ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΘΕΜΑ: ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ (ΥΦΑ) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ Γ. ΚΑΛΛΙΟΠΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΡΑΒΩΣΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021

Copyright © Παπαγεωργίου Γ. Καλλιόπη 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τη συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχές σε όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση της.

Αρχικά, ευχαριστώ πολύ τον επιβλέπων καθηγητή μου, κύριο Αραβώση Κωνσταντίνο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αναθέτοντας μου το συγκεκριμένο θέμα.

Επιπλέον, ευχαριστώ πολύ την κα Ελένη Στραντζάλη για την πολύτιμη βοήθεια της, την επιστημονική της καθοδήγηση, τις υποδείξεις της, την επιμονή της, το αμείωτο ενδιαφέρον της, τη συμπαράστασή της, τη συνεχή της υποστήριξη και το αμείωτο ενδιαφέρον που έδειξε από την αρχή μέχρι το τέλος κατά την διεξαγωγή της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στην εταρεία που εργάζομαι, Roxana Shipping S.A., για τις εποικοδομητικές υποδείξεις τους και την πολύτιμη συμβολή τους στην ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για όλη τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους, καθ’ όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το φυσικό αέριο παίζει σημαντικό ρόλο στη ζωή μας για ένα οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμο μέλλον. Το παγκόσμιο εμπόριο Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου αυξήθηκε περαιτέρω το 2019 για έκτη συνεχόμενη χρονιά, φτάνοντας σε αύξηση 13%. Η Ελλάδα εξαρτάται από τις εισαγωγές φυσικού αερίου από άλλες χώρες. Τα τρία τέταρτα του φυσικού αερίου προμηθεύονται μέσω αγωγού από τη Ρωσία και την Τουρκία και το υπόλοιπο μέρος εισάγεται με τη μορφή ΥΦΑ. Μια νέα πλωτή μονάδα λήψης, αποθήκευσης και επαναεριοποίησης LNG (FSRU) στην Αλεξανδρούπολη θα προστεθεί στην ελληνική υποδομή ΥΦΑ.

Πολλές έρευνες έχουν δημοσιευτεί τις προηγούμενες δεκαετίες στον τομέα της επιλογής προμηθευτών κυρίως για πετρέλαιο, ενώ ένα μικρό μέρος αυτών αξιολογεί τις επιλογές εφοδιασμού με φυσικό αέριο. Η αξιολόγηση της εφοδιαστικής αλυσίδας ΥΦΑ περιλαμβάνει χαρακτηριστικά που τη διαφοροποιούν από άλλα μοντέλα επιλογής προμηθευτών γενικής χρήσης. Ο στόχος της παρούσας μελέτης είναι να παρουσιάσει ένα μοντέλο επιλογής προμηθευτή ΥΦΑ, εξειδικευμένο για την FSRU στην Αλεξανδρούπολη.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται πολυκριτηριακή ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Promethee II, αξιολογώντας όλους τους πιθανούς τερματικούς σταθμούς εξαγωγής: Αλγερία (Arzew), Αλγερία (Skikda), Αίγυπτος (Idku), Νορβηγία (Snohvit), Κατάρ (Ras Laffan), Ομάν (Qalhat) , Τρινιντάντ (Point Fortin), Νιγηρία (Bonny), Υεμένη (Balhaf) και ΗΠΑ (Sabine Pass T1). Η PROMETHEE II επιλέχτηκε λόγω της ευελιξίας της στην έκφραση προτιμήσεων που προσφέρει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων. Η προσέγγιση βασίζεται σε επιλεγμένα κριτήρια όπως είναι η τιμή πώλησης ΥΦΑ (spot rate), η κατανάλωση καυσίμου, το συνολικό κόστος μεταφοράς, ο λειτουργικός δείκτης ενεργειακής απόδοσης, η αναλογία αποθεμάτων φυσικού αερίου προς παραγωγή, η ασφάλεια ανεφοδιασμού και οι διακρατικές συνεργασίες.

Η στάθμιση των κριτηρίων πραγματοποιείται σύμφωνα με την ιεραρχική κατάταξη κριτηρίων, την μέθοδο Simos. Τα βάρη των κριτηρίων έχουν κατηγοριοποιηθεί σε τρία διαφορετικά σενάρια και έχουν προκύψει από συνεντεύξεις με ενδιαφερόμενους. Καθώς έχουν προκύψει διαφορετικά βάρη για τα κριτήρια, πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας που δείχνει τη σταθερότητα της μεθοδολογίας που υιοθετήθηκε.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα τρία σενάρια καταλήγουν σε παρόμοιους τερματικούς σταθμούς εξαγωγών φυσικού αερίου. Οι κυριότερες χώρες που έχουν την υψηλότερη θέση σε όλα τα σενάρια είναι η Αλγερία, το Κατάρ και η Αίγυπτος.

Λέξεις Κλειδιά: Φυσικό αέριο, Υγροποιημένο Φυσικό αέριο, Εφοδιαστική Αλυσίδα ΥΦΑ, Πολυκριτηριακή ανάλυση, Promethee

ABSTRACT

Natural gas continues to play a vital role towards an economically and environmentally sustainable energy future. Global LNG trade increased further in 2019, reaching an increase of 13%, a sixth year of consecutive growth. Greece is dependent to natural gas imports from other countries. Three-quarters of gas is supplied from Russia and Turkey by pipeline, and the remaining portion is imported in the form of LNG. A new floating LNG receiving, storage and regasification unit (FSRU) in Alexandroupolis will be added in the Greek LNG infrastructure.

A lot of researches have been published throughout the decades in the field of supplier selection and especially referring to oil and industry. Only a small part of them evaluates natural gas supply options. The evaluation of LNG supply chain includes features differentiating it from other general-purpose supplier selection models. The aim of the current study is to present an LNG supplier selection model, specialized for the FSRU in Alexandroupolis.

A multicriteria analysis, using Promethee II method, is carried out, evaluating all the potential export terminals: Algeria (Arzew), Algeria (Skikda), Egypt (Idku), Norway (Snohvit), Qatar (Ras Laffan), Oman (Qalhat), Trinidad (Point Fortin), Nigeria (Bonny), Yemen (Balhaf) and USA (Sabine Pass T1). PROMETHEE II has been adopted, due to its flexibility in the expression of preferences that offers to the decision makers. The approach is based on selected criteria in the fields of the marine transportation, the source, the economic and environmental impact. In particular, the selected criteria are: LNG spot price, Fuel consumption, Shipping cost, Energy Efficiency Operational Indicator, Reserves to Production ratio, Security of supply and Cooperation between countries. Weighting of criteria is carried out according to the hierarchical ranking of criteria, Simos approach. The weights of the criteria have been categorized in three different scenarios, and they have been elicited from interviews with stakeholders. As different weights for the criteria have been elicited, a sensitivity analysis is carried out demonstrating the stability of the adopted methodology.

The obtained results showed that there are advantageous liquified natural gas supply options for Alexandroupolis. The results obtained from the three scenarios conclude to similar export terminals. The main countries that outrank in all scenarios are Algeria, Qatar and Egypt.

Keywords: Multicriteria analysis, Promethee, Liquefied natural gas (LNG), LNG Supply Chain

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες ... iii

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ... iv

ABSTRACT ... v

ΕΙΚΟΝΕΣ ... 1

ΠΙΝΑΚΕΣ ... 3

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ... 4

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ ... 4

ΣΤΑΔΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ... 5

ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ... 6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{ο} : ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ... 8

1.1 ΣΥΣΤΑΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ... 8

1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ... 9

1.3 ΕΙΔΗ ΠΟΡΩΝ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ... 9

1.4 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ... 10

1.4.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΜΕΣΩ ΑΓΩΓΟΥ ... 11

1.4.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΜΕΣΩ ΠΛΟΙΩΝ LNG ... 12

1.5 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ... 14

1.6 ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ... 14

1.6.1 ΣΥΣΤΑΣΗ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ... 14

1.6.2 ΤΥΠΟΙ ΠΛΟΙΩΝ ΥΦΑ ... 15

1.7 ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΥΦΑ ... 20

1.7.1 ΕΥΡΕΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ... 21

1.7.2 ΕΞΟΡΥΞΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ... 21

1.7.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ... 22

1.7.4 ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ ... 22

1.7.5 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΦΑ ... 23

1.8 ΥΠΟΔΟΜΗ ΓΙΑ ΤΟ ΥΦΑ – ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ... 23

1.8.1 ΥΠΟΔΟΧΗ ΚΑΙ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ ... 23

1.8.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ... 23

1.8.3 ΕΠΑΝΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ... 24

1.8.4 ΔΙΑΝΟΜΗ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ... 26

1.9 ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΜΕΡΟΥΣ ΤΟΥ ΥΦΑ (BOIL OFF GAS) ... 27

1.10 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ... 27

1.11 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ 29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{ο} ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΦΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 32
2.1 ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΥΦΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 32
2.2 ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 33
2.3 ΔΕΠΑ 35
2.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ 37
2.4.1 ΔΙΑΔΡΙΑΤΙΚΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ (TAP) 37
2.4.2 ΔΙΑΣΥΝΔΕΤΗΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΕΛΛΑΔΑΣ – ΒΟΥΛΓΑΡΙΑΣ (IGB) 38
2.4.3 Ο ΑΓΩΓΟΣ ΠΟΣΕΙΔΩΝ (POSEIDON) 39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{ο} : ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ 41
3.1 ΕΡΜΗΝΕΙΑ 41
3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ 42
3.3 ΘΕΩΡΙΑ ΣΧΕΣΕΩΝ ΥΠΕΡΟΧΗΣ (OUTRANKING RELATIONS THEORY) 43
3.4 ΤΥΠΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ 43
3.4.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗΣ – ΜΕΘΟΔΟΣ AHP 43
3.4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ELECTRE 45
3.4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ PROMETHEE 45
3.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ 46
3.6 ΜΕΘΟΔΟΣ PROMETHEE 47
3.6.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PROMETHEE 47
3.6.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ 47
3.7 ΣΤΑΘΜΙΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ 53
3.7.1 ΜΕΘΟΔΟΣ SIMPLE MULTI-ATTRIBUTE RATING TECHNIQUE (SMART) 54
3.7.2 ΜΕΘΟΔΟΣ SWING 54
3.7.3 ΜΕΘΟΔΟΣ SIMOS 54
3.7.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ 55
3.7.5 ΜΕΘΟΔΟΣ TECHNIQUE FOR ORDER OF PREFERENCE BY SIMILARITY TO IDEAL SOLUTION (TOPSIS) 55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{ο}: ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΥΦΑ 56
4.1 ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ 56
4.1.1 ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ (ΑΣΦΑ) ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ 57
4.1.2 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΑΣΦΑ 58
4.1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑ 58
4.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ FLOATING STORAGE AND REGASIFICATION UNITS (FSRUs) 60

4.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΓΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ LNG 60
4.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ 63
4.4.1 ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΥΦΑ 63
4.4.2 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ 69
4.4.3 ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΦΑ 74
4.4.4 EEOI - ENERGY EFFICIENCY OPERATIONAL INDICATOR 83
4.4.5 RESERVES TO PRODUCTION RATIO (R/P RATIO) 84
4.4.6 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ 86
4.4.7 ΔΙΑΚΡΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΕΣ 88
4.5 ΣΤΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ 89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{Ο}: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ 93
5.1 1^{ο} ΣΕΝΑΡΙΟ 93
5.2 2^{ο} ΣΕΝΑΡΙΟ 96
5.3 3^{ο} ΣΕΝΑΡΙΟ 98
5.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ 100
5.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ 103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^{Ο}: ΣΥΝΟΨΗ 107
6.1 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ 107
6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 107
6.3 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ 108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 109

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Πηγές Φυσικού αερίου [4] 10
Εικόνα 2: Μεταφορά Φυσικού αερίου μέσω χερσαίων αγωγών 11
Εικόνα 3: Μεταφορά φυσικού αερίου μέσω υποθαλάσσιων αγωγών 12
Εικόνα 4: Πλοίο μεταφοράς Υγροποιημένου Φυσικού αερίου 13
Εικόνα 5: Αλυσίδα μεταφοράς φυσικού αερίου[5] 13
Εικόνα 6: LNG πλοίο τύπου MOSS 16
Εικόνα 7: Τομή δεξαμενής από LNG πλοίο τύπου IHI 16
Εικόνα 8: Τομή από δεξαμενή μεμβράνης τύπου TGZ Mark III 17
Εικόνα 9: Τομή από δεξαμενή μεμβράνης τύπου Gas Transport (No 96 System) 18
Εικόνα 10: LNG πλοία διαφόρων τύπων 18
Εικόνα 11: Διάκριση πλοίων ΥΦΑ με βάση το σχεδιασμό των δεξαμενών τους [67] 19
Εικόνα 12: Εφοδιαστική Αλυσίδα ΥΦΑ [87] 20
Εικόνα 13: Αναζήτηση Φυσικού αερίου 22
Εικόνα 14: Διατομή δεξαμενής αποθήκευσης ΥΦΑ [35] 24
Εικόνα 15: Χωρητικότητα επαναεριοποίησης LNG και ετήσια χρήση ανα χώρα 2019 [67] 24
Εικόνα 16: Τερματικός σταθμός ΥΦΑ στην Νότια Κορέα [67] 26
Εικόνα 17: Τυπική Διάταξη Τερματικού Σταθμού υποδοχής ΥΦΑ 26
Εικόνα 18: Αποδεδειγμένα κοιτάσματα φυσικού αερίου [10] 28
Εικόνα 19: Οι μεγαλύτεροι εξαγωγείς Φυσικού αερίου (Πηγή LNG Edge) 29
Εικόνα 20: Οι κυριότερες εισαγωγές ΥΦΑ (Πηγή LNG Edge) 30
Εικόνα 21: Ελληνικό Δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου [36] 33
Εικόνα 22: Εισαγωγές και Εξαγωγές Φυσικού αερίου της Ελλάδας [45] 36
Εικόνα 23: Ο τερματικός σταθμός της Ρεβυθούσσας 37
Εικόνα 24: Ο διαδριατικός Αγωγός TAP [85] 38
Εικόνα 25: Διασυνδετήριος αγωγός IGB [86] 39
Εικόνα 26: Ο αγωγός ΠΟΣΕΙΔΩΝ [86] 40
Εικόνα 27 : Πίνακας αποφάσεων [17] 42
Εικόνα 28: Μέθοδος AHP (Πηγή Researchgate.net) 44
Εικόνα 29: Η μορφή της συνάρτησης H(d) [19] 48
Εικόνα 30: Usual form [19] 49
Εικόνα 31: U form[19] 49
Εικόνα 32: V form [19] 50
Εικόνα 33: Level form [19] 50
Εικόνα 34: Linear preference and indifference area [19] 51
Εικόνα 35: Gaussian criterion [19] 51
Εικόνα 36: Γράφημα υπεροχής [19] 52
Εικόνα 37 : Πρωραίο τμήμα πλωτής μονάδας ΑΣΦΑ Αλεξανδρούπολης [14] 57
Εικόνα 38: Χωροθέτηση πλωτής μοναδας ΑΣΦΑ [14] 59
Εικόνα 39: Διάγραμμα ροής πολυκριτηριακής ανάλυσης 63
Εικόνα 40: Μηχανισμοί διαμόρφωσης τιμής Φυσικού αερίου [33] 65
Εικόνα 41: Μηχανισμοί διαμόρφωσης τιμών Φυσικού αερίου ανά ήπειρο [33] 66

Εικόνα 42: Μηχανισμοί διαμόρφωσης τιμών Υγροποιημένου Φυσικού αερίου ανά ήπειρο [33] 66
Εικόνα 43: Οι τάσεις των μηχανισμών εισαγωγών ΥΦΑ ως το 2019 [33] 68
Εικόνα 44: Χαρακτηριστικά πλοίου Britsh Sapphire [67]..... 70
Εικόνα 45: Χαρακτηριστικά πλοίου Gaslog Geneva [67] 70
Εικόνα 46: Πλοίο Britsh Sapphire [71] 71
Εικόνα 47: Καταναλώσεις πλοίων LNG [68]..... 73
Εικόνα 48: Χαρακτηριστικά πλοίου British Sapphire[72]..... 76
Εικόνα 49: Κόστος κατά το πέρασμα από τη Διώρυγα του Σουέζ σε έμφορτη κατάσταση[73]..... 77
Εικόνα 50: Κόστος κατά το πέρασμα από τη Διώρυγα του Σουέζ σε άφορτη κατάσταση [73] 78
Εικόνα 51: Δείκτης R/P Ratio ανα ήπειρο για το 2019 [10] 86
Εικόνα 52: Εξαγωγές φυσικού αερίου ανα περιοχή για το 2019 [67] 86
Εικόνα 53: Αποτελέσματα 1ου σεναρίου..... 94
Εικόνα 54: Αποτελέσματα 1ου σεναρίου..... 95
Εικόνα 55: Αποτελέσματα 2ου σεναρίου..... 97
Εικόνα 56: Αποτελέσματα 2ου σεναρίου..... 98
Εικόνα 57: Αποτελέσματα 3ου σεναρίου..... 99
Εικόνα 58: Αποτελέσματα 3ου σεναρίου..... 100
Εικόνα 59: Σύγκριση σεναρίων 102
Εικόνα 60: Σύγκριση Σεναρίων με μέγιστη τιμή ναύλωσης 105
Εικόνα 61: Σύγκριση Σεναρίων με ελάχιστη τιμή ναύλωσης 106

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Τελικές τιμές spot rate 69
Πίνακας 2: Ημέρες ταξιδιών 72
Πίνακας 3: Υπολογισμός καταναλώσεων και κόστους καυσίμων 74
Πίνακας 4: Εύρος τιμών ναύλωσης 78
Πίνακας 5: Συγκεντρωτικός πίνακας υπολογισμών κόστων μεταφοράς με max charter rate 79
Πίνακας 6: Συγκεντρωτικός πίνακας υπολογισμών κόστων μεταφοράς με min charter rate 80
Πίνακας 7: Συγκεντρωτικός πίνακας υπολογισμών κόστων μεταφοράς με average charter rate 81
Πίνακας 8: Συνολικά κόστη μεταφοράς 82
Πίνακας 9: Υπολογισμός περιβαλλοντικού δείκτη EEOI 84
Πίνακας 10: Συγκεντρωτικός πίνακας του δείκτη R/P ratio 85
Πίνακας 11: Ασφάλεια Ανεφοδιασμού Φυσικού αερίου 87
Πίνακας 12: Ποσοστά εισαγωγών καυσίμων στην Ελλάδα το 2018 88
Πίνακας 13: Συγκεντρωτικός Πίνακας Κριτηρίων 89
Πίνακας 14: Κατανομή βαρών με τη μέθοδο SIMOS 90
Πίνακας 15: Κατώφλια Προτίμησης 92
Πίνακας 16: Κατανομή βαρών 1^{ου} σεναρίου 93
Πίνακας 17: Κατανομή βαρών 2^{ου} σεναρίου 96
Πίνακας 18: Κατανομή βαρών 3^{ου} σεναρίου 98
Πίνακας 19: Σύγκριση σεναρίων 103
Πίνακας 20: Κατώφλια προτίμησης για μέγιστη και ελάχιστη τιμή ναύλωσης 104

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο σκοπός της εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η μελέτη ανάπτυξης μιας εφοδιαστικής αλυσίδας ενός τερματικού σταθμού στην Ελλάδα για τον ανεφοδιασμό Υγροποιημένου Φυσικού αερίου (LNG).

Είναι γεγονός πως τα τελευταία χρόνια, το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (ΥΦΑ) κερδίζει διαρκώς έδαφος στη διεθνή αγορά, καθώς είναι ο πλέον οικονομικός τρόπος για την μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων φυσικού αερίου σε μακρινές αποστάσεις. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται από την σημαντική εξέλιξη τόσο του μεγέθους όσο και της μεταφορικής ικανότητας των LNG Carrier.

Επιπλέον, το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) κατέχει ηγετική θέση λόγω των μοναδικών συγκριτικών πλεονεκτημάτων, λειτουργικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών, που το χαρακτηρίζουν ως καύσιμο, για την επίτευξη των στόχων του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας (IMO) όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων των πλοίων. Το φυσικό αέριο, ως καύσιμο, έχει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το πετρέλαιο και το ντίζελ. Εκτός του ότι παρουσιάζει αυξημένο βαθμό απόδοσης κατά την καύση του και συνεπώς επιτυγχάνεται ανάλογη εξοικονόμηση ενέργειας κατά την παραγωγή της θερμικής ενέργειας, αφετέρου οι εκπομπές αερίων ρύπων που προκύπτουν κατά την καύση του είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές που προκύπτουν κατά την καύση του πετρελαίου και του ντίζελ.

Αντικειμενικός σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η καλύτερη κατανόηση της εφοδιαστικής αλυσίδας ΥΦΑ και η αξιολόγηση εναλλακτικών επιλογών ανεφοδιασμού από τον εκάστοτε τερματικό σταθμό φυσικού αερίου που θα προμηθεύεται Υγροποιημένο Φυσικό αέριο και θα ανεφοδιάζει την Ελλάδα.

Αρχικά, αναλύεται η έννοια του Φυσικού Αερίου, τα οφέλη του και η εφοδιαστική αλυσίδα του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου, αναλύοντας το κάθε στάδιο της αλυσίδας από την εύρεση ως την διανομή του Φυσικού αερίου στο Εθνικό δίκτυο.

Στη συνέχεια, γίνεται ανάλυση στις υπάρχουσες υποδομές για Φυσικό αέριο στην Ελλάδα και στις εισαγωγές που προέρχονται από διάφορες χώρες και εφοδιάζουν τον τερματικό σταθμό της Ρεβυθούσας. Το θεωρητικό μέρος της εργασίας συνεχίζεται με λεπτομερή ανάλυση των Πολυκριτηριακών Μεθόδων Λήψης Αποφάσεων, με μια από τις οποίες θα προσσεγγίσουμε στη συνέχεια το αντικείμενο της εργασίας. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι για την λήψη πολυκριτηριακών αποφάσεων, από τις οποίες επισημαίνονται οι σημαντικότερες και οι λόγοι της τελικής επιλογής (PROMETHEE) για την παρούσα εργασία. Στο ίδιο κεφάλαιο, γίνεται επίσης αναφορά στις μεθόδους απόδοσης βαρύτητας στα κριτήρια ανάλογα τις επιθυμίες του λήπτη αποφάσεων και των ενδιαφερόμενων του προβλήματος.

Μετέπειτα, επιλέγεται ο πλωτός τερματικός σταθμός της Αλεξανδρούπολης ως υποδομή για το αντικείμενο της παρούσας εργασίας και αναλύονται τα πλεονεκτήματα της γεωγραφικής θέσης του, η υποδομή του και οι λόγοι επιλογής του. Στην συνέχεια ορίζονται οι επιλογές ανεφοδιασμού φυσικού αερίου (οι εναλλακτικές) και ορίζονται τα απαραίτητα κριτήρια που πρέπει να λάβει ο

ενδιαφερόμενος υπόψιν του, για να πάρει τη σωστή απόφαση όπως είναι τα οικονομικά, τα περιβαλλοντικά και τα τεχνικά κριτήρια. Στο τέλος του ίδιο κεφαλαίου εξηγούνται οι λόγοι που επιλέχθηκε η μέθοδος SIMOS για την απόδοση βαρύτητας στα κριτήρια και αναλύονται τα οφέλη και ο τρόπος λειτουργίας της.

Η κατάταξη των κριτηρίων για την εκάστοτε εναλλακτική διαδρομή έγινε με τη βοήθεια μιας πολυκριτηριακής ανάλυσης λήψης αποφάσεων. Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο για την υποστήριξη και την εξαγωγή σημαντικών αποφάσεων.

Τέλος, όπως σε κάθε μελέτη έτσι και εδώ, παρατίθενται σκέψεις, συμπεράσματα και προοπτικές για την παρούσα μελέτη.

ΣΤΑΔΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε μεταξύ Μαρτίου 2020 και Φεβρουαρίου 2021 και ακολούθησε τις εξής φάσεις:

- Φάση 1^{η} : Προσδιορισμός του προβλήματος

Στην πρώτη φάση της εργασίας, ορίστηκε το πρόβλημα της εφοδιαστικής αλυσίδας ΥΦΑ της Ελλάδας και οι πιθανοί προμηθευτές της.

- Φάση 2^{η} : Συλλογή απαραίτητων πληροφοριών

Στη δεύτερη φάση πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση για την κατανόηση και την αποτύπωση της αλυσίδας ΥΦΑ και την επιλογή των πιθανών προμηθευτών.

- Φάση 3^{η} : Επιλογή πολυκριτηριακής μεθόδου

Στην επόμενη φάση του προβλήματος, κατανοήθηκε η σημασία της πολυκριτηριακής ανάλυσης και οι εφαρμογές της, μέσα από βιβλιογραφική έρευνα, και αναλύθηκαν διάφορες μέθοδοι και κατά κύριο λόγο η μέθοδος που επιλέχθηκε για την παρούσα εργασία (Promethee). Στην ίδια φάση, μελετήθηκε η έννοια της βαρύτητας και οι τρόποι απόδοσης βαρών στα κριτήρια.

- Φάση 4^{η} : Επιλογή Κριτηρίων και Εφαρμογή σεναρίων

Στην τέταρτη φάση έγινε βιβλιογραφική ανασκόπηση σε δημοσιεύσεις που έχουν γίνει την τελευταία δεκαετία σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά στον τομέα της αξιολόγησης της εφοδιαστικής αλυσίδας του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου, με σκοπό την επιλογή των κριτηρίων για τους διάφορους πιθανούς τερματικούς σταθμούς ανεφοδιασμού. Επίσης, στη φάση αυτή εκπονήθηκε ερωτηματολόγιο όπου ζητήθηκε η κατάταξη των κριτηρίων σε αύξουσα σειρά, σύμφωνα με τη σημαντικότητα των κριτηρίων που θεωρούσαν οι ερωτηθέντες και με βάση τις απαντήσεις τους, εφαρμόστηκαν τα κατάλληλα σενάρια.

- Φάση 5^{η} : Συμπεράσματα και Προοπτικές της Έρευνας

Στην τελευταία φάση της εργασίας αναλύονται οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή των σεναρίων και εξετάστηκαν πιθανές προοπτικές εφαρμογής και επέκτασης αυτής της έρευνας.

ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αρχικά, δίδεται μια σύντομη περίληψη της διπλωματικής εργασίας, καθώς και τα περιεχόμενα της με τα εξής έξι Κεφάλαια:

1^{ο} Κεφάλαιο: Φυσικό Αέριο

Στο 1^{ο} Κεφάλαιο αναλύεται η έννοια του Φυσικού Αερίου, τα οφέλη του και οι τρόποι μεταφοράς του από την πηγή εξώρυξης μέχρι τον καταναλωτή. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στο Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο και στους λόγους ύπαρξης του. Εν συνεχεία, περιγράφεται η εφοδιαστική αλυσίδα του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου, αναλύοντας το κάθε στάδιο της αλυσίδας από την εξαγωγή ως την μεταφορά του στον εκάστοτε τερματικό σταθμό αποθήκευσης, και επισημαίνεται η σημασία της Υποδομής του Υγροποιημένου Φυσικού αερίου και η λειτουργία της.

2^{ο} Κεφάλαιο: Εισαγωγή ΦΑ στην Ελλάδα

Στο 2^{ο} Κεφάλαιο γίνεται ανάλυση στις υπάρχουσες υποδομές για Φυσικό αέριο στην Ελλάδα και στις εισαγωγές που προέρχονται από διάφορες χώρες και εφοδιάζουν τον τερματικό σταθμό της Ρεβυθούσας.

3^{ο} Κεφάλαιο: Πολυκριτηριακές Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων

Στο 3^{ο} Κεφάλαιο δίνεται έμφαση στην αξία των πολυκριτηριακών μεθόδων λήψης αποφάσεων και περιγράφονται οι σημαντικότερες. Στο ίδιο κεφάλαιο, γίνεται επίσης αναφορά στις μεθόδους απόδοσης βαρύτητας στα κριτήρια ανάλογα με τις επιθυμίες του λήπτη αποφάσεων και των ενδιαφερόμενων του προβλήματος.

4^{ο} Κεφάλαιο: Μελέτη Εφοδιαστικής Αλυσίδας ΥΦΑ

Στο 4^{ο} Κεφάλαιο επιλέγεται ο πλωτός τερματικός σταθμός της Αλεξανδρούπολης ως υποδομή για το αντικείμενο της παρούσας εργασίας και αναλύονται τα πλεονεκτήματα της γεωγραφικής θέσης του, η υποδομή του και οι λόγοι επιλογής του. Στην συνέχεια ορίζονται οι επιλογές ανεφοδιασμού φυσικού αερίου (οι εναλλακτικοί προμηθευτές) και ορίζονται τα απαραίτητα κριτήρια που πρέπει να λάβει ο ενδιαφερόμενος υπόψιν του, για να πάρει τη σωστή απόφαση όπως είναι τα οικονομικά, τα περιβαλλοντικά και τα τεχνικά κριτήρια. Στο τέλος του ίδιο κεφαλαίου εξηγούνται οι λόγοι που επιλέχθηκε η μέθοδος SIMOS για την απόδοση βαρύτητας στα κριτήρια και αναλύονται τα οφέλη και ο τρόπος λειτουργίας της.

5^{ο} Κεφάλαιο: Εφαρμογή σεναρίων

Στο 5^{ο} Κεφάλαιο εφαρμόζονται τα σενάρια με χρήση της διαδικασίας Promethee, με διαφορετικές βαρύτητες των κριτηρίων για το κάθε σενάριο και παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα του κάθε σεναρίου.

6^{ο} Κεφάλαιο: Σύνοψη

Στο 6^{ο} και τελευταίο Κεφάλαιο συγκρίνονται τα αποτελέσματα μεταξύ των σεναρίων και παρατίθενται σκέψεις, συμπεράσματα και προοπτικές για την παρούσα μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{ο} : ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

1.1 ΣΥΣΤΑΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Το φυσικό αέριο είναι μείγμα κορεσμένων υδρογονανθράκων με μικρό αριθμό ατόμων άνθρακα. Εξάγεται από υπόγειες κοιλότητες και λόγω των ιδιοτήτων του θεωρείται οικολογικό καύσιμο. Βασικό συστατικό του φυσικού αερίου είναι το μεθάνιο (περίπου 90%), συνυπάρχουν όμως σε αυτό και μικρές ποσότητες άλλων συστατικών όπως αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο καθώς και διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο, υδρογόνο, ήλιο και υδρόθειο.

Το φυσικό αέριο που είναι απαλλαγμένο από τους υδρογονάνθρακες, εκτός του μεθανίου, δηλαδή το καθαρό μεθάνιο, συχνά αποκαλείται και ξηρό φυσικό αέριο. Αντίστοιχα, το φυσικό αέριο που συμπεριλαμβάνει στη σύσταση του και άλλους υδρογονάνθρακες εκτός από το μεθάνιο, αποκαλείται υγρό φυσικό αέριο.

Η χρήση του φυσικού αερίου πραγματοποίηθηκε για πρώτη φορά στην Κίνα το 900 π.Χ. περίπου, όπου ανοίχθηκαν γύρω στα 900-1100 φρέατα και η μεταφορά του φυσικού αερίου γινόταν μέσω αγωγών από μπαμπού. Το μεγαλύτερο μέρος του φυσικού αερίου δημιουργήθηκε με την πάροδο των χρόνων με δύο μηχανισμούς: βιογενές και θερμογόνο. Το βιογενές αέριο δημιουργείται από μεθανογενείς οργανισμούς σε έλη, βάλτους, χώρους υγειονομικής ταφής και ρηχά ιζήματα. Πιο βαθιά στη γη, σε μεγαλύτερη θερμοκρασία και πίεση, δημιουργείται θερμογενές αέριο από θαμμένο οργανικό υλικό.

Το φυσικό αέριο έχει αξιοσημείωτες ιδιότητες: Αρχικά, είναι άχρωμο και άοσμο. Για λόγους ασφαλείας για τυχόν διαρροές, του προστίθεται μια χαρακτηριστική οσμή. Είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και έχει ειδικό βάρος ίσο με 0,59. Μεταξύ των ορυκτών καυσίμων, το φυσικό αέριο έχει το χαμηλότερο ποσοστό άνθρακα που εκπέμπει λιγότερο CO_2 ανά μονάδα ενέργειας σε σχέση με άλλα ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, σε αντίθεση με το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο απαιτεί λιγότερη επεξεργασία για την τελική του χρήση.

Αυτά τα ευνοϊκά χαρακτηριστικά έχουν επιτρέψει στο φυσικό αέριο να διεισδύσει σε πολλές αγορές. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας για τη θέρμανση, το μαγείρεμα, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και ως καύσιμο για οχήματα και ως χημική πρώτη ύλη στην κατασκευή πλαστικών και άλλων οργανικών χημικών ουσιών που είναι σημαντικές στο εμπόριο. [37]

1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Η χημική του σύσταση καθώς και η σύσταση των εκπομπών του, οι ιδιότητες του, η ενεργειακή του απόδοση και τα άφθονα αποθέματά του που διανέμονται σε όλο τον πλανήτη, καθιστούν το Φυσικό Αέριο την ενέργεια του μέλλοντος.

Οι κυριότεροι λόγοι που το καθιστούν ενέργεια του μελλοντος είναι οι εξής:

- Το φυσικό αέριο είναι «οικολογικό» καύσιμο: Μεταξύ των πολλών ορυκτών καυσίμων που διατίθενται στον πλανήτη Γη, το φυσικό αέριο είναι το πιο καθαρό. Πιο συγκεκριμένα, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αλλά και των όξινων ρύπων και βαρέων μετάλλων στην ατμόσφαιρα είναι σημαντικά λιγότερες.
- Είναι οικονομικό: Το φυσικό αέριο δεν είναι τόσο ακριβό συγκριτικά με άλλα καύσιμα.
- Το φυσικό αέριο είναι ασφαλές στη χρήση: Επειδή το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα, σε περίπτωση διαρροής, εξατμίζεται γρήγορα στον αέρα και αποφεύγεται η φωτιά.
- Το φυσικό αέριο διατίθεται σε αφθονία: Σύμφωνα με έρευνες, το διαθέσιμο φυσικό αέριο είναι περισσότερο από το πετρέλαιο ή άλλα καύσιμα.
- Έχει αυξημένη ενεργειακή απόδοση: Συγκριτικά με άλλα αέρια, όπως το προπάνιο, το φυσικό αέριο όταν καίγεται, παρέχει περισσότερη ενέργεια.
- Το φυσικό αέριο είναι εύκολο να μεταφερθεί και να παραδοθεί. [3]

1.3 ΕΙΔΗ ΠΟΡΩΝ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

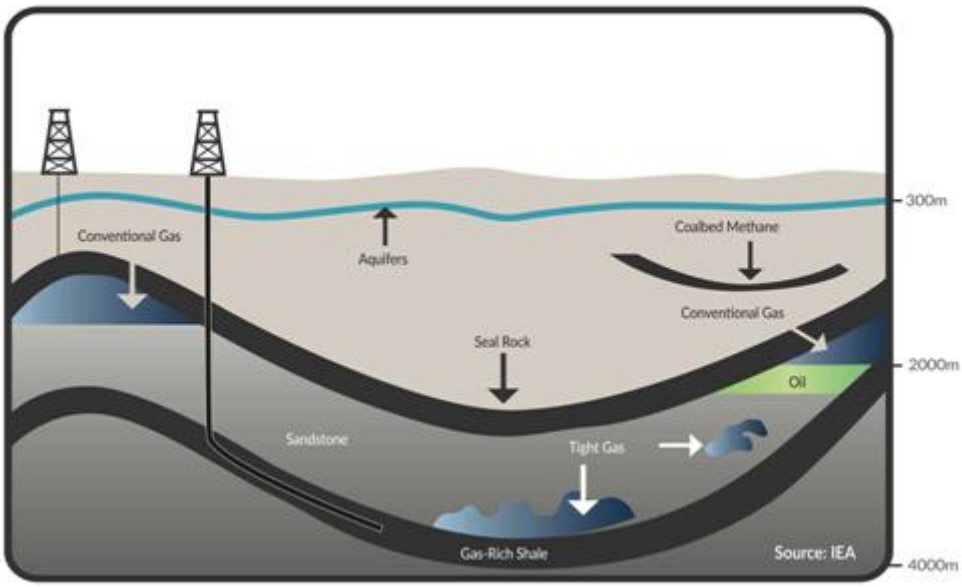
Υπάρχουν διάφοροι τύποι γεωλογικών σχηματισμών που παγιδεύουν το φυσικό αέριο. Αυτοί κατηγοριοποιούνται σε «συμβατικά» και «μη συμβατικά» αποθέματα φυσικού αερίου:

- Το συμβατικό αέριο παγιδεύεται σε γεωλογικές παγίδες, οι οποίες προκύπτουν από το αέριο που περνά μέσα από τις ρωγμές διαπερατών βράχων, μέχρι να φτάσει σε ένα μη διαπερατό βράχο και να παγιδευτεί. Το χαμηλότερο ειδικό βάρος του φυσικού αερίου, σε σχέση με των άλλων υλικών που βρίσκονται στη γη, το αναγκάζει να μετακινείται προς τα πάνω, αφήνοντας το νερό και τα άλλα υλικά στο κάτω μέρος. Έτσι, όταν ένα πηγάδι τρυπιέται σε μια τέτοια δεξαμενή, το αέριο ρέει προς τα πάνω μέσα από το φρεάτιο, λόγω της υψηλότερης πίεσης που επικρατεί κάτω από την επιφάνεια. [4]

- Το μη συμβατικό αέριο σχηματίζεται σε πιο πολύπλοκους γεωλογικούς σχηματισμούς που περιορίζουν την ικανότητα του αερίου να απελευθερωθεί και επομένως απαιτούνται διαφορετικές μέθοδοι για την εξαγωγή του αερίου. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μη συμβατικού αερίου όπως φαίνονται παρακάτω: [60]

Είδη μη συμβατικών αερίων

- Το έγκλειστο αέριο άμμου (Tight Sands Gas) είναι παγιδευμένο σε ψαμμίτη και ανθρακικό άλας και έχει πολύ χαμηλή διαπερατότητα και πορώδες, περιορίζοντας έτσι την ικανότητά του να ρέει στην επιφάνεια.
- Το μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων (Coalbed Methane) δημιουργείται όταν σχηματίζεται άνθρακας στο υπέδαφος σε μεγάλο βάθος με θέρμανση και συμπίεση της φυτικής ύλης. Το αέριο παγιδεύεται στον άνθρακα μέσα σε μικρούς πόρους και εξάγεται από ανθρακωρυχεία συνήθως με την απομάκρυνση του νερού από τη δεξαμενή.
- Το σχιστολιθικό αέριο (Shale Gas) σχηματίζεται από ιζηματογενή πετρώματα χαμηλής διαπερατότητας και παγιδεύεται σε σωματίδια αργίλου ή σε μικρούς πόρους και μικρο-κατάγματα βράχων.
- Τα ένυδρα άλατα μεθανίου (Methane Hydrates) έχουν μια μορφή πορώδους πάγου που παγιδεύουν μόρια μεθανίου, το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου. Οι εναποθέσεις αυτές εμφανίζονται βαθιά κάτω από τον πυθμένα του ωκεανού. Όταν εξάγονται, 1 m^3 ένυδρου αερίου απελευθερώνει 164 m^3 φυσικού αερίου. [4]



Εικόνα 1: Πηγές Φυσικού αερίου [4]

1.4 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Μόλις εξάγεται το φυσικό αέριο, πρέπει να μεταφερθεί σε διαφορετικούς τόπους προς επεξεργασία, αποθήκευση και τελικά παράδοση στον τελικό καταναλωτή. Το φυσικό αέριο μπορεί να μεταφερθεί είτε μέσω αγωγών ετε μέσω ειδικά σχεδιασμένων πλοίων.

1.4.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΜΕΣΩ ΑΓΩΓΟΥ

Ένα εκτεταμένο δίκτυο αγωγών υψηλής και χαμηλής πίεσης επιτρέπει τη μεταφορά φυσικού αερίου από τα σημεία παραγωγής στα σημεία ζήτησης. Οι κυριότεροι τύποι αγωγών κατά μήκος της διαδρομής μεταφοράς είναι το σύστημα συλλογής, οι αγωγοί μεταφοράς, οι γραμμές διανομής και οι γραμμές εξυπηρέτησης:

- Το σύστημα αγωγών συλλογής περιλαμβάνει αγωγούς χαμηλής πίεσης και μικρής διαμέτρου που μεταφέρουν ακατέργαστο φυσικό αέριο από τον τόπο παραγωγής στο εργοστάσιο επεξεργασίας, όπου καθαρίζονται και προετοιμάζονται για την τελική κατανάλωση.
- Οι αγωγοί μεταφοράς είναι μεγάλης διαμέτρου και μήκους και μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες φυσικού αερίου σε μεγάλες αποστάσεις. Το φυσικό αέριο ταξιδεύει σε υψηλή πίεση για να εξασφαλίσει γρήγορη και αποτελεσματική διέλευση (πάνω από 5.000 kPa). Η ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει είναι περίπου 40 km/h, με σταθμούς συμπιεστών κατά μήκος της διαδρομής για να διατηρείται αυτή η ταχύτητα σε μεγάλες αποστάσεις.
- Οι γραμμές διανομής μεταφέρουν το φυσικό αέριο μέσω πόλεων σε σημαντικά μικρότερη πίεση (400 kPa).
- Οι γραμμές εξυπηρέτησης είναι το μικρότερο κομμάτι του συστήματος και συνδέονται απευθείας με σπίτια και επιχειρήσεις (2 kPa). [4]

Εικόνα 2: Μεταφορά Φυσικού αερίου μέσω χερσαίων αγωγών

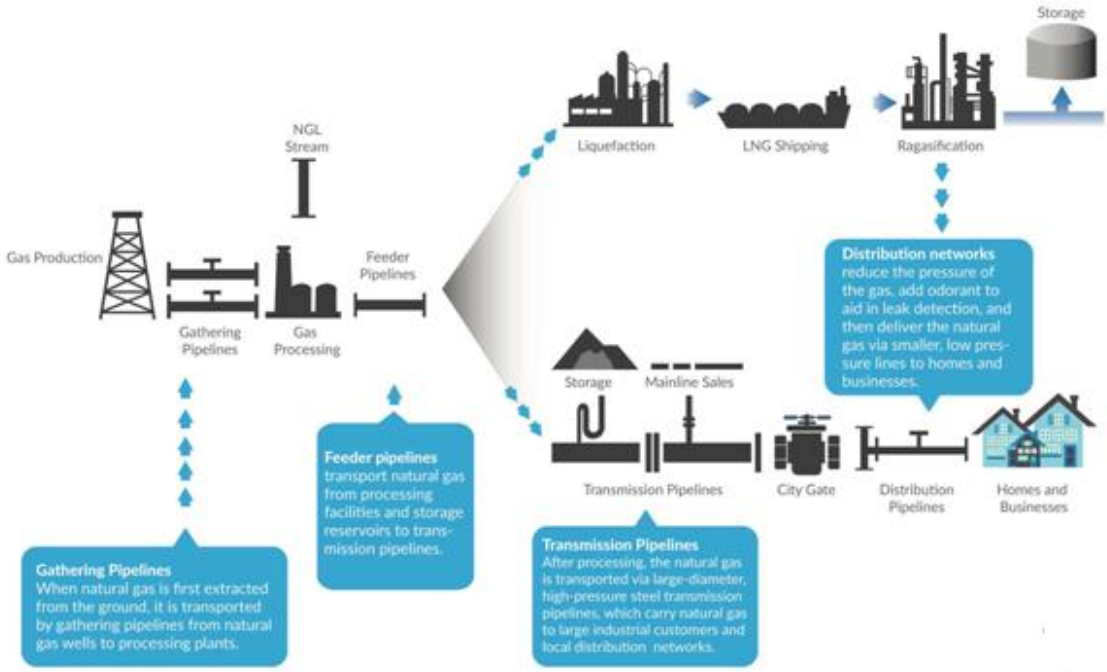
Εκτός από τους χερσαίους αγωγούς, υπάρχουν επίσης υποθαλάσσιοι αγωγοί, που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά φυσικού αερίου είτε από υποθαλάσσιες πηγές είτε για διασυνοριακές μεταφορές. Οι υποθαλάσσιοι αγωγοί μπορούν να βρίσκονται σε βάθος έως 2 χιλιόμετρα, και να κυμαίνονται σε διάμετρο από 60 εκατοστά, έως ένα μέτρο. Επίσης, αποτελούν πάνω από το 40% του εμπορίου φυσικού αερίου στην Ευρώπη. [4]

Εικόνα 3: Μεταφορά φυσικού αερίου μέσω υποθαλάσσιων αγωγών

1.4.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΜΕΣΩ ΠΛΟΙΩΝ LNG

Το φυσικό αέριο μπορεί επίσης να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις ως υγρό, γνωστό ως υγροποιημένο φυσικό αέριο ή ΥΦΑ. Προκειμένου να μετατραπεί το φυσικό αέριο σε υγρή κατάσταση, ψύχεται στους -160 βαθμούς °C (-256 βαθμοί F) σε ατμοσφαιρική πίεση. Αυτό μειώνει τον όγκο του αερίου κατά 600 φορές και καθιστά δυνατή τη μεταφορά πολύ μεγάλου ενεργειακού περιεχομένου σε μικρές και μεγάλες αποστάσεις με ειδικά σχεδιασμένα δεξαμενόπλοια και φορτηγά. Όταν το LNG φθάνει σε τερματικό σταθμό ΥΦΑ, επαναθερμαίνεται και μετατρέπεται ξανά σε αέριο μέσω της διαδικασίας επαναεριοποίησης. Στη συνέχεια αποστέλλεται μέσω αγωγών για παράδοση στους τελικούς χρήστες. Το φυσικό αέριο μπορεί επίσης να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση. [4]

Εικόνα 4: Πλοίο μεταφοράς Υγροποιημένου Φυσικού αερίου



Εικόνα 5: Αλυσίδα μεταφοράς φυσικού αερίου[5]

1.5 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το πρώτο υγραεριοφόρο "Methane Pioneer" (5,034 DWT) έφυγε από τον ποταμό Calcasieu στις ακτές του κόλπου της Λουιζιάνας στις 25 Ιανουαρίου 1959 και παρέδωσε το πρώτο φορτίο LNG στο Ηνωμένο Βασίλειο. Έκτοτε, ακολούθησαν μεγάλες εξελίξεις στην αγορά του φυσικού αερίου και μέχρι σήμερα, γιγαντιαία υγραεριοφόρα πλοία μεταφέρουν μέχρι και 266.000 m^3 παγκοσμίως.

Μετά την επιτυχία του ειδικώς τροποποιημένου πλοίου Normarti, τύπου C1-M-AV1, που μετονομάστηκε σε "Methane Pioneer", ναυπηγήθηκαν δύο δομημένα υγραεριοφόρα με χωρητικότητα 27.000 κυβικών μέτρων, το "Methane Princess" και το "Methane Progress". Τα πλοία αυτά εισήλθαν στο αλγερινό εμπόριο υγροποιημένου φυσικού αερίου το 1964.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, ξεκίνησε η εξαγωγή υγροποιημένου φυσικού αερίου από την Αλάσκα στην Ιαπωνία και το 1969 ξεκίνησε η συναλλαγή με το TEPCO και το Tokyo Gas. Επίσης, ναυπηγήθηκαν στη Σουηδία δύο πλοία το "Polar Alaska" και το "Arctic Tokyo", με χωρητικότητα 71.500 κυβικά μέτρα. Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, η κυβέρνηση των ΗΠΑ ενθάρρυνε τα αμερικανικά ναυπηγεία να κατασκευάσουν μεταφορείς φυσικού αερίου και τελικά ναυπηγήθηκαν 16 πλοία.

Με το πέρασμα των χρόνων, αυξάνεται σημαντικά το μέγεθος και η χωρητικότητα των πλοίων μεταφοράς φυσικού αερίου. Σιγα σιγά αναπτύχθηκαν νέα σχέδια δεξαμενών, όπως το "Moss Rosenberg", το "Technigaz Mark III" και το "Gaztransport No.96", αυξάνοντας την χωρητικότητα φορτίου σε περίπου 143.000 κυβικά μέτρα. Το 2005, η Qatargas προχώρησε στην ανάπτυξη δύο νέων κατηγοριών υγραεριοφόρων, τα "Q-Flex" και "Q-Max". Εκ τοτε, κάθε πλοίο έχει χωρητικότητα φορτίου μεταξύ 210.000 και 266.000 κυβικών μέτρων και διαθέτει μονάδα ρευστοποίησης. Στα τέλη του 2016, ο παγκόσμιος ναυτιλιακός στόλος LNG αποτελούνταν από 439 σκάφη και στα τέλη του 2018, ο παγκόσμιος στόλος αποτελούνταν από περίπου 550 σκάφη.[2]

1.6 ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

1.6.1 ΣΥΣΤΑΣΗ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Ο Βρετανός χημικός Michael Faraday κατά τον 19ο αιώνα, προσπαθώντας να υγροποιήσει αέρια, κατάφερε να υγροποιήσει το φυσικό αέριο.

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) είναι η καθαρότερη μορφή του φυσικού αερίου και αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (98%). Είναι άχρωμο και μη τοξικό υγρό και προέρχεται από ψύξη του φυσικού αερίου σε θερμοκρασία -162°C σε ατμοσφαιρική πίεση. Με την ολοκλήρωση της υγροποίησης, ο όγκος του φυσικού αερίου μειώνεται κατά 600 φορές και η πυκνότητα του είναι 0,41-0,5 kg/L. Η χαμηλή του πυκνότητα αποτελεί έναν από τους κυριότερους λόγους της αυξανόμενης ζήτησής του καθώς διευκολύνει τη μεταφορά του, η σύσταση του όμως επηρεάζεται από μεταβολές της θερμοκρασίας, της πίεσης και της σύνθεσης του ίδιου. [7]

1.6.2 ΤΥΠΟΙ ΠΛΟΙΩΝ ΥΦΑ

Ένα δεξαμενόπλοιο με δεξαμενές ελεγχόμενης θερμοκρασίας που προορίζονται για τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG), ονομάζεται δεξαμενόπλοιο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου ή πλοίο μεταφοράς LNG.

Ένα τυπικό σύγχρονο πλοίο ΥΦΑ έχει μήκος περίπου 300 μέτρα, πλάτος 43 μέτρα και βύθισμα περίπου 12 μέτρων. Η πλειονότητα των σύγχρονων πλοίων κυμαίνεται μεταξύ 125.000 κυβικών μέτρων και 175.000 κυβικών μέτρων χωρητικότητα. Μικρότερα πλοία ΥΦΑ (χωρητικότητας 1.000 - 25.000 κυβικών μέτρων) λειτουργούν σε ορισμένες περιοχές, όπως η Νορβηγία και η Ιαπωνία. Όσον αφορά την ταχύτητα τους, τα πλοία ΥΦΑ μπορούν να φτάσουν έως και 21 κόμβους (τα πετρελαιοφόρα λειτουργούν στους 15-20 κόμβους) σε ανοιχτά νερά. Ένας μέσος χρόνος κατασκευής για έναν μεταφορέα ΥΦΑ κυμαίνεται μεταξύ 20 και 36 μηνών. Επίσης, τα πλοία ΥΦΑ σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορούν να διασχίσουν κανάλια όπως το κανάλι του Σουέζ και του Παναμά. [61]

Αυτά τα πλοία, σε αντίθεση με άλλα πετρελαιοφόρα, διαθέτουν σύστημα πρόωσης που τροφοδοτείται με φυσικό αέριο, εκπέμποντας λιγότερα αέρια θερμοκηπίου. Οι δεξαμενές φορτίου για το υγροποιημένο φυσικό αέριο θα πρέπει να είναι σε θέση να διατηρούν ψηλή πίεση και η θερμοκρασία περίπου στους -162˚C. Τα πλοία ΥΦΑ μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες με βάση το σχεδιασμό των δεξαμενών τους:

Α)Σε ανεξάρτητες δεξαμενές:

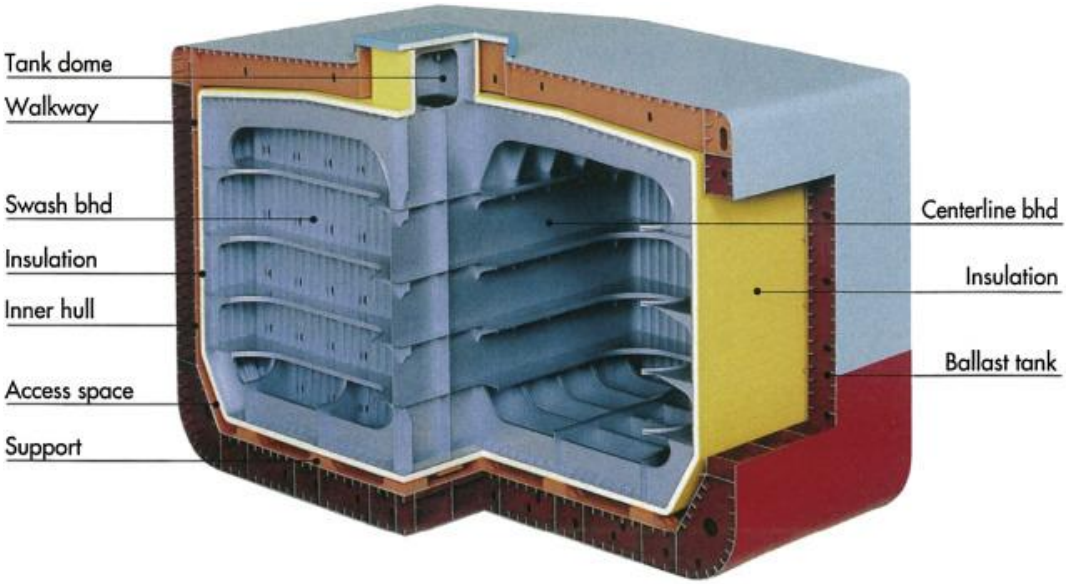
- MOSS (Σφαιρικός τύπος Α)

Αυτός ο τύπος έχει πάρει το όνομά του από την εταιρεία που τα σχεδίασε, την Νορβηγική εταιρεία Moss Maritime. Αυτοί οι τύποι πλοίων έχουν 4 ή 5 δεξαμενές. Οι δεξαμενές έχουν πίεση 22 kPa (3.2Psi) , αλλά μπορεί να αυξηθεί για εκκένωση έκτακτης ανάγκης. Εξωτερικά της δεξαμενής υπάρχει ένα παχύ στρώμα μονωτικού αφρού. Γύρω από αυτή τη μόνωση είναι τοποθετημένο ένα λεπτό στρώμα "κασσίτερου" που διατηρεί τη μόνωση στεγανή με ατμόσφαιρα αζώτου. Αυτή ελέγχεται συνεχώς για τυχόν ένδειξη διαρροής μεθανίου των δεξαμενών. Το εξωτερικό της δεξαμενής ελέγχεται ανα 3 μήνες για τυχόν κρύες κηλίδες που θα έβλαπταν τη μόνωση. Εσωτερικά της δεξαμενής υπάρχει μια σειρά από κεφαλές ψεκασμού , οι οποίες ψεκάζουν υγρό φυσικό αέριο πάνω στα τοιχώματα της δεξαμενής για να μειώσουν τη θερμοκρασία της. [38]

Εικόνα 6: LNG πλοίο τύπου MOSS

- IHI (πρισματικός τύπος B)

Η πρισματική δεξαμενή τύπου B έχει σχεδιαστεί από την εταιρεία Ishikawajima-Harima Heavy Industries, και χρησιμοποιείται επί του παρόντος μόνο σε 2 σκάφη. Αποτελείται από αλουμίνιο. Κύριο πλεονέκτημα αυτών των δεξαμενών είναι ότι μεγιστοποιούν τον όγκο του κύτους ,με τις δεξαμενές φορτίου να βρίσκονται κάτω από το κατάστρωμα. [38]

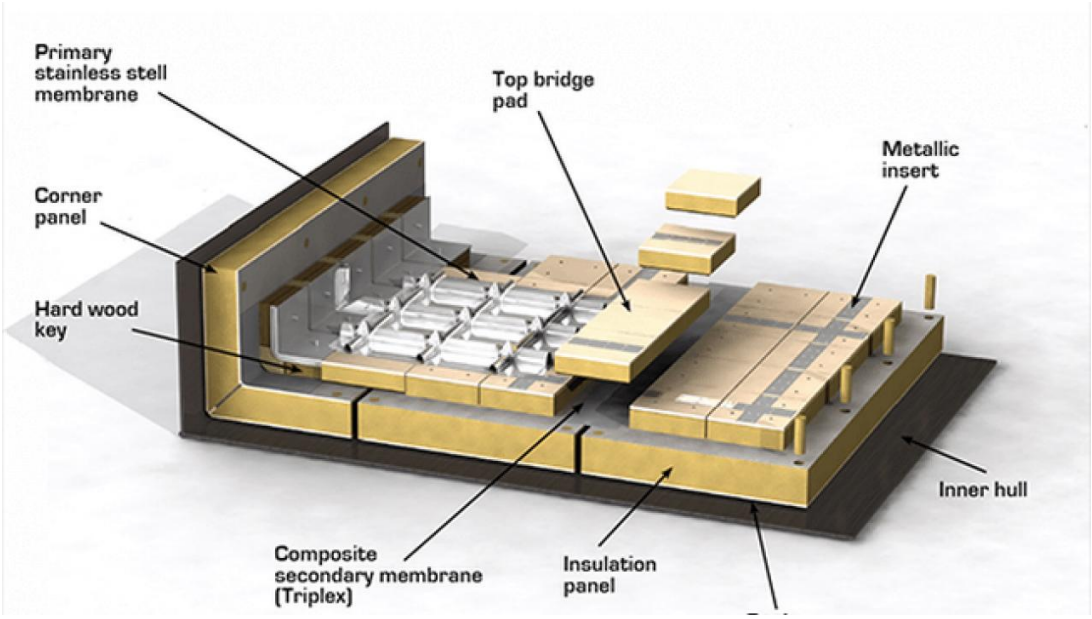


Εικόνα 7: Τομή δεξαμενής από LNG πλοίο τύπου IHI

Β)Σε δεξαμενές μεμβράνης:

- TGZ Mark III

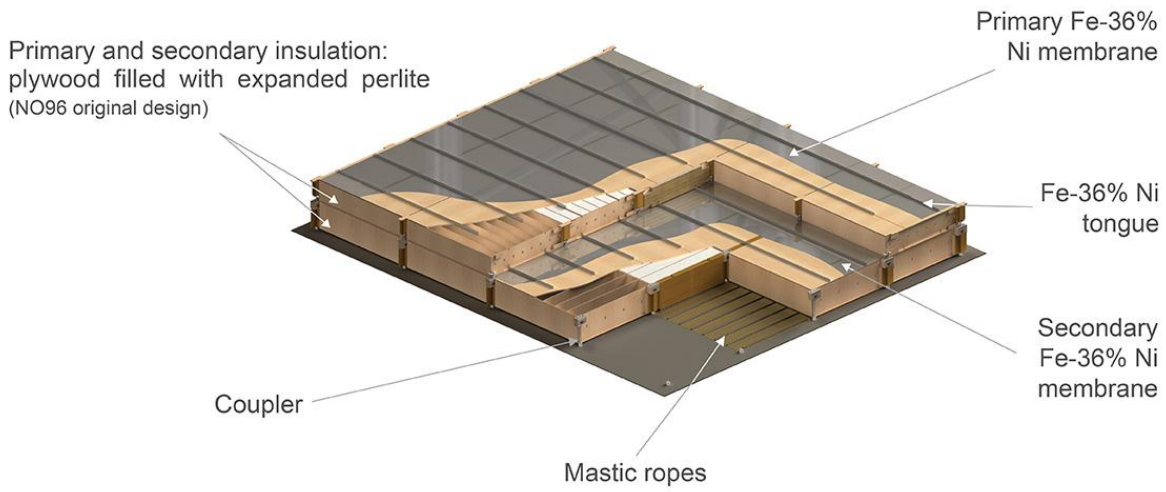
Σχεδιασμένες από την Technigaz, οι δεξαμενές αυτές είναι τύπου μεμβράνης. Η μεμβράνη αποτείται από ανοξείδωτο χάλυβα ,που απορροφά τη θερμική συστολή όταν η δεξαμενή ψύχεται. Πηγαίνοντας απο το εσωτερικό της δεξαμενής προς τα έξω συναντάμε το πρωτεύον φράγμα, κατασκευασμένο απο ανοξείδωτο χάλυβα και πάχους 1,2 mm,μια πρωτεύουσα μόνωση (Inter Barrier Space), και ένα δευτερεύον φράγμα κατασκευασμένο από το υλικό Triplex. Στη συνέχεια υπάρχει μια δευτερεύουσα μόνωση(Insulation Space) που φτάνει ως το εσωτερικο της γάστρας. [38]



Εικόνα 8: Τομή από δεξαμενή μεμβράνης τύπου TGZ Mark III

- Gas Transport (No 96 System)

Σχεδιασμένες από την Gaztransport, οι δεξαμενές αποτελούνται από μια πρωτογενή και μια δευτερεύουσα λεπτή μεμβράνη κατασκευασμένη, από το υλικό Invar το οποίο δεν έχει σχεδόν καμία θερμική συστολή. Η μόνωση είναι κατασκευασμένη από φύλλα ξύλου γεμάτα με περλίτη και διαρκώς ψεκάζονται με αέριο άζωτο. Η ακεραιότητα και των δύο μεμβρανών παρακολουθείται συνεχώς για τυχόν ανίχνευση υδρογονανθράκων στο άζωτο. [38]



Εικόνα 9: Τομή από δεξαμενή μεμβράνης τύπου Gas Transport (No 96 System)

- CS1

Τα LNG πλοία τύπου CS1 σχεδιάστηκαν από τις πλέον συγχωνευμένες εταιρείες Gaztransport & Technigaz. Αποτελούνται από ένα πρωτέυον φράγμα κατασκευασμένο απο το υλικό Invar, τοποθετημένο πάνω σε ένα πάνελ μόνωσης, και μια δευτερεύουσα μεμβράνη, κατασκευασμένη από Triplex. Και οι δύο αποτελούνται από πάνελ αφρού πολυουρεθάνης. Το κύριο στοιχείο που τον ξεχωρίζει απο τους άλλους δύο τύπους δεξαμενών είναι η ευκολία στη συναρμολόγηση. Ωστόσο,μόνο τρία πλοία έχουν κατασκευαστεί με τεχνολογία CS1. [38]

Εικόνα 10: LNG πλοία διαφόρων τύπων

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε πως κατανάμενονται τα υπάρχοντα πλοία ΥΦΑ, με βάση το σχεδιασμό των δεξαμενών τους. Λόγω των πλεονεκτημάτων τους, τα σύγχρονα νέα πλοία ΥΦΑ υιοθέτησαν ως επί το πλείστον τον τύπο μεμβράνης:

	Membrane	Self-supporting
Current Fleet Count	419	122
Current Fleet proportion (%)	77.4%	22.6%
Systems	GTT-designed: Mark III, Mark III Flex, Mark III Flex+, NEXT1, CS1 Kogas-designed: KC-1	Moss Maritime-designed: Moss Rosenberg IHI-designed: SPB LNT Marine-designed: LNT A-BOX
Advantages	•Space-efficient •Thin and lighter containment system •Higher fuel-efficiency	•More robust in harsh weather conditions •Partial-loading possible •Faster construction
Disadvantages	•Partial-loading restricted •Less robust in harsh ocean conditions	•Spherical design uses space inefficiently •Slower cool down rate •Thicker, heavier containment system

Εικόνα 11: Διάκριση πλοίων ΥΦΑ με βάση το σχεδιασμό των δεξαμενών τους [67]

Όσον αφορά τα συστήματα σχεδίασης δεξαμενών μεμβράνης, η φυσική κίνηση και το “rolling” του πλοίου στη θάλασσα, αλλά και οι ελεύθερες επιφάνειες υγρού, μπορούν να προκαλέσουν την μετατόπιση του υγρού μέσα στη δεξαμενή. Μάλιστα, είναι πιθανό να πραγματοποιηθεί σημαντική μετακίνηση υγρών, δημιουργώντας υψηλή πίεση πρόσκρουσης στην επιφάνεια της δεξαμενής. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «Sloshing» και μπορεί να προκαλέσει δομικές βλάβες. Το σύστημα τύπου μεμβράνης έχει γίνει η πιο δημοφιλής επιλογή σχεδίασης δεξαμενών λόγω της αποτελεσματικότητας του χώρου τους (του πρισματικού σχήματος).

Αντίθετα, λόγω του σφαιρικού του σχήματος, το σύστημα Moss Rosenberg χρησιμοποιεί το χώρο των δεξαμενών αναποτελεσματικά σε σύγκριση με την αποθήκευση του σχεδιασμού των μεμβρανών. Ωστόσο, το σφαιρικό της σχήμα επιτρέπει την ακριβή πρόβλεψη πιέσεων και κόπωσης της δεξαμενής, αυξάνοντας την ανθεκτικότητα της δεξαμενής. [67]

1.7 ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΥΦΑ

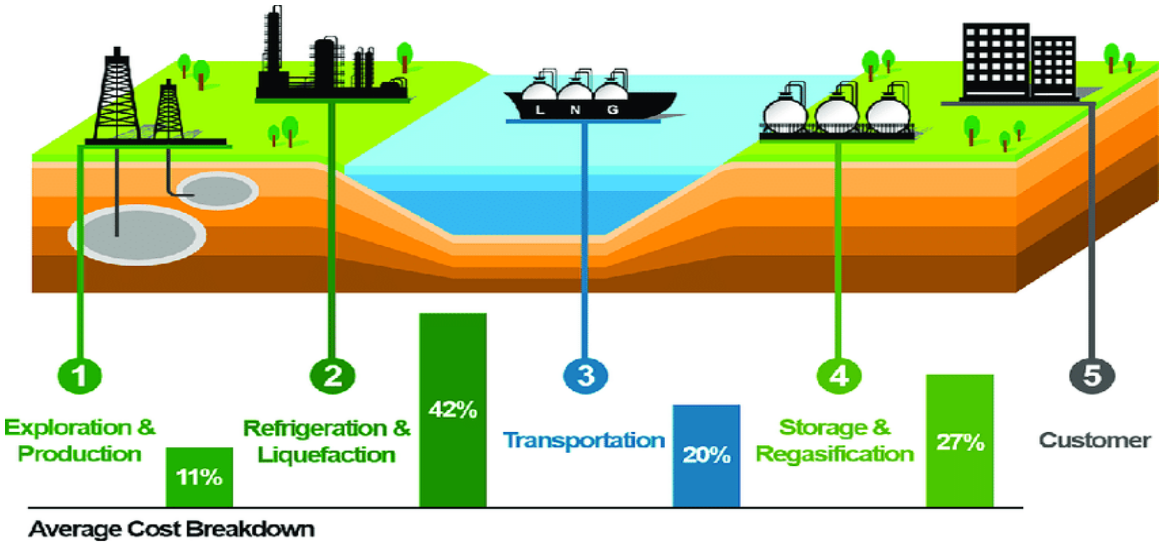
Η αλυσίδα εφοδιασμού ΥΦΑ περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- Εύρεση
- Εξόρυξη και Παραγωγή φυσικού αερίου
- Υγροποίηση και αποθήκευση
- Μεταφορά
- Επαναεριοποίηση και αποθήκευση
- Διανομή φυσικού αερίου

Ένα έργο ΥΦΑ, για να γίνει ανταγωνιστικό και να προσελκύσει επενδυτές, θα πρέπει η τιμή ενός όγκου μονάδας αερίου που παραδίδεται μέσω αγωγού να ισούται τουλάχιστον με το συνολικό κόστος της παραγωγής του, της υγροποίησης, της αποθήκευσης, της μεταφοράς και της επαναεριοποίησής του, συν το κόστος του κεφαλαίου για την κατασκευή των απαραίτητων υποδομών και ένα λογικό κέρδος για τους επενδυτές.

Το μεγαλύτερο κόστος στην αλυσίδα εφοδιασμού LNG είναι συνήθως οι εγκαταστάσεις υγροποίησης. Αυτό συμβαίνει για διάφορους λόγους, όπως είναι η υψηλή κατανάλωση ενέργειας, η χρήση δαπανηρών κρυογενικών υλικών, η τήρηση αυστηρών προτύπων σχεδιασμού και ασφάλειας, οι παράγοντες σχεδιασμού για την εξασφάλιση της ασφάλειας του εφοδιασμού κ.α.

Οι τεχνολογικές καινοτομίες έχουν μειώσει το κόστος σε όλα τα στοιχεία της αλυσίδας κατά τη διάρκεια της τελευταίας 20ετίας. Οι νεοεμφανιζόμενες τεχνολογίες πλωτών εγκαταστάσεων υγροποιημένου φυσικού αερίου (FLNG) και επαναεριοποίησης, ήδη έχουν αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο εξετάζεται η εφοδιαστική αλυσίδα. [4]



Εικόνα 12: Εφοδιαστική Αλυσίδα ΥΦΑ [87]

1.7.1 ΕΥΡΕΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Η πρακτική του εντοπισμού των κοιτασμάτων φυσικού αερίου έχει αλλάξει δραματικά τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Αρκετά χρόνια πριν, ο μόνος τρόπος εντοπισμού των αποθεμάτων φυσικού αερίου ήταν η αναζήτηση επιφανειακών στοιχείων. Η μεγάλη ζήτηση για ενέργεια από ορυκτά καύσιμα οδήγησε στην αναζήτηση πιο λεπτομερών και αποτελεσματικών μεθόδων εντοπισμού αυτών των αποθεμάτων. Ωστόσο, η διαδικασία εύρεσης των αποθεμάτων φυσικού αποτελεί ένα δύσκολο έργο, λόγω της πολυπλοκότητας της αναζήτησης για κάτι που είναι συχνά χιλιάδες πόδια κάτω από το έδαφος.

Η αναζήτηση φυσικού αερίου συνήθως ξεκινά με γεωλόγους που εξετάζουν την επιφανειακή δομή της γης και καθορίζουν τις περιοχές που είναι γεωλογικά πιθανό να υπάρχουν αποθέματα φυσικού αερίου. Στα μέσα του 1800, ανακαλύφθηκε ότι οι «αντικλινικές πλαγιές» είχαν μεγάλες πιθανότητες να περιέχουν αποθέματα πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Με τον όρο αντικλινικές πλαγιές εννούμε τις περιοχές όπου η γη έχει διπλωθεί από μόνη της, σχηματίζοντας το σχήμα θόλου σαν μια δεξαμενή. Μόλις ο γεωλόγος προσδιορίσει μια περιοχή όπου είναι γεωλογικά εφικτό να υπάρχει ένας σχηματισμός φυσικού αερίου ή πετρελαίου, μπορούν να πραγματοποιηθούν περαιτέρω δοκιμές για την απόκτηση πιο λεπτομερών δεδομένων σχετικά με την πιθανή περιοχή δεξαμενής. [40]

1.7.2 ΕΞΟΡΥΞΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Μόλις εντοπιστούν πιθανά κοιτάσματα φυσικού αερίου από τις μελέτες γεωλόγων και γεωφυσικών, ξεκινούν οι γεωτρήσεις με τρυπάνι, ώσπου να ανακαλυφθεί ότι υπάρχει το φυσικό αέριο. Παρόλο που η διαδικασία εκσκαφής βαθιά στον φλοιό της Γης για να βρεθούν αποθέματα φυσικού αερίου που μπορεί να υπάρχουν ή και όχι φαίνεται τρομακτική, η βιομηχανία έχει αναπτύξει μια σειρά καινοτομιών και τεχνικών που αυξάνουν την αποτελεσματικότητα της γεώτρησης φυσικού αερίου. Μόλις, η γεωφυσική ομάδα εντοπίσει τη βέλτιστη τοποθεσία για γεώτρυση, θα πρέπει πρωτίστως να διασφαλίσει ότι όλα τα απαραίτητα μέτρα, δηλαδή ότι μπορεί να τρυπήσει νόμιμα σε αυτήν την περιοχή. [41]

Η πλειονότητα της παγκόσμιας αλυσίδας ΥΦΑ εξάγεται από χώρες με μεγάλα αποθέματα φυσικού αερίου (20 χώρες με συνολικό όγκο φυσικού αερίου για υγροποίηση 406 MTPA στις αρχές του 2019). Αυτές οι χώρες είναι: Αλγερία, Αγκόλα, Καμερούν, Αίγυπτος, Ισημερινή Γουινέα, Νιγηρία, Νορβηγία, Τρινιντάντ & Τομπάγκο, ΗΠΑ, Ομάν, Κατάρ, ΗΑΕ, Υεμένη, Αυστραλία, Μπρουνέι, Ινδονησία, Μαλαισία, Παπούα Νέα Γουινέα, Περού και Ρωσία. Υπάρχουν κι άλλες χώρες που παράγουν φυσικό αέριο για οικιακή χρήση αλλά δεν επαρκεί η ποσότητα για εξαγωγή σε μεγάλη κλίμακα.

Εικόνα 13: Αναζήτηση Φυσικού αερίου

1.7.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Το στάδιο της παραγωγής του φυσικού αερίου αφορά τη διαδικασία λήψης του ακατέργαστου φυσικού αερίου από υπόγειους σχηματισμούς και την επεξεργασία του.

Μόλις διατρυπηθεί ένα πηγάδι και επιβεβαιωθεί η παρουσία ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων, θα πρέπει να ανυψωθεί στο έδαφος και να επεξεργαστεί. Το φυσικό αέριο, κάτω από τη γη, δεν είναι ακριβώς το ίδιο με το φυσικό αέριο που φτάνει μέσω των αγωγών στα σπίτια και στις επιχειρήσεις μας. Το φυσικό αέριο που χρησιμοποιούμε περιέχει σχεδόν εξ ολοκλήρου μεθάνιο. Ωστόσο, τα κοιτάσματα φυσικού αερίου που βρίσκουμε κάτω από τη γη, περιέχουν μια ποικιλία και άλλων ιχνοστοιχείων και αερίων, καθώς και λάδι και νερό, τα οποία πρέπει να αφαιρεθούν. Τέλος, το φυσικό αέριο που μεταφέρεται μέσω αγωγών πρέπει να πληρεί τις προδιαγραφές ποιότητας που απαιτούνται, επομένως η περαιτέρω επεξεργασία του πραγματοποιείται κοντά στο πηγάδι. [42]

1.7.4 ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ

Μετά την απομάκρυνση των περισσότερων ρύπων και βαριών υδρογονανθράκων από το μεθάνιο, το φυσικό αέριο υποβάλλεται σε διαδικασία υγροποίησης. Για να γίνει υγρό, το αέριο ψύχεται στους -162 °C περίπου (-259 °F). Στην υγρή του πλέον μορφή, το LNG είναι ένα μη διαβρωτικό, διαυγές και άχρωμο υγρό. Η υγρή μορφή του φυσικού αερίου καταλαμβάνει όγκο 600 φορές μικρότερη από την ίδια ποσότητα φυσικού αερίου. Αυτός είναι ο κύριος λόγος που το LNG είναι οικονομικά ελκυστικότερο, μεταφέροντάς το με πλοίο σε μεγάλες ποσότητες. [4]

1.7.5 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΥΦΑ

Σήμερα, το ΥΦΑ μεταφέρεται σε μεγάλες ποσότητες, διανύοντας μακρινές αποστάσεις με δεξαμενόπλοια διπλών τοιχωμάτων και ειδικά σχεδιασμένα για να περιέχουν το φορτίο σε ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές, σε ατμοσφαιρική πίεση και κρυογονική θερμοκρασία περίπου -162 °C (-259 °F). Επίσης, ένας άλλος τρόπος μεταφοράς για το ΥΦΑ είναι με εξειδικευμένα βυτιοφόρα με διπλά τοιχώματα.

1.8 ΥΠΟΔΟΜΗ ΓΙΑ ΤΟ ΥΦΑ – ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Ένας τερματικός σταθμός LNG έχει τέσσερις λειτουργίες:

- Την υποδοχή δεξαμενόπλοιων ΥΦΑ και την εκφόρτωση ή επαναφόρτωση των φορτίων,
- Αποθήκευση ΥΦΑ σε κρυογονικές δεξαμενές (-160 ° C),
- Επαναεριοποίηση του ΥΦΑ,
- Διανομή του αερίου στο εθνικό δίκτυο [44]

1.8.1 ΥΠΟΔΟΧΗ ΚΑΙ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ

Κατά την άφιξη του πλοίου στον τερματικό σταθμό, συνδέεται με ειδικά διαμορφωμένες αντλίες (arms) και μέσω αυτών μεταφέρεται το αέριο στις δεξαμενές. Οι αντλίες αυτές είναι ειδικά σχεδιασμένες για αντοχή σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (-160 ° C). Αυτή η διαδικασία διαρκεί τουλάχιστον 12 ώρες. [44]

1.8.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

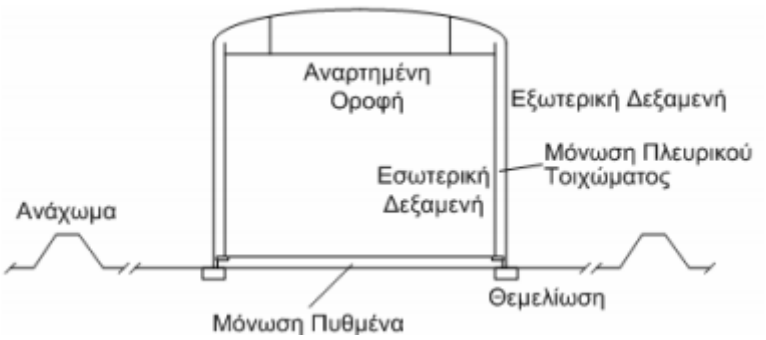
Το LNG αποθηκεύεται σε κρυογονικές δεξαμενές ,οι οποίες είναι ανθεκτικές σε χαμηλές θερμοκρασίες και ικανές να διατηρούν το αέριο σε υγρή μορφή. Οι δεξαμενές αποθήκευσης ΥΦΑ αποτελούν βασικό μέρος του τερματικού σταθμού. Το κόστος τους φανερώνει και τη σπουδαιότητα τους για τη συνολική ασφάλεια των εγκαταστάσεων ΥΦΑ και γιαυτό έχει δοθεί μεγάλη προσοχή στο σχεδιασμό τους.

Ένα από τα πρώτα ζητήματα αποτελεί η επιλογή του υλικού των δεξαμενών LNG. Η αστοχία της δεξαμενής στο Cleveland, Ohio αποδόθηκε στη χρήση λανθασμένου υλικού και συγκεκριμένα στη χρήση χάλυβα με 3,5% νικέλιο. Η πολύ χαμηλή θερμοκρασία του υγροποιημένο φυσικού αερίου έκανε το υλικό εύθραυστο αρκετά για να οδηγήσει στη θραύση των δεξαμενών. Έκ τοτε, χρησιμοποιούνται χάλυβας με 9% νικέλιο, των ανοξείδωτοι χάλυβες και ορισμένα κράματα αργιλίου (σειρά 5000) για κατασκευή δεξαμενών LNG. Οι δεξαμενές από κράματα αργιλίου πρέπει να είναι περιορισμένους μεγέθους, επειδή ο συντελεστής θερμικής διαστολής του αργιλίου είναι περίπου διπλάσιος από αυτόν του χάλυβα. Σε μεγάλες δεξαμενές, μια τέτοια θερμική διαστολή κατά τη διάρκεια της ψύξης θα μπορούσε να οδηγήσει σε αστοχία των δεξαμενών.

Ένα άλλο ζήτημα αποτελεί ο σχεδιασμός των δεξαμενών αποθήκευσης ΥΦΑ. Τα αρχικά σχέδια αφορούσαν μία εσωτερική κρυογενική δεξαμενή υγρού, μέσα σε μια εξωτερική δεξαμενή, που

περιείχε το σύστημα μόνωσης για την εσωτερική. Σε ορίσμενα σχέδια η εξωτερική δεξαμενή περιείχε αέριο άζωτο και συνδεόταν με μία δεξαμενή μεταβλητού όγκου ή με μεμβράνες, η οποία αντιστάθμιζε τις αλλαγές στον όγκο του αζώτου λόγω των αλλαγών στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ώστε να αποφεύγεται η συμπίεση ή η αποσυμπίεση της εξωτερικής δεξαμενής. Σε άλλα σχέδια, στην οροφή της εσωτερικής δεξαμενής υπήρχε μια μερικώς υποστυλωμένη μόνωση και η εξωτερική δεξαμενή χρησίμευε ως μία αποθήκη φυσικού αερίου.

Και στα δύο σχέδια οι εξωτερικές δεξαμενές κατασκευάζονταν από κοινό χάλυβα άνθρακα και περιβάλλονταν από ένα χαμηλό ανάχωμα, για να συγκρατήσει τις όποιες διαρροές LNG. [35]

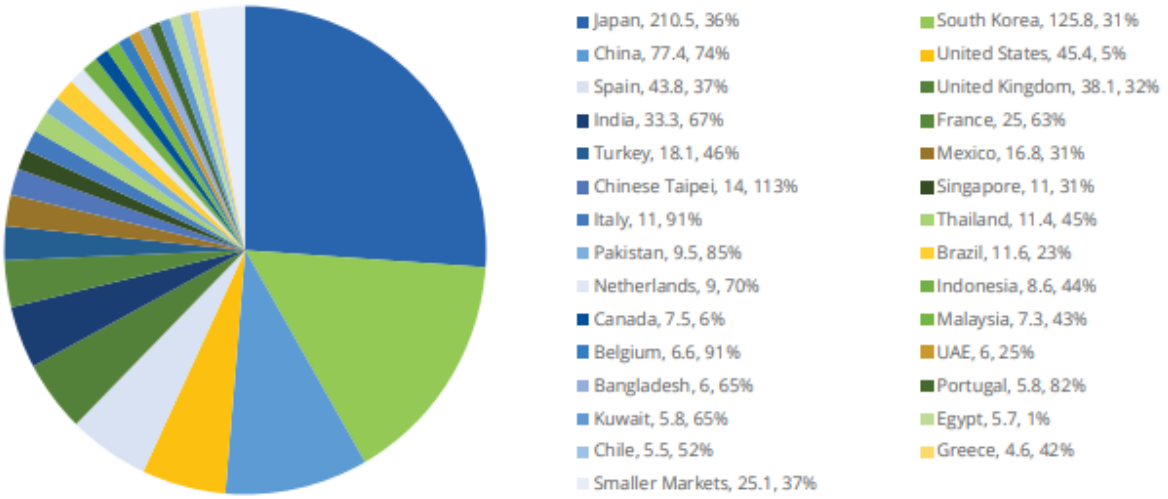


Εικόνα 14: Διατομή δεξαμενής αποθήκευσης ΥΦΑ [35]

1.8.3 ΕΠΑΝΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Το LNG εξάγεται από τις δεξαμενές και μεταφέρεται μέσω αντλιών σε δεξαμενές υψηλής πίεσης, συμπιέζεται και επαναεριοποιείται χρησιμοποιώντας εναλλάκτες θερμότητας. Έτσι, μετατρέπεται ξανά σε αέρια κατάσταση. [44]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι χωρητικότητες επαναεριοποίησης παγκοσμιώς για το 2019 και το ποσοστό χρησιμοποιήσης αυτών:



Εικόνα 15: Χωρητικότητα επαναεριοποίησης LNG και ετήσια χρήση ανα χώρα 2019 [67]

Η **Ιαπωνία** είχε τη μεγαλύτερη ικανότητα επαναεριοποίησης στον κόσμο (210,5 MTPA) στα τέλη του 2019 και αντιπροσώπευε το 25% της παγκόσμιας επαναεριοποίησης. Επίσης, αναμένεται να συνεχίσει να επεκτείνει τις δυνατότητες εισαγωγής Φυσικού αερίου μέσω της ολοκλήρωσης νέων τερματικών σταθμών. Στο τέλος του 2019, η επαναεριοποίηση της Ιαπωνίας έφτασε το 36%, με μια μικρή μείωση από 39% το 2018.

Μετά την Ιαπωνία, ο δεύτερος μεγαλύτερος εισαγωγέας ΥΦΑ στον κόσμο είναι η **Νότια Κορέα**. Με έξι διαθέσιμους τερματικούς σταθμούς εισαγωγής, η Νότια Κορέα προσέφερε 125,8 MTPA ικανότητας επαναεριοποίησης στην παγκόσμια αγορά ΥΦΑ το 2019. Το ποσοστό χρήσης της Νότιας Κορέας μειώθηκε ελαφρώς στο 31%.

Ο ταχύτατος ρυθμός ανάπτυξης της ικανότητας επαναεριοποίησης της **Κίνας** δικαιολογείται λόγω της αυξανόμενης χρήσης φυσικού αερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και έφτασε το ποσοστό 74% το 2019, με σταθερή αύξηση από το 2016.

Η **Ινδία** είναι μια άλλη αγορά που γνώρισε ισχυρή αύξηση ικανότητας επαναεριοποίησης φυσικού αερίου. Παρά τη συνεισφορά της μόνο με 34,5 MTPA της συνολικής παγκόσμιας ικανότητας επαναεριοποίησης το 2019, η Ινδία θα προσφέρει ακόμη 24,0 MTPA ικανότητας επαναεριοποίησης με την ολοκλήρωση της νέας κατασκευής από τον Φεβρουάριο του 2020. Η **Κινεζική Ταϊπέι** κατέγραψε την υψηλότερη επαναεριοποίηση το 2019 περίπου στο 113%, δηλαδή λειτούργησε πάνω από το πλήρες ποσοστό χρήσης του όλο το χρόνο, με με εξαίρεση τον Φεβρουάριο του 2019.

Οι **Ευρωπαϊκές αγορές** αντιπροσωπεύουν περίπου το 20% της συνολικής παγκόσμιας ικανότητας επαναεριοποίησης. Τα υψηλότερα ποσοστά χρήσης παρατηρήθηκαν κυρίως σε τερματικούς σταθμούς που βρίσκονται στο Βέλγιο, την Πορτογαλία και την Ιταλία.

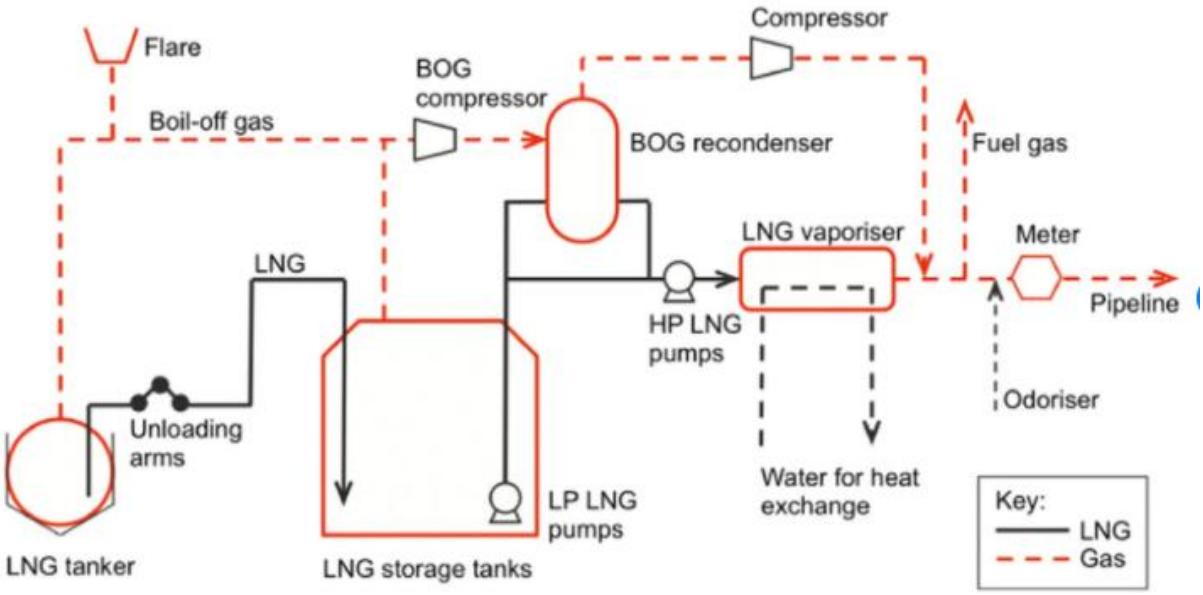
Αν και είναι ψηλά στην κατάταξη της παγκόσμιας ικανότητας επαναεριοποίησης, οι **Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής** είχαν χαμηλά επίπεδα ποσοστών χρήσης των τερματικών σταθμών (κατά μέσο όρο 5%) το 2019. Επίσης, ενώ εξακολουθεί να είναι μια περιοχή με σχετικά μικρή ικανότητα επαναεριοποίησης στα 32,1 MTPA, η **Λατινική Αμερική** αναμένεται να προσθέσει άλλα 6,6 MTPA έως το 2021 μέσω της κατασκευής νέων τερματικών σταθμών FSRU στη Βραζιλία και σε νέες αγορές (Ελ Σαλβαδόρ).

Τέλος, το ποσοστό χρησιμοποίησης επαναεριοποίησης της **Αιγύπτου** έχει μειωθεί σε 1% το 2019, αφού σταμάτησε τις εισαγωγές ΥΦΑ το 2018. Ωστόσο, πρόσφατα ανακάλυψαν πηγές φυσικού αερίου, όπως το Zohr. [67]

Εικόνα 16: Τερματικός σταθμός ΥΦΑ στην Νότια Κορέα [67]

1.8.4 ΔΙΑΝΟΜΗ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Μόλις επιστρέψει στην αέρια του κατάσταση, το φυσικό αέριο υποβάλλεται σε διάφορες επεξεργασίες. Πριν αποσταλεί στο εθνικό δίκτυο για κατανάλωση, επειδή το φυσικό αέριο είναι άοσμο, του προστίθεται μία ουσία με έντονη οσμή. Αυτό είναι ένα μέτρο ασφαλείας για τυχόν διαρροή αερίου ώστε να μπορεί να ανιχνευθεί από τη μυρωδιά του. [44]



Εικόνα 17: Τυπική Διάταξη Τερματικού Σταθμού υποδοχής ΥΦΑ

1.9 ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΜΕΡΟΥΣ ΤΟΥ ΥΦΑ (BOIL OFF GAS)

Οι δεξαμενές των πλοίων LNG και οι δεξαμενές των τερματικών σταθμών αποθήκευσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου δεν μπορούν να παρέχουν τέλεια μόνωση κατά της θερμότητας. Η θερμότητα επηρεάζει τη σύσταση του υγρού, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει την εξάτμιση μιας ποσότητας του LNG και να δημιουργήσει ένα αέριο, γνωστό ως boil-off gas (BOG). Η εξάτμιση συμβαίνει μόνο στην επιφάνεια του υγροποιημένου φυσικού αερίου και όχι ανάμεσα ώστε να δημιουργούνται φυσαλίδες.

Κατά τη διάρκεια του boil off gas, ο μεγαλύτερος όγκος που έχει το αέριο θα αυξήσει την πίεση της δεξαμενής. Έτσι, ενώ οι δεξαμενές έχουν σχεδιαστεί για να χειρίζονται την αύξηση της πίεσης, οι παρατεταμένες αυξήσεις πίεσης δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά και απαιτούν εναλλακτικές λύσεις. Για το λόγο αυτό, το BOG μπορεί να υγροποιηθεί εκ νέου, να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο ή να καεί σε μια μονάδα αεριοποίησης. Στη θάλασσα συνήθως το εξατμισμένο αέριο τροφοδοτείται στους κινητήρες του πλοίου που έχουν την κατάλληλη πίεση καυσίμου για να το καταναλώσουν. Έτσι, το αέριο χρησιμοποιείται ως καύσιμο, ενώ ορισμένα δεξαμενόπλοια βασίζονται στο BOG για να εκτελούν συγκεκριμένους ελιγμούς.

Μια ακόμη πρόκληση του εξατμισμένου αερίου είναι ότι καθώς αναπτύσσεται το BOG, τα πιο πτητικά συστατικά του LNG – το άζωτο και το μεθάνιο - βράζουν πρώτα. Αυτό οδηγεί στην αλλοίωση της σύνθεσης και της ποιότητας του LNG με την πάροδο του χρόνου, διαδικασία γνωστή ως γήρανση. Είναι λοιπόν σημαντικό το LNG να μετρηθεί και να διαχειριστεί με ακρίβεια κατά τη διάρκεια της ψύξης, της αποθήκευσης και της μεταφοράς του. [8]

1.10 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Το Φυσικό Αέριο σχηματίστηκε από τα θαμμένα αποθέματα φυτικών και θαλάσσιων ζωικών οργανισμών που έζησαν πριν από 200 εκατομμύρια χρόνια.

Σήμερα, το Φυσικό Αέριο θεωρείται παγκοσμίως η πιο καθαρή μορφή ενέργειας λόγω της σύστασής του. Συγκριτικά με άλλα καύσιμα όπως το πετρέλαιο, το κάρβουνο και άλλα φυσικά καύσιμα, που έχουν πολύπλοκη χημική σύσταση και κατά την καύση τους εκλύονται υψηλά ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα, ενώσεων θείου και αζώτου, το φυσικό αέριο αποτελεί το πλέον «πράσινο» καύσιμο. Η Ευρώπη ευνοείται περισσότερο από κάθε άλλη ήπειρο από την ύπαρξη του Φυσικού Αερίου: η γειτνίαση με τις περιοχές παραγωγής (Ρωσία, Αλγερία, Ολλανδία, Μέση Ανατολή και άλλες), καθώς και το πυκνό δίκτυο των διασυνδεόμενων αγωγών μεταφοράς εξασφαλίζουν παντού τη διαθεσιμότητά του. [31]

Τα αποθέματα του Φυσικού Αερίου είναι εξίσου κατανεμημένα παγκοσμίως με αυτά του πετρελαίου. Σύμφωνα με τελευταίες έρευνες του 2019 [10], τα αποθέματα Φυσικού Αερίου, ανέρχονται σε 7019 τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια ή 198,8 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα ή 198.800 δισεκατομμύρια κυβικά. Την πρώτη θέση κατέχει η Ρωσία, με 1.340,5 τρισεκ.κυβικά πόδια, και στη δεύτερη θέση ακολουθεί το Ιράν, με 1.130,7 τρισεκ. κυβικά πόδια αποδεδειγμένων

κοιτασμάτων φυσικού αερίου. Στον παρακάτω πίνακα, από BP Statistical Review of World Energy 2020[10], βλέπουμε όλα τα αποδεδειγμένα κοιτάσματα πετρελαίου παγκοσμίως:

Total proved reserves

	At end 1999 Trillion cubic metres	At end 2009 Trillion cubic metres	At end 2018 Trillion cubic metres	At end 2019 Trillion cubic metres	At end 2019 Trillion cubic feet	At end 2019 Share of total	At end 2019 R/P ratio
Canada	1.6	1.6	1.9	**2.0**	**70.1**	1.0%	11.5
Mexico	0.9	0.3	0.2	**0.2**	**6.3**	0.1%	5.3
US	4.5	7.4	12.9	**12.9**	**454.6**	6.5%	14.0
Total North America	7.0	9.4	15.0	**15.0**	**531.0**	7.6%	13.3
Argentina	0.7	0.4	0.4	**0.4**	**12.7**	0.2%	8.7
Bolivia	0.1	0.3	0.2	**0.2**	**7.5**	0.1%	14.2
Brazil	0.2	0.4	0.4	**0.4**	**13.3**	0.2%	14.5
Colombia	0.2	0.1	0.1	**0.1**	**3.6**	0.1%	7.8
Peru	0.2	0.3	0.3	**0.3**	**10.2**	0.1%	21.4
Trinidad & Tobago	0.6	0.4	0.3	**0.3**	**10.2**	0.1%	8.4
Venezuela	4.6	5.6	6.3	**6.3**	**222.4**	3.2%	238.0
Other S. & Cent. America	0.1	0.1	0.1	**0.1**	**2.2**	*	17.5
Total S. & Cent. America	6.8	7.6	8.0	**8.0**	**282.1**	4.0%	46.0
Denmark	0.1	0.1	†	**†**	**†**	*	0.0
Germany	0.2	0.1	†	**†**	**0.8**	*	4.1
Italy	0.2	0.1	†	**†**	**1.5**	*	9.4
Netherlands	1.6	1.2	0.2	**0.2**	**6.1**	0.1%	6.2
Norway	1.2	2.0	1.6	**1.5**	**54.1**	0.8%	13.4
Poland	0.1	0.1	0.1	**0.1**	**2.6**	*	18.1
Romania	0.3	0.6	0.1	**0.1**	**3.6**	0.1%	10.6
Ukraine	0.8	0.7	1.1	**1.1**	**38.5**	0.5%	55.7
United Kingdom	0.8	0.3	0.2	**0.2**	**6.6**	0.1%	4.7
Other Europe	0.2	0.2	0.1	**0.1**	**4.8**	0.1%	18.4
Total Europe	5.6	5.3	3.4	**3.4**	**118.7**	1.7%	14.2
Azerbaijan	1.0	1.0	2.1	**2.8**	**100.5**	1.4%	117.0
Kazakhstan	2.0	2.0	2.7	**2.7**	**93.7**	1.3%	113.4
Russian Federation	32.9	34.0	38.0	**38.0**	**1340.5**	19.1%	55.9
Turkmenistan	2.6	8.2	19.5	**19.5**	**688.1**	9.8%	308.5
Uzbekistan	1.2	1.3	1.2	**1.2**	**42.7**	0.6%	21.5
Other CIS	†	†	†	**†**	**1.2**	*	110.9
Total CIS	39.8	46.6	63.6	**64.2**	**2266.8**	32.3%	75.8
Bahrain	0.3	0.2	0.2	**0.1**	**2.7**	*	4.6
Iran	23.6	28.0	32.0	**32.0**	**1130.7**	16.1%	131.1
Iraq	3.1	3.0	3.5	**3.5**	**125.1**	1.8%	328.7
Israel	†	0.1	0.4	**0.5**	**16.4**	0.2%	46.2
Kuwait	1.4	1.7	1.7	**1.7**	**59.9**	0.9%	92.1
Oman	0.8	0.5	0.7	**0.7**	**23.5**	0.3%	18.3
Qatar	11.5	26.2	24.7	**24.7**	**871.6**	12.4%	138.6
Saudi Arabia	5.8	7.4	5.9	**6.0**	**211.3**	3.0%	52.7
Syria	0.2	0.3	0.3	**0.3**	**9.5**	0.1%	72.1
United Arab Emirates	5.8	5.9	5.9	**5.9**	**209.7**	3.0%	95.0
Yemen	0.3	0.3	0.3	**0.3**	**9.4**	0.1%	458.2
Other Middle East	†	†	†	**†**	**0.2**	*	47.1
Total Middle East	53.0	73.6	75.6	**75.6**	**2670.0**	38.0%	108.7
Algeria	4.4	4.3	4.3	**4.3**	**153.1**	2.2%	50.3
Egypt	1.2	2.1	2.1	**2.1**	**75.5**	1.1%	32.9
Libya	1.2	1.5	1.4	**1.4**	**50.5**	0.7%	151.5
Nigeria	3.3	5.0	5.4	**5.4**	**190.4**	2.7%	109.4
Other Africa	0.8	1.2	1.4	**1.6**	**57.5**	0.8%	58.1
Total Africa	11.0	14.2	14.7	**14.9**	**527.0**	7.5%	62.7
Australia	1.6	2.8	2.4	**2.4**	**84.4**	1.2%	15.6
Bangladesh	0.3	0.4	0.1	**0.1**	**4.3**	0.1%	4.2
Brunei	0.4	0.3	0.2	**0.2**	**8.3**	0.1%	18.0
China	1.4	2.9	6.4	**8.4**	**296.6**	4.2%	47.3
India	0.6	1.1	1.3	**1.3**	**46.9**	0.7%	49.4
Indonesia	2.7	3.1	2.8	**1.4**	**50.5**	0.7%	21.2
Malaysia	1.1	1.1	0.9	**0.9**	**33.4**	0.5%	12.0
Myanmar	0.3	0.3	1.2	**1.2**	**41.3**	0.6%	68.4
Pakistan	0.4	0.6	0.4	**0.4**	**14.2**	0.2%	11.9
Papua New Guinea	†	0.1	0.2	**0.2**	**6.2**	0.1%	14.2
Thailand	0.4	0.3	0.2	**0.2**	**6.3**	0.1%	5.0
Vietnam	0.2	0.7	0.6	**0.6**	**22.8**	0.3%	65.6
Other Asia Pacific	0.3	0.3	0.2	**0.2**	**8.4**	0.1%	13.9
Total Asia Pacific	9.5	13.9	16.9	**17.7**	**623.5**	8.9%	26.3
Total World	**132.8**	**170.5**	**197.1**	**198.8**	**7019.0**	**100.0%**	**49.8**
of which: OECD	13.2	16.2	20.1	**20.1**	**709.5**	10.1%	13.3
Non-OECD	119.6	154.3	177.0	**178.7**	**6309.5**	89.9%	72.0
European Union	3.5	2.5	0.7	**0.7**	**23.9**	0.3%	6.7

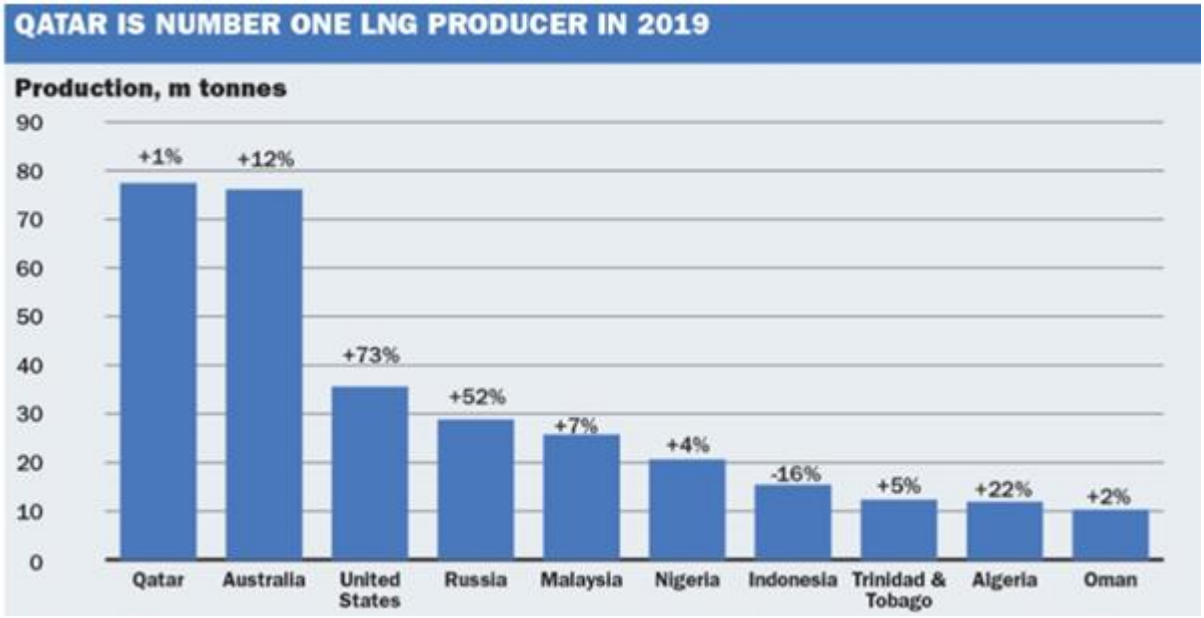
Εικόνα 18: Αποδεδειγμένα κοιτάσματα φυσικού αερίου [10]

Γενικά αποδεικνύεται ότι τα διαθέσιμα αποθέματα Φυσικού Αερίου τα οποία κατά το 2019 ανέρχονται σε 200 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα, επαρκούν για περισσότερα από πενήντα πέντε χρόνια με τους ρυθμούς παραγωγής του ιδίου έτους. Ενώ φαίνεται ότι κατά την εξαγωγή και την κατανάλωση τα αποθέματα λιγοστεύουν, οι τάσεις και η εμπειρία του παρελθόντος αποδεικνύουν ότι αυτά επανασυντίθενται εξίσου. Σε αυτό βεβαίως βοηθά ιδιαίτερα η πρόοδος των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την εύρεση και την εξαγωγή του Φυσικού Αερίου. [31]

1.11 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Τα αρχικά δεδομένα ολόκληρου του έτους από το LNG Edge δείχνουν τις εξαγωγές σε 355 εκατομμύρια τόνους το 2019, από 314,9 εκατομμύρια τόνους το 2018, αντιπροσωπεύοντας τη μεγαλύτερη αύξηση της παραγωγής.

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα της Gasworld , πρώτη θέση στην εξαγωγή του φυσικού αερίου κατέχει το **Κατάρ**, παράγοντας 77,4 εκατομμύρια τόνους, σύμφωνα με τα προσωρινά στοιχεία του LNG Edge. Ακολουθεί η **Αυστραλία** στη δεύτερη θέση, με 76,1 εκατομμύρια τόνους, με αύξηση άνω των 8 εκατομμυρίων τόνων που πιθανότατα να λάβει την πρώτη θέση το 2020, με βάση τις προβλέψεις προσφοράς LNG Edge. Η αύξηση της προσφοράς σημειώθηκε κατά 40 εκατομμύρια τόνους, η πλειονότητα της οποία - 33 εκατομμύρια τόνοι - προήλθε από την **Αυστραλία**, τη **Ρωσία** και τις **ΗΠΑ.** [43]



Εικόνα 19: Οι μεγαλύτεροι εξαγωγείς Φυσικού αερίου (Πηγή LNG Edge)

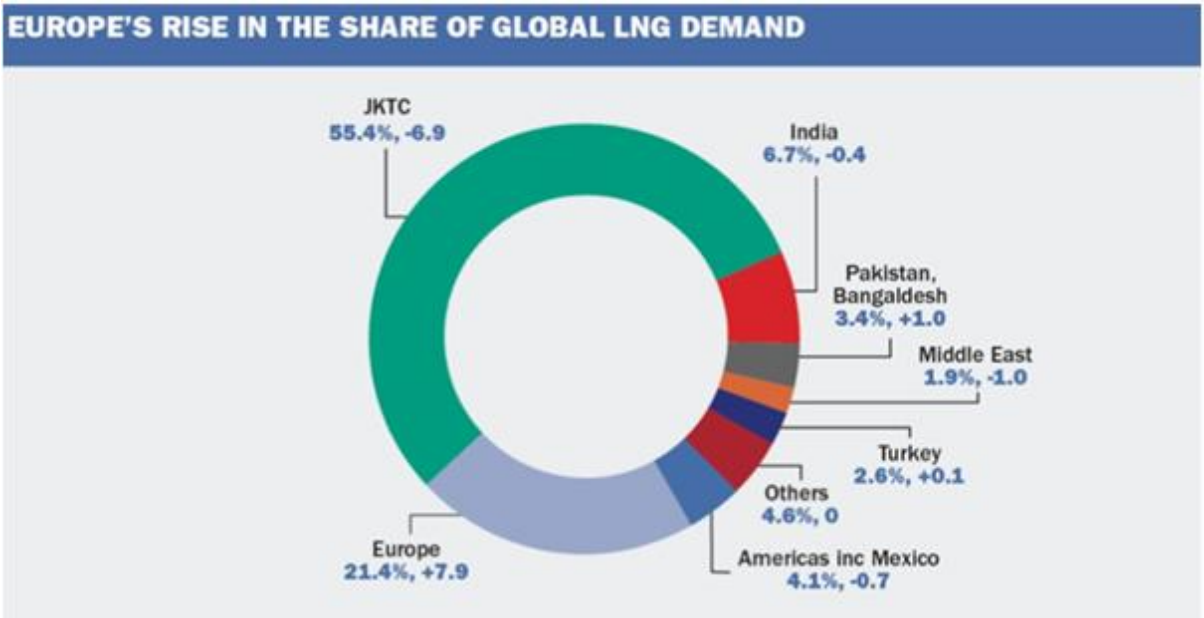
Αν και οι ρυθμοί παραγωγής της **Ρωσίας** στα Yamal και Sakhalin ήταν ιδιαίτερα εντυπωσιακοί το 2019, η **αμερικανική** παραγωγή ΥΦΑ σημείωσε μεγαλύτερη αύξηση, με 35,6 εκατομμύρια τόνους παραγωγής, αυξημένοι κατά σχεδόν 15 εκατομμύρια τόνους από το προηγούμενο έτος. Σύμφωνα με τις προβλέψεις προσφοράς LNG Edge, η αύξηση θα συνεχιστεί το επόμενο έτος με τις **ΗΠΑ** να παράγουν σχεδόν 57 εκατομμύρια τόνους. Φυσικά, πολλά θα εξαρτηθούν από την επιτυχή αύξηση **Freeport** και στο LNG του **Cameron**.

Οι εξαγωγές της **Αλγερίας** και της **Αιγύπτου** αυξήθηκαν και οι δύο κατά περισσότερο από 2 εκατομμύρια τόνους, με την Αίγυπτο να παράγει 3,5 εκατομμύρια τόνους καθώς η εγχώρια προσφορά φυσικού αερίου συνέχισε να βελτιώνεται. Η παραγωγή της **Μαλαισίας** βελτιώθηκε ουσιαστικά από το 2018, όταν η τροφοδοσία αερίου μείωσε τα ποσοστά λειτουργίας. [43]

Ευρώπη

Όσον αφορά τις ευρωπαϊκές εισαγωγές ΥΦΑ, αυξήθηκαν σε 76 εκατομμύρια τόνους το 2019, και αποτέλεσε τις υψηλότερες εισαγωγές που έχουν καταγραφεί ποτέ. Η Ευρώπη απορρόφησε πάνω από το 21% του συνόλου του ΥΦΑ που παράγεται παγκοσμίως το 2019, από 13% το 2018. Αυτή η τάση υψηλότερων ευρωπαϊκών εισαγωγών πιθανότατα θα συνεχιστεί το 2020, εκτός εάν υπάρξει σημαντική αλλαγή της βραχυπρόθεσμης ζήτησης στην Ασία τον υπόλοιπο χειμώνα και το επόμενο καλοκαίρι.

Όσον αφορά τον όγκο, οι σημαντικότερες αυξήσεις ήταν στη **Γαλλία** όπου οι εισαγωγές αυξήθηκαν από 6,5 εκατομμύρια τόνους σε 16 εκατομμύρια τόνους, και το Ηνωμένο Βασίλειο που έλαβε περισσότερους από 13 εκατομμύρια τόνους, συγκριτικά με το 2018 που εισήγαγε 8 εκατομμύρια τόνους. [43]



Εικόνα 20: Οι κυριότερες εισαγωγές ΥΦΑ (Πηγή LNG Edge)

Ανατολική Ασία

Η Ανατολική Ασία, αντιθέτως, υπέστη μείωση σε σχέση με τα δύο προηγούμενα χρόνια. Οι συνολικές εισαγωγές ΥΦΑ της Ανατολικής Ασίας μειώθηκαν το 2019, αδυναμία που προήλθε από **την Ιαπωνία** και **τη Νότια Κορέα.** Οι εισαγωγές της **Κίνας** και τ**ης Ταϊβάν** ανήλθαν σε 196,5 εκατομμύρια τόνους, που εξακολουθούν να είναι η σημαντικότερη περιοχή εισαγωγής, ωστόσο, είναι μειωμένες κατά περίπου 1 εκατομμύριο τόνους σε σχέση με το 2018. Οι ιαπωνικές εισαγωγές ΥΦΑ μειώθηκαν κατά 7% το 2019, ενώ της Νότιας Κορέας μειώθηκαν κατά 8%.

Επιπλέον, η αύξηση των κινεζικών εισαγωγών ΥΦΑ επιβραδύνθηκε σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Οι κινεζικές εισαγωγές ΥΦΑ έφτασαν 61,9 εκατομμύρια τόνους. Η Ανατολική Ασία συνολικά αντιπροσώπευε το 55% της παγκόσμιας ζήτησης ΥΦΑ το 2019, σε σύγκριση με το 62% το 2018. [43]

Νότια Ασία

Πέρα από την Ανατολική Ασία και την Ευρώπη, η Νότια και η Νοτιοανατολική Ασία αποτελούν τις δύο βασικές περιοχές εισαγωγής στις οποίες επικεντρώνονται οι πωλητές. Υπάρχει σημαντική ζήτηση φυσικού αερίου στην περιοχή, σε καλή τιμή, αλλά η πρόοδος για το άνοιγμα νέων αγορών έχει καθυστερήσει τα τελευταία χρόνια. Το **Πακιστάν** και το **Μπαγκλαντές** εισήγαγαν συνολικά 12 εκατομμύρια τόνους το 2019, από 7,4 εκατομμύρια τόνους το 2018.

Η αύξηση των **Ινδικών** εισαγωγών περιορίστηκε λόγω της έλλειψης νέων διαθέσιμων υποδομών. Η προσθήκη περισσότερης παραγωγικής ικανότητας το 2020 θα μπορούσε να αυξήσει τις ινδικές εισαγωγές σε πάνω από 26 εκατομμύρια τόνους, σύμφωνα με την πρόβλεψη ζήτησης LNG Edge. [43]

Μέση Ανατολή και Αμερική

Παρά την υπερπροσφορά και τις χαμηλές τιμές spot, οι εισαγωγές ΥΦΑ στη Μέση Ανατολή και την Αμερική μειώθηκαν και οι δύο το 2019. Η ζήτηση της Αμερικής αντιπροσώπευε μόλις το 4,1% της παγκόσμιας προσφοράς, από 4,8% το 2018.

Επίσης, ενώ οι εισαγωγές ΥΦΑ **της Βραζιλίας** διατηρήθηκαν σε καλό επίπεδο, η ζήτηση τόσο από την **Αργεντινή** όσο και από το **Μεξικό** μειώθηκε.

Τέλος, στη Μέση Ανατολή, ενώ το **Κουβέιτ** θα συνεχίσει να είναι ο σημαντικότερος εισαγωγέας στην περιοχή - ειδικά με την έναρξη του τερματικού σταθμού Al-Zour που αναμένεται για το 2021, οι εισαγωγές της **Ιορδανία**ς μειώθηκαν κατά το ήμισυ. [43]

Στις **ΗΠΑ**, η παραγωγή φυσικού αερίου ήταν στην πραγματικότητα 5,3% υψηλότερη την περίοδο Ιανουάριος-Μάιος 2020 σε σύγκριση με την ίδια περίοδο τον προηγούμενο χρόνο. Στην Κίνα, οι κυβερνητικές εκτιμήσεις δείχνουν ότι η εγχώρια παραγωγή αυξήθηκε κατά 10,4% ετησίως το πρώτο τρίμηνο του 2020, γεγονός που δείχνει γρηγορότερη αύξηση από ό, τι την ίδια περίοδο πέρυσι.

Ωστόσο, η ρωσική παραγωγή φυσικού αερίου μειώθηκε κατά 9% ετησίως τους πρώτους πέντε μήνες του 2020, λόγω χαμηλότερων ποσοτήτων εξαγωγών φυσικού αερίου προς την Ευρώπη. Οι παγκόσμιες εξαγωγές ΥΦΑ αυξήθηκαν κατά 5,2% ετησίως τον Ιανουάριο-Ιούνιο 2020 λόγω της αύξησης των προμηθειών από τις ΗΠΑ. Τέλος , οι ρωσικές προμήθειες ΥΦΑ ήταν υψηλότερες κατά 5,7% , ενώ η Αυσταλία εξήγαγε 5,3% περισσότερο ΥΦΑ κατά την περίοδο Ιανουάριος-Ιούνιος 2020. [32]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{ο} ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΦΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

2.1 ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΥΦΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Ο τερματικός σταθμός ΥΦΑ στην Ελλάδα βρίσκεται στο νησάκι της Ρεβυθούσσας, στον κόλπο της Πάχης στα Μέγαρα, 45 χλμ δυτικά της Αθήνας. Ο τερματικός σταθμός της Ρεβυθούσσας ανήκει στους είκοσι οκτώ (28) τερματικούς σταθμούς ΥΦΑ που λειτουργούν σήμερα στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και στην Ευρώπη και είναι ο μοναδικός στην Ελλάδα που λαμβάνει φορτία ΥΦΑ, αποθηκεύει και επανααεριοποιεί το ΥΦΑ, προμηθεύοντάς το στο Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού Αερίου. Η χωρητικότητα αποθήκευσης του τερματικού σταθμού της Ρεβυθούσσας είναι 225.000 m^3 LNG και η ικανότητα επαναεριοποίησης του είναι 1250 m^3 /h.

Ο τερματικός σταθμός αποτελεί ένα σημαντικό ενεργειακό πλεονέκτημα για την Ελλάδα, αφού παρέχει ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού, λειτουργική ευελιξία στο σύστημα μεταφοράς και κάλυψη της μέγιστης ζήτησης του φυσικού αερίου. Επιπλέον, ο τερματικός σταθμός της Ρεβυθούσσας έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με τα αυστηρότερα πρότυπα ασφάλειας τόσο για τους υπαλλήλους του όσο και για τους κατοίκους των γύρω περιοχών.

Στις εγκαταστάσεις της Ρεβυθούσσας μπορούν να πραγματοποιηθούν οι παρακάτω διαδικασίες:

- Εκφόρτωση πλοίων ΥΦΑ
- Αποθήκευση ΥΦΑ
- Ανάκτηση της ποσότητας του φορτίου που έχει εξατμιστεί από τις δεξαμενές αποθήκευσης
- Επαναεριοποίηση ΥΦΑ
- Διανομή φυσικού αερίου στο ελληνικό σύστημα μεταφοράς φυσικού αερίου

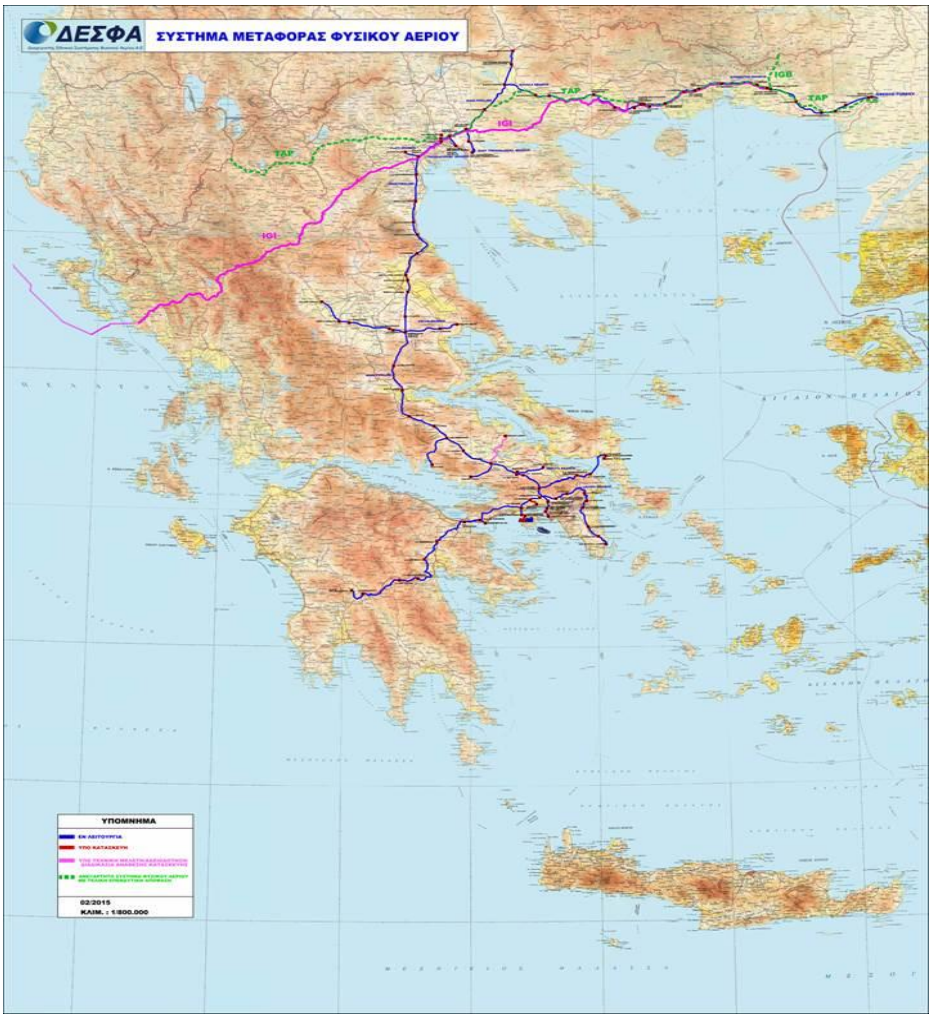
Στη Ρεβυθούσσα μπορεί να εκφορτώνει ένα σκάφος κάθε φορά. Ο μέγιστος ρυθμός εκφόρτωσης LNG είναι 7.250 m^3/ ώρα. Το LNG μεταφέρεται και αποθηκεύεται σε τρεις δεξαμενές κρυογενικής αποθήκευσης με ωφέλιμη χωρητικότητα 225.000 m^3 σε θερμοκρασία -160 °C και σχεδόν ατμοσφαιρική πίεση. Εκεί φιλοξενείται προσωρινά, πριν από την επαναεριοποίηση και διανομή του στο εθνικό δίκτυο. Επειδή το υγροποιημένο φυσικό αέριο εξατμίζεται συνεχώς, η ποσότητα αυτή πρέπει να απομακρύνεται από τις δεξαμενές και να οδηγείται στο σύστημα ανάκτησης, όπου αποτελείται από κρυογονικούς παλινδρομικούς συμπιεστές και συμπυκνωτές.

Οι λειτουργίες του τερματικού σταθμού Ρεβυθούσσα (φόρτωση, αποθήκευση και αεριοποίηση) είναι φιλικές προς το περιβάλλον και συμμορφώνονται αυστηρά με την ελληνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία. Τα υψηλότερα πρότυπα ασφάλειας και ο σεβασμός του για το περιβάλλον επαληθεύονται συνεχώς και πιστοποιούνται από ανεξάρτητους οργανισμούς, καθώς η εγκατάσταση είναι πιστοποιημένη με το Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας ISO 45001 και ISO 14001. [6]

2.2 ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το Ελληνικό δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου περιλαμβάνει τον κεντρικό αγωγό μήκους 512 χλμ που ξεκινά από τα ελληνοβουλγαρικά σύνορα (Σιδηρόκαστρο) και καταλήγει στην Αττική, καθώς και διακλαδώσεις αυτού με συνολικό μήκος 953,2 χλμ. Επίσης, φυσικό αέριο εισάγεται στη Ελλάδα από τα ελληνοτουρκικά σύνορα (σταθμός Κήπων) αλλά και από το σταθμό Υγροποιημένου Φυσικού αερίου στο νησάκι της Ρεβυθούσσας. Αποτελείται από:

- Τον κεντρικό αγωγό μεταφοράς αερίου και τους κλάδους αυτού,
- Τους Μετρητικούς Σταθμούς Συνόρων Σιδηροκάστρου Σερρών και Κήπων Έβρου,
- Το Σταθμό Συμπίεσης στη Νέα Μεσήμβρια Θεσσαλονίκης,
- Τους Μετρητικούς και Ρυθμιστικούς σταθμούς φυσικού αερίου,
- Τα Κέντρα Ελέγχου και Κατανομής Φορτίου,
- Τα Κέντρα Λειτουργίας και Συντήρησης του Μετρητικού Σταθμού Συνόρων Σιδηροκάστρου, Ανατολικής Ελλάδος, Βορείου Ελλάδος, Κεντρικής Ελλάδος και Νοτίου Ελλάδος, και
- Το σύστημα Τηλελέγχου και Τηλεπικοινωνιών. [36]



Εικόνα 21: Ελληνικό Δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου [36]

Οι περιοχές που καλύπτονται μέχρι σήμερα με δίκτυο φυσικού αερίου είναι οι περιοχές της ανατολικής Μακεδονίας, της Θράκης, της Θεσσαλονίκης, του Πλατέος, του Βόλου, των Τρικάλων, των Οινοφύτων, των Αντικύρων, του Αλιβερίου, της Κορίνθου, της Μεγαλόπολης, της Θίσβης και της Αττικής.

Μετρητικός Σταθμός Συνόρων Σιδηροκάστρου

Ο Μετρητικός Σταθμός Συνόρων Σιδηροκάστρου βρίσκεται σε απόσταση 12 χλμ. από τα σύνορα Ελλάδας – Βουλγαρίας, στο Δήμο Σιντικής, σε κοντινή απόσταση από την πόλη του Σιδηροκάστρου. Το κύριο αντικείμενο του σταθμού είναι η μέτρηση της ποσότητας και ο προσδιορισμός της ποιότητας του εισαγόμενου φυσικού αερίου από τη Βουλγαρία.

Μετρητικός Σταθμός Συνόρων Κήπων Έβρου

Ο Μετρητικός Σταθμός Συνόρων Κήπων Έβρου βρίσκεται σε απόσταση 3,5 χλμ. από τα σύνορα Ελλάδος – Τουρκίας, στο Δήμο Φερρών, δίπλα στο συνοικισμό Πέπλο. Το κύριο αντικείμενο του σταθμού είναι η μέτρηση της ποσότητας και ο προσδιορισμός της ποιότητας του εισαγόμενου φυσικού αερίου από τη Τουρκία.

Σταθμός Συμπίεσης Νέας Μεσήμβριας

Ο Σταθμός Συμπίεσης βρίσκεται δίπλα στο Κέντρο Λειτουργίας & Συντήρησης Βορείου Ελλάδας, στον κύριο αγωγό του Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Φυσικού Αερίου (ΕΣΜΦΑ) (χιλιομετρική θέση 414), στο σημείο όπου αλλάζει η διάμετρος του αγωγού από 36’’ σε 30’’. Η λειτουργία του σταθμού έχει σκοπό την επιπλέον συμπίεση που απαιτείται στο ΕΣΜΦΑ, ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες της αγοράς Φυσικού Αερίου στην Ελλάδα.

Κέντρα Ελέγχου και Κατανομής Φορτίου

Οι λειτουργικές παράμετροι του Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Φυσικού Αερίου ελέγχονται σε συνεχή βάση και προσδιορίζονται από το Κέντρο Ελέγχου και Κατανομής Φορτίου, που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Κέντρου Λειτουργίας και Συντήρησης Νοτίου Τομέα (Πάτημα Μαγούλας) και εναλλακτικά (σε περίπτωση απώλειας του πρώτου) από το εφεδρικό Κέντρο Ελέγχου και Κατανομής Φορτίου που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Κέντρου Λειτουργίας και Συντήρησης Βόρειου Τομέα (Νέα Μεσήμβρια Θεσσαλονίκης). [36]

2.3 ΔΕΠΑ

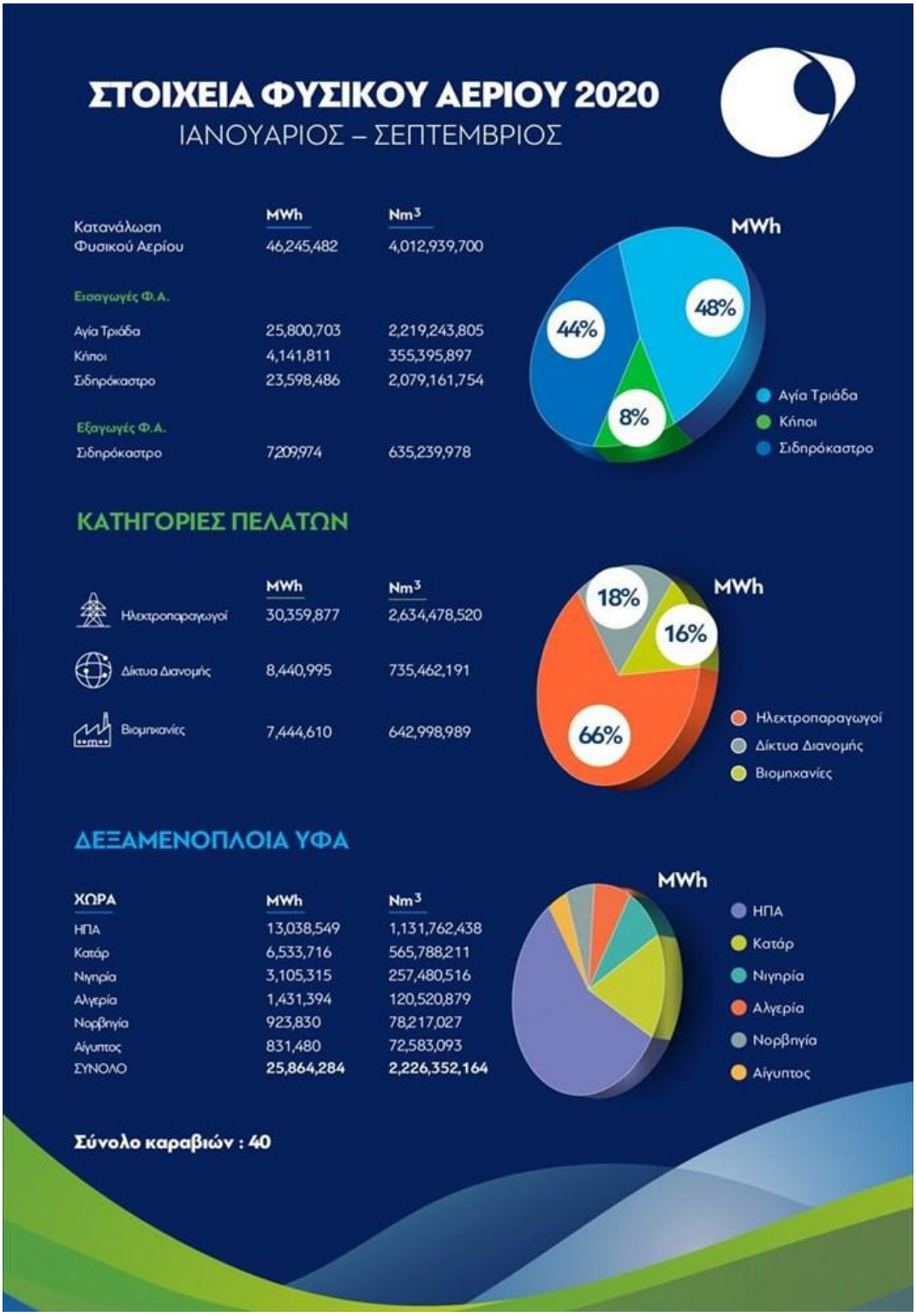
Η ΔΕΠΑ (Δημόσια Επιχείρηση Αερίου) είναι ο κύριος εισαγωγέας φυσικού αερίου αγωγών και υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) στην Ελλάδα και έχει υπογράψει μακροχρόνιες συμβάσεις προμήθειας αερίου με τη ρωσική Gazprom, την τουρκική BOTAS και την αλγερινή Sonatrach. Συγκεκριμένα: [12]

- Το συμβόλαιο της ΔΕΠΑ με τη Gazprom εξασφαλίζει τον εφοδιασμό της ελληνικής αγοράς με φυσικό αέριο μέσω αγωγού εώς το 2026. Οι υπό εισαγωγή ποσότητες εγχέονται στο ΕΣΦΑ στο σημείο Στρυμονοχώρι Σιδηροκάστρου, κοντά στα ελληνοβουλγαρικά σύνορα.
- Το συμβόλαιο με την τουρκική BOTAS αφορά την προμήθεια φυσικού αερίου μέσω αγωγού έως το 2021. Οι ποσότητες παραδίδονται και εγχέονται στο ΕΣΦΑ στο σημείο Κήποι Έβρου, μέσω του υπάρχοντος ελληνοτουρκικού αγωγού φυσικού αερίου.
- Το συμβόλαιο με τη Sonatrach (LNG) εξασφαλίζει την προμήθεια υγροποιημένου φυσικού αερίου (ΥΦΑ) έως το 2021 στην ελληνική αγορά. Οι παραδόσεις του αλγερινού LNG πραγματοποιούνται στον ελληνικό σταθμό αποθήκευσης και επαναεριοποίησης υγροποιημένου αερίου στη Ρεβυθούσα, στον κόλπο των Μεγάρων.
- Τέλος, η ΔΕΠΑ πρόσφατα υπέγραψε μία μακροχρόνια σύμβαση προμήθειας με την Αζέρικη AGSC για αέριο, το οποίο θα παραχθεί από το κοίτασμα Shah Deniz II.

Σύμφωνα με την εικόνα της αγοράς με τα στοιχεία του ΔΕΣΦΑ για το 2020, οι ανάγκες της ελληνικής αγοράς καλύφθηκαν κατά το ήμισυ (48%) με Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (ΥΦΑ-LNG) από τον Τερματικό Σταθμό στη Ρεβυθούσα καθώς από τα 4 δισ. κυβικά μέτρα (κ.μ) που ήταν η εγχώρια κατανάλωση το διάστημα Ιανουάριος-Σεπτέμβριος 2020, τα 2,2 δισ. κ.μ. είναι αεριοποιημένες ποσότητες από τις εγκαταστάσεις της Ρεβυθούσας. Στη Ρεβυθούσα έχουν προσεγγίσει για να εκφορτώσουν 40 δεξαμενόπλοια, τα οποία μετέφεραν φορτία από 6 διαφορετικούς παραγωγούς LNG. Το προηγούμενο έτος, η Αλγερία κατείχε την πρώτη θέση στην προέλευση του ΥΦΑ, το 2020 όμως την θέση της κατέλαβαν οι ΗΠΑ με ποσοστό 50% και αύξηση της τάξης του 420% σε σύγκριση με το 2019. Σημαντική θέση κατέχουν, επίσης, το Κατάρ (25%) και η Νιγηρία (12%), ενώ ακολουθούν η Αλγερία (6%), η Νορβηγία (4%) και η Αίγυπτος (3%).

Το υπόλοιπο 52% της κατανάλωσης καλύφθηκε από αέριο που εισήχθη στη χώρα μέσω των υφιστάμενων αγωγών στα ελληνοτουρκικά σύνορα στους Κήπους Έβρου (0,3 δισ. κ.μ) και στα ελληνοβουλγαρικά σύνορα κοντά στο Σιδηρόκαστρο Σερρών (2 δισ. κ.μ). [45]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται αναλυτικά οι εισαγωγές και οι εξαγωγές Φυσικού Αερίου της Ελλάδας για το 2020:



Εικόνα 22: Εισαγωγές και Εξαγωγές Φυσικού αερίου της Ελλάδας [45]

Εικόνα 23: Ο τερματικός σταθμός της Ρεβυθούσσας

Ένα κρίσιμο πρόβλημα σε αυτόν τον τομέα είναι η επιλογή και η αξιολόγηση των τερματικών σταθμών εξαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου σε διάφορες χώρες. Η παρούσα εργασία επιχειρεί να προτείνει ένα μοντέλο υποστήριξης αποφάσεων εξειδικευμένο για αυτόν τον τύπο προβλήματος. Αυτό πραγματοποιείται με μια πολυκριτηριακή ανάλυση, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Promethee II, αξιολογώντας όλους τους πιθανούς σταθμούς εξαγωγής φυσικού αερίου και μελέτη της περίπτωσης της Ελλάδας. Η προσέγγιση βασίζεται σε επιλεγμένα κριτήρια.

2.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

2.4.1 ΔΙΑΔΡΙΑΤΙΚΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ (TAP)

Ο αγωγός TAP (Trans Adriatic Pipeline) είναι ένας υπό κατασκευή αγωγός με σκοπό την μεταφορά φυσικού αερίου από τα κοιτάσματα του Αζερμπαϊτζάν στην Κασπία Θάλασσα. Ο αγωγός TAP εχει μήκος περίπου 878 χλμ., εκ των οποίων τα 773 χλμ. είναι χερσαία και τα 105 χλμ. είναι υποθαλάσσια. Το υποθαλάσσιο τμήμα μάλιστα αποτελέι ένα ιδιαίτερα απαιτητικό κομμάτι της κατασκευαστικής διαδικασίας και θα βρίσκεται σε μέγιστο βάθος 810 μέτρων. Ο αγωγός θα ξεκινά στα ελληνο-τουρκικά σύνορα στους Κήπους του Έβρου, όπου θα συνδέεται με τον Διανατολικό αγωγό αερίου. Η διαδρομή του θα διασχίζει τρεις χώρες: την Ελλάδα, την Αλβανία και την Αδριατική Θάλασσα και θα εξέρχεται στην ακτή της Ιταλίας κοντά στο Σαν Φόκα.

Η δυναμικότητα μεταφοράς του αγωγού ανέρχεται στα 10 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου ετησίως, με τη δυνατότητα αύξησης της δυναμικότητας στα 20 δισεκατομμύρια κυβικά

μέτρα. Θα χρησιμοποιηθούν σωλήνες διαμέτρου 1.200 χιλιοστών για πίεση 95 bars (9,500 kPa) στο τμήμα της στεριάς και διαμέτρου 910 χιλιοστών για πίεση 145 bars (14,500 kPa) στο υποθαλάσσιο τμήμα. [85]

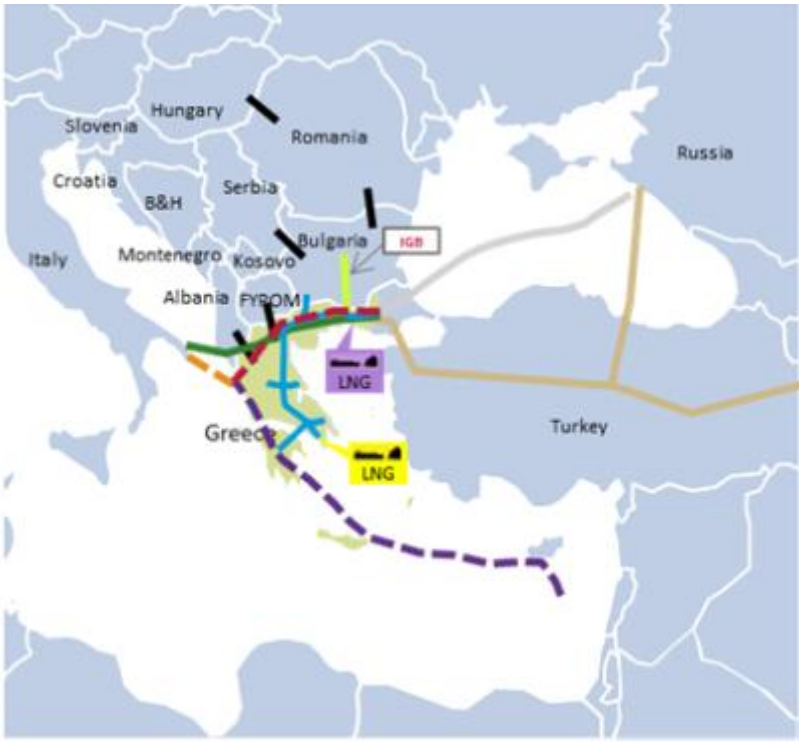
Η κατασκευή του αγωγού TAP ξεκίνησε το 2016 και το Νοέμβριο του 2020 επιβεβαιώθηκε η μεταφορά των πρώτων ποσοτήτων φυσικού αερίου από το Αζερμπαιτζάν. Οι πρώτες ποσότητες αερίου έχουν ήδη φτάσει στην Ελλάδα και τη Βουλγαρία, μέσω του σημείου διασύνδεσης με τον ΔΕΣΦΑ στη Νέα Μεσημβρία, καθώς και στην Ιταλία, μέσω του σημείου διασύνδεσης με την SNAM Rete Gas (SRG) στο Melendugno. [84]

Εικόνα 24: Ο διαδριατικός Αγωγός TAP [85]

2.4.2 ΔΙΑΣΥΝΔΕΤΗΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΕΛΛΑΔΑΣ – ΒΟΥΛΓΑΡΙΑΣ (IGB)

Ο Ελληνο-Βουλγαρικός Διασυνδετήριος Αγωγός (IGB) αποτελείται από έναν χερσαίο αγωγό μήκους περίπου 182 χλμ., καθώς και τις αναγκαίες υποστηρικτικές εγκαταστάσεις (Μετρητικοί Σταθμοί, βανοστάσια, Κέντρο Λειτουργίας). Ο αγωγός θα ξεκινάει από την Κομοτηνή και θα καταλήγει στη Βουλγαρία αντίστοιχα, συνδέοντας τα δίκτυα Φυσικού Αερίου Ελλάδος και Βουλγαρίας, ενώ θα υπάρχει και η δυνατότητα της αντίστροφης ροής. Προβλέπεται επίσης η διασύνδεσή του με τον αγωγό TAP. Ο αγωγός IGB έχει αρχική δυναμικότητα 3 δισ. κυβ. μέτρα φυσικού αερίου ετησίως.

Η Τελική Επενδυτική Απόφαση για την υλοποίηση του Έργου IGB ελήφθη στις 10 Δεκεμβρίου 2015. Στις 22 Μαΐου 2019, έλαβε χώρα η τελετή έναρξης κατασκευής του αγωγού και μέσα στο καλοκαίρι του 2019 ξεκίνησαν οι εργασίες. [86]

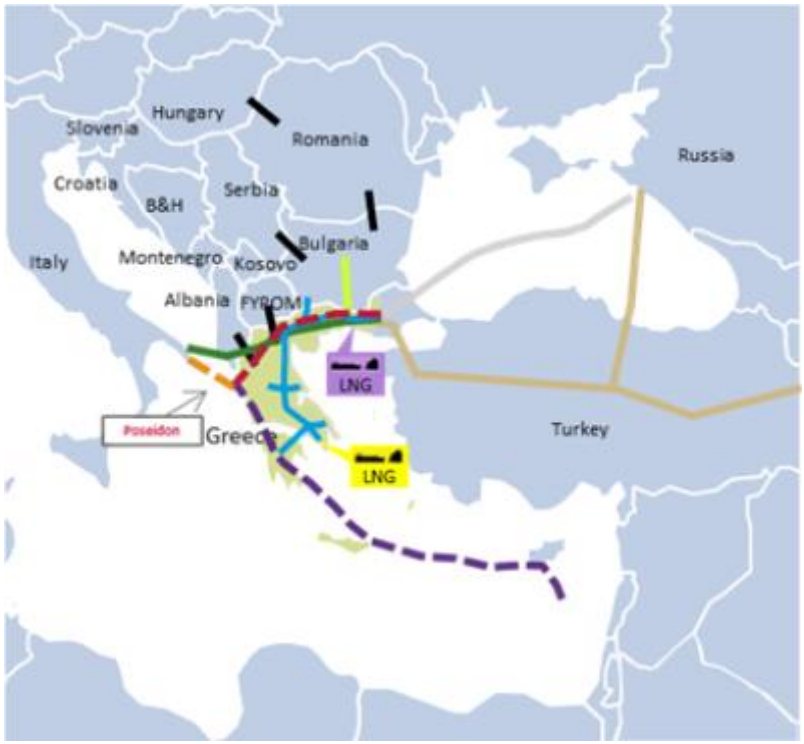


Εικόνα 25: Διασυνδετήριος αγωγός IGB [86]

2.4.3 Ο ΑΓΩΓΟΣ ΠΟΣΕΙΔΩΝ (POSEIDON)

Ο διασυνδετήριος αγωγός Ελλάδας – Ιταλίας ΠΟΣΕΙΔΩΝ αποτελείται από δύο τμήματα: το χερσαίο τμήμα μήκους περίπου 760 χλμ. που ξεκινά από τα ελληνοτουρκικά σύνορα στους Κήπους και διασχίζοντας τις Περιφέρειες Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, Κεντρικής Μακεδονίας, Δυτικής Μακεδονίας, Θεσσαλίας και Ηπείρου και καταλήγει στις ακτές της Θεσπρωτίας, και το υποθαλάσσιο τμήμα του έργου, με μήκος περίπου 210 χλμ. το οποίο συνδέει τις Θεσπρωτικές ακτές με την Ιταλία.Ο αγωγός έχει σχεδιαστεί με αρχική δυναμικότητα 12 δισ. κυβ. μέτρα φυσικού αερίου ετησίως προς την Ιταλία.

Ο αγωγός ΠΟΣΕΙΔΩΝ έχει ήδη λάβει το σύνολο των απαιτούμενων αδειοδοτήσεων για το υποθαλάσσιο τμήμα και αναμένεται η ολοκλήρωση των αδειοδοτήσεων για το χερσαίο τμήμα. Με βάση το ισχύον χρονοδιάγραμμα, η ολοκλήρωση και η έναρξη λειτουργίας του έργου αναμένεται να γίνει στα τέλη του 2022 με αρχές του 2023. [86]



Εικόνα 26: Ο αγωγός ΠΟΣΕΙΔΩΝ [86]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{ο} : ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

3.1 ΕΡΜΗΝΕΙΑ

Η λήψη αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (MCDM) ή αλλιώς η ανάλυση αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (MCDA) είναι μια πειθαρχημένη έρευνα που αξιολογεί πολλαπλά αντικρουόμενα κριτήρια πρωτού ληφθεί η τελική απόφαση. Τα αντικρουόμενα κριτήρια για την αξιολόγηση των εναλλακτικών μπορεί να είναι το κόστος, η άνεση, η ασφάλεια, η απόσταση, ο χρόνος κ.α. [16]

Η ιδέα της πολυκριτηριακής ανάλυσης λήψης αποφάσεων αναπτύχθηκε πολλά χρόνια πριν (1896) και άρχισε να διαδίδεται όταν διαπιστώθηκε ότι η επίλυση πολύπλοκων και πολυδιάστατων προβλημάτων λήψης αποφάσεων δεν μπορεί να πραγματοποιείται μέσω μιας μονόπλευρης και μονοδιάστατης ανάλυσης. Βασικό αντικείμενο της θεωρίας της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι η σύνθεση όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος και των κριτηρίων που μπορούν να διαμορφώσουν την λήψη της απόφασης. Η κύρια διαφορά της πολυκριτηριακής ανάλυσης από άλλες εναλλακτικές προσεγγίσεις είναι η ανάπτυξη υποδειγμάτων λήψης αποφάσεων μέσω μεθοδολογικών προσεγγίσεων, συνυπολογίζοντας τις προτιμήσεις και αξίες του αποφασίζοντα, προσδίδοντας του έτσι ενεργό ρόλο και όχι περιορίζοντας τον στην παθητική εφαρμογή και παρακολούθηση των αποτελεσμάτων των μαθηματικών διαδικασιών. Κατά συνέπεια, η πολυκριτηριακή ανάλυση δίνει μεγάλη έμφαση στην πολιτική της λήψης των αποφάσεων που προέρχεται από τον λήπτη της απόφασης. Με την παροχή των απαραίτητων πληροφοριών και την εύρεση των διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεων, θα προκύψει τελικά η ορθολογική επίλυση του προβήματος. [17]

Στην καθημερινή μας ζωή, συχνά ζυγίζουμε πολλά κριτήρια στο μυαλό μας και μπορεί να νιώθουμε άνετα με τις συνέπειες των αποφάσεων που λαμβάνουμε, με βάση μόνο τη διαίσθηση μας. Όταν όμως πρόκειται για μια σημαντική απόφαση, δεν αρκέι μόνο η διαίσθηση και η προτίμηση μας. Είναι απαραίτητο να δομηθεί σωστά το πρόβλημα και να αξιολογηθούν ρητά πολλαπλά κριτήρια. Για παράδειγμα, κατά τη λήψη της απόφασης για το αν θα κατασκευαστεί ένας πυρηνικός σταθμός παραγωγής ενέργειας ή όχι, και πού θα κατασκευαστεί, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν όχι μόνο πολύπλοκα και πολυδιάστατα κριτήρια, αλλά και οι συνέπειες αυτής της κατασκευής. [16]

Πίνακας αποφάσεων

Το βασικό γνώρισμα όλων των πολυκριτηριακών μεθόδων λήψης αποφάσεων (MCDM) είναι ένας πίνακας αποφάσεων. Για ένα πρόβλημα με N κριτήρια (C) και M εναλλακτικές (A) έχουμε τον παρακάτω πίνακα: [17]

Table1. Decision table

	A_1	...	...	A_n
C_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
.	...	...	...	...
.	...	...	...	...
.	...	...	...	...
C_m	a_{m1}	...	...	a_{mn}

Εικόνα 27 : Πίνακας αποφάσεων [17]

Όπου το a_{mn} είναι η βαθμολογία της εναλλακτικής n που σχετίζεται με το κριτήριο C_m.

Υπάρχουν πολλές πολυκριτηριακές μέθοδοι λήψης αποφάσεων (MCDM) για διαφορετικά είδη προβλημάτων. Μεταξύ αυτών, οι πιο κοινές μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί σε έρευνες είναι οι AHP, ELECTRE, TOPSIS , VIKOR και PROMETHEE. [17]

3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σε γενικές γραμμές, οι κοινές πολυκριτηριακές μέθοδοι λήψης αποφάσεων ακολουθούν οκτώ βήματα για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, τα οποία αναλύονται παρακάτω :

- Το πρώτο βήμα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι η διατύπωση του προβλήματος με σαφήνεια και η περιγραφή τόσο των αρχικών συνθηκών όσο και των επιθυμητών.
- Στο δεύτερο βήμα, πρέπει να καθοριστούν οι απαιτήσεις και οι περιορισμοί του προβλήματος, με βάση τις κρίσεις των εμπειρογνωμόνων ή άλλους τεχνικούς περιορισμούς.
- Στο τρίτο βήμα, πρέπει να αποσαφηνιστούν οι στόχοι. Οι στόχοι πρέπει να αποβλέπουν μόνο σε θετικό αποτέλεσμα (δηλαδή τι πρέπει να κάνω, όχι τι δεν πρέπει να κάνω).
- Το τέταρτο βήμα περιλαμβάνει τον καθορισμό των εναλλακτικών λύσεων. Οι εναλλακτικές λύσεις αποτελούν μια διαφορετική προσέγγιση για τη μετάβαση από την αρχική κατάσταση του προβλήματος στην επιθυμητή κατάσταση
- Το επόμενο βήμα για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων περιλαμβάνει τον καθορισμό και την αξιολόγηση των κριτηρίων. Η καλύτερη εναλλακτική λύση είναι αυτή που πετυχαίνει τους στόχους και θα διακριθεί με βάση τα κριτήρια που έχουν οριστεί. Τα κριτήρια απόφασης θα πρέπει να έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:
  -να είναι ικανά να διακρίνουν τελικά τις εναλλακτικές λύσεις
  -να έχουν σχέση με τους στόχους
  -να μην μοιάζουν μεταξύ τους
  -να είναι λίγα σε αριθμό για να μην ξεφεύγουν οι διαστάσεις του προβλήματος
- Στο επόμενο βήμα γίνεται η επιλογή της μεθόδου λήψης αποφάσεων.
- Στο έβδομο βήμα αξιολογούνται οι εναλλακτικές λύσεις που προκύπτουν με βάση τα επιλεγμένα κριτήρια.
- Στο τελευταίο βήμα, ελέγχεται ότι η επιλεγμένη εναλλακτική λύση ικανοποιεί πραγματικά το πρόβλημα που είχε οριστεί και συγκρίνεται με την αρχική κατάσταση, τις απαιτήσεις και τους στόχους. [17]

3.3 ΘΕΩΡΙΑ ΣΧΕΣΕΩΝ ΥΠΕΡΟΧΗΣ (OUTRANKING RELATIONS THEORY)

Η Θεωρία των σχέσεων υπεροχής προέρχεται από τη Γαλλία και βρίσκει εφαρμογές σε ευρωπαϊκές χώρες. Η μέθοδος αυτή έχει ως στόχο την κατάταξη των εναλλακτικών, υποβαθμίζοντας τις εναλλακτικές που έχουν κακή επίδοση σε έστω και ένα κριτήριο, ενώ χρησιμοποιούνται και βάρη, για να ξεχωρίσουν κάποια κριτήρια σε σχέση με κάποια άλλα.

Η θεωρία αυτή είναι ένα πολυκριτήριο μοντέλο, το οποίο χρησιμοποιεί μαθηματικές συναρτήσεις για να δείξει το βαθμό επικράτησης μιας εναλλακτικής έναντι μιας άλλης. Στόχος της δεν είναι η βαθμολόγηση των εναλλακτικών, αλλά η πραγματοποίηση διμερών συγκρίσεων μεταξύ των εναλλακτικών. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα, επιτρέπεται σε κάποια ζεύγη εναλλακτικών να παραμένουν ως μη συγκρίσιμα, σε αντίθεση με την πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας ή την αναλυτική ιεραρχική διαδικασία, όπου απαραίτητη προϋπόθεση είναι οι επιλογές, να είναι άμεσα συγκρίσιμες. Αφού αναπτυχθέι η σχέση υπεροχής βάσει των δεδομένων που παρέχει ο λήπτης αποφάσεων, ύστερα αξιολογούνται οι εναλλακτικές δραστηριότητες ως προς την επιλογή, την κατάταξη και την ταξινόμηση. [[18]]

Συνοπτικά, οι μέθοδοι υπεροχής ακολουθούν δύο φάσεις:

- την κατασκευή της σχέσης υπεροχής και
- την μετέπειτα ανάλυσή της.

Οι σημαντικότερες μέθοδοι που ανήκουν στην οικογένεια των μεθόδων υπεροχής μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων είναι οι εξής:

- Μέθοδοι PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method of Enrichment Evaluation)
- Μέθοδος ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Realite)

3.4 ΤΥΠΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.4.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΙΕΡΑΡΧΗΣΗΣ – ΜΕΘΟΔΟΣ AHP

Η μέθοδος αναλυτικής ιεραρχίας AHP (Analytic Hierarchy Process) είναι μια δομημένη τεχνική για την οργάνωση και ανάλυση πολύπλοκων αποφάσεων και βασίζεται στα μαθηματικά και την ψυχολογία. Προτάθηκε από τον Thomas Saaty στα τέλη της δεκαετίας του ’70 και συνεργάστηκε με τον Ernest Forman για να αναπτύξει το Expert Choice το 1983. Η αναλυτική ιεραρχία αποτελεί μία από τις πιο εφαρμοσμένες μεθόδους για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων και έχει απήχηση σε τομείς όπως η κυβέρνηση, οι επιχειρήσεις, η βιομηχανία, η υγειονομική περίθαλψη, η ναυπηγική βιομηχανία και η εκπαίδευση.

Σκοπός της μεθόδου αυτής είναι από ένα πολύπλοκο αρχικά πρόβλημα προς επίλυση να οδηγηθούμε σε ένα απλούστερο πρόβλημα.

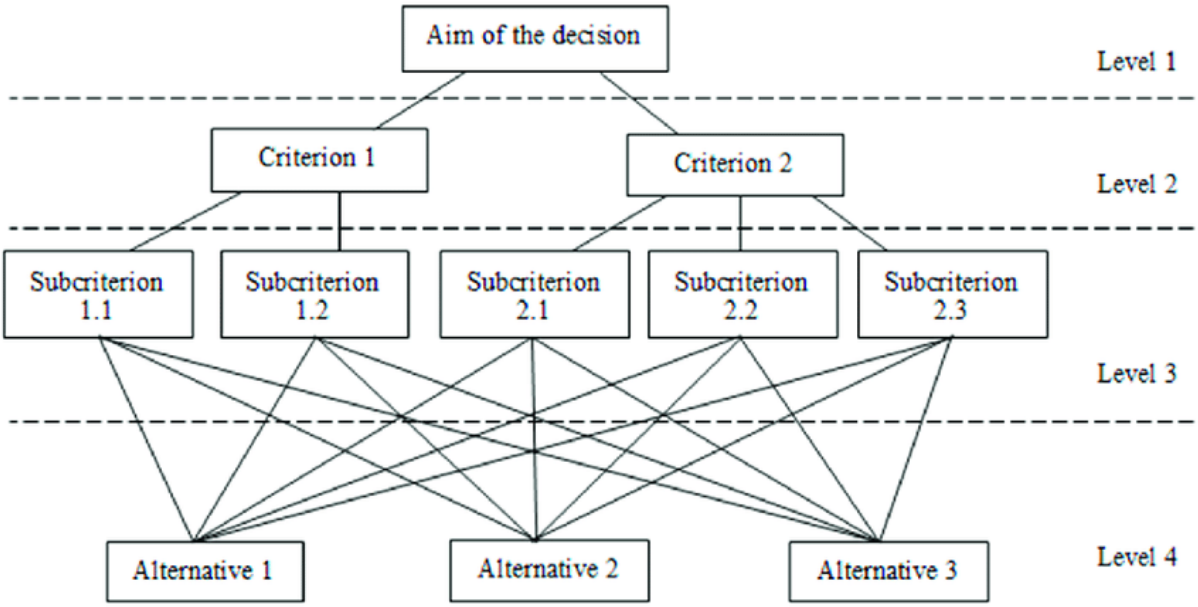
Τα βήματα με τα οποία εφαρμόζεται η μέθοδος AHP είναι τα παρακάτω:

- Επιλογή - επιλογή μιας εναλλακτικής από ένα σύνολο εναλλακτικών
- Κατάταξη - κατάταξη των εναλλακτικών από τις περισσότερες έως τις λιγότερο επιθυμητές.
- Προτεραιότητα - προσδιορισμός της αξίας των μελών ενός συνόλου εναλλακτικών
- Κατανομή πόρων – εύρεση του καλύτερου συνδυασμού μέσα σε ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων
- Αξιολόγηση - Σύγκριση των διαδικασιών του οργανισμού με εκείνες άλλων οργανισμών
- Ποιοτικό μάνατζμεντ [47]

Το AHP παρέχει ένα ορθολογικό πλαίσιο ποσοτικοποιώντας τα κριτήρια και τις εναλλακτικές επιλογές του και για τη συσχέτιση αυτών των στοιχείων με τον συνολικό στόχο.

Τα ενδιαφερόμενα μέρη συγκρίνουν τα στοιχεία ενός επιπέδου , δύο κάθε φορά, κατά ζεύγη και η μέθοδος AHP μετατρέπει αυτές τις αξιολογήσεις σε αριθμούς. Αυτή η ικανότητα ποσοτικοποίησης διακρίνει την AHP από άλλες τεχνικές λήψης αποφάσεων.

Στο τελευταίο βήμα της διαδικασίας, ύπολογίζεται η επίδοση για καθεμία από τις εναλλακτικές επιλογές. Αυτοί οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν πόσο καλά ικανοποιεί το πρόβλημα η κάθε εναλλακτική, με βάση όλες τις τιμές των χρηστών. [49]



Εικόνα 28: Μέθοδος AHP (Πηγή Researchgate.net)

3.4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ELECTRE

Η μέθοδος ELECTRE (ELimination Et Choice Translating Reality) επινοήθηκε το 1968 από τον Bernard Roy και τους συναδέλφους του στην συμβουλευτική εταιρεία SEMA και ανήκει στην οικογένεια των μεθόδων υπεροχής μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων. Χρησιμοποιείται στους τομείς των επιχειρήσεων, της ανάπτυξης, του σχεδιασμού, και της μικρής υδροηλεκτρικής ενέργειας. [48]

Η ιδέα αυτής της μεθόδου είναι η ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων με βάση τη συμφωνία και τη διαφωνία τους που υπολογίζεται με εξαγόμενα δεδομένα από ένα πίνακα αποφάσεων. Η εφαρμογή της ακολουθεί 4 κύρια βήματα. Στο πρώτο βήμα, πρέπει να δοθεί σε κάθε κριτήριο μια βαρύτητα και το άθροισμα όλων των βαρών πρέπει να είναι ίσο με 1. Επιπλέον πρέπει να οριστεί μια συνάρτηση κατωφλιού. Στο δεύτερο βήμα, υπολογίζεται ο δείκτης για κάθε ζευγάρι εναλλακτικών. Στο επόμενο βήμα υπολογίζεται ο βαθμός κατάταξης για κάθε ζεύγος εναλλακτικών με βάση τον δείκτη συμφωνίας και ασυμφωνίας. Τέλος, η μερική κατάταξη θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ζευγάρια εναλλακτικών. [17]

Συνήθως οι μέθοδοι Electre χρησιμοποιούνται για την απόρριψη ορισμένων εναλλακτικών λύσεων στο πρόβλημα, οι οποίες είναι μη αποδεκτές. Μετά από αυτό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια άλλη μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης λήψης αποφάσεων για να επιλέξουμε τελικά τη σωστή εναλλακτική. Το πλεονέκτημα της χρήσης της μεθόδου Electre σαν πρώτη μέθοδο είναι ότι μπορούμε να εφαρμόσουμε στη συνέχεια μια άλλη μέθοδο με πλέον περιορισμένο αριθμό εναλλακτικών και να εξοικονομήσουμε έτσι πολύ χρόνο. [48]

3.4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ PROMETHEE

Η μέθοδος PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations) αναπτύχθηκε από τους J.P. BRANS, Ph. VINCKE και B. MARESCHAL το 1985 και στηρίζεται στη θεωρία των σχέσεων υπεροχής. Η διαδικασία που ακολουθούν οι μέθοδοι PROMETHEE I και II ,για την επίλυση πολυκριτηριακών προβλημάτων ,είναι αρκετά απλή στην κατανόηση και τη χρήση , γι’αυτό και προτιμούνται περισσότερο στο χώρο της έρευνας και της λήψης πολυκριτηριακών αποφάσεων σε μεγάλο εύρος τομέων.

Οι PROMETHEE I και II χαρακτηρίζονται ως μέθοδοι διμερούς σύγκρισης των εναλλακτικών. Οι βασικές αρχές που διέπουν τη μέθοδο σε σχέση με άλλες μεθόδους της ίδιας κατηγορίας είναι οι εξής: (α) επέκταση στην έννοια των κριτηρίων, (β) εκτιμώμενη σχέση υπεροχής και (γ) εκμετάλλευση της σχέσης υπεροχής.

Στη μέθοδο PROMETHEE η εκτιμώμενη σχέση υπεροχής είναι λιγότερο ευαίσθητη σε μικρές τροποποιήσεις και κατά συνέπεια, είναι εύκολη η ερμηνεία της. Η εκμετάλλευση της σχέσης υπεροχής πραγματοποιείται όταν οι εναλλακτικές λύσεις πρέπει να ταξινομηθούν από την καλύτερη προς τη χειρότερη. Η μέθοδος PROMETHEE I παρέχει μια μερική ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων (partial ranking) και η PROMETHEE II πραγματοποιεί μια πλήρη ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων (complete ranking). [19]

3.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Όλες οι μέθοδοι πολυκριτηριακής αξιολόγησης είναι αποτελεσματικές, αρκεί κάθε φορά να εφαρμόζεται η κατάλληλη μέθοδος στο αντίστοιχο πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί. Το ζήτημα που τίθεται για επίλυση στην παρούσα εργασία είναι η μελέτη της εφοδιαστικής αλυσίδας ΥΦΑ στην Ελλάδα. Η μέθοδος που θεωρήθηκε καταλληλότερη για το συγκεκριμένο πρόβλημα είναι η PROMETHEE II. Οι λόγοι που οδήγησαν σ'αυτή την απόφαση είναι οι εξής:

- Αρχικά, η PROMETHEE εφαρμόζεται κυρίως σε θέματα για την αξιολόγηση καταλληλότητας αξιοποιήσης της γης. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκρίνει τα αποτελέσματα από διάφορες εναλλακτικές πηγές όπως εργαλεία φυσικής αξιολόγησης, μοντελοποίησης και περιβαλλοντικής αξιολόγησης. Η PROMETHEE μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την βέλτιστη εναλλακτική λύση για ένα σχέδιο/έργο, λαμβάνοντας υπόψιν πάντα και τις συνέπειες αυτών.
- Η PROMETHEE (όπως όλες οι μέθοδοι κατάταξης) μπορεί να εξετάσει ποιοτικά και ποσοτικά κριτήρια.
- Η PROMETHEE μπορεί να διαχειριστεί αβέβαιες και ασαφείς πληροφορίες. [51]
- Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα, στη μέθοδο PROMETHEE επιτρέπεται σε κάποια ζεύγη εναλλακτικών να παραμένουν ως μη συγκρίσιμα, σε αντίθεση με την αναλυτική ιεραρχική διαδικασία, όπου απαραίτητη προϋπόθεση είναι οι επιλογές, να είναι άμεσα συγκρίσιμες. [18]
- Από την άλλη, η μέθοδος AHP έχει ένα μεγάλο μειονέκτημα ότι ο αριθμός των συγκρίσεων κατά ζεύγη που πρέπει να γίνουν μπορεί να είναι πολύ μεγάλος με αποτέλεσμα να αυξάνεται σημαντικά η αβεβαιότητα της διαδικασίας. Επιπλέον, η AHP έχει επικριθεί για την αξιοπιστία λόγω των πεποιθήσεων και των προτιμήσεων του υπευθύνου λήψης αποφάσεων. [50]
- Η μέθοδος ELECTRE μπορεί να επιτευχθεί ακόμη και αν δεν υπάρχει σαφής προτίμηση για κάποια από τις εναλλακτικές, και δεν εξαρτάται από τις αντιλήψεις του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων. Επομένως, είναι αξιόπιστη μέθοδος. Ωστόσο, είναι μια αρκετά περίπλοκη μέθοδος λήψης αποφάσεων αφού απαιτεί πολλά κύρια δεδομένα. [50]

3.6 ΜΕΘΟΔΟΣ PROMETHEE

3.6.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PROMETHEE

- Εναλλακτικές είναι οι επιλογές ανάμεσα στις οποίες πρέπει να διαλέξει ο αποφασίζων για τη λήψη της απόφασης.
- Κριτήρια είναι τα χαρακτηριστικά στοιχεία που διακρίνουν τις εναλλακτικές και με βάση αυτά θα αξιολογηθούν οι εναλλακτικές.
- Συνάρτηση προτίμησης είναι η συνάρτηση που μετατρέπει τη διαφορά των εκτιμήσεων δυο εναλλακτικών σε ένα βαθμό προτίμησης.
- Κατώφλι είναι μια τιμή με βάση την οποία ορίζεται η απόκλιση και κατά συνέπεια η αδιαφορία ή η προτίμηση μεταξύ δύο εναλλακτικών.
- Δείκτης προτίμησης είναι η προτίμηση του αποφασίζοντα για μια έναλλακτική σε σχέση με μια άλλη. [19]

3.6.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Έστω ότι έχουμε να επιλύσουμε το ακόλουθο πρόβλημα πολλαπλών κριτηρίων:

$$\textbf{Max } \{ f_1(a),\ldots, f_k(a) \mid a \in K \} \qquad (1.1)$$

όπου το K είναι ένα πεπερασμένο σύνολο ενεργειών και $\mathbf{f_i}$ με i = 1 ... k, είναι τα k κριτήρια που πρέπει να βελτιστοποιηθούν.

Οι μέθοδοι PROMETHEE (Preference Ranking ORganization METHod for Enrichment Evaluations) ανήκουν στην οικογένεια των μεθόδων κατάταξης και περιλαμβάνουν δύο φάσεις:

- την κατασκευή της σχέσης υπεροχής και
- την μετέπειτα ανάλυσή αυτής της σχέσης ώστε να δώσει λύση στη σχέση (1.1)

Στην πρώτη φάση, ορίζεται μια σχέση υπεροχής και ο αποφασίζων εκφράζει τις προτιμήσεις του σχετικά με τις εξεταζόμενες εναλλακτικές ενέργειες :

- Υπολογισμός της συνάρτησης προτίμησης P

Έστω f ένα κριτήριο απόφασης, οι τιμές του οποίου ανήκουν στο σύνολο των πραγματικών αριθμών, δηλαδή **f: K → R** και έστω ότι το κριτήριο αυτό θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί, χωρίς αυτό να αποτελεί περιορισμό. Για κάθε εναλλακτική ενέργεια **a ∈ K** , ορίζεται ως **f(a)** η εκτίμηση της ενέργειας αυτής πάνω στο συγκεκριμένο κριτήριο (η τιμή του κριτηρίου για την ενέργεια **a**).

Όταν συγκρίνονται δύο εναλλακτικές ενέργειες **a,b ∈ K**, η διαφορά των εκτιμήσεων τους πρέπει να μετατραπεί σε όρους προτίμησης. Ορίζεται λοιπόν η συνάρτηση προτίμησης P ως εξής: [19]

$$\mathbf{P : K \times K \rightarrow (0,1)}$$

Η συνάρτηση αυτή εκφράζει την ένταση της προτίμησης των δύο εναλλακτικών ενεργειών, δηλαδή την ένταση της προτίμησης του αποφασίζοντα για την εναλλακτική ενέργεια a ως προς την εναλλακτική ενέργεια b, ως εξής: [19]

- P(a,b) = 0 ⇒ Υπάρχει αδιαφορία μεταξύ των ενεργειών a και b
- P(a,b) ~ 0 ⇒ Υπάρχει ελαφρά προτίμηση της a από τη b
- P(a,b) ~ 1 ⇒ Υπάρχει ισχυρή προτίμηση της a από τη b
- P(a,b) =1⇒ Υπάρχει σαφής προτίμηση της a από τη b

Στην πραγματικότητα η συνάρτηση προτίμησης είναι η συνάρτηση της διαφοράς των εκτιμήσεων των δύο εναλλακτικών ενεργειών, δηλαδή:

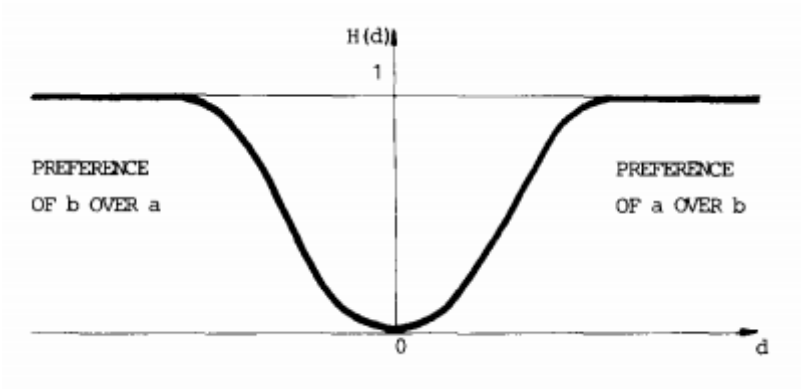
$$\mathbf{P(a,b) = P[f(a) - f(b)]}$$

Η συνάρτηση προτίμησης, όπως έχει οριστεί, είναι μια αύξουσα συνάρτηση της διαφοράς d = f(a) - f(β), η οποία παίρνει την τιμή 0 για όλες τις αρνητικές τιμές του d (επομένως δεν παίρνει αρνητικές τιμές). Το γεγονός αυτό δικαιολογείται εφόσον η συνάρτηση προτίμησης δείχνει μόνο την ένταση της προτίμησης της ενέργειας **a** από την ενέργεια **b**, ενώ όταν η **b** υπερέχει της **a** τότε η συνάρτηση προτίμησης παίρνει την τιμή 0.

Προκειμένου η συνάρτηση προτίμησης να λαμβάνει υπόψη και την υπεροχή της εναλλακτικής ενέργειας **b** ως προς την εναλλακτική ενέργεια **a**, ορίζεται η συνάρτηση H:

$$\mathbf{H(d)=}\begin{cases}\mathbf{P(a,b), d \geq 0}\\ \mathbf{P(b,a), d \leq 0}\end{cases}$$

Όταν η διαφορά d παίρνει θετικές τιμές, τότε η συνάρτηση H(d) δείχνει την ένταση της προτίμησης της εναλλακτικής α ως προς την εναλλακτική β. Όταν η διαφορά d παίρνει αρνητικές τιμές, τότε η συνάρτηση H(d) δείχνει την ένταση της προτίμησης της β ως προς την α. Η μορφή της συνάρτησης H(d) παρουσιάζεται στην Εικόνα 29. [19]

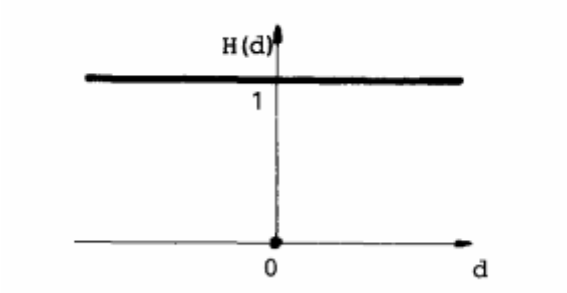


Εικόνα 29: Η μορφή της συνάρτησης H(d) [19]

Υπάρχουν έξι γενικευμένα κριτήρια, τα οποία καλύπτουν, στις περισσότερες πρακτικές περιπτώσεις, τον τρόπο με τον οποίο εκφράζει τις προτιμήσεις του ο αποφασίζων: [19]

1. Κοινό κριτήριο (usual form) : Στο κοινό κριτήριο ο αποφασίζων υποθέτει αδιαφορία μεταξύ δύο εναλλακτικών ενεργειών a και b αν και μόνο αν f(a)=f(b). Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, ο αποφασίζων θεωρεί ότι υπάρχει σαφής προτίμηση για την ενέργεια με την μεγαλύτερη εκτίμηση. Η συνάρτηση H(d) του κοινού κριτηρίου είναι η παρακάτω: [19]

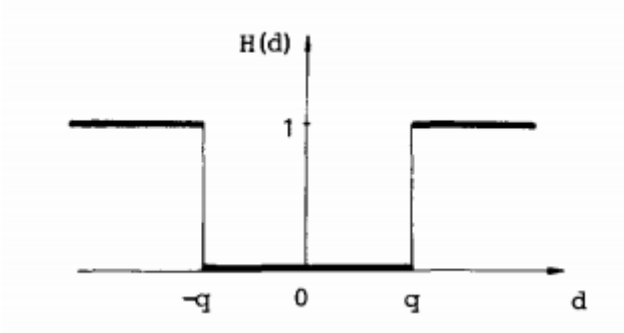
$$H(d)=\begin{cases} \mathbf{0, if\ d = 0} \\ \mathbf{1, if\ d \neq 0} \end{cases}$$



Εικόνα 30: Usual form [19]

2. Κριτήριο με κατώφλι αδιαφορίας (U form ή Quasi criterion): Στο κριτήριο με κατώφλι αδιαφορίας, ο αποφασίζων θεωρεί ότι υπάρχει αδιαφορία μεταξύ δύο εναλλακτικών ενεργειών, εφόσον η διαφορά των αξιολογήσεων τους δεν υπερβαίνει το όριο αδιαφορίας q, διαφορετικά υπάρχει αυστηρή προτίμηση. Για την εφαρμογή αυτού του γενικευμένου κριτηρίου, ο αποφασίζων θα πρέπει να καθορίσει το όριο αδιαφορίας, το οποίο αναπαριστά τη μέγιστη τιμή της διαφοράς των εκτιμήσεων των δύο συγκρινόμενων ενεργειών. Κάτω από αυτή την τιμή, ο αποφασίζων θεωρεί αδιαφορία μεταξύ των συγκρινόμενων ενεργειών. Η συνάρτηση H(d) του κριτηρίου με κατώφλι αδιαφορίας είναι η παρακάτω: [19]

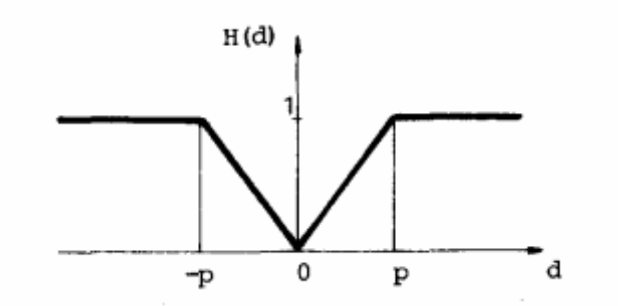
$$H(d)=\begin{cases} \mathbf{0, if -q \leq d \leq q} \\ \mathbf{1, if\ d < -q\ or\ d} > q \end{cases}$$



Εικόνα 31: U form[19]

3. Κριτήριο γραμμικής προτίμησης (V form or criterion with linear preference): Το κριτήριο γραμμικής προτίμησης περιλαμβάνει κατωφλι προτίμησης p. Ο αποφασίζων θεωρεί ότι εφόσον η διαφορά των συγκρινόμενων ενεργειών είναι μικρότερη από το όριο προτίμησης p, τότε η προτίμηση αυξάνεται γραμμικά με το d. Αν το d γίνει μεγαλύτερο από το p, τότε έχουμε σαφή κατάσταση προτίμησης. Η συνάρτηση H(d) του κριτηρίου γραμμικής προτίμησης είναι η παρακάτω: [19]

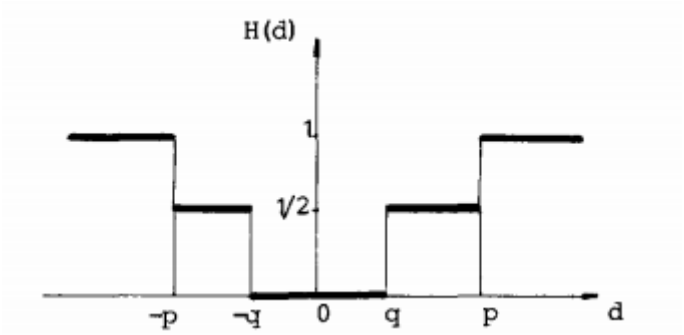
$$H(d)=\begin{cases} \frac{d}{p}, \text{if } -p \le d \le p \\ 1, \text{if } d < -p \text{ or } d > p \end{cases}$$



Εικόνα 32: V form [19]

4. Βαθμωτό κριτήριο (level form): Το κριτήριο αυτό περιλαμβάνει κατώφλι αδιαφορίας q και κατωφλι προτίμησης p και ορίζεται ένα επίπεδο ενδιάμεσης προτίμησης μεταξύ αδιαφορίας και προτίμησης. Εάν το d βρίσκεται μεταξύ q και p, υπάρχει μια ασθενής κατάσταση προτίμησης (H(d)=1/2). Η συνάρτηση H(d) του κριτηρίου αυτού είναι η παρακάτω: [19]

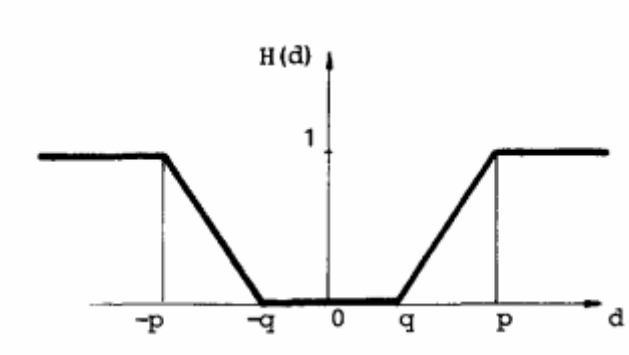
$$H(d)=\begin{cases} 0, if\ |d| \le q \\ \frac{1}{2}, if\ q < |d| \le p \\ 1, if\ p < |d| \end{cases}$$



Εικόνα 33: Level form [19]

5. Κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας (criterion with linear preference and indifference area):Το κριτήριο αυτό περιλαμβάνει κατώφλι αδιαφορίας q και κατώφλι προτίμησης p. Σε αυτήν την περίπτωση, ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων θεωρεί ότι η προτίμησή του αυξάνεται γραμμικά από την αδιαφορία στην αυστηρή προτίμηση στην περιοχή μεταξύ των δύο ορίων q και p. Η συνάρτηση H(d) του κριτηρίου αυτού είναι η παρακάτω: [19]

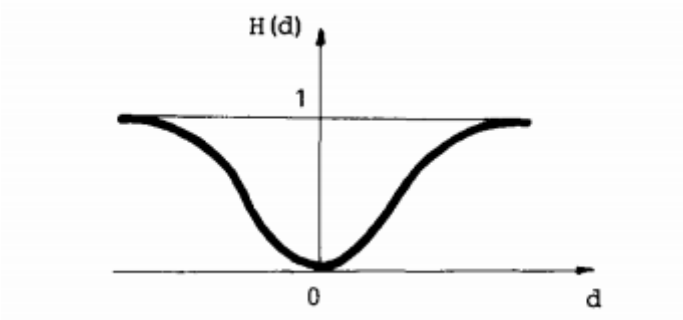
$$H(d)=\begin{cases} 0, if\ |d| \le q \\ \frac{|d|-q}{p-q}, if\ q < |d| \le p \\ 1, if\ p < |d| \end{cases}$$



Εικόνα 34: Linear preference and indifference area [19]

6. Κριτήριο Gauss (Gaussian criterion): Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο, οι προτιμήσεις του αποφασίζοντα ακολουθούν τη συνάρτηση του Gauss, όπου η παράμετρος σ αναπαριστά την απόσταση από τον κάθετο άξονα, στην οποία η καμπύλη προτίμησης αλλάζει κλίση και μπορεί εύκολα να καθοριστεί, χρησιμοποιώντας τους πίνακες της κανονικής κατανομής σ.
Η συνάρτηση H(d) του κριτηρίου αυτού είναι η παρακάτω: [19]

$$H(d)= 1- \exp(-d^2/2\sigma^2)$$



Εικόνα 35: Gaussian criterion [19]

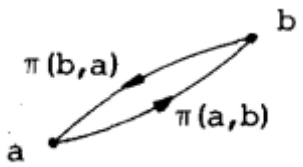
Στη συνέχεια, ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων θα πρέπει να καθορίσει μια συνάρτηση προτίμησης P. Για το λόγο αυτό, καθορίζει ένα βάρος **m** για κάθε κριτήριο **f** του προβλήματος (1.1). Το βάρος **m** είναι ένα μέτρο σχετικής σημασίας του κριτηρίου **f**. Εάν όλα τα κριτήρια έχουν την ίδια σημασία για τον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων, όλα τα βάρη μπορούν να θεωρηθούν ίσα. Ο δείκτης προτίμησης πολλαπλών κριτηρίων **Π** ορίζεται ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των συναρτήσεων προτίμησης $\mathbf{P_i}$ και περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση: [19]

$$\Pi(a,b)=\frac{\sum_{i=1}^{k} \pi i P i(a,b)}{\sum_{i=1}^{k} \pi i}$$

Το Π(a, b) αντιπροσωπεύει την ένταση της προτίμησης του αποφασίζοντα για μια εναλλακτική a συγκριτικά με μια εναλλακτική b, όταν εξετάζονται ταυτόχρονα όλα τα κριτήρια. Οι τιμές που παίρνει είναι μεταξύ 0 και 1 έτσι ώστε:

- Π(a, b) = 0 → δηλώνει μια ελαφριά προτίμηση του a ως προς το b, εξετάζοντας όλα τα κριτήρια.
- Π(a, b) = 1 → δηλώνει μια ισχυρή προτίμηση του a ως προς το b, εξετάζοντας όλα τα κριτήρια.

Αυτός ο δείκτης προτίμησης καθορίζει μια σχέση υπεροχής στο σύνολο K εναλλακτικών. Η σχέση αυτή μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα γράφημα υπεροχής, οι κόμβοι του οποίου αναπαριστούν τις εναλλακτικές ενέργειες και τα τόξα που ενώνουν τους κόμβους αναπαριστούν την υπεροχή μιας εναλλακτικής ενέργειας ως προς μια άλλη. [19]



Εικόνα 36: Γράφημα υπεροχής [19]

- Υπολογισμός των ροών υπεροχής

Για κάθε κόμβο a του γραφήματος, ορίζονται οι ροές εισόδου και εξόδου ως εξής:

Η θετική ροή ή ροή εξόδου δείχνει την υπεροχή της έναλλακτικής a ως προς όλες τις υπόλοιπες μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$\phi^{+}(\alpha)= \sum_{beK} \Pi(a,b)$$

Η αρνητική ροή ή ροή εισόδου δείχνει την υπεροχή όλων των υπολοίπων εναλλακτικών έναντι της a μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$\boldsymbol{\phi^{-}(\alpha)} = \sum_{beK} \boldsymbol{\Pi}(\boldsymbol{b}, \boldsymbol{a})$$

Τέλος, υπολογίζουμε την καθαρή ροή για έναν κόμβο, αφαιρώντας τη ροή εισόδου από τη ροή εξόδου. Η καθαρή ροή δείχνει την πλήρη κατάταξη της εναλλακτικής **α** έναντι όλων των υπολοίπων μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$\boldsymbol{\phi(\alpha) = \phi^{+}(\alpha) - \phi^{-}(\alpha)}$$

Χρησιμοποιώντας τις καθαρές ροές για κάθε κόμβο του γραφήματος υπεροχής έχουμε τις παρακάτω κατατάξεις:

- Μερική κατάταξη των δράσεων μέσω PROMETHEE I
- Πλήρης κατάταξη των δράσεων μέσω PROMETHEE II [[19]]

3.7 ΣΤΑΘΜΙΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Κάθε κριτήριο, ποιοτικό ή ποσοτικό, μπορεί να αντιστοιχηθεί με μια συγκεκριμένη βαρύτητα για να γίνει ακριβέστερη έρευνα λήψης αποφάσεων. Στα ποιοτικά κριτήρια, ο καθορισμός της βαρύτητας μπορεί να οριστεί από τον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων και μπορεί να διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από έναν λήπτη αποφάσεων σε έναν αλλο. Για την κάλυψη αυτής της αδυναμίας, ο Saaty πρότεινε μια αριθμητική κλίμακα (0-9) για τη μετατροπή ποιοτικών δεδομένων σε ποσοτικά, όπου το 1 περιγράφεται ως ίσης σημασίας ή προτίμησης και το 9 περιγράφει μια κατάσταση με ακραία σημασία ή προτίμηση. [[17]]

Η στάθμιση των κριτηρίων αποτελεί προαιρετική ενέργεια για τον λήπτη αποφάσεων. Οι μεταβλητές των κριτηρίων μπορούν να θεωρηθούν ίσης ή διαφορετικής σημασίας. Αν θέλουμε να λάβουμε υπόψιν τη διαφορετική σημασία κάθε κριτηρίου, θα πρέπει να αποδόσουμε σε καθένα από αυτά ένα βάρος. Τα διαφορετικά βάρη θα επηρεάσουν άμεσα τα αποτελέσματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης λήψης αποφάσεων. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι με τους οποίους σταθμίζουμε τα κριτήρια:

- Υποκειμενικές μέθοδοι στάθμισης όπως άμεση ανάθεση των βαρών, και οι μέθοδοι SMART, SWING, SIMOS
- Αντικειμενικές μέθοδοι στάθμισης όπως η μέθοδος της εντροπίας, η μέθοδος TOPSIS και συνδυασμός μεθόδων στάθμισης.

Η πιο κατάλληλη μέθοδος στάθμισης μπορεί να επιλεγεί λαμβάνοντας υπόψιν:

- τη διακύμανση των βαθμών των κριτηρίων
- την ανεξαρτησία των κριτηρίων
- τις υποκειμενικές προτιμήσεις των υπευθύνων λήψης αποφάσεων και των ενδιαφερομένων. [52]

3.7.1 ΜΕΘΟΔΟΣ SIMPLE MULTI-ATTRIBUTE RATING TECHNIQUE (SMART)

Η μέθοδος SMART αναπτύχθηκε ως διαδικασία αξιολόγησης εναλλακτικών και κριτηρίων στάθμισης από τον Edwards το 1977. [53] Στην περίπτωση της μεθόδου SMART, ο καθορισμός των βαρών των κριτηρίων πραγματοποιείται σε δύο φάσεις. Αρχικά, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων καθορίζουν τη σειρά σπουδαιότητας των κριτηρίων. Στη συνέχεια, ξεκινώντας από το λιγότερο σημαντικό κριτήριο, οι ενδιαφερόμενοι αξιολογούν τη σχετική σημασία του επόμενου κριτηρίου σε σύγκριση με το προηγούμενο που έχει αξιολογηθεί εκχωρώντας ένα σκορ σε αυτό, υψηλότερο από το σκορ που ανατέθηκε στο προηγούμενο. Στο πιο σημαντικό κριτήριο αποδίδεται ο αριθμός 100. Τέλος, αυτά τα βάρη κανονικοποιούνται ώστε το άθροισμα τους να ισούται με 1 ή 100%. [56]

Ο Edwards και ο Barron απαρίθμησαν τα μειονεκτήματα της μεθόδου SMART και παρουσίασαν το 1994 μια βελτιωμένη έκδοση, τη μέθοδο SMARTER. [53]

Ορισμένοι θεωρούν ότι η διαδικασία καθορισμού των συντελεστών βάρους δεν είναι βολική και ότι η χρήση του συνιστάται σε περιπτώσεις επίλυσης προβλημάτων όταν υπάρχει μεγάλη ποσότητα πληροφοριών και η πρόσβαση στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων είναι εύκολη και όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο ειδικό λογισμικό. [56]

3.7.2 ΜΕΘΟΔΟΣ SWING

Η μέθοδος SWING αποτελεί μια αλγεβρική και άμεση διαδικασία.[53] Ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων καλείται να επιλέξει την εναλλακτική με το χειρότερο αποτέλεσμα και επιλέγει το κριτήρια των οποίων η απόδοση είναι πιθανό να αλλάξει από το χειρότερο στο καλύτερο. Στο κριτήριο που θεωρεί το πιο σημαντικό δίνεται το υψηλότερο βάρος, π.χ. 100 βαθμοί. Στα υπόλοιπα κριτήρια επιλέγεται μια τιμή μεταξύ 0 και 100 αναλόγως τη σημασία που έχουν για εκείνον. [52] Προχωρώντας με αυτόν τον τρόπο, ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων κατατάσσει όλα τα κριτήρια και εκχωρεί σημεία σχετικής σημασίας στα εύρη τιμών τους. Τέλος, οι αριθμοί που έχουν δωθέι ως βάρη κριτηρίων κανονικοποιούνται ώστε το άθροισμα τους να ισούται με 1. [53]

3.7.3 ΜΕΘΟΔΟΣ SIMOS

Η μέθοδος SIMOS, που πρότεινε ο Jean Simos το 1990, συνίσταται στην αντιστοιχία των κριτηρίων με κάρτες ενός «παιγνιόχαρτου». Οι συμμετέχοντες καλούνται να βαθμολογήσουν αυτές τις κάρτες (ή κριτήρια) από τις λιγότερο σημαντικές στις πιο σημαντικές. Τα πρώτα κριτήρια στην κατάταξη είναι τα λιγότερο σημαντικά και τα τελευταία κριτήρια στην κατάταξη είναι τα πιο σημαντικά. Εάν δύο κριτήρια ή και παραπάνω είναι εξίσου σημαντικά, αυτά θα βρίσκονται στην ίδια θέση κατάταξης. Επίσης, οι συμμετέχοντες χρησιμοποιούν τις λευκές κάρτες ανάμεσα σε δύο διαδοχικές χρωματιστές κάρτες (ή ομάδα καρτών) προκειμένου να εκφράσουν την προτίμησή τους μεταξύ των

κριτηρίων. Ο αριθμός των λευκών καρτών είναι ανάλογος της διαφοράς μεταξύ της σημασίας των κριτηρίων.

Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα βάρη των κριτηρίων χρησιμοποιώντας τις θέσεις κατάταξης που τους έχουμε αποδόσει. Οι θέσεις κατάταξης διαιρούνται με το συνολικό άθροισμα των θέσεων των εξεταζόμενων κριτηρίων. Το άθροισμα των συνολικών βαρών των κριτηρίων ισούται με 1. [53]

3.7.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ

Η θεωρία της μεθόδου Εντροπίας αναπτύχθηκε το 1948 από τον Αμερικανό μαθηματικό Claude Shannon. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη μέτρηση της ποσότητας της πληροφορίας που υπάρχει σε ένα μήνυμα. Μέσω της διαφοροποίησης των αριθμητικών τιμών κάθε κριτηρίου, η εντροπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή αντικειμενικής βαρύτητας των κριτηρίων αξιολόγησης. Για παράδειγμα, ένα κριτήριο του οποίου οι τιμές των εναλλακτικών επιλογών είναι όλες ίδιες, δεν έχει καθόλου βαρύτητα με βάση την εντροπία. Αντιθέτως, αν υπάρχει μεγάλη απόκλιση των τιμών, τότε η πληροφορία είναι μεγαλύτερη και άρα η βαρύτητα του κριτηρίου αυτού θα είναι επίσης μεγαλύτερη.

Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου εντροπίας είναι ότι δεν συμπεριλαμβάνει την υποκειμενική κρίση του λήπτη απόφασεων. Η μέθοδος αυτή βρίσκει κυρίως εφαρμογή σε περιπτώσεις που υπάρχει έλλειψη ειδικών να εκφράσουν τη γνώμη τους επί των κριτηρίων του προβλήματος. [55]

3.7.5 ΜΕΘΟΔΟΣ TECHNIQUE FOR ORDER OF PREFERENCE BY SIMILARITY TO IDEAL SOLUTION (TOPSIS)

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε αρχικά από τους Ching-Lai Hwang και Yoon το 1981 και στη συνέχεια εξελίχθηκε από τους Yoon το 1987 και τους Hwang, Lai και Liu το 1993. Η TOPSIS βασίζεται στην ιδέα ότι η επιλεγμένη εναλλακτική λύση θα πρέπει να έχει τη μικρότερη απόκλιση από τη θετική ιδανική λύση (Positive Ideal Solution) και τη μεγαλύτερη απόκλιση από την μη ιδανική λύση. [55]

Η μέθοδος TOPSIS χρησιμοποιείται ως μέθοδος στάθμισης βαρών των κριτηρίων αλλά και ως μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης λήψης αποφάσεων (MCDA). Η μέθοδος προϋποθέτει ότι κάθε κριτήριο έχει μονότονη αυξανόμενη ή μειούμενη χρησιμότητα. Αυτό καθιστά εύκολο τον εντοπισμό των ιδανικών και μη ιδανικών λύσεων. [53]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{ο}: ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΥΦΑ

4.1 ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ

Τα τελευταία χρόνια, η ζήτηση φυσικού αερίου για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών ολοένα και αυξάνεται. Πρόκειται για το πιο φιλικό προς το περιβάλλον, από όλα τα ορυκτά καύσιμα (με μηδενικές εκπομπές διοξειδίων του θείου και σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα), αποθηκεύεται εύκολα, ενώ διαθέτει σημαντικά υψηλότερη ενεργειακή απόδοση και μικρότερο κόστος. Συνεπώς, ολοένα και πιο απαραίτητη γίνεται η ύπαρξη αλυσίδων εφοδιασμού με υγροποιημένο φυσικό αέριο, μεσαίας ή ακόμα και μικρής κλίμακας για κάλυψη μεγαλύτερου εύρους απαιτήσεων. Σκοπός της εργασίας είναι ο βέλτιστος σχεδιασμός τερματικού σταθμού αποθήκευσης και αεριοποίησης υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ελλάδα με χρήση της πολυκριτήριας μεθόδου PROMETHEE.

Οι προοπτικές για την υλοποίηση του Τερματικού Σταθμού LNG στην Αλεξανδρούπολη παρουσιάζουν ιδιαίτερο επενδυτικό ενδιαφέρον. Πρόκειται για το μεγαλύτερο ενεργειακό έργο των τελευταίων ετών στη Βόρεια Ελλάδα, ύψους 380 εκατ. ευρώ, που αναμένεται να δημιουργήσει νέα δεδομένα στην προμήθεια φυσικού αερίου, όχι μόνο στη χώρα μας αλλά και στην ευρύτερη περιοχή της Νοτιοανατολικής Ευρώπης. Το έργο του Ανεξάρτητου Συστήματος Φυσικού Αερίου Αλεξανδρούπολης ή εν συντομία ΑΣΦΑ αποτελεί ένα αρκετά σύγχρονο, πρωτοποριακό αλλά και υψηλής τεχνολογίας έργο που πρόκειται να αποτελέσει μία πολύ καλή επένδυση στην Βόρειο Ελλάδα και μία νέα είσοδο Υγροποιημένου Φυσικού αερίου στα Βαλκάνια. Ο τερματικός σταθμός φυσικού αερίου (LNG) θα αποτελέσει την τέταρτη πύλη εισόδου φυσικού αερίου στην Ελλάδα που θα ελέγχεται από την ελληνική πολιτεία και θα αποφευχθεί ο κίνδυνος της τροφοδοσίας με αγωγούς μέσω Τουρκίας.

Το έργο έχει ενταχθεί στα έργα κοινού ενδιαφέροντος της Ευρωπαϊκής Ενωσης και είναι πλήρως αδειοδοτημένο. Τον Δεκέμβριο 2019, η ΔΕΠΑ και η Gastrade υπέγραψαν την οριστική συμφωνία για την απόκτηση μεριδίου 20% από τη ΔΕΠΑ στο μετοχικό κεφάλαιο της Gastrade. [14]

Εικόνα 37 : Πρωραίο τμήμα πλωτής μονάδας ΑΣΦΑ Αλεξανδρούπολης [14]

4.1.1 ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ (ΑΣΦΑ) ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ

Ο τερματικός σταθμός στην Αλεξανδρούπολη θα είναι πλωτή μονάδα αποθήκευσης και επαναεριοποίησης ΥΦΑ με αποθηκευτική ικανότητα 170.000 κ.μ. υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG). Η πλωτή μονάδα θα περιλαμβάνει σύστημα πρόσδεσης δεξαμενόπλοιων, τέσσερις δεξαμενές αποθήκευσης, τέσσερις μονάδες αεριοποίησης δυναμικότητας 400 κυβικών μέτρων ΥΦΑ /ώρα η καθεμία, μονάδες ηλεκτροπαραγωγής για την εξυπηρέτηση των αναγκών της πλωτής μονάδας σε ηλεκτρική ενέργεια, μετρητική μονάδα για την μέτρηση των ποσοτήτων φυσικού αερίου που αεριοποιούνται και χώρους διαμονής και ενδιαίτησης για το πλήρωμα.

Η πλωτή μονάδα θα είναι μόνιμα αγκυροβολημένη σε σταθερό σημείο και σε απόσταση 17,6 χλμ ΝΔ από το λιμάνι της Αλεξανδρούπολης και 10 χλμ από την απέναντι ακτή της Μάκρης. Ο πυργίσκος πρόσδεσης θα της επιτρέπει να περιστρέφεται κατά 360° ανάλογα με την κατεύθυνση του κυματισμού της θάλασσας.

Το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (ΥΦΑ) θα φθάνει στην πλωτή μονάδα με δεξαμενόπλοια μεταφοράς ΥΦΑ, θα μεταγγίζεται με βραχίονες και θα αποθηκεύεται προσωρινά στις κρυογενικές δεξαμενές της μονάδας. Στη συνέχεια το ΥΦΑ θα αεριοποιείται στις εγκαταστάσεις αεριοποίησης που βρίσκονται πάνω στην πλωτή μονάδα και μέσω ειδικής διάταξης (πυργίσκος και εύκαμπτοι αγωγοί) θα μεταφέρεται από την πλωτή μονάδα στον υποθαλάσσιο αγωγό μεταφοράς ο οποίος ακολουθώντας μία διαδρομή 24 χλμ θα προσαιγιαλώνεται στην περιοχή του Απαλού, ανατολικά της Αλεξανδρούπολης. Κατόπιν, συνεχίζοντας με βόρεια πορεία 4 χλμ θα καταλήγει στο νέο Μετρητικό και Ρυθμιστικό Σταθμό στην περιοχή Αμφιτρίτης όπου θα συνδέεται με το Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού Αερίου. [14]

4.1.2 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΑΣΦΑ

Το ΑΣΦΑ Αλεξανδρούπολης αποτελείται από πέντε βασικά μέρη: [13]

1) Την Υπεράκτια Πλωτή Μονάδα αποθήκευσης και αεριοποίησης ΥΦΑ με χωρητικότητα δεξαμενών ΥΦΑ έως 170.000m³, μέγιστη ωριαία δυναμικότητα αεριοποίησης φυσικού αερίου σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας έως 700.000 Nm³/h και ρυθμό μετάγγισης ΥΦΑ έως 10.000 m³/h.

2) Το αγκυροβόλιο της πλωτής μονάδας σε σταθερό σημείο σε θαλάσσια περιοχή βάθους περίπου 40 μ. και σε απόσταση 17,6 χλμ νοτιοδυτικά της Αλεξανδρούπολης και 10 χλμ από την απέναντι ακτή της Μάκρης. Το αγκυροβόλιο αποτελείται από τον πυργίσκο και το σύστημα αγκύρωσης (συρματόσχοινα και άγκυρες αναρρόφησης)

3) Τους δύο εύκαμπτους αγωγούς διαμέτρου 14" ο καθένας, μέσω των οποίων το φυσικό αέριο μεταφέρεται από τον πυργίσκο στην Πολλαπλή Εξαγωγής Τέρματος Αγωγού (Pipeline End Manifold ή PLEM)

4) Την υποθαλάσσια Πολλαπλή Εξαγωγής Τέρματος Αγωγού (PLEM) η οποία βρίσκεται επί του πυθμένα της θάλασσας και από την οποία ξεκινά ο υποθαλάσσιος αγωγός.

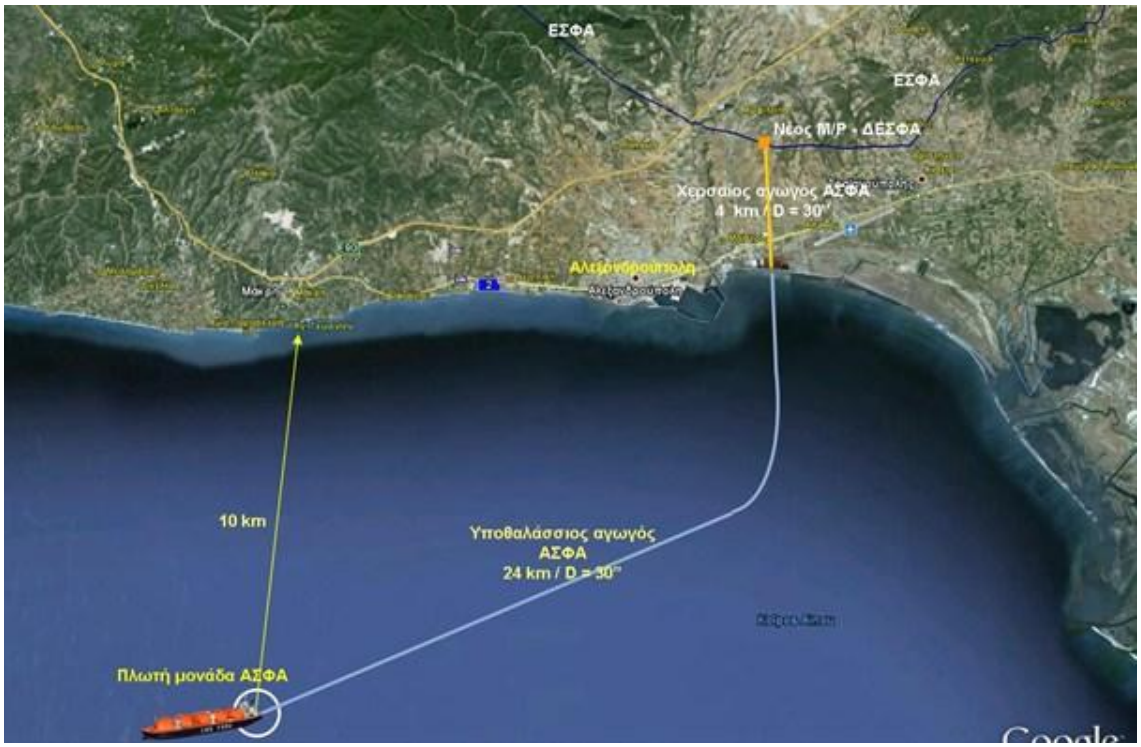
5) Το υποθαλάσσιο και το χερσαίο τμήμα του αγωγού φυσικού αερίου για την μεταφορά του φυσικού αερίου προς το Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου (ΕΣΦΑ). Το υποθαλάσσιο τμήμα του αγωγού θα έχει μήκος περί τα 24 χλμ ενώ στην συνέχεια το χερσαίο τμήμα οδεύει βόρεια περί τα 4 χλμ μέχρι να συναντήσει τον αγωγό του Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου (ΕΣΦΑ) στο τμήμα «Κήπων-Κομοτηνής» όπου θα συνδέεται και θα διοχετεύει το μεταφερόμενο αέριο σε αυτόν. [13]

4.1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑ

1. Ο ΑΣΦΑ Αλεξανδρούπολης αποτελεί μια νέα ενεργειακή πύλη για την Ελλάδα και τις χώρες της ΝΑ Ευρώπης.
2. Έχει στρατηγική θέση διότι μπορεί να προσελκύει ένα ευρύ φάσμα διεθνών προμηθευτών, συμπεριλαμβανομένων μελλοντικά και εκείνων της Αν. Μεσογείου, ενώ ταυτόχρονα βρίσκεται στο σταυροδρόμι των ενεργειακών διαδρόμων και αγωγών της περιοχής. Αναλυτικότερα:
    - Συνδέεται απευθείας με το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού Αερίου (ΕΣΦΑ) και τροφοδοτεί την Ελληνική αγορά.
    - Έχει άμεση πρόσβαση στην αγορά της Βουλγαρίας και διαμέσου αυτής της Ρουμανίας, της Σερβίας και του FYROM και περαιτέρω, της Ουγγαρίας και των αγορών της Αν. Ευρώπης μέσω του διασυνδετήριου αγωγού Ελλάδας – Βουλγαρίας (IGB) και των άλλων διασυνδετήριων αγωγών που είτε λειτουργούν είτε σχεδιάζονται πχ. Βουλγαρίας – Ρουμανίας, Βουλγαρίας – Σερβίας, Ουγγαρίας - Ρουμανίας. [15]
    - Μπορεί να εφοδιάσει τη μεγάλη και ραγδαία αναπτυσσόμενη αγορά της Τουρκίας μέσω αντίστροφης ροής του υφιστάμενου διασυνδετηρίου δικτύου.

- Έχει τη δυνατότητα να διασυνδεθεί και να υποστηρίξει τις μελλοντικές υποδομές αερίου του Νοτίου Διάδρομου, όπως ο TAP, και να αποκτήσει πρόσβαση στις Αγορές της Δυτικής Ευρώπης και τον Δακτύλιο Φ.Α. των Δυτικών Βαλκανίων.

3. Ειδικά για την Ελληνική αγορά, συμβάλλει στην ενεργειακή ασφάλεια, προωθεί τον ανταγωνισμό στην εσωτερική αγορά με προφανή οφέλη για τους τελικούς καταναλωτές, ενισχύει την αντοχή και ευελιξία του Εθνικού συστήματος φυσικού αερίου και υποστηρίζει την ενεργειακή αειφορία και τον στόχο της μείωσης των εκπομπών αερίων ρύπων.
4. Για τις χώρες της Βαλκανικής και της ΝΑ Ευρώπης γενικότερα, προσφέρει πρόσβαση σε εναλλακτικές πηγές προμήθειας φυσικού αερίου και μέσω των διασυνδετήριων αγωγών δημιουργεί νέες, εναλλακτικές οδούς εφοδιασμού με φυσικό αέριο, ενισχύοντας και στην περίπτωση αυτή την ενεργειακή τους ασφάλεια και περιορίζοντας σημαντικά την ενεργειακή τους απομόνωση.
5. Το έργο ενισχύει τον ανταγωνισμό στην ευρύτερη περιοχή και υποστηρίζει την ανάπτυξη και λειτουργία ενός ανταγωνιστικού περιφερειακού κόμβου συναλλαγών.
6. Το έργο συμβαδίζει και στηρίζει την στρατηγική της Ε.Ε. για διαφοροποίηση των πηγών και οδών ενεργειακού εφοδιασμού συμβάλλοντας στην ενεργειακή ασφάλεια και ενεργειακή ολοκλήρωση της Ε.Ε. [15]



Εικόνα 38: Χωροθέτηση πλωτής μοναδας ΑΣΦΑ [14]

Συνοψίζοντας, το έργο θα εγκατασταθεί 17,6 χλμ. νοτιοδυτικά του λιμένα της Αλεξανδρούπολης και η πλωτή μονάδα θα συνδέεται με το Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου με αγωγό μήκους 28 χλμ. και μέσω του αγωγού αυτού το αεριοποιημένο LNG θα προωθείται στις αγορές τόσο της Ελλάδας, όσο και της ευρύτερης περιφέρειας και ειδικότερα της Βουλγαρίας, της Ρουμανίας, της Σερβίας, της Ουγγαρίας αλλά και της Ουκρανίας. Για τους λόγους αυτούς προσελκύει το ενδιαφέρον μεγάλων

νέων διεθνών προμηθευτών LNG, όπως οι Η.Π.Α., η Κύπρος, το Ισραήλ, αλλά και υφιστάμενων όπως το Qatar, η Αίγυπτος, και η Αλγερία, αλλά και μεγάλων εταιρειών εμπορίας LNG. [46]

4.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ FLOATING STORAGE AND REGASIFICATION UNITS (FSRUs)

Οι πλωτές μονάδες αποθήκευσης και επαναεριοποίησης Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου υποδέχονται LNG απευθείας από τα συμβατικά και μεγάλα πλοία ΥΦΑ, αποθηκεύοντάς το σε δεξαμενές. Οι μονάδες FSRU μπορούν να αγκυροβοληθούν στην προκυμαία, κοντά στην ακτή ή υπεράκτια. Επίσης, οι μονάδες FSRU λαμβάνουν ΥΦΑ από μεγάλα πλοία ΥΦΑ και στη συνέχεια επαναφορτώνεται το LNG σε μικρότερα πλοία που μπορούν να προσεγγίσουν τα λιμάνια ή τοποθεσίες που ενδέχεται να είναι μακριά από το δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου. [59]

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των πλωτών μονάδων αποθήκευσης και επαναεριοποίησης Υγροποιημένου Φυσικού αερίου έναντι των χερσαίων μονάδων είναι τα εξής:

- Οικονομικά αποδοτικότερο: Ένα έργο FSRU κοστίζει συνήθως κάτω από 300 εκατομμύρια
- Λιγότερος χρόνος: Ένα έργο πλωτής μονάδας μπορεί να κατασκευαστεί σε ένα έως τρία χρόνια έναντι ενός χερσαίου τερματικού σταθμού που συνήθως χρειάζεται τέσσερα έως έξι χρόνια για να ολοκληρωθεί.
- Φιλικότερο προς το περιβάλλον: Μια εγκατάσταση πλωτής μονάδας αποθήκευσης και επαναεριοποίησης ΥΦΑ δίπλα στην αποβάθρα ή υπεράκτια απαιτεί λιγότερη χρήση γης από έναν χερσαίο τερματικό σταθμό, ελαχιστοποιώντας έτσι τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. [58]

4.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΓΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ LNG

Στο σημείο αυτό, παρατίθεται μία σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση με βάση δημοσιεύσεις που έχουν γίνει την τελευταία δεκαετία σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά στον τομέα της αξιολόγησης τηε εφοδιαστικής αλυσίδας του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου. Απώτερος σκοπός είναι να καταγραφούν οι μεθοδολογίες και τα κριτήρια αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται σε παρόμοιες μελέτες περιπτώσεων. Παρατίθεται μία σύντομη περιγραφή της κάθε δημοσίευσης. Επιπλέον παρατηρείται ότι ο αριθμός των σχετικών δημοσιεύσεων στη διεθνή βιβλιογραφία είναι περιορισμένος.

Οι **Doukas et al.** (2010) παρουσίασαν ένα μοντέλο που αξιολογούσε τις υπάρχουσες διαδρομές πετρελαίου και φυσικού αερίου στην Ελλάδα με βάση τέσσερις κύριες κατηγορίες, οικονομικούς παράγοντες, εγγενείς ενεργειακούς παράγοντες, πολιτικούς παράγοντες και κοινωνικούς παράγοντες. Το μοντέλο που δημιούργησε βασίζεται στην χρήση τεχνολογίας DHTML και Ext JS ανοιχτού κώδικα JavaScript. Οι εναλλακτικές λύσεις που μελετάει χωρίζονται σε δύο κύριες

κατηγορίες, τον υπάρχοντα εφοδιασμό με πετρέλαιο και τον εφοδιασμό με φυσικό αέριο. Οι δύο εναλλακτικές λύσεις περιλαμβάνουν τις ακόλουθες επιλογές: προμήθεια πετρελαίου από το Αζερμπαϊτζάν, το Ιράν, το Καζακστάν, τη Λιβύη, τη Ρωσία και τη Σαουδική Αραβία και προμήθεια φυσικού αερίου μέσω αγωγών μέσω Μπουργκάς- Αλεξανδρούπολης. [81]

Οι **Stegen** και **Palovic** (2014) πρότειναν ένα τετραδιάστατο μοντέλο για την αξιολόγηση έργων αγωγών φυσικού αερίου. Η περίπτωσης του προτεινόμενου αγωγού Nabucco αξιολογείται βάσει χρονικού πλαισίου, διαθεσιμότητας εφοδιασμού, περιορισμών υποδομής, πολιτικής, γεωπολιτικής και εμπορικής σταθερότητας. [82]

Οι **Ανδρουλάκη** και **Ψαρράς** (2016) παρουσίασαν μια ολοκληρωμένη έρευνα με βάση την Ελλάδα, η οποία αξιολογεί 27 εναλλακτικές διαδρομές φυσικού αερίου. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο προστιθέμενης αξίας και η ανάλυση του γίνεται με βάση τρία κριτήρια, τα οικονομικά έξοδα, την ασφάλεια ανεφοδιασμού και τις διακρατικές συνεργασίες, οι οποίες αναλύονται περαιτέρω στους ακόλουθους δείκτες: το κόστος παραγωγής φυσικού αερίου, το μεταφορικό κόστος, ο δείκτης αποθεμάτων προς παραγωγή φυσικού αερίου, ο συνολικός κίνδυνος μιας διαδρομής, τις συναλλαγές μεταξύ της Ελλάδας και της υποψήφιας χώρας προμήθειας και τις ενεργειακές συναλλαγές. Στα αποτελέσματα, τις δύο πρώτες θέσεις στην προμήθεια ΥΦΑ κατείχαν η Αίγυπτος και η Λιβύη. Ακολουθούν οι εναλλακτικές λύσεις «Ιράν-Τουρκία», «Ρωσία-Τουρκία», «Ιράκ-Τουρκία» και «Ρωσία-Τουρκία-Βουλγαρία». Να σημειωθεί ότι ενώ η μελέτη τους αφορούσε την αξιολόγηση μεταξύ διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων, που περιελάμβανε τόσο επιλογές ΥΦΑ όσο και αγωγούς, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι επιλογές ΥΦΑ είναι οι καλύτερες στην ταξινόμηση. [79]

Ο **Geng** (2017) αξιολόγησε την αλυσίδα εφοδιασμού ΥΦΑ χρησιμοποιώντας ένα αντικειμενικό προγραμματιστικό πλαίσιο. Εξετάστηκαν τρεις βασικοί δείκτες κινδύνου: ο κίνδυνος των θαλάσσιων μεταφορών, το οικονομικό ρίσκο και ο πολιτικός κίνδυνος. Προσπάθησαν να βελτιστοποιήσουν τις μεταβλητές τους και να εξετάσουν τα εναλλακτικά σενάρια για την περίπτωση της Κίνας. Αξιοσημείωτο είναι ότι ο αλγόριθμος ταξινόμησης-ΙΙ (NSGA-II), ένας πολυ-αντικειμενικός εξελικτικός αλγόριθμος, έχει χρησιμοποιηθεί για το βέλτιστο σχεδιασμό του τερματικού σταθμού εισαγωγής LNG του Pareto, αξιολογώντας τα τρία βασικά κριτήρια. [80]

Οι **A. Bittante** et al.(2018) ανέπτυξαν ένα μαθηματικό μοντέλο για να βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων σχετικά με το σχεδιασμό μικρής έως μεσαίας κλίμακας LNG αλυσίδων υγροποιημένου φυσικού αερίου. Επικεντρώνονται κυρίως στη θαλάσσια μεταφορά μεταξύ ενός συνόλου τερματικών σταθμών εφοδιασμού και ενός συνόλου λιμένων παραδόσης. Το μοντέλο εφαρμόζει γραμμικό προγραμματισμό για να βρει τη βέλτιστη διαδρομή της εφοδιαστικής αλυσίδας που ελαχιστοποιεί το κόστος που σχετίζεται με την προμήθεια καυσίμων. Παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης που απεικονίζει τα χαρακτηριστικά του μοντέλου, όπου αρχικά επιλύεται μια βασική περίπτωση και στη συνέχεια μια εκτεταμένη ανάλυση ευαισθησίας που δείχνει την εξέλιξη της βέλτιστης λύσης υπό διαφορετικές συνθήκες (π.χ. τιμή ΥΦΑ, χρονικός ορίζοντας και χρόνος στο λιμάνι). Τέλος, αναφέρεται η απόδοση του μοντέλου σε μια σειρά από μεγαλύτερα προβλήματα, αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητά του.

Η προσέγγισή αυτή διαφέρει από άλλες της βιβλιογράφιας στο ότι συμπεριλαμβάνονται ταυτόχρονα χαρακτηριστικά διαχωρισμού φορτίων, πολλαπλές αποθήκες και πολλαπλές διαδρομές μεταξύ λιμένων στην ίδια διαδρομή. [77]

Οι **Lyridis et al.** (2018) εξετάζουν τη σκοπιμότητα της παροχής φυσικού αερίου για την παραγωγή ενέργειας σε ένα μικρό σύμπλεγμα νησιών. Η σκοπιμότητα και η αξιολόγηση των εναλλακτικών βασίζονται σε τεχνικά, οικονομικά, επιχειρησιακά και κανονιστικά κριτήρια.

Προτείνεται μια μεθοδολογία που προσδιορίζει τις βέλτιστες λύσεις υποδομής και αλυσίδας εφοδιασμού για την ανάπτυξη μιας αλυσίδας υγροποιημένου φυσικού αερίου, κυρίως για την μεταφορά, αποθήκευση και επαναεριοποίηση του ΥΦΑ, λαμβάνοντας υπόψη τη ζήτηση ισχύς καθώς και οικονομικά, περιβαλλοντικά, αδειοδοτικά, επιχειρησιακά, τεχνικά, γεωγραφικά κριτήρια καθώς και κριτήρια ασφάλειας και κινδύνου. Η μελέτη περιλαμβάνει διάφορα στάδια, όπως τον προσδιορισμό των κύριων πηγών εφοδιασμού, τον προσδιορισμό των εφικτών λύσεων υποδομής, τη δημιουργία της βέλτιστης διαδρομής μεταφοράς και, τέλος, την οικονομική αξιολόγηση όλων των εναλλακτικών λύσεων. Τα αποτελέσματα της μελέτης θα μπορούσαν να επιτρέψουν τόσο στους κρατικούς φορείς όσο και στους επενδυτές να αξιολογήσουν τις εναλλακτικές επιλογές υποδομής και διαμόρφωσης αλυσίδας εφοδιασμού ΥΦΑ για παραγωγή ενέργειας, ώστε να αποφασιστεί εάν τελικά το ΥΦΑ για παραγωγή ενέργειας είναι μια ρεαλιστική επιλογή. [[78]]

Τέλος, οι **Strantzali et al.** (2019) εξετάζουν την επιλογή και την αξιολόγηση των τερματικών σταθμών εξαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου από διάφορες χώρες. Η συγκεκριμένη δημοσίευση επιχειρεί να προτείνει ένα μοντέλο υποστήριξης και λήψης αποφάσεων, λαμβάνοντας υπόψιν πολλά κριτήρια. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Promethee II, αξιολογούνται όλοι οι πιθανοί τερματικοί σταθμοί εξαγωγής ΥΦΑ και μελετάται ο ανεφοδιασμός για την περίπτωση της Ελλάδας. Τα επιλεγμένα κριτήρια αφορούν κυρίως οικονομικά κριτήρια, περιβαλλοντικούς δείκτες ικανοποίηση τεχνικών προδιαγραφών και τρέχουσα και μελλοντική διαθεσιμότητα φυσικού αερίου. Η διαδικασία αξιολόγησης περιλαμβάνει 4 σενάρια προτίμησης, με αξιολόγηση και κατάταξη των πιθανών τερματικών σταθμών εξαγωγής ΥΦΑ για την βελτιστοποίηση του κάθε σεναρίου. [[83]]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το διάγραμμα ροής της πολυκριτηριακής ανάλυσης που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία για την αξιολόγηση των εναλλακτικών προμηθευτών για τον ανεφοδιασμό του πλωτού τερματικού σταθμού αποθήκευσης και επανεριοποίησης της Αλεξανδρούπολης:

Εικόνα 39: Διάγραμμα ροής πολυκριτηριακής ανάλυσης

4.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Η αλυσίδα ανεφοδιασμού ΥΦΑ επηρεάζεται έντονα από παράγοντες που σχετίζονται με τη θαλάσσια μεταφορά, την πηγή φυσικού αερίου, τις ιδιότητες του αερίου και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που έγινε παραπάνω, επιλέχθηκαν τα εξής κριτήρια για τη μελέτη της εφοδιαστικής αλυσίδας του: η τιμή πώλησης ΥΦΑ, το συνολικό κόστος μεταφοράς του φορτίου, η κατανάλωση καυσίμου του πλοίου μεταφοράς ΥΦΑ, ο περιβαλλοντικός δείκτης EEOI, η ασφάλεια του ανεφοδιασμού του εκάστοτε προμηθευτή, ο δείκτης R/P Ratio και οι διακρατικές συνεργασίες. Τα κριτήρια αυτά αναλύονται παρακάτω:

4.4.1 ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΥΦΑ

Το πρώτο και πολύ σημαντικό κριτήριο είναι το κόστος αγοράς του φορτίου. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί μηχανισμοί για την διαμόρφωση της τιμής του φυσικού αερίου και είναι διεθνώς αποδεκτοί στην παγκόσμια οικονομία:

- **Oil Price Escalation (OPE)**

Η τιμή συγκρίνεται, συνήθως μέσω τιμής βάσης και ρήτρα κλιμάκωσης, με άλλα ανταγωνιστικά καύσιμα, όπως το αργό πετρέλαιο, το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης και το καύσιμο πετρέλαιο.

- **Gas on Gas Competition (GOG)**

Η τιμή καθορίζεται από την αλληλεπίδραση προσφοράς και ζήτησης και διαπραγματεύεται για διάφορες περιόδους (ημερήσια, μηνιαία, ετησίως ή για άλλες περιόδους). Οι συναλλαγές πραγματοποιούνται σε φυσικούς κόμβους (π.χ. Henry Hub) ή σε πλασματικούς κόμβους (π.χ. NBP στο Ηνωμένο Βασίλειο). Είναι πιθανό να αναπτυχθούν προθεσμιακές αγορές (NYMEX ή ICE). Οι μακροπρόθεσμες συμβάσεις πέραν του έτους χρησιμοποιούν δείκτες τιμών αερίου για τον προσδιορισμό της μηνιαίας τιμής αντί των ανταγωνιστικών δεικτών καυσίμων. Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνεται το spot LNG, το οποίο εισάγεται σταδιακά σε αγορές spot και hubs, καθώς και διμερείς συμφωνίες σε OTC αγορές στις οποίες υπάρχουν πολλοί αγοραστές και πωλητές.

- **Bilateral Monopoly (BIM)**

Η τιμή καθορίζεται μετά από συμφωνίες μεταξύ ενός μεγάλου πωλητή και ενός μεγάλου αγοραστή, για μια χρονική περίοδο - συνήθως ένα έτος. Μπορεί να υπάρχει γραπτή σύμβαση, αλλά συχνά η συμφωνία είναι σε επίπεδο κυβέρνησης ή κρατικής επιχείρησης. Συγκριτικά με την Gas on Gas Competition που συμμετέχουν πολλοί αγοραστές και πωλητές στη διαπραγμάτευση, στην Bilateral Monopoly υπάρχει μόνο ένας αγοραστής ή πωλητής σε τουλάχιστον μία πλευρά της συναλλαγής.

- **Netback from Final Product (NET)**

Η τιμή αυτή αφορά κύριως συναλλαγές όταν το αέριο χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη σε χημικές εγκαταστάσεις, όπως η αμμωνία ή η μεθανόλη, και είναι το κύριο μεταβλητό κόστος παραγωγής του προϊόντος.

- **Regulation: Social and Political (RSP)**

Η τιμή καθορίζεται από ένα Υπουργείο, σε πολιτική / κοινωνική βάση, ανταποκρινόμενη στην ανάγκη κάλυψης των αυξανόμενων δαπανών ή ενδεχομένως ως άσκηση αύξησης των εσόδων.

- **Regulation: Cost of Service (RCS)**

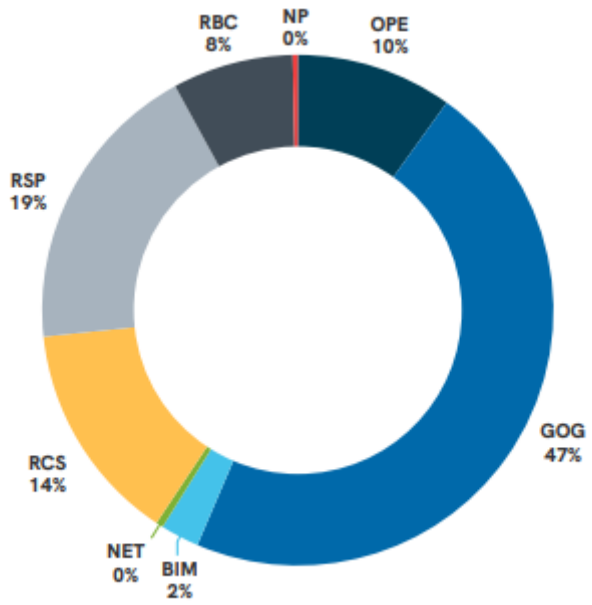
Η τιμή καθορίζεται ή εγκρίνεται, τυπικά από μια ρυθμιστική αρχή ή, ενδεχομένως, από ένα Υπουργείο. Η τιμή αυτή ορίζεται για να καλύψει το "κόστος υπηρεσίας", συμπεριλαμβανομένης της ανάκτησης της επένδυσης και ενός εύλογου ποσοστού απόδοσης.

- **Regulation: Below Cost (RBC)**

Η τιμή καθορίζεται εν γνώσει κάτω από το μέσο κόστος παραγωγής και μεταφοράς φυσικού αερίου ,συχνά ως μορφή κρατικής επιδότησης στον πληθυσμό.

- **No Price (NP)**

Το παραγόμενο φυσικό αέριο είτε παρέχεται δωρεάν στον πληθυσμό και τη βιομηχανία, πιθανότατα ως πρώτη ύλη για χημικά και λιπάσματα, είτε χρησιμοποιείται στη διαδικασία διύλισης και επεξεργασίας πετρελαίου. [22]

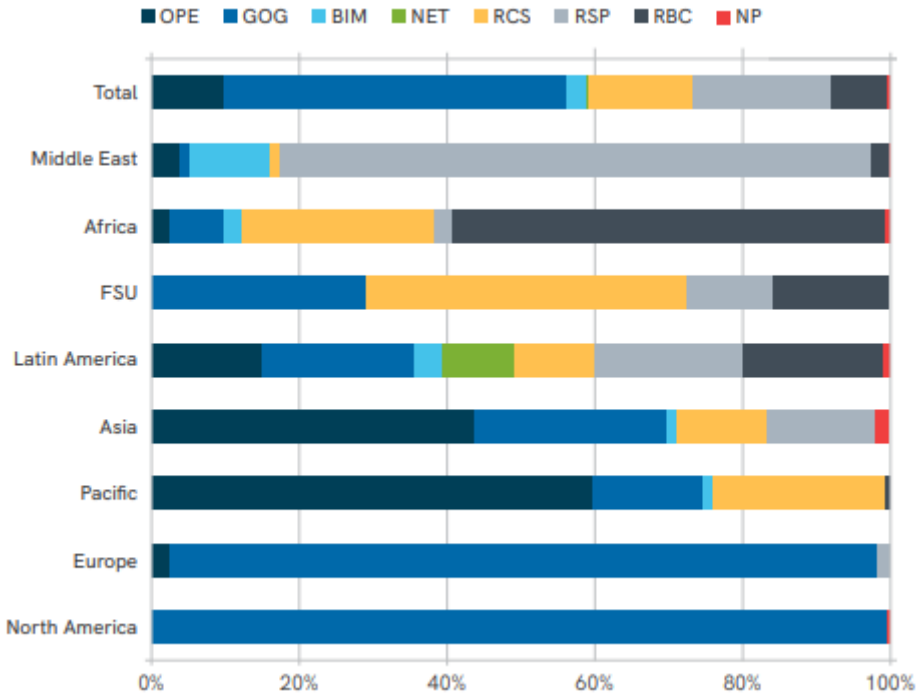


Εικόνα 40: Μηχανισμοί διαμόρφωσης τιμής Φυσικού αερίου [33]

Ο μηχανισμός GOG έχει το μεγαλύτερο μερίδιο στην εγχώρια παραγωγή στο 47%, συνολικά περίπου 1.348 bcm, με τη Βόρεια Αμερική να αντιπροσωπεύει 950 bcm - περίπου το 70% του συνόλου. Το επόμενο μεγαλύτερο μερίδιο είναι της Ρωσίας με 177 bcm. Το υπόλοιπο είναι στην Ευρώπη στα 89 bcm, κυρίως Ολλανδία και Ηνωμένο Βασίλειο, στην Ασία στα 87 bcm, κυρίως Αυστραλία, Νέα Ζηλανδία, Ινδία και Κίνα και τέλος στην Λατινική Αμερική στα 28 bcm, κυρίως Αργεντινή και Κολομβία.

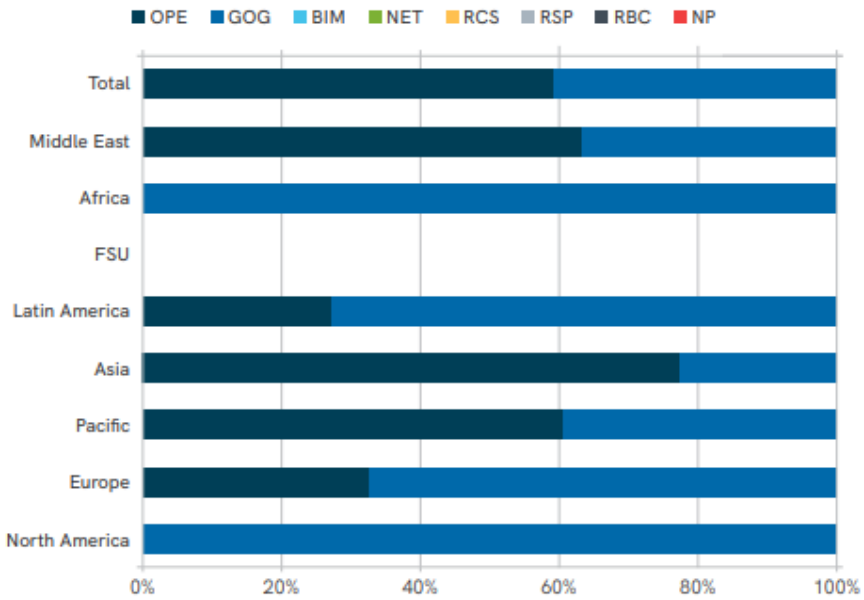
Ο μηχανισμός OPE έχει σχετικά μικρό μερίδιο στην εγχώρια παραγωγή (περίπου το 10%), συνολικά περίπου 287 bcm, με 241 bcm στην Ασία, κυρίως την Κίνα, το Πακιστάν, την Ταϊλάνδη, την Ινδονησία, το Βιετνάμ, τις Φιλιππίνες, την Αυστραλία και τη Μαλαισία, με 20 bcm στη Λατινική Αμερική, κυρίως τη Βραζιλία και την Κολομβία, με 20 bcm στη Μέση Ανατολή, κυρίως το Κουβέιτ και το Ισραήλ και τέλος με 4 bcm στην Αφρική, κυρίως την Τυνησία.

Οι ρυθμιζόμενοι μηχανισμοί RCS, RSP και RBC αντιπροσωπεύουν συνολικά το 40% της εγχώριας παραγωγής, με RCS κυρίως στην πρώην Σοβιετική Ένωση, την Ασία και τον Ειρηνικό, το RSP κυρίως στη Μέση Ανατολή, Πρώην Σοβιετική Ένωση, Λατινική Αμερική και τον Ειρηνικό και RBC στην πρώην Σοβιετική Ένωση, Αφρική, Λατινική Αμερική και Μέση Ανατολή. [33]



Εικόνα 41: Μηχανισμοί διαμόρφωσης τιμών Φυσικού αερίου ανά ήπειρο [33]

Οι εισαγωγές ΥΦΑ είναι διαχωρισμένες σε 59% OPE και 41% GOG. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 42, ο μηχανισμός OPE χρησιμοποιείται κυρίως στον Ειρηνικό (περίπου 264 bcm), ακολουθούμενη από την Ασία και την Ευρώπη. Ο μηχανισμός GOG ανέρχεται σε περίπου 183 bcm και χωρίζεται σε εισαγωγές στη Βόρεια Αμερική, την Αφρική και σε χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο και την Ολλανδία. Στην Ευρώπη, το 68% των εισαγωγών ΥΦΑ είναι πλέον GOG. [33]



Εικόνα 42: Μηχανισμοί διαμόρφωσης τιμών Υγροποιημένου Φυσικού αερίου ανά ήπειρο [33]

ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ

Το εμπόριο του LNG πραγματοποιείται συνήθως με συμβάσεις μεταξύ προμηθευτή και αγοραστή για καθορισμένη διάρκεια. Η σύμβαση μπορεί να διέπεται είτε από τα παραδοσιακά μακροπρόθεσμα συμβόλαια (Long-term contracts) είτε από βραχυπρόθεσμα-μεσοπρόθεσμα συμβόλαια (short-term trade and spot trade).

Τα μακροπρόθεσμα συμβόλαια Υγροποιημένου Φυσικού αερίου συνδέουν πωλητές και αγοραστές για μεγάλο χρονικό διάστημα σε διμερή μονοπώλιο, περίπου 15 έως 20 έτη, κατά τη διάρκεια των οποίων και οι δύο έχουν αυστηρά καθορισμένες υποχρεώσεις. Συγκεκριμένα, οι μακροχρόνιες συμβάσεις ΥΦΑ απαιτούν από τους αγοραστές να πληρώσουν για μια προκαθορισμένη ελάχιστη ποσότητα φυσικού αερίου, ανεξάρτητα από το αν θα τις παραλάβουν ή όχι (take or pay). Οι τιμές προμήθειας του αερίου σε αυτά τα συμβόλαια τις περισσότερες φορές επηρεάζονται από τις τιμές του πετρελαίου. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις (π.χ. Μεγάλη Βρετανία, Αμερική) όπου οι τιμές είναι ευέλικτες και συχνά σε συνάρτηση με τις τρέχουσες και προθεσμιακές τιμές του. Εάν τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης δεν αποδώσουν αξιόπιστα μηνύματα για τις τιμές στη διάρκεια της σύμβασης, τα συμβαλλόμενα μέρη μπορούν να συμφωνήσουν για κυμαινόμενη ή σταθερή κράτηση στις αμοιβές που ανακτούν το κόστος του πωλητή μακροπρόθεσμα.

Ωστόσο, το εμπόριο έχει αλλάξει. Οι μεσοπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες συμβάσεις αυξάνονται ραγδαία, κυρίως λόγω της αύξησης του αριθμού των συμβάσεων με ευέλικτη επιλογή προορισμού και της εμφάνισης νέων παραγωγών και καταναλωτών. Σε αντίθεση με τις μακροπρόθεσμες συμβάσεις, οι βραχυπρόθεσμες συμβάσεις και οι «spot» αγορές πραγματοποιούνται ανώνυμα, χωρίς συγκεκριμένες σχέσεις μεταξύ του πωλητή και του αγοραστή.

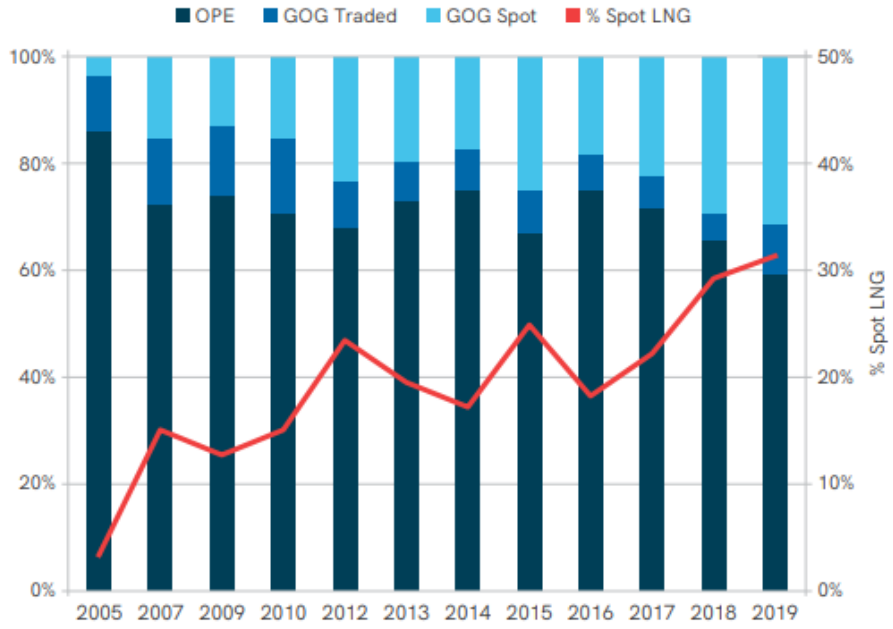
Επειδή τα μακροπρόθεσμα συμβόλαια δεν ήταν ιδιαίτερα εύχρηστα στην αγορά φυσικού αερίου, οι συμμετέχοντες στην αγορά άρχισαν να χρησιμοποιούν συμβάσεις φυσικού αερίου για μικρότερο χρονικό διάστημα που τους έδινε την ευελιξία να προσαρμόσουν τα συμβόλαια στο συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον της αγοράς. Ένα μεσοπρόθεσμο συμβόλαιο Υγροποιημένου Φυσικού αερίου καλύπτει παροχή μέχρι και 18 μήνες, αλλά το πιο συνηθισμένο διάστημα είναι για περίπου ένα χρόνο. Οι συμβάσεις αυτές προσδιορίζουν συνήθως τον όγκο των μηνιαίων ή καθημερινών παραδόσεων ΦΑ, συμπεριλαμβανομένης και μίας επιτρεπόμενης διακύμανσης. Η τιμή του ΦΑ προσδιορίζεται συνήθως σε συνάρτηση με την τιμή του πετρελαίου και με τις τρέχουσες και προθεσμιακές τιμές, ανάλογα με την τοποθεσία παράδοσης. Οι αγοραστές πληρώνουν επίσης και υπηρεσία κρατήσεων τελών στον προμηθευτή για την δυνατότητα καθημερινής ή μηνιαίας παράδοσης και παροχής διακύμανσης στις ποσότητες ΦΑ.

Οι βραχυπρόθεσμες συμβάσεις Υγροποιημένου Φυσικού αερίου συχνά αποτελούν αντικείμενο διαπραγμάτευσης σε αγορές όψεως (spot market). Αυτού του είδους τα συμβόλαια αφορούν παροχή για χρονικό διάστημα ενός μήνα και καθορίζουν μια σταθερή τιμή ίση με αυτή που επικρατεί στην αγορά την περίοδο της ολοκλήρωσης του συμβολαίου. Η παράδοση αφορά συγκεκριμένο όγκο με συνεπείς και καθημερινές παραδόσεις κατά τη διάρκεια του μήνα. Επίσης, υπάρχει ελαστικότητα στη σύναψη των συμβολαίων και η σύναψη του συμβολαίου μπορεί να γίνει ως και λίγες μέρες πριν την έναρξη της παράδοσης του φυσικού αερίου. [63]

Η αγορά spot προτιμάται όταν μια παροχή φυσικού αερίου απαιτείται να γίνει μέσα σε λίγες ημέρες, καλύπτει δηλαδή έκτακτες ανάγκες. Η spot ή FOB (Free On Board) τιμή είναι η τιμή που

αναφέρει ο πωλητής συμπεριλαμβανομένου του κόστους παράδοσης αγαθών στο πλησιέστερο λιμάνι. Ο αγοραστής αναλαμβάνει όλα τα έξοδα αποστολής και είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά των προϊόντων από το λιμάνι στον τελικό προορισμό του. Με απλά λόγια, η τιμή FOB σημαίνει ότι ο αγοραστής πρέπει να αναλάβει πλήρως τα έξοδα αποστολής (κόστος μεταφοράς, ασφάλισης κτλπ). Αυτός είναι ένας από τους πιο χρησιμοποιημένους όρους αποστολής από διεθνείς αγοραστές και πωλητές. [88]

Η αυξανόμενη τάση των αγορών ΥΦΑ μέσω των βραχυπρόθεσμων συμβάσεων (spot LNG imports) επιβεβαιώνεται και από την παρακάτω Εικόνα 43, όπου το μερίδιο του μηχανισμού spot LNG αυξήθηκε από 38% το 2016 σε 62% το 2019 μέσα σε τρία χρόνια.



Εικόνα 43: Οι τάσεις των μηχανισμών εισαγωγών ΥΦΑ ως το 2019 [33]

Έπειτα από έρευνα τιμών βραχυπρόθεσμων συμβάσεων μεταξύ των διάφορων προμηθευτών καταλήξαμε στις παρακάτω τιμές πώλησης ΥΦΑ για την περίοδο τέλη 2019 με αρχές 2020 για κάθε τερματικό σταθμό: [64,65,66]

Πίνακας 1: Τελικές τιμές spot rate

Τερματικοί Σταθμοί	Τιμή πώλησης ΥΦΑ ($/MMBTU)
Algeria (Arzew)	4,70
Algeria (Skikda)	4,70
Egypt (Idku)	4,70
Norway (Snohvit)	5,50
Qatar (Ras Laffan)	4,61
Oman (Qalhat)	4,61
Trinidad (Point Fortin)	5,20
Nigeria (Bonny)	4,70
Yemen (Balhaf)	4,61
USA (Sabine Pass T1)	5,20

4.4.2 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Το κόστος καυσίμων αποτελεί ένα μεγάλο μέρος του κόστους των μεταφορικών εξόδων του πλοίου.

Από 1/1/2020 τέθηκε σε εφαρμογή ο νέος κανονισμός του IMO (International Maritime Organization) ο οποίος απαιτεί το ποσοστό του θείου (sulphur) στα καύσιμα να είναι μειωμένο στα 0,5% από 3,5% που ισχύει σήμερα.

Για τα πλοία υπάρχουν τρεις επιλογές προκειμένου να συμμορφωθούν με αυτό τον κανονισμό:

- να αρχίσουν να καίνε τα ακριβά καύσιμα VLSFO με χαμηλό ποσοστό θείου 0,5%
- να εγκαταστήσουν σύστημα καθαρισμού καυσαερίων (scrubber) με το οποίο θα μπορούν να καίνε τα φθηνότερα καύσιμα HSFO με 3,5% ποσοστό θείου
- να κάνουν τροποποιήσεις/μετατροπές στις μηχανές των πλοίων και να αρχίσουν να καίνε υγροποιημένο φυσικό αέριο Liquid Natural Gas (LNG)

Οι περισσότεροι πλοιοκτήτες προκειμένου τα πλοία τους να συμμορφωθούν με τον νέο κανονισμό έχουν επιλέξει την πρώτη επιλογή, να καταναλώνουν δηλαδή το ακριβότερο καύσιμο (VLSFO) με χαμηλό ποσοστό θείου.

Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία, η τιμή του υψηλού σε περιεκτικότητα θείο καυσίμου 3,5% S (High Sulphur Fuel Oil – HSFO), βρίσκεται στα 367.5 $/τόνο κατά μέσο όρο, ενώ το νέο καύσιμο που περιέχει θείο σε χαμηλή περιεκτικότητα 0,5% S (Very Low Sulphur Fuel Oil – VLSFO) βρίσκεται στα 665.8 $/τόνο κατά μέσο όρο. [25]

Από τη σελίδα της ΔΕΣΦΑ μελετήσαμε τον ετήσιο και μηνιαίο προγραμματισμό εκφόρτωσης φορτίων ΥΦΑ για τον τερματικό σταθμό της Ρεβυθούσσας και τη λίστα των εγκεκριμένων πλοίων της ΔΕΣΦΑ, όπου περιλαμβάνει όλα τα πλοία που έχουν εγκριθεί για κάποιο διάστημα ώστε να ανεφοδιάζουν την Ρεβυθούσσα. [74] Παρατηρήθηκε ότι τα περισσότερα πλοία που ανεφοδιάζουν την Ρεβυθούσσα τα τελευταία χρονια (2019-2021) είναι μεγάλης χωρητικότητας φορτίου(πάνω από 150.000 m^3). Ενδεικτικά, παρακάτω παρατίθενται δύο πλοία, τα οποία επισκέφτονται αρκετά συχνά τον τερματικό σταθμό της Ρεβυθούσσας, σύμφωνα με τον μηνιαίο προγραμματισμό της ΔΕΣΦΑ, ο οποίος ανανεώνεται συνεχώς: [70]

9766530	British Partner	BP	Daewoo	173400	Membrane	Conventional	MEGI	2018
9333606	British Ruby	BP	Hyundai	155000	Membrane	Conventional	DFDE	2008
9333618	British Sapphire	BP	Hyundai	155000	Membrane	Conventional	DFDE	2008
9766580	British Sponsor	BP	Daewoo	174000	Membrane	Conventional	MEGI	2019
9085651	Broog	J4	Mitsui	137500	Spherical	Conventional	Steam	1998
9388833	Bu Samra	Nakilat	Samsung	266000	Membrane	Q-Max	SSDR	2008

Εικόνα 44: Χαρακτηριστικά πλοίου Britsh Sapphire [67]

9236626	Gallina	Shell	Mitsubishi	136600	Spherical	Conventional	Steam	2002
9390185	Gaslog Chelsea	GasLog	Hanjin H.I.	153600	Membrane	Conventional	TFDE	2010
9707508	Gaslog Geneva	GasLog	Samsung	174000	Membrane	Conventional	TFDE	2016
9744013	Gaslog Genoa	GasLog	Samsung	174000	Membrane	Conventional	XDF	2018
9707510	Gaslog Gibraltar	GasLog	Samsung	174000	Membrane	Conventional	TFDE	2016
9744025	Gaslog Gladstone	Gaslog	Samsung	174000	Membrane	Conventional	XDF	2019
9687021	Gaslog Glasgow	GasLog	Samsung	174000	Membrane	Conventional	TFDE	2016
9687019	Gaslog Greece	GasLog	Samsung	174000	Membrane	Conventional	TFDE	2016

Εικόνα 45: Χαρακτηριστικά πλοίου Gaslog Geneva [67]

Στη συνέχεια, από τη σελίδα Marine Traffic αντλήσαμε κάποια στοιχεία του πλοίου British Sapphire όπως είναι η μέση ταχύτητα του 19,4 knots. [71]

Εικόνα 46: Πλοίο Britsh Sapphire [71]

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας και βασισμένοι στα στοιχεία που αντλήσαμε για τον τερματικό σταθμό της Ρεβυθούσσας, επιλέγουμε πλοίο ΥΦΑ χωρητικότητας φορτίου 150.000m^3, που θα χρησιμοποιεί ως καύσιμο μόνο το Υγροποιημένο Φυσικό αέριο και θα έχει ως μέση ταχύτητα 19,4knots.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι αποστάσεις των επιλεγμενων περιοχών εξαγωγής φυσικού αερίου από την πλωτό τερματικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης καθώς και πόσες ημέρες πλεύσης χρειάζεται το πλοίο για να φτάσει από την κάθε περιοχή προμήθευσης στην Αλεξανδρουπολη (με μια μέση ταχύτητα 19,4 knots). Οι αποστάσεις μετρήθηκαν με εξειδικευμένο πρόγραμμα της ναυτιλιακής εταιρίας Roxana Shipping S.A. που χρησιμοποιείται γιαυτό το σκοπό:

Πίνακας 2: Ημέρες ταξιδιών

Τερματικοί Σταθμοί εξαγωγής Φυσικού αερίου	Απόσταση από την Αλεξανδρούπολη σε ναυτικά μίλια	Ημέρες ταξιδιού
Algeria (Arzew)	1,450.00	3,1
Algeria (Skikda)	1,100.00	2,4
Egypt (Idku)	640.00	1,4
Norway (Snohvit)	4,220.00	9,1
Qatar (Ras Laffan)	3,770.00	8,1
Oman (Qalhat)	3,265.00	7,0
Trinidad (Point Fortin)	5,125.00	11,0
Nigeria (Bonny)	5,055.00	10,9
Yemen (Balhaf)	2,280.00	4,9
USA (Sabine Pass T1)	6,400.00	13,7

Σύστημα πρόωσης σύγχρονων πλοίων LNG Dual-Fuel Diesel Electric / Tri-Fuel Diesel Electric

Για πολλά χρόνια, τα πλοία LNG λειτουργούσαν εξ'ολοκλήρου με σύστημα πρόωσης ατμοστροβίλων. Το 2001, παραγγέλθηκαν τα πρώτα πλοία LNG που τροφοδοτούνται από σύστημα πρόωσης DFDE (Dual-Fuel Diesel Electric), δηλαδή ντιζελοηλεκτρική πρόωση.

Η μηχανή διπλού καυσίμου (DFDE) είναι μια μηχανή που μπορεί να χρησιμοποιήσει ως καύσιμο είτε πετρέλαιο είτε φυσικό αέριο. Με τα συστήματα DFDE παρατηρήθηκε αύξηση της αποδοτικότητας των πλοίων κατά περίπου 25-30% σε σχέση με τους παραδοσιακούς ατμοστροβίλους.[68] Τα πλεονεκτήματα των κινητήρων αυτών είναι κυρίως η ευελιξία του καυσίμου και η λειτουργική ευελιξία, η υψηλή απόδοση, οι χαμηλές εκπομπές και τελικά μείωση του λειτουργικού κόστους. Οι μηχανές υγροποιημένου φυσικού αερίου προσφέρουν στη ναυτιλιακή βιομηχανία μεταφορών μια φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση για την παροχή ενέργειας σε σκάφη. [69]

Το σύστημα πρόωσης DFDE (ντιζελοηλεκτρική πρόωση) βασίζεται στη χρήση πετρελαιοκινητήρων ως ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, ώστε να παράγουν μία ισχύ την οποία θα παραλάβουν οι ηλεκτροκινητήρες και τελικά θα κινήσουν την προπέλα του πλοίου. Επομένως, οι συμβατικοί κινητήρες (πετρελαιοκινητήρες) εξακολουθούν να υπάρχουν στις εγκαταστάσεις ντιζελοηλεκτρικής πρόωσης, αλλά αντί να κινούν απ' ευθείας το αξονικό σύστημα με την έλικα κινούν ηλεκτρικές γεννήτριες, που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες πρόωσης.

Λίγο μετά την υιοθέτηση των συστημάτων DFDE, ξεκίνησε η λειτουργία των πλοίων TFDE, τα οποία είναι σε θέση να καίνε πετρέλαιο, ντίζελ πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Επίσης, ενσωματώθηκε η βελτίωση της απόδοσης ανάλογα την ταχύτητα πλεύσης. Αν και ο υπάρχων στόλος κυριαρχείται ακόμα από το παλιό σύστημα πρόωσης ατμοστροβίλων, σχεδόν το 32% των ενεργών σκαφών το 2018 ήταν εξοπλισμένα με DFDE/TFDE σύστημα πρόωσης. Επιπλέον, το βιβλίο παραγγελιών νέων πλοίων στα τέλη του 2018 αποτελούταν από το 22% των σκαφών με συστήματα πρόωσης DFDE / TFDE. [68]

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τις καταναλώσεις πλοίων στις υπηρεσιακές ταχύτητες σχεδίασης, ανάλογα με τον τύπο πρόωσης, την χωρητικότητα και την ηλικία του πλοίου: [68]

Propulsion Type	LNG Fuel Consumption (tonnes/day)	Average Vessel Capacity	Typical Age
Steam	175	<150,000	>10
DFDE/TFDE	130	150,000-180,000	<15
ME-GI	110	150,000-180,000	<5
XDF	108	150,000-180,000	<1
Steam Re-heat	140	150,000-180,000	Not Active

Εικόνα 47: Καταναλώσεις πλοίων LNG [68]

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι συνολικές καταναλώσεις των διαδρομών από τον κάθε τερματικό σταθμό εξαγωγής μέχρι τον πλωτό τερματικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης και πάλι πίσω στον τερματικό σταθμό ανεφοδιασμού και το κόστος αυτών (με χρήση καυσίμου LNG). Για το κόστος του καυσίμου επιλέχθηκαν οι παρακάτω τιμές όπως φαίνεται στον Πίνακας 3, σύμφωνα με το 1^{ο} κριτήριο, αφού πρώτα μετατράπηκαν σε $/tonnes:

Πίνακας 3: Υπολογισμός καταναλώσεων και κόστους καυσίμων

Τερματικοί Σταθμοί εξαγωγής Φυσικού αερίου	Απόσταση από την Αλεξανδρού-πολη σε ναυτικά μίλια	Τιμή πώλησης ΥΦΑ ($/tonnes)	Ημέρες ταξιδιού	Κατανάλωση καυσίμου (tonnes)	Κόστος κατανάλωσης καυσίμου ($)
Algeria (Arzew)	1.450,00	231,51	3,1	809,71	187.457,20
Algeria (Skikda)	1.100,00	231,51	2,4	614,26	142.208,91
Egypt (Idku)	640,00	231,51	1,4	357,39	82.739,73
Norway (Snohvit)	4.220,00	270,92	9,1	2.356,53	638.427,23
Qatar (Ras Laffan)	3.770,00	227,08	8,1	2.105,24	478.055,74
Oman (Qalhat)	3.265,00	227,08	7,0	1.823,24	414.019,10
Trinidad (Point Fortin)	5.125,00	256,14	11,0	2.861,90	733.049,79
Nigeria (Bonny)	5.055,00	231,51	10,9	2.822,81	653.514,58
Yemen (Balhaf)	2.280,00	227,08	4,9	1.273,20	289.115,94
USA (Sabine Pass T1)	6.400,00	270,92	13,7	3.573,88	968.230,87

Σημειώνεται ότι η κατανάλωση καυσίμου κατά την παραμονή του πλοίου στο αγκυροβώλιο και στο λιμάνι για την φόρτωση και την εκφόρτωση του φορτίου δεν λαμβάνεται υπόψιν στους υπολογισμούς της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου αφού είναι ίδια για κάθε λιμάνι επίσκεψης (ίδιο για κάθε εναλλακτική) οπότε και δεν θα επηρεάσουν το απότελεσμα οποιουδήποτε σεναρίου.

4.4.3 ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΦΑ

Είδη ναυλώσεων

Στη πράξη διακρίνονται πολλές μορφές ναυλώσεων με διαφορετικό τρόπο κατανομής κόστους και ευθυνών. Οι σημαντικότερες των οποίων είναι:

- Ναύλωση ανά ταξίδι (charter voyage)

Ο πλοιοκτήτης με αυτή την μορφή ναύλωσης αποδέχεται να μεταφέρει συγκεκριμένο φορτίο σε συμφωνημένη τιμή ανά τόνο από ένα λιμάνι σε ένα άλλο, με κάλυψη όλων των εξόδων (κεφαλαιακά κόστη, λειτουργικά κόστη, κόστη ταξιδιού) και ο καπετάνιος δέχεται εντολές από τον πλοιοκτήτη.

- Χρονοναύλωση (time charter)

Ο πλοιοκτήτης συνάπτει μία συμφωνία με τον ναυλωτή για ενοικίαση του πλοίου με πλήρωμα έναντι ημερήσιου, μηνιαίου ή ετήσιου κομίστρου και κάλυψη των εξόδων κεφαλαίου και λειτουργίας και συνεχίζει να διαχειρίζεται το πλοίο, ενώ ο ναυλωτής αναλαμβάνει τα κόστη ταξιδιού και δίνει κατευθυντήριες γραμμές για το φορτίο και την πορεία του καραβιού στο καπετάνιο.

- Ναύλωση γυμνού πλοίου ή ναύλωση κατά παραχώρηση

Ο πλοιοκτήτης νοικιάζει το πλοίο χωρίς πλήρωμα έναντι ενοικίου και καταβάλει μόνο το κόστος κεφαλαίου, ενώ ο ναυλωτής ορίζει δικό του καπετάνιο και πλήρωμα και καταβάλει λειτουργικά κόστη και κόστη ταξιδιού.

- Ναύλωση εργολαβικής μεταφοράς

Ο πλοιοκτήτης συμφωνεί να μεταφέρει πακέτα φορτίου σε συμφωνημένη τιμή ανά τόνο και όλες οι λεπτομέρειες του ταξιδιού τακτοποιούνται από τον ίδιο. Ο Φορτωτής δίνει εντολή μεταφοράς μιας ποσότητας, η οποία πολλές φορές δεν είναι συγκεκριμένη εξαρχής και ο χρόνος αποστολής δεν είναι ακριβής. Συνεπώς τα κόστη αυτού του είδους ναύλωσης είναι ίδια με της ναύλωσης ανά ταξίδι.

Υπάρχουν δύο βασικά κόστη στη λειτουργία ενός πλοίου ΥΦΑ: πάγια έξοδα, τα οποία είναι ανεξάρτητα από τις λειτουργίες του πλοίου, και τα έξοδα του ταξιδιού. Τα σταθερά κόστη περιλαμβάνουν το πλήρωμα, τη συντήρηση του πλοίου, την διαχείριση και ασφάλιση, ενώ το κόστος του ταξιδιού περιλαμβάνει τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται, λιμενικές χρεώσεις,κτλπ.

Όσον αφορά την τιμή ναύλωσης, στα πλοία τύπου TFDE ήταν κατά μέσο όρο στα 35.000 δολάρια ημερησίως το δεύτερο τρίμηνο του 2020, έναντι 57.000 δολαρίων το πρώτο τρίμηνο του 2020 και 49.000 το δεύτερο τρίμηνο του 2019.[[27]] Εκτός από τις μέρες που απαιτούνται για το ταξίδι από τον εκάστοτε τερματικό σταθμό εξαγωγής φυσικού αερίου μέχρι την Αλεξανδρούπολη, για τον υπολογισμό του κόστους μεταφοράς του φορτίου, θα πρέπει να συνυπολογίσουμε 3 επιπλέον ημέρες ώστε να συμπεριλάβουμε το χρόνο φόρτωσης και εκφόρτωσης του φορτίου καθώς και πιθανές καθυστερήσεις που μπορούν να προκύψουν σε πιθανή κακοκαιρία. Έτσι, το συνολικό κόστος μεταφοράς φαίνεται στον πίνακα 3, με πολλαπλασιασμό επί 2 (προκειμένου να συμπεριληφθεί και το ταξίδι επιστροφής) της στήλης «Ημέρες ταξιδιού» και προσθήκη 3 ημερών.

Επιπλέον, τα έξοδα μεταφοράς του πλοίου θα επιβαρυνθούν με πρόσθετα τέλη διέλευσης αν κάνουν χρήση των καναλιών του Παναμά ή του Σουέζ. Στην παρούσα εργασία, ορισμένα ταξίδια περιλαμβάνουν πέρασμα από τη διώρυγα του Σουεζ. Αυτά είναι :

- Qatar-Αλεξανδρούπολη- Qatar
- Oman- Αλεξανδρούπολη- Oman
- Yemen-Αλεξανδρούπολη- Yemen

Για τον υπολογισμό των τελών για το πέρασμα από τη Διώρυγα του Σουέζ χρησιμοποιήσαμε τη σελίδα της Wilhelmsen και εισάγοντας κάποια στοιχεία όπως τύπος πλοίου, βύθισμα, συνολική χωρητικότητα πλοίου, χωρητικότητα Σουέζ και κατάσταση φόρτωσης (laden, ballast) παίρνουμε το

ζητούμενο κόστος. Σημειώνεται ότι για τα απαιτούμενα στοιχεία του πλοίου, χρησιμοποιήσαμε τα στοιχεία του πλοίου British Sapphire όπως δίνονται στον παρακάτω πίνακα: [72]

IMO number :	9333618	
Name of ship :	BRITISH SAPPHIRE	(since 01-09-2008)
Call Sign :	2AKI3	
MMSI :	235060454	
Gross tonnage :	102064	(since 01-09-2008)
DWT :	84455	
Type of ship :	LNG Tanker	(since 01-09-2008)
Year of build :	2008	
Flag :	Isle of Man	(since 01-09-2008)
Status of ship :	In Service/Commission	(since 01-09-2008)
Last update :	29-03-2011	

VESSEL DESCRIPTION				
Date updated:			May 27, 2015	
Vessel's name:			British Sapphire	
IMO number:			9333618	
Vessel's previous name(s) and date(s) of change:			Not Applicable	
Date delivered:			Sep 01, 2008	
Builder (where built):			Hyundai Heavy Industries Co. LTD.	
Flag:			Isle of Man	
Port of Registry:			Douglas	
Call sign:			2AKI3	
Type of vessel:			Gas	
Type of hull:			Double Hull	
Classification society:			Lloyds Register	
Length Over All (LOA):			288.43 m	
Length Between Perpendiculars (LBP):			275.00 m	
Extreme breadth (Beam):			44.24 m	
Net Tonnage:			31576.00	
Loadline	Freeboard	Draft	Deadweight	Displacement
Summer:	7.696 m	12.22 m	84303 MT	116204 MT
Registered owner - Full style:			British Sapphire	
Technical operator - Full style:			BP Shipping Ltd.	
Total cubic capacity (98%, excluding slop tanks):			151931.2 m3	
Slop tank(s) capacity (98%):			0 m3	

Εικόνα 48: Χαρακτηριστικά πλοίου British Sapphire[72]

Vessel Type	LNG Carriers
Draft	12.22
SCNT	7262
GRT	102064
Ship Status	Laden

Pilotage	N/A
Suez Canal Dues	$76,832.36
Total Light Dues • Light Dues: Suez • Light Dues: Port Said	$1,086.20
Port Dues	$217.86
Port Authority Fees	$700.00
Ministry Fees	$3,575.00
Mooring/Unmooring	N/A
Garbage Dues (northbound only)	N/A
Extra Pilotage	$1,800.00
Escort Tugs	N/A
First time canal transit	N/A
Grand Total USD	**$84,211.42**

Εικόνα 49: Κόστος κατά το πέρασμα από τη Διώρυγα του Σουέζ σε έμφορτη κατάσταση[[73]]

Vessel Type	LNG Carriers
Draft	12.22
SCNT	7262
GRT	102064
Ship Status	Ballast

Pilotage	N/A
Suez Canal Dues	$65,320.08
Total Light Dues • Light Dues: Suez • Light Dues: Port Said	$1,086.20
Port Dues	$2177.86
Port Authority Fees	$700.00
Ministry Fees	$3,575.00
Mooring/Unmooring	N/A
Garbage Dues (northbound only)	N/A
Extra Pilotage	$1,800.00
Escort Tugs	N/A
First time canal transit	N/A
Grand Total USD	**$72,699.14**

Εικόνα 50: Κόστος κατά το πέρασμα από τη Διώρυγα του Σουέζ σε άφορτη κατάσταση [73]

Όσον αφορά τα λιμενικά τέλη, δεν θα ληφθούν υπόψιν, υποθέτοντας ότι είναι ίδια για κάθε λιμάνι επίσκεψης οπότε και δεν θα επηρεάσουν το απότελεσμα οποιουδήποτε σεναρίου. Επιπλέον, τα λιμανικά τέλη της Αλεξανδρούπολης ανα επίσκεψη και τα σταθερά κόστη του πλοίου δεν θα ληφθούν επίσης υπόψιν, αφού τα έξοδα θα θεωρηθούν ίδια για όλους τους τερματικούς σταθμούς και δεν θα επηρεάσουν το αποτέλεσμα οποιουδήποτε σεναρίου.

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα συνολικά κόστη μεταφοράς για την κάθε εναλλακτική διαδρομή, υπολογίζοντας τα κάθε φορά με διαφορετική τιμή ναύλωσης (min, max, average):

Πίνακας 4: Εύρος τιμών ναύλωσης

	τέλη 2019		**αρχές 2020**		**μέσα 2020**	
Charter rate($/day)	49.000		57.000		35.000	
	Min		**Max**		**average**	
	35.000	**($/day)**	57.000	**($/day)**	47.000	**($/day)**

Α) Συνολικά κόστη μεταφοράς με max charter rate:

Πίνακας 5: Συγκεντρωτικός πίνακας υπολογισμών κόστων μεταφοράς με max charter rate

Τερματικοί Σταθμοί εξαγωγής Φυσικού αερίου	Απόσταση από την Αλεξανδρού-πολη σε ναυτικά μίλια	Ημέρες ταξιδιού	Κόστος ναύλωσης συνολικής διαδρομής (σε $)	Κόστος Διώρυγας Σουεζ συνολικής διαδρομής (σε $)	Κόστος κατανάλωσης καυσίμου συνολικής διαδρομής (σε $)	Συνολικό κόστος (σε $)
Algeria (Arzew)	1.450,00	3,1	526.025,77	0,00	187.457,20	713.482,97
Algeria (Skikda)	1.100,00	2,4	440.329,90	0,00	142.208,91	582.538,81
Egypt (Idku)	640,00	1,4	327.701,03	0,00	82.739,73	410.440,76
Norway (Snohvit)	4.220,00	9,1	1.204.247,42	0,00	638.427,23	1.842.674,65
Qatar (Ras Laffan)	3.770,00	8,1	1.094.067,01	156.905,56	478.055,74	1.729.028,31
Oman (Qalhat)	3.265,00	7,0	970.420,10	156.905,56	414.019,10	1.541.344,76
Trinidad (Point Fortin)	5.125,00	11,0	1.425.832,47	0,00	733.049,79	2.158.882,27
Nigeria (Bonny)	5.055,00	10,9	1.408.693,30	0,00	653.514,58	2.062.207,88
Yemen (Balhaf)	2.280,00	4,9	729.247,42	156.905,56	289.115,94	1.175.268,92
USA (Sabine Pass T1)	6.400,00	13,7	1.738.010,31	0,00	915.418,28	2.653.428,58

Β) Συνολικά κόστη μεταφοράς με min charter rate:

Πίνακας 6: Συγκεντρωτικός πίνακας υπολογισμών κόστων μεταφοράς με min charter rate

Τερματικοί Σταθμοί εξαγωγής Φυσικού αερίου	Απόσταση από την Αλεξανδρού-πολη σε ναυτικά μίλια	Ημέρες ταξιδιού	Κόστος ναύλωσης συνολικής διαδρομής (σε $)	Κόστος Διώρυγας Σουεζ συνολικής διαδρομής (σε $)	Κόστος κατανάλωσης καυσίμου συνολικής διαδρομής (σε $)	Συνολικό Κόστος (σε $)
Algeria (Arzew)	1.450,00	3,1	322.998,28	0,00	187.457,20	510.455,48
Algeria (Skikda)	1.100,00	2,4	270.378,01	0,00	142.208,91	412.586,92
Egypt (Idku)	640,00	1,4	201.219,93	0,00	82.739,73	283.959,66
Norway (Snohvit)	4.220,00	9,1	739.450,17	0,00	638.427,23	1.377.877,40
Qatar (Ras Laffan)	3.770,00	8,1	671.795,53	156.905,56	478.055,74	1.306.756,83
Oman (Qalhat)	3.265,00	7,0	595.871,99	156.905,56	414.019,10	1.166.796,65
Trinidad (Point Fortin)	5.125,00	11,0	875.511,17	0,00	733.049,79	1.608.560,96
Nigeria (Bonny)	5.055,00	10,9	864.987,11	0,00	653.514,58	1.518.501,69
Yemen (Balhaf)	2.280,00	4,9	447.783,51	156.905,56	289.115,94	893.805,00
USA (Sabine Pass T1)	6.400,00	13,7	1.067.199,31	0,00	915.418,28	1.982.617,59

Γ) Συνολικά κόστη μεταφοράς με average charter rate:

Πίνακας 7: Συγκεντρωτικός πίνακας υπολογισμών κόστων μεταφοράς με average charter rate

Τερματικοί Σταθμοί εξαγωγής Φυσικού αερίου	Απόσταση από την Αλεξανδρού-πολη σε ναυτικά μίλια	Ημέρες ταξιδιού	Κόστος ναύλωσης συνολικής διαδρομής (σε $)	Κόστος Διώρυγας Σουεζ συνολικής διαδρομής (σε $)	Κόστος κατανάλωσης καυσίμου συνολικής διαδρομής (σε $)	Συνολικό Κόστος (σε $)
Algeria (Arzew)	1.450,00	3,1	433.740,55	0,00	187.457,20	621.197,75
Algeria (Skikda)	1.100,00	2,4	363.079,04	0,00	142.208,91	505.287,95
Egypt (Idku)	640,00	1,4	270.209,62	0,00	82.739,73	352.949,35
Norway (Snohvit)	4.220,00	9,1	992.975,95	0,00	638.427,23	1.631.403,17
Qatar (Ras Laffan)	3.770,00	8,1	902.125,43	156.905,56	478.055,74	1.537.086,73
Oman (Qalhat)	3.265,00	7,0	800.170,96	156.905,56	414.019,10	1.371.095,62
Trinidad (Point Fortin)	5.125,00	11,0	1.175.686,43	0,00	733.049,79	1.908.736,22
Nigeria (Bonny)	5.055,00	10,9	1.161.554,12	0,00	653.514,58	1.815.068,70
Yemen (Balhaf)	2.280,00	4,9	601.309,28	156.905,56	289.115,94	1.047.330,78
USA (Sabine Pass T1)	6.400,00	13,7	1.433.096,22	0,00	915.418,28	2.348.514,50

Επομένως, προκύπτει ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας με τα συνολικά έξοδα μεταφοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου σε ευρώ από τον κάθε Τερματικό Σταθμό Εξαγωγής Φυσικού αερίου στην Αλεξανδρούπολη και πάλι πίσω στον εκάστοτε τερματικό σταθμό για τις τρεις περιπτώσεις τιμής ναύλωσης:

Πίνακας 8: Συνολικά κόστη μεταφοράς

Τερματικοί Σταθμοί εξαγωγής Φυσικού αερίου	Συνολικό κόστος με ελάχιστη τιμή ναύλωσης (σε ευρώ)	Συνολικό κόστος με μέγιστη τιμή ναύλωσης (σε ευρώ)	Συνολικό κόστος με μέση τιμή ναύλωσης (σε ευρώ)
Algeria (Arzew)	455.244,62	636.312,65	554.009,00
Algeria (Skikda)	367.961,52	519.531,41	450.636,00
Egypt (Idku)	253.246,58	366.047,49	314.774,35
Norway (Snohvit)	1.228.846,18	1.643.370,96	1.454.950,61
Qatar (Ras Laffan)	1.165.418,01	1.542.016,61	1.370.835,43
Oman (Qalhat)	1.040.595,92	1.374.632,91	1.222.797,92
Trinidad (Point Fortin)	1.434.579,01	1.925.377,56	1.702.287,31
Nigeria (Bonny)	1.354.260,55	1.839.159,48	1.618.750,87
Yemen (Balhaf)	797.131,05	1.048.151,83	934.051,48
USA (Sabine Pass T1)	1.768.177,68	2.366.433,75	2.094.499,17

Σημειώνεται ότι για την μετατροπή των συνολικών κόστων μεταφοράς από δολλάρια σε ευρώ, χρησιμοποιήθηκε η ισοτιμία από ευρώ σε USD για τα τέλη του 2019 (1 USD=0,89184 EUR). [[76]]

4.4.4 EEOI - ENERGY EFFICIENCY OPERATIONAL INDICATOR

Ο Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης (EEOI) είναι ένα εργαλείο παρακολούθησης στα πλαίσια του Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) που αναπτύχθηκε από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) για τον έλεγχο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία.

Ο Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης (EEOI) χρησιμοποιεί την εκπομπή CO_2 ως βάση για τη μέτρηση της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου και ορίζεται ως η μάζα CO_2 που εκπέμπεται από το πλοίο ή το πλήρωμα ανάλογα με την ποσότητα φορτίου που μεταφέρεται και την απόσταση του ταξιδιού. Η κατανάλωση καυσίμου και οι τύποι των χρησιμοποιημένων καυσίμων επηρεάζουν επίσης το αποτέλεσμα του EEOI. Η κατανάλωση καυσίμου έχει μεγάλη επιρροή στο αποτέλεσμα του EEOI, η οποία με τη σειρά της επηρεάζεται κατά τη λειτουργία ενός πλοίου από εξωτερικούς παράγοντες. Για παράδειγμα, η επιδείνωση του καιρού και η φθορά της γάστρας και της έλικας θα μπορούσαν να αυξήσουν την αντίσταση, και έτσι να απαιτείται περισσότερη κατανάλωση καυσίμου. [11]

Εκτός από την χρήση του δείκτη EEOI για τη μέτρηση των εκπομπών αερίων CO_2 στο περιβάλλον ανά μεταφορική ικανότητα, ο δείκτης αυτός αντιπροσωπεύει και την πραγματική απόδοση μεταφοράς ενός πλοίου σε λειτουργία. Ο ετήσιος υπολογισμός EEOI είναι απαραίτητη εργασία. Αυτός ο δείκτης διαφέρει από ταξίδι σε ταξίδι του πλοίου αφού επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η κατάσταση του περιβάλλοντος πλοήγησης, η θαλάσσια περιοχή, ο καιρός, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, το βάρος μεταφοράς φορτίου κ.λπ. [27]

Ο δείκτης EEOI παρέχει μια ακριβή εικόνα για κάθε ταξίδι. Όσο μικρότερη τιμή έχει τόσο πιο ενεργειακά αποδοτικό πλοίο είναι. Υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$EEOI = \Sigma j \ FCj * CFj / mcargo * D$$

Όπου:

j: ο τύπος καυσίμου που χρησιμοποιείται (LNG)

FCj: η μάζα του καυσίμου j που καταναλώνεται (tonnes)

CFj: Συντελεστής μετατροπής μάζας καυσίμου j σε μάζα CO_2. Για LNG, CFj = 2,75 tn-CO_2 / tn-καύσιμο.

mcargo: Βάρος φορτίου που μεταφέρεται στο πλοίο (tonnes)

D: Απόσταση του ταξιδιού (ναυτικά μίλια).

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται για κάθε ταξίδι τα δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου, το φορτίο που μεταφέρεται (150.000 m^3 το οποίο έχει μετατραπεί σε βάρος πολλαπλασιάζοντας με την πυκνότητα του υγροποιημένου φυσικού αερίου), η απόσταση πλεύσης και ο υπολογισμένος δείκτης EEOI. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο δείκτης EEOI υπολογίστηκε μόνο για το ταξίδι από τον εκάστωτε τερματικό σταθμό εξαγωγής Φυσικού αερίου προς την Αλεξανδρούπολη αφού στο ταξίδι της επιστροφής από Αλεξανδρούπολη προς τον εκάστοτε προορισμό το μεταφερόμενο φορτίο είναι μηδέν:

Πίνακας 9: Υπολογισμός περιβαλλοντικού δείκτη EEOI

Τερματικοί Σταθμοί εξαγωγής Φυσικού αερίου	Απόσταση από την Αλεξανδρούπολη σε ναυτικά μίλια	Συνολική κατανάλωση καυσίμου (tonnes)	EEOI σε gr CO_2/tn nm
Algeria (Arzew)	1.450	809,71	20,47543
Algeria (Skikda)	1.100	614,26	20,47533
Egypt (Idku)	640	357,39	20,47547
Norway (Snohvit)	4.220	2.356,53	20,47538
Qatar (Ras Laffan)	3.770	2.105,24	20,47537
Oman (Qalhat)	3.265	1.823,24	20,47539
Trinidad (Point Fortin)	5.125	2.861,90	20,47538
Nigeria	5.055	2.822,81	20,47538
Yemen	2.280	1.273,20	20,47544
USA	6.400	3.573,88	20,47535

4.4.5 RESERVES TO PRODUCTION RATIO (R/P RATIO)

Ο δείκτης αυτός ισούται με τον λόγο των αποθεμάτων φυσικού αερίου προς την ποσότητα που παράγεται (RPR ή R/P) και εκφράζει τα αποθέματα ενός μη ανανεώσιμου πόρου σε πιθανούς τερματικούς σταθμούς, εκφρασμένο στο χρόνο. Ενώ μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους φυσικούς πόρους, το RPR εφαρμόζεται συνήθως στα ορυκτά καύσιμα, ιδίως στο πετρέλαιο και στο φυσικό αέριο. Στον αριθμητή της αναλογίας είναι το αποθεματικό τμήμα ,δηλαδή το ποσό ενός πόρου που είναι γνωστό ότι υπάρχει σε μια περιοχή και είναι οικονομικά ανακτήσιμο (αποδεδειγμένα αποθέματα) ενώ στον παρονομαστή είναι το ποσό των πόρων που παράγονται σε ένα έτος.

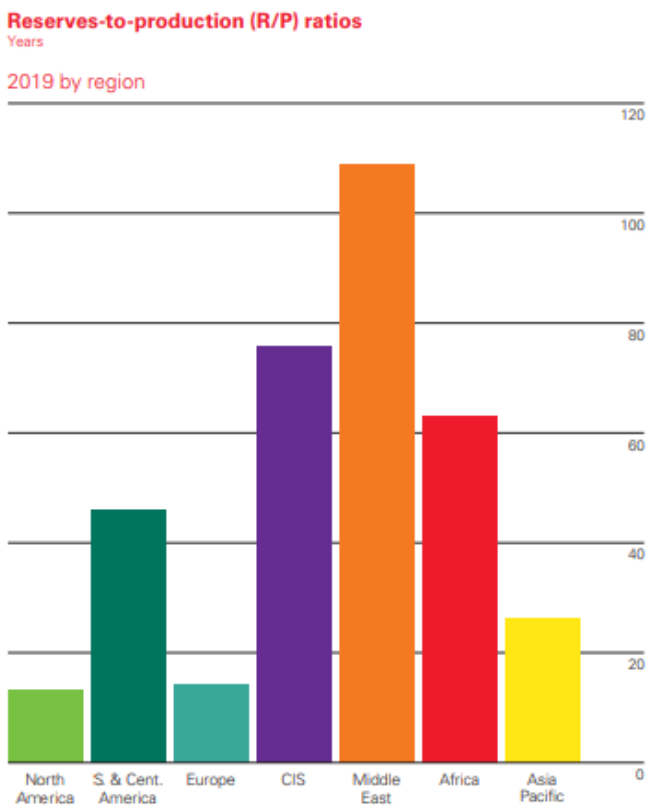
R/P Ratio = (ποσό αποθεμάτων) / (ποσό που παράγεται ανά έτος)

Αυτός ο λόγος εκφράζεται σε όρους ετών και χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της μελλοντικής διαθεσιμότητας ενός πόρου και για να προσδιοριστεί εάν πρέπει να πραγματοποιηθεί περισσότερη εξερεύνηση για να εξασφαλιστεί η συνεχής παροχή του πόρου. Εάν τα αποθέματα, που παραμένουν στο τέλος κάθε έτους, διαιρεθούν με την παραγωγή εκείνου του έτους, το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι ο χρόνος που θα διαρκούσαν τα υπόλοιπα αποθέματα εάν η παραγωγή συνεχιζόταν με αυτό το ρυθμό. Η ετήσια παραγωγή ενός πόρου μπορεί συνήθως να υπολογιστεί με ακρίβεια. Ωστόσο, οι αποθεματικές ποσότητες μπορούν να εκτιμηθούν με διαφόρους βαθμούς ακρίβειας, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των πληροφοριών και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγησή και την εξερεύνηση τους. [30]

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ο δείκτης για τους διάφορους εναλλακτικούς τερματικούς σταθμούς, στοιχεία τα οποία αντλήθηκαν από Statistical Review of World Energy, 2020 [10] για το τέλος του έτους 2019:

Πίνακας 10: Συγκεντρωτικός πίνακας του δείκτη R/P ratio

Τερματικοί Σταθμοί	R/P ratio (in years)
Algeria (Arzew)	50,3
Algeria (Skikda)	50,3
Egypt (Idku)	32,9
Norway (Snohvit)	13,4
Qatar (Ras Laffan)	138,6
Oman (Qalhat)	18,3
Trinidad (Point Fortin)	8,4
Nigeria (Bonny)	109,4
Yemen (Balhaf)	458,2
USA (Sabine Pass T1)	14,0



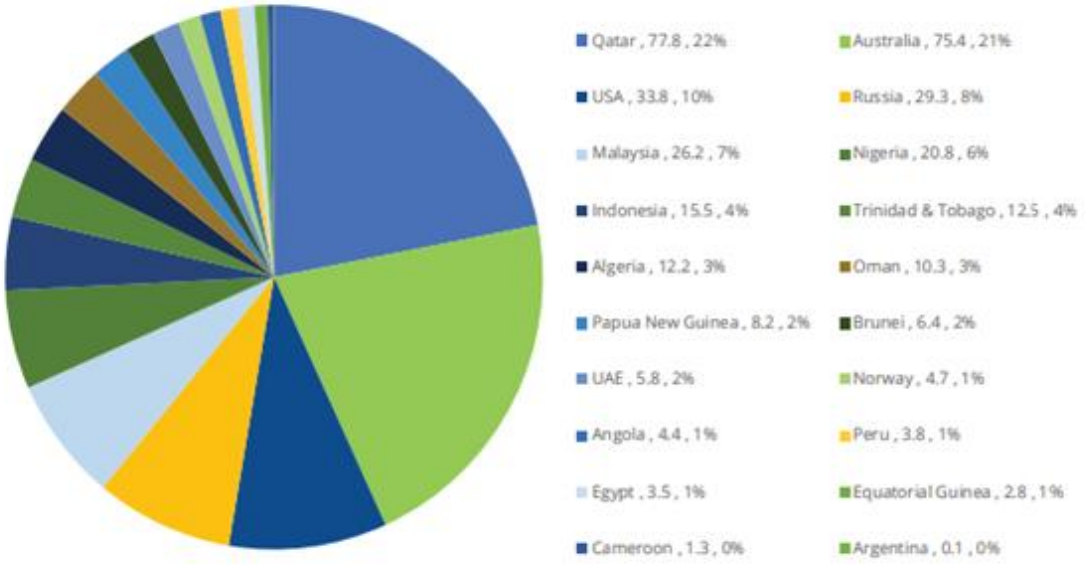
Εικόνα 51: Δείκτης R/P Ratio ανα ήπειρο για το 2019 [10]

4.4.6 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ

Οι πέντε κορυφαίοι εξαγωγείς Φυσικού αερίου που καταγράφηκαν το 2019 ήταν:

- Κατάρ,
- Αυστραλία,
- ΗΠΑ,
- Ρωσία και
- Μαλαισία.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 52, το Κατάρ κατόρθωσε να διατηρήσει τη θέση του ως ο μεγαλύτερος εξαγωγέας στον κόσμο, εξάγοντας 77,8 MT το 2019. Ακολουθεί η Αυστραλία που εξήγαγε συνολικά 75,4 MT, αύξηση 13% από το προηγούμενο έτος. Οι ΗΠΑ ξεπέρασαν τη Μαλαισία με 33,8 MT, ενώ η Ρωσία είναι τώρα ο τέταρτος μεγαλύτερος εξαγωγέας ΥΦΑ, με 29,3 MT το 2019. Στην πέμπτη θέση βρίσκεται πλέον η Μαλαισία, εξάγοντας 26,2 MT. [67]



Εικόνα 52: Εξαγωγές φυσικού αερίου ανα περιοχή για το 2019 [67]

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν τη χρήση των εγκαταστάσεων ΥΦΑ παγκοσμίως. Η διαθεσιμότητα φυσικού αερίου είναι ένας από τους πιο συνηθισμένους παράγοντες που περιορίζουν την ικανότητα παραγωγής υφιστάμενων εγκαταστάσεων ΥΦΑ.

Ο τερματικός σταθμός ανεφοδιασμού ΥΦΑ Bontang της Ινδονησίας υπέστη μείωση της παραγωγής λόγω της μείωσης των πόρων φυσικού αερίου από το μπλοκ Mahakam. Οι αφρικάνικες εξαγωγές μειώθηκαν και οι εξαγωγές ΥΦΑ της Αλγερίας διατηρήθηκαν σε χαμηλά επίπεδα, εν μέρει λόγω της μείωσης της παραγωγής από το μεγαλύτερο μέρος φυσικού αερίου Hassi R'Mel και της καθυστέρησης ανάπτυξης νέων πεδίων στη νοτιοδυτική περιοχή.

Αντίθετα, το Idku της Αιγύπτου έφτασε σε πλήρη εξαγωγική ικανότητα τον Δεκέμβριο του 2019 για πρώτη φορά στα έξι χρόνια. Το Ατλαντικό ΥΦΑ στο Τρινιντάντ και Τομπάγκο κατέγραψε 91,1% παραγωγή το 2019 ,μετά από μια περίοδο παρακμής που πέρασε λόγω ζητημάτων πρώτων υλών, χάριν της αύξησης νέων πεδίων.

Οι τεχνικές προκλήσεις επηρεάζουν επίσης τη χρήση των υπαρχουσών εγκαταστάσεων ΥΦΑ. Τον Ιούνιο του 2019, ο εξαγωγέας Pluto LNG στην Αυστραλία αντιμετώπισε τεχνικά προβλήματα που σχετίζονται με τον ψυκτικό συμπιεστή του που οδήγησε σε διακοπή της εγκατάστασης. Επίσης, LNG Train 3, στη Λουιζιάνα, υπέστη παρατεταμένη διακοπή λειτουργίας στα μέσα Ιανουαρίου 2019 λόγω μηχανικών ζητημάτων.

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας στη διαθεσιμότητα του φυσικού αερίου είναι η γεωπολιτική θέση. Η Υεμένη δεν εξήγαγε φορτίο ΥΦΑ από το 2015, λόγω της συνεχούς πολιτικής αστάθειας στη χώρα και του εμφύλιου πολέμου. Τα νομικά ζητήματα καθυστέρησαν επίσης την επανεκκίνηση του Damietta LNG στην Αίγυπτο, το οποίο βρίσκεται σε αδράνεια από το 2013, και οι διαπραγματεύσεις για την επίλυση της νομικής διαφοράς συνεχίζονται. [33]

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία και τις παγκόσμιες εξαγωγές ανα περιοχή (βλ. Εικόνα 52), εκτιμήθηκε προσεγγιστικά ένας δείκτης για κάθε τερματικό σταθμό εξαγωγής ΥΦΑ από το 1 ως το 5, με το 5 να αντιστοιχεί στο Κατάρ και το 1 να αντιστοιχεί στην Υεμένη:

Πίνακας 11: Ασφάλεια Ανεφοδιασμού Φυσικού αερίου

Terminals	Ασφάλεια ανεφοδιασμού
Algeria (Arzew)	4
Algeria (Skikda)	4
Egypt (Idku)	2
Norway (Snohvit)	3
Qatar (Ras Laffan)	5
Oman (Qalhat)	3
Trinidad (Point Fortin)	3
Nigeria (Bonny)	4
Yemen (Balhaf)	1
USA (Sabine Pass T1)	4

4.4.7 ΔΙΑΚΡΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΕΣ

Η συνεργασία μεταξύ Ελλάδας και των πιθανών χωρών ανεφοδιασμού με φυσικό αέριο ποσοτικοποιείται με βάση τις συναλλαγές μεταξύ των δύο χωρών. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το ποσοστό των εισαγωγών καυσίμων της Ελλάδας από τους διάφορους προμηθευτές κατά το έτος 2018. Είναι φανερό ότι τα μεγάλα ποσοστά εισαγωγών καυσίμων (όπως η Αλγερία) φανερώνουν την ύπαρξη πολυετών συμβολαίων, επομένως αυξάνονται οι πιθανότητες συνεργασίας με την Ελλάδα για τον ανεφοδιασμό του πλωτού τερματικού σταθμού στην Αλεξανδρούπολη. Σημειώνεται ότι οι χώρες που δεν εισήγαγαν φορτίο στην Ελλάδα εκείνο το έτος έχουν 0% ποσοστό εισαγωγών στην Ελλάδα. Τα παρακάτω ποσοστά αντλήθηκαν από τη σελίδα WITS WORLDBANK: [[75]]

Πίνακας 12: Ποσοστά εισαγωγών καυσίμων στην Ελλάδα το 2018

Terminals	Import Product Share
Algeria (Arzew)	96,29 %
Algeria (Skikda)	96,29 %
Egypt (Idku)	70,05 %
Norway (Snohvit)	0,04 %
Qatar (Ras Laffan)	68,95 %
Oman (Qalhat)	0,07 %
Trinidad (Point Fortin)	0 %
Nigeria (Bonny)	0 %
Yemen (Balhaf)	0 %
USA (Sabine Pass T1)	29,15 %

Συγκεντρωτικός Πίνακας Κριτηρίων

Πίνακας 13: Συγκεντρωτικός Πίνακας Κριτηρίων

Τερματικοί Σταθμοί εξαγωγής	Τιμή πώλησης ΥΦΑ (€/tons)	Καταναλώσεις Καυσίμων (tons)	Συνολικά Κόστη μεταφοράς(€)	EEOI (gr CO_2/tn nm)	R/P Ratio(years)	Ασφάλεια Ανεφοδιασμού	Διακρατικές Συνεργασίες
Algeria (Arzew)	206,47	809,71	554.009,00	20,47543	50,3	4	96,29%
Algeria (Skikda)	206,47	614,26	450.636,00	20,47533	50,3	4	96,29%
Egypt (Idku)	206,47	357,39	314.774,35	20,47547	32,9	2	70,05%
Norway (Snohvit)	241,62	2.356,53	1.454.950,61	20,47538	13,4	3	0,04%
Qatar (Ras Laffan)	202,52	2.105,24	1.370.835,43	20,47537	138,6	5	68,95%
Oman (Qalhat)	202,52	1.823,24	1.222.797,92	20,47539	18,3	3	0,07%
Trinidad (Point Fortin)	228,44	2.861,90	1.702.287,31	20,47538	8,4	3	0 %
Nigeria (Bonny)	206,47	2.822,81	1.618.750,87	20,47538	109,4	4	0%
Yemen (Balhaf)	202,52	1.273,20	934.051,48	20,47544	458,2	1	0%
USA (Sabine Pass T1)	228,44	3.573,88	2.094.499,17	20,47535	14,0	4	29,15 %

4.5 ΣΤΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Για την στάθμιση των κριτηρίων, στην παρούσα εργασία, θα εφαρμόσουμε τη διαδικασία SIMOS. Ο λόγος που επιλέξαμε αυτή την μέθοδο για την στάθμιση των κριτηρίων είναι οι εξής:

- είναι λιγότερο αυθαίρετη από την άμεση εκχώρηση βαρών,
- είναι απλούστερη από άλλες τεχνικές,
- μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητή από τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων και
- τους αφήνει αρκετή ελευθερία να διατυπώσουν με ακρίβεια τις προτιμήσεις τους.

Η κύρια ιδέα αυτής της μεθόδου είναι η αντιστοίχιση ενός «παιγνιόχαρτου» σε κάθε κριτήριο. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τέσσερα βήματα ως εξής:

1. Σε κάθε υπεύθυνο λήψης αποφάσεων δίδονται n έγχρωμες κάρτες (ή n κριτήρια). Κάθε κάρτα έχει το όνομα και το στόχο του κριτηρίου. Παρέχονται επίσης πολλές λευκές κάρτες (κενές κάρτες).

2. Στη συνέχεια, ζητείται από τον υπεύθυνο λήψης αποφασέων να κατατάξει τις κάρτες από τις λιγότερο σημαντικές στις πιο σημαντικές. Εάν ορισμένα κριτήρια θεωρούνται ότι έχουν την ίδια σημασία (ίδια στάθμιση), οι κάρτες ομαδοποιούνται (ίδια θέση κατάταξης).
3. Έπειτα, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων καλούνται να τοποθετήσουν τις λευκές κάρτες ανάμεσα σε δύο διαδοχικά χρωματιστές κάρτες (ή ομάδα καρτών) προκειμένου να εκφράσουν την προτίμησή τους μεταξύ των κριτηρίων. Ο αριθμός των λευκών καρτών είναι ανάλογος της διαφοράς μεταξύ της σημασίας των κριτηρίων. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά ανάμεσα στα βάρη των κριτηρίων (ή τα υποσύνολα των κριτηρίων), τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των λευκών καρτών που πρέπει να τοποθετηθούν μεταξύ τους. [57]

Συνοπτικά, οι πληροφορίες που παρέχονται από τον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων και χρησιμοποιούνται με τη μέθοδο Simos για τον προσδιορισμό των βαρών είναι οι εξής:

- κατάταξη των κριτηρίων από το λιγότερο σημαντικό στο πιο σημαντικό, λαμβάνοντας υπόψη και τις λευκές κάρτες,
- εκχώρηση θέσης σε κάθε κριτήριο / κάρτα και σε κάθε λευκή κάρτα,
- υπολογισμός των μη κανονικοποιημένων βαρών και
- προσδιορισμός των κανονικοποιημένων βαρών.

Η κάρτα που έχει τη μικρότερη αξία καταχωρείται στη θέση 1, ενώ η πιο κατάλληλη κάρτα λαμβάνει τη θέση n. Το μη κανονικοποιημένο βάρος κάθε κριτηρίου καθορίζεται διαιρώντας το άθροισμα των θέσεων μιας κατάταξης, με τον συνολικό αριθμό κριτηρίων που ανήκουν σε αυτήν. Στη συνέχεια, τα μη κανονικοποιημένα βάρη διαιρούνται με το συνολικό άθροισμα των θέσεων των κριτηρίων σε κάθε κατάταξη (εξαιρουμένων των λευκών καρτών), προκειμένου να εξομαλυνθούν. [57]

Η κατάταξη των κριτηρίων στη συνέχεια μετατρέπεται σε βάρη χρησιμοποιώντας έναν κατάλληλο αλγόριθμο που αποδίδει μια αριθμητική τιμή στα βάρη κάθε κριτηρίου. Παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα της διαδικασίας SIMOS:

Πίνακας 14: Κατανομή βαρών με τη μέθοδο SIMOS

Κριτήρια	**Αριθμός Κριτηρίων**	**Θέση**	**Μη κανονικοποι-ημένο βάρος**	**Βάρος**
C6	1	1	$\frac{1}{1}=1$	2,17%
Λευκή		(2)		
C5	1	3	$\frac{3}{1}=3$	6,52%
Λευκή		(4)		
C4	1	5	$\frac{5}{1}=5$	10,87%
Λευκή		(6)		
C7	1	7	$\frac{7}{1}=7$	15,22%
Λευκή		(8)		
C1,C2,C3	3	9,10,11	$\frac{9+10+11}{3}=10$	21,74%
Σύνολο		46		100,00%

Στην πρώτη στήλη κατατάσσονται τα κριτήρια και ανάμεσα τους εκχωρούνται οι λευκές κάρτες, ώστε να εκφραστεί η προτίμηση μεταξύ των κριτηρίων. Στην δεύτερη στήλη τοποθετείται ο αριθμός των κριτηρίων που αντιστοιχεί στην αντίστοιχη σειρά της πρώτης στήλης (σε μια σειρά μπορούν να μπουν παραπάνω από 1 κριτήρια). Στην τρίτη στήλη αποδίδουμε σε κάθε κριτήριο έναν αριθμό αναλόγως τη σειρά προτίμησης του. Στην τέταρτη στήλη υπολογίζουμε το μέσο όρο ή το μη κανονικοποιήμενο βάρος. Τέλος, στην τελευταία στήλη προκύπτει το τελικό βάρος του κάθε κριτηρίου. Στο παράδειγμα του Πίνακα 14 βλέπουμε ότι τα προτιμότερα κριτήρια έιναι τα C1, C2, C3 και το βάρος τους που υπολογίστηκε έιναι 21,74% ενώ το λιγότερο προτιμιταίο κριτήριο είναι το C6 και το βάρος του υπολογίστηκε 2,17%. Σημειώνεται ότι οι κενές σειρές μεταξύ των κριτηρίων εκφράζουν την προτίμηση της σημασίας των κριτηρίων.

Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής προϋποθέτει την κατάταξη των κριτηρίων με φθίνουσα σειρά προτίμησης. Η αδιαφορία μεταξύ δύο κριτηρίων εκφράζεται με την κατάταξή τους στην ίδια σειρά, ενώ η διαφορά μεταξύ των κριτηρίων σημαίνει υψηλότερο βάρος στο προτιμότερο κριτήριο. [34]

Τα παρακάτω σενάρια προέκυψαν μέσα από ερωτηματολόγιο όπου ζητήθηκε η κατάταξη των κριτηρίων σε αύξουσα σειρά, σύμφωνα με τη σημαντικότητα των κριτηρίων που θεωρούσαν οι ερωτηθέντες. Το ερωτηματολόγιο συμπληρώθηκε από συναδέλφους της ναυτιλιακής εταιρείας αλλά και συμφοιτητές. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα παρακάτω σενάρια:

1ο σενάριο: στο σενάριο αυτό προτιμώνται όλα τα οικονομικά κριτήρια και στη συνέχεια οι διακρατικές συνεργασίες και ο περιβαλλοντικός δείκτης EEOI.

2ο σενάριο: στο σενάριο αυτό προτιμάται η ασφάλεια ανεφοδιασμού του LNG και οι διακρατικές συνεργασίες.

3ο σενάριο: στο σενάριο αυτό δίνεται μια προτίμηση πρώτα στον περιβαλλοντικό δείκτη EEOI, και μετέπειτα στα οικονομικά κριτήρια.

Τα σενάρια που εξετάστηκαν καλύπτουν όλες τις πιθανές εναλλακτικές προτιμήσεις που θα μπορούσε να εκφραστεί από τα ενδιαφερόμενα μέρη από διάφορους επαγγελματικούς τομείς.

Όσον αφορά τον υπολογισμό των ορίων αδιαφορίας, χρησιμοποιείται ένας εμπειρικός κανόνας ο οποίος είναι ο υπολογισμός των ποσοστών της μέγιστης διαφοράς (Vimax − Vimin) των τιμών Vi (X) για κάθε κριτήριο i και για κάθε εναλλακτική ενέργεια X. Στις περισσότερες μεθόδους ενεργειακού σχεδιασμού, το όριο αδιαφορίας θεωρείται μηδέν.

Για απλοποίηση του προβλήματος, στην παρούσα μελέτη, το όριο αδιαφορίας έχει αγνοηθεί. Για τα ποσοτικά κριτήρια χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση προτιμήσεως τύπου V και για τα ποιοτικά κριτήρια (ασφάλεια ανεφοδιασμού) η κοινή συνάρτηση προτιμήσεως (Usual form). Τα κατώφλια προτίμησης έχουν υπολογιστεί σύμφωνα με τη συνάρτηση $P_n = (f(a)_{max}-f(a)_{min})/ n$ όπου n είναι ο αριθμός των εναλλακτικών ενεργειών (εδώ οι τερματικοί σταθμοί εξαγωγής). [83]

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα κατώφλια προτίμησης για το κάθε κριτήριο για την εφαρμογή των παρακάτω τριών σεναρίων:

Πίνακας 15: Κατώφλια Προτίμησης

Κριτήρια	Κατώφλι Προτίμησης P
Τιμή πώλησης ΥΦΑ	0,089
Κατανάλωση Καυσίμου	321,649
Συνολικό Κόστος Μεταφοράς	177.972,482
EEOI	0,00001
R/P Ratio	44,98
Ασφάλεια Ανεφοδιασμού	n/a
Διακρατικές Συνεργασίες	9,629

Τέλος, επισημαίνεται ότι και για τα τρία σενάρια χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή ναύλωσης του πλοίου για τον υπολογισμό των συνολικών κόστων μεταφοράς του ΥΦΑ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{ο}: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

5.1 1^{ο} ΣΕΝΑΡΙΟ

Στο σενάριο αυτό, η βαρύτητα δίνεται **στα οικονομικά κριτήρια** (δηλαδή το συνολικό κόστος μεταφοράς του Υγροποιημένου φυσικού αερίου από τον εκάστοτε τερματικό σταθμό εξαγωγής στον πλωτό τερματικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης και πάλι πίσω, την τιμή πώλησης ΥΦΑ και την κατανάλωση καυσίμου). Είναι φανερό ότι τα οικονομικά κριτήρια έχουν πολλή μεγάλη βαρύτητα για τους ενδιαφερόμενους και τους λήπτες αποφάσεων ενός τέτοιου έργου. Αμέσως μετά ακολουθούν οι διακρατικές συνεργασίες και ο περιβαλλοντικός δείκτης EEOI. Στην επόμενη θέση προτίμησης βρίσκεται ο δείκτης Reserves to production ratio (R/P ratio), πράγμα που δικαιολογείται αφού ο πλωτός τερματικός σταθμός δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμα και η λειτουργία του αφορά τα μελλοντικά αποθέματα φυσικού αερίου. Τελευταίο κριτήριο στην κατάταξη προτίμησης είναι η ασφάλεια ανεφοδιασμού του φυσικού αερίου.

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε την κατάταξη προτίμησης των κριτηρίων σύμφωνα με την διαδικασία στάθμισης των κριτηρίων SIMOS. Διευκρινίζεται ότι:

C1: τιμή πώλησης ΥΦΑ

C2: καταναλώσεις καυσίμων

C3: κόστος της συνολικής μεταφοράς του ΥΦΑ

C4: EEOI

C5: R/P ratio

C6: ασφάλεια ανεφοδιασμού

C7: διακρατικές συνεργασίες

Πίνακας 16: Κατανομή βαρών 1^{ου} σεναρίου

Κριτήρια	Αριθμός Κριτηρίων	Θέση	Μη κανονικοποι-ημένο βάρος	Βάρος
C6	1	1	1	2,17%
Λευκή		(2)		
C5	1	3	3	6,52%
Λευκή		(4)		
C4	1	5	5	10,87%
Λευκή		(6)		
C7	1	7	7	15,22%
Λευκή		(8)		
C1,C2,C3	3	9,10,11	10	21,74%
Σύνολο		46		100,00%

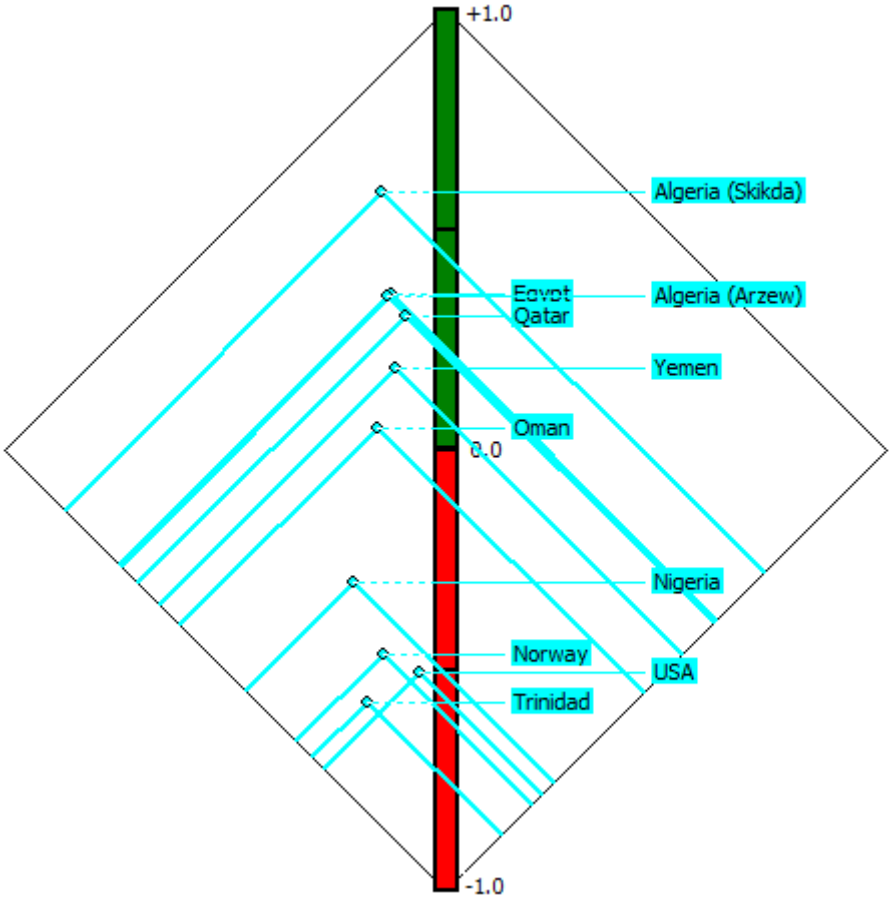
Βάζοντας τα παραπάνω βάρη σε κάθε κριτήριο στη διαδικασία της Promethee, παρατηρήθηκε ότι η βέλτιστη λύση που ικανοποιεί το πρώτο σενάριο με κυρίαρχη προτίμηση στο συνολικό κόστος μεταφοράς του Υγροποιημένου φυσικού αερίου από τον εκάστοτε τερματικό σταθμό εξαγωγής στον πλωτό τερματικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης και πάλι πίσω είναι ο τερματικός σταθμός εξαγωγής Φυσικού αερίου της **Αλγερίας (Skikda)** με **Φ=0,5875**

Στην κατάταξη ακολουθεί η Αίγυπτος με Φ=0,3534, ενώ αμέσως μετά είναι ο τερματικός σταθμός εξαγωγής Φυσικού αερίου της Αλγερίας (Arzew) με Φ=0,3505. Μετά την Αλγερία βρίσκεται το Κατάρ με Φ=0,3058, η Υεμένη, με αρκετά χαμηλότερο Φ=0,1882 και το Ομάν με Φ=0,0514. Ακολουθούν οι εναλλακτικές με αρνητικό αριθμό καθαρής ροής: Νιγήρια με Φ=-0,2979, Νορβηγία με Φ=-0,4626, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής με Φ=-0,5048 και τέλος το Τρινιντάντ με Φ=-0,5715.

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της μεθόδου:

Rank	Terminals		Phi	Phi+	Phi-
1	Algeria (Skikda)		0,5875	0,7219	0,1343
2	Egypt		0,3534	0,6150	0,2616
3	Algeria (Arzew)		0,3505	0,6086	0,2582
4	Qatar		0,3058	0,6074	0,3017
5	Yemen		0,1882	0,5362	0,3480
6	Oman		0,0514	0,4482	0,3967
7	Nigeria		-0,2979	0,2461	0,5441
8	Norway		-0,4626	0,1972	0,6598
9	USA		-0,5048	0,2184	0,7232
10	Trinidad		-0,5715	0,1256	0,6971

Εικόνα 53: Αποτελέσματα 1ου σεναρίου



Εικόνα 54: Αποτελέσματα 1ου σεναρίου

5.2 2^{ο} ΣΕΝΑΡΙΟ

Στο σενάριο αυτό, η βαρύτητα δίνεται στην **ασφάλεια ανεφοδιασμού** του φυσικού αερίου στον εκάστοτε τερματικό σταθμό και ακολούθως στις διακρατικές συνεργασίες. Στην επόμενη θέση προτίμησης βρίσκονται η τιμή πώλησης ΥΦΑ και ο τεχνικός δείκτης R/P ratio. Λιγότερη προτίμηση δίνεται στον περιβαλλοντικό δείκτη EEOI και στα καύσιμα που καταναλώνονται σε ολόκληρο το ταξίδι. Τελευταίο κριτήριο στην κατάταξη προτίμησης είναι το κόστος της συνολικής μεταφοράς του ΥΦΑ.

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε την κατάταξη προτίμησης των κριτηρίων σύμφωνα με την διαδικασία στάθμισης των κριτηρίων SIMOS. Διευκρινίζεται ότι:

C1: τιμή πώλησης ΥΦΑ

C2: καταναλώσεις καυσίμων

C3: κόστος της συνολικής μεταφοράς του ΥΦΑ

C4: EEOI

C5: R/P ratio

C6: ασφάλεια ανεφοδιασμού

C7: διακρατικές συνεργασίες

Πίνακας 17: Κατανομή βαρών 2^{ου} σεναρίου

Κριτήρια	Αριθμός Κριτηρίων	Θέση	Μη κανονικοποι-ημένο βάρος	Βάρος
C3	1	1	1	2,44%
Λευκή		(2)		
C4,C2	2	3,4	3,5	8,54%
Λευκή		(5)		
C1,C5	2	6,7	6,5	15,85%
Λευκή		(8)		
C7	1	9	9	21,95%
Λευκή		(10)		
C6	1	11	11	26,83%
Σύνολο		41		100,00%

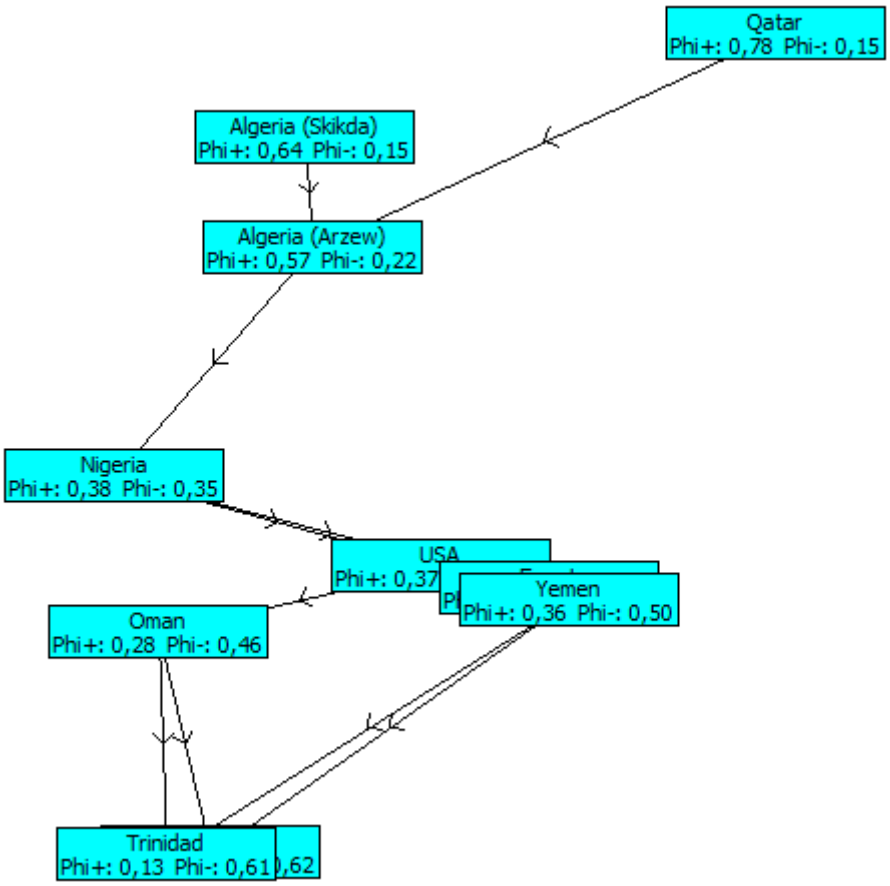
Βάζοντας τα παραπάνω βάρη σε κάθε κριτήριο στη διαδικασία της Promethee, παρατηρήθηκε ότι η βέλτιστη λύση που ικανοποιεί το 2^{ο} σενάριο με κυρίαρχη προτίμηση την ασφάλεια ανεφοδιασμού του εκάστοτε τερματικού σταθμού εξαγωγής φυσικού αερίου είναι ο τερματικός σταθμός εξαγωγής Φυσικού αερίου του **Κατάρ** με **Φ=0,6368**.

Στην κατάταξη ακολουθεί η Αλγερία (Skikda) με Φ=0,4944, ενώ αμέσως μετά είναι ο τερματικός σταθμός εξαγωγής Φυσικού αερίου της Αλγερίας (Arzew) με Φ=0,3443. Μετά την Αλγερία βρίσκεται η Νιγηρία, με αρκετά χαμηλότερο Φ=0,0302. Ακολουθούν οι εναλλακτικές με αρνητικό αριθμό καθαρής ροής: οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής με Φ=-0,0933, η Αίγυπτος με Φ=-0,1226, η Υεμένη με Φ=-0,1386, το Ομάν με Φ=-0,1815, η Νορβηγία με Φ=-0,4830 και τέλος το Τρινιντάντ με Φ=-0,4867.

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της μεθόδου:

Rank	Terminals	Phi	Phi+	Phi-
1	Qatar	0,6368	0,7843	0,1475
2	Algeria (Skikda)	0,4944	0,6395	0,1451
3	Algeria (Arzew)	0,3443	0,5658	0,2214
4	Nigeria	0,0302	0,3777	0,3476
5	USA	-0,0933	0,3669	0,4603
6	Egypt	-0,1226	0,3694	0,4920
7	Yemen	-0,1386	0,3645	0,5030
8	Oman	-0,1815	0,2788	0,4603
9	Norway	-0,4830	0,1362	0,6193
10	Trinidad	-0,4867	0,1274	0,6141

Εικόνα 55: Αποτελέσματα 2ου σεναρίου



Εικόνα 56: Αποτελέσματα 2ου σεναρίου

5.3 3ο ΣΕΝΑΡΙΟ

Στο τελευταίο σενάριο, οι ενδιαφερόμενοι θεωρούν ότι το πιο σημαντικό κριτήριο είναι ο **περιβαλλοντικός δείκτης EEOI**, ώστε το έργο να είναι όσο το δυνατόν πιο φιλικό προς το περιβάλλον και να συμμορφώνεται με τους νέους περιβαλλοντικούς κανονισμούς που ισχύουν από το 2020. Εν συνεχεία, η βαρύτητα δίνεται στα οικονομικά κριτήρια δηλαδή την τιμή πώλησης ΥΦΑ (spot rate), τα συνολικά κόστη μεταφοράς και τις καταναλώσεις καυσίμων. Λιγότερη προτίμηση δίνεται στην ασφάλεια του ανεφοδιασμού του φυσικού αερίου και στον τεχνικό δείκτη Reserves to production ratio (R/P ratio). Τελευταίο κριτήριο στην κατάταξη προτίμησης είναι οι διακρατικές συνεργασίες.

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε την κατάταξη προτίμησης των κριτηρίων σύμφωνα με την διαδικασία στάθμισης των κριτηρίων SIMOS. Διευκρινίζεται ότι:

C1: τιμή πώλησης ΥΦΑ

C2: καταναλώσεις καυσίμων

C3: κόστος της συνολικής μεταφοράς του ΥΦΑ

C4: EEOI

C5: R/P ratio

C6: ασφάλεια ανεφοδιασμού

C7: διακρατικές συνεργασίες

Πίνακας 18: Κατανομή βαρών 3ου σεναρίου

Κριτήρια	Αριθμός Κριτηρίων	Θέση	Μη κανονικοποι-ημένο βάρος	Βάρος
C7	1	1	1	2,27%
Λευκή		(2)		
C5	1	3	3	6,82%
Λευκή		(4)		
C6	1	5	5	11,36%
Λευκή		(6)		
C1,C2,C3	3	7,8,9	8	18,18%
Λευκή		(10)		
C4	1	11	11	25,00%
Σύνολο		44		100,00%

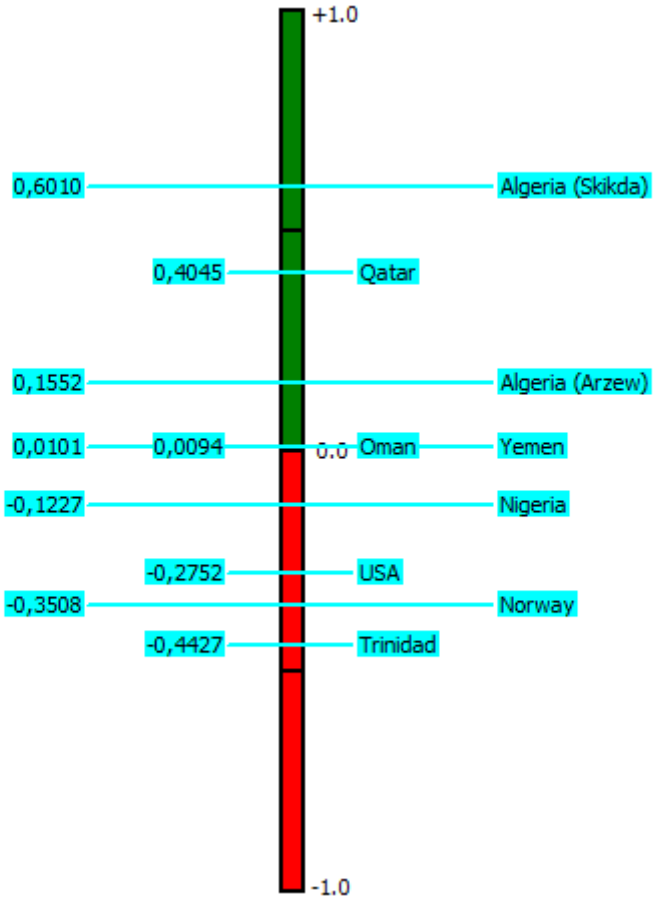
Βάζοντας τα παραπάνω βάρη σε κάθε κριτήριο στη διαδικασία της Promethee, παρατηρήθηκε ότι η βέλτιστη λύση που ικανοποιεί το 3^{ο} σενάριο με κυρίαρχη προτίμηση στον περιβαλλοντικό δείκτη EEOI και ακολούθως στα οικονομικά κριτήρια είναι ο τερματικός σταθμός εξαγωγής Φυσικού αερίου της της **Αλγερίας (Skikda)** με **Φ=0,6010**

Στην κατάταξη ακολουθεί το Κατάρ με Φ=0,4045 και ο τερματικός σταθμός εξαγωγής Φυσικού αερίου της Αλγερίας (Arzew) με Φ=0,1552. Μετά την Αλγερία βρίσκεται η Αίγυπτος με αρκετά χαμηλότερο Φ=0,0112, η Υεμένη με Φ=0,0101 και το Ομάν με Φ=0,0094. Ακολουθούν οι εναλλακτικές με αρνητικό αριθμό καθαρής ροής: Νιγήρια με Φ=-0,1227, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής με Φ=-0,2752, Νορβηγία με Φ=-0,3508, και τέλος το Τρινιντάντ με Φ=-0,4427.

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της μεθόδου:

Rank	Terminals	Phi	Phi+	Phi-
1	Algeria (Skikda)	0,6010	0,7285	0,1275
2	Qatar	0,4045	0,6691	0,2646
3	Algeria (Arzew)	0,1552	0,5100	0,3548
4	Egypt	0,0112	0,4565	0,4453
5	Yemen	0,0101	0,4798	0,4697
6	Oman	0,0094	0,4494	0,4400
7	Nigeria	-0,1227	0,3402	0,4629
8	USA	-0,2752	0,3192	0,5944
9	Norway	-0,3508	0,2568	0,6076
10	Trinidad	-0,4427	0,1970	0,6397

Εικόνα 57: Αποτελέσματα 3^{ου} σεναρίου



Εικόνα 58: Αποτελέσματα 3ου σεναρίου

5.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, βλέπουμε μια προσέγγιση αξιολόγησης της βέλτιστης μελλοντικής εναλλακτικής λύσης που θα προμηθεύει ΥΦΑ τον πλωτό τερματικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης στην Ελλάδα με χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης. Τα κριτήρια που επιλέχτηκαν για αυτή την μελέτη ήταν τα παρακάτω:

- τιμή πώλησης ΥΦΑ (spot rate)
- καταναλώσεις καυσίμων
- κόστος της συνολικής μεταφοράς του ΥΦΑ
- EEOI
- R/P ratio
- Ασφάλεια ανεφοδιασμού φυσικού αερίου
- Διακρατικές συνεργασίες

Ο βέλτιστος τερματικός σταθμός για το 1ο και 3ο σενάριο είναι η Αλγερία (Skikda), ενώ για το 2ο σενάριο το Κατάρ (Ras Laffan). Τόσο η Αλγερία όσο και το Κατάρ προμηθεύουν ήδη την Ελλάδα και διατηρούν καλές σχέσεις μαζί της. Παράλληλα, η εισαγωγή μεγάλων ποσοστών καυσίμων και από τις δύο χώρες φανερώνουν την ύπαρξη πολυετών συμβολαίων, επομένως αποτελούν αξιόπιστες

εναλλακτικές για την Ελλάδα για τον ανεφοδιασμό του πλωτού τερματικού σταθμού στην Αλεξανδρούπολη.

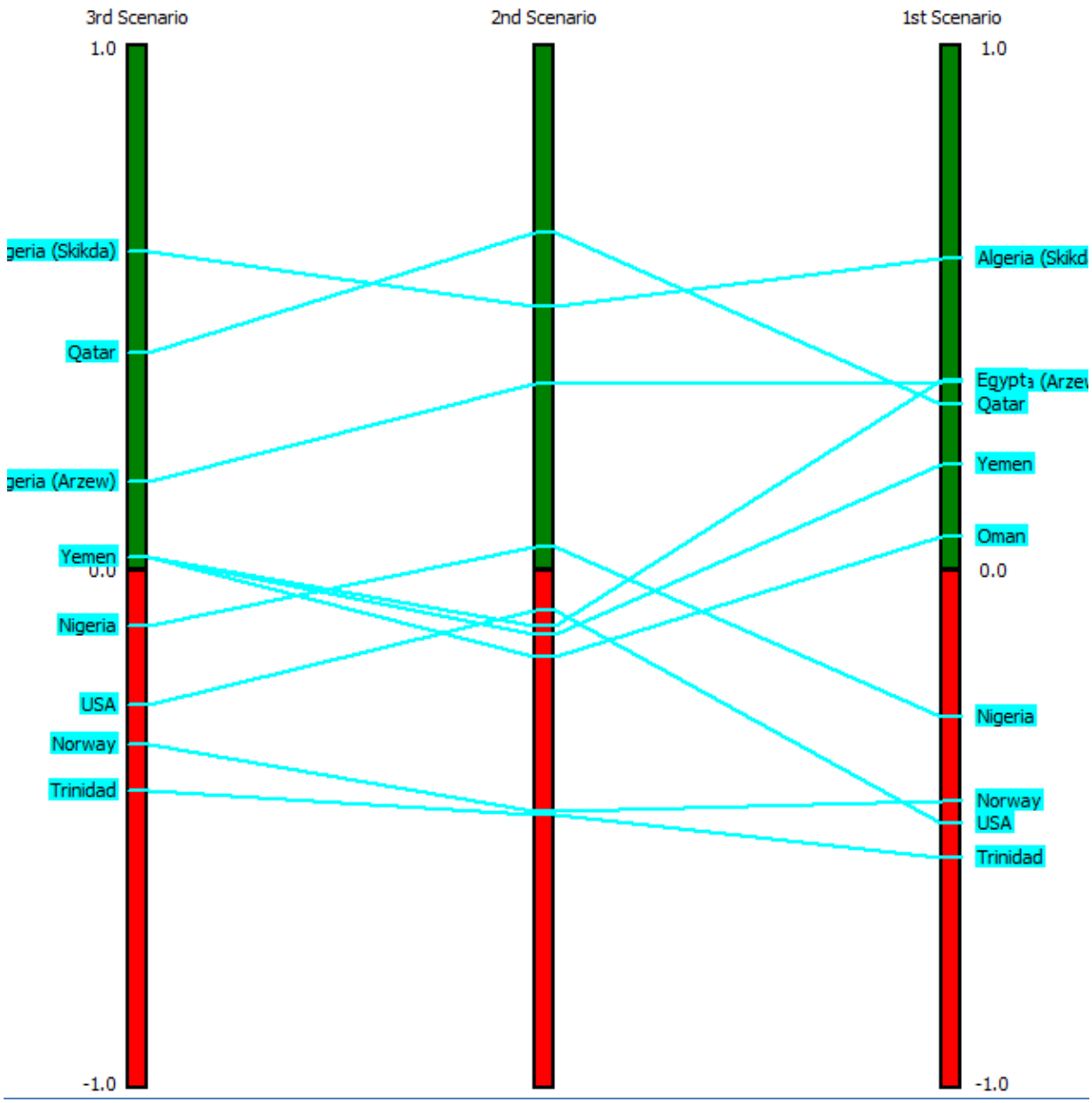
Σε όλα τα σενάρια, οι εναλλακτικές που παρατηρήθηκαν υψηλότερα στην κατάταξη (μεγαλύτερη καθαρή ροή Φ) ήταν οι δύο τερματικοί σταθμοί της Αλγερίας (**Skikda** και **Arzew**), ο τερματικός σταθμός **Idku** της Αιγύπτου και ο **Ras Laffan** στο Κατάρ. Επομένως, οι τέσσερις καλύτερες εναλλακτικές για τον ανεφοδιασμό του πλωτού τερματικού σταθμού της Αλεξανδρούπολης συνοψίζονται παρακάτω:

- **Algeria (Skikda)**
- **Qatar (Ras Laffan)**
- **Algeria (Arzew)**
- **Egypt (Idku)**

Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι ο τερματικός σταθμός του Τρινιντάντ (**Point Fortin**) κατατάχθηκε σε όλα τα σενάρια τελευταίος με αρνητική καθαρή ροή Φ, γεγονός που τον καθιστά ακατάλληλο τερματικό σταθμό για τον ανεφοδιασμό του πλωτού τερματικού σταθμού της Αλεξανδρούπολης. Επιπλέον, ο τερματικός σταθμός **Sabine Pass T1** των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής βρίσκεται χαμηλά στην κατατάξη και των 3 σεναρίων με αρνητική καθαρή ροή, γεγονός που την καθιστά εξίσου ακατάλληλη. Σημειώνεται ότι για το 2020, οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής ήρθαν πρώτες στις εισαγωγές ΥΦΑ μέσω δεξαμενοπλοίων στην Ελλάδα (50%), γεγονός που οξύνει την περιέργεια των ενδιαφερόμενων αλλά και του λήπτη αποφάσεων. Εξίσου χαμηλά στην κατάταξη και των τριών σεναρίων βρίσκεται ο τερματικός σταθμός της Νορβηγίας (**Snohvit**) με αρνητική καθαρή ροή Φ.

Τέλος, επισημαίνεται ότι τα αποτελέσματα της κατατάξης των εναλλακτικών του 1^{ου} και του 3^{ου} σεναρίου παρουσιάζουν σημαντική ομοιότητα, αφού υπάρχει κοινή προτίμηση (υψηλές βαρύτητες) στον περιβαλλοντικό δείκτη EEOI και στα οικονομικά κριτήρια με μια διαφοροποίηση στην σειρά και των αριθμό των βαρών του κάθε κριτηρίου.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η σύγκριση των 3 σεναρίων στα αποτελέσματα της μεθόδου Promethee:



Εικόνα 59: Σύγκριση σεναρίων

Στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και των 3 σεναρίων με τις καθαρές ροές Φ για κάθε πιθανό τερματικό σταθμό ανεφοδιασμού:

Πίνακας 19: Σύγκριση σεναρίων

1st scenario		2nd scenario		3rd scenario	
	Φ		Φ		Φ
Algeria (Skikda)	0,5875	**Qatar (Ras Laffan)**	0,6368	**Algeria (Skikda)**	0,6010
Egypt (Idku)	0,3534	**Algeria (Skikda)**	0,4944	**Qatar (Ras Laffan)**	0,4045
Algeria (Arzew)	0,3505	**Algeria (Arzew)**	0,3443	**Algeria (Arzew)**	0,1552
Qatar (Ras Laffan)	0,3058	**Nigeria (Bonny)**	0,00302	**Egypt (Idku)**	0,0112
Yemen (Balhaf)	0,1882	**USA (Sabine Pass T1)**	-0,0933	**Yemen (Balhaf)**	0,0101
Oman (Qalhat)	0,0514	**Egypt (Idku)**	-0,1226	**Oman (Qalhat)**	0,0094
Nigeria (Bonny)	-0,2979	**Yemen (Balhaf)**	-0,1386	**Nigeria (Bonny)**	-0,1227
Norway (Snohvit)	-0,4626	**Oman (Qalhat)**	-0,1815	**USA (Sabine Pass T1)**	-0,2752
USA (Sabine Pass T1)	-0,5048	**Norway (Snohvit)**	-0,4830	**Norway (Snohvit)**	-0,3508
Trinidad (Point Fortin)	-0,5715	**Trinidad (Point Fortin)**	-0,4867	**Trinidad (Point Fortin)**	-0,4427

5.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Τα κριτήρια και οι βαρύτητες των κριτηρίων καταχωρήθηκαν στο εργαλείο της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης και προέκυψαν τα παραπάνω αποτελέσματα για κάθε σενάριο. Σημειώνεται ότι για τα παραπάνω αποτελέσματα που προέκυψαν, το συνολικό κόστος μεταφοράς ΥΦΑ υπολογίστηκε με τη μέση τιμή ναύλωσης.

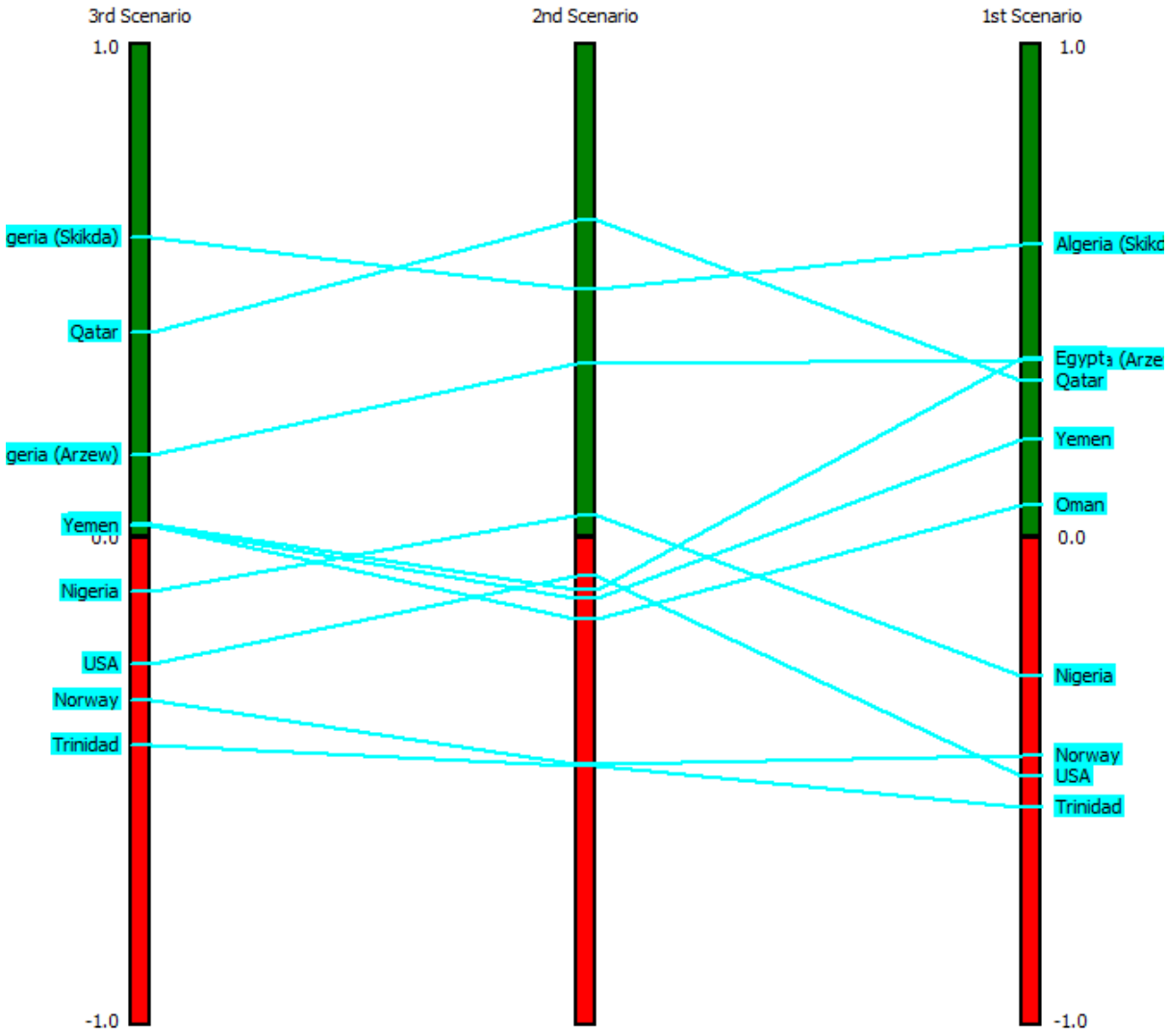
Με σκοπό την εξέταση της απόκρισης του εργαλείου σε εναλλακτικές ή και οριακές μεταβολές ορισμένων παραμέτρων ακολουθήθηκε ανάλυση ευαισθησίας. Η Ανάλυση Ευαισθησίας έλαβε υπόψη την μεταβολή της τιμής ναύλωσης που παρατηρηθηκε κατά το έτος της μελέτης (τέλη 2019-αρχές 2020) και με τις ίδιες βαρύτητες των κριτηρίων για κάθε σενάριο, καταχωρήθηκαν εκ νέου τα συνολικά κόστη μεταφοράς που προέκυψαν για τις διάφορες τιμές ναύλωσης (min, max).

Μετά την εφαρμογή των παραπάνω μεταβολών στην διαδικασία της Promethee, παρατηρήθηκε ότι τα αποτελέσματα και για τα τρία σενάρια παρέμειναν τα ίδια και ότι η ιεραρχία των τερματικών

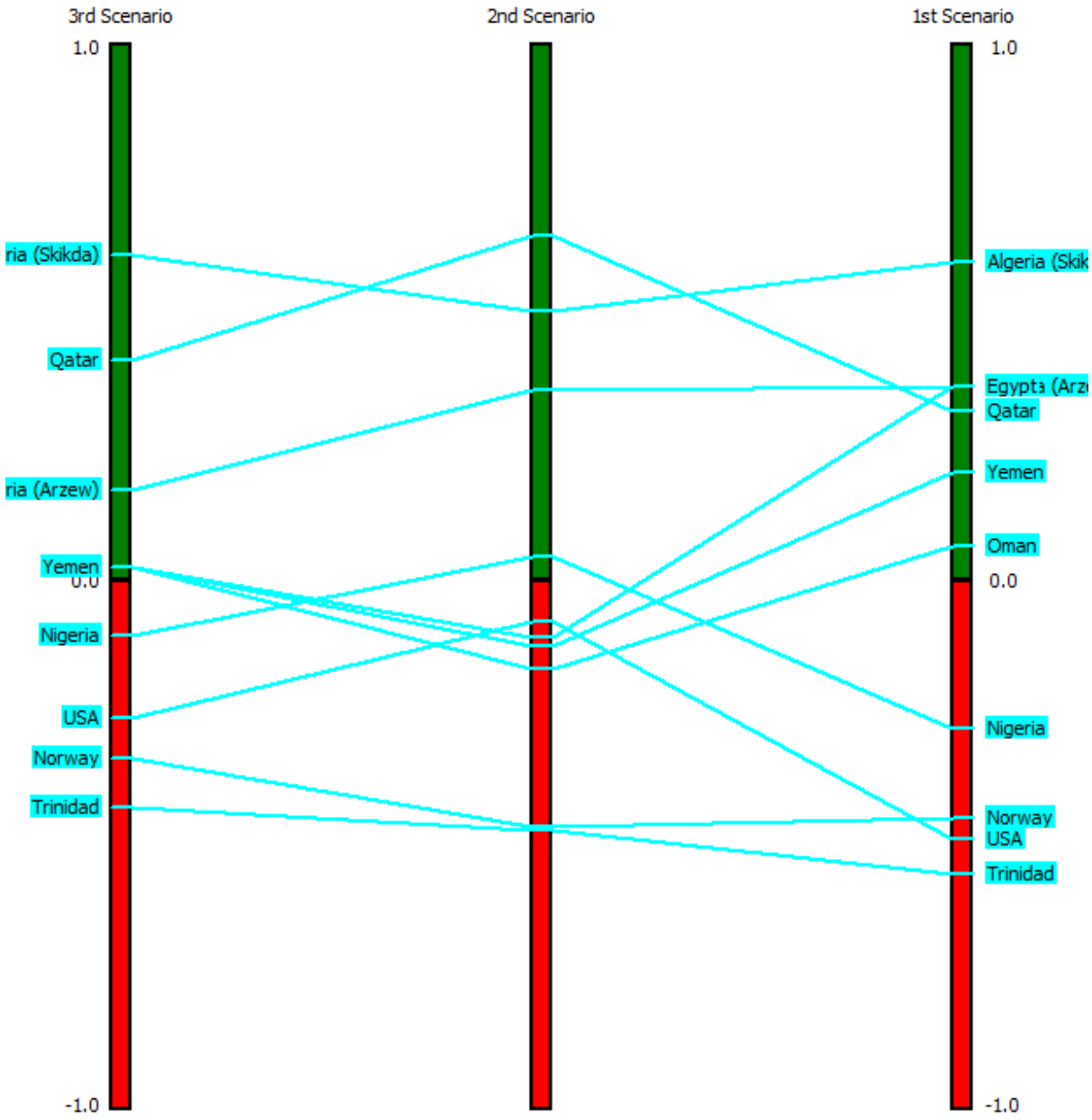
σταθμών δεν μεταβλήθηκε, παρα μόνο οι αριθμοί των καθαρών ροών Φ. Επομένως, δεν παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα του κάθε σεναρίου. Παρακάτω παρατίθενται τα κατώφλια προτίμησης που υπολογίστηκαν για τα τρία σενάρια για την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή ναύλωσης του πλοίου ΥΦΑ:

Πίνακας 20: Κατώφλια προτίμησης για μέγιστη και ελάχιστη τιμή ναύλωσης

Κριτήρια	Κατώφλι Προτίμησης P (για ελάχιστη τιμή ναύλωσης)	Κατώφλι Προτίμησης P (για μέγιστη τιμή ναύλωσης)
Τιμή πώλησης ΥΦΑ	0,089	0,089
Κατανάλωση Καυσίμου	321,649	321,649
Συνολικό Κόστος Μεταφοράς	151.493,11	200.038,626
EEOI	0,00001	0,00001
R/P Ratio	44,98	44,98
Ασφάλεια Ανεφοδιασμού	n/a	n/a
Διακρατικές Συνεργασίες	9,629	9,629



Εικόνα 60: Σύγκριση Σεναρίων με μέγιστη τιμή ναύλωσης



Εικόνα 61: Σύγκριση Σεναρίων με ελάχιστη τιμή ναύλωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^{Ο}: ΣΥΝΟΨΗ

6.1 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Ανακεφαλαιώνοντας, σε αυτήν την έρευνα έγινε μια προσπάθεια αξιολόγησης της εφοδιαστικής αλυσίδας ΥΦΑ, με πολλαπλούς πιθανούς προμηθευτές ΥΦΑ και επεκτάθηκε για την περίπτωση της Ελλάδας. Στην πραγματικότητα, προτάθηκε μια πολυκριτηριακή μέθοδος λήψης αποφάσεων για την αξιολόγηση του βέλτιστου προμηθευτή της εφοδιαστικής αλυσίδας ΥΦΑ για την Ελλάδα, με βάση ενός συνόλου κριτηρίων, κυρίως οικονομικών, τεχνικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών κριτηρίων.

Τόσο η περιορισμένη βιβλιογραφία σε θέματα που αφορούν εφοδιαστική αλυσίδα ΥΦΑ όσο και η πολυπλοκότητα όλων αυτών των πτυχών που κρίνεται απαραίτητο να εξεταστούν για να ληφθεί μια τέτοια απόφαση από τον ενδιαφερόμενο, καθιστούν την παρούσα εργασία χρήσιμη για τους ενδιαφερόμενους και θα μπορούσαν να επωφεληθούν από τη μελέτη της για την αξιολόγηση μελλοντικών έργων εφοδιαστικής αλυσίδας ΥΦΑ με εφαρμογή τόσο στην Ελλάδα όσο και για άλλες χώρες.

Η παρούσα εργασία καταδεικνύει επίσης ότι η αξιολόγηση της εφοδιαστικής αλυσίδας ΥΦΑ, λαμβάνοντας υπόψιν έναν μεγάλο αριθμό κριτηρίων, είναι αρκετά πολύπλοκη και κρίνει απαραίτητη τη χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης, ενός τεχνικού επιστημονικού εργαλείου υποστήριξης λήψης αποφάσεων, που είναι ικανό να αιτιολογήσει τα αποτελέσματά του με σαφήνεια και συνέπεια.

6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, στην παρούσα εργασία μελετήσαμε την περίπτωση ανάπτυξης ενός τερματικού σταθμού στην Ελλάδα για τον ανεφοδιασμό Υγροποιημένου Φυσικού αερίου (LNG) από τον εκάστοτε προμηθευτή.

Η κατανάλωση φυσικού αερίου, κατά το έτος 2020, κατέγραψε ραγδαία αύξηση στην εγχώρια αγορά, σύμφωνα με τα στοιχεία του ΔΕΣΦΑ για την περίοδο Ιανουάριος - Σεπτέμβριος 2020. Συγκεκριμένα, οι ενεργειακές ανάγκες της ελληνικής αγοράς σε φυσικό αέριο καλύφθηκαν κατά το ήμισυ (48%) με Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG) από τον Τερματικό Σταθμό της Ρεβυθούσας, καθώς από τα 4 δισ. κυβικά μέτρα (κ.μ) που ήταν η εγχώρια κατανάλωση το διάστημα αυτό, τα 2,2 δισ. κ.μ. ήταν αεριοποιημένες ποσότητες από τις εγκαταστάσεις της Ρεβυθούσας. Επιπλέον, στη Ρεβυθούσα εκφόρτωσαν 40 δεξαμενόπλοια, τα οποία μετέφεραν φορτία από 6 διαφορετικές χώρες παραγωγούς LNG: ΗΠΑ, Αλγερία, Κατάρ, Νιγηρία, Νορβηγία και Αίγυπτος. [45]

Επομένως, ο πλωτός τερματικός σταθμός αποθήκευσης και επανεριοποίησης υγροποιημένου αερίου (FSRU) Αλεξανδρούπολης θα εμπλουτίσει τις πηγές και κυρίως τις οδούς προμήθειας με LNG, με το επιπλέον μάλιστα πλεονέκτημα ότι θα αποτελεί τη μοναδική υποδομή, μαζί με τη Ρεβυθούσσα, που δεν θα εξαρτάται από τη διέλευση του καυσίμου μέσω τουρκικών εδαφών. Έτσι,

θα συμβάλει στην απρόσκοπτη παροχή καυσίμου, ενώ παράλληλα θα ενισχύσει τον ανταγωνισμό στην περιφερειακή αγορά, ανοίγοντας το δρόμο για την μείωση του κόστους τροφοδοσίας με φυσικό αέριο των χωρών της περιοχής. [62]

Επίσης, στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η ανάδειξη της σημασίας των πολυκριτηριακών μεθόδων λήψης αποφάσεων, ως μέσο για την βέλτιστη επιλογή τερματικού σταθμού παραγωγής Φυσικού αερίου που θα προμηθεύει τον πλωτό τερματικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης. Αφού αναλύθηκαν οι σημαντικότερες μέθόδοι, επιλέχθηκε ως καταλληλότερη μέθοδος για την παρούσα μελέτη, η PROMETHEE . Για κάθε προμηθευτή, εξετάσθηκαν τα επιμέρους κριτήρια με διαφορετικές βαρύτητες κάθε φορά, αναλόγως το σενάριο που μελετάγαμε, και καταλήγαμε στο βέλτιστο Τερματικό σταθμό προμήθειας ΥΦΑ για κάθε σενάριο. Τα κριτήρια που επιλέχθηκαν στην παρούσα εργασία αποτελούν τους πιο κρίσιμους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν κατά την πραγματοποίηση μιας τέτοιας έρευνας και αφορούν οικονομικούς, τεχνικούς και περιβαλλοντικούς δείκτες καθώς επίσης τα τωρινά και μελλοντικά αποθέματα φυσικού αερίου. Τέλος, για την απόδοση των βαρυτήτων των εκάστοτε κριτηρίων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SIMOS.

6.3 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε ένα μοντέλο πολυκριτηριακής ανάλυσης για την αξιολόγηση των πιθανών μελλοντικών διαδρομών εφοδιασμού φυσικού αερίου στον πλωτό τερματικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης. Όλοι οι ενδιαφερόμενοι για την εφοδιαστική αλυσίδα ΥΦΑ της Αλεξανδρούπολης και όχι μόνο μπορούν να επωφεληθούν από τη μελέτη αυτή τόσο για να εντοπίσουν πιθανούς προμηθευτές μακροπρόθεσμων συμφωνιών όσο και για να αξιολογήσουν μελλοντικές επενδύσεις και να υπογράψουν συμφωνίες.

Κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας προέκυψαν ιδέες και βελτιώσεις που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν και να δώσουν καλύτερα και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Ειδικότερα, η πολυκριτηριακή ανάλυση που παρουσιάζεται θα μπορούσε να βελτιωθεί περαιτέρω με την ενσωμάτωση και άλλων παραγόντων, ικανών να επηρεάσουν τα αποτελέσματα των σεναρίων, όπως είναι η ποιότητα του Φυσικού αερίου από τον κάθε πιθανό προμηθευτή, άλλοι εναλλακτικοί προμήθευτες πχ. Ρωσία κ.α.

Επίσης, μια προοπτική επέκταση της παρούσας εργασίας θα αποτελούσε η άντληση πληροφοριών για τιμές ναύλωσης πλοίου και τιμές φυσικού αερίου από ναυτιλιακή εταιρεία που διαχειρίζεται LNG πλοία, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς των κόστων μεταφοράς. Επίσης, περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να επικεντρωθεί σε θέματα ζήτησης και προσφοράς του Φυσικού αερίου για την Ελλάδα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *HISTORY OF LNG*. (n.d.). Retrieved from HISTORY OF LNG: https://lngfacts.org/about-lng/history-of-lng/

2. *Υγραεριοφόρο πλοίο.* (2020, January). Retrieved from Wikipedia: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B3%CF%81%CE%B1%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%86%CF%8C%CF%81%CE%BF_%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%AF%CE%BF

3. *Advantages and Disadvantages of Natural Gas*. (n.d.). Retrieved on 2020 from bankbazaar: https://www.bankbazaar.com/gas-connection/advantages-and-disadvantages-of-natural-gas.html

4. *Natural Gas Facts & Figures*. (n.d.). Retrieved on 2020 from IGU: https://www.igu.org/resources-data

5. *Movement of Natural Gas*. (n.d.). Retrieved on 2020 from IGU: https://www.igu.org/resources-data

6. *DESFA LNG Terminal Revithoussa*. (2018). Retrieved on 2020 from desfa: https://www.desfa.gr/en/national-natural-gas-system/lng-facility

7. http://prasinienergeia.com/2018/03/09/%CF%85%CE%B3%CF%81%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%B9%CE%B7%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%BF-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CE%B1%CE%AD%CF%81%CE%B9%CE%BF-lng-%CF%89%CF%82-%CE%AD%CE%BD%CE%B1-%CE%B5%CE%BD%CE%B1/

8. *LNG: what is boil-off gas and what does it do? (2018) Retrieved on 2020 from Fluenta:* https://www.fluenta.com/lng-boil-off-gas/

9. *Δίκτυα φυσικού αερίου σε Ελλάδα και Ευρώπη*. (n.d.). Retrieved on 2020 from gastrade: http://www.gastrade.gr/%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%BF-%CE%B1%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BF/%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%B1-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D-%CE%B1%CE%B5%CF%81%CE%AF%CE%BF%CF%85-%CF%83%CE%B5-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%

10. *Statistical Review of World Energy.* (2020, June). Retrieved from www.bp.com: https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf

11. Activity-Based Fuel Oil Consumption Estimation for Calculating Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) In an Indonesian Merchant Ship (2020, H Prastowo) https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/557/1/012053/pdf

12. *Εμπόριο Φυσικού Αερίου*. (2019). Retrieved on 2020 from depa: https://www.depa.gr/emporio-fysikou-aeriou/

13. *Μόνιμες Υπεράκτιες εγκαταστάσεις, Gastrade.* (n.d.). Retrieved on 2020 from Gastrade: http://www.gastrade.gr/%CE%B1%CF%83%CF%86%CE%B1-%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%BD%CE%B4%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%B7%CF%83/%CE%BC%CF%8C%CE%BD%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%82-%CF%85%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%AC%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%B5%CF%82-%CE%B5%CE%B3

14. *Χωροθέτηση έργου, Gastrade.* (n.d.). Retrieved on 2020 from Gastrade: http://www.gastrade.gr/%CE%B1%CF%83%CF%86%CE%B1-%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%BD%CE%B4%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%B7%CF%83/%CF%87%CF%89%CF%81%CE%BF%CE%B8%CE%AD%CF%84%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%BF%CF%85.aspx

15. *Συμβολή και Πλεονεκτήματα ΑΣΦΑ Αλεξανδρούπολη, Gastrade.* (n.d.). Retrieved on 2020 from Gastrade: http://www.gastrade.gr/%CE%B1%CF%83%CF%86%CE%B1-%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%BD%CE%B4%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%B7%CF%83/%CF%83%CF%85%CE%BC%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AE-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%80%CE%BB%CE%B5%CE%BF%CE%BD%CE%B5%CE%BA%CF%84%CE%AE

16. *Multiple-criteria decision analysis*. (n.d.). Retrieved on 2020 from WIKIPEDIA: https://en.wikipedia.org/wiki/Multiple-criteria_decision_analysis

17. Davood Sabaei, John Erkoyuncu, and Rajkumar Roy. (2015). A review of multi-criteria decision making methods for enhanced maintenance delivery, *ScienceDirect* .

18. ΦΕΝΕΡΗ ΑΝΝΑ ΜΑΡΙΑ. (ΙΟΥΝΙΟΣ 2012). *ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ.* ΒΕΡΟΙΑ.

19. Brans Jean, Vincke Philippe, Mareschal Bertrand -How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method Eur. J. Oper. Res. 1986

20. *ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ & ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ.* (2019). Retrieved on 2020 from District Energy : https://www.district-energy.gr/environment/climate-change/ghg/%CE%BC%CE%B5%CE%B8%CE%AC%CE%BD%CE%B9%CE%BF/

21. GIIGNL Annual report 2018. Retrieved on 2020 from GIIGNL: https://giignl.org/sites/default/files/PUBLIC_AREA/About_LNG/5_LNG_Markets_And_Trade/giignl_2018_annual_report.pdf

22. *Natural Gas Price Formation* Retrieved on 2020 from IGU: https://www.igu.org/facts-figures/#markets

23. *U.S. Natural Gas Exports and Re-Exports by Point of Exit.* (2020, June 30). Retrieved on 2020 from U.S Energy Information Administration: https://www.eia.gov/dnav/ng/NG_MOVE_POE2_A_EPG0_PNG_DPMCF_M.htm

24. *Fuel efficiency demands shorten LNG vessels' lifespan.* (2020, August 18). Retrieved on 2020 from safety at sea: https://safetyatsea.net/news/2018/fuel-efficiency-demands-shorten-lng-vessels-lifespan/

25. *Οι νέοι περιβαλλοντολογικοί κανονισμοί του IMO σε εφαρμογή από 1/1/2020.* (2020, 01 02). Retrieved from naftemporiki: https://m.naftemporiki.gr/story/1547488/oi-neoi-periballontologikoi-kanonismoi-tou-imo-se-efarmogi-apo-112020

26. Kenneth Engblom,John Reinlund, Nikolas Leong. (2017). *Comparing Various LNG to Power Solutions for Myanmar.* Retrieved 2020, from Wartsila.

27. Νέες παραλαβές LNG Carriers από τους Έλληνες εφοπλιστές (Σεπτέμβρης 2020) Retrieved on 2020 from Naftemporiki: https://m.naftemporiki.gr/story/1636787/nees-paralabes-lng-carriers-apo-tous-ellines-efoplistes

28. A research on the energy efficiency operational indicator EEOI calculation tool on M/V NSU JUSTICE of VINIC transportation company, Vietnam. (n.d.). Retrieved on 2020 from Sciencedirect: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468013316300614

29. Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency. (n.d.). Retrieved on 2020 from International Maritime Organization (IMO): http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Circ-684.pdf

30. *Reserves-to-production ratio*. (n.d.). Retrieved on 2020 from WIKIPEDIA: https://en.wikipedia.org/wiki/Reserves-to-production_ratio#cite_note-Investopedia_RPR-1

31. Αποθέματα Φυσικού Αερίου (2014) Retrieved on 2020 from Zenith: https://www.zenith.gr/apothemata/fysikou-aeriou/
32. Global Gas Report 2020, IGU Retrieved on 2020 from IGU: https://www.igu.org/app/uploads-wp/2020/08/GGR_2020.pdf

33. *IGU Wholesale price survey Report 2020.* (2020, 07). Retrieved from IGU: https://www.igu.org/app/uploads-wp/2020/07/IGU_WholesalePriceSurveyReport2020_01_07_20.pdf

34. Harrison E. Mutikanga,Saroj K. Sharma & Kalanithy Vairavamoorthy . (2011). Multi-criteria Decision Analysis: A Strategic Planning Tool for Water Loss Management.

35. Τεχνολογία Περελαίου και Φυσικού Αερίου Κεφάλαιο 4, Υγροποίηση Φυσικού Αερίου Δ. Καρώνης , Ε, Λόης, Φ. Ζάννικος
36. Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Φ.Α. (2018) Retrieved on 2020 from Desfa: https://www.desfa.gr/national-natural-gas-system/transmission
37. Φυσικό Αέριο Retrieved on 2020 from Wikipedia: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%B1%CE%AD%CF%81%CE%B9%CE%BF
38. LNG Carrier (2018) Retrieved on 2020: https://en.wikipedia.org/wiki/LNG_carrier

39. Δίκτυα φυσικού αερίου σε Ελλάδα και Ευρώπη (2013) Retrieved on 2020: http://www.gastrade.gr/%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%BF-%CE%B1%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BF/%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%B1-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D-%CE%B1%CE%B5%CF%81%CE%AF%CE%BF%CF%85-%CF%83%CE%B5-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B5%CF%85%CF%81%CF%8E%CF%80%CE%B7.aspx
40. Exploration of Natural Gas (2013) Retrieved on 2020: http://naturalgas.org/naturalgas/exploration/
41. Extraction of Natural Gas (2013) Retrieved on 2020: http://naturalgas.org/naturalgas/extraction/
42. Production of Natural Gas (2013) Retrieved on 2020: http://naturalgas.org/naturalgas/production/
43. Europe dominates LNG import story in 2019 Retrieved on 2020 from Gas World: https://www.gasworld.com/europe-dominates-lng-import-story-in-2019/2018290.article
44. What is an LNG terminal Retrieved on 2020 from ELENGY: https://www.elengy.com/en/lng/what-is-an-lng-terminal.html
45. ΔΕΣΦΑ: Αυξητική τάση στην κατανάλωση φυσικού αερίου στο εννεάμηνο (Νοέμβριος 2020) Retrieved on 2020 from DESFA: https://www.desfa.gr/press-center/press-releases/stoixeia-desfa-gia-thn-katanalwsh-fysikoy-aerioy-to-prwto-eniamhno-toy-2020
46. Συμμετοχή του ΔΕΣΦΑ στον Τερματικό Σταθμό Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) της Αλεξανδρούπολης Retrieved on 2020 from Gastrade: http://www.gastrade.gr/%CE%B7-%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%B5%CE%B9%CE%B1/%CE%BD%CE%AD%CE%B1-a%CE%BD%CE%B1%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CF%83%CF%85%CE%BC%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%BF%CF%87%CE%AE-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%B4%CE%B5%CF%83%CF%86%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%BD-%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%B8%CE%BC%CF%8C-%CF%85%CE%B3%CF%81%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%B9%CE%B7%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%BF%CF%85-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D-%CE%B1%CE%B5%CF%81%CE%AF%CE%BF%CF%85-(lng)-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%BD%CE%B4%CF%81%CE%BF%CF%8D%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%B7%CF%82.aspx
47. Analytic hierarchy process Retrieved on 2020 from Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Analytic_hierarchy_process
48. ELECTRE Retrieved on 2020 from Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/ELECTRE
49. What Is The Analytic Hierarchy Process (AHP)? Retrieved on 2020 from Passage Technology: https://www.passagetechnology.com/what-is-the-analytic-hierarchy-process
50. Overview and selection of multi-criteria evaluation methods for mitigation/adaptation policy instruments (2011, Popi Konidari) Retrieved on 2020 from Promitheasnet: http://www.promitheasnet.kepa.uoa.gr/Promitheas4/images/library/wp4.1%20overview%20and%20selection%20of%20multicriteria%20evaluation%20methods%20for%20mitigation-adaptation%20policy%20instruments.pdf

51. Outranking Methods – PROMETHEE Retrieved on 2020 from LIAISE KIT: http://www.liaise-kit.eu/content/outranking-methods-promethee
52. Weighting Methods for Multi-Criteria Decision Making Technique ODU, G.O (2019) Retrieved on 2020 from Ajol.info
53. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making (Jiang-Jiang Wang, You-Yin JingChun-Fa Zhang, Jun-Hong Zhao,2009) Retrieved on 2020 from Science Direct: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109001166
54. Υποδείγματα Πολυκριτηριακής ανάλυσης για την αξιολόγηση εκπαιδευτικών αεροσκαφών (Αθανάσιος Δρακούλης, Ιαν 2020) Retrieved on 2020 from:https://nemertes.library.upatras.gr/
55. TOPSIS Retrieved on 2020 from Wikipedia : https://en.wikipedia.org/wiki/TOPSIS#TOPSIS_method
56. Comparison of weighting methods used in multicriteria decision analysis frameworks in healthcare with focus on low- and middle-income countries (Bertalan Németh,Anett Molnár,Sándor Bozóki, Kalman Wijaya, András Inotai, Jonathan D Campbell, Zoltán Kaló, Φεβ 2019) Retrieved on 2020 from Future Medicine: https://www.futuremedicine.com/doi/full/10.2217/cer-2018-0102
57. Elicitation of criteria importance weights through the Simos method: A robustness concern (Eleftherios Siskos, Nikos Tsotsolas,2015) Retrieved on 2020 from Science Direct: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715003306
58. FSRU Technology Retrieved on 2020 from Excelerate Energy: https://excelerateenergy.com/fsru-technology/
59. Floating Storage and Regasification Units (FSRUs) Retrieved on 2020 from Exxon Mobil
60. Conventional and unconventional gas (Δεκέμβριος,2015) Retrieved on 2021 from EPA.NSW: https://www.epa.nsw.gov.au/licensing-and-regulation/gas-industry/-/media/40b251dec4b44d378cc4ec56b7116602.ashx
61. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΧΕΡΣΑΙΩΝ ΚΑΙ ΠΛΩΤΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ LNG ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (Παπαδόπουλος Αλέξανδρος, 2018) Retrieved on 2020 from Hellanicus.lib.agean: https://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/20928/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%20%CE%9D%CE%91%CE%9C%CE%95.pdf?sequence=1&isAllowed=y
62. Οφέλη για την εθνική οικονομία και τη στρατηγική θέση της Ελλάδας από το έργο LNG Αλεξανδρούπολης (Αύγουστος 2020) Retrieved on 2021 from Energy press: https://energypress.gr/news/ofeli-gia-tin-ethniki-oikonomia-kai-ti-stratigiki-thesi-tis-elladas-apo-ergo-lng
63. ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΝΑΠΤΥΓΜΕΝΩΝ ΑΓΟΡΩΝ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ - Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ (Οκτώβριος 2012, Μαρκογιαννάκης Βασίλειος) Retrieved on 2021 from Dspace: http://dspace.lib.ntua.gr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7403/markogiannakisv_naturalgas.pdf?sequence=3&isAllowed=y
64. No Egyptian LNG cargoes shipped since March on low prices, coronavirus (May 2020, Stuart Elliott) Retrieved on 2021 from S&P Global: https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/natural-gas/051920-no-egyptian-lng-cargoes-shipped-since-march-on-low-prices-coronavirus
65. Natural Gas Prices (2019) Retrieved on 2021 from EIA: https://www.eia.gov/dnav/ng/ng_pri_sum_dcu_nus_a.htm
66. LNG import prices in selected countries, 2010-2019 (July 2020) Retrieved on 2021 from IEA: https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/lng-import-prices-in-selected-countries-2010-2019

67. World LNG Report (2020) Retrieved on 2020 from IGU: https://igu.org/app/uploads-wp/2020/04/2020-World-LNG-Report.pdf
68. World LNG Report (2019) Retrieved on 2020 from IGU: https://www.igu.org/app/uploads-wp/2019/06/IGU-Annual-Report-2019_23.pdf
69. Πρόωση Πλοίου Retrieved on 2020 from Wikipedia: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%81%CF%8C%CF%89%CF%83%CE%B7_%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%AF%CE%BF%CF%85#%CE%9A%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B5%CF%82_%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CE%BF%CF%8D_%CE%BA%CE%B1%CF%85%CF%83%CE%AF%CE%BC%CE%BF%CF%85_(LNG)
70. Πρόγραμμα εκφορτώσεων ΥΦΑ Retrieved on 2021 from DESFA: https://www.desfa.gr/regulated-services/lng/users-information-lng/cargoes-unloading-program
71. British Sapphire Retrieved on 2021 from Marine Traffic: https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:192938/mmsi:235060454/imo:9333618/vessel:BRITISH_SAPPHIRE
72. British Sapphire Retrieved on 2021 from Aukevisser: http://www.aukevisser.nl/supertankers/gas-1/id588.htm
73. Suez Toll Calculator Retrieved on 2021 from Wilhelmsen: https://www.wilhelmsen.com/tollcalculators/suez-toll-calculator/CalculateSuez?VesselType=LNGCarriers&Draft=12.22&Scnt=7262&Grt=102064&ShipStatus=Ballast&EntryPoint=0&FirstTimeTransit=False
74. APPROVED / COMPATIBLE VESSELS Retriened on 2021 from DESFA: https://www.desfa.gr/userfiles/pdflist/LNG_Storage/list%20OF%20APPROVED%20VESSEL%202021%20rev1.pdf
75. Greece Fuel Imports (2018) Retrieved on 2021 from WITS.WORLDBANK: https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/GRC/Year/2018/TradeFlow/Import/Partner/all/Product/27-27_Fuels
76. Ισοτιμίες από USD σε EUR (2019) Retrieved on 2020 from Exchange rates: https://gr.exchange-rates.org/Rate/USD/EUR/2019-12-31
77. Optimization of a small-scale LNG supply chain (A. Bittante, F. Pettersson, H. Saxen, 2018) Retrieved on 2020 from Science Direct
78. A General methdology for examining the feasibility of LNG supply chains to insular regions for power generation purposes (D. V. Lyridis, Ch. Papaleonidas, J.M. Prousalidis, E. Sofras, 2018) Retrieved on 2020 from The Royal Institution of Naval Architects
79. Multicriteria decision support to evaluate potential long-term natural gas supply alternatives: The case of Greece (S. Androulaki, J. Psarras, 2018) Retrieved on 2020 from Science Direct
80. Optimal LNG importation portfolio considering multiple risk factors (Jiang-Bo Geng, Qiang Ji, Ying Fan, Faheemullah Shaikh, 2017) Retrieved on 2020 from Science Direct
81. Web tool for the quantification of oil and gas corridors' socio-economic risks - The case of Greece (H. Doukas, A. Flamos, Ch. Karakosta, M. Flouri and J. Psarras, 2010) Retrieved on 2020 from Emeraklinsight
82. Decision-making for supplying energy projects: A four-dimensional model (Karen Smith Stegen, Martin Palovic, 2014) Retrieved on 2020 from Science Direct
83. A decision support approach for evaluating liquefied natural gas supply options: Implementation on Greek case study (E. Strantzali, K. Aravossis, G. A. Livanos, Ch. Nikoloudis, 2019) Retrieved on 2020 from Science Direct
84. Ο ΤΑΡ ξεκινά τη μεταφορά των πρώτων ποσοτήτων φυσικού αερίου (Δεκέμβριος 2020) Retrieved on 2021 from TAP-AG: https://www.tap-ag.gr/nhea/nhea-eidheseis/o-tap-xekinha-te-metaphorha-ton-prhoton-posotheton-physikohu-aerhioy

85. Διαδριατικός Αγωγός Φυσικού Retrieved on 2021 from Wikipedia: Αερίουhttps://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CF%81%CE%B9%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CE%91%CE%B3%CF%89%CE%B3%CF%8C%CF%82_%CE%A6%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D_%CE%91%CE%B5%CF%81%CE%AF%CE%BF%CF%85
86. Διεθνείς Υποδομές Retrieved from DEPA: https://www.depa.gr/diethnis-ypodomes/
87. Key Issues and Challenges on the Liquefied Natural Gas (LNG) Value Chain: A Review from the Process Systems Engineering Point-of-View (Inkyu Lee, Δεκέμβριος 2017) Retrieved on 2020 from Research Gate
88. FOB PRICE Retrieved from Paisabazaar: https://www.paisabazaar.com/tax/fob-price/