

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

**Ο ρόλος του υγροποιημένου φυσικού αερίου στην ενεργειακή
απεξάρτηση της Ευρώπης**

The role of Liquefied Natural Gas in Europe's energy independence



Ασπασία Βαμβουρέλη

Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Ατσαλάκης

ΧΑΝΙΑ, 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσοι συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου για την πολύτιμη καθοδήγηση και υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας, καθώς και την οικογένεια και τους φίλους μου για την αδιάκοπη στήριξη και την ενθάρρυνση που μου προσέφεραν. Η συμβολή όλων αυτών των ανθρώπων υπήρξε καθοριστική για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Περιεχόμενα

1	Πίνακας Σχημάτων	6
2	Πίνακας Πινάκων	6
3	Περίληψη	7
4	Abstract	8
5	Εισαγωγή	9
5.1	Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	9
5.2	Ορισμός του LNG	9
5.3	Χημική Ανάλυση, Πυκνότητα	12
6	Διαδικασία Υγροποίησης	13
6.1	Cascade	14
6.2	MR	15
6.2.1	SMR (Single Mixed Refrigerant)	15
6.2.2	DMR (Shell SA)	15
6.3	EXP (Expander Based Technology)	16
6.4	C3MR	17
6.5	Floating LNG	19
7	Μεταφορά Και Αποθήκευση	19
7.1	Η αρχή του υδατομεταφερόμενου LNG	Error! Bookmark not defined.
8	Τύποι πλοίων μεταφοράς LNG	21
8.1	Moss type LNG carrier (Spherical tankers)	23
8.2	Self-supporting Prismatic shape IMO type B (SPB) LNG carrier	23
8.3	Membrane type LNG carrier	24
9	Κίνδυνοι και Μέτρα προστασίας	25
9.1	Σύννεφα ατμού	26
9.2	Κρυογενές υγρό	26
9.3	Πυρκαγιά	27
9.4	Έκρηξη	27
9.5	Rollover	27
10	Μέτρα προστασίας	27
10.1	Ανίχνευση	27
10.2	Συστήματα Έκτακτης Διακοπής (ESD)	28
10.3	Προστασία από την πυρκαγιά	28
11	Χρήση	28
12	Το LNG παγκοσμίως	30
12.1	Χώρες εξαγωγής	30

12.2	Χώρες εισαγωγής	32
12.3	Τερματικά Εισαγωγής στην Ευρώπη	33
12.4	Χρήση των τερματικών και αποθέματα	35
12.5	Χώρες με εγκαταστάσεις επανααεριοποίησης στην Ευρώπη	36
12.6	Διαδρομές και διασυνδέσεις	38
13	LNG στην Ελλάδα	41
13.1	Εισαγωγές	41
13.2	Σταθμοί	42
13.3	Προοπτική.....	43
14	Οικονομικά Στοιχεία.....	44
15	Περιβάλλον	51
16	Απεξάρτηση Ευρώπης	56
17	Συμπεράσματα	63
18	Βιβλιογραφία.....	65

1 Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 5.1 Διαδικασία παραγωγής του LNG (U.S. Department of Energy, 2020)	11
Σχήμα 6.1 Διάγραμμα απεικόνισης διαδικασία υγροποίησης Cascade (ConocoPhilips, 2024)	14
Σχήμα 6.2 SMR Διαδικασία Υγροποίησης (Sang Hyun Lee 1, Dong-Ha Lim 2 and Kyungtae Park, 2020)	15
Σχήμα 6.3 Διαδικασία υγροποίησης με MR compressor	16
Σχήμα 6.4 C3MR διαδικασία υγροποίησης	18
Σχήμα 8.1 Δομική σχεδίαση της σφαιρικής δεξαμενής MOSS (Michihisa Watanabe, 2016)	23
Σχήμα 11.1 Χάρτης παγκόσμιας υποδομής LNG (sea- lng, 2024)	29
Σχήμα 12.1 Χώρες εξαγωγής και εισαγωγής LNG (IEEFA, 2024)	31
Σχήμα 12.2 Χώρες εξαγωγής LNG (International Gas Union, 2024)	32
Σχήμα 12.3 Χώρες εισαγωγής LNG (International Gas Union, 2024)	32
Σχήμα 12.4	36
Σχήμα 12.5 Χωρητικότητα τερματικών επαναεριοποίησης LNG (IEEFA, 2024)	37
Σχήμα 12.6 Χάρτης με τις παγκόσμιες διαδρομές (Incorrys, 2024)	38
Σχήμα 12.7 Χάρτης διαδρομών (Ρουμπίνα Σπάθη, 2023)	40
Σχήμα 12.8 Παγκόσμιες εξαγωγές ανά διαδρομή (IGU, 2023)	41
Σχήμα 13.1 Χάρτης τερματικών στην Ελλάδα	43
Σχήμα 14.1 Τιμή LNG (Vladimír Hönig, Petr Prochazka , Michal Obergruber, Luboš Smutka and Viera Kucerová, 2019)	45
Σχήμα 14.2 (IEEFA, 2024)	46
Σχήμα 14.3 (ACER, 2024)	47
Σχήμα 14.4 (ACER, 2024)	48
Σχήμα 14.5 (ACER, 2024)	49
Σχήμα 14.6 (IOP, 2022)	49
Σχήμα 14.7 (IEEFA, 2024)	51
Σχήμα 15.1 (sea-lng, 2023)	53
Σχήμα 15.2 (Paul Balcombe, 2022)	55
Σχήμα 16.1 (ΔΑΠΕΕΠ, 2023)	56
Σχήμα 16.2 (Bp, 2022)	58
Σχήμα 16.3 (Commission Europa, 2019)	60

2 Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 5.1 Ενώσεις από τις οποίες αποτελείται το φυσικό αέριο	10
Πίνακας 6.1 Σύγκριση διαδικασιών υγροποίησης (Jinrui Zhang, Hans Meerman, René Benders, André Faaij 2020)	17
Πίνακας 8.1 Σύγκριση τύπων πλοίων μεταφοράς LNG (A. Pastuhov and M. Gondouin, 1973)	25
Πίνακας 9.1 Χαρακτηριστικά LNG (GIIGNL, 2019)	26
Πίνακας 12.1 Τερματικά LNG στην Ευρώπη (Rafał Biały1 , Piotr Janusz1,* , Mariusz Łaciak1 , Tadeusz Olkusi2 , Mariusz Ruszel3 , and Adam Szurlej1, 2019)	34
Πίνακας 14.1 Παγκόσμια εισαγωγή LNG για το 2020 και πρόβλεψη για το 2050 (Qian Zou , Chenggao Yi , Keming Wang , Xiuling Yin and Yongwei Zhang, 2022)	50

3 Περίληψη

Η μετάβαση σε αυξημένη χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου γνωστού και ως LNG (Liquefied Natural Gas) αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση στις μέρες μας καθώς δύναται να αντικαταστήσει κάποια από τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό. Στην συγκεκριμένη εργασία, αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στο LNG, αναλύονται τα σημερινά οικονομικά στοιχεία του και πως αυτό σήμερα επηρεάζει τους τομείς της οικονομίας καθώς επίσης μελετάται η επίδραση του στο περιβάλλον βασισμένη στα σημερινά δεδομένα. Όλα τα παραπάνω παρατίθενται και αναλύονται αντίστοιχα και για το μέλλον. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι, με βάση την παραπάνω ανάλυση, να ληφθούν υπόψη σχετικοί προβληματισμοί και να γίνει εκτίμηση των πλεονεκτημάτων σε αντιδιαστολή με τα μειονεκτήματα που προκύπτουν από την χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου σε βάθος χρόνου ώστε να προσδιοριστεί με ποιο τρόπο και σε ποιο βαθμό θα προχωρήσει ομαλά η όποια απεξάρτηση της Ευρώπης. Η μελέτη μας βρίσκει ότι η αυξημένη χρήση του LNG μπορεί να προσφέρει κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται, όμως ταυτόχρονα αναπτύσσονται και επιφυλάξεις σχετικά με κάποιες αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει η απεξάρτηση της Ευρώπης και που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη. Όλο και περισσότερες είναι οι χώρες της Ευρώπης που προσπαθούν να αυξήσουν την χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου στις μέρες μας στους τομείς της κατοικίας, του εμπορίου και της βιομηχανίας, αλλά και να προσδιορίσουν ασφαλείς και σωστούς τρόπους διαχείρισης του. Τέλος, παρουσιάζονται επενδυτικές ευκαιρίες που προκύπτουν από την εκμετάλλευση του LNG ως συνιστώσες της απεξάρτησης της Ευρώπης από άλλα καύσιμα.

4 Abstract

The transition to an increasing use of Liquefied Natural Gas, known as LNG, constitutes a significant challenge nowadays, as it has the potential to replace some fossil fuels that are widely used. This paper firstly introduces the reader to LNG. Additionally, it presents an analysis of its current financial data and its effects on the sectors of the economy and the environment, based on today's information. All the above are also examined and analysed having the future in mind. The purpose of this work is, based on the above analysis, to portray the concerns and make estimations based on the advantages and the disadvantages that arise from the use of liquefied natural gas over time. It aims to determine how and to what extent the potential transition of Europe will proceed seamlessly. Our research shows that an increasing use of LNG could have some benefits in regards to other energy sources that are being used, but at the same time, there is speculation about some negative consequences that may arise from the independence of Europe and should be taken into consideration. It is a fact that many European countries are making an effort to increase the use of liquefied natural gas (LNG) in various sectors (ie. residential, commercial, industrial). They are also working to identify safe and proper methods for its management. Finally, the investment opportunities that arise from the usage of LNG are presented as components of Europe's efforts to reduce its dependence on other fuels.

5 Εισαγωγή

5.1 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Ο βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση του ρόλου του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) στην προσπάθεια ενεργειακής απεξάρτησης της Ευρώπης. Αρχικά, θα παρουσιαστούν τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του LNG, με έμφαση στα σημεία υπεροχής του σε σύγκριση με άλλες πηγές ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται ευρέως στην Ευρώπη. Στη συνέχεια, θα αναλυθούν οι χώρες που δραστηριοποιούνται στην εισαγωγή και εξαγωγή LNG εντός της ευρωπαϊκής ηπείρου, ενώ θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στον ρόλο της Ελλάδας στον συγκεκριμένο τομέα.

Η εργασία θα εξετάσει επίσης τα οικονομικά στοιχεία που συνδέονται με το LNG, καθώς και την επίδρασή του τόσο στο παρόν όσο και στο μέλλον, μέσα από τη χρήση δεδομένων και προβλέψεων που βασίζονται σε αξιόπιστες μελέτες. Τέλος, θα αξιολογηθεί ο βαθμός στον οποίο το LNG συνεισφέρει ουσιαστικά στην ενεργειακή απεξάρτηση της Ευρώπης καθώς και σε ποιο ποσοστό.

5.2 Ορισμός του LNG

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο, γνωστό και ως LNG (liquified natural gas), είναι προϊόν του φυσικού αερίου το οποίο προκύπτει μέσω της διαδικασίας της υγροποίησής του.

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει ένα από τα πιο διαδεδομένα ορυκτά καύσιμα, καθώς φέρει πολλά πλεονεκτήματα έναντι των κοινών ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στην πλειοψηφία, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Το LNG θεωρείται ένα από τα πιο καθαρά καύσιμα καθώς εκπέμπει λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα με αποτέλεσμα να είναι πιο φιλικό στο περιβάλλον και πιο εύκολο να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί λόγω της μικρότερης πυκνότητάς του. (Sakmar, 2013)

Η ιστορική εξέλιξη της βιομηχανίας του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) αποτελεί μια συναρπαστική πορεία που χαρακτηρίζεται από καινοτομία, οικονομικές αλλαγές και γεωπολιτικές επιρροές. Από τα πρώιμα στάδιά της, έως την κατάκτηση καίριας θέσης στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά το 21^ο αιώνα, η ανάπτυξη της βιομηχανίας LNG αντανakλά την εξέλιξη της δυναμικής της κατανάλωσης και παραγωγής ενέργειας παγκοσμίως. Τα τελευταία χρόνια λόγω κλιματικής αλλαγής που παρατηρήθηκε παγκοσμίως, το LNG ήταν μια αναγκαία πηγή στη βελτίωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Η πυκνότητα του LNG διαφέρει ανάλογα με την προέλευσή του. Κυμαίνεται μεταξύ 0.41-0.5 kg/L ανάλογα με την θερμοκρασία που βρίσκεται. Είναι άοσμο, άχρωμο, μη σωματιδιακό και μη τοξικό. (Satish Kumar, Hyouk-Tae Kwon, Kwang-Ho Choi, Jae Hyun Cho, & Wonsub Lim, 2011)

Επιπλέον, το γεγονός ότι η υγροποίηση του φυσικού αερίου μπορεί να γίνει είτε στην ξηρά είτε στην θάλασσα, αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα καθώς υπάρχουν πολλές περιοχές όπου η διαδικασία δημιουργίας αγωγών είναι οικονομικά αναπόφευκτη. (Jinrui, Meerman, Benders, & Faaij, 2020)

Παρόλα αυτά έχει κάποια μειονεκτήματα, όπως η ευφλεκτότητα, ο κίνδυνος ψύξης και ο κίνδυνος ασφυξίας, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω. (Satish Kumar, Hyouk-Tae Kwon, Kwang-Ho Choi, Jae Hyun Cho, & Wonsub Lim, 2011)

Για την παραγωγή του, αρχικά αφαιρούνται ορισμένα στοιχεία από το φυσικό αέριο όπως σκόνη, οξέα αερίου, ήλιο, υδρατμοί και υψηλότερα μοριακά υδρογονάνθρακες. Στη συνέχεια πυκνώνεται σε υγρή μορφή στους 101.325 kPa και ψύχεται σε θερμοκρασία μεταξύ -161 °C και -163 °C.

Μετά την ψύξη, το LNG που προκύπτει, λόγω της πίεσης που δέχεται το αέριο, αποκτά περίπου 600 φορές μικρότερο όγκο από το φυσικό αέριο και ζυγίζει λιγότερο από το μισό του νερού (περίπου 45% του βάρους του), καθιστώντας το ευκολότερο στην μεταφορά και στην αποθήκευση. Έτσι, αποκτά πυκνότητα σχεδόν ίση με την πυκνότητα του μεθανίου. (He, Karimi, & Ju, 2018)

Το φυσικό αέριο είναι ένα ορυκτό καύσιμο, το οποίο αποτελείται από ένα μείγμα υδρογονανθράκων σε αέρια μορφή. Η σύνθεση του φυσικού αερίου ποικίλει εκτός από από την περιοχή εντοπισμού του και ανάλογα με την εποχή και το κλίμα. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH₄), αιθάνιο (C₂H₆), προπάνιο (C₃H₈), ισοβουτάνιο (C₄H₁₀) και μικρότερες ποσότητες βαρύτερων συστατικών. Ωστόσο, το μεθάνιο κατέχει το υψηλότερο ποσοστό στην σύνθεση του φυσικού αερίου καθώς κυμαίνεται μεταξύ 85% με 97% αυτής. Περιέχει επίσης ακαθαρσίες όπως είναι το άζωτο (N₂), ο υδράργυρος (Hg), οι ατμοί νερού, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το υδρόθειο (H₂S) και άλλες πολύπλοκες θεικές ενώσεις οι οποίες αφαιρούνται πριν από την υγροποίηση. (S. Faramawy, 2016, p. 1)

Στον Πίνακα 5.1 φαίνονται αναλυτικά οι ενώσεις από τις οποίες αποτελείται το φυσικό αέριο με τις αντίστοιχες αναλογίες.

Πίνακας 5.1 Ενώσεις από τις οποίες αποτελείται το φυσικό αέριο

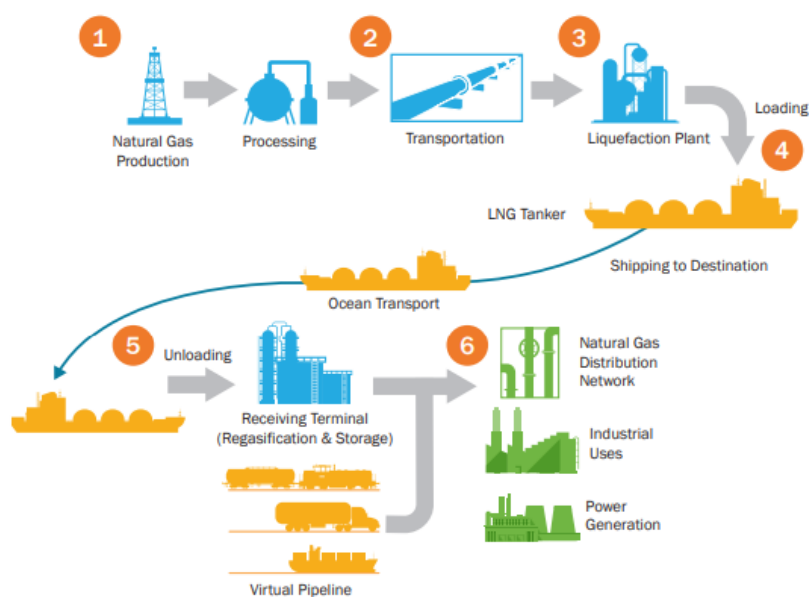
General composition of wet and dry natural gas (adapted from Speight, 2015a).

Constituents	Composition (vol%)	
	Wet	Dry
Hydrocarbons		
Methane	84.6	96.0
Ethane	6.4	2.00
Propane	5.3	0.60
Isobutane	1.2	0.18
n-butane	1.4	0.12
Isopentane	0.4	0.14
n-Pentane	0.2	0.06
Hexanes	0.4	0.10
Heptanes	0.1	0.80
Non-hydrocarbons		
Carbon dioxide	≤5	
Helium	≤0.5	
Hydrogen sulfide	≤5	
Nitrogen	≤10	
Argon	≤0.05	
Radon, Krypton, Xenon	Traces	

Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται είτε στη φυσική του μορφή είτε σε διαφορετική, ανάλογα με την επεξεργασία που μπορεί να υποστεί, όπως είναι η συμπιεσμένη μορφή του (CNG) ή το Υγροποιημένο φυσικό αέριο ή αλλιώς LNG (Liquified Natural Gas). Τα τελευταία χρόνια, από τις διαθέσιμες μορφές, το LNG έχει γίνει μια δημοφιλής

επιλογή για πολλές αλυσίδες εφοδιασμού μικρής έως μεσαίας κλίμακας. (S. Faramawy, 2016, p. 10)

Στο Σχήμα 3.2.1 απεικονίζεται η διαδικασία παραγωγής του LNG καθώς και τα στάδια που μεσολαβούν από την εξόρυξη του φυσικού αερίου μέχρι την αποθήκευση του LNG και την μετατροπή του πάλι σε αέριο αν αυτό είναι απαραίτητο.



Σχήμα 5.1 Διαδικασία παραγωγής του LNG (U.S. Department of Energy, 2020) ¹

Πιο συγκεκριμένα, οι Γεωλόγοι, με τη βοήθεια γεωφυσικών ερευνών στην ξηρά και στον ωκεανό, εντοπίζουν τις κατάλληλες τοποθεσίες προκειμένου να εξάγουν το φυσικό αέριο. Αρχικά, γίνεται ένας έλεγχος σχετικά με την ποιότητα και την ποσότητα του και ύστερα εξορύσσεται με διάφορες μεθόδους, κατακόρυφη ή οριζόντια, ή σε περίπτωση που το φυσικό αέριο βρίσκεται σε σχιστολιθικά πετρώματα με την βοήθεια της υδραυλικής θραύσης (fracking). (Ganta, 2024)

Το εξαγόμενο φυσικό αέριο, υπόκειται σε διάφορες διαδικασίες επεξεργασίας ώστε να αφαιρεθούν οι ακαθαρσίες και το διοξείδιο του άνθρακα. Όταν ψύχεται σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες περίπου -162°C , μετατρέπεται από αέρια κατάσταση σε υγρή μορφή, με αποτέλεσμα να προκύπτει το υγροποιημένο φυσικό αέριο. Μειώνεται περίπου στο 1/600 του αρχικού του όγκου και έτσι γίνεται πιο αποτελεσματική η αποθήκευση και η μεταφορά του. (Jensen, 2004)

Η υγρή κατάσταση του LNG επιτρέπει την ασφαλή αποθήκευση και την αποτελεσματική αποστολή σε περιοχές μακριά από την πηγή αερίου, χρησιμοποιώντας ειδικά σχεδιασμένους μεταφορείς LNG. Δύναται να μεταφερθεί μέσω ειδικών αγωγών ή πλοίων και αποθηκεύεται σε ειδικές μεμονωμένες δεξαμενές ή τερματικούς σταθμούς. Η μεταφορά του γίνεται με ειδικά σχεδιασμένα πλοία ή αγωγούς και στη συνέχεια ανάλογα με την μορφή που χρειάζεται να είναι το φυσικό αέριο στο τελικό

¹ <https://www.energy.gov/fecm/articles/liquefied-natural-gas-value-chain-fact-sheet>

στάδιο χρήσης του είτε παραμένει υγρό είτε επαναφέρεται στην αέρια του μορφή και έτσι διανέμεται και χρησιμοποιείται στην αγορά.

5.3 Χημική Ανάλυση, Πυκνότητα

Το LNG αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, όπως και το φυσικό αέριο, αφού η διαδικασία υγροποίησης απαιτεί την αφαίρεση των μη μεθανικών στοιχείων όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό, το βουτάνιο, το πεντάνιο κι άλλα βαρύτερα στοιχεία από το φυσικό αέριο. Το LNG θεωρείται η πιο καθαρή μορφή του φυσικού αερίου, με σχεδόν μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου του.

Οι αναλογίες των συστατικών του LNG διαφέρουν, όπως και στο φυσικό αέριο, ανάλογα με την περιοχή προέλευσής του. (Pospíšila, et al., 2018)

Στον παρακάτω Πίνακας 3.3.1 παρατίθενται διάφορες χώρες εξαγωγής και οι αντίστοιχες αναλογίες ενώσεων (μεθανίου, αιθανίου, προπανίου, βουτανίου και αζώτου).

Πίνακας 5.3.1 Χημική σύσταση ποικίλων LNG στον κόσμο (Jiří Pospíšila, Pavel Charvát, Olga Arsenyeva , Lubomír Klimeš, Michal Špiláček, Jiří Jaromír Klemes 2018 Elsevier Ltd.)²

Terminal	Methane	Ethane	Propane	Butane	Nitrogen
Abu Dhabi	87.07	11.41	1.27	0.14	0.11
Alaska	99.80	0.10	N.A.	N.A.	N.A.
Algeria	91.40	7.87	0.44	0.00	0.28
Australia	87.82	8.30	2.98	0.88	0.01
Brunei	89.40	6.30	2.80	1.30	0.00
Indonesia	90.60	6.00	2.48	0.82	0.09
Malaysia	91.15	4.28	2.87	1.36	0.32
Oman	87.66	9.72	2.04	0.69	0.00
Qatar	89.87	6.65	2.30	0.98	0.19
Trinidad	92.26	6.39	0.91	0.43	0.00
Nigeria	91.60	4.60	2.40	1.30	0.10

Όπως είναι γνωστό, αέρια με ειδικό βάρος μεγαλύτερο από 1,0 είναι πιο βαριά από τον αέρα με αποτέλεσμα το αέριο να μη διασπείρεται εύκολα σε ανοιχτούς χώρους.

² Jiří Pospíšila, Pavel Charvát, Olga Arsenyeva , Lubomír Klimeš, Michal Špiláček, Jiří Jaromír Klemes (2018) Elsevier Ltd. Energy demand of liquefaction and regasification of natural gas and the potential of LNG for operative thermal energy storage. Renewable and Sustainable Energy Reviews <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.027>

Επομένως γνωρίζοντας το ειδικό βάρος του μεθανίου, με τιμή 0,554 σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, το οποίο αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό του LNG, συμπεραίνουμε ότι αν έρθει το LNG σε επαφή με τον αέρα, θα μετατραπεί σε ατμό, καθώς δεν υπάρχει σημείο στη γη με θερμοκρασία $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ για να το διατηρήσει υγροποιημένο.

Όταν αυτό εξατμιστεί, θα προκληθεί ένα λευκό νέφος ατμού. Ο ρυθμός ανόδου των ατμών LNG εξαρτάται από την ποσότητα του απελευθερωμένου LNG, τις καιρικές συνθήκες και το σημείο απελευθέρωσης του LNG.

6 Διαδικασία Υγροποίησης

Η διαδικασία υγροποίησης του φυσικού αερίου αποτελεί το τελικό στάδιο για την δημιουργία του LNG. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις υγροποίησης, στην ξηρά (onshore) και στην θάλασσα (offshore). (Jinrui, Meerman, Benders, & Faaij, 2020)

Οι τεχνολογίες υγροποίησης βασίζονται σε κύκλους ψύξης, όπου η θερμότητα αφαιρείται από το εισερχόμενο αέριο. Η συνεχής ψύξη οδηγεί σε επαναλαμβανόμενους κύκλους ψύξης που οδηγούν στη συμπύκνωση και υγροποίηση του αερίου. Για να επιτευχθούν οι απαραίτητα πολύ χαμηλές θερμοκρασίες για την παραγωγή LNG, η διαδικασία χωρίζεται σε αρκετά βήματα, όπου το αέριο ψύχεται σταδιακά.

Το πρώτο εργοστάσιο υγροποίησης το φυσικό αέριο που δημιουργήθηκε από την εταιρεία εξόρυξης φυσικού αερίου Phillips Petroleum (σήμερα γνωστή ως ConocoPhillips), άρχισε να λειτουργεί το 1941 στις Ηνωμένες Πολιτείες, στο Κλίβελαντ του Οχάιο.

Στο εργοστάσιο υγροποίησης φυσικού αερίου, το φυσικό αέριο μετατρέπεται από την αέρια κατάστασή του σε υγρή κατάσταση. Ένα εργοστάσιο υγροποίησης LNG πραγματοποιεί τρεις βασικές διαδικασίες, αλλά υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνολογίες υγροποίησης.

Πιο συγκεκριμένα, στην αρχική φάση το φυσικό αέριο καθαρίζεται σε μια μονάδα επεξεργασίας αερίου ώστε να αφαιρεθούν οι ακαθαρσίες, όπως το θειικό υδρογόνο (H_2S) και ο υδράργυρος (HG).

Στο δεύτερο στάδιο, αφαιρείται το οξύ αέριο και γίνεται αφυδάτωση. Στην συνέχεια, γίνεται αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και του νερού από το φυσικό αέριο, έτσι ώστε το νερό να μην μετατραπεί σε πάγο κατά τη διάρκεια της υγροποίησης.

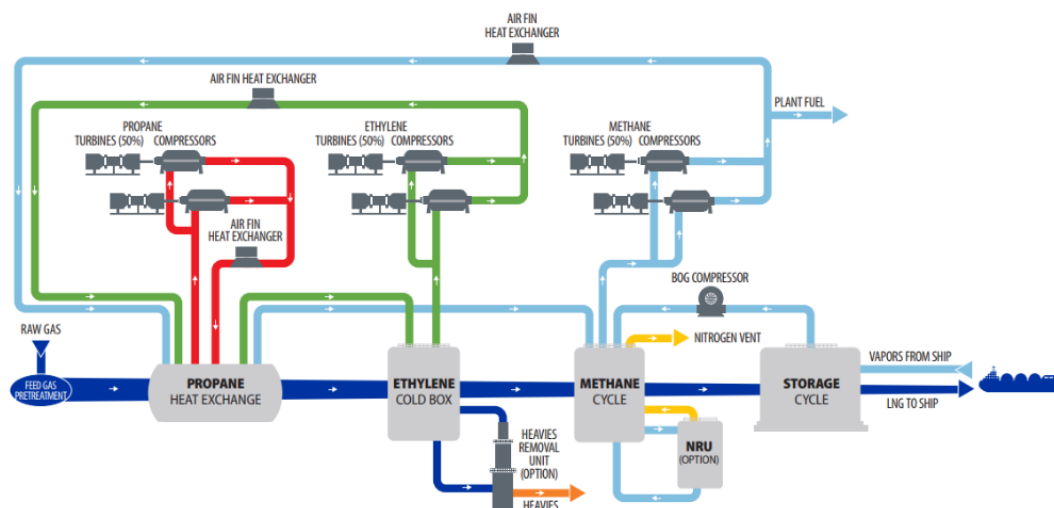
Τέλος, στο τρίτο στάδιο, διαχωρίζονται οι βαριοί υδρογονάνθρακες³ και ξεκινά η υγροποίηση του. Όλοι οι βαριοί υδρογονάνθρακες (C_5+), αφαιρούνται με τη διαδικασία του διαχωρισμού με κλασματική απόσταξη. Μετά από αυτές τις απαραίτητες διαδικασίες, το φυσικό αέριο ψύχεται σε θερμοκρασία $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ και παγώνει.

³ ομάδα πολύπλοκων υδρογονανθράκων που αποτελούνται από μεγαλύτερα μόρια από εκείνα που απαρτίζουν τα ελαφριά υδρογονάνθρακα. Αυτοί οι υδρογονάνθρακες συνήθως χαρακτηρίζονται από πυκνότητα και βαρύτητα

Υπάρχουν πολλές τεχνολογίες υγροποίησης φυσικού αερίου που πραγματοποιούνται στην ξηρά όπως η μέθοδος Cascade, η μέθοδος MR (DMR και SMR), η μέθοδος EXP, και τέλος, η μέθοδος C3MR οι οποίες αναλύονται παρακάτω. Οι τεχνολογίες MR και EXP χρησιμοποιούνται επίσης και στην θάλασσα. Τέλος η τεχνολογία Floating χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε διαδικασία υγροποίησης στην θάλασσα.

6.1 Cascade

Στη μέθοδο Cascade χρησιμοποιείται ειδική επεξεργασία στο αέριο τροφοδοσίας, ώστε να απομακρυνθούν ανεπιθύμητα συστατικά όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το υδρόθειο, το νερό και άλλα όξινα συστατικά. Στη συνέχεια το επεξεργασμένο αέριο ψύχεται και υγροποιείται στους -162°C χρησιμοποιώντας ως ψυκτικό καθαρό προπάνιο, αιθυλένιο και μεθάνιο, σε διαδοχικά ψυκτικά θέρμανσης. (ConocoPhillips, 2024)



Σχήμα 6.1 Διάγραμμα απεικόνισης διαδικασία υγροποίησης Cascade (ConocoPhillips,2024)⁴

Οι σχεδιασμοί ανταλλακτών θερμότητας εδώ είναι λιγότερο πολύπλοκοι από τους ανταλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία C3-MR που θα αναλυθεί παρακάτω.

⁴ConocoPhillips (2024).

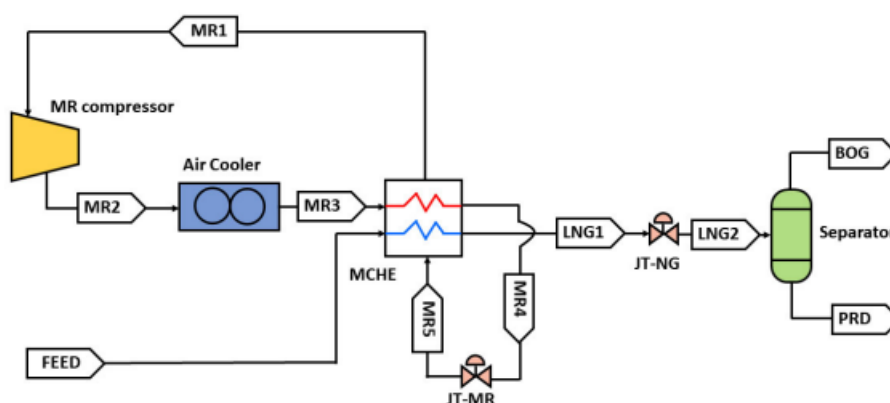
[Optimized Cascade Process | ConocoPhillips LNG Technology & Licensing](#)

6.2 MR

Η τεχνολογία υγροποίησης MR χωρίζεται σε δύο διαδικασίες την SMR και την DMR. Η MR χρησιμοποιείται από κάποιους προμηθευτές. Υπάρχουν τρεις διαδικασίες που στηρίζονται στην ίδια τεχνολογία. Η APCI Propane Precooled Mixed Refrigerant (AP-C3MR) η οποία είναι η πιο διαδεδομένη, η APCI AP-X (AP-X) η οποία χρησιμοποιεί διαστολέα αζώτου και η Shell Dual Mixed Refrigerant (DMR) η οποία χρησιμοποιεί κύκλο MR για την πρό-ψυξη. (Jinrui, Meerman, Benders, & Faaij, 2020)

6.2.1 SMR (Single Mixed Refrigerant)

Η διαδικασία υγροποίησης SMR είναι η πιο απλή διαδικασία. Περιλαμβάνει έναν συμπιεστή MR ο οποίος συνδέεται με έναν ψύκτη, έναν κύριο κρυογενικό εναλλάκτη θερμότητας (MCHE), βαλβίδες JT και έναν διαχωριστή. Ο MR παρέχει την απαραίτητη ψυχρή ενέργεια και αποτελείται από άζωτο, μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο και βουτάνιο. Το φυσικό αέριο υγροποιείται στον MCHE και διαστέλλεται από τον JT-NG με σκοπό τον διαχωρισμό των μη συμπτυκνωμένων αερίων, με αποτέλεσμα να προκύψει το LNG. (Lee, Lim, & Park, 2020, p. 4)

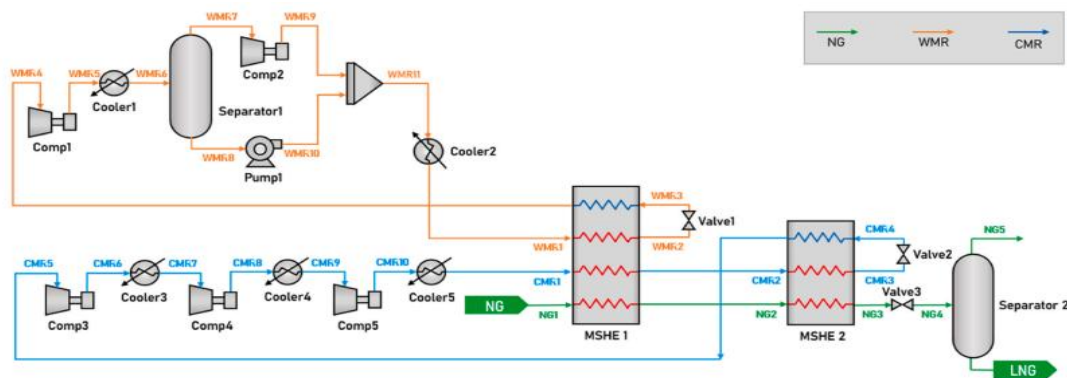


Σχήμα 6.2 SMR Διαδικασία Υγροποίησης (Sang Hyun Lee 1, Dong-Ha Lim 2 and Kyungtae Park.2020)⁵

6.2.2 DMR (Shell SA)

Όσο αφορά την μέθοδο DMR (Dual Mixed Refrigerant Technology), σημειώνεται ότι μοιάζει αρκετά με την παραπάνω, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται και δεύτερο ψυκτικό μέσο στη διαδικασία προ-ψύξης. Είναι μια μέθοδος υγροποίησης που χρησιμοποιείται από την εταιρία Shell. Χρησιμοποιούνται δύο κύκλοι με μικτό ψυκτικό μέσο και έτσι διατηρείται η καλύτερη δυνατή απόδοση σε ένα μεγάλο φάσμα διακυμάνσεων της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και σε μεταβολές στη σύσταση του αερίου τροφοδοσίας. Το πρώτο στάδιο ψύξης είναι στους -50°C ενώ το δεύτερο είναι στους -160°C . (Haneul Mun, 2024, p. 3)

5 Sang Hyun Lee 1, Dong-Ha Lim 2 and Kyungtae Park, 2020. Optimization and Economic Analysis for Small-Scale Movable LNG Liquefaction Process with Leakage Considerations.
https://www.researchgate.net/publication/343453471_Optimization_and_Economic_Analysis_for_Small-Scale_Movable_LNG_Liquefaction_Process_with_Leakage_Considerations



Σχήμα 6.3 Διαδικασία υγροποίησης με MR compressor⁶

Η διαδικασία DMR, χρησιμοποιεί δύο μίγματα ψυκτικών (MR): το ζεστό MR (WMR) και το κρύο MR (CMR). Ο κύκλος του WMR περιλαμβάνει μια διαδικασία συμπίεσης δύο σταδίων, όπου το μίγμα ατμού-υγρού διαχωρίζεται στον Διαχωριστή 1. Ο ατμός συμπιέζεται περαιτέρω από τον Συμπιεστή 2 (Comp2), ενώ το υγρό ενισχύεται με πίεση μέσω της Αντλίας 1 (Pump1). Από την άλλη, ο κύκλος του CMR περιλαμβάνει συμπίεση τριών σταδίων, παραμένοντας σε αέρια φάση καθ' όλη τη διαδικασία, χρησιμοποιώντας τους Συμπιεστές 3, 4 και 5 (Comp3, Comp4, Comp5). (Haneul Mun, 2024, p. 4)

Στο πρώτο εναλλάκτη θερμότητας πολλαπλών ρευμάτων (MSHE 1), αξιοποιείται η ψυχρή ενέργεια του WMR για την προ κατάψυξη του φυσικού αερίου (NG) και την ψύξη του CMR. Στον δεύτερο εναλλάκτη θερμότητας (MSHE 2), το NG υγροποιείται χρησιμοποιώντας την ψυχρή ενέργεια του CMR. Στη συνέχεια, το υγροποιημένο NG εκτονώνεται σε πίεση 1 bar μέσω της Βαλβίδας 3 (Valve3), διαχωρίζεται στον Διαχωριστή 2 και τελικά παράγεται 1 MTPA LNG.

6.3 EXP (Expander Based Technology)

Η διαδικασία υγροποίησης EXP είναι η πιο απλή, αλλά απαιτεί υψηλή ενεργειακή κατανάλωση. Διατηρεί το καθαρό ψυκτικό μέσο σε αέρια μορφή καθ' όλη την διάρκεια υγροποίησης του φυσικού αερίου, με αποτέλεσμα η τιμή της θερμότητας να παραμένει σχετικά σταθερή. (Jinrui, Meerman, Benders, & Faaij, 2020)

Ακολουθεί μια σύγκριση μεταξύ της μεθόδου EXP και των Cascade και MR που αναλύθηκαν παραπάνω.

⁶ [Advanced dual mixed refrigerant \(DMR\) natural gas liquefaction plant with liquid air: Focus on configuration and optimization](#)

Πίνακας 6.1 Σύγκριση διαδικασιών υγροποίησης (Jinrui Zhang, Hans Meerman, René Benders, André Faaij 2020) ⁷

Criteria	Cascade	MR	EXP
Application	Onshore large-scale	Onshore large-scale, small-scale and offshore	Onshore small-scale and offshore
Energy efficiency	High	Medium to high	Low
Equipment count	High	Low to medium	Low
Heat-transfer surface area	Medium	High	Low
Simplicity of operation	Low	Low to medium	High
Ease of start-up and line-up	Medium	Low	High
Adaptability of feed-gas compositions	High	Medium	High
Sensitivity to ship motion	High	Medium to high	Low
Space requirement	High	Medium	Low
Hydrocarbon-refrigerant storage	High	Medium to high	None
Capital costs	High	Low to medium	Low

6.4 C3MR

Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε προ-ψυγμένο προπάνιο, το οποίο χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μείγμα.

Υπάρχουν δύο βασικοί κύκλοι ψύξης:

- ο κύκλος πρό-ψύξης που χρησιμοποιεί το καθαρό προπάνιο και ο κύκλος υγροποίησης και
- Ο κύκλος υπό-ψύξης που χρησιμοποιείται μεικτό ψυκτικό μέσο που αποτελείται από άζωτο, μεθάνιο, αιθάνιο και προπάνιο.

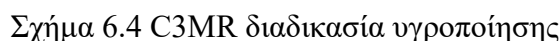
Ο κύκλος προ-ψύξης χρησιμοποιεί το προπάνιο σε τρία ή τέσσερα επίπεδα πίεσης ώστε να μπορέσει να κρυώσει το αέριο διεργασίας στους -35°C με -40°C και να ψύξει το ψυκτικό μέσο. Ταυτόχρονα γίνεται και η συμπίκνωση του μείγματος υγροποίησης. Έτσι ψύχεται τόσο το φυσικό αέριο όσο και το μικτό ψυκτικό μέσο, το οποίο υφίσταται περαιτέρω ψύξη και πίεση σε διάφορα επίπεδα.

Μετά την προ-ψύξη του προπανίου⁸, μεταφέρεται σε έναν ψυκτήρα υγροποίησης, όπου το μεικτό ψυκτικό αέριο ψύχεται ακόμη περισσότερο. Τέλος, γίνεται διαχωρισμός και

⁷ Jinrui Zhang, Hans Meerman, René Benders, André Faaij (2020). Applied Thermal Engineering. Comprehensive review of current natural gas liquefaction processes on technical and economic performance
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114736>

⁸ Η προψύξη του μεθανίου αναφέρεται στη διαδικασία όπου το υγρό μεθάνιο (LNG - Liquid Natural Gas) θερμαίνεται και μετατρέπεται ξανά σε αέρια μορφή

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, το φυσικό αέριο προσπερνά αυτούς τους ψυκτήρες, όπου υποβάλλεται σε απότομη μείωση της πίεσης και της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα την υγροποίηση του, στους -162°C στον εναλλάκτη θερμότητας MR.



Μέσω του Scrubber, το φυσικό αέριο περνάει μέσα από έναν εξοπλισμό καθαρισμού (Scrubber), όπου αφαιρούνται οι βαριοί υδρογονάνθρακες και άλλες προσμίξεις.

Έπειτα γίνεται η δεύτερη ψύξη με προπάνιο, ξανά μέσω ενός δεύτερου εναλλάκτη θερμότητας, χρησιμοποιώντας και πάλι προπάνιο ως ψυκτικό μέσο, ώστε να μειωθεί περαιτέρω η θερμοκρασία του.

Το φυσικό αέριο εισέρχεται στον διαχωριστή (Sep), όπου διαχωρίζονται τα υγρά από τα αέρια συστατικά και έπειτα τα διαχωρισμένα υγρά επιστρέφουν σε ένα σημείο μίξης (Mixer) για περαιτέρω επεξεργασία.

Στη συνέχεια, το φυσικό αέριο περνά μέσα από τον κύριο εναλλάκτη θερμότητας (Main Exchanger), όπου υγροποιείται πλήρως με τη χρήση του MR (Mixed Refrigerant), το οποίο είναι ένα μείγμα διαφορετικών ψυκτικών μέσων. Η θερμότητα του φυσικού αερίου απορροφάται από το MR, το οποίο μειώνει τη θερμοκρασία του αερίου κάτω από τη θερμοκρασία υγροποίησης.

6.5 Floating LNG

Εκτός από τις παραπάνω διαδικασίες υγροποίησης του φυσικού αερίου υπάρχει και το Floating LNG, το οποίο αναφέρεται σε μια τεχνολογία πιο οικονομική από τις παραπάνω και επιτρέπει την υγροποίηση του φυσικού αερίου όχι σε εργοστάσια στη ξηρά αλλά απευθείας στη θάλασσα μέσω δεξαμενόπλοιων που διαθέτουν ενσωματωμένο μηχανισμό υγροποίησης. Όπως αναφέρθηκε, είναι μια διαδικασία υγροποίησης πιο οικονομική από τις παραπάνω καθώς δεν χρειάζεται η δημιουργία αγωγών. (Shell, 2024)

Σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς τερματικούς σταθμούς LNG στη στεριά, οι πλωτές μονάδες αποθήκευσης και επαναεριοποίησης (FSRU) παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, ιδιαίτερα βραχυπρόθεσμα. Πιο συγκεκριμένα, απαιτείται λιγότερος χρόνος κατασκευής καθώς ένα FSRU μπορεί να ολοκληρωθεί σε περίπου 2 χρόνια, ενώ ένας τερματικός σταθμός LNG στη στεριά χρειάζεται συνήθως 4-5 χρόνια. Επιπλέον, υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία στη μεταφορά καθώς μπορεί να μετακινηθεί εύκολα σε διαφορετική τοποθεσία αν αυτό χρειαστεί. Τέλος, το κόστος κατασκευής είναι μικρότερο, αφού απαιτεί πολύ λιγότερη επένδυση σε σύγκριση με έναν αντίστοιχο τερματικό σταθμό στη στεριά. (Chenxi Ji, 2023)

Επιπλέον, οι πλωτές μονάδες παραγωγής FLNG έχουν και αποθηκευτική ικανότητα με αποτέλεσμα να μπορεί να αποθηκευτεί αμέσως μετά την υγροποίησή του. (Shell, 2024)

Αποτελεί μια διαδικασία που χρησιμοποιεί η Shell για την υγροποίηση του φυσικού αερίου εντός θάλασσας.

7 Μεταφορά Και Αποθήκευση

Αφού τελειώσει η διαδικασία υγροποίησης, το LNG μεταφέρεται είτε από την ξηρά μέσω ειδικών αγωγών, είτε μέσω θάλασσας με τη βοήθεια ειδικών πλοίων. Αν και μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό του LNG μεταφέρεται μέσω οχημάτων, το LNG μπορεί να φορτωθεί σε ρυμουλκούμενα δοχεία τύπου ISO για διανομή σε περιοχές που δεν έχουν πρόσβαση στο δίκτυο. (Erik Vanema, Reliability Engineering & System Safety, Analysing the risk of LNG carrier operations, 2008)

Με την υγροποίηση του φυσικού αερίου, η μεταφορά μέσω δεξαμενοπλοίων είναι πιο οικονομική έναντι της μεταφοράς σε αέρια μορφή μέσω σωληνώσεων, το οποίο δικαιολογεί πλήρως την αύξηση των δεξαμενοπλοίων το τελευταίο διάστημα. Παρόλα αυτά επειδή είναι αρκετά εύφλεκτο, η μεταφορά και αποθήκευση του χρειάζεται ειδική μεταχείριση. Για αυτό το λόγο η μεταφορά και η αποθήκευση πραγματοποιείται από ειδήμονες, μέσω ειδικών πλοίων, σε ειδικά διαμορφωμένες δεξαμενές.

Χώρες οι οποίες συνδέονται άμεσα με χώρες που παράγουν και προμηθεύουν το ίδιο το LNG, όπως οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, συνήθως μεταφέρουν το προϊόν από την ξηρά με τη βοήθεια ειδικών αγωγών μεθανίου.

Οι αγωγοί αυτοί, βοηθούν στην μεταφορά του LNG από τις εγκαταστάσεις υγροποίησης σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης, σε εγκαταστάσεις επαναμετατροπής σε αέριο ή σε εγκαταστάσεις εξαγωγής ανάλογα με το αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί τοπικά ή στο εξωτερικό. (Fahmy, Nahib, & El-Rasoul, 2015)

Σε περίπτωση που μία χώρα θέλει να προμηθευτεί LNG και δεν υπάρχει απευθείας σύνδεση με κάποια χώρα που το παράγει, τότε το LNG μεταφέρεται μέσω της θάλασσας. Καθότι κατά τη μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου ένα μέρος αυτού εξατμίζεται (με βρασμό περίπου το 0,15%), η μεταφορά του θα πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένες συνθήκες και με ειδικά σχεδιασμένα πλοία στα οποία μπορεί να διασφαλιστεί η διατήρηση εξαιρετικά χαμηλής θερμοκρασίας.

Τα πλοία που μεταφέρουν LNG, αποτελούνται από δεξαμενές διαφόρων τύπων όπου χρησιμοποιούνται μονωτικά υλικά ώστε να μειώνονται οι λοιπές θερμικές ροές από και προς την δεξαμενή. Κάποια από τα πιο συνηθισμένα μονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται για αυτή τη χρήση, είναι το ξύλο Balsa, οι ίνες γυαλιού, η πολυουρεθάνη και τέλος η σιλικόνη με επίστρωση περιλίτη.

Επίσης, χάρη στα μονωτικά υλικά, προστατεύεται η υπόλοιπη μεταλλική κατασκευή του πλοίου από τις κρυογονικές αρνητικές ιδιότητες του LNG, όπως είναι η αποθήκευση του σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία όπου απαιτεί περίπλοκα συστήματα ψύξης και μόνωσης, η απώλεια κατά τη μεταφορά λόγω εξάτμισης και ο κίνδυνος ανάφλεξης.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1950, διερευνήθηκε μια πρώιμη ιδέα για τη μεταφορά και τη χρήση του LNG, από την Union Stockyards, την Chicago και την Continental Oil, μέσω μιας κοινοπραξίας που ονομάζεται Constock. (Noble, 2009)

Το σχέδιο ήταν να αγοραστεί αέριο στην ακτή του Κόλπου του Μεξικού, να υγροποιηθεί, να μεταφερθεί με νερό στο Σικάγο και να εξατμιστεί στη βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων, χρησιμοποιώντας το κρύο για ψύξη και καθιστώντας το αέριο διαθέσιμο για βιομηχανική χρήση.

Στο πλαίσιο αυτής της επιχείρησης, μια φορτηγίδα, το Methane με χωρητικότητα φορτίου 5.550 κυβικών μέτρων, ανακατασκευάστηκε στο ναυπηγείο Ingalls για να λειτουργήσει στο Μισσισιππή μεταφέροντας LNG βόρεια στο Σικάγο.

Σημειώνεται ότι το πλοίο κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε αρχικά ως φορτηγό πλοίο της κυβέρνησης των ΗΠΑ, στο τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου.

Τα αρχικά οικονομικά στοιχεία φαίνονταν καλά, ωστόσο ο FDA αρνήθηκε να επιτρέψει την ιδέα λόγω του φόβου μόλυνσης των προϊόντων διατροφής. Η αποτυχία λήψης έγκρισης από τον FDA προκάλεσε την απόσυρση της Union Stockyards από την επιχείρηση.

Η Continental επέλεξε να συνεχίσει τη λειτουργία του LNG και διαπίστωσε ότι το αέριο θα μπορούσε να υγροποιηθεί στην ακτή του Κόλπου, να μεταφερθεί στην ανατολική ακτή με νερό, να εξατμιστεί και να τοποθετηθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1950 εμφανίστηκε μια ευκαιρία πώλησης LNG στο Ηνωμένο Βασίλειο και η Constock συνεργάστηκε με το Βρετανικό Συμβούλιο Φυσικού Αερίου για την ανάπτυξη του πρώτου συστήματος θαλάσσιων μεταφορών στον κόσμο για LNG.

Έτσι, στις 25 Ιανουαρίου 1959, το MV Methane Pioneer έφυγε από τον ποταμό Calcasieu στην ακτή του κόλπου της Λουιζιάνα με το πρώτο φορτίο LNG στον κόσμο και έπλευσε στο Ηνωμένο Βασίλειο όπου παραδόθηκε.

Το 1968 το Methane Pioneer έγινε το πρώτο πλοίο LNG που εισήγαγε φορτία στις ΗΠΑ, όταν το φορτίο του εκφορτώθηκε στο λιμάνι της Βοστώνης σε φορτηγά LNG τοποθετημένα σε φορτηγίδα.

Το Methane Pioneer έγινε το πρώτο πλοίο LNG που κινήθηκε με ντίζελ και το πρώτο που φόρτωσε στη θάλασσα - καινοτομίες που ακόμα και σήμερα διατηρούν υψηλή θέση από πλευράς ενδιαφέροντος.

Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά του ήταν ότι είχε μήκος 106 m, χωρητικότητα φορτίου περίπου 5000 m³ και ισχύ 1750 ίππους, κινούμενο με ντίζελ και αποτελούμενο από ανοξείδωτο χάλυβα.

Ως υλικό μόνωσης είχε χρησιμοποιηθεί ξύλο τύπου Balsa και μονωτικός περλίτης. Το υλικό μόνωσης ήταν τοποθετημένο εσωτερικά του ανοξείδωτου χάλυβα με σκοπό ο χάλυβας να προστατεύεται από τις κρυογενικές επιπτώσεις.

Εκείνη την εποχή οι γνώσεις γύρω από την θραύση ήταν περιορισμένες και για να αποφευχθούν οι συγκρούσεις, κατασκεύασαν την φορτηγίδα με διπλά τοιχώματα.

Η επιτυχής μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου οδήγησε την Shell στην αγορά δύο ειδικών κατασκευασμένων πλοίων στο Ηνωμένο Βασίλειο το Methane Princess στα Vickers Armstrong και το Methane Progress στα Harland and Wolff με χωρητικότητα περίπου 27.000 m³ φορτίου. Τα πλοία αυτά εξοπλίστηκαν με ανεξάρτητες δεξαμενές φορτίου αλουμινίου και το 1964 η Shell ξεκίνησε το εμπόριο LNG από την Αλγερία προς το Ηνωμένο Βασίλειο ξεκινώντας ένα εμπόριο σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η έναρξη της βιομηχανίας των πλοίων LNG μπορεί να θεωρηθεί ότι έγινε στα μέσα του 20ού αιώνα, όταν καταστρώθηκε ο πρώτος εμπορικός σταθμός LNG στην Αλγερία το 1964. Αυτή ήταν μια σημαντική χρονιά καθώς μια νέα μορφή ενέργειας εισήχθη με δυνατότητα μεταφοράς σε μεγάλες αποστάσεις.

Τις επόμενες δεκαετίες βλέπουμε μια σταδιακή επέκταση του εμπορίου LNG, με μεγάλα έργα στη Μέση Ανατολή, την Αυστραλία και την Νοτιοανατολική Ασία.

Στις δεκαετίες του '90 και των αρχών του 21ου αιώνα, η εισαγωγή νέων τεχνολογιών σηματοδότησαν μια περίοδο γρήγορης ανάπτυξης στη βιομηχανία LNG, όπως το Q-Max LNG carrier, όπου η μεταφορά πλέον ήταν πιο οικονομική και πιο εύκολη στη πρόσβασή της. Από εκείνη την περίοδο και μετά το LNG άρχισε να παίζει κυρίαρχο ρόλο στα ενεργειακά θέματα με αποτέλεσμα την αύξηση του ανταγωνισμού στον ενεργειακό τομέα. (Oladipo Olugbenga Adekoya A. A., 2023)

8 Τύποι πλοίων μεταφοράς LNG

Τα πλοία που μεταφέρουν LNG είναι ειδικά σχεδιασμένα για να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η πιο αποτελεσματική μεταφορά του παγκοσμίως. Διαφοροποιούνται από

τα κοινά πλοία λόγω της χωρητικότητάς τους και της δυνατότητας που έχουν στο να διατηρούν χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλές πιέσεις που είναι απαραίτητα για την σωστή μεταφορά του LNG. (Study on Optimal Use of Small-scale Shallow-draft LNG Carriers and FSRUs in the APEC Region, 2020)

Ο δομικός σχεδιασμός των LNG carriers είναι ιδιαίτερος και συνήθως έχουν μήκος περίπου 300 μέτρα, πλάτος 43 μέτρα και βύθισμα περίπου 12 μέτρα. Αυτά τα πλοία κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα και αλουμίνιο ώστε, να μπορούν να αντέξουν τις εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες και τις υψηλές πιέσεις που σχετίζονται με τη μεταφορά LNG.

Όλοι τύποι πλοίων που μεταφέρουν υγροποιημένο φυσικό αέριο έχουν διπλά ύφαλα, εσωτερικά και εξωτερικά. Ο σχεδιασμός με τα διπλά ύφαλα λειτουργεί ως προστατευτικό για τις δεξαμενές και το φορτίο σε περίπτωση σύγκρουσης.

Τα πλοία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την χωρητικότητά τους σε:

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

Τα πλοία μεταφοράς LNG μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και ανάλογα με τον τύπο δεξαμενών που διαθέτουν:

- εκείνα με ανεξάρτητες δεξαμενές, οι οποίες μπορεί να είναι σφαιρικές (Knaerner Moss/ Moss Rosenberg) ή πρισματικές δεξαμενές IHI SPB (Self-supporting Prismatic IMO Type B).
- εκείνα με ενσωματωμένες δεξαμενές. Πλοία με ενσωματωμένες δεξαμενές στο εσωτερικό τους χαρακτηρίζονται ως μεμβρανώδη πλοία όπως το Gas Transport (GT No 96) system, το Technigaz Mark III, το CS1 και τέλος το Kogas KC-1. Η ενσωμάτωση αυτή οδηγεί σε καλύτερη χρήση του χώρου και επομένως σε μεγαλύτερη χωρητικότητα φορτίου καθώς ταιριάζουν πιο πολύ στο σχήμα του κυρίου σώματος του πλοίου που τοποθετούνται. Αυτά προτιμώνται κυρίως λόγω των παραλληλόγραμμων δεξαμενών που υπάρχουν οι οποίες αφήνουν ελάχιστα κενά μεταξύ τους αντίθετα με τις σφαιρικές δεξαμενές όπου η χωρητικότητα που μπορούν να μεταφέρουν είναι μικρότερη και επομένως κοστίζει περισσότερο.

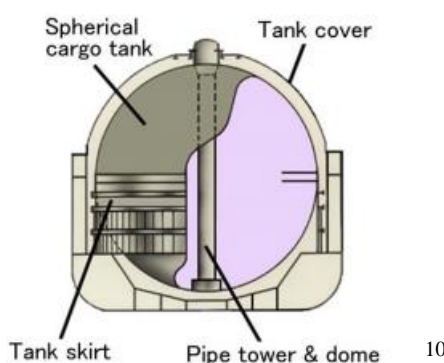
Οι τύποι πλοίων βάσει των δεξαμενών τους παρουσιάζονται αναλυτικότερα παρακάτω.

8.1 Moss type LNG carrier (Spherical tankers)

Τα πλοία τύπου Moss, αποτελούνται από σφαιρικές δεξαμενές υποστηριζόμενες από εσωτερικό πλαίσιο. Οι σφαιρικές δεξαμενές διακρίνονται για την πολυπλοκότητα τους στην κατασκευή σύμφωνα με τον IMO⁹. Τα περισσότερα από αυτά τα πλοία έχουν 4-5 δεξαμενές, οι οποίες το άνω μισό μέρος τους είναι εκτεθειμένο στο κατάστρωμα του πλοίου. Λόγω ότι είναι ανεξάρτητες από το σώμα του πλοίου, οι δεξαμενές δεν συμβάλουν στην καταπόνηση του. (Erik Vanema, Reliability Engineering & System Safety, Analysing the risk of LNG carrier operations, 2008)

Η πίεση των δεξαμενών αυτού του τύπου πλοίου, φτάνει έως 22 kPa (3.2 psi).

Οι σφαιρικές δεξαμενές LNG τύπου Moss είναι γνωστές για την αξιοπιστία και την ανθεκτικότητά τους, προσφέροντας ασφαλή και ομαλή λειτουργία χωρίς προβλήματα και διαρροές.



Σχήμα 8.1 Δομική σχεδίαση της σφαιρικής δεξαμενής MOSS (Michihisa Watanabe, 2016)

Η δομική σχεδίαση της σφαιρικής δεξαμενής MOSS πρέπει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις που καθορίζονται στον Κώδικα IGC¹¹, όπου πραγματοποιείται μια εκτίμηση αντοχής σε διάφορα φορτία.

Οι δεξαμενές αυτές είναι σχεδιασμένες να περιέχουν το φορτίο ελαφρώς επάνω από την ατμοσφαιρική πίεση σε κρυογενική θερμοκρασία περίπου -169 °C. Αυτό συμβαίνει καθώς με την μόνωση η εξωτερική θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει την εσωτερική θερμοκρασία που βρίσκεται το υγρό και έτσι ένα μέρος αυτού να εξατμίζεται κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Η εξαύτμιση αυτή δεν είναι ομοιόμορφη καθώς τα συστατικά με τη χαμηλότερη θερμοκρασία βρασμού όπως είναι το μεθάνιο και το άζωτο εξατμίζονται πιο εύκολα από τα υπόλοιπα βαρέα στοιχεία.

8.2 Self-supporting Prismatic shape IMO type B (SPB) LNG carrier

Οι δεξαμενές που βρίσκονται σ' αυτό το είδος πλοίου είναι ανεξάρτητες όπως και στον τύπο Moss. Αυτού του τύπου δεξαμενή διαίρεται σε τέσσερις χώρους

⁹ International Maritime Organization (IMO)

¹⁰ <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e532/e532011.pdf>

¹¹ Διεθνής Κώδικας για την Κατασκευή και τον Εξοπλισμό Πλοίων που Μεταφέρουν Υγρά Αέρια Σε Μεγάλες Ποσότητες

χρησιμοποιώντας μια προστατευτική στρώση για σταθεροποίηση. Κατασκευάζονται με δοκούς για αντοχή στο κύμα και είναι πιο προηγμένος σχεδιασμός από τους δύο προηγούμενους τύπους. Ωστόσο, δεν είναι δημοφιλής λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής και χαμηλής ζήτησης αυτού του είδους πλοίου. (Deeb, 2013)

Υπάρχουν τρία είδη ανεξάρτητων δεξαμενών τύπου A, τύπου B , τύπου Γ.

Οι δεξαμενές τύπου A σχεδιάζονται κυρίως χρησιμοποιώντας παραδοσιακές μεθόδους ανάλυσης της δομής του πλοίου. Οι ανεξάρτητες δεξαμενές αλουμινίου με διαχωριστές (επικαθάρτες) στο κέντρο είναι μια συγκεκριμένη κατηγορία δεξαμενών που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά και την αποθήκευση LNG (Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου), στηρίζονται από τη δική τους δομή, χωρίς να απαιτούνται επιπλέον στηρίγματα ή υποδομές από το εξωτερικό κέλυφος του πλοίου ή της εγκατάστασης. Αυτό μειώνει το βάρος και την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού και εγκατάστασης. Οι επικαθάρτες είναι εσωτερικές διαχωριστικές επιφάνειες που τοποθετούνται στο κέντρο της δεξαμενής. Αυτές οι διαχωριστικές επιφάνειες βοηθούν στον έλεγχο των υγρών μετατοπίσεων μέσα στη δεξαμενή κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, μειώνοντας τις δυναμικές που μπορούν να επηρεάσουν την ισορροπία και την ασφάλεια του πλοίου ή της εγκατάστασης.

Το σύστημα μόνωσης σε αυτά τα πλοία, είναι από ξύλο balsa συνδεδεμένο με το εσωτερικό κύτος (δευτερεύουσα φραγή) και κάθε μονωμένη κατασκευή περιέχει τρεις δεξαμενές.

Οι τύπου B, σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας πιο εξειδικευμένα εργαλεία και μεθόδους ανάλυσης για τον προσδιορισμό των επιπέδων τάσης, της διάρκειας ζωής της κόπωσης και των χαρακτηριστικών διάδοσης ρωγμών. Η συνολική σχεδιαστική έννοια αυτών των δεξαμενών βασίζεται στην αρχή της "ανίχνευσης ρωγμών πριν την ρήξη".

Τέλος, οι τύπου Γ, έχουν κυλινδρικό ή σφαιρικό σχήμα για να αντέχουν την πίεση και να μεγιστοποιούν την αντοχή της δομής τους. Σχεδιάζονται με κριτήριο την ατμοσφαιρική πίεση του αερίου, συνήθως έως και 10 bar για να αντέχουν υψηλή πίεση. Χρησιμοποιείται αφρός πολυουρεθάνης ή περλίτης για την μόνωση, ώστε να ελαχιστοποιείται η απώλεια θερμότητας.

8.3 Membrane type LNG carrier

Τα μεμβρανώδη πλοία, έχουν μια τάξη μεγέθους από 145.000 m³ έως 265.000 m³ και περιέχουν συνήθως τέσσερις με πέντε ενσωματωμένες ορθογώνιες δεξαμενές με ενισχυμένη μόνωση από πολυουρεθάνη ή περλίτη. Τον κύριο φράγμα αποτελείται από ανοξείδωτο χάλυβα ή από κράμα invar¹². (Erik Vanem)

Χάρη στις μεμβράνες, το φορτίο διατηρείται σε χαμηλή θερμοκρασία για να απορροφήσει τη διαστολή του αερίου χρησιμοποιώντας λεπτές εσωτερικές δεξαμενές και καλύπτοντάς τις, με μια ανοξείδωτη "μεμβράνη".

Τα μεμβρανώδη πλοία, περιέχουν δεξαμενές όπου αποτελούνται από πολλά επίπεδα λεπτών μετάλλων και μονωτικά υλικά, δημιουργώντας δομές που μοιάζουν με μεμβράνη. Η μεμβράνη αποδίδει εξαιρετική μόνωση, λιγότερες διαρροές, καθιστώντας

¹² κράμα με 64% χάλυβα και 36% νικέλιο

αυτούς τους φορείς εξαιρετικά αποδοτικούς και ασφαλείς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα θερμομονωτικό υλικό στο κέλυφος.

Παρακάτω απεικονίζεται ένας πίνακας με τρεις τύπους δεξαμενών, την ανεξάρτητη δεξαμενή (self-supporting tank), την ημι-μεμβρανώδη δεξαμενή (Semi-membrane tank) και τη μεμβρανώδη δεξαμενή (Membrane tank) και αναφέρονται αντίστοιχα κάποια χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 8.1 Σύγκριση τύπων πλοίων μεταφοράς LNG (A. Pastuhov and M. Gondouin, 1973)¹³

	Self-supporting tank	Semi-membrane tank	Membrane tank
Design loads	Internal pressure Static head Cooldown	Internal pressure Static head Cooldown	Dynamic head Hull strain Cooldown
Failure mode	Tensile cracks	Tensile cracks	Fatigue bending
Stress concentrations	Keys Welds Reinforcements	Supports Welds	Supports Expansion joints Corners
Material properties	Brittleness Weldability Cost	Brittleness Weldability Cost	Brittleness Weldability Cold forming Minimum α
Assembly problems	Tank weight	Support jigs Dimensional tolerances	Welding quality Dimensional tolerances
Testing	X-ray welds Gas leak	X-ray welds Gas leak	Fatigue Gas leak
Access	Both sides	Both sides	Inside

9 Κίνδυνοι

Το LNG είναι σχετικά επικίνδυνο κατά τη μεταφορά και αποθήκευση του. Οι πηγές κινδύνου του LNG μπορεί να προκύψουν από:

- Διαρροές υγρού υπό πίεση (διαρροές από αντλίες και σωλήνες),
- Διαρροές υγρού από δεξαμενές αποθήκευσης,
- Ανατροπή μιας δεξαμενής αποθήκευσης LNG,
- Εξάτμιση υγρού που σχηματίζει μια εύφλεκτη ατμοσφαιρική στήλη και
- Διαρροές υγρού που εισάγονται σε νερό υπό πίεση οδηγούν σε έκρηξη ταχείας φάσης μετάβασης (Rapid Phase Transition)

Το "Εύρος Αναφλεξιμότητας" είναι το εύρος συγκέντρωσης ενός αερίου ή ατμού που θα καεί αν εισαχθεί μια πηγή ανάφλεξης. Τα όρια αυτού του εύρους ονομάζονται συνήθως "Κάτω Όριο Αναφλεξιμότητας" (LFL) και "Άνω Όριο Αναφλεξιμότητας" (UFL). (GIIGNL, LNG information papers, 2019)

¹³ https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4757-0489-1_3

Για να προκληθεί ανάφλεξη θα πρέπει να συνυπάρξουν τρία πράγματα: μια πηγή καυσίμου (π.χ., εύφλεκτο αέριο ή ατμός), αέρας (οξυγόνο), και μια πηγή ανάφλεξης (π.χ. φλόγα ή επιφάνεια υψηλής θερμοκρασίας).

Το LNG όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι άοσμο, άχρωμο, μη διαβρωτικό, μη εύφλεκτο και μη τοξικό. Ενώ το φυσικό αέριο είναι εύφλεκτο, το LNG δεν είναι τόσο. Το LNG όπως έχει ήδη αναφερθεί αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, επομένως τα όρια αναφλεξιμότητας του συμβαδίζουν με τα αντίστοιχα όρια του μεθανίου.

Το LFL για το μεθάνιο είναι 5% και το UFL είναι 15%. Το μεθάνιο στο LNG έχει μια θερμοκρασία φλόγας 1,330°C (2,426°F), δηλαδή χρειάζεται αρκετά υψηλή θερμοκρασία για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η καύση του και ο ρυθμός καύσης του είναι περίπου 12,5 m2/λεπτό. Εκτός από αυτό το εύρος, το μίγμα μεθανίου/αέρα δεν είναι εύφλεκτο. Άρα, οποιαδήποτε μικρή διαρροή ατμού LNG από ένα δοχείο σε έναν καλά αεριζόμενο χώρο αναμειγνύεται γρήγορα με τον αέρα και θα διασκορπίζεται γρήγορα και επομένως δεν θα υπάρξει ανάφλεξη.

Πίνακας 9.1 Χαρακτηριστικά LNG¹⁴(GIIGNL,2019)

HAZARD	LNG
Toxic	No
Carcinogenic	No
Flammable	Yes
Asphyxiant	Yes, in confined spaces
Other Human Health Hazards	Low temperature
Flammable Limits in Air (%)	5 - 15
Stored Pressure	Ambient, except in some small containers
Behaviour if Spilled	Evaporates forming flammable visible cloud that disperses readily; keep away from ignition sources

9.1 Σύννεφα ατμού

Καθώς το LNG βγαίνει από ένα δοχείο ελεγχόμενου χώρου θερμοκρασίας, αρχίζει να ζεσταίνεται, με αποτέλεσμα να μετατρέπεται από υγρή μορφή σε αέρια. Δημιουργείται ένα νέφος ατμού (ομίχλη) καθώς το αέριο είναι πιο κρύο και βαρύτερο από τον αέρα. Καθώς το αέριο αρχίζει να ζεσταίνεται, αναμειγνύεται με τον αέρα και αρχίζει να διασπείρεται. Μπορεί να προκληθεί ανάφλεξη μόνο όταν αυτό το νέφος φτάσει στις κατάλληλες θερμοκρασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω.

9.2 Κρυογενές υγρό

Το LNG είναι κρυογονικό υγρό. Αυτό σημαίνει ότι η άμεση επαφή του ανθρώπου με το κρυογενές υγρό θα παγώσει το σημείο επαφής. Τα συστήματα περιορισμού γύρω από το δοχείο χωρίζουν επίσης το δοχείο από άλλο εξοπλισμό. Επιπλέον, όλο το προσωπικό της εγκατάστασης θα πρέπει να φοράει γάντια, μάσκες προσώπου και άλλα

¹⁴ GIIGNL - THE INTERNATIONAL GROUP OF LIQUEFIED NATURAL GAS IMPORTERS (2019). [giignl2019_infopapers_gas.pdf](#)

προστατευτικά ρούχα ως προστασία από το παγωμένο υγρό όταν εισέρχονται σε περιοχές με πιθανό κίνδυνο.

9.3 Πυρκαγιά

Το LNG δεν καίγεται. Για να προκληθεί πυρκαγιά, το LNG πρέπει να εξατμιστεί και να δημιουργήσει ένα εύφλεκτο μίγμα. Ανάλογα με το μέγεθος της απελευθέρωσης, η φωτιά θα είναι τοπική στην περιοχή της απελευθέρωσης ή μπορεί να δημιουργηθεί ένα ατμοσφαιρικό νέφος που θα ταξιδέψει κατά μήκος της κατεύθυνσης του ανέμου από το σημείο της απελευθέρωσης. Μόλις αυτό εκτεθεί σε θερμοκρασία πάνω από -108°C , γίνεται πυκνότερο από τον αέρα και διασκορπίζεται γρηγορότερα. Στην περίπτωση που υπάρξει ρήγμα κοντά στις πλευρές του πλοίου μεταφοράς LNG, η δεξαμενή αποθήκευσης τρυπάει και δημιουργείται διαρροή στην επιφάνεια της θάλασσας, με αποτέλεσμα να εξαπλώνεται γρήγορα.

9.4 Έκρηξη

Το LNG δεν είναι εκρηκτικό, σε αντίθεση με τους ατμούς του φυσικού αερίου που είναι εκρηκτικοί. Τα δοχεία αποθήκευσης LNG διατηρούν το υγρό σε ένα εξαιρετικά χαμηλή θερμοκρασία, περίπου -160°C , οπότε δεν απαιτείται πίεση για τη διατήρηση της υγρής κατάστασής του. Σύνθετα συστήματα περιορισμού εμποδίζουν τις πηγές ανάφλεξης από το να έρθουν σε επαφή με το υγρό. Επειδή το LNG αποθηκεύεται υπό ατμοσφαιρική πίεση (χωρίς πίεση) μια ρωγμή ή τρύπα στο δοχείο δεν θα δημιουργήσει άμεση έκρηξη.

9.5 Rollover

Το LNG θα έχει διαφορετικές πυκνότητες, ανάλογα με την πηγή του LNG. Ανάλογα με την πυκνότητα του, έχει τη δυνατότητα να στρώνεται σε ασταθή στρώματα μέσα στο δοχείο. Μετά από ένα διάστημα, αυτά τα στρώματα μπορεί να κυλίσουν αυτόματα για να σταθεροποιήσουν το υγρό στο δοχείο. Καθώς το κάτω στρώμα LNG θερμαίνεται από τη φυσιολογική διαρροή θερμότητας, αλλάζει πυκνότητα μέχρι να γίνει τελικά ελαφρύτερο από το ανώτερο στρώμα. Σε αυτό το σημείο, μπορεί να συμβεί ένα rollover υγρού με την απότομη ατμοποίηση του LNG που ενδέχεται να απελευθερωθεί μέσω των κανονικών βαλβίδων απελευθέρωσης πίεσης του δοχείου. Η υπερβολική πίεση μπορεί να οδηγήσει σε ρωγμές ή άλλες δομικές βλάβες στο δοχείο. Τα δοχεία LNG διαθέτουν συστήματα προστασίας από rollover, τα οποία περιλαμβάνουν κατανεμημένους αισθητήρες θερμοκρασίας και συστήματα ανάμειξης περιτύλιξης αντλιών.

10 Μέτρα προστασίας

Για να αποφευχθούν τα παραπάνω, λαμβάνονται κάποια μέτρα προστασίας που αναλύονται παρακάτω:

10.1 Ανίχνευση

Η ικανότητα ανίχνευσης διαρροής LNG ή φυσικού αερίου είναι σημαντική για την έναρξη ενεργειών έκτακτης ανάγκης.

Οι ανιχνευτές υδρογονανθράκων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση διαρροής φυσικού αερίου, εάν τοποθετηθούν σωστά. Πρέπει να τοποθετούνται ψηλότερα από τα πιθανά σημεία διαρροής. Συνήθως τοποθετούνται πάνω από τους

αεριοποιητές, στους σταθμούς μέτρησης και σε κτίρια όπου διατελείται η επεξεργασία φυσικού αερίου.

Οι ανιχνευτές υδρογονανθράκων δεν θα ανιχνεύσουν διαρροή LNG επειδή οι ατμοί είναι ανεπαρκείς. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται η μέθοδος ανίχνευσης θερμοκρασίας για την ανίχνευση διαρροής LNG. Το σημείο ρύθμισης του συναγερμού είναι αρκετά χαμηλό ώστε οι συνθήκες ψύξης του περιβάλλοντος να μην προκαλούν εσφαλμένη ενεργοποίηση. Η ανίχνευση θερμοκρασίας τοποθετείται σε σημεία όπου μπορούν να συμβούν διαρροές και στο έδαφος. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η ανίχνευση θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση συστήματος αφρού υψηλής επέκτασης που βοηθά στον έλεγχο της εξάτμισης.

10.2 Συστήματα Έκτακτης Διακοπής (ESD)

Τα συστήματα ESD είναι απαραίτητα για τη διακοπή των λειτουργιών σε περίπτωση που συμβούν ορισμένες συγκεκριμένες συνθήκες βλάβης. Πρέπει να είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να αποτρέπουν ή να περιορίζουν σημαντικά την ποσότητα LNG και φυσικού αερίου που θα μπορούσε να απελευθερωθεί.

10.3 Προστασία από την πυρκαγιά

Το NFPA 59A είναι ένα πρότυπο που έχει δημιουργηθεί από την Εθνική Ένωση Πυροπροστασίας (National Fire Protection Association - NFPA) των Ηνωμένων Πολιτειών. Το πρότυπο αυτό αφορά την Ασφάλεια Σταθμών Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) και καλύπτει τις απαιτήσεις για τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρηση εγκαταστάσεων που εμπλέκονται με το υγροποιημένο φυσικό αέριο. Λόγω της μεγάλης ποικιλίας στο μέγεθος, το σχεδιασμό και την τοποθεσία των εγκαταστάσεων LNG, η NFPA 59A δεν καθορίζει συγκεκριμένες λεπτομέρειες πυροπροστασίας. Η έκταση της πυροπροστασίας πρέπει να καθορίζεται από μια αξιολόγηση βασισμένη σε αρχές πυροπροστασίας μηχανικής, ανάλυση των τοπικών συνθηκών, κινδύνους εντός της εγκατάστασης και έκθεση σε ή από άλλα ακίνητα.

11 Χρήση

Η κύρια λειτουργία του LNG όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι η διευκόλυνση που προσφέρει στην μεταφορά του φυσικού αερίου από την αρχική διαδικασία της εξόρυξης έως και την μεταφορά λόγω διαφόρων πλεονεκτημάτων όπως είναι η μειωμένη χωρητικότητα σε σύγκριση με το φυσικό αέριο. (Europe, n.d.)

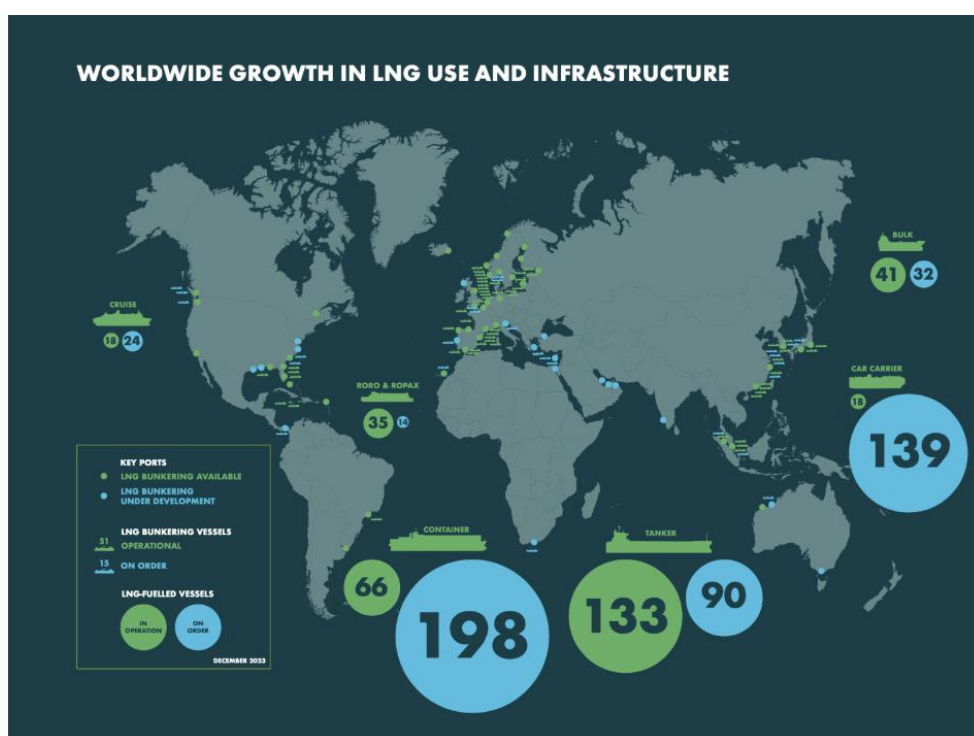
Το LNG έχει αποκτήσει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια βιομηχανία και στην ενεργειακή ισορροπία. Τα τελευταία χρόνια το LNG χρησιμοποιείται κυρίως ως καύσιμο για τα πλοία.

Η χρήση του στο ναυτιλιακό τομέα ως καύσιμο όπου και προτιμάται για τη φιλικότητα του προς το περιβάλλον, λόγω μειωμένων εκπομπών και ρύπων. Πιο συγκεκριμένα, έχει τη δυνατότητα να μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα περίπου στο 45-55% σε σχέση με το φυσικό αέριο. (GIIGNL, The international group of liquified natural gas importers: Questions and Answers (Q&A's), 2019)

Για αυτόν τον λόγο, όλο και περισσότερες είναι οι χώρες που χρησιμοποιούν υδροποιημένο φυσικό αέριο ως καύσιμο στα πλοία όπως η Ευρώπη, η Ασία και οι Η.Π.Α. . Η χρήση του υδροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο στα πλοία αποτελεί μια βιώσιμη εναλλακτική λύση σε σχέση με τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων έως σήμερα, καθώς ο κλάδος της ναυτιλίας μπορεί να ανταποκριθεί στις νέες απαιτήσεις και κανονισμούς με τις εκπομπές αερίων και ρύπων. (Fevre, 2018)

Το Σχήμα 8.3.1 αναδεικνύει την αυξανόμενη υιοθέτηση του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου και την ανάπτυξη σχετικών υποδομών παγκοσμίως, με έμφαση σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές. Η ποικιλία τύπων πλοίων και οι αντίστοιχες παραγγελίες νέων πλοίων υποδεικνύουν μια ισχυρή τάση προς τη χρήση του LNG για τη μείωση των εκπομπών και την προσαρμογή στις περιβαλλοντικές κανονιστικές απαιτήσεις. (SEA-LNG, LNG-Leading Maritime Decarbonisation, 2024)

Με μπλε κύκλους φαίνονται τα πλοία που είναι σε λειτουργία και χρησιμοποιούν LNG (LNG-Fueled Vessels) ενώ με πράσινους κύκλους αυτά που είναι σε παραγγελία.



Σχήμα 11.1 Χάρτης παγκόσμιας υποδομής LNG(sea- lng,2024) ¹⁵

Επιπλέον χρησιμοποιείται από τις βιομηχανίες όπως στη χημική βιομηχανία, τη μεταλλουργική βιομηχανία και στα μέσα μεταφοράς ως εναλλακτική πηγή ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα στην χημική βιομηχανία το φυσικό αέριο είναι πολύτιμο υλικό καθώς χρησιμοποιείται ως καύσιμο και ως πρώτη ύλη κυρίως για την παραγωγή ατμού και για μονάδες θέρμανσης, πυρόλυσης και αναμόρφωσης.

Χρησιμοποιείται επίσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, για την θέρμανση των κτιρίων και του νερού, για την παραγωγή

¹⁵ <https://sea-lng.org/2024/01/lng-leading-maritime-decarbonisation/>

χημικών, λιπασμάτων καθώς και για την κατασκευή διαφόρων προϊόντων όπως είναι το χαρτί, το μέταλλο και η ένδυση.

Όσο αφορά τη μεταλλουργική βιομηχανία, το υγροποιημένο φυσικό αέριο προσφέρει διάφορες εφαρμογές στον τομέα της τήξης και στο σχηματισμό των μετάλλων. Αυτό συμβαίνει καθώς τα χαρακτηριστικά του το καθιστούν κατάλληλο ως καύσιμο για μηχανήματα και εξοπλισμό παρέχοντας θερμική ενέργεια για διαδικασίες θέρμανσης μετάλλων και αναθέρμανσης.

12 Το LNG παγκοσμίως

Το LNG θεωρητικά είναι διαθέσιμο σε περιοχές που υπάρχουν μεγάλες ποσότητες φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο υγροποιείται και αποθηκεύεται σε περιοχές από όλο τον κόσμο συμπεριλαμβανομένων των ΗΠΑ, της Ευρώπης, της Κίνας και της Ιαπωνίας. Το LNG παράγεται σε αρκετές χώρες από τις οποίες διανέμεται παγκοσμίως. Πιο συγκεκριμένα χώρες που παράγουν το LNG είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, το Κατάρ, η Αυστραλία, η Ρωσία, η Ασία, η Μαλαισία, η Αλγερία, η Νιγηρία, η Ινδονησία, η Νορβηγία και άλλες χώρες με μικρότερη παραγωγή. (BP, *bp Energy Outlook*, 2024)

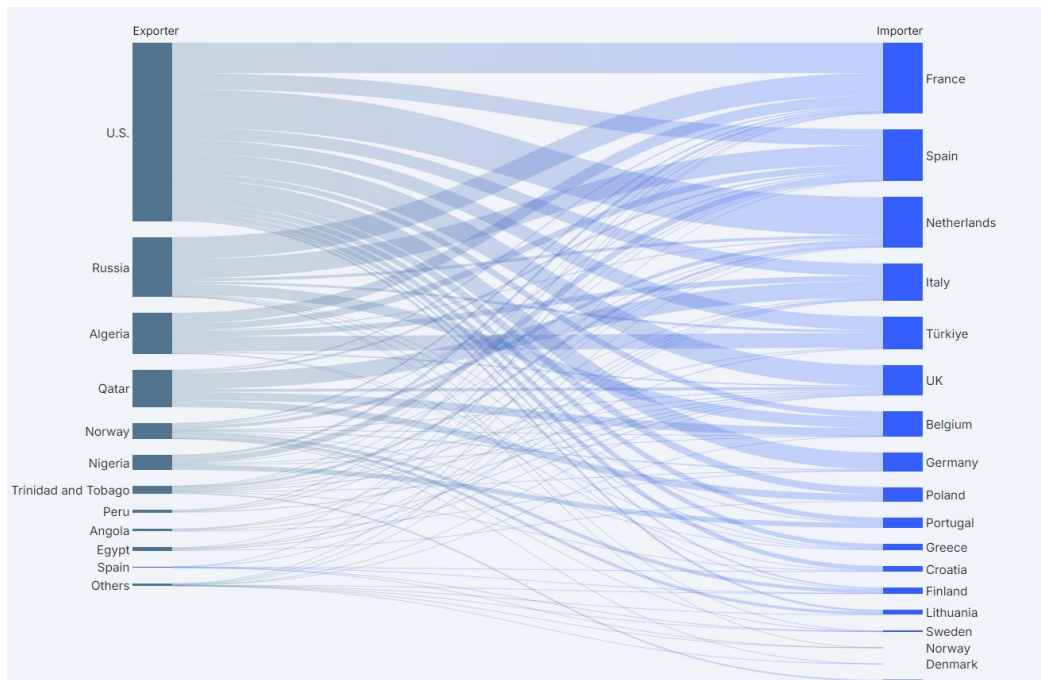
12.1 Χώρες εξαγωγής

Τα τελευταία 10 χρόνια έχει παρατηρηθεί αύξηση στην παγκόσμια ζήτηση για το φυσικό αέριο και σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει, αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω με τις κυβερνήσεις να είναι πρόθυμες να επενδύσουν σε πιο καθαρές ενεργειακές πηγές ώστε να διευκολύνουν την οικονομική ανάπτυξη. Γενικά υπάρχουν τρεις περιοχές που προμηθεύουν τις μεγαλύτερες ποσότητες LNG, η περιοχή του Ειρηνικού Ωκεανού, η περιοχή του Ατλαντικού Ωκεανού και η Ευρώπη.

Οι χώρες που εξάγουν LNG στην Ευρώπη είναι οι ΗΠΑ με το ποσοστό εισαγωγής να είναι στο 48%, η Ρωσία με ποσοστό 16%, η Αλγερία με 11%, το Κατάρ με 10% και τέλος η Νιγηρία και η Νορβηγία με 4%. (*European LNG Tracker*, 2024)

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα για το έτος 2024, οι ΗΠΑ είναι η χώρα που εξάγει το μεγαλύτερο ποσοστό LNG παγκοσμίως, 35,23 bcm, και πιο συγκεκριμένα στην Γαλλία, την Ισπανία, την Ολλανδία, την Ιταλία, την Τουρκία, την Γερμανία, το Βέλγιο και άλλες.

Έπειτα, η Ρωσία αμέσως μετά τις ΗΠΑ όπου εξάγει, 11,84 bcm, στις ίδιες χώρες με διαφορετικά ποσοστά εξαγωγής, ακολουθεί η Αλγερία (8,07 bcm), το Κατάρ (7,38 bcm), η Νορβηγία (3,11 bcm), η Νιγηρία (3,04 bcm) και άλλες χώρες με μικρότερο ποσοστό εξαγωγής.

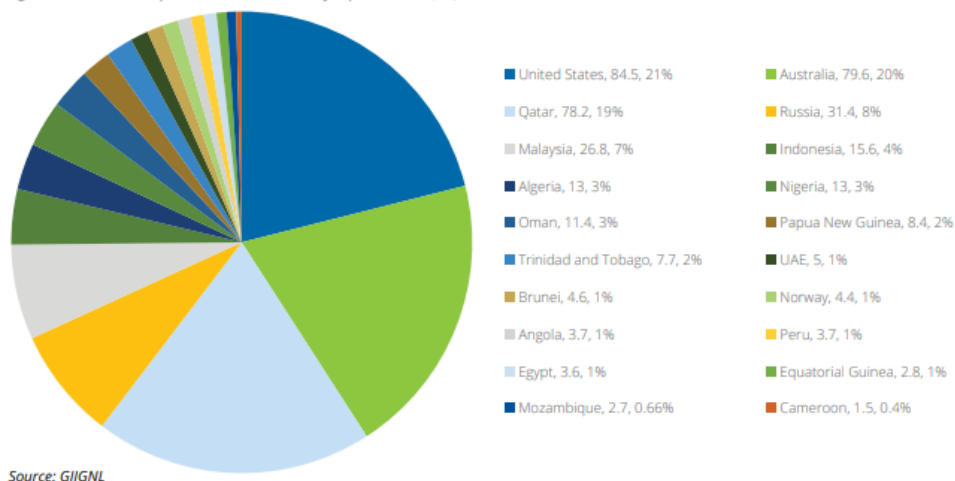


Σχήμα 12.1 Χώρες εξαγωγής και εισαγωγής LNG (IEEFA,2024)¹⁶

Σε παγκόσμιο επίπεδο, για το έτος 2024, οι ΗΠΑ ήταν ο μεγαλύτερος εξαγωγέας με συνολική εξαγωγή 84,5 MT με μια αύξηση των 8,9 MT από το 2022. Ακολουθεί η Αυστραλία με συνολική ποσότητα εξαγωγής LNG 79,6 MT, το Κατάρ με 78,2 MT και τέλος η Ρωσία με 31,4 MT. (2024 World LNG Report, 2024)

LNG EXPORTS BY MARKET

Figure 3.1: 2023 LNG exports and market share by export market (MT)



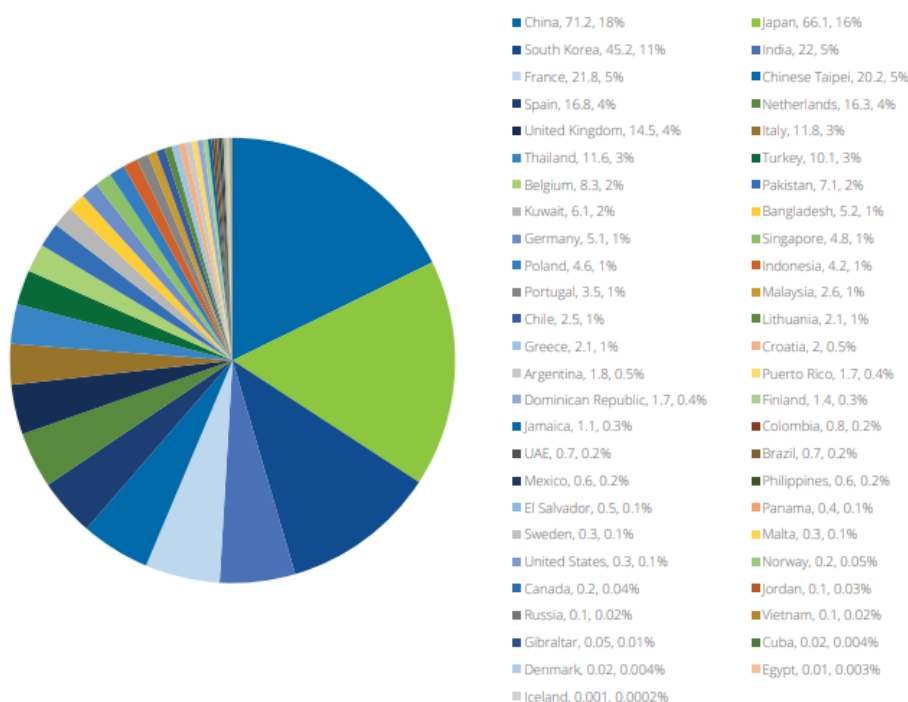
¹⁶ European LNG Tracker (2024). Institute for Energy Economics and Financial Analysis
[European LNG Tracker \(Sep. 24 Update\) | IEEFA](#)

Σχήμα 12.2 Χώρες εξαγωγής LNG (International Gas Union,2024) ¹⁷

Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση των εξαγωγών το 2023 έγινε λόγω των ΗΠΑ, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, που αύξησαν τις εξαγωγές τους κατά 8,9 MT, της Αλγερίας λόγω αύξησης των εξαγωγών κατά 2,88 MT και της Μοζαμβίκης κατά 2,62 MT. (2024 World LNG Report, 2024)

12.2 Χώρες εισαγωγής

Σε παγκόσμιο επίπεδο, το 2024 η Κίνα ήταν η χώρα με τις μεγαλύτερες εισαγωγές με 71,2 MT. Έπειτα, η Ιαπωνία με συνολικές εισαγωγές των 66,1 MT και τέλος η Ινδία με 22 MT. Η Ευρώπη εισήγαγε συνολικά 121,3 MT για το έτος 2024. (2024 World LNG Report, 2024)



Σχήμα 12.3 Χώρες εισαγωγής LNG (International Gas Union,2024) ¹⁸

Οι μεγαλύτεροι εισαγωγείς LNG το 2023 στην Ευρώπη ήταν η Γαλλία, η Ισπανία, η Ολλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιταλία και η Τουρκία. (European LNG Tracker, 2024)

Η εισαγωγή LNG έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία μετά την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία και την ανάγκη της ΕΕ να μειώσει την εξάρτηση από τις εισαγωγές ρωσικού αερίου. (2024 World LNG Report, 2024)

Το 2024, χώρες που εισήγαγαν τις μεγαλύτερες ποσότητες LNG ήταν η Γαλλία με ποσοστό 19%, η Ισπανία με 14%, η Ολλανδία με 14%, η Ιταλία με 10%, η Τουρκία με

¹⁷ World LNG Report (2024). International Gas Union

[2024 World LNG Report – IGU](#)

¹⁸ ¹⁸ World LNG Report (2024). International Gas Union

[2024 World LNG Report – IGU](#)

9%, το Ηνωμένο Βασίλειο με 8%, το Βέλγιο με 7% και η Γερμανία 5%. (European LNG Tracker, 2024)

Πολλές χώρες της Ευρώπης, αύξησαν τις εισαγωγές τους σε LNG κάτι το οποίο βοήθησε στην ανάπτυξη του. Πιο συγκεκριμένα, η Γαλλία αύξησε τις εισαγωγές της κατά 13.4 MT, το Ηνωμένο Βασίλειο κατά 8.2 MT, η Ισπανία κατά 7.3 MT, η Ολλανδία κατά 6.4 MT, το Βέλγιο κατά 5.6 MT και η Ιταλία κατά 4.6 MT.

12.3 Τερματικά Εισαγωγής στην Ευρώπη

Τα τελευταία χρόνια ο ρόλος του LNG στην παγκόσμια αγορά του φυσικού αερίου γίνεται όλο και πιο σημαντικός. Αυτό αποδεικνύεται από το γεγονός ότι η παραγωγή του έχει αυξηθεί από 143 σε 346.6 bcm. Αυτή η ανάπτυξη δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την δημιουργία νέων εγκαταστάσεων υγροποίησης και επαναεριοποίησης. Η εγκαταστάσεις υγροποίησης αυξήθηκαν από 181 bcm το 2002 σε 424 bcm το 2015 ενώ οι εγκαταστάσεις επαναεριοποίησης από 388.3 bcm αυξήθηκαν σε 1080 bcm. (Łaciak, Sztekler, Szurlej, & Wlodek, 2019)

Τον 21^ο αιώνα πολλές από τις Ευρωπαϊκές χώρες απέκτησαν νέα τερματικά εισαγωγής LNG. Αναλυτικότερα η Κροατία, απέκτησε τερματικό εισαγωγής LNG στο νησί της Krk, το οποίο έγινε λειτουργικό το 2021 και η Ελλάδα με το τερματικό εισαγωγής LNG στην Αλεξανδρούπολη το οποίο ξεκίνησε να λειτουργεί το 2018. Επιπλέον, η Ιταλία απέκτησε νέα τερματικά εισαγωγής LNG σε διάφορα μέρη της χώρας, όπως στην Rovigo και την Livorno.

Η εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία και η χρήση των προμηθειών αερίου ως όπλου έχουν ωθήσει τα κράτη μέλη της ΕΕ να αναπτύξουν περαιτέρω τις υποδομές LNG. Χάρη στις επενδύσεις αυτές, η ικανότητα εισαγωγής ΥΦΑ της ΕΕ αυξήθηκε κατά 40 bcm το 2023 και αναμένεται να διατεθούν επιπλέον 30 bcm το 2024.

Οι χώρες με τη μεγαλύτερη χωρητικότητα LNG στην Ευρώπη το 2019 ήταν η Ισπανία με 63.4, η Γαλλία με 22.5. (Łaciak, Sztekler, Szurlej, & Wlodek, 2019)

Στο τέλος του 2019 οι εγκαταστάσεις του LNG κατανέμονταν σε 21 χώρες. Το 2019 λόγω των νέων έργων που άρχισαν να γίνονται για το LNG, η Αυστραλία έγινε κορυφές παραγωγός στον κόσμο έχοντας φτάσει την ετήσια παραγωγή σε 87, 6 MTPA εκατομμυρίων τόνων ετησίως αντικαθιστώντας το Κατάρ το οποίο παρήγαγε 77 MTPA. (Bialy, et al.)

Όσο αφορά την χωρητικότητα της Ευρώπης, συνολικά, το 2021 προστέθηκαν 14,5 MTPA από τα οποία στην Ολλανδία (επέκταση κατά 8,8 MTPA στο Gate LNG και Eemshaven FSRU), στη Γερμανία (κατά 5,5 MTPA στο FSRU Wilhelmshaven) και στη Φινλανδία (0,1 MTPA πετρελαϊκός σταθμός LNG Hamina).

Η Κροατία, δημιούργησε τον πρώτο τερματικό σταθμό LNG ο οποίος έλαβε την πρώτη παράδοση τον Ιανουάριο του 2021 με χωρητικότητα 2,6 δις. κυβικά μέτρα.

Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει τη χωρητικότητα των τερματικών εισαγωγής κάθε χώρας καθώς και το έτος δημιουργίας του. Παρατηρείται ότι το τερματικό εισαγωγής με την μεγαλύτερη χωρητικότητα βρίσκεται στις Ηνωμένες Πολιτείες στο Isle of Grain

με χωρητικότητα 1000000 m³. Στην Ευρώπη η χώρα με το μεγαλύτερο τερματικό εισαγωγής είναι στην Ισπανία στην Βαρκελώνη με 760000 m³.

Πίνακας 12.1 Τερματικά LNG στην Ευρώπη (Rafał Biały¹, Piotr Janusz^{1,*}, Mariusz Łaciak¹, Tadeusz Olkusiński², Mariusz Ruszel³, and Adam Szurlej¹, 2019)¹⁹

Country	Site	Number of tanks	Total storage capacity LNG [m ³]	Nominal send-out capacity [bcm/y]	Start-up date
Belgium	Zeebrugge	4	386 000	9.0	1987
Finland	Pori	1	30 000	0.1	2016
France	Fos-Cavaou	3	330 000	8.3	2010
	Fos Tonkin	1	80 000	3.0	1972
	Montoir de Bertagne	3	360 000	10.0	1980
	Dunkerque	3	600 000	13.0	2016
Greece	Revithoussa	2	130 000	5.0	2000
Spain	Barcelona	6	760 000	17.1	1969
	Bilbao	3	450 000	8.8	2003
	Cartagena	5	587 000	11.8	1989
	El Musel	2	300 000	7.0	2013
	Huelva	5	619 500	11.8	1988
	Mugardos	2	300 000	3.6	2007
	Sagunto	4	600 000	8.8	2006
Netherlands	Rotterdam	3	540 000	12.0	2011
Lithuania	Klaipeda	4	170 000	4.0	2014
Malta	Delimara	5	125 000	0.7	2017
Poland	Świnoujście	2	320 000	5.0	2016
Portugal	Sines	3	390 000	7.9	2004
Sweden	Lysekil	1	30 000	0.3	2014
	Nysähamn LNG	1	20 000	0.5	2011
UK	Dragon	2	320 000	7.6	2009
	Isle of Grain	8	1 000 000	19.5	2005
	South Hook LNG	5	775 000	21.0	2009
	Teesside GasPort	-	-	-	2007
Italy	OLT - FSRU Toscana	4	137 500	3.8	2013
	Panigaglia	2	100 000	3.4	1971
	Rovigo	2	250 000	7.6	2009

Η Ευρώπη μέχρι το 2022 διέθετε 37 τερματικά υγροποιημένου φυσικού αερίου εκ των οποίων τα 26 βρίσκονται σε κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτά τα κράτη μέλη της ΕΕ που έχουν τερματικούς σταθμούς LNG σε λειτουργία είναι η Ισπανία, η Γαλλία, η Ιταλία, η Πορτογαλία, το Βέλγιο, οι Κάτω Χώρες, η Κροατία, η Πολωνία, η Ελλάδα, η Φινλανδία και η Λιθουανία.

Το 2023 η Ρεβυθούσα της Ελλάδας ήταν το ευρωπαϊκό τερματικό που εισάγει το περισσότερο LNG ακολουθούμενο από δύο άλλα τερματικά (το Ereğlisi και το Dörtöyl) με έδρα στην Τουρκία. Ο μέσος ρυθμός χρήσης των εισαγωγικών τερματικών υγροποιημένου φυσικού αερίου της ΕΕ μειώθηκε το 2023 από το 63% σε 58,5% σε σχέση με το 2022.

¹⁹ Biały (2019). The role of LNG supplies in balancing natural gas demand in EU countries
[The role of LNG supplies in balancing natural gas demand in EU countries](#)

12.4 Χρήση των τερματικών και αποθέματα

Το περασμένο έτος, οκτώ τερματικά υδροποιημένου φυσικού αερίου είχαν μικρότερους από 50% ρυθμούς χρήσης:

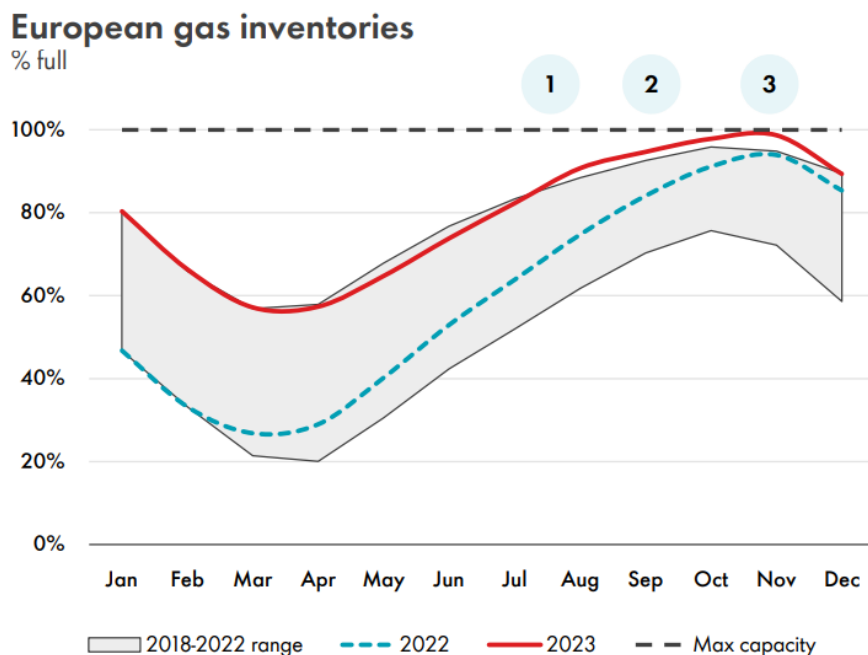
- Τέσσερα στην Ισπανία (Βαρκελώνη, Καρταχένα, Χουέλβα, Σαγούντο)
- Ένα στην Ιταλία (FSRU Πιομπίνο (Snam) το οποίο άρχισε τη λειτουργία του τον Ιούλιο και είχε ποσοστό χρήσης 80% το Νοέμβριο και τον Δεκέμβριο)
- Ένα στην Ελλάδα (Ρεβιθούσα)
- Ένα στη Φινλανδία (Inko)
- Ένα στη Γερμανία (Ostsee FSRU1)

Στο παρακάτω διάγραμμα αποτυπώνονται τα ευρωπαϊκά αποθέματα του φυσικού αερίου στην Ευρώπη από τον Ιανουάριο έως τον Δεκέμβριο για τα έτη 2018-2023. (European LNG Tracker, 2024)

Στον Κατακόρυφο Άξονα (Y) απεικονίζεται το ποσοστό πλήρωσης (%) των αποθεμάτων φυσικού αερίου, ενώ στον Οριζόντιο Άξονα (X) φαίνονται οι μήνες του έτους από τον Ιανουάριο έως τον Δεκέμβριο.

Τα αποθέματα μειώνονται και για τα δύο έτη (2022 και 2023), με τη χαμηλότερη τιμή γύρω στον Απρίλιο. Το 2023, τα αποθέματα ξεκινούν από υψηλότερο επίπεδο σε σύγκριση με το 2022. Την περίοδο Μάιος – Ιούλιος, τα αποθέματα αρχίζουν να αυξάνονται και για τα δύο έτη. Η αύξηση το 2023 είναι ταχύτερη και υπερβαίνει την αντίστοιχη αύξηση του 2022. Τον Αύγουστο – Οκτώβριο τα αποθέματα φτάνουν στην κορυφή τους, πλησιάζοντας τη μέγιστη χωρητικότητα περίπου τον Οκτώβριο. Την περίοδο του Νοέμβρη – Δεκέμβρη, παρατηρείται μια μείωση στα αποθέματα. Παρόλα αυτά, το 2023 τα αποθέματα παραμένουν σε υψηλότερο επίπεδο σε σχέση με το 2022 και εντός του εύρους των προηγούμενων ετών. (Quarterly report on European gas markets, 2023)

Το διάγραμμα δείχνει τη σταθερή αύξηση των αποθεμάτων το 2023, επισημαίνοντας τη στρατηγική αποθήκευση και πιθανή προετοιμασία για μελλοντική χρήση ή ανάγκες.



Σχήμα 12.4

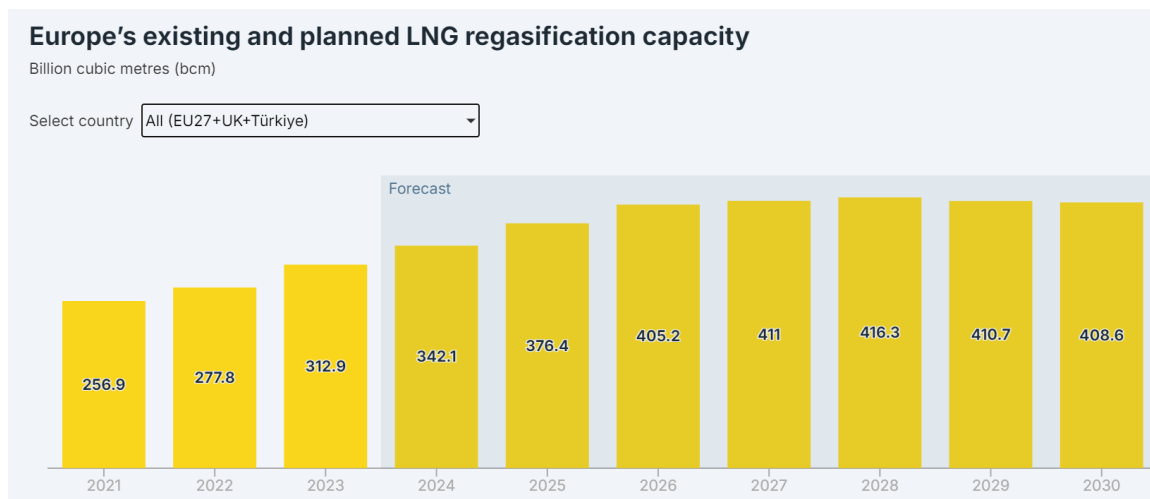
Οι εισαγωγές LNG της Ευρώπης ανήλθαν σε περίπου 167 δισ. κυβικά μέτρα το 2023, παρόμοια με το 2022.

Για την τωρινή χρονιά, 2024, οι χώρες με την μεγαλύτερη ποσότητα εξαγωγής LNG είναι το Κατάρ, η Αυστραλία, οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Νιγηρία και η Αλγερία. Όσο αφορά τις χώρες εισαγωγής με την μεγαλύτερη ποσότητα εισαγωγής είναι η Ιαπωνία, η Νότια Κορέα, η Κίνα και η Γερμανία. (GIIGNL, GIIGNL Annual Report, 2023)

12.5 Χώρες με εγκαταστάσεις επανααεριοποίησης στην Ευρώπη

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το τελικό στάδιο πριν φτάσει το LNG στον καταναλωτή είναι η επανααεριοποίησή του δηλαδή η επαναφορά του στην αρχική του μορφή δηλαδή σε φυσικό αέριο. Υπάρχουν σε διάφορα μέρη της Ευρώπης εργοστάσια επαναφοράς του LNG στην αέρια μορφή του και στην τελική αποθήκευση. (European LNG Tracker, 2024)

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η χωρητικότητα επανααεριοποίησης των χωρών της Ευρώπης. Το 2021 η χωρητικότητα επανααεριοποίησης σε σχέση με το 2023 έχει αυξηθεί. Παρατηρείται ότι αυτή η αύξηση θα συνεχίσει να υπάρχει μέχρι και το 2028.



Σχήμα 12.5 Χωρητικότητα τερματικών επαναεριοποίησης LNG (IEEFA,2024)²⁰

Από την πλήρη κλίμακα εισβολής της Ρωσίας στην Ουκρανία, η Ευρώπη έχει προσθέσει 58,5 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (bcm) νέας χωρητικότητας επαναεριοποίησης LNG, από τα οποία η ΕΕ έχει προσθέσει 50,8 bcm. Η Γερμανία, οι Κάτω Χώρες, η Τουρκία, η Ιταλία, η Γαλλία και η Φινλανδία ήταν οι κύριοι πρωταγωνιστές στην προσθήκη αυτής της χωρητικότητας. Πιο συγκεκριμένα τον Φεβρουάριο του 2022, η χωρητικότητα της Γερμανίας αυξήθηκε κατά 16 bcm, στις Κάτω Χώρες αυξήθηκε κατά 13 bcm, στη Τουρκία κατά 7,7 bcm, στην Ιταλία κατά 7,5 bcm, στην Γαλλία κατά 6,5 bcm και στη Φινλανδία κατά 5 bcm. (European LNG Tracker, 2024)

Στην Ελλάδα, ο FSRU της Αλεξανδρούπολης έχει καθυστερήσει και αναμένεται να ξεκινήσει εμπορικές λειτουργίες τον Οκτώβριο του 2024. Μέσα σε περιβάλλον μειωμένης ζήτησης LNG, δεν είναι σαφές εάν θα προχωρήσουν τρεις άλλοι προγραμματισμένοι ελληνικοί τερματικοί σταθμοί εισαγωγής.

Ο τερματικός σταθμός, Vasiliko, της Κύπρου ύψους 2,4 bcm έχει ακινητοποιηθεί, και τα σχέδια για διεύρυνση του τερματικού σταθμού Kilaipeda της Λιθουανίας έχουν ανασταλεί.

Το περασμένο έτος, ο τερματικός σταθμός Skalte της Λετονίας έχασε την υποστήριξη από την κυβέρνηση της χώρας επειδή θεωρήθηκε ότι δεν ήταν πλέον αναγκαίος. Τα σχέδια για ένα δεύτερο FSRU στον τερματικό σταθμό Gdańsk της Πολωνίας ακυρώθηκαν λόγω έλλειψης ενδιαφέροντος. Άλλοι τερματικοί σταθμοί που ακυρώθηκαν το περασμένο έτος ήταν ο Dioriga Gas (Ελλάδα), Shannon (Ιρλανδία) και Vlora (Αλβανία).

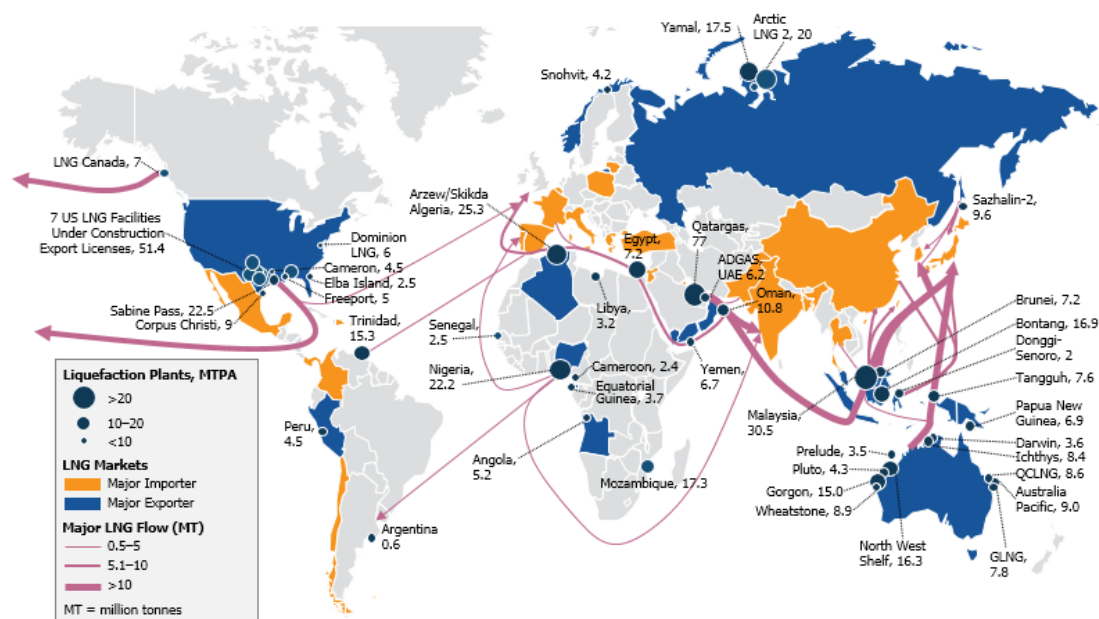
Στη Γερμανία, ο τερματικός σταθμός Stade έχει καθυστερήσει και αναμένεται να ξεκινήσει λειτουργίες το 2027, και ένα FSRU μετακινήθηκε από το Lubmin στο λιμάνι του Mukran νωρίτερα φέτος. Η Γερμανία συνεχίζει με τα σχέδια για την κατασκευή χερσαίων τερματικών σταθμών στο Wilhelmshaven και στο Brunsbüttel.

²⁰ European LNG Tracker (2024). Institute for Energy Economics and Financial Analysis
[European LNG Tracker \(Sep. 24 Update\) | IEEFA](#)

12.6 Διαδρομές και διασυνδέσεις

Υπάρχουν οι χώρες εξαγωγής όπου παράγουν υγροποιημένο φυσικό αέριο και παρέχουν εγκαταστάσεις LNG και το εξάγουν σε άλλες χώρες και οι χώρες εισαγωγής, όπου διαθέτουν τερματικούς σταθμούς και προμηθεύουν LNG από τις χώρες που το παράγουν καθώς δεν έχουν την δυνατότητα αυτή. Για αυτό τον λόγο, έχουν δημιουργηθεί κάποιες διαδρομές με σκοπό όλες οι χώρες να έχουν πρόσβαση στην εισαγωγή του LNG.

Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζονται οι παγκόσμιες διαδρομές και εγκαταστάσεις LNG που υπάρχουν. Με πορτοκαλί χρώμα βλέπουμε τις χώρες που εισάγουν την μεγαλύτερη ποσότητα υγροποιημένου φυσικού αερίου ενώ με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι χώρες με την μεγαλύτερη εξαγωγή. (LNG Export & Import Shipping Routes, 2024)



Σχήμα 12.6 Χάρτης με τις παγκόσμιες διαδρομές (Incorrys,2024)²¹

Για την μεταφορά του LNG στην Ευρώπη, χρησιμοποιούνται διάφορες διαδρομές. Η Αρκτική χρησιμοποιείται κυρίως για εισαγωγές που προέρχονται από περιοχές που βρίσκονται στο βόρειο τμήμα του πλανήτη, όπως η Ρωσία και η Νορβηγία, για τη μεταφορά LNG στην Ευρώπη. Επιπλέον, μια πολύ σημαντική διαδρομή είναι το Κανάλι του Σουέζ που χρησιμοποιείται για την εισαγωγή LNG στην Ευρώπη από περιοχές όπως η Μέση Ανατολή και η Ασία. Αυτές οι διαδρομές, είναι πιο ελκυστικές καθώς είναι πιο γρήγορες εξοικονομώντας έτσι χρόνο και κόστος σε σύγκριση με άλλες διαδρομές που απαιτούν μεγαλύτερη πλοήγηση.

Η Γαλλία διαθέτει ειδικούς αγωγούς μεταφοράς LNG και συνδέεται με τη Νορβηγία, το Βέλγιο, τη Γερμανία και την Ελβετία (μέσω του δικτύου της GRTgaz) και με την Ισπανία (μέσω του δικτύου Teréga). Επιπλέον, η Γαλλία και η Ιταλία είναι

²¹ LNG Export & Import Shipping Routes, 2024

<https://incorrys.com/liquefied-natural-gas-lng-forecast/lng-export-import-countries/>

συνδεδεμένες μέσω του ελβετικού δικτύου. Πρόσφατα, επέκτεινε τη χωρητικότητα του δικτύου της κατά 1,5 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα.

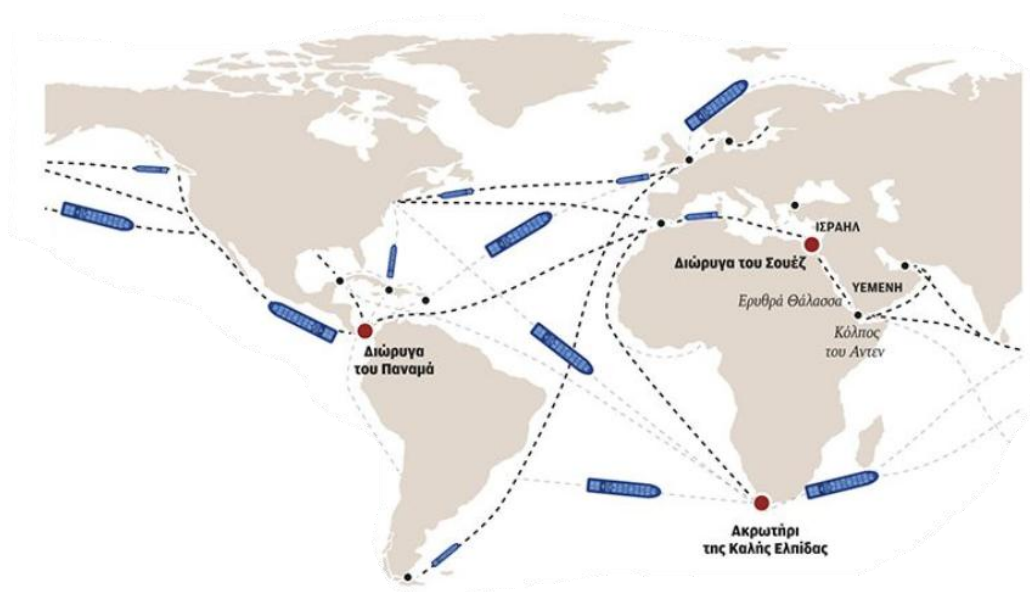
Η μεταφορά του μέσω αγωγών είναι πιο δύσκολη από την θαλάσσια μεταφορά, καθώς η ανταπόκριση στην ταχέως αυξανόμενη ζήτηση δεν είναι τόσο εύκολη. Έτσι η ζήτηση για πλοία που κινούνται με LNG ή ακόμα και πλοία ανεφοδιασμού του έχει αυξηθεί. Ωστόσο, με το κλείσιμο του Καναλιού του Σουέζ οι εξαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου από τις Ηνωμένες Πολιτείες προς την Ευρώπη αυξήθηκαν καθώς τα φορτία προς την Ασία έπρεπε να περάσουν από το νότιο άκρο της Αφρικής. Έτσι οι εξαγωγές στην περιοχή της Ασίας μειώθηκαν καθώς αποτελούσε μια μακριά διαδρομή σε αντίθεση με την Ευρώπη που η διαδρομή είναι συντομότερη.

Λόγω του πολέμου της Γάζας, ως ένδειξη διαμαρτυρίας, η Ερυθρά Θάλασσα έχει εξελιχθεί σε «ναρκοπέδιο» για τις θαλάσσιες μεταφορές, καθώς οι αντάρτες Χούθι της Υεμένης κλιμακώνουν τις επιθέσεις τους εναντίον των πλοίων που διέρχονται από την περιοχή, ειδικά εναντίον όσων ισχυρίζονται ότι συνδέονται με το Ισραήλ. Αυτή η πρόσφατη κλιμάκωση των επιθέσεων των Χούθι από την επικράτεια της Υεμένης, έχει προκαλέσει αναστολή πολλών πλοίων που διέσχισαν τη Διώρυγα του Σουέζ απειλώντας την ελεύθερη ροή του εμπορίου, καθώς έχουν προκληθεί πολλές διαταραχές σε προγραμματισμένες διαδρομές. Περίπου 67 πλοία διανύουν την Διώρυγα ανά μήνα κάτι το οποίο αναδεικνύει την σοβαρότητα του προβλήματος. Μέχρι το τέλος του Δεκεμβρίου του 2023 οκτώ LNG carriers, μεταξύ των οποίων και ελληνικής ιδιοκτησίας, είχαν εκτρέψει τη πορεία τους για να αποφύγουν το Στενό του Μπαμπ αλ Μάντεμπ, στον απόηχο των επιθέσεων σε εμπορικά πλοία.

Οι περιορισμένες διελύσεις πλοίων μέσω του Παναμά, δημιούργησαν μειωμένες εξαγωγές και εισαγωγές παγκοσμίως. Πιο συγκεκριμένα, μεταξύ Αυγούστου 2023 και Ιανουαρίου 2024 μειώθηκαν κατά δύο τρίτα. Από τις αρχές του Ιανουαρίου, λόγω των επιθέσεων των Χούθι σε πλοία στην Κόκκινη Θάλασσα, καμία φορτηγίδα LNG δεν έχει διασχίσει την Κόκκινη Θάλασσα, κάτι το οποίο επηρεάζει άμεσα την παγκόσμια αγορά του LNG και ειδικότερα τις εισαγωγές στην Ευρώπη. Το 2023, το 8% των παγκόσμιων εξαγωγών LNG παραδίδονταν μέσω της Διώρυγας του Σουέζ και το 2,5% μέσω του Καναλιού του Παναμά. Η διακοπή σε αυτά τα "σημεία συμπύκνωσης" επηρεάζει το ισοδύναμο του πάνω από το 10% του παγκόσμιου εμπορίου LNG, αλλά δεν εμποδίζει τη ναυτιλία μεταξύ των λεκανών του Ατλαντικού και του Ειρηνικού. (Σπάθη, 2023)

Ακόμα και πριν την διαταραχή στην Ερυθρά θάλασσα και τους περιορισμούς στον Παναμά, οι αποστάσεις ναυτιλίας έκαναν την Ευρώπη πιο ελκυστικά εμπορικό προορισμό σε ισοτιμία τιμών σε σύγκριση με την Ασία. Το 2023, 434 φορτία LNG διέσχισαν το κανάλι του Σουέζ, εκ των οποίων τα 240 είχαν προορισμό τη Μέση Ανατολή ή την Ασία, επομένως κατευθυνόντουσαν από βόρεια προς νότια, ενώ τα υπόλοιπα 195 από νότια προς βόρεια προοριζόμενα για την Ευρώπη. Με το κλείσιμο της Διώρυγας του Σουέζ, τα πλοία στράφηκαν προς το ακρωτήριο της Καλής Ελπίδας ώστε να μπορέσουν να πραγματοποιήσουν τις προγραμματισμένες διαδρομές.

Οι ανακατευθύνσεις, η αλλαγή διαδρομών των φορτίων μέσω μακρύτερων δρομολογίων και η συνεπακόλουθη περικοπή της χωρητικότητας ναυτιλίας LNG θα μπορούσε να μειώσει την παγκόσμια προσφορά LNG (η οποία ήταν 400 εκατομμύρια τόνους το 2023) κατά 5,4 εκατομμύρια τόνους (1,35%) ετησίως.

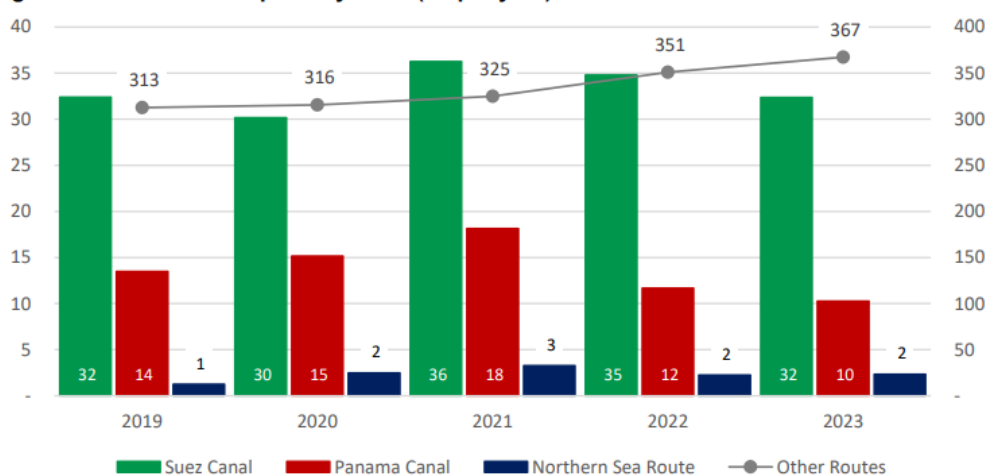


22

Σχήμα 12.7 Χάρτης διαδρομών (Ρουμπίνα Σπάθη, 2023)

Ενώ οι ναυτιλιακές αποστάσεις προς τη βορειοδυτική Ευρώπη και τη βορειοανατολική Ασία είναι συγκρίσιμες όταν η Διώρυγα του Σουέζ είναι διαθέσιμο, η διαφορά μεταξύ των δύο είναι σημαντική όταν οι παραδόσεις στην Ευρώπη απαιτούν ένα ταξίδι γύρω από το Ακρωτήριο της Καλής Ελπίδας. Η διαδρομή από το Κατάρ στο Ρότερνταμ είναι 6.500 ναυτικά μίλια (nm) (17 ημέρες) μέσω της Διώρυγας του Σουέζ, αλλά 11.000 nm (29 ημέρες) γύρω από το Ακρωτήριο της Καλής Ελπίδας. Από το Κατάρ προς την Ασία, είναι 5.000 nm (13 ημέρες) μέχρι το Χονγκ Κονγκ και 6.500 nm (17 ημέρες) μέχρι το Τόκιο μέσω της Σρι Λάνκα και της Σιγκαπούρης. Επομένως, η Διώρυγα του Σουέζ είναι πολύ σημαντική διαδρομή. (2024 World LNG Report, 2024)

Figure 12: Global LNG exports by route (mt per year)



²² Ρουμπίνα Σπάθη (2023).Kathimerini.

<https://www.kathimerini.com.cy/gr/oikonomiki/oikonomia/i-krisi-sto-soyez-apeilei-ti-diethni-oikonomia>

13 LNG στην Ελλάδα

13.1 Εισαγωγές

Περίπου το 40% των ενεργειακών αναγκών της Ελλάδας βασίζεται στο ρώσικο φυσικό αέριο, ενώ η χώρα εξακολουθεί να στηρίζεται και στον λιγνίτη. Λόγω της κρίσης στην Ουκρανία, η πλήρης κατάργηση του λιγνίτη έχει αναβληθεί έως το 2028. Παρά τις μεγάλες προσπάθειες για στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τα έργα υδρογόνου, το LNG αποτελεί τη λύση για το άμεσο μέλλον. Αυτήν τη στιγμή, η Ελλάδα προμηθεύεται υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) από διάφορες χώρες, με τις Ηνωμένες Πολιτείες να ξεχωρίζουν ως ο κυριότερος προμηθευτής, αφού καλύπτουν σχεδόν το 50% των εισαγωγών. Μάλιστα, το πρώτο τρίμηνο του 2022, οι ΗΠΑ κατείχαν την πρώτη θέση στον εφοδιασμό της χώρας με LNG. (Greece LNG Market, 2022)

Για τις αμερικανικές εταιρείες, αυτή η τάση ανοίγει σημαντικές ευκαιρίες για ενίσχυση των εξαγωγών τους στην Ελλάδα, μέσω του τερματικού σταθμού στη Ρεβυθούσα ή μελλοντικών έργων που θα λειτουργήσουν σύντομα.

Όπως αναφέρθηκε, οι Ηνωμένες Πολιτείες διατήρησαν τη θέση τους ως ο κύριος προμηθευτής LNG για την Ελλάδα το 2023, κατέχοντας το 37,69% των συνολικών εισαγωγών. Παρόλα αυτά, οι παραδόσεις LNG από τις ΗΠΑ μειώθηκαν σημαντικά, φτάνοντας τις 10,75 TWh έναντι 20,10 TWh το 2022. (Prime, 2024)

Η επόμενη χώρα με τις μεγαλύτερες εισαγωγές ήταν η Ρωσία. Πιο συγκεκριμένα, οι εισαγωγές πήγαν από τις 2,03 TWh το 2022 στις 8,38 TWh το 2023. Ακολούθησαν η Αίγυπτος (3,5 TWh), η Αλγερία (3,47 TWh), η Νορβηγία (0,97 TWh), η Νιγηρία (0,94 TWh) και η Ισπανία (0,51 TWh).

Ένα μεγάλο ποσοστό, το 43,55% του φυσικού αερίου που εισήχθη στην Ελλάδα το προηγούμενο έτος είτε ως LNG είτε μέσω αγωγών – πέρασε από τον τερματικό σταθμό της Ρεβυθούσας. Πρόκειται για τη μοναδική εγκατάσταση εισαγωγής LNG στη χώρα, αν και αυτό θα αλλάξει σύντομα με τη λειτουργία του νέου πλωτού σταθμού FSRU στην Αλεξανδρούπολη, που αναπτύσσεται από την Gastrade.

Συνολικά, οι εισαγωγές φυσικού αερίου στην Ελλάδα μειώθηκαν κατά 21,41% το 2023, αγγίζοντας τις 67,71 TWh. Η ζήτηση φυσικού αερίου – που περιλαμβάνει τόσο την κατανάλωση εντός της χώρας όσο και τις εξαγωγές – μειώθηκε κατά 21,56%, φτάνοντας τις 67,60 TWh.

Η εγχώρια κατανάλωση κατέγραψε πτώση 10,13%, με τις ποσότητες να περιορίζονται στις 50,91 TWh. Την ίδια στιγμή, οι εξαγωγές φυσικού αερίου σημείωσαν ακόμη μεγαλύτερη πτώση, της τάξης του 43,48%, φτάνοντας τις 16,69 TWh.

13.2 Σταθμοί

Η Ελλάδα κατέχει στρατηγική θέση στον ενεργειακό χάρτη της Ευρώπης, λειτουργώντας ως γέφυρα ανάμεσα σε προμηθευτές ενέργειας και καταναλωτές στην ευρύτερη περιοχή.

Μέσα από την ανάπτυξη υποδομών Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG), η χώρα ενισχύει τη γεωπολιτική της σημασία και προωθεί τη διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών, μειώνοντας την εξάρτησή της από συγκεκριμένες αγορές. Στο κεφάλαιο αυτό, εξετάζονται οι βασικές υποδομές LNG που αναπτύσσονται στην Ελλάδα, οι οποίες όχι μόνο συμβάλλουν στην ενεργειακή ασφάλεια της χώρας, αλλά και στη δημιουργία νέων επενδυτικών ευκαιριών. (Greece LNG Market, 2002)

Η Ελλάδα βρίσκεται σε μια φάση ραγδαίας ανάπτυξης υποδομών LNG, με σημαντικά έργα να βρίσκονται σε εξέλιξη ή να έχουν προγραμματιστεί για το μέλλον. Οι βασικές υποδομές περιλαμβάνουν το τερματικό ΥΦΑ στη Ρεβυθούσα, FSRU Αλεξανδρούπολης, FSRU Κορίνθου, FSRU Βόλου, FSRU Θεσσαλονίκης. Πιο συγκεκριμένα η Ρεβυθούσα αποτελεί το κεντρικό τερματικό ΥΦΑ της Ελλάδας, διαχειριζόμενο από τον ΔΕΣΦΑ. Πρόσφατα, δρομολογήθηκε η επέκταση της χωρητικότητας του σταθμού μέσω της προσθήκης μιας Πλωτής Μονάδας Αποθήκευσης και Επαναεριοποίησης (FSRU). Το FSRU Αλεξανδρούπολης είναι η πρώτη από τις δύο εγκεκριμένες πλωτές μονάδες στην Αλεξανδρούπολη σχεδιάστηκε να λειτουργήσει έως το 2023. Το έργο, σε συνεργασία με την GasLog και τις κυβερνήσεις Ελλάδας και Βουλγαρίας, είναι κομβικής σημασίας λόγω της θέσης του κοντά σε στρατηγικό λιμάνι που ιδιωτικοποιείται. Η δεύτερη μονάδα, που αφορά τη Θράκη, έχει εγκριθεί πρόσφατα, χωρίς ακόμα να έχει οριστεί χρονοδιάγραμμα ολοκλήρωσης.

- FSRU Κορίνθου: Η εταιρεία Motor Oil έχει ολοκληρώσει τη διερεύνηση της αγοράς για την ανάπτυξη μιας πλωτής μονάδας στην Κόρινθο, και το έργο προχωρά μετά την έγκριση από τις αρμόδιες αρχές. Μόλις ολοκληρωθεί, θα συνδεθεί με έναν συμβατικό σταθμό εισαγωγής φυσικού αερίου.
- FSRU Βόλου: Η MedGas έλαβε την απαραίτητη ρυθμιστική έγκριση για την πλωτή μονάδα στον Βόλο. Η εταιρεία βρίσκεται σε διαπραγματεύσεις με δυνητικούς αγοραστές, μεταξύ των οποίων και η ExxonMobil.
- FSRU Θεσσαλονίκης: Η Elpedison υπέβαλε αίτηση για την ανάπτυξη πλωτής μονάδας στη Βόρεια Ελλάδα και αναμένει την απόφαση των αρμόδιων αρχών. Η συγκεκριμένη μονάδα θα ενισχύσει περαιτέρω την ενεργειακή αυτόντρκεια της περιοχής.

Οι νέες αυτές υποδομές αναδεικνύουν την Ελλάδα ως σημαντικό κόμβο για τη διακίνηση LNG, προσφέροντας νέες δυνατότητες για ενεργειακή συνεργασία και οικονομική ανάπτυξη.



Σχήμα 13.1 Χάρτης τερματικών στην Ελλάδα²³

13.3 Προοπτική

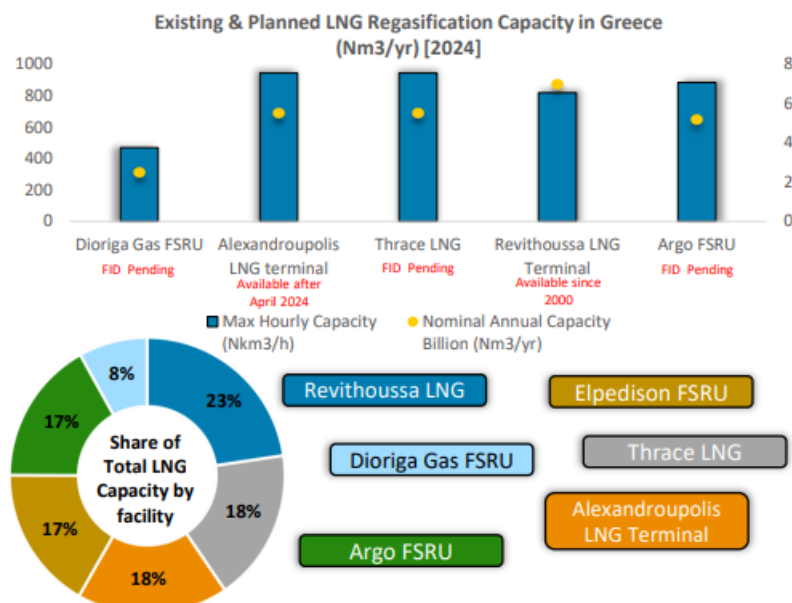
Ξεκινώντας από τη Revithoussa LNG, που λειτουργεί ήδη από το 2000, αποτελεί τη μεγαλύτερη και πιο σταθερή εγκατάσταση, καλύπτοντας περίπου το 23% της συνολικής δυναμικότητας LNG της χώρας. Πρόκειται για μια υποδομή-κλειδί που έχει στηρίξει μέχρι σήμερα την ενεργειακή ασφάλεια της Ελλάδας. (Deloitte)

Τα νέα έργα, όπως το Alexandroupolis LNG Terminal, αναμένεται να ενισχύσουν σημαντικά τη θέση της χώρας. Το τερματικό της Αλεξανδρούπολης, θα καλύπτει περίπου το 18% της συνολικής δυναμικότητας, επιτρέποντας την εισαγωγή επιπλέον ποσοτήτων φυσικού αερίου. Μαζί του, το Argo FSRU μοιράζεται το ίδιο ποσοστό, δείχνοντας τη σημασία του στη μελλοντική ενεργειακή εξισορρόπηση.

Σημαντική θέση κατέχουν επίσης οι προτάσεις για το Thrace LNG και το Elpedison FSRU, που αναμένεται να συνεισφέρουν από 17% το καθένα, αν προχωρήσουν οι τελικές επενδυτικές αποφάσεις. Το Dioriga Gas FSRU, αν και μικρότερο με 8%, εξακολουθεί να αποτελεί μέρος της ευρύτερης στρατηγικής για ενίσχυση των υποδομών LNG στη χώρα.

Συνολικά, η Ελλάδα επενδύοντας σε μια σειρά νέων έργων στοχεύει στην ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας και της διαφοροποίησης των πηγών εφοδιασμού. Με την Revithoussa ως σταθερή βάση και τις νέες υποδομές σε Αλεξανδρούπολη, Θράκη και Άργος, η χώρα προετοιμάζεται να γίνει ένας σημαντικός ενεργειακός κόμβος για την ευρύτερη περιοχή.

²³ [Investors move to expand Greece's LNG capacity as regional hub-](#)



Σχήμα 13.2 Υπάρχουσες και Προγραμματισμένες Υποδομές έως το 2024²⁴

Η Ελλάδα μέχρι τις αρχές του 2025 προβλέπεται να έχει εξαγωγική ικανότητα 8,5 δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων. (Euronews, 2024).

Επιπλέον, τοποθετείται στο κέντρο της ενεργειακής ασφάλειας της Ευρώπης και παίζει καθοριστικό ρόλο στη στρατηγική της Δύσης για απομόνωση της Ρωσίας. (Bearak, 2024).

Από την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία και μετά, οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν διπλασιάσει τις εξαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) προς την Ευρώπη, με τις εμπορικές συναλλαγές να φτάνουν σχεδόν τα 100 δισεκατομμύρια δολάρια. Στην Ελλάδα, το νέο επίκεντρο είναι ο πλωτός τερματικός σταθμός φυσικού αερίου ανοιχτά της βόρειας ακτής της χώρας, το FSRU κοντά στο λιμάνι της Αλεξανδρούπολης. Τον Απρίλιο, έφτασε η πρώτη παράδοση LNG από την ακτή του Κόλπου. Οι διαχειριστές του τερματικού σταθμού ελπίζουν ότι περισσότερο από το ήμισυ της τροφοδοσίας του θα προέρχεται από τις Ηνωμένες Πολιτείες. Πολλοί Αμερικανοί αξιωματούχοι έχουν πιέσει τις Ευρωπαϊκές χώρες να χρησιμοποιήσουν τον νέο τερματικό σταθμό και τους αγωγούς της Ελλάδας, προωθώντας το αμερικανικό LNG ως φυσική εναλλακτική λύση για το ρωσικό αέριο.

14 Οικονομικά Στοιχεία

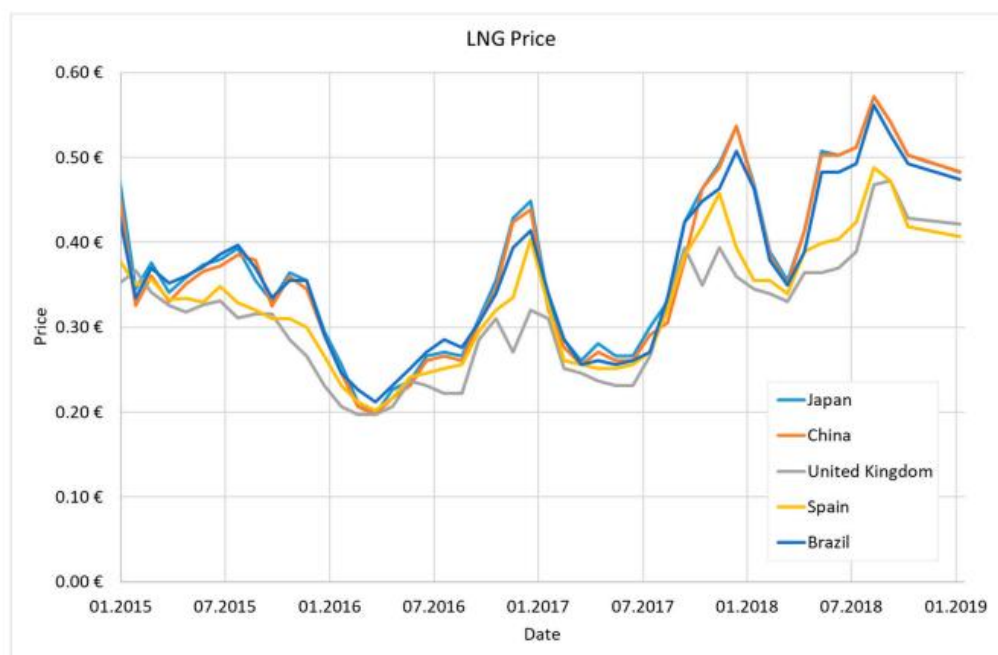
Το υγροποιημένο φυσικό αέριο άρχισε να παίζει σημαντικό ρόλο στην οικονομία εδώ και πολλά χρόνια. Από το 2000 έως το 2019, ο διεθνής εμπορικός όγκος υγροποιημένου φυσικού αερίου είχε αυξηθεί σημαντικά από 140δισ. bcm σε 485δισ. bcm. Η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι παγκόσμια και αυτό φαίνεται από την παραπάνω αύξηση των 345 δισεκατομμύρια κυβικών μέτρων που παρατηρήθηκε.

Το 2020 η παγκόσμια εξαγωγή ήταν 356 MMt (million tons), με τους μεγαλύτερους εξαγωγείς να είναι το Κατάρ και η Αυστραλία με ποσοστό 43.4%. Οι ΗΠΑ και η Ρωσία,

²⁴ [PowerPoint Presentation](#)

όπως και η Μαλαισία, η Νιγηρία και η Ινδονησία αύξησαν την χωρητικότητα τους σε LNG τα τελευταία χρόνια. Οι εισαγωγές LNG που έγιναν στην Ευρώπη, έφτασαν τα 82 MMt, με ποσοστό 22,9% παγκοσμίως και οι κύριοι εισαγωγείς ήταν το Κατάρ, οι ΗΠΑ και η Ρωσία με ποσοστά 26,8%, 22,7% και 15,4% αντίστοιχα. (Zou, Yi, Wang, Yin, & Zhang, 2022)

Στο Σχήμα 11.4.1 απεικονίζεται ένα διάγραμμα με την τιμή του LNG από το 2015 μέχρι το 2019. Παρατηρείται μεγάλη παγκόσμια αστάθεια με την πάροδο του χρόνου. (Hönig, Prochazka, Obergruber, & Kučerová, 2019)



Σχήμα 14.1 Τιμή LNG (Vladimír Hönig, Petr Prochazka, Michal Obergruber, Luboš Smutka and Viera Kucerová, 2019)²⁵

Το 2020, παρά το διπλό πλήγμα της πανδημίας COVID-19 του προηγούμενου έτους και της πτώσης των τιμών του πετρελαίου που οδήγησε σε μείωση της ζήτησης φυσικού αερίου κατά 2,5% σε σχέση με το επίπεδο του 2019, ο όγκος εμπορίου LNG κατάφερε να αυξηθεί κατά 1,6% ετησίως.

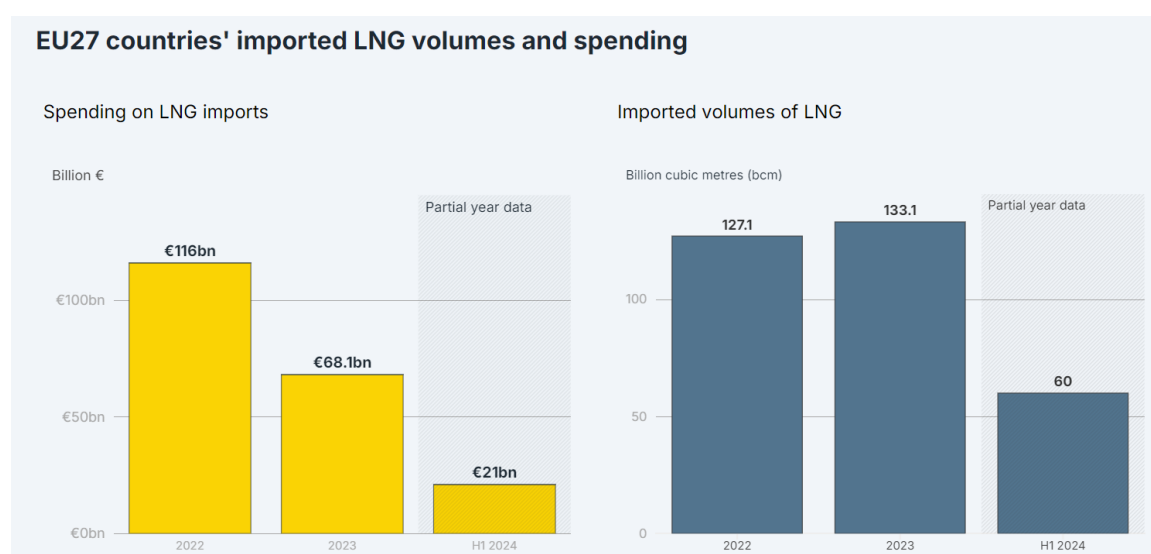
Το 2020 η παγκόσμια ζήτηση είχε ανέλθει στα 360 εκατομμύρια τόνους από 20 εξαγωγικές χώρες προς τις 43 εισαγωγικές χώρες. Ενώ το 2019 η ζήτηση ήταν 358 εκατομμύρια τόνους. Αυτή η μικρή αύξηση που έγινε το 2020 δείχνει το πόσο ανθεκτική είναι η παγκόσμια αγορά του LNG σε μια περίοδο όπου η απώλεια του παγκόσμιου Α.Ε.Π. ήταν σημαντική λόγω της εξάπλωσης του Covid-19.

Όπως ήταν αναμενόμενο, εκείνη την περίοδο επικρατούσε αστάθεια στις τιμές φτάνοντας σε ένα σημαντικά χαμηλό σημείο κατά τη διάρκεια της πανδημίας

²⁵ [Economic and Technological Analysis of Commercial LNG Production in the EU \(mdpi.com\)](https://mdpi.com)

επιστρέφοντας βέβαια είναι ιστορικά υψηλό επίπεδο στις αρχές του 2021 λόγω αρκετών παραγόντων όπως ήταν η αύξηση της ζήτησης της Ασίας και της Ευρώπης.

Στο Σχήμα 11.4.3 απεικονίζονται τα νούμερα που έχουν ξοδέψει οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην εισαγωγή LNG, από το 2022 μέχρι και σήμερα. Παρατηρείται ότι, λόγω της πτώσης των τιμών, οι χώρες αυτές, το 2023 παρόλο που εισήγαγαν μεγαλύτερες ποσότητες από το προηγούμενο έτος, ξόδεψαν λιγότερο. (European LNG Tracker, 2024)



Σχήμα 14.2²⁶(IEEFA,2024)

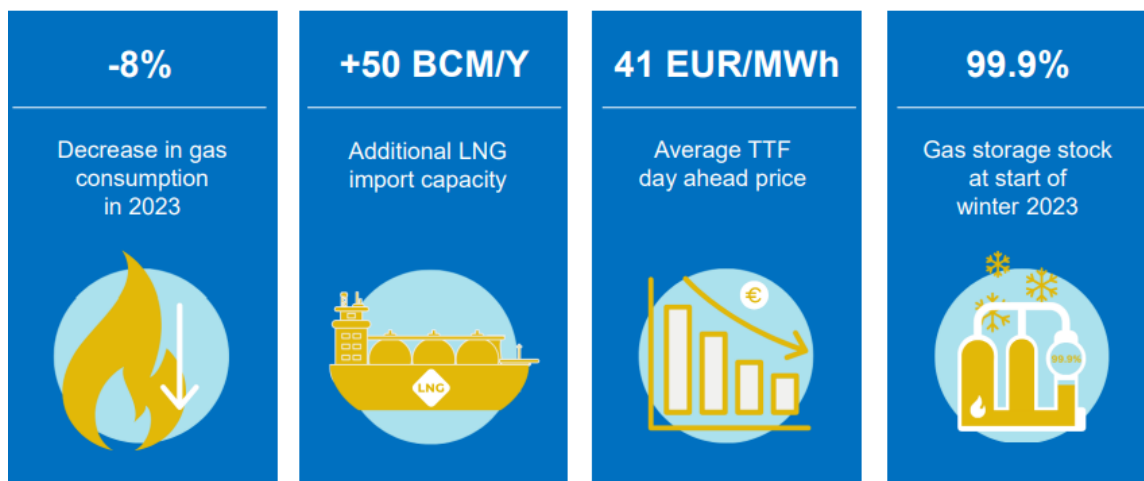
Το 2022, λόγω του πολέμου Ουκρανίας-Ρωσίας, η περιορισμένη εισαγωγή αερίου από την Ρωσία είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της ζήτησης του LNG στην Ευρώπη κατά 60%.

Παρακάτω αναλύονται κάποια οικονομικά στοιχεία συγκεκριμένα για τις εισαγωγές LNG που έκανε η Ευρώπη το 2023 και το 2024.

Το 2023, η ΕΕ27 πλήρωσε σχεδόν €61 δισεκατομμύρια για LNG, από τα οποία €26,8 δισεκατομμύρια ήταν για LNG από τις ΗΠΑ, €8,1 δισεκατομμύρια από τη Ρωσία, €7,7 δισεκατομμύρια από το Κατάρ, €6,1 δισεκατομμύρια από την Αλγερία, €2,9 δισεκατομμύρια από τη Νορβηγία και €2,8 δισεκατομμύρια από τη Νιγηρία. (European LNG Tracker, 2024)

Το 2023 παρατηρήθηκε μείωση κατανάλωσης αερίου κατά 8%, ενώ παράλληλα αυξήθηκε η χωρητικότητα του LNG κατά 50 bcm/y. Η τιμή του TTF κυμαινόταν στα 41ευρώ ανά κιλοβατώρα. (ACER, 2024)

²⁶ [European LNG Tracker \(Sep. 24 Update\) | IEEFA](#)



Σχήμα 14.3²⁷ (ACER,2024)

Από τα μέσα του 2023, η χωρητικότητα LNG στην Ευρώπη είχε διπλασιαστεί κατά 50 δις εκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως, κυρίως όσο αφορά την Βορειοδυτική Ευρώπη. Αυτό έχει συμβάλει ενεργά και έχει παίξει πολύ σημαντικό ρόλο στην διευκόλυνση της αύξησης των εισαγωγών LNG και έχει βοηθήσει στην μείωση συμφόρησης του δικτύου των υγροποιημένου φυσικού αερίου στα τερματικά. (European LNG Tracker, 2024)

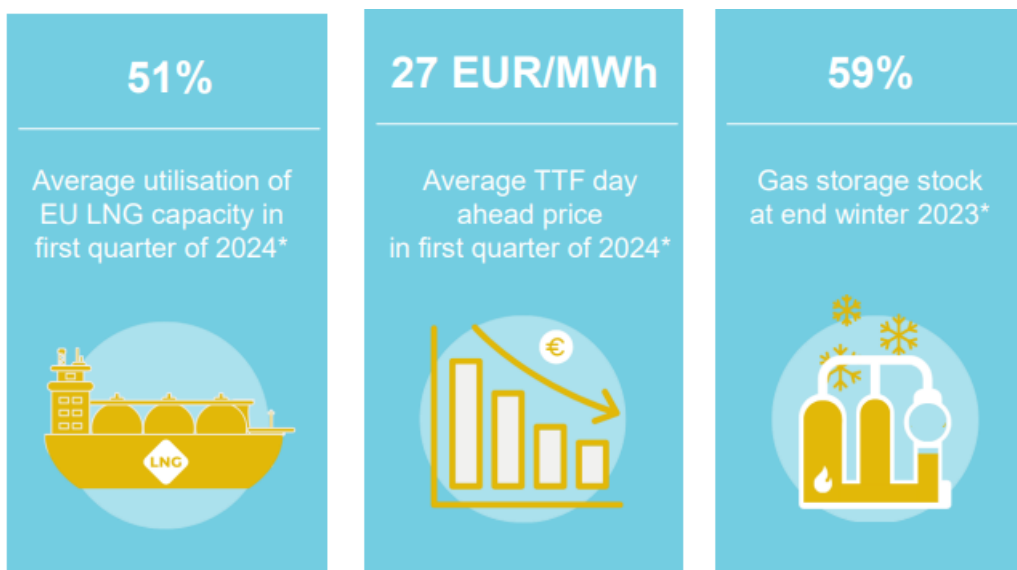
Το 2023 η προσφορά και διαθεσιμότητα του φυσικού αερίου ήταν περιορισμένη με αποτέλεσμα η συνεχής μείωση των παραδόσεων του ρωσικού αερίου, λόγω του πολέμου Ουκρανίας- Ρωσίας, μέσω αγωγών στην Ευρώπη προκάλεσε αστάθεια.

Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την όχι και τόσο επαρκή αύξηση της παραγωγής ώστε να μπορέσει να εξισορροπήσει την μειωμένη εισαγωγή των ρωσικών παραδόσεων το φυσικό αέριο στην Ευρώπη.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση θέλοντας να απομακρυνθεί από την εισαγωγή του ρωσικού LNG μετά την έναρξη του πολέμου Ουκρανίας-Ρωσίας και έχοντας ως στόχο την κατάκτηση του τίτλου ως ένας από τους μεγαλύτερους παγκόσμιους εισαγωγείς υγροποιημένου φυσικού αερίου, δημιούργησε έντονο ανταγωνισμό στις τιμές για τα φορτία LNG το 2022 και το 2023. Η αυξημένη ζήτηση από την Ευρώπη έκανε τις τιμές του LNG να αυξηθούν, προκειμένου να προσελκύσουν φορτία από την Ασία.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 14.4, το 51% της χωρητικότητας LNG της ΕΕ το πρώτο τρίμηνο του 2024 χρησιμοποιήθηκε, ενώ παράλληλα η τιμή του αερίου ήταν 41ευρώ ανά κιλοβατώρα με 59% απόθεμα στο τέλος του χειμώνα του 2023. (ACER, 2024)

²⁷ACER (2024). Key developments in European gas wholesales markets. European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators.
https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/ACER_2024_MMR_Key_developments_gas.pdf



Σχήμα 14.4²⁸ (ACER,2024)

Το 2024 η Ευρώπη ξόδεψε 10,5 εκατομμύρια ευρώ σε εισαγωγές από τις ΗΠΑ, 3,5 δισεκατομμύρια ευρώ σε εισαγωγές από τη Ρωσία, 2,1 δισεκατομμύρια ευρώ σε εισαγωγές από το Κατάρ, 2,1 δισεκατομμύρια ευρώ σε εισαγωγές από τη Αλγερία και τέλος 870 εκατομμύρια ευρώ σε εισαγωγές από τη Νιγηρία. Συνολικά, λόγω ότι μειώθηκαν οι εισαγωγές του LNG κατά 41%, η Ευρώπη ξόδεψε λιγότερα χρήματα. (European LNG Tracker, 2024)

Στο Σχήμα 14.5 παρουσιάζεται μια επισκόπηση των διεθνών δεικτών τιμών φυσικού αερίου (\$/mmbtu) για τον Φεβρουάριο του 2024. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό (ACER), η τιμή του TTF, που αποτελεί την κύρια αγορά φυσικού αερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, βρίσκεται στα \$8,2/mmbtu, πολύ υψηλότερη από άλλες περιοχές, όπως η Henry Hub στις ΗΠΑ (\$1,7) και η AECO στον Καναδά (\$1,35). Παρόμοιες χαμηλές τιμές παρατηρούνται στη Ρωσία (SPIMEX: \$1,6). Αντίθετα, στην Ασία οι τιμές είναι υψηλότερες, με το δείκτη JKM να φτάνει τα \$8,9 και τις πετρελαϊκές συνδεδεμένες τιμές να κυμαίνονται από \$12 έως \$13. Στην Αυστραλία (Adelaide) η τιμή είναι κοντά στα ευρωπαϊκά επίπεδα, στα \$8,1, ενώ στην Κίνα (GIXI) η τιμή είναι ελαφρώς χαμηλότερη, στα \$10,7. (ACER, 2024)

Ο χάρτης δείχνει ξεκάθαρα πόσο διαφορετικές είναι οι τιμές του φυσικού αερίου σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Η Ευρώπη φαίνεται να βρίσκεται σε μια δύσκολη θέση, καθώς οι τιμές που πληρώνει είναι πολύ υψηλές σε σχέση με άλλες περιοχές, όπως η Βόρεια Αμερική ή η Ρωσία. Αυτό δεν είναι απλώς ένας αριθμός. Έχει άμεσο αντίκτυπο στην καθημερινότητα των πολιτών, αφού αυξάνει το κόστος θέρμανσης, ηλεκτρικής ενέργειας και γενικά το κόστος ζωής. Παράλληλα, αυτές οι υψηλές τιμές κάνουν πιο δύσκολο για την Ευρώπη να εξασφαλίσει ενεργειακή σταθερότητα και να μειώσει την εξάρτησή της από εξωτερικούς προμηθευτές.

28

https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/ACER_2024_MMR_Key_developments_gas.pdf

Overview of natural gas price international benchmarks, February 2024 (dollar/mmbtu)



Σχήμα 14.5²⁹(ACER,2024)

Η ανάγκη απεξάρτησης από το ρωσικό φυσικό αέριο έχει οδηγήσει σε μεγάλες επενδύσεις σε υποδομές και σταθμούς LNG, ενισχύοντας την ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης. Παρακάτω θα αναλυθούν οι προβλέψεις που έχουν γίνει για τα οικονομικά στοιχεία του LNG.

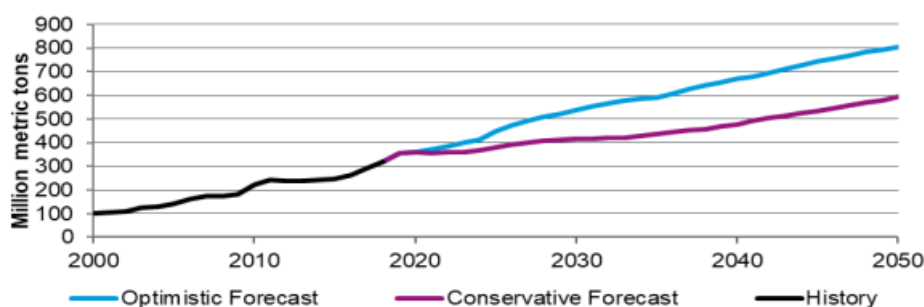


Figure 1. Forecast of global LNG demand.

Σχήμα 14.6³⁰(IOP,2022)

Με βάση το Σχήμα 14.6, σύμφωνα με προβλέψεις που έχουν γίνει, η ζήτηση του LNG θα αυξάνεται συνεχώς για τα επόμενα 25 χρόνια. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) σήμερα καλύπτει περίπου το 13% της παγκόσμιας ζήτησης φυσικού αερίου, και όλα δείχνουν ότι το ποσοστό αυτό θα συνεχίσει να αυξάνεται. Μέχρι το 2050, η ζήτηση αναμένεται να φτάσει τα 600 εκατομμύρια μετρικούς τόνους (MMt) ετησίως, με χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία να ηγούνται αυτής της αύξησης. Οι δύο αυτές χώρες, χάρη στη ραγδαία ανάπτυξή τους, θα χρειαστούν περισσότερο LNG και θα επενδύσουν σημαντικά στις απαραίτητες υποδομές για να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες.

Συνολικά, η παγκόσμια ζήτηση για LNG προβλέπεται να αυξάνεται με έναν σταθερό ρυθμό της τάξης του 2,7% κάθε χρόνο, με αποτέλεσμα να φτάσει περίπου τα 800 MMt έως το 2050. Αντίθετα, στην Ευρώπη η εικόνα είναι διαφορετική: η ζήτηση προβλέπεται να μειωθεί στο 11,3%, καθώς η περιοχή στρέφεται σε πιο καθαρές και εναλλακτικές πηγές ενέργειας.

²⁹ [Key developments in gas wholesale markets - 2024 MMR](#)

³⁰ [*Open Access proceedings Journal of Physics: Conference series](#)

Υπάρχει, ωστόσο, και ένα πιο συντηρητικό σενάριο. Σε αυτή την περίπτωση, η παγκόσμια ζήτηση για LNG θα αυξάνεται με χαμηλότερο ρυθμό, περίπου 1,7% τον χρόνο, φτάνοντας τα 595 MMt μέχρι το 2050. Ταυτόχρονα, η Ευρώπη θα σημειώσει ακόμη μεγαλύτερη πτώση στη ζήτησή της, που υπολογίζεται στο 17,2%.

Αυτές οι προβλέψεις δείχνουν ότι το LNG θα εξακολουθήσει να παίζει σημαντικό ρόλο ως ένα καύσιμο-γέφυρα για τη μετάβαση σε μια πιο βιώσιμη ενεργειακή εποχή. Παράλληλα, τονίζεται η διαφορετική πορεία που ακολουθούν οι αναπτυσσόμενες οικονομίες, όπως η Κίνα και η Ινδία, σε σύγκριση με τις ανεπτυγμένες χώρες της Ευρώπης, οι οποίες αναζητούν πιο φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις. (Zou, Yi, Wang, Yin, & Zhang, 2022)

Πίνακας 14.1 Παγκόσμια εισαγωγή LNG για το 2020 και πρόβλεψη για το 2050 (Qian Zou , Chenggao Yi , Keming Wang , Xiuling Yin and Yongwei Zhang, 2022)³¹

Table 1. Global LNG imports - 2020 and future (Unit: MMtpa).

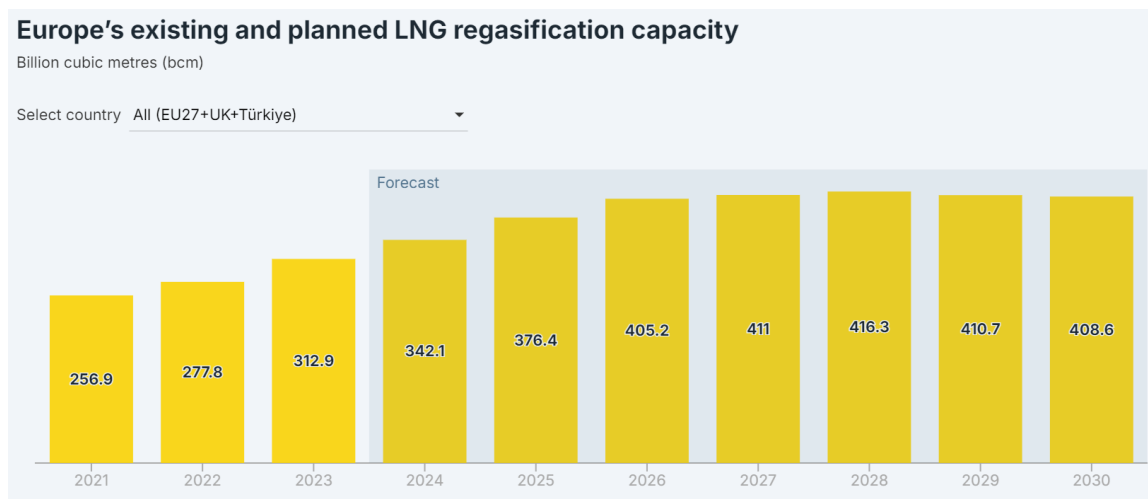
Region	2020		2050-Optimistic Forecast		2050-Conservative Forecast	
	LNG imports	Global proportion	LNG imports	Global proportion	LNG imports	Global proportion
Asian-Pacific	254.4	71.4%	582.6	72.5%	409.3	68.8%
Europe	81.6	22.9%	90.6	11.3%	102.3	17.2%
America	13.2	3.7%	52.9	6.6%	34.2	5.7%
Middle East & Africa	6.9	1.9%	77.8	9.7%	49.3	8.3%
Total	356.1	100%	803.9	100%	595.0	100%

Source: Wood Mackenzie, IHS Markit, similarly hereinafter

Το Κατάρ θέλοντας να ξαναποκτήσει την πρωτιά στις εξαγωγές υδρογονανθράκων φυσικού αερίου έχει ήδη υπογράψει μια σειρά από συμφωνίες με την Κίνα και με διάφορες Ευρωπαϊκές εταιρίες (Eni SpA, Shell Plc).

Μέχρι το 2040 αναμένεται αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης της ενέργειας σύμφωνα με σενάρια του Διεθνούς οργανισμού Ενέργειας. Με την βοήθεια της τεχνολογίας του Floating LNG αυτή η αυξημένη ζήτηση θα μπορέσει να καλυφθεί καθώς προσφέρει πιο γρήγορη και άμεση υδροποίηση του φυσικού αερίου όπως έχει ήδη αναφερθεί.

³¹ [*Open Access proceedings Journal of Physics: Conference series](#)



Σχήμα 14.7³²(IEEFA,2024)

15 Περιβάλλον

Τα τελευταία χρόνια, το LNG έχει αναδειχθεί ως μια επιλογή που μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο στη μετάβαση προς καθαρότερες μορφές ενέργειας. Παρόλο που θεωρείται πιο φιλικό προς το περιβάλλον σε σύγκριση με άλλα ορυκτά καύσιμα, όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο, η επίδρασή του στο περιβάλλον είναι ένα θέμα που απαιτεί προσεκτική εξέταση.

Όλο και περισσότερες είναι οι χώρες που δίνουν μεγαλύτερη βαρύτητα στην μείωση των εκπομπών των αερίων. Γι αυτό τον λόγο, τείνουν να χρησιμοποιούν το φυσικό αέριο και ανανεώσιμες πηγές με αποτέλεσμα, το LNG να είναι μια σημαντική επιλογή. (Oladipo Olugbenga Adekoya A. A., 2023)

Καθώς το LNG (υγροποιημένο φυσικό αέριο) διαθέτει μια πολύπλοκη αλυσίδα εφοδιασμού, αυξάνονται οι πιθανότητες διαρροής αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σημαντικότερη πηγή διαρροών και εκπομπών μεθανίου είναι η διαδικασία της υγροποίησης, ενώ ακολουθεί η φάση της μεταφοράς.

Επειδή το υγροποιημένο φυσικό αέριο παρέχεται από το φυσικό αέριο που εξορύσσεται μέσω fracking, ο τρόπος άντλησης είναι επιβλαβής και αυτό κάνει το LNG ιδιαίτερα ρυπογόνο. Συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, με κυριότερους ρύπους το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και το μεθάνιο (CH₄). Το μεθάνιο, συγκεκριμένα, έχει πολύ μεγαλύτερη επίδραση στην υπερθέρμανση του πλανήτη από το CO₂, καθώς είναι περίπου 80 φορές πιο ισχυρό σε χρονικό ορίζοντα 20 ετών. (Rapier, 2024)

Δυστυχώς, η ανάλυση κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment - LCA) δείχνει ότι οι εκπομπές του LNG μπορεί να υπερβαίνουν αυτές του άνθρακα, ειδικά αν ληφθεί υπόψη η εξόρυξη, επεξεργασία, και μεταφορά. Οι εκπομπές μεθανίου εμφανίζονται σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του LNG, από την παραγωγή φυσικού αερίου, τη μεταφορά και αποθήκευση, μέχρι τη διανομή και την καύση του στο κινητήρα των οχημάτων. Οι

³² [European LNG Tracker \(Sep. 24 Update\) | IEEFA](#)

εκτιμήσεις για τις εκπομπές μεθανίου κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του LNG κυμαίνονται περίπου από 1,1% έως 12,8%. (Shouheng Sun, 2020)

Από την άλλη πλευρά, οι εφαρμογές του LNG στη ναυτιλία και τις μεταφορές μειώνουν τις εκπομπές ρύπων, όπως οξείδια του θείου (SO_x) και οξείδια του αζώτου (NO_x), που είναι ιδιαίτερα επιβλαβή για τον αέρα. Η χρήση LNG στις θαλάσσιες μεταφορές συμβάλλει στην μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG), με τα πλοία που χρησιμοποιούν LNG να εκπέμπουν έως και 23% λιγότερα GHG σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα. (SEA-LNG, The definitive study of lifecycle analysis for LNG as a marine fuel, 2021)

Επιπλέον, το LNG ως καύσιμο έχει σημαντικά οφέλη στην ενεργειακή μετάβαση προς τις πιο βιώσιμες λύσεις, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές. Η σταδιακή μετάβαση από συμβατικά καύσιμα σε LNG μπορεί να λειτουργήσει ως μεταβατικό στάδιο προς την πλήρη αποανθρακοποίηση των ενεργειακών τομέων, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των εκπομπών CO₂ και άλλων αερίων θερμοκηπίου. (LNG as a Fuel, n.d.)

Οι επιπτώσεις του LNG στο θαλάσσιο και χερσαίο περιβάλλον είναι πολυδιάστατες και αφορούν τόσο την παραγωγή όσο και τη διανομή του. Στον θαλάσσιο τομέα, οι δραστηριότητες μεταφοράς και αποθήκευσης LNG στα λιμάνια και οι εγκαταστάσεις εξαγωγής ενδέχεται να έχουν επιπτώσεις στα τοπικά θαλάσσια οικοσυστήματα, λόγω των εκπομπών ρύπων και των διαρροών. Οι ενέργειες αυτές ενδέχεται να βλάψουν τη θαλάσσια ζωή, ειδικά σε περιοχές με ευαίσθητα οικοσυστήματα όπως οι υφάλμυρες ζώνες ή οι αβαθείς περιοχές. Η ρύπανση που προκαλείται από την αποθήκευση και την μεταφορά LNG στα λιμάνια, μπορεί να επιφέρει μείωση στην ποιότητα του νερού και να έχει επιπτώσεις στα θαλάσσια είδη. Στην ξηρά, οι δραστηριότητες που σχετίζονται με την παραγωγή, την εξόρυξη και τη μεταφορά LNG επηρεάζουν τα οικοσυστήματα που βρίσκονται κοντά στις περιοχές εξόρυξης. Οι εκτάσεις βοσκοτόπων, οι ανοιχτές δασικές εκτάσεις και τα υγρά οικοσυστήματα ενδέχεται να υποστούν ζημιές εξαιτίας των έργων κατασκευής και της υποδομής που απαιτούνται για τη μεταφορά του LNG. (Woxvold, 2008)

Οι μελλοντικές τεχνολογίες για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του LNG, όπως η αποθήκευση και σύλληψη CO₂ (CCUS) και η ανάπτυξη bio-LNG, προσφέρουν σημαντικές προοπτικές για την ενίσχυση της βιωσιμότητας της βιομηχανίας. Παράλληλα, η υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών όπως το Floating LNG (FLNG) και η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις διαδικασίες παραγωγής, μπορεί να συντελέσει σε μία πιο περιβαλλοντικά υπεύθυνη χρήση του LNG, προετοιμάζοντας το για τη μετάβαση σε μία καθαρότερη ενεργειακή ενέργεια.

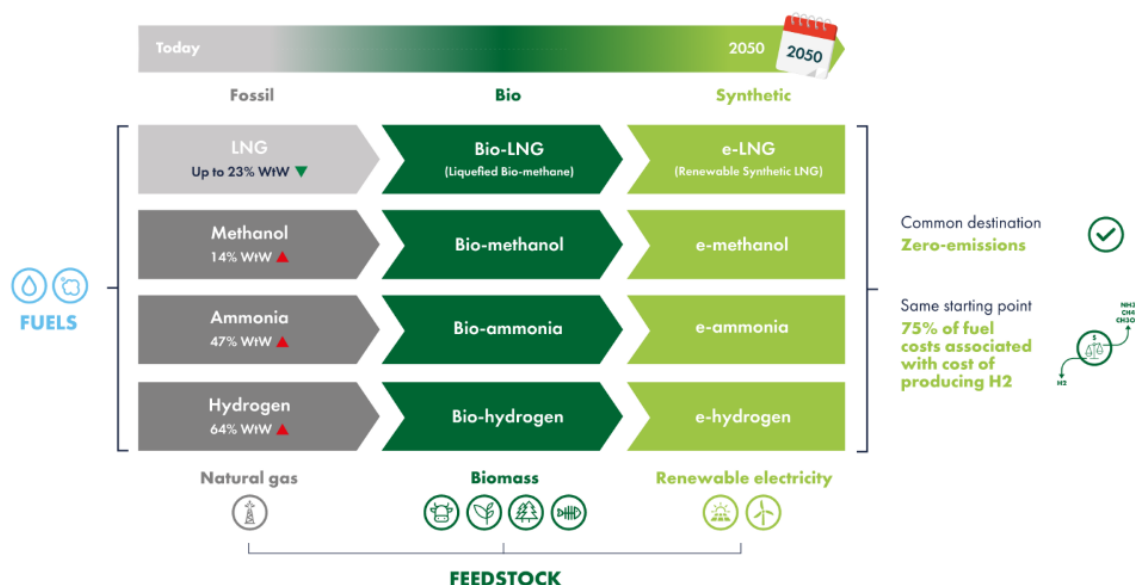
Η εφαρμογή της τεχνολογίας CCUS έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις εκπομπές CO₂ κατά 90% κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και υγροποίησης του φυσικού αερίου, κάτι που την καθιστά πολύ σημαντική για τη βιωσιμότητα του LNG. Η επένδυση σε αυτές τις υποδομές μπορεί να κάνει το LNG πιο αποδεκτό ως καθαρότερο καύσιμο, μειώνοντας σημαντικά το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα και ανοίγοντας το δρόμο για τη χρήση του σε πιο φιλικές προς το περιβάλλον εφαρμογές. (iea, 2020)

Η χρήση ανανεώσιμων πηγών, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, για την παραγωγή LNG (ειδικά για τη διαδικασία υγροποίησης) μπορεί να μειώσει το

ανθρακικό αποτύπωμα του LNG. Η συνδυασμένη χρήση ανανεώσιμων πηγών για την παραγωγή LNG αποτελεί σημαντική προοπτική για μελλοντική βιωσιμότητα. (The Role of LNG in the Energy Transition, 2024)

Το bio-LNG, που παράγεται από οργανικά απόβλητα, είναι μια ανανεώσιμη εκδοχή του LNG και μπορεί να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά έως και 92%. Αυτή η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από το παραδοσιακό φυσικό αέριο. (The Role of LNG in the Energy Transition, 2024)

Μιλώντας για τις βασικές προκλήσεις που αντιμετωπίζονται με την παραγωγή bioLNG και e-LNG και την υιοθέτησή τους στη ναυτιλιακή βιομηχανία, οι παραγωγοί bioLNG ως καύσιμο ναυτιλίας θα αντιμετωπίσουν τον ανταγωνισμό από άλλες βιομηχανίες για τον κύριο υλικό, όπως οι αεροπορικές και υλικών βιομηχανίες.



Σχήμα 15.1³³(sea-lng,2023)

Η χρήση τεχνολογιών Floating LNG (FLNG), που επιτρέπουν τη μεταφορά και υγροποίηση του LNG σε πλωτές πλατφόρμες, μπορεί να μειώσει τις εκπομπές και να αυξήσει την ευελιξία των αλυσίδων εφοδιασμού LNG. Οι FLNG μονάδες έχουν τη δυνατότητα να μετακινούνται ανάλογα με τη ζήτηση και μειώνουν το κόστος της υποδομής. (Won, 2014)

Ο συνδυασμός του LNG με το πράσινο υδρογόνο και άλλα καθαρά καύσιμα φαίνεται να είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση για την επίτευξη των στόχων απανθρακοποίησης. Το πράσινο υδρογόνο, το οποίο παράγεται μέσω ηλεκτρόλυσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μπορεί να αναμιχθεί με το LNG, δημιουργώντας ένα πιο καθαρό ενεργειακό μείγμα. Αυτή η συνεργασία μειώνει τις εκπομπές CO₂, καθώς το υδρογόνο δεν παράγει καθόλου αέρια ρύπων όταν χρησιμοποιείται ως καύσιμο. (Henderson, 2021)

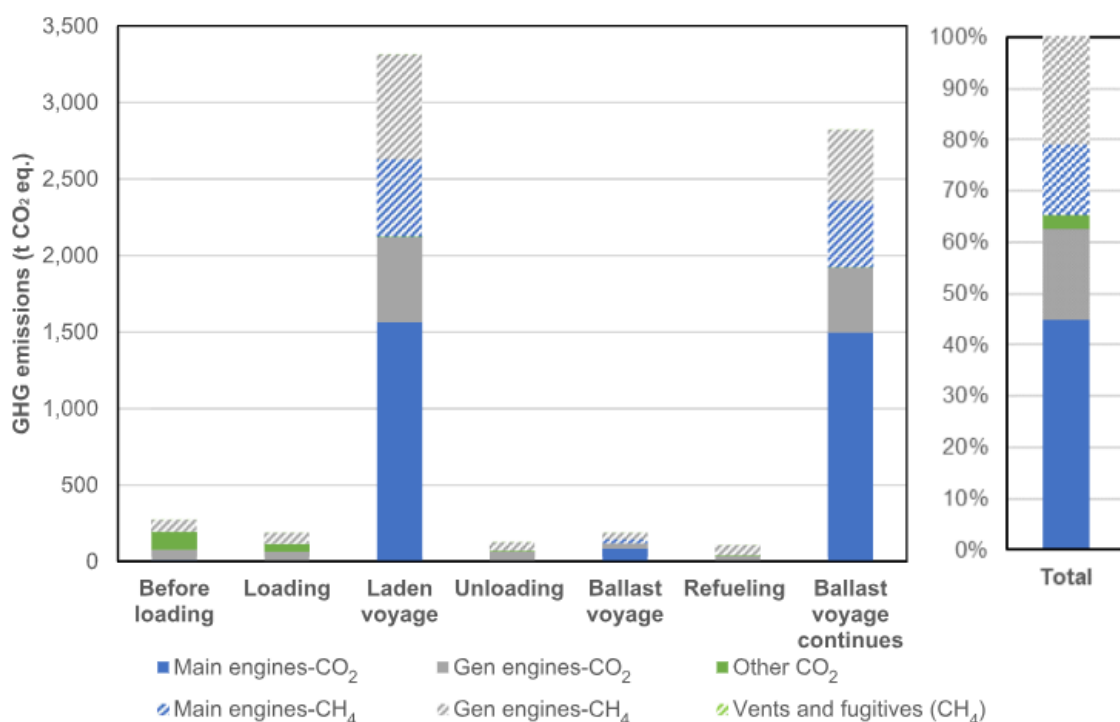
Η Βρ θεωρεί ότι το υγροποιημένο φυσικό αέριο παίζει σημαντικό ρόλο στην μετάβαση στην ενέργεια για την μείωση εκπομπών. Έως το 2030 στόχος είναι η παραγωγή 30 εκατομμύρια τόνους με μετοχές από Τρινιντάντ, Βόρεια Αφρική, Μαυριτανία και Σενεγάλη, Μέση Ανατολή και Ασία-Ειρηνικό. Το LNG παίζει σημαντικό ρόλο στην

³³ <https://sea-lng.org/2023/01/lng-as-marine-fuel-a-risky-or-future-proof-investment/>

επιτυχής μετάβαση στο Net Zero. Το Net Zero είναι μια επιστημονική έννοια που αναφέρεται στις μηδενικές εκπομπές και πιο συγκεκριμένα το Net Zero CO₂ μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. (BP, bp Energy Outlook, 2024)

Επιπλέον, η υπάρχουσα υποδομή του LNG σε διεθνές επίπεδο μπορεί να προσαρμοστεί για να φιλοξενήσει bio-LNG, συνθετικό LNG και υδρογόνο, κάτι που διευκολύνει τη μετάβαση σε καθαρότερες πηγές ενέργειας. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν προκλήσεις όσον αφορά την κλίμακα παραγωγής του υδρογόνου, ιδιαίτερα με τον υψηλό κόστος και τις τεχνολογικές καινοτομίες που απαιτούνται για την αποδοτική αποθήκευση και μεταφορά του. Στα επόμενα χρόνια, η ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών, σε συνδυασμό με τη μεγαλύτερη χρήση bio-LNG και συνθετικών εναλλακτικών, θα παίζει καθοριστικό ρόλο στη μείωση των εκπομπών και στην ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας. (Boussidan, 2023)

Αξίζει να σημειωθεί ότι τον Ιανουάριο του 2022, η Ευρώπη εισήγαγε 8,1 εκατομμύρια τόνους LNG οδηγώντας εκπομπές 46 εκ. t CO₂ που αυτό ισοδυναμεί με τις εκπομπές 10,5 σταθμών παραγωγής ενέργειας καύσης άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα η μελέτη έδειξε ότι οι εκπομπές από εξαερισμό και διαρροές ήταν εξαιρετικά χαμηλές, συμβάλλοντας λιγότερο από 0,1% στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Οι εκπομπές CO₂ από τη χρήση καυσίμων ήταν επίσης χαμηλότερες από προηγούμενες εκτιμήσεις λόγω βελτιωμένης αποδοτικότητας των σύγχρονων μηχανών και του σχεδιασμού πλοίων. Ωστόσο, η διαρροή μεθανίου από τις μηχανές ήταν υψηλότερη από προηγούμενες μελέτες, με μέσο όρο 3,8% σε όλες τις μηχανές, που ισοδυναμεί με 0,1% του παραδιδόμενου LNG. Οι γεννήτριες, οι οποίες συνήθως δεν περιλαμβάνονται στις αναλύσεις εκπομπών, ήταν η κύρια αιτία των εκπομπών μεθανίου. Οι μηχανές παρουσίασαν υψηλότερα ποσοστά διαρροής μεθανίου σε χαμηλά φορτία. (Paul Balcombe, 2022)



Σχήμα 15.2³⁴(Paul Balcombe,2022)

Οι συνολικές διαρροές μεθανίου από την διαδικασία της υγροποίησης και της μεταφοράς του για το 2022 ανέρχονται σε περίπου 0,4 εκατομμύρια τόνους. Αυτή η ποσότητα αντιστοιχεί στο 0,1% του συνολικού ετήσιου αγορασμένου LNG παγκοσμίως. Η μόνη λύση που μπορεί να δοθεί για τις διαρροές του μεθανίου κατά τη μεταφορά είναι η πλήρης εξασφάλιση ότι αυτό το μέρος του αερίου που εξατμίζεται παγιδεύεται στους κινητήρες του πλοίου. Με την πάροδο του χρόνου, όλο και περισσότερες τεχνολογίες που βοηθούν στη μείωση της διαρροής του μεθανίου έρχονται στο προσκήνιο, όπως για παράδειγμα με την επανακυκλοφορία των εξαγωγικών αερίων, τη χρήση υψηλής πίεσης άμεσης εισαγωγής ή καταλυτών οξείδωσης μεθανίου.

Παρόλα αυτά, το υγροποιημένο φυσικό αέριο σε σχέση με τα υγρά ορυκτά καύσιμα, προσφέρει περισσότερα περιβαλλοντικά οφέλη με καλύτερες επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα. Υπάρχει μεγάλη ποικιλομορφία κινητήρων LNG οι οποίοι παρόλο που προσφέρουν μεγάλη απόδοση μειώνουν κατά 28% το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως προτεραιότητα τη μετάβαση σε ένα πιο πράσινο και βιώσιμο μέλλον, με μια σειρά στρατηγικών και συμφωνιών που στοχεύουν στην προστασία του περιβάλλοντος και την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία και το REPowerEU αποτελούν κεντρικούς πυλώνες αυτών των προσπαθειών, με στόχο τη μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Μέσω του NextGenerationEU, η ΕΕ προσφέρει χρηματοδότηση για την επίτευξη μηδενικών καθαρών εκπομπών και την εξασφάλιση βιώσιμων ενεργειακών λύσεων για το μέλλον. (REPowerEU: energy policy in EU countries' recovery and resilience plans, 2024)

Από την αρχή του Ιανουαρίου του 2024, οι ναυτιλιακές δραστηριότητες εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπόκεινται στο καθεστώς άνθρακα EU-ETS. Πιο αναλυτικά, τα πλοία άνω των 5.000 (καθαρό βάρος) GT σε μέγεθος που θα διασχίζουν ή θα έχουν σαν τελικό προορισμό την Ευρώπη, θα φέρουν το κόστος αγοράς πιστοποιητικών άνθρακα EUA, αυξάνοντας τα μεταβλητά ναυτιλιακά κόστη. Το πρόγραμμα εισάγεται σταδιακά τα επόμενα 3 χρόνια με το βάρος χρέωσης για τους ιδιοκτήτες πλοίων να αυξάνεται ως εξής:

- Το 2024 το κόστος θα είναι 40% του κόστους εκπομπών,
- για το επόμενο έτος το κόστος θα εισέρχεται στο 70% του κόστους εκπομπών,
- ενώ το 2026 θα υπάρξει πλήρης αύξηση στο 100% του κόστους εκπομπών.

Με αυτούς του όρους, το κόστος των θαλάσσιων μεταφορών θα αυξάνεται ανάλογα με τις εκπομπές που θα εκπέμπουν τα πλοία.

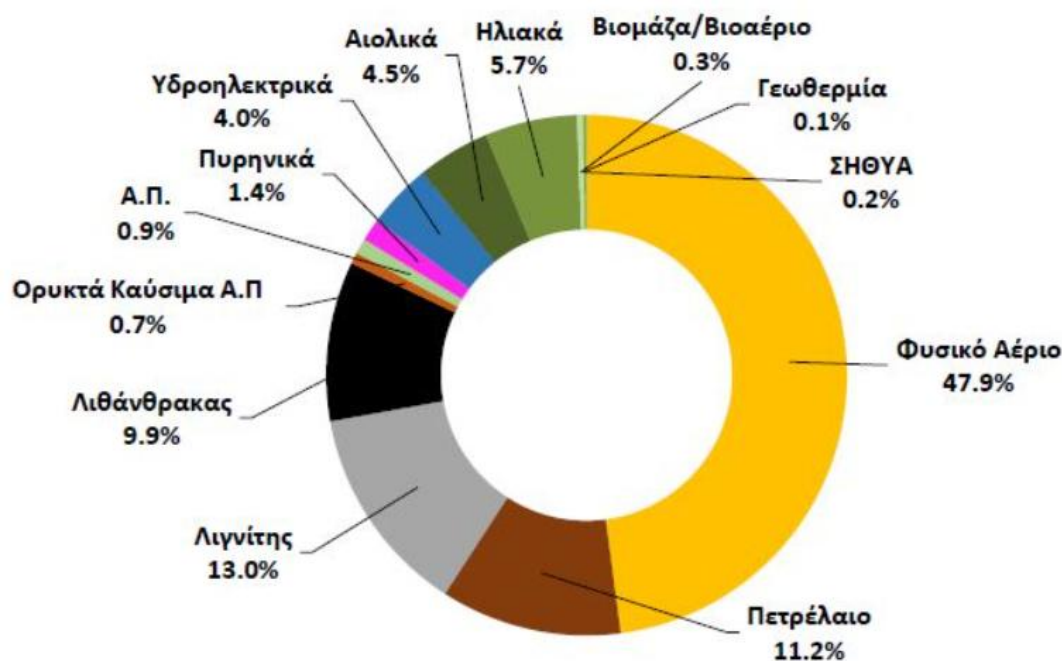
³⁴ [Total Methane and CO2 Emissions from Liquefied Natural Gas Carrier Ships: The First Primary Measurements \(acs.org\)](https://acs.org)

16 Απεξάρτηση Ευρώπης

Σε μια περίοδο συγκυριών όπως είναι η ενεργειακή κρίση που αντιμετωπίζει η Ευρώπη, η απεξάρτηση από πηγές που δεν ελέγχονται από αυτή, είναι πολύ σημαντική καθώς μπορεί να εκθέσει την οικονομία και την ασφάλεια της σε κίνδυνο.

Από την έναρξη ισχύος του κανονισμού της ΕΕ 2022/2577, το επίπεδο ετοιμότητας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και η ασφάλεια εφοδιασμού της Ένωσης έχουν βελτιωθεί. Ωστόσο, εξακολουθούν να υφίστανται σοβαροί κίνδυνοι όσον αφορά την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της Ένωσης.

Το 2023 το ενεργειακό μείγμα της Ευρώπης ήταν κυρίως φυσικό αέριο με ποσοστό 4.9%, λιγνίτης με ποσοστό 13% και πετρέλαιο με ποσοστό 11.2%. (ΔΑΠΕΕΠ, χ.χ.)



³⁵Σχήμα 16.1(ΔΑΠΕΕΠ,2023)

Η παγκόσμια κατάσταση στην αγορά αερίου παρουσιάζει μεγάλη στενότητα. Οι τιμές του αερίου εξακολουθούν να είναι σημαντικά υψηλότερες από τα επίπεδα πριν από την κρίση, με αναπόφευκτες συνέπειες στην αγοραστική δύναμη των πολιτών της Ένωσης και στην ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων της Ένωσης. Αυτό επιδεινώνεται από την υψηλή αστάθεια της αγοράς που οφείλεται, μεταξύ άλλων, στις τεταμένες γεωπολιτικές συνθήκες.

³⁵ [Ενεργειακό Μείγμα - Διαχειριστής ΑΠΕ & Εγγυήσεων Προέλευσης Α.Ε. - ΔΑΠΕΕΠ Α.Ε.](#)

Η ενεργειακή απεξάρτηση της Ευρώπης έγινε πιο επιτακτική μετά την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία, καθώς η ΕΕ συνειδητοποίησε τη μεγάλη της εξάρτηση από τα ρωσικά καύσιμα. Ένα από τα πρώτα μέτρα ήταν η αύξηση των εισαγωγών LNG από εναλλακτικούς προμηθευτές, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, το Κατάρ και η Νορβηγία, η οποία πλέον αποτελεί τον κύριο προμηθευτή φυσικού αερίου της ΕΕ. Παράλληλα, επενδύθηκαν σημαντικοί πόροι στη δημιουργία νέων υποδομών αποθήκευσης και διανομής LNG, κάτι που βοήθησε να διασφαλιστεί η ενεργειακή επάρκεια, ακόμη και κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης φυσικού αερίου στην Ευρώπη παρέμειναν κατά 60% γεμάτες μετά την τελευταία χειμερινή περίοδο, αποδεικνύοντας την αυξημένη ανθεκτικότητα του συστήματος. (IEA, Europe has taken its energy destiny back into its own hands, 2024)

Παράλληλα, η Ευρώπη επένδυσε στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με αποτέλεσμα σήμερα να καταναλώνει περισσότερο ενέργεια μέσα από ανανεώσιμες πηγές απ' ό,τι από ρωσικά καύσιμα. Επιπλέον, μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας, όπως η αναβάθμιση κτιρίων και η εξοικονόμηση ενέργειας στις βιομηχανίες, συνέβαλαν στη μείωση της συνολικής ζήτησης. Όλα αυτά τα βήματα είχαν ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της εξάρτησης από τη Ρωσία, με το ποσοστό της ενέργειας που προέρχεται από ρωσικά καύσιμα να πέφτει από 20% σε μόλις 5%. Οι προσπάθειες αυτές δεν διασφάλισαν μόνο την ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης, αλλά έθεσαν και τις βάσεις για ένα πιο βιώσιμο και ανεξάρτητο ενεργειακό μέλλον. (IEA, How Europe can cut natural gas imports from Russia significantly within a year, 2022)

Οι πρόσφατες αναταραχές στις τιμές του φυσικού αερίου, όπως το καλοκαίρι και το φθινόπωρο του 2023, αποδεικνύουν πόσο ευαίσθητες παραμένουν οι αγορές ενέργειας. Μέσα σε λίγες εβδομάδες, οι τιμές αυξήθηκαν πάνω από 50% λόγω γεγονότων όπως η απεργία στις αυστραλιανές εγκαταστάσεις ΥΦΑ, η κρίση στη Μέση Ανατολή και η διακοπή του αγωγού Balticconnector. Αυτά τα περιστατικά δείχνουν ότι ακόμη και μικρές αλλαγές στη ζήτηση ή την προσφορά μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες αναταράξεις, με φόβους για ελλείψεις που επηρεάζουν άμεσα τις τιμές σε όλη την Ευρώπη.

Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Ένωση αντιμετωπίζει σοβαρές προκλήσεις στην ενεργειακή της ασφάλεια λόγω της δραστηκής μείωσης των εισαγωγών ρωσικού φυσικού αερίου. Το 2023, οι εισαγωγές ρωσικού αερίου μειώθηκαν κατά περίπου 110 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα σε σχέση με το 2021, γεγονός που καθιστά πιο δύσκολη τη διασφάλιση σταθερού εφοδιασμού. Αυτό αυξάνει τον κίνδυνο ελλείψεων, ειδικά κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής, και απαιτεί την ανάπτυξη πιο ανθεκτικών στρατηγικών για την αντιμετώπιση μελλοντικών κρίσεων.

Η Ευρώπη αναζητά ενεργά τρόπους ώστε να διαφοροποιήσει τις πηγές προμήθειας ενέργειας, ειδικά μετά τις επιπτώσεις του πολέμου στην Ουκρανία, που οδήγησαν σε μείωση της εξάρτησης από το ρωσικό αέριο. Η ζήτηση για LNG αυξάνεται καθώς οι χώρες προσπαθούν να εξασφαλίσουν εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Η ικανότητα εισαγωγής LNG στην Ευρώπη αναμένεται να αυξηθεί κατά περίπου ένα τρίτο μέχρι το τέλος του 2024. (Council, Liquefied natural gas infrastructure in the EU, 2024)

Οι Ευρωπαϊκές χώρες που παρέχουν υπό λειτουργία υποδομές για το LNG είναι η Ισπανία, η Γαλλία, η Ιταλία, η Πορτογαλία, το Βέλγιο, οι Κάτω Χώρες, η Κροατία, η Πολωνία, η Ελλάδα, η Φινλανδία και η Λιθουανία.

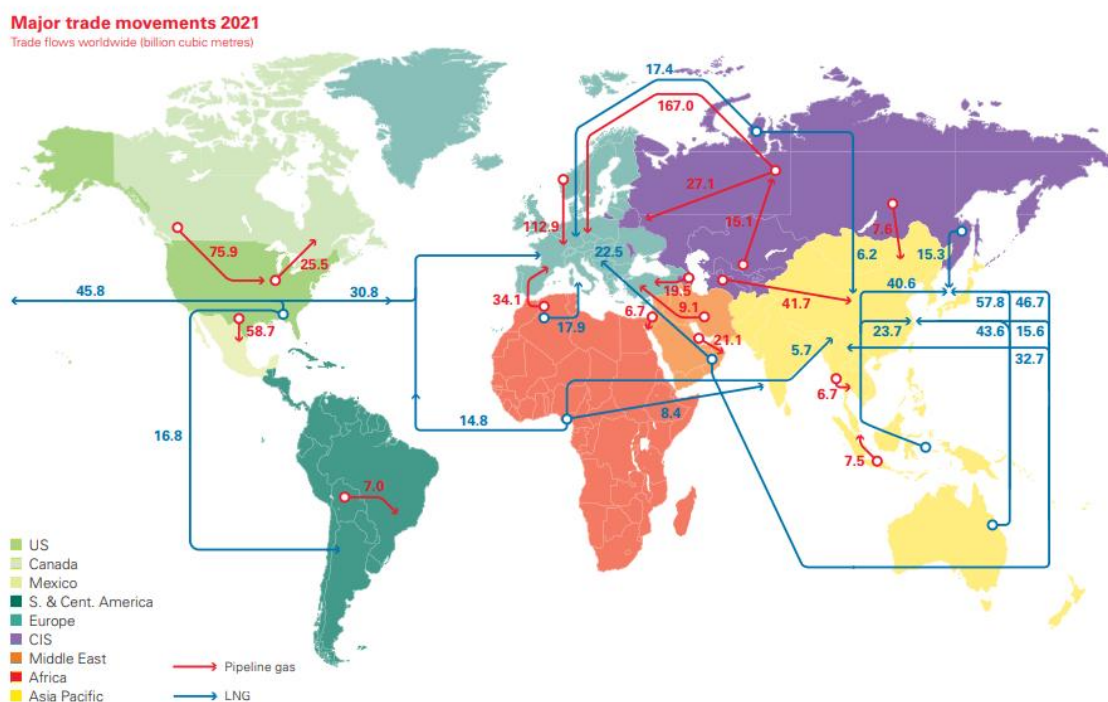
Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και την Gas Infrastructure Europe, έχουν προγραμματιστεί περισσότεροι από δώδεκα τερματικοί σταθμοί LNG ανά την ΕΕ, με ορισμένους από αυτούς να βρίσκονται ήδη υπό κατασκευή.

Η ΕΕ είναι ο μεγαλύτερος εισαγωγέας LNG στον κόσμο, με εισαγωγή πάνω από 120 δισεκατομμύρια κυβικών μέτρων (bcm) για το 2023. Οι μεγαλύτεροι εισαγωγείς ΥΦΑ στην ΕΕ είναι η Γαλλία, η Ισπανία, οι Κάτω Χώρες και το Βέλγιο και η Ιταλία.

Με την αύξηση των τερματικών της σταθμών LNG και ο προγραμματισμός δημιουργίας 12 επιπλέον τερματικών σταθμών, έχει καταφέρει την μερική απεξάρτηση της από εξωτερικούς παράγοντες. Παρακάτω αποτυπώνονται οι χώρες που παρέχουν τερματικούς σταθμούς LNG, καθώς και οι υπό κατασκευή αυτών και οι προγραμματισμένοι τερματικοί σταθμοί.

Η Ευρώπη θέλοντας να εξασφαλίσει ένα πιο ασφαλές ενεργειακό περιβάλλον ανεξαρτησίας χρησιμοποιεί το υγροποιημένο φυσικό αέριο ως μια πηγή ενέργειας εναλλακτικής μορφής.

Η Ευρώπη έχει σαν στόχο την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πόρων ενέργειας ώστε να μειωθούν οι εκπομπές. Παρόλα αυτά σύμφωνα με το τα ορυκτά καύσιμα καλύπτουν περισσότερο από το 84% της παγκόσμιας ενέργειας. Σύμφωνα με οργανισμούς όπως η Shell, προβλέπεται αυξανόμενη ζήτηση του LNG μέχρι το 2050 και αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι εκπέμπει μικρότερες ποσότητες εκπομπών από το φυσικό αέριο, άρα είναι προτιμότερο.



Σχήμα 16.2³⁶(Bp,2022)

³⁶ Bp Statistical Review of World Energy (2022). 71ST edition
[Statistical Review of World Energy 2022](#)

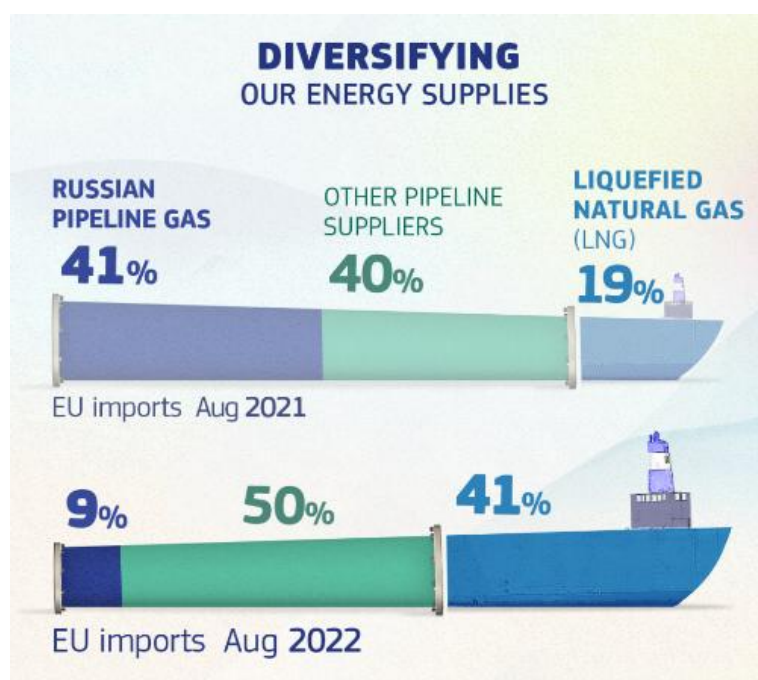
Μέχρι το 2020 το 58% της ενέργειας που χρησιμοποιούσε η Ευρωπαϊκή Ένωση, προερχόταν από κράτη μέλη εκτός αυτής. Το 2020 το ποσοστό εξάρτησης της ΕΕ στο σύνολό της ανήλθε σε 57,5 %. Μεταξύ των κρατών μελών υπήρχαν σημαντικές διαφορές: η Εσθονία είχε ποσοστό εξάρτησης 10,5 %, η Γερμανία 63,7 %, η Ελλάδα 81,4 % και η Μάλτα άνω του 97 %. (BP, bp Statistical Review of World Energy, 2022)

Οι εισαγωγές LNG στην Ευρώπη αυξήθηκαν σε υψηλά επίπεδα των 126,6 εκατομμυρίων τόνων, με αποτέλεσμα να είναι η δεύτερη μεγαλύτερη στον κόσμο το 2022, με ανώτερη αύξηση κατά 50,4 εκατομμύρια τόνους σε σύγκριση με το 2021.

Πολλές ήταν οι χώρες που αύξησαν τις εισαγωγές LNG τους, με τη Γαλλία (+13,4 εκατομμύρια τόνους) να καταλαμβάνει την πρώτη θέση στη λίστα, ακολουθούμενη από το Ηνωμένο Βασίλειο (+8,2 εκατομμύρια τόνους), την Ισπανία (+7,3 εκατομμύρια τόνους), τις Κάτω Χώρες (+6,4 εκατομμύρια τόνους), το Βέλγιο (+5,6 εκατομμύρια τόνους) και την Ιταλία (+3,6 εκατομμύρια τόνους).

Οι εισαγωγές που έγιναν από τις παραπάνω χώρες έπαιξαν πολύ βοηθητικό ρόλο για την Ευρώπη στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και στην αντιστάθμιση της απώλειας των εισαγωγών αερίου από τη Ρωσία, οι οποίες μειώθηκαν κατά 70% μέχρι το τέλος του 2022.

Μετά την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία τον Φεβρουάριο του 2022, η ενεργειακή κατάσταση στην Ευρώπη άλλαξε δραματικά. Ενώ το 2021, το 41% των εισαγωγών φυσικού αερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) προέρχονταν μέσω αγωγών από τη Ρωσία, το 40% από άλλους προμηθευτές μέσω αγωγών και το 19% από υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), το 2022 αντιστράφηκε η εικόνα.



Σχήμα 16.3³⁷(Commission Europa,2019)

Ο πόλεμος της Ρωσίας με την Ουκρανία οδήγησε την Ευρώπη σε μεγαλύτερο ποσοστό ενεργειακής ανεξάρτησης από εξωτερικούς ενεργειακούς φορείς. Αυτό συνέβη καθώς με τον πόλεμο πολλές χώρες θέλησαν να επεκτείνουν τις υποδομές LNG, με αποτέλεσμα η ικανότητα εισαγωγής αυξήθηκε κατά 40 bcm το 2023 και αναμένεται να διατεθούν επιπλέον 30 bcm το 2024.³⁸

Η μειωμένη ενεργειακή εξάρτηση της Ευρώπης από την Ρωσία, παρατηρείται δικαίως καθώς η Ρωσία εκτός ότι εξάγει σε πολύ μειωμένες τιμές το φυσικό αέριο στην Κίνα, το οποίο λόγω πολέμου δεν μπορεί να πουλήσει αλλού, κατασκευάζει όλο και περισσότερους αγωγούς φυσικού αερίου με αποτέλεσμα τα επόμενα χρόνια, η Κίνα να εξαρτάται από αυτή.

Η Ρωσία για την ΕΕ ήταν ένας πολύ σημαντικός ενδιάμεσος κρίκος για την εισαγωγή φυσικού αερίου και άλλων ορυκτών καυσίμων καθώς το 2021, η ΕΕ βασίστηκε στη Ρωσία για περίπου το 40% της κατανάλωσης φυσικού αερίου.³⁹ Οι περισσότερες εισαγωγές φυσικού αερίου και σημαντικό μέρος των εισαγωγών πετρελαίου από τη Ρωσία έφτασαν μέσω αγωγών και δεν μπορούσαν εύκολα να αντικατασταθούν (Sitter, 2022). Η κατάσταση επιδεινώθηκε από την υψηλότερη ζήτηση από άλλες χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Κίνας και των ΗΠΑ, στον απόηχο της οικονομικής ανάκαμψης από τον COVID-19 (Gilbert et al., 2021). Ενώ αρχικά ο κύριος ρωσικός στόχος ήταν να ασκήσει πίεση για να εξασφαλίσει την έγκριση της Γερμανίας και της ΕΕ για τον αγωγό North Stream 2 που ολοκληρώθηκε το 2021, η μεγάλη στρατιωτική συσσώρευση στα σύνορα με την Ουκρανία από τον Μάρτιο του 2021 πρόσθεσε μια ισχυρή γεωπολιτική διάσταση στις ενέργειες της Ρωσίας. Τον Δεκέμβριο του 2021, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο (2021) απάντησε με αυστηρή προειδοποίηση προς τη Ρωσία ότι κάθε περαιτέρω στρατιωτική επίθεση κατά της Ουκρανίας θα έχει τεράστιες συνέπειες και σοβαρό κόστος ως απάντηση, συμπεριλαμβανομένων περιοριστικών μέτρων σε συντονισμό με τους λοιπούς εταίρους.

Οι γεωπολιτικοί κίνδυνοι της ενεργειακής εξάρτησης της ΕΕ από τη Ρωσία ήρθαν πλήρως στο προσκήνιο μετά την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία τον Φεβρουάριο του 2022 (Sitter, 2022). Η εισβολή οδήγησε σε περαιτέρω αύξηση των τιμών της ενέργειας (Steckel et al., 2022), αντανakλώντας την πιθανότητα ακόμη χαμηλότερου εφοδιασμού της ΕΕ με ρωσικό φυσικό αέριο. Τον Απρίλιο και τον Μάιο του 2022, η ΕΕ ενέκρινε αρχικά απαγόρευση εισόδου και εξόδου πλοίων στον ρωσικό άνθρακα και, στη συνέχεια του πετρελαίου. Παράλληλα, η Ρωσία έχει περιορίσει περαιτέρω τις προμήθειες φυσικού αερίου στην ΕΕ.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσα από συντονισμένες προσπάθειες, κατάφερε να αντιμετωπίσει με επιτυχία την ενεργειακή κρίση που κορυφώθηκε το 2022. Οι τιμές

³⁷ https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_el#ref-%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%AF%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%BF%CF%8D-%CE%BC%CE%B1%CF%82-%CE%B5%CF%86%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D

³⁸ [Liquefied natural gas](#)

³⁹ [Accelerating energy diversification in Central and Eastern Europe – Analysis - IEA](#)

του φυσικού αερίου, που είχαν εκτοξευθεί σε επίπεδα ρεκόρ, άρχισαν να μειώνονται σημαντικά προς το τέλος της χρονιάς και διατηρήθηκαν σταθερές μέσα στο 2023. Αναλυτικότερα, τον Δεκέμβριο του 2023 η τιμή ανά μεγαβατώρα (MWh) είχε πέσει στα €34, ενώ την περίοδο της κρίσης είχε ξεπεράσει τα €300. (Council, Energy prices and security of supply, 2024)

Ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα ήταν η μείωση της εξάρτησης της Ευρώπης από το ρωσικό φυσικό αέριο. Ενώ πριν από την κρίση το 45% των εισαγωγών φυσικού αερίου της ΕΕ προερχόταν από τη Ρωσία, αυτό το ποσοστό έπεσε στο 18% τον Αύγουστο του 2024. Αυτό έγινε εφικτό μέσω της διαφοροποίησης των ενεργειακών προμηθειών, με το LNG να παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία.

Παράλληλα, οι χώρες της ΕΕ συνεργάστηκαν για να μειώσουν τη συνολική ζήτηση ενέργειας. Από τον Αύγουστο του 2022 έως τον Μάιο του 2024, η κατανάλωση φυσικού αερίου μειώθηκε κατά 18%, συγκριτικά με τον μέσο όρο των προηγούμενων πέντε ετών. Αυτή η μείωση ήταν αποτέλεσμα συγκεκριμένων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας που εφαρμόστηκαν σε όλη την Ευρώπη.

Εξίσου σημαντική ήταν η ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας μέσω της αύξησης των αποθεμάτων φυσικού αερίου. Οι αποθηκευτικές εγκαταστάσεις γέμισαν σχεδόν πλήρως (99%) τον Οκτώβριο του 2023, εξασφαλίζοντας επάρκεια ενέργειας για τους κρύους μήνες του χειμώνα. Τον επόμενο χρόνο, τον Οκτώβριο του 2024, τα αποθέματα παρέμειναν πάνω από το 90%, αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα των νέων στρατηγικών.

Τέλος, η ΕΕ επένδυσε ουσιαστικά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενισχύοντας περαιτέρω την προσπάθεια ενεργειακής απεξάρτησης. Το 2023 ήταν μια χρονιά-ορόσημο για την ηλιακή ενέργεια, με την εγκατάσταση 56 γιγαβάτ νέας φωτοβολταϊκής δυναμικότητας – μια εντυπωσιακή αύξηση 60% σε σχέση με το 2021. Μάλιστα, τον Μάιο του 2022, η Ευρώπη παρήγαγε για πρώτη φορά περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από τον άνεμο και τον ήλιο παρά από ορυκτά καύσιμα.

Αυτά τα βήματα δείχνουν ότι η Ευρώπη όχι μόνο κατάφερε να ανταποκριθεί στις προκλήσεις της ενεργειακής κρίσης, αλλά και να θέσει τα θεμέλια για έναν πιο βιώσιμο και ανεξάρτητο ενεργειακό μέλλον. Το LNG, μαζί με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, υπήρξε καταλύτης για αυτήν την αλλαγή, προσφέροντας ευελιξία και ενίσχυση της ασφάλειας εφοδιασμού.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε το σχέδιο REPowerEU τον Μάιο του 2022, όπου καθορίζει μέτρα για την αντιστάθμιση της σταδιακής κατάργησης των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων από τη Ρωσία. Με το σχέδιο REPowerEU εξασφαλίζεται η διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού μέσω σύναψης συμφωνιών με τρίτες χώρες για εισαγωγές αερίου αγωγών και μέσω επενδύσεων στην κοινή αγορά υδροποιημένου φυσικού αερίου. Επιπλέον, η εξαγωγή φυσικού αερίου στην Ευρώπη επικυρώθηκε μέσω υπογραφής συμφωνιών με την Αίγυπτο και το Ισραήλ.⁴⁰

Η Επιτροπή πρότεινε την «επιτάχυνση της μετάβασης σε καθαρές μορφές ενέργειας» και τη «διαφοροποίηση των πηγών ενέργειας». Η τροποποίηση αρκετών νομοθετικών προτάσεων προσαρμογής στον στόχο του 55 % βρίσκεται στο επίκεντρο της προγραμματισμένης επιτάχυνσης. Ζήτησε επίσης υπερδιπλασιασμό της παραγωγής

⁴⁰ [REPowerEU](#)

φωτοβολταϊκής ενέργειας έως το 2025 και σχεδόν τετραπλασιασμό έως το 2030, συμπεριλαμβανομένης μιας νομικά δεσμευτικής υποχρέωσης εγκατάστασης ηλιακής ενέργειας σε στέγες νέων κτιρίων, απλουστευμένων διαδικασιών αδειοδότησης και σχεδιασμού για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και νομικών υποχρεώσεων για την αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης των υφιστάμενων κτιρίων.

Επιπλέον, το REPowerEU στοχεύει στη γεωγραφική διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης των εισαγωγών υδροποιημένου φυσικού αερίου από όλο τον κόσμο. Αυτό απαιτεί την κατασκευή νέων υποδομών φυσικού αερίου, όπως τερματικών σταθμών και αγωγών υδροποιημένου φυσικού αερίου, που δημιουργούν σημαντικούς κινδύνους εγκλωβισμού άνθρακα εντός και εκτός της ΕΕ (Bouckaert και Dupont, 2022 Conti και Kneebone, 2022) και, εάν δεν αντιμετωπιστεί σωστά, αυξημένες εκπομπές μεθανίου που σχετίζονται με το LNG (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2022). Το μεγαλύτερο μέρος των εκτιμώμενων πρόσθετων επενδύσεων ύψους 300 δισεκατομμυρίων EUR που απαιτούνται για το REPowerEU πρόκειται να καλυφθεί από υφιστάμενα ταμεία, ιδίως από τον Μηχανισμό Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας που δημιουργήθηκε αρχικά για τον μετριασμό των οικονομικών επιπτώσεων της κρίσης COVID-19. (Commission)

Η εντεινόμενη ενεργειακή κρίση μετά τη ρωσική εισβολή έτεινε αρχικά να ευνοήσει πολιτικά την αύξηση των φιλοδοξιών των προτάσεων Fit for 55, παρά την ταυτόχρονη παρουσία ορισμένων αντισταθμιστικών δυνάμεων. Υποδεικνύοντας μια πιθανή αποδυνάμωση του χάσματος Ανατολής-Δύσης, η γενική υποστήριξη για την ενεργειακή μετάβαση φάνηκε να είναι ισχυρότερη ακόμη και μεταξύ των παραδοσιακών σκεπτικιστών, όπως η Πολωνία και άλλα ανατολικά κράτη μέλη, τα οποία φάνηκαν να βλέπουν τη μετάβαση όλο και περισσότερο μέσω ενός συμπαθητικού φακού ενεργειακής ασφάλειας παρά σκεπτικιστικής πολιτικής για το κλίμα. Ωστόσο, η τάση αυτή ήταν λιγότερο ορατή όσον αφορά συγκεκριμένες προτάσεις. Ενώ φάνηκε να υπάρχει ευρεία υποστήριξη στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο για τον αυξημένο στόχο του 45% για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεν υπήρχε ακόμη σαφής πλειοψηφική υποστήριξη στο Συμβούλιο. (Council, Fit for 55, 2024)

Λόγω της επίθεσης της Ρωσίας κατά της Ουκρανίας οι αγορές ενέργειας είχαν διαταραχθεί και η τιμή της ενέργειας είχε αυξηθεί (η τιμή του φυσικού αερίου είχε φτάσει σε πρωτοφανή κορύφωση τον Αύγουστο του 2022). Η Ευρωπαϊκή Ένωση θέλοντας να εξασφαλίσει την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και να προστατεύσει τους πολίτες από τις υψηλότερες τιμές ενέργειας αποφάσισε να αυξήσει τα αποθέματα αερίου. Αρχικά η ΕΕ θέλησε να απομακρυνθεί από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα, με αποτέλεσμα οι εισαγωγές φυσικού αερίου από το 40% των συνολικών εισαγωγών ο 2021 μειώθηκαν σε 15% το 2021.

Τον Ιούνιο του 2022 εξέδωσαν έναν κανονισμό όπου προέβλεπε ότι οι υπόγειες εγκαταστάσεις αποθήκευσης αερίου στην επικράτεια των κρατών μελών θα έπρεπε να πληρωθούν τουλάχιστον κατά 80% της δυναμικότητας πριν από το χειμώνα του 2022/2023 και κατά 90% πριν από τις επόμενες χειμερινές περιόδους. Αυτός ο κανονισμός τέθηκε αμέσως σε εφαρμογή και έτσι τον Οκτώβριο του 2022 το επίπεδο πλήρωσης έφτασε το 90%.

Κατά το έτος 2023 το επίπεδο πλήρωσης ήταν αρκετά ικανοποιητικό και οι δεξαμενές αερίου πριν από τη χειμερινή περίοδο ήταν σχεδόν πλήρης σε όλες τις χώρες της

Ευρωπαϊκής Ένωσης που διαθέτουν εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Οι χώρες με τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις αποθήκευσης αερίου είναι η Γερμανία ακόμα η Ιταλία, η Γαλλία, οι Κάτω Χώρες και η Αυστρία. Όσον αφορά τις χώρες που δεν διέθεταν εγκαταστάσεις αποθήκευσης, έπρεπε να αποθηκεύσουν το 15% της ετήσιας εγχώριας κατανάλωσης αερίου σε δεξαμενές που βρίσκόντουσαν σε άλλα κράτη μέλη και συνεπώς να έχουν πρόσβαση σε αποθέματα αέριο που είναι αποθηκευμένα σε αυτά. Έτσι, με αυτό το μηχανισμό η ασφάλεια του εφοδιασμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα εξασφαλιζόταν με επιμερισμένη οικονομική επιβάρυνση όσο αφορά την πλήρωση της δυναμικότητας αποθήκευσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η διαφοροποίηση του εφοδιασμού και των προμηθευτών ήταν απαραίτητο βήμα για την ενίσχυση της ενεργειακής ανθεκτικότητας και αυτονομίας της ΕΕ, ιδίως σε περίπτωση ενεργειακών ελλείψεων. Οι στόχοι της ΕΕ είναι η αύξηση του όγκου των εισαγωγών από χώρες-εταίρους, ιδίως τις ΗΠΑ και τη Νορβηγία και η επιτάχυνση εισαγωγών υδροποιημένου φυσικού αερίου με παράλληλη μείωση του ρωσικού αερίου αγωγών.

Ο πόλεμος της Ρωσίας με την Ουκρανία οδήγησε πολλές χώρες της Ευρώπης στο να στραφούν σε διαφορετικές πηγές ενέργειας. Από αυτό το γεγονός και έπειτα τέθηκε το ερώτημα αν θα πρέπει να η Ευρώπη να αυξήσει τις εισαγωγές της ως προς το LNG. Δημιουργώντας νέες υποδομές και τερματικά εισαγωγής στην Ευρώπη, η εισαγωγή του ήταν πιο εύκολη. Έως το 2030 χωρητικότητα των τερματικών σταθμών LNG στην Ευρώπη πρόκειται να ξεπεράσει τα 400 δισεκατομμύρια m³ κάτι το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο για το μέλλον καθώς δρα ως αποθηκευτικός χώρος. (Kohnert, 2023)

Ταυτόχρονα, μια συμφωνία μεταξύ της Ευρώπης και της Αφρικής σχετικά με το υδρογόνο και την προστασία του περιβάλλοντος, ρισκάρει τις υποδομές της σε ποσοστό 50% και άνω, να είναι αχρησιμοποίητες έως το 2030. Παρόλα αυτά, σε αυτή τη αλλαγή ενεργειακών πηγών, η Ευρώπη θα πρέπει να έχει αποθέματα LNG ώστε να αποφύγει τις υψηλές τιμές. Τέλος, σε περίπτωση αποτυχίας του παραπάνω πλάνου με το υδρογόνο σε συνεργασία με τις χώρες της Αφρικής, το LNG δεν θα είναι αρκετό για τις ενεργειακές ανάγκες της Ευρώπης.

17 Συμπεράσματα

Το LNG φέρει πλεονεκτική θέση έναντι των παραδοσιακών πηγών ενέργειας από ορυκτά καύσιμα καθώς έχει μεγαλύτερη αποδοτικότητα, είναι περισσότερο ασφαλές ως προς την μεταφορά του και τέλος είναι πιο φιλικό ως προς το περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια το LNG έχει αποκτήσει παγκόσμια χρήση σε πλοία, αυτοκίνητα και στην θέρμανση.

Η διπλωματική αυτή εργασία ανέδειξε τον κομβικό ρόλο του Υδροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) στην προσπάθεια της Ευρώπης για ενεργειακή απεξάρτηση και ενεργειακή ασφάλεια. Η ανάγκη για διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών έγινε ακόμα πιο επείγουσα λόγω της κρίσης που προκάλεσε ο πόλεμος στην Ουκρανία, καθώς οι σχέσεις Ευρώπης-Ρωσίας, με τη Ρωσία να αποτελεί για χρόνια τον βασικό προμηθευτή φυσικού αερίου, έχουν διαταραχθεί ανεπανόρθωτα.

Η Ευρώπη έχει κάνει σημαντικά βήματα για τη μείωση της εξάρτησής της από το ρωσικό φυσικό αέριο, επιταχύνοντας τη μετάβαση σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας,

όπως το LNG. Οι νέες υποδομές για εισαγωγή LNG, όπως οι τερματικοί σταθμοί και τα πλοία FSRU (Floating Storage Regasification Units), έχουν συμβάλει στη δυνατότητα αποθήκευσης και επεξεργασίας μεγαλύτερων ποσοτήτων LNG. Παράλληλα, η Ευρώπη έχει ενισχύσει τις σχέσεις της με χώρες-παραγωγούς LNG, όπως οι ΗΠΑ, το Κατάρ και η Αυστραλία, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη ποικιλία στις πηγές εφοδιασμού της.

Παρά την πρόοδο, η μετάβαση στο LNG συνοδεύεται από σημαντικές οικονομικές προκλήσεις. Το LNG είναι ακριβότερο από το φυσικό αέριο μέσω αγωγών, γεγονός που αυξάνει το ενεργειακό κόστος για τα κράτη-μέλη και επηρεάζει τις τιμές για τα νοικοκυριά και τις επιχειρήσεις. Παράλληλα, η Ευρώπη επενδύει σε υποδομές και συμφωνίες μακροχρόνιων προμηθειών LNG, κάτι που απαιτεί υψηλές δημόσιες και ιδιωτικές δαπάνες.

Παρόλο που το LNG θεωρείται πιο «καθαρό» καύσιμο σε σύγκριση με τον άνθρακα ή το πετρέλαιο, η ευρεία χρήση του δεν είναι εντελώς φιλική προς το περιβάλλον. Οι διαδικασίες που απαιτούνται για την εξόρυξή του, την υγροποίηση και τη μεταφορά του, προκαλούν σημαντικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου, επιβαρύνοντας την ατμόσφαιρα. Επιπλέον, η κατασκευή νέων υποδομών LNG μπορεί να διατηρήσει τη μακροχρόνια εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τους στόχους για την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης.

Παρόλα αυτά, αν συνδυαστεί με την ταυτόχρονη ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, το LNG μπορεί να αποτελέσει μια «γέφυρα» για τη μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό μέλλον. Προσφέρει ευελιξία και σταθερότητα στα ενεργειακά συστήματα, υποστηρίζοντας τη σταδιακή αντικατάσταση των πιο ρυπογόνων καυσίμων και προετοιμάζοντας το έδαφος για έναν πιο καθαρό πλανήτη.

Η ενεργειακή στρατηγική της Ευρώπης στοχεύει σε πλήρη απεξάρτηση από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα έως το 2030, με το LNG να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε αυτή την κατεύθυνση. Παράλληλα, η ενίσχυση της τεχνολογίας για την αποθήκευση ενέργειας και η εντατική προώθηση της πράσινης ενέργειας αναμένεται να μειώσουν σταδιακά την εξάρτηση από το LNG. Οι γεωπολιτικές εξελίξεις και η σταθερότητα στις σχέσεις με τους παραγωγούς LNG θα καθορίσουν την αποτελεσματικότητα αυτής της στρατηγικής.

Το LNG δεν αποτελεί τη μοναδική λύση, αλλά έναν κρίσιμο παράγοντα στη συνολική ενεργειακή πολιτική της Ευρώπης. Η χρήση του πρέπει να συνοδεύεται από επενδύσεις σε καθαρές τεχνολογίες και μακροπρόθεσμο σχεδιασμό, ώστε να επιτευχθεί ενεργειακή ασφάλεια χωρίς να θυσιάζεται η περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

18 Βιβλιογραφία

- 2024 *World LNG Report*. (2024). Retrieved from International Gas Union: <https://www.igu.org/resources/2024-world-lng-report/>
- ACER. (2024, March 20). *Key developments in European gas wholesale markets*. European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators. Retrieved from https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/ACER_2024_MMR_Key_developments_gas.pdf
- Bearak, M. (2024). *Why Greece Is Betting Big on American Gas*. Retrieved from The New York Times: <https://www.nytimes.com/2024/05/31/climate/greece-europe-natural-gas-lng.html>
- Bialy, R., Janusz, P., Łaciak, M., Olkusi, T., Ruszel, M., & Szurlej, A. (n.d.). The role of LNG supplies in balancing natural gas demand in EU countries. *Energy and Fuels* 2018. Retrieved from <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910802014>
- Boussidan, N. (2023). *Everything you need to know about hydrogen in the clean energy transition*. Retrieved from World Economic Forum: <https://www.weforum.org/stories/2023/01/hydrogen-clean-energy-transition-2023/>
- BP. (2022). *bp Statistical Review of World Energy*. Retrieved from <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>
- BP. (2024). *bp Energy Outlook*. Retrieved from <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2024.pdf>
- Chenxi Ji, S. Y.-H. (2023). Risk informed floating storage and re-gasification unit (FSRU) location selection for local natural gas supply. *Ocean Engineering*, 268. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113357>
- Commission, E. (n.d.). *REPowerEU*. European Commission. Retrieved from https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en?fbclid=IwAR33bxUduEpW_9KHTos5cWEZutwd8qfcGrP172pmD4nB5cUHRIEITUTrHEI
- ConocoPhillips. (2024). Retrieved from Optimized Cascade Process | ConocoPhillips LNG Technology & Licensing
- Council, E. (2024). *Energy prices and security of supply*. European Council. Retrieved from <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/energy-prices-and-security-of-supply/>
- Council, E. (2024). *Fit for 55*. European Council. Ανάκτηση από <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/>
- Council, E. (2024). *Liquefied natural gas infrastructure in the EU*. European Council. Ανάκτηση από <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/lng-infrastructure-in-the-eu/#0>

- Deeb, H. (2013). *Structural design of mega LNG carrier*. Retrieved from <https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/6117/1/Deeb%20Hasan%20%28EMSHIP%20Thesis%20Feb%202013%29%20ZUT.pdf>
- Deloitte. (n.d.). *The future of Greek Power & Gas Networks*. Retrieved from <https://www.haee.gr/FileServer?file=9b474155-954a-44ac-90bf-9f3c1da17853>
- Erik Vanem, F. D. (n.d.). Analysing the risk of LNG carrier operations. *Science Direct*, 18. doi:10.1016/j.res.2007.07.007
- Erik Vanema, P. A. (2008). *Reliability Engineering & System Safety, Analysing the risk of LNG carrier operations*. Ανάκτηση από https://www.researchgate.net/publication/223190585_Analysing_the_risk_of_LNG_carrier_operations
- Erik Vanema, P. A. (2008). *Reliability Engineering & System Safety, Analysing the risk of LNG carrier operations*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/223190585_Analysing_the_risk_of_LNG_carrier_operations
- Euronews. (2024). *New LNG system opens in Greece aiming to reduce reliance on Russian gas*. Retrieved from euronews: <https://www.euronews.com/2024/09/30/new-lng-system-opens-in-greece-aiming-to-reduce-reliance-on-russian-gas>
- Europe, G. L. (n.d.). Retrieved from elengy: <https://www.elengy.com/en/what-lng>
- European LNG Tracker*. (2024). Retrieved from Institute for Energy Economics and Financial Analysis: <https://ieefa.org/european-lng-tracker-september-2024-update>
- Fahmy, M., Nahib, H., & El-Rasoul, T. (2015). Optimization and comparative analysis of LNG. *Elsevier*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.08.035>
- Fevre, L. (2018). *A review of demand prospects for LNG as a marine fuel*. Oxford Institute for Energy Studies. Oxford Institute for Energy Studies. doi:10.26889/9781784671143
- Ganta, H. &. (2024). Sustainability and Technoeconomic Assessment of Polygeneration Process for LNG Cold Recovery. *Chemical Engineering & Technology*. doi: 47. 10.1002/ceat.202400174
- GIIGNL. (2019). *LNG information papers*. Retrieved from giignl: https://giignl.org/wp-content/uploads/2021/10/giignl2019_infopapers1.pdf
- GIIGNL. (2019). *The international group of liquified natural gas importers: Questions and Answers (Q&A's)*. Ανάκτηση από https://giignl.org/wp-content/uploads/2021/10/giignl2019_infopapers_gas.pdf
- GIIGNL. (2023). *GIIGNL Annual Report*. Retrieved from <https://giignl.org/wp-content/uploads/2023/07/GIIGNL-2023-Annual-Report-July20.pdf>
- Greece LNG Market*. (2002). Retrieved from International Trade Administration: <https://www.trade.gov/market-intelligence/greece-lng-market#:~:text=Currently%2C%20Greece%20purchases%20LNG%20from%20many>

%20nations%20including,United%20States%20was%20the%20largest%20supplier%20to%20Greece.

Haneul Mun, D. K. (2024). Advanced dual mixed refrigerant (DMR) natural gas liquefaction plant with liquid air: Focus on configuration and optimization. *Elsevier*, 313, 15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133747>

He, T., Karimi, I. A., & Ju, Y. (2018). Review on the design and optimization of natural gas liquefaction processes for onshore and offshore applications. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.01.002>

Henderson, G. (2021). The Key Role of LNG and Hydrogen in the Energy Transition. (T. M. Executive, Interviewer) Retrieved from <https://maritime-executive.com/editorials/the-key-role-of-lng-and-hydrogen-in-the-energy-transition>

Hönig, V., Prochazka, P., Obergruber, M., & Kučerová, V. (2019). Economic and Technological Analysis of Commercial LNG Production in the EU. *Energies*, 17. doi:10.3390/en12081565

iea. (2020). *Energy Technology Perspectives 2020*. Ανάκτηση από https://iea.blob.core.windows.net/assets/181b48b4-323f-454d-96fb-0bb1889d96a9/CCUS_in_clean_energy_transitions.pdf

IEA. (2022). *How Europe can cut natural gas imports from Russia significantly within a year*. IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/news/how-europe-can-cut-natural-gas-imports-from-russia-significantly-within-a-year>

IEA. (2024). *Europe has taken its energy destiny back into its own hands*. Paris: IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/commentaries/europe-has-taken-its-energy-destiny-back-into-its-own-hands>

Jensen, J. t. (2004). The Development of Global LNG Market Is it likely? If so when? Oxford Institute for Energy Studies. Ανάκτηση από <https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:42bdc260-ac4d-47ea-8cf4-f9d8ebf1f740/files/m0efbf82b783097368ca04f7c5b07a655>

Jinrui, Z., Meerman, H., Benders, R., & Faaij, A. (2020). *Comprehensive review of current natural gas liquefaction processes on technical and economic performance*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114736>

Kohnert, D. (2023). *Prospects for LNG and Hydrogen Export from Sub-Saharan Africa to the EU*. GIGA - Hamburg, Institute of African Affairs. doi:<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4658324>

Łaciak, M., Sztekler, K., Szurlej, A., & Wlodek, T. (2019). Possibilities of Liquefied Natural Gas (LNG) use for power generation. *Earth and Environmental Science*. doi:10.1088/1755-1315/214/1/012138

Lee, S. H., Lim, D.-H., & Park, K. (2020). Optimization and Economic Analysis for Small-Scale Movable LNG Liquefaction Process with Leakage Considerations. Ανάκτηση από https://www.researchgate.net/publication/343453471_Optimization_and_Economic_

Analysis_for_Small-Scale_Movable_LNG_Liquefaction_Process_with_Leakage_Considerations/link/5f2b700b458515b729069cb9/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uI

LNG as a Fuel. (n.d.). Retrieved from center for LNG: <https://www.lngfacts.org/lng-as-a-fuel/>

LNG Export & Import Shipping Routes. (2024, January 11). Retrieved from INCORRYS: <https://incorrys.com/liquefied-natural-gas-lng-forecast/lng-export-import-countries/>

Noble. (2009). A short history of lng shipping. *Texas Section SNAME*. Ανάκτηση από <https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/SNAME/1dcdb863-8881-4263-af8d-530101f64412/UploadedFiles/c3352777fcaa4c4daa8f125c0a7c03e9.pdf>

Oladipo Olugbenga Adekoya, A. A. (2023, December 30). A comprehensive review of Liquefied Natural Gas (LNG) market dynamics: Analyzing the current trends, challenges, and opportunities in the global LNG market. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 59. doi:<https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.1.2686>

Oladipo Olugbenga Adekoya, A. A. (2023). A comprehensive review of Liquefied Natural Gas (LNG) market dynamics: Analyzing the current trends, challenges and opportunities in the global LNG market. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. doi:<https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.1.2686>

Paul Balcombe, D. A. (2022). *Total Methane and CO2 Emissions from Liquefied Natural Gas Carrier Ships: The First Primary Measurements*. doi:<https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01383?urlappend=%3Fref%3DPDF&jav=VoR&rel=cite-as>

Pospíšila, J., Charvát, P., Arsenyeva, O., Klimeš, L., Špiláček, M., & Klemeš, J. J. (2018). Energy demand of liquefaction and regasification of natural gas and the potential of LNG for operative thermal energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.027>

Prime, L. (2024). *Greek LNG imports drop in 2023*. LNG Prime. Ανάκτηση από <https://lngprime.com/lng-terminals/greek-lng-imports-drop-in-2023/102485/>

(2023). *Quarterly report on European gas markets*. European Commission. Retrieved from https://energy.ec.europa.eu/system/files/2023-12/New_Quarterly_Report_on_European_Gas_markets_Q2_2023.pdf

Rapier, R. (2024, October 16). *Energy Network*. Retrieved from <https://shalemag.com/lng-cleaner-than-coal/>

REPowerEU: energy policy in EU countries' recovery and resilience plans. (2024). Retrieved from European Council: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/eu-recovery-plan/repowereu/>

S. Faramawy, T. X.-E. (2016). Natural gas origin, composition, and processing: A review. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 1-21. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2016.06.030>

- Sakmar, S. L. (2013). *Energy for the 21st Century: Opportunities and Challenges for Liquefied Natural Gas*. Edward Elgar. doi:Energy for the 21st Century: Opportunities and Challenges for Liquefied ... - Susan L. Sakmar - Βιβλία Google
- Satish Kumar, Hyouk-Tae Kwon, Kwang-Ho Choi, Jae Hyun Cho, & Wonsub Lim. (2011). *Current Status and future projections of LNG demand and supplies: A global perspective*. Energy Policy. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.03.067>
- SEA-LNG. (2021, April 13). *The definitive study of lifecycle analysis for LNG as a marine fuel*. Retrieved from SEA-LNG: <https://sea-lng.org/2021/04/independent-study-confirms-lng-reduces-shipping-ghg-emissions-by-up-to-23/>
- SEA-LNG. (2024). *LNG-Leading Maritime Decarbonisation*. SEA-LNG. Retrieved from https://sea-lng.org/wp-content/uploads/2024/01/24-01-28_FINAL_A_View_From_The_Bridge_2024.pdf
- Shell. (2024). *Shell Global*. Retrieved from Floating LNG | Shell Global
- Shouheng Sun, M. E. (2020). Life cycle assessment and risk assessment of liquefied natural gas vehicles promotion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111769>
- Study on Optimal Use of Small-scale Shallow-draft LNG Carriers and FSRUs in the APEC Region (2020). Retrieved from https://www.apec.org/docs/default-source/publications/2020/4/study-on-optimal-use-of-small-scale-shallow-draft-lng-carriers-and-fsrus-in-the-apec-region/220_ewg_study-on-optimal-use-of-small-scale-shallow-draft-lng-carriers-and-fsrus-in-the-apec-region.pdf
- The Role of LNG in the Energy Transition*. (2024). Ανάκτηση από John Crane: <https://www.johncrane.com/en/resources/blog/2024/the-role-of-lng-in-the-energy-transition>
- Won, W. L. (2014). Current trends for the floating liquefied natural gas (FLNG) technologies. *Korean J. Chem. Eng.* 31, 732–743. doi:<https://doi.org/10.1007/s11814-014-0047-x>
- Woxvold, I. A. (2008). *Assessment and Impact Analysis of Terrestrial Biodiversity at the LNG Facilities Site*.
- Zou, Q., Yi, C., Wang, K., Yin, X., & Zhang, Y. (2022). Global LNG market: supply-demand and economic analysis. *Earth and Environmental Science*, 3. doi:10.1088/1755-1315/983/1/012051
- ΔΑΠΕΕΠ. (χ.χ.). *Ενεργειακό Μείγμα*. Ανάκτηση από <https://www.dapeep.gr/viosimi-anaptixi/energeiako-meigma/>
- Σπάθης, Ρ. (2023). *Η κρίση στο Σουέζ απειλεί τη διεθνή οικονομία*. Ανάκτηση από Kathimerini: <https://www.kathimerini.com.cy/gr/oikonomiki/oikonomia/i-krisi-sto-soyez-apeilei-ti-diethni-oikonomia>