

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ

ΣΠΟΥΔΩΝ στην ΝΑΥΤΙΛΙΑ

**«Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ»**

Ιωάννης Εμμανουήλ Μπουλάς

MN20042

Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως
μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης
στην Ναυτιλία

Πειραιάς

Ιούνιος 2022

Δήλωση αυθεντικότητας/ Copyright©

Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού, που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος, που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.

Ο δηλών

Ιωάννης Εμμανουήλ Μπουλάς

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΓΣΕΣ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- **Τζαννάτος Ερνέστος** (Επιβλέπων)

- **Θεοτοκάς Ιωάννης**

- **Πολέμης Διονύσιος**

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε ως μέρος των υποχρεώσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στη «Ναυτιλία» από το Πανεπιστήμιο Πειραιά. Για τη συγγραφή της, πολλοί άνθρωποι με βοήθησαν με τις γνώσεις τους, διευκρινίζοντας σημεία που μου ήταν δυσνόητα, λόγω έλλειψης εμπειρίας.

Με την ευκαιρία αυτή, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερώς τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ερνέστο Τζαννάτο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, καθώς και για την καθοδήγηση και τις συμβουλές που μου πρόσφερε. Ευχαριστώ θερμά τους καθηγητές μου κ. Ιωάννη Θεοτοκά και κ. Διονύσιο Πολέμη για τη συμμετοχή τους στην Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα στη «Ναυτιλία» του Πανεπιστημίου Πειραιά για τις γνώσεις, τις συζητήσεις, τα σχόλια και την υποστήριξη που μου παρείχαν ακούραστα κατά τη διάρκεια του προγράμματος, βοηθώντας με να διευρύνω τις δικές μου γνώσεις και να εξελιχθώ.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα μου, Πέτρο Ι. Μπουλά, Πλοίαρχο Α΄ Τάξης της Εμπορικής Ναυτιλίας, για την πολύτιμη βοήθειά του και τις ατελείωτες εξηγήσεις του πάνω στην τεχνολογία και την λειτουργία των Πλοίων ΥΦΑ, καθώς και τον κ. Δημήτριο Μαυρέλη, Α΄ Μηχανικό Εμπορικής Ναυτιλίας, για την πρόθυμη συνεισφορά του και τις κατανοητές διευκρινήσεις του πάνω στον τρόπο λειτουργίας των συστημάτων πρόωσης.

Μεγάλη συμβολή, τόσο στην επιλογή του θέματος της εργασίας όσο και στη συνολική μου αντίληψη για τον κλάδο, υπήρξε και η επαφή και η αλληλεπίδραση με τους εργαζόμενους και το περιβάλλον μίας μεγάλης ναυτιλιακής εταιρείας που διαχειρίζεται πλοία LNG. Για το λόγο αυτό, ευχαριστώ θερμά την εταιρεία GASLOG LNG SERVICES LTD και τους εργαζομένους της.

Με σεβασμό

Ιωάννης Εμμανουήλ Μπουλάς

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Στην οικογένειά μου,

για την ενθάρρυνση και την ηθική υποστήριξη που μου παρείχε πάντα
και ιδιαίτερα κατά την περίοδο εκπόνησης της Διπλωματικής μου Εργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Δήλωση αυθεντικότητας/ Copyright©	i
Τριμελής εξεταστική επιτροπή	ii
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	iii
ΑΦΙΕΡΩΣΗ	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ/ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΧΑΡΤΩΝ	xi
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ/ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ/ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ	xv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xix
ABSTRACT	xx
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	6
1.1. ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ.....	6
1.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΞΟΡΥΞΗΣ – ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	10
1.3 ΔΙΕΘΝΕΣ ΕΜΠΟΡΙΟ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ.....	14
1.4 ΔΙΑΚΡΙΣΗ CNG - LNG.....	19
1.5 ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	27
2.1. ΑΛΥΣΙΔΑ ΥΦΑ: ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ – ΜΕΤΑΦΟΡΑ - ΕΠΑΝΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ.....	27
2.2. ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΥΦΑ. - ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΚΑΙ ΖΗΤΗΣΗ	30
2.3. Η ΑΓΟΡΑ ΥΦΑ ΣΗΜΕΡΑ: ΧΩΡΕΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ – ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΤΟ ΠΛΟΙΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ (ΥΦΑ)	39
3.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ: ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΠΛΟΙΑ ΥΦΑ.....	39
3.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΥΦΑ	50
3.3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΥΦΑ.....	57
3.3.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ.....	58
3.3.2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΩΣΗΣ.....	82
3.3.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ – ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΚΛΕΙΔΕΣ.....	97
3.4 Η ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ.....	100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ LNG	114
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	124
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	133
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. Λεπτομέρεια δεξαμενής μεμβράνης με τον «πύργο αντλιών»</i>	<i>133</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β. Εισαγωγή δεξαμενής στο πρώτο πλοίο τύπου Sayaringo στο ναυπηγείο της Mitsubishi στην Ιαπωνία</i>	<i>134</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ. Η τροφοδοσία της Ευρώπης με φυσικό αέριο κατά το 2021: Το δίκτυο αγωγών και οι θέσεις των εγκαταστάσεων επαναεριοποίησης</i>	<i>135</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. Καταμερισμός του παγκόσμιου στόλου LNG, ανάλογα με την ηλικία των πλοίων κατά τα έτη 2018-2019-2020</i>	<i>136</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε. Αλφαβητική λίστα Ναυπηγείων κατασκευής πλοίων LNG</i>	<i>136</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Στ. Μεταφορά LNG οδικώς και με σιδηρόδρομο</i>	<i>139</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ. Υπόγεια και υπέργεια δεξαμενή αποθήκευσης LNG της KOGAS στο Ιντσόν της Νότιας Κορέας</i>	<i>140</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η. Κατασκευαστές Ναυτικών Μηχανών</i>	<i>141</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Θ. Συγκεντρωτικός πίνακας παγκόσμιου στόλου LNG πλοίων ανά έτος (2004-2020)</i>	<i>142</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. Πίνακες νέων παραλαβών και συνολικού αριθμού πλοίων εν ενεργεία, ανά έτος (1959-2020)</i>	<i>143</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΑ. Όγκοι ΥΦΑ που διακινήθηκαν παγκοσμίως από το 1970 ως το 2020 (σε δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα)</i>	<i>145</i>

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Ο Edwin Drake το 1861 μπροστά σε πηγάδι στην Πενσυλβάνια. Πηγή: Drake Well Museum and Park.....	8
Εικόνα 2. Αλυσίδα αξίας του φυσικού αερίου. Πηγή: IGU What is Natural Gas? Facts and Figures IGU.....	10
Εικόνα 3. Conventional and Unconventional Gas Production. Πηγή: Patent Landscape report, Government of Canada Publications, I. Introduction Patent Landscape Report - Shale Oil and Gas - Canadian Intellectual Property Office	12
Εικόνα 4. Μεταφορά δοχείων CNG οδικώς. Πηγή: Η «ενεργειακή επανάσταση» του CNG Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ (kathimerini.gr).....	19
Εικόνα 5. CNG Coselle System. Πηγή: Type Your Title Here (cynergyproject.eu)	20
Εικόνα 6. CNG Vertical Cylindrical Tanks System. Πηγή: Type Your Title Here (cynergyproject.eu)	20
Εικόνα 7. LNG Value Chain Πηγή: Canada's Role in the Global LNG Market -Energy Market Assessment (2020) CER – Canada's Role in the Global LNG Market - Energy Market Assessment - Introduction (cer-rec.gc.ca).....	27
Εικόνα 8. Πλοία που φορτώνουν LNG στις εγκαταστάσεις Sabine Pass, των Η.Π.Α. Πηγή: https://twitter.com/GasLogLNG/status/1000026840780730368/photo/1	28
Εικόνα 9. Εγκατάσταση επαναεριοποίησης και αποθήκευσης στο Bilbao της Ισπανίας. Πηγή: IGU Magazine April - September 2020, Πηγή: April 2020 IGU	29
Εικόνα 10. Το CAMEL PLANT στο Αρζού της Αλγερίας. Πηγή: Total's history in Algeria WikiTotal (totalenergies.com)	31
Εικόνα 11. Methane Pioneer. Η επένδυση Balsa τοποθετημένη στο αμπάρι.....	40
Εικόνα 12. Methane Pioneer. Η τοποθέτηση μιας από τις δεξαμενές.....	40
Εικόνα 13. Στην προβλήτα του ποταμού Calcasieu, το Methane Pioneer (1959) φορτώνει το ιστορικό πρώτο φορτίο LNG. Πηγή: lng-shipping-at-50compressed.pdf (sigtto.org).....	41
Εικόνα 14. Το Methane Princess στο ναυπηγείο Vickers Armstrong. Πηγή: https://www.sigtto.org/media/2905/lng-shipping-at-50compressed.pdf σελ. 15	42
Εικόνα 15. Το Methane Princess την ημέρα καθέλκυσής του (22/06/1963).	43
Εικόνα 16. General Arrangement των πλοίων Methane Princess και Methane Progress. Πηγή: Ffooks, Roger, Natural Gas by Sea: The Development of a New Technology, 1993, σελ. 63....	45
Εικόνα 17. Pythagore (1964) Technigaz MK I System. Πηγή: GTT Training: Membrane Cargo Containment Membrane Systems, 2015, General presentation (onthemosway.eu)	47
Εικόνα 18. "Norman Lady" 1973. Πηγή: Moss Maritime AS History (mossw.com)	49

Εικόνα 19. Παράδειγμα πλοίων μεμβράνης και Moss ίσου μεγέθους. Πηγή: Propulsion Trends in LNG Carriers, Two-stroke engines, σελ. 6. Propulsion Trends in LNG Carriers Two-stroke Engines (mandieselturbo.com) (Propulsion Trends in LNG Carriers, Two-stroke Engines, n.d.)	50
Εικόνα 20. Σύγκριση μεγεθών LNG πλοίων. Πηγή: «2012-2015 Triennium Work Reports, Life Cycle Assessment of LNG, International Gas Union», σελ. 13 Life Cycle Assessment of LNG (igu.org) (Life Cycle Assessment of LNG, 2015)	51
Εικόνα 21. Τα τέσσερα από τα Arc7 Ice-Class LNG vessels της Yamal στο ναυπηγείο Daewoo στην Κορέα. Πηγή: IGUMagazine: LNG Outlook for 2020, σελ. 50. April 2020 IGU	52
Εικόνα 22.FSRU Πηγή: GIIGNL Annual Report 2020Edition, giignl_-_2020_annual_report_-_04082020.pdf	53
Εικόνα 23. Το Prelude FLNG της Shell στην Αυστραλία. Πηγή SHELL Life onboard a floating LNG facility Prelude FLNG Life onboard a floating LNG facility Prelude FLNG - YouTube	54
Εικόνα 24. Πηγή: (Delpizzo, 2014) ABS- Gas Carriers: Arrangements & Characteristics Microsoft PowerPoint - Marine Chemist_22July14_EA with notes.pptx (wordpress.com)	58
Εικόνα 25. Σχηματική απεικόνιση των δεξαμενών μεμβράνης και MOSS. Πηγή: (Studies)The-LNG-Shipping-Forecast-costs-rebounding-outlook-uncertain-Insight-27.pdf (oxfordenergy.org)	60
Εικόνα 26. Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου αερίου τύπου Membrane. Πηγή: SIGTTO lng-shipping-at-50compressed.pdf (sigtto.org)	61
Εικόνα 27.Λεπτομέρεια της μεμβράνης MARK III. Πηγή: Mark III systems GTT	62
Εικόνα 28. Εισαγωγή σφαιρικής δεξαμενής MOSS σε πλοίο. Πηγή: ABS. Gas Carriers-Arrangements & Characteristics, σελ.35 Microsoft PowerPoint - Marine Chemist_22July14_EA with notes.pptx (wordpress.com)	68
Εικόνα 29. Σχηματική απεικόνιση της δεξαμενής MOSS. Πηγή: ABS. Gas Carriers-Arrangements & Characteristics, σελ.39 Microsoft PowerPoint - Marine Chemist_22July14_EA with notes.pptx (wordpress.com)	69
Εικόνα 30. Δδεξαμενή MOSS. Σχηματική απεικόνιση δεξαμενής MOSS, λεπτομέρεια των δύο ημισφαιρίων με τον δακτύλιο και τοποθέτηση της μόνωσης. Πηγή: ABS. Gas Carriers-Arrangements & Characteristics, σελ.41 Microsoft PowerPoint - Marine Chemist_22July14_EA with notes.pptx (wordpress.com)	70
Εικόνα 31. Το εσωτερικό μιας δεξαμενής MOSS. Πηγή: Seaborne Ethane And Demand For A New Ship Type (marinelink.com)	71
Εικόνα 32. Διάταξη δεξαμενών MOSS σε σχέση με τις διαστάσεις του πλοίου. Πηγή: LNG Carrier LNG CARRIER (marineprohelp.com)	74
Εικόνα 33. Αύξηση αριθμού δεξαμενών MOSS. Πηγή: MarineSurveying IIMS -LNG shipping technology past, present and future LNG shipping technology past, present and future - YouTube	74
Εικόνα 34.Sayaendo Πηγή:A Lloyd's Register Report Gas Technology Report, March 2014, σελ. 6 LR_Gas_Technology_Report_2014_03.pdf (safety4sea.com)	75

Εικόνα 35. Σχηματικά η εξωτερική διάταξη του Sayaendo. Πηγή: DESIGN OF THE EVOLUTIONARY LNG CARRIER “SAYAENDO” (wordpress.com) σελ. 5.....	76
Εικόνα 36. Sayaendo ship: stretched tank. Πηγή: MHI_PPT_format_r2_E (gti.energy)	76
Εικόνα 37. Sayaringo. Πηγή: SAYARINGO STaGE- Next Generation MOSS-type LNG Carrier with hybrid propulsion plant -,Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol.53 No.2(2016) (mhi.co.jp).....	77
Εικόνα 38. Σύγκριση των δύο δεξαμενών της Mitsubishi. Πηγή: SAYARINGO STaGE- Next Generation MOSS-type LNG Carrier with hybrid propulsion plant -,Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol.53 No.2(2016) (mhi.co.jp).....	78
Εικόνα 39. Μηχανοστάσιο LNG πλοίου με ατμοστρόβιλο. Πηγή: Στιγμιότυπο από βίντεο περιήγησης σε μηχανοστάσιο. Steam Turbine - LNG Ship Engine Room (Video Tour) - YouTube (The Sea Land, 2019).....	83
Εικόνα 40. DFDE μηχανή Wärtsilä 46DF. Πηγή: Wärtsilä 46DF - four-stroke dual-fuel engine (wartsila.com).....	84
Εικόνα 41. Σχηματική απεικόνιση συστήματος TFDE. Πηγή: Maran Gas Maritime Inc. An update on LNG propulsion and peripheral systems. PowerPoint Presentation (higherlogicdownload.s3.amazonaws.com) (Maran Gas).....	85
Εικόνα 42. Λεπτομέρεια από μηχανοστάσιο LNG DFDE πλοίου με 4 μηχανές Warchila (3 V12 και 1 6L) Πηγή: Στιγμιότυπο από video LNG TOUR ENGINE ROOM-PROPULSION MOTORS - YouTube.....	86
Εικόνα 43. Σχηματική απεικόνιση συστήματος SSSR. Πηγή: (Tu Huan F. H., 2018) Options and Evaluations on Propulsion Systems of LNG Carriers IntechOpen.....	87
Εικόνα 44. Σχηματική απεικόνιση συστήματος ME-GI. Πηγή: Maran Gas Maritime Inc. An update on LNG propulsion and peripheral systems. PowerPoint Presentation (higherlogicdownload.s3.amazonaws.com) (Maran Gas).....	89
Εικόνα 45. Η μηχανή ME-GI Mk2 της MAN B&W. Πηγή: ME-GI (man-es.com).....	90
Εικόνα 46. Η τελευταίας γενιάς X-DFμηχανή της Wärtsilä (5X72DF-2.1) Πηγή: Στιγμιότυπο από video (WinGD & Wärtsilä X-DF Engines, 2021) WinGD & Wärtsilä X-DF Engines Webinar - Operational Efficiency & Future Technologies - YouTube.....	91
Εικόνα 47. Σχηματική απεικόνιση συστήματος X-DF. Πηγή: Maran Gas Maritime Inc. An update on LNG propulsion and peripheral systems. PowerPoint Presentation (higherlogicdownload.s3.amazonaws.com) (Maran Gas).....	93
Εικόνα 48. STaGE Propulsion Plant. Πηγή: SAYARINGO STaGE- Next Generation MOSS-type LNG Carrier with hybrid propulsion plant -,Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol.53 No.2(2016) (mhi.co.jp) σελ.6.....	95
Εικόνα 49. Ανύψωση αντλίας φορτίου από δεξαμενή για επισκευή. Πηγή: SIGTTO/GIIGNL- LNG Shipping at 50 (2014), σελ. 44. lng-shipping-at-50compressed.pdf (sigtto.org)	98
Εικόνα 50. Ο πύργος αντλιών. Πηγή: Gaslog “Gaslog Wellington” 2021 https://twitter.com/GasLogLNG/status/1404784438920323086/photo/3	133
Εικόνα 51. LNG Road Transportation Πηγή: CER – Canada’s Role in the Global LNG Market - Energy Market Assessment - Introduction (cer-rec.gc.ca).....	139

Εικόνα 52. LNG Rail Transportation Πηγή: Transporting natural gas by train: the greener way to go - Nikkei Asia	139
Εικόνα 53. Πηγή: IGU Annual Report 2021, σελ. 93. World LNG Report 2021 IGU	140

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ/ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΧΑΡΤΩΝ

Πίνακας 1. Γράφημα: Καταμερισμός αποδεδειγμένων παγκοσμίων αποθεμάτων φυσικού αερίου ανά δεκαετία 2000-2020. Πηγή: BP – Natural Gas Statistical Review of World Energy 2021, σελ. 35 Natural gas – Statistical Review of World Energy 2021 (bp.com)	14
Πίνακας 2. Γράφημα: Natural gas production worldwide from 1998 to 2020 Πηγή: https://www.statista.com/statistics/265344/total-global-natural-gas-production-since-1998/	15
Πίνακας 3. Γράφημα: Οι δέκα χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή φυσικού αερίου το 2020. Πηγή: • Top countries natural gas production worldwide Statista	16
Πίνακας 4. Κατανάλωση φυσικού αερίου ανά χώρα σε δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα το 2020. Πηγή: Enerdata Natural Gas Consumption Statistics Natural Gas Data Enerdata	17
Πίνακας 5. Γράφημα: Παγκόσμιοι εξαγωγείς Φυσικού αερίου 2020. Πηγή εξαγωγής δεδομένων: • Global gas exports by country 2020 Statista	18
Πίνακας 6. Γράφημα: Μεγαλύτεροι Εξαγωγείς Φυσικού αερίου 2020. Πηγή εξαγωγής δεδομένων: • Global gas exports by country 2020 Statista	22
Πίνακας 7. Διάγραμμα: Βασικές διαδρομές διακίνησης Φ.Α. 2020. Full report – Statistical Review of World Energy 2021 (bp.com) σελ.45	23
Πίνακας 8. Διάγραμμα: Κόστος μεταφοράς φυσικού αερίου μέσω δικτύου αγωγών ή μέσω πλοίων LNG. Πηγή: Adamu Ahmed, “Using natural gas to meet latent energy demand in Nigeria and deliver economic advantage” Thesis for PhD, Nile University of Nigeria (2016) (PDF) Using natural gas to meet latent energy demand in Nigeria and deliver economic advantage (researchgate.net)	25
Πίνακας 9. Διάγραμμα: Όγκοι ΥΦΑ που διακινήθηκαν ανά πενταετία 1970-2020. Πηγή: • Global LNG trade volume 2020 Statista	32
Πίνακας 10. Παγκόσμιο εμπόριο LNG 2016-2020. Πηγή δεδομένων: IGU World Annual Reports 2017-2021. Resources International Gas Union (igu.org)	34
Πίνακας 11. Διάγραμμα: Εξαγωγές LNG σε MT, ανά κράτος το 2020. Πηγή: IGU World Annual Report 2021. World LNG Report 2021 IGU	35
Πίνακας 12. Διάγραμμα: Εισαγωγές LNG σε MT, ανά κράτος το 2020. Πηγή: IGU World Annual Report 2021. World LNG Report 2021 IGU	35
Πίνακας 13. Διάγραμμα: Οι σημαντικότερες ροές ΥΦΑ κατά το 2020. Πηγή: GIIGNL Annual Report 2021. GIIGNL_Annual_Report_November2021.pdf.....	36
Πίνακας 14. Διάγραμμα: Leading liquefied natural gas (LNG) exporting companies worldwide by storage capacity as of June 2021 Πηγή: • Global LNG exporting companies by capacity 2021 Statista	38
Πίνακας 15. Διάγραμμα: Leading liquefied natural gas (LNG) importing companies worldwide by storage capacity as of June 2021. Πηγή: • Global LNG importing companies by capacity 2021 Statista	38

Πίνακας 16. Αριθμός ενεργών πλοίων LNG στα τέλη του 2019, ανάλογα με τον τύπο τους. Πηγή, εξαγωγή δεδομένων: World LNG Report 2021 IGU Appedix 3. Table of Global Active LNG Fleet, Year-End 2019. Σελ.111	55
Πίνακας 17. Αριθμός ενεργών πλοίων LNG στα τέλη του 2019, ανάλογα με τον τύπο δεξαμενών τους.	60
Πίνακας 18. Γράφημα: Αριθμός πλοίων LNG παγκοσμίως, ανά έτος (2010-2020). Περιλαμβάνει τα πλοία όλων των μεγεθών καθώς και τα FSRU/FSU. Πηγή: Statista https://www.statista.com/statistics/468412/global-lng-tanker-fleet/	100
Πίνακας 19. Γράφημα: Ο συνολικός αριθμός πλοίων LNG στο Βιβλίο Παραγγελιών, οι παραδόσεις νεότευκτων πλοίων και οι νέες παραγγελίες ανά έτος (2009-2020). Εξαγωγή δεδομένων από τις ετήσιες αναφορές της GIIGNL. Πηγή: Resources - (giignl.org).....	101
Πίνακας 20. Γράφημα: Οι διακυμάνσεις του αριθμού ενεργών πλοίων, Laid-Up,υπό μετατροπή και υπό διάλυση κατά τη δωδεκαετία 2009-2020. Εξαγωγή δεδομένων από τις ετήσιες αναφορές της GIIGNL. Πηγή: Resources - (giignl.org)	102
Πίνακας 21. Γράφημα: Αριθμός πλοίων LNG παγκοσμίως, ανά πενταετία (1960-2020) Περιλαμβάνει τα πλοία όλων των μεγεθών καθώς και τα FSRU/FSU. Εξαγωγή δεδομένων από τις ετήσιες αναφορές της GIIGNL. Πηγή: Resources - (giignl.org)	103
Πίνακας 22. Γράφημα με την ετήσια συνολική διαθέσιμη χωρητικότητα του παγκόσμιου στόλου LNG, αλλά και την λειτουργική (2008-2020) Εξαγωγή δεδομένων από τις ετήσιες αναφορές της GIIGNL. Πηγή: Resources - (giignl.org).	104
Πίνακας 23. Γράφημα: Global active LNG fleet and orderbook by delivery year and average capacity 1990-2023. Πηγή: IGU- Annual Report 2021, σελ. 60, World LNG Report 2021 IGU	105
Πίνακας 24. Γράφημα: Καταμερισμός συνολικής χωρητικότητας στόλου ανάλογα με τα μεγέθη των πλοίων. Πηγή: GIIGNN Annual Report 2021, σελ. 21. GIIGNL_Annual_Report_November2021.pdf	105
Πίνακας 25. Γράφημα: Ποσοστό συστημάτων δεξαμενών παγκόσμιου στόλου LNG στο τέλος του 2020. Πηγή δεδομένων GIIGNL-Annual Report 2021. GIIGNL_Annual_Report_November2021.pdf	106
Πίνακας 26. Τύπος δεξαμενών στα υπό παράδοση πλοία ανά έτος (2004-2020). Εξαγωγή δεδομένων από τις ετήσιες αναφορές της GIIGNL. Πηγή: Resources - (giignl.org).....	106
Πίνακας 27. Γράφημα: Ποσοστό τύπου δεξαμενών που επιλέχθηκε στα πλοία που παραδόθηκαν κατά τα έτη 2004-2020. Εξαγωγή δεδομένων από τις ετήσιες αναφορές της GIIGNL. Πηγή: Resources - (giignl.org).	107
Πίνακας 28. Γράφημα: Συστήματα πρόωσης LNG πλοίων που παραδόθηκαν την περίοδο 2016-2020, καθώς και όσων θα παραδοθούν ως το 2025. Πηγή: IGU-World LNG Annual Report 2021, σελ. 61, World LNG Report 2021 IGU	107
Πίνακας 29. Κατάταξη παραγγελιών LNG πλοίων στα ναυπηγεία. Περιλαμβάνονται πλοία άνω των 30.000 m ³ , καθώς και FSRU/FSU. Εξαγωγή δεδομένων από τις ετήσιες αναφορές της IGU. Ανακτήθηκαν από το διαδίκτυο στη διεύθυνση: Resources International Gas Union (igu.org)	108

Πίνακας 30. Γράφημα: Το πλάνο παράδοσης των νεότευκτων LNG πλοίων και το κόστος ανάλογα με τον τύπο πρόωσης, κατά την εικοσαετία 2000-2020. Πηγή: IGU Annual Report, σελ. 69, World LNG Report 2021 IGU	109
Πίνακας 31. Γράφημα: Τα δέκα κράτη με το μεγαλύτερο στόλο LNG ανάλογα την αξία του. Εξαγωγή δεδομένων από πίνακα Top 10 Ship Owning Nations 2021, VesselsValue. Πηγή: Top 10 Ship Owning Nations: China 1st at the list - SAFETY4SEA	110
Πίνακας 32. Αξία στόλου (σε δις δολάρια Η.Π.Α.) των 10 μεγαλύτερων πλοιοκτητριών χωρών 2016- 2021. Εξαγωγή δεδομένων από πίνακες της VesselsValue	111
Πίνακας 33. Αυξομειώσεις της αξίας στόλου στις 10 πρώτες χώρες. Εξαγωγή δεδομένων από πίνακα 29.....	112
Πίνακας 34. Γράφημα: Οι πέντε μεγαλύτερες εταιρείες σε μέγεθος στόλου LNG. Πηγή: Riviera - News Content Hub - Top five LNG carrier owners (rivieramm.com).....	112
Πίνακας 35. Γράφημα: Ο παγκόσμιος στόλος LNG ανά πλοιοκτήτρια εταιρεία. Πηγή: World LNG Report 2021 IGU Appendix 3. Table of Global Active LNG Fleet, Year-End 2019. Σελ.67	113
Πίνακας 36. Διάγραμμα: Ικανότητα υγροποίησης φυσικού αερίου από το 2010 με πρόβλεψη ως το 2024 Πηγή: • Natural gas nominal liquefaction capacity worldwide 2024 Statista.....	118
Πίνακας 37. Γράφημα: Η κατανάλωση φυσικού αερίου ανά περιοχή κατά το 2019 και η πρόβλεψη για το 2050. Πηγή: • Natural gas demand outlook by region 2050 Statista	119
Πίνακας 38. Γράφημα: Η τροφοδότηση της Ευρώπης με φυσικό αέριο το 2021. Πηγή: Rystad Energy - Russia-Ukraine tensions could jeopardize 30% of European gas demand – US LNG can play a role in bridging the gap	135
Πίνακας 39. Γράφημα: Καταμερισμός του παγκόσμιου στόλου ανάλογα με την ηλικία κατά τα έτη 2018-2019-2020. Πηγή: GIIGNL Annual Report 2021, σελ. 21, GIIGNL_Annual_Report_November2021.pdf	136
Πίνακας 40. Συγκεντρωτικός πίνακας παγκόσμιου στόλου LNG πλοίων, ανά έτος (2004-2020). Τα δεδομένα προέρχονται από τα Annual Reports της GIIGNL. Πηγή: Resources - (giignl.org)	142
Πίνακας 41. Αριθμός LNG πλοίων εν ενεργεία, ανά έτος (2006-2020). Τα δεδομένα προέρχονται από τα Annual Reports της GIIGNL. Πηγή: Resources - (giignl.org).....	143
Πίνακας 42. Αριθμός LNG πλοίων εν ενεργεία, ανά έτος (1991-2005). Τα δεδομένα προέρχονται από τα Annual Reports της GIIGNL. Πηγή: Resources - (giignl.org).....	143
Πίνακας 43 Αριθμός LNG πλοίων εν ενεργεία, ανά έτος (1976-1990). Τα δεδομένα προέρχονται από τα Annual Reports της GIIGNL. Πηγή: Resources - (giignl.org).....	144
Πίνακας 44. Αριθμός LNG πλοίων εν ενεργεία, ανά έτος (1959-1975). Τα δεδομένα προέρχονται από τα Annual Reports της GIIGNL. Πηγή: Resources - (giignl.org).....	144
Πίνακας 45. Όγκοι ΥΦΑ που διακινήθηκαν παγκοσμίως (2011-2020) σε δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Πηγή: • Global LNG trade volume 2020 Statista	145
Πίνακας 46. Όγκοι ΥΦΑ που διακινήθηκαν παγκοσμίως (2001-2010) σε δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Πηγή: • Global LNG trade volume 2020 Statista	145

Πίνακας 47. Όγκοι ΥΦΑ που διακινήθηκαν παγκοσμίως (1970-2000) σε δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Πηγή: • Global LNG trade volume 2020 | Statista 145

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ/ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ/ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ

BOG Boil Off Gas Εξατμίσεις φορτίου λόγω αύξησης θερμοκρασίας

CIS (Commonwealth of Independent States) Κοινοπολιτεία Ανεξάρτητων Κρατών, πρώην Σοβιετικών Δημοκρατιών.

CNG Compressed Natural Gas ΠΦΑ: Πεπιεσμένο Φυσικό Αέριο

CNGC Compressed Natural Gas Carrier Πλοίο μεταφοράς ΠΦΑ

Conventional-sized LNG Ships 125.000-175.000 m³ in capacity Συμβατικού μεγέθους

DFE Dual-Fuel Diesel Engine Μηχανή Διπλού Καυσίμου

DFDE Dual-Fuel Diesel Electric Ηλεκτρομηχανή διπλού καυσίμου

GCU Gas Combustion Unit. Μονάδα καύσης αερίων (ασφαλιστική δικλείδα)

GHG Greenhouse Gas Emissions. Επικίνδυνες εκπομπές ρύπων που ευθύνονται για την κλιματική αλλαγή του πλανήτη.

GIIGNL International Group of Liquefied Natural Gas Importers. Διεθνής ένωση εισαγωγέων ΥΦΑ.

CNG Compressed Natural Gas Πεπιεσμένο Φυσικό Αέριο

Gross Tonnage Ολική χωρητικότητα πλοίου. Περιλαμβάνει όλους τους κλειστούς χώρους του πλοίου που διατίθενται για φορτίο, εφόδια πλοίου και ενδιαίτηση πληρώματος – επιβατών.

GTT Gaztransport and Technigaz

FLNG Floating Liquefied Natural Gas Υπεράκτια πλωτή μονάδα υγροποίησης φυσικού αερίου

Four-Stroke Engine Τετράχρονη μηχανή

FSRU Floating Storage Regasification Unit Υπεράκτια πλωτή μονάδα αποθήκευσης και επαναεριοποίησης φυσικού αερίου

FSU Floating Storage Unit Υπεράκτια πλωτή μονάδα αποθήκευσης φυσικού αερίου

HFO Heavy Fuel Oil Βαρύ πετρέλαιο, Μαζούτ

Hydraulic Fracking Υδραυλική Ρωγμάτωση: Μέθοδος εξόρυξης σχιστολιθικού φυσικού αερίου

ICS International Chamber of Shipping (Διεθνές Ναυτιλιακό Επιμελητήριο)

IEA International Energy Agency (Διεθνής Οργάνωση Ενέργειας)

IGC Code International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (Διεθνής κώδικας που καθορίζει τα πρότυπα για τα υλικά, τον τρόπο κατασκευής και τον εξοπλισμό των πλοίων που μεταφέρουν υγροποιημένα αέρια)

IGU International Gas Union. Διεθνής Οργανισμός Αερίου

IHI Ishikawajima-Harima Heavy Industries (Ιαπωνικό Ναυπηγείο)

IMO International Maritime Organization (Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός)

KOGAS Korea Gas Corporation Δημόσια εταιρεία φυσικού αερίου της Νότιας Κορέας

Leak before Failure Η φιλοσοφία αυτής της αρχής λαμβάνει ως δεδομένο ότι μια πιθανή ρωγμή σε μια δεξαμενή μπορεί να ανιχνευτεί (από τη διαρροή μικρής κλίμακας) και να επισκευαστεί εγκαίρως, πριν φτάσει σε τέτοιο μέγεθος που να δημιουργήσει πραγματικό πρόβλημα.

LNG Liquefied Natural Gas ΥΦΑ:Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο

LNGC Liquefied Natural Gas Carrier (Πλοίο μεταφοράς ΥΦΑ)

LSFO Low-Sulphur Fuel Oil. Ναυτικό καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε Θείο

MGO Marine Gas Oil. Ναυτικό καύσιμο

MEGI Mechanically operated (M-Type), Electronically controlled, Gas Injection Τύπος μηχανής πλοίων

Methane Slip Φαινόμενο διαφυγής μεθανίου κατά την καύση του BOG στις μηχανές του πλοίου. Παρουσιάζεται κυρίως στις τετράχρονες μηχανές.

MHI Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Το Ναυπηγείο της Mitsubishi στην Ιαπωνία.

Q-Flex Large LNG Ship 210,000 to 217,000 m³ in capacity

Q-Max Large LNG Ship 263,000 to 266,000 m³ in capacity

OECD Organisation for Economic Co-operation and Development (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης) Διεθνής οργανισμός εκείνων των αναπτυγμένων χωρών που υποστηρίζουν τις αρχές της αντιπροσωπευτικής δημοκρατίας και της οικονομίας της ελεύθερης αγοράς. Στα 38 μέλη περιλαμβάνεται η ΕΕ, οι Η.Π.Α. ο Καναδάς, η Αυστραλία, η Ιαπωνία, η Ν. Κορέα κ.α.

Pilot fuel Το αέριο καύσιμο για να καεί στις μηχανές διπλού καυσίμου χρειάζεται τη βοηθητική έγχυση μικρής ποσότητας ντίζελ, ώστε να γίνει η ανάφλεξη.

SIGTTO Society of International Tanker & Terminal Operators. Εταιρεία διεθνών δεξαμενόπλοιων φυσικού αερίου και χειριστών τερματικών: Μη κερδοσκοπικός και μη κυβερνητικός οργανισμός που εκπροσωπεί ιδιοκτήτες μεταφορέων και τερματικών αερίου, συμπεριλαμβανομένων τερματικών ΥΦΑ.

Small Scale LNG Carriers up to 90.000 m³ in capacity

SPB Self-supporting, **P**rismatic shape, IMO type **B**. Πρισματικού τύπου δεξαμενές φορτίου.

SSD Slow Speed Diesel Engine. Τύπος αργόστροφων δίχρονων ναυτικών μηχανών

SSDR Slow Speed Diesel with Re-liquefaction plant. Τύπος αργόστροφων δίχρονων ναυτικών μηχανών με μονάδα επανυγροποίησης.

STaGE Steam Turbine and Gas Engine. Υβριδική τύπος ναυτικής μηχανής.

TFDE Tri-Fuel Diesel Electric Propulsion. Ναυτική ηλεκτρομηχανή τριπλού καυσίμου.

Two-Stroke Engine Δίχρονη μηχανή

UST Ultra Steam Turbine Propulsion System. Τύπος ναυτικής μηχανής αμοστρόβιλου.

X-DF Low-pressure slow-speed dual-fuel (Winterthur Gas & Diesel X-DF). Τύπος δίχρονων ναυτικών μηχανών χαμηλής πίεσης και διπλού καυσίμου της Wärtsilä,

ΥΦΑ Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο.

Μονάδες μέτρησης

Bar = μονάδα μέτρησης πίεσης

BTU ή **Btu** = Μονάδα μέτρησης θερμικής ενέργειας και ισοδυναμεί με την ενέργεια που χρειάζεται για να θερμανθεί 1 λίβρας (pound) νερού ώστε να ανεβάσει τη θερμοκρασία του κατά 1 βαθμό Fahrenheit. **MMBTU** ή **mmBtu** = million Btu

m³ ή **cm** = Cubic meter (κυβικά μέτρα) μονάδα μέτρησης όγκου

mcm = thousand cubic meters

mmcm = Million cubic meters

MT = million tonnes

ΜΤΡΑ ή **ΜΤΑ** = million tonnes per annum

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάζει την εξέλιξη των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου, από την εποχή που πρωτοεμφανίστηκαν ως σήμερα. Με τη βοήθεια διαδικτυακών κυρίως πηγών από διάφορους φορείς, ενώσεις και εταιρείες που σχετίζονται με την αγορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου και τα πλοία μεταφοράς του, παρουσιάζεται αρχικά το Διεθνές Εμπόριο ΥΦΑ και οι σημαντικότερες ροές του διαχρονικά και κατόπιν εξετάζεται το ίδιο το πλοίο. Ξεκινώντας από την κατασκευή του πρώτου πλοίου, παρουσιάζονται οι εταιρείες που συνεργάστηκαν σε αυτό το επίτευγμα, οι τεχνολογίες και τα χαρακτηριστικά που ενσωματώθηκαν καθώς και τα πρώτα δοκιμαστικά ταξίδια του. Κατόπιν ακολουθώντας τα βήματα επέκτασης του κλάδου μέχρι σήμερα, παρατίθενται στοιχεία και περιγραφές για την εξειδικευμένη τεχνολογία του, τους τύπους δεξαμενών φορτίου που κυριαρχούν σήμερα, τα συστήματα διαχείρισης φορτίου και τα συστήματα πρόωσης διπλού καυσίμου. Επίσης παρατίθενται στατιστικά στοιχεία για το μέγεθος του στόλου, τα χαρακτηριστικά του και την σταδιακή του αύξηση από το 1959 ως σήμερα. Τέλος επιχειρείται μια πρόβλεψη για το μέλλον του κλάδου, λαμβάνοντας υπόψιν τις αναλύσεις των εταιρειών του κλάδου, αλλά και παράγοντες όπως η γεωπολιτική, οι Διεθνείς Κανονισμοί και η δέσμευση των κρατών για την απανθρακοποίηση του πλανήτη.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο, Διεθνές Εμπόριο ΥΦΑ, Πλοία Μεταφοράς ΥΦΑ, Τύποι Δεξαμενών, Μηχανές Διπλού Καυσίμου, Πλωτές Δεξαμενές Αποθήκευσης ΥΦΑ, Υπεράκτιες Μονάδες Υγροποίησης και Επαναεριοποίησης Φυσικού Αερίου.

ABSTRACT

This thesis sets out to explore the evolution of liquefied natural gas carriers, from the time they first appeared until present day. With the use of online resources from various sources, associations and companies related to the liquefied natural gas market and its transport vessels, the International LNG Trade and its most important flows over time are presented before examining the ship itself. Starting with the construction of the first ship, we will analyze the companies that collaborated in this achievement, the technologies and features that were integrated as well as its first test voyages. Then, following the steps of industry expansion to date, data and descriptions are provided for its specialized technology, the types of cargo tanks that prevail today, cargo management systems and dual fuel propulsion systems. Statistics on the size of the fleet, its characteristics and its gradual increase from 1959 until today are also presented. Finally, a prediction is made for the future of the industry, taking into account the analysis of the companies in the industry, but also factors such as geopolitics, international regulations and the commitment of states to the carbonization of the planet.

KEYWORDS

Liquefied Natural Gas, International LNG Trade, LNG Carriers, LNG Containment Systems, Dual Fuel Engine Systems, FSU, FLNG, FSRU.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φυσικό αέριο σήμερα καλύπτει ένα μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών του πλανήτη και θεωρείται η καθαρότερη πηγή ενέργειας μετά τις ανανεώσιμες πηγές. Η μεταφορά του από τα σημεία εξόρυξης γίνεται σε αέρια μορφή με αγωγούς και σε υγρή μορφή με πλοία.

Αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας είναι το πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου, το οποίο αποτελεί μια ξεχωριστή κατηγορία της Ναυτιλίας, λόγω των εξειδικευμένων χαρακτηριστικών του, αλλά και της ιδιαίτερης αγοράς στην οποία δραστηριοποιείται.

Κύριος στόχος της εργασίας είναι να παρουσιάσει την διαχρονική εξέλιξη των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου, από την εποχή που πρωτοεμφανίστηκαν, (το 1959) ως σήμερα.

Τα ερωτήματα που ερευνώνται και επιχειρείται να απαντηθούν είναι:

- ✓ Για ποιο λόγο δημιουργήθηκαν αυτά τα πλοία; Ποιες ήταν οι ανάγκες που εξυπηρετούσαν;
- ✓ Ποιοι τα δημιούργησαν και ποιες εταιρείες συνεργάστηκαν για την κατασκευή τους;
- ✓ Ποιες τεχνολογίες ενσωμάτωναν και ποια ήταν τα ταξίδια τους;
- ✓ Πώς εξελίχθηκαν στο βάθος του χρόνου και ποια είναι η τεχνολογική μορφή τους σήμερα;
- ✓ Ποιο είναι το μέλλον τους και από ποιους παράγοντες εξαρτάται;

Η δομή της εργασίας ακολουθεί την διάταξη τεσσάρων γενικών κεφαλαίων, ενώ για την καλύτερη ανάπτυξή τους, τα επιμέρους θέματα παρουσιάζονται σε υποενότητες ως εξής:

- 1ο.** Στο πρώτο κεφάλαιο, με γενικό τίτλο «ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ», παρουσιάζεται σε πέντε αντίστοιχες υποενότητες:

- Το φυσικό αέριο και τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται, ο τρόπος που δημιουργήθηκε και ανακαλύφθηκε, καθώς και η χρήση του.
 - Η διαδικασία εξόρυξης και παραγωγής του, όπως και τα διαφορετικά είδη του, με έμφαση στην τεχνολογία εξόρυξης του σχιστολιθικού φυσικού αερίου, που θεωρείται ότι έφερε την «επανάσταση» στην Διεθνή Αγορά.
 - Στατιστικά στοιχεία για το μέγεθος του Διεθνούς Εμπορίου Φυσικού Αερίου, τα παγκόσμια επιβεβαιωμένα αποθέματα, τους μεγαλύτερους παραγωγούς, εξαγωγείς, εισαγωγείς και καταναλωτές.
 - Διάκριση ανάμεσα στις δύο μορφές με τις οποίες γίνεται η μεταφορά του, με ιδιαίτερη μνεία στο CNG,
 - Οικονομοτεχνική. Αναλύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε τρόπου μεταφοράς ξεχωριστά.
- 20.** Στο δεύτερο κεφάλαιο, με γενικό τίτλο «ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ», περιγράφεται ο λόγος υγροποίησης του φυσικού αερίου και παρουσιάζονται τα τρία στάδια της αλυσίδας ΥΦΑ. Στη συνέχεια παρουσιάζονται στατιστικά στοιχεία για τη διαχρονική εξέλιξη της Αγοράς ΥΦΑ, οι μονάδες υγροποίησης και επαναεριοποίησης, οι χώρες εισαγωγής και εξαγωγής καθώς και οι βασικές διαδρομές διακίνησης.
- 30.** Το τρίτο κεφάλαιο, με γενικό τίτλο «ΤΟ ΠΛΟΙΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ» είναι και το μεγαλύτερο σε έκταση, μιας και πραγματεύεται το βασικό αντικείμενο της εργασίας, δηλαδή το πλοίο ΥΦΑ. Αποτελείται από τέσσερεις υποενότητες:
- Τα πρώτα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ, όπου γίνεται μια ιστορική αναδρομή στη δεκαετία του 1950 και τις πρώτες προσπάθειες θαλάσσιας μεταφοράς του φυσικού αερίου. Παρουσιάζεται μια εκτενής περιγραφή του «Methane Pioneer» του ιστορικού πρώτου πλοίου που μετασκευάστηκε και το 1959 μετέφερε επιτυχώς υγροποιημένο φυσικό αέριο από την Αμερική στην Μ. Βρετανία. Στη συνέχεια, παρατίθενται περιγραφές των πρώτων LNG πλοίων που κατασκευάστηκαν, καθώς και των διαφόρων τεχνολογιών που αναπτύχθηκαν σε σχέση με τη μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου.

- Οι κατηγορίες των σύγχρονων πλοίων μεταφοράς ΥΦΑ, όπου γίνεται κατηγοριοποίηση των πλοίων ανάλογα με τον τύπο δεξαμενών τους, την πρόωση, την χωρητικότητα, αλλά παρουσιάζονται επίσης και οι ειδικές κατηγορίες των Ice-Class LNG πλοίων, και των FSU, FSRU και FLNG.
- Τεχνολογικά χαρακτηριστικά των σύγχρονων πλοίων ΥΦΑ. Αυτή η υποενότητα περιλαμβάνει τρία ξεχωριστά τμήματα, σε μια προσπάθεια να ταξινομηθεί ο μεγάλος όγκος τεχνολογικών επιτευγμάτων που ξεχωρίζουν σε αυτά τα εξειδικευμένα πλοία:
 - Συστήματα δεξαμενών φορτίου, όπου παρουσιάζονται αναλυτικά οι τρεις τύποι δεξαμενών που κυριαρχούν σήμερα.
 - Συστήματα πρόωσης, όπου αναλύεται κάθε τύπος μηχανής πρόωσης που φέρουν τα υπάρχοντα πλοία και επιχειρείται μια σύγκριση μεταξύ τους.
 - Συστήματα διαχείρισης φορτίου και ασφαλιστικές δικλείδες, όπου γίνεται μια αναφορά στα εξειδικευμένα συστήματα και εξοπλισμό που φέρουν τα πλοία για να διαχειριστούν επιτυχώς το ιδιαίτερο φορτίο τους.
- Διαχρονική εξέλιξη του στόλου μεταφοράς ΥΦΑ. Σ' αυτήν την υποενότητα παρουσιάζονται διάφορα στατιστικά στοιχεία που αφορούν το μέγεθος του παγκόσμιου στόλου ΥΦΑ διαχρονικά, τόσο σε αριθμό πλοίων όσο και σε χωρητικότητα, το ποσοστό του κάθε τύπου δεξαμενής και πρόωσης, τα εξειδικευμένα ναυπηγεία που αναλαμβάνουν την κατασκευή των συγκεκριμένων πλοίων, καθώς και στοιχεία για την πλοιοκτησία και την εθνικότητά τους.

40. Στο τέταρτο κεφάλαιο που έχει τίτλο «ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ LNG», αξιολογώντας τους παράγοντες που επηρεάζουν την αγορά του φυσικού αερίου γενικά αλλά και του υδροποιημένου φυσικού αερίου ιδιαίτερα, επιχειρείται μια εκτίμηση για τις προοπτικές εξέλιξης της βιομηχανίας στο βραχυπρόθεσμο αλλά και στο μακροπρόθεσμο μέλλον.

50. Τέλος στον «ΕΠΙΛΟΓΟ» παρατίθενται τα κύρια σημεία της εργασίας καθώς και τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την έρευνα για τη σύνταξή της κατά την κρίση του υποφαινόμενου.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Το θέμα που πραγματεύεται η παρούσα Διπλωματική Εργασία είναι πολύ γενικό, και με πολλές προεκτάσεις. Το πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου, είναι ένα τεχνολογικό επίτευγμα, που περιλαμβάνει πολλές καινοτομίες και εξειδικευμένα συστήματα, για την υλοποίηση των οποίων συνεργάστηκαν επιστήμονες από διαφορετικούς κλάδους. Η διεθνής αγορά την οποία εξυπηρετεί, είναι επίσης ιδιαίτερη και επηρεάζει με σαφή τρόπο την εξέλιξη των συγκεκριμένων πλοίων.

Για τους λόγους αυτούς, ως μεθοδολογία έρευνας, επιλέχθηκε και ακολουθήθηκε η μέθοδος της Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης, με συγκέντρωση και ανάλυση πρωτογενών και δευτερογενών πηγών.

Για τη συγγραφή της εργασίας, μελετήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν άρθρα, στατιστικοί πίνακες, ετήσιες αναφορές και παρουσιάσεις κυρίως διαδικτυακών πηγών, από διάφορους φορείς, ενώσεις και εταιρείες που δραστηριοποιούνται και εκπροσωπούν τον κλάδο και αναφέρονται λεπτομερώς στην Βιβλιογραφία. Ενδεικτικές περιπτώσεις είναι οι ετήσιες αναφορές και επετειακές εκδόσεις των: GIIGNL, IGU, SIGTTO, BP, Shell, IEA, Statista.com, οι ιστοσελίδες των εταιρειών GTT, MOSS Maritime, IHI SPB TANK, MAN, Winterthur Gas & Diesel, MHI, όπως και διάφορες εκδόσεις κανονισμών από Διεθνείς Νηογνώμονες όπως ο DNV.

Στη συνέχεια, έγινε προσπάθεια σύγκρισης και κατηγοριοποίησης των διαθέσιμων πηγών με σκοπό να αναλυθεί και να παρουσιαστεί το θέμα, όσο το δυνατόν πιο πολύπλευρα. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν και αρκετοί πίνακες και διαγράμματα, που λειτούργησαν επικουρικά στην εξαγωγή των συμπερασμάτων. Τα δεδομένα για τους πίνακες αυτούς εξήχθησαν από τις προαναφερθείσες πηγές και αναφέρονται σχολαστικά στην Βιβλιογραφία.

Τα αποτελέσματα αυτής της πολύμηνης ερευνητικής διαδικασίας καταγράφονται στην παρούσα εργασία, ενώ τα συμπεράσματα που ανακύπτουν, αποτελούν προϊόν της κριτικής σκέψης του γράφοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

1.1.ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

Το φυσικό αέριο είναι ένα φυσικό προϊόν που βρίσκεται σε υπόγεια κοιτάσματα της γης, σε υψηλή πίεση, συνήθως πάνω από κοιτάσματα πετρελαίου ή κοντά σε αυτά, αλλά και μόνο του. Είναι μίγμα αέριων υδρογονανθράκων, ελαφρύτερο από τον αέρα, άχρωμο, μη τοξικό, αόρατο και άοσμο. Γι' αυτό το λόγο προτού δοθεί στην κατανάλωση, του προσθέτουν μια ειδική ουσία με χαρακτηριστική οσμή, που βοηθά να εντοπιστεί γρήγορα μια πιθανή διαρροή του. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4), σε αναλογία άνω του 80%, μικρές ποσότητες αιθάνιο (C_2H_6), προπάνιο (C_3H_8), βουτάνιο (C_4H_{10}) και πεντάνιο (C_5H_{12}), ενώ μπορεί να περιλαμβάνει και μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), υδρόθειου (H_2S) και αζώτου (N_2). Η σύστασή του διαφέρει, ανάλογα με τον τόπο εξόρυξής του, διότι εξαρτάται από το είδος της οργανικής ύλης από την οποία προήλθε.

Πώς σχηματίστηκε.

Το φυσικό αέριο, όπως και το πετρέλαιο, σχηματίστηκαν πριν από 10-15 εκατομμύρια χρόνια στο υπέδαφος. Είναι το αποτέλεσμα της αποικοδόμησης των υπολειμμάτων φυτών, ζώων και μικροοργανισμών, που θάφτηκαν κάτω από διαδοχικά στρώματα λάσπης, και λόγω έλλειψης οξυγόνου, σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας μετατράπηκαν σε υγρούς υδρογονάνθρακες, όσον αφορά το πετρέλαιο και αέριους για το φυσικό αέριο. Οι αέριοι υδρογονάνθρακες έχουν την τάση να ανέρχονται προς την επιφάνεια της γης και κατά την πορεία τους αυτή, εγκλωβίστηκαν σε κοιλότητες του υπεδάφους δημιουργώντας έτσι φυσικές δεξαμενές φυσικού αερίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η διαδικασία διαρκεί εκατομμύρια χρόνια και είναι συνεχής ανά τους αιώνες, πράγμα που σημαίνει ότι ακόμα κι αυτή τη στιγμή δημιουργούνται νέες συσσωρεύσεις.

Πότε ανακαλύφθηκε.

Η ύπαρξή του είναι γνωστή από την αρχαιότητα, με περιγραφές σημείων του εδάφους στα οποία ζεσπούσαν πυρκαγιές όταν έπεφτε κεραυνός ή σημεία στα οποία οι άνθρωποι ένιωθαν ζαλάδα όταν τα πλησίαζαν και οδηγούνταν σε περίεργες συμπεριφορές. Είναι πιθανό, το Μαντείο των Δελφών να βρισκόταν σε ένα τέτοιο σημείο και η εισπνοή του αερίου από την Πυθία να οδηγούσε σε παραισθήσεις και κατ' επέκταση στους διάσημους χρησμούς. Ο Ηρόδοτος αναφέρει επίσης τις «αιώνιες φωτιές» που έκαιγαν στο Ιράκ. Ακόμα και σήμερα στο Kirkur, στο Βόρειο Ιράκ υπάρχει ένα μικρό σημείο το Baba Gurgur (μτφ. ο πατέρας της φωτιάς), όπου καίνε αδιάλειπτα οι αιώνιες φλόγες για πάνω από 4.000 χρόνια. Μάλιστα πολλοί το συσχετίζουν με το πύρινο καμίνι της Παλαιάς Διαθήκης, στο οποίο ο Βαβυλώνιος βασιλιάς Ναβουχοδονόσορας έριξε τους «τρεις παίδες».

Οι Κινέζοι είναι οι πρώτοι που, γύρω στο 500π.Χ., έφτιαξαν ένα σύστημα αγωγών από μπαμπού¹ στα σημεία έκλυσης φυσικού αερίου για να το μεταφέρουν και να το χρησιμοποιήσουν στο διαχωρισμό του αλατιού από το θαλασσίνο νερό. Από το 100 π.Χ. είχαν αναπτύξει ήδη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου που χρησιμοποιούσαν για φωτισμό και θερμότητα².

Στην Ευρώπη ήταν άγνωστο ως την ανακάλυψή του το 1659 στην Αγγλία, αλλά ακόμα και τότε, δεν χρησιμοποιήθηκε ευρέως, λόγω της ανακάλυψης του ανθρακαερίου (coal gas). Το ανθρακαέριο, που παράγεται από την απόσταξη άνθρακα, ανακαλύφθηκε το 1670 και λόγω του γεγονότος ότι η μεταφορά, αποθήκευση και χρήση του ήταν πιο εύκολες, άρχισε να χρησιμοποιείται από το 1790 σε μηχανές εσωτερικής καύσεως, στο φωτισμό σπιτιών και δρόμων.

¹ Αχιλιάς, Δ. και Ελευθεριάδης, Ι. (2015). Βιομηχανική Οργανική Χημεία. Αθήνα, εκδ.Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (ΣΕΑΒ) - ΚΑΛΛΙΠΟΣ. Ανάκτηση 2021, από https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/1373/1/02_chapter_3.pdf .

² Harper, John A, “Why the Drake Well?” Pennsylvania Geological Survey’s educational booklet VOL.29, No1, Spring 1998. Σελ. 2 Πηγή: http://library.dcnr.pa.gov/GetDocument?docId=1752367&DocName=PaGeoMag_v29no1.pdf

Το 1816³, η χρήση του μεταφέρθηκε και στην Αμερική, όπου χρησιμοποιήθηκε για να φωτίσει τους δρόμους της Βαλτιμόρης. Το 1821 σημειώθηκε από τον Γουίλιαμ Χαρτ (William Hart) η διάνοιξη του πρώτου φρεατίου ειδικά για την ανάκτηση φυσικού αερίου στη Νέα Υόρκη, που χρησιμοποιήθηκε για τον φωτισμό της πόλης Φριντόνια. Σ' αυτό το σημείο σχηματίστηκε και η πρώτη εταιρεία διανομής φυσικού αερίου της Αμερικής που ονομάστηκε Fredonia Gas Light Company.

Ωστόσο, από το 1626, Γάλλοι ερευνητές είχαν παρατηρήσει ιθαγενείς να αναφλέγουν αέρια που αναδύονταν στην περιοχή της λίμνης Ίρι (Erie) στο Κλήβελαντ του Οχάιο. Το 1859, ο συνταγματάρχης Έντουιν Ντρέικ, ψάχνοντας για πετρέλαιο σε ποσότητες που θα έκαναν συμφέρουσα την διύλιση κηροζίνης, έσκαψε το πρώτο πηγάδι σ' αυτή την περιοχή, και βρήκε πετρέλαιο και φυσικό αέριο στα 69,5 πόδια, σηματοδοτώντας έτσι, την έναρξη της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου στην Αμερική. Το αέριο μεταφέρθηκε με αγωγό 5,5 μιλίων ως το χωριό Τάιτουςβιλ (Titusville), αποδεικνύοντας ότι η μεταφορά του αερίου ήταν εφικτή και μπορούσε να γίνει με ασφάλεια.



Εικόνα 1. Ο Edwin Drake το 1861 μπροστά σε πηγάδι στην Πενσυλβάνια. Πηγή: [Drake Well Museum and Park](http://DrakeWellMuseumandPark)

³ » [His \(Pennsylvania Geological Survey's educational booklet VOL.29, No1, Spring 1998, 1998\)tory NaturalGas.org](http://His(PennsylvaniaGeologicalSurvey'seducationalbookletVOL.29,No1,Spring1998,1998)toryNaturalGas.org)

Παρόλα αυτά η χρήση του φυσικού αερίου παρέμεινε περιορισμένη για έναν αιώνα ακόμα, λόγω της δυσκολίας μεταφοράς του σε μεγάλες αποστάσεις. Η ανακάλυψη του ηλεκτρισμού αντικατέστησε τις λάμπες αερίου με ηλεκτρικούς λαμπτήρες και η βιομηχανική εξέλιξη στηρίχθηκε αποκλειστικά πλέον, στον άνθρακα, το πετρέλαιο και τον ηλεκτρισμό. Το 1891 κατασκευάστηκε ο πρώτος μεγάλος αγωγός, που μετέφερε φυσικό αέριο από την Ιντιάνα στο Σικάγο σε μια απόσταση 120 μιλίων. Δεν αποδείχτηκε όμως αρκετά αποτελεσματικός. Τη δεκαετία του 1920 αναπτύχθηκαν καλύτερες μέθοδοι και υποδομές αγωγών και μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο οι νέες βελτιωμένες μορφές συγκόλλησης και μεταλλουργίας επέτρεψαν την κατασκευή χιλιάδων μιλίων αγωγών για τη μεταφορά του φυσικού αερίου. Αυτή η εξέλιξη οδήγησε σε μια ραγδαία αύξηση κατανάλωσης, με την ανακάλυψη νέων χρήσεων του φυσικού αερίου τόσο οικιακή για τη θέρμανση και το μαγείρεμα των νοικοκυριών όσο και βιομηχανική, ακόμα και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Πώς χρησιμοποιείται.

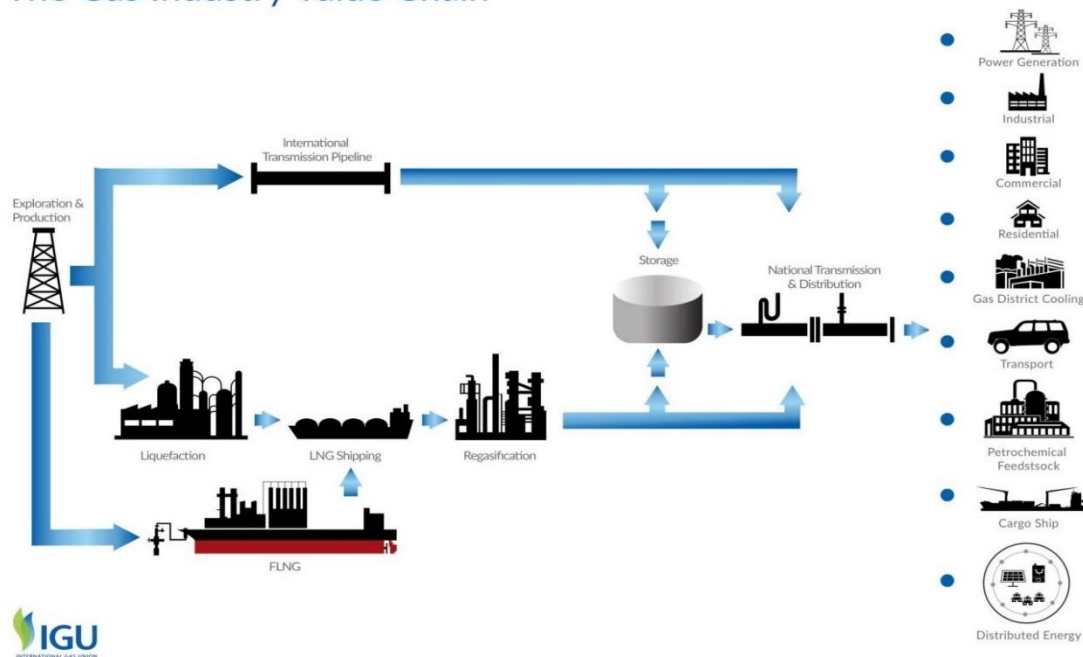
Το φυσικό αέριο είναι καύσιμο και χρησιμοποιείται, αντί του πετρελαίου ή των στερεών ορυκτών καυσίμων. Έχει μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη, είναι οικονομικότερο από το πετρέλαιο και κατά την καύση του εκπέμπει λιγότερους αέριους ρύπους. Είναι το μεταβατικό καύσιμο που έχει επιλέξει η Ε.Ε. για την απανθρακοποίηση του ενεργειακού συστήματος. Η χρήση του έχει επεκταθεί σε πάρα πολλούς τομείς πλέον. Ενδεικτικά:

1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας: Είναι η κύρια χρήση του φυσικού αερίου σήμερα.
2. Θέρμανση. Αντικαθιστώντας το πετρέλαιο για τη θέρμανση κτιρίων και νερού.
3. Μαγείρεμα. Αντικαθιστώντας τον ηλεκτρισμό.
4. Μεταφορές, Σαν καύσιμο με πολύ μικρότερο ποσοστό ρύπων στην ατμόσφαιρα και το περιβάλλον. Χρησιμοποιείται στα πλοία, αλλά και σε οχήματα, όπως λεωφορεία, φορτηγά, ασθενοφόρα.
5. Βιομηχανία – Μεταποίηση. Σαν καύσιμο και πρώτη ύλη.
6. Χρησιμοποιείται στην παραγωγή υδρογόνου.

1.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΞΟΡΥΞΗΣ – ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η αλυσίδα αξίας του φυσικού αερίου περιλαμβάνει τρεις φάσεις: α) την ανακάλυψη, εξόρυξη και παραγωγή, β) την μεταφορά και αποθήκευση και τέλος γ) τη διανομή και πώληση του προϊόντος.

The Gas Industry Value Chain



Εικόνα 2. Αλυσίδα αξίας του φυσικού αερίου. Πηγή: IGU [What is Natural Gas? | Facts and Figures | IGU](#)

Το φυσικό αέριο, όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι εγκλωβισμένο σε υπόγειες λεκάνες, κάτω από την επιφάνεια της γης, τόσο στη στεριά όσο και στη θάλασσα. Η ανίχνευση κοιτασμάτων γίνεται με τη μελέτη γεωλογικών⁴ χαρτών σε συνδυασμό με γεωφυσικά⁵ δεδομένα καθώς και σεισμικές έρευνες με τη χρήση σόναρ. Αν τα δεδομένα συνηγορούν στην πιθανή παρουσία φυσικού αερίου σε κάποια περιοχή,

⁴ Γεωλογία είναι η επιστήμη που μελετά τη Γη, και κυρίως το στερεό τμήμα της, δηλαδή τα πετρώματα από τα οποία αποτελείται, τις ιδιότητες που αυτά έχουν και τις διεργασίες που τα σχηματίζουν. Πηγή: Wikipedia, [Γεωλογία - Βικιπαίδεια \(wikipedia.org\)](#)

⁵ Γεωφυσική καλείται ο κλάδος των Φυσικών Επιστημών, ο οποίος έχει ως αντικείμενο τη μελέτη των φυσικών φαινομένων που σχετίζονται με και διαδραματίζονται στη Γη με τη χρήση σεισμικών και ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων, καθώς και μεθόδων καταγραφής ραδιενεργών φαινομένων. Πηγή: Wikipedia, [Γεωφυσική - Βικιπαίδεια \(wikipedia.org\)](#)

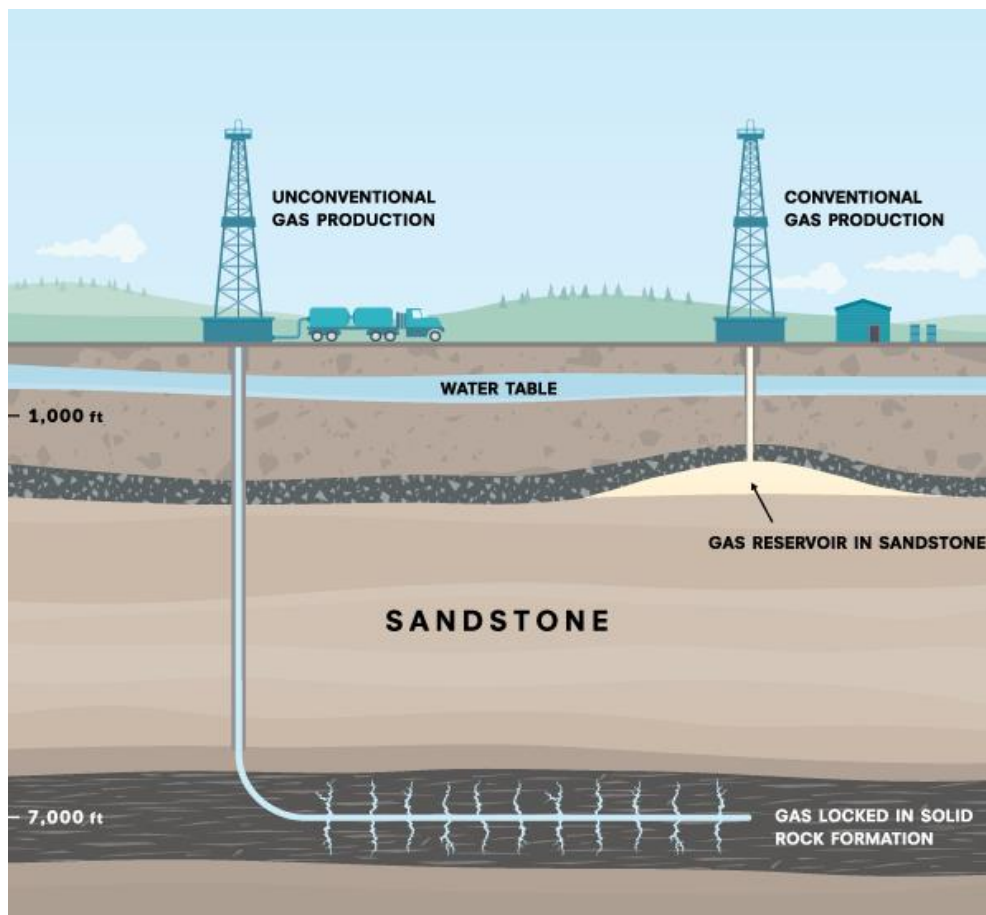
στη συνέχεια γίνονται ερευνητικές γεωτρήσεις από ειδικούς, συνήθως πετρελαϊκές εταιρείες. Σε περίπτωση που βρεθεί αξιοποιήσιμο αέριο, δηλαδή σε επαρκείς ποσότητες ώστε να θεωρηθεί ότι συμφέρει οικονομικά η εξόρυξη και παραγωγή του, ξεκινά πλέον η παραγωγική γεώτρηση.

Εδώ θα πρέπει να κάνουμε τη διάκριση ανάμεσα στο συμβατικό και μη συμβατικό φυσικό αέριο. Συμβατικό θεωρείται το φυσικό αέριο που είναι παγιδευμένο σε υπόγειες ρωγμές και δεξαμενές-ταμιευτήρες κάτω από την επιφάνεια της γης. Η εξόρυξή του γίνεται με τη διάνοιξη κάθετων φρεατίων (πηγαδιών) πάνω από το σημείο όπου βρέθηκε το εγκλωβισμένο αέριο.

Το μη συμβατικό φυσικό αέριο είναι παγιδευμένο σε πόρους και ρωγμές μέσα στο εσωτερικό πετρωμάτων, όπως ο σχιστόλιθος, και χρειάζεται ιδιαίτερες μεθόδους και τεχνολογίες για να απελευθερωθεί και να αντληθεί. Είναι δηλαδή εγκλωβισμένο μέσα στο ίδιο το πέτρωμα. Το πιο γνωστό μη συμβατικό φυσικό αέριο είναι το σχιστολιθικό αέριο ή «shale gas» όπως είναι γνωστό. Δύο ακόμα είδη που απασχολούν τη βιομηχανία φυσικού αερίου είναι το έγκλειστο φυσικό αέριο (tight gas) και το μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων (coalbed methane)⁶.

Το σχιστολιθικό αέριο είναι εγκλωβισμένο ανάμεσα σε αλλεπάλληλα στρώματα ιζηματογενών πετρωμάτων. Η εξόρυξή του επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της υδραυλικής ρωγμάτωσης (Fracking ή Hydraulic Fracking). Η μέθοδος απαιτεί τη διάνοιξη πολλών κάθετων φρεατίων, διάσπαρτων στην περιοχή κάτω από την οποία έχουν βρεθεί ενδείξεις ύπαρξης αερίου. Οι κάθετες διανοίξεις φτάνουν ως ένα σημείο και μετά γίνονται οριζόντιες, διαπερνώντας το σχιστόλιθο. Στη συνέχεια διοχετεύεται μέσα στα φρεάτια μεγάλη μάζα νερού σε πολύ υψηλή πίεση, αναμεμιγμένο με άμμο και διάφορα χημικά, τα οποία σκοπό έχουν να διαβρώσουν και να προκαλέσουν τη θραύση του σχιστόλιθου ώστε να ελευθερωθεί το αέριο και λόγω της πίεσης να κατευθυνθεί προς την επιφάνεια.

⁶ [ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ: ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟ ΑΕΡΙΟ \(SHALE GAS\) ΚΑΙ ΒΙΤΟΥΜΕΝΙΟΥΧΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ \(BLACK SHALES\) ΑΠΟ: ΚΩΣΤΑ ΠΑΠΑΒΑΣΙΛΕΙΟΥ \(iene.gr\)](#)



Εικόνα 3. Conventional and Unconventional Gas Production. Πηγή: Patent Landscape report, Government of Canada Publications, [1. Introduction Patent Landscape Report - Shale Oil and Gas - Canadian Intellectual Property Office](#)

Η υδραυλική ρωγμάτωση είναι πολύ διαδεδομένη στις Η.Π.Α., κυρίως λόγω των μεγάλων και ανοιχτών περιοχών με απουσία πληθυσμού, που διευκολύνουν τη διάνομιξη πολλαπλών φρεατίων. Η μέθοδος όμως προκαλεί ανησυχίες και επιφυλάξεις ως προς τις επιπτώσεις τόσο στη δημόσια υγεία (υπάρχουν ήδη αποδεδειγμένα προβλήματα υγείας που σχετίζονται), όσο και στο περιβάλλον (κατανάλωση μεγάλων όγκων νερού, μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα από τα χημικά καταστροφή φυσικού τοπίου, ενεργοποίηση ρηγμάτων και πρόκληση σεισμών)⁷. Στην Ευρώπη έχουν γίνει κάποιες έρευνες που υποδεικνύουν την ύπαρξη σχιστολιθικών κοιτασμάτων σε αρκετές περιοχές, αλλά οι

⁷ Κώτσιος, Νικόλαος, «Μελέτη της επίδρασης των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου στο ενεργειακό σύστημα σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο», Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2013, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος. Πηγή: [DT2013-0144.pdf \(ntua.gr\)](#)

αρνητικές επιπτώσεις, η έλλειψη μεγάλων ακατοίκητων εκτάσεων καθώς και η αντίδραση του πληθυσμού έχει φρενάρει την περεταίρω ανάπτυξη.

Αφού το αέριο μεταφερθεί στην επιφάνεια, πρέπει να περάσει από τη διαδικασία καθαρισμού και επεξεργασίας. Γι' αυτό μέσω αγωγών οδηγείται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις που βρίσκονται συνήθως κοντά στην πηγή. Εκεί αφαιρούνται διάφορες προσμίξεις και υλικά, όπως λάδια, νερό και άλλα αέρια, ώστε να απομείνει το καθαρό μεθάνιο. Τα υπόλοιπα χρήσιμα υλικά πωλούνται ξεχωριστά για να χρησιμοποιηθούν σε άλλες βιομηχανίες και το φυσικό αέριο προωθείται προς τον τελικό προορισμό του, την αγορά φυσικού αερίου.

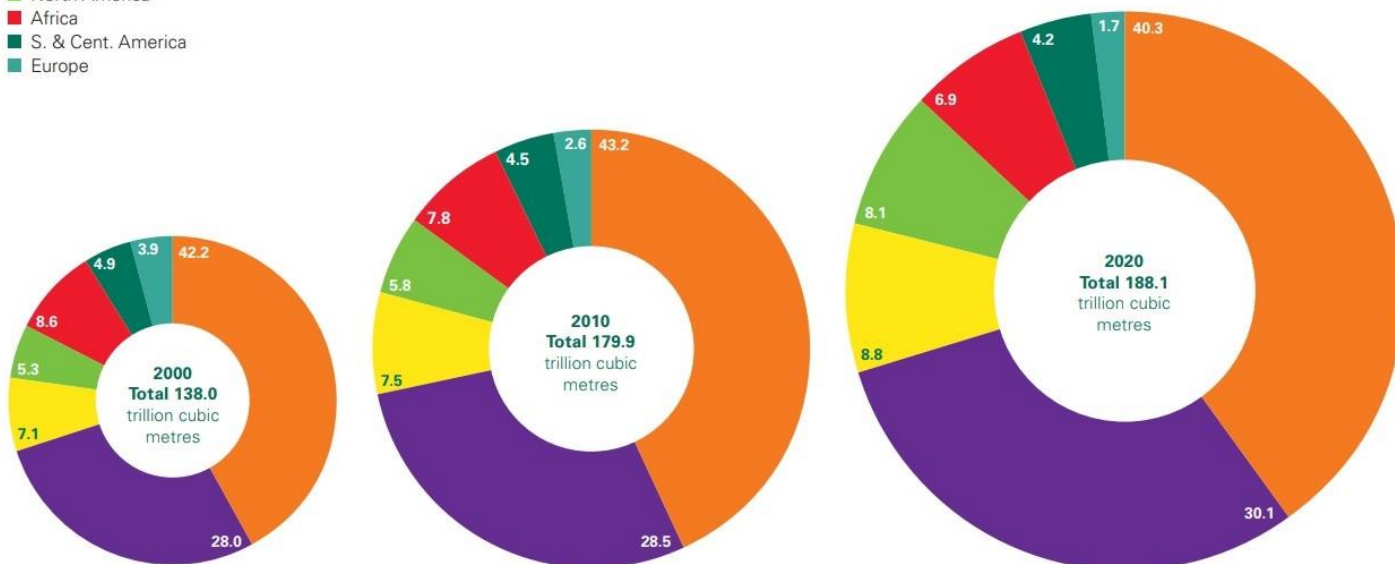
1.3 ΔΙΕΘΝΕΣ ΕΜΠΟΡΙΟ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Τα μεγαλύτερα επιβεβαιωμένα αποθέματα φυσικού αερίου παγκοσμίως εντοπίζονται στην Μέση Ανατολή, στη Ρωσία και τις πρώην Σοβιετικές Δημοκρατίες (CIS)⁸, στις Ασιατικές χώρες του Ειρηνικού και την Αυστραλία και τέλος, στις Η.Π.Α. Ο όρος «επιβεβαιωμένα», σύμφωνα με την BP⁹, περιλαμβάνει ποσότητες που έχουν επιβεβαιωθεί από γεωλογικές και γεωφυσικές μελέτες ότι μπορούν να αντληθούν με τις σημερινές τεχνολογίες.

Distribution of proved reserves in 2000, 2010 and 2020

Percentage

- Middle East
- CIS
- Asia Pacific
- North America
- Africa
- S. & Cent. America
- Europe



Πίνακας 1. Γράφημα: Καταμερισμός αποδεδειγμένων παγκοσμίων αποθεμάτων φυσικού αερίου ανά δεκαετία 2000-2020. Πηγή: BP – Natural Gas Statistical Review of World Energy 2021, σελ. 35 [Natural gas – Statistical Review of World Energy 2021 \(bp.com\)](https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/natural-gas-statistical-review-2021.pdf)

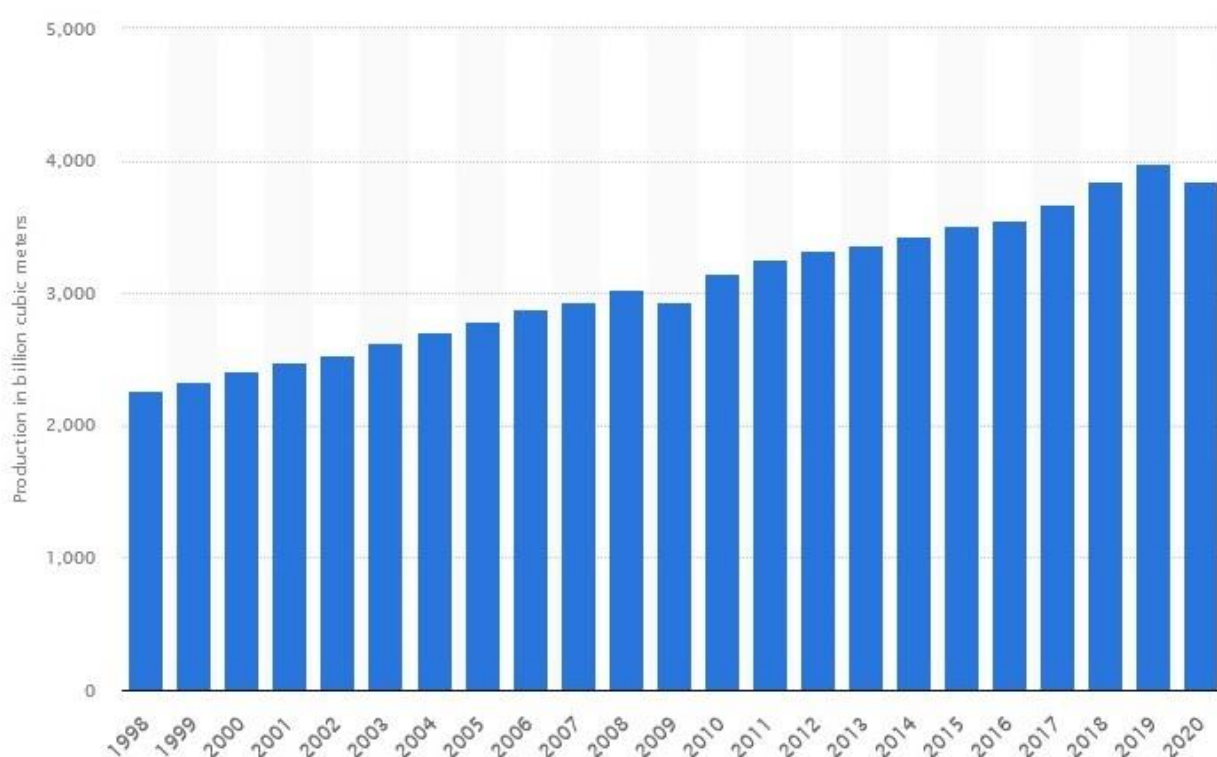
Το γράφημα 1, παρουσιάζει σχηματικά το ποσοστό επί των παγκοσμίων αποθεμάτων που εντοπίστηκε στην κάθε περιοχή κατά τις δεκαετίες 2000-2010-2020. Βλέπουμε ότι

⁸ CIS =Κοινοπολιτεία Ανεξάρτητων Κρατών (Commonwealth of Independent States). Η Κοινοπολιτεία Ανεξάρτητων Κρατών είναι ένας περιφερειακός διεθνής οργανισμός του οποίου οι συμμετέχουσες χώρες είναι Πρώην Σοβιετικές Δημοκρατίες, που σχηματίστηκαν μετά την διάλυση της Σοβιετικής Ένωσης. Πηγή: [Κοινοπολιτεία Ανεξάρτητων Κρατών - Βικιπαίδεια \(wikipedia.org\)](https://el.wikipedia.org/wiki/Κοινοπολιτεία_Ανεξάρτητων_Κρατών)

⁹BP – Natural Gas Statistical Review of World Energy 2021, σελ. 35 [Natural gas – Statistical Review of World Energy 2021 \(bp.com\)](https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/natural-gas-statistical-review-2021.pdf)

διαχρονικά τα μεγαλύτερα αποθέματα συγκεντρώνονται στη Μέση Ανατολή και τις Πρώην Σοβιετικές Χώρες. Η Ρωσία είναι η χώρα με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση, με το Ιράν να ακολουθεί δεύτερο, το Κατάρ τρίτο, οι Η.Π.Α. τέταρτες και η Σαουδική Αραβία πέμπτη. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεγάλη αύξηση του ποσοστού των αποθεμάτων της Βόρειας Αμερικής, που οφείλεται στην ανακάλυψη και εξόρυξη του σχιστολιθικού φυσικού αερίου. Αυτή η εξέλιξη μετέτρεψε τις Η.Π.Α. από μια χώρα που τα συμβατικά αποθέματά της εξαντλούνταν, σε έναν από τους μεγαλύτερους παραγωγούς και εξαγωγείς παγκοσμίως. Ενδεικτικά, το 2019, οι Η.Π.Α. παράγαγε συνολικά σχεδόν 25,4 τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια σχιστολιθικού αερίου (Statista.com¹⁰).

Η παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου κατά το 2020 ανήλθε σε περίπου 3,85 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα, παρουσιάζοντας μια μικρή μείωση από τα σχεδόν 4 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα του 2019. Αυτό αποδίδεται κατά μεγάλο βαθμό στην χαμηλότερη ζήτηση για ενέργεια, λόγω της πανδημίας του κορονοϊού.

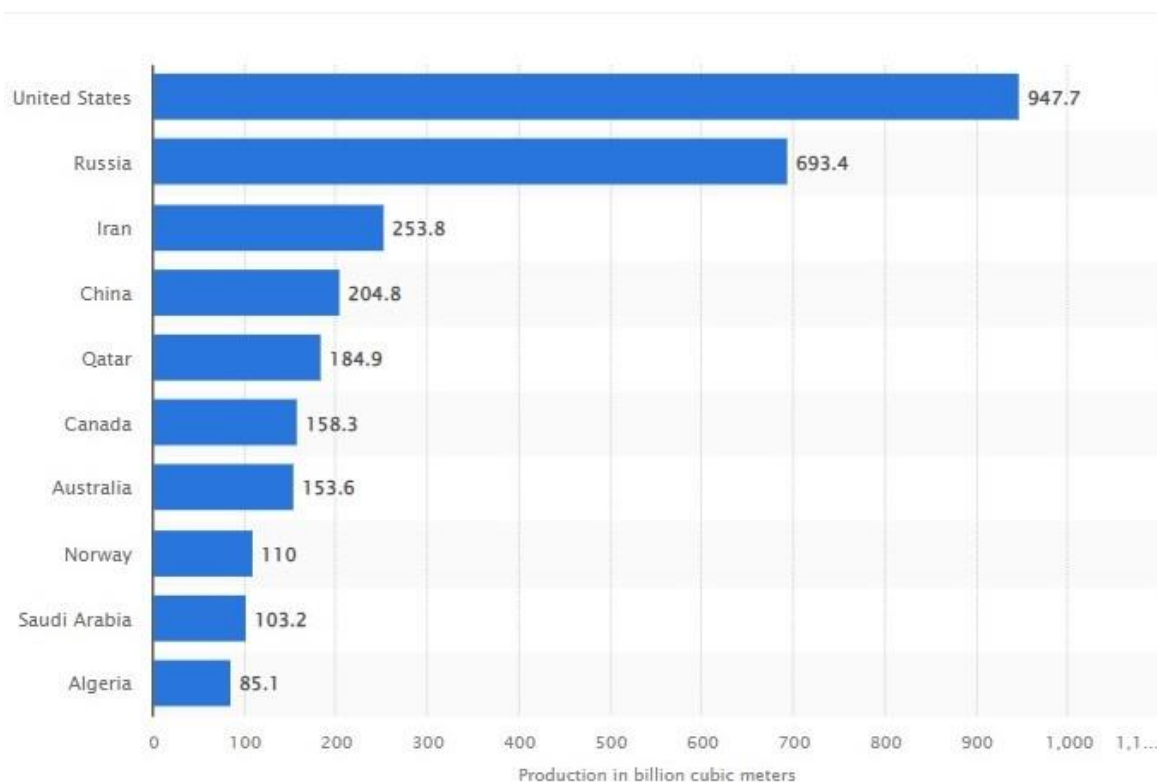


Πίνακας 2. Γράφημα: Natural gas production worldwide from 1998 to 2020 Πηγή: <https://www.statista.com/statistics/265344/total-global-natural-gas-production-since-1998/>

¹⁰ • [Top countries natural gas production worldwide | Statista](#)

Από το 1998 ως το 2019 (γράφημα 2) η παγκόσμια παραγωγή επιδείκνυε σταθερή ετήσια αύξηση κατά 1,5% περίπου, με εξαίρεση το 2009, λόγω της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης.

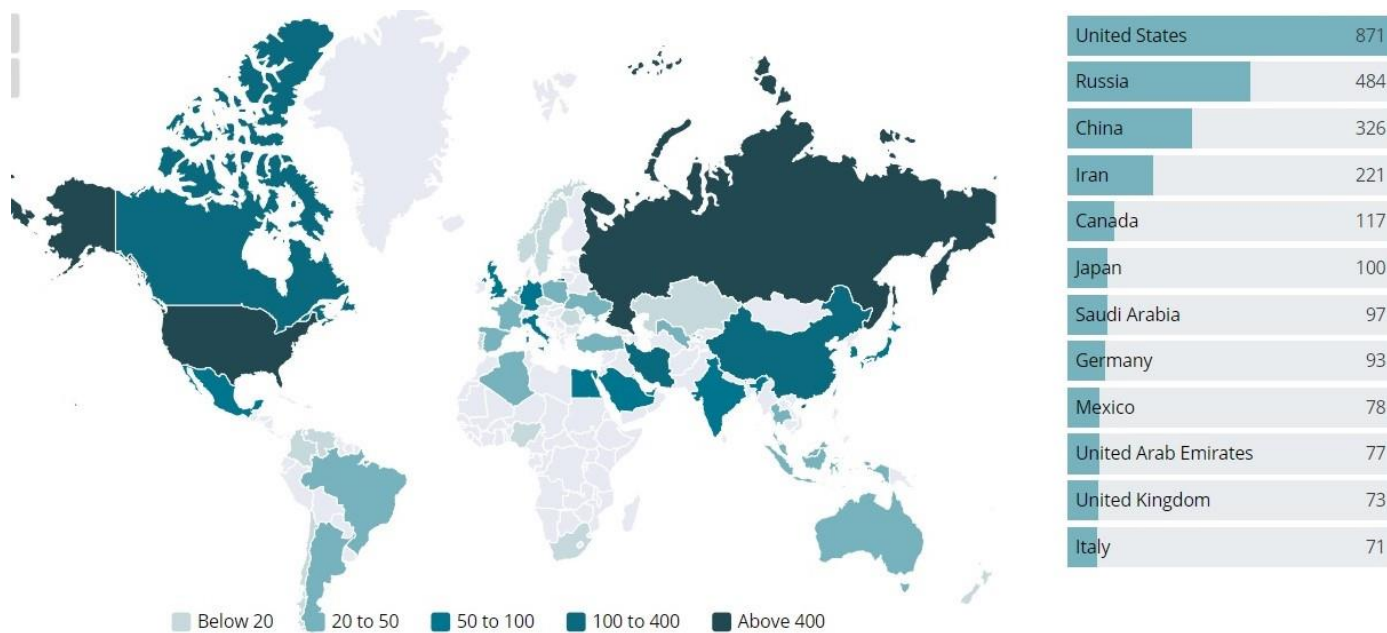
Η μεγαλύτερη παραγωγός χώρα το 2020 ήταν οι Ηνωμένες Πολιτείες με την παραγωγή της να φθάνει τ 947,7 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα, ενώ η Ρωσία στη δεύτερη θέση παράγαγε 693,4 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα αντιστοίχως.



Πίνακας 3. Γράφημα: Οι δέκα χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή φυσικού αερίου το 2020. Πηγή: [• Top countries natural gas production worldwide | Statista](#)

Στο γράφημα του πίνακα 3, παρουσιάζονται οι δέκα μεγαλύτεροι παραγωγοί φυσικού αερίου για το 2020, με τις ποσότητες παραγωγής φυσικού αερίου σε δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Αυτές είναι οι Η.Π.Α., η Ρωσία, το Ιράν, η Κίνα, το Κατάρ, ο Καναδάς, η Αυστραλία, η Σαουδική Αραβία, η Νορβηγία και η Αλγερία.

Αντιστοίχως οι δέκα χώρες με τη μεγαλύτερη κατανάλωση φυσικού αερίου είναι οι Η.Π.Α., η Ρωσία, η Κίνα, το Ιράν, ο Καναδάς, η Ιαπωνία, η Σαουδική Αραβία, η Γερμανία, το Μεξικό και το Ηνωμένο Βασίλειο.



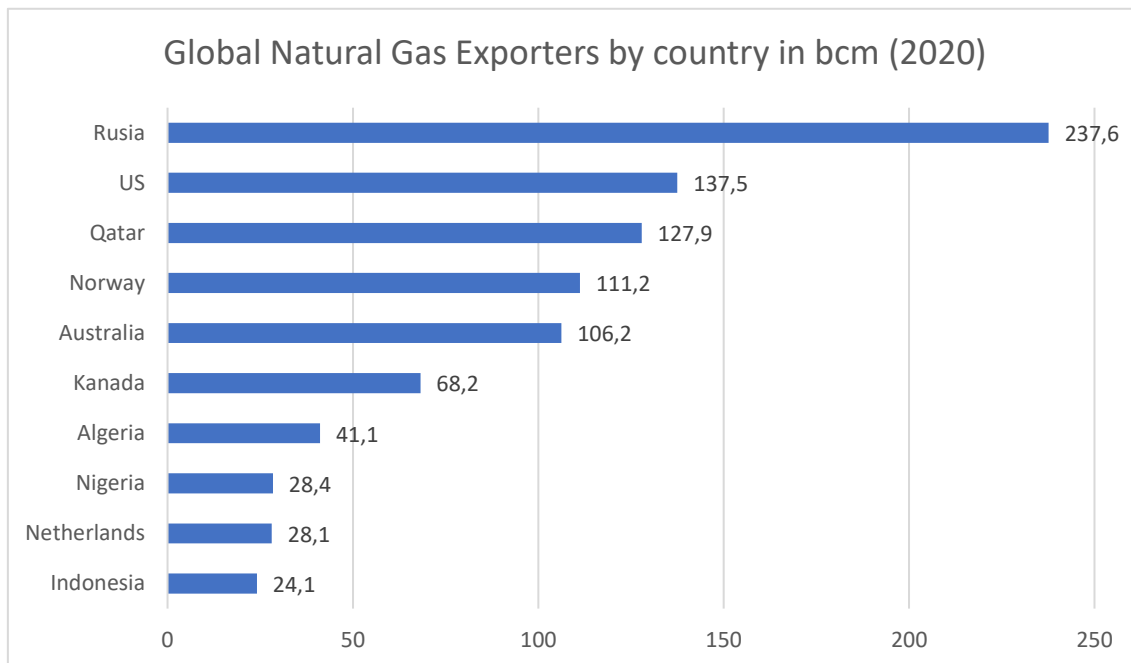
Πίνακας 4. Κατανάλωση φυσικού αερίου ανά χώρα σε δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα το 2020. Πηγή: Enerdata [Natural Gas Consumption Statistics](#) | [Natural Gas Data](#) | Enerdata

Η συνολική παγκόσμια κατανάλωση φυσικού αερίου ανήλθε στα 3,8 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα το 2020. Ο μεγαλύτερος καταναλωτής με μεγάλη διαφορά είναι οι Η.Π.Α. με κατανάλωση που φθάνει τα 871 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Το αέριο απορροφάται κατά το μεγαλύτερο μέρος στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και το υπόλοιπο στην βιομηχανία. Η δεύτερη χώρα στη σειρά είναι η Ρωσία που κατανάλωσε 484 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου το 2020. Διαπιστώνουμε ότι ενώ οι Η.Π.Α. καταναλώνουν περισσότερο αέριο από αυτό που παράγουν, η Ρωσία καταναλώνει μικρότερες ποσότητες.

Η παγκόσμια κατανάλωση μειώθηκε κατά 1,4% το 2020, κυρίως στις χώρες του OECD¹¹ (-2,5%) (Enerdata- World Energy & Climate Statistics-Yearbook 2021), αλλά οι αναλυτές περιμένουν αύξηση τα επόμενα χρόνια.

¹¹ OECD: Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Organisation for Economic Co-operation and Development). Ο Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης είναι

Ο μεγαλύτερος εξαγωγέας φυσικού αερίου παγκοσμίως το 2020 ήταν μακράν η Ρωσία που εξήγαγε 237,6 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Ακολουθούν οι Η.Π.Α. με 137,5, το Κατάρ με 127,9 και η Νορβηγία με 111,2.



Πίνακας 5. Γράφημα: Παγκόσμιοι εξαγωγείς Φυσικού αερίου 2020. Πηγή εξαγωγής δεδομένων: [Global gas exports by country 2020 | Statista](#)

Αντιστοίχως οι μεγαλύτερες εισαγωγές φυσικού αερίου το 2020 σημειώθηκαν στην Ευρώπη που εισήγαγε 605 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα με τις περιοχές της Ανατολικής Ασίας να ακολουθούν με 400 δις κυβικά μέτρα.

Πολλές χώρες είναι και εισαγωγείς και εξαγωγείς φυσικού αερίου, όπως ο Καναδάς που εξάγει μεγαλύτερες ποσότητες από όσο εισάγει.

διεθνής οργανισμός εκείνων των αναπτυγμένων χωρών που υποστηρίζουν τις αρχές της αντιπροσωπευτικής δημοκρατίας και της οικονομίας της ελεύθερης αγοράς. Στα 38 μέλη περιλαμβάνεται η ΕΕ, οι Η.Π.Α. ο Καναδάς, η Αυστραλία, η Ιαπωνία, η Ν. Κορέα κ.α. Πηγή: [Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης - Βικιπαίδεια \(wikipedia.org\)](#)

1.4 ΔΙΑΚΡΙΣΗ CNG - LNG.

Το φυσικό αέριο, όπως είδαμε μεταφέρεται διακρατικά, σε αέρια μορφή μέσω δικτύου αγωγών σε απομακρυσμένες περιοχές στην ξηρά ενώ με υποθαλάσσιους αγωγούς μπορεί να διασχίσει και μικρές θαλάσσιες αποστάσεις. Το δίκτυο αγωγών όμως, δεν είναι δυνατόν να φθάσει παντού γι' αυτό χρησιμοποιούνται επιπροσθέτως πλοία, σιδηρόδρομος και οχήματα.

Σε αυτές τις περιπτώσεις το φυσικό αέριο μεταφέρεται σε δύο μορφές:

1. Σε αέρια μορφή, ως CNG (Compressed Natural Gas), δηλαδή πεπιεσμένο φυσικό αέριο. Ένα κυβικό μέτρο CNG είναι ίσο με 100 κυβικά μέτρα μη πεπιεσμένου αερίου. Βρίσκεται δηλαδή στο 1% σχεδόν του όγκου που θα καταλάμβανε σε ατμοσφαιρική πίεση.

Ειδικοί σταθμοί συμπίεσης που λειτουργούν κοντά στο κεντρικό δίκτυο αγωγών, συμπιέζουν το αέριο, το οποίο στη συνέχεια τοποθετείται σε ειδικά διαμορφωμένα κυλινδρικά δοχεία υψηλής πίεσης (250 bar).



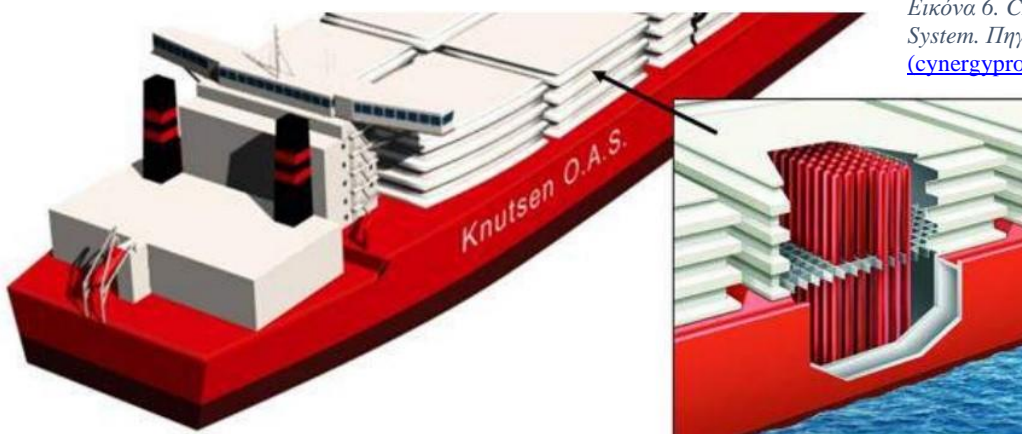
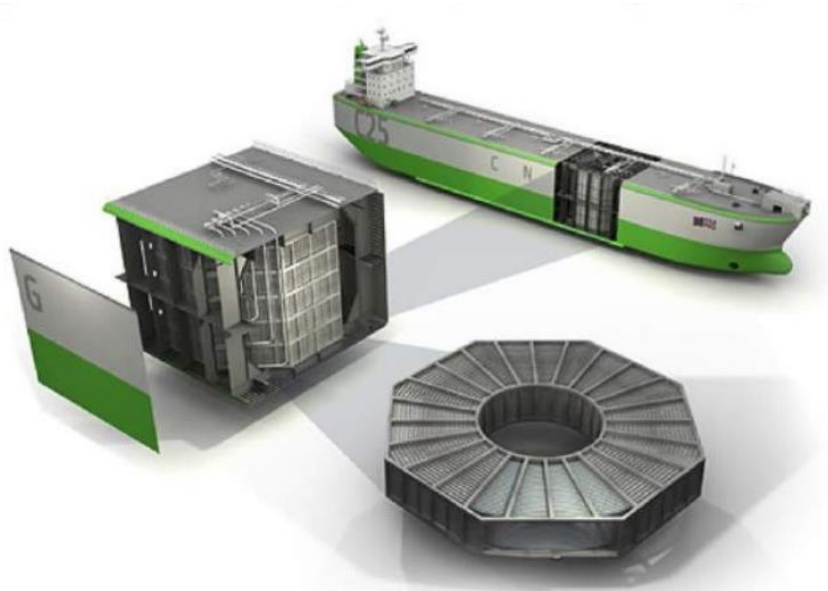
Εικόνα 4. Μεταφορά δοχείων CNG οδικώς. Πηγή: [Η «ενεργειακή επανάσταση» του CNG | Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ \(kathimerini.gr\)](#)

Τα δοχεία μπορούν να μεταφερθούν με σιδηρόδρομο, φορτηγά, ακόμη και πλοία, ως ένα συνηθισμένο εμπορευματοκιβώτιο (container). Με αυτόν τον τρόπο το αέριο μπορεί να φθάσει σε κάθε οικισμό και βιομηχανική μονάδα, που βρίσκεται μακριά από το υφιστάμενο δίκτυο αγωγών της χώρας και αδυνατεί να συνδεθεί μαζί του. Στον

τελικό προορισμό του, υποχρεωτικά λειτουργεί μια μονάδα αποσυμπίεσης, η οποία αποσυμπιέζει το CNG, μειώνοντας την πίεση από τα 250 bar στα 2 - 4 bar ανάλογα με την τελική χρήση.

Υπήρξαν προσπάθειες να κατασκευαστούν και ειδικά πλοία μεταφοράς πεπιεσμένου φυσικού αερίου, τα CNG Carriers, που μεταφέρουν το φυσικό αέριο σε αέρια κατάσταση, θερμοκρασία έως -26 βαθμούς Κελσίου και συνθήκες υψηλής πίεσης. Τα συστήματα αποθήκευσης των πλοίων αυτών ποικίλουν, ανάλογα με την τεχνολογία που υιοθετεί η κάθε εταιρεία. Συνήθως το πεπιεσμένο αέριο αποθηκεύεται σε ένα σύστημα κυλινδρικών σωλήνων από χάλυβα, τοποθετημένων κάθετα ή οριζόντια μέσα στο αμπάρι του πλοίου ή σε coselles (πηνία που αποθηκεύονται σε κυλινδρικά δοχεία) τα οποία στοιβάζονται στα αμπάρια και στο κατάστρωμα.

Εικόνα 5. CNG Coselle System. Πηγή: [Type Your Title Here \(cynergyproject.eu\)](#)



Εικόνα 6. CNG Vertical Cylindrical Tanks System. Πηγή: [Type Your Title Here \(cynergyproject.eu\)](#)

Όμως, τα συστήματα αυτά είναι πολύ βαριά και ένα πλοίο αυτού του είδους μεταφέρει τελικά πολύ λιγότερο φυσικό αέριο από ένα ίσου μεγέθους LNG Carrier. Γι' αυτό το λόγο δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα η μεταφορά με αυτόν τον τρόπο. Τα υπάρχοντα πλοία εκτελούν ταξίδια σε κοντινές ή μεσαίες αποστάσεις, κυρίως για να καλύψουν ελλείψεις στο τοπικό δίκτυο αγωγών.

Θα πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι το CNG χρησιμοποιείται και στο δίκτυο τροφοδοσίας των πρατηρίων υγρών καυσίμων (βενζινάδικων), που δραστηριοποιούνται και ως σταθμοί ανεφοδιασμού φυσικού αερίου για την κίνηση των οχημάτων.

2. Σε υγρή μορφή, ως LNG (Liquefied Natural Gas), δηλαδή υγροποιημένο φυσικό αέριο. Το LNG είναι φυσικό αέριο που συμπυκνώνεται μέσω της ψύξης του σε θερμοκρασία -162 βαθμούς Κελσίου, υπό ατμοσφαιρική πίεση. Σε αυτή τη θερμοκρασία διατηρείται σε υγρή μορφή και ο όγκος του μειώνεται 600 φορές σε σχέση με την φυσική του μορφή.

Συγκριτικά ο όγκος που καταλαμβάνει μια μονάδα υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι 3 φορές μικρότερος από την αντίστοιχη ποσότητα συμπιεσμένου φυσικού αερίου. Η διαδικασία υγροποίησης εξετάζεται στο επόμενο κεφάλαιο (κεφ. 2) της παρούσας εργασίας.

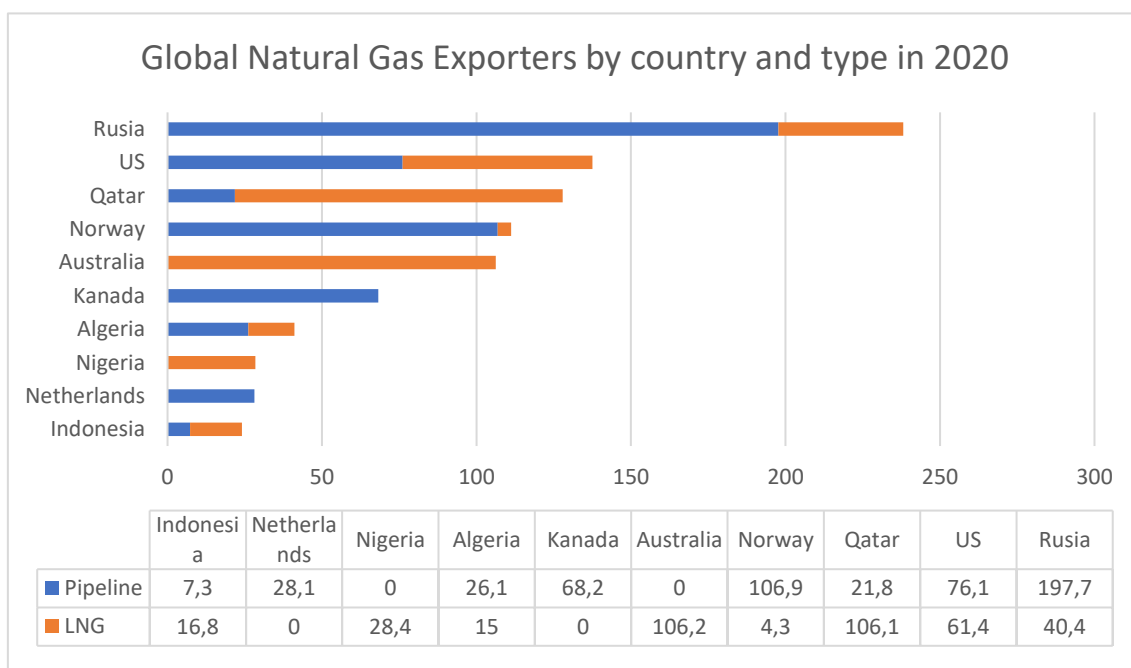
Σε υγρή μορφή το φυσικό αέριο μεταφέρεται δια θαλάσσης με ειδικά δεξαμενόπλοια τα LNG Carriers (τα οποία θα εξετάσουμε αναλυτικά στο κεφάλαιο 3 της εργασίας), αλλά και δια ξηράς με ειδικά βυτιοφόρα φορτηγά και σιδηρόδρομο.

1.5 ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ

Το φυσικό αέριο, όπως είδαμε μεταφέρεται διακρατικά, σε αέρια μορφή μέσω ενός πολύπλοκου δικτύου αγωγών και σε υγρή μορφή με τα ειδικά πλοία, τα LNG Carriers. Το 75% του αερίου που κυκλοφορεί στο εμπόριο μεταφέρεται με αγωγούς και το 25% με πλοία.

Οι μεγαλύτεροι εξαγωγείς, όπως παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 1.3., διοχετεύουν το αέριο στους πελάτες τους χρησιμοποιώντας συνήθως και τους δύο τρόπους, ανάλογα με την γεωγραφική τους θέση.

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζονται οι δέκα μεγαλύτεροι εξαγωγείς κατά το 2020, ενώ διαχωρίζεται και ο τύπος των εξαγωγών τους (Pipeline- LNG).

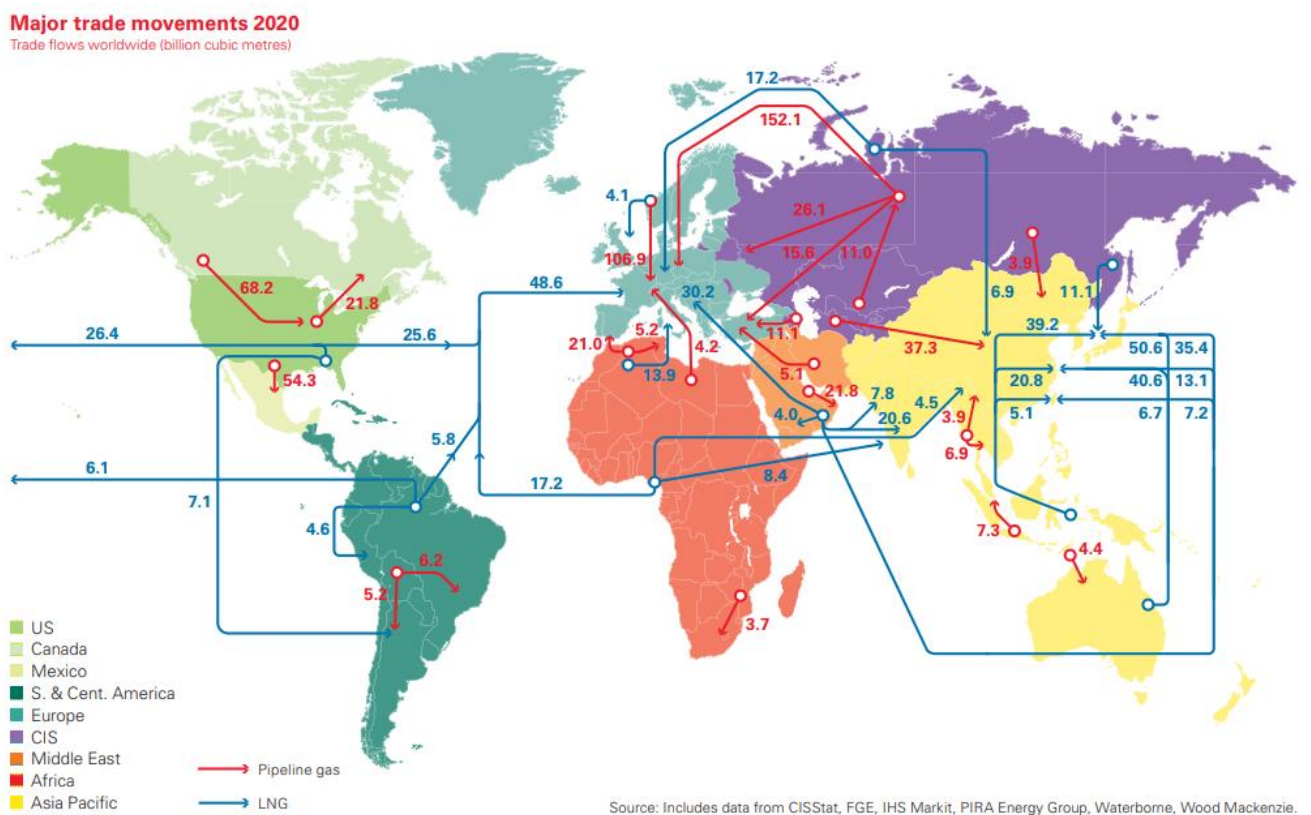


Πίνακας 6. Γράφημα: Μεγαλύτεροι Εξαγωγείς Φυσικού αερίου 2020. Πηγή εξαγωγής δεδομένων: [Global gas exports by country 2020 | Statista](#)

Βλέπουμε ότι η Ρωσία, ο μεγαλύτερος εξαγωγέας παγκοσμίως, αποστέλλει το 83% της συνολικής ποσότητας φυσικού αερίου μέσω αγωγών και μόνο το 17% δια θαλάσσης. Αντίθετα η Αυστραλία και η Νιγηρία εξάγουν μόνο υγροποιημένο φυσικό αέριο με

πλοία, λόγω της γεωγραφικής τους θέσης και μορφής. Η Αυστραλία είναι στην ουσία ένα τεράστιο νησί και τη χωρίζει μεγάλη απόσταση από την ηπειρωτική Ασία. Η Νιγηρία βρίσκεται στο μέσον της δυτικής ακτής της Αφρικής και οι αποστολές της γίνονται κυρίως στην Ευρώπη και την Ασία.

Στον παρακάτω χάρτη (πίνακας 7) μπορούμε να δούμε τις βασικές διαδρομές με τις οποίες διακινείται το φυσικό αέριο σε όλο τον πλανήτη. Οι μπλε γραμμές αντιπροσωπεύουν τις ροές ΥΦΑ και οι κόκκινες υποδεικνύουν το βασικό δίκτυο διακρατικών αγωγών.



Πίνακας 7. Διάγραμμα: Βασικές διαδρομές διακίνησης Φ.Α. 2020. [Full report – Statistical Review of World Energy 2021 \(bp.com\)](#) σελ.45

Σύγκριση θαλάσσιας (πλοία ΥΦΑ) με γερσαία (αγωγοί) μεταφοράς

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο συνδέεται με τους ωκεανούς, τους οποίους εξ' ορισμού δεν μπορούν να διασχίσουν οι αγωγοί. Το δίκτυο ΥΦΑ περιλαμβάνει τους αγωγούς

συλλογής και μεταφοράς ως την μονάδα υγροποίησης (που βρίσκεται συνήθως κοντά σε κάποιο λιμένα), τη μονάδα υγροποίησης, τα πλοία μεταφοράς, τη μονάδα επαναεριοποίησης στο λιμένα εισαγωγής και τους τοπικούς αγωγούς διανομής που διαμοιράζουν το φυσικό αέριο στους τελικούς καταναλωτές. Οι μονάδες υγροποίησης-επαναεριοποίησης, αλλά και οι δεξαμενές αποθήκευσης είναι ακριβές κατασκευές που απαιτούν εξειδικευμένη τεχνογνωσία και μεγάλα κεφάλαια τόσο για την κατασκευή τους όσο και για την συντήρηση και λειτουργία τους. Το ίδιο ισχύει και για τα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου. Όλα αυτά αυξάνουν κατά πολύ το κόστος για τον τελικό καταναλωτή. Για το λόγο αυτό, το υγροποιημένο φυσικό αέριο θεωρούνταν ως ο «αντικαταστάτης» του αερίου.

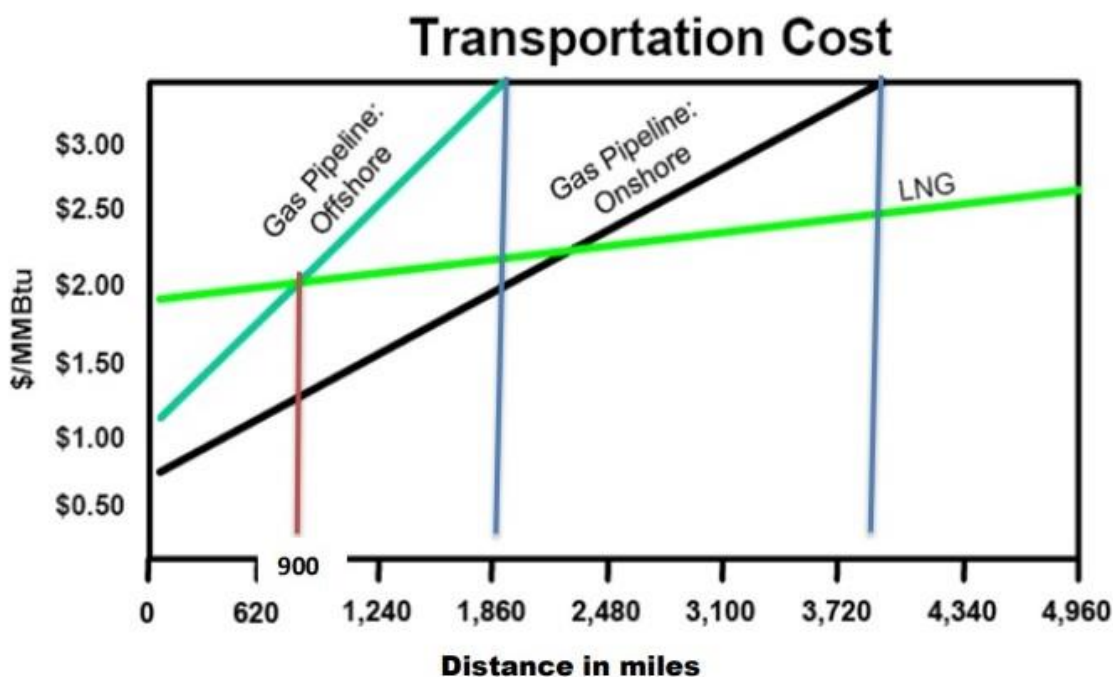
Από την άλλη πλευρά, με τη θαλάσσια μεταφορά το αέριο μπορεί να φθάσει σε αγοραστές που βρίσκονται πολύ μακριά από το σημείο της εξόρυξης, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο μια μεγαλύτερη ευελιξία στις διακρατικές εμπορικές συμφωνίες.

Το δίκτυο αγωγών συμπεριλαμβάνει τους αγωγούς συλλογής, τους αγωγούς διακρατικής μεταφοράς, σταθμούς συμπίεσης, αλλά και τους τοπικούς αγωγούς διανομής. Δεν απαιτεί τις ακριβές εγκαταστάσεις υγροποίησης-επαναεριοποίησης, ούτε πλοία με πολύπλοκα συστήματα δεξαμενών. Οι αγωγοί που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά φυσικού αερίου υπό πίεση είναι κατασκευασμένοι από ανθρακούχο χάλυβα. Τα μειονεκτήματα σε αυτόν τον τρόπο μεταφοράς είναι:

1. Τα δίκτυα αγωγών χρειάζονται χρόνο να εγκατασταθούν καθώς διασχίζουν τεράστιες αποστάσεις και εδάφη με διαφορετική μορφολογία. Επιπλέον, το αέριο ταξιδεύει εκατοντάδες χιλιάδες χιλιόμετρα μέσα από αυτά τα δίκτυα αγωγών. Από το σημείο συλλογής του, που μπορεί να είναι π.χ. κάπου στη Σιβηρία ως μια μικρή πόλη στην Ευρώπη. Λόγω της μεγάλης απόστασης, σημειώνεται πτώση της πίεσης μέσα στους αγωγούς. Έτσι, κάθε 100 χιλιόμετρα περίπου, τοποθετούνται σταθμοί με συμπιεστές, που εξασφαλίζουν την επανασυμπίεση του αερίου ώστε να συνεχίσει το ταξίδι του.
2. Χρειάζονται οι συναινέσεις και οι χορηγήσεις αδειών πολλών κρατών καθώς τα δίκτυα περνούν συνήθως μέσα από πολλές διαφορετικές χώρες με διαφορετικές νομοθεσίες και διαφορετικές αντιλήψεις και βαθμούς περιβαλλοντικής ευαισθησίας.

3. Εξάρτηση των εισαγωγών φυσικού αερίου από τα γεωπολιτικά προβλήματα των χωρών από τις οποίες περνάει το δίκτυο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η σημερινή κατάσταση ανάμεσα στην Ουκρανία και τη Ρωσία, που οδήγησε σε παγκόσμια ενεργειακή κρίση, λόγω του δικτύου αγωγών που εισάγει το ρωσικό φυσικό αέριο στην Ευρώπη.

Το κόστος της μεταφοράς του φυσικού αερίου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, πχ. τη διάμετρο των αγωγών ή τη δυνατότητα παραγωγής των μονάδων υγροποίησης. Σε γενικές γραμμές θεωρείται πιο συμφέρουσα οικονομικά η χρήση αγωγών για αποστάσεις μέχρι 3000 χλμ. περίπου, ενώ η θαλάσσια μεταφορά LNG είναι οικονομικότερη για αποστάσεις άνω των 3000 χλμ.



Πίνακας 8. Διάγραμμα: Κόστος μεταφοράς φυσικού αερίου μέσω δικτύου αγωγών ή μέσω πλοίων LNG. Πηγή: Adamu Ahmed, "Using natural gas to meet latent energy demand in Nigeria and deliver economic advantage" Thesis for PhD, Nile University of Nigeria (2016) [\(PDF\) Using natural gas to meet latent energy demand in Nigeria and deliver economic advantage \(researchgate.net\)](#)

Το διάγραμμα του πίνακα 8, συγκρίνει σχηματικά το κόστος μεταφοράς με αγωγή ή με πλοίο, λαμβάνοντας υπόψιν και τη διαφορά που προκύπτει όταν ο αγωγός είναι

χερσαίος ή θαλάσσιος. (Σημείωση: τα νούμερα προκύπτουν από δεδομένα του 2002-2010).

Σύμφωνα με το συγκεκριμένο παράδειγμα¹², σε μια απόσταση 1860 μιλίων (2.993,38 χλμ.) το κόστος μεταφοράς ενός εκατομμυρίου Btu¹³ μέσω υπεράκτιου αγωγού θα ήταν 3,50 δολάρια, μέσω LNG πλοίου 2,20 δολάρια και μέσω χερσαίου αγωγού 1,90 δολάρια. Υποθετικά λοιπόν, αν υπήρχε ταυτόχρονα η επιλογή για μεταφορά με έναν από τους τρεις τρόπους:

1. Για υπεράκτια αποθέματα, το LNG θα ήταν πιο οικονομική επιλογή για απόσταση άνω των 900 μιλίων (1448,41 χλμ.) σε σχέση με τον υπεράκτιο αγωγό.
2. Για αποθέματα στην ξηρά, ο αγωγός θα ήταν πιο οικονομική επιλογή για απόσταση μικρότερη των 1900 μιλίων (3.057, 75 χλμ.) σε σχέση με το LNG.
3. Για οποιαδήποτε απόσταση πάνω από 1900 μίλια (3.057,75 χλμ.) το LNG είναι η πιο οικονομική επιλογή.

¹² Το παράδειγμα προέρχεται από τη Διδακτορική Διατριβή: Adamu Ahmed, “Using natural gas to meet latent energy demand in Nigeria and deliver economic advantage” Thesis for PhD, Nile University of Nigeria (2016) [\(PDF\) Using natural gas to meet latent energy demand in Nigeria and deliver economic advantage \(researchgate.net\)](#)

¹³ Μονάδα μέτρησης θερμικής ενέργειας και ισοδυναμεί με την ενέργεια που χρειάζεται για να θερμανθεί 1 λίβρα (pound) νερού ώστε να ανεβάσει τη θερμοκρασία του κατά 1 βαθμό Fahrenheit.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ.

2.1. ΑΛΥΣΙΔΑ ΥΦΑ: ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ – ΜΕΤΑΦΟΡΑ - ΕΠΑΝΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Το φυσικό αέριο μετά την εξόρυξη και τον καθαρισμό του, προωθείται προς την αγορά φυσικού αερίου, σε αέρια μορφή μέσω αγωγών ή σε υγρή μορφή μέσω πλοίων LNG. Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την «αλυσίδα αξίας» ή «κύκλο» του υγροποιημένου φυσικού αερίου.



Εικόνα 7. LNG Value Chain Πηγή: Canada's Role in the Global LNG Market -Energy Market Assessment (2020) [CER – Canada's Role in the Global LNG Market - Energy Market Assessment - Introduction \(cer-rec.gc.ca\)](https://www.cer-rec.gc.ca/en/energy-market-assessment-introduction)

Ο κύκλος του υγροποιημένου φυσικού αερίου αποτελείται από τρία διακριτά στάδια:

- A)** την **υγροποίηση** σε ειδικές εγκαταστάσεις υγροποίησης και αποθήκευσή του σε δεξαμενές
- B)** την φόρτωση σε πλοία και **μεταφορά** του στη χώρα εισαγωγής, όπου εκφορτώνεται και αποθηκεύεται σε δεξαμενές και τέλος,
- Γ)** την **επαναεριοποίησή του** σε ειδικές εγκαταστάσεις για να προωθηθεί στους τελικούς καταναλωτές.

Οι μονάδες υγροποίησης (trains) βρίσκονται σε εγκαταστάσεις (plants) στις χώρες εξαγωγής, σε περιοχές όπου τα πλοία μπορούν να προσεγγίσουν και να φορτώσουν το υγροποιημένο

αέριο για να το μεταφέρουν στο εξωτερικό. Μία εγκατάσταση υγροποίησης μπορεί να διαθέτει αρκετές μονάδες υγροποίησης αυξάνοντας έτσι τη δυνατότητα παραγωγής της.

Το αέριο που φθάνει μέσω αγωγών έχει περιεκτικότητα 85-99% σε μεθάνιο, γι' αυτό το λόγο υποβάλλεται σε διαχωρισμό των ξένων στοιχείων και κυρίως της υγρασίας που η ύπαρξή της θα προκαλούσε προβλήματα στη μονάδα (δημιουργία πάγου) κατά την ψύξη. Στη συνέχεια εφαρμόζεται μια τεχνολογία ψύξης που ψύχει το φυσικό αέριο ως τους -162 βαθμούς Κελσίου. Σε αυτή τη θερμοκρασία το LNG γίνεται ένα άχρωμο και άοσμο υγρό και ο όγκος του είναι 600 φορές μικρότερος από την ίδια ποσότητα του αρχικού αερίου.

Αφού υγροποιηθεί, αποθηκεύεται προσωρινά σε ειδικά μονωμένες δεξαμενές (σχεδιασμένες να αντέχουν κρυογονικές θερμοκρασίες), ώσπου να φορτωθεί σε κάποιο πλοίο που θα το μεταφέρει σε κάποια άλλη περιοχή του κόσμου. Οι δεξαμενές αυτές μπορεί να είναι υπόγειες ή υπέργειες.



Εικόνα 8. Πλοία που φορτώνουν LNG στις εγκαταστάσεις Sabine Pass, των Η.Π.Α.
Πηγή: <https://twitter.com/GasLogLNG/status/1000026840780730368/photo/1>

Τα πλοία που μεταφέρουν το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι ακριβές εξειδικευμένες κατασκευές και περιγράφονται εκτενώς στο 3^ο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.

Οι μονάδες επαναεριοποίησης τοποθετούνται κοντά σε λιμενικές εγκαταστάσεις στις χώρες εισαγωγής, όπου το υγροποιημένο αέριο που μεταφέρεται από τα πλοία, παραδίδεται,

αποθηκεύεται σε δεξαμενές και χρειάζεται να επανέλθει στην αέρια μορφή του για να διοχετευτεί στην εγχώρια αγορά. Οδηγείται λοιπόν στους εγκαταστημένους ατμοποιητές που θα το θερμάνουν και θα το επαναφέρουν στην αρχική του μορφή. Σε αυτή τη φάση, προτού αποσταλεί στον τελικό καταναλωτή, προστίθεται στο αέριο και η ιδιαίτερη χαρακτηριστική οσμή, για λόγους ασφαλείας (Λειτουργεί ως προειδοποιητικό σημάδι διαρροής).



Εικόνα 9. Εγκατάσταση επαναεριοποίησης και αποθήκευσης στο Bilbao της Ισπανίας. Πηγή: IGU Magazine April - September 2020, Πηγή: [April 2020 | IGU](#)

Οι μονάδες υγροποίησης και επανεριοποίησης, όπως και οι δεξαμενές αποθήκευσης του LNG, μπορούν να είναι και υπεράκτιες πλωτές μονάδες (FLNG, FSRU και FSU), οι οποίες χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά πλέον, λόγω των αρκετών πλεονεκτημάτων τους. Παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.2.

Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι το υγροποιημένο φυσικό αέριο που μεταφέρεται δια θαλάσσης και παραδίδεται σε ένα τερματικό σταθμό, αρκετές φορές, αντί να αεριοποιηθεί, διατηρείται στην υγρή μορφή του και μεταφορτώνεται σε μικρότερα πλοία, που θα το μεταφέρουν σε μικρότερους σταθμούς της χώρας εισαγωγής.

Τέλος το υγροποιημένο φυσικό αέριο μπορεί να μεταφερθεί σε μικρότερες αποστάσεις οδικώς, με ειδικά διαμορφωμένα βυτιοφόρα και σιδηροδρομικώς με ειδικά διαμορφωμένα βαγόνια. Αυτό συμβαίνει, όταν μια χώρα που εισάγει LNG, δεν έχει το κατάλληλο δίκτυο αγωγών για να το διοχετεύσει στο εσωτερικό της ώστε να φτάσει π.χ. στις βιομηχανίες που το χρησιμοποιούν.

2.2.ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΥΦΑ. - ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΚΑΙ ΖΗΤΗΣΗ

Η πρώτη επιτυχημένη θαλάσσια μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου σημειώθηκε το 1959, όταν άρχισαν τα δοκιμαστικά ταξίδια του πρώτου LNG πλοίου “Methane Pioneer”, από το Lake Charles της Λουιζιάνας (Η.Π.Α.) στο Canvey Island της Μ.Βρετανίας.

Το 1961 και το 1962 αντίστοιχα, η Μ. Βρετανία και η Γαλλία υπέγραψαν 15ετή συμβόλαια με την «Compagnie Algérienne du Méthane Liquide» (CAMEL) της Αλγερίας για προμήθεια υγροποιημένου φυσικού αερίου. Τα κοιτάσματα είχαν ανακαλυφθεί το 1956 από γαλλικές πετρελαϊκές εταιρείες¹⁴ και το 1962, μετά την ανεξαρτητοποίηση της χώρας, ξεκίνησε η κατασκευή της μονάδας υγροποίησης στο Αρζού (Arzew) της Αλγερίας, στο οποίο θα οδηγούνταν το φυσικό αέριο μέσω αγωγών μήκους 500 χιλιομέτρων.

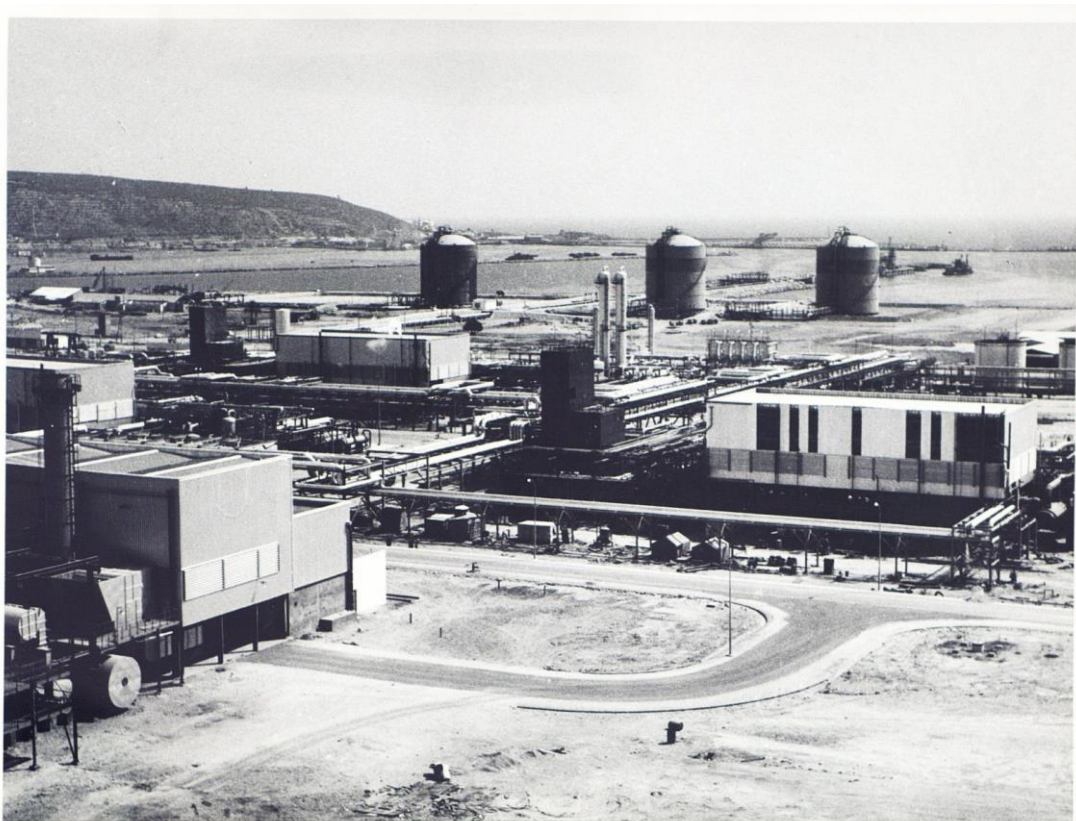
Οι εγκαταστάσεις του CAMEL ήταν ένα σπουδαίο επίτευγμα της εποχής. Για την κατασκευή της μονάδας συνεργάστηκαν Γάλλοι, Βρετανοί, Αμερικανοί και Ολλανδοί μηχανικοί, ενώ το κόστος εκτιμήθηκε στα 89 εκατομμύρια δολάρια. Η μονάδα υγροποίησης είχε τη δυνατότητα παραγωγής περίπου 1,2 εκατομμύρια τόνους LNG το χρόνο, ενώ ο τερματικός σταθμός διέθετε τρεις υπέργειες δεξαμενές 11.000 κυβικών μέτρων η κάθε μία και μία υπόγεια 38.000 κυβικών μέτρων.

Αντίστοιχα τερματικά υποδοχής για την παραλαβή του LNG κατασκευάστηκαν στο Canvey της Μ. Βρετανίας και στη Χάβρη της Γαλλίας, ενώ τα πλοία που θα το μετέφεραν ήταν τα βρετανικά “Methane Princess” και “Methane Progress” και το γαλλικό “Jules Verne”.

Το Σεπτέμβριο του 1964, το πρώτο φορτίο από το νέο τερματικό της CAMEL στο Αρζού, έφθασε στο Canvey της Μ. Βρετανίας, ενώ αντίστοιχα στη Χάβρη το πρώτο φορτίο παραδόθηκε το Μάρτιο του 1965. Για την ιστορία, το 1979 που έληξαν τα συμβόλαια, η Μ. Βρετανία είχε ανακαλύψει νέα κοιτάσματα στη Βόρεια θάλασσα και

¹⁴ CAMEL – the first LNG export terminal (2014) Πηγή: SIGTTO/GIIGNL “LNG SHIPPING AT 50. A commemorative SIGTTO/GIIGNL Publication 2014” (2014) ing-shiping-at-50compressed.pdf (sigtto.org)

δεν ενδιαφερόταν πλέον για το αλγερινό φυσικό αέριο. Επιπλέον οι εγκαταστάσεις της CAMEL ήταν πια παρωχημένες, μη οικονομικές και αποδοτικές. Έγιναν προσπάθειες αναβάθμισης και τροποποίησης σύμφωνα με τις νέες τεχνολογικές εξελίξεις, αλλά αποδείχθηκαν μάταιες. Το 2004 αποφασίστηκε ο παροπλισμός της μονάδας ο οποίος ολοκληρώθηκε το 2010.



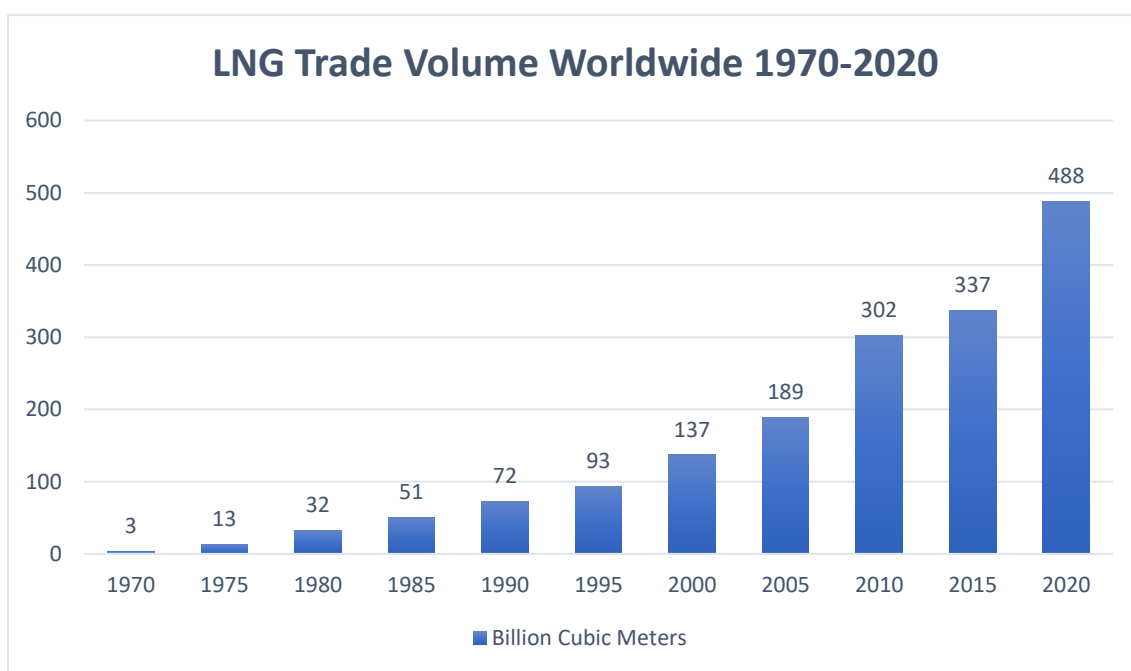
Εικόνα 10. Το CAMEL PLANT στο Αρζού της Αλγερίας. Πηγή: [Total's history in Algeria | WikiTotal \(totalenergies.com\)](https://www.totalenergies.com/en/total-history-in-algeria)

Φυσικά, μετά την πρώτη επιτυχημένη μονάδα, ακολούθησαν πολλές ακόμα, τόσο στην ίδια την Αλγερία, που ήθελε να επεκτείνει το «πελατολόγιό» της, κατασκευάζοντας κι άλλες μονάδες και κλείνοντας νέα συμβόλαια με άλλες χώρες της Ευρώπης και τις Η.Π.Α., όσο και σε άλλες αφρικανικές χώρες (π.χ. τη Λιβύη), τη Μέση Ανατολή, τις Η.Π.Α., την Αυστραλία και αλλού.

Η συνεχώς αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση για φυσικό αέριο οδήγησε στην κατασκευή μεγάλου αριθμού νέων μονάδων υγροποίησης και επαναεριοποίησης και στην εντατικοποίηση της παραγωγής. Αυτή η τάση προκάλεσε και την αντίστοιχη κινητοποίηση των ναυτιλιακών εταιρειών που έσπευσαν να εκμεταλλευθούν τη

συγκυρία και να κατασκευάσουν τα εξειδικευμένα πλοία που θα μετέφεραν το υγροποιημένο φυσικό αέριο.

Οι ποσότητες που διακινούνταν αυξάνονταν προοδευτικά, καθώς νέες μονάδες παραγωγής κατασκευάζονταν για να καλύψουν τη ζήτηση. Το παρακάτω διάγραμμα (πίν.9) δείχνει την σταδιακή αύξηση του όγκου ΥΦΑ που διακινήθηκε από το 1970 ως το 2020. Οι ποσότητες εκφράζονται σε δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (bcm). Βλέπουμε ότι μέσα σε 4 δεκαετίες οι αριθμοί αυξήθηκαν κατά 485 δις κυβικά μέτρα.



Πίνακας 9. Διάγραμμα: Όγκοι ΥΦΑ που διακινήθηκαν ανά πενταετία 1970-2020. Πηγή: [• Global LNG trade volume 2020 | Statista](#)

Το 2007 και το 2008, παραδόθηκαν στο Κατάρ τα πρώτα πλοία Q-Flex και Q-Max που μπορούν να μεταφέρουν από 210.000 έως 266.000 κυβικά μέτρα (m^3) φορτίου και παραμένουν ακόμα και σήμερα τα μεγαλύτερα πλοία LNG στον κόσμο. Λόγω των διαστάσεών τους χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες αποστολές, αν και όλο και περισσότερα τερματικά κατασκευάζονται ώστε να μπορούν να τα υποδεχτούν. Η κατασκευή αυτών των πλοίων καθώς και η αυξανόμενη είσοδος πλοιοκτητών στον κλάδο έδωσε επιπλέον ώθηση στη μεγέθυνση της προσφοράς χωρητικότητας μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Η «επανάσταση» του σχιστολιθικού αερίου της Αμερικής επηρέασε την αγορά ΥΦΑ στα τέλη της δεκαετίας 2010 με δύο τρόπους: αύξησε την προσφορά αλλά περιόρισε και τη ζήτηση λόγω του γεγονότος ότι οι Η.Π.Α. από εισαγωγική χώρα μετατράπηκε σε έναν από τους

μεγαλύτερους εξαγωγείς παγκοσμίως. Μέχρι τότε ήταν ο δεύτερος μεγαλύτερος εισαγωγέας μετά την Ιαπωνία, με μερίδιο εισαγωγών που άγγιζε το 23% του συνολικού όγκου που διακινούνταν παγκοσμίως¹⁵ και με μεγάλο αριθμό εγκαταστάσεων επαναεριοποίησης στις πύλες εισόδου της χώρας. Μια τρίτη συνέπεια ήταν η επίδραση στις παγκόσμιες τιμές εξαιτίας της διαφοράς της χαμηλής τιμής στην Αμερική και στις υψηλές τιμές που επικρατούσαν στα μέχρι τότε συμβόλαια εισαγωγών. Επίσης δημιούργησε μια αναστάτωση και αβεβαιότητα στην αγορά, καθώς πολλές ακόμα χώρες άρχισαν να ερευνούν τις πιθανότητες να επαναλάβουν το επιτυχημένο εγχείρημα της Αμερικής ελπίζοντας να ανεξαρτητοποιηθούν ενεργειακά.

Ένα γεγονός που επηρέασε την αγορά ΥΦΑ ήταν και ο σεισμός του 2011 στην Ιαπωνία και το ισχυρότατο τσουνάμι που προκάλεσε την καταστροφή του πυρηνικού σταθμού της Φουκουσίμα. Το γεγονός αναζωπύρωσε την ανησυχία της κοινής γνώμης για τις επιπτώσεις ενός ατυχήματος σε εγκαταστάσεις πυρηνικής ενέργειας με αποτέλεσμα να υπαναχωρήσουν τα σχέδια ανάπτυξης πυρηνικών εργοστασίων και να ενδυναμωθεί ο τομέας του φυσικού αερίου.

Οι διεθνείς πολιτικές και νομοθεσίες των τελευταίων ετών για μείωση των ρυπογόνων ουσιών επηρεάζουν κι αυτές με διπλό τρόπο τη βιομηχανία. Πρώτον, το φυσικό αέριο θεωρείται «φιλικότερο» για το περιβάλλον, γι' αυτό επιλέχθηκε ως το εναλλακτικό καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί μέχρι την πλήρη απεξάρτηση του πλανήτη από τα ορυκτά καύσιμα και την επικράτηση των πράσινων μορφών ενέργειας. Δεύτερον, επειδή το φυσικό αέριο δεν παύει να επιβαρύνει το περιβάλλον έστω και σε μικρότερο βαθμό, υπάρχει χρονικός ορίζοντας χρήσης του. Η γνώση αυτή, επηρεάζει σαφώς τις νέες επενδύσεις, καθώς πρόκειται για επιχειρήσεις εντάσεως κεφαλαίου που χρειάζονται πολλά χρόνια για την απόσβεσή τους.

Εντούτοις, στη σημερινή εποχή, το εμπόριο υγροποιημένου φυσικού αερίου έχει γιγαντωθεί. Η μεγάλη ζήτηση για φυσικό αέριο και η δυσκολία του δικτύου αγωγών να φτάσει παντού οδήγησε στην κατασκευή ολοένα και περισσότερων μονάδων παραγωγής κι ένα εκτενές δίκτυο θαλάσσιας διακίνησης.

¹⁵ Special Report: Impact of Unconventional Gas on the LNG Industry- IGU World LNG Report 2010, σελ. 20 Πηγή: [IGU World LNG Report - 2010_View.pdf](#)

2.3. Η ΑΓΟΡΑ ΥΦΑ ΣΗΜΕΡΑ: ΧΩΡΕΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ – ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ

Το 2020, το Διεθνές Εμπόριο LNG, σημείωσε μικρότερη αύξηση 1,4 MT, σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά που η αύξηση άγγιξε τους 40,9 MT, κυρίως λόγω των επιπτώσεων της πανδημίας του κορονοϊού. Συνολικά διακινήθηκαν¹⁶ 356,1 MT το 2020.

Στον πίνακα 10 φαίνονται οι ποσότητες LNG (σε εκατομμύρια τόνους) που διακινήθηκαν την τελευταία πενταετία, καθώς και το ετήσιο ποσοστό αύξησης που σημειωνόταν ετησίως.

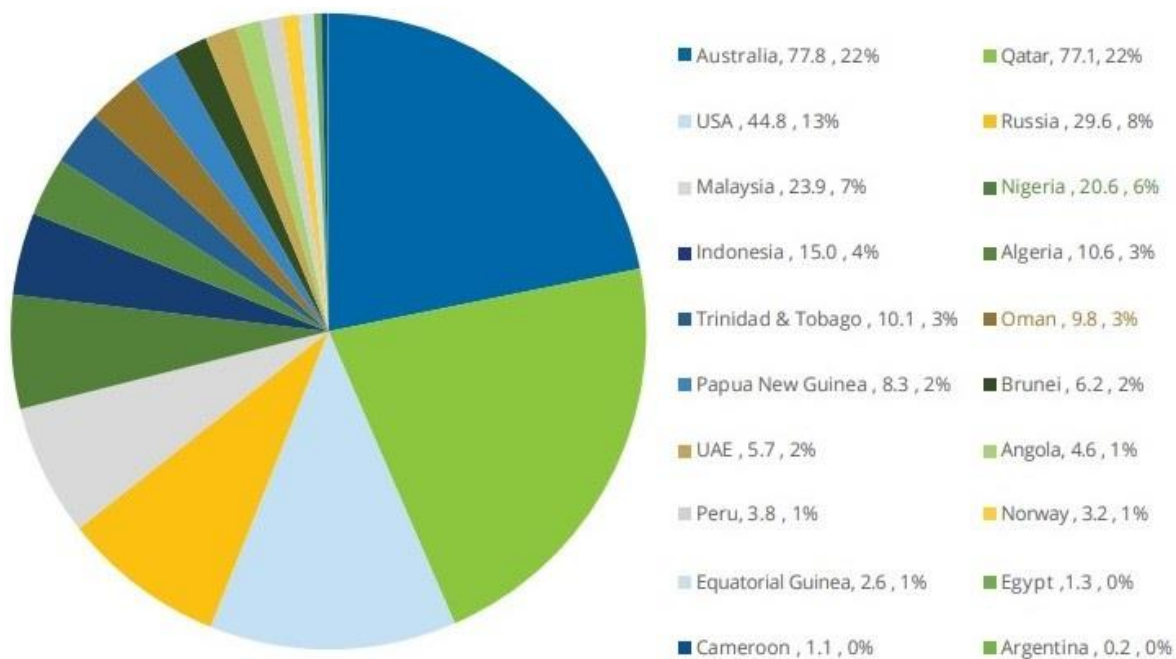
	2020	2019	2018	2017	2016
Global Trade (MT)	356,1	354,7	316,5	293,1	258
Increase (MT)	+1,4	+40,9	+28,2	+35,2	+13,1
Increase percentage	+0,4%	+13%	+9,6%	+13,6%	+5%

Πίνακας 10. Παγκόσμιο εμπόριο LNG 2016-2020. Πηγή δεδομένων: IGU World Annual Reports 2017-2021. [Resources | International Gas Union \(igu.org\)](#)

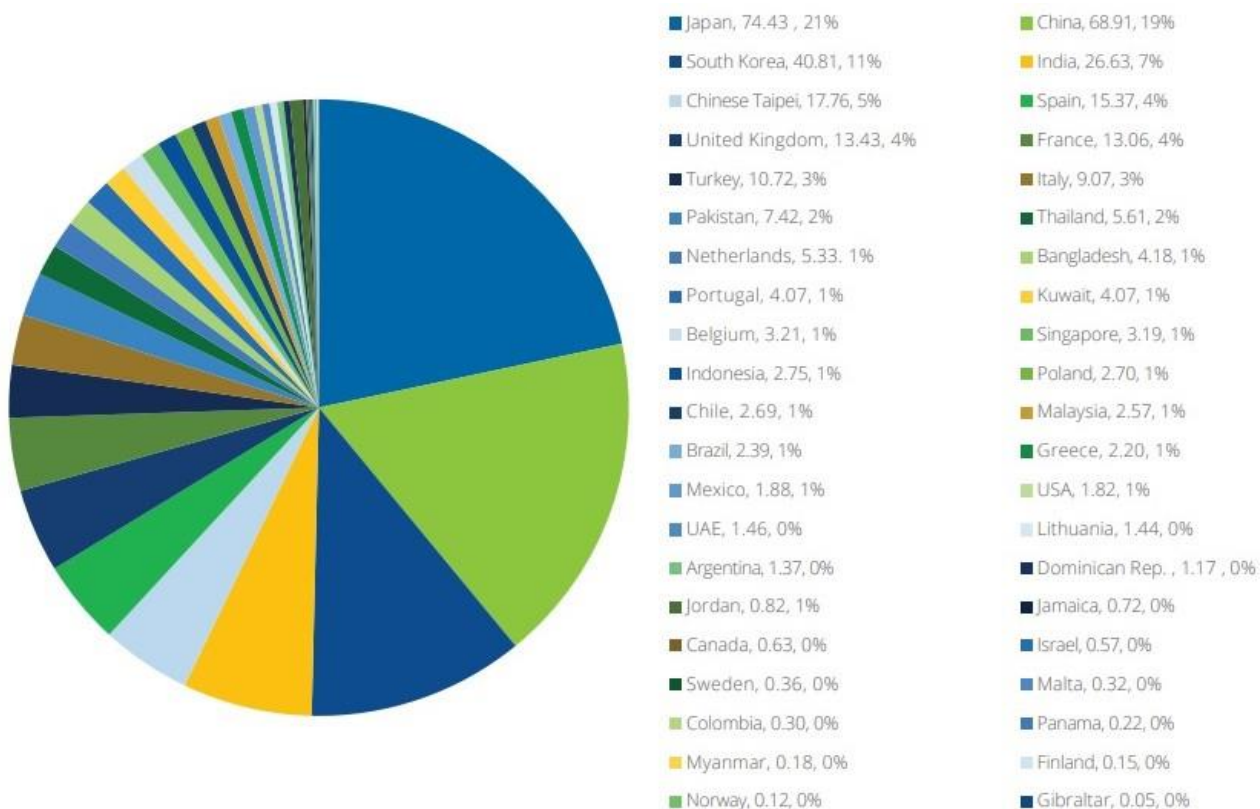
Είκοσι χώρες παραγωγοί εξήγαγαν ΥΦΑ σε σαράντα τρεις αγοραστές. Τη μεγαλύτερη αύξηση εξαγωγών για το 2020 σημείωσαν οι Η.Π.Α. (+11 MT). Αύξηση καταγράφηκε και στην Αυστραλία (+2,4 MT), η οποία με αυτόν τον τρόπο ξεπέρασε για πρώτη φορά το μέχρι πρότινος πρωτοπόρο Κατάρ, που αυτή τη χρονιά κατέγραψε μια μείωση στις εξαγωγές του (-0,7 MT) υποχωρώντας στη δεύτερη θέση της παγκόσμιας κατάταξης. Οι Η.Π.Α. και η Ρωσία διατήρησαν τις θέσεις τους, τρίτη και τέταρτη αντίστοιχα. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι οι τρεις πρώτες χώρες διέθεσαν περισσότερο από το μισό του συνολικού όγκου LNG που διακινήθηκε παγκοσμίως.

Στα παρακάτω διαγράμματα (πίνακες 11 και 12) φαίνονται σχηματικά τα μερίδια εξαγωγών και εισαγωγών ανά κράτος, όπως καταγράφηκαν το 2020. Οι ποσότητες που διακινήθηκαν εκφράζονται σε εκατομμύρια τόνους (MT).

¹⁶ IGU World LNG Annual Reports 2017-2021. [Resources | International Gas Union \(igu.org\)](#)



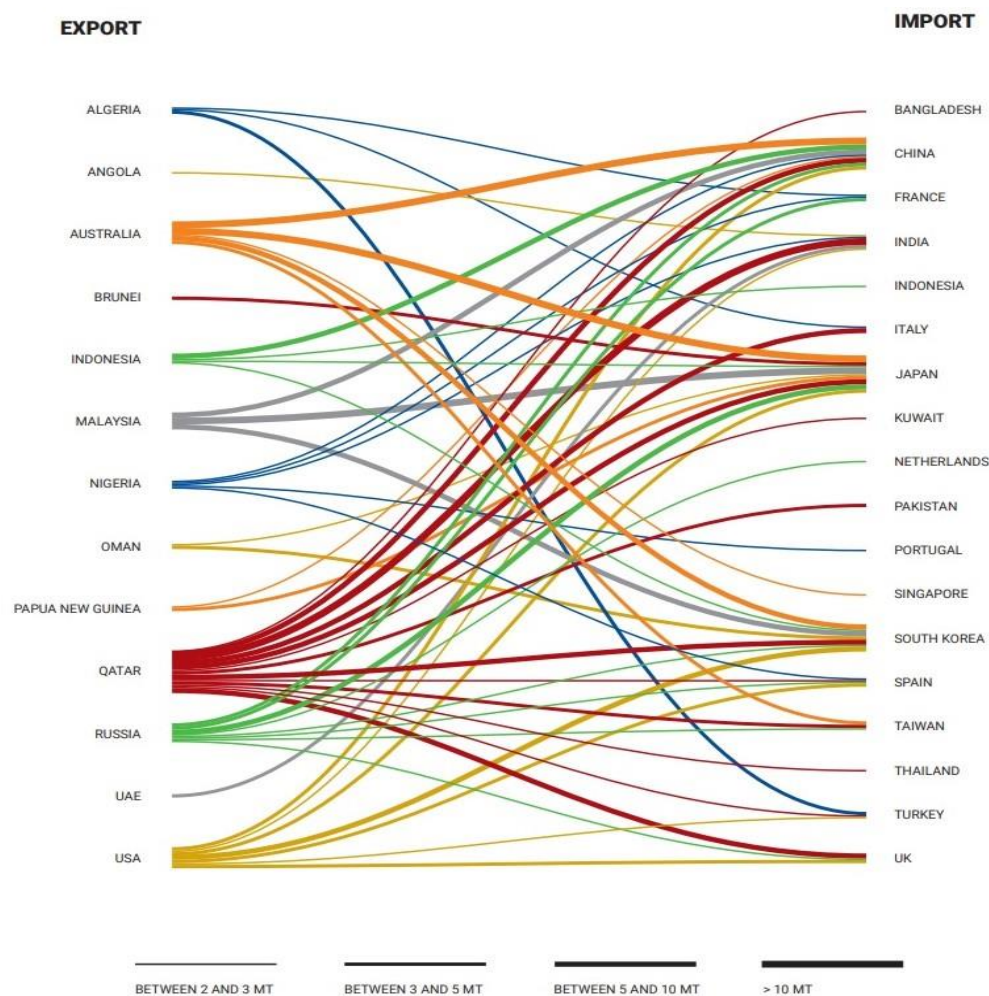
Πίνακας 11. Διάγραμμα: Εξαγωγές LNG σε MT, ανά κράτος το 2020. Πηγή: IGU World Annual Report 2021. [World LNG Report 2021 | IGU](#)



Πίνακας 12. Διάγραμμα: Εισαγωγές LNG σε MT, ανά κράτος το 2020. Πηγή: IGU World Annual Report 2021. [World LNG Report 2021 | IGU](#)

Στις εισαγωγές ΥΦΑ, η Ιαπωνία εξακολουθεί να κατέχει την πρώτη θέση με 77,8 ΜΤ, με δεύτερη την Κίνα 68,91 ΜΤ και τρίτη τη Νότια Κορέα 40,81 ΜΤ. Οι τρεις ασιατικές χώρες εισήγαγαν το 51% του συνολικού όγκου LNG που διακινήθηκε, ενώ συνολικά η Ασία ξεπέρασε το 70%.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι σημαντικότερες ροές ΥΦΑ για το 2020, ανά χώρα εξαγωγής-εισαγωγής.



Πίνακας 13. Διάγραμμα: Οι σημαντικότερες ροές ΥΦΑ κατά το 2020. Πηγή: GIIGNL Annual Report 2021. [GIIGNL Annual Report November2021.pdf](#)

Βλέπουμε ότι το Κατάρ, ο μεγαλύτερος εξαγωγέας διαχρονικά έχει ένα μεγάλο εύρος αποστολών σε όλο το εύρος των περιοχών εισαγωγής, ακόμα και σε κράτη που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση, ενώ θα μπορούσαν να εισάγουν από πιο κοντινές περιοχές. Το Κατάρ όμως, είναι το μόνο κράτος μέχρι στιγμής που διαθέτει στόλο μεγάλων πλοίων τα Q-Flex και Q-Max, που μπορούν να μεταφέρουν από 210.000 έως

266.000 κυβικά μέτρα φορτίου επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο οικονομία κλίμακας.

Η Ρωσία αποστέλλει υγροποιημένο φυσικό αέριο κυρίως στις χώρες του Ειρηνικού και ελάχιστα στην Ευρώπη. Αυτό συμβαίνει λόγω του τεραστίου δικτύου αγωγών που έχει αναπτύξει σε συμφωνία με την Ευρωπαϊκή Ένωση, με το οποίο την τροφοδοτεί.

Η Αυστραλία είναι ο σημαντικότερος τροφοδότης για τις χώρες του Ειρηνικού και το ίδιο ισχύει και για την Μαλαισία και την Ινδονησία.

Οι σημαντικότερες ροές των Η.Π.Α. στρέφονται προς τις χώρες της Ανατολικής Ασίας, την Ινδία και το Ηνωμένο Βασίλειο.

Η Αλγερία αποστέλλει κυρίως στην Ευρώπη και την Τουρκία, ενώ η Νιγηρία στην Ασία και στην Ευρώπη.

Το 2020 η δυνατότητα παραγωγής των παγκόσμιων εγκαταστάσεων υγροποίησης αυξήθηκε κατά 24 εκατομμύρια τόνους το χρόνο (ΜΤΡΑ)¹⁷, αγγίζοντας τους 454 ΜΤΡΑ. Μεγάλο μέρος της αύξησης οφείλεται στις πέντε νέες μονάδες (trains) που λειτούργησαν στις Η.Π.Α.

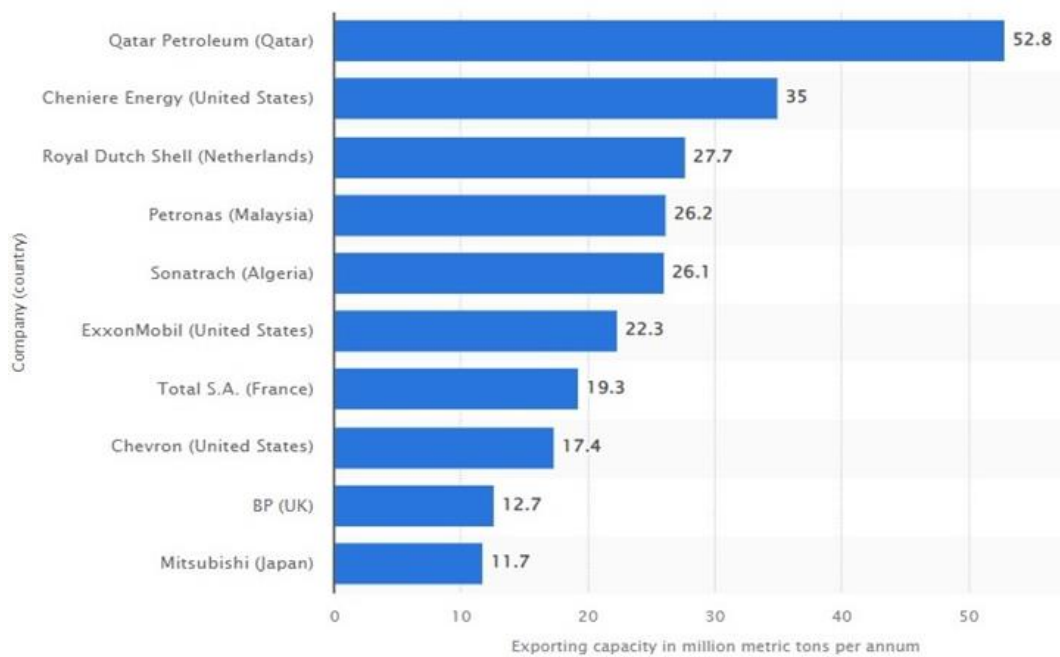
Αντίστοιχα, οχτώ νέες εγκαταστάσεις επαναεριοποίησης αύξησαν την συνολική δυνατότητα κατά 25.9 ΜΤΡΑ, αγγίζοντας τους 947 ΜΤΡΑ.

Οι εταιρείες που εξήγαγαν τις μεγαλύτερες ποσότητες υγροποιημένου φυσικού αερίου ήταν η Qatar Petroleum του Κατάρ με 52,8 εκατομμύρια μετρικούς τόνους, η Cheniere Energy των Η.Π.Α. με 35, και η Royal Dutch Shell της Ολλανδίας με 27,7.

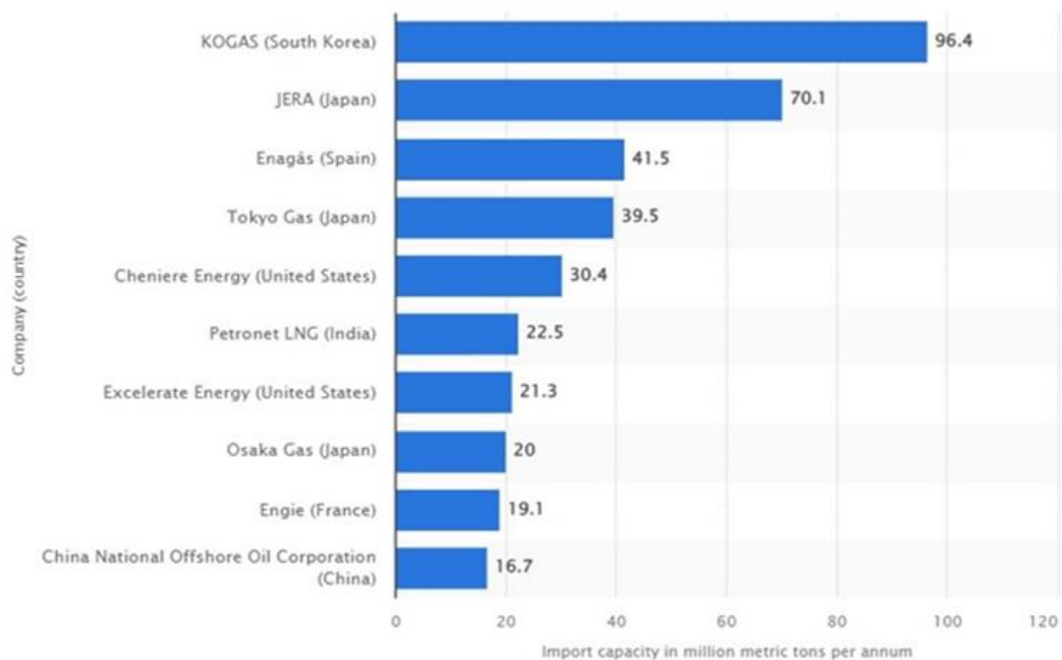
Στον αντίποδα οι εταιρείες που εισήγαγαν τις μεγαλύτερες ποσότητες παγκοσμίως ήταν η KOGAS της Νότιας Κορέας, η JERA της Ιαπωνίας και η ENAGAS της Ισπανίας.

Στα επόμενα διαγράμματα (πίνακες 14-15) βλέπουμε τις δέκα εταιρείες που πραγματοποίησαν τις μεγαλύτερες εξαγωγές και εισαγωγές, όπως καταγράφηκαν μέχρι τον Ιούνιο του 2021. Οι ποσότητες εκφράζονται σε εκατομμύρια μετρικούς τόνους ανά χρόνο (ΜΤΡΑ).

¹⁷ GIIGNL Annual Report 2021 Πηγή: [GIIGNL Annual Report November2021.pdf](#)



Πίνακας 14. Διάγραμμα: Leading liquefied natural gas (LNG) exporting companies worldwide by storage capacity as of June 2021. Πηγή: [Global LNG exporting companies by capacity 2021 | Statista](#)



Πίνακας 15. Διάγραμμα: Leading liquefied natural gas (LNG) importing companies worldwide by storage capacity as of June 2021. Πηγή: [Global LNG importing companies by capacity 2021 | Statista](#)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΤΟ ΠΛΟΙΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ (ΥΦΑ)

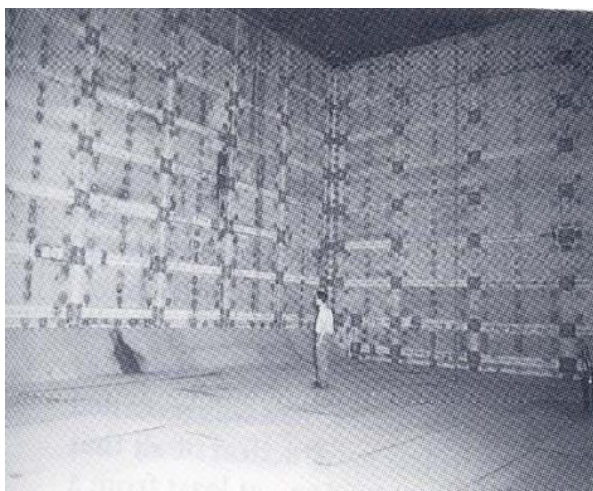
3.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ: ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΠΛΟΙΑ ΥΦΑ

Σύμφωνα με το επετειακό τεύχος του 2014 της SIGTTO & GIINGL¹⁸ (Society of International Gas Tanker and Terminal Operators & International Group of Liquefied Natural Gas Importers), ο πατέρας του LNG είναι ο William Wood Prince, πρόεδρος της Union Stock Yard and Transit του Σικάγο, ο οποίος είχε την ιδέα να υγροποιήσει το φυσικό αέριο και να το μεταφέρει με φορηγίδες δια μέσου του ποταμού Μισισσιπή, από τη Λουιζιάνα, που ήταν φθινό και σε αφθονία μέχρι τις αποθήκες του στο Σικάγο, όπου ήταν ακριβό, στις αρχές του 1950. Το 1954 παρήγγειλε μια φορηγίδα ειδικά εξοπλισμένη για μεταφορά 5.500 κυβικών μέτρων υγροποιημένου φυσικού αερίου στα ναυπηγεία Ingalls Shipbuilding Yard, στην Pascagoula του Μισισσιπή. Τότε αποφάσισε να συνεργαστεί με την Continental Oil Co της Οκλαχόμα, λόγω της εμπειρίας της στην επεξεργασία φυσικού αερίου. Μαζί αποφάσισαν ότι η μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου με φορηγίδες δεν ήταν οικονομικά συμφέρουσα, αλλά η θαλάσσια μεταφορά του στην άλλη πλευρά του Ατλαντικού θα ήταν. Το 1955 οι δύο συνεταιριοι δημιούργησαν την Constock International Methane Ltd και παρήγγειλαν φορηγίδες ειδικά διαμορφωμένες για μεταφορά LNG για να δοκιμάσουν πιλοτικά την θαλάσσια μεταφορά του αερίου. Οι φορηγίδες έφεραν πέντε κατακόρυφες κυλινδρικές δεξαμενές επενδυμένες εσωτερικά με ξύλο μάλσα (Balsa), ένα ξύλο που συνδυάζει την αντοχή με το μικρό βάρος, απορροφά τους κραδασμούς και δεν σκευρώνει στις αυξομειώσεις της θερμοκρασίας. Οι δοκιμές όμως απέδειξαν ότι το ξύλο μάλσα δεν ήταν αποτελεσματικό. Οι προκλήσεις που είχαν να αντιμετωπίσουν ήταν η σταθεροποίηση των δεξαμενών στη θέση τους κατά τη διάρκεια θαλασσοταραχής, συστολή και διαστολή, παραμορφώσεις της γάστρας και πάνω απ' όλα οι διαβαθμίσεις της θερμοκρασίας κατά την φορτοεκφόρτωση. Συνεργαζόμενοι με πανεπιστημιακούς ερευνητές κατέληξαν το 1957 στα τελικά σχέδια τόσο για τις εγκαταστάσεις υγροποίησης, όσο και για υπερωκεάνιο δεξαμενόπλοιο που θα μετέφερε το

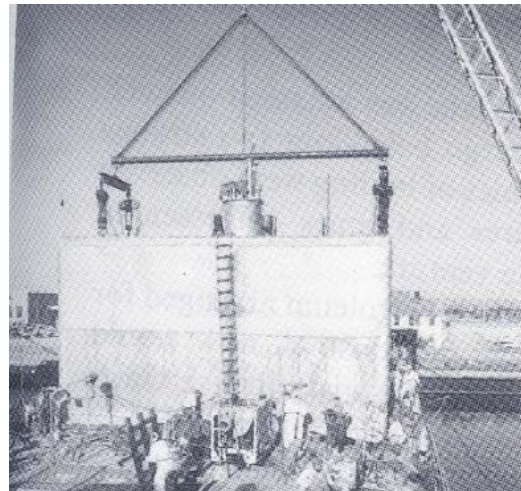
¹⁸ lng-shippping-at-50compressed.pdf (sigtto.org) (LNG Shipping at 50. A commemorative SIGTTO/GIINGL Publication 2014, p. 10)

υγροποιημένο αέριο. Την ίδια εποχή η Μεγάλη Βρετανία έψαχνε τρόπους ελαχιστοποίησης της εξάρτησής της από τον άνθρακα, λόγω της αιθαλομίχλης που είχε εξελιχθεί σε σοβαρό πρόβλημα για το Λονδίνο. Έτσι, το Βρετανικό Συμβούλιο Αερίου (British Gas Council) έστειλε απεσταλμένους στις Η.Π.Α. να εξετάσουν την περίπτωση του πλοίου της Constock, και τελικά συμφώνησαν να χρηματοδοτήσουν το εγχείρημα. Σε περίπτωση επιτυχίας του «πειράματος» η Μεγάλη Βρετανία θα οδηγούνταν σε συμβόλαιο αγοράς σημαντικής ποσότητας υγροποιημένου φυσικού αερίου από τις Η.Π.Α.

Το πρώτο πλοίο που μετέφερε υγροποιημένο φυσικό αέριο σε διατλαντικό ταξίδι ήταν ένα «Type C1-M-AV1 Cargo Ship» που χτίστηκε¹⁹ το 1945 σε ναυπηγείο της Μινεσότας στις Η.Π.Α. με το όνομα Marine Hitch. Τα πλοία αυτού του τύπου ήταν πλοία γενικού φορτίου²⁰ μ' ένα μεγάλο κινητήρα ντήζελ, σχεδιασμένα για μικρά ταξίδια και ρηχά λιμάνια, είτε κατά μήκος των ακτών, είτε για αποστολές μεταξύ των νησιών του Ειρηνικού Ωκεανού. Το 1958, το πλοίο ανήκε στην εταιρεία Norgulf Shipping Line και είχε το όνομα Normarti. Τότε ακριβώς επιλέχθηκε και μετατράπηκε σε δεξαμενόπλοιο σε ναυπηγείο της Αλαμπάμα, μετονομαζόμενο σε Methane Pioneer.



Εικόνα 11. Methane Pioneer. Η επένδυση Balsa τοποθετημένη στο αμπάρι.



Εικόνα 12. Methane Pioneer. Η τοποθέτηση μιας από τις δεξαμενές.

Πηγή εικόνων 3 και 4: Ffooks, Roger, Natural Gas by Sea: The Development of a New Technology, 1993, σελ. 44

¹⁹ [Methane Pioneer - Wikipedia](#) (Wikipedia, Wikipedia)

²⁰ [Type C1 ship - Wikipedia](#) (Wikipedia, Wikipedia Type C1 ship)

Το πλοίο ήταν διπύθμενο, είχε χωρητικότητα 32.000 βαρέλια LNG (5.000 κυβικά μέτρα), και προκειμένου να μεταφέρει με ασφάλεια το συγκεκριμένο φορτίο, τα αμπάρια του κατασκευάστηκαν από αλουμίνιο. Διέθετε πέντε πρισματικές δεξαμενές από αλουμίνιο και μόνωση από ξύλο μάλσα πάχους 0,3 μέτρων που τοποθετήθηκε στην εσωτερική πλευρά του κύτους του πλοίου. Στο πάνω μέρος τοποθετήθηκε μόνωση από 8 στρώσεις υαλοβάμβακα (Ffooks, 1993).

Στο παρθενικό του ταξίδι τον Ιανουάριο του 1959, μετέφερε το πρώτο φορτίο υγροποιημένου φυσικού αερίου από την Λουιζιάνα των Η.Π.Α. στην Αγγλία, διασχίζοντας τον Ατλαντικό Ωκεανό σε 27 ημέρες, χωρίς προβλήματα, αποδεικνύοντας την βιωσιμότητα της μεταφοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου σε διεθνή μακρινά ταξίδια δια θαλάσσης.



Εικόνα 13. Στην προβλήτα του ποταμού Calcasieu, το Methane Pioneer (1959) φορτώνει το ιστορικό πρώτο φορτίο LNG. Πηγή: lng-shipping-at-50compressed.pdf (sigtto.org)

Το 1959 στην ομάδα προσχώρησε και η Shell, η οποία διεξήγαγε παράλληλα δικές της έρευνες, οπότε η κοινοπραξία μετονομάστηκε σε Conch International Methane (CIM). Το Methane Pioneer χρησιμοποιήθηκε για τον ίδιο σκοπό για 8 χρόνια²¹ και πραγματοποίησε 30 ταξίδια μεταφέροντας το συγκεκριμένο φορτίο. Αργότερα, άλλαξε

²¹ [Methane Pioneer - Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/Methane_Pioneer)

πάλι όνομα και διαχειρίστρια εταιρεία, και μετατράπηκε σε φορτηγίδα αποθήκευσης φορτίων LNG μέχρι το τέλος του 1972 που διαλύθηκε.

Οι πρώτες παραγγελίες πλοίων μεταφοράς φυσικού αερίου σε ναυπηγεία έγιναν το 1963. Πρόκειται για τα αδελφά πλοία Methane Princess και Methane Progress²² χωρητικότητας 27.000 κυβικών μέτρων το καθένα. Τα επιτυχημένα ταξίδια του Methane Pioneer οδήγησαν το Βρετανικό Συμβούλιο Αερίου (BGC) να αναζητήσει και άλλες πηγές εισαγωγής φυσικού αερίου στη χώρα. Το 1961 αποφάσισαν να εισάγουν LNG από την Αλγερία και γι' αυτό το λόγο παρήγγειλαν να χτιστούν τα δύο πλοία. Η παραγγελία για το Methane Princess έγινε στο ναυπηγείο Vickers Armstrong στη βορειοδυτική Αγγλία, ενώ για το Methane Progress στο ναυπηγείο Harland & Wolff στο Μπέλφαστ της Βόρειας Ιρλανδίας. Το κάθε πλοίο κόστιζε 4.75 εκατομμύρια λίρες.



Εικόνα 14. Το Methane Princess στο ναυπηγείο Vickers Armstrong. Πηγή: <https://www.sigtto.org/media/2905/lng-shipping-at-50compressed.pdf> σελ. 15

Το σύστημα φορτοεκφόρτωσης, αποθήκευσης και συντήρησης φορτίου των πλοίων σχεδιάστηκε από την Conch International Ltd και βασίστηκε σε αυτό που χρησιμοποιήθηκε στο Methane Pioneer. Το κύτος σχεδιάστηκε από την JJ Henry, ενώ η

²² [lng-shipping-at-50compressed.pdf \(sigtto.org\)](https://www.sigtto.org/media/2905/lng-shipping-at-50compressed.pdf) (LNG Shipping at 50. A commemorative SIGTTO/GIINGL Publication 2014, p. 13)

Shell επέβλεπε την κατασκευή. Κάθε πλοίο διέθετε εννέα ανεξάρτητες δεξαμενές από αλουμίνιο, εγκατεστημένες ανά τρεις σε τρία συνολικά αμπάρια. Η κάθε δεξαμενή ζύγιζε περίπου 130 τόνους και διέθετε ένα κεντρικό εγκάρσιο διάφραγμα σε όλο το ύψος της που τη χώριζε σε δύο επιμέρους τμήματα και δύο ξεχωριστές βαλβίδες ροής στο κάτω μέρος.

Μία βυθιζόμενη ηλεκτρική αντλία J C Carter με δυνατότητα άντλησης 200 κυβικών μέτρων ανά ώρα τοποθετήθηκε στο κάτω μέρος κάθε δεξαμενής στην αριστερή πλευρά. Επειδή μόνο η μία πλευρά κάθε δεξαμενής διέθετε γραμμή φόρτωσης (αγωγό), ήταν απαραίτητο κατά τη διάρκεια της φορτοεκφόρτωσης να παραμένουν ανοιχτές οι βαλβίδες στο κάτω μέρος ώστε να επικοινωνούν τα δύο τμήματα της δεξαμενής. Αντίθετα κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, έπρεπε να είναι κλειστά για λόγους ευστάθειας των πλοίων.

Οι δεξαμενές ήταν μονωμένες με προκατασκευασμένα φύλλα από ξύλο μάλσα επενδυμένα με κόντρα πλακέ από φύλλο σφενδάμου, που ήταν αδιαπέραστα από το φορτίο. Στις κάθετες πλευρές των δεξαμενών η μόνωση ήταν ενισχυμένη με υαλοβάμβακα. Το πάνω μέρος της δεξαμενής έφερε μόνωση από έναν ορυκτοβάμβακα που ονομάζεται Rocksil. Το σύστημα μόνωσης σχεδιάστηκε να λειτουργήσει και ως ένα δευτερεύον σύστημα ασφαλείας σε περίπτωση διαρροής.



Εικόνα 15. Το Methane Princess την ημέρα κατέλκυσής του (22/06/1963).

Πηγή: LNG Shipping at 50Q A commemorative SIGGTO/GIINGL publication 2014 σελ. 39
<https://www.sigtto.org/media/2905/lng-shipping-at-50compressed.pdf> σελ 39

Το σύστημα φορτοεκφόρτωσης ήταν παρόμοιο με αυτό των σύγχρονων πλοίων μεταφοράς LNG. Υπήρχε η κεντρική γραμμή που διέτρεχε όλο το κεντρικό κατάστρωμα ενώ γραμμές φόρτωσης και εκφόρτωσης διακλαδώνονταν σε κάθε δεξαμενή. Το vapor system-boil off (σύστημα αναθυμιάσεων φορτίου) ήταν διαφορετικό, από την άποψη ότι δεν υπήρχε συμπιεστής επιστροφής αερίων (vapour return compressors). Κατά την φορτοεκφόρτωση, οι αναθυμιάσεις διοχετεύονταν ελεύθερα, χωρίς πίεση προς ένα συμπιεστή που ήταν εγκατεστημένος στην στεριά, αν και στην πράξη δεν ήταν δυνατόν να ελεγχθεί η πίεση στις δεξαμενές χωρίς να βγάξουν μέρος των αναθυμιάσεων του φορτίου στην ατμόσφαιρα.

Δύο συμπιεστές αερίων ήταν τοποθετημένοι σε μια υπερκατασκευή (compressor room) στο κατάστρωμα. Αυτοί οι συμπιεστές είχαν τρεις λειτουργίες:

- 1) Ως συμπιεστές των αναθυμιάσεων (boil off) του φορτίου ώστε να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την θέρμανση του νερού στα καζάνια της μηχανής του πλοίου.
- 2) Ως μέρος της εκφόρτωσης εκτάκτου ανάγκης και για το πλήρες άδειασμα των δεξαμενών. Και τέλος,
- 3) Ως συμπιεστές των αναθυμιάσεων (boil off) του φορτίου ώστε να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για να θερμάνει τις δεξαμενές μέσω ενός θερμαντικού στοιχείου σαν καλοριφέρ.

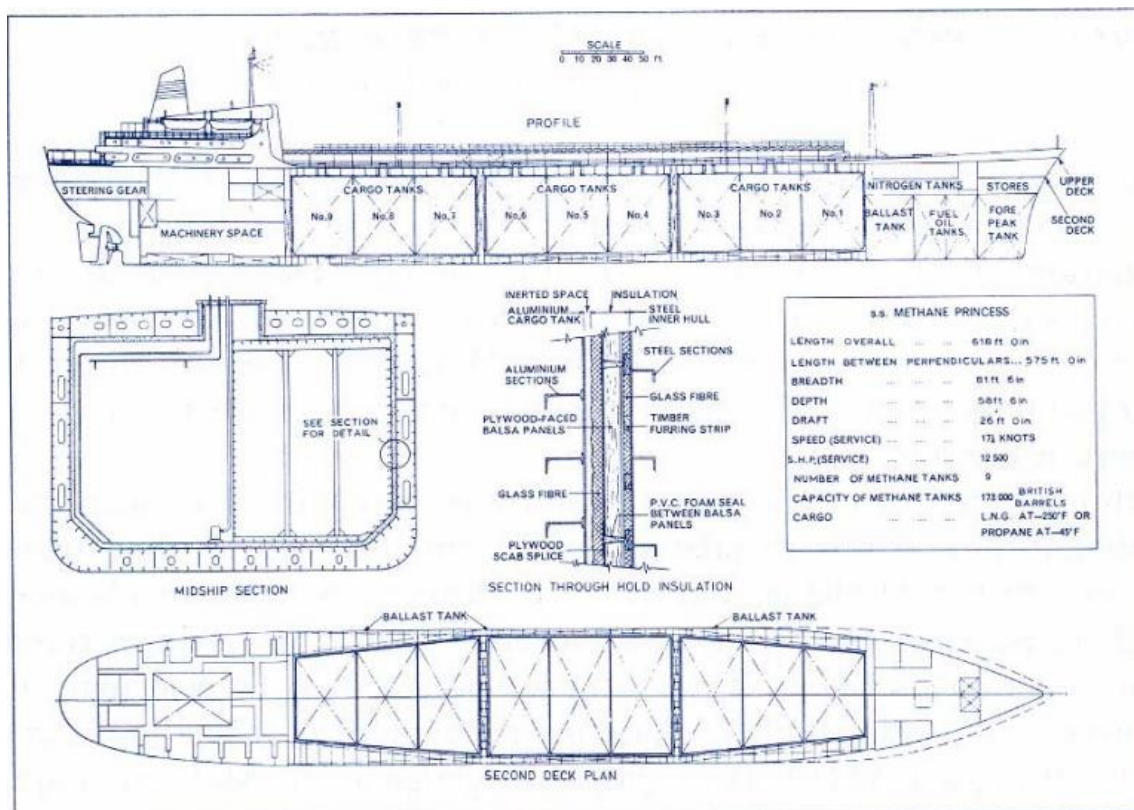
Κάτω από το πρόστεγο της πλώρης (Forecastle head)²³ τοποθετήθηκαν δύο δεξαμενές υγρού αζώτου, με τις οποίες τροφοδοτούσαν αέριο άζωτο στους κενούς χώρους των αμπαριών, τους οποίους κρατούσαν υπό πίεση αζώτου, στους συμπιεστές και για την αδρανοποίηση του συστήματος καύσης της μηχανής.

Τα πλοία δεν είχαν εγκαταστημένη γεννήτρια αδρανούς αερίου (Inert gas generator). Αντί αυτού διοχέτευαν από τη στεριά καθαρό άζωτο στις δεξαμενές (για την ανανέωση της ατμόσφαιρας της δεξαμενής) και στην συνέχεια προχωρούσαν στο πάγωμά τους

²³ Πρόστεγο ή καμπούνι (Forecastle) ονομάζεται το μπροστινό, πλωριό, υπερκατασκεύασμα του πλοίου, δηλαδή η υπερκατασκευή που βρίσκεται πάνω από το κύριο κατάστρωμα. Λειτουργεί κυρίως ως αποθηκευτικός χώρος. Πηγή: [Πρόστεγο - Βικιπαίδεια \(wikipedia.org\)](https://el.wikipedia.org/wiki/Πρόστεγο)

(Cooling down) ψεκάζοντάς τις απευθείας με LNG, ώστε να δεχτούν το φορτίο με ασφάλεια.

Για τις μετρήσεις όσον αφορά το βαθμό πλήρωσης των δεξαμενών τοποθετήθηκαν μετρητές με πλωτήρα, ένας σε κάθε δεξαμενή, καθώς και ένα δευτερεύον σύστημα με θυρίδες παρατήρησης στους θόλους των δεξαμενών. Σε κάθε θόλο υπήρχε ένα ζευγάρι θυρίδες σε κάθε πλευρά του εγκάρσιου διαφράγματος της δεξαμενής, από την οποία ήταν ορατός ένας πίνακας μετρήσεων που μετρούσε τον κενό χώρο που απέμενε μέχρι την πλήρωση της δεξαμενής.



Εικόνα 16. General Arrangement των πλοίων Methane Princess και Methane Progress. Πηγή: Ffooks, Roger, Natural Gas by Sea: The Development of a New Technology, 1993, σελ. 63

Εγκαταστάθηκε επίσης ένα υπερσύγχρονο, για την εποχή, ηλεκτρομηχανικό σύστημα, με 300 περίπου αισθητήρες που μετρούσαν θερμοκρασίες φορτίου, δεξαμενών αλλά και αμπαριού, όπως και ένα ολοκληρωμένο σύστημα ανίχνευσης αερίου.

Όσον αφορά τις μηχανές πρόωσης, το κάθε πλοίο εξοπλίστηκε με ατμοστρόβιλο Parmetrada²⁴, που τροφοδοτούνταν με ατμό από δύο λέβητες Foster Wheeler ESD II διπλού καυσίμου. Μπορούσαν δηλαδή να κάψουν και πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Η υποδύναμη της μηχανής ήταν 12.500 ίπποι shp (shaft horsepower) ή 9.325 KW στις 107 στροφές (rpm=revolution per minute). Ο κάθε λέβητας μπορούσε να ατμοποιήσει 20,4 τόνους νερό την ώρα σε κανονική λειτουργία. Τρεις καυστήρες διπλού καυσίμου ήταν τοποθετημένοι στο εμπρός μέρος του λέβητα. Το φυσικό αέριο παρεχόταν από τον συμπιεστή και τον θερμαντήρα μέσω ενός σωλήνα. Ένας ανιχνευτής φλόγας τοποθετήθηκε ως ασφαλιστική δικλείδα, που οδηγούσε σε διακοπή της τροφοδοσίας αερίου σε περίπτωση που έσβηνε η φλόγα. Βέβαια, η τεχνολογία της εποχής επέτρεπε την ανίχνευση μόνο μιας πολύ φωτεινής φλόγας, όπως αυτής που προκαλείται από την καύση πετρελαίου. Γι' αυτό επιβλήθηκε κατά πρώτον να καίγεται συνεχόμενα ένα ελάχιστον ποσοστό 10% πετρελαίου και κατά δεύτερον να ξεκινάει η καύση πάντα με πετρέλαιο και στη συνέχεια να τροφοδοτείται με αέριο.

Τα πλοία δεν διέθεταν engine control room (δωμάτιο χειρισμού μηχανημάτων), τα οποία καθιερώθηκαν αργότερα. Όλοι οι χειρισμοί γίνονταν μέσα στο μηχανοστάσιο, σε μια πλατφόρμα μπροστά στους λέβητες. Ο αυτόματος έλεγχος της καύσης ήταν «πνευματικός²⁵» και η αναλογία αέρα προς καύσιμη ύλη ήταν 10:1.

Τέλος, η ηλεκτρική ενέργεια των πλοίων εξασφαλιζόταν από δύο στροβιλογεννήτριες των 600 KW, ενώ υπήρχε και μία γεννήτρια ντίζελ των 100 KW για έκτακτη ανάγκη.

Λίγο αργότερα, ναυπηγήθηκε το πρώτο πλοίο της Γαλλίας το “Jules Verne” 25.000 κυβικών μέτρων, παραγγελία της Gaz Marine που ήταν μια κοινοπραξία της Gaz de France, με την Gazocean, την Bennett Corporation και διαφόρων τραπεζών. Η

²⁴ [Parsons Marine Steam Turbine Company - Wikipedia](#) (WIKIPEDIA)

²⁵ Τα πνευματικά συστήματα χρησιμοποιούν τον πεπιεσμένο αέρα και έχουν τελικό αποτέλεσμα, μηχανική κίνηση όπως π.χ. την παλινδρομική κίνηση ενός εμβόλου ή την περιστροφική κίνηση ενός άξονα.

Σκαρπέτης Μιχάλης, Κ. Φ. (2016). *Αυτόματος Έλεγχος Υδραυλικών και Πνευματικών Συστημάτων*, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράματα και Βοηθήματα Πηγή: [Kallipos: Αυτόματος Έλεγχος Υδραυλικών και Πνευματικών Συστημάτων](#) σελ.131

παραλαβή του πλοίου έγινε το 1965²⁶ και χρησιμοποιήθηκε σε ταξίδια από το Αρζού της Αλγερίας στις εγκαταστάσεις της Gaz de France στην Χάβρη της Γαλλίας. Διέθετε 7 κατακόρυφες κυλινδρικές δεξαμενές από κράμα αλουμινίου και χάλυβα. Η μόνωσή τους ήταν ένας συνδυασμός από Klegecell (PVC) και περλίτη και ίνες αλουμινίου.

GTT History



Technigaz Mkl System

- 1964: Pythagore : 630 m³ (2 tanks)
- Converted fish carrier

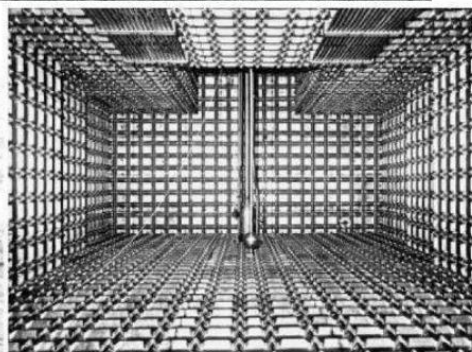


Figure 3 : Pythagore LNG carrier ; general overview and inside tank view



Safety

Excellence

Innovation

Teamwork

Transparency

5

Εικόνα 17. Pythagore (1964) Technigaz MK I System. Πηγή: GTT Training: Membrane Cargo Containment Membrane Systems, 2015, [General presentation \(onthemosway.eu\)](http://onthemosway.eu)

Η Gazocean δημιούργησε το 1963 μια θυγατρική εταιρεία, την Technigaz, με σκοπό να αναπτύξει περαιτέρω τη νέα τεχνολογία μεμβράνης για τις δεξαμενές φορτίου. Η ιδέα της μεμβράνης εξελίχθηκε στο σύστημα MARK I και δοκιμάστηκε επιτυχώς στο πειραματικό πλοίο Pythagore (βλ. Εικόνα 17). Το πρώτο νεότευκτο πλοίο που κατασκευάστηκε με αυτό το σύστημα μεμβράνης ήταν το Descartes (Ντεκάρτ), 50.000 m³, το οποίο παραδόθηκε το Σεπτέμβριο του 1971 από τα ναυπηγεία Chantiers de l'Atlantique στη Γαλλία.

²⁶ (Vaudolon, 2000) σελ. 24

Την ίδια εποχή αναπτύσσεται μια καινούρια ιδέα, η κρυογονική μεμβράνη με την χαρακτηριστική επίστρωση INVAR, ένα κράμα χάλυβα και νικελίου με πολύ χαμηλό συντελεστή διαστολής σε αλλαγές θερμοκρασίας, η οποία εξελίσσεται από τη Gaztransport στο σύστημα δεξαμενών NO. Το 1969, δύο πλοία κατασκευασμένα στο σουηδικό ναυπηγείο Kockums, τα Polar Alaska και Artic Tokyo, ήταν τα πρώτα που χρησιμοποίησαν το συγκεκριμένο σύστημα μεμβράνης μεταφέροντας υγροποιημένο φυσικό αέριο από την Αλάσκα στην Ιαπωνία. Τα δύο πλοία παρέμειναν εν ενεργεία για 45 χρόνια.

Από το 1969 ως το 1978 δέκα πλοία κατασκευάστηκαν με το σύστημα NO Gaztransport²⁷. Και αντίστοιχα, από το 1968 ως το 1979 δώδεκα πλοία κατασκευάστηκαν με το σύστημα MARK της Technigaz.

Το 1994 οι δύο εταιρείες συγχωνεύτηκαν, δημιουργώντας την Gaztransport & Technigaz.

Το 1969, ο Νορβηγός πλοιοκτήτης Leif Hoegh, ανέθεσε στα ναυπηγεία Moss Verft που είχαν κατασκευάσει αρκετά LPG πλοία, να διερευνήσουν την πιθανότητα επιτυχίας κάποιων ιδεών που είχε για ένα πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου²⁸. Η Moss, σε συνεργασία με τους μηχανικούς της Kvaerner Group, ανέπτυξαν ένα δικό τους σχέδιο, τη σφαιρική δεξαμενή Kvaerner Moss, που εξελίχθηκε στο πιο δημοφιλές σύστημα για τα πρώιμα χρόνια των LNG πλοίων (δεκαετίες 1970 και 1980). Η δεξαμενή MOSS ήταν μια απλή, ανεξάρτητη δεξαμενή, που βυθίζεται μέσα στο πλοίο στηριζόμενη μόνο πάνω σε ένα δακτύλιο, ο οποίος είναι και το μοναδικό σημείο σύνδεσής της με το κύτος του πλοίου. Είναι σχεδιασμένη με γνώμονα την αρχή «Leak before Failure²⁹», που σημαίνει ότι δεν απαιτεί τις πολύ ακριβές μονώσεις που είναι

²⁷ [50 years of accumulated experience | GTT](https://gtt.fr/about-us/history) Πηγή: <https://gtt.fr/about-us/history>

²⁸ SIGTTO (LNG Shipping at 50. A commemorative SIGTTO/GIINGL Publication 2014) σελ. 41. Πηγή: lng-shiping-at-50compressed.pdf (sigtto.org)

²⁹ Η φιλοσοφία αυτής της αρχής λαμβάνει ως δεδομένο ότι μια πιθανή ρωγμή μπορεί να ανιχνευτεί (από τη διαρροή μικρής κλίμακας) και να επισκευαστεί εγκαίρως, πριν φτάσει σε τέτοιο μέγεθος που να δημιουργήσει πραγματικό πρόβλημα.

απαραίτητες στις δεξαμενές μεμβράνης. Αντίθετα αρκεί ένας δίσκος συσσώρευσης κάτω από τη δεξαμενή, που να μπορεί να συγκεντρώσει τυχόν σταγόνες προερχόμενες από μια διαρροή, καθώς και ασπίδες προστασίας από πιτσίλισμα περιμετρικά και στο κατάλληλο ύψος γύρω από την δεξαμενή. Επιβάλλεται φυσικά συχνή επιθεώρηση από το πλήρωμα για τον γρήγορο εντοπισμό οποιουδήποτε προβλήματος.



Εικόνα 18. "Norman Lady" 1973. Πηγή: [Moss Maritime AS / History \(mossww.com\)](http://MossMaritimeAS.com/History)

Το πρώτο πλοίο με σφαιρικές δεξαμενές, σχεδιασμένες από τη νορβηγική Kvaener Moss, ήταν το Norman Lady, χωρητικότητας 88.000 m³. Έφερε πέντε δεξαμενές κατασκευασμένες από κράμα 9% νικελ-χάλυβα και ναυπηγήθηκε στα ναυπηγεία της Moss Rosenberg Verft στη Νορβηγία, ενώ παραδόθηκε το 1973.

Μέχρι το 1977, 14 ναυπηγεία παγκοσμίως είχαν αδειοδοτηθεί για την κατασκευή πλοίων αυτής της τεχνολογίας.

3.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΥΦΑ

Τα σύγχρονα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τύπο δεξαμενών που φέρουν, αλλά και την χωρητικότητα ή το σύστημα πρόωσης που διαθέτουν. (Σημ. Τα συστήματα δεξαμενών και πρόωσης θα αναλυθούν εκτεταμένα στο επόμενο κεφάλαιο).

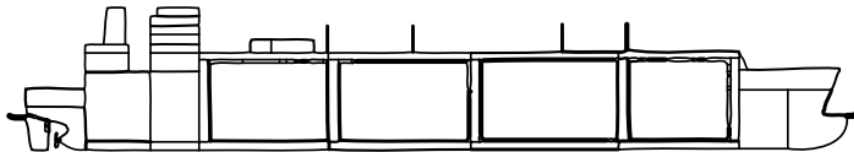
Ανάλογα με τον τύπο δεξαμενών τους, τα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ, κατηγοριοποιούνται ως εξής:

1. Ανεξάρτητων δεξαμενών (Independent Tank System).

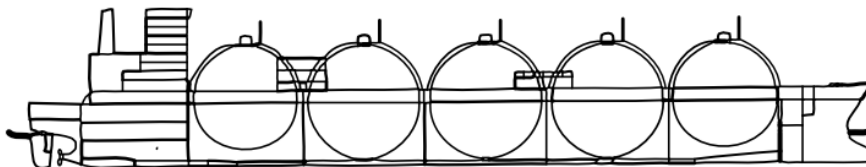
- a) Σφαιρικές δεξαμενές (Kvaerner Moss / Moss Rosenberg)
- b) Πρισματικές δεξαμενές IHI SPB (Self-supporting Prismatic IMO Type B)

2. Ενσωματωμένων δεξαμενών Μεμβράνης (Membrane System)

- a) Gas Transport (GT No 96) system
- b) Technigaz Mark III
- c) CS1
- d) Kogas KC-1



138,000 m³ LNG carrier of the membrane type



Εικόνα 19. Παράδειγμα πλοίων μεμβράνης και Moss ίσου μεγέθους. Πηγή: *Propulsion Trends in LNG Carriers, Two-stroke engines*, σελ. 6. [Propulsion Trends in LNG Carriers Two-stroke Engines \(mandieselturbo.com\)](http://PropulsionTrends.inLNGCarriers.Two-strokeEngines.mandieselturbo.com) (*Propulsion Trends in LNG Carriers, Two-stroke Engines, n.d.*)

Με τα χαρακτηριστικά των δεξαμενών που κυριαρχούν σήμερα θα ασχοληθούμε αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.3.1 της παρούσας εργασίας.

Ανάλογα με την χωρητικότητά τους. Τα πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου σχεδιάζονταν πάντα για συγκεκριμένα «δρομολόγια» και τερματικούς σταθμούς LNG που είχαν φυσικά (και έχουν ακόμα) κάποιους περιορισμούς στο μέγεθος και τις διαστάσεις των πλοίων που μπορούσαν να δεχτούν. Γι' αυτόν το λόγο προέκυψαν συγκεκριμένα μεγέθη και όλα τα πλοία κατανέμονται σε:

1. Small Scale LNG Carriers (χωρητικότητας μέχρι 90.000 m³)
2. Conventional LNG Carriers (χωρητικότητας 120,000 - 180,000 m³).
3. Q-Flex LNG Carriers (χωρητικότητας 210.000-217.000 m³)
4. Q-Max LNG Carriers (χωρητικότητας 263.000-266.000 m³)



Εικόνα 20. Σύγκριση μεγεθών LNG πλοίων. Πηγή: «2012-2015 Triennium Work Reports, Life Cycle Assessment of LNG, International Gas Union», σελ. 13 [Life Cycle Assessment of LNG \(igu.org\)](http://www.igu.org/Life-Cycle-Assessment-of-LNG) (Life Cycle Assessment of LNG, 2015)

Φυσικά υπάρχουν και διαφοροποιήσεις στην κατηγοριοποίηση, όπως η διάσπαση των Conventional σε δύο υποκατηγορίες³⁰:

- a) Small Conventional (120.000-149.000 m³)
- b) Large Conventional (150.000-180.000 m³)

³⁰ [Propulsion Trends in LNG Carriers Two-stroke Engines \(mandieselturbo.com\)](http://www.mandieselturbo.com/Propulsion-Trends-in-LNG-Carriers-Two-stroke-Engines)

ή η κατηγοριοποίηση ανάλογα με τις βασικές διαδρομές που εξυπηρετούν, πχ:

- a) Med-max (Mediterranean-max 75.000 m³)
- b) Atlantic-max (150.000-175.000 m³)

Επίσης αναφέρονται και ειδικές κατηγορίες (ειδικού τύπου πλοία), που προέκυψαν ως εξέλιξη των συμβατικών πλοίων ή ως εναλλακτικές χρήσεις τους, για να καλύψουν νέες ανάγκες όπως είναι τα:

- a) Icebreaker ή Ice-Class LNG Vessels (172,000 m³)

Είναι πλοία που διαθέτουν τη δυνατότητα να διασχίσουν την περιοχή της Αρκτικής, σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των -50 βαθμών Κελσίου και σε πάγο πάχους 2,1 μέτρων³¹. Από τα τέλη του 2017 ως τα τέλη του 2019, δεκαπέντε πλοία αυτού του είδους είχαν ήδη παραδοθεί και χρησιμοποιούνται στο “Yamal Project”, για τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου από το λιμάνι της Sabetta στη χερσόνησο Yamal της Ρωσίας σε λιμάνια της Ευρώπης, Β. Αμερικής και Α. Ασίας. Αξιομνημόνευτο είναι το κόστος αυτών των πλοίων, 320 εκατομμύρια δολάρια το καθένα. Το βιβλίο παραγγελιών³² περιλαμβάνει είκοσι ένα ακόμα πλοία που θα παραδοθούν από το 2022 ως το 2025.



Εικόνα 21. Τα τέσσερα από τα Arc7 Ice-Class LNG vessels της Yamal στο ναυπηγείο Daewoo στην Κορέα. Πηγή: IGUMagazine: LNG Outlook for 2020, σελ. 50. [April 2020 | IGU](#)

³¹ Πηγή: Arctic Pilot Project – an early precursor to Yamal LNG [lng-shipping-at-50compressed.pdf \(sigtto.org\)](#)

³² Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU](#) σελ.60

b) FSU (Floating Storage Unit)

Η μεγάλη αύξηση της ζήτησης για υγροποιημένο φυσικό αέριο οδήγησε στην αναζήτηση γρήγορων λύσεων αποθήκευσης. Η κατασκευή εγκαταστάσεων δεξαμενών αποθήκευσης στη στεριά είναι πολύπλοκη (εξαιτίας πολιτικο-κοινωνικο-οικονομικών συνθηκών) και γι' αυτό χρονοβόρα. Έτσι πολλοί πλοιοκτήτες αποφάσισαν να μετατρέψουν κάποια συμβατικά πλοία τους σε πλωτές μονάδες αποθήκευσης, ιδιαίτερα τα παλαιότερα πλοία που ενώ είναι ακόμη αξιόπλοα, υστερούν στις νέες τεχνολογίες. Αυτή η μετατροπή αυξάνει το χρόνο ζωής των πλοίων. Σύμφωνα με τον IGU³³, στο τέλος του 2019 υπήρχαν 4 FSU ενεργά πλοία.



Εικόνα 22.FSRU Πηγή: GIIGNL Annual Report 2020Edition, [giignl - 2020 annual report - 04082020.pdf](https://www.giignl.com/2020-annual-report-04082020.pdf)

c) FSRU (Floating Storage Regasification Unit)

Είναι LNG πλοία που έχουν μετατραπεί σε πλωτές δεξαμενές αποθήκευσης, εξοπλισμένα όμως με μονάδα επαναεριοποίησης. Αυτό σημαίνει ότι έχουν την δυνατότητα να προωθήσουν το φυσικό αέριο στη στεριά μέσω αγωγών.

Θεωρείται μία ελαστική, οικονομική και γρήγορη λύση για τις χώρες εισαγωγής,

³³ Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU Appedix 3. Table of Global Active LNG Fleet, Year-End 2019. Σελ.111](#)

σε σχέση με την κατασκευή εγκαταστάσεων στη στεριά. Η εγκατάστασή τους ανοικτά στη θάλασσα, σε απόσταση από τις ακτές είναι ένα ακόμα πλεονέκτημα που προσφέρουν, όταν υπάρχει περιορισμός χώρου ή οι περιοχές είναι δυσπρόσιτες. Η πρώτη επιτυχημένη μετατροπή και λειτουργία FSRU έλαβε χώρα το 2005 και από τότε γνώρισε μεγάλη ανάπτυξη. Σύμφωνα με τον IGU³⁴, στο τέλος του 2019, βρίσκονταν σε χρήση τριάντα εφτά FSRUs. Σύμφωνα με τα στοιχεία της GIIGNL³⁵ στο τέλος του 2020, ο συνολικός στόλος FSRU αποτελούνταν από 43 μονάδες με συνολική χωρητικότητα 6,4 mmcm (million cubic meters, ενώ στο orderbook υπήρχαν 7 παραγγελίες.



Εικόνα 23. Το Prelude FLNG της Shell στην Αυστραλία. Πηγή SHELL Life onboard a floating LNG facility | Prelude FLNG [Life onboard a floating LNG facility](#) | Prelude FLNG - YouTube

d) FLNG (Floating Liquefied Natural Gas production units)

Μία ακόμη εξέλιξη είναι οι πλωτές μονάδες παραγωγής LNG, που έχουν την δυνατότητα να επεξεργάζονται και να υγροποιούν το φυσικό αέριο που φθάνει σε αυτά με αγωγούς. Το 2011, η Shell ανακοίνωσε ότι ανάθεσε στην Samsung Heavy Industries την κατασκευή του Prelude, ενός FLNG μήκους 488 μέτρων

³⁴ Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU Appedix 3. Table of Global Active LNG Fleet, Year-End 2019. Σελ.111](#)

³⁵ Πηγή: [GIIGNL Annual Report November2021.pdf](#) σελ. 20

με δυνατότητα παραγωγής 3,6 MTPA (million tonnes per annum). Το πλοίο παραδόθηκε το 2019, εγκαταστάθηκε στην Δυτική Αυστραλία και αποτελεί τη μεγαλύτερη πλωτή μονάδα παραγωγής LNG. Τέσσερις μονάδες ακόμα παραδόθηκαν από το 2017 ως το 2019 για να λειτουργήσουν στη Μαλαισία, στην Αργεντινή και στο Καμερούν, ενώ τρεις ακόμη βρίσκονται υπό κατασκευή ώστε να παραδοθούν τα επόμενα έτη (2021 έως 2023)³⁶.

Σύμφωνα με τον κατάλογο των ενεργών LNGCs, που δημοσίευσε ο IGU, στο τέλος του 2019³⁷, η συντριπτική πλειοψηφία των πλοίων ανήκουν στην κατηγορία των conventional. Στην συγκεκριμένη καταμέτρηση βέβαια, όλα τα πλοία με χωρητικότητα άνω των 30.000 m³ συνυπολογίζονται ως conventional.

Συγκεκριμένα σε σύνολο 580 πλοίων, έχουμε:

Σύνολο ενεργών πλοίων	Conventional	Q-Flex	Q-Max	Icebreaker	FSU	FSRU
580	479 ³⁸	31	14	15	4	37

Πίνακας 16. Αριθμός ενεργών πλοίων LNG στα τέλη του 2019, ανάλογα με τον τύπο τους. Πηγή, εξαγωγή δεδομένων: [World LNG Report 2021 | IGU Appendix 3. Table of Global Active LNG Fleet, Year-End 2019. Σελ.111](#)

Τέλος ανάλογα με το σύστημα πρόωσης που διαθέτουν διακρίνονται σε:

1. Steam Turbine
2. DFDE (Dual-Fuel Diesel Electric)-TFDE (Triple-Fuel Diesel Electric)
3. SSSDR (Slow-Speed Dual with Re-liquefaction Plant)
4. ME-GI (High-Pressure Slow-Speed Dual-Fuel)
5. Winterthur Gas & Diesel X-DF

³⁶ [World LNG Report 2021 | IGU](#) Appedix 1: Table of Global Liquefaction Plants, σελ. 106

³⁷ Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU Appendix 3. Table of Global Active LNG Fleet, Year-End 2019. Σελ.111](#)

³⁸ Αφαιρώντας τα 11 πλοία κάτω των 120.000 m³, που συνυπολογίστηκαν, ο πραγματικός αριθμός που προκύπτει είναι 468 πλοία conventional size.

6. STaGE (Steam Turbine and Gas Engine)

Με τα χαρακτηριστικά του κάθε τύπου πρόωσης θα ασχοληθούμε αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.3.2 της παρούσας εργασίας.

3.3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΥΦΑ

Από την δεκαετία του '60 ως σήμερα, ο κλάδος αναπτύχθηκε ραγδαία. Τα πλοία εξελίχθηκαν, έγιναν μεγαλύτερα, καινούρια συστήματα δοκιμάστηκαν και ενσωματώθηκαν, αλλά η φιλοσοφία της τεχνολογίας των πλοίων LNG παρέμεινε η ίδια. Το 1983, εγκρίθηκε για πρώτη φορά ο κώδικας IGC (International Gas Carrier Code) ο οποίος καθορίζει τα πρότυπα για τα υλικά, τον τρόπο κατασκευής και τον εξοπλισμό των πλοίων που μεταφέρουν υγροποιημένα αέρια και εφαρμόστηκε σε όλα τα πλοία από το 1986. Η τελευταία αναθεώρησή του έγινε το Μάιο του 2014 και ισχύει σε όλα τα πλοία από τον Ιανουάριο του 2016³⁹.

Τα σύγχρονα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι πολύ ακριβές και εξειδικευμένες κατασκευές, ενώ η τεχνολογία τους εξελίσσεται διαρκώς. Σήμερα η ναυπήγηση ενός LNG πλοίου κοστίζει πάνω από 200 εκατομμύρια δολάρια (η τιμή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του και τον εξοπλισμό του) και χρειάζεται πάνω από 2 χρόνια για να ετοιμαστεί. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη μόνωση των δεξαμενών αλλά και στην πρόωση, για καλύτερες επιδόσεις στη σχέση ταχύτητας-κατανάλωσης-εκπομπής ρύπων.

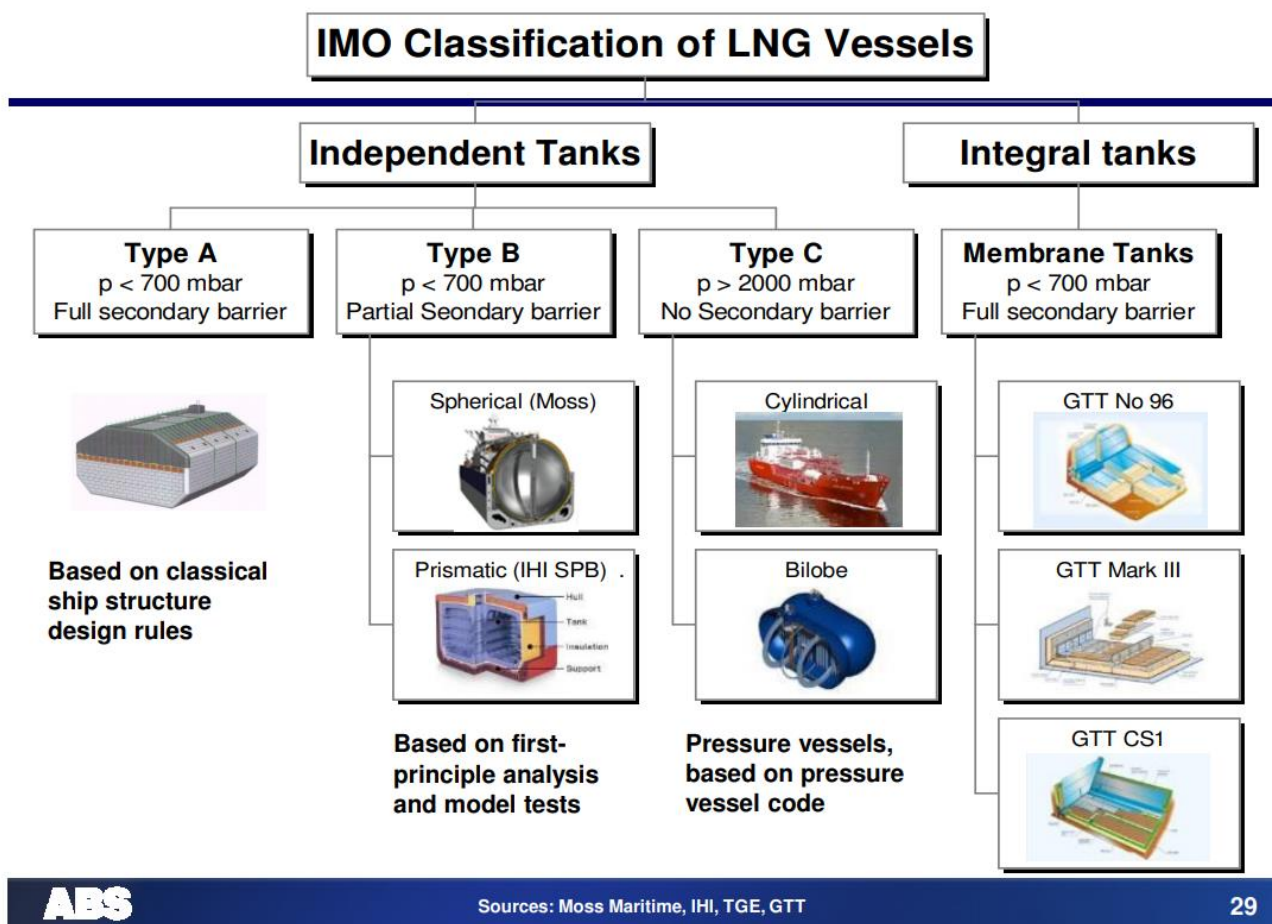
Ένα τυπικό πλοίο αυτού του είδους έχει μήκος γύρω στα 300 μέτρα και πλάτος 42-45 μέτρα ενώ η ταχύτητά του είναι γύρω στους 21 κόμβους. Διαθέτει διπλά τοιχώματα και σαν καύσιμη ύλη χρησιμοποιεί πετρέλαιο, αλλά και τις εξατμίσεις του φορτίου (boil off).

Λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τόσο του πλοίου όσο και του φορτίου, καθώς και της συνεχούς εξέλιξης του κλάδου, τα πληρώματα που στελεχώνουν τα συγκεκριμένα πλοία χρειάζονται εξειδικευμένη εκπαίδευση και συχνή αναβάθμιση των γνώσεων και τεχνογνωσίας τους, ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του τομέα.

³⁹ [IGC Code \(imo.org\)](http://www.imo.org) (IMO, n.d.)

3.3.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ

Σύμφωνα με τον IGC Code⁴⁰ (MSC 93/22/Add.1 Annex 6), οι δεξαμενές φορτίου των πλοίων που μεταφέρουν αέριο μπορούν να είναι είτε ανεξάρτητες (independent) είτε ενσωματωμένες (integral), πάντοτε όμως αποτελούν ξεχωριστές κατασκευές που προστίθενται στο σκάφος. Οι ενσωματωμένες δεξαμενές είναι τύπου μεμβράνης. Οι ανεξάρτητες δεξαμενές θα πρέπει να ανήκουν σε ένα από τους τύπους A, B ή C με συγκεκριμένες προδιαγραφές στην κατασκευή τους (εικόνα 24).



Εικόνα 24. Πηγή: (Delpizzo, 2014) ABS- Gas Carriers: Arrangements & Characteristics [Microsoft PowerPoint - Marine Chemist 22July14 EA with notes.pptx \(wordpress.com\)](#)

⁴⁰ AMENDMENTS TO THE INTERNATIONAL CODE FOR THE CONSTRUCTION AND EQUIPMENT OF SHIPS CARRYING LIQUEFIED GASES IN BULK (IGC CODE). Πηγή: <https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj1uozBx5P2AhUHhP0HHQ9ICf8QFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Fvaltioneuvosto.fi%2Fdeletegate%2Ffile%2F1888&usg=AOvVaw1sW1jz6xJm63skaPDnw0Ya>

Οι δεξαμενές τύπου A⁴¹ (IGC 4.21.1) είναι πρισματικού σχήματος, κατασκευάζονται κυρίως από επίπεδες επιφάνειες και η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση γι' αυτές είναι λιγότερη από τα 700 mbar. Απαιτείται η ύπαρξη διπλού τοιχώματος.

Οι δεξαμενές τύπου B μπορεί να είναι σφαιρικές ή επίπεδες. Οι σφαιρικές είναι συνήθως τύπου MOSS και οι επίπεδες πρισματικές. Η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση και γι' αυτές είναι τα 700 mbar και απαιτείται μερική κάλυψη από διπλό φράγμα (στο μέρος που βρίσκεται μέσα στο κύτος). Επίσης επιβάλλεται η ύπαρξη ενός μικρού συστήματος προστασίας (IGC 4.22.1.2 και 4.7.6.1)⁴² ικανού να διαφυλάξει τον πυθμένα κάτω από τις δεξαμενές από μια διαρροή φορτίου. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένας είδος δίσκου συλλογής υγρών κάτω από την δεξαμενή. Ο σκοπός αυτών των δύο προφυλάξεων είναι να διασφαλίσουν ότι το τοίχωμα του κύτους δεν θα έρθει σε επαφή με το κρυογονικό φορτίο σε περίπτωση διαρροής.

Οι δεξαμενές τύπου C μπορεί να είναι σφαιρικές ή κυλινδρικές και μπορούν να τοποθετηθούν κάθετα ή οριζόντια. Είναι ειδικά σχεδιασμένες για μεγάλες πιέσεις, μέχρι και 2000 mbar. Αυτού του είδους οι δεξαμενές χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρά πλοία small scale ή σε πλοία που δεν μεταφέρουν υγροποιημένο φυσικό αέριο, αλλά το χρησιμοποιούν ως καύσιμο για τις μηχανές τους.

Στα μεγαλύτερα, συμβατικά LNG πλοία χρησιμοποιούνται κυρίως οι δεξαμενές μεμβράνης και οι δεξαμενές τύπου B.

Στον πίνακα της IGU για τα πλοία LNG που ήταν ενεργά στο τέλος του 2019⁴³ σε σύνολο 580 ενεργών πλοίων τα 460 έφεραν δεξαμενές μεμβράνης και τα 111 σφαιρικές, ενώ υπήρχαν μόνο 7 πλοία με πρισματικές και 2 Type .

⁴¹ MSC 93/22/Add.1 Annex 6 παράγραφος 4.21.1

⁴² (IGC, 2022)Resolution MSC.5(48) - IGC-Code Int. Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk Πηγή: [Resolution MSC.5\(48\) - IGC-Code Int. Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk - Netherlands Regulatory Framework \(NeRF\) – Maritime \(overheid.nl\)](#)

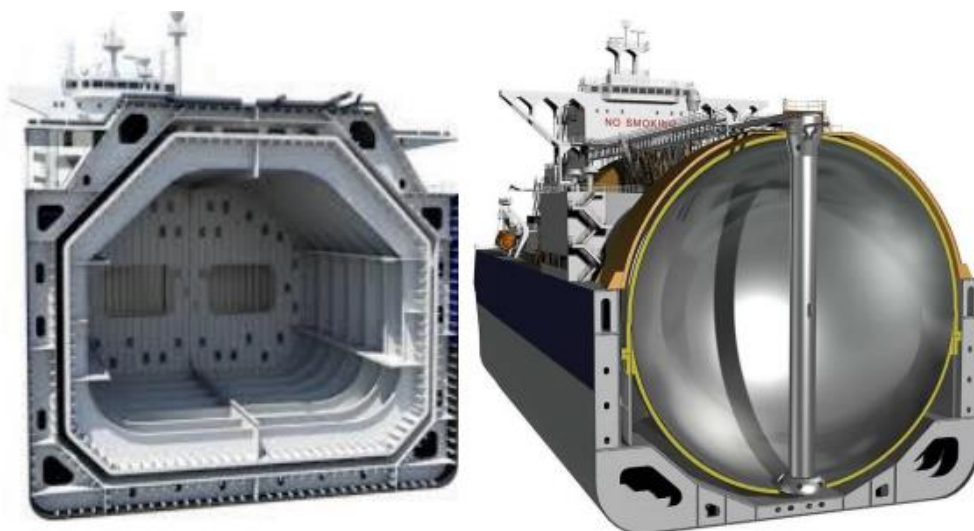
⁴³ Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU Appedix 3. Table of Global Active LNG Fleet, Year-End 2019. Σελ.111](#)

Σύνολο ενεργών πλοίων	Membrane	Spherical	Self-Supporting Prismatic	Type C
580	460	111	7	2

Πίνακας 17. Αριθμός ενεργών πλοίων LNG στα τέλη του 2019, ανάλογα με τον τύπο δεξαμενών τους.

Πηγή δεδομένων: [World LNG Report 2021 | IGU Appendix 3. Table of Global Active LNG Fleet, Year-End 2019. Σελ.111](#)

Τα συστήματα μεμβράνης σχεδιάζονται κυρίως από τις Gaztransport και Technigaz, ενώ οι σφαιρικές δεξαμενές είναι κυρίως τύπου Moss.



Εικόνα 25. Σχηματική απεικόνιση των δεξαμενών μεμβράνης και MOSS. Πηγή: (Studies)[The-LNG-Shipping-Forecast-costs-rebounding-outlook-uncertain-Insight-27.pdf \(oxfordenergy.org\)](#)

Τα περισσότερα πλοία διαθέτουν 4 με 5 δεξαμενές φορτίου, σχεδιασμένες να διατηρούν το φορτίο σε κρυογονική θερμοκρασία, περίπου -162 βαθμούς Κελσίου. Οι δεξαμενές περιβάλλονται από δεξαμενές έρματος και κενούς χώρους, για επιπλέον προστασία από τυχόν διαρροές του φορτίου.

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε πιο αναλυτικά με τα κυριότερα συστήματα που βρίσκονται σε χρήση σήμερα:

1. Συστήματα Δεξαμενών Μembrάνης:

Οι δύο τύποι μεμβράνης που κυριαρχούν είναι:

1. Η Mark III της Technigaz και
2. Η NO96 της Gaztransport

Οι δύο εταιρείες συγχωνεύτηκαν το 1994 και σχημάτισαν την Gaztransport & Technigaz

Ένας νέος τύπος μεμβράνης, το σύστημα KC-1, που σχεδιάστηκε από την KOGAS (Korea Gas Corporation), έχει εμφανιστεί τα τελευταία χρόνια στην αγορά, σπάζοντας το μονοπώλιο της GTT.

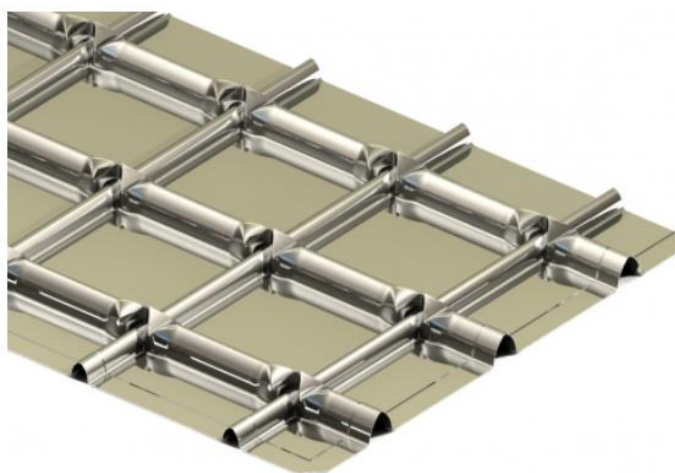
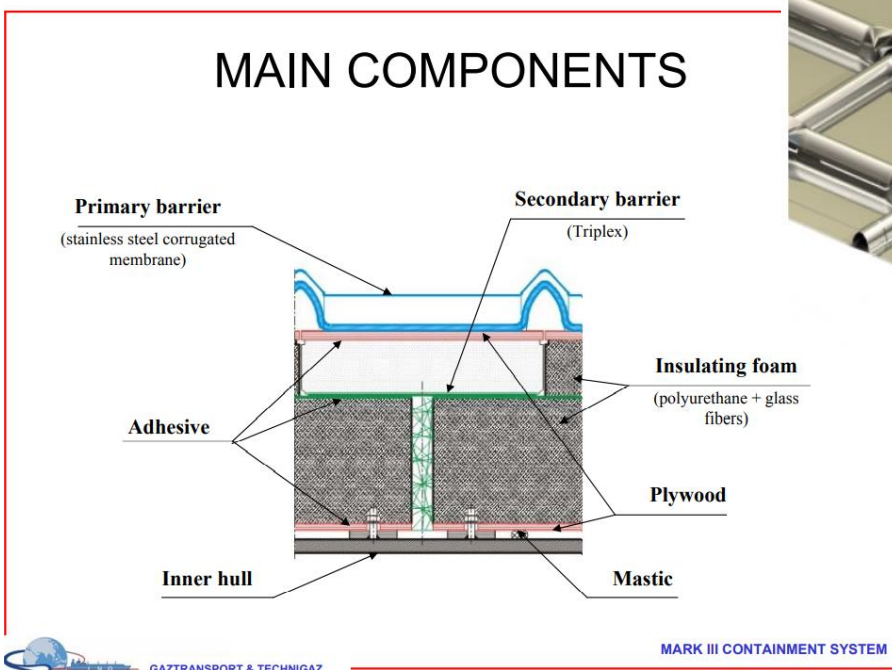


Εικόνα 26. Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου αερίου τύπου Membrane. Πηγή: [SIGTTO lng-shipping-at-50compressed.pdf \(sigtto.org\)](http://sigtto.org/lng-shipping-at-50compressed.pdf)

Τα συστήματα μεμβράνης MARK III είναι δεξαμενές «non self-supporting» (μη αυτόνομες), δηλαδή υποστηρίζονται από τη δομή του σκελετού του πλοίου, σα να είναι μέρος του (ενσωματώνονται). Τα τοιχώματα των δεξαμενών αποτελούνται από ένα

λεπτό φύλλο κυματοειδούς μεμβράνης⁴⁴ από ανοξείδωτο χάλυβα. Αυτή η μεμβράνη αποτελεί την πρωτεύουσα μεμβράνη, έχει πάχος 1,2 χιλιοστά και είναι τοποθετημένη πάνω σε ένα προκατασκευασμένο μονωτικό σάντουιτς δύο φραγμάτων. Το σάντουιτς αυτό περιλαμβάνει την πρωτεύουσα μόνωση, μια δεύτερη μεμβράνη (δευτερεύουσα μεμβράνη) και την δευτερεύουσα μόνωση και έχει συνολικό πάχος 270 χιλιοστά.

Η μόνωση αποτελείται από αφρό πολουρεθάνης πάχους 160 χιλιοστών, ενισχυμένο με ίνες γυαλιού, που περικλείεται από κόντρα πλακέ και η δεύτερη μεμβράνη από το σύνθετο υλικό Triplex, το οποίο είναι⁴⁵ ένα φύλλο αλουμινίου συμπιεσμένο ανάμεσα σε δυο φύλλα υφάσματος από υαλοβάμβακα (Glass cloth).



Εικόνα 27. Λεπτομέρεια της μεμβράνης MARK III. Πηγή: [Mark III systems | GTT](#)

Εικόνα 17. Τα κύρια συστατικά του συστήματος MARK III της Technigaz. Πηγή: GTT: The Mark III Containment System. Training pdf (2003).

Στις προδιαγραφές της μεμβράνης MARK III αναφέρεται πως εξασφαλίζει αναλογία εξάτμισης (boil-off) του φορτίου από 0,15 ως 0,125% της συνολικής ποσότητας του φορτίου ανά ημέρα, αν και επισημαίνεται πως αυτό εξαρτάται κι από το μέγεθος του

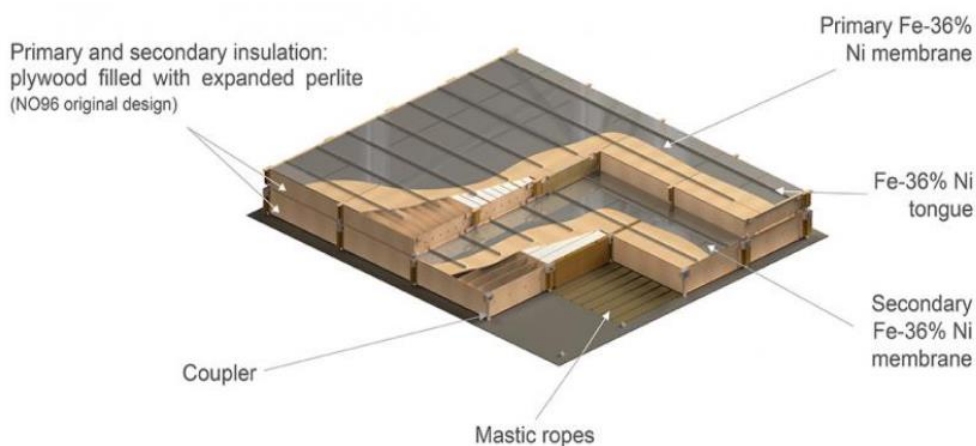
⁴⁴ Ιστοσελίδα εταιρείας GTT. Πηγή: [Mark III systems | GTT](#)

⁴⁵ GTT Training Membrane Tanks. Πηγή: [General presentation \(onthemosway.eu\)](#)

πλοίου, την διαρρύθμιση των αμπαριών και την κατασκευή τους. Οι πιο εξελιγμένες εκδόσεις MARK III Flex και MARK III Flex +, στις οποίες το σάντουιτς είναι πιο παχύ (400 και 480 χιλιοστά αντίστοιχα), προσφέρουν καλύτερες επιδόσεις εξάτμισης φορτίου, που φτάνουν πλέον το 0,07%.

Στο σύστημα μεμβράνης NO96⁴⁶ οι πρωτεύουσες και δευτερεύουσες μεμβράνες είναι παρεμφερείς. Έχουν πάχος 0,7 χιλιοστά και είναι φτιαγμένες από Invar, ένα κράμα χάλυβα με περιεκτικότητα 36% νικελίου. Οι μεμβράνες τοποθετούνται σε λωρίδες πλάτους 500 χιλιοστών κατά μήκος των τοιχωμάτων της δεξαμενής και υποστηρίζονται από το πρωτεύον και δευτερεύον στρώμα μόνωσης, που περιλαμβάνει μικρά κουτιά από κόντρα πλακέ γεμισμένα με περλίτη.

NO96 concept



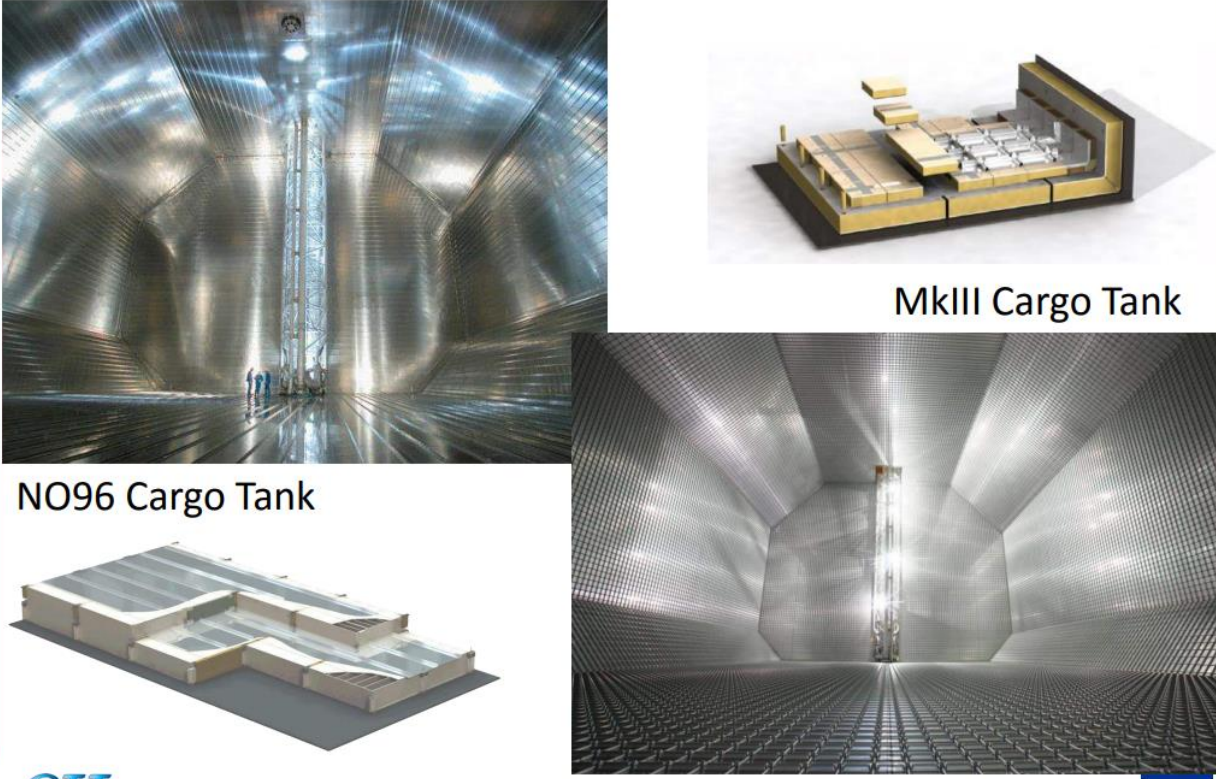
Εικόνα 18. NO96 System. Πηγή: [NO96 system | GTT](#)

Στην πιο εξελιγμένη έκδοση NO96 GW ο περλίτης έχει αντικατασταθεί από υαλοβάμβακα ενώ στην NO96 L03 από υαλοβάμβακα και αφρό. Το συνολικό πάχος του συστήματος σε όλες τους τις εκδόσεις είναι 530 χιλιοστά. Στις προδιαγραφές του

⁴⁶ Ιστοσελίδα εταιρείας GTT. Πηγή: [NO96 system | GTT](#)

συστήματος⁴⁷ αναφέρεται ότι η αναλογία boil-off είναι: 1,15% για τη NO96, 0,123% για τη NO96 GW και 0,10% για τη NO96 L03+.

NO96 & MkIII Technologies



ON-MOS way

MkIII Cargo Tank

NO96 Cargo Tank

GTT Training

Safety Excellence Innovation Teamwork Transparency

5

Εικόνα 19. Δεξαμενές μεμβράνης NO96 της Gaztransport (αριστερά) και της Technigaz (δεξιά). Πηγή: GTT Training: Membrane Cargo Containment Membrane Systems, 2015, [General presentation \(onthemosway.eu\)](http://onthemosway.eu)

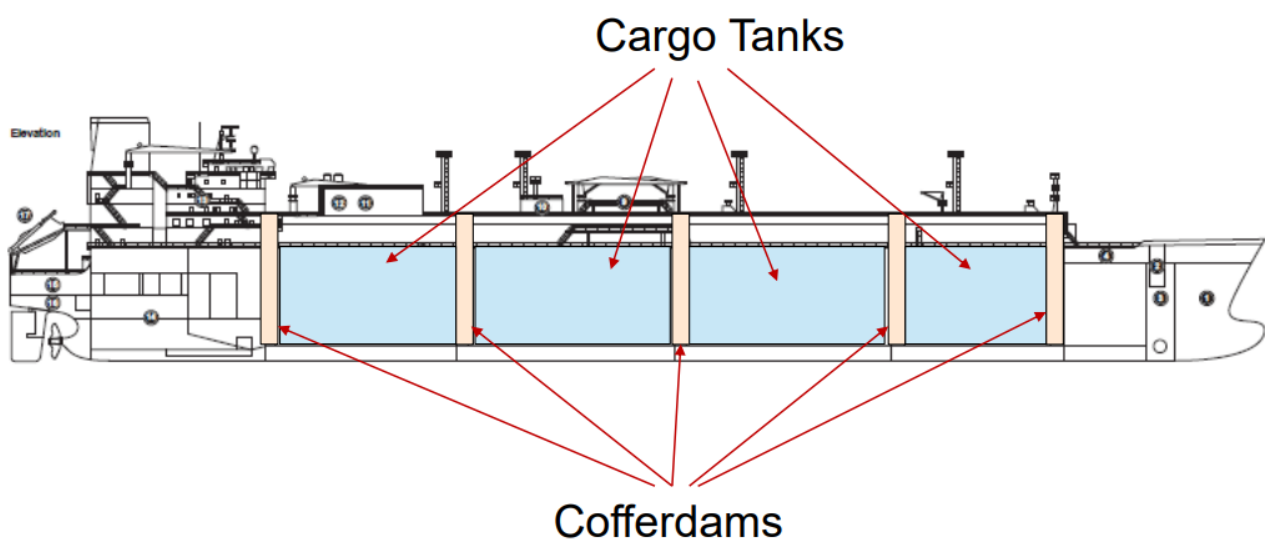
Σε κάθε δεξαμενή, όπως διακρίνεται στην εικόνα 19, υπάρχει ένας πύργος αντλιών (Pump Tower) που φαίνεται να κρέμεται από την οροφή. Μέσα σ' αυτόν βρίσκονται οι αντλίες εκφόρτωσης (main cargo pumps), η αντλία αποστράγγισης (stripping/spray pump), η γραμμή για την φορητή αντλία (emergency cargo pump), η αντλία διαχείρισης αερίου (fuel gas pump) και η γραμμή φόρτωσης.

⁴⁷ Ιστοσελίδα εταιρείας GTT. Πηγή: [NO96 system | GTT](http://www.gtt.com)

Σε όλα τα συστήματα μεμβράνης, τα αμπάρια δεν έχουν κοινά τοιχώματα μεταξύ τους, όπως συμβαίνει π.χ. στα δεξαμενόπλοια που μεταφέρουν πετρέλαιο. Ανάμεσα στις δεξαμενές μεσολαβούν κενοί χώροι, τα “cofferdams”. Η ύπαρξή τους εξασφαλίζει ότι αν παρά τις μονώσεις, παρουσιαστεί διαρροή από μια δεξαμενή, το κρυογονικό φορτίο δεν θα επηρεάσει άμεσα το χάλυβα του κύτους προκαλώντας του ρήγμα (κρακ). Ο κενός χώρος είναι αρκετά μεγάλος ώστε να επιτρέπει την συχνή επιθεώρηση για τυχόν αλλοιώσεις στα τοιχώματα (cold spots), συντήρηση, επισκευή και άντληση των νερών που προκαλούνται από την υγρασία που δημιουργείται λόγω διαφορών θερμοκρασίας.

Μέσα στα cofferdams έχουν τοποθετηθεί αισθητήρες θερμοκρασίας (temperature sensors), καθώς και ένα σύστημα θερμαντικών στοιχείων (Heating coils) που διατηρούν τη θερμοκρασία του cofferdam στους +5 βαθμούς Κελσίου και άνω όταν το πλοίο είναι φορτωμένο. Μέσα στα θερμαντικά στοιχεία διοχετεύεται θερμαινόμενο μίγμα νερού με γλυκόλη (Glycol water).

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 20, σε ένα σύστημα τεσσάρων δεξαμενών μεμβράνης υπάρχουν πέντε cofferdams, τρία ανάμεσα στις δεξαμενές, ένα στην πλώρη κι ένα στην πρύμη μετά την τελευταία δεξαμενή.



Εικόνα 20. Δεξαμενές και Cofferdams. Πηγή: GTT Training Membrane Tanks. [General presentation \(onthemosway.eu\)](http://onthemosway.eu)

Ένα από τα πλεονεκτήματα των συστημάτων μεμβράνης είναι ότι μπορούν να εφαρμοστούν σε οποιοδήποτε σχήμα και χωρητικότητα δεξαμενών μην αφήνοντας ανεκμετάλλευτο χώρο. Επίσης είναι λεπτότερο και ελαφρύτερο σύστημα, ενώ οι δεξαμενές μεμβράνης δεν εξέχουν του καταστρώματος, όπως οι σφαιρικές, συνεπώς δεν περιορίζουν την ορατότητα από τη γέφυρα του πλοίου. Το σκάφος διατηρεί το αεροδυναμικό του σχήμα, βοηθώντας έτσι και στην εξοικονόμηση καυσίμων. Τα μειονεκτήματά τους είναι ότι υπάρχουν περιορισμοί στα ύψη στάθμης του φορτίου στη δεξαμενή (οπότε δεν προσφέρονται για μερική φόρτωση) και ότι είναι λιγότερο ανθεκτικά στους κυματισμούς της θάλασσας.

Και τα δύο μειονεκτήματα συνδέονται με μία αδυναμία που παρουσιάζουν τα συστήματα μεμβράνης: το φαινόμενο του “sloshing”. Η κίνηση του πλοίου σε μια θαλασσοταραχή μπορεί να προκαλέσει απότομη μετακίνηση του φορτίου μέσα σε δεξαμενή που είναι μερικώς γεμάτη, με αποτέλεσμα να ασκηθούν ισχυρές πιέσεις στα τοιχώματά της. Έχει παρατηρηθεί ότι αυτό το φαινόμενο προκαλεί δομικές βλάβες στην πρωτεύουσα μεμβράνη, που οδηγεί αναπόφευκτα, σε διαρροή του φορτίου μέσα στα στρώματα της μόνωσης. Αυτό γίνεται συνήθως αντιληπτό από τους μετρητές κατανάλωσης αζώτου. Σε όλα τα συστήματα μεμβράνης, διοχετεύεται άζωτο τόσο στην πρωτεύουσα όσο και στη δευτερεύουσα μόνωση, σαν ένα επιπλέον προστατευτικό μέσο. Το άζωτο αδρανοποιεί την περιοχή, αφαιρώντας έτσι τον κίνδυνο ανάφλεξης σε περίπτωση διαρροής του φορτίου (έλλειψη οξυγόνου). Αν υπάρξει βλάβη στην πρωτεύουσα μεμβράνη, τότε θα πέσει η πίεση του αζώτου στην μόνωση, οπότε αυτόματα θα ενεργοποιηθεί η γεννήτρια για να το αναπληρώσει. Συνεπώς, οι ενδείξεις κατανάλωσης αζώτου θα εμφανιστούν αυξημένες.

Προς αποφυγή του κινδύνου για sloshing⁴⁸, η στάθμη των δεξαμενών πρέπει να διατηρείται εντός κάποιων ορίων: Χαμηλότερα από 10% ή ψηλότερα από 70% του ύψους της δεξαμενής.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα συστήματα μεμβράνης, παρόλο που είναι το σύστημα που προτιμούν οι πλοιοκτήτες, θεωρούνται μια δαπανηρή επιλογή λόγω της ακριβής μόνωσης που επιβάλουν.

⁴⁸ Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU](#)

2. Συστήματα Σφαιρικών Δεξαμενών MOSS:

Το συγκεκριμένο σύστημα (τύπου Β, σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του ΙΜΟ) είναι ίσως το πιο αναγνωρίσιμο. Είναι γνωστό ως Moss Rosenberg, Kvaerner Moss ή απλά Moss. Το βασικό χαρακτηριστικό αυτού του τύπου πλοίων είναι οι σφαιρικές δεξαμενές των οποίων το άνω μισό μέρος είναι εκτεθειμένο στο κατάστρωμα του πλοίου.



Εικόνα 21. Πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου με δεξαμενές τύπου MOSS Πηγή: [Hyundai Heavy To Build Moss Type LNG Carriers \(marinelink.com\)](https://www.marinelink.com)

Πρόκειται για αυτόνομες σφαιρικές δεξαμενές, οι οποίες είναι δομικά ανεξάρτητες από το κύτος του σκάφους, επομένως δεν συμβάλλουν στην καταπόνησή του. Τα πλοία αυτού του τύπου διαθέτουν τέσσερις με πέντε δεξαμενές και ξεχωρίζουν για την χαρακτηριστική σιλουέτα τους.

Από το 1973 μέχρι σήμερα, σύμφωνα με την ιστοσελίδα της εταιρείας Moss Maritime⁴⁹, έχουν κατασκευαστεί 145 πλοία αυτής της τεχνολογίας, σε διάφορα ναυπηγεία στην Ασία, στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α.

⁴⁹ Πηγή: [Moss Maritime AS | Gas Technologies \(mossww.com\)](https://www.mossww.com)

Το κράμα 9% νικελ-χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των δεξαμεμών στα πρώτα πλοία, πολύ γρήγορα κρίθηκε ανεπαρκές και αντικαταστάθηκε από ένα κράμα αλουμινίου⁵⁰ «5083-0 alloy of aluminium⁵¹».



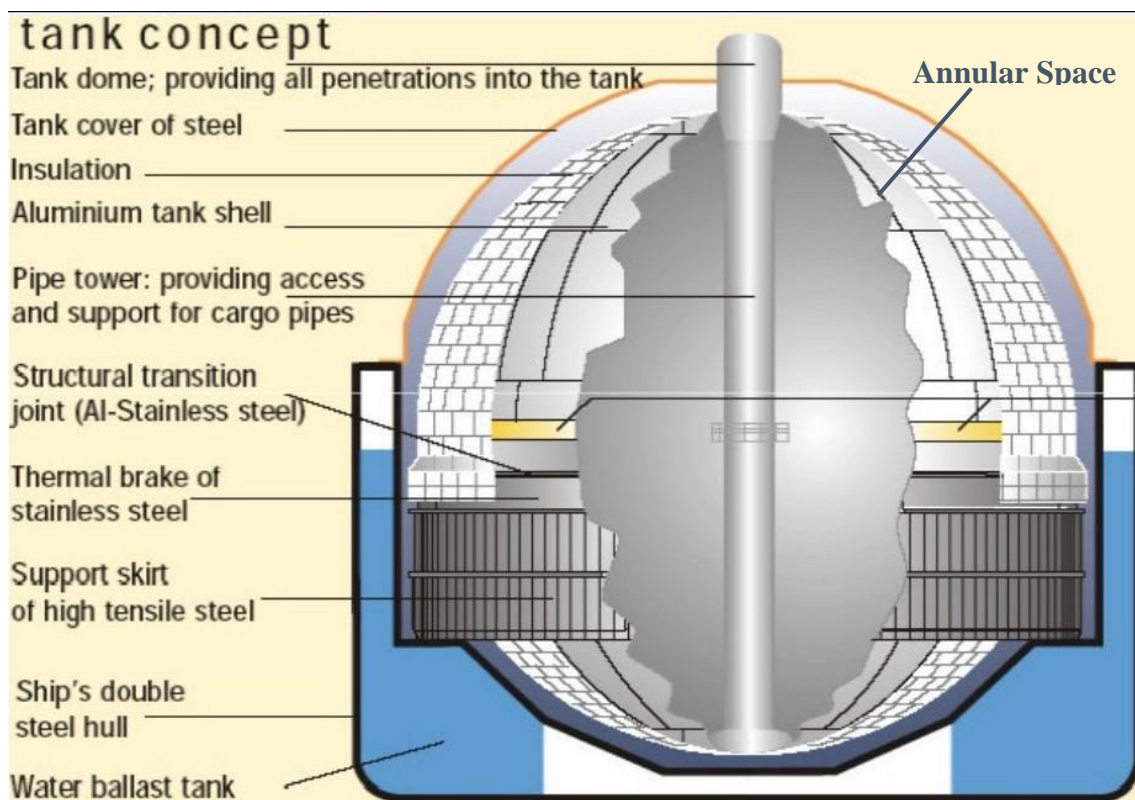
Εικόνα 28. Εισαγωγή σφαιρικής δεξαμενής MOSS σε πλοίο. Πηγή: ABS. Gas Carriers- Arrangements & Characteristics, σελ.35 [Microsoft PowerPoint - Marine Chemist 22July14 EA with notes.pptx \(wordpress.com\)](#)

Κάθε δεξαμενή αποτελείται από πολλές προκατασκευασμένες πλάκες αλουμινίου, πάχους συνήθως 50mm, οι οποίες συγκολλούνται μεταξύ τους σχηματίζοντας δύο ξεχωριστά ημισφαίρια. Τα δύο ημισφαίρια ενώνονται σε μια σφαίρα (βλ. εικόνα 28). Γύρω από τον ισημερινό της σφαίρας εφαρμόζεται ένα χοντρό σφυρηλατημένο

⁵⁰ SIGTTO AT 40 YEARS - A commemorative publication σελ.36 Πηγή: [SIGTTO at 40 Years | SIGTTO - The Society of International Gas Tanker and Terminal Operators](#)

⁵¹ Το κράμα αλουμινίου 5083 είναι ένα κράμα αλουμινίου με μαγνήσιο και ίχνη μαγγάνιου και χρωμίου. Είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό σε προσβολή από θαλασσινό νερό και βιομηχανικές χημικές ουσίες. Το κράμα 5083 διατηρεί εξαιρετική αντοχή μετά τη συγκόλληση. Έχει την υψηλότερη αντοχή από τα μη θερμικά επεξεργάσιμα κράματα. Πηγή: Wikipedia [5083 aluminium alloy - Wikipedia](#)

δαχτυλίδι, ο ισημερινός δακτύλιος (equatorial ring). Αυτός ο δακτύλιος είναι κατασκευασμένος με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζει την αντοχή στις κοπώσεις, να δέχεται την πίεση καθώς και την κίνηση ανάμεσα στη δεξαμενή και τη γάστρα. Είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να καταλήγει σε ένα χείλος που προεξέχει. Καθώς η σφαίρα μισοβυθίζεται μέσα στο σκάφος, το χείλος του ισημερινού «κουμπώνει» πάνω μια κυλινδρική φούστα/ποδιά (skirt) συγκολλημένη στο κύτος του πλοίου. Αυτή η φούστα/ποδιά υποστηρίζει τη δεξαμενή και τη συγκρατεί στη θέση της επιτρέποντάς της να συστέλλεται και να διαστέλλεται ενώ ταυτόχρονα μεταφέρει το βάρος της στο κύτος. Αποτελεί τη μοναδική σύνδεση της δεξαμενής με το πλοίο.

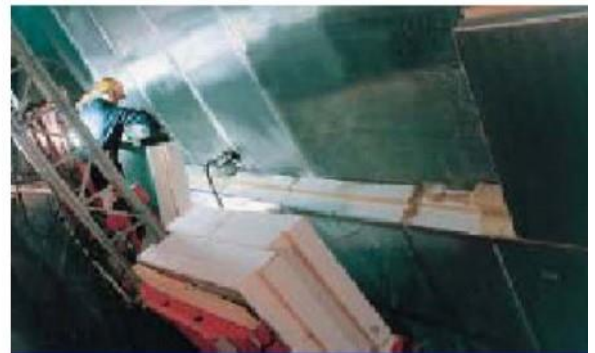
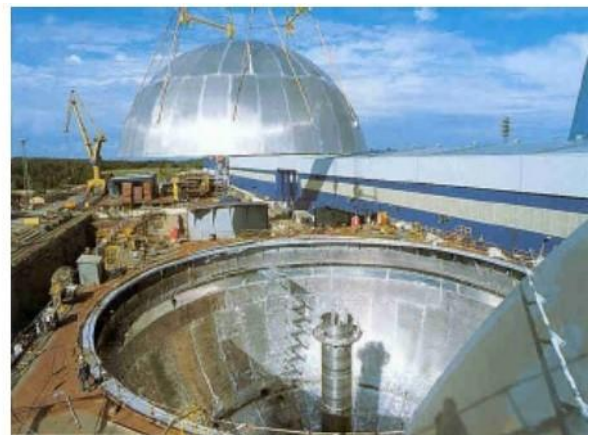
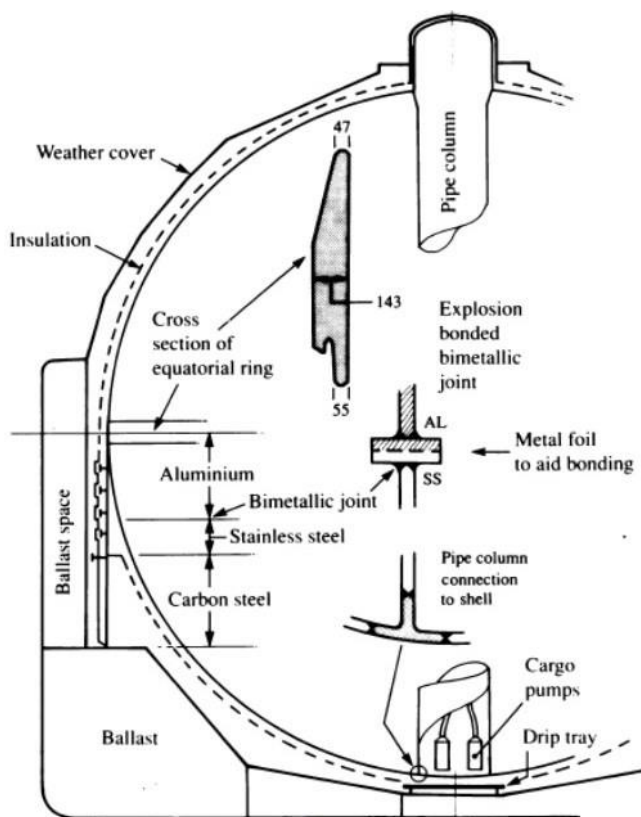


Εικόνα 29. Σχηματική απεικόνιση της δεξαμενής MOSS. Πηγή: ABS. Gas Carriers- Arrangements & Characteristics, σελ.39 [Microsoft PowerPoint - Marine Chemist 22July14 EA with notes.pptx \(wordpress.com\)](#)

Η φούστα/ποδιά, εκτός από την υποστήριξη της δεξαμενής, είναι σχεδιασμένη για να λειτουργεί ως «θερμικό φρένο»⁵² μεταξύ της δεξαμενής και της δομής της γάστρας,

⁵² DNV (Det Norske Veritas AS), Rules for Classification of Ships, Part 5, Chapter 5, 2016, Σελ.16. Πηγή: [DNV Ship rules Pt.5 Ch.5 Liquefied gas carriers \(wordpress.com\)](#)

μειώνοντας τη θερμική αγωγιμότητα από τη δεξαμενή στη δομή στήριξης, εξασφαλίζοντας δηλαδή ότι η χαμηλή θερμοκρασία της δεξαμενής δεν θα μεταφερθεί στο χάλυβα του κύτους, οδηγώντας σε δομικές βλάβες (κρακ). Αποτελείται από τρία μέρη: α) το άνω τμήμα, κατασκευασμένο από το ίδιο υλικό με τη σφαίρα, β) το μεσαίο τμήμα, που κατασκευάζεται από ανοξείδωτο χάλυβα (το θερμικό φρένο) και γ) το κατώτερο τμήμα, το οποίο συγκολλείται στο κύτος και για την κατασκευή του χρησιμοποιείται ανθρακούχος χάλυβας. Το άνω και το μεσαίο τμήμα συνδέονται μεταξύ τους με ένα μεταβατικό σύνδεσμο από αλουμίνιο (STJ= Structural Transition Joint).



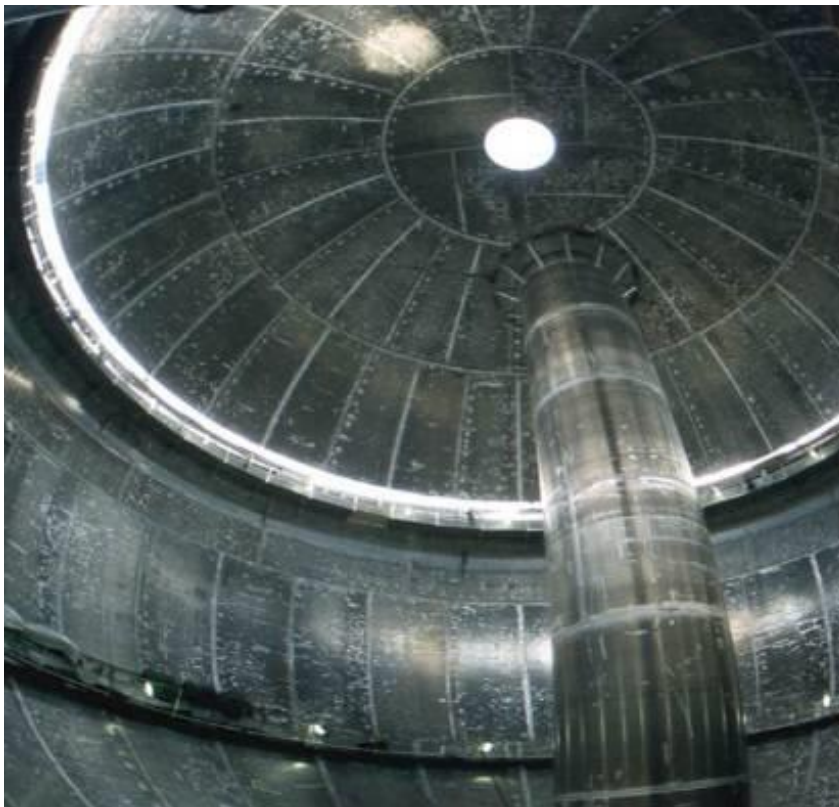
Εικόνα 30. Δεξαμενή MOSS. Σχηματική απεικόνιση δεξαμενής MOSS, λεπτομέρεια των δύο ημισφαιρίων με τον δακτύλιο και τοποθέτηση της μόνωσης. Πηγή: ABS. Gas Carriers- Arrangements & Characteristics, σελ.41 [Microsoft PowerPoint - Marine Chemist 22July14 EA with notes.pptx \(wordpress.com\)](#)

Η μόνωση της δεξαμενής περιλαμβάνει ένα παχύ στρώμα αφρού πολυουρεθάνης (polyurethane foam) ή πάνελ πολυστερίνης (expanded polystyrene) που εφαρμόζεται περιμετρικά σε ολόκληρη την εξωτερική επιφάνεια της σφαίρας και αδρανοποιείται με άζωτο (Nitrogen). Η ίδια μόνωση εφαρμόζεται και στο πάνω μέρος της φούστας/ποδιάς (skirt).

Μεταξύ της μόνωσης και του τοιχώματος της δεξαμενής αφήνεται κενός δακτυλιοειδής χώρος (annular space) που λειτουργεί σαν δίοδος/οδηγός. Οποιαδήποτε διαρροή παρουσιαστεί θα πρέπει να οδηγηθεί, μέσω αυτού του κενού χώρου προς τον δίσκο περισυλλογής στο κάτω μέρος της δεξαμενής (drip tray).

Ο δακτυλιοειδής αυτός χώρος αδρανοποιείται με άζωτο και είναι εφοδιασμένος με σύστημα ανίχνευσης αερίου. Το αδρανές αέριο αποτρέπει επιπλέον και τον κίνδυνο να σχηματιστεί πάγος ανάμεσα στη δεξαμενή και τη μόνωση (εξαιτίας των εσωτερικών χαμηλών θερμοκρασιών του φορτίου).

Ο δίσκος περισυλλογής, που λειτουργεί ως μερικό δευτερεύων φράγμα, πρέπει να είναι ικανός να συγκρατήσει πιθανή διαρροή 15 ημερών, να είναι μονωμένος και να είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να αποτρέπει το «πιτσίλισμα» του φορτίου που έχει διαρρεύσει. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως τοποθετώντας εσωτερικές νευρώσεις στην επιφάνεια του δίσκου. Επιπλέον είναι εφοδιασμένος με αισθητήρες θέρμανσης για την ανίχνευση παρουσίας φορτίου. Ο χώρος του δίσκου αδρανοποιείται επίσης με άζωτο.



Εικόνα 31. Το εσωτερικό μιας δεξαμενής MOSS. Πηγή: [Seaborne Ethane And Demand For A New Ship Type \(marinelink.com\)](http://marinelink.com)

Όλες οι αντλίες και ο σχετικός εξοπλισμός (μετρητές στάθμης, θερμοκρασίας κλπ.) για την φορτοεκφόρτωση βρίσκονται μέσα στον κεντρικό πύργο (εικόνα 31), βυθιζόμενες από το πάνω μέρος της σφαίρας μέσα από μια εύκαμπτη φυσούνα. Αυτό είναι απαραίτητο επειδή λόγω της αλλαγής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της φορτοεκφόρτωσης ή άλλων εργασιών, οι δεξαμενές μπορεί να διασταλούν ακόμα και κατά 60 cm.

Γύρω από τον ισημερινό υπάρχουν διάσπαρτες κεφαλές ψεκασμού, που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας για φόρτωση (στη διαδικασία ψύξης - cooling down της δεξαμενής).

Το ημισφαίριο κάθε δεξαμενής που εξέχει στο κατάστρωμα του πλοίου, καλύπτεται από ένα σφαιρικό χαλύβδινο κάλυμμα. Ο ρόλος του είναι η προστασία από τις καιρικές συνθήκες τόσο της ίδιας της δεξαμενής όσο και της μόνωσης που την περιβάλλει. Το κάλυμμα λειτουργεί επίσης ως επιπλέον μόνωση αφού βοηθάει στην διατήρηση της θερμοκρασίας του φορτίου, τον έλεγχο της πίεσης και τον περιορισμό του boil off.

Οι κενοί χώροι ανάμεσα στο εσωτερικό και εξωτερικό τοίχωμα του κύτους του πλοίου χρησιμοποιούνται ως δεξαμενές έρματος, πρακτική που παρέχει μια επιπλέον προστασία σε περίπτωση σύγκρουσης ή προσάραξης.

Ένα από τα θετικά του συστήματος MOSS είναι η απουσία των προβλημάτων του φαινομένου «sloshing» που εμφανίζουν τα συστήματα μεμβράνης. Λόγω του σχήματος της δεξαμενής το υγρό φορτίο μετακινείται χωρίς να ασκεί έντονες πιέσεις στα τοιχώματα, και κατά συνέπεια δεν προκαλεί δομικές βλάβες. Για τον ίδιο λόγο, σε αυτά τα πλοία δεν υπάρχουν περιορισμοί στο ύψος της στάθμης φόρτωσης, συνεπώς επιτρέπεται η μερική φόρτωση των δεξαμενών.

Πλεονέκτημα αποτελεί επίσης η ισχυρή κατασκευή της δεξαμενής που εξασφαλίζει ότι δεν θα δημιουργηθούν ρωγμές σε όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου, όπως και το γεγονός ότι δεν απαιτούνται πανάκριβες μονώσεις εφόσον η δεξαμενή δεν έρχεται σε απευθείας επαφή με το κύτος.

Τέλος, η κατασκευή και τοποθέτησή της στο πλοίο είναι αρκετά πιο γρήγορη, σε σχέση με τις δεξαμενές μεμβράνης, γεγονός που συντομεύει το χρόνο κατασκευής και

παράδοσης ενός νεότευκτου πλοίου. Οι δεξαμενές, ανάλογα με τη δυναμική των ναυπηγικών εγκαταστάσεων, μπορούν είτε να κατασκευαστούν, να συναρμολογηθούν και να μεταφερθούν ολοκληρωμένες στο πλοίο, είτε να μεταφερθούν σε δύο ημισφαίρια και να ενσωματωθούν τμηματικά.

Στα μειονεκτήματα προσμετράται ο περιορισμός της ορατότητας από τη γέφυρα του πλοίου λόγω του ύψους των δεξαμενών. Εξάλλου ο όγκος των δεξαμενών που εξέχουν στο κατάστρωμα προσδίδει στο πλοίο υψηλό κέντρο βάρους, κάνει τα πλοία ευάλωτα στους ανέμους και περιορίζει την ταχύτητά τους λόγω της αντίστασης. Κατά συνέπεια οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμων και αυξημένα κόστη. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι δεξαμενές MOSS είναι πολύ βαριές σε σχέση με τις αντίστοιχες χωρητικότητας δεξαμενές μεμβράνης.

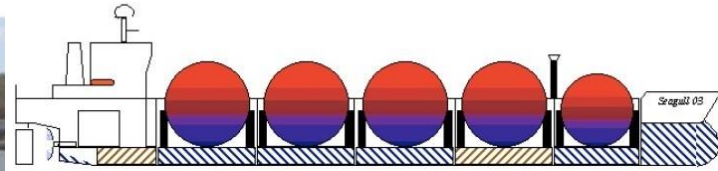
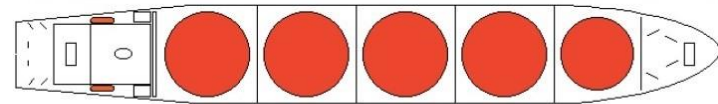
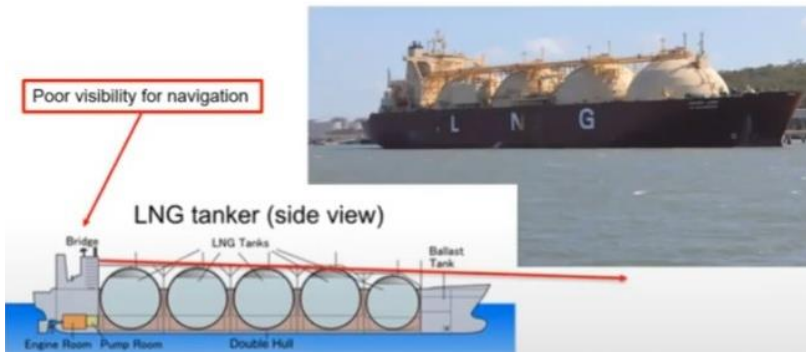
Ένα ακόμα μειονέκτημα αποτελεί η κακή εκμετάλλευση του χώρου σε σχέση με τα πλοία μεμβράνης. Το κάτω ημισφαίριο βυθίζεται μέσα στο κύτος, αλλά λόγω του σχήματός του, αφήνει ανεκμετάλλευτο τον χώρο.

Ο εξωτερικός όγκος των δεξαμενών ευθύνεται και για τα υψηλότερα τέλη που αναγκάζονται να πληρώσουν τα πλοία τύπου MOSS για τη διέλευσή τους από ορισμένα σημεία, όπως η διώρυγα του Σουέζ. Σύμφωνα με την IGU⁵³, το 2015 αυξήθηκαν τα διόδια του Suez Canal και εφαρμόστηκαν νέες διατάξεις. Ειδικά για τα πλοία LNG οι χρεώσεις καθορίζονται πλέον σε σχέση με την ολική χωρητικότητά τους (gross tonnage), λαμβάνοντας υπόψιν το ύψος και το μήκος τους. Αυτή η εξέλιξη αναγκάζει τα πλοία τύπου MOSS να πληρώνουν 25-30% περισσότερες χρεώσεις από τα αντίστοιχα πλοία τύπου Μεμβράνης, που μεταφέρουν τον ίδιο όγκο φορτίου. Στο Κανάλι του Παναμά, αντίθετα, οι χρεώσεις εξαρτώνται από τον όγκο του μεταφερόμενου φορτίου, οπότε δεν υπάρχει διαφορά τιμολόγησης ανάμεσα στους δύο τύπους.

⁵³ IGU World LNG Report 2016 σελ. 42. (IGU, IGU World LNG Report 2016) Πηγή: igu_world_lng_report_2016.pdf (connaissancedesenergies.org)

MOSS-Type cargo containment

Increased number of cargo tanks (4 to 5) to increase cargo capacity



Εικόνα 32. Διάταξη δεξαμενών MOSS σε σχέση με τις διαστάσεις του πλοίου. Πηγή: LNG Carrier [LNG CARRIER \(marineprohelp.com\)](http://LNG CARRIER (marineprohelp.com))

Εικόνα 33. Αύξηση αριθμού δεξαμενών MOSS. Πηγή: MarineSurveying IIMS -LNG shipping technology past, present and future LNG shipping technology past, present and future - YouTube

Τέλος, είναι γεγονός ότι τα πλοία τύπου MOSS δεν μπορούν να αυξήσουν πλέον τη χωρητικότητά τους. Μια σφαιρική δεξαμενή έχει διάμετρο 40 μέτρα, ενώ το πλάτος του πλοίου είναι περίπου 45 μέτρα. Αν προσπαθήσουν να την μεγαλώσουν, θα πρέπει να αυξηθεί ανάλογα και το πλάτος του πλοίου επομένως η μόνη επιλογή είναι η προσθήκη μιας επιπλέον δεξαμενής στη σειρά, που όμως θα προσθέσει 40 μέτρα στο μήκος του πλοίου. Χαρακτηριστικό είναι ότι η πέμπτη δεξαμενή που προστέθηκε στο σχεδιασμό κάποιων πλοίων είναι μικρότερη από τις υπόλοιπες (εικόνες 32-33) για μια σειρά από λόγους όπως ο περιορισμός της ορατότητας, θέματα ευστάθειας, απόδοσης, ταχύτητας κ.α.

Τα πλοία Sayaendo & Sayaringo από τη Mitsubishi

Το πλοίο Sayaendo (ιαπωνική λέξη που σημαίνει κέλυφος μπιζελιού ή μπιζέλια σε λοβό), αναπτύχθηκε από την MHI (Mitsubishi Heavy Industries) ως εξέλιξη του συστήματος MOSS-Rosenberg. Το όνομα περιγράφει εύστοχα το ιδιαίτερο συνεχές σχήμα του προστατευτικού καλύμματος, που αποτελεί την πρώτη καινοτομία αυτού του σκάφους. Τα πρώτα πλοία αυτού του τύπου παραδόθηκαν το 2014.



Εικόνα 34.Sayaendo Πηγή:A Lloyd's Register Report Gas Technology Report, March 2014, σελ. 6
[LR Gas Technology Report 2014_03.pdf \(safety4sea.com\)](#)

Στα συμβατικά σκάφη MOSS, όπως είδαμε, το εκτεθειμένο πάνω μέρος κάθε δεξαμενής καλύπτεται από ένα ημισφαιρικό χαλύβδινο κάλυμμα, που την προστατεύει από τις καιρικές συνθήκες, ενώ το κάτω μέρος στηρίζεται σε μια κυλινδρική φούστα/ποδιά που μεταφέρει το βάρος της σφαίρας στο κύτος.

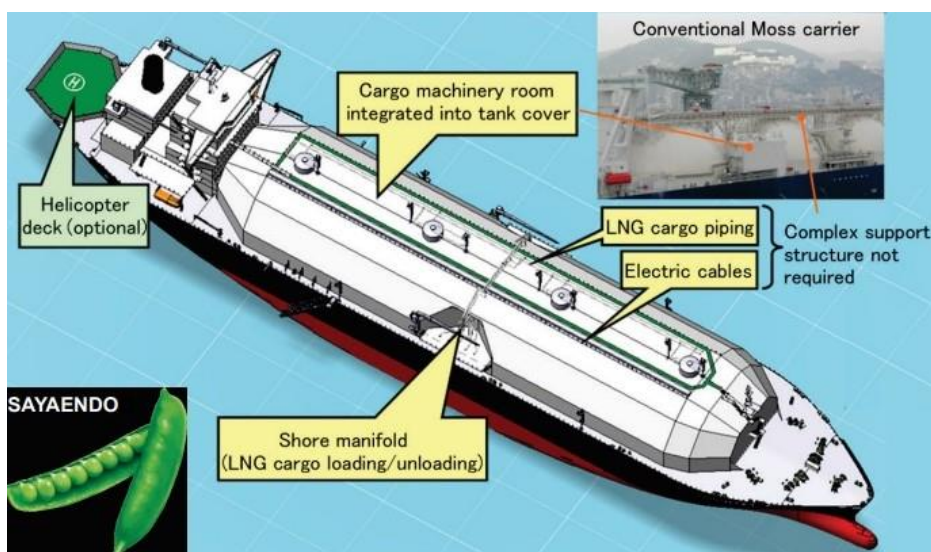
Το Sayaendo, αντιθέτως, καλύπτει όλες τις δεξαμενές με ένα ελαφρύ συνεχές κάλυμμα, σαν μια στέγη, που ενσωματώνεται πλήρως στο κύτος του πλοίου συνεισφέροντας στην αντοχή του. Η κατασκευή μειώνει το βάρος που καλείται να αντέξει το κύτος του πλοίου. Επιπλέον στα συμβατικά σκάφη απαιτούνται πολύπλοκες κατασκευές για να στηρίξουν τις διάφορες σωληνώσεις, καλώδια και ειδικά περάσματα για την πρόσβαση (π.χ. για εργασίες συντήρησης) σε αυτές. Με το νέο σχεδιασμό Sayaendo, όλα αυτά είναι περιττά.

Τέλος το νέο αυτό σχήμα βελτιώνει κατά πολύ το αεροδυναμικό σχήμα του πλοίου, μειώνει την αντίσταση στον άνεμο (κατά 20-40%)⁵⁴, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην ταχύτητα του σκάφους και κατά συνέπεια στην μειωμένη κατανάλωση καυσίμων

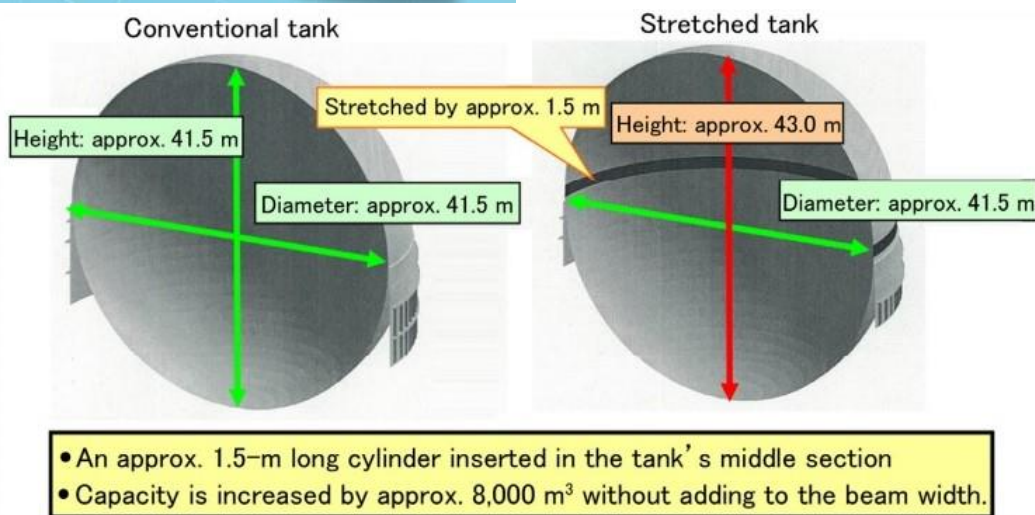
⁵⁴ [155km3 SAYAENDO - New Generation LNGC with Continuous Integrated Tank Cover - Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol.49 No.1\(2012\) \(mhi.co.jp\)](#) σελ.. 16, παρ. 4.1.

(κατά 3-4% της συνολικής κατανάλωσης). Αντιθέτως όσον αφορά τους πλευρικούς ανέμους, οι μετρήσεις δείχνουν ότι δεν επιφέρει μεγάλη διαφορά.

Η δεύτερη καινοτομία του Sayaendo είναι το νέο σχήμα δεξαμενής που εφαρμόζεται στα πλοία και στην βιβλιογραφία περιγράφεται ως «vertically stretched spherical tanks». Όπως φαίνεται στην εικόνα 36, η δεξαμενή διατηρώντας την ίδια διάμετρο, επιμηκύνεται στο εξωτερικό της μέρος (δηλαδή πάνω από τον ισημερινό δακτύλιο) με ένα πρόσθετο κυλινδρικό κομμάτι, που της προσδίδει επιπλέον ύψος (1,5 μέτρο).



Εικόνα 35. Σχηματικά η εξωτερική διάταξη του Sayaendo. Πηγή: [DESIGN OF THE EVOLUTIONARY LNG CARRIER "SAYAENDO"](https://www.wordpress.com) (wordpress.com) σελ. 5



Εικόνα 36. Sayaendo ship: stretched tank. Πηγή: [MHI_PPT_format_r2_E \(gti.energy\)](https://www.gti.energy)

Αυτό το νέο σχήμα δεξαμενής αυξάνει τον όγκο του φορτίου που μπορεί να δεχτεί το πλοίο (περίπου 8.000 m³ ή 5,5% επιπλέον φορτίο) με αποτέλεσμα ένα πλοίο των 147.000 m³ να μετατρέπεται σε 155.000 m³ χωρίς άλλη μετατροπή στις διαστάσεις του.

Όσον αφορά το boil off, η MHI αναφέρει ότι το Sayaendo μπορεί να επιτύχει αναλογία 0,08% της συνολικής ποσότητας του φορτίου ανά ημέρα.⁵⁵

Τέλος, το Sayaendo χρησιμοποιεί ένα υψηλής απόδοσης σύστημα πρόωσης, το UST (Ultra Steam Turbine), που σύμφωνα με την Mitsubishi βελτιστοποιεί την απόδοση του πλοίου κατά 15%⁵⁶.

Μια νέα βελτιστοποιημένη εξέλιξη αποτελεί το πλοίο Sayaringo (στα ιαπωνικά: Saya=Μπιζέλι και Ringo=Μήλο), το οποίο διατηρεί της χαρακτηριστική σιλουέτα της προηγούμενης έκδοσης με το συνεχές κάλυμμα με όλα τα πλεονεκτήματα που προαναφέρθηκαν.



Εικόνα 37. Sayaringo. Πηγή: [SAYARINGO STaGE- Next Generation MOSS-type LNG Carrier with hybrid propulsion plant - Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol.53 No.2\(2016\) \(mhi.co.jp\)](#)

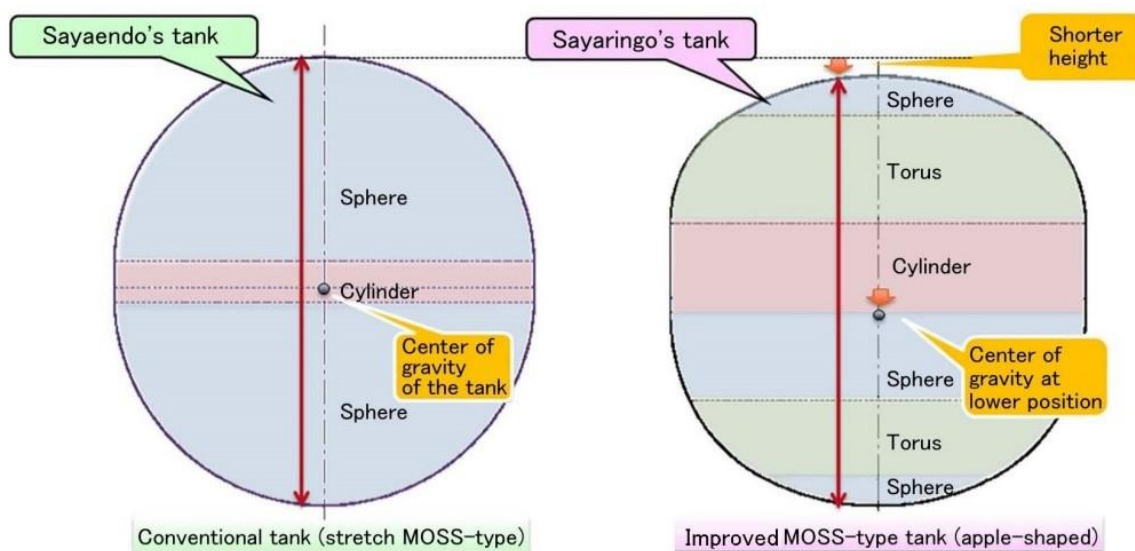
Η διαφοροποίηση έγκειται στις δεξαμενές φορτίου, που αποκτούν το σχήμα «μήλου» και σύμφωνα με τους κατασκευαστές (MHI) αυξάνουν την χωρητικότητα του πλοίου κατά σχεδόν 16% χωρίς να χρειαστεί να αλλάξει το μήκος του πλοίου⁵⁷.

⁵⁵ [DESIGN OF THE EVOLUTIONARY LNG CARRIER “SAYAENDO” \(wordpress.com\)](#)
σελ.18

⁵⁶ [155km3 SAYAENDO - New Generation LNGC with Continuous Integrated Tank Cover - Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol.49 No.1\(2012\) \(mhi.co.jp\)](#) σελ.16, παρ. 4.2.

⁵⁷ [Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Global Website | MHI Completes Development of "Sayaringo STaGE," a Next-generation LNG Carrier Offering Superior Transport Efficiency and Fuel Performance, Engineered for New Panamax Needs](#)

Στην εικόνα 38, φαίνεται ότι η δεξαμενή του Sayaringo, είναι αρκετά διογκωμένη, χάνοντας πλέον το σφαιρικό σχήμα της MOSS. Βλέπουμε ότι έχει προστεθεί κι εδώ ένα κυλινδρικό κομμάτι (cylinder) πάνω από τον ισημερινό, κατά πολύ μεγαλύτερο όμως από το 1,5 μ της προηγούμενης έκδοσης. Δύο επιπλέον δακτύλιοι (torus), ένας σε κάθε ημισφαίριο διογκώνουν τη σφαίρα δίνοντάς της το χαρακτηριστικό σχήμα του μήλου. Η δεξαμενή έχει ελαφρώς μικρότερο ύψος από του Sayaendo κι αυτό μεταφέρει το κέντρο βάρους της σε χαμηλότερη θέση αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τόσο την σταθερότητα της δεξαμενής όσο και την ευστάθεια του πλοίου. Η συνολική χωρητικότητα του πλοίου μπορεί να κυμανθεί από 165.000 m³ ως 180.000 m³ αυξομειώνοντας αναλόγως το πλάτος των πρόσθετων δακτυλίων.



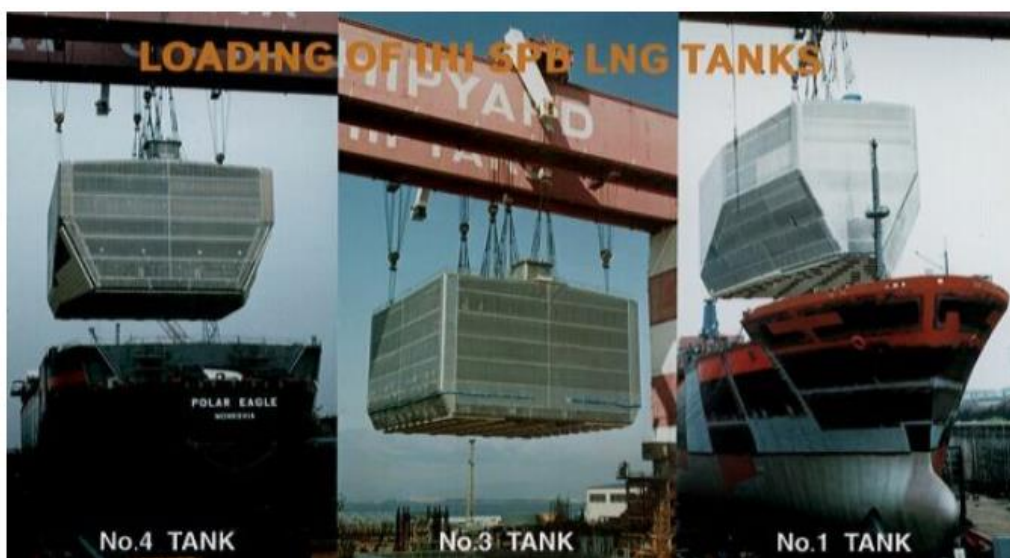
Εικόνα 38. Σύγκριση των δύο δεξαμενών της Mitsubishi. Πηγή: [SAYARINGO STaGE- Next Generation MOSS-type LNG Carrier with hybrid propulsion plant - Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol.53 No.2\(2016\) \(mhi.co.jp\)](#)

Ακόμα μία σημαντική εξέλιξη αυτού του πλοίου είναι ότι χρησιμοποιεί ένα νέο υβριδικό σύστημα πρόωσης, το STaGE (Steam Turbine and Gas Engine), που συνδυάζει τον ατμοστρόβιλο και ένα κινητήρα διπλού καυσίμου DFE (dual-fuel diesel engine) για μεγαλύτερη απόδοση. Σύμφωνα με την Mitsubishi⁵⁸ παρέχει 20% λιγότερη

⁵⁸ [Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Global Website | MHI Completes Development of "Sayaringo STaGE," a Next-generation LNG Carrier Offering Superior Transport Efficiency and Fuel Performance, Engineered for New Panamax Needs](#)

κατανάλωση σε σχέση με το Sayaendo και 40% σε σχέση με τα προηγούμενα συστήματα πρόωσης. Το πρώτο πλοίο αυτού του τύπου παραδόθηκε το 2018.

3. Συστήματα Πρισματικών Δεξαμενών:



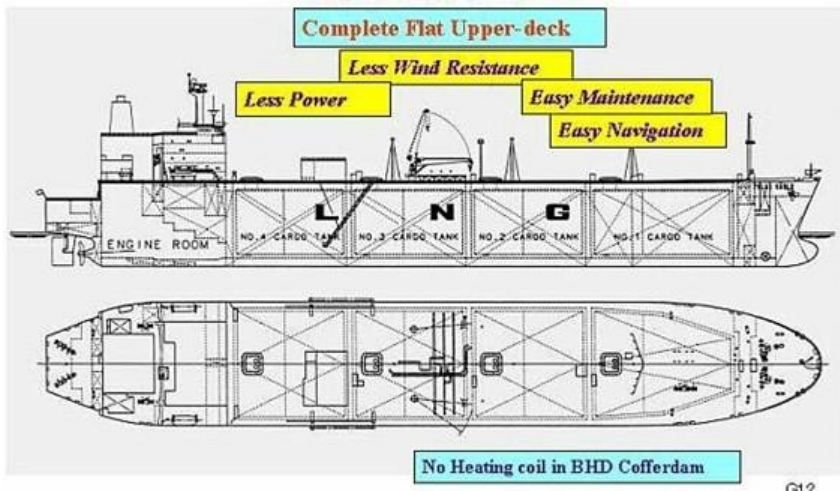
Εικόνα 22. Πρισματικές δεξαμενές σε διάφορα σχήματα. Πηγή: IHI-SPB Tank Shape [SPB_TANK_SHAPE \(ihi.co.jp\)](http://SPB_TANK_SHAPE(ihi.co.jp))

Οι ανεξάρτητες πρισματικές δεξαμενές τύπου B (SPB= Self-supporting Prismatic type B) σχεδιάστηκαν από την ιαπωνική IHI (Ishikawajima-Harima Heavy Industries) και εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά το 1993 στα πλοία Polar Eagle και Arctic Sun (IHI-SPB Technology)⁵⁹, χωρητικότητας 89.000 m³ το καθένα. Τα δυο πλοία κατασκευάστηκαν για να μεταφέρουν υγροποιημένο φυσικό αέριο από την Αλάσκα στο Τόκιο και βρίσκονται ακόμα σε χρήση με τα ονόματα Polar Spirit και Arctic Spirit. Στη συνέχεια, αυτός ο τύπος δεξαμενών χρησιμοποιήθηκε σε μικρό αριθμό πλοίων LNG. Αυτή τη στιγμή, σύμφωνα με τον κατάλογο της IGU⁶⁰ μόνο επτά πλοία φέρουν πρισματικές δεξαμενές, ενώ στο βιβλίο παραγγελιών δεν υπάρχει καμία νέα παραγγελία.

⁵⁹ Πηγή: IHI - SPB Technology [SPB_TECHNOLOGY \(ihi.co.jp\)](http://SPB_TECHNOLOGY(ihi.co.jp))

⁶⁰ Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU](http://World_LNG_Report_2021|IGU)

Ένα από τα χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων δεξαμενών είναι το ελεύθερο πρισματικό σχήμα τους⁶¹. Για την ακρίβεια, η κατασκευή περιλαμβάνει πλάκες, ενωμένες σε ελεύθερο σχήμα διαμαντιού. Αυτό δίνει μεγάλη ευχέρεια για καλή εκμετάλλευση χώρου και μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε σχήμα πλοίου (εικόνα 22). Επιπλέον οι δεξαμενές βυθίζονται πλήρως μέσα στο κύτος, αφήνοντας το κατάστρωμα του πλοίου εντελώς επίπεδο, χωρίς εμπόδια για την ορατότητα από τη γέφυρα, όπως συμβαίνει στα συστήματα μεμβράνης και MOSS.



Εικόνα 24. Το πλοίο Pollar Eagle. Πηγή: [SPB TECHNOLOGY \(ihi.co.jp\)](http://SPB_TECHNOLOGY(ihi.co.jp))

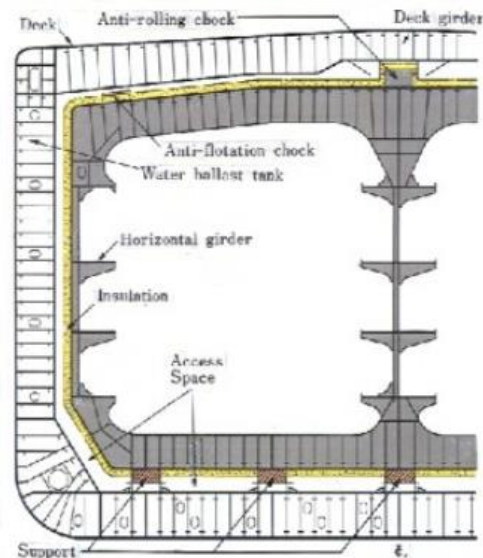
Εικόνα 23. General Arrangement ενός πλοίου SPB. Πηγή: [SPB TECHNOLOGY \(ihi.co.jp\)](http://SPB_TECHNOLOGY(ihi.co.jp))

Η πρισματική δεξαμενή⁶² είναι κατασκευασμένη από σκληρυμένες άκαμπτες πλάκες κράματος αλουμινίου ή από ένα κράμα χάλυβα με 9% νίκελ, ενώ προστατεύεται από μόνωση που αποτελείται από πάνελ αφρού πολουρεθάνης (PUF insulation). Το κάθε πάνελ «κουμπώνει» πάνω στις ειδικές βίδες που υπάρχουν στην εξωτερική επιφάνεια της δεξαμενής. Ανάμεσά τους παρεμβάλλονται ειδικά «μαξιλαράκια» που απορροφούν κινήσεις και κραδασμούς.

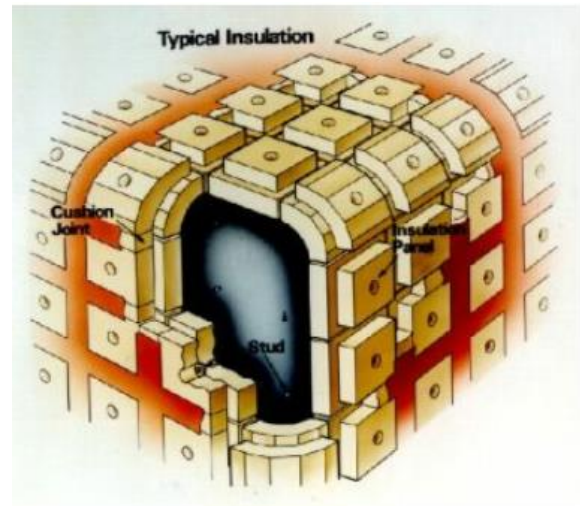
⁶¹ IHI-SPB Tank Shape [SPB TANK SHAPE \(ihi.co.jp\)](http://SPB_TANK_SHAPE(ihi.co.jp))

⁶² IHI-SPB [what is SPB \(ihi.co.jp\)](http://what_is_SPB(ihi.co.jp))

Τέλος, οι δεξαμενές στηρίζονται σε στηρίγματα και τάκους από ειδικά ενισχυμένο κόντρα πλακέ.



Εικόνα 25. Σχηματική απεικόνιση του εσωτερικού πρισματικής δεξαμενής. Πηγή: [what is SPB \(ihi.co.jp\)](http://what.is.SPB(ihi.co.jp))



Εικόνα 26. Σχηματική απεικόνιση της μόνωσης πρισματικής δεξαμενής. Πηγή: [SPB_TANK_INSULATION \(ihi.co.jp\)](http://SPB_TANK_INSULATION(ihi.co.jp))

Κάθε δεξαμενή SPB είναι διαιρεμένη σε τέσσερα τμήματα, ιδιαιτερότητα που επιτρέπει την μερική φόρτωση, εξαλείφει τον κίνδυνο του sloshing και ελαχιστοποιεί το boil-off. Στο εσωτερικό υπάρχουν οριζόντιοι δοκοί, που χρησιμοποιούνται για την επιθεώρηση των δεξαμενών. Σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρεία σε περίπτωση δεξαμενισμού του πλοίου (dry docking) για επισκευές, η επιθεώρηση όλων των δεξαμενών μπορεί να ολοκληρωθεί σε μισή μέρα.

Το φρεάτιο αντλιών που βρίσκεται στο κάτω μέρος εξασφαλίζει την σχεδόν πλήρη αποστράγγιση του υγρού φορτίου, αν αυτό ζητηθεί για κάποιο λόγο.

3.3.2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΩΣΗΣ

Για να διατηρείται η πίεση στις δεξαμενές φορτίου σε ασφαλή επίπεδα είναι αναγκαίο να αφαιρείται το BOG και να χρησιμοποιείται ως καύσιμο στις μηχανές για την πρόωση του πλοίου. Γι' αυτό το λόγο, όλα τα συστήματα πρόωσης των πλοίων LNG είναι διπλού καυσίμου, χρησιμοποιούν δηλαδή τόσο τα συμβατικά υγρά καύσιμα (πετρέλαιο) όσο και αέριο (BOG).

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 3.2, τα συστήματα πρόωσης που φέρουν τα περισσότερα πλοία μεταφοράς υδροποιημένου φυσικού αερίου ανήκουν στις παρακάτω έξι κατηγορίες:

1. Steam Turbine: Το πρώτο σύστημα που χρησιμοποιήθηκε (βλ. κεφ. 3.1) ήταν ο ατμοστρόβιλος, που κυριάρχησε απόλυτα ως τις αρχές της δεκαετίας του 2000. Πρόκειται για μηχανή εξωτερικής καύσης⁶³, επειδή η καύση δεν γίνεται μέσα στην ίδια τη μηχανή αλλά σε εξωτερική συσκευή, τον ατμολέβητα. Δύο ατμολέβητες παρέχουν ατμό υψηλής πίεσης σε θερμοκρασία άνω των 500 βαθμών Κελσίου, ο οποίος διοχετεύεται στην κύρια μηχανή, που βρίσκεται ο στρόβιλος.

Στην κύρια μηχανή, ο ατμοστρόβιλος αποτελείται⁶⁴ από το σταθερό μέρος, το κέλυφος, μέσα στο οποίο βρίσκεται το κινητό μέρος το στροφέιο. Αυτό αποτελείται από τον άξονα πάνω στον οποίο προσαρμόζεται ένας ή και παραπάνω τροχοί με κινητά πετρώγια. Η πίεση του ατμού στα πετρώγια κινεί τον άξονα και έτσι επιτυγχάνεται η κινητική ενέργεια που μεταδίδεται τελικά στην προπέλα του πλοίου. Γι' αυτό το λόγο, ο ατμοστρόβιλος κατατάσσεται στις περιστροφικές μηχανές.

⁶³ Δανιήλ, Γεώργιος Φ., ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΓΙΑ ΠΛΟΙΑΡΧΟΥΣ, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2021 (Δανιήλ, 2021) σελ.13 Πηγή: stoixeia_nautikon_mixanon_ploiarxoi.pdf (eef.edu.gr)

⁶⁴ Δανιήλ, Γεώργιος Φ., ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΓΙΑ ΠΛΟΙΑΡΧΟΥΣ, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2021 (Δανιήλ, 2021) σελ.57 Πηγή: stoixeia_nautikon_mixanon_ploiarxoi.pdf (eef.edu.gr)



Εικόνα 39. Μηχανοστάσιο LNG πλοίου με ατμοστρόβιλο. Πηγή: Στιγμιότυπο από βίντεο περιήγησης σε μηχανοστάσιο. [Steam Turbine - LNG Ship Engine Room \(Video Tour\) - YouTube](#) (The Sea Land, 2019)

Ο ατμοστρόβιλος χρησιμοποιεί ως καύσιμο τις εξατμίσεις του φορτίου και heavy fuel oil (HFO). Το HFO ήταν το καύσιμο που χρησιμοποιούνταν κατά κόρον στη Ναυτιλία, λόγω του χαμηλού κόστους και της υψηλής ενεργειακής του απόδοσης. Στις αρχές της δεκαετίας του 2000 όμως, η αύξηση της τιμής του καθώς και οι αυστηρότερες νομοθεσίες που θεσπίζονταν για τις εκπομπές ρύπων, οδήγησαν στην αναζήτηση αποδοτικότερων κινητήρων καθώς και νέων καυσίμων. Ένας ακόμη λόγος που εγκαταλείπεται η χρήση του ατμοστρόβιλου είναι και η απουσία έμπειρου προσωπικού που να μπορεί να χειριστεί λέβητες και ατμοστρόβιλους⁶⁵.

⁶⁵ Πηγή: Κλιάνη Λ, Νικολού Ι, Σιδέρη Ι, ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ-ΤΟΜΟΣ ΠΡΩΤΟΣ, Ίδρυμα Ευγενίδου, έκδοση Β', 2017 (Κλιάνης Λ, 2017), σελ. 372 [e_j00067.pdf](#) ([cef.edu.gr](#))

Αυτή τη στιγμή, σύμφωνα με την ετήσια αναφορά της IGU⁶⁶, μόνο 220 πλοία LNG, το 39% του ενεργού στόλου φέρει ατμοστρόβιλο. Σε σύγκριση με τα νέας γενιάς συστήματα πρόωσης, φαίνεται ότι υπερτερεί από άποψη συντήρησης, αλλά μειονεκτεί σημαντικά σε απόδοση. Το 2015 παρουσιάστηκε μια βελτιωμένη έκδοση ατμοστρόβιλου, το Steam Reheat System ή Ultra Steam Turbine, στην οποία, ο ατμός που χρησιμοποιείται στον στρόβιλο ξαναθερμαίνεται για να βελτιώσει την αποτελεσματικότητά του. Δεν φαίνεται όμως να βρήκε απήχηση. Αυτή τη στιγμή, μόνο 12 πλοία αυτής της έκδοσης είναι ενεργά και κανένα υπό κατασκευή.

2. DFDE (Dual-Fuel Diesel Electric)-TFDE (Triple-Fuel Diesel Electric): Η επόμενη γενιά κινητήρων είναι οι τετράχρονες⁶⁷ ηλεκτρομηχανές Diesel διπλού και τριπλού καυσίμου οι οποίες βελτίωσαν την απόδοση των πλοίων κατά 25% σε σχέση με τον παραδοσιακό ατμοστρόβιλο.

Οι μηχανές DFDE εισήχθησαν το 2006⁶⁸ ως εναλλακτική στον ατμοστρόβιλο. Πρόκειται για μηχανές εσωτερικής καύσης, δηλαδή τόσο η καύση όσο και το παραγόμενο έργο γίνεται μέσα στη μηχανή. Εδώ η κινητική ενέργεια προκύπτει όχι πια



Εικόνα 40. DFDE μηχανή Wärtsilä 46DF. Πηγή: [Wärtsilä 46DF - four-stroke dual-fuel engine \(wartsila.com\)](http://Wartsila.com)

⁶⁶ Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU](http://WorldLNGReport2021|IGU) . Σελ.64

⁶⁷ Ανάλογα με τον αριθμό των διαδρομών που χρειάζεται το έμβολο για να ολοκληρώσει έναν κύκλο λειτουργίας (εισαγωγή αέρα, συμπίεση, καύση, εκτόνωση, εξαγωγή καυσαερίων), οι μηχανές διακρίνονται σε δίχρονες ή τετράχρονες. Πηγή: Κλιάνη Λ, Νικολού Ι, Σιδέρη Ι, ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ, Ίδρυμα Ευγενίδου, έκδοση Β', 2017 (Κλιάνης Λ, 2017), σελ. 13 [e-j00067.pdf \(eef.edu.gr\)](http://e-j00067.pdf(eef.edu.gr))

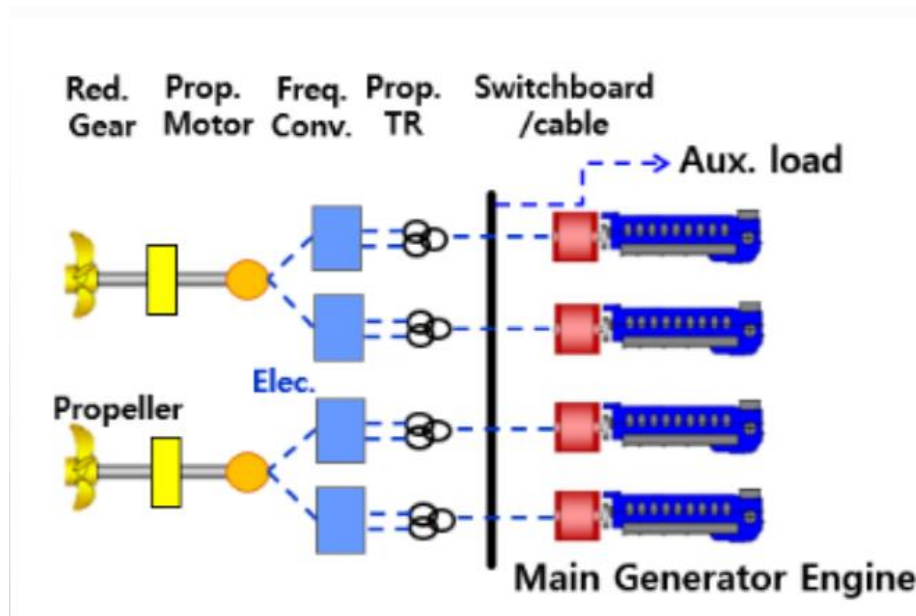
⁶⁸ Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU](http://WorldLNGReport2021|IGU) σελ.64

από ατμό, όπως στον αμμοστρόβιλο, αλλά από τα καυσαέρια που δημιουργούνται από την καύση του καυσίμου μέσα στη μηχανή.

Οι συγκεκριμένες μηχανές χρησιμοποιούν ως καύσιμη ύλη τόσο το πετρέλαιο (Marine Diesel Oil) όσο και τις εξατμίσεις του φορτίου, σε δύο ξεχωριστές λειτουργίες (Diesel Mode και Gas Mode). Στη συνέχεια, μέσω γεννητριών (ηλεκτρομηχανών), παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με την οποία κινούν ηλεκτρικούς κινητήρες (Propulsion Motors). Στους άξονες αυτών των ηλεκτροκινητήρων συνδέονται μειωτήρες στροφών και στη συνέχεια, ο άξονας της έλικας του σκάφους και έτσι επιτυγχάνεται η κίνηση του πλοίου. Κατασκευάζονται σε διάταξη σειράς ή σε διάταξη V.

Τα πλοία με σύστημα πρόωσης DFDE, συνήθως διαθέτουν τρεις κύριες ηλεκτρομηχανές V12 συν μία μικρότερη 6L, που εξασφαλίζουν την πρόωση, αλλά και την απαιτούμενη ενέργεια για τις υπόλοιπες λειτουργίες του πλοίου.

Οι μηχανές TFDE εμφανίστηκαν το 2008. Η διαφορά τους με τις DFDE είναι ότι, εκτός από Gas και Diesel, μπορούν να κάψουν και HFO, βελτιώνοντας ακόμα περισσότερο την οικονομική απόδοση των πλοίων, ανάλογα με τα ταξίδια και τις περιοχές που πλέουν, τις τιμές των καυσίμων και τους ισχύοντες κανονισμούς.



Εικόνα 41. Σχηματική απεικόνιση συστήματος TFDE. Πηγή: Maran Gas Maritime Inc. An update on LNG propulsion and peripheral systems. [PowerPoint Presentation \(higherlogicdownload.s3.amazonaws.com\)](https://www.amazonaws.com/powerpoint-presentation-higherlogicdownload.s3.amazonaws.com) (Maran Gas)

Πλεονέκτημα αυτού του τύπου πρόωσης, αποτελεί το γεγονός ότι οι κύριες μηχανές μπορούν να βρίσκονται μακριά από τον άξονα της έλικας, και έχουν μικρότερο ύψος, πράγμα που οδηγεί σε καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου.

Σημαντικό πλεονέκτημα επίσης είναι το γεγονός ότι αν χαλάσει ένας κύλινδρος, η μηχανή μπορεί να λειτουργήσει με τους υπόλοιπους. Το ίδιο συμβαίνει κι αν υποστεί βλάβη κάποια ηλεκτρομηχανή ή κινητήρας. Το πλοίο μπορεί να συνεχίσει να ταξιδεύει ακόμα, αλλά με μειωμένη ισχύ.



Εικόνα 42. Λεπτομέρεια από μηχανοστάσιο LNG DFDE πλοίου με 4 μηχανές Warchila (3 V12 και 1 6L) Πηγή: Στιγμιότυπο από video [LNG TOUR ENGINE ROOM-PROPULSION MOTORS - YouTube](#)

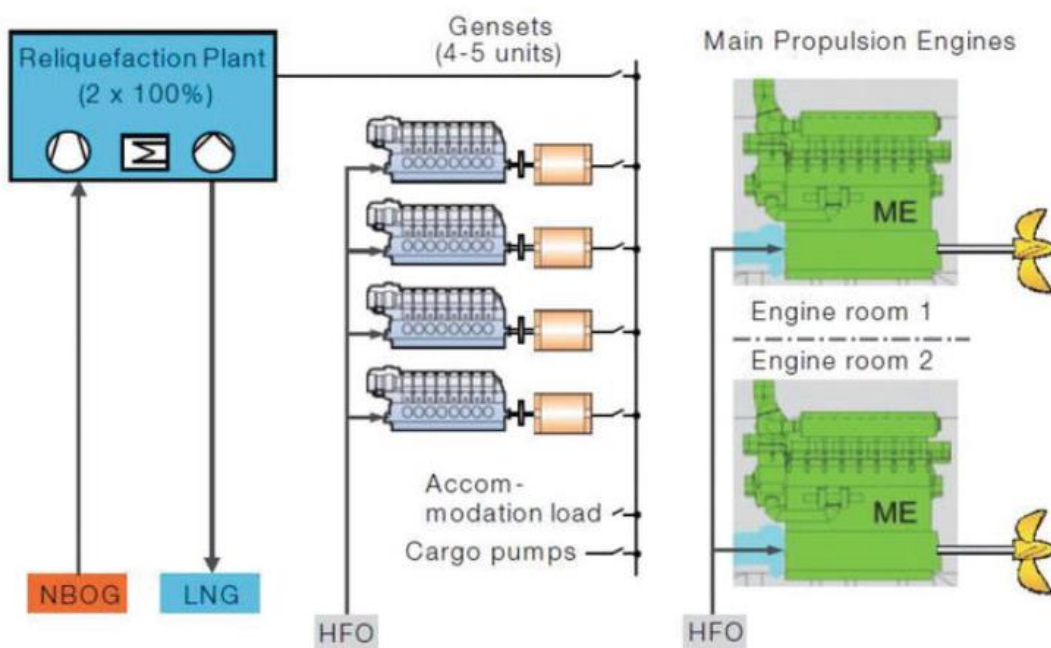
Στα μειονεκτήματα περιλαμβάνεται το πολύ υψηλότερο κόστος επένδυσης (αρχικό κεφάλαιο) λόγω των πολλαπλών κινητήρων. Επίσης απαιτείται η ύπαρξη πολλών ανταλλακτικών⁶⁹ στο πλοίο, γιατί τα εξαρτήματα απαιτούν συχνές αντικαταστάσεις.

⁶⁹ Δανιήλ, Γεώργιος Φ., ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΓΙΑ ΠΛΟΙΑΡΧΟΥΣ, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2021 (Δανιήλ, 2021) σελ.100. Πηγή: [stoixeia_nautikon_mixanon_ploiarxoi.pdf \(cef.edu.gr\)](#)

Τέλος είναι απαραίτητη η εγκατάσταση μονάδας καύσης αερίου GCU, για λόγους ασφαλείας, ώστε να καίγεται εκεί το πλεονάζον αέριο, σε περίπτωση που δεν μπορεί να καταναλωθεί όλο στη μηχανή, κάτι που μεγεθύνει σημαντικά, το κόστος της επένδυσης.

Στο τέλος του 2020, 183 ενεργά πλοία έφεραν αυτό το είδος πρόωσης, δηλαδή το 33% του παγκόσμιου στόλου, ενώ 27 ακόμα αναμένονταν να παραδοθούν.

3. SSSR (Slow-Speed Dual with Re-liquefaction Plant): Εμφανίστηκαν σχεδόν ταυτόχρονα με τις DFDE και είναι γνωστές ως SSSR ή απλώς SSD. Διαθέτουν δύο κύριες μηχανές για την πρόωση, τέσσερις βοηθητικές γεννήτριες καθώς και μονάδα επανυγροποίησης των εξατμίσεων του φορτίου και επιστροφής τους στις δεξαμενές ως υγρό. Είναι αργόστροφες⁷⁰, δίχρονες μηχανές διπλού καυσίμου και μπορούν να κάψουν και βαρύ πετρέλαιο HFO.



Εικόνα 43. Σχηματική απεικόνιση συστήματος SSSR. Πηγή: (Tu Huan F. H., 2018) [Options and Evaluations on Propulsion Systems of LNG Carriers | IntechOpen](#)

⁷⁰ Οι ναυτικές μηχανές διακρίνονται σε μεσόστροφες τετράχρονες και αργόστροφες δίχρονες. Πηγή: Κλιάνη Α, Νικολού Ι, Σιδέρη Ι, ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ, Ίδρυμα Ευγενίδου, έκδοση Β', 2017 (Κλιάνης Α, 2017), σελ. 135 [e_j00067.pdf \(eef.edu.gr\)](#)

Η εγκατάσταση επανυγροποίησης είναι και το βασικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου συστήματος προώθησης, γιατί περιορίζει σημαντικά τη σπατάλη του φορτίου. Από την άλλη πλευρά, για να λειτουργήσει η μονάδα καταναλώνει σημαντικές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας, πράγμα που περιορίζει το όφελος για τα συμβατικά πλοία. Θεωρείται αποδοτικό στα μεγάλα LNG πλοία όπως τα Q-Flex και τα Q-Max.

Στο τέλος του 2020, σύμφωνα με την ετήσια αναφορά του IGU⁷¹, 31 Q-Flex και 13 Q-Max έφεραν μηχανές SSSR.

Το δεύτερο πλεονέκτημα που αφορά την ευελιξία στο είδος του καυσίμου, εξαρτάται φυσικά από τις περιοχές στις οποίες πλέει το πλοίο και τους Διεθνείς Κανονισμούς που ισχύουν, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τις μηχανές DFDE/TFDE. Αυτή τη στιγμή οι κανονισμοί του IMO σχετικά με τις εκπομπές των πλοίων, επιβάλλουν καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (LSMGO), γεγονός που ακυρώνει το πλεονέκτημα της SSSR.

Στον πίνακα παραγγελιών Orderbook βλέπουμε ότι, προς το παρόν, δεν υπάρχει καμία παραγγελία γι' αυτού του είδους τους κινητήρες πρόωσης.

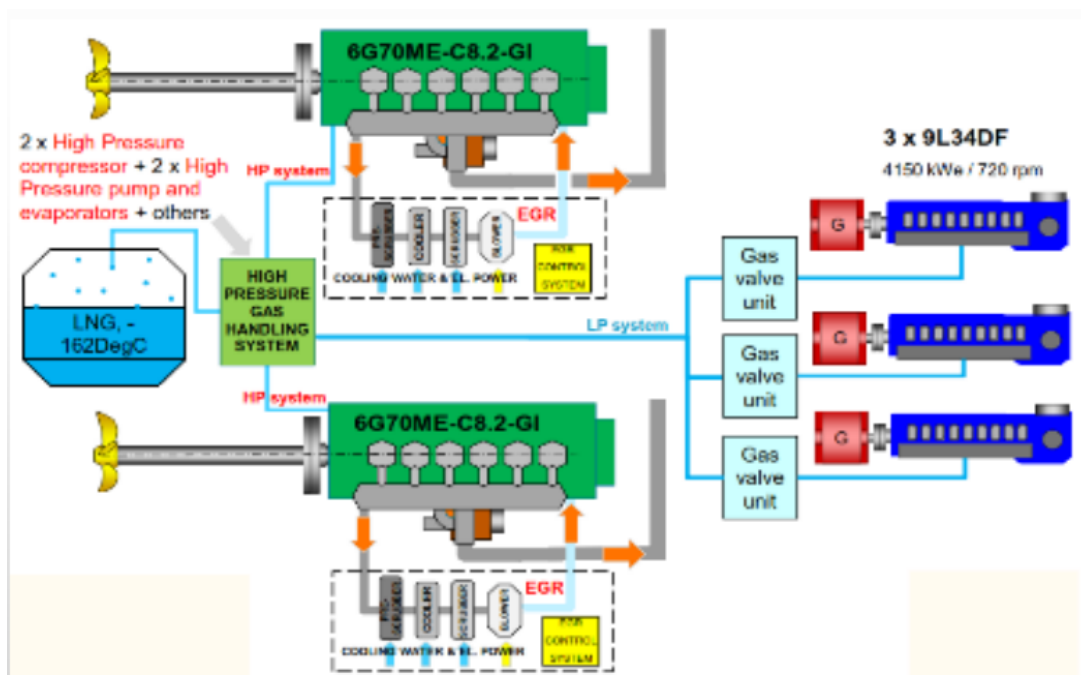
4. ME-GI (High-Pressure Slow-Speed Dual-Fuel): Η δίχρονη, υψηλής πίεσεως, αργόστροφη μηχανή διπλού καυσίμου είναι γνωστή ως ME-GI και θεωρείται ότι προσφέρει αυξημένη, κατά 50%, απόδοση καυσίμων σε σχέση με τον ατμοστρόβιλο. Παρουσιάστηκε το 2015 από τη MAN B&W, που αποτελεί συνένωση της γερμανικής MAN και της δανέζικης Burmeister & Wain⁷² (Κλιάνης Λ., 2018). Ανήκει στη σειρά M, με ηλεκτρονικό έλεγχο εκχύσεως καυσίμου και προσφέρει τη δυνατότητα καύσης υγρού ή αερίου καυσίμου. Όσον αφορά την καύση του αερίου, η έγχυσή του γίνεται σε υψηλή πίεση (300 bar), με τη βοήθεια συμπιεστή που συνδέεται με τη μονάδα επανυγροποίησης ή και απευθείας με τις δεξαμενές. Η καύση του αερίου επιτυγχάνεται

⁷¹ Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU](#). Σελ.64

⁷² Κλιάνης Λ, Νικολού Ι, Σιδέρης Ι, ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ, ΤΟΜΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΣ, Ίδρυμα Ευγενίδου, έκδοση Β', 2018, σελ. 210 [e_j00071.pdf \(eef.edu.gr\)](#)

με τη χρήση μικρής ποσότητας ντίζελ (pilot fuel)⁷³. Το βοηθητικό αυτό πιλοτικό καύσιμο μπορεί να είναι και HFO⁷⁴, MDO ή MGO.

Θεωρείται απλούστερη, αποδοτικότερη και πιο οικονομική ανάμεσα στις μηχανές της γενιάς της, ενώ παρέχει μειωμένες εκπομπές CO₂, SO₂ και NO_x, χάρη στο σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων EGR (Exhaust Gas Recirculation) που έχει προστεθεί. Επιπλέον οι μηχανές αυτής της τεχνολογίας φημίζονται για το σχεδόν μηδενικό «methane slip», κάνοντάς τις ακόμα πιο φιλικές προς το περιβάλλον. Το methane slip είναι ένα φαινόμενο για το οποίο ενοχοποιούνται τα συστήματα πρόωσης διπλού καυσίμου. Κατά την καύση του αερίου στη μηχανή κάποια ποσότητα μεθανίου παραμένει άκαυστη και διαφεύγει στην ατμόσφαιρα μαζί με τα καυσαέρια. Το φαινόμενο παρουσιάζεται έντονα στις τετράχρορες μηχανές, αλλά στις δίχρονες, όπως οι ME-GI και οι X-DF εμφανίζεται εξαιρετικά μειωμένο.

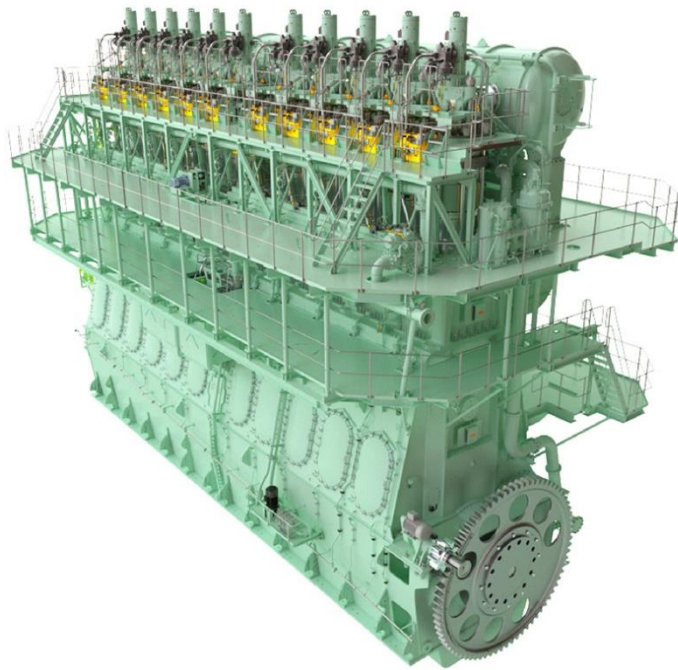


Εικόνα 44. Σχηματική απεικόνιση συστήματος ME-GI. Πηγή: Maran Gas Maritime Inc. An update on LNG propulsion and peripheral systems. [PowerPoint Presentation \(higherlogicdownload.s3.amazonaws.com\)](https://www.amazonaws.com) (Maran Gas)

⁷³ Το αέριο καύσιμο για να καεί στις μηχανές διπλού καυσίμου χρειάζεται στην αρχή τη βοηθητική έγχυση μικρής ποσότητας ντίζελ στο θάλαμο καύσης, ώστε να γίνει η ανάφλεξη.

⁷⁴ Από 1/1/2020, οι κανονισμοί του IMO σχετικά με τις εκπομπές των πλοίων, επιβάλλουν καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (LSFO).

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 44, τα πλοία με σύστημα πρόωσης ME-GI διαθέτουν δύο κύριες μηχανές, οι οποίες συνδέονται άμεσα με τους ελικοφόρους άξονες, χωρίς τη διαμεσολάβηση μειωτήρων. Τρεις ακόμα ηλεκτρομηχανές ME-GI εξασφαλίζουν την ηλεκτρική ενέργεια για τις υπόλοιπες ανάγκες του πλοίου (βοηθητικά μηχανήματα-συστήματα φορτοεκφόρτωσης-χώροι διαβίωσης κλπ.). Διακρίνεται η εγκατάσταση υψηλής συμπίεσης, όπως και το σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων EGR.



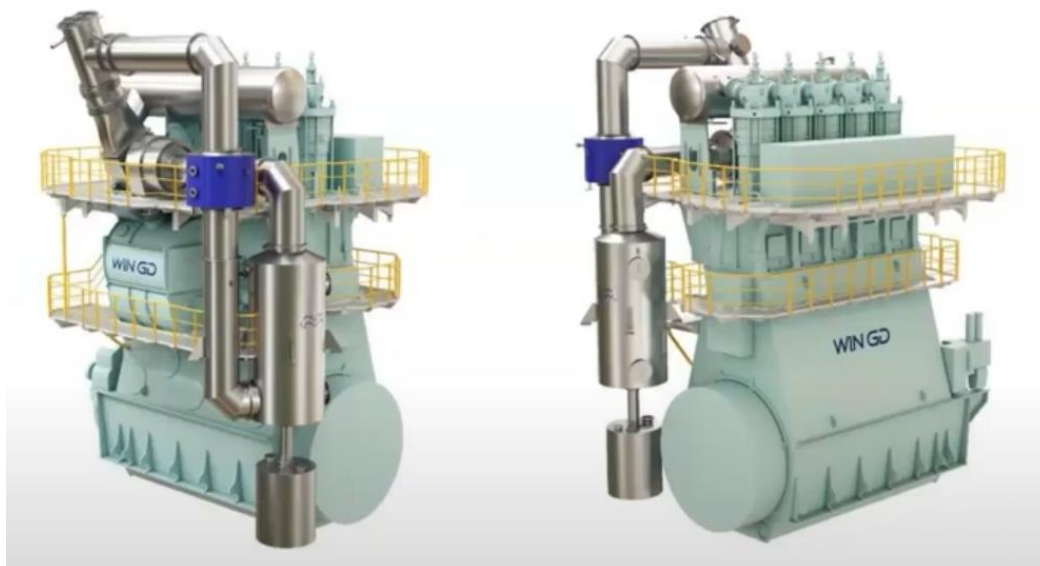
Εικόνα 45. Η μηχανή ME-GI Mk2 της MAN B&W. Πηγή: [ME-GI \(man-es.com\)](http://man-es.com)

Το 2016 παραδόθηκε το πρώτο πλοίο με τη συγκεκριμένη μηχανή και το 2020 παρουσιάστηκε μια αναβαθμισμένη μορφή της η ME-GI Mk2, με βελτιώσεις που αποφασίστηκαν βάσει των τεσσάρων χρόνων εμπειρίας και των αιτημάτων των πλοιοκτητών και των operators. Μέχρι το τέλος του 2020, σύμφωνα με την ετήσια αναφορά του IGU⁷⁵, είχαν παραδοθεί 58 πλοία εξοπλισμένα με συστήματα ME-GI, ενώ 19 ακόμα, βρίσκονταν υπό κατασκευή.

⁷⁵ Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU](#) σελ..64

Το 2021, η εταιρεία παρουσίασε ένα νέο τύπο μηχανής, το ME-GA, σχεδιασμένο ειδικά για τα πλοία μεταφοράς LNG. Η νέα, χαμηλής πίεσης, δίχρονη μηχανή επιτρέπει την παροχή χαμηλής πίεσης αερίου, που είναι πιο κατάλληλη για την χρήση του BOG ως καύσιμο. Σύμφωνα με την ιστοσελίδα της εταιρείας (Man Energy Solutions, 2021)⁷⁶, η νέα εξελιγμένη μηχανή ελαχιστοποιεί ακόμα περισσότερο το κόστος της αρχικής επένδυσης, όπως και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης και είναι πιο εύκολη στην εγκατάστασή της. Επίσης υπόσχεται ακόμα χαμηλότερες εκπομπές NOx και CO₂, καθώς και των εκπομπών GHG⁷⁷. Προς το παρόν δεν υπάρχουν στοιχεία για παραγγελίες αυτής της μηχανής.

5. Winterthur Gas & Diesel X-DF: Αυτή η χαμηλής πίεσης δίχρονη μηχανή διπλού καυσίμου παρουσιάστηκε από την Wärtsilä, για πρώτη φορά σε πλοίο το 2017, ως εναλλακτική λύση για τις DFDE μηχανές. Εκτιμάται ότι είναι 50% αποδοτικότερη σε σχέση με τον αμοστρόβιλο.



Εικόνα 46. Η τελευταία γενιάς X-DF μηχανή της Wärtsilä (5X72DF-2.1) Πηγή: Στιγμιότυπο από video (WinGD & Wärtsilä X-DF Engines, 2021) [WinGD & Wärtsilä X-DF Engines Webinar - Operational Efficiency & Future Technologies - YouTube](#)

⁷⁶ Πηγή: [ME-GA \(man-es.com\)](#)

⁷⁷ Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κυότο (1977) η λίστα με τις επικίνδυνες εκπομπές, που ευθύνονται για την κλιματική αλλαγή, περιλάμβανε έξι αέρια. Σήμερα αναγνωρίζονται επτά αέρια (Eurostat - Statistics Explained, 2015). Πηγή: [Glossary: Kyoto basket - Statistics Explained \(europa.eu\)](#) και [Glossary: Greenhouse gas \(GHG\) - Statistics Explained \(europa.eu\)](#)

Η μηχανή X-DF μπορεί να κάψει τόσο τα υγρά καύσιμα όσο και το BOG. Τα υγρά καύσιμα μπορεί να είναι MDO, MGO ή και HFO⁷⁸. Όσον αφορά το αέριο, καίει ένα προσυμπιεσμένο μίγμα αέρα και καυσίμου σε χαμηλή πίεση (4,5-5 bar), ενώ για την ανάφλεξη χρειάζεται τη βοήθεια πολύ μικρής ποσότητας pilot fuel.

Οι μηχανές X-DF διαθέτουν τρεις μορφές λειτουργίας (WinGD, 2021)⁷⁹:

α) Gas Mode Operation – Χρήση μόνο αερίου.

β) Diesel Mode Operation – Χρήση μόνο υγρού καυσίμου.

γ) Fuel Sharing Mode Operation - Συνδυασμός υγρού καυσίμου και αερίου σε αναλογία 5-50% MGO/MDO/HFO και 50-95% Gas. Η ελάχιστη ποσότητα υγρού καυσίμου δεν μπορεί να είναι κάτω από το 5% της συνολικής τροφοδοσίας.

Η αυτόματη επιλογή αναλογίας υγρού και αερίου καυσίμου βασίζεται στην πίεση των δεξαμενών φορτίου. Μπορεί όμως να επιλεγεί και μη αυτόματα, μέσω του Remote Control System (RCS), ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες, δηλαδή την ποσότητα των εξατμίσεων του φορτίου και τις οδηγίες των ναυλωτών. Ο αυτόματος έλεγχος είναι επίσης δυνατός μέσω του Propulsion Control System (PCS).

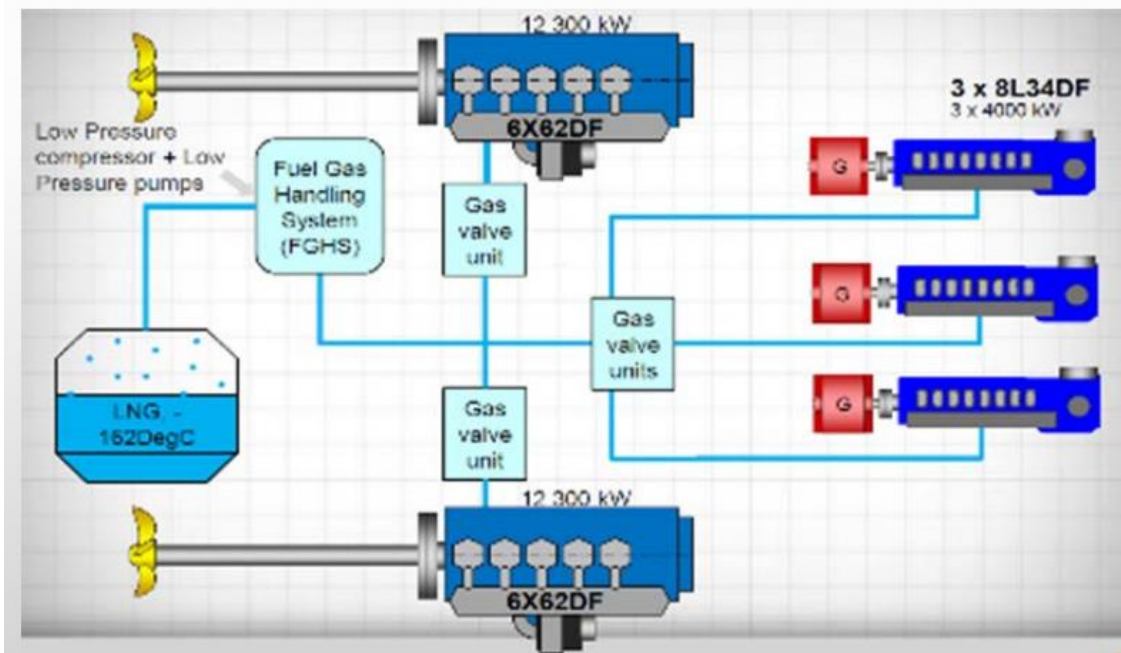
Η λειτουργία από υγρό σε αέριο καύσιμο μπορεί να αλλάξει ενώ η μηχανή βρίσκεται σε χρήση, χωρίς απώλεια ισχύος⁸⁰.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 47, το σύστημα πρόωσης X-DF αποτελείται από 2 κύριες μηχανές που συνδέονται με τους ελικοφόρους άξονες χωρίς τη μεσολάβηση μειωτήρων στροφών. Τρεις ή και τέσσερις επιπλέον ηλεκτρομηχανές εξασφαλίζουν την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια για τις υπόλοιπες ανάγκες του πλοίου.

⁷⁸ Από 1/1/2020, οι κανονισμοί του IMO σχετικά με τις εκπομπές των πλοίων, επιβάλλουν καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (LSFO).

⁷⁹ [MIM_WinGD_X72DF.pdf](#) παράγραφος 1.3.

⁸⁰ Εάν η μηχανή δούλευε σε Diesel Mode καίγοντας HFO, θα έπρεπε να λειτουργήσει πρώτα με MDO ή MGO, μέχρι να «ξεπλυθεί» πλήρως το σύστημα από το βαρύ πετρέλαιο και μετά να αλλάξει σε Gas Mode. ([MIM_WinGD_X72DF.pdf](#) παράγραφος 1.3.4.) Με τους νέους κανονισμούς, από 1-1-2020, όλα τα πλοία καίνε υποχρεωτικά LSFO, οπότε δεν υφίσταται αυτός ο περιορισμός.



Εικόνα 47. Σχηματική απεικόνιση συστήματος X-DF. Πηγή: Maran Gas Maritime Inc. An update on LNG propulsion and peripheral systems. [PowerPoint Presentation \(higherlogicdownload.s3.amazonaws.com\)](http://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/MaranGas) (Maran Gas)

Η διάταξη θυμίζει το σύστημα ME-GI, αλλά στην περίπτωση των X-DF, λόγω της χαμηλής πίεσης, δεν χρειάζεται εγκατάσταση υψηλής συμπίεσης ούτε και σύστημα επεξεργασίας των καυσαερίων. Γι' αυτό το λόγο η X-DF είναι πιο εύκολο να ενσωματωθεί στα πλοία και αυτός είναι ο λόγος που αποτελεί μια πιο οικονομική αρχική επένδυση για τους πλοιοκτήτες.

Όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμων και την απόδοση, τα πλοία μεταφοράς LNG που είναι εξοπλισμένα με ME-GI και X-DF εμφανίζονται παρεμφερή, με το ME-GI να έχει ελαφρώς χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου και καλύτερη δυναμική απόκριση⁸¹.

Η ασφάλεια και οι εκπομπές αερίων είναι οι τομείς όπου το X-DF ξεχωρίζει, υπερέχοντας του ME-GI καθώς έχει χαμηλά επίπεδα εκπομπών αζώτου χωρίς να χρειάζεται σύστημα επεξεργασίας καυσαερίων. Το φαινόμενο του methane slip, όπως αναφέρθηκε ήδη, είναι ελάχιστο και στα δύο συστήματα.

⁸¹ Ανταποκρίνεται πιο γρήγορα στις εναλλαγές φορτίου, επειδή δουλεύει σε κύκλο diesel.

Στο τέλος του 2020 υπήρχαν 37 ενεργά πλοία με το σύστημα X-DF. Το βιβλίο παραγγελιών για πλοία μεταφοράς LNG περιέχει 82 πλοία X-DF, που αντιπροσωπεύουν το 63% των συνολικών νεότευκτων που θα παραδοθούν.

6. STaGE (Steam Turbine and Gas Engine): Το σύστημα παρουσιάστηκε για πρώτη φορά σε νεότευκτο πλοίο το 2018⁸² (IGU, WORLD LNG REPORT 2021, 2021), από τα ναυπηγεία της Mitsubishi (MHI) στην Ιαπωνία. Εφαρμόστηκε σε πλοία τύπου Sayaringo, που παράγονται επίσης από την Mitsubishi και γι' αυτό ονομάστηκαν Sayaringo STaGe.

Όπως διακρίνεται στην εικόνα 48, το συγκεκριμένο σύστημα είναι μια υβριδική μορφή πρόωσης (Mitsubishi Heavy Industries Ltd., 2016), που ενσωματώνει έναν ατμοστρόβιλο Ultra Steam Turbine (UST) διπλού άξονα στην αριστερή πλευρά και έναν συνδυασμό από έναν κινητήρα ντίζελ διπλού καυσίμου Dual-Fuel Diesel Engine (DFE) και έναν ακόμα ηλεκτροκινητήρα πρόωσης (PEM)⁸³ στην δεξιά πλευρά.

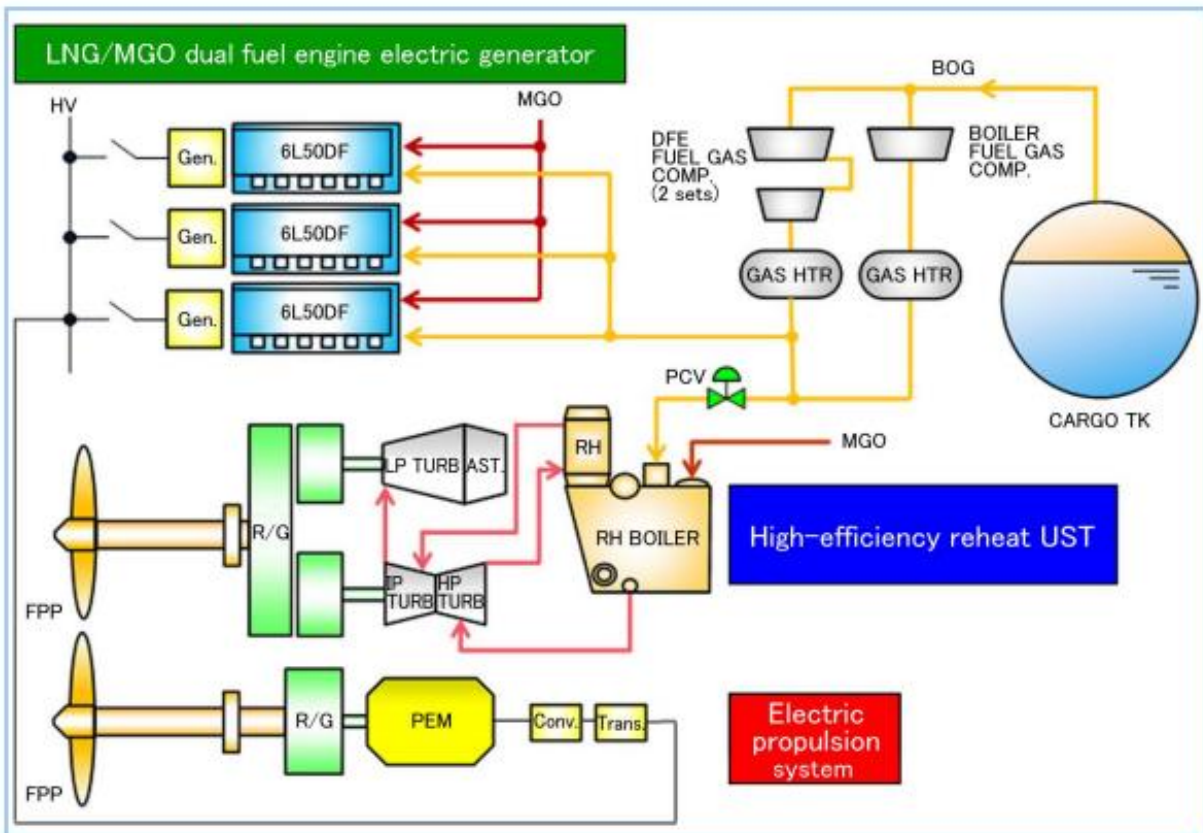
Ο κινητήρας διπλού καυσίμου μπορεί να κάψει τόσο υγρό καύσιμο όσο και αέριο (BOG). Τα καυσαέρια και η απορριπτόμενη θερμότητα από την λειτουργία του κινητήρα διπλού καυσίμου ανακτώνται για τη θέρμανση του νερού, ώστε να τροφοδοτηθεί με ατμό ο ατμοστρόβιλος, βελτιώνοντας σημαντικά τη συνολική απόδοση. Οι ηλεκτρογεννήτριες που συνδέονται με τον κινητήρα διπλού καυσίμου τροφοδοτούν τόσο το σύστημα πρόωσης όσο και τις υπόλοιπες ανάγκες του πλοίου.

Το σύστημα STaGE, συνδυάζοντας αποτελεσματικά δύο συστήματα πρόωσης, εκμεταλλεύεται την σπατάλη θερμικής ενέργειας, βελτιώνοντας την απόδοση, ενώ μειώνει σημαντικά τις συνολικές εκπομπές.

⁸² IGU WORLD LNG REPORT-2021 Edition, σελ. 64, Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU](#)

⁸³ Πηγή: [SAYARINGO STaGE- Next Generation MOSS-type LNG Carrier with hybrid propulsion plant -, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol.53 No.2\(2016\) \(mhi.co.jp\)](#) σελ.6

Στο τέλος του 2020, οχτώ πλοία με τη συγκεκριμένη τεχνολογία έχουν παραδοθεί το 2018 και το 2019. Προς το παρόν δεν υπάρχουν νέες παραγγελίες.



Εικόνα 48. STaGE Propulsion Plant. Πηγή: [SAYARINGO STaGE- Next Generation MOSS-type LNG Carrier with hybrid propulsion plant - Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol.53 No.2\(2016\) \(mhi.co.jp\) σελ.6](#)

Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι στο βιβλίο παραγγελιών, στο τέλος του 2020, κυριαρχούν τα συστήματα X-DF (89 πλοία) και ακολουθούν τα TFDE (24 πλοία) και τα MEGI (19 πλοία). Προς το παρόν δεν υπάρχουν νέες παραγγελίες για STaGE, ενώ έχουν εξαφανιστεί πλέον οι παραγγελίες για Steam Turbine. Από τα στοιχεία αυτά γίνεται πλέον φανερό ότι οι δίχρονοι μηχανές X-DF έχουν κερδίσει την εμπιστοσύνη των πλοιοκτητών, ενώ διαφαίνεται μια σταθερή αύξηση προτίμησης και στις MEGI, καθώς σιγά σιγά εγκαταλείπονται οι τετράχρονοι μηχανές.

Συγκρίνοντας τις μεσόστροφες τετράχρονοι μηχανές με τις αργόστροφες δίχρονοι διαπιστώνουμε ότι οι τετράχρονοι έχουν μικρότερο ύψος και βάρος από τις αντίστοιχες

ισχύος δίχρονες. Επομένως αφήνουν περισσότερο ελεύθερο χώρο στο πλοίο για να χρησιμοποιηθεί προς όφελος της χωρητικότητας. Επιπλέον απαιτούν μικρότερο χρόνο κατασκευής και συναρμολόγησης, ενώ *«η αναγκαστική χρήση μειωτήρα στροφών... επιτρέπει την καλύτερη επιλογή ταχύτητας περιστροφής για την έλικα του πλοίου⁸⁴»* (Κλιάνης Λ, 2017). Επίσης, όπως αναφέρθηκε ήδη, η ύπαρξη περισσότερων μηχανών περιορίζει τον κίνδυνο της απόλυτης απώλειας ισχύος. Στα αρνητικά τους υπολογίζεται το γεγονός ότι η κατασκευή τους είναι πιο πολύπλοκη, και έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες βλάβης, λόγω των πολλών κινούμενων μερών τους. Επίσης συγκριτικά με τις δίχρονες, απαιτούν μεγαλύτερη κατανάλωση λιπαντικών, κάτι που αυξάνει το κόστος.

Τα πλεονεκτήματα των δίχρονων μηχανών είναι ότι αποτελούν πιο απλές κατασκευές, με μικρότερο αριθμό εξαρτημάτων και δεν απαιτούν μειωτήρα στροφών. Επίσης έχουν υψηλότερο βαθμό αποδόσεως από τις τετράχρονες. Όλα αυτά συμβάλουν στην μεγαλύτερη αξιοπιστία ενώ εξασφαλίζουν μικρότερο κόστος χρήσης και συντήρησης. Τα μειονεκτήματά τους σε σχέση με τις τετράχρονες είναι ο μεγάλος όγκος και βάρος τους, που καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο στο μηχανοστάσιο, όπως και τα μεγαλύτερα εξαρτήματά τους που όμως δεν φαίνεται να έχουν σοβαρή επίπτωση στην εξάρμοση, επιθεώρηση, συντήρηση και άρμωσή τους, αφού τόσο στις δίχρονες όσο και στις τετράχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται γερανοί γι' αυτό το λόγο.

⁸⁴ Πηγή: Κλιάνης Λ, Νικολού Ι, Σιδέρη Ι, ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ-ΤΟΜΟΣ ΠΡΩΤΟΣ, Ίδρυμα Ευγενίδου, έκδοση Β', 2017 (Κλιάνης Λ, 2017), σελ. 136 [e_j00067.pdf](http://eef.edu.gr/e_j00067.pdf) (eef.edu.gr)

3.3.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ – ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΚΛΕΙΔΕΣ

1. Manifolds: Η φορτοεκφόρτωση του πλοίου γίνεται μέσω των manifolds του πλοίου, στα οποία προσαρμολζονται τα arms των εγκαταστάσεων της στεριάς. Υπάρχουν τέσσερα manifold φορτίου και ένα Vapor. Συνήθως συνδέονται από δύο έως τέσσερα arms, ανάλογα με τις δυνατότητες της τερματικής εγκατάστασης. Το vapor manifold χρησιμοποιείται για την διαχείριση της πίεσης των δεξαμενών εντός ασφαλών ορίων κατά την φόρτωση και την εκφόρτωση. Στην φόρτωση καθώς το φορτίο πέφτει ορμητικά μέσα στη δεξαμενή δημιουργεί εξατμίσεις, λόγω διαφοράς πίεσης και θερμοκρασίας, οι οποίες επιστρέφονται στη στεριά μέσω του Vapor Return System. Στην εκφόρτωση αντίθετα, καθώς αδειάζει η δεξαμενή, πέφτει η πίεσή της. Σ' αυτήν την περίπτωση η τερματική εγκατάσταση τροφοδοτεί το πλοίο με αέριο ώστε να κρατηθεί η πίεση στις δεξαμενές στα ασφαλή επιτρεπόμενα όρια.

2. Αντλίες: Κάθε δεξαμενή έχει δύο ηλεκτρικές βυθιζόμενες αντλίες φορτίου (Main Cargo Pumps) και μία αντλία αποστράγγισης (Stripping/Spray Pump). Οι αντλίες φορτίου χρησιμοποιούνται στην εκφόρτωση για την άντληση του φορτίου από τις δεξαμενές. Η αντλία αποστράγγισης έχει διπλή χρήση: χρησιμοποιείται για την αποστράγγιση των δεξαμενών φορτίου, όταν αυτό απαιτείται, αλλά και για το πάγωμα των δεξαμενών πριν από την φόρτωση (cooling down operation). Αντλεί δηλαδή το παγωμένο φορτίο που έχει παραμείνει στη δεξαμενή, το προωθεί σε ειδική γραμμή που συνδέεται με ψεκαστήρες (nozzles) ειδικά κατανεμημένους, ώστε να ψεκάζουν το φορτίο στα τοιχώματα της δεξαμενής και να τα παγώνουν σταδιακά.

Υπάρχει και μία φορητή Emergency Cargo Pump, η οποία φυλάσσεται μέσα στο Bosun Store, έτοιμη να χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση αποτυχίας του συστήματος και των δύο αντλιών. Σε μια τέτοια περίπτωση μεταφέρεται στην δεξαμενή που παρουσίασε το πρόβλημα και κατεβαίνει στην ειδική γραμμή που υπάρχει μέσα στον πύργο αντλιών.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούν και οι Fuel Gas Pumps. Αυτές βρίσκονται σε δύο δεξαμενές του πλοίου και χρησιμεύουν στο forcing vaporizer. Είναι μια διαδικασία

κατά την οποία ζεσταίνεται μέρος του φορτίου για να οδηγηθεί ως καύσιμο στις μηχανές.

Όλες οι αντλίες ελέγχονται από το Cargo Control Room του πλοίου.



Εικόνα 49. Ανύψωση αντλίας φορτίου από δεξαμενή για επισκευή. Πηγή: SIGTTO/GIIGNL-LNG Shipping at 50 (2014), σελ. 44. [lng-shipping-at-50compressed.pdf \(sigtto.org\)](#)

3. Διαχείριση αερίων (Gas Management). Ένα από τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου με πλοία είναι η διαχείριση του boil off, των εξατμίσεων δηλαδή του φορτίου. Όπως είδαμε το φυσικό αέριο υγροποιείται σε θερμοκρασία -162 βαθμούς Κελσίου. Οι δεξαμενές των πλοίων είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να το διατηρούν σε αυτήν την κρυογονική κατάσταση. Παρόλα αυτά, στις προδιαγραφές κάθε τύπου δεξαμενής αναφέρεται ένα ποσοστό boil off, που στην σημερινή εποχή κυμαίνεται γύρω στο 0.07-0,10% (βλ κεφ. 3.3.1). Το φαινόμενο παρατηρείται έντονα και κατά τη διάρκεια της φορτοεκφόρτωσης του φορτίου στα πλοία.

Η διαχείριση αυτών των εξατμίσεων γίνεται με τους παρακάτω τρόπους:

A. Προώθηση των εξατμίσεων στη μηχανή του πλοίου για να καούν ως καύσιμο. Οι ποσότητες που μπορούν να καούν στη μηχανή είναι περιορισμένες και εξαρτώνται από το είδος της μηχανής και την επιθυμητή ταχύτητα.

Β. Επανυγροποίησή τους με το Reliquefaction System. Ο κύριος σκοπός του συστήματος αυτού είναι να ρυθμίζει/περιορίζει την πίεση μέσα στις δεξαμενές φορτίου, υγροποιώντας τις εξατμίσεις που δεν καταναλώνονται ως καύσιμο από τις μηχανές του πλοίου. Χρησιμοποιείται παράλληλα με την προώθηση των εξατμίσεων στις μηχανές και με το GCU, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αυτόνομα.

Γ. Gas Combustion Unit (GCU). Είναι μονάδα καύσης αερίου, που λειτουργεί σαν ασφαλιστική δικλείδα. Σε περίπτωση που δεν είναι εφικτό να υγροποιηθεί όλο το αέριο, ούτε μπορεί να καταναλωθεί στη μηχανή, διοχετεύεται σε αυτή τη μονάδα για να καεί, έτσι ώστε να αποφευχθεί η ανεξέλεγκτη πίεση στις δεξαμενές. Το σύστημα είναι ικανό να κάψει όλο το boil-off των δεξαμενών, αλλά χρησιμοποιείται μόνο ως εναλλακτική λύση ανάγκης, επειδή το αέριο σπαταλιέται με αυτόν τον τρόπο.

Δ. Dumping Steam. Αυτός ο τρόπος λειτουργεί στα πλοία με ατμοστρόβιλο, στα οποία η καύση του αερίου στη μηχανή χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού. Φυσικά η ποσότητα ατμού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση του πλοίου είναι συγκεκριμένη και οι πλεονάζουσες ποσότητες απορρίπτονται στο περιβάλλον. Και σε αυτήν την περίπτωση λοιπόν σημειώνεται σπατάλη του αερίου.

4. Emergency Shut Down System (ESD) και Ship Shore Link (SSL)⁸⁵. Είναι προαπαιτούμενα από τον IGC Code και αποτελεί το σύστημα ασφαλείας του πλοίου και της τερματικής εγκατάστασης, συνδέοντάς τα μεταξύ τους. Σε περίπτωση οποιασδήποτε κατάστασης κινδύνου, που ανιχνεύεται από το ίδιο το σύστημα μέσω αισθητήρων και μετρητών, ενεργοποιείται αυτόματα και διακόπτει την φορτοεκφόρτωση με ασφαλή τρόπο.

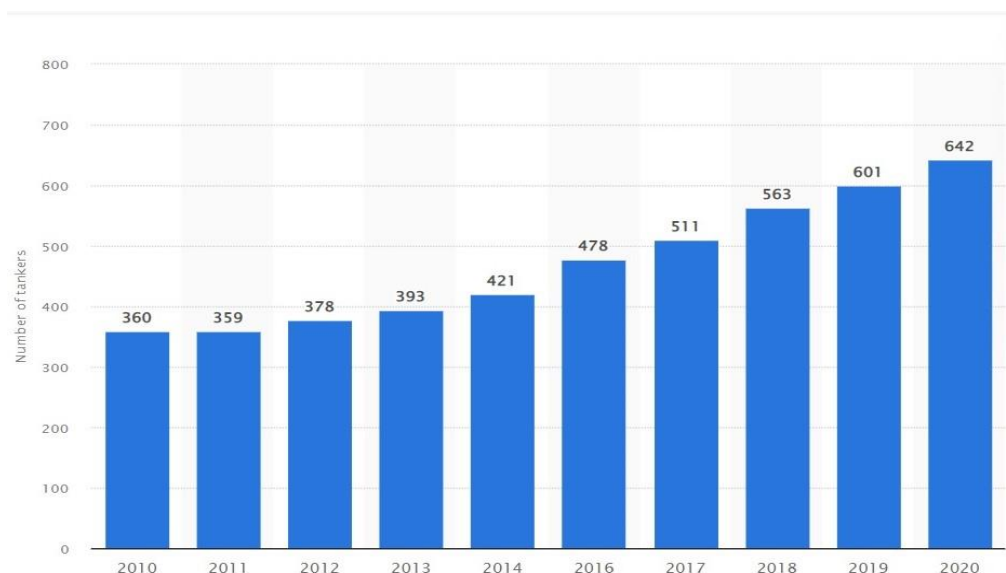
Οι συνθήκες που μπορεί να το ενεργοποιήσουν είναι: α) χειροκίνητη διακοπή μέσω φορτοεκφόρτωσης καίριας σημασίας (critical equipment) β) υψηλή ή ελάχιστη πίεση στις δεξαμενές β) υψηλές θερμοκρασίες γ) υπερφόρτωση δεξαμενών δ) απώλεια ενέργειας ε) διακοπή έκτακτης ανάγκης από τις εγκαταστάσεις της στεριάς.

⁸⁵ [sigtto-2021-esd-systems.pdf](#) (ESD Systems, Recommendations for Emergency Shutdown and Related Safety Systems (Second Edition), 2021) σελ.13 και 33.

3.4 Η ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ

Αριθμός πλοίων στον παγκόσμιο στόλο:

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρατίθενται στην ετήσια αναφορά της GIIGNL⁸⁶, στο τέλος του 2020, υπήρχαν 642 ενεργά LNG πλοία, από τα οποία 43 είναι FSRU και 4 FSU⁸⁷. Στο βιβλίο παραγγελιών υπήρχαν συνολικά 147 παραγγελίες πλοίων, από τις οποίες οι 40 έγιναν το 2020. Το 2019 αντίστοιχα, οι νέες παραγγελίες που είχαν καταγραφεί ήταν 62. Αυτή η μείωση, αποδίδεται στην αβεβαιότητα που επικρατεί γενικά στον κλάδο των ναυτιλιακών εταιρειών, λόγω του αντίκτυπου του Covid-19 στις αγορές, αλλά και των νέων Διεθνών Κανονισμών που επιβάλλονται σχετικά με τις εκπομπές ρύπων και της αβεβαιότητας που επικρατεί σχετικά με το ενεργειακό μέλλον.



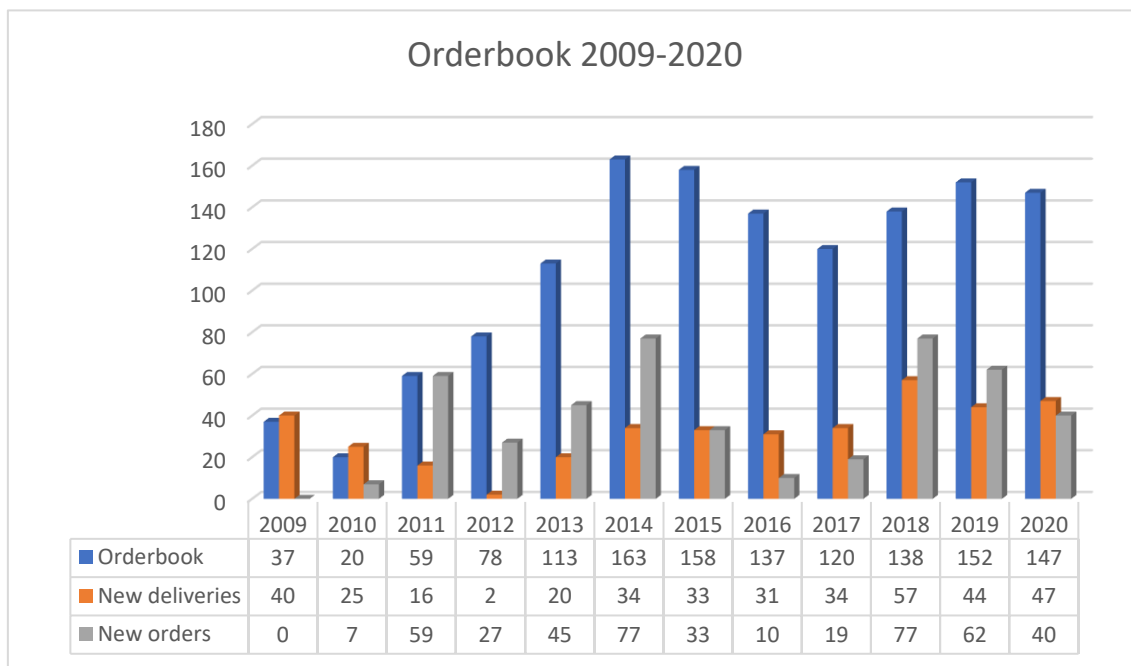
Πίνακας 18. Γράφημα: Αριθμός πλοίων LNG παγκοσμίως, ανά έτος (2010-2020). Περιλαμβάνει τα πλοία όλων των μεγεθών καθώς και τα FSRU/FSU. Πηγή: Statista <https://www.statista.com/statistics/468412/global-lng-tanker-fleet/>

Στον πίνακα 18, βλέπουμε σε γράφημα την αυξητική πορεία του παγκόσμιου στόλου κατά την τελευταία δεκαετία. Το 2010 και 2011 διαφαίνεται μια στασιμότητα στους αριθμούς, αποτέλεσμα του γεγονότος ότι ο στόλος LNG πλοίων είχε επεκταθεί ταχύτερα από αυτόν του παγκόσμιου εμπορίου LNG, μια κατάσταση που επιδεινώθηκε από την παγκόσμια οικονομική ύφεση του 2008. Χαρακτηριστικό είναι ότι το 2009 δεν

⁸⁶ [GIIGNL Annual Report November2021.pdf](#)

⁸⁷ IGU: World LNG Report 2021, σελ. 68. Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU](#)

υπήρξε καμία παραγγελία στο orderbook των ναυπηγείων γι' αυτού του είδους τα πλοία, κάτι που οδήγησε στην παράδοση μόνο δύο νέων πλοίων το 2012 (βλ. πίνακα 19). Ενδεικτικό της κατάστασης είναι ότι δώδεκα από τα νεότευκτα πλοία που παραδόθηκαν το 2009, δεν κατάφεραν να εκτελέσουν κανένα ταξίδι και συμπεριλήφθηκαν στον κατάλογο των Laid-Up πλοίων του έτους⁸⁸.



Πίνακας 19. Γράφημα: Ο συνολικός αριθμός πλοίων LNG στο Βιβλίο Παραγγελιών, οι παραδόσεις νεότευκτων πλοίων και οι νέες παραγγελίες ανά έτος (2009-2020). Εξαγωγή δεδομένων από τις ετήσιες αναφορές της GIIGNL. Πηγή: [Resources - \(giignl.org\)](https://www.giignl.org/resources)

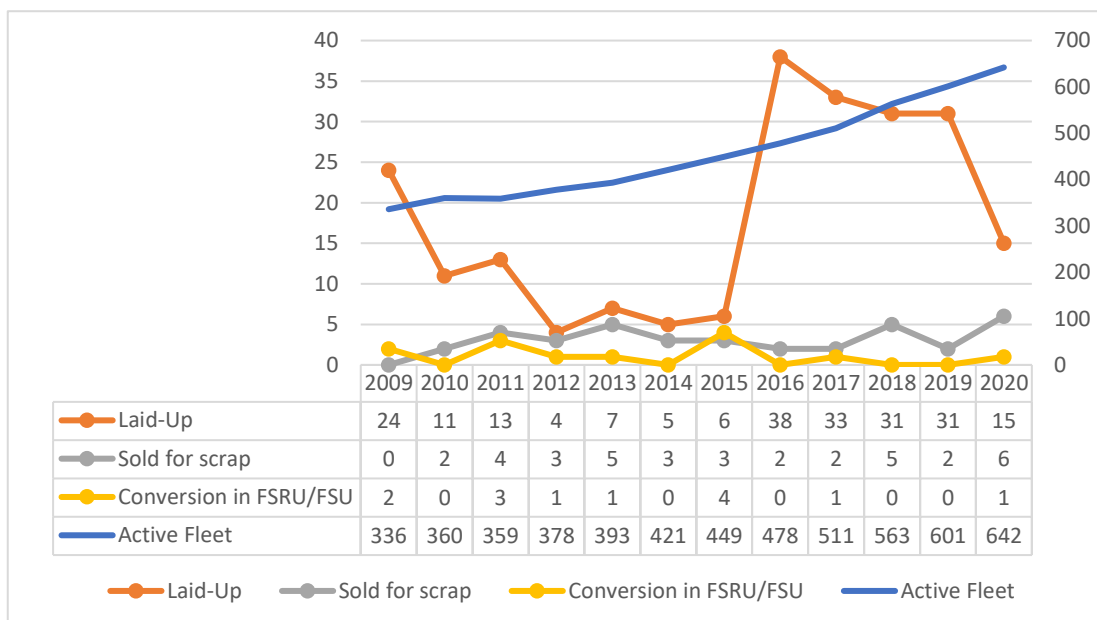
Η ζήτηση για μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου άρχισε να ανακάμπτει το 2010, οπότε αυτή η ανισότητα μειώθηκε και οι παραγγελίες πλοίων άρχισαν πάλι να αυξάνονται σταδιακά, με μία εξαίρεση το 2016, που κατατέθηκαν μόνο δέκα νέες παραγγελίες.

Τη συγκεκριμένη χρονιά, σύμφωνα με την ετήσια αναφορά της IGU (IGU annual report 2017)⁸⁹ το 56% του παγκόσμιου στόλου LNG ήταν ηλικίας κάτω των δέκα ετών, ενώ το 6% των πλοίων ήταν άνω των 30 ετών. Παρόλο που οι προδιαγραφές αυτών των πανάκριβων πλοίων τους δίνουν 40 χρόνια ωφέλιμης ζωής, στην πράξη αποδείχτηκε ότι

⁸⁸ GIIGNL Annual Report 2009, σελ.6. Πηγή: [GIIGNL-2009-OK-BD.qxd: Mise en page 1 \(iaea.org\)](https://www.giignl.org/resources)

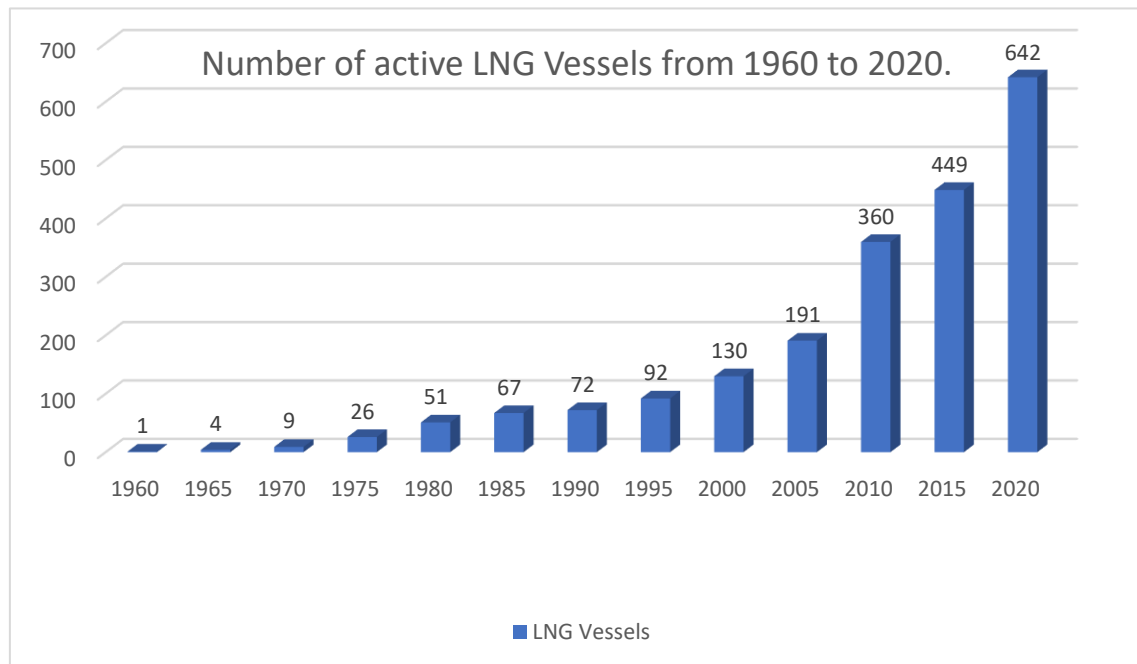
⁸⁹ IGU: World LNG Report 2017, σελ. 39. Πηγή: [Annual Report 2017 | IGU](https://www.igu.org/annual-report-2017)

τα νεότερα πλοία με τις νέες τεχνολογίες και τη μεγαλύτερη απόδοση ωθούν εκτός αγοράς τα παλαιότερα πολύ πιο γρήγορα. Οι πλοιοκτήτες έχουν να επιλέξουν ανάμεσα σε τρεις λύσεις σε αυτήν την περίπτωση: α) να διατηρήσουν σε αναμονή τα πλοία τους, ελπίζοντας σε μία αλλαγή της αγοράς, β) να τα μετατρέψουν σε FSRU/FSU, ανάλογα με τις ανάγκες της αγοράς για επέκταση της αποθηκευτικής χωρητικότητας στις χώρες εισαγωγής, ή γ) να τα πουλήσουν στην αγορά Scrap. Το 2016, 38 πλοία καταγράφηκαν σε κατάσταση «Laid-up», δεν εκτέλεσαν δηλαδή κανένα ταξίδι μεταφέροντας φορτίο. Ήταν κυρίως πλοία τύπου MOSS με πρόωση ατμοστρόβιλου. Παρομοίως και το 2017-2018-2019, όπου οι αντίστοιχοι αριθμοί ήταν 33-31-31 πλοία. Επιπλέον το 2016 δεν καταγράφηκε καμία μετατροπή LNG πλοίου σε FSRU/FSU, αν και το 2015 είχαν καταγραφεί 4 περιπτώσεις.



Πίνακας 20. Γράφημα: Οι διακυμάνσεις του αριθμού ενεργών πλοίων, Laid-Up, υπό μετατροπή και υπό διάλυση κατά τη δωδεκαετία 2009-2020. Εξαγωγή δεδομένων από τις ετήσιες αναφορές της GIIGNL. Πηγή: [Resources - \(giignl.org\)](https://resources.giignl.org)

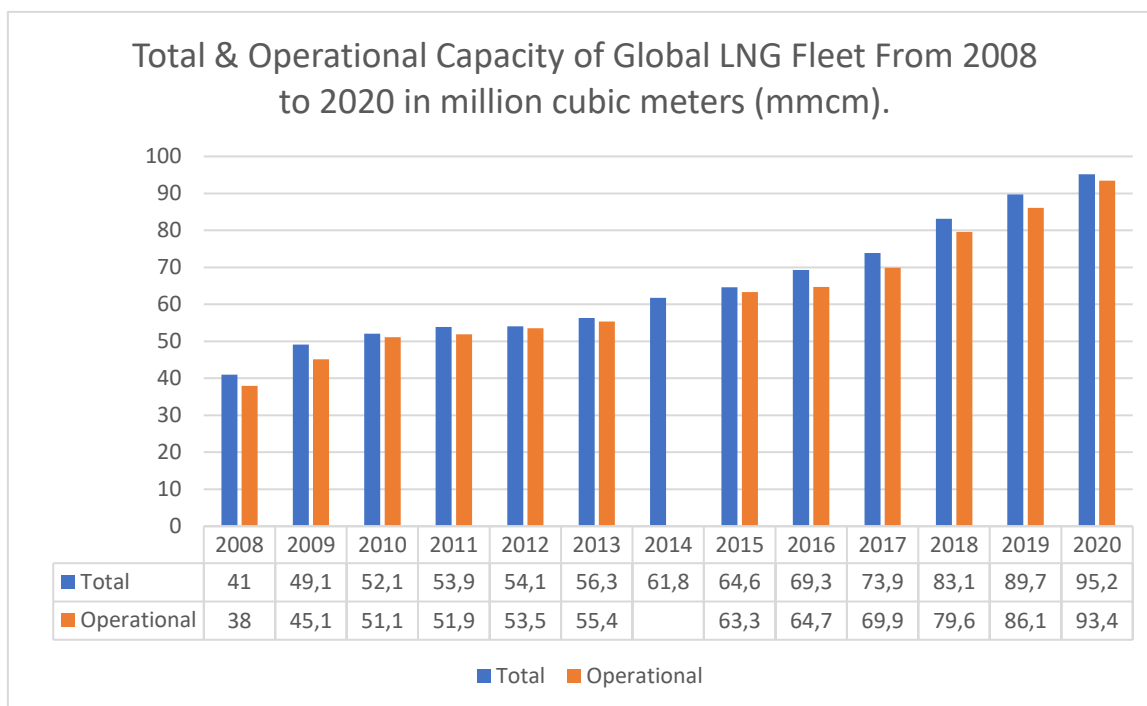
Στο γράφημα του πίνακα 20, καταγράφονται, σε βάθος δωδεκαετίας, τα ενεργά πλοία σε σχέση με τα παροπλισμένα και αυτά που διαλύθηκαν στην αγορά scrap, ενώ στον πίνακα 21 βλέπουμε την αύξηση (ανά πενταετία) του παγκόσμιου στόλου LNG από το 1960 ως το 2020.



Πίνακας 21. Γράφημα: Αριθμός πλοίων LNG παγκοσμίως, ανά πενταετία (1960-2020) Περιλαμβάνει τα πλοία όλων των μεγεθών καθώς και τα FSRU/FSU. Εξαγωγή δεδομένων από τις ετήσιες αναφορές της GIIGNL. Πηγή: [Resources - \(giignl.org\)](https://www.giignl.org/resources)

Συνολική χωρητικότητα και αύξηση μεγέθους πλοίων:

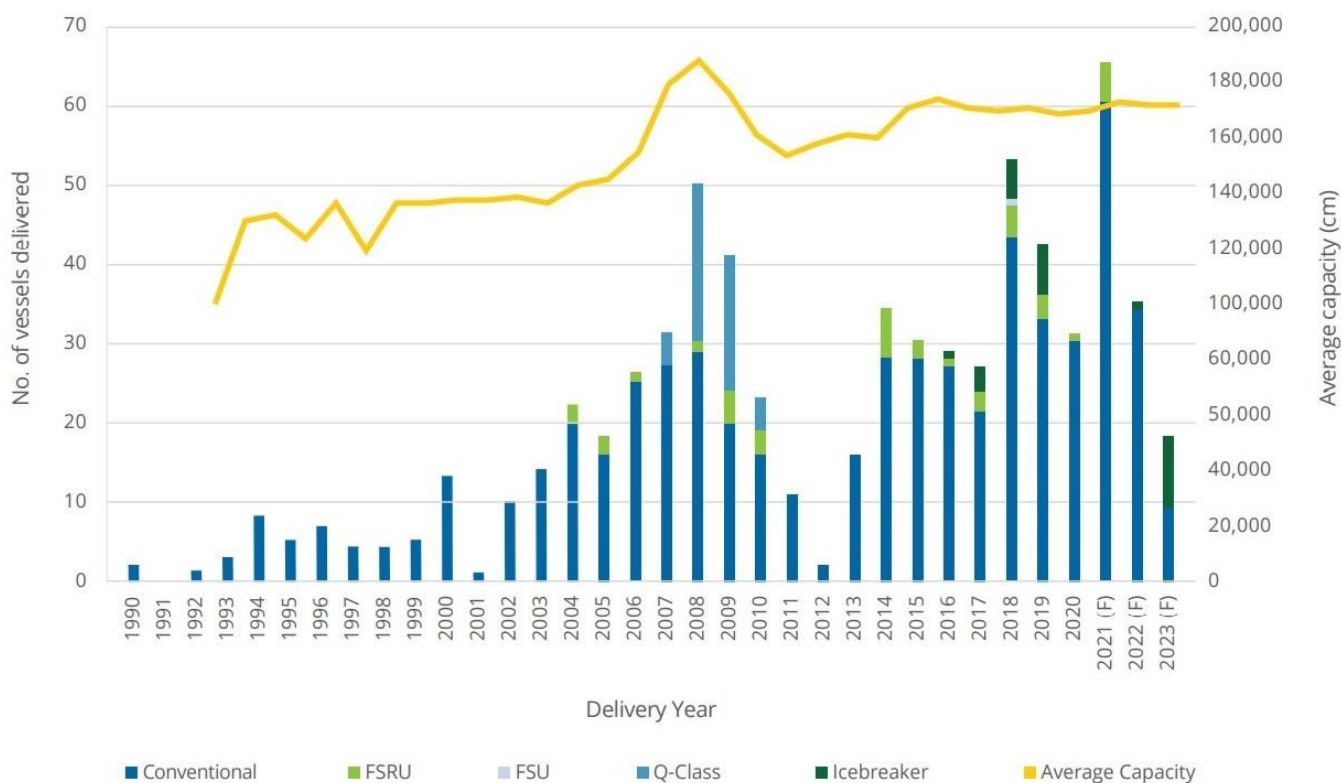
Η συνολική διαθέσιμη χωρητικότητα του παγκόσμιου στόλου στο τέλος του 2020 έφθασε τους 95,2 mmcm (million cubic meters), ενώ η λειτουργική χωρητικότητα ήταν 93,4 mmcm (στη λειτουργική χωρητικότητα δεν περιλαμβάνονται τα πλοία που δεν μετέφεραν κανένα φορτίο καθώς και όσα βρίσκονταν σε αναμονή μετατροπής τους). Στον πίνακα 22, διακρίνουμε την ετήσια αύξηση χωρητικότητας κατά τα έτη 2008-2020 (για το 2014 δεν βρέθηκαν στοιχεία λειτουργικής χωρητικότητας).



Πίνακας 22. Γράφημα με την ετήσια συνολική διαθέσιμη χωρητικότητα του παγκόσμιου στόλου LNG, αλλά και την λειτουργική (2008-2020) Εξαγωγή δεδομένων από τις ετήσιες αναφορές της GIIGNL. Πηγή: [Resources - giignl.org](https://resources-giignl.org).

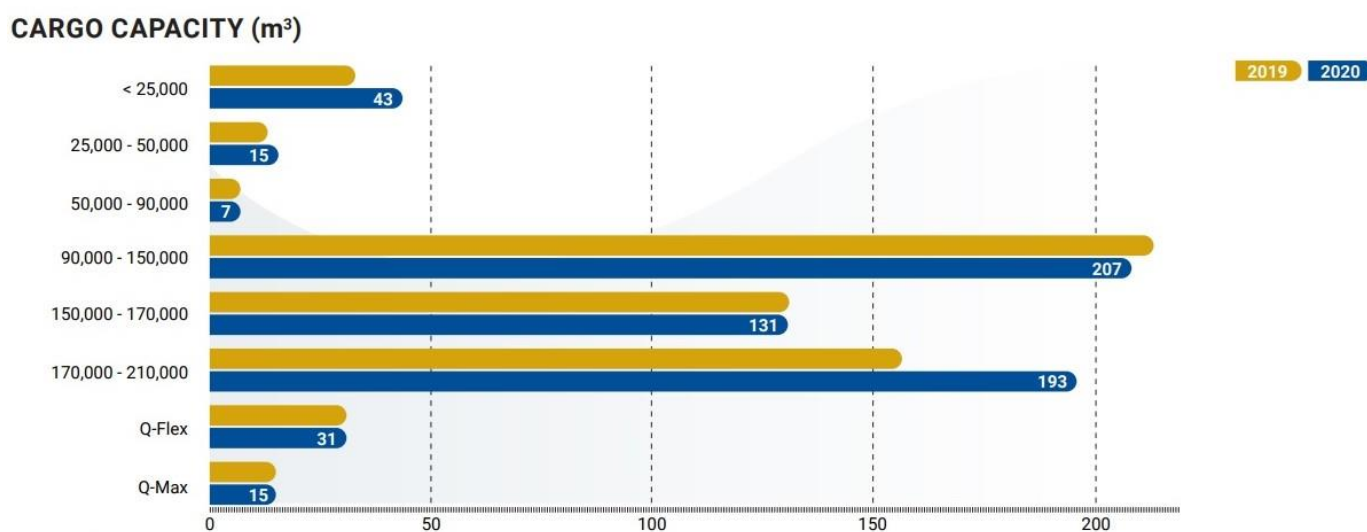
Με την πάροδο του χρόνου αυξήθηκαν και τα μεγέθη των πλοίων. Ο κ. Samir Bailouni, COO της καταριανής ναυτιλιακής εταιρείας Nakilat Shipping, συνοψίζει ότι (SIGTTO, 2019): «Υπήρξε μια αδυσώπητη αύξηση της μεταφορικής ικανότητας των συμβατικών πλοίων LNG, από τις 25.000 m³ τη δεκαετία του 1960, σε αυτά των 125.000 m³ τη δεκαετία του 1970, 137.000 m³ τη δεκαετία του 1990, 155.000 m³ τη δεκαετία του 2000 και τα σημερινά πλοία των 180.000 m³.»⁹⁰ Τα Q-flex (210.000-217.000 m³) και τα Q-max (263.000-266.000 m³) του Κατάρ δημιουργήθηκαν και αυτά τη δεκαετία του 2000, αλλά δεν συμπεριλαμβάνονται στα συμβατικά πλοία. Ωστόσο βοήθησαν κι αυτά στην αυξητική τάση των μεγεθών η οποία συνεχίζεται με όλο και περισσότερες τερματικές εγκαταστάσεις παγκοσμίως να προετοιμάζονται, ώστε να μπορούν στο μέλλον να υποδέχονται μεγαλύτερα πλοία (βλ. πίνακα 23).

⁹⁰ Πηγή: [SIGTTO at 40 Years | SIGTTO - The Society of International Gas Tanker and Terminal Operators](https://resources-giignl.org) σελ.66



Πίνακας 23. Γράφημα: Global active LNG fleet and orderbook by delivery year and average capacity 1990-2023. Πηγή: IGU- Annual Report 2021, σελ. 60, [World LNG Report 2021 | IGU](https://www.igu.org/world-lng-report-2021)

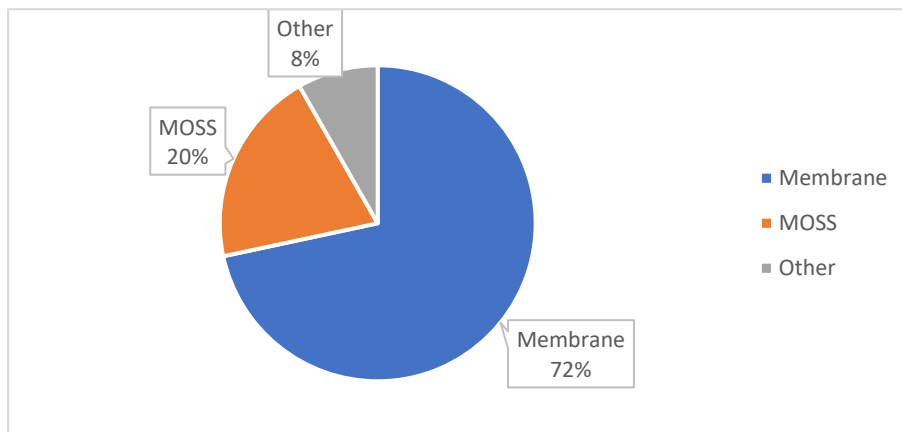
Τέλος στον πίνακα 24 βλέπουμε πώς μοιράζεται σήμερα η συνολική χωρητικότητα του παγκόσμιου στόλου LNG, ανάλογα με τα μεγέθη των πλοίων, καθώς και την αυξητική τάση σε πλοία άνω των 170.000.



Πίνακας 24. Γράφημα: Καταμερισμός συνολικής χωρητικότητας στόλου ανάλογα με τα μεγέθη των πλοίων. Πηγή: GIIGNN Annual Report 2021, σελ. 21. [GIIGNN Annual Report November 2021.pdf](https://www.giignn.com/annual-report-2021)

Ποσοστό παγκόσμιου στόλου ανάλογα με τον τύπο δεξαμενών και την πρόωση:

Η μεμβράνη, όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, έχει επικρατήσει ως σύστημα δεξαμενών φορτίου, έναντι των συστημάτων MOSS. Στο τέλος του 2020, σε σύνολο 642 ενεργών⁹¹ πλοίων τα 460 φέρουν δεξαμενές μεμβράνης, τα 129 MOSS, και 53 πλοία φέρουν άλλου είδους συστήματα.



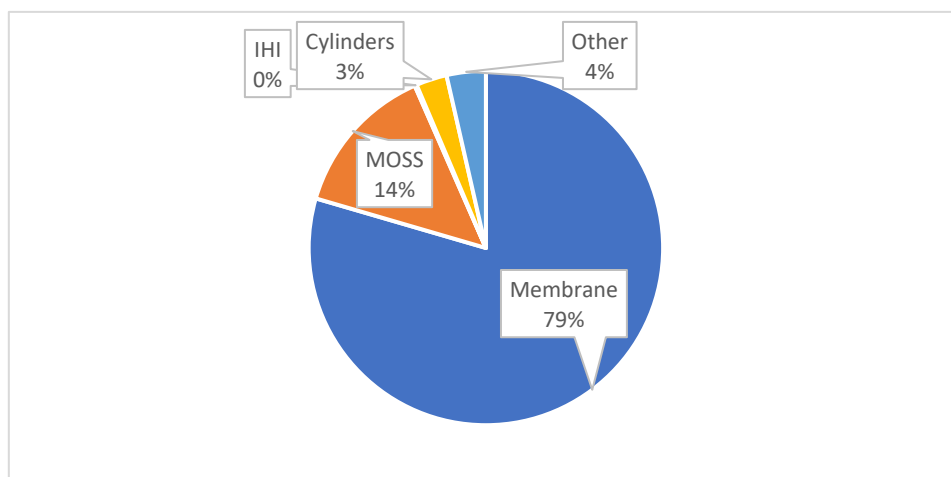
Πίνακας 25. Γράφημα: Ποσοστό συστημάτων δεξαμενών παγκόσμιου στόλου LNG στο τέλος του 2020. Πηγή δεδομένων GIIGNL-Annual Report 2021. [GIIGNL Annual Report November2021.pdf](#)

Έτος / Τύπος Δεξαμενών	Delivered Ships	Membrane	MOSS	IHI Prismatic	Cylinders	Others
2020	47	39	4			4
2019	44	33	8		3	
2018	57	39	11	1	4	2 KOG
2017	34	24	3			7
2016	31	25	4			2
2015	33	28	1			4
2014	34	30	4			
2013	20	17	2		1	
2012	2	2				
2011	16	10	1		5	
2010	25	21	2		2	
2009	40	34	6			
2008	48	42	6			
2007	35	32	3			
2006	27	18	9			
2005	18	14	4			
2004	21	15	6			
Σύνολο	532	423	74	1	15	19

Πίνακας 26. Τύπος δεξαμενών στα υπό παράδοση πλοία ανά έτος (2004-2020). Εξαγωγή δεδομένων από τις ετήσιες αναφορές της GIIGNL. Πηγή: [Resources - \(giignl.org\)](#).

⁹¹ GIIGNL-Annual Report 2021, σελ. 21, Πηγή: [GIIGNL Annual Report November2021.pdf](#)

Ο πίνακας 26 εξετάζει ανά έτος, σε πόσα από τα υπό παράδοση πλοία είχε επιλεγθεί ο κάθε τύπος, ενώ στο γράφημα του πίνακα 27, βλέπουμε σχηματικά το ποσοστό του κάθε τύπου στο σύνολο των 532 πλοίων που παραδόθηκαν από το 2004 ως το 2020.



Πίνακας 27. Γράφημα: Ποσοστό τύπου δεξαμενών που επιλέχθηκε στα πλοία που παραδόθηκαν κατά τα έτη 2004-2020. Εξαγωγή δεδομένων από τις ετήσιες αναφορές της GIIGNL. Πηγή: [Resources - \(giignl.org\)](https://www.giignl.org/resources).

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 3.3.2, τα συστήματα πρόωσης εξελίσσονταν και με την πάροδο του χρόνου, κάποια εγκαταλείφθηκαν για οικονομικούς λόγους ή λόγω ανάγκης να προσαρμοστούν στους Διεθνείς Κανονισμούς. Το διάγραμμα του πίνακα 28 παρουσιάζει σχηματικά την επιλογή συστήματος πρόωσης στα πλοία που παραδόθηκαν από το 2016 ως σήμερα καθώς και μια πρόβλεψη για την εικόνα των επόμενων πέντε ετών, σύμφωνα με τις παραγγελίες που έχουν ήδη κατατεθεί στο orderbook.



Πίνακας 28. Γράφημα: Συστήματα πρόωσης LNG πλοίων που παραδόθηκαν την περίοδο 2016-2020, καθώς και όσων θα παραδοθούν ως το 2025. Πηγή: IGU-World LNG Annual Report 2021, σελ. 61, [World LNG Report 2021 | IGU](https://www.igu.org/world-lng-report-2021)

Ναυπηγεία / Χρονικό διάστημα κατασκευής / Κόστος νεότευκτων πλοίων:

Όπως είδαμε, τα πρώτα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου κατασκευάστηκαν σε ναυπηγεία της Ευρώπης, αλλά και των Η.Π.Α. Αργότερα, ο κύριος όγκος ναυπήγησης μεταφέρθηκε στην Ασία, με την Ιαπωνία να πρωτοστατεί, ενώ σήμερα κυριαρχούν τα ναυπηγεία της Νότιας Κορέας, με την Κίνα να ακολουθεί δυναμικά.

Το 2020 τα τρία ναυπηγεία με τις περισσότερες παραγγελίες ανήκαν στις κορεάτικες εταιρείες⁹² Hyundai με 44 παραγγελίες, Daewoo με 28 και Samsung Heavy Industries με 27. Ακολουθούσε η κινεζική Hudong Zhonghua με 10 παραγγελίες, η ιαπωνική Imabari με 4 και η κινεζική Jiangnan με 2.

Ναυπηγεία / Έτος	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014
Hyundai (South Korea)	44	47	35	18	16	26	31
Daewoo (South Korea)	28	30	38	37	53	52	54
Samsung (South Korea)	27	31	20	14	15	21	31
Hyudong/Zhonghua	10	7	6	11	8	11	12
Zvezda (Russia)	15	1					
Imabari (Japan)	4	4	4	6	6	6	2
Jiangnan (China)	2	2	2	8			
Mitsubishi (Japan)			5	4	11	11	7
Zhejiang (China)		1					
Japan Marine (Japan)			3	3	4	5	5
Kawasaki (Japan)			3	3	8	10	7
Xiamen (China)			1	1		1	1
STX (South Korea)							3
Dalian (China)							2
Σύνολο ανά έτος	130	126	118	106	121	146	155

Πίνακας 29. Κατάταξη παραγγελιών LNG πλοίων στα ναυπηγεία. Περιλαμβάνονται πλοία άνω των 30.000 m³, καθώς και FSRU/FSU. Εξαγωγή δεδομένων από τις ετήσιες αναφορές της IGU. Ανακτήθηκαν από το διαδίκτυο στη διεύθυνση: [Resources | International Gas Union \(igu.org\)](https://www.igu.org/resources)

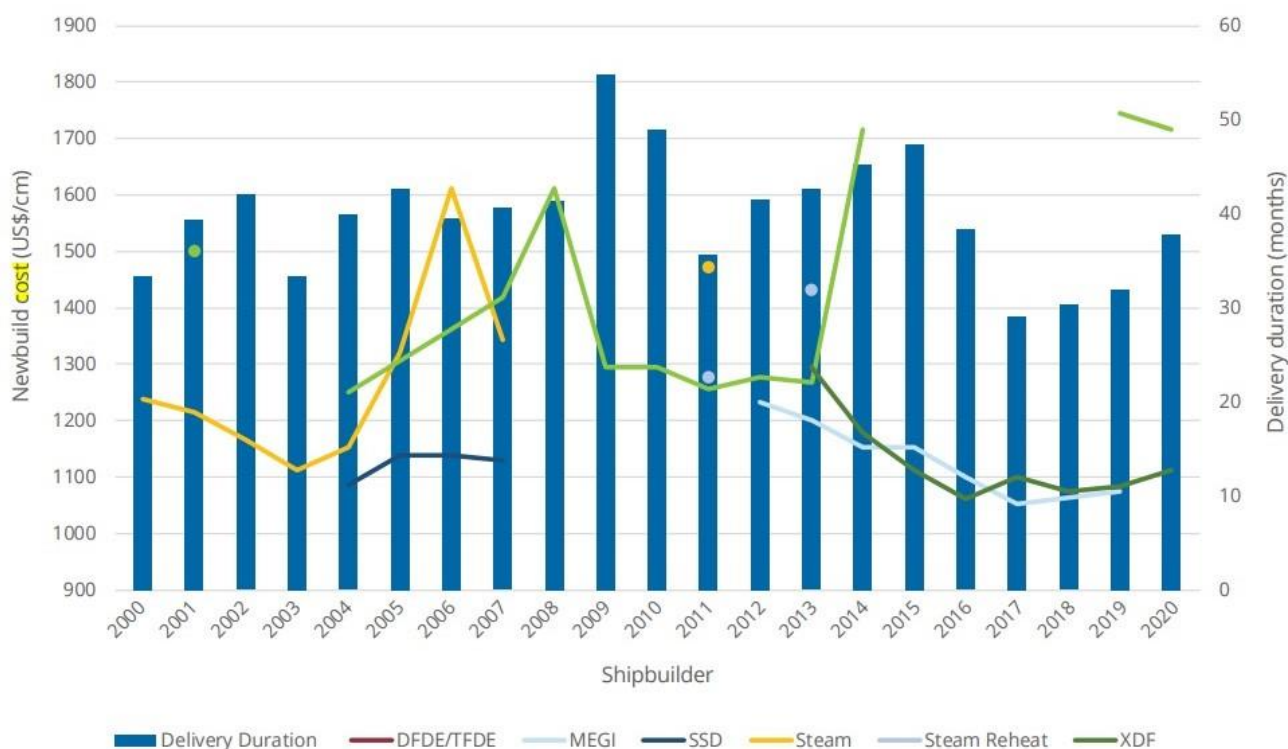
Στον πίνακα 29 βλέπουμε τον αριθμό των πλοίων που βρίσκονταν στο βιβλίο παραγγελιών κάθε ναυπηγείου ανά έτος από το 2014 ως το 2020, όπως παρουσιάζονται

⁹² [World LNG Report 2021 | IGU](https://www.igu.org/resources) σελ.67

στις ετήσιες αναφορές της IGU. Τα τρία κορεάτικα ναυπηγεία Hyundai, Daewoo και Samsung κυριαρχούν με μεγάλη διαφορά από τα υπόλοιπα. Συνολικά στον πίνακα υπάρχουν τέσσερα ναυπηγεία της Ν. Κορέας, πέντε της Κίνας, τέσσερα της Ιαπωνίας και ένα της Ρωσίας.

Το χρονικό διάστημα κατασκευής ενός πλοίου κυμαίνεται από 30 ως 50 μήνες και το κόστος του μεταβάλλεται ανάλογα με τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του καθώς και με τη ζήτηση της εποχής. Για παράδειγμα το 2014, η αύξηση της ζήτησης για TFDE πλοία οδήγησε το μέσο κόστος τους σε αύξηση. Από 1.305 δολάρια ανά κυβικό μέτρο το 2005 σε 1.555 δολάρια ανά κυβικό μέτρο το 2014.⁹³

Ωστόσο το 2016, το κόστος έπεσε πάλι στα 1.092 δολάρια, λόγω των κορεάτικων ναυπηγείων που κατέβασαν τις τιμές, ως μια επιθετική στρατηγική αντιμετώπισης της κάμψης στην αγορά που ήδη αναφέρθηκε. Αναγκαστικά ακολούθησαν και τα ιαπωνικά και τα κινέζικα ναυπηγεία, προσπαθώντας να επικρατήσουν του ανταγωνισμού. Επίσης



Πίνακας 30. Γράφημα: Το πλάνο παράδοσης των νεότευκτων LNG πλοίων και το κόστος ανάλογα με τον τύπο πρόωσης, κατά την εικοσαετία 2000-2020. Πηγή: IGU Annual Report, σελ. 69, [World LNG Report 2021 | IGU](#)

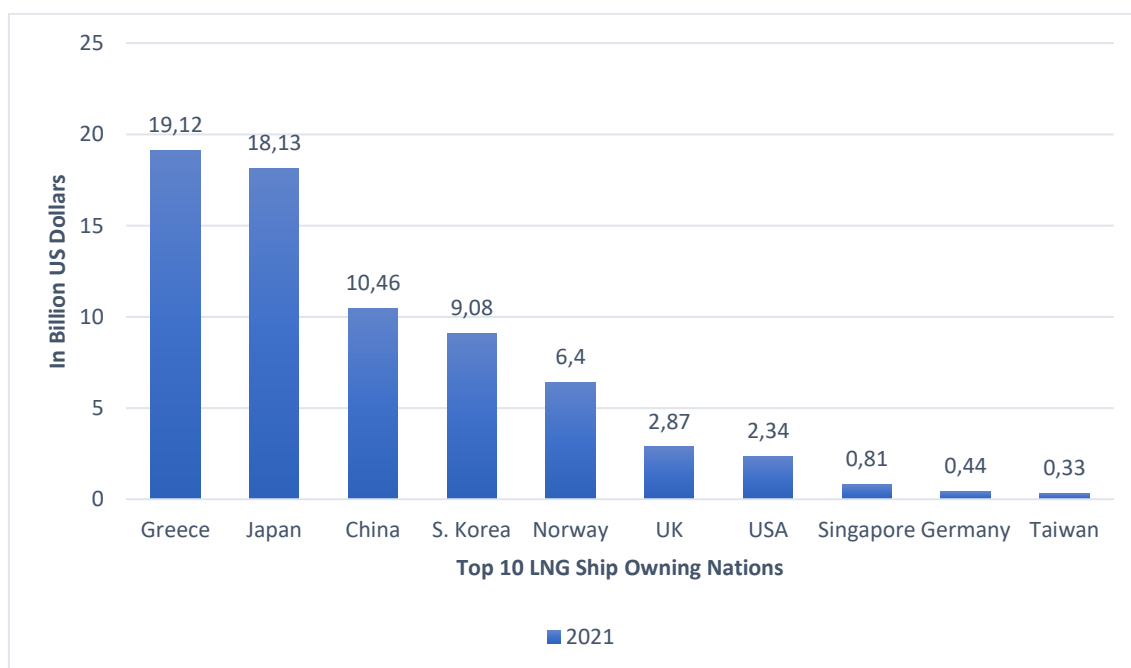
⁹³ [IGU World LNG Report, June 2015 | IGU](#) σελ.44

το 2017⁹⁴, το μέσο κόστος άγγιξε τα 1.700 δολάρια ανά m³, λόγω των Ice-class πλοίων της Yamal, που τιμολογήθηκαν περίπου 320 εκατομμύρια δολάρια το καθένα.

Ο πίνακας 30 δείχνει πώς το κόστος κατασκευής X-DF και ME-GI πλοίων από 1.200 και 1.300 δολάρια ανά m³ το 2012-2013, έχουν καταλήξει στα 1.100 δολάρια ανά m³, το 2020.

Πλοιοκτησία/ Εθνικότητα στόλου LNG

Τα τελευταία χρόνια φαίνεται ότι οι Έλληνες κατέχουν την πρωτιά στο ποσοστό κατοχής LNG πλοίων. Όπως βλέπουμε και στο διάγραμμα (πίνακας 31) στο τέλος του 2021, η αξία του ελληνικής πλοιοκτησίας LNG στόλου ξεπερνούσε τα 19 δισεκατομμύρια δολάρια. Τη δεύτερη θέση κατείχε η Ιαπωνία με 18,1 δις και την τρίτη η Κίνα με 10,4 δις.



Πίνακας 31. Γράφημα: Τα δέκα κράτη με το μεγαλύτερο στόλο LNG ανάλογα την αξία του. Εξαγωγή δεδομένων από πίνακα Top 10 Ship Owning Nations 2021, VesselsValue. Πηγή: [Top 10 Ship Owning Nations: China 1st at the list - SAFETY4SEA](#)

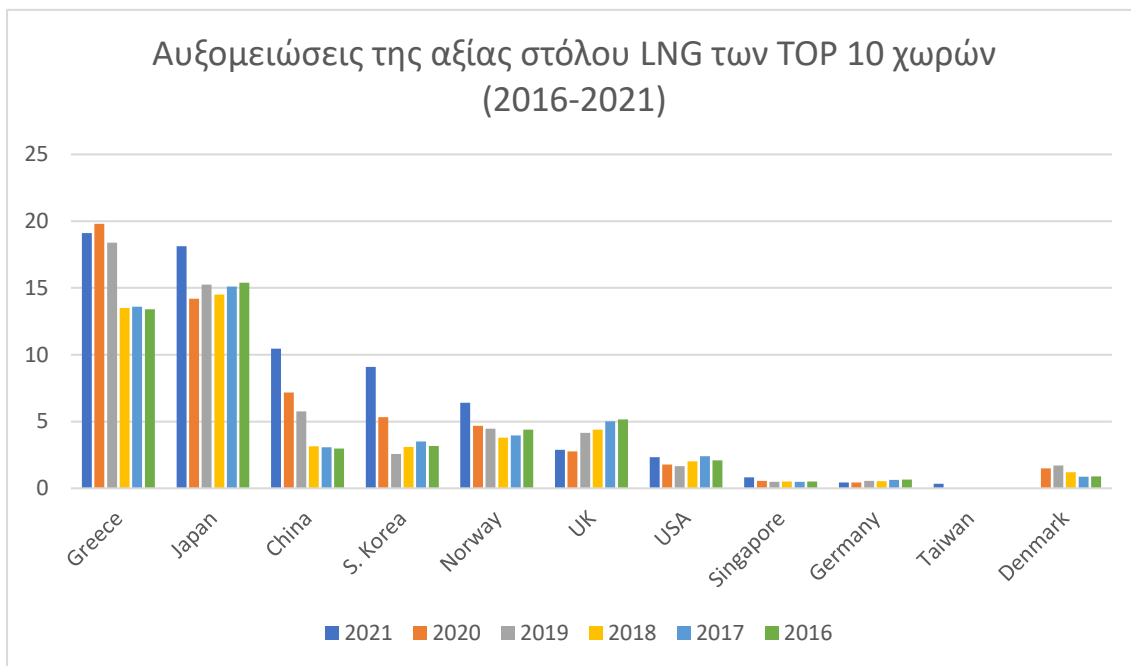
⁹⁴ IGU Annual Report 2017, σελ. 43 [IGU World LNG Report 2017 | IGU](#)

	2021	2020	2019	2018	2017	2016
Greece	19,12	19,8	18,4	13,5	13,6	13,4
Japan	18,13	14,2	15,26	14,5	15,1	15,4
China	10,46	7,17	5,75	3,15	3,07	2,97
S. Korea	9,08	5,32	2,57	3,1	3,5	3,17
Norway	6,4	4,68	4,46	3,8	3,97	4,39
UK	2,87	2,76	4,15	4,4	5,02	5,17
USA	2,34	1,79	1,65	2,01	2,4	2,09
Singapore	0,81	0,56	0,48	0,5	0,48	0,5
Germany	0,44	0,44	0,55	0,54	0,63	0,65
Taiwan	0,33					
Denmark		1,5	1,7	1,2	0,87	0,9

Πίνακας 32. Αξία στόλου (σε δις δολάρια Η.Π.Α.) των 10 μεγαλύτερων πλοιοκτητριών χωρών 2016- 2021. Εξαγωγή δεδομένων από πίνακες της VesselsValue

Ο πίνακας 32 εμφανίζει την αξία του στόλου LNG για τις 10 πρώτες χώρες στην κατάταξη, από το 2016 ως 2021. Μέχρι το 2018 το μεγαλύτερο στόλο διέθετε η Ιαπωνία, αλλά από το 2019 πρωτοστατούν οι Έλληνες πλοιοκτήτες. Μπορούμε να δούμε επίσης την αλματώδη ανάπτυξη της Κίνας, που τα τελευταία χρόνια έχει πολλαπλασιάσει το στόλο της. Από έκτη στην κατάταξη του 2016 έφτασε στην τρίτη θέση το 2021. Σύμφωνα με τα νούμερα απέχει αρκετά από τους δύο πρώτους (Ελλάδα-Ιαπωνία), αλλά τα πλοία της είναι νεότερα σε ηλικία. Τα δύο τελευταία χρόνια, στη τέταρτη θέση ακολουθεί η Νότια Κορέα με στόλο αξίας 9,08 δις δολάρια, η οποία παρουσιάζει κι αυτή τεράστια ανάπτυξη στον κλάδο της μεταφοράς LNG. Το Ηνωμένο Βασίλειο αντίθετα έχει πτωτική τάση, αν και η αξία του στόλου του το διατηρεί στην Πέμπτη θέση της παγκόσμιας κατάταξης

Στο επόμενο διάγραμμα (πίνακας 33) εμφανίζονται σχηματικά οι αυξομειώσεις της αξίας του στόλου LNG για κάθε μία από τις δέκα πρώτες στην κατάταξη χώρες, κατά τα τελευταία έξι χρόνια. Φαίνεται καθαρά και η μεγάλη διαφορά των πρώτων από αυτούς που έπονται.

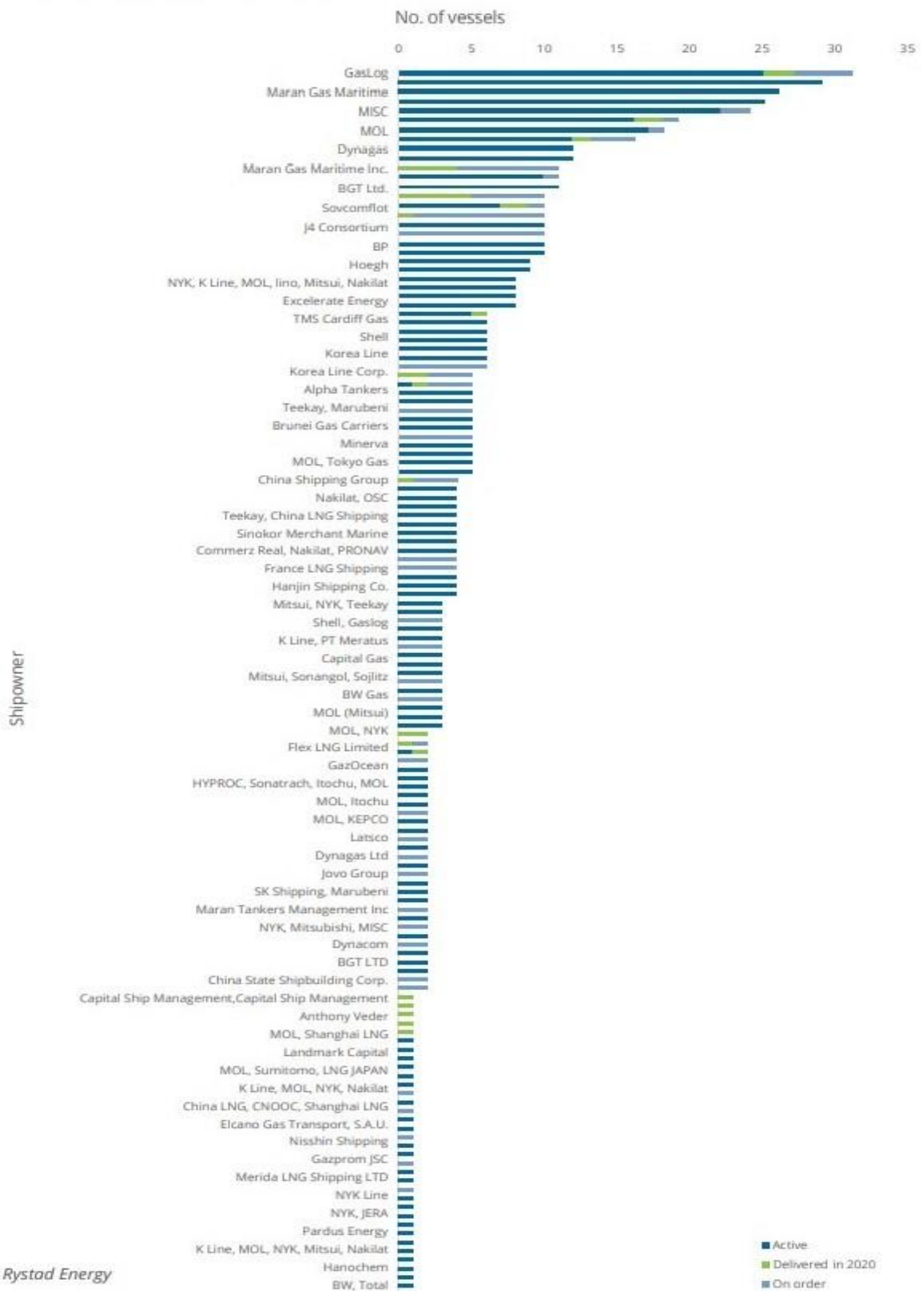


Πίνακας 33. Αυξομειώσεις της αξίας στόλου στις 10 πρώτες χώρες. Εξαγωγή δεδομένων από πίνακα 29.

Όσον αφορά τις πλοιοκτήτριες εταιρείες που διαχειρίζονται τον παγκόσμιο στόλο LNG, το παρακάτω διάγραμμα (πίνακας 34) εμφανίζει τις πέντε μεγαλύτερες, από άποψη μεγέθους στόλου (συνυπολογίζονται και τα πλοία που ανήκουν σε θυγατρικές εταιρείες), ενώ στο επόμενο (πίνακας 35) της IGU καταγράφονται ξεχωριστά όλοι οι πλοιοκτήτες ή κοινοπραξίες που διαθέτουν τέσσερα πλοία και πάνω, είτε εν ενεργεία, είτε υπό παραγγελία.



Πίνακας 34. Γράφημα: Οι πέντε μεγαλύτερες εταιρείες σε μέγεθος στόλου LNG. Πηγή: [Riviera - News Content Hub - Top five LNG carrier owners \(rivieramm.com\)](https://www.rivieramm.com/content-hub-top-five-lng-carrier-owners/)



Source: Rystad Energy

² Shipowners or consortiums with four or more current and ordered vessels were included.

Πίνακας 35. Γράφημα: Ο παγκόσμιος στόλος LNG ανά πλοιοκτήτρια εταιρεία. Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU Appedix 3. Table of Global Active LNG Fleet, Year-End 2019. Σελ.67](#)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ LNG

Για να προβλέψει κανείς το μέλλον του LNG πρέπει να λάβει υπόψιν του τους εξής παράγοντες, οι οποίοι είναι αλληλένδετοι και επηρεάζει ο ένας τον άλλον:

1. Το μέλλον του LNG είναι στενά συνδεδεμένο με το μέλλον του φυσικού αερίου. Γνωρίζουμε όμως ότι τα αποθέματα φυσικού αερίου όπως και αυτά του πετρελαίου είναι περιορισμένα. Για την ακρίβεια, θεωρείται ότι επαρκούν για 30-50 χρόνια ακόμα. Βέβαια η επανάσταση του σχιστολιθικού αερίου επιμήκυνε κάπως το χρονικό διάστημα, και οι εταιρείες ερευνούν συνεχώς για νέους βιώσιμους τρόπους εξόρυξης ακόμα πιο δυσπρόσιτων κοιτασμάτων.

2. Οι Διεθνείς Οργανισμοί για το περιβάλλον πιέζουν ολοένα και περισσότερο τις κυβερνήσεις να λάβουν μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος και του πλανήτη, προτού να είναι αργά να διασωθεί. Αυτό οδηγεί στην έκδοση ασφυκτικών χρονοδιαγραμμάτων για την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και την στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Το φυσικό αέριο είναι από τα λιγότερο ρυπογόνα καύσιμα. Θεωρείται μάλιστα, η καθαρότερη πηγή πρωτογενούς ενέργειας μετά τις ανανεώσιμες πηγές. Πράγματι η καύση του παράγει 50% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα CO₂ από την καύση άνθρακα και 30% λιγότερο από την καύση πετρελαίου. Επίσης παράγει σχεδόν μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του θείου SO₂, 30% λιγότερο μονοξείδιο του αζώτου NO και 50% λιγότερα μικροσωματίδια MPs⁹⁵. Γι' αυτό το λόγο έχει επιλεγεί ως το μεταβατικό (εναλλακτικό) καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί ώσπου να επιτευχθεί η μετάβαση στην πράσινη ενέργεια.

Παρόλα αυτά, το φυσικό αέριο ενοχοποιείται για τις εκπομπές μεθανίου CH₄, που είναι και το βασικό συστατικό του. Το μεθάνιο είναι κι αυτό ένα από τα αέρια του

⁹⁵ Gastrade “Οφέλη προς το περιβάλλον” Πηγή: [Οφέλη προς το περιβάλλον \(gastrade.gr\)](http://gastrade.gr)

θερμοκηπίου⁹⁶, επειδή όταν εκπέμπεται στο περιβάλλον συσσωρεύεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας δημιουργώντας ένα στρώμα αερίων που εμποδίζουν την αντανάκλαση της ηλιακής θερμότητας να διαφύγει από τη γη. Με αυτόν τον τρόπο συμβάλλει στην υπερθέρμανση της γης (φαινόμενο θερμοκηπίου). Το γεγονός αυτό, σύμφωνα με τις περιβαλλοντικές οργανώσεις αναιρεί το όποιο όφελος από την χρήση του φυσικού αερίου, αν και η παραμονή του μεθανίου στην ατμόσφαιρα είναι για 5-20 χρόνια, ενώ του διοξειδίου του άνθρακα για αιώνες. Ωστόσο είναι αλήθεια πως διαρροές μεθανίου παρατηρούνται σε όλη τη διαδικασία, από την εξόρυξη, την επεξεργασία, τη μεταφορά ως και την τελική καύση του.

Επιπλέον, αν και θεωρείται το πιο καθαρό ορυκτό καύσιμο, η μέθοδος εξόρυξης του σχιστολιθικού φυσικού αερίου (υδραυλική ρωγματοποίηση) είναι αμφιλεγόμενη και αποδεδειγμένα επιζήμια για το περιβάλλον.

3. Ανταγωνιστές του LNG ως μεταβατικό καύσιμο.

Η πυρηνική ενέργεια είναι ένας σοβαρός ανταγωνιστής του LNG ως μεταβατικό καύσιμο, τουλάχιστον όσον αφορά την χρήση του στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι καθαρή ενέργεια όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων. Ωστόσο, τα σοβαρά πυρηνικά ατυχήματα του Τσέρνομπιλ (1986) και της Φουκουσίμα (2011), δημιούργησαν μία «φοβία» στην κοινωνία για τα πυρηνικά εργοστάσια με αποτέλεσμα η κοινή γνώμη να μη συναινεί στην κατασκευή και χρήση τους. Πρόσφατα, οι «στρατιωτικές επιχειρήσεις» της Ρωσίας στην Ουκρανία, επανέφεραν στο προσκήνιο τον φόβο ενός πυρηνικού ατυχήματος.

Το υδρογόνο, η αμμωνία και η μεθανόλη ερευνώνται ως πιθανά εναλλακτικά καύσιμα αν και δεν φαίνεται να κερδίζουν σοβαρό έδαφος μέχρι τώρα. Αν και καίγονται χωρίς να εκλύουν διοξείδιο του άνθρακα, για να παραχθούν βιομηχανικά απαιτείται η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, επομένως επιφέρουν τις ίδιες επιπτώσεις στο περιβάλλον για τις οποίες κατηγορείται το ορυκτό καύσιμο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της.

⁹⁶ Ευγενία Μπαλασά, «Τα βρώμικα μυστικά του φυσικού αερίου επιταχύνουν την κλιματική αλλαγή», 2019, E-mc2 (Energy matters to climate changes). Πηγή: [Τα «βρώμικα» μυστικά του φυσικού αερίου επιταχύνουν την κλιματική αλλαγή. | e-mc2.gr](https://www.e-mc2.gr/ta-brwmika-mystika-tou-fysikou-aeriou-epitachynoun-tin-klimatiki-allaghi/)

Επιπροσθέτως, χρειάζονται νέες υποδομές παραγωγής, αποθήκευσης και μεταφοράς τους.

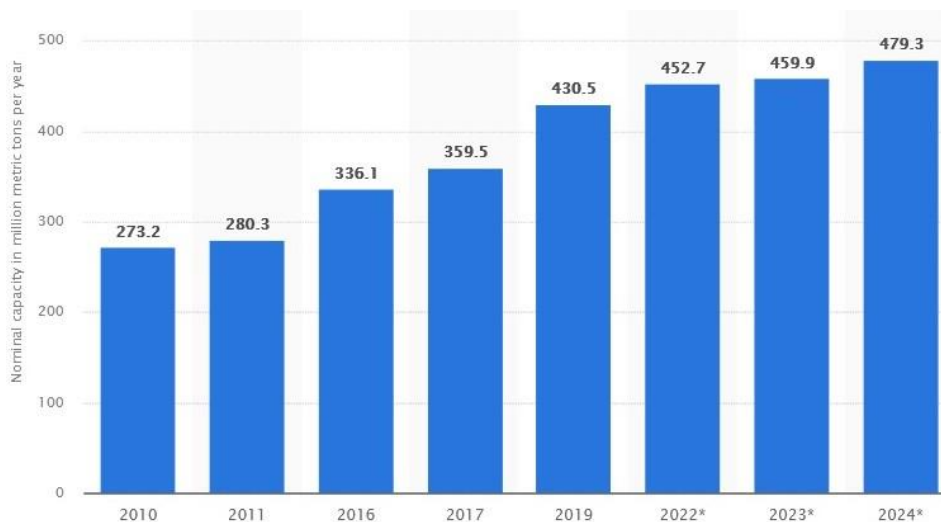
Το «πράσινο υδρογόνο⁹⁷» είναι ένας ακόμα μελλοντικός ανταγωνιστής του φυσικού αερίου, μάλιστα θεωρείται τελικός αντικαταστάτης του, αν επαληθευτούν οι προβλέψεις για παραγωγή επαρκών ποσοτήτων του. Το υδρογόνο που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο διαφέρει από το πράσινο υδρογόνο ως προς τον τρόπο παραγωγής του. Καταρχάς, το υδρογόνο δεν υπάρχει ελεύθερο στη φύση, αλλά πρέπει να παραχθεί είτε από ορυκτά καύσιμα (φυσικό αέριο) είτε από το νερό με διάσπαση των στοιχείων του. Η παραγωγή από το φυσικό αέριο έχει ως αποτέλεσμα εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, επομένως δεν μπορεί να θεωρηθεί «πράσινο». Η παραγωγή του από το νερό επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της ηλεκτρόλυσης με την οποία διαχωρίζεται το υδρογόνο από το οξυγόνο. Για να πραγματοποιηθεί όμως η ηλεκτρόλυση χρειάζεται ηλεκτρική ενέργεια. Ως εκ τούτου, το πράσινο υδρογόνο ή ανανεώσιμο υδρογόνο είναι αυτό που για την παραγωγή του χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Προς το παρόν δεν υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές τόσο για την παραγωγή και αποθήκευσή του, όσο και για την μεταφορά του και οι μελλοντικές εκτιμήσεις δείχνουν πρόοδο αλλά όχι αρκετά σύντομη. Επιπλέον, δεν είναι ανταγωνιστικό από άποψη κόστους, επειδή η διαδικασία παραγωγής του είναι πολυδάπανη. Στα σχέδια πάντως της Ευρώπης είναι να δοθούν κίνητρα για την ανάπτυξη του τομέα, ώστε μέχρι το 2050, να αντιπροσωπεύει μεγάλο μέρος του ενεργειακού μείγματος της ΕΕ.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (πχ. φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες) είναι και ο τελικός στόχος όλων των κρατών που ανησυχούν για την κλιματική αλλαγή και προσπαθούν αν όχι να τη σταματήσουν, τουλάχιστον να την καθυστερήσουν. Προς το παρόν, αν και όλες οι κρατικές πολιτικές για την ενέργεια προσπαθούν να τις ενσωματώσουν στην στρατηγική τους, φαίνεται πως έχει πολύ δρόμο ακόμα ώσπου να καταστεί βιώσιμος ο τομέας, έχοντας να αντιμετωπίσει εκτός από την εμπιστοσύνη των επενδυτών που θα κληθούν διαθέσουν τα κεφάλαια για την υλοποίησή των σχεδίων και των υποδομών, αλλά και την επιφύλαξη και εναντίωση των κοινωνιών που δυσπιστούν

⁹⁷«E&A: Στρατηγική για το υδρογόνο για μια κλιματικά ουδέτερη Ευρώπη» Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2020). Πηγή: [E & A: Στρατηγική για το υδρογόνο \(europa.eu\)](https://eura.europa.eu)

Παρόλα αυτά, σύμφωνα με την ΙΕΑ (International Energy Agency)¹⁰¹, η δυνατότητα υγροποίησης των μονάδων αυξάνεται με πιο γρήγορο ρυθμό σε σχέση με την ανάπτυξη του εμπορίου LNG, γεγονός που θα οδηγήσει σε δυσαναλογία προσφοράς και ζήτησης. Η πρόβλεψη αυτή βέβαια δεν επαληθεύτηκε, λόγω των εξελίξεων στην Ουκρανία που αύξησε τη ζήτηση για υγροποιημένο φυσικό αέριο στην Ευρώπη.

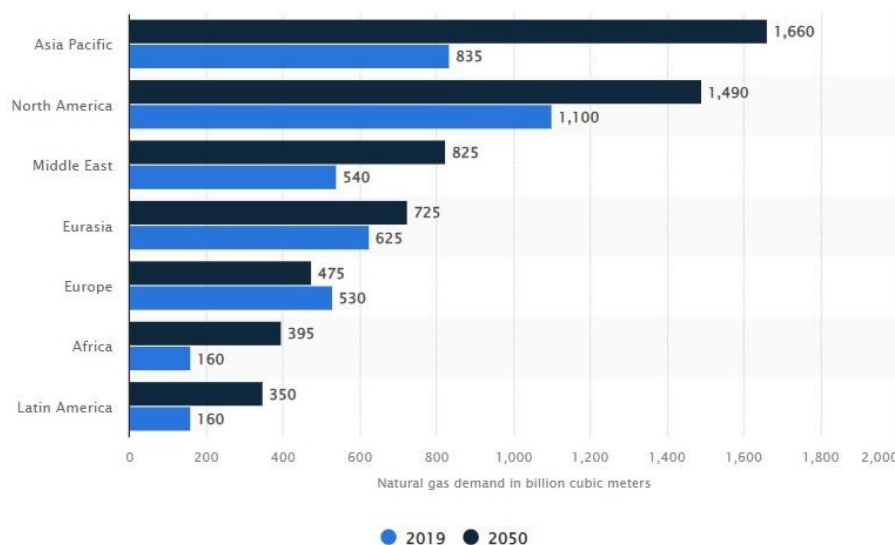


Πίνακας 36. Διάγραμμα: Ικανότητα υγροποίησης φυσικού αερίου από το 2010 με πρόβλεψη ως το 2024 Πηγή: [Natural gas nominal liquefaction capacity worldwide 2024 | Statista](#).

6. Όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, οι επενδύσεις στο υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι εντάσεως κεφαλαίου και απαιτούν τεράστια οικονομική δέσμευση. Κατά συνέπεια, οι επενδυτές χρειάζονται κάποιες εξασφαλίσεις ότι θα έχουν σίγουρη απόσβεση των επενδύσεών τους και ότι αυτές θα τους αποφέρουν και κάποια κέρδη. Σύμφωνα όμως με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, αυτές οι εξασφαλίσεις δεν είναι μακροχρόνιες. Αντιθέτως έχουν περιορισμένο χρονικό ορίζοντα το 2050, όπου σύμφωνα με την Συμφωνία του Παρισιού (Paris Agreement), οι χώρες που έχουν υπογράψει θα πρέπει να έχουν ανεξαρτητοποιηθεί από τα ορυκτά καύσιμα ώστε να έχουν μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ο πραγματικός στόχος είναι να διατηρηθεί η θερμοκρασία του πλανήτη έως 2 βαθμούς παραπάνω από όσο ήταν πριν την βιομηχανική επανάσταση (πριν αναπτυχθεί η βιομηχανία).

¹⁰¹ ΙΕΑ, Gas 2020, σελ. 54. Πηγή: [Gas 2020 \(windows.net\)](#)

Επομένως το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο μπορούν να κινηθούν με μια σχετική σιγουριά οι επενδύσεις στον τομέα είναι ως το 2050. Το γράφημα (πίνακας 37) παρουσιάζει μια εκτίμηση της Statista, για την κατανάλωση φυσικού αερίου ανά περιοχή ως το 2050.



Πίνακας 37. Γράφημα: Η κατανάλωση φυσικού αερίου ανά περιοχή κατά το 2019 και η πρόβλεψη για το 2050.
Πηγή: • [Natural gas demand outlook by region 2050 | Statista](#)

Αν επαληθευτεί, φαίνεται ότι η κατανάλωση φυσικού αερίου στην Ανατολική Ασία θα διπλασιαστεί σε αυτό το διάστημα, ενώ θα αυξηθεί και στην Βόρεια Αμερική και τη Μέση Ανατολή. Αντίθετα, προβλέπεται μείωση στην Ευρώπη, αν και όχι αρκετή, ώστε να τη βοηθήσει να φθάσει τους κλιματικούς στόχους που έχει θέσει.

7. Γεωπολιτική.

Η μεγάλη διαφορά ανάμεσα στη μεταφορά του φυσικού αερίου μέσω αγωγών και μέσω πλοίων υδροποιημένου φυσικού αερίου, είναι ο βαθμός επίδρασης της γεωπολιτικής. Οι αγωγοί δημιουργούν εξαρτήσεις των χωρών-πελατών τόσο από τους παραγωγούς όσο και από τις ενδιάμεσες χώρες από τις οποίες περνούν οι αγωγοί. Επίσης απαιτούν πολύχρονες δεσμεύσεις με συμβόλαια και δεν αφήνουν χώρο για ελιγμούς. Αντίθετα το υδροποιημένο φυσικό αέριο προσφέρει ευελιξία. Τα πλοία κινούνται ελεύθερα σε όλους τους ωκεανούς και μπορούν να προμηθεύσουν το φορτίο τους σε οποιοδήποτε λιμάνι του κόσμου, αρκεί να διαθέτει τις απαραίτητες υποδομές.

Οι τελευταίες εξελίξεις σε Ευρωπαϊκό έδαφος που αφορούν τον μεγαλύτερο εξαγωγέα φυσικού αερίου έχουν αναδείξει το ρόλο της γεωπολιτικής στον ενεργειακό τομέα και κατ' επέκτασιν στο μέλλον του LNG. Η εισαγωγή φυσικού αερίου μέσω αγωγών από τη Ρωσία, που έφερνε το φθινό αέριο στην ΕΕ, δημιούργησε ενεργειακή κρίση, η οποία, προς το παρόν, φαίνεται δύσκολο να ξεπεραστεί. Για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα, η Ευρώπη στρέφεται προς τις εισαγωγές LNG, αρχικά από τις Η.Π.Α., αλλά σταδιακά και από άλλες χώρες παραγωγής. Κάθε χώρα της Ένωσης μελετά τρόπους αύξησης της χωρητικότητας αποθήκευσης και τη δημιουργία σταθμών επαναεριοποίησης. Σημαντικό ρόλο αναλαμβάνουν τα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ, γεγονός που ωθεί τους πλοιοκτήτες στην παραγγελία νέων πλοίων, αλλά και των πλωτών δεξαμενών αποθήκευσης (FSU) και επαναεριοποίησης (FSRU), που αποτελούν την πιο σύντομη και ευέλικτη λύση για τα κράτη που μέχρι τώρα τροφοδοτούνταν μέσω αγωγών.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση λοιπόν, η επίδραση της γεωπολιτικής ενίσχυσε το ρόλο του LNG, ενώ αντίθετα υποδαύλισε το ρόλο των αγωγών στην προμήθεια του πολύτιμου αερίου.

Συνοπτικά λοιπόν θα λέγαμε ότι το μέλλον του LNG έχει ημερομηνία λήξης. Ακόμα και αν τα κοιτάσματα φυσικού αερίου ήταν απεριόριστα, η δέσμευση των χωρών για απανθρακοποίηση του πλανήτη σημαίνει και το τέλος της χρήσης κάθε ορυκτού καυσίμου. Τελευταία βέβαια ακούγονται όλο και πιο συχνά επενδυτικά σχέδια για την δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπει η βιομηχανία και την αποθήκευσή του υπογείως. Είναι μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε ως ένας τρόπος μείωσης των αρνητικών συνεπειών της ανθρώπινης δραστηριότητας και αν επεκταθεί θα μπορούσε να δώσει μία παράταση στη χρήση των ορυκτών καυσίμων, ώσπου να επιτευχθεί ομαλά η μετάβαση. Μένει να αποδειχθεί στην πράξη η βιωσιμότητα αυτής της επιλογής. Οι ανάγκες των κοινωνιών για φυσικό αέριο αυξάνονται με γοργούς ρυθμούς, και οι τάσεις δείχνουν ότι το LNG θα πρωταγωνιστήσει τα επόμενα χρόνια, λόγω και των αρνητικών συνεπειών της ενεργειακής κρίσης που έφεραν οι εξελίξεις στην Ουκρανία. Για τον ίδιο λόγο όμως θα επιταχυνθούν και οι διαδικασίες για την αδειοδότηση υποδομών εναλλακτικών πηγών ενέργειας, ώστε να φθάσουμε γρηγορότερα στο στόχο του μηδενικού αποτυπώματος στο περιβάλλον.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το φυσικό αέριο ως μεταβατικό καύσιμο έχει τεράστια σημασία για την ενεργειακή πολιτική των κρατών και συγκεντρώνει μεγάλο επενδυτικό ενδιαφέρον παγκοσμίως. Επιλέχθηκε λόγω των χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που εκλύονται κατά την καύση του (σε σχέση με το πετρέλαιο και τον άνθρακα), των επαρκών κοιτασμάτων αλλά και της εύκολης εξόρυξής του, γεγονός που το καθιστά βιώσιμη εναλλακτική λύση ώσπου να επιτευχθεί η μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το βασικό στοιχείο του είναι το μεθάνιο (άνω του 80%), αλλά συνυπάρχουν και άλλα στοιχεία σε πολύ μικρότερη αναλογία. Μεταφέρεται σε αέρια μορφή με αγωγούς υψηλής πίεσης και σε υγρή ως υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) με πλοία.

Το LNG είναι σχετικά νέος τομέας αφού αναπτύσσεται τα τελευταία εξήντα χρόνια. Η υγροποίηση του φυσικού αερίου γίνεται σε ειδικές μονάδες υγροποίησης όπου ψύχεται ως τους -162 βαθμούς Κελσίου με αποτέλεσμα τον περιορισμό του όγκου του κατά 600 φορές σε σχέση με την φυσική του μορφή. Με αυτόν τον τρόπο κατέστη δυνατή η μεταφορά του με ειδικά δεξαμενόπλοια, τα LNG Carriers.

Τα πλοία αυτά είναι εξειδικευμένες και ακριβές κατασκευές με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, που δεν χρησιμοποιούνται σε άλλες μορφές της Ναυτιλίας. Κατασκευάζονται σε ειδικευμένα ναυπηγεία, κυρίως στις χώρες της Ανατολικής Ασίας.

Η τεχνολογία τους αναπτύσσεται ασταμάτητα, στοχεύοντας στην όσο το δυνατόν οικονομικότερη και αποδοτικότερη εξέλιξή τους. Κάθε πλοίο που κατασκευάζεται σήμερα κοστίζει πάνω από 200 εκατομμύρια δολάρια Η.Π.Α. και χρειάζεται πάνω από 2 χρόνια να παραδοθεί.

Τα ιδιαίτερα τεχνολογικά χαρακτηριστικά τους περιλαμβάνουν τις ειδικές δεξαμενές, στις οποίες αποθηκεύεται το φορτίο και διατηρείται σε κρυογονικές θερμοκρασίες. Στη διάρκεια των 60 ετών από το πρώτο ταξίδι μεταφοράς LNG, έγιναν πολλές έρευνες σε αυτόν τον τομέα και πολλά διαφορετικά συστήματα δεξαμενών σχεδιάστηκαν και δοκιμάστηκαν. Σήμερα, στις επιλογές των πλοιοκτητών έχουν υπερισχύσει οι δεξαμενές μεμβράνης των εταιρειών Technigaz και Gaztransport, σε ποσοστό 79%, έναντι 19%

των σφαιρικών δεξαμενών, γνωστών και ως MOSS, που αποτελούν τη δεύτερη επιλογή τους. Πρόκειται για πολύπλοκες κατασκευές με πολλά στρώματα μόνωσης, τόσο για να εξασφαλιστεί η στεγανότητά τους, όσο και για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του φορτίου στους -162 βαθμούς Κελσίου ώστε περιοριστεί η εξάτμισή του.

Τα συστήματα πρόωσης αποτελούν επίσης ένα τομέα που εξελίσσεται διαρκώς, στοχεύοντας τόσο στην καλύτερη οικονομική απόδοση του πλοίου, όσο και στον περιορισμό των εκπομπών ρύπων στο περιβάλλον. Η βασική διαφορά των συστημάτων αυτών είναι ότι πρόκειται για μηχανές διπλού καυσίμου. Αυτό σημαίνει ότι ως καύσιμη ύλη μπορούν να καταναλώσουν εκτός από το πετρέλαιο και τις εξατμίσεις του φορτίου που παράγονται στις δεξαμενές κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Τα τελευταία χρόνια στις επιλογές των πλοιοκτητών τείνουν να επικρατήσουν οι δίχρονες μηχανές χαμηλής πίεσης X-DF της εταιρείας Winterhur Gas & Diesel και οι υψηλής πίεσης μηχανές MEGI της εταιρείας MAN B&W, οι οποίες θεωρούνται απλούστερες, αποδοτικότερες και αποβάλλουν ελάχιστους ρύπους στο περιβάλλον.

Φυσικά όλα τα συστήματα διαχείρισης φορτίου και γενικότερα ο εξοπλισμός των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι πολύπλοκα και εξειδικευμένα, όπως απαιτεί αυτό το ιδιαίτερο φορτίο. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να στελεχωθούν και με τα κατάλληλα εκπαιδευμένα πληρώματα, τα οποία θα πρέπει να ανανεώνουν τις γνώσεις τους τακτικά, λόγω της πολυπλοκότητας αλλά και της διαρκούς εξέλιξης που σημειώνει ο τομέας.

Τα πλοία που κατασκευάζονται τα τελευταία χρόνια μπορούν να μεταφέρουν ως και 180.000 κυβικά μέτρα υγροποιημένο φυσικό αέριο, ενώ υπάρχουν και τα μεγαλύτερης χωρητικότητας πλοία του Κατάρ που μεταφέρουν ως και 266.000 κυβικά μέτρα. Κατασκευάζονται με χρονικό ορίζοντα ζωής τα 40 χρόνια, αλλά η πραγματικότητα έδειξε ότι η διαρκώς εξελισσόμενη τεχνολογία παρουσιάζει νέα συστήματα που τα καθιστά ασύμφορα οικονομικά και τα παροπλίζει πολύ νωρίτερα.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας επέτρεψε την χρήση των πλοίων αυτών και ως πλωτών δεξαμενών αποθήκευσης, υγροποίησης αλλά και επαναεριοποίησης, γεγονός που τους έδωσε μια παράταση ζωής. Αποτελεί γρήγορη και οικονομικά συμφέρουσα λύση για τις χώρες που δεν μπορούν για οποιοδήποτε λόγο να εγκαταστήσουν τις απαραίτητες

χερσαίες μονάδες. Κάθε χρόνο, ολοένα και περισσότερα πλοία μετασκευάζονται στα ειδικά ναυπηγεία ώστε να εκπληρώσουν αυτόν τον σκοπό.

Στο βραχυπρόθεσμο μέλλον, αναμένεται αύξηση της ζήτησης LNG, ενώ οι προβλέψεις δείχνουν σταθερή αύξηση και στις μονάδες υδροποίησης στις χώρες παραγωγής. Η πανδημία του Covid19, έφερε μια μικρή καθυστέρηση στις επενδύσεις, λόγω των lockdown, ωστόσο η τάση παρέμεινε αυξητική. Στα βιβλία παραγγελιών των ναυπηγείων κατατίθενται νέες παραγγελίες πλοίων, γεγονός που επιβεβαιώνει τις εκτιμήσεις για συνεχόμενη αύξηση του παγκόσμιου στόλου στο βραχυπρόθεσμο μέλλον.

Λόγω των πρόσφατων γεωπολιτικών εξελίξεων στην Ευρώπη, και της ενεργειακής κρίσης που προκάλεσαν, φαίνεται να ενισχύεται σημαντικά ο ρόλος του LNG σε βάρος της χερσαίας μεταφοράς μέσω αγωγών. Επίσης ενισχύεται και ο τομέας των FSU και FSRU, που αναδεικνύονται για την ευελιξία τους.

Ο κύριος στόχος όμως, της πλήρους απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και της αντικατάστασής τους με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως το 2050, παραμένει και φαίνεται μάλιστα να επιταχύνονται οι διαδικασίες και τα κίνητρα που δίνονται από την ΕΕ, αλλά και από άλλες χώρες, προς αυτήν την κατεύθυνση. Το γεγονός αυτό θέτει ένα αμετάκλητο χρονικό ορίζοντα στις νέες επενδύσεις, οι οποίες χρειάζονται βάθος χρόνου για την απόσβεση και απόδοσή τους.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αχιλιάς, Δ. και Ελευθεριάδης, Ι. (2015). Βιομηχανική Οργανική Χημεία, Αθήνα: Εκδ.Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (ΣΕΑΒ) - ΚΑΛΛΙΠΟΣ. Ανάκτηση 2021, από https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/1373/1/02_chapter_3.pdf
2. gastrade «Οφέλη προς το περιβάλλον» Πηγή: [Οφέλη προς το περιβάλλον \(gastrade.gr\)](http://OfeleProstoPeriballon.gastrade.gr)
3. Δανιήλ, Γ., (2021), «ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΓΙΑ ΠΛΟΙΑΡΧΟΥΣ», έκδοση Β΄, Αθήνα: Εκδ. Ίδρυμα Ευγενίδου, Πηγή: [stoixeia_nautikon_mixanon_ploiarchoi.pdf \(eef.edu.gr\)](http://stoixeia_nautikon_mixanon_ploiarchoi.pdf(eef.edu.gr))
4. ΔΕΠΑ ΕΜΠΟΡΙΑΣ – CNG. Πηγή: [CNG - ΔΕΠΑ ΕΜΠΟΡΙΑΣ Α.Ε. \(depa.gr\)](http://CNG-DEPAEMPORIAS.A.E.depa.gr)
5. ΕΕΕ, Ένωση Ελλήνων Εφοπλιστών, (2021), Survey of Alternative Fuels Technologies for Shipping, Πηγή: [survey-of-alternative-fuels-technologies-for-shipping_may21.pdf \(ugs.gr\)](http://survey-of-alternative-fuels-technologies-for-shipping_may21.pdf(ugs.gr))
6. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, «Ε&Α: Στρατηγική για το υδρογόνο για μια κλιματικά ουδέτερη Ευρώπη» (2020). Πηγή: [E & A: Στρατηγική για το υδρογόνο \(europa.eu\)](http://E&A:Στρατηγικήγιατουδρογόνο(europa.eu))
7. [Ενεργειακή επανάσταση ξεκίνησε η Promethan! | Promethan](http://EnergeiakhepανάστασηξεκίνησεηPromethan!|Promethan)
8. Ευγενία Μπαλασά, «Τα βρώμικα μυστικά του φυσικού αερίου επιταχύνουν την κλιματική αλλαγή», 2019, E-mc2 (Energy matters to climate changes). Πηγή: [Τα «βρώμικα» μυστικά του φυσικού αερίου επιταχύνουν την κλιματική αλλαγή. | e-mc2.gr](http://Ta«βρώμικα»μυστικάτουφυσικούαερίουεπιταχύνουντηνκλιματικήαλλαγή.|e-mc2.gr)
9. Κλιάνη, Λ., Νικολού, Ι., Σιδέρη, Ι., (2017) ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ-ΤΟΜΟΣ ΠΡΩΤΟΣ, Ίδρυμα Ευγενίδου, έκδοση Β΄, Πηγή: [e_j00067.pdf \(eef.edu.gr\)](http://e_j00067.pdf(eef.edu.gr))
10. Κλιάνης Λ, Νικολού Ι, Σιδέρη Ι, (2018), ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ, ΤΟΜΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΣ, Ίδρυμα Ευγενίδου, έκδοση Β΄, Πηγή: [e_j00071.pdf \(eef.edu.gr\)](http://e_j00071.pdf(eef.edu.gr))
11. [Κώτσιος, Νικόλαος, «Μελέτη της επίδρασης των μη συμβατικών πηγών φυσικού αερίου στο ενεργειακό σύστημα σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο», Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2013, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.](http://Κώτσιος,Νικόλαος,«Μελέτητηςεπίδρασηςτωνμησυμβατικώνπηγώνφυσικούαερίουστοενεργειακόσύστημασεπαγκόσμιοκαιευρωπαϊκόεπίπεδο»,Διπλωματικήεργασία,Αθήνα2013,ΕθνικόΜετσόβειοΠολυτεχνείο.)

- [Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος. Πηγή: DT2013-0144.pdf \(ntua.gr\)](#)
12. [Μαυρογεώργης Χ.](#), «Μελέτη και Σχεδίαση Πλοίου Μεταφοράς Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG Carrier)», Διπλωματική εργασία, 2020, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών. Πηγή: [Mavrogeorgis LNG Diploma Thesis.pdf \(ntua.gr\)](#)
 13. NEWS MESSINIA, (2019) “Αυτή είναι η «αιώνια φωτιά» που καίει ασταμάτητα εδώ και τέσσερις χιλιετίες στο Ιράκ” Πηγή: [NEWS MESSINIA - ΜΕΣΣΗΝΙΑΚΑ ΝΕΑ και ΕΙΔΗΣΕΙΣ: Αυτή είναι η «αιώνια φωτιά» που καίει ασταμάτητα εδώ και τέσσερις χιλιετίες στο Ιράκ](#). Τελευταία επίσκεψη 9/3/2022.
 14. Παπαβασιλείου, Κώστας, Παρουσίαση «Μη συμβατοί υδρογονάνθρακες: Σχιστολιθικό αέριο (Shale Gas) και βιτουμενιούχοι σχιστόλιθοι (Black Shales), Αθήνα 2014, Πηγή: [ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ:ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΟ ΑΕΡΙΟ \(SHALE GAS\) ΚΑΙ ΒΙΤΟΥΜΕΝΙΟΥΧΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ \(BLACK SHALES\) ΑΠΟ: ΚΩΣΤΑ ΠΑΠΑΒΑΣΙΛΕΙΟΥ \(iene.gr\)](#)
 15. Σκαρπέτης, Μ. και Κουμπουλής, Φ., (2016) Αυτόματος έλεγχος Υδραυλικών και Πνευματικών Συστημάτων, Αθήνα: εκδ. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. Πηγή: [Kallipos: Αυτόματος Έλεγχος Υδραυλικών και Πνευματικών Συστημάτων](#)
 16. Συμπιεσμένο και Υγροποιημένο Φυσικό αέριο. Πηγή: [Συμπιεσμένο και Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο | CNG | LNG \(clarke-energy.com\)](#)
 17. Wikipedia, “Πρόστεγο” Πηγή: [Πρόστεγο - Βικιπαίδεια \(wikipedia.org\)](#)

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

18. Adamu Ahmed, “Using natural gas to meet latent energy demand in Nigeria and deliver economic advantage” Thesis for PhD, Nile University of Nigeria (2016) [\(PDF\) Using natural gas to meet latent energy demand in Nigeria and deliver economic advantage \(researchgate.net\)](#)

19. BP “Statistical Review of World Energy” (2021), Πηγή: [Full report – Statistical Review of World Energy 2021 \(bp.com\)](#), τελευταία επίσκεψη 9/3/2022
20. CAMEL – the first LNG export terminal (2014) Πηγή: SIGTTO/GIIGNL “LNG SHIPPING AT 50. A commemorative SIGTTO/GIIGNL Publication 2014” (2014) [lng-shipping-at-50compressed.pdf \(sigtto.org\)](#)
21. Claudio Steuer. (2019). *APPENDIX: LNG Shipping Technology Evolution and Costs post IMO 2020*. Ανάκτηση από Oxford Institute for Energy Studies: https://www.jstor.org/stable/resrep31040.16?seq=1#metadata_info_tab_contents
22. Cynergy Project – Sub activities 1,3 & 1,4 compressed natural gas.(2018) Πηγή: [Type Your Title Here \(cynergyproject.eu\)](#)
23. Delpizzo, R., (2014), ABS, “Gas Carriers: Arrangements & Characteristics” Πηγή: [Microsoft PowerPoint - Marine Chemist 22July14 EA with notes.pptx \(wordpress.com\)](#)
24. DNV (Det Norske Veritas AS), [Rules for Classification of Ships, Part 5 Chapter 5, 2016](#). Πηγή: [DNV Ship rules Pt.5 Ch.5 Liquefied gas carriers \(wordpress.com\)](#)
25. “Drake Well Museum and Park” Ιστοσελίδα Μουσείου [Drake Well Museum and Park | Drake Well Museum](#)
26. EEE, Union of Greek Shipowners, (2021), Survey of Alternative Fuels Technologies for Shipping, Πηγή: [survey-of-alternative-fuels-technologies-for-shipping_may21.pdf \(ugs.gr\)](#)
27. Enerdata. World Energy & Climate Statistics-Yearbook 2021. Πηγή: [Natural Gas Consumption Statistics | Natural Gas Data | Enerdata](#)
28. Eurostat, Statistics Explained, “Greenhouse Gas”. Πηγή: [Glossary:Greenhouse gas \(GHG\) - Statistics Explained \(europa.eu\)](#)
29. Eurostat, Statistics Explained, “Kyoto Basket”. Πηγή: [Glossary:Kyoto basket - Statistics Explained \(europa.eu\)](#)
30. Ffooks, R. (1993). *Natural Gas by Sea: The Development of a New Technology*, Second Edition, εκδ. Hyperion Books

31. GIIGNL (International Group of Liquefied Natural Gas Importers) Annual Reports. Πηγή: [Resources - \(giignl.org\)](https://www.giignl.org/resources)
32. GIIGNL (International Group of Liquefied Natural Gas Importers) – LNG Information Paper #2:The LNG Process Chain (2019). Πηγή: [giignl2019_infopapers2.pdf](https://www.giignl.org/infopapers2.pdf)
33. GTT, “50 years of accumulated experience” Πηγή: [50 years of accumulated experience | GTT](https://www.gtt.com/50-years-of-accumulated-experience)
34. GTT, Mark III Systems Πηγή: [Mark III systems | GTT](https://www.gtt.com/mark-iii-systems)
35. GTT, (2015), Membrane Cargo Containment Systems Πηγή: [General presentation \(onthemosway.eu\)](https://www.onthemosway.eu/general-presentation)
36. GTT, NO96 Systems Πηγή: [NO96 system | GTT](https://www.gtt.com/no96-system)
37. Harper, John A, “Why the Drake Well?” Pennsylvania Geological Survey’s educational booklet VOL.29, No1, Spring 1998. Σελ. 2
Πηγή: elibrary.dcnr.pa.gov/GetDocument?docId=1752367&DocName=PaGeoMag_v29no1.pdf. τελευταία επίσκεψη 9/3/2022
38. Huan, T., Hongiun, F., Wei, L., Guogiang, Z., (2019), Options and Evaluations on Propulsion Systems of LNG Carriers, Πηγή: [Options and Evaluations on Propulsion Systems of LNG Carriers | IntechOpen](https://www.intechopen.com/option-and-evaluation-on-propulsion-systems-of-lng-carriers)
39. IEA- GAS 2020 (2020) Πηγή: [Gas 2020 \(windows.net\)](https://www.iea.org/gas-2020)
40. IEA, (2021) World Energy Outlook 2021. Πηγή: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
41. IGC Code, Annex 6, RESOLUTION MSC.370(93) AMENDMENTS TO THE INTERNATIONAL CODE FOR THE CONSTRUCTION AND EQUIPMENT OF SHIPS CARRYING LIQUEFIED GASES IN BULK, pdf. Πηγή: <https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj1uozBx5P2AhUHhP0HHQ9ICf8QFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Fvaltioneuvosto.fi%2Fdelegate%2Ffile%2F1888&usg=AOvVaw1sW1jz6xJm63skaPDnw0Ya>
42. IGC Code, Resolution MSC.5(48) IGC-Code Int. Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk, pdf. Πηγή: Netherlands Regulatory Framework (NeRF) – Maritime [Resolution MSC.5\(48\) - IGC-Code Int. Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied](https://www.neerf.nl/resolution-msc-5-48-igc-code-int-code-for-the-construction-and-equipment-of-ships-carrying-liquefied-gases-in-bulk)

[Gases in Bulk - Netherlands Regulatory Framework \(NeRF\) – Maritime \(overheid.nl\)](#)

43. IGU, (2015), Life Cycle Assessment of LNG, International Gas Union Programme Committee D Study Group 4, Πηγή: [Life Cycle Assessment of LNG \(igu.org\)](#)
44. IGU, (2021) World LNG Report 2021 Πηγή: [World LNG Report 2021 | IGU](#)
45. IHI Inside View of SPB Tank, Πηγή: [Inside View \(ihi.co.jp\)](#)
46. IHI SPB Tank Insulation, Πηγή: [SPB TANK INSULATION \(ihi.co.jp\)](#)
47. IHI SPB Tank Shape, Πηγή: [SPB TANK SHAPE \(ihi.co.jp\)](#)
48. IHI SPB Technology, Πηγή: [SPB TECHNOLOGY \(ihi.co.jp\)](#)
49. IHI What Is SPB Tank?, Πηγή: [what is SPB \(ihi.co.jp\)](#)
50. IMO, IGC Code, Πηγή: [IGC Code \(imo.org\)](#)
51. MAN, Diesel and Turbo, “Propulsion Trends in LNG Carriers – Two Stroke Engines” Πηγή: [Propulsion Trends in LNG Carriers Two-stroke Engines \(mandieselturbo.com\)](#)
52. MAN Energy Solutions, Πηγή: [ME-GA \(man-es.com\)](#)
53. MAN Energy Solutions, Πηγή: [ME-GI \(man-es.com\)](#)
54. MARAN GAS MARITIME Inc. Παρουσίαση: An Update on LNG Propulsion and Peripheral Systems., Πηγή: [PowerPoint Presentation \(higherlogicdownload.s3.amazonaws.com\)](#)
55. MHI Completes Development of "Sayaringo STaGE," a Next-generation LNG Carrier Offering Superior Transport Efficiency and Fuel Performance, Engineered for New Panamax Needs, (2014) Πηγή: [Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Global Website | MHI Completes Development of "Sayaringo STaGE," a Next-generation LNG Carrier Offering Superior Transport Efficiency and Fuel Performance, Engineered for New Panamax Needs](#)
56. MHI, “The 155k-m3 Sayaendo: A New Generation LNG Carrier with a Continuous Integrated Tank Cover”, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 49 No. 1 (March 2012) Πηγή: [155km3 SAYAENDO - New Generation LNGC with Continuous Integrated Tank Cover -,Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol.49 No.1\(2012\) \(mhi.co.jp\)](#)

57. MHI, SAYARINGO STaGE - Next Generation MOSS-type LNG Carrier with hybrid propulsion plant, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 53 No. 2 (June 2016) Πηγή: [SAYARINGO STaGE- Next Generation MOSS-type LNG Carrier with hybrid propulsion plant -,Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol.53 No.2\(2016\) \(mhi.co.jp\)](#)
58. [Moss Maritime Moss Maritime AS | History \(mossww.com\)](#)
59. Moss Maritime [Moss Maritime AS | Gas Technologies \(mossww.com\)](#)
60. Natural Gas Supply Association, “Natural Gas - From Wellhead to Burner Tip”, NaturalGas.org, (2013). Πηγή: [Natural Gas – From Wellhead to Burner Tip NaturalGas.org](#)
61. Natural Gas Supply Association, “Overview of Natural Gas-History”, NaturalGas.org, (2013). Πηγή: [History NaturalGas.org](#)
62. Sato Koichi, Chung Henry (2013) «DESIGN OF THE EVOLUTIONARY LNG CARRIER “SAYAENDO”», Πηγή: [MHI PPT format r2 E \(gti.energy\)](#)
63. Sato Koichi, Chung Henry (2014) «DESIGN OF THE EVOLUTIONARY LNG CARRIER “SAYAENDO”», Πηγή: [DESIGN OF THE EVOLUTIONARY LNG CARRIER “SAYAENDO” \(wordpress.com\)](#)
64. SIGTTO (2021), ESD Systems, Recommendations for Emergency Shutdown and Related Safety Systems (Second Edition), σελ. 13 και 33. Πηγή: [sigtto-2021-esd-systems.pdf](#)
65. SIGTTO, (2019), “SIGGTO AT 40 YEARS, 1979-2019” Πηγή: [SIGTTO at 40 Years | SIGTTO - The Society of International Gas Tanker and Terminal Operators](#)
66. SIGTTO – GIIGNL “LNG SHIPPING AT 50. A commemorative SIGTTO/GIIGNL Publication 2014” (2014) Πηγή: [lng-shipping-at-50compressed.pdf \(sigtto.org\)](#)
67. Special Report: Impact of Unconventional Gas on the LNG Industry- IGU World LNG Report 2010, σελ. 20 Πηγή: [IGU World LNG Report - 2010_View.pdf](#)
68. Statista.com • [Top countries natural gas production worldwide | Statista](#)

69. [The Oxford Institute for Energy Studies, The LNG Shipping Forecast: costs rebounding, outlook uncertain](#) Πηγή: [The-LNG-Shipping-Forecast-costs-rebounding-outlook-uncertain-Insight-27.pdf \(oxfordenergy.org\)](#)
70. [Total's History in Algeria](#) Πηγή: [Total's history in Algeria | WikiTotal \(totalenergies.com\)](#)
71. Vaudolon, A., (2000) “LIQUEFIED GASES – Marine Transportation and Storage”, εκδ. WITHERBY
72. Wikipedia, “5083 aluminium alloy”, Πηγή: [5083 aluminium alloy - Wikipedia](#)
73. Wikipedia, “Methane Pioneer” Πηγή: [Methane Pioneer - Wikipedia](#)
74. Wikipedia, “Parsons Marine Steam Turbine Company” Πηγή: [Parsons Marine Steam Turbine Company - Wikipedia](#)
75. Wikipedia, “Type C1 ships” Πηγή: [Type C1 ship - Wikipedia](#)
76. WinGD - Winterthur Gas & Diesel, Marine Installation Manual X72DF, Πηγή: [MIM WinGD X72DF.pdf](#)

VIDEOS

77. The Sea Land, “Steam Turbine - LNG Ship Engine Room (Video Tour)” Πηγή: [Steam Turbine - LNG Ship Engine Room \(Video Tour\) - YouTube](#)
78. The propelas, “LNG TOUR ENGINE ROOM-PROPULSION MOTORS” Πηγή: [LNG TOUR ENGINE ROOM-PROPULSION MOTORS - YouTube](#)
79. WinGD - Winterthur Gas & Diesel Ltd, WinGD & Wärtsilä X-DF Engines Webinar - Operational Efficiency & Future Technologies Πηγή: [WinGD & Wärtsilä X-DF Engines Webinar - Operational Efficiency & Future Technologies - YouTube](#)
80. LNG shipping technology past, present and future. Πηγή: [LNG shipping technology past, present and future - YouTube](#)
81. SHELL- Life onboard a floating LNG facility | Prelude FLNG Πηγή: [Life onboard a floating LNG facility | Prelude FLNG - YouTube](#)

Όλες οι εκδόσεις της IGU (annual reports) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία:

[Resources | International Gas Union \(igu.org\)](#)

[lng-shipping-at-50compressed.pdf \(sigtto.org\)](#)

[World LNG Report 2021 | IGU](#)

[2020 World LNG Report | IGU](#)

[IGU World LNG Report 2019 | IGU](#)

[Global Gas Report, 2018 | IGU](#)

[IGU World LNG Report 2017 | IGU](#)

[igu_world_lng_report_2016.pdf \(connaissancedesenergies.org\)](#)

[IGU World LNG Report, June 2015 | IGU](#)

[IGU - World LNG Report - 2014 Edition | IGU](#)

[IGU - World LNG Report - 2013 Edition | IGU](#)

[World LNG Report 2011, June 2012 | IGU](#)

[IGU World LNG Report - 2010 View.pdf](#)

Όλες οι εκδόσεις της GIINGL (annual reports) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία:

[Resources - \(giignl.org\)](#)

[GIIGNL Annual Report November2021.pdf](#)

[giignl - 2020 annual report - 04082020.pdf](#)

[giignl annual report 2019-compressed.pdf](#)

[rapportannuel-2018pdf.pdf \(giignl.org\)](#)

[giignl 2017 report 2.pdf](#)

[giignl 2016 annual report.pdf](#)

[giignl 2015 annual report.pdf](#)

[giignl the lng industry fv.pdf](#)

[giignl the lng industry 2012.pdf](#)

[giignl the lng industry 2011.pdf](#)

[GIIGNL 2010 - \[PDF Document\] \(cupdf.com\)](#)

[GIIGNL-2009-OK-BD.qxd:Mise en page 1 \(iaea.org\)](#)

[GIIGNL-2009OK-V3.qxd:Mise en page 1](#)

[GIIGNL 07-MAQ-pr PDF.qxd:Mise en page 1 \(iaea.org\)](#)

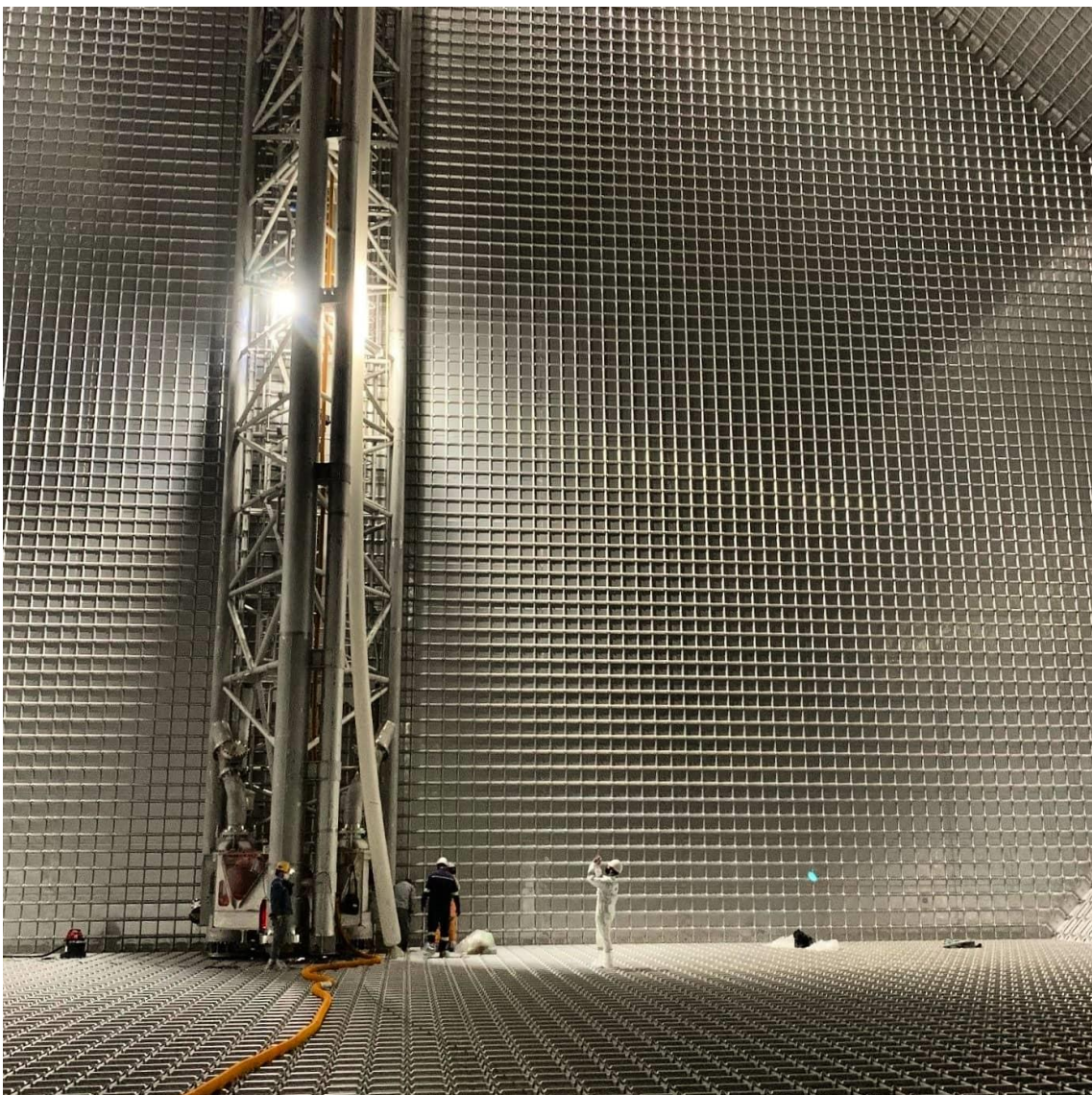
[GIIGNL 06-FINAL-m.qxd:Mise en page 1](#)

[GNL 2006 V3 \(giignl.org\)](#)

[GNL 2005 -V4 \(giignl.org\)](#)

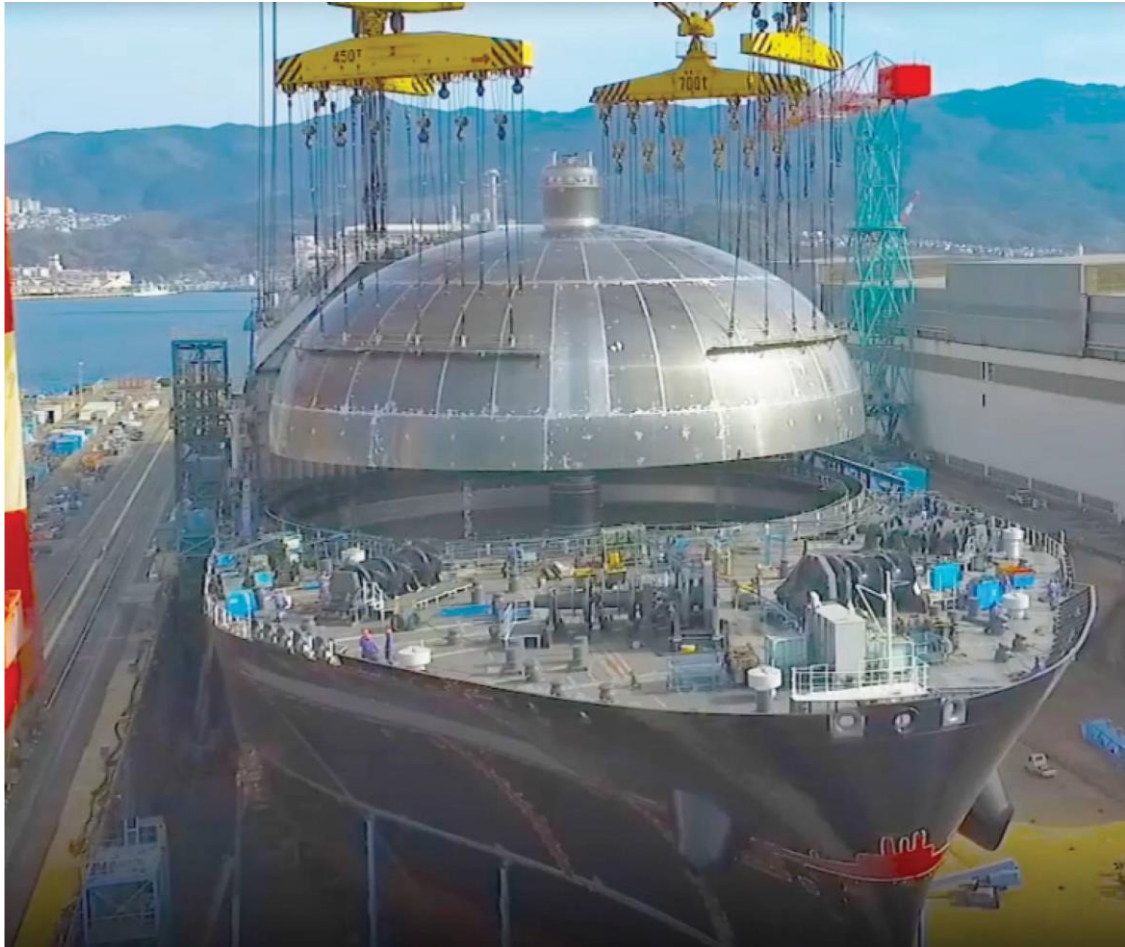
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. Λεπτομέρεια δεξαμενής μεμβράνης με τον «πύργο αντλιών».



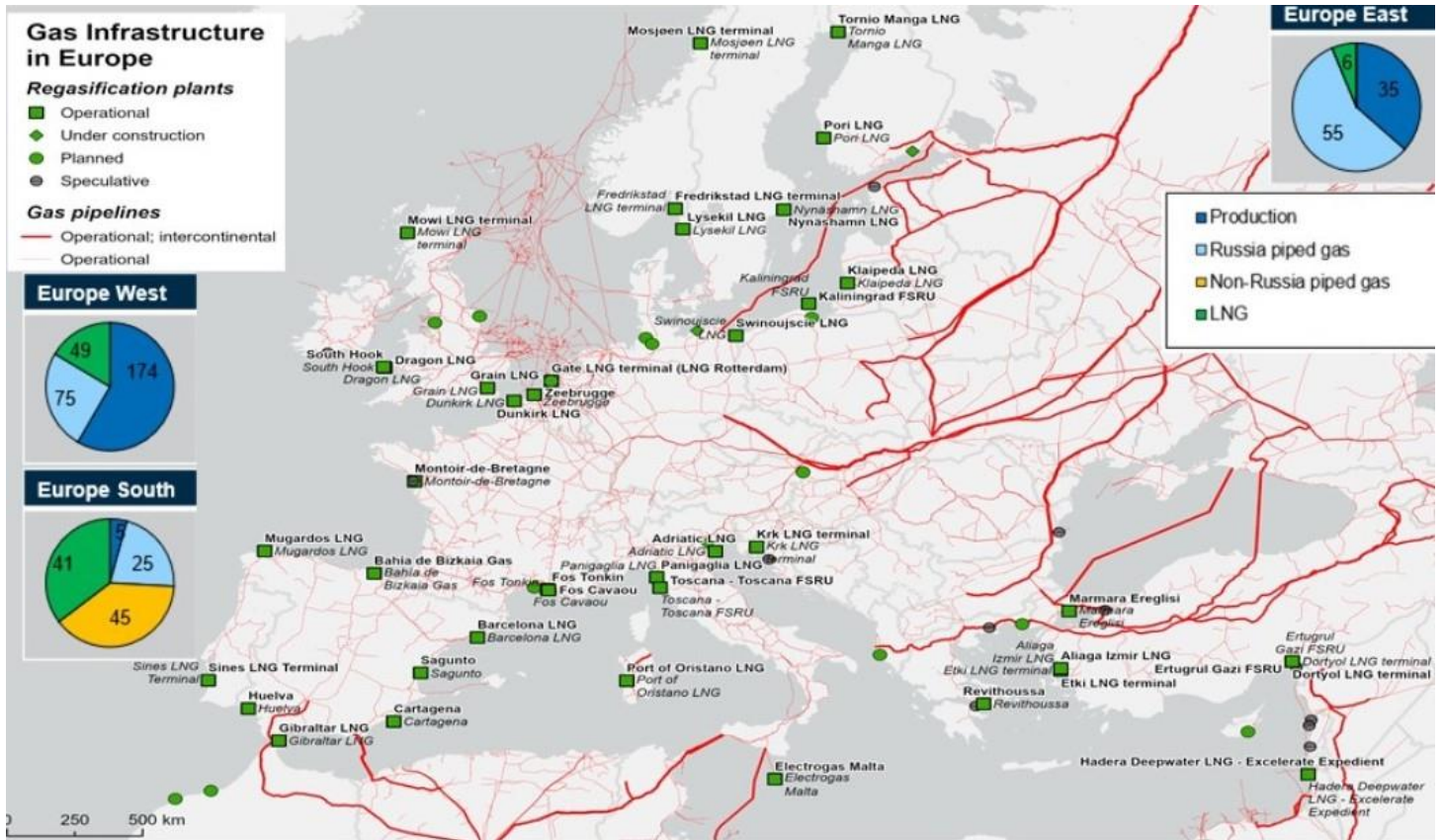
Εικόνα 50. Ο πύργος αντλιών. Πηγή: Gaslog “Gaslog Wellington” 2021
<https://twitter.com/GasLogLNG/status/1404784438920323086/photo/3>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β. Εισαγωγή δεξαμενής στο πρώτο πλοίο τύπου Sayaringo στο ναυπηγείο της Mitsubishi στην Ιαπωνία.



Εικόνα 43. *Diamond Gas Orchid* (2018) το πρώτο πλοίο τύπου Sayaringo Πηγή: [Top 10 Ships Of 2018: #1 - Diamond Gas Orchid \(marinelink.com\)](#)

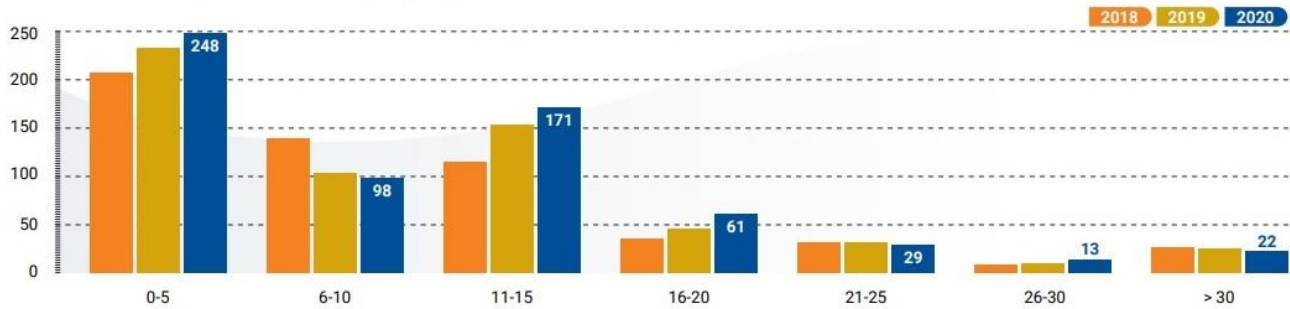
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ. Η τροφοδοσία της Ευρώπης με φυσικό αέριο κατά το 2021: Το δίκτυο αγωγών και οι θέσεις των εγκαταστάσεων επαναεριοποίησης.



Πίνακας 38. Γράφημα: Η τροφοδότηση της Ευρώπης με φυσικό αέριο το 2021. Πηγή: [Rystad Energy - Russia-Ukraine tensions could jeopardize 30% of European gas demand – US LNG can play a role in bridging the gap](#)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. Καταμερισμός του παγκόσμιου στόλου LNG, ανάλογα με την ηλικία των πλοίων κατά τα έτη 2018-2019-2020.

AGE OF THE EXISTING LNG FLEET (years)



Πίνακας 39. Γράφημα: Καταμερισμός του παγκόσμιου στόλου ανάλογα με την ηλικία κατά τα έτη 2018-2019-2020. Πηγή: GIIGNL Annual Report 2021, σελ. 21, [GIIGNL Annual Report November2021.pdf](#)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε. Αλφαβητική λίστα Ναυπηγείων κατασκευής πλοίων LNG.

Αλφαβητική Λίστα Ναυπηγείων: Τα ναυπηγεία που κατασκευάζουν ή κατασκεύασαν στο παρελθόν LNG πλοία, σύμφωνα με τη λίστα «LNG Carrier Fleet» του GIIGNL Annual Report 2021, σελ. 22. Πηγή: [GIIGNL Annual Report November2021.pdf](#)

Aker Yards

Ast. Zamakona

AVIC Dingheng SB

Ch. de l'Atlantique

CMHI (Jiangsu)

Conrad Shipyard

COSCO HI (Dalian)

CNN - La Naval

DSME: Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering

Fincantieri Sestri

Francisco Cardama

General Dynamics

HHI: Hyundai Heavy Industries (Ulsan)

Hyundai Mipo

HHIC: Hanjin Heavy Industries & Construction

Higaki Zosen

HSHI: Hyundai Samho Heavy Industries

HZ: Hudong Zhonghua

IHI: Ishikawajima-Harima Heavy Industries

Imabari Saijo

Imamura Zosen

IZAR (Puerto Real)

IZAR (Sestao)

Jiangnan SY Group

Jiangsu New YZJ

JMU Tsu Shipyard

Keppel Nantong

KHI: Kawasaki Heavy Industries

Kooiman Marine Group

Kvaerner Masa

Loland Verft

MHI: Mitsubishi Heavy Industries

Mitsui SB (Chiba)

Neptun Werft

Ningbo Xinle SB

NKK (Tsu)

Remontowa Repair

Royal Bodewes SY

SHI: Samsung Heavy Industries

Shin Kurushima

Sinopacific Dayang

Sinopacific Offshore

STX SB (Jinhae)

Taizhou Skaugen

Universal SB (Tsu)

Veka SY Lemmer

VT Halter Marine

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Στ. Μεταφορά LNG οδικώς και με σιδηρόδρομο.

LNG Road Transportation



Εικόνα 51. LNG Road Transportation Πηγή: [CER – Canada’s Role in the Global LNG Market - Energy Market Assessment - Introduction \(cer-rec.gc.ca\)](https://www.cer-rec.gc.ca/en/energy-market-assessment-introduction)

LNG Rail Transportation



Εικόνα 52. LNG Rail Transportation Πηγή: [Transporting natural gas by train: the greener way to go - Nikkei Asia](https://www.nikkei.com)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ. Υπόγεια και υπέργεια δεξαμενή αποθήκευσης LNG της KOGAS στο
Ιντσόν της Νότιας Κορέας.



Εικόνα 53. Πηγή: IGU Annual Report 2021, σελ. 93. [World LNG Report 2021 | IGU](#)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η. Κατασκευαστές Ναυτικών Μηχανών

Παλαιότερα υπήρχαν πάνω από δεκαπέντε κατασκευαστές αργόστροφων δίχρονων μηχανών, σήμερα όμως υπάρχουν μόνο τρεις εταιρείες:

1. MAN B&W
2. Winterthur Gas & Diesel (Sulzer- Wärtsilä)
3. Mitsubishi Heavy Industries (MHI)

Μεσόστροφες τετράχρονες μηχανές κατασκευάζουν λίγοι πια κατασκευαστές. Οι υπόλοιποι απορροφήθηκαν από μεγαλύτερες εταιρείες.

1. Wärtsilä
2. MAN
3. MTU
4. Caterpillar
5. Allen Diesel
6. MWM (θυγατρική της Caterpillar)
7. MaK (θυγατρική της Caterpillar)
8. Ruston (θυγατρική της MAN)
9. SEMT-Pielstick (θυγατρική της MAN)
10. Bergen Engines (θυγατρική της Rolls-Royce)
11. Daihatsu Diesel
12. Yanmar κ.α.

(Πηγή: Κλιάνη Α, Νικολού Ι, Σιδέρη Ι, ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ, Ίδρυμα Ευγενίδου, έκδοση Β', 2017 σελ. 209 [e_j00067.pdf \(eef.edu.gr\)](https://eef.edu.gr/e_j00067.pdf))

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Θ. Συγκεντρωτικός πίνακας παγκόσμιου στόλου LNG πλοίων ανά έτος (2004-2020).

	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004
Active Global Fleet	642	601	563	511	478	449	421	393	378	359	360	336	298	254	218	191	173
Capacity Total	95,2	89,7	83,1	73,9	69,3	64,6	61,8	56,3	54,1	53,9	52,1	49,1	41				
Capacity in operation	93,4	86,1	79,6	69,9	64,7	63,3		55,4	53,5	51,9	51,1	45,1	38	31,2	27,4	23,4	20,6
New deliveries	47	44	57	34	31	33	34	20	2	16	25	40	48	35	27	18	21
New orders	40	62	77	19	10	33	77	45	27	59	7	None					68
Orderbook	147	152	138	120	137	158	163	113	78	59	20	37	79	128	136	124	104
Laid-Up	15	31	31	33	38	6	5	7	4	13	11	24	18	18	6	5	3
Sold for scrap	6	2	5	2	2	3	3	5	3	4	2	None	5	1			
Conversions in FSRU/FSU	1	None	None	1	None	4	None	1	1	3	None	2	None				

Πίνακας 40. Συγκεντρωτικός πίνακας παγκόσμιου στόλου LNG πλοίων, ανά έτος (2004-2020). Τα δεδομένα προέρχονται από τα Annual Reports της GIIGNL. Πηγή: [Resources - \(giignl.org\)](https://www.giignl.org)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. Πίνακες νέων παραλαβών και συνολικού αριθμού πλοίων εν ενεργεία, ανά έτος (1959-2020).

	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006
Ενεργά πλοία	642	601	563	511	478	449	421	393	378	359	360	336	298	254	218
Νέες παραδόσεις πλοίων	47	44	57	34	31	33	34	20	2	16	25	40	48	35	27

Πίνακας 41. Αριθμός LNG πλοίων εν ενεργεία, ανά έτος (2006-2020). Τα δεδομένα προέρχονται από τα Annual Reports της GIIGNL. Πηγή: [Resources - \(giignl.org\)](https://giignl.org)

	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991
Ενεργά πλοία	191	173	156	141	131	130	116	111	106	98	92	87	79	74	73
Νέες παραδόσεις πλοίων	18	21	14	10	1	14	5	5	8	6	5	8	5	1	1

Πίνακας 42. Αριθμός LNG πλοίων εν ενεργεία, ανά έτος (1991-2005). Τα δεδομένα προέρχονται από τα Annual Reports της GIIGNL. Πηγή: [Resources - \(giignl.org\)](https://giignl.org)

	1990	1989	1988	1987	1986	1985	1984	1983	1982	1981	1980	1979	1978	1977	1976
Ενεργά πλοία	72	71	67	67	67	67	66	62	59	57	51	48	43	37	28
Νέες παραδόσεις πλοίων	1	4	None	None	None	1	4	3	2	6	3	5	6	9	2

Πίνακας 43 Αριθμός LNG πλοίων εν ενεργεία, ανά έτος (1976-1990). Τα δεδομένα προέρχονται από τα Annual Reports της GIIGNL. Πηγή: [Resources - \(giignl.org\)](https://www.giignl.org/resources)

	1975	1974	1973	1972	1971	1970	1969	1968	1967	1966	1965	1964	1963	1962	1960	1959
Ενεργά πλοία	26	20	16	12	11	9	7	4	4	4	4	3	3	1	1	1
Νέες παραδόσεις πλοίων	6	4	4	1	2	2	3	None	None	None	1	None	2	None	None	1

Πίνακας 44. Αριθμός LNG πλοίων εν ενεργεία, ανά έτος (1959-1975). Τα δεδομένα προέρχονται από τα Annual Reports της GIIGNL. Πηγή: [Resources - \(giignl.org\)](https://www.giignl.org/resources)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΑ. Όγκοι ΥΦΑ που διακινήθηκαν παγκοσμίως από το 1970 ως το 2020 (σε δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα).

2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
488	484	431	393	358	337	334	327	325	328

Πίνακας 45. Όγκοι ΥΦΑ που διακινήθηκαν παγκοσμίως (2011-2020) σε δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Πηγή: [• Global LNG trade volume 2020 | Statista](#)

2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001
302	250	235	226	211	189	178	169	150	143

Πίνακας 46. Όγκοι ΥΦΑ που διακινήθηκαν παγκοσμίως (2001-2010) σε δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Πηγή: [• Global LNG trade volume 2020 | Statista](#)

2000	1995	1990	1985	1980	1975	1970
137	93	72	51	32	13	3

Πίνακας 47. Όγκοι ΥΦΑ που διακινήθηκαν παγκοσμίως (1970-2000) σε δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Πηγή: [• Global LNG trade volume 2020 | Statista](#)

Τα νούμερα προκύπτουν από το γράφημα της Statista.com για το παγκόσμιο εμπόριο ΥΦΑ από το 1970 ως το 2020. Πηγή: [• Global LNG trade volume 2020 | Statista](#)

