2010 Νομοθεσία Ευρωπαϊκή	Περί βιομηχανικών εκπομπών (ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης) (αναδιατύπωση)	17-12-2010
ΦΕΚ 379/Β/ 01-04-2010 Νομοθεσία Ελληνική	Κώδικας διαχείρισης του Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου.	01-04-2010
ΦΕΚ 30/Α/ 25-02-2010 Νομοθεσία Ευρωπαϊκή & Ελληνική	Κύρωση της Ευρωπαϊκής Σύμβασης του Τοπίου	25-02-2010
L/20/ 26-01-2010 Νομοθεσία Ευρωπαϊκή	Οδηγία 2009/147/ΕΟΚ (πρώην 79/409/ΕΟΚ) περί της διατήρησης των αγρίων πτηνών	26-01-2010
ΦΕΚ 153/Α/ 28-06-2002 Νομοθεσία Ελληνική	Για την προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς.	28-06-2002
ΦΕΚ 285/Α/ 19-12-2001 Νομοθεσία Ελληνική	Αιγιαλός, παραλία και άλλες διατάξεις	19-12-2001
L/197/21-07-2001 Νομοθεσία Ευρωπαϊκή	Οδηγία 2001/42/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 27ης Ιουνίου 2001, σχετικά με την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων και προγραμμάτων	21-07-2001
ΦΕΚ 249/Α/ 15-12-1997 Νομοθεσία Ελληνική	Κύρωση της Σύμβασης για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε διασυνοριακά πλαίσια (Σύμβαση Espoo).	15-12-1997
L/206/22-07-1992 Νομοθεσία Ευρωπαϊκή	Οδηγία 92/43/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 1992 για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας	22-07-1992

Παράρτημα Β: Ερωτηματολόγιο

Ερωτηματολόγιο

Το παρόν ερωτηματολόγιο πραγματοποιείται στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας της μεταπτυχιακής φοιτήτριας του ΠΜΣ «Βιομηχανική Διοίκηση και Τεχνολογία» με κατεύθυνση «Διαχείριση Ενέργειας και Περιβάλλοντος» του Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Μαργαρίτας Χρυσανθοπούλου, με θέμα: “ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ”. Για τα παρακάτω ερωτήματα ζητείται η επιστημονική και προσωπική κρίση σας, σχετικά με τους κινδύνους χωροθέτησης μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας, την βαρύτητα του καθενός, αλλά και την επίδοση των προτεινόμενων θέσεων ως προς τους κινδύνους. Οι παρακάτω ερωτήσεις επεξηγούν τη διαδικασία. Οι πίνακες συμπληρώνονται συγκρίνοντας ανά ζεύγη τα στοιχεία του κάθε πίνακα. Οι συγκρίσεις γίνονται με βάση την κλίμακα στον Πίνακα Β1 και κάθε φορά αξιολογώντας την βαρύτητα του στοιχείου της κάθε σειράς ως προς το στοιχείο της κάθε στήλης.

ΕΡΩΤΗΣΗ 1:

Στην ερώτηση αυτή, ζητείται να συγκρίνεται τους κινδύνους που υπάρχουν στη χωροθέτηση ενός έργου ΥΦΑ μικρής κλίμακας, με βάση ποιον θεωρείται πιο κρίσιμο στο εν λόγω έργο. Οι συγκρίσεις γίνονται στον Πίνακα Β2.

Πίνακας Β 1 Κλίμακα του Saaty

Βαθμός Σημαντικότητας	Ορισμός	Ερμηνεία
1	Ίδια σημαντικότητα	Δύο δραστηριότητες συνεισφέρουν εξίσου στον στόχο
3	Μέτρια σημαντικότητα του ενός προς το άλλο	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν ελαφρώς μια δραστηριότητα έναντι της άλλης.
5	Σημαντική υπεροχή του ενός προς το άλλο	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν σημαντικά μια δραστηριότητα έναντι της άλλης.
7	Πολύ μεγάλη υπεροχή	Η δραστηριότητα ευνοείται σε μεγάλο βαθμό και η κυριαρχία της εκδηλώνεται στην πράξη.
9	Εξαιρετικά μεγάλη υπεροχή	Οι λόγοι που ευνοούν τη μια δραστηριότητα έναντι της άλλης είναι του υψηλότερου δυνατού βαθμού επιβεβαίωσης
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα σε δύο παρακείμενες κρίσεις	Όταν απαιτείται συμβιβασμός.
Αντίστροφοι των παραπάνω μη-μηδενικών αριθμών	Αν σε μια δραστηριότητα αντιστοιχίζεται ένας από τους παραπάνω αριθμούς, όταν αυτή συγκρίνεται με μια δεύτερη δραστηριότητα, τότε η δεύτερη έχει την αντίστροφη τιμή όταν συγκρίνεται με την πρώτη.	
Ρητοί αριθμοί	Αναλογίες που προκύπτουν από την κλίμακα	Αν επιβαλλόταν η συνέπεια λαμβάνοντας η αριθμητικές τιμές για το σχηματισμό του πίνακα.

Πίνακας Β 2 Μητρώο Σύγκρισης των Κινδύνων ως προς το Στόχο

Κίνδυνοι	Περιβαλλοντικοί	Ασφαλείας	Γεωλογικοί/ Γεωτεχνικοί	Μετεωρολογικοί/ Ωκεανογραφικοί	Τεχνοοικονομικοί	Κοινωνικοί	Απαιτήσεων Νομοθεσίας
Περιβαλλοντικοί	1						
Ασφαλείας		1					
Γεωλογικοί/ Γεωτεχνικοί			1				
Μετεωρολογικοί /Ωκεανογραφικοί				1			
Τεχνοοικονομικοί					1		
Κοινωνικοί						1	
Απαιτήσεων Νομοθεσίας							1
Άθροισμα							

ΕΡΩΤΗΣΗ 2:

Στην ερώτηση αυτή, ζητείται να συγκρίνεται τα υποκριτήρια του κάθε κινδύνου, με βάση ποιον θεωρείται πιο καθοριστικό για τον εκάστοτε κίνδυνο. Οι συγκρίσεις γίνονται στους επόμενους Πίνακες.¹

Πίνακας Β 3 Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

Κίνδυνοι	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
Προστατευόμενες περιοχές - υδροβιότοποι (NATURA, κλπ.)	1						
Μνημεία Αρχαιολογικού και Πολιτιστικού ενδιαφέροντος		1					
Δασικά Οικοσυστήματα/Δρυμοί			1				
Θέσεις Προστασίας της άγριας ζωής (καταφύγια, habitats, κλπ.)				1			
Θαλάσσια οικοσυστήματα (π.χ. συστήματα Ποσειδωνίας)					1		
Προστατευόμενα είδη θαλάσσια ζωής (π.χ. χελώνες caretta-caretta, κλπ.)						1	
Ενότητα και Αισθητική τοπίου							1
Άθροισμα							

1. Στις ερωτήσεις 2 και 3 δεν συμπεριλαμβάνονται όλοι οι πίνακες, καθώς παρατίθενται παρακάτω στο Παράρτημα C συμπληρωμένοι

ΕΡΩΤΗΣΗ 3:

Στην ερώτηση αυτή, ζητείται να αξιολογήσετε τις 4 εναλλακτικές θέσεις για την χωροθέτηση της μονάδας ΥΦΑ μικρής κλίμακας ως προς το κάθε υποκριτήριο των κινδύνων. Οι συγκρίσεις γίνονται στους επόμενους Πίνακες ¹.Στον Χάρτη Β1 διακρίνονται οι 4 εναλλακτικές θέσεις που προτείνονται για τη χωροθέτηση ΥΦΑ. Στη συνέχεια, στους Χάρτες Β2,Β3,Β4 και Β5 παρουσιάζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια η θέση τους.

Πίνακας Β 4 Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Προστατευόμενες περιοχές - υδροβιότοποι (NATURA, κλπ.)» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1			
Θ.2		1		
Θ.3			1	
Θ.4				1
Άθροισμα				



Χάρτης Β 1 Ο χάρτης της Χίου με τις εναλλακτικές θέσεις



Χάρτης Β 2 Χάρτης της Θ1 (Μεστά)



Χάρτης Β 3 Χάρτης της Θ2 (Λευκωνιά)

Παράρτημα C: Μητρώα Συγκρίσεων

Συγκρίσεις Υποκριτηρίων ως προς τους Κινδύνους (Κριτήρια)

Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι

Πίνακας C.1 Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

Κίνδυνοι		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
Προστατευόμενες περιοχές - υδροβιότοποι (NATURA, κλπ.)	1.1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500
Μνημεία Αρχαιολογικού και Πολιτιστικού ενδιαφέροντος	1.2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500
Δασικά Οικοσυστήματα/Δρυμοί	1.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500
Θέσεις Προστασίας της άγριας ζωής (καταφύγια, habitats, κλπ.)	1.4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500
Θαλάσσια οικοσυστήματα (π.χ. συστήματα Ποσειδωνίας)	1.5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500
Προστατευόμενα είδη θαλάσσια ζωής (π.χ. χελώνες caretta-caretta, κλπ.)	1.6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500
Ενότητα και Αισθητική τοπίου	1.7	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	1.000
Άθροισμα		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500

Πίνακας C.2 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

Κίνδυνοι	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου	
Προστατευόμενες περιοχές - υδροβιότοποι (NATURA, κλπ.)	1.1	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	1.050	0.150	7.000
Μνημεία Αρχαιολογικού και Πολιτιστικού ενδιαφέροντος	1.2	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	1.050	0.150	7.000
Δασικά Οικοσυστήματα/Δρυμοί	1.3	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	1.050	0.150	7.000
Θέσεις Προστασίας της άγριας ζωής (καταφύγια, habitats, κλπ.)	1.4	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	1.050	0.150	7.000
Θαλάσσια οικοσυστήματα (π.χ. συστήματα Ποσειδωνίας)	1.5	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	1.050	0.150	7.000
Προστατευόμενα είδη θαλάσσια ζωής (π.χ. χελώνες caretta-caretta, κλπ.)	1.6	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	1.050	0.150	7.000
Ενότητα και Αισθητική τοπίου	1.7	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.700	0.100	7.000
										CI	0.000
										RI	1.320
										CR	0.000

Κίνδυνοι Ασφαλείας

Πίνακας C.3 Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Κινδύνων Ασφαλείας

Κίνδυνοι	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	
Οικιστικές περιοχές	2.1	1.000	1.100	1.100	1.100	1.100	1.400	0.900	1.000
Πολιτικά Αεροδρόμια	2.2	0.909	1.000	1.000	1.000	1.000	1.200	0.950	0.900
Λιμενικές υποδομές	2.3	0.909	1.000	1.000	1.000	1.000	1.100	1.000	1.000
Στρατιωτικές εγκαταστάσεις	2.4	0.909	1.000	1.000	1.000	1.000	1.300	1.000	1.000
Βιομηχανικές/Εφοδιαστικές υποδομές	2.5	0.909	1.000	1.000	1.000	1.000	1.100	0.800	1.000
Μεταλλευτικές/Λατομικές περιοχές	2.6	0.714	0.833	0.909	0.769	0.909	1.000	0.600	0.650
Κτίρια ευάλωτων πληθυσμών (σχολεία, νοσοκομεία, κλπ.)	2.7	1.111	1.053	1.000	1.000	1.250	1.667	1.000	1.000
Μονάδες Ηλεκτροπαραγωγής	2.8	1.000	1.111	1.000	1.000	1.000	1.538	1.000	1.000
Άθροισμα		7.462	8.097	8.009	7.869	8.259	10.305	7.250	7.550

Πίνακας C.4 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Κινδύνων Ασφαλείας

Κίνδυνοι	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου	
Οικιστικές περιοχές	2.1	0.134	0.136	0.137	0.140	0.133	0.136	0.124	0.132	1.073	0.134	8.017
Πολιτικά Αεροδρόμια	2.2	0.122	0.124	0.125	0.127	0.121	0.116	0.131	0.119	0.985	0.123	8.018
Λιμενικές υποδομές	2.3	0.122	0.124	0.125	0.127	0.121	0.107	0.138	0.132	0.995	0.124	8.017
Στρατιωτικές εγκαταστάσεις	2.4	0.122	0.124	0.125	0.127	0.121	0.126	0.138	0.132	1.015	0.127	8.019
Βιομηχανικές/Εφοδιαστικές υποδομές	2.5	0.122	0.124	0.125	0.127	0.121	0.107	0.110	0.132	0.968	0.121	8.016
Μεταλλευτικές/Λατομικές περιοχές	2.6	0.096	0.103	0.114	0.098	0.110	0.097	0.083	0.086	0.786	0.098	8.015
Κτίρια ευάλωτων πληθυσμών (σχολεία, νοσοκομεία, κλπ.)	2.7	0.149	0.130	0.125	0.127	0.151	0.162	0.138	0.132	1.114	0.139	8.020
Μονάδες Ηλεκτροπαραγωγής	2.8	0.134	0.137	0.125	0.127	0.121	0.149	0.138	0.132	1.064	0.133	8.020
											CI	0.003
											RI	1.410
											CR	0.002

Γεωλογικοί/Γεωτεχνικοί Κίνδυνοι

Πίνακας C.5 Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

Κίνδυνοι		3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
Σεισμική Επικινδυνότητα	3.1	1.000	0.800	1.100	0.900	0.950	0.900	1.100
Παρουσία Τεκτονικών ρηγμάτων	3.2	1.250	1.000	1.500	1.100	1.300	1.500	1.100
Τοπογραφία (μορφολογία εδάφους, κλίσεις, κλπ.)	3.3	0.909	0.667	1.000	0.900	0.800	0.750	0.800
Μορφολογία βυθού και ακτογραμμής	3.4	1.111	0.909	1.111	1.000	1.100	1.100	1.150
Ευστάθεια σχηματισμών και πρανών	3.5	1.053	0.769	1.250	0.909	1.000	1.000	1.100
Κατολισθήσεις/Καθιζήσεις	3.6	1.111	0.667	1.333	0.909	1.000	1.000	1.200
Υδρογεωλογία - Υδρογραφία	3.7	0.909	0.909	1.250	0.870	0.909	0.833	1.000
Άθροισμα		7.343	5.721	8.544	6.588	7.059	7.083	7.450

Πίνακας C.6 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

Κίνδυνοι		3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Σεισμική Επικινδυνότητα	3.1	0.136	0.140	0.129	0.137	0.135	0.127	0.148	0.951	0.136	7.020
Παρουσία Τεκτονικών ρηγμάτων	3.2	0.170	0.175	0.176	0.167	0.184	0.212	0.148	1.231	0.176	7.025
Τοπογραφία (μορφολογία εδάφους, κλίσεις, κλπ.)	3.3	0.124	0.117	0.117	0.137	0.113	0.106	0.107	0.821	0.117	7.018
Μορφολογία βυθού και ακτογραμμής	3.4	0.151	0.159	0.130	0.152	0.156	0.155	0.154	1.058	0.151	7.022
Ευστάθεια σχηματισμών και πρανών	3.5	0.143	0.134	0.146	0.138	0.142	0.141	0.148	0.993	0.142	7.021
Κατολισθήσεις/Καθιζήσεις	3.6	0.151	0.117	0.156	0.138	0.142	0.141	0.161	1.006	0.144	7.020
Υδρογεωλογία - Υδρογραφία	3.7	0.124	0.159	0.146	0.132	0.129	0.118	0.134	0.942	0.135	7.021
										CI	0.004
										RI	1.320
										CR	0.003

Μετεωρολογικοί/ Ωκεανογραφικοί Κίνδυνοι

Πίνακας C.7 Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Μετεωρολογικών/ Ωκεανογραφικών Κινδύνων

Κίνδυνοι		4.1	4.2	4.3	4.4
Κλιματολογικές συνθήκες	4.1	1.000	0.500	0.550	0.800
Δράση ανέμου (ένταση, ταχύτητα, διεύθυνση)	4.2	2.000	1.000	1.500	1.300
Παλίρροιες – Θαλάσσια ρεύματα	4.3	1.818	0.667	1.000	1.200
Άλλοι Φυσικοί κίνδυνοι	4.4	1.250	0.769	0.833	1.000
Άθροισμα		6.068	2.936	3.883	4.300

Πίνακας C.8 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Μετεωρολογικών/ Ωκεανογραφικών Κινδύνων

Κίνδυνοι		4.1	4.2	4.3	4.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Κλιματολογικές συνθήκες	4.1	0.165	0.170	0.142	0.186	0.663	0.166	4.012
Δράση ανέμου (ένταση, ταχύτητα, διεύθυνση)	4.2	0.330	0.341	0.386	0.302	1.359	0.340	4.025
Παλίρροιες – Θαλάσσια ρεύματα	4.3	0.300	0.227	0.258	0.279	1.063	0.266	4.018
Άλλοι Φυσικοί κίνδυνοι	4.4	0.206	0.262	0.215	0.233	0.915	0.229	4.016
							CI	0.006
							RI	0.900
							CR	0.007

Τεχνοοικονομικοί Κίνδυνοι

Πίνακας C.9 Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

Κίνδυνοι		5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8
Κόστος Κατασκευής	5.1	1.000	2.000	0.900	0.800	1.100	0.800	1.600	1.350
Κόστος Απόκτηση γης	5.2	0.500	1.000	0.800	0.700	0.750	0.550	1.500	1.200
Ανεπάρκεια/ακαταλληλότητα οδικού δικτύου	5.3	1.111	1.250	1.000	0.850	0.900	0.600	1.300	1.150
Λιμενικές υποδομές	5.4	1.250	1.429	1.176	1.000	1.050	0.750	1.350	1.400
Απόσταση από βιομηχανικούς καταναλωτές	5.5	0.909	1.333	1.111	0.952	1.000	1.100	1.400	1.200
Δυνατότητα επέκτασης	5.6	1.250	1.818	1.667	1.333	0.909	1.000	2.100	1.400
Εμπλοκή με μελλοντικά έργα	5.7	0.625	0.667	0.769	0.741	0.714	0.476	1.000	1.000
Χρηματοδότηση έργου	5.8	0.741	0.833	0.870	0.714	0.833	0.714	1.000	1.000
Άθροισμα		7.386	10.330	8.293	7.091	7.257	5.990	11.250	9.700

Πίνακας C.10 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

Κίνδυνοι		5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Κόστος Κατασκευής	5.1	0.135	0.194	0.109	0.113	0.152	0.134	0.142	0.139	1.117	0.140	8.095
Κόστος Απόκτηση γης	5.2	0.068	0.097	0.096	0.099	0.103	0.092	0.133	0.124	0.812	0.101	8.064
Ανεπάρκεια/ακαταλληλότητα οδικού δικτύου	5.3	0.150	0.121	0.121	0.120	0.124	0.100	0.116	0.119	0.970	0.121	8.084
Λιμενικές υποδομές	5.4	0.169	0.138	0.142	0.141	0.145	0.125	0.120	0.144	1.125	0.141	8.082
Απόσταση από βιομηχανικούς καταναλωτές	5.5	0.123	0.129	0.134	0.134	0.138	0.184	0.124	0.124	1.090	0.136	8.081
Δυνατότητα επέκτασης	5.6	0.169	0.176	0.201	0.188	0.125	0.167	0.187	0.144	1.357	0.170	8.088
Εμπλοκή με μελλοντικά έργα	5.7	0.085	0.065	0.093	0.104	0.098	0.079	0.089	0.103	0.716	0.090	8.059
Χρηματοδότηση έργου	5.8	0.100	0.081	0.105	0.101	0.115	0.119	0.089	0.103	0.813	0.102	8.070
											CI	0.011
											RI	1.410
											CR	0.008

Κοινωνικοί Κίνδυνοι

Πίνακας C.11 Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Κοινωνικών Κινδύνων

Κίνδυνοι		6.1	6.2	6.3	6.4	6.5
Αντίδραση Τοπικών Αρχών	6.1	1.000	1.200	0.800	0.300	0.650
Αντιδράσεις Τοπικής Κοινωνίας	6.2	0.833	1.000	1.100	0.600	0.750
Αντισταθμιστικά οφέλη	6.3	1.250	0.909	1.000	0.450	0.900
Δημόσια Υγεία	6.4	3.333	1.667	2.222	1.000	1.600
Οικονομία / Απασχόληση	6.5	1.538	1.333	1.111	0.625	1.000
Άθροισμα		7.955	6.109	6.233	2.975	4.900

Πίνακας C.12 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Κοινωνικών Κινδύνων

Κίνδυνοι		6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Αντίδραση Τοπικών Αρχών	6.1	0.126	0.196	0.128	0.101	0.133	0.684	0.137	5.045
Αντιδράσεις Τοπικής Κοινωνίας	6.2	0.105	0.164	0.176	0.202	0.153	0.800	0.160	5.041
Αντισταθμιστικά οφέλη	6.3	0.157	0.149	0.160	0.151	0.184	0.801	0.160	5.063
Δημόσια Υγεία	6.4	0.419	0.273	0.357	0.336	0.327	1.711	0.342	5.091
Οικονομία / Απασχόληση	6.5	0.193	0.218	0.178	0.210	0.204	1.004	0.201	5.062
								CI	0.015
								RI	1.120
								CR	0.013

Κίνδυνοι λόγω Απαιτήσεων της Νομοθεσίας

Πίνακας C.13 Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Κινδύνων λόγω Απαιτήσεων της Νομοθεσίας

Κίνδυνοι		7.1	7.2	7.3	7.4
Νομοθεσία και Απαιτήσεις αδειοδότησης	7.1	1.000	1.200	1.250	0.950
Χρόνος διαδικασιών και εγκρίσεων	7.2	0.833	1.000	1.000	0.900
Αλλαγές Νομοθεσίας / Θεσμικού πλαισίου	7.3	0.800	1.000	1.000	0.900
Περιορισμοί χρήσεις γης	7.4	1.053	1.111	1.111	1.000
Άθροισμα		3.686	4.311	4.361	3.750

Πίνακας C.14 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Υποκριτηρίων των Κινδύνων λόγω Απαιτήσεων της Νομοθεσίας

Κίνδυνοι		7.1	7.2	7.3	7.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Νομοθεσία και Απαιτήσεις αδειοδότησης	7.1	0.271	0.278	0.287	0.253	1.090	0.272	4.003
Χρόνος διαδικασιών και εγκρίσεων	7.2	0.226	0.232	0.229	0.240	0.927	0.232	4.003
Αλλαγές Νομοθεσίας / Θεσμικού πλαισίου	7.3	0.217	0.232	0.229	0.240	0.918	0.230	4.003
Περιορισμοί χρήσεις γης	7.4	0.286	0.258	0.255	0.267	1.065	0.266	4.003
							CI	0.001
							RI	0.900
							CR	0.001

Συγκρίσεις Εναλλακτικών Θέσεων ως προς τα Υποκριτήρια

Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι

- Προστατευόμενες περιοχές - υδροβιότοποι (NATURA, κλπ.)

Πίνακας C.15 Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Προστατευόμενες περιοχές - υδροβιότοποι (NATURA, κλπ.)» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.700	2.200	3.400
Θ.2	1.429	1.000	2.900	4.200
Θ.3	0.455	0.345	1.000	1.600
Θ.4	0.294	0.238	0.625	1.000
Άθροισμα	3.177	2.283	6.725	10.200

Πίνακας C.16 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Προστατευόμενες περιοχές - υδροβιότοποι (NATURA, κλπ.)» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.315	0.307	0.327	0.333	1.282	0.320	4.003
Θ.2	0.450	0.438	0.431	0.412	1.731	0.433	4.004
Θ.3	0.143	0.151	0.149	0.157	0.600	0.150	4.002
Θ.4	0.093	0.104	0.093	0.098	0.388	0.097	4.001
						CI	0.001
						RI	0.900
						CR	0.001

- Μνημεία Αρχαιολογικού και Πολιτιστικού ενδιαφέροντος

Πίνακας C.17 Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Μνημεία Αρχαιολογικού και Πολιτιστικού ενδιαφέροντος» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.550	1.150	1.100
Θ.2	1.818	1.000	2.100	1.900
Θ.3	0.870	0.476	1.000	1.100
Θ.4	0.909	0.526	0.909	1.000
Άθροισμα	4.597	2.553	5.159	5.100

Πίνακας C.18 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Μνημεία Αρχαιολογικού και Πολιτιστικού ενδιαφέροντος» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.218	0.215	0.223	0.216	0.872	0.218	4.004
Θ.2	0.396	0.392	0.407	0.373	1.567	0.392	4.005
Θ.3	0.189	0.187	0.194	0.216	0.785	0.196	4.003
Θ.4	0.198	0.206	0.176	0.196	0.776	0.194	4.003
						CI	0.001
						RI	0.900
						CR	0.001

- Δασικά Οικοσυστήματα/Δρυμοί

Πίνακας C.19 Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Δασικά Οικοσυστήματα/Δρυμοί» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.2	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.3	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.4	1.000	1.000	1.000	1.000
Άθροισμα	4.000	4.000	4.000	4.000

Πίνακας C.20 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Δασικά Οικοσυστήματα/Δρυμοί» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.2	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.3	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.4	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
						CI	0.000
						RI	0.900
						CR	0.000

- Θέσεις Προστασίας της άγριας ζωής (καταφύγια, habitats, κλπ.)

Πίνακας C.21 Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Θέσεις Προστασίας της άγριας ζωής (καταφύγια, habitats, κλπ.)» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.000	1.300	1.500
Θ.2	1.000	1.000	1.600	1.650
Θ.3	0.769	0.625	1.000	1.400
Θ.4	0.667	0.606	0.714	1.000
Άθροισμα	1.000	1.000	1.300	1.500

Πίνακας C.22 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Θέσεις Προστασίας της άγριας ζωής (καταφύγια, habitats, κλπ.)» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.291	0.309	0.282	0.270	1.153	0.288	4.012
Θ.2	0.291	0.309	0.347	0.297	1.245	0.311	4.015
Θ.3	0.224	0.193	0.217	0.252	0.886	0.222	4.010
Θ.4	0.194	0.188	0.155	0.180	0.717	0.179	4.008
						CI	0.004
						RI	0.900
						CR	0.004

- Θαλάσσια οικοσυστήματα (π.χ. συστήματα Ποσειδωνίας)

Πίνακας C.23 Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Θαλάσσια οικοσυστήματα (π.χ. συστήματα Ποσειδωνίας)» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.2	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.3	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.4	1.000	1.000	1.000	1.000
Άθροισμα	4.000	4.000	4.000	4.000

Πίνακας C.24 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Θαλάσσια οικοσυστήματα (π.χ. συστήματα Ποσειδωνίας)» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.2	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.3	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.4	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
						CI	0.000
						RI	0.900
						CR	0.000

- Προστατευόμενα είδη θαλάσσια ζωής (π.χ. χελώνες caretta-caretta, κλπ.)

Πίνακας C.25 Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Προστατευόμενα είδη θαλάσσια ζωής (π.χ. χελώνες caretta-caretta, κλπ.)» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.2	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.3	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.4	1.000	1.000	1.000	1.000
Άθροισμα	4.000	4.000	4.000	4.000

Πίνακας C.26 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Προστατευόμενα είδη θαλάσσια ζωής (π.χ. χελώνες caretta-caretta, κλπ.)» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.2	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.3	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.4	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
						CI	0.000
						RI	0.900
						CR	0.000

- **Ενότητα και Αισθητική τοπίου**

Πίνακας C.27 Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Ενότητα και Αισθητική τοπίου» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.400	4.200	3.900
Θ.2	2.500	1.000	5.000	4.550
Θ.3	0.238	0.200	1.000	0.650
Θ.4	0.256	0.220	1.538	1.000
Άθροισμα	3.995	1.820	11.738	10.100

Πίνακας C.28 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Ενότητα και Αισθητική τοπίου» των Περιβαλλοντικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.250	0.220	0.358	0.386	1.214	0.304	4.113
Θ.2	0.626	0.550	0.426	0.450	2.052	0.513	4.177
Θ.3	0.060	0.110	0.085	0.064	0.319	0.080	4.038
Θ.4	0.064	0.121	0.131	0.099	0.415	0.104	4.019
						CI	0.029
						RI	0.900
						CR	0.032

Κίνδυνοι Ασφαλείας

- Οικιστικές Περιοχές

Πίνακας C.29 Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Οικιστικές Περιοχές» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.420	5.200	3.150
Θ.2	2.381	1.000	7.000	3.950
Θ.3	0.192	0.143	1.000	0.350
Θ.4	0.317	0.253	2.857	1.000
Άθροισμα	3.891	1.816	16.057	8.450

Πίνακας C.30 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Οικιστικές Περιοχές» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.257	0.231	0.324	0.373	1.185	0.296	4.125
Θ.2	0.612	0.551	0.436	0.467	2.066	0.517	4.140
Θ.3	0.049	0.079	0.062	0.041	0.232	0.058	4.037
Θ.4	0.082	0.139	0.178	0.118	0.517	0.129	4.019
						CI	0.027
						RI	0.900
						CR	0.030

- Πολιτικά Αεροδρόμια

Πίνακας C.31 Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Πολιτικά Αεροδρόμια» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	3.000	1.000	1.000
Θ.2	0.333	1.000	0.200	0.200
Θ.3	1.000	5.000	1.000	1.000
Θ.4	1.000	5.000	1.000	1.000
Άθροισμα	3.333	14.000	3.200	3.200

Πίνακας C.32 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Πολιτικά Αεροδρόμια» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.300	0.214	0.313	0.313	1.139	0.285	4.031
Θ.2	0.100	0.071	0.063	0.063	0.296	0.074	4.011
Θ.3	0.300	0.357	0.313	0.313	1.282	0.321	4.045
Θ.4	0.300	0.357	0.313	0.313	1.282	0.321	4.045
						CI	0.011
						RI	0.900
						CR	0.012

- Λιμενικές υποδομές

Πίνακας C.33 Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Λιμενικές υποδομές» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	3.500	1.500	1.100
Θ.2	0.286	1.000	0.500	0.400
Θ.3	0.667	2.000	1.000	0.850
Θ.4	0.909	2.500	1.176	1.000
Άθροισμα	2.861	9.000	4.176	3.350

Πίνακας C.34 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Λιμενικές υποδομές» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.349	0.389	0.359	0.328	1.426	0.356	4.009
Θ.2	0.100	0.111	0.120	0.119	0.450	0.113	4.004
Θ.3	0.233	0.222	0.239	0.254	0.948	0.237	4.005
Θ.4	0.318	0.278	0.282	0.299	1.176	0.294	4.009
						CI	0.002
						RI	0.900
						CR	0.002

- Στρατιωτικές υποδομές

Πίνακας C.35 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Στρατιωτικές υποδομές» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.200	0.650	0.550
Θ.2	5.000	1.000	1.200	1.150
Θ.3	1.538	0.833	1.000	0.950
Θ.4	1.818	0.870	1.053	1.000
Άθροισμα	9.357	2.903	3.903	3.650

Πίνακας C.36 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Στρατιωτικές υποδομές» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.107	0.069	0.167	0.151	0.493	0.123	4.043
Θ.2	0.534	0.344	0.307	0.315	1.501	0.375	4.210
Θ.3	0.164	0.287	0.256	0.260	0.968	0.242	4.094
Θ.4	0.194	0.300	0.270	0.274	1.038	0.259	4.104
						CI	0.038
						RI	0.900
						CR	0.042

- Βιομηχανικές/Εφοδιαστικές υποδομές

Πίνακας C.37 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Βιομηχανικές/Εφοδιαστικές υποδομές» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.600	0.750	1.200
Θ.2	1.667	1.000	1.100	1.600
Θ.3	1.333	0.909	1.000	1.650
Θ.4	0.833	0.625	0.606	1.000
Άθροισμα	4.833	3.134	3.456	5.450

Πίνακας C.38 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Βιομηχανικές/Εφοδιαστικές υποδομές» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.207	0.191	0.217	0.220	0.836	0.209	4.005
Θ.2	0.345	0.319	0.318	0.294	1.276	0.319	4.006
Θ.3	0.276	0.290	0.289	0.303	1.158	0.290	4.005
Θ.4	0.172	0.199	0.175	0.183	0.731	0.183	4.005
						CI	0.002
						RI	0.900
						CR	0.002

- **Μεταλλευτικές/Λατομικές υποδομές**

Πίνακας C.39 Σύγκριση Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Μεταλλευτικές/Λατομικές υποδομές» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.2	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.3	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.4	1.000	1.000	1.000	1.000
Άθροισμα	4.000	4.000	4.000	4.000

Πίνακας C.40 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Μεταλλευτικές/Λατομικές υποδομές» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.2	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.3	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.4	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
						CI	0.000
						RI	0.900
						CR	0.000

- Κτίρια ευάλωτων πληθυσμών (σχολεία, νοσοκομεία, κλπ.)

Πίνακας C.41 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Κτίρια ευάλωτων πληθυσμών (σχολεία, νοσοκομεία, κλπ.)» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.100	6.800	1.500
Θ.2	0.909	1.000	6.000	1.150
Θ.3	0.147	0.167	1.000	0.330
Θ.4	0.667	0.870	3.030	1.000
Άθροισμα	1.000	1.100	6.800	1.500

Πίνακας C.42 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Κτίρια ευάλωτων πληθυσμών (σχολεία, νοσοκομεία, κλπ.)» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.367	0.351	0.404	0.377	1.499	0.375	4.039
Θ.2	0.334	0.319	0.356	0.289	1.298	0.325	4.047
Θ.3	0.054	0.053	0.059	0.083	0.249	0.062	4.012
Θ.4	0.245	0.277	0.180	0.251	0.953	0.238	4.025
						CI	0.010
						RI	0.900
						CR	0.011

- Μονάδες Ηλεκτροπαραγωγής

Πίνακας C.43 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Μονάδες Ηλεκτροπαραγωγής» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	3.350	1.000	1.000
Θ.2	0.299	1.000	0.200	0.200
Θ.3	1.000	5.000	1.000	1.000
Θ.4	1.000	5.000	1.000	1.000
Άθροισμα	3.299	14.350	3.200	3.200

Πίνακας C.44 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Μονάδες Ηλεκτροπαραγωγής» των Κινδύνων Ασφαλείας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.303	0.233	0.313	0.313	1.162	0.290	4.020
Θ.2	0.090	0.070	0.063	0.063	0.285	0.071	4.006
Θ.3	0.303	0.348	0.313	0.313	1.277	0.319	4.027
Θ.4	0.303	0.348	0.313	0.313	1.277	0.319	4.027
						CI	0.007
						RI	0.900
						CR	0.007

Γεωλογικοί/Γεωτεχνικοί Κίνδυνοι

- Σεισμική Επικινδυνότητα

Πίνακας C.45 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Σεισμική Επικινδυνότητα» των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.2	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.3	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.4	1.000	1.000	1.000	1.000
Άθροισμα	4.000	4.000	4.000	4.000

Πίνακας C.46 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Σεισμική Επικινδυνότητα» των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.2	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.3	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.4	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
						CI	0.000
						RI	0.900
						CR	0.000

- Παρουσία Τεκτονικών Ρηγμάτων

Πίνακας C.47 Σύγκριση Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Παρουσία Τεκτονικών Ρηγμάτων» των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.560	0.450	0.330
Θ.2	1.786	1.000	1.000	0.750
Θ.3	2.222	1.000	1.000	0.850
Θ.4	3.030	1.333	1.176	1.000
Άθροισμα	8.038	3.893	3.626	2.930

Πίνακας C.48 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Παρουσία Τεκτονικών Ρηγμάτων» των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.124	0.144	0.124	0.113	0.505	0.126	4.006
Θ.2	0.222	0.257	0.276	0.256	1.011	0.253	4.007
Θ.3	0.276	0.257	0.276	0.290	1.099	0.275	4.012
Θ.4	0.377	0.342	0.324	0.341	1.385	0.346	4.011
						CI	0.003
						RI	0.900
						CR	0.003

- Τοπογραφία (μορφολογία εδάφους, κλίσεις, κλπ.)

Πίνακας C.49 Σύγκριση Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Τοπογραφία (μορφολογία εδάφους, κλίσεις, κλπ.)» των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.000	1.000	1.500
Θ.2	1.000	1.000	1.000	1.650
Θ.3	1.000	1.000	1.000	1.320
Θ.4	0.667	0.606	0.758	1.000
Άθροισμα	3.667	3.606	3.758	5.470

Πίνακας C.50 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Τοπογραφία (μορφολογία εδάφους, κλίσεις, κλπ.)» των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.273	0.277	0.266	0.274	1.090	0.273	4.005
Θ.2	0.273	0.277	0.266	0.302	1.118	0.279	4.005
Θ.3	0.273	0.277	0.266	0.241	1.057	0.264	4.005
Θ.4	0.182	0.168	0.202	0.183	0.734	0.184	4.004
						CI	0.002
						RI	0.900
						CR	0.002

- **Μορφολογία βυθού και ακτογραμμής**

Πίνακας C.51 Σύγκριση Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Μορφολογία βυθού και ακτογραμμής» των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.850	1.300	1.150
Θ.2	1.176	1.000	1.550	1.200
Θ.3	0.769	0.645	1.000	0.900
Θ.4	0.870	0.833	1.111	1.000
Άθροισμα	3.815	3.328	4.961	4.250

Πίνακας C.52 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Μορφολογία βυθού και ακτογραμμής» των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.262	0.255	0.262	0.271	1.050	0.263	4.002
Θ.2	0.308	0.300	0.312	0.282	1.204	0.301	4.003
Θ.3	0.202	0.194	0.202	0.212	0.809	0.202	4.002
Θ.4	0.228	0.250	0.224	0.235	0.938	0.234	4.002
						CI	0.001
						RI	0.900
						CR	0.001

- Ευστάθεια σχηματισμών και πρανών

Πίνακας C.53 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Ευστάθεια σχηματισμών και πρανών» των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.2	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.3	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.4	1.000	1.000	1.000	1.000
Άθροισμα	4.000	4.000	4.000	4.000

Πίνακας C.54 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Ευστάθεια σχηματισμών και πρανών» των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.2	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.3	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.4	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
						CI	0.000
						RI	0.900
						CR	0.000

- Κατολισθήσεις/Καθιζήσεις

Πίνακας C.55 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Κατολισθήσεις /Καθιζήσεις» των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.2	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.3	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.4	1.000	1.000	1.000	1.000
Άθροισμα	4.000	4.000	4.000	4.000

Πίνακας C.56 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Κατολισθήσεις/Καθιζήσεις» των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.2	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.3	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.4	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
						CI	0.000
						RI	0.900
						CR	0.000

- Υδρογεωλογία/Υδρογραφία

Πίνακας C.57 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Υδρογεωλογία/Υδρογραφία» των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.300	1.000	1.300
Θ.2	0.769	1.000	0.850	1.100
Θ.3	1.000	1.176	1.000	1.150
Θ.4	0.769	0.909	0.870	1.000
Άθροισμα	3.538	4.386	3.720	4.550

Πίνακας C.58 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Υδρογεωλογία/Υδρογραφία» των Γεωλογικών/Γεωτεχνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.283	0.296	0.269	0.286	1.134	0.283	4.003
Θ.2	0.217	0.228	0.229	0.242	0.916	0.229	4.003
Θ.3	0.283	0.268	0.269	0.253	1.072	0.268	4.003
Θ.4	0.217	0.207	0.234	0.220	0.878	0.220	4.003
						CI	0.001
						RI	0.900
						CR	0.001

Μετεωρολογικοί / Ωκεανογραφικοί Κίνδυνοι

- Κλιματολογικές συνθήκες

Πίνακας C.59 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Κλιματολογικές συνθήκες» των Μετεωρολογικών/Ωκεανογραφικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.2	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.3	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.4	1.000	1.000	1.000	1.000
Άθροισμα	4.000	4.000	4.000	4.000

Πίνακας C.60 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Κλιματολογικές συνθήκες» των Μετεωρολογικών/Ωκεανογραφικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.2	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.3	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.4	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
						CI	0.000
						RI	0.900
						CR	0.000

- Δράση ανέμου(ένταση, ταχύτητα, διεύθυνση)

Πίνακας C.61 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Δράση ανέμου(ένταση, ταχύτητα, διεύθυνση)» των Μετεωρολογικών/Ωκεανογραφικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.600	0.700	0.850
Θ.2	1.667	1.000	1.000	1.200
Θ.3	1.429	1.000	1.000	1.200
Θ.4	1.176	0.833	0.833	1.000
Άθροισμα	5.272	3.433	3.533	4.250

Πίνακας C.62 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Δράση ανέμου(ένταση, ταχύτητα, διεύθυνση)» των Μετεωρολογικών/Ωκεανογραφικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.190	0.175	0.198	0.200	0.763	0.191	4.002
Θ.2	0.316	0.291	0.283	0.282	1.173	0.293	4.004
Θ.3	0.271	0.291	0.283	0.282	1.128	0.282	4.003
Θ.4	0.223	0.243	0.236	0.235	0.937	0.234	4.003
						CI	0.001
						RI	0.900
						CR	0.001

- **Παλίρροιες/Θαλάσσια ρεύματα**

Πίνακας C.63 Σύγκριση Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Παλίρροιες/Θαλάσσια ρεύματα» των Μετεωρολογικών/Ωκεανογραφικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.2	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.3	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.4	1.000	1.000	1.000	1.000
Άθροισμα	4.000	4.000	4.000	4.000

Πίνακας C.64 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Παλίρροιες/Θαλάσσια ρεύματα» των Μετεωρολογικών/Ωκεανογραφικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.2	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.3	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.4	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
						CI	0.000
						RI	0.900
						CR	0.000

- Άλλοι Φυσικοί Κίνδυνοι

Πίνακας C.65 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Άλλοι Φυσικοί Κίνδυνοι» των Μετεωρολογικών/Ωκεανογραφικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.250	0.650	0.350
Θ.2	4.000	1.000	2.300	1.950
Θ.3	1.538	0.435	1.000	0.750
Θ.4	2.857	0.513	1.333	1.000
Άθροισμα	9.396	2.198	5.283	4.050

Πίνακας C.66 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Άλλοι Φυσικοί Κίνδυνοι» των Μετεωρολογικών/Ωκεανογραφικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.106	0.114	0.123	0.086	0.430	0.107	4.004
Θ.2	0.426	0.455	0.435	0.481	1.798	0.449	4.022
Θ.3	0.164	0.198	0.189	0.185	0.736	0.184	4.016
Θ.4	0.304	0.233	0.252	0.247	1.037	0.259	4.020
						CI	0.005
						RI	0.900
						CR	0.006

Τεχνοοικονομικοί Κίνδυνοι

- Κόστος Κατασκευής

Πίνακας C.67 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Κόστος Κατασκευής» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	2.000	1.800	1.400
Θ.2	0.500	1.000	0.800	0.650
Θ.3	0.556	1.250	1.000	0.700
Θ.4	0.714	1.538	1.429	1.000
Άθροισμα	2.770	5.788	5.029	3.750

Πίνακας C.68 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Κόστος Κατασκευής» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.361	0.346	0.358	0.373	1.438	0.359	4.004
Θ.2	0.181	0.173	0.159	0.173	0.686	0.171	4.003
Θ.3	0.201	0.216	0.199	0.187	0.802	0.201	4.002
Θ.4	0.258	0.266	0.284	0.267	1.074	0.269	4.004
						CI	0.001
						RI	0.900
						CR	0.001

- Κόστος Απόκτησης γης

Πίνακας C.69 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Κόστος Απόκτησης γης» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.250	0.900	0.950
Θ.2	4.000	1.000	3.200	3.300
Θ.3	1.111	0.313	1.000	1.400
Θ.4	1.053	0.303	0.714	1.000
Άθροισμα	7.164	1.866	5.814	6.650

Πίνακας C.70 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Κόστος Απόκτησης γης» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.140	0.134	0.155	0.143	0.571	0.143	4.017
Θ.2	0.558	0.536	0.550	0.496	2.141	0.535	4.019
Θ.3	0.155	0.168	0.172	0.211	0.705	0.176	4.006
Θ.4	0.147	0.162	0.123	0.150	0.583	0.146	4.010
						CI	0.004
						RI	0.900
						CR	0.005

- **Ανεπάρκεια/ακαταλληλότητα οδικού δικτύου**

Πίνακας C.71 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Ανεπάρκεια/ακαταλληλότητα οδικού δικτύου» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.950	0.900	2.500
Θ.2	1.053	1.000	1.100	2.600
Θ.3	1.111	0.909	1.000	2.450
Θ.4	0.400	0.385	0.408	1.000
Άθροισμα	3.564	3.244	3.408	8.550

Πίνακας C.72 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Ανεπάρκεια/ακαταλληλότητα οδικού δικτύου» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.281	0.293	0.264	0.292	1.130	0.282	4.002
Θ.2	0.295	0.308	0.323	0.304	1.231	0.308	4.002
Θ.3	0.312	0.280	0.293	0.287	1.172	0.293	4.003
Θ.4	0.112	0.119	0.120	0.117	0.468	0.117	4.002
						CI	0.001
						RI	0.900
						CR	0.001

- **Λιμενικές Υποδομές**

Πίνακας C.73 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Λιμενικές Υποδομές» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	2.950	1.800	1.500
Θ.2	0.339	1.000	0.600	0.450
Θ.3	0.556	1.667	1.000	0.600
Θ.4	0.667	2.222	1.667	1.000
Άθροισμα	2.561	7.839	5.067	3.550

Πίνακας C.74 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Λιμενικές Υποδομές» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.390	0.376	0.355	0.423	1.545	0.386	4.013
Θ.2	0.132	0.128	0.118	0.127	0.505	0.126	4.011
Θ.3	0.217	0.213	0.197	0.169	0.796	0.199	4.006
Θ.4	0.260	0.283	0.329	0.282	1.154	0.289	4.013
						CI	0.004
						RI	0.900
						CR	0.004

- Απόσταση από βιομηχανικούς καταναλωτές

Πίνακας C.75 Σύγκριση Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Απόσταση από βιομηχανικούς καταναλωτές» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.400	0.350	1.800
Θ.2	2.500	1.000	0.950	3.100
Θ.3	2.857	1.053	1.000	3.300
Θ.4	0.556	0.323	0.303	1.000
Άθροισμα	6.913	2.775	2.603	9.200

Πίνακας C.76 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Απόσταση από βιομηχανικούς καταναλωτές» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.145	0.144	0.134	0.196	0.619	0.155	4.015
Θ.2	0.362	0.360	0.365	0.337	1.424	0.356	4.029
Θ.3	0.413	0.379	0.384	0.359	1.535	0.384	4.034
Θ.4	0.080	0.116	0.116	0.109	0.422	0.105	4.008
						CI	0.007
						RI	0.900
						CR	0.008

- **Δυνατότητα επέκτασης**

Πίνακας C.77 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Δυνατότητα επέκτασης» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.600	4.500	3.000
Θ.2	1.667	1.000	6.000	4.300
Θ.3	0.222	0.167	1.000	0.350
Θ.4	0.333	0.233	2.857	1.000
Άθροισμα	3.222	1.999	14.357	8.650

Πίνακας C.78 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Δυνατότητα επέκτασης» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.310	0.300	0.313	0.347	1.271	0.318	4.103
Θ.2	0.517	0.500	0.418	0.497	1.932	0.483	4.100
Θ.3	0.069	0.083	0.070	0.040	0.262	0.066	4.016
Θ.4	0.103	0.116	0.199	0.116	0.534	0.134	4.037
						CI	0.021
						RI	0.900
						CR	0.024

- **Εμπλοκή με μελλοντικά έργα**

Πίνακας C.79 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Εμπλοκή με μελλοντικά έργα» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.700	3.000	2.400
Θ.2	1.429	1.000	3.500	2.900
Θ.3	0.333	0.286	1.000	0.900
Θ.4	0.417	0.345	1.111	1.000
Άθροισμα	3.179	2.331	8.611	7.200

Πίνακας C.80 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Εμπλοκή με μελλοντικά έργα» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.315	0.300	0.348	0.333	1.297	0.324	4.008
Θ.2	0.449	0.429	0.406	0.403	1.688	0.422	4.009
Θ.3	0.105	0.123	0.116	0.125	0.469	0.117	4.002
Θ.4	0.131	0.148	0.129	0.139	0.547	0.137	4.004
						CI	0.002
						RI	0.900
						CR	0.002

- Χρηματοδότηση έργου

Πίνακας C.81 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Χρηματοδότηση έργου» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.2	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.3	1.000	1.000	1.000	1.000
Θ.4	1.000	1.000	1.000	1.000
Άθροισμα	4.000	4.000	4.000	4.000

Πίνακας C.82 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Χρηματοδότηση έργου» των Τεχνοοικονομικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.2	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.3	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
Θ.4	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000	0.250	4.000
						CI	0.000
						RI	0.900
						CR	0.000

Κοινωνικοί Κίνδυνοι

- Αντίδραση Τοπικών Αρχών

Πίνακας C.83 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Αντίδραση Τοπικών Αρχών» των Κοινωνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.600	5.500	3.500
Θ.2	1.667	1.000	6.000	4.000
Θ.3	0.182	0.167	1.000	0.550
Θ.4	0.286	0.250	1.818	1.000
Άθροισμα	3.134	2.017	14.318	9.050

Πίνακας C.84 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Αντίδραση Τοπικών Αρχών» των Κοινωνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.319	0.298	0.384	0.387	1.387	0.347	4.034
Θ.2	0.532	0.496	0.419	0.442	1.889	0.472	4.045
Θ.3	0.058	0.083	0.070	0.061	0.271	0.068	4.008
Θ.4	0.091	0.124	0.127	0.110	0.453	0.113	4.009
						CI	0.008
						RI	0.900
						CR	0.009

- Αντιδράσεις Τοπικής Κοινωνίας

Πίνακας C.85 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Αντιδράσεις Τοπικής Κοινωνίας» των Κοινωνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.450	6.200	5.100
Θ.2	2.222	1.000	7.000	6.100
Θ.3	0.161	0.143	1.000	0.550
Θ.4	0.196	0.164	1.818	1.000
Άθροισμα	3.580	1.757	16.018	12.750

Πίνακας C.86 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Αντιδράσεις Τοπικής Κοινωνίας» των Κοινωνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.279	0.256	0.387	0.400	1.323	0.331	4.115
Θ.2	0.621	0.569	0.437	0.478	2.105	0.526	4.152
Θ.3	0.045	0.081	0.062	0.043	0.232	0.058	4.023
Θ.4	0.055	0.093	0.114	0.078	0.340	0.085	4.018
						CI	0.026
						RI	0.900
						CR	0.029

- **Αντισταθμιστικά οφέλη**

Πίνακας C.87 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Αντισταθμιστικά οφέλη» των Κοινωνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.800	2.000	1.400
Θ.2	1.250	1.000	2.500	1.500
Θ.3	0.500	0.400	1.000	0.700
Θ.4	0.714	0.667	1.429	1.000
Άθροισμα	3.464	2.867	6.929	4.600

Πίνακας C.88 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Αντισταθμιστικά οφέλη» των Κοινωνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.289	0.279	0.289	0.304	1.161	0.290	4.003
Θ.2	0.361	0.349	0.361	0.326	1.397	0.349	4.004
Θ.3	0.144	0.140	0.144	0.152	0.580	0.145	4.003
Θ.4	0.206	0.233	0.206	0.217	0.862	0.216	4.003
						CI	0.001
						RI	0.900
						CR	0.001

- Δημόσια Υγεία

Πίνακας C.89 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Δημόσια Υγεία» των Κοινωνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.800	3.500	1.500
Θ.2	0.556	1.000	2.200	0.500
Θ.3	0.286	0.455	1.000	0.300
Θ.4	0.667	2.000	3.333	1.000
Άθροισμα	2.508	5.255	10.033	3.300

Πίνακας C.90 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Δημόσια Υγεία» των Κοινωνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.399	0.343	0.349	0.455	1.545	0.386	4.043
Θ.2	0.222	0.190	0.219	0.152	0.783	0.196	4.015
Θ.3	0.114	0.087	0.100	0.091	0.391	0.098	4.022
Θ.4	0.266	0.381	0.332	0.303	1.282	0.320	4.042
						CI	0.010
						RI	0.900
						CR	0.011

- Οικονομία/Απασχόληση

Πίνακας C.91 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Οικονομία/Απασχόληση» των Κοινωνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.900	1.300	1.100
Θ.2	1.111	1.000	1.500	1.450
Θ.3	0.769	0.667	1.000	0.800
Θ.4	0.909	0.690	1.250	1.000
Άθροισμα	3.789	3.256	5.050	4.350

Πίνακας C.92 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Οικονομία/Απασχόληση» των Κοινωνικών Κινδύνων

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.264	0.276	0.257	0.253	1.051	0.263	4.004
Θ.2	0.293	0.307	0.297	0.333	1.231	0.308	4.006
Θ.3	0.203	0.205	0.198	0.184	0.790	0.197	4.004
Θ.4	0.240	0.212	0.248	0.230	0.929	0.232	4.004
						CI	0.001
						RI	0.900
						CR	0.002

Κίνδυνοι λόγω Απαιτήσεων της Νομοθεσίας

- Νομοθεσία και Απαιτήσεις αδειοδότησης

Πίνακας C.93 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Νομοθεσία και Απαιτήσεις αδειοδότησης» των Κινδύνων Απαιτήσεων Νομοθεσίας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.050	5.300	1.750
Θ.2	0.952	1.000	5.000	1.500
Θ.3	0.189	0.200	1.000	0.600
Θ.4	0.571	0.667	1.667	1.000
Άθροισμα	2.712	2.917	12.967	4.850

Πίνακας C.94 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Νομοθεσία και Απαιτήσεις αδειοδότησης» των Κινδύνων Απαιτήσεων Νομοθεσίας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.369	0.360	0.409	0.361	1.498	0.375	4.076
Θ.2	0.351	0.343	0.386	0.309	1.389	0.347	4.084
Θ.3	0.070	0.069	0.077	0.124	0.339	0.085	4.023
Θ.4	0.211	0.229	0.129	0.206	0.774	0.193	4.032
						CI	0.018
						RI	0.900
						CR	0.020

- Χρόνος διαδικασιών και εγκρίσεων

Πίνακας C.95 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Χρόνος διαδικασιών και εγκρίσεων» των Κινδύνων Απαιτήσεων Νομοθεσίας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.100	4.000	1.200
Θ.2	0.909	1.000	3.600	1.050
Θ.3	0.250	0.278	1.000	0.700
Θ.4	0.833	0.952	1.429	1.000
Άθροισμα	2.992	3.330	10.029	3.950

Πίνακας C.96 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Χρόνος διαδικασιών και εγκρίσεων» των Κινδύνων Απαιτήσεων Νομοθεσίας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.334	0.330	0.399	0.304	1.367	0.342	4.130
Θ.2	0.304	0.300	0.359	0.266	1.229	0.307	4.132
Θ.3	0.084	0.083	0.100	0.177	0.444	0.111	4.053
Θ.4	0.278	0.286	0.142	0.253	0.960	0.240	4.066
						CI	0.032
						RI	0.900
						CR	0.035

- Αλλαγές Νομοθεσίας/Θεσμικού πλαισίου

Πίνακας C.97 Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Αλλαγές Νομοθεσίας/Θεσμικού πλαισίου» των Κινδύνων Απαιτήσεων Νομοθεσίας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	1.150	2.000	1.400
Θ.2	0.870	1.000	1.950	1.200
Θ.3	0.500	0.513	1.000	0.700
Θ.4	0.714	0.833	1.429	1.000
Άθροισμα	3.084	3.496	6.379	4.300

Πίνακας C.98 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Αλλαγές Νομοθεσίας/Θεσμικού πλαισίου» των Κινδύνων Απαιτήσεων Νομοθεσίας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.324	0.329	0.314	0.326	1.292	0.323	4.002
Θ.2	0.282	0.286	0.306	0.279	1.153	0.288	4.002
Θ.3	0.162	0.147	0.157	0.163	0.628	0.157	4.001
Θ.4	0.232	0.238	0.224	0.233	0.927	0.232	4.002
						CI	0.001
						RI	0.900
						CR	0.001

- Περιορισμοί χρήσεις γης

Πίνακας C.99 Σύγκριση Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Περιορισμοί χρήσεις γης» των Κινδύνων Απαιτήσεων Νομοθεσίας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4
Θ.1	1.000	0.700	6.500	4.000
Θ.2	1.429	1.000	7.200	4.500
Θ.3	0.154	0.139	1.000	0.300
Θ.4	0.250	0.222	3.333	1.000
Άθροισμα	2.832	2.061	18.033	9.800

Πίνακας C.100 Κανονικοποιημένο Μητρώο Σύγκρισης Εναλλακτικών Θέσεων ως προς το Υποκριτήριο «Περιορισμοί χρήσεις γης» των Κινδύνων Απαιτήσεων Νομοθεσίας

	Θ.1	Θ.2	Θ.3	Θ.4	Άθροισμα στήλης	Σχετικό Βάρος	Έλεγχος συνέπειας μεθόδου
Θ.1	0.353	0.340	0.360	0.408	1.461	0.365	4.131
Θ.2	0.504	0.485	0.399	0.459	1.848	0.462	4.115
Θ.3	0.054	0.067	0.055	0.031	0.208	0.052	4.015
Θ.4	0.088	0.108	0.185	0.102	0.483	0.121	4.041
						CI	0.025
						RI	0.900
						CR	0.028