

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΝ**



**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ  
ΣΠΟΥΔΩΝ**

**στην  
ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

**“Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ LNG ΑΓΟΡΑΣ, ΟΙ  
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΤΟ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ”**

**Δημητρακοπούλου Ουρανία**

Διπλωματική εργασία

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών

του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος

των απαιτήσεων για την απόκτηση

του Μεταπτυχιακού Διπλώματος στην Ναυτιλία.

Πειραιάς,

17/09/2024

## **ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ**

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστική συγγραφέας της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας (ΜΔΕ), για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην ΜΔΕ αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία, είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στη ΜΔΕ μου και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η ΜΔΕ προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

ΔΗΜΗΤΡΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΟΥΡΑΝΙΑ

30/03/2024

## **Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη 1ΣΕΣ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- Ο Καθηγητής Πολέμης Διονύσιος (Επιβλέπων)
- Ο Καθηγητής Λαγούδης Ιωάννης
- Ο Καθηγητής Ναούμ Βασίλειος - Χρήστος

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

## **Δήλωση Αυθεντικότητας / Ζητήματα Copyright**

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

## **Ευχαριστίες**

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο «Η ανάλυση της LNG αγοράς και οι επιπτώσεις σε οικονομία και περιβάλλον κατά τη μεταφορά του δια θαλάσσης» πραγματοποιήθηκε στο μεταπτυχιακό του τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς με επιβλέπων καθηγητή τον κύριο Διονύσιο Πολέμη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή, κο Πολέμη, για την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε αναθέτοντας μου την παρούσα διπλωματική εργασία καθώς και για την καθοδήγησή του σχετικά με την εκπόνηση της εργασίας.

Θα ήταν σημαντική παράλειψη να μην ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την απόλυτη εμπιστοσύνη που μου δείχνει όλα αυτά τα χρόνια, την στήριξη που μου προσφέρει, τόσο οικονομική όσο και ψυχολογική, καθώς επίσης και τις αξίες που μου μετέδωσε. Επιπλέον, ένα μεγάλο ευχαριστώ αξίζει το κοντινό μου περιβάλλον για την κατανόηση που επέδειξε κατά τη διάρκεια όλου αυτού του διαστήματος και την ηθική στήριξη που μου έδωσε.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις μέρες μας, το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (Υ.Φ.Α) καταλαμβάνει ολοένα και μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς παγκοσμίως. Η συγκεκριμένη αγορά αναπτύσσεται με ραγδαίους ρυθμούς στις θαλάσσιες μεταφορές ενέργειας. Η Ελλάδα αποτέλεσε έναν από τους πρωτοπόρους στη χρήση του LNG στην Ευρώπη, ενώ συνεχώς αυξάνονται τα πλοία που πληρούν τις προδιαγραφές καύσης του LNG.

Ωστόσο, το συγκεκριμένο καύσιμο εγείρει διάφορους προβληματισμούς γύρω από το ζήτημα του περιβάλλοντος. Παρόλο που θεωρείται μία εναλλακτική του πετρελαίου με μεγαλύτερα περιβαλλοντικά οφέλη, δεν παύει να ελλοχεύει τους δικούς του κινδύνους.

Η παρούσα εργασία διερευνά τις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Σε αρχικό στάδιο γίνεται εισαγωγή στην έννοια του φυσικού και υγροποιημένου φυσικού αερίου, παρουσιάζοντας βασικά στοιχεία όπως η ιστορία, οι βασικές χρήσεις και η παραγωγική του διαδικασία.

Έπειτα, γίνεται μία ανάλυση της αγοράς, δίνοντας έμφαση στις εξαγωγές του LNG για τα έτη 2022 και 2023, την επίδραση του πολέμου Ρωσίας-Ουκρανίας στην προσφορά και ζήτησή του, καθώς και την επίδραση του covid-19 σε αυτή. Στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάζεται και ο τερματικός σταθμός της Ρεβυθούσας που αποτελεί σημείο αναφοράς για την ελληνική αγορά.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τόσο τα οφέλη όσο και οι επιπτώσεις του LNG σε περιβαλλοντικό και οικονομικό επίπεδο. Το κεφάλαιο αυτό δίνει ιδιαίτερη έμφαση στις επιπτώσεις των μεταφορικών μεθόδων του LNG.

Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα που διεξήχθησαν, τονίζοντας τα βασικά σημεία.

**Λέξεις Κλειδιά:** LNG, Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο, επιπτώσεις, οικονομία, περιβάλλον, ναυτιλία

## **ABSTRACT**

Nowadays, Liquefied Natural Gas (LNG) occupies an increasingly larger share of the market worldwide. This particular market is developing rapidly in maritime energy transport. Greece was one of the pioneers in the use of LNG in Europe, while the number of ships that meet the LNG combustion specifications is constantly increasing.

However, this particular fuel raises various concerns regarding the environment. Although it is considered an alternative to petroleum with greater environmental benefits, it does not stop lurking its own risks.

This paper investigates the environmental and economic impacts of liquefied natural gas. At an initial stage, the concept of natural and liquefied natural gas is introduced, presenting basic elements such as its history, main uses and production process.

Then, an analysis of the market is made, emphasizing LNG exports for the years 2022 and 2023, the effect of the Russia-Ukraine war on its supply and demand, as well as the effect of covid-19 on it. In the same chapter, the Revythoussa terminal is also presented, which is a point of reference for the Greek market.

Next, both the benefits and the negative impacts of LNG on an environmental and economic level are presented. This chapter places special emphasis on the effects of LNG transportation methods.

Finally, the paper concludes with the conclusions drawn, highlighting the key points.

**Keywords:** *LNG, Liquefied Natural Gas, impacts, economy, environment, shipping*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ .....	2
Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή.....	3
Δήλωση Αυθεντικότητας / Ζητήματα Copyright.....	4
Ευχαριστίες .....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	6
ABSTRACT.....	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	9
1. ΦΥΣΙΚΟ ΚΑΙ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ .....	10
2. Η ΑΓΟΡΑ ΤΟΥ Υ.Φ.Α.....	23
3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ .....	32
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	42
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	44
Ηλεκτρονικές Πηγές.....	45



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, η παγκόσμια ναυτιλιακή αγορά, αναζητά ολοένα και περισσότερο νέες μορφές καυσίμων, πιο φιλικά στο περιβάλλον και λιγότερο δαπανηρά. Συγκεκριμένα, σκοπός είναι να περιορίζουν τους ρύπους και το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ παράλληλα να μειώνουν τα κόστη χρήσης και μεταφοράς τους. Μία πολλά υποσχόμενη εναλλακτική είναι το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (Υ.Φ.Α. ή LNG), το οποίο αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς και χρησιμοποιείται ολοένα και από περισσότερες χώρες. Το καύσιμο αυτό παρουσιάζει σημαντικά οφέλη στο χώρο της ναυτιλίας, έναντι του πετρελαίου, ωστόσο κρύβει και ορισμένους κινδύνους.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση και ανάλυση του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου, η επισκόπηση της αγοράς και η μελέτη των οικονομικών και περιβαλλοντικών του επιδράσεων. Συμπερασματικά, η εργασία αυτή θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντική πηγή πληροφοριών τους ανθρώπους που ασχολούνται ενεργά και λαμβάνουν αποφάσεις στο χώρο της ναυτιλίας.

Όσον αφορά τη δομή και διάρθρωση της εργασίας, χωρίζεται σε τέσσερα βασικά μέρη. Το πρώτο έχει να κάνει με την εισαγωγή στο φυσικό και υγροποιημένο φυσικό αέριο, όπου γίνεται επισκόπηση των σχετικών όρων, παρουσιάζεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή του LNG, και μελετώνται τα βασικά μέρη της παραγωγικής διαδικασίας όπως είναι η εξόρυξη, η εκφόρτωση, η υγροποίηση και η αποθήκευση του καυσίμου.

Το δεύτερο κομμάτι, εισέρχεται στην ανάλυση της αγοράς, όπου παρουσιάζονται στοιχεία εξαγωγών και συγκεκριμένα οι χώρες που έχουν κυρίαρχο ρόλο στις εξαγωγές, για τα έτη 2022 και 2023. Έπειτα, γίνεται η μελέτη και στην επιρροή που είχαν τα δύο κυριότερα παγκόσμια φαινόμενα της εποχής μας στην αγορά του LNG. Αυτά δεν είναι άλλα από τον πόλεμο της Ρωσίας-Ουκρανίας αλλά και ο υιός covid-19.

Συνεχίζοντας, το τρίτο μέρος αναλύει ουσιαστικά τις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Τέλος, το τέταρτο κομμάτι αφορά τα συμπεράσματα που διεξήχθησαν με την συγκέντρωση όλων των στοιχείων που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

# 1. ΦΥΣΙΚΟ ΚΑΙ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

## 1.1 ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

### 1.1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ;

Το φυσικό αέριο είναι ορυκτό καύσιμο. Όπως και άλλα ορυκτά καύσιμα όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο σχηματίζεται από φυτά, ζώα και μικροοργανισμούς που ζούσαν πριν από εκατομμύρια χρόνια. Υπάρχουν πολλές θεωρίες που εξηγούν πώς δημιουργούνται τα ορυκτά καύσιμα. Η πιο ευρέως αποδεκτή θεωρία είναι ότι σχηματίστηκαν κάτω από σκληρές υπόγειες συνθήκες. Καθώς τα φυτά, τα ζώα και οι μικροοργανισμοί τα διασπούν, σταδιακά καλύπτονται με στρώματα εδάφους, ιζήματα και μερικές φορές βράχους. Η οργανική ύλη συμπιέζεται για εκατομμύρια χρόνια. Όσο πιο βαθιά διεισδύει η οργανική ύλη στον φλοιό της γης, τόσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία.

Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου βρίσκονται συχνά κοντά σε κοιτάσματα πετρελαίου. Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου κοντά στην επιφάνεια της Γης συχνά κρύβονται από κοντινά κοιτάσματα πετρελαίου. Τα ιζήματα που σχηματίζονται σε μεγαλύτερα βάθη και σε υψηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις περιέχουν περισσότερο φυσικό αέριο από το πετρέλαιο. Τα βαθύτερα κοιτάσματα μπορεί να αποτελούνται από καθαρό φυσικό αέριο. Το μεγαλύτερο μέρος του βιομεθανίου απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, αλλά αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες για την ανάκτηση και την αξιοποίηση αυτής της πιθανής πηγής ενέργειας. (Wikipedia.org)

Το θερμογόνο μεθάνιο (φυσικό αέριο που παράγεται βαθιά κάτω από την επιφάνεια της γης) μπορεί επίσης να απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα. Μερικά αέρια ανεβαίνουν μέσα από διαπερατά υλικά, όπως τα πορώδη πετρώματα, και τελικά διαχέονται στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, μεγάλο μέρος του θερμικά παραγόμενου μεθανίου που ανεβαίνει στην επιφάνεια είναι αδιαπέραστο και δεν μπορεί να διαφύγει μέσω δραματικών γεωλογικών σχηματισμών. Τέτοιοι βραχώδεις σχηματισμοί ονομάζονται ιζηματογενείς δεξαμενές.

Οι ιζηματογενείς δεξαμενές περιέχουν τεράστια αποθέματα φυσικού αερίου. Για να αποκτήσετε πρόσβαση σε αυτά τα αποθέματα φυσικού αερίου, πρέπει να ανοίξετε τρύπες (μερικές φορές ονομαζόμενες πηγάδια) στο βράχο για να επιτρέψετε

στο αέριο να διαφύγει και να συλληφθεί. Σε όλο τον κόσμο ανακαλύπτονται ιζηματογενείς δεξαμενές πλούσιες σε φυσικό αέριο. Οι έρημοι της Σαουδικής Αραβίας, οι υγρές τροπικές περιοχές της Βενεζουέλας και η παγωμένη Αρκτική της Αλάσκας είναι όλες πηγές φυσικού αερίου. Εκτός από την Αλάσκα, οι δεξαμενές στις Ηνωμένες Πολιτείες διανέμονται κυρίως γύρω από το Τέξας, τη Λουϊζιάνα και άλλες πολιτείες που βλέπουν στον Κόλπο του Μεξικού. Πρόσφατα, μεγάλες εγκαταστάσεις γεώτρησης έχουν αναπτυχθεί σε δεξαμενές ιζηματογενούς πετρώματος σε βόρειες πολιτείες όπως η Βόρεια Ντακότα, η Νότια Ντακότα και η Μοντάνα. Ο συνδυασμός συμπίεσης και υψηλών θερμοκρασιών προκαλεί τη διάσπαση των δεσμών άνθρακα στην οργανική ύλη. Η διαδικασία της μοριακής αποσύνθεσης έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή θερμικά παραγόμενου μεθανίου, κοινώς φυσικού αερίου. Το μεθάνιο, που αποτελείται από άνθρακα και υδρογόνο ( $\text{CH}_4$ ), θεωρείται ευρέως ως η πιο άφθονη οργανική ένωση που βρίσκεται στον πλανήτη μας. (U.S. Energy Information Administration, 2022)

### *1.1.2 ΤΥΠΟΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ*

Το φυσικό αέριο που είναι φθηνό στην παραγωγή και άμεσα διαθέσιμο θεωρείται "συμβατικό". Το συμβατικό φυσικό αέριο παγιδεύεται σε διαπερατά υλικά κάτω από αδιαπέραστα πετρώματα. Τα αέρια σε άλλα γεωλογικά περιβάλλοντα δεν είναι πάντα εύκολο ή πρακτικό να εξαχθούν. Τέτοια αέρια ονομάζονται "μη συμβατικά" αέρια. Αναπτύσσονται συνεχώς νέες τεχνολογίες και διαδικασίες που καθιστούν την εξόρυξη μη συμβατικών αερίων πιο προσιτή και οικονομικά βιώσιμη. Με την πάροδο του χρόνου, τα αέρια που κάποτε θεωρούνταν "μη συμβατικά" μπορεί να γίνουν συμβατικά.

Το βιοαέριο είναι ένα αέριο που παράγεται από την από σύνθεση οργανικής ύλης χωρίς πρόσβαση σε οξυγόνο. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αναερόβια χώνευση και λαμβάνει χώρα σε χώρους υγειονομικής ταφής όπου αποσυντίθενται οργανικά υλικά όπως ζωικά απόβλητα, λύματα και βιομηχανικά υποπροϊόντα. Το βιοαέριο είναι βιολογικό υλικό που προέρχεται από φυτά και ζώα που μπορεί να είναι ζωντανά ή μη ζωντανά. Το υλικό αυτό, όπως τα δασικά απόβλητα, μπορεί να καεί για την παραγωγή μιας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Τέλος, το βιοαέριο περιέχει λιγότερο μεθάνιο από το φυσικό αέριο, αλλά μπορεί να υποστεί επεξεργασία και να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας.

Άλλος ένας τύπος είναι το βαθύ φυσικό αέριο είναι ένα μη συμβατικό αέριο. Ενώ το συμβατικό φυσικό αέριο βρίσκεται αρκετές χιλιάδες μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης, το βαθύ φυσικό αέριο βρίσκεται τουλάχιστον 4.500 μέτρα κάτω από την επιφάνεια. Η ανόρυξη γεωτρήσεων για την εξόρυξη φυσικού αερίου σε μεγαλύτερα βάθη δεν είναι πάντα οικονομικά εφικτή, αν και οι τεχνολογίες εξόρυξης αναπτύσσονται και βελτιώνονται. (Nieuwoudt, 2007)

Το σχιστολιθικό αέριο είναι επίσης ένας τύπος μη συμβατικού κοιτάσματος. Ο σχιστόλιθος είναι ένα λεπτό κόκκοι ιζηματογενές πέτρωμα που δεν αποσυντίθεται στο νερό. Ορισμένοι επιστήμονες λένε ότι ο σχιστόλιθος είναι αδιαπέραστος από το νερό και ότι το μάρμαρο είναι "σπογγώδες". Αυτό το παχύ στρώμα αδιαπέραστου πετρώματος μπορεί να "στριμώξει" στρώμα τα φυσικού αερίου ανάμεσά τους. Το σχιστολιθικό αέριο θεωρείται μη συμβατική πηγή φυσικού αερίου επειδή απαιτεί δύο δύσκολες διαδικασίες: την υδραυλική ρωγμάτωση (γνωστή και ως fracking) και την οριζόντια γεώτρηση. Η υδραυλική ρωγμάτωση είναι μια διαδικασία κατά την οποία ένα ρεύμα νερού υψηλής πίεσης χρησιμοποιείται για να διασπάσει το πέτρωμα και να το "γεμίσει" με μικροσκοπικούς κόκκους άμμου, γυαλιού ή πυριτίου. Αυτό επιτρέπει στο φυσικό αέριο να ρέει πιο ελεύθερα μέσα στη γεώτρηση. Η οριζόντια γεώτρηση είναι η διαδικασία της διάτρησης κατ' ευθείαν στο έδαφος και στη συνέχεια της πλευρικής ή παράλληλης προς την επιφάνεια γεώτρησης.

Το στενό αέριο είναι μη συμβατικό φυσικό αέριο παγιδευμένο σε αδιαπέραστους βραχώδεις σχηματισμούς που είναι εξαιρετικά δύσκολο να εξαχθούν υπόγεια. Η εξόρυξη φυσικού αερίου από στενούς βραχώδεις σχηματισμούς απαιτεί συχνά δαπανηρές και δύσκολες μεθόδους, όπως η ρωγμάτωση και η οξίνιση. Η οξίνιση είναι παρόμοια με τη θραύση. Ένα οξύ (συνήθως υδροχλωρικό οξύ) διοχετεύεται στη γεώτρηση φυσικού αερίου. Το οξύ διαλύει το σφιχτό δεμένο πέτρωμα που εμποδίζει τη ροή του φυσικού αερίου.

Έπειτα το μεθάνιο από ανθρακικά πετρώματα είναι ένας άλλος τύπος μη συμβατικού φυσικού αερίου. Όπως υποδηλώνει και το όνομα, το μεθάνιο από ανθρακικά κοιτάσματα βρίσκεται συνήθως κατά μήκος υπόγειων ανθρακικών κοιτασμάτων. Ιστορικά, όταν γινόταν εξόρυξη άνθρακα, το αέριο απελευθεωνόταν σκόπιμα από το ορυχείο και απελευθεωνόταν στην ατμόσφαιρα ως απόβλητο. Σήμερα, το μεθάνιο εξάγεται από τα κοιτάσματα άνθρακα και αποτελεί δημοφιλή πηγή ενέργειας.

Μια άλλη πηγή μη συμβατικού φυσικού αερίου είναι οι γεωπιεστικές ζώνες. Οι ζώνες γεωπίεσης εμφανίζονται 3.000-7.600 μέτρα (10.000-25.000 πόδια) κάτω από την επιφάνεια. Οι ζώνες αυτές σχηματίζονται από την ταχεία συσσώρευση και συμπίεση αργιλικών στρωμάτων πάνω από πορώδη υλικά όπως άμμος και ιλύς. Καθώς το αέριο εξαναγκάζεται να εξέλθει από τη συμπιεσμένη άργιλο, κατακρημνίζεται υπό πολύ υψηλή πίεση σε απορροφητικά υλικά όπως η άμμος και η ιλύς που βρίσκονται από κάτω. Οι γεωπιεστικές ζώνες είναι πολύ δύσκολο να εξαχθούν, αλλά μπορούν να περιέχουν πολύ μεγάλες ποσότητες φυσικού αερίου. Στις ΗΠΑ, οι περισσότερες ζώνες γεωπίεσης βρίσκονται στην περιοχή της ακτής του Κόλπου. (Schobert, 2013)

Οι υδρίτες μεθανίου είναι ένας άλλος τύπος μη συμβατικού φυσικού αερίου. Οι υδρίτες μεθανίου έχουν πρόσφατα βρεθεί σε θαλάσσια ιζήματα και στην περιοχή του μόνιμου πάγου της Αρκτικής. Οι υδρίτες μεθανίου σχηματίζονται σε χαμηλές θερμοκρασίες (περίπου 0°C) και υψηλή πίεση. Οι υδρίτες μεθανίου απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα όταν αλλάζουν οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Το Γεωλογικό Ινστιτούτο των Ηνωμένων Πολιτειών (USGS) εκτιμά ότι οι υδρίτες μεθανίου περιέχουν διπλάσια ποσότητα άνθρακα από ό,τι όλος ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το συμβατικό φυσικό αέριο στον κόσμο μαζί. Οι υδρίτες μεθανίου σε θαλάσσια ιζήματα σχηματίζονται στις ηπειρωτικές πλαγιές καθώς βακτήρια και άλλοι μικροοργανισμοί βυθίζονται στον πυθμένα της θάλασσας και μετατρέπονται σε λάσπη. Το μεθάνιο που παγιδεύεται στοίχιμα βοηθάει στο "τσιμέντωμα" των χαλαρών ιζημάτων και στη σταθεροποίηση των ηπειρωτικών ύφαλο κρηπιδωμάτων. Ωστόσο, καθώς οι θερμοκρασίες του θαλασσινού νερού αυξάνονται, οι υδρίτες μεθανίου αποσυντίθενται. Αυτό προκαλεί υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, απελευθερώνοντας φυσικό αέριο. Στα οικοσυστήματα του μόνιμου πάγου, οι υδρίτες μεθανίου σχηματίζονται όταν τα υδάτινα σώματα παγώνουν και τα μόρια του νερού σχηματίζουν ξεχωριστά "κλουβιά" γύρω από τα μόρια του μεθανίου. Το αέριο που παγιδεύεται στον παγωμένο κλωβό του νερού παγιδεύεται σε πολύ υψηλότερη πυκνότητα από ό,τι στην αέρια κατάσταση. Καθώς το παγωμένο πλέγμα ξεπαγώνει, το μεθάνιο διαφεύγει.

Η τρέχουσα εποχή της κλιματικής αλλαγής, η υπερθέρμανση του πλανήτη, επηρεάζει την απελευθέρωση των υδριτών μεθανίου τόσο από το μόνιμο στρώμα πάγου όσο και από τα θαλάσσια ιζηματογενή στρώματα. Οι υδρίτες μεθανίου αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες δυνητικής ενέργειας. Ωστόσο, καθώς οι υδρίτες μεθανίου είναι εύθραυστοι σχηματισμοί και μπορούν εύκολα να υποβαθμιστούν από

τις περιβαλλοντικές συνθήκες που τους περιβάλλουν, οι μέθοδοι εξόρυξης αναπτύσσονται με μεγάλη προσοχή.

## 1.2 ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

### *1.2.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ Υ.Φ.Α.*

Η πρώτη τεκμηριωμένη περίπτωση της υγροποίησης του φυσικού αερίου έλαβε χώρα το 1845 από τον Βρετανό επιστήμονα Michael Faraday. Το πρώτο πρακτικό μηχάνημα ψύξης φυσικού αερίου κατασκευάστηκε στη Γερμανία το 1873 από τον μηχανικό Karl Von Linde. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1900, οι εγκαταστάσεις υγροποίησης LNG χρησιμοποιούνταν συνήθως για την αποθήκευση φυσικού αερίου στο έδαφος. Το 1959, το πρώτο πλοίο LNG, ένα μετασκευασμένο φορτηγό από τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο που ονομάστηκε The Methane Pioneer, μετέφερε επιτυχώς ένα φορτίο LNG από το Lake Charles του Λος Άντζελες στο Canvey Island του Ηνωμένου Βασιλείου. Κατά τους επόμενους 14 μήνες, στάλθηκαν επτά επιπλέον πακέτα. Αυτά τα πρώτα ταξίδια έδειξαν τη δυνατότητα για το φυσικό αέριο να είναι ταξιδεύσιμο σε υγρή κατάσταση. Το 1964, το Ηνωμένο Βασίλειο άρχισε να λαμβάνει προγραμματισμένες παραδόσεις από την Αλγερία.

Προς το τέλος της δεκαετίας του 1960 και στις αρχές της δεκαετίας του 1970, μικροί τερματικοί σταθμοί άρχισαν να λειτουργούν στην Ισπανία, την Ιταλία και τη Γαλλία, προκειμένου να διευκολύνουν το εμπόριο υγροποιημένου φυσικού αερίου. Ωστόσο, στην ευρωπαϊκή αγορά παρατηρήθηκε μια μείωση της ζήτησης για υγροποιημένο φυσικό αέριο λόγω της δυνατότητας προμήθειας φθηνότερων προϊόντων μέσω αγωγών από τη Βόρεια Ευρώπη και, αργότερα, από τη Σοβιετική Ένωση. Αυτό οδήγησε στη μετακίνηση του επίκεντρου της ανάπτυξης του υγροποιημένου φυσικού αερίου προς τις ασιατικές αγορές. Η Ιαπωνία έπαιξε ένα σημαντικό ρόλο σε αυτή τη μετατόπιση, ξεκινώντας τις εισαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου από την Αλάσκα το 1969. Η πετρελαϊκή κρίση του 1973 ώθησε περαιτέρω την Ιαπωνία να επεκτείνει τις δυνατότητές της στον τομέα του υγροποιημένου φυσικού αερίου, με αποτέλεσμα την κατασκευή νέων τερματικών σταθμών και την υπογραφή συμβάσεων για προμήθειες από διάφορες χώρες, όπως η Αυστραλία, το Μπρουνέι, η Ινδονησία, η Μαλαισία, το Κατάρ και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα. (justenergy.com)

Ακολουθώντας αυτό το παράδειγμα, η Κορέα αναδείχθηκε ως ο δεύτερος μεγαλύτερος εισαγωγέας στην Ασία το 1980, ενώ η Ταϊβάν ακολούθησε το παράδειγμα

το 1990. Η αυξανόμενη ανάπτυξη αυτή οδήγησε τελικά στο να κυριαρχήσει η Ασία στην παγκόσμια κατανάλωση υγροποιημένου φυσικού αερίου. Καθώς η δεκαετία του 1980 πλησίαζε στο τέλος της, ευρωπαϊκές χώρες που ήταν απομακρυσμένες από τα μακρινά ρωσικά κοιτάσματα φυσικού αερίου άρχισαν να εκδηλώνουν ανανεωμένο ενδιαφέρον για τον υγροποιημένο φυσικό αέριο (ΥΦΑ). Αυτή η αναζωπύρωση του ενθουσιασμού ήταν ιδιαίτερα εμφανής τη δεκαετία του 1990, όταν χώρες όπως η Ισπανία, η Γαλλία, η Ιταλία, η Τουρκία και το Βέλγιο ανέδειξαν τον εαυτό τους ως σημαντικούς καταναλωτές ΥΦΑ στην Ευρώπη.

Η κλιμακούμενη ζήτηση για φυσικό αέριο ώθησε πολλά έθνη όπως η Αργεντινή, η Βραζιλία, η Κίνα, η Ινδία και το Μεξικό να ενταχθούν στις τάξεις των εισαγωγέων LNG. Επιπλέον, το Ηνωμένο Βασίλειο έλαβε στρατηγική απόφαση να επαναφέρει το εργοστάσιό του LNG, παρά την προηγούμενη διάλυσή του. Επιπλέον, πολλές ευρωπαϊκές χώρες και οι Ηνωμένες Πολιτείες επέκτειναν την ικανότητα εισαγωγής LNG για να καλύψουν αποτελεσματικά τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για αυτόν τον πολύτιμο ενεργειακό πόρο. Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, η αγορά υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) παρουσίασε ένα κύμα ενδιαφέροντος λόγω διαφόρων παραγόντων που επηρέασαν την ανάπτυξή της. Ένας σημαντικός παράγοντας ήταν η ταχεία αύξηση της ζήτησης για LNG, η οποία συνέπεσε με την αύξηση των τιμών του φυσικού αερίου. Αυτή η αύξηση της ζήτησης τροφοδοτήθηκε περαιτέρω από τις ανησυχίες σχετικά με τη μείωση της διαθεσιμότητας συμβατικών πηγών φυσικού αερίου. Ως αποτέλεσμα, η εμπορία όγκων LNG παρουσίασε έναν αξιοσημείωτο ρυθμό ανάπτυξης 64% μεταξύ 2000 και 2008. Η αύξηση της ζήτησης για φυσικό αέριο είχε ως αποτέλεσμα η Αργεντινή, η Βραζιλία, η Κίνα, η Ινδία και το Μεξικό να εισέλθουν στις τάξεις των εισαγωγέων, το Ηνωμένο Βασίλειο να επιστρέψει μετά την προηγούμενη διάλυση του εργοστασίου του και την αύξηση των δυνατοτήτων εισαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες. (Roberts, 2006)

### *1.2.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ Υ.Φ.Α.;*

LNG σημαίνει υγροποιημένο φυσικό αέριο. Αναφέρεται σε φυσικό αέριο που έχει ψυχθεί σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία (-162 βαθμούς Κελσίου ή -260 βαθμούς Φαρενάιτ) για να μετατραπεί σε υγρή κατάσταση. Η διαδικασία υγροποίησης περιλαμβάνει την απομάκρυνση των ακαθαρσιών και την ψύξη του φυσικού αερίου

ώστε να συμπυκνωθεί σε υγρή μορφή. Αυτή η υγροποιημένη κατάσταση επιτρέπει την ευκολότερη αποθήκευση και μεταφορά του φυσικού αερίου, καθώς καταλαμβάνει περίπου το 1/600 του όγκου του αερίου στην αέρια κατάσταση. Αυτή η μείωση του όγκου καθιστά το υγροποιημένο φυσικό αέριο πιο πρακτικό για μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις, μεταξύ άλλων μέσω πλοίων ή φορτηγών. (Wikipedia.org)

Το ΥΦΑ αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) και μπορεί να περιέχει μικρές ποσότητες άλλων ενώσεων υδρογονανθράκων. Είναι άοσμο, άχρωμο και μη τοξικό. Επίσης χρησιμοποιείται ως πηγή καυσίμου σε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτροπαραγωγής, της θέρμανσης και των βιομηχανικών διεργασιών. Χρησιμοποιείται επίσης όλο και περισσότερο ως καύσιμο μεταφορών, ιδίως σε βαρέα οχήματα, πλοία και μηχανές. (justenergy.com)

Οι εγκαταστάσεις υγροποίησης και επανααεριοποίησης που απαιτούνται για την παραγωγή και τη χρήση του ΥΦΑ περιλαμβάνουν προηγμένες τεχνολογίες και υποδομές για τη διατήρηση των εξαιρετικά χαμηλών θερμοκρασιών που απαιτούνται για τη διατήρηση του αερίου σε υγρή μορφή.

### *1.2.3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ Υ.Φ.Α.*

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς. Πρώτον, η χρήση του στην παραγωγή ενέργειας είναι ευρέως αναγνωρισμένη. Όταν καίγεται σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με φυσικό αέριο, μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια πιο αποτελεσματικά και με χαμηλότερες εκπομπές από άλλα ορυκτά καύσιμα- το ΥΦΑ προτιμάται συχνά για τα περιβαλλοντικά του οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των ατμοσφαιρικών ρύπων. (Subramanian, 2021)

Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για οικιακή, εμπορική και βιομηχανική θέρμανση και ψύξη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κλιβάνους και λέβητες φυσικού αερίου για την παροχή θερμότητας σε κτίρια και σε συστήματα κλιματισμού που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο για ψύξη.

Πολλές βιομηχανίες χρησιμοποιούν το ΥΦΑ ως πηγή καυσίμου ή ως πρώτη ύλη- το ΥΦΑ χρησιμοποιείται συχνά σε διαδικασίες παραγωγής όπως ο χάλυβας, το γυαλί, τα κεραμικά και τα χημικά προϊόντα. Η υψηλή περιεκτικότητα σε ενέργεια και η ευελιξία του ΥΦΑ το καθιστούν πολύτιμο σε βιομηχανικές εφαρμογές.



Επειδή το ΥΦΑ είναι οικονομικό, χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο ως καύσιμο μεταφορών, ιδίως σε βαρέα οχήματα όπως φορτηγά, λεωφορεία και πλοία- τα οχήματα που κινούνται με ΥΦΑ παράγουν λιγότερες εκπομπές από ό,τι τα οχήματα με ντίζελ ή βενζίνη.

Το ΥΦΑ χρησιμοποιείται επίσης ως καύσιμο για ατμομηχανές, γεγονός που έχει περιβαλλοντικά οφέλη. Σε απομακρυσμένες περιοχές ή όπου δεν υπάρχει υποδομή αγωγών, το ΥΦΑ είναι μια αξιόπιστη και καθαρή πηγή ενέργειας. Το ΥΦΑ μπορεί να μεταφερθεί σε τέτοιες περιοχές και να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανσης για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης σε περιοχές εκτός δικτύου.

Το ΥΦΑ μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε λειτουργίες εξοικονόμησης αιχμής, όπου το ΥΦΑ αποθηκεύεται σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και χρησιμοποιείται σε περιόδους αιχμής. Αυτό συμβάλλει στη σταθεροποίηση των διακυμάνσεων της προσφοράς και της ζήτησης φυσικού αερίου και εξασφαλίζει αξιόπιστη παροχή ενέργειας σε περιόδους υψηλής ζήτησης.

### 1.3 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΟΥ Υ.Φ.Α.

#### *1.3.1 ΕΞΟΡΥΞΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ*

Το αέριο που προέρχεται από φυσικές πηγές, όπως αποθηκευμένα υπόγεια αποθέματα, υποβάλλεται σε διαδικασία εξόρυξης για να απομακρυνθεί από τις πηγές και να παραδοθεί στο ενεργειακό σύστημα. Η εξόρυξη του φυσικού αερίου αποτελεί ένα σύνθετο τεχνικό και βιομηχανικό έργο που περιλαμβάνει πολλά βήματα και τεχνολογίες για την αποτελεσματική και ασφαλή απόσπαση του αερίου από τις φυσικές αποθήκες. Το πρώτο σημαντικό βήμα στη διαδικασία της εξόρυξης είναι η εξερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών και η εντοπισμός των περιοχών που πιθανόν να περιέχουν φυσικό αέριο. Αυτό συνήθως γίνεται μέσω γεωλογικών μελετών και γεωφυσικών εξετάσεων, που μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για τον τύπο των πετρωμάτων και τις πιέσεις που επικρατούν στις συγκεκριμένες περιοχές. Μετά την εντοπισμό της περιοχής, η διάτρηση (γεώτρηση) είναι το επόμενο βήμα. Μέσω των γεωτρήσεων, δημιουργούνται τρυπάνια που διευκολύνουν την πρόσβαση στα υπογείως αποθέματα φυσικού αερίου. Ανάλογα με την τοπολογία του εδάφους και τις γεωλογικές συνθήκες, οι γεωτρήσεις μπορεί να είναι κάθετες ή οριζόντιες. (Schobert, 2013)

Η εξόρυξη του φυσικού αερίου απαιτεί συχνά τη χρήση αντλιών αερίου. Αυτές οι αντλίες δημιουργούν πίεση στην πηγή του αερίου, επιτρέποντάς του να αναβλύσει προς την επιφάνεια. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το φυσικό αέριο μπορεί να εκλύεται φυσικά λόγω της υψηλής πίεσης στην πηγή. Στη συνέχεια, το αέριο πρέπει να υποβληθεί σε διαδικασίες επεξεργασίας για την αφαίρεση ακαθαρσιών, υγρασιών και άλλων αερίων. Μετά την επεξεργασία, το αέριο είναι έτοιμο για μεταφορά μέσω σωληνώσεων υψηλής πίεσης προς τους καταναλωτές του, όπως ενεργειακές μονάδες, εργοστάσια, ή κατοικίες.

Σε συνολική θεώρηση, η εξόρυξη του φυσικού αερίου αποτελεί πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί εξειδικευμένες τεχνολογίες και τεχνικές, καθώς και προσεκτική διαχείριση για την αποφυγή ανεπιθύμητων επιπτώσεων στο περιβάλλον και την κοινωνία. (azom.com)

### *1.3.2 ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ*

Η υγροποίηση του φυσικού αερίου αναφέρεται στη διαδικασία μετατροπής του φυσικού αερίου από την αέρια κατάστασή του σε υγρό, γνωστό και ως υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Κατά τη διαδικασία αυτή, το φυσικό αέριο ψύχεται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και υπό πίεση μετατρέπεται σε υγρή κατάσταση. Ο λόγος για τη διαδικασία αυτή είναι η μείωση του όγκου του φυσικού αερίου, καθιστώντας τη μεταφορά και την αποθήκευση ευκολότερη και αποδοτικότερη. Κατά τη διαδικασία υγροποίησης, το αέριο ψύχεται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, συνήθως κάτω από  $-160^{\circ}\text{C}$ , με τη χρήση ειδικών ψυκτικών μέσων. Ταυτόχρονα, εφαρμόζεται πίεση για την υγροποίηση του αερίου. (Nieuwoudt, 2007)

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο έχει πολύ μικρότερο όγκο από το φυσικό αέριο και μπορεί επομένως να μεταφερθεί σε σχετικά μικρές δεξαμενές-οι δεξαμενές στις οποίες αποθηκεύεται το LNG είναι σχεδιασμένες ώστε να παραμένουν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, γεγονός που επιτρέπει την αποθήκευση του LNG για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς αλλοίωση. Οι δεξαμενές αυτές χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση του ΥΦΑ πριν από τη μεταφορά του σε αγορές ή εγκαταστάσεις που το χρειάζονται. Η υγροποίηση του φυσικού αερίου επιτρέπει την αποτελεσματική μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις και διευκολύνει τις διεθνείς πωλήσεις. Η υγροποίηση δημιουργεί επίσης νέες ευκαιρίες για την προμήθεια φυσικού αερίου σε αγορές που δεν είναι συνδεδεμένες με αγωγούς φυσικού αερίου, όπως απομακρυσμένες περιοχές και αναπτυσσόμενες χώρες. (azom.com)

### 1.3.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΟΥ Υ.Φ.Α.

Η αποθήκευση του υγροποιημένου φυσικού αερίου (ΥΦΑ) απαιτεί τη διατήρηση του αερίου σε υγρή κατάσταση σε κρυογονικής θερμοκρασίες και υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Η αποθήκευση ΥΦΑ αποτελεί σημαντικό μέρος της αλυσίδας εφοδιασμού φυσικού αερίου, επιτρέποντας την αποτελεσματική μεταφορά, διανομή και χρήση του φυσικού αερίου. Υπάρχουν πολλές σημαντικές πτυχές της αποθήκευσης ΥΦΑ, συμπεριλαμβανομένων των κρυογονικών δεξαμενών. Το ΥΦΑ αποθηκεύεται σε εξειδικευμένες κρυογονικής δεξαμενές που έχουν σχεδιαστεί για να αντέχουν τις κρυογονικής θερμοκρασίες που απαιτούνται για τη διατήρηση του αερίου σε υγρή κατάσταση. Οι δεξαμενές αυτές είναι συνήθως διπλού τοιχώματος και μονωμένες για να αποτρέπουν τη μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον. Στην

περίπτωση αυτή, ο σχεδιασμός της δεξαμενής παίζει σημαντικό ρόλο. Οι κρυογονικής δεξαμενές μπορεί να είναι υπέργειες ή υπόγειες, ανάλογα με παράγοντες όπως οι συνθήκες του χώρου και οι λόγοι ασφαλείας. Οι υπέργειες δεξαμενές χρησιμοποιούνται συνήθως σε τερματικούς σταθμούς εισαγωγής και εγκαταστάσεις αποθήκευσης ΥΦΑ, ενώ οι υπόγειες δεξαμενές χρησιμοποιούνται συνήθως για αποθήκευση μεγάλης κλίμακας. (Subramanian, 2021)

Η αποτελεσματική μόνωση είναι απαραίτητη για την ελαχιστοποίηση της εισροής θερμότητας στις δεξαμενές αποθήκευσης. Τα μονωτικά υλικά περιλαμβάνουν περλίτη, αφρώδες γυαλί και μονωτικά πάνελ κενού, τα οποία συμβάλλουν στη διατήρηση των χαμηλών θερμοκρασιών που απαιτούνται για τη διατήρηση του ΥΦΑ σε υγρή μορφή.

Στη συνέχεια, εγκαθίστανται συστήματα εκτόνωσης πίεσης για την αποφυγή υπερπίεσης της δεξαμενής. Τα συστήματα αυτά διατηρούν την πίεση εντός ασφαλών ορίων και αποτρέπουν τη διάρρηξη της δεξαμενής.

Το ΥΦΑ δεν είναι απολύτως σταθερό και εξατμίζεται σταδιακά με την πάροδο του χρόνου λόγω της εισροής θερμότητας. Το εξατμιζόμενο αέριο είναι γνωστό ως Boil Off Gas (BOG) και αυτό πρέπει να διαχειριστεί- το BOG μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για τον εξοπλισμό στο χώρο ή μπορεί να υγροποιηθεί εκ νέου και να επιστρέψει στις δεξαμενές αποθήκευσης. Το αέριο Boil-off είναι το αέριο που

εξατμίζεται από το ΥΦΑ λόγω της εισροής θερμότητας. Μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για τον εξοπλισμό του εργοταξίου ή να υγροποιηθεί εκ νέου και να επιστρέψει στις δεξαμενές αποθήκευσης. Ορισμένες εγκαταστάσεις αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου διαθέτουν μονάδες εκ νέου υγροποίησης που συμπιέζουν και ψύχουν το BOG σε υγρή κατάσταση. Αυτό ελαχιστοποιεί τις απώλειες και βελτιώνει τη συνολική απόδοση της αποθήκευσης. Τα μέτρα ασφαλείας περιλαμβάνουν συστήματα ανίχνευσης και καταστολής πυρκαγιάς, συστήματα διακοπής λειτουργίας έκτακτης ανάγκης και εξοπλισμό παρακολούθησης για τη διασφάλιση της ακεραιότητας των δεξαμενών. Στο σημείο χρήσης, το ΥΦΑ επαναεριοποιείται πριν εισαχθεί στον αγωγό για διανομή. Οι τερματικοί σταθμοί επαναεριοποίησης περιλαμβάνουν εγκαταστάσεις που επαναεριοποιούν το ΥΦΑ πίσω σε αέριο, ώστε να μπορεί να μεταφερθεί από αγωγούς. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης ΥΦΑ διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας, παρέχοντας ευελιξία για τη διαχείριση των ανισορροπιών προσφοράς και ζήτησης και επιτρέποντας την εμπορία του ΥΦΑ σε παγκόσμιο επίπεδο. Αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της μεταφοράς φυσικού αερίου σε μεγάλες αποστάσεις και παρέχουν πρόσβαση σε πόρους φυσικού αερίου σε περιοχές που δεν συνδέονται άμεσα με αγωγούς.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ασφαλής αποθήκευση και μεταφορά ΥΦΑ απαιτεί αυστηρή τήρηση των κανονισμών του κλάδου και των προτύπων ασφαλείας για την πρόληψη ατυχημάτων και τη διασφάλιση της προστασίας τόσο του προσωπικού όσο και του περιβάλλοντος. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης ΥΦΑ είναι εξοπλισμένες με προηγμένα συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς και αερίων για τον γρήγορο εντοπισμό διαρροών και κινδύνων και την αντίδραση. Υπάρχουν συστήματα διακοπής λειτουργίας έκτακτης ανάγκης για την ταχεία απομόνωση και ασφάλιση των δεξαμενών αποθήκευσης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου πρέπει να συμμορφώνονται με αυστηρά πρότυπα και κανονισμούς του κλάδου, ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια του προσωπικού, του περιβάλλοντος και των γειτονικών κοινοτήτων. (Yaoguang et al, 2010)

Η κατασκευή και η λειτουργία των εγκαταστάσεων αποθήκευσης ΥΦΑ συνεπάγεται σημαντικό κόστος, συμπεριλαμβανομένων της μηχανικής, της κατασκευής, της συντήρησης και των μέτρων ασφαλείας. Η ορθή διαχείριση του αερίου που βράζει και η τήρηση των πρωτοκόλλων ασφαλείας είναι απαραίτητες για

την πρόληψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας των εγκαταστάσεων αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Η αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι απαραίτητη για την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας, τη διευκόλυνση του παγκόσμιου εμπορίου και την παροχή ευελιξίας στην προσφορά και τη ζήτηση φυσικού αερίου. Απαιτεί όμως επίσης προσεκτικό σχεδιασμό, προηγμένη τεχνολογία και υπεύθυνη διαχείριση για την εξασφάλιση ασφαλούς και αποτελεσματικής λειτουργίας.

#### *1.3.4 ΦΟΡΤΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ ΤΟΥ Υ.Φ.Α.*

Η φόρτωση και εκφόρτωση υγροποιημένου φυσικού αερίου περιλαμβάνει τη μεταφορά ΥΦΑ μεταξύ εγκαταστάσεων αποθήκευσης, μεταφορέων (μεταφορείς ΥΦΑ) και τερματικών σταθμών επαναεριοποίησης. Οι διαδικασίες αυτές είναι απαραίτητες για την αποτελεσματική μεταφορά και χρήση του ΥΦΑ στις διάφορες ενεργειακές αγορές.

Πριν από τη φόρτωση του ΥΦΑ σε ένα πλοίο, τόσο η εγκατάσταση αποθήκευσης όσο και το πλοίο μεταφοράς ΥΦΑ πρέπει να υποβληθούν σε ελέγχους ασφαλείας και προετοιμασίες: Οι δεξαμενές φορτίου του μεταφορέα ΥΦΑ ψύχονται στην απαιτούμενη θερμοκρασία και ο βραχίονας φόρτωσης της εγκατάστασης συνδέεται με τον μεταφορέα.

Ο βραχίονας φόρτωσης είναι ένας ειδικός βραχίονας με κρυογονικούς σωλήνες και συνδέσμους που πρέπει να συνδεθούν μεταξύ των δεξαμενών αποθήκευσης ΥΦΑ και των δεξαμενών φορτίου του μεταφορέα ΥΦΑ. Οι δεξαμενές φορτίου του μεταφορέα ΥΦΑ βρίσκονται υπό πίεση, έτσι ώστε το ΥΦΑ να ρέει από την εγκατάσταση αποθήκευσης ΥΦΑ προς το πλοίο, να μεταφέρεται από τις δεξαμενές αποθήκευσης ΥΦΑ στον βραχίονα φόρτωσης και τους σωλήνες στις δεξαμενές του μεταφορέα.

Καθώς το ΥΦΑ ρέει στις δεξαμενές φορτίου του μεταφορέα, οι δεξαμενές αρχίζουν να ψύχονται και η θερμοκρασία τους πέφτει περαιτέρω. Οι δεξαμενές διατηρούνται στην επιθυμητή θερμοκρασία και πίεση καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτωσης. Κατά τη διάρκεια της φόρτωσης, τα επίπεδα, οι θερμοκρασίες και οι πιέσεις των δεξαμενών παρακολουθούνται συνεχώς για να διασφαλίζονται οι ασφαλείς και ακριβείς εργασίες φόρτωσης. Η διαδικασία φόρτωσης προσαρμόζεται σύμφωνα με αυτές τις μετρήσεις.

Κατά την άφιξη στον τερματικό σταθμό επαναεριοποίησης ή στην εγκατάσταση παραλαβής, το πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου υποβάλλεται σε ελέγχους και διαδικασίες ασφαλείας. Το πλήρωμα διασφαλίζει ότι το πλοίο ελλιμενίζεται με ασφάλεια και ότι το σύστημα εκφόρτωσης του τερματικού σταθμού είναι έτοιμο- εάν το ΥΦΑ πρόκειται να επαναεριοποιηθεί και να εγχυθεί σε αγωγό για διανομή, η διαδικασία επαναεριοποίησης πρέπει να είναι προετοιμασμένη. Αυτό περιλαμβάνει τη θέρμανση του ΥΦΑ σε αέρια κατάσταση με τη χρήση θαλασσινού νερού ή εξατμιστήρα. Σύνδεση των βραχιόνων εκφόρτωσης: Ειδικοί βραχίονες εκφόρτωσης, παρόμοιοι με τους βραχίονες φόρτωσης, συνδέονται μεταξύ του πλοίου μεταφοράς ΥΦΑ και του συστήματος επαναεριοποίησης του τερματικού σταθμού. Οι βραχίονες αυτοί μεταφέρουν το ΥΦΑ από τις δεξαμενές του μεταφορέα στην υποδομή του τερματικού σταθμού- το ΥΦΑ κατευθύνεται μέσω των βραχιόνων εκφόρτωσης στη διαδικασία επαναεριοποίησης του τερματικού σταθμού- μόλις το ΥΦΑ εισέλθει στο σύστημα επαναεριοποίησης του τερματικού σταθμού, θερμαίνεται και μετατρέπεται σε αέριο. Το αεριοποιημένο αέριο διοχετεύεται στη συνέχεια στον αγωγό για διανομή στους καταναλωτές.

Η ασφαλής και αποτελεσματική μεταφορά του ΥΦΑ μεταξύ των εγκαταστάσεων αποθήκευσης και των μεταφορέων απαιτεί προσεκτικό συντονισμό, προηγμένη τεχνολογία και τήρηση των πρωτοκόλλων ασφαλείας τόσο κατά τη φόρτωση όσο και κατά την εκφόρτωση. (Σιδερίδου et al, 2011)

## 2. Η ΑΓΟΡΑ ΤΟΥ Υ.Φ.Α.

### 2.1 ΕΞΑΓΩΓΕΣ ΤΟΥ Υ.Φ.Α. ΤΟ 2022

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) έχει γίνει ένα σημαντικό μέρος του παγκόσμιου ενεργειακού τοπίου, παρέχοντας μια εναλλακτική λύση καθαρότερης καύσης στα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα. Η μεταφορά και η ευελιξία του ενισχύουν περαιτέρω την ελκυστικότητά του, καθιστώντας το την πρώτη επιλογή για την κάλυψη παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών. Η παγκόσμια αγορά LNG αναμένεται να σημειώσει σημαντική ανάπτυξη το 2022, με αρκετές χώρες να διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη διαμόρφωση του κλάδου. (sciencealpha.com)

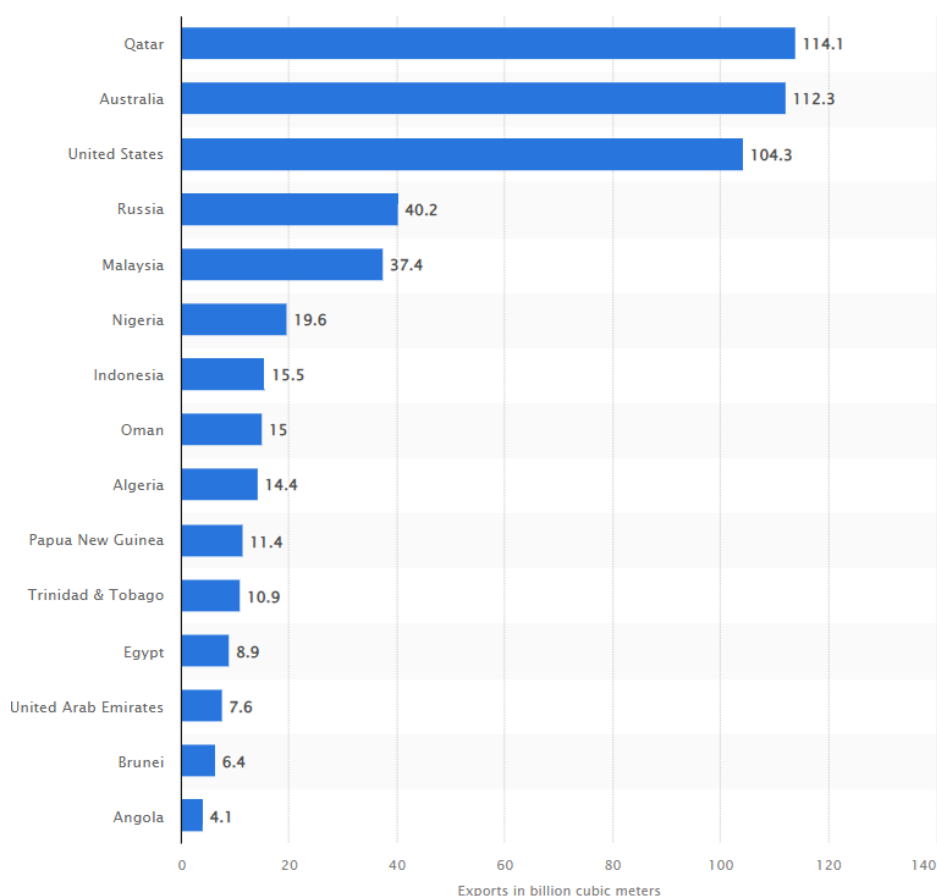
Πρώτη σε ποσοστά χώρα στις εξαγωγές ΥΦΑ, σύμφωνα με στοιχεία της CEDIGAZ, είναι το Κατάρ. Το Κατάρ, με τα άφθονα αποθέματα φυσικού αερίου και τη στρατηγική του θέση στη Μέση Ανατολή, έχει εδραιώσει σταθερά τη θέση του ως ο μεγαλύτερος εξαγωγέας LNG στον κόσμο. Το 2022, η χώρα εξήγαγε αξιοσημείωτα 114,1 εκατομμύρια τόνους LNG, ενισχύοντας την κυριαρχία της στην παγκόσμια αγορά. Αυτό το αξιοσημείωτο επίτευγμα μπορεί να αποδοθεί στα εκτεταμένα αποθέματα φυσικού αερίου του Κατάρ στο North Field, το μεγαλύτερο μη συνδεδεμένο κοίτασμα φυσικού αερίου στον κόσμο, σε συνδυασμό με την καλά εδραιωμένη υποδομή του για την παραγωγή και τη μεταφορά LNG.

Στη δεύτερη θέση είναι η Αυστραλία, εξάγοντας 107,9 εκατομμύρια τόνοι υγροποιημένου φυσικού αερίου. Οι άφθονες πηγές φυσικού αερίου στη περιοχή North West Shelf της χώρας έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην επιτυχία της ως κορυφαίας εξαγωγέας LNG. Ως κύριος καταναλωτής LNG, η στρατηγική θέση της Αυστραλίας στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού εδραιώνει περαιτέρω τη θέση της στην παγκόσμια αγορά LNG.

Η πρόσφατη αύξηση της παραγωγής σχιστολιθικού αερίου από τις ΗΠΑ οδήγησε σε μια νέα επιρροή στην παγκόσμια αγορά LNG. Το 2022, οι ΗΠΑ εξήγαγαν 80,6 εκατομμύρια τόνους LNG, γεγονός που τις τοποθετούσε στην τρίτη θέση για εξαγωγές LNG. Αυτή η απίστευτη αύξηση της ανάπτυξης μπορεί να αποδοθεί στις τεχνολογικές προόδους στην υδραυλική ρωγμή, η οποία είναι κοινώς γνωστή ως fracking. Αυτή η τεχνολογία οδήγησε στην ξεκλείδωτη απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων σχιστολιθικού αερίου στις Η.Π.Α.

Τα αποθέματα φυσικού αερίου της Ρωσίας είναι εκτεταμένα, ιδιαίτερα στη χερσόνησο Γιαμάλ (Yamal Peninsula), και διατήρησαν τη θέση τους ως ο κορυφαίος προμηθευτής LNG το 2022. Η χώρα εξήγαγε 70,3 εκατομμύρια κυβικά μέτρα LNG, το οποίο είναι σημαντικό για την παγκόσμια προσφορά LNG. Ο έλεγχος της χώρας στην αγορά LNG ενισχύεται περαιτέρω από τη σύνδεσή της με μεγάλες ευρωπαϊκές αγορές που βασίζονται στο φυσικό αέριο για την τροφοδοσία των δραστηριοτήτων τους.

Η Μαλαισία είναι ένα μικρότερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς LNG, αλλά έχουν αυξήσει την παρουσία τους με την πάροδο του χρόνου. Το 2022, η χώρα θα έχει εξάγει 29,2 εκατομμύρια τόνους LNG, που είναι μια σημαντική αύξηση στην ποσότητα LNG που εξήχθη από τη χώρα. Τα επιτεύγματα της χώρας αποδίδονται στην επιτυχημένη παραγωγή LNG, όπως το συγκρότημα Bintulu LNG, καθώς και στη στρατηγική της θέση στη Νοτιοανατολική Ασία, μια περιοχή όπου η ζήτηση για LNG αναμένεται να αυξηθεί. (justenergy.com)



Εικόνα 1 Κορυφαίες χώρες εξαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου παγκοσμίως το 2022 (σε εκατομμύρια τόνους)



## 2.2 ΕΞΑΓΩΓΕΣ Υ.Φ.Α. ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΤΡΙΜΗΝΟ ΤΟΥ 2023

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Διεθνούς Υπηρεσίας Ενέργειας (IEA), η Αυστραλία ήταν η μεγαλύτερη εξαγωγέας LNG στον κόσμο το πρώτο τρίμηνο του 2023, αντιπροσωπεύοντας το 41,6% των παγκόσμιων εξαγωγών. Η Αυστραλία εξήγαγε 115,4 εκατομμύρια τόνους LNG το πρώτο τρίμηνο του 2023, αυξημένα κατά 17,8% σε σχέση με το πρώτο τρίμηνο του 2022. Η αλήθεια είναι ότι είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας LNG στον κόσμο εδώ και πολλά χρόνια, χάρη στα μεγάλα κοιτάσματα φυσικού αερίου που διαθέτει. Η χώρα έχει επενδύσει σημαντικά στην ανάπτυξη της βιομηχανίας LNG, και τα τελευταία χρόνια έχει σημειώσει σημαντική αύξηση της παραγωγής και των εξαγωγών της. Αξίζει να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο μέρος του LNG της στην Ασία, με τους μεγαλύτερους πελάτες της να είναι η Ιαπωνία, η Νότια Κορέα και η Κίνα.

Σε σχέση βέβαια με τον όγκο τον το Κατάρ ήταν ο μεγαλύτερος εξαγωγέας LNG στον κόσμο το πρώτο τρίμηνο του 2023, με εξαγωγές ύψους 72,8 εκατομμυρίων τόνων. Είναι επίσης ένας σημαντικός εξαγωγέας LNG, και είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας LNG στην Ασία. Η χώρα διαθέτει τεράστια κοιτάσματα φυσικού αερίου, και έχει επενδύσει σημαντικά στην ανάπτυξη της βιομηχανίας LNG. Το Κατάρ εξήγαγε το μεγαλύτερο μέρος του LNG του στην Ασία, με τους μεγαλύτερους πελάτες του να είναι η Ιαπωνία, η Νότια Κορέα και η Κίνα.

Η αύξηση των εξαγωγών LNG από την Αυστραλία και το Κατάρ οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως αρχικά στην ζήτηση της Ασίας. Η Ασία είναι η μεγαλύτερη αγορά για LNG στον κόσμο, και η ζήτηση για LNG στην περιοχή αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται τα επόμενα χρόνια. Αυτό οφείλεται αρχικά στην ανάπτυξη της οικονομίας της Ασίας, η οποία οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Ωστόσο, και η προσπάθεια των χωρών της Ασίας να μειώσουν την εξάρτησή τους από τον άνθρακα και να μεταβούν σε καθαρότερες μορφές ενέργειας.

Η Ρωσία είναι ένας από τους μεγαλύτερους εξαγωγείς LNG στον κόσμο, αλλά η χώρα έχει υποστεί κυρώσεις από τη Δύση λόγω της εισβολής της στην Ουκρανία. Αυτό έχει περιορίσει την προσφορά LNG από τη Ρωσία, και έχει οδηγήσει σε αύξηση της τιμής του LNG.

Η Αυστραλία και το Κατάρ έχουν επενδύσει σημαντικά στην ανάπτυξη της βιομηχανίας LNG, και έχουν αυξήσει σημαντικά την παραγωγή τους τα τελευταία χρόνια. Αυτό τους έχει επιτρέψει να αυξήσουν τις εξαγωγές τους και να καλύψουν

μέρος της ζήτησης που έχει δημιουργηθεί από την αύξηση της ζήτησης από την Ασία και τον περιορισμό της προσφοράς από τη Ρωσία.

### 2.3 ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΟΛΕΜΟΥ ΡΩΣΙΑΣ-ΟΥΚΡΑΝΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ ΤΟΥ Υ.Φ.Α.

Ο πόλεμος στην Ουκρανία έχει αναδειχθεί ως καθοριστική στιγμή στο παγκόσμιο τοπίο LNG, διαταράσσοντας βαθιά τη δυναμική της προσφοράς, της ζήτησης και της τιμολόγησης. Αυτή η σύγκρουση όχι μόνο αναμόρφωσε το ενεργειακό τοπίο, αλλά αποκάλυψε επίσης μια περίπλοκη αλληλεπίδραση γεωπολιτικών, οικονομικών και τεχνολογικών παραγόντων που θα συνεχίσουν να διαμορφώνουν το μέλλον του LNG. Πριν από τη

σύγκρουση, η Ρωσία ήταν ο κύριος πάροχος ευρωπαϊκού LNG, παρείχε σχεδόν το ήμισυ των παγκόσμιων εισαγωγών. Ωστόσο, η εφαρμογή κυρώσεων στη Ρωσία επηρέασε αρνητικά τις εξαγωγές LNG της, με αποτέλεσμα οι ευρωπαίοι καταναλωτές να αναζητήσουν εναλλακτικές πηγές προμήθειας. Αυτή η έλλειψη προσφοράς οδήγησε τις τιμές του LNG να φτάσουν σε υψηλά επίπεδα ρεκόρ, γεγονός που έχει προσθέσει τα ενεργειακά προβλήματα της περιοχής. Πριν από τη σύγκρουση, η Ρωσία εξήγαγε περίπου 200 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα LNG ετησίως. Το ποσοστό αυτό ήταν περίπου το 16% της συνολικής ζήτησης LNG παγκοσμίως. Η απώλεια αυτού του όγκου LNG από την αγορά οδήγησε σε σημαντική έλλειψη προσφοράς. Οι ευρωπαϊκές χώρες προσπάθησαν να βρουν εναλλακτικές μεθόδους προμήθειας LNG για να αντικαταστήσουν τη ρωσική μέθοδο. Ωστόσο, αυτό δεν ήταν εύκολο. Η αγορά LNG μειώνεται ήδη και η ζήτηση αυξάνεται.

Ο πόλεμος στην Ουκρανία έχει πυροδοτήσει μια αλλαγή παραδείγματος στις ενεργειακές πολιτικές της Ευρώπης, αναγκάζοντας την να διακόψει την εξάρτησή της από τις εισαγωγές ρωσικού φυσικού αερίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε άνοδο της ζήτησης για LNG από την Ευρώπη, καθώς οι χώρες προσπαθούν να εξασφαλίσουν εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Αυτή η αυξημένη ζήτηση άσκησε ανοδική πίεση στις τιμές LNG, επιδεινώνοντας περαιτέρω την ήδη ασταθή αγορά ενέργειας.

Η επιβολή κυρώσεων στη Ρωσία έχει περιορίσει σοβαρά την ικανότητά της να εξάγει LNG, μειώνοντας σημαντικά την παγκόσμια προσφορά. Η απώλεια των ρωσικών εξαγωγών LNG άφησε ένα κενό στην αγορά, ενισχύοντας την αστάθεια των τιμών και θέτοντας προκλήσεις για την κάλυψη των παγκόσμιων ενεργειακών απαιτήσεων. Αυτή η διαταραχή έχει επίσης τονίσει τη στρατηγική σημασία της Ρωσίας

ως προμηθευτή ενέργειας και τις πιθανές συνέπειες των γεωπολιτικών εντάσεων που διαταράσσουν τις ροές ενέργειας.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ παραγωγών LNG και καταναλωτών αναμένεται να αυξηθεί. Λόγω της περιορισμένης ποσότητας φυσικού αερίου αγωγών που μπορεί να βρεθεί στη Ρωσία, η επιθυμία διαφοροποίησης μακριά από το φυσικό αέριο της χώρας οδήγησε πολλές ευρωπαϊκές χώρες να επικεντρωθούν σε εναλλακτικές πηγές, κυρίως από τη Μέση Ανατολή και τις ΗΠΑ. Ως αποτέλεσμα, η ζήτηση για LNG σε όλο τον κόσμο αυξάνεται και ο ανταγωνισμός για φορτία μεταξύ Ασίας και Ευρώπης αυξάνεται, αυτοί οι παράγοντες οδήγησαν σε αύξηση της τιμής του LNG καθώς και στη ζήτηση για μεταφορά LNG, στην κατασκευή νέων εγκαταστάσεων LNG και ανοικίαση οχημάτων LNG.

Στις αρχές του 2023, η τιμή του LNG στην Ευρώπη ήταν €50 η μεγαβατώρα (MWh). Αυτή είναι μια σημαντική αύξηση και αντιπροσωπεύει μια αύξηση 300 τοις εκατό από το προπολεμικό επίπεδο. Η υψηλή τιμή του LNG είχε σημαντικό αντίκτυπο στην Ευρώπη. Έχουν αυξησει το κόστος της ενέργειας για οικογένειες και εταιρείες. Αυτό οδήγησε σε αύξηση του πληθωρισμού και επηρέασε αρνητικά τα οικονομικά των καταναλωτών και των επιχειρήσεων. Επίσης, οι υψηλές τιμές για το LNG έχουν επιπτώσεις σε άλλα μέρη του κόσμου. Η Κίνα και η Ινδία είναι και οι δύο μεγάλες αγορές για το LNG, οι τιμές των οποίων έχουν επίσης αυξηθεί. Αυτό είχε αρνητικό αντίκτυπο στην οικονομική ανάπτυξη αυτών των χωρών. Δεν είναι σαφές πότε η σύγκρουση μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας θα έχει επιπτώσεις στην αγορά LNG. Εάν η σύγκρουση συνεχιστεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, η τιμή του LNG αναμένεται να παραμείνει υψηλή. Αυτό θα μπορούσε να έχει σημαντικό αντίκτυπο στην παγκόσμια αγορά ενέργειας και στην παγκόσμια οικονομία.

Για παράδειγμα, οι τιμές του φυσικού αερίου στη Γερμανία, τη μεγαλύτερη ευρωπαϊκή αγορά φυσικού αερίου, έχουν αυξηθεί κατά 200% μετά τον πόλεμο. Αυτό έχει οδηγήσει σε υψηλότερους λογαριασμούς ενέργειας για τα νοικοκυριά και τις επιχειρήσεις. Ο πόλεμος Ρωσίας-Ουκρανίας οδήγησε επίσης σε αυξημένη ζήτηση για εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Αυτό έχει οδηγήσει σε υψηλότερες τιμές για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια.

#### 2.4 ΕΠΙΡΡΟΗ COVID-19 ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ ΤΟΥ Υ.Φ.Α.

Η πανδημία του COVID-19 είχε σημαντικές επιπτώσεις στην προσφορά και τη ζήτηση του LNG, με αποτέλεσμα τις τιμές του να μειώνονται σημαντικά. Προκάλεσε μια απότομη μείωση της παγκόσμιας οικονομικής δραστηριότητας, η οποία οδήγησε σε μείωση της ζήτησης για LNG. Αυτό οδήγησε σε μια μείωση της παραγωγής LNG, καθώς οι εταιρείες παραγωγής προσαρμόστηκαν στη μειωμένη ζήτηση.

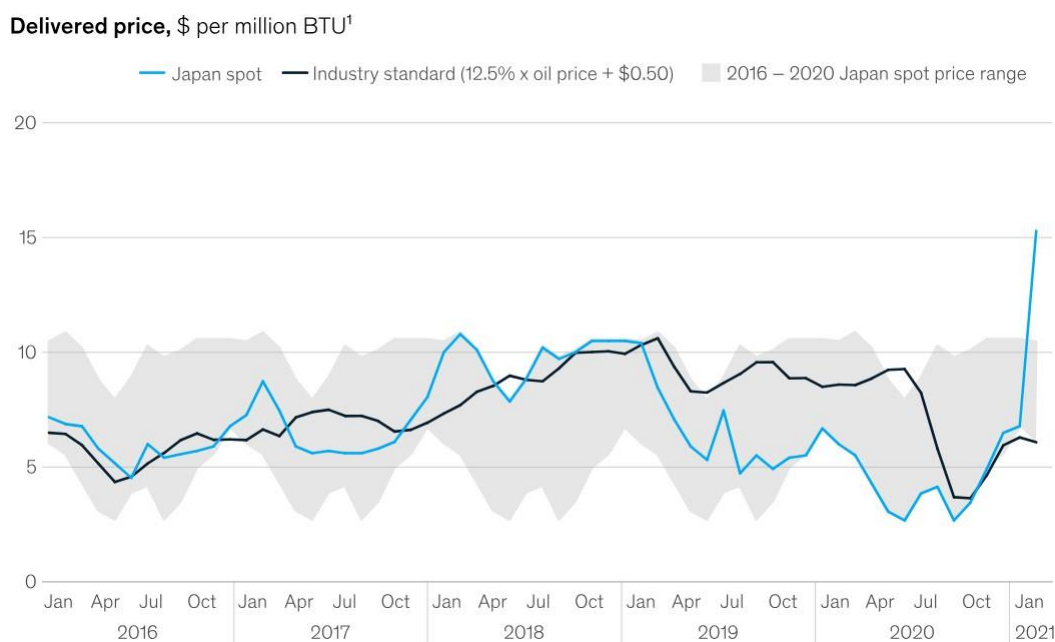
Πρώτον, η Βορειοανατολική Ασία βίωσε έναν ασυνήθιστα θερμό χειμώνα κατά το δεύτερο εξάμηνο του 2019, γεγονός που αποδυνάμωσε τη ζήτηση υγροποιημένου φυσικού αερίου στην περιοχή. Η υπερπροσφορά μεταφέρθηκε στην Ευρώπη, η οποία διαθέτει πλεόνασμα αποθήκευσης και μπορεί να επωφεληθεί από την πτώση των τιμών για την αποθήκευση ΥΦΑ κατόπιν ζήτησης. (KPMG, 2020) Η παγκόσμια εξάπλωση του COVID-19 είναι το πιο σημαντικό γεγονός μέχρι σήμερα για τη ζήτηση ΥΦΑ το 2020, προκαλώντας πιέσεις από την πλευρά της ζήτησης, οι επιπτώσεις των οποίων είναι πιθανό να είναι πιο σοβαρές και μακροχρόνιες. Πόλεις σε όλο τον κόσμο έχουν επιβάλει λουκέτα, περιορίζοντας τη μετακίνηση των ανθρώπων και κλείνοντας μη απαραίτητες επιχειρήσεις, καθώς και χώρους ψυχαγωγίας, αθλητικές εγκαταστάσεις και χώρους λατρείας. Αυτά τα μέτρα αποκλεισμού έχουν περιορίσει την κατανάλωση ενέργειας-δεν είναι ακόμη σαφές πόσος χρόνος θα χρειαστεί για να ανακάμψει η οικονομία από τις επιπτώσεις του COVID-19.

Για παράδειγμα, η Cheniere Energy Inc(LNG.A) μια αμερικανική εταιρεία παραγωγής και εμπορίας LNG. Η εταιρεία έχει δύο εγκαταστάσεις παραγωγής LNG στις Ηνωμένες Πολιτείες, το Sabine Pass LNG και το Corpus Christi LNG. Βίωσε σημαντικές επιπτώσεις από την πανδημία του COVID-19. Η πανδημία προκάλεσε μείωση της ζήτησης για LNG, η οποία οδήγησε σε μείωση των εσόδων της εταιρείας. Αναγκάστηκε να κάνει σημαντικές εκπτώσεις στις τιμές του LNG για να ανταγωνιστεί τις χαμηλότερες τιμές που προσφέρονταν από άλλες εταιρείες παραγωγής LNG. Για παράδειγμα, η εταιρεία έκπτωσησε τις τιμές του LNG στην Ευρώπη κατά 30% το δεύτερο τρίμηνο του 2020. Επίσης, τα έσοδα της μειώθηκαν κατά 20% το 2020, από 8,2 δισεκατομμύρια δολάρια σε 6,5 δισεκατομμύρια δολάρια.

Η πανδημία προκάλεσε μια μείωση της ζήτησης LNG από διάφορους τομείς, όπως η βιομηχανία, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και οι μεταφορές. Η βιομηχανία παραγωγής χάλυβα στην Κίνα, η οποία είναι ένας από τους μεγαλύτερους καταναλωτές LNG στον κόσμο, μείωσε την παραγωγή της κατά 25% το πρώτο τρίμηνο του 2020.

Επίσης η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μείωσε την παραγωγή της λόγω της μείωσης της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό οδήγησε επίσης σε μείωση της ζήτησης για LNG, καθώς το LNG χρησιμοποιείται συχνά ως καύσιμο για μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση μείωσε την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 5% το πρώτο τρίμηνο του 2020.

Η μέση τιμή spot για το LNG στην Ιαπωνία μειώθηκε στα 4,5 \$/MMBtu, με μείωση 31% από τα 6,5 \$/MMBtu του 2019. Λόγω της οικονομικής επιβράδυνσης και των επιπτώσεων του COVID-19, οι τιμές του LNG υπέστησαν σημαντική πτώση, με ορισμένες παραδόσεις στην Ασία να καταγράφονται κάτω από τα \$2/MMBtu το καλοκαίρι. Παρόλα αυτά, από το τέταρτο τρίμηνο, οι τιμές αυξήθηκαν, φτάνοντας περίπου \$7/MMBtu για παραδόσεις Δεκεμβρίου. Η αύξηση συνεχίστηκε και το νέο έτος, φθάνοντας ρεκόρ ύψους στις αρχές του 2021, με ορισμένα φορτία να αναφέρονται ότι πωλήθηκαν κοντά στα \$40/MMBtu.



Εικόνα 2 Τιμή LNG στην Ιαπωνία. Πηγή: Ministry, Trade and Industry, Petroleum Association of Japan

## 2.5 Υ.Φ.Α. ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ - ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΡΕΒΥΘΟΥΣΑΣ

Ο Τερματικός Σταθμός Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (Υ.Φ.Α.) Ρεβυθούσας αποτελεί μια από τις σημαντικότερες εθνικές υποδομές της χώρας μας, με έκταση 0,18 τετραγωνικά χιλιόμετρα (180.000 m<sup>2</sup>) ο οποίος ολοκληρώθηκε το 1999 και χρήστης

της εγκατάστασης είναι η ΔΕΣΦΑ Α.Ε.. Βρίσκεται περίπου 500 μέτρα από την ακτή της Αγίας Τριάδας, στον κόλπο Πάχης Μεγάρων, 45 χλμ. δυτικά της Αθήνας.

Αποτελεί έναν από τους 28 σταθμούς υγροποίησης φυσικού αερίου που λειτουργούν σε όλη τη Μεσόγειο και την Ευρώπη, ενώ συγχρόνως αποτελεί τον μοναδικό στην Ελλάδα που υποδέχεται δεξαμενοπλοία ΥΦΑ. Ο σταθμός προβαίνει στην φόρτωση, αποθήκευση, αεριοποίηση και τροφοδοσία του Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Φυσικού Αερίου με υγροποιημένο φυσικό αέριο. Με μια αποθηκευτική ικανότητα 225.000 κ.μ. υγρού φυσικού αερίου και ημερήσια δυναμικότητα αεριοποίησης 1.400 κ.μ. LNG σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, ο σταθμός αποτελεί κορυφαία εγκατάσταση της χώρας. Παρέχει ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία, λειτουργική ευελιξία στο Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού Αερίου και αυξημένη δυνατότητα ανταπόκρισης σε έκτακτες απαιτήσεις της αγοράς. Ο σταθμός σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις υψηλότερες προδιαγραφές ασφαλείας, προσφέροντας προστασία τόσο στους εργαζομένους όσο και στους κατοίκους των γύρω περιοχών.



Εικόνα 3 Τερματικός σταθμός Ρεβυθούσας. Πηγή: Money Review, Greek Economy Η Ρεβυθούσα κρατά όρθια με φυσικό αέριο τη Βουλγαρία

Η εκφόρτωση, η αποθήκευση και η αεριοποίηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) πραγματοποιείται σε αυστηρή συμμόρφωση με τις προδιαγραφές ασφάλειας και προστασίας του περιβάλλοντος που προβλέπονται από την ελληνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία, πιστοποιημένες σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 45001 και ISO 14001, έτσι ώστε η τήρηση των παραπάνω προδιαγραφών να παρακολουθείται συνεχώς και να πιστοποιείται από ανεξάρτητο φορέα.

Έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί τις εξής διαδικασίες:

α) Έγχυση του υγρού φυσικού αερίου (ΥΦΑ) από πλοίο μεταφοράς, β)

Αποθήκευση ποσοτήτων ΥΦΑ,

γ) Επαναυγροποίηση των αερίων που προκύπτουν από τη φυσική εξάτμιση του ΥΦΑ στις δεξαμενές,

δ) Άντληση και αεριοποίηση του ΥΦΑ, και

ε) Έγχυση του φυσικού αερίου (Φ.Α.) στον επανασυμπυκνωτή.

Το σύστημα βραχιόνων περιλαμβάνει τρεις βραχίονες έγχυσης ΥΦΑ (Z3101A/B/C) και έναν βραχίονα αερίων (Z3102) για τη μεταφορά προς και από το πλοίο μεταφοράς, με μέγιστο ρυθμό εκφόρτωσης 7.250 m<sup>3</sup>/h. Το ΥΦΑ αποθηκεύεται σε θερμοκρασία περίπου -160°C και σε σχεδόν ατμοσφαιρική πίεση σε τρεις δεξαμενές αποθήκευσης χωρητικότητας 225.000 m<sup>3</sup>.

Κατά τη φυσική εξάτμιση του ΥΦΑ στις δεξαμενές, παράγονται αέρια, κυρίως μεθάνιο και άζωτο. Έχει εγκατασταθεί σύστημα απομάκρυνσης και επανάκτησης αερίων με συμπιεστές και επανασυμπυκνωτή. Το σύστημα άντλησης και αεριοποίησης του αποθηκευμένου ΥΦΑ περιλαμβάνει αντλίες χαμηλής πίεσης εμβαπτισμένες στις δεξαμενές, προωθώντας το υγρό προς τον επανασυμπυκνωτή ή απευθείας προς τις αντλίες υψηλής πίεσης. Ο επανασυμπυκνωτής λειτουργεί επίσης ως δοχείο αναρρόφησης για τις αντλίες υψηλής πίεσης, οι οποίες αυξάνουν την πίεση του ΥΦΑ πριν από την αεριοποίηση από τους αεριοποιητές (M-3101 A/B/C/D και M-3102 A/B/C/D). Οι αεριοποιητές προσφέρουν τη θερμότητα που απαιτείται για την αεριοποίηση του ΥΦΑ και τον θέρμανση του παραγόμενου φυσικού αερίου πριν από τη μεταφορά.

### **3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ**

#### **3.1 ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ Υ.Φ.Α.**

Το LNG θεωρείται ένα οικολογικό καύσιμο καθώς δεν περιέχει ούτε CO και δεν είναι τοξικό. Ακόμα, συμβάλει στη μείωση μεταλλικών ρύπων, διότι δεν περιλαμβάνει ίχνη Hg, Ni, Pb και V τα οποία περιέχονται στον C2 και το πετρέλαιο. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που εκπέμπει είναι λιγότεροι συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα, ενώ περιορίζει τη συνολική κατανάλωση κατά 4-10% καθώς βελτιώνει το βαθμό απόδοσης καύσης. (Σπανόπουλος, 2005)

Με βάση τις μελέτες του IMO (2017) το LNG μειώνει τις εκπομπές του CO<sub>2</sub> κατά 25-30%, του NO<sub>x</sub> πάνω από 80%, σχεδόν εξαλείφει τις εκπομπές ρύπων των SO<sub>x</sub> και PM, ενώ εκμηδενίζει τον κίνδυνο πετρελαιοκηλίδων, σε σχέση με τα πλοία που χρησιμοποιούν Diesel ή βαρύ μαζούτ.

Από την άλλη, υπάρχουν και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση του LNG, οι οποίες προέρχονται είτε από τις εκπομπές αερίων ρύπων που παράγονται από την καύση του είτε από τη διαρροή του. Η ρύπανση που προκύπτει από τη διαρροή του LNG αποτελεί την πιο σημαντική καθώς οι συνέπειές του είναι οι πιο καταστροφικές. Συγκεκριμένα, μπορεί να προκληθεί είτε στα θαλάσσια ύδατα είτε σε δασικές εκτάσεις. Στην πρώτη περίπτωση, οδηγεί σε πιθανότητα πυρκαγιάς και επιπτώσεις κατάψυξης κοντά στη κηλίδα διαρροής, καθώς το LNG διαλύεται εντελώς χωρίς ίχνος υπολειμμάτων, ενώ στη δεύτερη περίπτωση υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιών.

Για να απομακρυνθεί το LNG, απαιτείται η αεριοποίησή του. Κατά τη διαδικασία αυτή οι αεριοποιητές καύσης με τους ORV να είναι οι πιο διαδεδομένοι, εκπέμπουν κυρίως CH<sub>4</sub>, ρυπαίνοντας την ατμόσφαιρα. Οι ORV είναι ιδιαίτερα τοξικοί για τους υδρόβιους οργανισμούς σύμφωνα με τον Κανονισμό Reach (Brierley & Kingsford, 2009). Η ορρόφηση και η μετέπειτα απόρριψη ενός μεγάλου όγκου και χημικά επεξεργασμένου θαλάσσιου ύδατος σε ημερήσια βάση, επιδρά αρνητικά στην ποιότητα του νερού και τη θαλάσσια ζωή, εξαλείφοντας το ιχθυοπλανκτόν. Κατά την πρόσληψή του θανατώνονται θαλάσσιοι οργανισμοί εξαιτίας της πίεσης, ενώ κατά την απόρριψή του προκαλείται σοκ από την αλλαγή θερμοκρασίας στο θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς μειώνεται έως και 20 βαθμούς.

Πέραν αυτού, αποβάλλονται στη θάλασσα μικροοργανισμοί και βακτήρια που δημιουργήθηκαν στους εξοπλισμούς και παρενοχλούν την υδρόβια ζωή επηρεάζοντας την παραγωγικότητά τους λόγω της αλλαγής οξύτητας στα ύδατα. (Quintero – Nunez et al., 2009)

Σύμφωνα με τον Bagočius (2015) οι τερματικοί σταθμοί LNG αποτελούν μία



ακόμα σοβαρή επίπτωση στο περιβάλλον, καθώς δημιουργούν ισχυρά ηχητικά ρεύματα που επηρεάζουν τη μετανάστευση των πτηνών, προκαλούν βλάβες στα ακουστικά τους όργανα και τα αυγά τους. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα, έχει εγείρει πολλούς προβληματισμούς ο πλωτός τερματικός σταθμός της Αλεξανδρούπολης, ο οποίος μπορεί να έχει πολύ σοβαρές επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον και τους αλιείς. (Παχή & Παπαευθυμίου, 2016)

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization – IMO) έχει προχωρήσει από το 2013 στη δημιουργία ορισμένων προτύπων και μηχανισμών, εισάγοντας αυστηρότερο θεσμικό πλαίσιο και αναπτύσσοντας καινοτόμες τεχνολογίες με σκοπό να μειώσει τις εκπομπές των βασικότερων ναυτιλιακών ρύπων που αναφέρθηκαν και παραπάνω όπως είναι το Οξείδιο του Θείου, Οξείδιο του Αζώτου, Διοξείδιο του Άνθρακα και τα Αιωρούμενα Σωματίδια. Τα εν λόγω πρότυπα και μηχανισμοί αποσκοπούν στον περιορισμό των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που προέρχονται από το LNG και ο σκοπός του IMO είναι να μειώσει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και να βελτιώσει την ποιότητα της ζωής και την υγεία των ανθρώπων αλλά και των ζώων. (Wan et al., 2015)

Ανάμεσα στα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας συγκαταλέγονται ο ορισμός γραμμών αναφοράς για την ποσότητα καυσίμων που καταναλώνεται από κάθε είδος πλοίου καθώς και ο νέος κανόνας πως όλα τα δεξαμενόπλοια LNG θα πρέπει να είναι τουλάχιστον κατά 30% πιο ενεργειακά αποδοτικά από αυτά που κατασκευάστηκαν έως το 2014.

### 3.2 ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ Υ.Φ.Α.

Ένας από τους βασικότερους λόγους που το LNG χρησιμοποιείται ευρέως ως ναυτιλιακό καύσιμο είναι πως τα παγκόσμια αποθέματα CH<sub>4</sub> είναι πολύ περισσότερα από αυτά του αργού πετρελαίου. Συγκεκριμένα, με βάση το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας υπολογίζεται πως υπάρχει αρκετό φυσικό αέριο προς κατανάλωση για τα επόμενα 250 χρόνια, λαμβάνοντας υπόψη τις ανανεώσιμες και μη συμβατικές πηγές του.

Λόγω των αυστηρότερων περιβαλλοντικών κανονισμών που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, αναμένεται να έχει θετική εξέλιξη η τιμή του φυσικού αερίου σε σύγκριση με το πετρέλαιο για τα επόμενα 20 χρόνια. Έτσι το LNG παρουσιάζει σημαντικές προοπτικές με ραγδαία αύξηση στη ζήτησή του, με αποτέλεσμα την οικονομική ανάπτυξη και απασχόληση ευρύτερα στον τομέα των μεταφορών.

Αναλυτικότερα, τα οικονομικά οφέλη από την αξιοποίηση του LNG μπορεί να είναι τα ακόλουθα: (Vaitelis, 2014)

- **Επενδύσεις σε πλοία και φορτηγά:** Εάν οι πλοιοκτήτες/ιδιοκτήτες φορτηγών ξεκινήσουν να χρησιμοποιούν το LNG, θα χρειαστεί να γίνουν επενδύσεις σε νέα πλοία και φορτηγά που να έχουν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για τη χρήση του. Οι συγκεκριμένες επενδύσεις θα καθορίσουν και την ταχύτητα με την οποία θα αναπτυχθεί το μέγεθος της αγοράς LNG.
- **Επενδύσεις σε υποδομές:** Απαραίτητη προϋπόθεση για το παραπάνω είναι η εξασφάλιση των βασικών υποδομών.
- **Διαφοροποίηση του μείγματος καυσίμων:** Το LNG ως μία εναλλακτική καυσίμου, οδηγεί σε μικρότερο ρυθμό αύξησης της τιμής του πετρελαίου, ή ακόμα και στη μείωσή της. Το γεγονός αυτό θα επηρεάσει θετικά την οικονομική ανάπτυξη.
- **Ανταγωνιστική θέση χωρών:** Οι χώρες που θα υιοθετήσουν έγκαιρα τη χρήση του καυσίμου αυτού, θα βελτιώσουν την ανταγωνιστική τους θέση.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν και αξιοσημείωτες οικονομικές επιπτώσεις του LNG, καθώς οι απαραίτητες υποδομές για την ψύξη, υγροποίηση, μεταφορά και επαναφορά σε αέρια μορφή είναι χρονοβόρες και δαπανηρές. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει πολύ υψηλό κόστος η κρυογονική αποθήκευση στα οχήματα, η μετατροπή οχήματος σε διπλής καύσης και η παραγωγή λόγω επιπλέον μονάδων υγροποίησης.

Σε αυτή την περίπτωση, τα οικονομικά κεφάλαια που απαιτούνται για τη ναυπήγηση πλοίων καύσης και μεταφοράς LNG είναι μεγάλα και για τον λόγο αυτό εξετάζονται οι πιθανότητες επιδότησης των εργασιών μετάβασης στο νέο καύσιμο.

Ακόμα, οι τιμές του πετρελαίου διαμορφώνονται σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ οι τιμές του LNG επηρεάζονται από τοπικούς παράγοντες και είναι αρκετά ευμετάβλητες, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να εκτιμηθεί η τιμή του μακροπρόθεσμα. Συγκεκριμένα, οι τιμές διαμορφώνονται με βάση το σημείο ισορροπίας μεταξύ ζήτησης και προσφοράς, έπειτα από διαπραγμάτευση μεταξύ του αγοραστή και πωλητή, λόγω του ότι το LNG δεν έχει το «τέλειο» υποκατάστατο.

Επομένως μπορούμε να συμπεράνουμε πως η αγορά του Υ.Φ.Α. αποτελεί ολιγοπώλιο λίγων και μεγάλων εταιριών που ελέγχονται από το κράτος ή υπάγονται σε κανονιστικούς ελέγχους. Έτσι, παρόλο που υπάρχει υψηλή διαθεσιμότητα του LNG, αναμένεται μία αύξηση των τιμών σε επίπεδα ακόμα και του πετρελαίου.

### 3.3 ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ Υ.Φ.Α.

Η μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου (ΥΦΑ) μεταφέρει το ΥΦΑ από τις εγκαταστάσεις παραγωγής και αποθήκευσης σε διάφορους προορισμούς, όπως τερματικούς σταθμούς επαναεριοποίησης, κέντρα διανομής και αγορές σε όλο τον κόσμο. Η μεταφορά ΥΦΑ διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη διανομή του φυσικού αερίου σε περιοχές που δεν συνδέονται άμεσα με αγωγούς με κοιτάσματα φυσικού αερίου. (naftikachronika.gr)

Το ΥΦΑ μεταφέρεται κυρίως με ειδικά σχεδιασμένα πλοία, γνωστά ως πλοία μεταφοράς ΥΦΑ ή LNG carriers. Τα πλοία αυτά είναι εξοπλισμένα για να διατηρούν το ΥΦΑ σε υγρή κατάσταση κατά τη μεταφορά και είναι βελτιστοποιημένα για ασφάλεια, αποδοτικότητα και χαμηλά ποσοστά βρασμού. Τα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ κυμαίνονται σε μέγεθος από μικρά πλοία έως μεγαλύτερα πλοία γνωστά ως πλοία Q-Flex ή Q-Max.

Το ΥΦΑ φορτώνεται στα πλοία μεταφοράς ΥΦΑ στις εγκαταστάσεις υγροποίησης και στους τερματικούς σταθμούς. Η διαδικασία φόρτωσης περιλαμβάνει την ψύξη των δεξαμενών φορτίου του μεταφορέα σε κρυογονικές θερμοκρασίες και τη σύνδεση ενός βραχίονα ή ενός σωλήνα φόρτωσης από την τερματική εγκατάσταση στις δεξαμενές του μεταφορέα- το ΥΦΑ ρέει από τις δεξαμενές αποθήκευσης του τερματικού σταθμού στις δεξαμενές φορτίου ΥΦΑ του μεταφορέα. Μόλις το ΥΦΑ φορτωθεί στις δεξαμενές φορτίου, οι δεξαμενές και το ΥΦΑ συνεχίζουν να ψύχονται και το ΥΦΑ παραμένει σε υγρή κατάσταση. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, τα συστήματα ψύξης και οι μονάδες του μεταφορέα ΥΦΑ διατηρούν τις χαμηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται για να διατηρηθεί το ΥΦΑ σε υγρή μορφή.

Παρά τις προσπάθειες ελαχιστοποίησης της εισερχόμενης θερμότητας, μια μικρή ποσότητα ΥΦΑ εξατμίζεται κατά τη μεταφορά. Αυτός ο ατμός, γνωστός ως Boiling Off Gas (BOG), ανακτάται, συμπιέζεται και είτε επιστρέφει στις δεξαμενές φορτίου είτε χρησιμοποιείται ως καύσιμο για τις μηχανές του πλοίου. Κατά την άφιξη στον προορισμό, πραγματοποιούνται έλεγχοι ασφαλείας και συντονισμός μεταξύ του πληρώματος του πλοίου μεταφοράς ΥΦΑ και του τερματικού σταθμού παραλαβής. Εάν υπάρχει εγκατάσταση επαναεριοποίησης στον προορισμό, το ΥΦΑ εκφορτώνεται από τις δεξαμενές του μεταφορέα στην τερματική εγκατάσταση. Η διαδικασία επαναεριοποίησης επαναφέρει το ΥΦΑ σε αέρια μορφή για διανομή.

Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν διάφοροι τύποι μεταφοράς. Ο πρώτος είναι ο μεταφορέας με μεμβράνη, ο οποίος χρησιμοποιεί ένα εύκαμπτο σύστημα μεμβρανών για να συγκρατεί το ΥΦΑ. Η μεμβράνη διαστέλλεται και συστέλλεται ανάλογα με τον όγκο του ΥΦΑ και διατηρεί την ακεραιότητά της. Δεύτερον, οι μεταφορείς τύπου Moss είναι εξοπλισμένοι με σφαιρικές δεξαμενές αποθήκευσης που είναι στεγανά μονωμένες και διατηρούνται σε κρυογονικές θερμοκρασίες. Οι δεξαμενές προστατεύονται από ένα δευτερεύον σύστημα συγκράτησης. Η τεχνολογική πρόοδος έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πιο αποδοτικών και φιλικών προς το περιβάλλον μεταφορέων ΥΦΑ. Οι καινοτόμες τεχνολογίες περιλαμβάνουν βελτιωμένη μόνωση, συστήματα ρευστοποίησης που μειώνουν τον βρασμό και συστήματα πρόωσης που χρησιμοποιούν το ΥΦΑ ως καύσιμο και ελαχιστοποιούν τις εκπομπές. Η μεταφορά ΥΦΑ διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στο παγκόσμιο εμπόριο φυσικού αερίου, επιτρέποντας τη μετακίνηση των πόρων φυσικού αερίου σε ωκεανούς και ηπείρους. Η ασφαλής και αποτελεσματική μεταφορά απαιτεί αυστηρή τήρηση των κανονισμών ασφαλείας και συντονισμό μεταξύ των διαφόρων ενδιαφερόμενων φορέων. Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι μεταφοράς του LNG οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω. (justenergy.com)

### *3.3.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕ ΑΓΩΓΟΥΣ (PIPELINES)*

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) είναι μια μέθοδος μεταφοράς φυσικού αερίου σε υγρή μορφή και είναι ευκολότερο και φθηνότερο να μεταφερθεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις από ό,τι το φυσικό αέριο. Όσον αφορά την μεταφορά με αγωγούς, οι αγωγοί είναι ο πιο συνηθισμένος και αποτελεσματικός τρόπος μεταφοράς ΥΦΑ σε μεγάλες αποστάσεις. Συνήθως κατασκευασμένοι από χάλυβα και θάβονται υπόγεια για να προστατεύονται από τα στοιχεία της φύσης. Το ΥΦΑ ψύχεται στους μείον 162 βαθμούς Κελσίου (μείον 260 βαθμούς Φαρενάιτ) πριν περάσει από τον αγωγό, όπου υγροποιείται σε όγκο 600 βαθμών Κελσίου. Στη συνέχεια το ΥΦΑ υγροποιείται στο 1/600 του όγκου του. Αυτό καθιστά ευκολότερη και φθηνότερη τη μεταφορά ΥΦΑ σε μεγάλες αποστάσεις.

Οι αγωγοί υγροποιημένου φυσικού αερίου κατασκευάζονται για τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου. Αυτοί οι αγωγοί σχεδιάζονται για να είναι κρυογενικοί (ικανοί να χειρίζονται εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες) και μονώνονται για να διατηρούν το ΥΦΑ σε υγρή κατάσταση. Είναι συνήθως διπλού τοιχώματος, με έναν

εσωτερικό αγωγό που μεταφέρει το ΥΦΑ και έναν εξωτερικό αγωγό για την αποφυγή διαρροών.

Χρησιμοποιούνται συχνά για τη σύνδεση τερματικών σταθμών εισαγωγής ΥΦΑ με τερματικούς σταθμούς διανομής, βιομηχανικές εγκαταστάσεις και σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ μερικές φορές χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ΥΦΑ από τερματικό σταθμό σε τερματικό σταθμό. Μερικές φορές εγκαθίστανται αντλιοστάσια κατά μήκος της διαδρομής των αγωγών ΥΦΑ για τη διατήρηση της πίεσης και της ροής του ΥΦΑ. Αυτοί οι σταθμοί άντλησης απορροφούν εκ νέου αέριο που έχει εξατμιστεί λόγω μεταβολών της θερμοκρασίας ή μεταφοράς θερμότητας από το περιβάλλον.

Η ασφάλεια είναι το σημαντικότερο ζήτημα κατά τη μεταφορά ΥΦΑ με αγωγούς. Υπάρχουν εξελιγμένα συστήματα ανίχνευσης διαρροών, συστήματα διακοπής λειτουργίας έκτακτης ανάγκης και διαδικασίες ασφαλείας που διασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία αυτών των αγωγών. Στο τέλος ενός αγωγού ΥΦΑ υπάρχει συνήθως ένας τερματικός σταθμός επαναεριοποίησης όπου το ΥΦΑ μετατρέπεται ξανά σε φυσικό αέριο. Το αέριο αυτό παρέχεται στη συνέχεια μέσω της υπάρχουσας υποδομής αγωγών φυσικού αερίου.

Η κατασκευή των αγωγών ΥΦΑ είναι δαπανηρή και συχνά απαιτεί σημαντικές επενδύσεις και σχεδιασμό. Επιπλέον, η οικονομία των αγωγών ΥΦΑ μπορεί να είναι χαμηλότερη από τη χρήση δεξαμενόπλοιων ΥΦΑ για μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι οι αγωγοί μπορούν να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες ΥΦΑ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ΥΦΑ υγροποιείται και μειώνεται σε όγκο κατά 600 φορές πριν αντληθεί μέσω του αγωγού. Η μεταφορά μέσω αγωγών παρέχει συνεχή, σταθερή ροή υγροποιημένου φυσικού αερίου και, ως εκ τούτου, είναι κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν σταθερή, προβλέψιμη προμήθεια φυσικού αερίου. Είναι ανθεκτικοί στις καιρικές συνθήκες και μπορούν να λειτουργούν αξιόπιστα ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες.

Έπειτα, οι αγωγοί είναι ένας σχετικά αποδοτικός τρόπος μεταφοράς ΥΦΑ, ιδίως σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ενέργεια που απαιτείται για την άντληση υγροποιημένου φυσικού αερίου μέσω αγωγού είναι πολύ χαμηλότερη από εκείνη που απαιτείται για τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου με πλοίο ή φορτηγά. Για σχετικά μικρές αποστάσεις, οι αγωγοί είναι πιο αποδοτικοί από τη μεταφορά ΥΦΑ. Οι αγωγοί έχουν χαμηλότερο κόστος καυσίμων και

δεν απαιτούν την εκτεταμένη υποδομή που απαιτείται για λιμάνια, προβλήτες και εξειδικευμένους τερματικούς σταθμούς πλοίων.

Οι αγωγοί είναι γενικά ασφαλείς, αξιόπιστοι και έχουν χαμηλό κίνδυνο ατυχημάτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι αγωγοί θάβονται υπόγεια και είναι σχεδιασμένοι να αντέχουν σε υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Είναι κατάλληλοι για πυκνό-κατοικημένες περιοχές, καθώς ελαχιστοποιούν τους κινδύνους που συνδέονται με τη μεταφορά επικίνδυνων ουσιών κάτω από το νερό. Οι αγωγοί συμβάλλουν επίσης στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς καταλαμβάνουν ελάχιστο χώρο. Συμβάλλουν στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω των χαμηλών εκπομπών αερίων τους. Και τέλος, συμβάλλουν στη μείωση της ηχορύπανσης, διότι τα επίπεδα θορύβου τους είναι χαμηλά.

Ένα από τα κυριότερα μειονεκτήματα είναι το αρχικό προκαταβολικό κόστος, δηλαδή η κατασκευή και η συντήρηση των αγωγών είναι δαπανηρή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αγωγός πρέπει να θάβεται υπόγεια και να κατασκευάζεται με υλικά υψηλής αντοχής που μπορούν να αντέξουν την πίεση και τη θερμοκρασία του υγροποιημένου φυσικού αερίου. Η διαδικασία παροχή αδείας για την κατασκευή ενός αγωγού μπορεί να είναι χρονοβόρα και μπορεί να αντιμετωπίσει αντίθεση από περιβαλλοντικές ομάδες ή τοπικές κοινότητες.

Επιπρόσθετα, οι αγωγοί δεν είναι κατάλληλοι για τις ταχέως μεταβαλλόμενες αγορές λόγω της περιορισμένης ευελιξίας τους και της αδυναμίας τους να ανταποκριθούν εύκολα στις μεταβολές της ζήτησης και της προσφοράς. Μόλις κατασκευαστεί ένας αγωγός, είναι δύσκολο να αλλάξει η διαδρομή ή η χωρητικότητά του.

Ακόμη ένα σοβαρό μειονέκτημα είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αλλά και τα προβλήματα ασφαλείας. Η κατασκευή αγωγών υγροποιημένου φυσικού αερίου μπορεί να έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της υποβάθμισης της γης κατά τη διάρκεια της κατασκευής και της δυνητικής διατάραξης των τοπικών οικοσυστημάτων και κοινοτήτων, ιδίως εάν κατασκευάζονται σε ευαίσθητες περιοχές. Οι αγωγοί ενδέχεται να κατακερματίσουν το οικοσύστημα και να διαταράξουν τα πρότυπα μετακίνησης της άγριας ζωής. Σε σχέση με την ασφάλεια, πάντα ο φόβος για τον πιθανόν ατύχημα, καθώς το ΥΦΑ είναι εύφλεκτη και εκρηκτική ουσία, μια διαρροή ή έκρηξη μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες.

Ένα παράδειγμα των μειονεκτημάτων της μεταφοράς LNG είναι ο αγωγός Keystone XL, ο οποίος προτάθηκε το 2008 από την TC Energy (τότε TransCanada) και

αρχικά προοριζόταν να φέρει γρήγορα το πετρέλαιο από πίσσα, το πιο βρώμικο ορυκτό καύσιμο στη γη, στην αγορά. Το έργο, το οποίο τέθηκε σε λειτουργία το 2010, ανήκει στην TC Energy και, από τον Μάρτιο του 2020, στην κυβέρνηση της Αλμπέρτα. Εκτείνεται από τη δυτική καναδική ιζηματογενή λεκάνη στην Αλμπέρτα έως τα διυλιστήρια στο Ιλινόις και το Τέξας, καθώς και δεξαμενές πετρελαίου και κέντρα διανομής πετρελαίου στο Cushing της Οκλαχόμα. Το έργο αυτό ακυρώθηκε το 2021 λόγω ανησυχιών σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του.

### 3.3.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕ ΔΕΞΑΜΕΝΟΠΛΟΙΑ (GAS TANKERS)

Η μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου (ΥΦΑ) με δεξαμενόπλοια, γνωστά ως μεταφορείς ΥΦΑ, είναι ο πιο συνηθισμένος και αποτελεσματικός τρόπος μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων ΥΦΑ σε μεγάλες αποστάσεις. Ένα τυπικό πλοίο μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου διαθέτει τέσσερις έως έξι δεξαμενές κατά μήκος της κεντρικής γραμμής του πλοίου. Οι δεξαμενές περιβάλλονται από δεξαμενές έρματος, φράγματα και κενά που είναι ουσιαστικά μια κατασκευή διπλού κύτους.

Αρχικά, το ΥΦΑ δεν μπορεί να φορτωθεί απευθείας στις δεξαμενές αποθήκευσης του πλοίου χωρίς κατάλληλη προετοιμασία και αυτό γιατί οι δεξαμενές του μπορεί να υποστούν σοβαρές βλάβες. Για την ασφαλή φόρτωση και εκφόρτωση του αερίου θα πρέπει πρωτίστως να καθαριστούν πριν οι περιοχές των αμπαριών και πριν μπει το εμπόρευμα να έχουν στεγνώσει. Αυτό χρειάζεται διότι, η βρωμιά και η υγρασία που μπορεί να έχει το αμπάρι θα προκαλέσει διάβρωση, συμπύκνωση και πιθανό σχηματισμό πάγου.

Στην συνέχεια θα πρέπει να ξεκινήσει η αδρανοποίηση των δεξαμενών του εμπορεύματος, των χώρων μόνωσης αλλά και των χώρων των φραγμάτων. Συνήθως, προστίθεται άζωτο, το οποίο βοηθάει να μειωθούν οι τιμές υγρασίας και οξυγόνου των αμπαριών. Το άζωτο για τους άλλους χώρους του πλοίου βοηθάει ώστε να μην υπάρχει διάβρωση, και επιτρέπει τον εντοπισμό διαρροών του ΥΦΑ σε περίπτωση αλλαγών στη σύσταση του αέρα και αποτρέπει το δημιουργία εύφλεκτου μείγματος αέρα.

Επόμενο βήμα είναι η εξαέρωση των δεξαμενών από το έμβολο που υπάρχει για να καθαρίζει τους θερμούς ατμούς, αφαιρώντας έτσι το υπόλοιπο αδρανές αέριο και ολοκληρώνοντας τη διαδικασία ξήρανσης. Οι δεξαμενές ψύχονται αργά στους -110 C έως -130 C περίπου με ατμό LNG.

Αφού έχουν ολοκληρωθεί τα παραπάνω, οι δεξαμενές είναι έτοιμες να μεταφέρουν το LNG. Το εμπόρευμα μπορεί να φορτωθεί είτε με από την προβλήτα είτε με ένα καινοτόμο σύστημα μεταφοράς χωρίς να φτάσει το πλοίο στην προβλήτα.

Τα πλεονεκτήματα της μεταφοράς του ΥΦΑ είναι αρκετά. Μερικά από αυτά είναι αρχικά, η ευελιξία. Τα GAS TANKERS μπορούν να μεταφέρουν ΥΦΑ σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με αγωγούς, καθιστώντας την πιο ευέλικτη επιλογή. Έπειτα, το ΥΦΑ είναι ένα καύσιμο καθαρής καύσης σε σχέση με το πετρέλαιο ή τον άνθρακα, οπότε η μεταφορά του μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και άλλης ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ΥΦΑ παράγει περίπου 50% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα(CO<sub>2</sub>) από ό,τι ο άνθρακας όταν καίγεται αλλά και λιγότερο διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου, οι οποίοι είναι επιβλαβείς ρύποι που μπορούν να προκαλέσουν αναπνευστικά προβλήματα και όξινη βροχή.

Επιπρόσθετα, υπάρχουν οικονομικά οφέλη κατά την μεταφορά του ΥΦΑ με δεξαμενόπλοιο. Η μεταφορά του LNG μπορεί να δημιουργήσει αρκετές θέσεις εργασίας και να αυξήσει την οικονομική ανάπτυξη τόσο στις χώρες παραγωγής όσο και στις χώρες κατανάλωσης. Η δημιουργία και λειτουργία δεξαμενόπλοιων και σταθμών LNG απαιτεί έμπειρο εργατικό δυναμικό. Η μεταφορά του LNG διευκολύνει επίσης την επέκταση των υφιστάμενων κοιτασμάτων φυσικού αερίου και τη δημιουργία νέων κοιτασμάτων.

Ένα από τα κύρια μειονεκτήματα της μεταφοράς LNG με δεξαμενόπλοιο είναι το κόστος μεταφοράς. Τα GAS TANKERS είναι ακριβά στην κατασκευή τους και αυτός είναι ένας λόγος που το κόστος μεταφοράς του ΥΦΑ με δεξαμενόπλοιο είναι ακριβότερο σε σχέση με του αγωγούς. Επίσης, το κόστος μεταφοράς του ΥΦΑ επηρεάζεται και από το τιμή του πετρελαίου καθώς τα περισσότερα από αυτά χρησιμοποιούν αυτό σαν καύσιμο.

Έπειτα, άλλο ένα μειονέκτημα είναι η ασφάλεια. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι επικίνδυνα εύφλεκτη ουσία, και αυτό σημαίνει ότι η μεταφορά του γίνεται με αυστηρά μετρά ασφαλείας διότι τα πιθανά ατυχήματα που μπορεί να συμβούν επιφέρουν καταστροφικές συνέπειες.

Στην συνέχεια, δεν υπάρχουν σε όλα τα λιμάνια υποδομές για αυτά τα πλοία. Τα LNG VESSELS απαιτούν εξειδικευμένες υποδομές στους τερματικούς σταθμούς, γεγονός που περιορίζει την χρήση τους σε ορισμένα λιμάνια.



Τέλος, η διαδικασία υγροποίησης και επανααεριοποίησης του LNG απαιτεί πολλή ενέργεια, κάτι που μπορεί να αυξήσει τη συνολική περιβαλλοντική επίδραση της μεταφοράς του LNG. Υπάρχουν εγκαταστάσεις LNG που υγροποιούν αέριο απελευθερώνοντας και μεθάνιο, ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου. Ωστόσο, η συνολική περιβαλλοντική επίδραση του LNG εξακολουθεί να είναι λιγότερο σημαντική από εκείνη άλλων ορυκτών καυσίμων όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κλείνοντας την εργασία, κρίνεται φρόνιμο να παρουσιαστούν τα συμπεράσματα που διεξήχθησαν.

Η κλιματική αλλαγή θεωρείται ένα από τα βασικότερα προβλήματα παγκοσμίως, καθώς οι συνέπειές της γίνονται ολοένα και πιο εμφανείς στις μέρες μας. Η παγκόσμια αύξηση στη ζήτηση «πράσινου καυσίμου» αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Το CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται από τα πλοία συμβάλλει αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ακόμα, ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως το SO<sub>2</sub>, το NO<sub>x</sub>, τα αιωρούμενα σωματίδια και οι πτητικές οργανικές ενώσεις, έχουν αρνητικές επιπτώσεις τόσο για το περιβάλλον όσο και για τον ίδιο τον πληθυσμό.

Το LNG αποτελεί μία βιώσιμη εναλλακτική λύση ναυτιλιακού καυσίμου για το παγκόσμιο εμπόριο, σε σχέση με τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων. Ως καύσιμο είναι μια αποδεδειγμένη και με αρκετά αποθέματα εμπορική λύση, η οποία και συνιστά μια εξειδικευμένη αγορά, αναπτυσσόμενη στις θαλάσσιες μεταφορές.

Τα πλοία μεταφοράς/καύσης Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου, αποτελούν πλέον μία ασφαλή επιλογή καθώς κατασκευάζονται, λειτουργούν και συντηρούνται βάσει των περιβαλλοντικών κανονισμών που έχει εφαρμοστεί από τον IMO και με σκοπό να εξασφαλιζέται η ασφάλεια.

Συγκεκριμένα, μερικά από τα πλεονεκτήματά του ως προς το περιβάλλον είναι πως επιτυγχάνει σχεδόν μηδενικό περιεχόμενο S<sub>2</sub> και PM, λόγω της χαμηλής περιεκτικότητάς του σε S<sub>2</sub>, κατά την καύση του παράγεται λιγότερο CO<sub>2</sub> από τη βενζίνη, έχει χαμηλές εκπομπές κατά την κρύα εκκίνησή λόγω της αέριας κατάστασης, δεν περιέχει τοξικές ενώσεις και εξατμίζεται ακαριαία, οι μηχανές του έχουν χαμηλότερες εκπομπές θορύβου και τέλος έχει χαμηλότερη θερμοκρασία αδιαβατικής φλόγας σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα και επομένως χαμηλότερες εκπομπές NO<sub>x</sub>. Πέρα από τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα που εμφανίζουν – έχοντας χαμηλά επίπεδα αέριων ρύπων – έχουν επίσης σημαντικό αντίκτυπο και στην εθνική οικονομία κάθε χώρας. Τα τελευταία χρόνια κερδίζει συνεχώς έδαφος στη διεθνή αγορά ως η οικονομικότερη επιλογή μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων φυσικού αερίου σε μακρινές αποστάσεις.

Συγκεκριμένα, έχει μεγάλα αποθέματα διαθεσιμότητας, μειώνεται το λειτουργικό κόστος λόγω αποδοτικότερου βαθμού καύσης στις ΜΕΚ, μειώνοντας έτσι τη συνολική κατανάλωσή του ως καύσιμο κατά 4-10%, και τέλος, διαθέτει μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη από τη βενζίνη, επεκτείνοντας την αυτονομία και μείωση της συχνότητας ανεφοδιασμού.

Ωστόσο είναι σημαντικό να σημειώσουμε πως προκειμένου να εδραιωθεί η χρήση του στον τομέα της ναυτιλίας, θα πρέπει να διαμορφωθεί ένα επαρκές δίκτυο

υποδομών ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες ανεφοδιασμού των πλοίων.

Από την άλλη πλευρά, θα ήταν παράληψη να μην γίνει αναφορά και σε ορισμένα μειονεκτήματα που παρουσιάζει το LNG, τόσο σε οικονομικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Όσον αφορά την οικονομία, διαθέτει υψηλό κόστος κρυογονικής αποθήκευσης στα οχήματα, υψηλό κόστος μετατροπής οχήματος σε διπλής καύσης και παραγωγής λόγω επιπρόσθετων μονάδων υγροποίησης. Ακόμα, οι τιμές του διαμορφώνονται βάσει της προσφοράς και ζήτησης σε τοπικό επίπεδο, σε αντίθεση με άλλα καύσιμα που έχουν παγκόσμια κλίμακα.

Σχετικά με το περιβάλλον, η απαιτούμενη ενέργεια για την επαναεριοποίησή του επιβαρύνει κατά 4% τις εκπομπές CO<sub>2</sub> από τα πλοία, συμβάλλοντας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον, απαιτούνται ειδικοί καταλύτες, ώστε να επιτευχθεί η οξείδωση του CH<sub>4</sub>, του οποίου οι εκπομπές είναι σχετικά υψηλές. Τέλος, οι εκπομπές SO<sub>x</sub> και NO<sub>x</sub> αντιδρούν με την υγρασία ατμόσφαιρας, σχηματίζοντας όξινη βροχή η οποία είναι επιβλαβής τόσο για την ανθρώπινη υγεία όσο και για τα χερσαία και θαλάσσια οικοσυστήματα.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Bagocius, D., (2015). Piling underwater noise impact on migrating salmon fish during Lithuanian LNG terminal construction (Curonian Lagoon, Eastern Baltic Sea Coast). *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 15 & 92 (1 – 2), pp. 45 – 51.

Brierley, A.S. & Kingsford, M.J., (2009). Impacts of climate change on marine organisms and ecosystems. *Current Biology*, Vol. 19 (14)

International Maritime Organization (IMO), (2017). Sulphur oxides (SO<sub>x</sub>) and Particulate Matter (PM) – Regulation 14.

Nieuwoudt, S., (2007). LNG: A global natural gas market on the horizon.

Quintero – Núñez, M., Nieblas – Ruiz, E. C., Velázquez – Limón, N. & García – Cueto, R., (2009). Strategic Transborder Environmental Assessment for Power Generation in Baja California, Mexico and California, U.S.A. Border Region. UK, Southampton: WIT Press. – Transactions on Ecology and the Environment, pp. 199 – 209.

Roberts, P., (2008). Το τέλος του Πετρελαίου. Αθήνα: Εκδόσεις Πατάκη.

Schobert, H., (2013). Chemistry of Fossil Fuels and Biofuels. Cambridge. UK: Cambridge University Press.

Subramanian, A. (2021). Reimagine LNG – An Overview of the LNG Market Potentially Leading to a Future AFLOAT. *Day 2 Tue, August 17, 2021*.

Vaitelis, L., (2014). The drivers and obstacles for the adoption of LNG by various companies in an Arctic Context. University of Nordland: Master Thesis in Energy Management. Wan, C., Yan, X., Zhang, D., Shi, J., Fu, S., & Ng, A. K. (2015). Emerging LNG – fueled ships in the Chinese shipping industry: A hybrid analysis on its prospects. *WMU Journal of Maritime Affairs*, Vol. 14 (1), pp. 43 – 59.

Yaoguang, Z., Yonghong, Z., Hongwei, C., Dan, W. & Zhaobin, M., (2010). Distribution and chain pattern of Liquefied Natural Gas industry in China. *Chinese Geographical Science*, Vol. 17 (3), pp. 203 – 209.

Σπανόπουλος, Κ., (2005). Ποιότητα της ατμόσφαιρας στις αστικές περιοχές – Νέα δεδομένα και προοπτικές. Αθήνα. ΤΕΕ, Ημερίδα.

Παχή, Β. & Παπαευθυμίου, Σ. (2016). Υγροποιημένο φυσικό αέριο LNG ως καύσιμο σε καράβια. Διερεύνηση τεχνικών δυνατοτήτων και ο πιθανός ρόλος των ελληνικών λιμένων.

Σιδερίδου, Ε. Δ., Αχιλιάς, Δ. Σ. & Μπικιάρης, Δ. (2011). Καύσιμα – Λιπαντικά. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

## Ηλεκτρονικές Πηγές

Drilling Down: LNG market outlook post-COVID-19,

KPMG, [https://kpmg.com/xx/en/home/insights/2020/10/lng-market-outlook-post-covid-](https://kpmg.com/xx/en/home/insights/2020/10/lng-market-outlook-post-covid-19.html)

[19.html](https://kpmg.com/xx/en/home/insights/2020/10/lng-market-outlook-post-covid-19.html) [Τελευταία ανάκτηση 27 Φεβρουαρίου 2024]

Liquefied Gas, Science Alpha, <https://sciencealpha.com/liquefied-gas/9/>

[Τελευταία ανάκτηση 20 Φεβρουαρίου 2024]

Liquefied Gas, Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied\\_natural\\_gas](https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_natural_gas)

[Τελευταία ανάκτηση 5 Φεβρουαρίου 2024]

Liquefied Natural Gas – Simpler Natural Gas Transportation, Azo Materials,

<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=14373> [Τελευταία ανάκτηση 15

Φεβρουαρίου 2024]

Liquefied Natural Gas (LNG): What It Is and Why We Use It, Just Energy,

<https://justenergy.com/blog/liquefied-natural-gas-lng-what-and-why/> [Τελευταία

ανάκτηση 25 Φεβρουαρίου 2024]

Natural Gas, Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Natural\\_gas](https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_gas) [Τελευταία

ανάκτηση 2 Φεβρουαρίου 2024]

U.S. Energy Information Administration. (2022). Natural Gas Explained.

<https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/> [Τελευταία ανάκτηση 5

Φεβρουαρίου 2024]

Οι χώρες-πρωταθλήτριες του παγκόσμιου εμπορίου LNG, Naftika

Chronika, [https://www.naftikachronika.gr/2022/11/24/oi-chores-protathlitries-tou-](https://www.naftikachronika.gr/2022/11/24/oi-chores-protathlitries-tou-pagkosmiou-emporiou-lng/)

[pagkosmiou-emporiou-lng/](https://www.naftikachronika.gr/2022/11/24/oi-chores-protathlitries-tou-pagkosmiou-emporiou-lng/) [Τελευταία ανάκτηση 20 Φεβρουαρίου 2024]