



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τεχνικο-οικονομική ανάλυση εφαρμογής μικρού πυρηνικού αντιδραστήρα σε  
εμπορικά πλοία

Technical- economic analysis of the implementation of small nuclear reactor in  
merchant vessels

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ Π. ΣΚΟΥΡΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Γ. ΛΙΒΑΝΟΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ, 2023





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Τεχνικο-οικονομική ανάλυση εφαρμογής μικρού πυρηνικού αντιδραστήρα σε εμπορικά πλοία

**ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ**

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Π. ΣΚΟΥΡΤΗΣ (Α.Μ: 18393028)

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΛΙΒΑΝΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (Αναπλ. Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α)

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ**

15/11/2023

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

Ι. ΙΑΚΩΒΙΔΗΣ

ΛΕΚΤΟΡΑΣ

Πα.Δ.Α

Γ. ΛΙΒΑΝΟΣ

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Πα.Δ.Α

Μ. ΣΕΡΡΗΣ

ΛΕΚΤΟΡΑΣ

Πα.Δ.Α



## **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΣΚΟΥΡΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ του ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ με αριθμό μητρώου 18393028 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα

~~ΣΚΟΥΡΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ~~



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η συγγραφή της διπλωματικής μου εργασίας αποτελεί το κύκνειο άσμα στο κεφάλαιο που ονομάζεται Τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών, ύστερα από παρακολούθηση και την επιτυχή εξέταση σε πληθώρα μαθημάτων έφτασα στο σημείο να καταθέτω το προσωπικό λιθαράκι μου στη παγκόσμια έρευνα.

Τόσοι καθηγητές, τόσα μαθήματα και τόσες γνώσεις οι οποίες πρέπει να συνδυαστούν και να αντικατοπτρίσουν την εξαιρετική δουλειά των καθηγητών του τμήματος οι οποίοι μας παρέλαβαν μικρά παιδιά και μας παραδίδουν ως άξιους συνεχιστές της ελληνικής ναυτιλίας.

Ως προς τη παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή κ. Λιβανό για τη συνδρομή του στην εκπλήρωση της, τον κ. Σέρρη για τη βοήθεια και τις ιδέες του που αποτέλεσαν θεμελίωμα της διπλωματικής μου και όσους καθηγητές με βοήθησαν με ιδέες και προτάσεις.

Η οικογένεια μου χαίρει συγχαρητήριων για την ακατάπαυστη στήριξη τους στο έργο μου. Πατέρα, Μητέρα και Χρήστο σας ευχαριστώ για όλα!

Τέλος, να ευχαριστήσω τον εαυτό μου, διότι το αξίζω, διότι εγώ κάθε μέρα μοχθώ για να γίνω καλύτερος, διότι εγώ ιδρώνω για να γίνω καλύτερος, διότι εγώ προσπαθώ για να γίνω καλύτερος, διότι εγώ...

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το θέμα της πυρηνικής πρόωσης, μία μορφής πρόωσης με ένα ιδιαίτερο παρελθόν και τις προοπτικές για το μέλλον. Η πυρηνική πρόωση αποτελεί μία εναλλακτική μορφή πρόωσης η οποία θα δούμε παρακάτω αν μπορεί να απαντήσει το πιο φλέγον ζήτημα της παγκόσμιας ναυτιλίας, την απανθρακοποίηση. Στη παρούσα εργασία θα παρουσιαστεί η συναφής θεωρία της πυρηνικής τεχνολογίας, της αξιοποίησης της, τα διάφορα ατυχήματα, τη διαφορά χερσαίας και θαλάσσιας εφαρμογής της πυρηνικής τεχνολογίας, τις γενεές πυρηνικών αντιδραστήρων, τους ναυτικούς πυρηνικούς αντιδραστήρες, ακόμη θα παρουσιαστεί η έρευνα σε υπάρχον πλοίο για τα τεχνικο-οικονομικά της συμβατικής πρόωσης σε αντιπαραβολή με την ύπαρξη του ίδιου πλοίου με πυρηνικό αντιδραστήρα που θα επιλέγει. Η σύγκριση των δύο περιπτώσεων θα μας δώσει μια εικόνα για το αν η πυρηνική πρόωση “είναι ακόμα στο παιχνίδι” εξετάζοντας το κυριότερο παράγοντα, τον οικονομικό. Αφού εξεταστούν και συγκριθούν τα αποτελέσματα παρουσιάζεται ένα πρόσφατο κεφάλαιο στη παγκόσμια ναυτιλία και ειδικά στην Ευρώπη που αφορά την επικείμενη χρέωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο αποτελεί ένα νέο πάγιο έξοδο για πλόες εντός Ευρώπης.

Εν τέλει, θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα και οι προτάσεις σχετικά με την παρούσα έρευνα ενώ στο τέλος υπάρχουν παραπομπές στους νεότερους κανονισμούς σχετικά με τη προστασία του περιβάλλοντος και μία βάση δεδομένων όλων των πυρηνοκίνητων σκαφών που έχουν υπάρξει με σημαντικές πληροφορίες για αυτά.

Λέξεις κλειδιά: Πυρηνική τεχνολογία, πυρηνική πρόωση, πυρηνικοί αντιδραστήρες, δεξαμενόπλοιο, μηχανοστάσιο, οικονομική ανάλυση, ναύλος, εκπομπές ρύπων, καύσιμο, EU- MRV, IAEA, IMO.

## ABSTRACT

The diploma thesis presented to you deals with nuclear propulsion, a form of propulsion with an exceptional past and its prospect for the future. Nuclear propulsion is an alternative form of propulsion that we are going to see below if it can solve the most crucial issue of the global maritime sector currently, the decarbonization. To this thesis you will read the related theory of nuclear physics and nuclear technology, the use of it, the various accidents, the differences of on shore nuclear technology with the offshore nuclear technology, the generations of the nuclear reactors, the marine nuclear reactors and after that you will see my research where I examine an existing vessel with conventional propulsion in comparison with the same vessel but with a nuclear reactor and nuclear propulsion. The comparison will be based with technical- economic criteria and the results will be presented and let us know if nuclear propulsion is still a potential solution of the Maritime's decarbonization efforts. After the examination of the results, a new chapter of the newest regulations will be presented and the potential game changing effects of it, the taxation of the emissions, which is going to be a flat fee.

In the end, the conclusions and the ideas will be presented based on the findings while a number of references will be there regarding the newest regulations of the maritime environmental protection committee and also a complete database of all the nuclear powered vessels existed with some useful information.

Key words: Nuclear Technology, nuclear propulsion, nuclear reactors, tanker, engine room, economic analysis, freight, emissions, fuels, EU-MRV, IAEA, IMO



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT.....	8
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ- ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ- ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΜΕΛΕΤΗΣ .....	11
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	11
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	11
1.3 Η ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	14
1.4 ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΣΧΑΣΗ .....	14
1.5 ΠΥΡΗΝΙΚΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΣΧΑΣΗΣ .....	16
1.6 ΠΥΡΗΝΙΚΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΣΥΝΤΗΞΗΣ .....	18
1.7 ΓΕΝΕΕΣ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ ΣΧΑΣΗΣ .....	19
1.7.1. 1 <sup>η</sup> γενιά .....	20
1.7.2. 2 <sup>η</sup> γενιά .....	20
1.7.3. 3 <sup>η</sup> γενιά .....	20
1.7.4. 3 <sup>η</sup> γενιά + .....	21
1.7.5. 4 <sup>η</sup> γενιά .....	21
1.7.6. 4 <sup>η</sup> + γενιά (5 <sup>η</sup> γενιά) .....	23
1.8 Η ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΤΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ .....	23
1.9 ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΟΠΛΑ .....	26
1.9.1. ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΒΟΜΒΕΣ .....	27
1.9.2. ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΤΟΜΙΚΩΝ/ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΟΠΛΩΝ.....	28
1.9.3. ΧΡΗΣΤΕΣ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΟΠΛΩΝ .....	30
1.10 ΙΑΕΑ.....	31
1.11 ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ .....	34
1.12 ΠΥΡΗΝΟΚΙΝΗΤΑ ΠΛΟΙΑ- ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ .....	47
1.12.1. ΑΕΡΟΠΛΑΝΟΦΟΡΑ.....	49
1.12.2. ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ.....	51
1.12.3. ΠΛΟΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	58
1.12.4. ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ .....	59
1.13 ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ/ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ.....	65
1.14 ΠΥΡΗΝΙΚΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΠΛΟΙΩΝ/ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ .....	69

1.15 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΜΕ ΧΕΡΣΑΙΩΝ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ...	71
1.16 ΝΑΥΤΙΚΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΣΧΑΣΗΣ ΤΥΠΟΥ SMR .....	73
1.17 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ SMR.....	74
1.18 ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΤΥΠΟΥ SMR.....	75
1.19 Ο ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ .....	77
1.20 ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΡWR ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ LMR .....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΤΕΧΝΙΚΟ- ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ .....	82
2.1 ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ .....	82
2.2 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ .....	88
2.3 ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΝΑΥΛΟΣ.....	90
2.4 ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΜΕ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ.....	106
2.5 ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ .....	107
2.6 ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΝΑΥΛΟΣ.....	111
2.7 ΕΚΜΠΟΜΠΕΣ CO <sub>2</sub> ΚΑΙ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥΣ.....	117
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	124
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	129
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. ΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΙΜΟ ΚΑΙ ΟΙ ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ .....	135
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β. ΟΙ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΕΣ ΖΩΝΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ.....	136
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ. ΟΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΙΜΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ (ΜΕΡC 74) .....	137
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΟΙ ΠΡΟΣΦΑΤΕΣ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΙΜΟ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (ΜΕΡC 76) .....	142
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε. ΟΙ ΤΕΛΕΥΤΑΙΕΣ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΙΜΟ (ΜΕΡC 79) .....	148
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ. ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΥΡΗΝΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΚΑΦΩΝ/ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ.....	151
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ- ABBREVIATIONS .....	172
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	176
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ .....	180

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ- ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΠΡΩΨΗ- ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εμπορική ναυτιλία αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς και εφαρμόζει μέτρα για την απανθρακοποίηση της, μία απανθρακοποίηση που αποτελεί στρατηγικό στόχο και προτεραιότητα παγκοσμίως. Οι μελέτες δείχνουν ότι η ναυτιλία ευθύνεται για περίπου το 3% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και ενώ το ποσοστό είναι μικρό η ναυτιλία θέτει φιλόδοξους στόχους για την μείωση του αποτυπώματος της. Πως μπορεί να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι όμως;

Η τεχνολογική εξέλιξη στο χώρο της ναυτιλίας έχει προσφέρει πληθώρα τεχνολογιών που συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών ρύπων στο περιβάλλον αλλά οι στόχοι δεν μπορούν να προσεγγιστούν εύκολα. Η μία και μοναδική λύση είναι η αλλαγή καυσίμου, η υιοθέτηση ενός νέου καυσίμου που θα μειώσει στο ελάχιστο και αν είναι εφικτό θα μηδενίσει τους ρύπους. Η σχετική τεχνολογία όμως βρίσκεται σε εμβρυακή κατάσταση και υπάρχουν διάφορες ανησυχίες που θα πρέπει να επιλυθούν. Ένα εναλλακτικό καύσιμο όμως που χρησιμοποιείται για δεκαετίες και φαίνεται να είναι μία από τις λύσεις, είναι η πυρηνική ενέργεια.

Η παρούσα ερευνητική εργασία θα πραγματευτεί την εφαρμογή της πυρηνικής ενέργειας ως μέσο πρόωσης των πλοίων. Είναι δόκιμο λοιπόν να παρατεθεί το σχετικό θεωρητικό υπόβαθρο για την πυρηνική ενέργεια, την χρήση της, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αλλά και να αναφερθεί η δομή και τα χαρακτηριστικά ενός πυρηνικού αντιδραστήρα καθώς και τα είδη και η τεχνολογική εξέλιξη των αντιδραστήρων μέχρι και σήμερα. Στόχος είναι μέσω μίας οικονομοτεχνικής ανάλυσης υπάρχοντος πλοίου τάνκερ να φανεί αν η πυρηνική ενέργεια μπορεί να θεωρηθεί προσιτή επενδυτικά και ποια θα είναι τα σχετικά οικονομικά.

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Σε αντίθεση με όλες τις πηγές ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια είναι μία μορφή ενέργειας η οποία μετράει περίπου 70 χρόνια εφαρμογής και ανάπτυξης της . Πριν όμως δοθεί σάρκα και οστά στην νέα αυτή τεχνολογία έπρεπε να διατυπωθεί το θεωρητικό της υπόβαθρο το οποίο ξεκίνησε με σταθερά βήματα στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα . Η πυρηνική ενέργεια δυστυχώς συνέπεσε σε ιδιαίτερα ασταθείς εποχές και συγκεκριμένα εν μέσω του Β' Παγκόσμιου Πολέμου όπου με το περίφημο σχέδιο Μανχάταν (*project Manhattan*) επιχειρήθηκε η αξιοποίηση των μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας σε μία μη ελεγχόμενη αντίδραση με τη κατασκευή και χρήση των ατομικών βομβών.

Αφού λοιπόν επετεύχθη η δημιουργία των ατομικών βομβών και δυστυχώς η αξιοποίησή τους για τον βομβαρδισμό της Ιαπωνίας κατά την διάρκεια του Β Παγκόσμιου Πολέμου, ο επόμενος σταθμός της πυρηνικής ενέργειας είναι το 1951, όπου, στην Αγγλία παρουσιάστηκε και τέθηκε σε λειτουργία ο πρώτος πειραματικός αντιδραστήρας ο οποίος παρήγαγε ηλεκτρισμό ή ηλεκτρική ενέργεια. Η δεκαετία του 50 συνοδεύτηκε από την ανάπτυξη πολλών αντιδραστήρων σε αρκετές χώρες η οποία συνοδεύτηκε από την αύξηση ζήτησης και παραγωγής πυρηνικών καυσίμων.

Τη δεκαετία του 60 η ανάπτυξη συνέχιστηκε χωρίς ιδιαίτερους προβληματισμούς. Νέα σχέδια πυρηνικών αντιδραστήρων παρουσιάζονταν ενώ πολλαπλοί αντιδραστήρες τέθηκαν σε λειτουργία σε μία σειρά από χώρες. Τη δεκαετία του 1960 ξεκίνησαν και οι πρώτες προσπάθειες για τη διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων. Έως τότε, η πυρηνική ενέργεια αξιοποιόταν χωρίς ιδιαίτερη μέριμνα για τα κατάλοιπα που θα δημιουργούνταν αλλά με τη ραγδαία αύξηση της εφαρμογής της η ανάγκη για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου σχεδίου για τη διαχείρισή τους ήταν επιβεβλημένη. Το 1968 αποτελεί χρονιά ορόσημο για τη πυρηνική ενέργεια που κύρια εφαρμογή της ήταν η αξιοποίησή της ως στρατιωτικό μέσο. Η υπογραφή της συνθήκης μη διάδοσης των πυρηνικών όπλων έθεσε τα θεμέλια ώστε να μην παράγονται πυρηνικά όπλα άκριτα και χωρίς έλεγχο ενώ απαγόρευε και τη διάδοση της σχετικής τεχνολογίας ανά τα κράτη, επισήμανε δε ότι η πυρηνική ενέργεια θα αξιοποιείται από εδώ και έπειτα για ειρηνικούς σκοπούς.

Η δεκαετία του 1970 αποτέλεσε επίσης δεκαετία ανάπτυξης της πυρηνικής ενέργειας με αντιδραστήρες να τίθενται σε λειτουργία και αρκετές χώρες τις εντάσσουν ή αυξάνουν την παρουσία τους στα εθνικά ενεργειακά μίγματα τους. Παρόλα αυτά, στη δεκαετία του 1970 άρχισαν να εμφανίζονται οι πρώτες σημαντικές προκλήσεις. Το 1979 συνέβη το ατύχημα στο *Three Mile Island* στις ΗΠΑ, ένα ατύχημα που άρχισε να δημιουργεί ανησυχίες και προβληματισμούς στις κοινωνίες για την πραγματική ασφάλεια των αντιδραστήρων και τους κινδύνους που υπάρχουν. Την ίδια δεκαετία όμως αναλήφθηκαν νέες πρωτοβουλίες για την ασφαλέστερη διαχείριση της πυρηνικής ενέργειας με τη θέσπιση και δημιουργία ενός προγράμματος συνεργασίας και εκπαίδευσης για την έρευνα και ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας με πρωτοβουλία της ΙΑΕΑ αρχικά.

Έως τα μέσα του 1980, η ανάπτυξη των αντιδραστήρων ήταν σταθερή με την εισαγωγή συνεχώς νέων αντιδραστήρων και την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Το 1986 όμως, αποτελεί καίριο σημείο για την παγκόσμια ιστορία και τη πυρηνική ενέργεια όταν ο πυρηνικός σταθμός του Τσερνομπίλ εκρήγνυται ύστερα από μία αλληλουχία ανθρώπινων σφαλμάτων και ελαττωματική κατασκευή του αντιδραστήρα. Το ατύχημα αυτό στοίχισε σε ζωές, στο περιβάλλον και σε περιουσίες, αλλά ταυτόχρονα αποτέλεσε καίριο χτύπημα στην περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας αφού η κοινωνία φοβήθηκε για αντίστοιχα ατυχήματα παγκοσμίως. Το ατύχημα παρόλο που έθεσε σοβαρούς προβληματισμούς σε κοινωνία και κυβερνήσεις καθυστέρησε την ανάπτυξη της πυρηνικής τεχνολογίας αλλά δεν τη σταμάτησε. Τα ενεργειακά μίγματα αρκετών κρατών και ιδιαίτερα των ανεπτυγμένων αποτελούνταν και εξαρτιόνταν από τη πυρηνική ενέργεια. Συνεπώς, οι πυρηνικοί σταθμοί συνέχισαν να λειτουργούν και νέα σχέδια παρουσιάζονταν αλλά με μεγαλύτερη δυσκολία λόγω της αυστηροποίησης της νομοθεσίας που ήταν επακόλουθο του ατυχήματος αλλά και της έντονης αντίθεσης των κοινωνιών για τη περαιτέρω δημιουργία νέων πυρηνικών σταθμών.

Η δεκαετία του 1990, έχοντας το ατύχημα στο Τσερνομπίλ φρέσκο και τις πληγές ανοικτές αποτέλεσε μία δεκαετία με ανάπτυξη της τεχνολογίας αλλά με πιο αργούς ρυθμούς και κυρίως στο κομμάτι της ασφάλειας. Σε αυτή τη δεκαετία, η προσοχή εστιάστηκε στα πρότυπα ασφαλείας και στη περαιτέρω ανάπτυξη τους. Η αυστηροποίηση και ο εκσυγχρονισμός των προτύπων ασφαλείας ήταν πολυεπίπεδη και κάλυπτε όλα τα κομμάτια της κατασκευής και λειτουργίας των αντιδραστήρων, εκπαίδευσης των εργαζομένων του τομέα και την αυστηροποίηση των ελέγχων των σχεδίων προτού εγκριθούν οι κατασκευές των αντιδραστήρων. Η δημόσια γνώμη όμως είχε αλλάξει δραματικά ενάντια στη πυρηνική ενέργεια. Οι κοινωνίες βλέποντας τις εικόνες ερήμωσης και μόλυνσης μεγάλων εκτάσεων και ότι ένα ατύχημα μπορεί να επηρεάσει πολλές ζωές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά οδηγήθηκαν στη δημιουργία ενός ενιαίου μετώπου απέναντι στη πυρηνική ενέργεια. Η ίδια δεκαετία αποτελεί και τη δεκαετία όπου ξεκίνησαν οι πρώτες σημαντικές συζητήσεις σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ο ήλιος και ο αέρας.

Η δεκαετία του 2000, η πυρηνική ενέργεια συνέχισε να αναπτύσσεται με αργά αλλά σταθερά βήματα. Πολλές χώρες, κυρίως ανεπτυγμένες διέθεταν αρκετούς πυρηνικούς αντιδραστήρες σε λειτουργία και τα ενεργειακά τους μίγματα αποτελούνταν σε ένα ποσοστό από την πυρηνική ενέργεια. Η δεκαετία αυτή συνοδεύτηκε με μία έξαρση της έρευνας και ανάπτυξης νέων σχεδίων και ειδικά σχεδίων που διαφοροποιούνταν αρκετά από το κύριο τύπο αντιδραστήρα που εφαρμόζονταν στο παρελθόν. Ο αντιδραστήρας πεπλεγμένου ύδατος παρόλο που χρησιμοποιούνταν για αρκετές δεκαετίες και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται έως σήμερα έπαψε να αποτελεί το κύριο στοιχείο της έρευνας. Νέοι τύποι αντιδραστήρων τέθηκαν στα σκαριά και η εισαγωγή στη τέταρτη γενιά αντιδραστήρων ήταν πλέον γεγονός. Παράλληλα υπήρξαν αρκετά ερευνητικά προγράμματα που κύριο αντικείμενο μελέτης τους ήταν η αειφορία και η διαχείριση

των αποβλήτων. Η κοινή γνώμη έχει πλέον ευαισθητοποιηθεί και η ανάληψη μέτρων για τη προστασία του περιβάλλοντος είναι γεγονός.

### **1.3 Η ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**

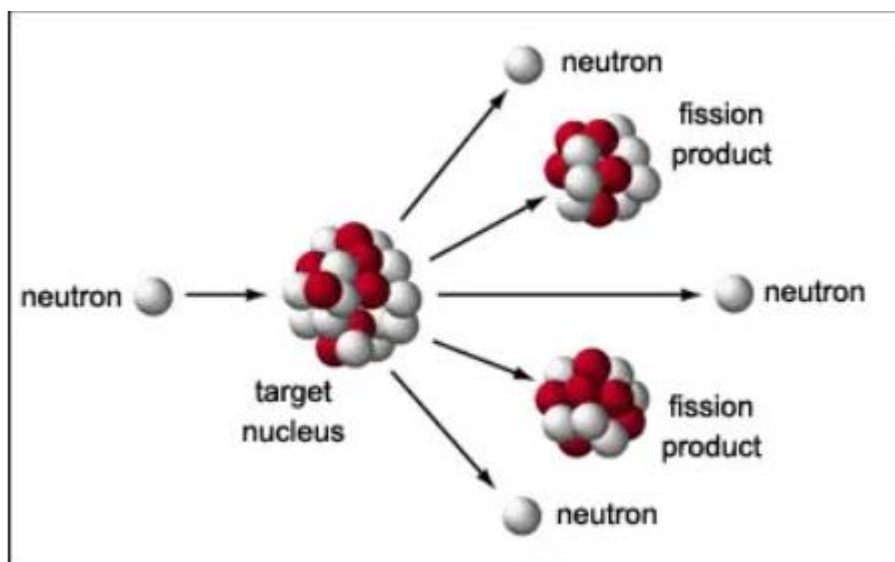
Πυρηνική ενέργεια ονομάζεται η παραγωγή ενέργειας από τις πυρηνικές αντιδράσεις. Πρακτικά με την όρο πυρηνική ενέργεια νοείται η έκλυση ποσότητας ενέργειας λόγω της διάσπασης ατομικών πυρήνων σε ελαφρύτερους κατά την διάρκεια της πυρηνικής σχάσης ενώ υπάρχει και η πυρηνική σύντηξη κατά την οποία η έκλυση ενέργειας προέρχεται από τον σχηματισμό βαρύτερων ατομικών πυρήνων από την ένωση ελαφρύτερων. Οι πυρηνικές αντιδράσεις δύναται να είναι ελεγχόμενες είτε μη ελεγχόμενες με τις τελευταίες να αφορούν την λειτουργία των πυρηνικών ή ατομικών βομβών ενώ οι πρώτες την παραγωγή ενέργειας σε πρωτογενή βαθμό αλλά και την παραγωγή μηχανικής ενέργειας μέσω ειδικών κινητήρων .

Πυρηνική ενέργεια είναι η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την διάρκεια της πυρηνικής σχάσης ή πυρηνικής σύντηξης των πυρήνων. Όταν οι πυρηνικές αντιδράσεις είναι ελεγχόμενες, η ενέργεια που εκλύεται με τη μορφή θερμότητας , μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες . (Cyprus Institute of Energy) .

### **1.4 ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΣΧΑΣΗ**

Η αντίδραση σε επίπεδο πυρήνα όπου ο πυρήνας του ατόμου διασπάται σε δύο ή περισσότερους μικρότερους και ελαφρύτερους πυρήνες ονομάζεται πυρηνική σχάση. Αυτή η διάσπαση συνοδεύεται με την έκλυση μεγάλης ποσότητας ενέργειας παράλληλα με την έκλυση ελεύθερων νετρονίων και φωτονίων ακτινοβολίας γάμμα. Προκειμένου όμως να ξεκινήσει η αλυσιδωτή αντίδραση απαιτείται ένας σχάσιμος πυρήνας ο οποίος θα βάλλεται από νετρόνια.

Τα νετρόνια βομβαρδίζουν πολλαπλούς σχάσιμους πυρήνες που οδηγούν στην έκλυση εκ νέου νετρονίων και με τη σειρά τους βομβαρδίζουν άλλους σχάσιμους πυρήνες. Αυτό οδηγεί στην αλυσιδωτή αντίδραση, όπου σε ένα περιβάλλον που υπάρχουν σχάσιμοι πυρήνες, τα νετρόνια που εκλύονται από κάθε αντίδραση θα εκπέμπουν νέα νετρόνια τα οποία θα βομβαρδίσουν άλλους πυρήνες δημιουργώντας μία συνεχή ροή στις αντιδράσεις ταυτόχρονα με την έκλυση των υψηλών ποσοτήτων ενέργειας.



Εικόνα 1. Σχηματική αναπαράσταση της πυρηνικής σχάσης (πηγή: <https://www.chemist.gr/>)

Αυτή η αλληλουχία αντιδράσεων που δημιουργείται πρακτικά σημαίνει ότι υφίσταται αυτοσυντήρηση των αντιδράσεων.

Η πρώτη πυρηνική σχάση σε εργαστηριακό επίπεδο έλαβε χώρα στο Βερολίνο της Γερμανίας το 1938. Οι Γερμανοί φυσικοί Ότο Χαν και Λίζε Μάιτνερ και αργότερα ο Φριτς Στράσμαν υπήρξαν οι πρώτοι που βομβάρδισαν ουράνιο με πυρήνες και είδαν τις δυνατότητες της πυρηνικής σχάσης. Αρχικά οι δύο πρώτοι φυσικοί βομβάρδισαν το πυρήνα ουρανίου με ατομικό αριθμό 92 και ατομική μάζα 235 με νετρόνια. Στόχος τους ήταν η δημιουργία ενός νέου στοιχείου όπου θα είχε ένα νετρόνιο παραπάνω, παρόλα αυτά παρατήρησαν ότι το νετρόνιο που βομβάρδιζε το πυρήνα ουράνιο, δημιουργούσε ένα ασταθή πυρήνα και οδηγούσε στη διάσπαση του. Η Λίζε Μάιτνερ ως γερμανίδα εβραϊκής καταγωγής αναγκάστηκε να εγκαταλείψει την ναζιστική Γερμανία και συνέδραμε το έργο τον Ότο Χαν και του επίσης νέου μέλους της ομάδας Φριτς Στράσμαν.

Το πείραμα τους συνεχίστηκε και παρατηρήθηκε ότι η διάσπαση του ασταθούς πυρήνα ουρανίου οδηγούσε στη δημιουργία δύο ελαφρύτερων πυρήνων. Συγκεκριμένα, δημιουργούνταν ένας πυρήνας Βαρίου με ατομικό αριθμό 56 και ατομική μάζα 137 και ένα στοιχείο το οποίο ονομάστηκε Τεχνητίο με ατομικό αριθμό 43 και ατομική μάζα 98. Η ανακάλυψη τους όπως επικεντρώνεται στη παρατήρηση που έκαναν αφού διαπίστωσαν ότι η διάσπαση του ουρανίου οδήγησε στη δημιουργία ενός πυρήνα Βαρίου και ενός Τεχνητίου μαζί με την έκλυση δύο νετρονίων.

Τα δύο νετρόνια αυτά μπορούσαν να βομβαρδίσουν δύο άλλους πυρήνες ουρανίου και να παράξουν 4 νετρόνια, τα οποία 4 νετρόνια θα χτύπαγαν 4 πυρήνες ουρανίου και ούτω κάθε εξής. Η ανακάλυψη τους ήταν η αλυσιδωτή αντίδραση η οποία συνοδεύεται με την έκλυση τεραστίων ποσοτήτων ενέργειας και μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες ή να νικήσει τον πόλεμο.

## 1.5 ΠΥΡΗΝΙΚΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΣΧΑΣΗΣ

Πυρηνικός αντιδραστήρας σχάσης ονομάζεται η μηχανολογική διάταξη των οποίων η λειτουργία παράγει την ενέργεια. Ο αντιδραστήρας σχάσης όπως ομολογεί το όνομα του αφορά αποκλειστικά τη σχάση και δέχεται για αυτό το λόγο το καύσιμο του είναι σχάσιμο υλικό. Η περιοχή του αντιδραστήρα που βρίσκεται το σχάσιμο υλικό και λαμβάνει μέρος η αλυσιδωτή αντίδραση ονομάζεται πυρήνας ή καρδιά του αντιδραστήρα. Η δομή του αντιδραστήρα απαρτίζεται από εξαρτήματα διάφορων υλικών που όλα μαζί συνθέτουν ένα περιβάλλον που μπορεί να διατηρήσει αλυσιδωτές αντιδράσεις σχάσης. Συνεπώς μέσα στον αντιδραστήρα υπάρχουν κατά κύριο λόγο τεσσάρων (4) ειδών υλικά. Αυτά είναι:

- Σχάσιμα υλικά (καύσιμο)
- Δομικά υλικά
- Ελεγκτικά υλικά (απορροφητές νετρονίων)
- Προστατευτικά υλικά (για τη μηχανή και τους ανθρώπους)

Η αλυσιδωτή αντίδραση εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τα νετρόνια που εκλύονται από τις αντιδράσεις. Για αυτό το λόγο η διατήρηση σταθερού αριθμού νετρονίων στο πυρήνα οδηγεί σε μία ελεγχόμενη αντίδραση με σταθερές ληφθείσες τιμές ενέργειας. Τα ελεγκτικά υλικά, λειτουργούν ως απορροφητές των εκλυόμενων νετρονίων και προστατεύουν από το να γίνει ανεξέλεγκτη η αλυσιδωτή αντίδραση. Συνεπώς, η ασφαλής λειτουργία του πυρήνα εξαρτάται από τον αριθμό των νετρονίων που υπάρχουν εντός του και αφορά όλους τους αντιδραστήρες σχάσεως. Για την ποιότητα λοιπόν της αντίδρασης έχει εισαχθεί ο όρος σταθερά αναπαραγωγής  $k$  όπου:

- $K > 1$ , ο αντιδραστήρας είναι υπερκρίσιμος και οι αντιδράσεις σχάσης αυξάνονται με κίνδυνο ο αντιδραστήρας να εκραγεί
- $K = 1$ , ο αντιδραστήρας λειτουργεί στα ασφαλή επίπεδα αφού οι αντιδράσεις διατηρούνται από μόνες τους
- $K < 1$ , ο αντιδραστήρας είναι υποκρίσιμος και οι αντιδράσεις δεν μπορούν να διατηρηθούν με συνέπεια το τερματισμό λειτουργίας του αντιδραστήρα

Για σταθερά αναπαραγωγής  $k=1$  γνωρίζουμε την ελάχιστη μάζα καυσίμου εντός του πυρήνα που ονομάζεται κρίσιμη μάζα. Η κρίσιμη μάζα με τη σειρά της εξαρτάται από άλλους παράγοντες διότι αφορά το καύσιμο πλέον και όχι τους αντιδραστήρες. Αυτοί οι παράγοντες είναι το καύσιμο, ο βαθμός εμπλουτισμού του, οι απορροφητές της αντίδρασης κλπ.

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν μέρος του αντιδραστήρα παράγουν σε ένα συντριπτικό ποσοστό θερμότητα η οποία πρέπει να απομακρυνθεί από το πυρήνα για να συνεχιστεί η ασφαλής και ομαλή λειτουργία του. Η απομάκρυνση της θερμότητας γίνεται με τη χρήση ψυκτικού μέσου (συνήθως νερό) το οποίο απάγει τη θερμότητα



από το πυρήνα, συνήθως για τη παραγωγή ηλεκτρισμού. Για αυτό το λόγο ο αντιδραστήρας χαρακτηρίζεται από τη θερμική ισχύ του η οποία αφορά τη συνολική θερμική ισχύ που παράγει στο πυρήνα του ενώ αν αυτή η ισχύς χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρισμού τότε μπορεί να γίνει αναφορά και στην ηλεκτρική ισχύ του.

Οι *απορροφητές* ή αλλιώς επιβραδυντές είναι υλικά που η δομή τους τα επιτρέπει να απορροφήσουν τα εκλυόμενα νετρόνια της αντίδρασης και να διατηρήσουν τις αντιδράσεις σχάσης σε ελεγχόμενο επίπεδο. Συνήθως συναντώνται με την μορφή ράβδων οι οποίες «βυθίζονται» μέσα στο πυρήνα και ανάλογα με το «βύθισμα» τους ελέγχουν τον αριθμό των νετρονίων στη καρδιά του αντιδραστήρα.

Στα *δομικά* υλικά του πυρήνα κατατάσσονται διάφορα υλικά με διττό σκοπό. Την ασφάλεια του πυρήνα και κατά δεύτερον την προστασία της εξωτερικής περιοχής του αντιδραστήρα από τη ραδιενέργεια. Μία τέτοια λειτουργία έχουν τα υλικά που χαρακτηρίζονται ως ανακλαστές τα οποία ανακλούν τα εκλυόμενα νετρόνια και τα προωθούν πάλι προς το πυρήνα όπου υπάρχει το καύσιμο και οι ράβδοι ελέγχου (απορροφητές).

Στα *υλικά θωράκισης* συμπεριλαμβάνονται υλικά τα οποία λειτουργούν ως προστατευτικά για το περιβάλλον, τους εργαζόμενους και τον ευρύτερο εξωτερικό χώρο του αντιδραστήρα. Είναι υλικά που παρεμβάλλονται μεταξύ του πυρήνα και των διάφορων εξαρτημάτων του και είναι συνήθως υλικά όπως σίδηρος, χάλυβας, σκυρόδεμα, νερό κλπ τα οποία λειτουργούν ως θερμικές και βιολογικές θωρακίσεις.

*Καύσιμο* είναι το πυρηνικό καύσιμο που βρίσκεται εντός του πυρήνα και είναι το σχάσιμο υλικό που είναι υπεύθυνο για τις αντιδράσεις σχάσης. Τοποθετείται σύμφωνα με τη χημική μορφή που συναντάται ύστερα από σχετική επεξεργασία. Το σχάσιμο υλικό είναι ιδιαίτερα ραδιενεργό και τα στοιχεία που αντιδρούν είναι ένα μικρό ποσοστό ανάμεσα στα ισότοπα του. Για παράδειγμα για τους αντιδραστήρες που χρησιμοποιούν ουράνιο η αντίδραση στηρίζεται στο U-235 που είναι ένα μικρό ποσοστό στη μορφή που εισέρχεται στο πυρήνα (UC ή UO<sub>2</sub>) με την πλειοψηφία να έχει το U-238. Το καύσιμο εισέρχεται επίσης με τη μορφή ράβδων για αυτό και συναντάται συχνά η ορολογία *ράβδοι καυσίμου*. Οι ράβδοι είναι συνήθως μεταλλικά περιτυλίγματα του καυσίμου που τοποθετούνται κατάλληλα μέσα στο αντιδραστήρα με συγκεκριμένη διάταξη και απόσταση μεταξύ τους. Το περίβλημα του καυσίμου χρησιμεύει κυρίως ως προστατευτικό μέσο από τη διαρροή των ραδιενεργών προϊόντων της σχάσης εντός του πυρήνα και για τη προστασία του ψυκτικού μέσου εντός του πυρήνα.

### **Βαθμός εμπλουτισμού του καυσίμου**

Ο βαθμός εμπλουτισμού του καυσίμου αναφέρεται στο ποσοστό του ισότοπου ουράνιο- 235 (U-235) που βρίσκεται στο φυσικό ουράνιο- 238 (U-238) που είναι και ένα από τα κυριότερα καύσιμα πυρηνικού αντιδραστήρα. Ο βαθμός εμπλουτισμού διαφέρει ανάλογα την λειτουργία του αντιδραστήρα. Οι χερσαίοι αντιδραστήρες δεν απαιτούν μεγάλο βαθμό εμπλουτισμού του καυσίμου ενώ οι πυρηνικοί αντιδραστήρες

των υποβρυχίων ενδέχεται να απαιτούν βαθμό εμπλουτισμού που να ξεπερνά το 95%. Ο βαθμός εμπλουτισμού επηρεάζει την διάρκεια ζωής του καυσίμου δηλαδή πόσο καιρός απαιτείται μέχρι την αλλαγή του καυσίμου (μπορεί να είναι ανά ένα χρόνο έως και ανά είκοσι χρόνια, με διάφορες εξαιρέσεις). Οι χερσαίοι αντιδραστήρες είναι αυτοί που λόγω του μικρού βαθμού εμπλουτισμού απαιτούν συχνότερο ανεφοδιασμό. Επίσης, ο βαθμός εμπλουτισμού επηρεάζει και την απόδοση του αντιδραστήρα με ένα χαμηλό βαθμό εμπλουτισμού να οδηγεί σε χαμηλότερη απόδοση.

*Ψυκτικό μέσο* είναι το ρευστό που λειτουργεί ως ο απαγωγέας της παραγόμενης θερμότητας του αντιδραστήρα. Το ρευστό μπορεί να είναι είτε υγρό (βαρύ ύδωρ, ελαφρύ ύδωρ, υγρό νάτριο) είτε αέριο (ήλιο, διοξείδιο του άνθρακα). Το ψυκτικό μέσο μπορεί να απάγει τη θερμότητα με δύο τρόπους και αυτοί είναι είτε ρέοντας γύρω από τις ράβδους καυσίμου είτε ρέοντας σε άλλα τμήματα του αντιδραστήρα λειτουργώντας παράλληλα και ως θερμική/ βιολογική θωράκιση του.

*Εναλλάκτης θερμότητας* είναι η διάταξη η οποία δέχεται το ψυκτικό μέσο και θερμαίνει με τη σειρά του το δοχείο με το νερό που βρίσκεται στον εναλλάκτη. Αυτή η διάταξη επιτρέπει το βρασμό του νερού το οποίο πλέον ως ατμός οδηγείται σε στροβίλους οι οποίοι είτε παράγουν ηλεκτρισμό είτε κινητική ενέργεια για την περίπτωση των πυρηνοκίνητων πλοίων.

## **1.6 ΠΥΡΗΝΙΚΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΣΥΝΤΗΞΗΣ**

Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες σύντηξης αποτελούν επίσης διατάξεις που παράγουν ενέργεια, αλλά, εφαρμόζοντας τη μέθοδο σύντηξης. Η σύντηξη αποτελεί μία διαδικασία όπου ελαφρά άτομα, όπως το υδρογόνο, συνδυάζονται και δημιουργούν ένα νέο πυρήνα βαρύτερου στοιχείου. Αυτή η διαδικασία οδηγεί σε ελευθέρωση τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας. Η σύντηξη είναι η μέθοδος παραγωγής ενέργειας των αστεριών συνεπώς η όλη διαδικασία παρομοιάζεται ως η δημιουργία αστεριών προφανώς σε μικρότερη κλίμακα. Χαρακτηριστικά, ο ήλιος του πλανητικού μας συστήματος είναι η κοντινότερη πηγή πυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης και συγκεκριμένα σύντηξης ατόμων υδρογόνου. Η σχετική ανάπτυξη της θεωρίας και εφαρμογής της ξεκίνησε στα μέσα του Β' Παγκόσμιου Πολέμου μέσω του σχεδίου Μανχάταν αλλά η δυσκολία αναπαράστασης των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρο απέδωσε καρπούς μετά το τέλος του πολέμου και δοκιμάστηκε για πρώτη φορά μέσω της πυρηνικής βόμβας σύντηξης Ivy Mike το 1952 από τις ΗΠΑ.

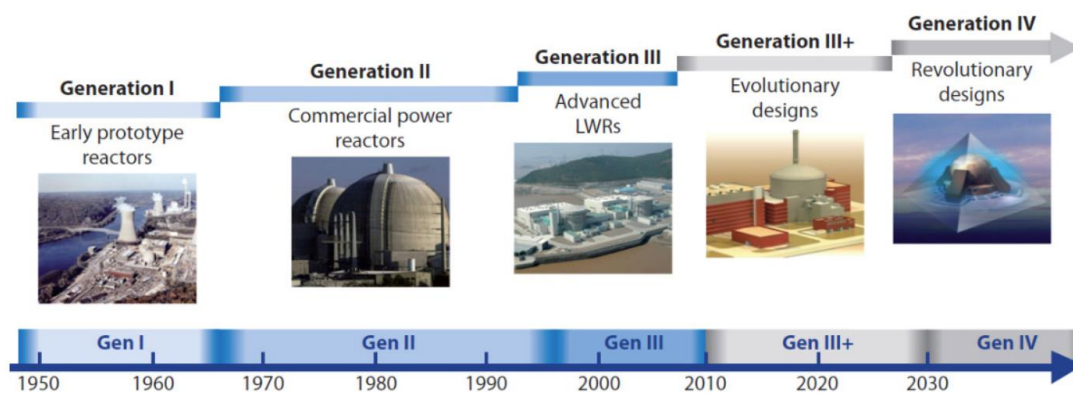
Η πυρηνική σύντηξη για ειρηνικούς σκοπούς εκφράζεται μέσω των θερμοπυρηνικών αντιδραστήρων σύντηξης, μία μορφή ενέργειας αρκετά υποσχόμενη για παραγωγή άφθονης ενέργειας για όλο τον κόσμο. Ο πιο γνωστός αντιδραστήρας είναι ο ITER που βρίσκεται στη Γαλλία και αποτελεί πειραματικό σχέδιο υπό την εποπτεία και συνεργασία πολλών κρατών. Αντίστοιχοι θερμοπυρηνικοί αντιδραστήρες υπάρχουν και σε άλλα κράτη και όλοι μαζί έχουν επιδοθεί στον ίδιο αγώνα, το σημείο *break even*.

Οι αντιδραστήρες σύντηξης είναι τύπου *Tokamak* οι οποίοι χρησιμοποιούν ένα κλειστό μαγνητικό κοίλο (δακτυλιοειδές πεδίο) για να περιορίσουν και να θερμάνουν το πυρηνικό υλικό, το υδρογόνο (και τα ισότοπα του). Το υδρογόνο που βρίσκεται σε κατάσταση πλάσματος θερμαίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες ενώ παραμένει σε κατάσταση μείγματος και το οποίο οδηγεί σε αλυσιδωτές αντιδράσεις σύντηξης των ατόμων.

Όπως αναφέρθηκε προωτέρα, κοινός στόχος όλων των ερευνητικών αντιδραστήρων είναι να φτάσουν στο σημείο *Break even*, ένα σημείο ορόσημο όπου η παραγόμενη ενέργεια θα είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που απαιτείται για τη δημιουργία των αντιδράσεων σύντηξης. Αυτή τη στιγμή μόνο ο αντιδραστήρας στο εργαστήριο *Lawrence Livermore* στις ΗΠΑ έχει πετύχει να έχει καθαρό ενεργειακό κέρδος όπου η παραγωγή ποσού ενέργειας από τη σύντηξη ξεπερνούσε την ενέργεια που απαιτούνταν για την εκκίνηση των αντιδραστήρων. Βέβαια, μεγάλα βήματα έχουν γίνει από πολλές χώρες ώστε να φτάσουν στο πολυπόθητο στόχο. Αντικειμενικά, οι θερμοπυρηνικοί αντιδραστήρες σύντηξης υπόσχονται αποδεδειγμένα άφθονη ενέργεια για όλους, με μηδενικούς ρύπους αλλά και διορθώνοντας τα όποια μειονεκτήματα υπάρχουν στη τεχνολογία πυρηνικής σχάσης.

## 1.7 ΓΕΝΕΕΣ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ ΣΧΑΣΗΣ

Από το ξεκίνημα χρήσης της πυρηνικής ενέργειας και δη τα πρώτα έτη της σχετικής τεχνολογίας οι επιστήμονες υποστήριζαν κάθε πιθανό συνδυασμό ψυκτικού μέσου, επιβραδυντών και πυρηνικών καυσίμου δημιουργώντας μία ευρεία γκάμα υποψήφιων πυρηνικών αντιδραστήρων σχάσης. Στη πραγματικότητα όμως, ένα μικρός αριθμός αυτών των υποψηφίων κατάφεραν να μπουν σε εμπορική γραμμή παραγωγής. Έκτοτε, έχουν υπάρξει πολλά αναβαθμισμένα σχέδια αντιδραστήρων σε σημείο που μπορούσαν να καλύψουν τις διαφορετικές απαιτήσεις. Από το 1950 και μέχρι σήμερα έχουν παρουσιαστεί 4 γενιές πυρηνικών αντιδραστήρων σχάσης και οι οποίοι είναι:



Εικόνα 2. Οι γενιές πυρηνικών αντιδραστήρων σχάσης (πηγή: <https://www.gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/2014-03/gif-tru2014.pdf> )

### 1.7.1. 1<sup>η</sup> γενιά

Αφορά τις πρώτες εφαρμογές της πυρηνικής τεχνολογίας σε αντιδραστήρες. Οι πρώτοι αντιδραστήρες ήταν πρώιμα πειραματικά σχέδια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για τη μελέτη της σχετικής τεχνολογίας και τους τρόπους βελτιστοποίησης τους. Συνήθως είχαν μικρές δυνατότητες και δεν χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά για παραγωγή ρεύματος αλλά κυρίως ως οιωνοί καλύτερων αντιδραστήρων απαλλαγμένων από πιθανά ελαττώματα. Η ύπαρξη τους λοιπόν καθίσταται ως η διερευνητική περίοδος πριν τη εμπορική χρήση τους. Αντιδραστήρες σχάσης της  $1^{η}$  γενιάς ήταν:

- Shippingport
- Dresden-1
- Magnox
- Calder hall 1

### 1.7.2. 2<sup>η</sup> γενιά

Η 2<sup>η</sup> γενιά αποτελούνταν από αντιδραστήρες οι οποίοι ήταν προορισμένοι για παραγωγή ενέργειας. Αξιοποιώντας όλη την απαραίτητη γνώση και πείρα από τους αντιδραστήρες της 1<sup>ης</sup> γενιάς παρουσιάστηκαν ασφαλείς και αξιόπιστοι αντιδραστήρες. Η 2<sup>η</sup> γενιά θεωρείται η καλύτερη γενιά μέχρι στιγμής λόγω της συνεισφοράς της τόσο στα ενεργειακά ζητήματα παγκοσμίως αλλά και στο ότι παρείχαν σημαντικές πληροφορίες για τις επόμενες γενιές. Δύο ήταν τα ατυχήματα που υπήρξαν από αντιδραστήρες της συγκεκριμένης γενιάς με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτές ήταν το ατύχημα του πυρηνικού εργοστασίου Chernobyl που ήταν εφοδιασμένο με αντιδραστήρες 2<sup>ης</sup> γενιάς RBMK και το ατύχημα στη Fukushima που ήταν εφοδιασμένο με αντιδραστήρες Mark 1 τύπου BWR. Βέβαια στα ατυχήματα αυτά δεν ευθύνεται ο αντιδραστήρας αλλά στη πρώτη περίπτωση υπήρξε ανθρώπινο σφάλμα και στη δεύτερη περίπτωση τα γεγονότα με το ισχυρό σεισμό και τις συνέπειες του που όλα μαζί συντέλεσαν στη τήξη του πυρήνα κάθε αντιδραστήρα αντίστοιχα. Αντιδραστήρες που άνηκαν στη συγκεκριμένη γενιά ήταν:

- Pressurized Water Reactors (PWR)
- Light Water Reactors (LWR)
- Boiling Water Reactors (BWR)
- Canada Deuterium Uranium reactors (CANDU)
- Vodo- Vodyanoi Energetichesky Reactors (VVER)

### 1.7.3. 3<sup>η</sup> γενιά

Η 3<sup>η</sup> γενιά αντιδραστήρων σχάσης με τη σειρά της αξιοποίησε όλα τα εφόδια προερχόμενα από τους σχετικούς αντιδραστήρες της 2<sup>ης</sup> γενιάς. Κρίνοντας τη σημαντική επιτυχία των αντιδραστήρων της 2<sup>ης</sup> γενιάς τα νέα σχέδια των αντιδραστήρων έπρεπε να φέρουν προηγμένα και ιδιαίτερος εξελιγμένα χαρακτηριστικά προκειμένου να υπερισχύσουν. Για αυτό το λόγο οι νέοι

αντιδραστήρες ήταν έτσι κατασκευασμένοι που αξιοποιούσαν καλύτερα το σχάσιμο υλικό, είχαν μεγαλύτερους χρόνους ζωής που έφταναν τα 60 έτη, υπήρχαν καλύτερες δικλείδες ασφαλείας ειδικά στο θέμα της τήξης του πυρήνα, ήταν πιο απλοποιημένοι με αποτέλεσμα την καλύτερη αξιοποίηση και λειτουργία τους συνάμα με την εξάλειψη της πιθανότητας εσφαλμένης λειτουργίας ενώ και συνολικά η κατασκευή ήταν πιο θωρακισμένη και θεωρητικά μπορούσε να αντέξει κάθε είδος εξωγενούς ατυχήματος (βόμβα, πτώση αεροπλάνου κλπ).

Σε αυτή τη κατηγορία αντιδραστήρων σχάσης περιλαμβάνονται εξελιγμένοι τύπου αντιδραστήρων της 2<sup>ης</sup> γενιάς και συγκεκριμένα είναι οι:

- Advanced Pressurized Water Reactors (APWR)
- Advanced Boiling Water Reactors (ABWR)
- Advanced Light Water Reactors (ALWR)
- Enhanced Canada Deuterium Uranium reactors (CANDU- 6)

#### 1.7.4. 3<sup>η</sup> γενιά +

Η 3<sup>η</sup> + γενιά αφορά τα υπάρχοντα σχέδια αλλά με μία σημαντική αναβάθμιση στο κομμάτι της ασφάλειας. Τα αναβαθμισμένα σχέδια περιλάμβαναν μεταξύ άλλων παθητικά συστήματα ασφάλειας που λειτουργούσαν παράλληλα με τα ενεργά συστήματα ασφάλειας. Πρακτικά, προσέθεταν μία νέα δικλείδα ασφαλείας απλοποιώντας περισσότερο τους αντιδραστήρες και αυτό διότι τα παθητικά συστήματα βασίζονται σε φυσικές διεργασίες και δυνάμεις όπως για παράδειγμα η βαρύτητα, η παθητική μετάδοση της θερμότητας κλπ.

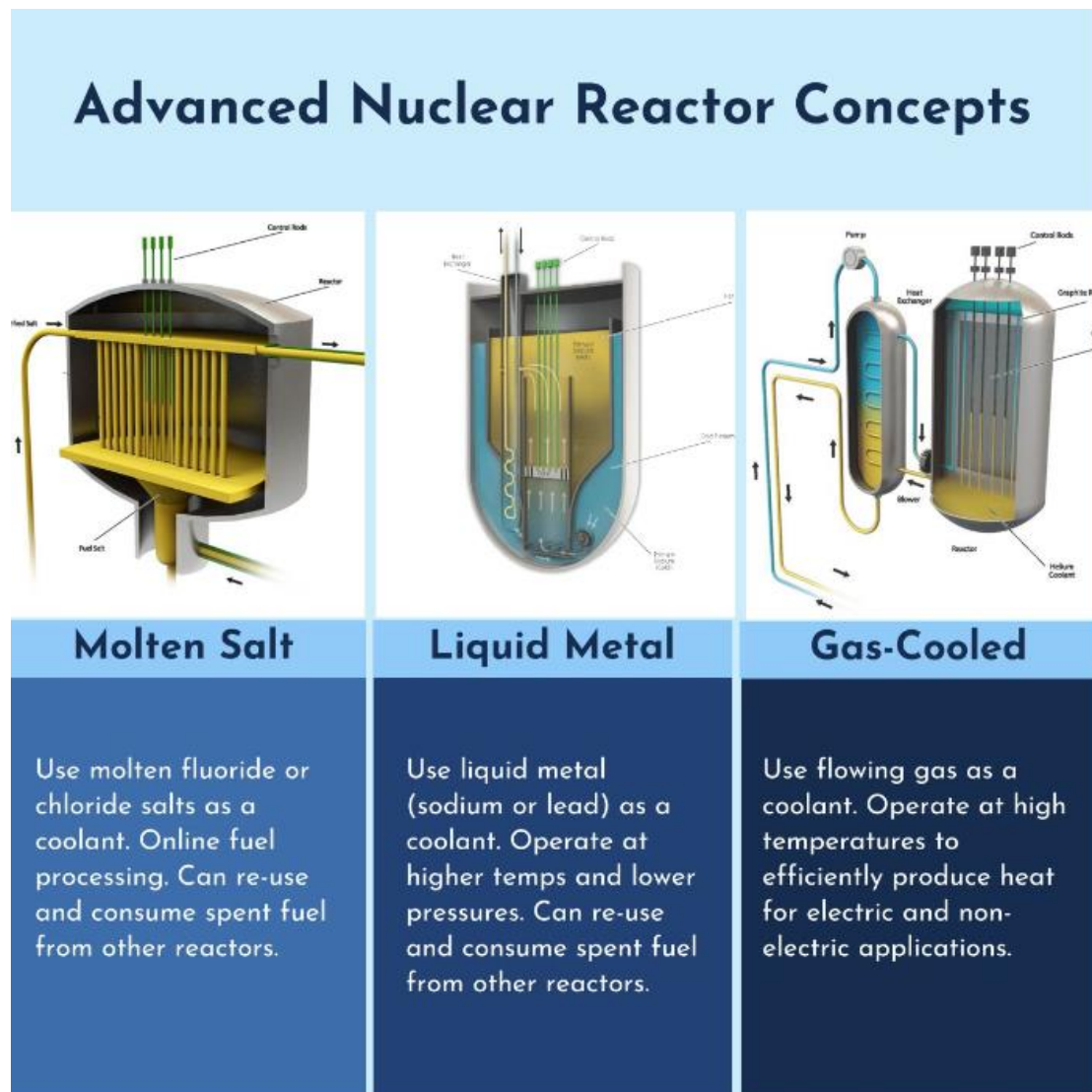
Αναβαθμισμένα σχέδια αυτής της γενιάς ήταν οι αντιδραστήρες:

- VVER 120
- ACR- 1000
- European Pressurized Reactor (ERP)
- Korean Next Generation Reactor (KNGR)
- Economic Simplified Boiling Water Reactor (ESBWR)

#### 1.7.5. 4<sup>η</sup> γενιά

Η 4<sup>η</sup> γενιά πυρηνικών αντιδραστήρων σχάσης αποτελούν τους αντιδραστήρες με τα πιο σύγχρονα χαρακτηριστικά σήμερα. Διαθέτουν προηγμένα χαρακτηριστικά ειδικά στους τομείς της ασφάλειας, αξιοπιστίας, οικονομία και βιωσιμότητα. Οι αντιδραστήρες 4<sup>ης</sup> γενιάς πρόκειται να προκύψουν από την κοινοπραξία χωρών η οποία μέσω της ανταλλαγής γνώσεων και μεθόδων θα ετοιμάσουν σχέδια τα οποία θα μπουν στις γραμμές παραγωγής περίπου το 2030. Εξαίρεση αποτελεί ο αντιδραστήρας τύπου Very High Temperature. Οι νέοι αντιδραστήρες αναμένεται να οικονομικά ισάξιοι ή και καλύτεροι των υπόλοιπων πηγών ενέργειας, αναμένεται να

αξιοποιούνται τα πυρηνικά καύσιμα στο έπακρο με ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, η πιθανότητα τήξης τους πυρήνα θα είναι πολύ μικρή, τα πυρηνικά απόβλητα δεν θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία πυρηνικών όπλων και άλλα πολλά.



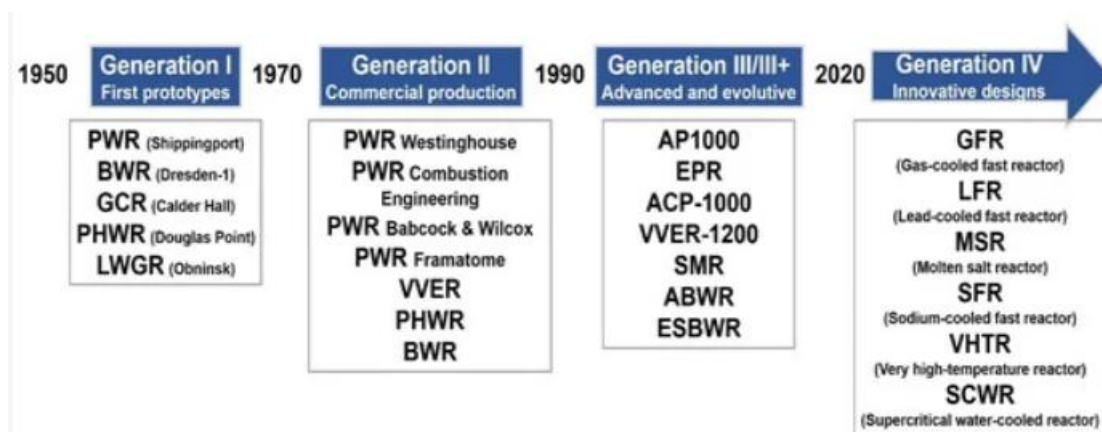
Εικόνα 3. Χαρακτηριστικά γνωστών σχεδίων πυρηνικών αντιδραστήρων της 4ης γενιάς (πηγή: <https://www.linkedin.com/showcase/nuclearenergygov/posts/?feedView=all> )

Αντιδραστήρες αυτής της γενιάς αναμένεται να είναι οι:

- High Temperature Gas- Cooled Reactor (HTGR)
- Molten Salt Reactor (MSR)
- Supercritical- Water- Cooled Reactor (SCWR)
- Gas- Cooled Fast Reactor (GFR)
- Sodium- Cooled Fast Reactor (SFR)
- Lead- Cooled Fast Reactor (LFR)
- Very High Temperature Reactor (VHTR)

### 1.7.6. 4<sup>η</sup> + γενιά (5<sup>η</sup> γενιά)

Η γενιά πυρηνικών αντιδραστήρων σχάσης της 5<sup>ης</sup> γενιάς αναμένεται να είναι οι συνεχιστές των προηγούμενων γενιών αλλά αυτή τη στιγμή βρίσκονται ακόμα σε θεωρητικό επίπεδο. Οι αντιδραστήρες αυτής της γενιάς πρόκειται να έχουν ακόμα πιο προηγμένα τεχνολογικά χαρακτηριστικά από τις προηγούμενες γενιές αλλά χρειάζονται σημαντικά πλεονεκτήματα προκειμένου να υπερκεράσουν την αξιοπιστία και ασφάλεια που προσφέρουν οι υπάρχοντες αντιδραστήρες. Τα πρώτα στοιχεία για τη 5<sup>η</sup> γενιά είναι πιθανό να υπάρχουν από το 2050 και έπειτα.



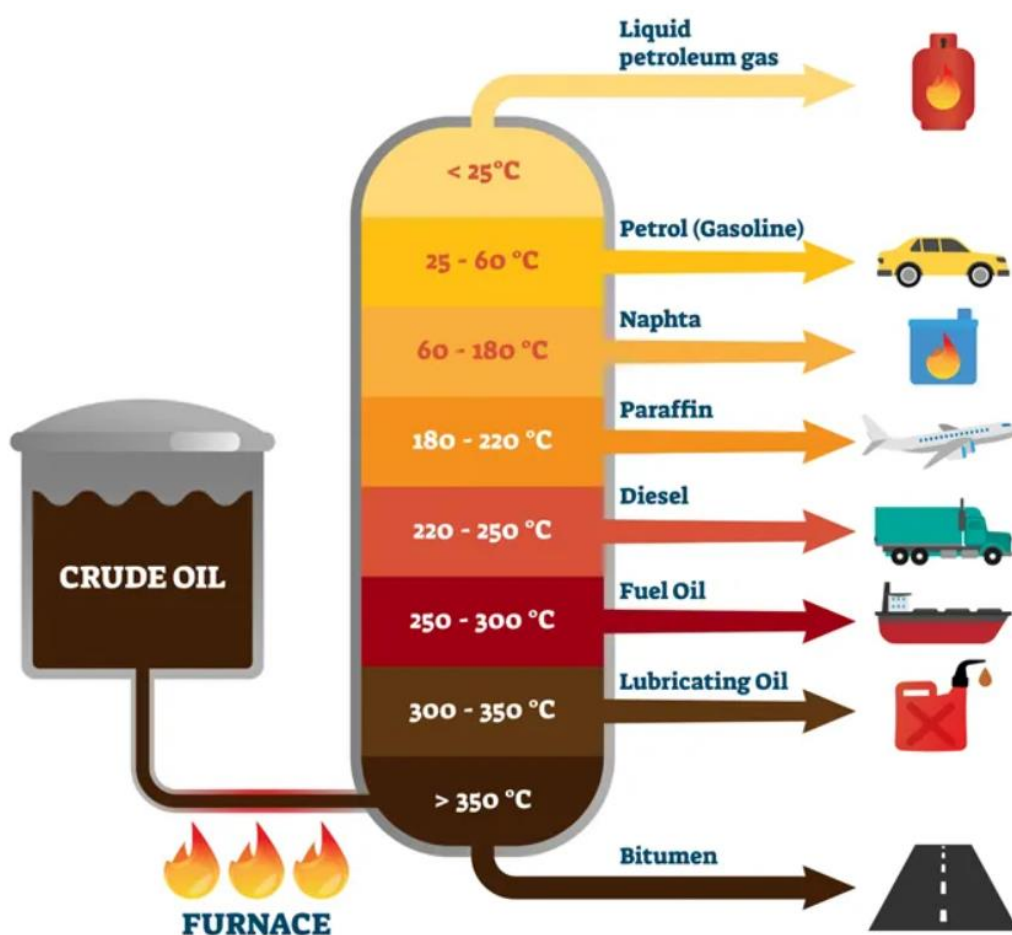
Εικόνα 4. Οι γενιές με τους τύπους αντιδραστήρων σχάσης (πηγή: [https://www.researchgate.net/publication/342527409\\_A\\_global\\_review\\_of\\_PWR\\_nuclear\\_power\\_plants/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/342527409_A_global_review_of_PWR_nuclear_power_plants/figures?lo=1))

## 1.8 Η ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΤΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Η πυρηνική πρόωση η οποία είναι η κύρια εφαρμογή της πυρηνικής ενέργειας στη ναυτιλία είναι μία λύση η οποία υφίσταται για αρκετές δεκαετίες. Η χρήση της αφορούσε κυρίως στρατιωτικά πλοία και σε ένα μικρότερο βαθμό πλοία ειδικού σκοπού (παγοθραυστικά). Τις προηγούμενες δεκαετίες είχαν υπάρξει απόπειρες εφαρμογής της πυρηνικής πρόωσης σε εμπορικά πλοία, πειράματα τα οποία για κυρίως οικονομικούς λόγους απέτυχαν. Βέβαια, οι εποχές τότε συγκριτικά με τις τωρινές εποχές είναι εκ διαμέτρου διαφορετικές και οι παράγοντες που εξετάστηκαν τότε δεν μπορούσαν να οδηγήσουν στην υιοθέτηση της πυρηνικής πρόωσης ως λύση. Η κύρια διαφορά με εκείνες τις εποχές είναι (όπου, η προστασία του περιβάλλοντος δεν ήταν αυτοσκοπός και οι τεχνολογίες της εποχής είχαν σημαντικές επιπτώσεις σε αυτό)

ότι τώρα η κοινωνία ασχολείται για το περιβάλλον και η προστασία του είναι κύριος στόχος όλων.

Για να γίνει διακριτή η διαφορά του τότε με το σήμερα αλλά και με το επερχόμενο και αβέβαιο αύριο. Η ναυτιλία χρησιμοποιούσε ως καύσιμο κυρίως μαζούτ, το μαζούτ αποτελεί προϊόν της απόσταξης του πετρελαίου και είναι βαρύ παράγωγο του, ιδιαίτερα ρυπογόνο και με μικρή θερμογόνο δύναμη. Από πολλούς θεωρείται ένα από τα κατακάθια της απόσταξης όπου ώστε για να μην μείνει αναξιοποίητο χρησιμοποιήθηκε στις ναυτικές μηχανές. Αποτελώντας κατακάθι της απόσταξης, η τιμή του εν γένει ήταν προσιτή στη ναυτιλία και για πολλές δεκαετίες ήταν το κύριο καύσιμο της. Παρόλα αυτά, η χρήση ενός καύσιμου που είναι σχεδόν σαν την πίσσα επιβάρυνε σημαντικά το περιβάλλον με σημαντικές ποσότητες ρύπων.



Εικόνα 5. Η κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου (πηγή: <https://www.shalom-education.com/courses/gcsechemistry/lessons/organic-chemistry/topic/fractional-distillation-and-crude-oil/>)

Για αυτό το λόγο, η πυρηνική πρόωση η οποία ακόμα βρισκόταν στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης της δεν μπορούσε να σταθεί απέναντι σε ένα καύσιμο που είναι φθινό και τις συμβατικές μηχανές που ήταν πιο απλές. Παρόλα αυτά, ο καιρός πέρασε και η παγκόσμια κοινή γνώμη άλλαξε συνήθειες αναγνωρίζοντας τις σημαντικές



επιπτώσεις που έχουν οι ανθρώπινες δραστηριότητες για το περιβάλλον. Σταδιακά λοιπόν, η ανάγκη για υιοθέτηση νέων και φιλικότερων για το περιβάλλον πρακτικών αποτέλεσε κύρια επιθυμία όλων. Η πολυπλοκότητα των συμβατικών μηχανών καύσης, η παρουσίαση νέων καυσίμων με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και άλλα συναφή αύξησαν το κόστος αγοράς, λειτουργίας, επισκευής και συντήρησης κάνοντας πλέον επιβεβλημένη την εκ νέου εξέταση της πυρηνικής πρόωσης ως πιθανή λύση.

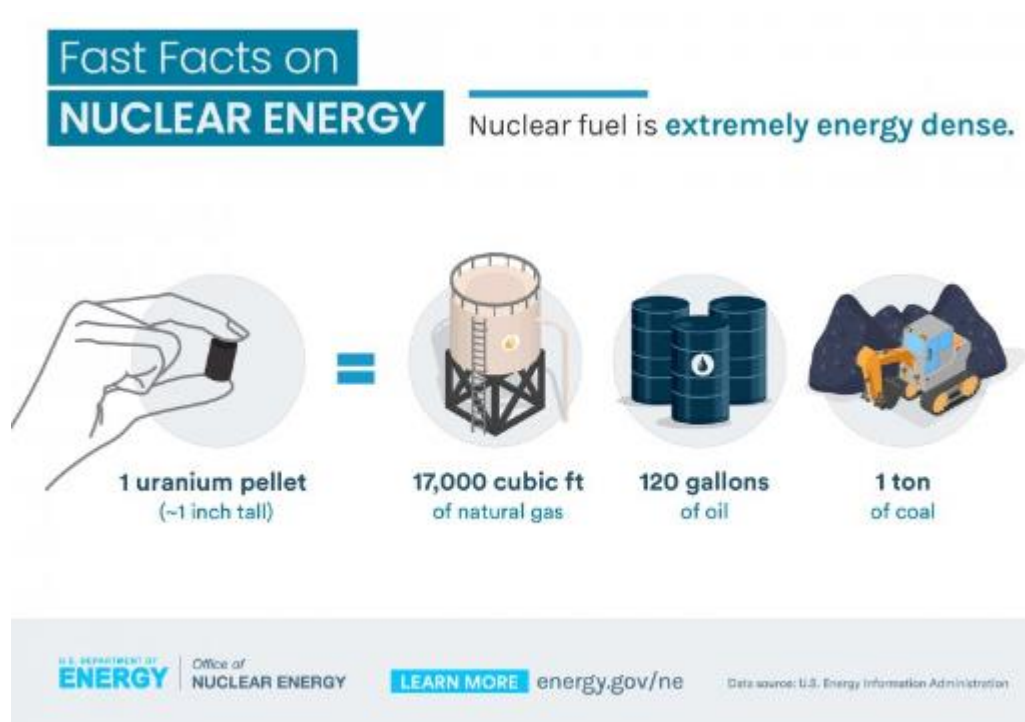
Ο διεθνής ναυτιλιακός οργανισμός έχει εισάγει νέους κανονισμούς για τη μείωση των ρύπων και έχει ιδιαίτερα φιλόδοξους στόχους για τη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων. Αυτοί οι κανονισμοί- στόχοι έχουν ανοίξει πολλές συζητήσεις στους χώρους της ναυτιλίας για το ποιες είναι οι πιθανές λύσεις και να εξεταστούν οι επιλογές. Οι επιλογές που εξετάζονται πρέπει να είναι κατά το δυνατό φιλικές για το περιβάλλον και να το επιβαρύνουν το ελάχιστο δυνατό ενώ πρέπει να υπάρχει και η προοπτική ότι με την ανάπτυξη της τεχνολογίας θα επιτευχθούν στόχοι όπως η ενεργειακή ουδετερότητα.

Οι επιλογές έως τώρα είναι:

- Ήλιος
- Άνεμος
- Κυψέλες καυσίμων
- Εναλλακτικά καύσιμα (υδρογόνο, μεθανόλη, αμμωνία)
- Φυσικό αέριο
- Μπαταρίες
- Βιοκαύσιμα
- Πυρηνική ενέργεια

Κάθε μία από τις παραπάνω επιλογές διακρίνεται από μία σειρά πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τα οποία όμως δεν θα αναλυθούν στη παρούσα εργασία πέρα από τη πυρηνική ενέργεια η οποία αποτελεί και το αντικείμενο της έρευνας. Στη παρούσα εργασία θα παρουσιαστούν τα συγκριτικά πλεονεκτήματα της πυρηνικής πρόωσης όπως και τα μειονεκτήματα. Κυριότερο πλεονέκτημα, χωρίς να έχει μελετηθεί η οικονομική σύγκριση ακόμα, είναι ότι η πυρηνική ενέργεια ως μέσο πρόωσης εγγυάται μηδενικές εκπομπές αερίων στο περιβάλλον. Ένα ιδιαίτερος σημαντικό και αναγκαίο χαρακτηριστικό για τη ναυτιλία του αύριο. Πέρα από τις μηδενικές εκπομπές ρύπων υπάρχει ένα επιπλέον πλεονέκτημα το οποίο αντικατοπτρίζει τη προοπτική της πυρηνικής ενέργειας ως μέσο παραγωγής ενέργειας στο μέλλον και αυτό είναι η ενέργεια που μπορεί να προσφέρει. Στη παρακάτω εικόνα από το υπουργείο ενέργειας των ΗΠΑ φαίνεται ότι 2.5 εκατοστά σε ύψος ουρανού μπορεί

να παράξει ισάξια, πράσινη και καθαρή ενέργεια όσο οι ποσότητες των άλλων πηγών ενέργειας.



Εικόνα 6. Η ενεργειακή αξία της πυρηνικής ενέργειας (πηγή: <https://www.linkedin.com/showcase/nuclearenergygov/> )

Αυτό καταδεικνύει επίσης ότι τα περίφημα πυρηνικά απόβλητα, δηλαδή το πυρηνικό καύσιμο που πλέον δεν μπορεί να παράξει αρκετή ενέργεια, δεν θα είναι τόσα πολλά σε μέγεθος και όπως έχει ανακοινώσει το υπουργείο ενέργειας των ΗΠΑ τα πυρηνικά απόβλητα 60 ετών χρήσης της πυρηνικής ενέργειας στη χώρα τους στεγάζονται σε ένα χώρο διαστάσεων γηπέδου ποδοσφαίρου.

Συνεπώς, η υπόθεση που ονομάζεται πυρηνική ενέργεια και στη περίπτωση μας πυρηνική πρόωση είναι μία μορφή ενέργειας/ πρόωσης η οποία παραμένει στα προσκήνιο και θα εξεταστεί αν και εφόσον μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εμπορική ναυτιλία. Παρόλο που διαθέτει ισχυρά πλεονεκτήματα, το οικονομικό ήταν και θα είναι ο κύριος παράγοντας παγκοσμίως ο οποίος καθορίζει τα πράγματα.

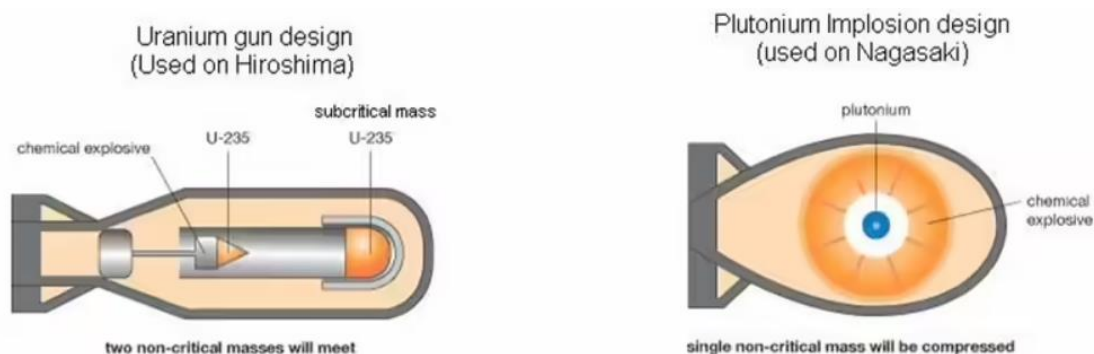
## 1.9 ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΟΠΛΑ

Η πυρηνική φυσική και συγκεκριμένα οι εφαρμογές της μέσω της πυρηνικής τεχνολογίας αξιοποιήθηκε πρωτίστως για στρατιωτικούς σκοπούς. Αρκετές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα για ειρηνικούς σκοπούς, στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης τους, είχαν ως πεδίο εφαρμογών τους πολέμους και τους στρατούς. Το ίδιο συμβαίνει και στη περίπτωση της πυρηνικής φυσικής η οποία

άρχισε να αναπτύσσεται στα τέλη του 19<sup>ου</sup> και αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα εν μέσω δραματικών παγκόσμιων εξελίξεων. Αφού διατυπώθηκε η σχετική θεωρία και προχώρησαν τα σχετικά πειράματα για να εξερευνηθούν οι δυνατότητες της οι χώρες βρίσκονταν σε εμπόλεμη κατάσταση σε διάφορα σημεία της υφελίου. Η προσπάθεια ανάπτυξης νέων οπλικών συστημάτων και η κούρσα των ερευνών κορυφώθηκε στο Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Οι σύμμαχοι (ΗΠΑ, Αγγλία, Σοβιετική Ένωση) και οι δυνάμεις του Άξονα (Ναζιστική Γερμανία) είχαν επιδοθεί στο κυνήγι της δημιουργίας της ατομικής βόμβας. Πρώτοι που εφάρμοσαν τη σχετική τεχνολογία και δοκίμασαν την ατομική βόμβα ήταν οι Αμερικανοί και οι οποίοι χρησιμοποίησαν αυτό το όπλο δύο φορές στην Ιαπωνία. Από εκεί και έπειτα οι ανάγκες για νέες και ισχυρότερες ατομικές/ πυρηνικές βόμβες αποτέλεσε τον διακαή πόθο των αντίπαλων στρατοπέδων του Ψυχρού Πολέμου. Ενώ πλέον, η πυρηνική τεχνολογία έχει εφαρμοστεί και σε διαφορετικά όπλα από τις βόμβες τα οποία μπορεί κάλλιστα να χρησιμοποιήσει κάθε στρατιώτης ατομικά.

### 1.9.1. ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΒΟΜΒΕΣ

Οι πρώτες ατομικές βόμβες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι γνωστές *little boy* και *fat man* κατασκευής ΗΠΑ και είχαν ως θύμα τις πόλεις της Χιροσίμα και Ναγκασάκι της Ιαπωνίας αντίστοιχα. Οι βόμβες ήταν τύπου *gun* και *implosion* αντίστοιχα και θεωρούνται οι πρώτες μορφές ατομικής βόμβας.



Εικόνα 7. Οι δύο πρώτοι μηχανισμοί πυροδότησης της ατομικής βόμβας βόμβας (πηγή: <https://science.howstuffworks.com/nuclear-bomb.htm> )



Εικόνα 8. Οι πρώτοι και μοναδικοί πολεμικοί στόχοι πυρηνικών όπλων (πηγή: <https://historydaily.org/facts-about-the-hiroshima-and-nagasaki-bombings> )

### 1.9.2. ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΤΟΜΙΚΩΝ/ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΟΠΛΩΝ

Στη κούρσα απόκτησης και δοκιμής ατομικών/ πυρηνικών όπλων έπειτα μπήκαν και άλλα κράτη όπως η Σοβιετική Ένωση, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Γαλλία. Απότοκο του ψυχρού πολέμου ήταν η συνεχής προσπάθεια των χωρών να δημιουργήσουν νέα πυρηνικά όπλα με μεγαλύτερη ισχύ, πολλαπλάσια των ατομικών βομβών της Χιροσίμα και Ναγκασάκι, ικανά να καταστρέψουν πλέον το πλανήτη. Βεβαίως, αυτά τα όπλα δεν έχουν ξαναχρησιμοποιηθεί αλλά επιδεικνύονται ως μέσο ισχύος και επιρροής. Συνεπώς μετά τις βόμβες ουρανίου (Hiroshima) και βόμβες πλουτωνίου (Nagasaki) που αποτελούν την πρώτη ομάδα πυρηνικών όπλων έχουν παρουσιαστεί τα θερμοπυρηνικά όπλα (βόμβα υδρογόνου ή βόμβα νετρονίων) με πολλαπλάσια ισχύ.

Πέρα από την ανάπτυξη των πυρηνικών όπλων στο επίπεδο των βομβών έχει γίνει σημαντική ανάπτυξη το επίπεδο των φορέων τους. Οι βόμβες πλέον έχουν τοποθετηθεί σε διάφορους πυραύλους ικανούς να πλήξουν κάθε σημείο της Γης ενώ πλέον υπάρχει η δυνατότητα ένας πύραυλος να είναι εξοπλισμένος με πολλαπλές πυρηνικές βόμβες οι οποίες μπορούν να εξαπολυθούν σε αντίστοιχα ξεχωριστές τοποθεσίες ενώ οι ταχύτητες που μπορούν να αναπτύξουν οι πύραυλοι δυσκολεύουν την προσπάθεια αναχαίτισης τους. Φορείς τέτοιων πυραύλων έχουν τοποθετηθεί

πλέον σε ειδικά σιλό εντός της γης, σε υποβρύχια και σκάφη επιφανείας, σε ειδικά διαμορφωμένα οχήματα αλλά και στα λεγόμενα στρατηγικά βομβαρδιστικά.

Πέρα από την ευρεία δυνατότητα χρήσης των πυρηνικών όπλων υπήρξε ανάπτυξη και των εφαρμογών όπλων με χρήση απεμπλουτισμένου ουρανίου. Όπως παρουσιάστηκε και παραπάνω το απεμπλουτισμένο ουράνιο είναι το U-235 και U-234 που έχουν μείνει σε πολύ μικρά ποσοστά εντός του φυσικού μείγματος ουρανίου που βρίσκουμε. Αφού, απομακρύνεται το συντριπτικό ποσοστό των δύο στοιχείων που αναφέρθηκαν παραπάνω για να χρησιμοποιηθεί ως πυρηνικό καύσιμο απομένει ένα μείγμα κυρίως με U-238. Το απεμπλουτισμένο ουράνιο είναι λιγότερο ραδιενεργό συγκριτικά με το φυσικό ουράνιο και ο λόγος είναι η απουσία του ποσοστού U-235 και U-234.

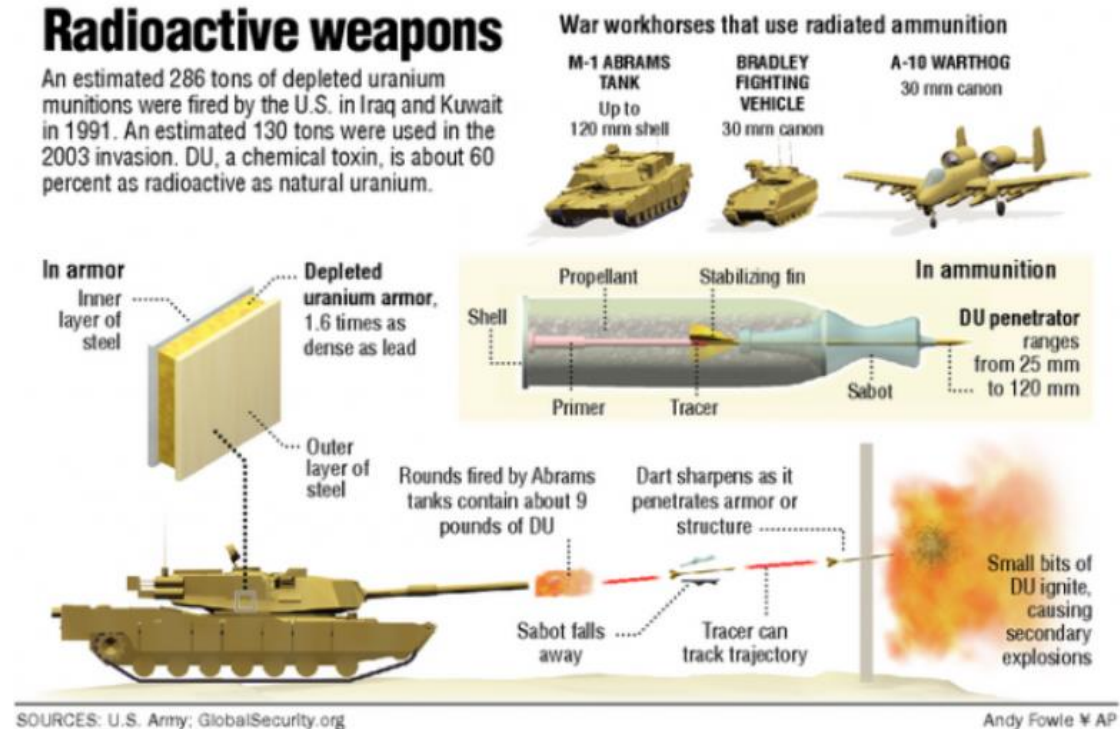
Στα πρώτα χρόνια ανάπτυξης των πυρηνικών όπλων και στη προσπάθεια εμπλουτισμού του ουρανίου παρατηρήθηκε η συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων απεμπλουτισμένου ουρανίου οι οποίες θεωρούνται ως κατακάθι της συνολικής διαδικασίας και δεν είχε βρεθεί τρόπος αξιοποίησης τους. Έτσι Αμερικανοί και Σοβιετικοί βλέποντας αντίστοιχα τις τεχνολογικές αναπτύξεις των όπλων καθενός παρουσίασαν νέες θωρακίσεις για τα άρματα μάχης τους βάσει του απεμπλουτισμένου ουρανίου ενώ σειρά είχαν και τα βλήματα απεμπλουτισμένου ουρανίου.

Το απεμπλουτισμένο ουράνιο είναι βαρύτερο του παραδοσιακού μόλυβδου κατά 60% για αυτό και τα βλήματα απεμπλουτισμένου ουρανίου μπορούν να πετύχουν την διάτρηση κάθε προστατευτικής θωράκισης ενώ η δυνατότητα τους να αυταναφλεχθούν επιβαρύνει την ζημιά. Με ακριβώς το αντίθετο σκεπτικό παρουσιάστηκαν οι θωρακίσεις απεμπλουτισμένου ουρανίου οι οποίες μπορούν να διατηρηθούν πιο δύσκολα συγκριτικά με τις συμβατικές θωρακίσεις.

Εκτός από αυτές τις εφαρμογές, παρουσιάστηκαν όλμοι και ειδικές σφαίρες με απεμπλουτισμένο ουράνιο που μπορούν να θέσουν εκτός μάχης από οχήματα μέχρι ολόκληρους στρατιωτικούς σχηματισμούς.

## Radioactive weapons

An estimated 286 tons of depleted uranium munitions were fired by the U.S. in Iraq and Kuwait in 1991. An estimated 130 tons were used in the 2003 invasion. DU, a chemical toxin, is about 60 percent as radioactive as natural uranium.



Εικόνα 9. Εφαρμογές του απεμπλουτισμένου ουρανίου (πηγή: <https://www.globalsecurity.org/wmd/world/index.html>)

### 1.9.3. ΧΡΗΣΤΕΣ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΟΠΛΩΝ

Από το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο και έπειτα αρκετά κράτη ανακοίνωσαν τη δημιουργία πυρηνικών προγραμμάτων με σκοπό την ανάπτυξη πυρηνικών όπλων και αυτή η εξοπλιστική κούρσα κράτησε για αρκετές δεκαετίες έως ότου αποφασίστηκε η σταδιακή απόσυρση και καταστροφή των πυρηνικών όπλων αφού φάνηκε ότι πλέον η καταστροφή του πλανήτη θα είναι σίγουρη σε περίπτωση χρήσης τους.

Τα κράτη που κατέχουν πυρηνικά όπλα σήμερα είναι:

- Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής
- Ρωσία
- Γαλλία
- Ηνωμένο Βασίλειο
- Κίνα
- Ινδία
- Πακιστάν
- Ισραήλ
- Βόρεια Κορέα



Country	Russia	US	France	China	UK	Pakistan	India	Israel	N. Korea
Deployed	1,600	1,750	290	0	120	0	0	0	?
Stockpiled/non-deployed/other	2,750	2,050	10	280	95	150 <sup>A</sup>	140 <sup>B</sup>	80	60
Retired/waiting to be dismantled	2,500	2,650	?	0	?	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>6,850</b>	<b>6,450</b>	<b>300</b>	<b>280</b>	<b>215</b>	<b>150</b>	<b>140</b>	<b>80</b>	<b>60<sup>C</sup></b>

A. Some data suggest Pakistan has 140–150 nuclear weapons, which are left unassembled in storage until launch. (FAS)

B. Similarly, some data suggest India has 130–140 unassembled nuclear weapons in storage. (FAS)

C. According to a WaPo story that cites a confidential US report, N. Korea has miniaturized a nuclear warhead and controls 30–60 weapons. However, some independent estimates suggest N. Korea has only 10–20 assembled.

Source: Bulletin of the Atomic Scientists; Federation of American Scientists; SIPRI; The Washington Post

**Εικόνα 10. Η κατανομή των πυρηνικών όπλων το 2018 (πηγή: <https://www.businessinsider.com/nuclear-weapons-stockpiles-world-map-2017-8>)**

### 1.10 IAEA

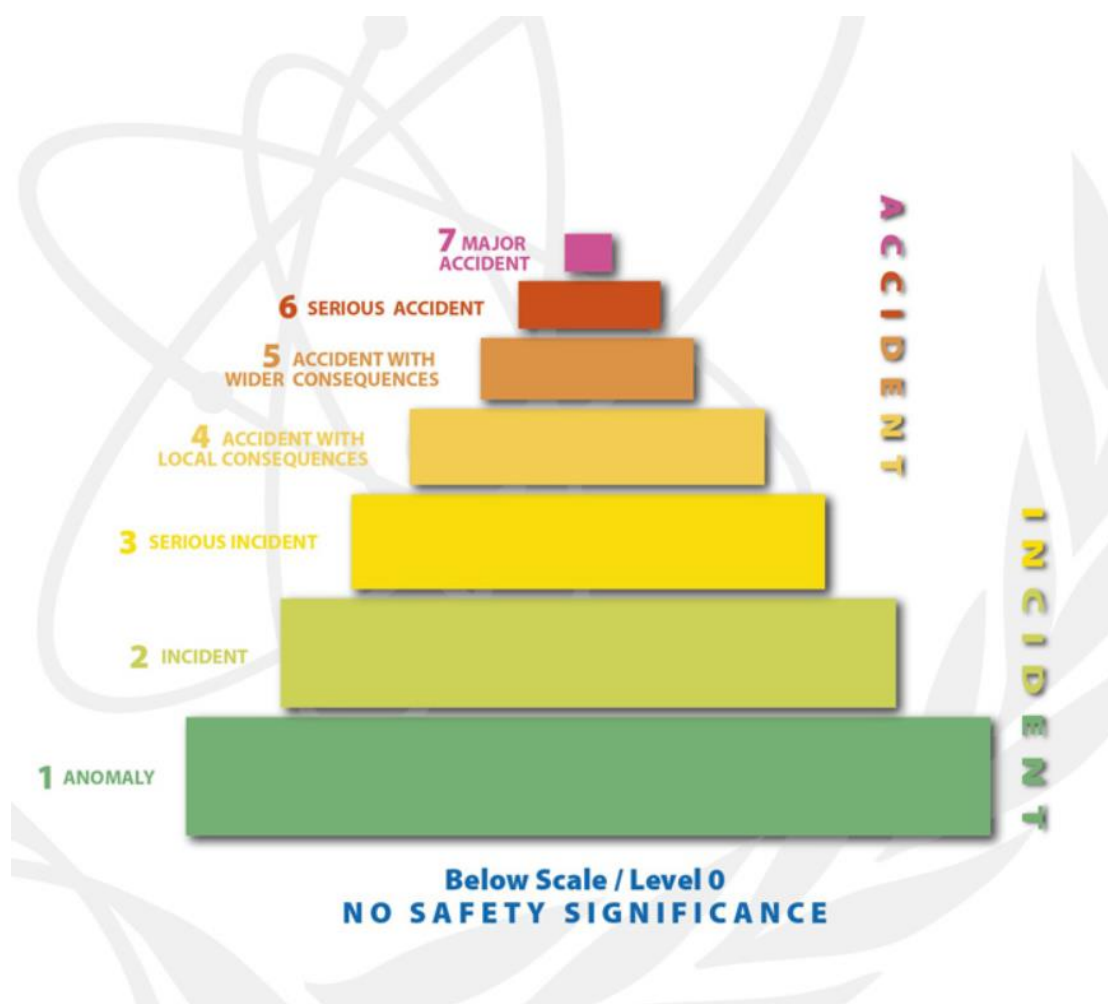
Η διεθνής υπηρεσία ατομικής ενέργειας (International Atomic Energy Agency) αποτελεί ένα διακρατικό οργανισμό, παρακλάδι του ΟΗΕ. Είναι μια διεθνής, αυτόνομη και εξειδικευμένη οργάνωση της οποίας ο ρόλος είναι η διασφάλιση της ειρηνικής και ασφαλούς χρήσης της ατομικής ενέργειας. Επίσης, προαγάγει την ειρηνική χρήση της και προσφέρει υλικοτεχνική υποστήριξη όσο η ατομική ενέργεια δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για στρατιωτικούς σκοπούς.

Η ίδρυση του οργανισμού έγινε το 1957 και έχει έδρα την Βιέννη της Αυστρίας. Από τότε έως σήμερα απαριθμεί 167 χώρες. Χώρες που έχουν αποχωρήσει από τον διεθνή οργανισμό είναι η Βόρεια Κορέα και η Καμπότζη το 1994 και το 2003 αντίστοιχα.

#### Κλίμακα πυρηνικών γεγονότων

Η διεθνής υπηρεσία ατομικής ενέργειας προκειμένου να κατατάξει τα διάφορα ατυχήματα/ περιστατικά ανάλογα με την επικινδυνότητα και το βαθμό που επηρεάζουν την ζωή και το περιβάλλον έχει παρουσιάσει μια κλίμακα, μια πυραμίδα, η οποία αποτελείται από 7 επίπεδα.

Το επίπεδο 1 είναι το καλύτερο δυνατό σενάριο σε περίπτωση ατυχήματος/ περιστατικού. Ενώ το επίπεδο 7 είναι το ατύχημα του οποίου οι επιπτώσεις δημιουργούν σοβαρό κίνδυνο στη ζωή και το περιβάλλον.



Εικόνα 11. Η κλίμακα κατάταξης των πυρηνικών ατυχημάτων (πηγή: <https://www-news.iaea.org/InesScale.aspx> )



Συγκεκριμένα, από το επίπεδο 1 έως 3 τα γεγονότα χαρακτηρίζονται ως περιστατικά ενώ από τα επίπεδα 4 έως 7 τα γεγονότα χαρακτηρίζονται ως ατυχήματα.

Οι απλές αποκλίσεις χωρίς κίνδυνο στην ασφάλεια τοποθετούνται στο επίπεδο 0.

Παρόλα αυτά, η κλίμακα αφορά την μεταφορά, αποθήκευση και αξιοποίηση ραδιενεργών υλικών και πηγών είτε το γεγονός συμβαίνει εντός εργοστασίου είτε εκτός. Συνεπώς, η κλίμακα μπορεί να καλύψει μια ευρεία γκάμα πιθανών γεγονότων με σωρεία σεναρίων και δεν περιορίζεται αποκλειστικά σε γεγονότα εντός πυρηνικών εγκαταστάσεων.

Κάθε κλίμακα συμβολίζει ένα συγκεκριμένο βαθμό επικινδυνότητας του γεγονότος.

Επίπεδο 0: απόκλιση

Επίπεδο 1: ανωμαλία

Επίπεδο 2: περιστατικό

Επίπεδο 3: σοβαρό περιστατικό

Επίπεδο 4: ατύχημα με συνέπειες σε τοπικό επίπεδο

Επίπεδο 5: ατύχημα με συνέπειες σε ευρύτερο επίπεδο

Επίπεδο 6: σημαντικό ατύχημα

Επίπεδο 7: μείζων ατύχημα

Προκειμένου ένα ατύχημα/ περιστατικό να ταξινομηθεί στη κλίμακα που παρουσίασε η διεθνής υπηρεσία ατομικής ενέργειας πρέπει να εξεταστούν τρεις συνιστώσες.

Οι συνιστώσες αυτές είναι:

- Άνθρωποι και περιβάλλον
- Έλεγχος και μέτρα ασφαλείας
- Μέτρα πρόληψης και αποφυγής ατυχήματος

Τα παραπάνω ατυχήματα αφορούν γεγονότα που έλαβαν μέρος εντός πυρηνικών εργοστασίων, εργοστασίων παραγωγής και εναπόθεσης πυρηνικών καυσίμων και αποβλήτων αντίστοιχα.

Η διεθνής υπηρεσία ατομικής ενέργειας (ΙΑΕΑ) όμως έχει εισαγάγει την ίδια κλίμακα ταξινόμησης των γεγονότων και για ατυχήματα που γίνονται εκτός εργοστασίων αλλά

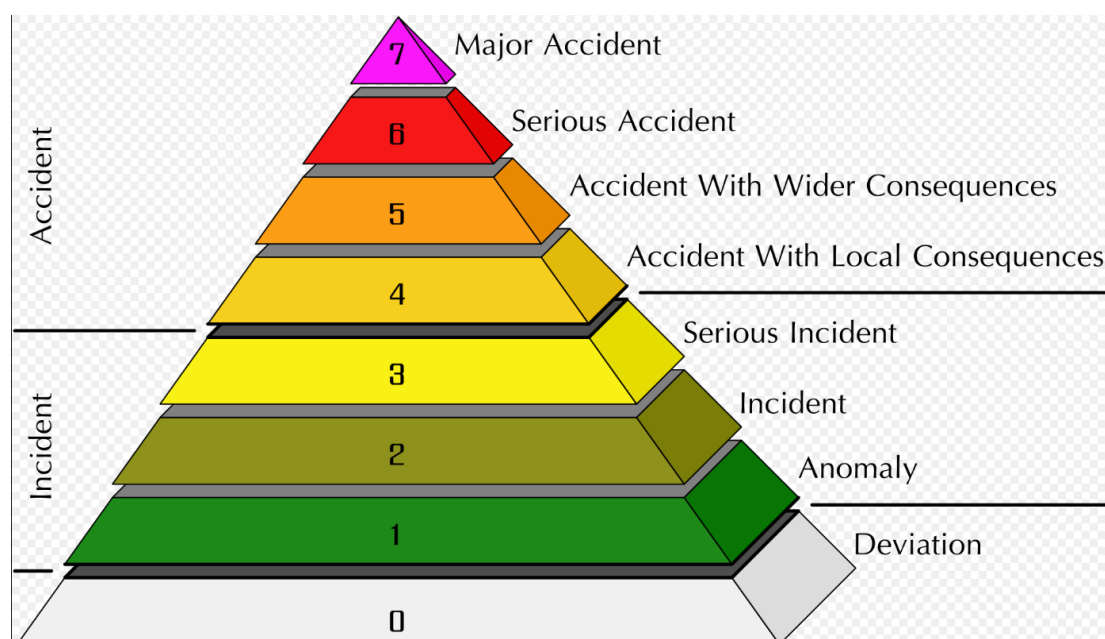
και κατά την διάρκεια μεταφορά ραδιενεργών μετάλλων/ πηγών. Ακόμα και η έκθεση ενός εργαζομένου πάνω από τα όρια ραδιενέργειας είναι ένα γεγονός που θα αξιολογηθεί και θα ταξινομηθεί σύμφωνα με την κλίμακα της διεθνούς υπηρεσίας ατομικής ενέργειας.

## 1.11 ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ

### ΔΙΕΘΝΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ

Ο ορισμός του πυρηνικού ατυχήματος δίνεται από τη Διεθνή Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας (ΙΑΕΑ- *International Atomic Energy Agency*) και αναφέρει την πρόκληση ενός ατυχήματος- συμβάντος το οποίο προκαλεί σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή, το περιβάλλον και τις υποδομές. Τα πυρηνικά ατυχήματα συνοδεύονται με την έκλυση ραδιενέργειας στο περιβάλλον οι οποίες επιδρούν αρνητικά, ακόμα και θανατηφόρα, στην ανθρώπινη ζωή αλλά και την χλωρίδα και πανίδα εν γένει. Η εκλύομενη ραδιενέργεια λόγω της φύσης της μπορεί να παραμείνει και να συνεχίσει να μολύνει την επηρεασμένη περιοχή για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

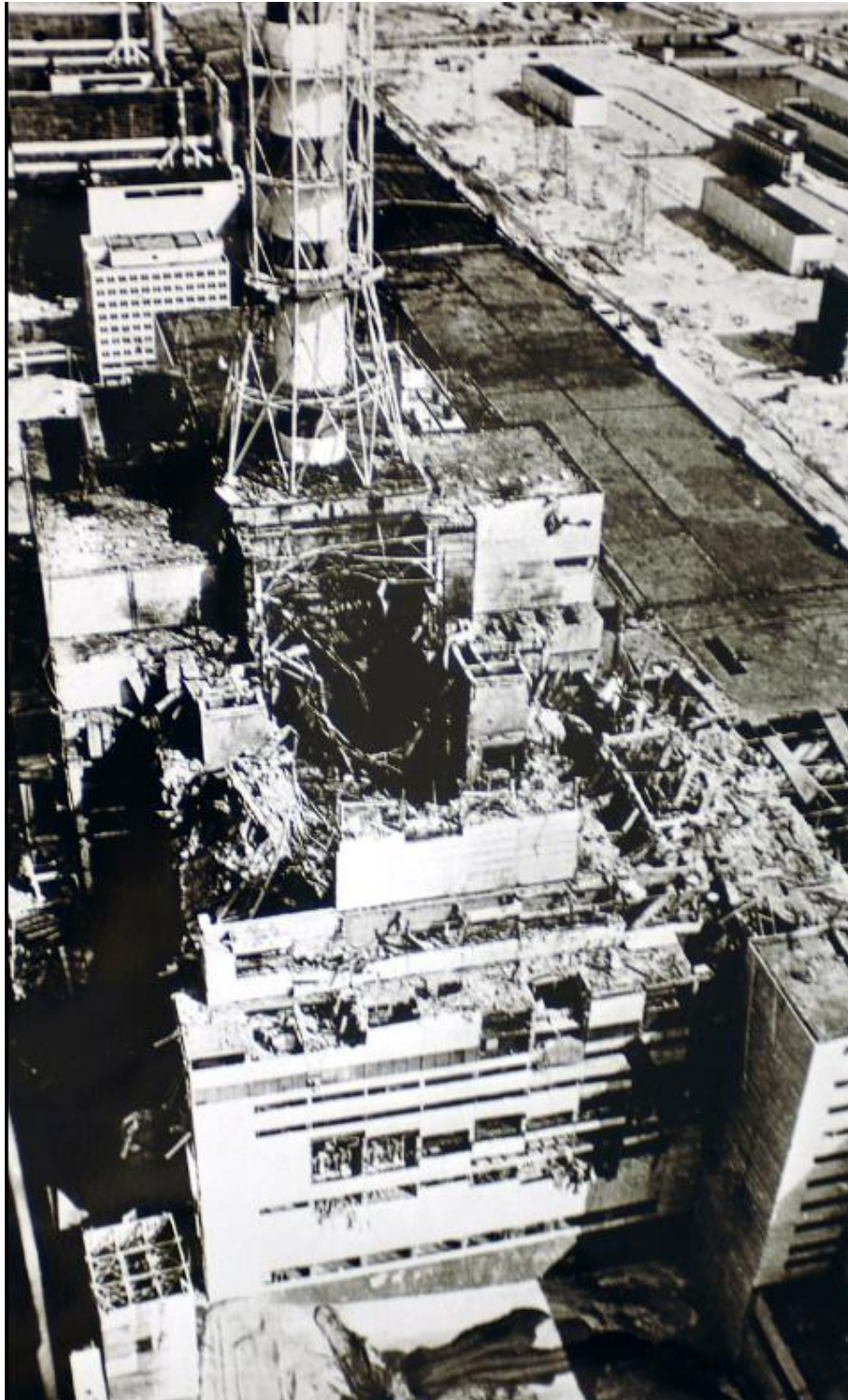
Τα πυρηνικά ατυχήματα κατατάσσονται σε επίπεδα σύμφωνα με τη διεθνή κλίμακα πυρηνικών συμβάντων (INES- *International Nuclear Event Scale*) που έχει παρουσιάσει ο ΙΑΕΑ, με το επίπεδο 7 να είναι η χειρότερη δυνατή περίπτωση (Τσέρνομπιλ, 1986) και το επίπεδο 1 να είναι η καλύτερη δυνατή περίπτωση, μία απόκλιση από την ορθή λειτουργία του πυρηνικού αντιδραστήρα.



Εικόνα 12. Η διεθνής κλίμακα πυρηνικών ατυχημάτων (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Nuclear\\_Event\\_Scale](https://en.wikipedia.org/wiki/International_Nuclear_Event_Scale))

### *Chernobyl 1986, (Επίπεδο 7)*

Το Τσέρνομπιλ ήταν πόλη της σημερινής Ουκρανίας, τότε Σοβιετικής Ένωσης, όπου ο πυρηνικός σταθμός «Βλαντιμίρ Ίλιτς Λένιν» τα ξημερώματα της 26<sup>ης</sup> Απριλίου 1986 σε μία άσκηση ρουτίνας οδήγησε στο χειρότερο πυρηνικό ατύχημα στη γνωστή ιστορία. Η έκλυση ραδιενέργειας από το ατύχημα αντιστοιχούσε σε 400 βόμβες που έπεσαν στην Χιροσίμα. Το ατύχημα προέκυψε από μία άσκηση ρουτίνας η οποία θα έλεγχε τα συστήματα ασφαλείας. Οι τεχνικοί του αντιδραστήρα 4 προχώρησαν στο κλείσιμο των συστημάτων ασφαλείας και των αυτόματων συστημάτων ρύθμισης της ισχύος του ίδιου αντιδραστήρα ενώ παράλληλα άφησαν τον αντιδραστήρα να λειτουργεί στο 7% της ισχύος του. Η αλυσιδωτή αντίδραση εντός του αντιδραστήρα προκάλεσε διαδοχικές εκρήξεις και σε συνδυασμό με την απουσία των συστημάτων ασφαλείας και των συστημάτων αυτόματης ρύθμισης ο αντιδραστήρας ανατινάχτηκε με τέτοια ισχύ που το ασάλινο κάλυμμα και η στέγη της εγκατάστασης του αντιδραστήρα 4 καταστράφηκαν ολοσχερώς αφήνοντας τον αντιδραστήρα εκτεθειμένο στην ατμόσφαιρά. Οι ποσότητες ραδιενεργού υλικού δεν μόλυναν μόνο την ευρύτερη περιοχή μετατρέποντας της σε κρανίου τόπο, με χαρακτηριστικότερη την περίπτωση της πόλης Πρίπιατ, αλλά μόλυναν και μεγάλες εκτάσεις σε όλη την Ευρώπη λόγω των ανέμων. Η συγκάλυψη που υπήρξε από τον κρατικό μηχανισμό της Σοβιετικής Ένωσης καθυστέρησε αρκετά τις εργασίες αποκατάστασης και είχαν αρνητική επίδραση στην υγεία πολλών ανθρώπων αλλά και στο περιβάλλον.



Εικόνα 13. Το πυρηνικό εργοστάσιο του Τσερνόμπιλ μετά την έκρηξη (πηγή: [https://el.wikipedia.org/wiki/Πυρηνικό\\_ατύχημα\\_του\\_Τσερνόμπιλ#/media/Αρχείο:NSC-Oct-2017.jpg](https://el.wikipedia.org/wiki/Πυρηνικό_ατύχημα_του_Τσερνόμπιλ#/media/Αρχείο:NSC-Oct-2017.jpg) )

Επί δέκα ημέρες, ο εκτεθειμένος πυρηνικός αντιδραστήρας έκαιγε τα πυρηνικά καύσιμα χωρίς κανένα μέτρο ασφαλείας με συνέπεια ραδιενεργά στοιχεία να απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα και να φτάνουν ακόμα και στο Βόρειο Πόλο.

Οι θάνατοι που προκλήθηκαν άμεσα από την έκρηξη του αντιδραστήρα ανήλθαν σε 31 αλλά οι θάνατοι έμμεσα σχετιζόμενοι με την έκρηξη παραμένουν μέχρι σήμερα απορία αφού το ραδιενεργό νέφος μεταφέρθηκε σε μεγάλες εκτάσεις της Ευρώπης και εκατομμύρια άτομα έλαβαν δόσεις ραδιενέργειας.



Εικόνα 14. Η σαρκοφάγος πάνω από τον εκτεθειμένο αντιδραστήρα (πηγή: [https://el.wikipedia.org/wiki/Πυρηνικό\\_ατύχημα\\_του\\_Τσερνόμπιλ#/media/Αρχείο:NSC-Oct-2017.jpg](https://el.wikipedia.org/wiki/Πυρηνικό_ατύχημα_του_Τσερνόμπιλ#/media/Αρχείο:NSC-Oct-2017.jpg) )

#### *Fukushima Daiichi* 2011, ΕΠΙΠΕΔΟ 7

Το εργοστάσιο Φουκουσίμα- Νταίτσι βρίσκεται στην Ιαπωνία όπου το 2011 δέχτηκε παλιρροϊκά κύματα (τσουνάμι) στις ανατολικές ακτές της έπειτα από τον καταστροφικό σεισμό των 9,0- 9,1 της κλίμακας Ρίχτερ. Συγκεκριμένα, ενώ οι εγκαταστάσεις της μονάδα Φουκουσίμα 1 άντεξαν το σεισμό, ενεργοποίησαν τα πρωτόκολλα ασφαλείας των αντιδραστήρων και οι αντιδραστήρες υπ' αριθμόν 1,2 και 3 έκλεισαν αυτόματα. Όμως το τσουνάμι που χτύπησε τις εγκαταστάσεις πλημμύρισε τους χώρους πλησίον των αντιδραστήρων με αποτέλεσμα οι γεννήτριες έκτακτης ανάγκης να τεθούν εκτός λειτουργίας. Ως συνέπεια αυτής της άτυχης ακολουθίας των γεγονότων ο αντιδραστήρας 1 ανατινάχτηκε ενώ τις επόμενες μέρες υπήρξαν εκρήξεις και στα κτήρια των πυρηνικών αντιδραστήρων 2 και 3.



**Εικόνα 15.** Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες 1-4 του εργοστασίου Φουκουσίμα- Νταίτσι (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fukushima\\_nuclear\\_disaster](https://en.wikipedia.org/wiki/Fukushima_nuclear_disaster) )

Οι επιπτώσεις του συγκεκριμένου πυρηνικού ατυχήματος δεν φάνηκαν άμεσα παρά την έγκαιρη απομάκρυνση των πολιτών από τη πληγείσα περιοχή. Μολυσμένο νερό βρέθηκε σε πολλές πόλεις της Ιαπωνίας όπως και μολυσμένο φαγητό. Οι αρχές υπολόγισαν τη ραδιενέργεια εντός του πυρηνικού εργοστασίου να είναι 1000 φορές περισσότερη από το επιτρεπόμενο όριο. Το πλήγμα της καταστροφής του πυρηνικού εργοστασίου Φουκουσίμα- Νταίτσι δεν είναι το μόνο που παρατηρήθηκε στην Ιαπωνία έπειτα από τις φυσικές καταστροφές αλλά οι πυρηνικοί αντιδραστήρες που παρουσίασαν πρόβλημα ανήλθαν σε 8. Συμπληρωματικά, αναφέρεται η περίπτωση των αντιδραστήρων της μονάδας Φουκουσίμα 2, το πυρηνικό εργοστάσιο Φουκουσίμα Νταίτσι και το πυρηνικό εργοστάσιο Ονεγκάουα.

Η αδυναμία ανακάλυψης των επιπτώσεων της πυρηνικής καταστροφής από τον ΙΑΕΑ οδήγησε αρχικά στο χαρακτηρισμό του ατυχήματος ΕΠΠΕΔΟ 4 και σταδιακά αυξήθηκε σε 5 και εν τέλει ΕΠΠΕΔΟ 7.



Εικόνα 16. Ομάδα της ΙΑΕΑ σε επιτόπιο έλεγχο του αντιδραστήρα 3 (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fukushima\\_nuclear\\_disaster](https://en.wikipedia.org/wiki/Fukushima_nuclear_disaster) )

### *Kyshtym* 1957, ΕΠΙΠΕΔΟ 6

Το ατύχημα του Κιστίμ έλαβε μέρος στην Σοβιετική Ένωση (σημερινή Ρωσία) στις 29 Σεπτεμβρίου του 1957. Το εργοστάσιο του Κιστίμ δεν αφορούσε την παραγωγή ενέργειας αλλά την αποθήκευση και επεξεργασία των πυρηνικών αποβλήτων. Επιπροσθέτως, στις εγκαταστάσεις αυτές παράγονταν πλουτόνιο για την δημιουργία πυρηνικών όπλων. Έλαβε και το όνομα Κιστίμ αφού το Κιστίμ ήταν η κοντινότερη γνωστή πόλη στο εργοστάσιο αυτό.

Το ατύχημα έλαβε χώρα σε δεξαμενή που είχαν τοποθετηθεί πυρηνικά απόβλητα και το σύστημα ψύξης του χάλασε με αποτέλεσμα την πρόκληση έκρηξης.

Από το πυρηνικό ατύχημα δεν αναφέρθηκαν θάνατοι από την έκρηξη, αλλά, εκτιμάται ότι εκατοντάδες πέθαναν από καρκίνο και δεκάδες χιλιάδες ντόπιοι εκτοπίστηκαν από την πληγείσα περιοχή.



Εικόνα 17. Προειδοποιητική πινακίδα σε πληγείσα περιοχή πλησίον του εργοστασίου (πηγή: [https://www.gazeta.ru/science/2017/09/29\\_a\\_10911140.shtml](https://www.gazeta.ru/science/2017/09/29_a_10911140.shtml) )

*Windscale* 1957, (ΕΠΙΠΕΔΟ 5)

Το πυρηνικό ατύχημα στο *Windscale* έλαβε χώρα στις 10 Οκτωβρίου 1957 στη Βορειοδυτική Αγγλία. Ο πυρηνικός αντιδραστήρας υπ' αριθμόν 1 από τους δύο που διέθετε το εργοστάσιο έπιασε φωτιά η οποία έκαιγε 3 ημέρες. Λόγω της φωτιάς εντός του αντιδραστήρα υπήρξε απελευθέρωση ραδιενέργειας στο περιβάλλον. Λόγω φόβου για τις πιθανές αντιδράσεις της κοινωνίας και την περίπτωση ρήξης σχέσεων του Ηνωμένου Βασιλείου με τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής το ατύχημα υπονομεύτηκε και αποσιωπήθηκε οπότε δεν υπήρξε καμία μετακίνηση του τοπικού πληθυσμού. Το μοναδικό μέτρο που υιοθέτησε η Βρετανική κυβέρνηση ήταν η καταστροφή του γάλακτος, παραγωγής περίπου ενός μήνα και σε περιοχή 500 km<sup>2</sup>, λόγω του φόβου πιθανής μόλυνσης του από την ραδιενέργεια.





Εικόνα 18. Το πυρηνικό εργοστάσιο *Windscale* (Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Windscale\\_fire](https://en.wikipedia.org/wiki/Windscale_fire) )

### *Three Mile Island* 1979, ΕΠΙΠΕΔΟ 5

Το ατύχημα του *Three Mile Island* συνέβη στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και μέχρι σήμερα αποτελεί το πιο καταστροφικό πυρηνικό ατύχημα τους. Το περιστατικό αφορούσε την μερική τήξη του αντιδραστήρα υπ' αριθμόν 2 όταν μία βαλβίδα πίεσης έπαθε βλάβη με συνέπεια ο πυρήνας να αρχίσει να υπερθερμαίνεται αφού το νερό, μολυσμένο με ραδιενέργεια, δεν πήγαινε στον αντιδραστήρα για να τον ψύξει αλλά πήγαινε σε διπλανά κτήρια.

Στη συνέχεια και ενώ στο κέντρο ελέγχου επισημαινόταν με συναγεμμούς το πρόβλημα οι τεχνικοί προχώρησαν σε μία σειρά τεχνικά εσφαλμένων αποφάσεων που οδήγησαν στη μερική τήξη του αντιδραστήρα ο οποίος έφτασε σε θερμοκρασία 2000 βαθμών Κελσίου, μόλις 1000 βαθμούς Κελσίου κάτω από την ολική τήξη η οποία θα οδηγούσε σε πυρηνικό ατύχημα αντίστοιχο της Φουκουσίμα και του Τσερνομπίλ.

Ενώ σε πρώτη φάση κατάφεραν να ψύξουν τον αντιδραστήρα χωρίς σημαντικές επιπτώσεις για τους εργαζόμενους, δύο μέρες μετά υπήρξε μία έκρηξη προερχόμενη από την αντίδραση υδρογόνου εντός του αντιδραστήρα. Η έκρηξη αυτή

απελευθέρωσε ραδιενέργεια στη ατμόσφαιρα και μόλις έγινε γνωστό δημιουργήθηκε πανικός στις γύρω περιοχές.

Το συγκεκριμένο πυρηνικό ατύχημα θεωρείται ο λόγος που οι ΗΠΑ δεν επενδύουν ιδιαίτερα στην πυρηνική ενέργεια, παρόλο που κατατάσσονται στις πρώτες θέσεις των παραγωγών ενέργειας από πυρηνική ενέργεια, ενώ οι πολίτες την έχουν καταδικάσει σε κάποιο βαθμό. Χαρακτηριστικό είναι ότι από την μέρα του ατυχήματος δεν έχει εγκριθεί κανένα νέο σχέδιο για πυρηνικό εργοστάσιο στη πολιτεία της Πενσυλβάνιας στην οποία βρισκόταν το *Three Mile Island*.



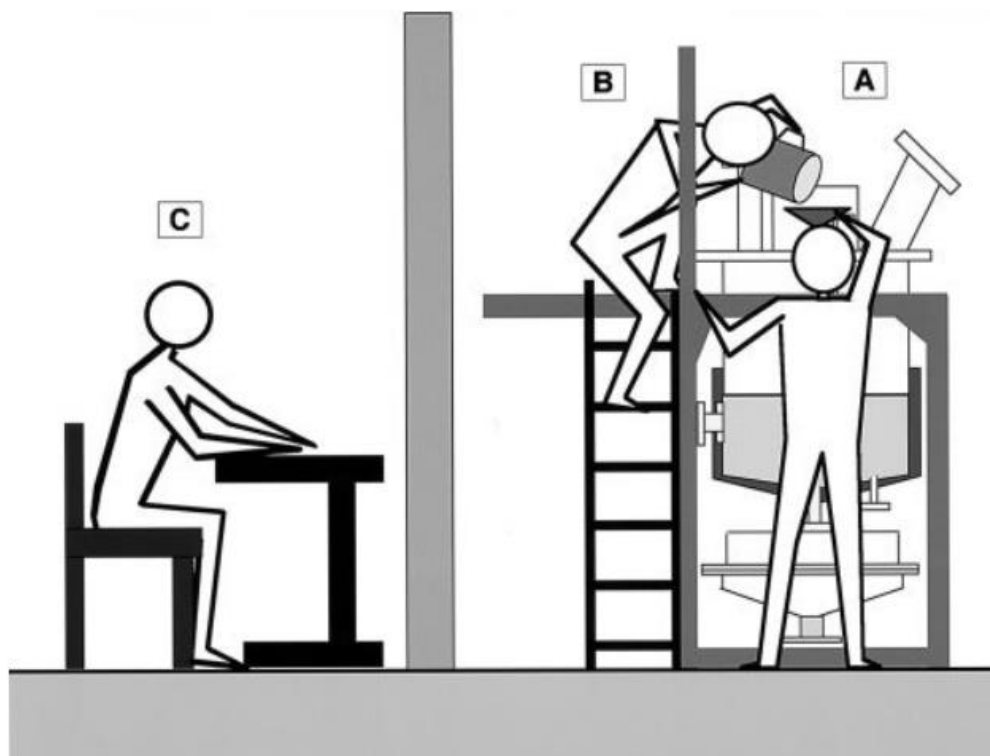
Εικόνα 19. Το πυρηνικό εργοστάσιο *Three Mile Island* (πηγή: <https://www.iefimerida.gr/stories/netflix-ntokimanter-pyriniko-atyhima-ipa> )

Tokaimura 1999, ΕΠΠΠΕΔΟ 4

Το ατύχημα στο εργοστάσιο *Tokaimura* διαφέρει αρκετά από τα υπόλοιπα διότι σε αυτό το ατύχημα ο χώρος που συνέβη ήταν ένα εργοστάσιο παραγωγής πυρηνικών καυσίμων για χρήση σε πυρηνικούς αντιδραστήρες. Η Ιαπωνία είναι μία χώρα με αρκετούς πυρηνικούς αντιδραστήρες και η οποία διαθέτει εργοστάσια παραγωγής των πυρηνικών καυσίμων. Παρόλα αυτά, εταιρεία παραγωγής πυρηνικών καυσίμων για την επίτευξη των διαδικασιών και στα πλαίσια πρόσκτησης νέων συμβολαίων παρέκαμψε σε σημαντικό βαθμό την προβλεπόμενη διαδικασία αποκλείοντας πολλές δικλείδες ασφάλειας. Το ατύχημα αφορούσε την τοποθέτηση σε δεξαμενή καθίζησης, που περιείχε ήδη 16,6 κιλά ουράνιο, διάλυμα νιτρικού ουρανιού. Λόγω

της απουσίας όλων των προηγούμενων σταδίων στη δεξαμενή το διάλυμα ξεπέρασε τη κρίσιμη μάζα με συνέπεια την δημιουργία αλυσιδωτών αντιδράσεων με ταυτόχρονη έκλυση νετρονίων.

Δύο άτομα πέθαναν άμεσα λόγω της ακτινοβολίας που δέχθηκαν ενώ εκατοντάδες επηρεάστηκαν, κυρίως εργαζόμενοι του εργοστασίου και των δημόσιων αρχών που επενέβησαν στο περιστατικό.

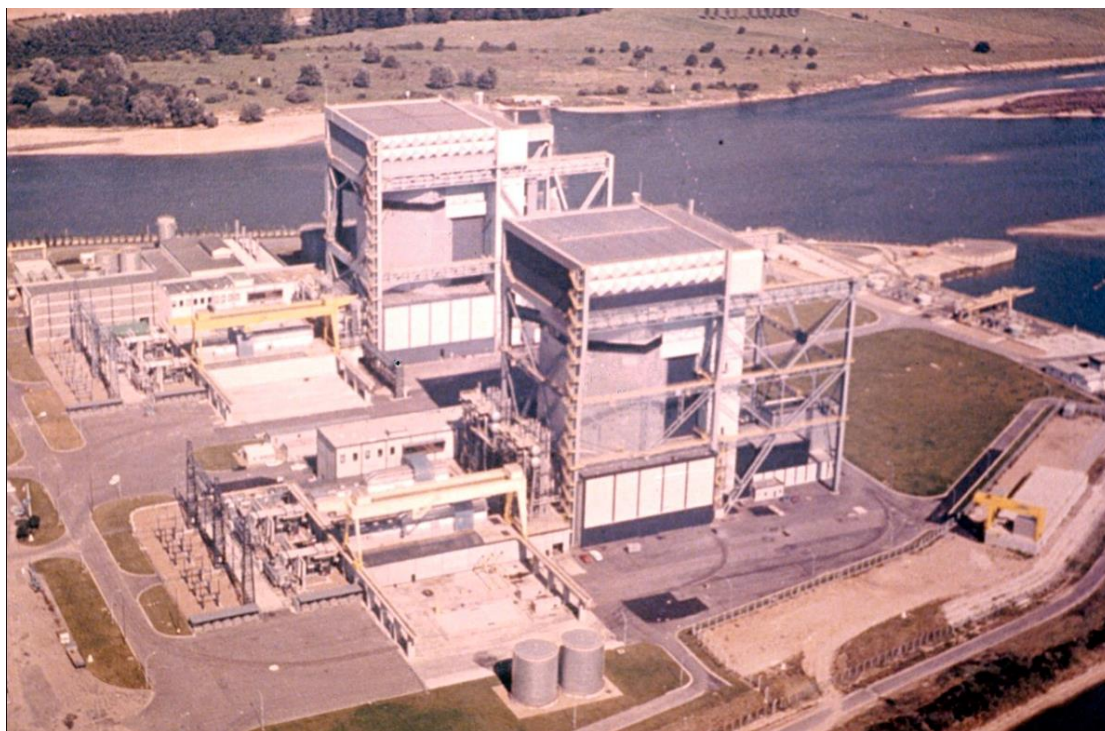


Εικόνα 20. Οι θέσεις των 3 εργαζόμενων κατά την διάρκεια του ατυχήματος (πηγή: <https://www.researchgate.net/publication/10789770> Initial medical management of patients severely irradiated in the Tokai-mura criticality accident/figures )

*Saint Laurent des Eaux* 1980, ΕΠΙΠΕΔΟ 4

Στις 13 Μαρτίου του 1980 στο πυρηνικό εργοστάσιο της πόλης *Saint Laurent des Eaux* προκλήθηκε μερική τήξη του αντιδραστήρα υπ' αριθμόν 2 και είναι το χειρότερο περιστατικό που συνέβη στη Γαλλία. Στο ίδιο πυρηνικό εργοστάσιο υπήρξε αντίστοιχο περιστατικό μερικής τήξης του αντιδραστήρα το 1969. Το περιστατικό του 1980 αφορούσε την παρουσίαση προβλήματος στο σύστημα ψύξης του αντιδραστήρα όταν εντός ενός σωλήνα έπεσε μέρος του και απέκλειε σε ένα βαθμό την κίνηση του ψυκτικού μέσου. Η αύξηση της θερμοκρασίας εντός του

αντιδραστήρα οδήγησε στο να λιώσουν 20 κιλά ουρανίου μαζί με άλλα προϊόντα της σχάσης.



Εικόνα 21. Το πυρηνικό εργοστάσιο *Saint Laurent des Eaux* (πηγή: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Accident\\_nucl%C3%A9aire\\_de\\_Saint-Laurent-des-Eaux\\_de\\_1980](https://fr.wikipedia.org/wiki/Accident_nucl%C3%A9aire_de_Saint-Laurent-des-Eaux_de_1980))

*Vandellos* 1989, ΕΠΙΠΕΔΟ 3

Το περιστατικό *Vandellos* στη Καταλονία της Ισπανίας αφορά πυρκαγιά που ξέσπασε στις εγκαταστάσεις του αντιδραστήρα υπ' αριθμόν 1 και η οποία προσωρινά διέκοψε την λειτουργία του συστήματος ψύξης του αντιδραστήρα. Η πυρκαγιά ξεκίνησε από τον αμοστρόβιλο του αντιδραστήρα και λόγω της παλαιάς τεχνολογίας των μέσων που χρησιμοποιούνταν η βλάβη που προκλήθηκε επηρέασε και άλλα υποσυστήματα του αντιδραστήρα. Συγκεκριμένα, τα καλώδια που χρησιμοποιούνταν δεν ήταν ανθεκτικά στη φωτιά.

Στα πλαίσια έρευνας των αιτιών του ατυχήματος βρέθηκε ότι υπήρχαν σχεδιαστικά λάθη στις εγκαταστάσεις.



Εικόνα 22. Το πυρηνικό εργοστάσιο *Vandellos* (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vandell%C3%B2s\\_I\\_nuclear\\_accident](https://en.wikipedia.org/wiki/Vandell%C3%B2s_I_nuclear_accident) )

### *Sellafield* 2005, ΕΠΙΠΕΔΟ 3

Το περιστατικό αφορά το πυρηνικό εργοστάσιο *Sellafield* στο Ηνωμένο Βασίλειο όταν 83000 λίτρα πυρηνικών αποβλήτων ανακαλύφθηκαν σε μη αναμενόμενο χώρο. Συγκεκριμένα, υπήρχε σπασμένος σωλήνας από όπου τα πυρηνικά απόβλητα έπεφταν σε χώρο/ δεξαμενή ειδικά σχεδιασμένη για την αποφυγή των διαρροών. Παρόλο που δεν υπήρξε μόλυνση του περιβάλλοντος ή σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή η ποσότητα των ραδιενεργών αποβλήτων οδήγησε την διεθνή υπηρεσία ατομικής ενέργειας να κατατάξει το περιστατικό ως επιπέδου 3.

Συνάμα, με την μεγάλη ποσότητα ραδιενεργών αποβλήτων που βρέθηκαν, παρατηρήθηκε η αδυναμία του προσωπικού να εντοπίσει την διαρροή παρόλο που υπήρχαν αναφορές από τους εργαζόμενους. Το συγκεκριμένο κομμάτι οδήγησε στην επιβολή προστίμου στη διαχειρίστρια εταιρεία. Το *Sellafield* είναι το πυρηνικό εργοστάσιο όπου το χειρότερο πυρηνικό ατύχημα συνέβη στο Ηνωμένο Βασίλειο, το *Windscale* το 1957.



Εικόνα 23. Το πυρηνικό εργοστάσιο *Sellafield* (πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sellafield> )

Atucha 2005, ΕΠΙΠΕΔΟ 2

Το περιστατικό *Atucha* στην Αργεντινή αφορά την έκθεση εργαζόμενου του πυρηνικού εργοστασίου σε ραδιενέργεια η οποία ξεπερνάει τα ετήσια όρια έκθεσης.

Cadarache 1993, ΕΠΙΠΕΔΟ 2

Το περιστατικό *Cadarache* της Γαλλίας αφορά την μόλυνση με ραδιενέργεια μίας περιοχής εντός του εργοστασίου το οποίο όμως δεν θα έπρεπε να συμβεί σύμφωνα με την σχεδίαση του εργοστασίου. Αυτό το σχεδιαστικό σφάλμα δεν επέφερε σημαντικές επιπτώσεις στην λειτουργία του αντιδραστήρα.

Fosmark 2006, ΕΠΙΠΕΔΟ 2

Το συγκεκριμένο περιστατικό το 2006 στο *Forsmark* της Σουηδίας αφορά τη βλάβη στα ηλεκτρικά κυκλώματα του αντιδραστήρα όπου δύο από τις τέσσερις ηλεκτρογεννήτριες έκτακτης ανάγκης δεν τέθηκαν σε λειτουργία. Δεν υπήρξε κάποια επίδραση στον αντιδραστήρα αφού οι εναπομείναντες ηλεκτρογεννήτριες τέθηκαν σε λειτουργία χειροκίνητα λίγα λεπτά μετά.

Στο επίπεδο 1 και 0 υπάρχουν αρκετά γεγονότα τα οποία όμως δεν είχαν επιπτώσεις ούτε στη ζωή ούτε στο περιβάλλον αφού τα γεγονότα χαρακτηρίζονται από απλές αστοχίες και αποκλίσεις από την ασφαλή λειτουργία του αντιδραστήρα. Η ύπαρξη πολλαπλών δικλίδων ασφαλείας καθιστά αυτά τα γεγονότα ως περιστατικά διατήρησης επαγρύπνησης και πιστής τήρησης των βημάτων για την ασφαλή λειτουργία των πυρηνικών εργοστασίων.

## 1.12 ΠΥΡΗΝΟΚΙΝΗΤΑ ΠΛΟΙΑ- ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ

Παρόλο, που η πυρηνική πρόωση υπάρχει για πάνω από μία πενήκονταετία ο αριθμός των πυρηνοκίνητων πλοίων δεν έχει αυξηθεί σημαντικά. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι για την μη περαιτέρω ανάπτυξη των πυρηνοκίνητων πλοίων οι οποίοι και θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα στη συνέχεια αλλά οι λόγοι αυτοί παύουν να ισχύουν κρίνοντας τις διεθνείς εξελίξεις σε διάφορους τομείς.

Τα πυρηνοκίνητα πλοία που έχουν παρουσιαστεί κατά κύριο λόγο ήταν πολεμικά και η σχετική τεχνολογία έχει αναπτυχθεί από τα πολεμικά ναυτικά αρκετών κρατών. Η πυρηνική τεχνολογία και η πυρηνική πρόωση προσφέρουν συγκριτικά πλεονεκτήματα στην εφαρμογή τους, και σε ένα πεδίο με ιδιαίτερες απαιτήσεις όπως το πολεμικό ναυτικό αυτά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά- πλεονεκτήματα είναι πολύτιμα. Παρόλα αυτά, η πυρηνική πρόωση εφαρμόστηκε και σε εμπορικά πλοία τα οποία όμως είναι μικρό ποσοστό συγκριτικά με τα πολεμικά.

Σαν σύνολο η πυρηνική πρόωση στα εμπορικά πλοία δεν πέτυχε αλλά σε ένα συγκεκριμένο τύπο πλοίων ο αριθμός τους παρέμεινε σταθερός και η προτίμηση της πυρηνικής έκδοσης τους έχει καταστεί συνειδητή επιλογή και επιθυμία. Αυτός ο συγκεκριμένος τύπος πλοίων κατατάσσεται στα πλοία ειδικού τύπου και αφορά τα παγοθραυστικά. Τα παγοθραυστικά λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών που λειτουργούν αλλά και λόγω του ιδιαίτερου ρόλου τους βρήκαν στη πυρηνική πρόωση ότι χρειάζονται.

Τα οφέλη της πυρηνικής πρόωσης είναι:

- Η αυτονομία, αφού οι πυρηνικοί αντιδραστήρες δύνανται να λειτουργούν χωρίς περιορισμό έως ότου να απαιτούν ανεφοδιασμό. Καθόλη τη διάρκεια έως τον ανεφοδιασμό δεν υφίστανται περιορισμοί λόγω εξωγενών παραγόντων όπως η οικονομία σε καύσιμα, η οικονομία λόγω της επιθυμίας για προσέγγιση λιμένα με οικονομικότερα καύσιμα, περιορισμοί σχετικά με τις εκπομπές και λοιπά. Ο αντιδραστήρας μπορεί να αποδίδει συνεχόμενα σταθερά φορτία ενέργειας.

- Μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, αφού οι αντιδραστήρες δεν χρειάζονται ορυκτά καύσιμα και δεν απαιτούν το στοιχείο της καύσης για την λειτουργία τους. Ο εκμηδενισμός των εκπεμπόμενων ρύπων αποτελεί καίριο πλεονέκτημα την εποχή μας ενώ η παγκόσμια προσπάθεια για την απανθρακοποίηση λαμβάνει χώρα.
- Μείωση του κόστους, παρόλο που οι αντιδραστήρες απαιτούν μεγάλο κεφάλαιο σε αρχικό στάδιο για την αγορά και τοποθέτηση του, η απουσία δευτερευόντων εξόδων που τείνουν να διογκώνονται κατά τη διάρκεια της ζωής του πλοίου όπως τα καύσιμα οδηγούν μία επένδυση σαν τη πυρηνική πρόωση υπό προϋποθέσεις σε βάθος χρόνου να είναι πιο ελκυστικές.
- Η μείωση του κινδύνου για περιβαλλοντικά ατυχήματα, διάφορα ατυχήματα έχουν συμβεί στη ναυτιλία που οδήγησαν σε μόλυνση του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, καύσιμα να καταλήγουν στη θάλασσα ή μολυσμένα νερά, κίνδυνος που σε κάποιες χώρες με αδυναμία εφαρμογής των κανονισμών που έχουν θεσπιστεί να παραμένει πραγματικότητα.

Σύμφωνα με άρθρο του [e- telescope](#) ο αρθρογράφος Κωστής Δελημπάσης αναφέρει: «Από τα μέσα της δεκαετίας του 50 μέχρι το 2019 κατασκευάστηκαν 531 υποβρύχια, 26 πολεμικά πλοία και 10 πλοία του εμπορικού ναυτικού, με τη χρήση πυρηνικής ενέργειας για πρόωση.

Αυτό είχε ως αποτέλεσμα 789 πυρηνικοί αντιδραστήρες να βρεθούν να λειτουργούν στις θάλασσες του κόσμου.»

Παρόλα αυτά, η εύρεση όλων των πυρηνοκίνητων σκαφών και υποβρυχίων κρίνεται από μεγάλη δυσκολία λόγω της πολεμικής χρήσης τους και των διαβαθμισμένων πληροφοριών που εμπεριέχονται σε αυτή τη τεχνολογία.

Η δημιουργία μίας βάσης δεδομένων για την αποκόμιση συμπερασμάτων σχετικά με τον τρόπο που αξιοποιείται η πυρηνική τεχνολογία στη ναυτιλία κρίθηκε αναγκαία για αυτό και δημιουργήθηκε. Τα πολεμικά ναυτικά των κρατών που συμμετέχουν στη Βορειοατλαντική Συμμαχία (NATO) έχουν κοινοποιήσει σε ένα βαθμό τις πληροφορίες που αναζητήθηκαν. Η αναζήτηση πληροφοριών για τα πυρηνοκίνητα πλοία των κρατών Ρωσία και Κίνα χαρακτηρίστηκε από μεγαλύτερη δυσκολία και ειδικά με το Κινεζικό Πολεμικό Ναυτικό.



Η βάση δεδομένων θα εξετάσει τους εξής παράγοντες:

- Όνομα πλοίου
- Τύπος πλοίου
- Αριθμός πυρηνικών αντιδραστήρων
- Ονομασία του πυρηνικού αντιδραστήρα
- Τύπος του πυρηνικού αντιδραστήρα

Η βάση δεδομένων βρίσκεται στο παράρτημα Ζ της παρούσης εργασίας.

### 1.12.1. ΑΕΡΟΠΛΑΝΟΦΟΡΑ

**USS Enterprise.** Αεροπλανοφόρο του Αμερικάνικου Πολεμικού Ναυτικού το οποίο βρισκόταν σε υπηρεσία για 50 συναπτά έτη (1962- 2012). Το σκάφος διαθέτει 8 πυρηνικούς αντιδραστήρες τύπου A2W και είναι το μόνο πλοίο που έχει εξοπλιστεί με περισσότερους από 2 αντιδραστήρες ενώ κατέχει την πρωτιά ως το πρώτο πυρηνοκίνητο αεροπλανοφόρο. Η εμπειρία που απέκτησαν οι Αμερικανοί από το συγκεκριμένο αεροπλανοφόρο τους οδήγησε να αναπτύξουν δύο νέες κλάσεις αεροπλανοφόρων, τη κλάση Nimitz και τη κλάση Gerald R. Ford.



Εικόνα 24. Το αεροπλανοφόρο USS Enterprise (Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/USS\\_Enterprise\\_\(CVN-65\)#In\\_popular\\_culture](https://en.wikipedia.org/wiki/USS_Enterprise_(CVN-65)#In_popular_culture))

**Κλάση Nimitz.** Τα αεροπλανοφόρα κλάσης Nimitz ήταν οι συνεχιστές της κλάσης Enterprise για το Αμερικάνικο Πολεμικό Ναυτικό. Παρήχθησαν συνολικά 10 αεροπλανοφόρα της συγκεκριμένης κλάσης τα οποία υπηρετούν στο πολεμικό ναυτικό ακόμα. Όντας οι συνεχιστές της προηγούμενης κλάσης τα αεροπλανοφόρα αυτά είχαν καλύτερα χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα αυτονομία που έφτανε τα 25-30 χρόνια ενώ μπορούσαν να πιάσουν ταχύτητα έως και 35 κόμβων.

Το πλήρωμα για την λειτουργία του έφτανε τους 6000 στρατιώτες.

Τα αεροπλανοφόρα της κλάσης Nimitz είναι:

- USS Nimitz
- USS Dwight D. Eisenhower
- USS Carl Vinson
- USS Theodore Roosevelt
- USS Abraham Lincoln
- USS George Washington
- USS John C. Stennis
- USS Harry S. Truman
- USS Ronald Reagan
- USS George H.W. Bush



Εικόνα 25. Η ναυαρχίδα της κλάσης Nimitz αεροπλανοφόρο USS Nimitz (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Nimitz-class\\_aircraft\\_carrier](https://en.wikipedia.org/wiki/Nimitz-class_aircraft_carrier) )

**FS CHARLE DE GAULLES.** Το FS CHARLES DE GAULLE είναι πυρηνοκίνητο αεροπλανοφόρο του Γαλλικού Πολεμικού Ναυτικού. Το συγκεκριμένο αεροπλανοφόρο κατέχει τρεις ξεχωριστές πρωτιές, είναι το πρώτο πυρηνοκίνητο αεροπλανοφόρο που κατασκευάστηκε στην Ευρώπη, το πρώτο πυρηνοκίνητο σκάφος επιφανείας της Γαλλίας και είναι το πρώτο πυρηνοκίνητο αεροπλανοφόρο που κατασκευάστηκε εκτός ΗΠΑ. Το πλοίο είναι εξοπλισμένο με πληθώρα πολεμικών όπλων του γαλλικού οπλοστασίου ενώ διαθέτει δύο πυρηνικούς αντιδραστήρες τύπου πεπιεσμένου ύδατος (PWR) με την ονομασία AREVA K15.



Εικόνα 26. Το γαλλικό αεροπλανοφόρο Charles de Gaulle (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/French\\_aircraft\\_carrier\\_Charles\\_de\\_Gaulle](https://en.wikipedia.org/wiki/French_aircraft_carrier_Charles_de_Gaulle))

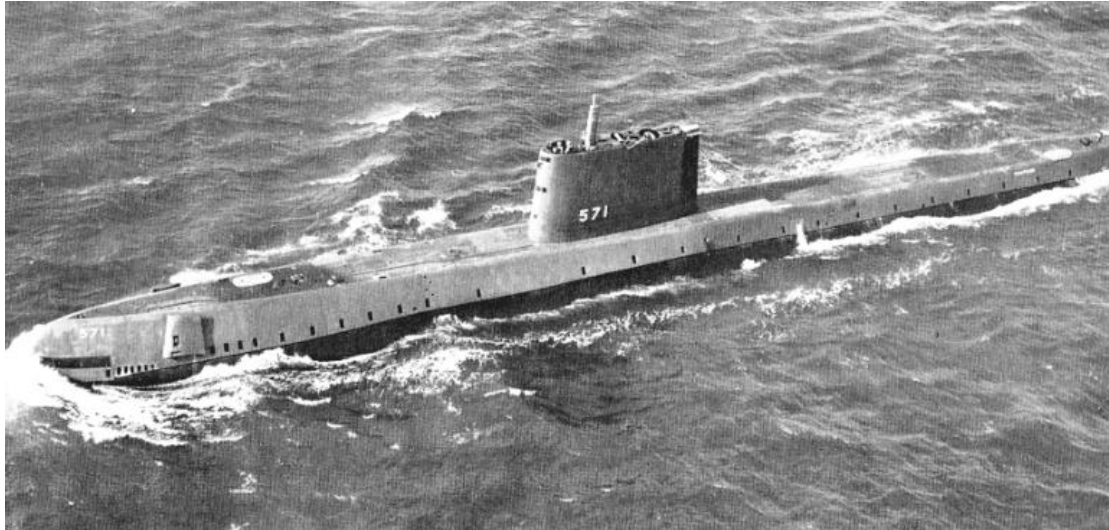
### 1.12.2. ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ

Στο τομέα των υποβρυχίων η πυρηνική τεχνολογία έχει παρουσιάσει σημαντικές επιτυχίες. Η πλειονότητα των πυρηνικών αντιδραστήρων που χρησιμοποιήθηκαν στη ναυτιλία αφορούσε τα υποβρύχια και ακόμα και σήμερα μονοπωλούν τις συζητήσεις ειδικά στα μεγάλα πολεμικά ναυτικά. Τα οφέλη χρήσης πυρηνικού αντιδραστήρα παρουσιάστηκαν και παραπάνω αλλά για λόγους απλότητας θα αναφερθεί ότι ένα πυρηνοκίνητο υποβρύχιο συνήθως έχει απεριόριστη εμβέλεια και δεν θα χρειάζονταν ανεφοδιασμό σε καύσιμα/ φόρτιση μπαταριών αλλά η ανάγκη ανεφοδιασμού σε τρόφιμα και πόσιμο νερό το αναγκάζει να ανέβει στην επιφάνεια.

Τα ονόματα των σκαφών, λόγω της συμμετοχής της Ελλάδας στη συμμαχία NATO, θα δοθούν σύμφωνα με τις ονομασίες που έδωσε η Βορειοατλαντική Συμμαχία.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν σκάφη στα οποία είτε δεν δόθηκε συγκεκριμένο όνομα είτε δεν βρέθηκαν, η βάση δεδομένων βρίσκεται στο παράρτημα Z.

#### ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΟ ΝΑΥΤΙΚΟ



Εικόνα 27. Το πρώτο πυρηνοκίνητο υποβρύχιο USS Nautilus (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/USS\\_Nautilus\\_\(SSN-571\)](https://en.wikipedia.org/wiki/USS_Nautilus_(SSN-571)) )



Εικόνα 28. Η ναυαρχίδα της κλάσης Virginia (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Virginia-class\\_submarine](https://en.wikipedia.org/wiki/Virginia-class_submarine) )



Εικόνα 29. Το υποβρύχιο USS Greeneville της κλάσης Los Angeles (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_Los\\_Angeles-class\\_submarines](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Los_Angeles-class_submarines) )

ΒΡΕΤΑΝΙΚΟ ΝΑΥΤΙΚΟ

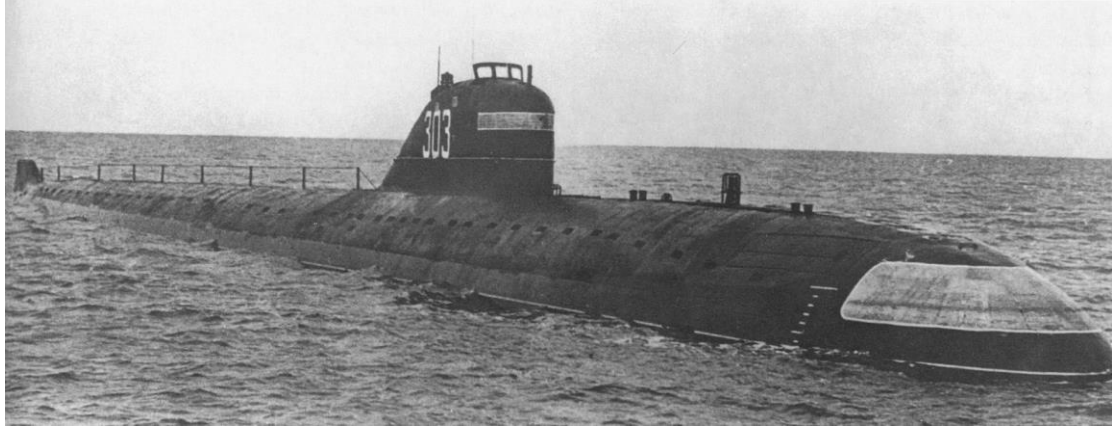


Εικόνα 30. Το υποβρύχιο HMS Victorious της κλάσης Vanguard (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Trident\\_%28UK\\_nuclear\\_programme%29](https://en.wikipedia.org/wiki/Trident_%28UK_nuclear_programme%29))



Εικόνα 31. Το πυρηγοκίνητο υποβρύχιο HMS Ambush της κλάσης Astute (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Astute-class\\_submarine](https://en.wikipedia.org/wiki/Astute-class_submarine))

## ΡΩΣΙΚΟ/ ΣΟΒΙΕΤΙΚΟ ΝΑΥΤΙΚΟ



Εικόνα 32. Το πρώτο πυρηνοκίνητο υποβρύχιο του Σοβιετικού Πολεμικού Ναυτικού K-3 Leninsky Komsomol (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Soviet\\_submarine\\_K-3\\_Leninsky\\_Komsomol](https://en.wikipedia.org/wiki/Soviet_submarine_K-3_Leninsky_Komsomol))



Εικόνα 33. Η νεότερη κλάση πυρηνοκίνητων υποβρυγίων του Ρωσικού Ναυτικού, κλάση YASEN (Graney) (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Yasen-class\\_submarine](https://en.wikipedia.org/wiki/Yasen-class_submarine))



Εικόνα 34. Το πυρηνοκίνητο υποβρύχιο K-322 Kashalot της περίφημης κλάσης Akula (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Akula-class\\_submarine](https://en.wikipedia.org/wiki/Akula-class_submarine) )

ΓΑΛΛΙΚΟ ΝΑΥΤΙΚΟ





Εικόνα 35. Το πυρηνοκίνητο υποβρύχιο FS La Temeraire της κλάσης Triomphant (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/French\\_submarine\\_Le\\_T%C3%A9m%C3%A9raire\\_\(S617\)](https://en.wikipedia.org/wiki/French_submarine_Le_T%C3%A9m%C3%A9raire_(S617)))

ΚΙΝΕΖΙΚΟ ΝΑΥΤΙΚΟ



Εικόνα 36. Το πυρηνικό υποβρύχιο της κλάσης Type 094 (Xia) (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Type\\_094\\_submarine](https://en.wikipedia.org/wiki/Type_094_submarine) )

### 1.12.3. ΠΛΟΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Στο κομμάτι των πλοίων επιφανείας η πίτα της πυρηνικής τεχνολογίας δεν ευδοκίμησε όπως στα υποβρύχια. Οι λόγοι είναι ότι τα πλεονεκτήματα της πυρηνικής πρόωσης στα υποβρύχια είναι δύσκολο να υπερκεραστούν ενώ στα πλοία επιφανείας η επιλογή συμβατικών μηχανών προσφέρει μία οικονομική λύση και δυνατότητα μαζικής παραγωγής και διατήρησης σε υπηρεσία.

#### ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΟ ΠΟΛΕΜΙΚΟ ΝΑΥΤΙΚΟ

UNITED STATES NAVY				
A/A	SHIP'S NAME	NUMBER OF NR	REACTOR'S NAME	TYPE OF REACTOR
1	USS LONG BEACH	2	C1W	PWR
2	USS BAINBRIDGE	2	D2G	PWR
3	USS TRUXTUN	2	D2G	PWR
4	USS CALIFORNIA	2	D2G	PWR
5	USS SOUTH CAROLINA	2	D2G	PWR
6	USS VIRGINIA	2	D2G	PWR
7	USS TEXAS	2	D2G	PWR
8	USS MISSISSIPPI	2	D2G	PWR

9	USS ARKANSAS	2	D2G	PWR
---	--------------	---	-----	-----

#### ΡΩΣΙΚΟ/ ΣΟΒΙΕΤΙΚΟ ΠΟΛΕΜΙΚΟ ΝΑΥΤΙΚΟ

RUSSIAN NAVY				
A/A	SHIP'S NAME	NUMBER OF NR	REACTOR'S NAME	TYPE OF REACTOR
1	ADMIRAL USHAKOV	2	KN-3	PWR
2	ADMIRAL LASAREV	2	KN-3	PWR
3	ADMIRAL NAKIMOV	2	KN-3	PWR
3	PYOTR VELIKIY	2	KN-3	PWR

#### 1.12.4. ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ

NS SAVANNAH. Το πλοίο NS SAVANNAH ήταν το πρώτο πλοίο που χρησιμοποίησε την πυρηνική πρόωση για εμπορικούς σκοπούς. Το πλοίο κατασκευάστηκε το 1959 και πέρα από την εμπορική του ιδιότητα επιτέλεσε τον ρόλο του πρεσβευτή της ειρηνικής χρήσης της πυρηνικής τεχνολογίας. Αποτέλεσε την ναυαρχίδα του τότε προέδρου των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής Eisenhower για τους σκοπούς της συγκεκριμένης καμπάνιας. Ταξίδεψε σε πολλά λιμάνια του κόσμου προκειμένου να το δει ο κόσμος αλλά παράλληλα λειτουργούσε ως επιβατηγό και μεταφοράς χύδην εμπορεύματος πλοίο.



Εικόνα 37. Το πλοίο NS Savannah (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/NS\\_Savannah](https://en.wikipedia.org/wiki/NS_Savannah) )

LENIN. Την πρωτιά όμως για την πρώτη εφαρμογή πυρηνικού αντιδραστήρα σε μη στρατιωτικό πλοίο την κατέχουν οι Σοβιετικοί όταν το 1957 παρουσίασαν το παγοθραυστικό Lenin. Στο τομέα των παγοθραυστικών οι Σοβιετικοί και μετέπειτα Ρώσοι στράφηκαν αποκλειστικά στους πυρηνικούς αντιδραστήρες και μέχρι σήμερα υπάρχουν αρκετά πυρηνοκίνητα παγοθραυστικά σε υπηρεσία με το πλοίο Lenin να είναι πλέον πλωτό μουσείο. Τα πυρηνοκίνητα παγοθραυστικά υπερτερούν από τα συμβατικά λόγω της δυνατότητας που έχουν να διατηρούν σταθερή ισχύ στις μηχανές και κατά συνέπεια σταθερή ταχύτητα κάτι ιδιαίτερος σημαντικό όταν αναφερόμαστε σε σπάσιμο πάγων και διατήρηση της βόρειας θαλάσσιας διαδρομής ανοιχτή.



Εικόνα 38. Το ρωσικό παγοθραυστικό Lenin (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lenin\\_\(1957\\_icebreaker\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lenin_(1957_icebreaker)))

Πλέον, ο στόλος των ρωσικών πυρηνοκίνητων παγοθραυστικών αποτελείται από τα από νέα πλοία σύγχρονης τεχνολογίας και αναμένονται ακόμα περισσότερα βάσει του πλάνου της ρωσικής κυβέρνησης για την διατήρηση της βόρειας θαλάσσιας οδού (Northern sea route) ανοιχτή όλο το χρόνο.

Συνολικά τα σοβιετικά/ ρωσικά πυρηνοκίνητα παγοθραυστικά που παρήχθησαν (που αποσύρθηκαν είτε παραμένουν σε λειτουργία) και αναμένεται να παραχθούν είναι:

1	URAL	2	OK-900	PWR
2	LENIN	3 (1957-1970/ 2(1970-1989)	OK-150/OK-900	PWR
3	ARKTIKA	2	OK-900	PWR
4	SIBIR	2	OK-900	PWR
5	ROSSIYA	2	OK-900	PWR
6	TAYMYR	1	KLT-40M	PWR
7	SOVETSKIY SOYUZ	2	OK-900	PWR
8	VAYGACH	1	KLT-40M	PWR
9	YAMAL	2	OK-900	PWR
10	50 LET POBEDY	2	OK-900	PWR
11	ARKTIKA	2	RITM-200	PWR
12	SIBIR	2	RITM-200	PWR

13	URAL	2	RITM-200	PWR
14	YAKUTIYA	EXPECTED	RITM-200	PWR
15	CHUKOTKA		RITM-200	PWR
16	ROSSIYA		RITM-200	PWR
17	SEVMORPUT	1	KLT-40	PWR



Εικόνα 39. Το ρωσικό παγοθραυστικό Vaygach (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear-powered\\_icebreaker](https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear-powered_icebreaker))

SEVMORPUT. Το ρωσικό πλοίο SEVMORPUT είναι μία εξελιγμένη μορφή παγοθραυστικού ικανού να μεταφέρει εμπορευματοκιβώτια και πλατφόρμες. Ο διττός σκοπός του πλοίου του δίνει δυνατότητα να λειτουργεί συνεχώς και για αυτό το λόγο παραμένει το μοναδικό εμπορικό πυρηνοκίνητο πλοίο σε υπηρεσία.

Η μεταφορική του ικανότητα είναι τα 1328 TEU.



Εικόνα 40. Το ρωσικό πλοίο Sevmorput (πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sevmorput> )

NS OTTO HAHN. Το γερμανικό πλοίο NS OTTO HAHN ήταν η απόπειρα των Γερμανών να μελετήσουν τη πυρηνική πρόωση και στη μελέτη σκοπιμότητας της πυρηνικής πρόωσης έναντι στα συμβατική πρόωσης πλοία. Το πλοίο υπηρέτησε ως πειραματικό και μετέφερε εμπορευματοκιβώτια για 15 χρόνια όπου και ο πυρηνικός αντιδραστήρας αφαιρέθηκε και τοποθετήθηκε συμβατική μηχανή diesel. Η απόπειρα υιοθέτησης της πυρηνικής ενέργειας στη πρόωση των πλοίων μπορεί να μην πέτυχε αλλά είναι κατανοητό πως οι συνθήκες τότε ήταν ιδανικές για τα συμβατικά πλοία με τη τιμή του πετρελαίου να φτάνει συχνά τα 20 δολάρια ο τόνος.



Εικόνα 41. Το πλοίο Otto Hahn (πηγή: <https://www.hapag-loyd.com/en/company/about-us/newsletter/2017/03/40-years-back--the-nuclear-powered-bulk-carrier-and-research-ves.html> )

NS MUTSU. Το NS Mutsu ήταν η απόπειρα των Ιαπώνων για ένα πυρηνοκίνητο εμπορικό πλοίο το οποίο όμως δεν λειτούργησε ποτέ ως εμπορικό λόγω των αντιδράσεων που υπήρξαν από πολλούς τοπικούς φορείς. Αιτία για τις αντιδράσεις ήταν η διαρροή ραδιενέργειας που υπήρξε από τον αντιδραστήρα χωρίς σημαντικές επιπτώσεις αλλά η τοπική κοινή γνώμη διαμορφώθηκε. Αποτέλεσμα ήταν η αφαίρεση του πυρηνικού αντιδραστήρα και η τοποθέτηση συμβατικής μηχανής diesel ενώ υπήρξε και η μετονομασία του πλοίου από MUTSU σε MIRAI.





Εικόνα 42. Το πλοίο NS Mutsu (Πηγή: <https://www.globalsecurity.org/military/world/japan/ns-mutsu-pics.htm>)

### 1.13 ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ/ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ

Η χρήση της πυρηνικής ενέργειας ακολουθείται από την ανησυχία για ατυχήματα με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη ζωή. Αυτό το σενάριο ισχύει κατά κύριο λόγο στους χερσαίους πυρηνικούς αντιδραστήρες. Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία έχουν κατασκευαστεί με πλειάδα δικλείδων ασφαλείας που αποτρέπουν την αλυσιδωτή αντίδραση εντός του αντιδραστήρα και με άμεση συνέπεια την ανεξέλεγκτη διαρροή ραδιενέργειας. Στα χρόνια που χρησιμοποιείται η πυρηνική πρόωση έχουν υπάρξει πυρηνικά ατυχήματα, κυρίως σε υποβρύχια, τα οποία σύμφωνα με τους κατασκευαστές, τους εμπειρογνώμονες και ανεξάρτητους φορείς οι συνέπειες περιβαλλοντικής μόλυνσης αποφεύχθηκαν χάρις στα μέτρα ασφαλείας που εφαρμόζονται.

Από του τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου έχουν βυθιστεί μερικές δεκάδες υποβρύχια ανά τον κόσμο με τα 9 εξ αυτών να είναι πυρηνοκίνητα.

Το κύριο αίτιο βύθισης ενός πυρηνοκίνητου υποβρυχίου σύμφωνα με εξέταση των ατυχημάτων αποτελεί η έκρηξη ή φωτιά εντός του υποβρυχίου το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε ανεξέλεγκτη εισροή υδάτων, απώλεια πλευστότητας και πρόωσης και εν τέλει βύθιση. Επίσης, σε λιγότερα ατυχήματα σημειώθηκε βλάβη στη λειτουργία του αντιδραστήρα η οποία οδήγησε σε απώλεια ηλεκτρισμού και πρόωσης.

Τα πυρηνοκίνητα υποβρύχια που χάθηκαν είναι:

- USS THRESSER

Το υποβρύχιο χάθηκε στις 10 Απριλίου του 1963 όταν κατά τη διάρκεια ασκήσεων ένας σωλήνας θαλασσινού νερού που περνούσε από το διαμέρισμα του μηχανοστασίου έσπασε και οδήγησε σε βραχυκύκλωμα του κεντρικού ηλεκτρικού πίνακα και εν τέλει την απώλεια του διαμερίσματος. Η απώλεια ηλεκτρισμού οδήγησε σε απώλεια πρόωσης αφού ο αντιδραστήρας σταμάτησε και λόγω της ανεξέλεγκτης ροής υδάτων το υποβρύχιο πήρε κλίση ώσπου και χάθηκε άγανδρο όταν έφτασε στο βάθος σύνθλιψης και η υδροστατική πίεση το σύνθλιψε.

- USS SCORPION (SKIPJACK CLASS)

Το USS Scorpion βυθίστηκε στις 22 Μαΐου του 1968 και τα αίτια μέχρι και σήμερα δεν έχουν ξεκαθαριστεί αφού δύο επιτροπές διερεύνησης εξήγαγε διαφορετικά αίτια. Η πρώτη επιτροπή αποφάσισε ότι η εκτόξευση οπλισμένης τορπίλης η οποία διαγράφοντας κύκλο χτύπησε το υποβρύχιο ενώ η μεταγενέστερη δεύτερη επιτροπή κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπήρξε έκρηξη στο χώρο των μπαταριών του υποβρυχίου η οποία οδήγησε σε εισροή υδάτων, απώλεια πρόωσης και πλευστότητας και εν τέλει βύθιση άγανδρου. Η διαφορά των δύο συμπερασμάτων οφείλεται σε έλλειψη δεδομένων για την υποστήριξη του συμπεράσματος που υιοθέτησε η πρώτη επιτροπή σχετικά με τη τορπίλη.

- K-8 (NOVEMBER CLASS)

Το πρώτο σοβιετικό πυρηνοκίνητο υποβρύχιο που χάθηκε είναι το K-8 της περίφημης κλάσης *NOVEMBER*. Η απώλεια υπήρξε όταν κατά την επιστροφή του υποβρυχίου από ναυτικές ασκήσεις ξέσπασαν πυρκαγιές σε δύο διαφορετικά διαμερίσματα. Η αδυναμία του πληρώματος να τις σβήσει οδήγησαν στην ενεργοποίηση των αυτόματων μέτρων ασφαλείας του αντιδραστήρα και σε τερματισμό της λειτουργίας του. Η απώλεια ισχύος και πρόωσης και ενώ το υποβρύχιο είχε καταφέρει να αναδυθεί οδήγησε να χαθεί στο βυθό της θάλασσας με μόνο ένα διασωθέντα.

- K-219 (YANKEE I CLASS)

Το υποβρύχιο K-219 χάθηκε τον Οκτώβριο του 1986 όταν ξέσπασε φωτιά στο διαμέρισμα των βαλλιστικών πυραύλων. Η προσπάθεια καταπολέμησης της πυρκαγιάς δεν στέφθηκε με επιτυχία και ενώ το υποβρύχιο αναδυόταν ξεκίνησε να χάνει την πλευστότητα του ενώ ταυτόχρονα ο αντιδραστήρας υπολειπομένουσε. Ένας σημαντικός αριθμός ναυτών χάθηκε στη προσπάθεια του να κρατήσουν το πλοίο στην επιφάνεια ( καταπολεμώντας τη πυρκαγιά, κατεβάζοντας τις ράβδους ελέγχου του αντιδραστήρα) αλλά οι υπόλοιποι ναύτες σώθηκαν.

- K-278 KOSMOLETS (MIKE CLASS)

Το υποβρύχιο K-278 ήταν το μοναδικό της κλάσης του και λειτούργησε κυρίως ως πλατφόρμα ανάπτυξης νέων συστημάτων και δοκιμών. Το 1989 και συγκεκριμένα στις 7 Απριλίου το υποβρύχιο ενώ βρισκόταν σε συγκεκριμένο βάθος ξέσπασε πυρκαγιά στο 7<sup>ο</sup> διαμέρισμα του. Οι ναύτες κατάφεραν να αναδυθούν αλλά η έλλειψη σωστικών μέσων για το σύνολο των επιβαινόντων συνάμα με την εξάπλωση της φωτιάς σε άλλα διαμερίσματα του υποβρυχίου οδήγησε στη απώλεια του υποβρυχίου με 42 άντρες.

- K-27

Η απώλεια του K-27 έγινε το 1968 αλλά δεν βυθίστηκε έως ότου φτάσει το 1981. Αυτό οφείλεται όταν το 1968 κατά την διάρκεια λειτουργίας του υποβρυχίου παρατηρήθηκε διαρροή ραδιενέργειας στο χώρο του αντιδραστήρα. Η ραδιενέργεια ήταν τέτοια που μόλυνε στο σύνολο το σκάφος και έπειτα από την ρυμούλκηση του στη βάση δεν έγινε προσπάθεια καθαρισμού του. Εν τέλει τέθηκε ως στόχος του Σοβιετικού Ναυτικού και βυθίστηκε σε μικρό βάθος στη θάλασσα Κάρα που έως και σήμερα λειτουργεί ως πυρηνικός σκουπιδότοπος του ρωσικού ναυτικού. Αξίζει να αναφερθεί ότι το υποβρύχιο K-27 ήταν το πρώτο υποβρύχιο που είχε αντιδραστήρες υγρού μετάλλου.

- K-429 (CHARLIE I CLASS)

Το K-429 είναι μία ιδιαίζουσα περίπτωση υποβρυχίου το οποίο βυθίστηκε 2 φορές αλλά και τις δύο φορές ανασύρθηκε. Πρώτη φορά ήταν όταν κατά την περίοδο των δοκιμών πλημμύρισε και χάθηκε μαζί με μέρος του πληρώματος, ενώ αφού ανασύρθηκε το έδεσαν σε βάση και μετά από δύο χρόνια ξανά βυθίστηκε όταν πλημμύρισαν οι χώροι αγκύρωσης του. Τα περιστατικά έλαβαν χώρα το 1983 και 1985 αντίστοιχα.

- KURSK (OSCAR II CLASS)

Το υποβρύχιο *KURSK* είναι η πιο πρόσφατη απώλεια πυρηνοκίνητου υποβρυχίου όταν κατά τη διάρκεια ασκήσεων του ρωσικού ναυτικού μία τορπίλη ανατινάχτηκε εντός του διαμερίσματος τορπιλών και έπειτα οδήγησε στην ανατίναξη και άλλων τορπιλών. Ο κόσμος κατάλαβε ότι κάτι πήγαινε λάθος όταν παρατηρήθηκαν δύο σεισμοί χαμηλών ρίχτερ χωρίς καμία εξήγηση. Το πλήρωμα χάθηκε άτακτο και είναι από τις λίγες περιπτώσεις όπου το ατύχημα ήταν γνωστό σε όλο τον κόσμο και η εισροή των πληροφοριών γινόταν σε ζωντανό χρόνο.



Εικόνα 43. Κομμάτι του κουφariού του Kursk (πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Kursk\\_submarine\\_disaster](https://en.wikipedia.org/wiki/Kursk_submarine_disaster))

- K-159 (NOVEMBER CLASS)

Το K-159 επίσης είναι μία ιδιάζουσα περίπτωση αφού το υποβρύχιο ενώ είχε βγει εκτός υπηρεσίας για 14 έτη και ήταν δεμένο σε βάση υποβρυχίων έως ότου να παροπλιστεί κατά τη διάρκεια μίας θαλασσοταραχής τα ανωστικά σώματα που το κράταγαν στην επιφάνεια χάθηκαν και οδήγησαν στην απώλεια του υποβρυχίου.

Πέρα από τα προαναφερθέντα ατυχήματα που οδήγησαν στην ολική απώλεια των υποβρυχίων υπάρχουν αρκετά περιστατικά που οφείλονται είτε σε διαρροή ραδιενέργειας, είτε σε σύγκρουση με άλλο υποβρύχιο ή πλοίο επιφανείας ή σε αιτία που δεν έγινε ποτέ γνωστή. Παρόλα αυτά, γίνεται αντιληπτό ότι η πλειονότητα των ατυχημάτων που οδήγησαν σε απώλεια οφείλονται σε εκρήξεις ή ξέσπασμα φωτιών εντός του υποβρυχίου, ενώ και οι κακές καιρικές συνθήκες παίζουν τον ρόλο τους.

Βέβαια, τα ατυχήματα παρατηρούνταν τη περίοδο του Ψυχρού Πολέμου όταν και τα δύο αντίπαλα στρατόπεδα (ΗΠΑ και Σοβιετική Ένωση) είχαν μπει σε μία κούρσα εξοπλισμών και με πλεονέκτημα τη πυρηνική ενέργεια επιχειρούσαν να καταλάβουν συνεχώς νέες πρωτιές. Αυτός ο αγώνας ίσως οφείλεται στα ατυχήματα λόγω της μη αξιόπιστης και προσεγμένης επένδυσης σε ολοκληρωμένα συστήματα ασφαλείας στο σύνολο του υποβρυχίου και όχι αποκλειστικά στους αντιδραστήρες. Είναι αντιληπτό όμως ότι τα ατυχήματα οδήγησαν στη ανάπτυξη των απαραίτητων μέτρων ασφαλείας και πλέον κάθε σύστημα που πρόκειται να εφαρμοστεί σε πυρηνοκίνητα υποβρύχια διαθέτει τα καλύτερα υλικά και περνά πληθώρα εξαντλητικών δοκιμών.

Στο χώρο των πυρηνοκίνητων σκαφών επιφανείας δεν υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα πέρα από τη περίπτωση του εμπορικού *NS MUTSU*. Σύμφωνα με ανεξάρτητη και άγνωστη πηγή αναφέρθηκε πρόβλημα στον ένα εκ των δύο πυρηνικών αντιδραστήρων του καταδρομικού *Admiral Ushakov* (πρώην *Kirov*) όταν έπλεε στη Μεσόγειο Θάλασσα. Παρόλα αυτά, το πλοίο κατάφερε να επιστρέψει στη βάση του χωρίς καμία βοήθεια και παρέμεινε ανενεργό για αρκετό χρόνο, στοιχείο που ενισχύει τις θεωρίες ύπαρξης ατυχήματος. Η αναζήτηση περισσότερων πληροφοριών σχετικά με το συμβάν κρίθηκε άκαρπη και η μόνη αναφορά γίνεται από τη μελέτη του P.L. Olgaard

(Πηγή:

[https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/28/026/28026137.pdf?r=1](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/026/28026137.pdf?r=1)

)

## 1.14 ΠΥΡΗΝΙΚΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΠΛΟΙΩΝ/ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ

Για τους σκοπούς δημιουργίας στόλων πυρηνοκίνητων σκαφών και υποβρυχίων κάθε χώρα παρουσίασε πυρηνικούς αντιδραστήρες. Οι διαφορές των χερσαίων πυρηνικών αντιδραστήρων με τους αντιδραστήρες προορισμένους για σκάφη είναι αρκετές και στηρίζονται κυρίως στη διαφορετική χρήση τους αλλά, βέβαια οι σχετικές αρχές λειτουργίας παραμένουν ίδιες.

Παρακάτω θα γίνει αναφορά των πυρηνικών αντιδραστήρων που σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε πλοία ενώ θα γίνει αναφορά στις κύριες διαφορές των χερσαίων με των ναυτικών πυρηνικών αντιδραστήρων.

### ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΟΙ ΠΥΡΗΝΙΚΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ

A/A	REACTOR'S NAME	TYPE OF REACTOR
1	A1W	PWR
2	A2W	PWR
3	A3W	PWR
4	A4W	PWR
5	A1B	PWR
6	C1W	PWR
7	D1G	PWR
8	D2G	PWR
9	NR-1	PWR
10	S1C	PWR
11	S1G	PWR
12	S1W	PWR
13	S2C	PWR
14	S2G	LMFR

15	S2W	PWR
16	S2Wa	PWR
17	S3G	PWR
18	S3W	PWR
19	S4W	PWR
20	S4G	PWR
21	S5G	PWR
22	S5W	PWR
23	S6G	PWR
24	S6W	PWR
25	S7G	PWR
26	S8G	PWR
27	S9G	PWR
28	S1B	PWR

#### ΠΥΡΗΝΙΚΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΗΝΩΜΕΝΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

A/A	REACTOR'S NAME	TYPE OF REACTOR
1	PWR1	PWR
2	PWR2	PWR
3	PWR3	PWR

#### ΣΟΒΙΕΤΙΚΟΙ/ ΡΩΣΙΚΟΙ ΠΥΡΗΝΙΚΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ

A/A	REACTOR'S NAME	TYPE OF REACTOR
1	VM-A	PWR
2	VT-1	LMFR
3	OK-300	PWR
4	OK-350	PWR
5	OK-700	PWR
6	V-5R	PWR
7	OK-900	PWR
8	OK-550	LMFR
9	OK-700	PWR
10	OK-900A	PWR
11	OK-700A	PWR
12	OK-300A	PWR
13	OK-650M	PWR
14	OK-650M	PWR
15	OK-650B-3	PWR
16	OK-650A	PWR
17	OK-9VM	PWR

18	OK-700A	PWR
19	KTL-40M	PWR
20	KTL-40	PWR
21	E-17	PWR
22	OK-150	PWR
23	OK-650B	PWR
24	OK-650V	PWR
25	KTL-40	PWR
26	RITM-200	PWR

## 1.15 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΜΕ ΧΕΡΣΑΙΩΝ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ

### - ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Οι ναυτικοί αντιδραστήρες αναμένεται να λειτουργήσουν σε αντίξοες συνθήκες οι οποίες είναι απρόβλεπτες και μεταβάλλονται συνεχώς (κινήσεις σκάφους ειδικά roll και pitch) ενώ οι χερσαίοι έχουν πιο σταθερές παραμέτρους (τοποθέτηση τους σε συγκεκριμένο σημείο).

### - ΜΕΓΕΘΟΣ

Οι ναυτικοί αντιδραστήρες είναι μικροί σε μέγεθος ώστε να μπορέσουν να χωρέσουν εντός του πλοίου/ σκάφους.

### - ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Οι ναυτικοί αντιδραστήρες παράγουν ενέργεια έως μερικών εκατοντάδων MW και αφορά αποκλειστικά τις λειτουργίες του σκάφους (πρόωση, ρεύμα κλπ) ενώ ο χερσαίος αντιδραστήρας παράγει μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες ολόκληρων περιοχών.

### - ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Οι ναυτικοί αντιδραστήρες χρησιμοποιούν εμπλουτισμένο καύσιμο σε υψηλό ποσοστό έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις μικρές διαστάσεις του αντιδραστήρα και να μην χρειάζεται συχνός ανεφοδιασμός. Συγκεκριμένα ο ναυτικός αντιδραστήρας διαθέτει συνήθως τόσο καύσιμο όσο η επιχειρησιακή του ζωή. Το αντίθετο ισχύει για χερσαίους αντιδραστήρες όπου χρησιμοποιείται καύσιμο με χαμηλό ποσοστό εμπλουτισμού λόγω των μεγαλύτερων διαστάσεων και της δυνατότητας που υπάρχει για συχνό ανεφοδιασμό (1-2 χρόνια).

### - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το περιβάλλον λειτουργίας του αντιδραστήρα είναι καίριος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη αφού ο χερσαίος αντιδραστήρας βρίσκεται σε σταθερό σημείο

χωρίς να απαιτείται η κίνηση του και ενώ οι συνθήκες λειτουργίας του να είναι πιο απλές. Οι ναυτικοί αντιδραστήρες είναι γνωστοί για το πολύπλοκο σχεδιασμό τους αφού εδράζονται εντός πλοίου/ υποβρυχίου το οποίο κινείται στη θάλασσα. Οι δύσκολες συνθήκες της θάλασσας μαζί με φαινόμενα όπως η υγρασία και η αλμύρα (διαβρωτικό περιβάλλον), δεν επηρεάζουν τη λειτουργία του αντιδραστήρα λόγω των προηγμένων χαρακτηριστικών που διαθέτουν, αλλά, δεν παύουν να αποτελούν καίρια διαφορά μεταξύ των δύο τύπων αντιδραστήρων.

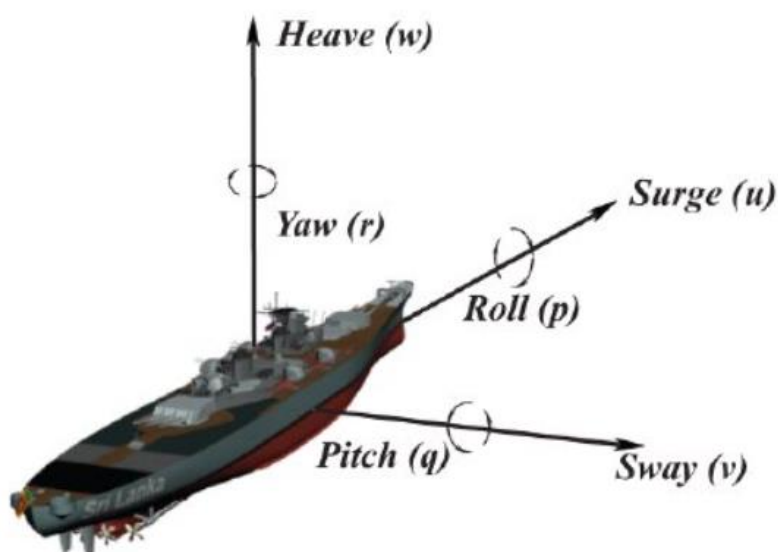
#### - ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Τα μέτρα ασφαλείας μεταξύ των δύο αντιδραστήρων επίσης διαφέρουν αισθητά και αυτό οφείλεται κυρίως στο διαφορετικό περιβάλλον λειτουργίας.

Οι χερσαίοι αντιδραστήρες που εδράζονται σε σταθερό σημείο χωρίς απαιτήσεις για μετακινήσεις έχουν σχεδιαστεί κατάλληλα ώστε να ανταπεξέλθουν σε σεισμούς, πλημμύρες και άλλα φυσικά φαινόμενα. Βέβαια, η αντοχή τους αρκεί και για ανθρωπογενή φαινόμενα που μπορεί να υπάρξουν. Οι χερσαίοι αντιδραστήρες έχουν αυξημένα ενεργητικά μέτρα ασφαλείας, δηλαδή απαιτούν σε ένα βαθμό την ενεργοποίηση τους από το προσωπικό του πυρηνικού σταθμού.

Εν αντιθέσει, οι ναυτικοί αντιδραστήρες είναι σχεδιασμένοι να αντέχουν μεγάλες φορτίσεις και κραδασμούς που προέρχονται από το θαλάσσιο περιβάλλον. Για αυτό το λόγο, οι αντιδραστήρες διαθέτουν αυξημένα μέτρα παθητικής ασφαλείας όπως αυτόματα συστήματα ψύξης του αντιδραστήρα ή κλειδώματος του για αποφυγή διαρροών. Τα παθητικά αυτά συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν και χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση και κάποια ακόμα και χωρίς την ανάγκη για ηλεκτρικό ρεύμα. Τα παθητικά μέτρα στηρίζονται σε βασικές αρχές της φυσικής όπως η βαρύτητα ή η διασπορά της θερμότητας.





Εικόνα 44. Οι 6 βαθμοί κίνησης ενός πλοίου (πηγή: [https://www.researchgate.net/publication/262046990\\_A\\_Ship\\_Simulation\\_System\\_for\\_Maritime\\_Education](https://www.researchgate.net/publication/262046990_A_Ship_Simulation_System_for_Maritime_Education) )

## 1.16 ΝΑΥΤΙΚΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΣΧΑΣΗΣ ΤΥΠΟΥ SMR

Η βάση δεδομένων παρείχε σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τους ναυτικούς πυρηνικούς αντιδραστήρες παρόλα αυτά η τεχνολογική τους ανάπτυξη συνεχίζεται. Λόγω της παγκόσμιας κινητοποίησης για τη προστασία του περιβάλλοντος συνάμα με την επένδυση στην ασφάλεια, πρακτικότητα και οικονομία κλίμακας νέα σχέδια πυρηνικών αντιδραστήρων παρουσιάζονται. Για αυτό το λόγο, οι βιομηχανικοί κολοσσοί επενδύουν μεγάλα κεφάλαια στα νέα σχέδια και στις νέες γενεές αντιδραστήρων.

Συγκεκριμένα, από τους αντιδραστήρες δεύτερης γενιάς, η μεταπήδηση στους αντιδραστήρες 4<sup>ης</sup> γενιάς κρίνεται επιβεβλημένη για τα ποικίλα οφέλη που μπορούν να παρέχουν σε διάφορους τομείς.

Η τεχνολογία SMR είναι αυτή που θα εξεταστεί στη προκειμένη τεχνικο-οικονομική ανάλυση με σκοπό να εξεταστεί η μελέτη σκοπιμότητας τους στη ναυτιλία.

Η τεχνολογία SMR είναι ένα σπουδαίο άνοιγμα για την ευρύτερη υιοθέτηση της πυρηνικής ενέργειας αφού διαφοροποιούνται αρκετά από τα παραδοσιακά πυρηνικά εργοστάσια.

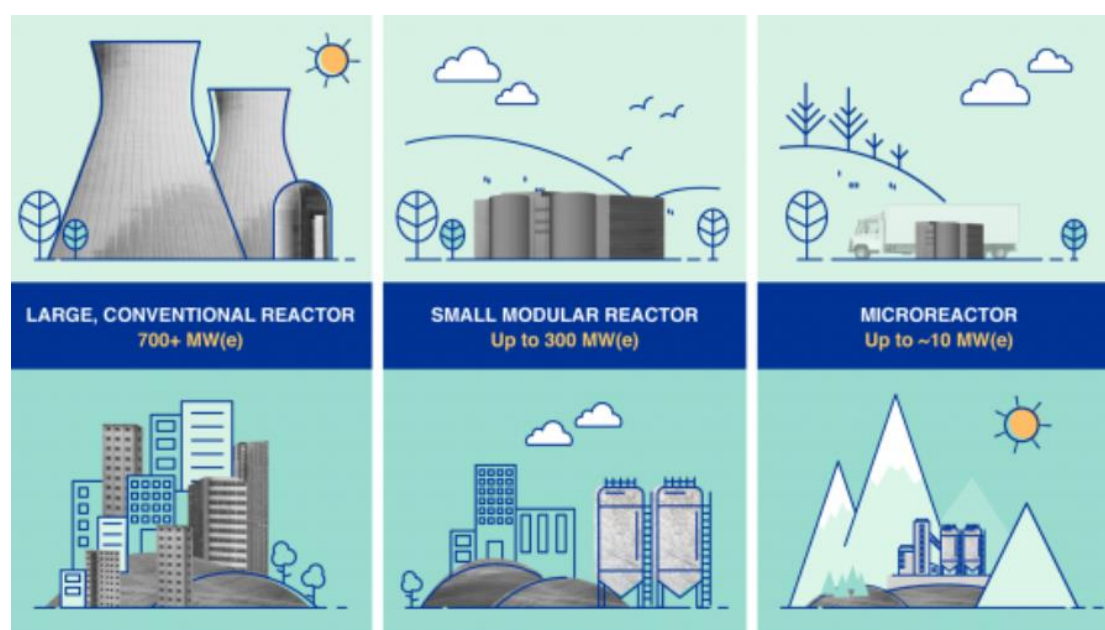
Τα αρχικά του τύπου σημαίνουν αντίστοιχα:

*Small*: αισθητά μικρότερες διαστάσεις του αντιδραστήρα και του συναφή εξοπλισμού συγκριτικά με τους παραδοσιακούς αντιδραστήρες

*Modular*: η δυνατότητα παραγωγής και συναρμολόγησης του αντιδραστήρα σε οποιοδήποτε χώρο και έπειτα μεταφοράς του στο πεδίο για εφαρμογή

*Reactors*: αντιδραστήρες σχάσης όπου η πυρηνική σχάση παράγει θερμότητα και στη συνέχεια ενέργεια

Η κύρια διαφορά των αντιδραστήρων και το συγκριτικό πλεονέκτημα των αντιδραστήρων τύπου SMR μπορεί να παρουσιαστεί και από τη παρακάτω φωτογραφία.



Εικόνα 45. Οι διαφορές των αντιδραστήρων ως προς την παραγωγή ενέργειας (πηγή: <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs> )

Συνεπώς, ο αντιδραστήρας SMR πέρα από το μικρό μέγεθος τους, η απόδοση του είναι αντίστοιχη των διαστάσεων του κάτι το οποίο ωφελεί τη ναυτιλία αφού οι ενεργειακές ανάγκες του πλοίου υπερκαλύπτονται ενώ και το μικρό μέγεθος του μπορεί να λειτουργήσει στους περιορισμένους χώρους του μηχανοστασίου ενός πλοίου.

### **1.17 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ SMR**

Τα πλεονεκτήματα του αντιδραστήρα παρουσιάστηκαν ως ένα βαθμό στην εισαγωγή παραπάνω αλλά αρκετά στοιχεία του επίσης προσδίδουν πρόσθετη αξία.

Πέρα από τις μικρές διαστάσεις του και συνεπώς τη δυνατότητα του λειτουργήσει σε σημεία όπου οι μεγαλύτεροι αντιδραστήρες δεν μπορούν να λειτουργήσουν, υπάρχει

και η δυνατότητα συναρμολόγησης του σε βιομηχανικό επίπεδο και να παραδοθεί έτοιμο για χρήση όπου χρειαστεί. Με αυτό τον τρόπο μειώνονται αισθητά οι καθυστερήσεις και όποια προβλήματα από τη συναρμολόγηση στο πεδίο.

Επίσης, η δυνατότητα συναρμολόγησης του εκτός του πεδίου εφαρμογής βοηθάει αισθητά στη δημιουργία οικονομιών κλίμακας.

Οι αντιδραστήρες SMR χαρακτηρίζονται για την απλότητα τους και για το ενισχυμένο σύστημα ασφάλειας που παρουσιάζουν αφού εφαρμόζουν αρκετές τεχνολογίες παθητικής ασφάλειας. Συνεπώς, η πιθανότητα ύπαρξης ατυχήματος μειώνεται δραστικά και η απουσία αλληλεπίδρασης με τον άνθρωπο αυξάνει ακόμα περισσότερο το στοιχείο της ασφάλειας. Συγκεκριμένα, οι αντιδραστήρες SMR διαθέτουν αρκετές δικλίδες ασφαλείας οι οποίες ενεργοποιούνται από μόνες τους προτού οδηγηθεί ο αντιδραστήρας σε επικίνδυνα σημεία λειτουργίας.

Η κατανάλωση καυσίμου στους συγκεκριμένους αντιδραστήρες επίσης είναι μειωμένη διότι εφαρμόζει νεότερες τεχνολογίες συγκριτικά με τους παραδοσιακούς αντιδραστήρες και η διαδικασία ανεφοδιασμού του μπορεί να γίνει μεταξύ 3- 7 χρόνων όταν στους παραδοσιακούς απαιτείται μεταξύ 1-2 χρόνων. Σε αυτό το σημείο χρήζει αναφοράς η ύπαρξη μοντέλων αντιδραστήρων SMR που έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν έως και 30 χρόνια χωρίς ανεφοδιασμό, το οποίο κάλλιστα μπορεί να μεταφραστεί σε ένα ολόκληρο κύκλο ζωής ενός πλοίου.

Η τεχνολογία SMR συνεπώς υπόσχεται ένα μέλλον όπου η πυρηνική ενέργεια μπορεί να λειτουργήσει παράλληλα με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, να τις συμπληρώνει και όταν χρειάζεται να τις αντικαθιστά.

Η τεχνολογία SMR στη ναυτιλία επίσης έχει ξεκινήσει τα πρώτα βήματα της και στη Ρωσία και τη Κίνα. Η Ρωσία παρουσίασε τον πλωτό πυρηνικό σταθμό *Akademik Lomonosov* ο οποίος είναι εφοδιασμένος με δύο πυρηνικούς αντιδραστήρες τύπου SMR και οι οποίοι παράγουν ρεύμα για τις απομακρυσμένες και δυσπρόσιτες περιοχές της αχανούς Σιβηρίας. Ενώ η Κίνα, σχεδιάζει και κατασκευάζει αντίστοιχο πλωτό πυρηνικό σταθμό και μαζί με τη Ρωσία συνεργάζονται στενά στο τομέα των πλωτών πυρηνικών σταθμών.

## **1.18 ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΤΥΠΟΥ SMR**

Ποικίλες χώρες και κατασκευαστικές εταιρείες έχουν αρχίσει να μελετάνε τη σχετική πυρηνική τεχνολογία και έχουν προχωρήσει σε παρουσίαση διάφορων σχετικών πυρηνικών αντιδραστήρων. Κάποιες χώρες έχουν αρχίσει τη κατασκευή τους ενώ άλλες είτε βρίσκονται σε στάδιο δοκιμών είτε αναμένουν σχετικές εγκρίσεις από τους διεθνείς και εθνικούς οργανισμούς. Σύμφωνα με το διεθνή οργανισμό ΙΑΕΑ υπάρχουν περισσότερα από 70 σχέδια αντιδραστήρων SMR παγκοσμίως και για διαφορετικές εφαρμογές.

Τα πιο αξιοπρόσεκτα σχέδια με πολλές θετικές κριτικές είναι:

- Αντιδραστήρας KLT-40S (Ρωσία) → 35 MW
- Αντιδραστήρας CAREM (Αργεντινή) → 27 MW
- Αντιδραστήρας HTR-PM (Κίνα) → 200 MW
- Αντιδραστήρας SMART ( Νότια Κορέα) → 100 MW
- Αντιδραστήρας ACP100 (Κίνα) → 100 MW
- Αντιδραστήρας RITM-200 (Ρωσία) → 50 MW
- Αντιδραστήρας SVBR-100 (Ρωσία) → 100 MW
- Αντιδραστήρας NuScale Power Module (ΗΠΑ) → 60 MW
- Αντιδραστήρας SMR-160 (ΗΠΑ) → 60 MW
- Αντιδραστήρας BWRX-300 (ΗΠΑ) → 60 MW
- Αντιδραστήρας mPower (ΗΠΑ) → 195 MW
- Αντιδραστήρας Westinghouse SMR → 225 MW
- Αντιδραστήρας NUWARD (Γαλλία) → 340 MW

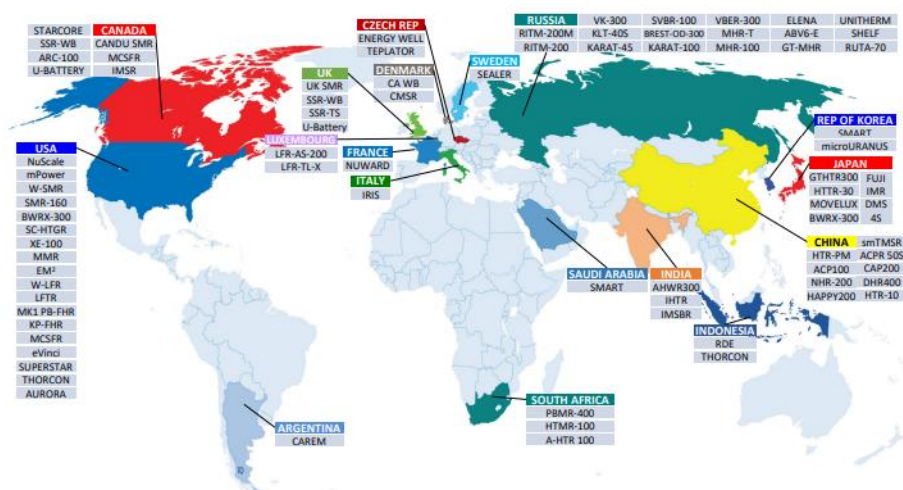


FIG. A-1. Global map of SMR technology development.

Εικόνα 46. Η ανάπτυξη αντιδραστήρων SMR παγκοσμίως (πηγή: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1944\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1944_web.pdf))

Γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχει πληθώρα σχεδίων τα οποία θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στη ναυτιλία αλλά για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας θα επιλεγθεί ένας αντιδραστήρας ο οποίος:

- Βρίσκεται σε καλό στάδιο ελέγχου, δοκιμών και κοντά στην επιχειρησιακή τους εφαρμογή
- Είναι προσιτός οικονομικά και σχεδιαστικά

Επίσης, οι εκτιμώμενες τιμές των αντιδραστήρων ποικίλλουν συνεπώς η επιλογή ενός σχετικά φθηνού αντιδραστήρα μπορεί να βοηθήσει κατά τη διάρκεια της παρούσης εργασίας. Ενώ, λόγω των διεθνώς τεκταινόμενων ο αποκλεισμός της Ρωσίας κρίνεται επιβεβλημένη κίνηση λόγω των διεθνών κυρώσεων που της έχουν επιβληθεί για το πόλεμο στην Ουκρανία και κυρώσεις σε συγκεκριμένους κρίσιμους τομείς.

Ο αντιδραστήρας που θα επιλεγθεί είναι το σχέδιο Hyperion (HPM) της εταιρείας G4M με έδρα τη ΗΠΑ.

### 1.19 Ο ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ

Ο αντιδραστήρας Hyperion είναι τύπου *Liquid metal cooled reactor* και ανήκει στη 4<sup>η</sup> γενιά αντιδραστήρων. Βρίσκεται υπό ανάπτυξη από το 2013 και μία από τις αγορές που θέλει να επεκταθεί η εταιρεία είναι της ναυτιλίας.

Συγκεκριμένα, υπάρχει η επιθυμία να τοποθετηθεί ο αντιδραστήρας ως προωστήριο μέσο για πλοία και αρκετές μελέτες έχουν παρουσιαστεί σχετικά το συγκεκριμένο αντιδραστήρα. Συνεπώς, αυτός ο αντιδραστήρας μπορεί κάλλιστα να εναρμονιστεί για λειτουργία σε θαλάσσιο περιβάλλον και να επιτευχτεί η συμφωνία με όλες τις διατάξεις και τους κανονισμούς του IMO (*International Maritime Organization*).

Επίσης, η επιλογή των ΗΠΑ είναι αρκετά καλή συγκρίνοντας το θετικό ιστορικό της πυρηνικής ενέργειας (αρκετοί χερσαίοι αντιδραστήρες που καλύπτουν σημαντικό ποσοστό των ενεργειακών απαιτήσεων τη χώρας, με σημαντική εξαγωγή της σχετικής τεχνολογίας) αλλά και τη παράδοση που έχουν ως χώρα με πυρηνοκίνητα πλοία για πάνω από 50 έτη με πληθώρα σχεδιάσεων και εφαρμογών πυρηνικών αντιδραστήρων σε διαφορετικούς τύπους πλοίων (κυρίως πολεμικών). Επίσης, η επιλογή των ΗΠΑ πληροί και τα αυστηρά κριτήρια που θέτουν οι διεθνείς οργανισμοί, οι πυρηνικές αντιδραστήρες ελέγχονται διεξοδικά και καταλλήλως χωρίς γκρίζα σημεία ενώ βρίσκει αποδέκτη και το περίφημο δυτικό κόσμο. Η επιλογή ενός εξελιγμένου σχεδίου αντιδραστήρα από τις ΗΠΑ μεταφράζεται ως μείωση του ρίσκου για ελλιπή σχεδίαση, κατασκευή και εν τέλει χρήση των αντιδραστήρων για μη ειρηνικούς σκοπούς. Τα χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα είναι:

Reactor type:	<i>Liquid metal cooled reactor</i>
Electrical capacity:	<i>25 MW(e)</i>
Thermal capacity:	<i>70 MW(th)</i>
Coolant:	<i>Lead–bismuth</i>
Primary circulation:	<i>Forced circulation</i>
System pressure:	<i>N/A</i>
Core outlet temperature:	<i>500°C</i>
Thermodynamic cycle:	<i>Indirect Rankine cycle</i>
Fuel material:	<i>Uranium nitride</i>
Fuel enrichment:	<i>19.75%</i>
Fuel cycle:	<i>10 years</i>
Reactivity control:	<i>Rod insertion and B<sub>4</sub>C ball insertion</i>
No. of safety trains:	<i>2</i>
Emergency safety systems:	<i>N/A</i>
Residual heat removal systems:	<i>Passive</i>
Design life:	<i>5–15 (nominal 10) years</i>
Design status:	<i>Conceptual design</i>
Distinguishing features:	<i>Transportable factory fuelled design</i>

Εικόνα 47. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα Hyperion (πηγή: <https://aris.iaea.org/PDF/G4M.pdf> )

Reactor Power	70MW <sup>thermal</sup>	
Electrical Output	27MW <sup>electric</sup>	
Lifetime	8– 10 years	
Size (metres)	1.5w x 2.5h	
Weight (ton)	Less than 50	
Structural Material	Stainless Steel	
Coolant	PbBi	
Fuel	Uranium nitride, ss clad elements	
Enrichment (% U <sub>235</sub> )	<20%	
Refuel on Site	No	
Sealed	Yes	
License	DCD / ML	
Passive Shutdown	Yes	
Active Shutdown	Yes	
Transportable	Yes	
Factory Fueled	Yes	
Safety & Control Elements	Two redundant shutdown systems & reactivity control rods.	

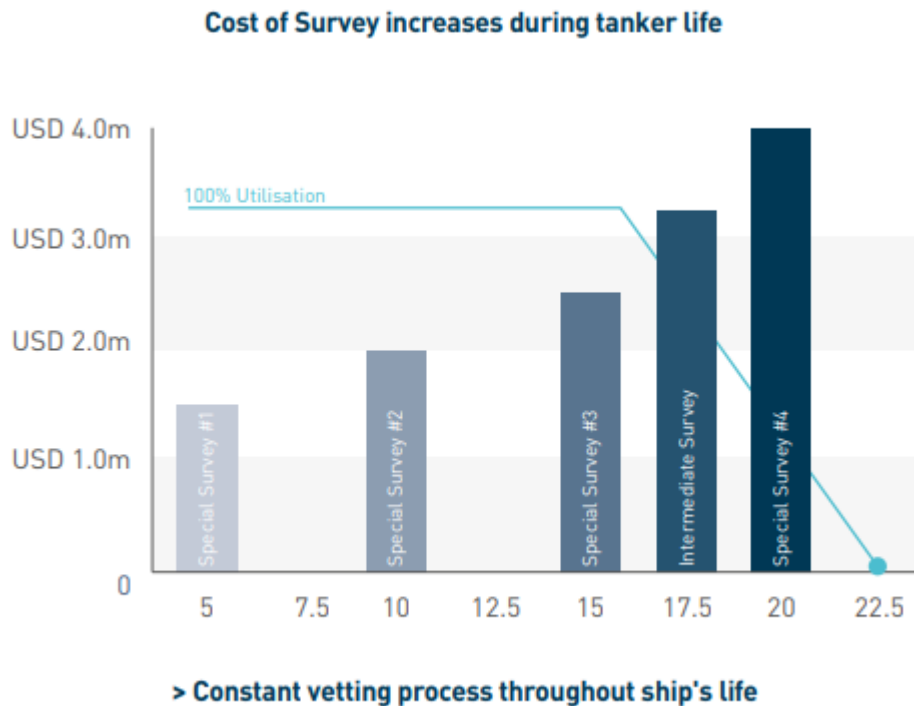
Εικόνα 48. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα Hyperion (πηγή: <https://www.nwtrb.gov/docs/default-source/meetings/2010/june/peterson.pdf> )

Ο αντιδραστήρας όπως φαίνεται και στα χαρακτηριστικά έχει ύψος ισάξιο με το μέσο άνθρωπο, χαρακτηριστικό που αναδεικνύει ότι είναι απλός και εύκολος στη αξιοποίηση αντιδραστήρας. Η ηλεκτρική ισχύς του αντιδραστήρα ανέρχεται στα 25 MWe και είναι ικανή να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες ενός μέσου πλοίου, σε τάξη

μεγέθους τα 25 MWe μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες έως και 20.000 σπιτιών στις ΗΠΑ για έως και 10 συνεχόμενα χρόνια (ανάλογα τη χρήση του αντιδραστήρα). Διαθέτει αυξημένα χαρακτηριστικά ασφάλειας αφού ο πυρήνας του αντιδραστήρα είναι κλεισμένος σε κέλυφος όπου δεν θα απαιτείται να ανοίγει για συντήρηση ή ανεφοδιασμό και καθόλη την λειτουργία του δεν προβλέπεται ο αντιδραστήρας να ανοιχτεί. Ο ανεφοδιασμός και η διαχείριση του αντιδραστήρα ύστερα από την επιχειρησιακή ζωή του αποτελεί αρμοδιότητα της κατασκευάστριας εταιρείας όπως αντίστοιχα ο αντιδραστήρας παραδίδεται έτοιμος για χρήση. Η ασφάλεια του αντιδραστήρα, που αποτελεί και κύριο θέμα για τους αντιδραστήρες, καλύπτεται από πολλαπλά συστήματα ασφαλείας τόσο ενεργητικών αλλά και παθητικών μέτρων. Η συντήρηση που απαιτεί το σύστημα περικλείεται αποκλειστικά στο κομμάτι των εξαρτημάτων που παράγουν το ρεύμα και δεν βρίσκεται εντός του αντιδραστήρα αλλά σε εξωτερικά του και πλήρως ανεξάρτητα. Το καύσιμο του πυρηνικού αντιδραστήρα δεν είναι το παραδοσιακό διοξείδιο του ουρανίου (UO<sub>2</sub>) αλλά νιτρίδιο του ουρανίου (UN) ένα καύσιμο με καλύτερα χαρακτηριστικά από το παραδοσιακό UO<sub>2</sub>. Το νιτρίδιο του ουρανίου μεταξύ άλλων έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία τήξης, μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα, υψηλότερη πυκνότητα σε ουράνιο, χαμηλή εκπομπή αερίων σχάσης και άλλα, τα οποία χαρακτηριστικά κάνουν τον αντιδραστήρα να έχει μεγαλύτερη απόδοση συνολικά. Το ψυκτικό μέσο επίσης δεν είναι το νερό όπως είχαν οι παραδοσιακοί αντιδραστήρες αλλά υγρό μέταλλο, συγκεκριμένα μόλυβδος-βισμούθιο. Ο συνδυασμός των δύο μετάλλων επίσης προσφέρει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα όπως ότι δεν υπάρχει χημική αντίδραση με το νερό ή τον αέρα, έχει υψηλότερη θερμοκρασία βρασμού συγκριτικά με άλλα ψυκτικά και άλλα.

Με επιχειρησιακή ζωή η οποία φθάνει τα 8-10 έτη και χωρίς ανάγκη ανεφοδιασμού, παρών αντιδραστήρας μπορεί να καλύψει τη μισή ζωή ενός πλοίου ήτοι τα 10 έτη και έπειτα να αντικατασταθεί με έναν άλλο. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι ο αντιδραστήρας δεν χρειάζεται ανεφοδιασμό σε πυρηνικό καύσιμο οπότε η πρόβλεψη για απλή αντικατάσταση των αντιδραστήρων συνδράμει στη δημιουργία οικονομίας κλίμακας. Ο παλαιός θα δοθεί σε κατάλληλη αρχή για ανακύκλωση/απόσυρση ενώ να τοποθετηθεί ο νέος, επίσης οι μικρές διαστάσεις του μας δίνουν και μία σημαντική πρωτοβουλία κινήσεων αφού η αφαίρεση/τοποθέτηση του αντιδραστήρα μπορεί να επιτευχθεί χωρίς να κοπεί το πλοίο, επιτυγχάνοντας μείωση των περιττών εξόδων.

Η αλλαγή των αντιδραστήρων μπορεί να γίνει εν μέσω των ειδικών επιθεωρήσεων (special survey) οι οποίες λαμβάνουν μέρος κάθε 5 έτη άρα οι δύο επιθεωρήσεις που θα γίνονται και οι αναγκαίες τοποθετήσεις/αφαιρέσεις αντιδραστήρων είναι οι υπ' αριθμόν 2 και 4.



Εικόνα 49. Το κόστος και η περιοδικότητα των ειδικών επιθεωρήσεων (*special survey*) (πηγή: <https://www.euronav.com/media/65361/special-report-2017-eng.pdf>)

Βλέποντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα παρατηρούμε ότι ο αντιδραστήρας παραδίδεται έτοιμος και ανεφοδιασμένος με το καύσιμο του συνεπώς ο υπολογισμός του πυρηνικού καυσίμου δεν απαιτείται στη προκειμένη περίπτωση.

Επίσης, σύμφωνα εγκεκριμένες ειδησεογραφικές ιστοσελίδες (REUTERS, BLOOMBERG, CNN etc.) αναφέρουν ότι ο αντιδραστήρας θα κοστίζει 50 εκατομμύρια δολάρια.

Πηγές:

- <https://www.reuters.com/article/idUK190753946720110202>
- <https://www.bloomberg.com/news/articles/2010-05-16/hyperion-s-fridge-sized-nuclear-reactors-to-tap-135-billion-power-market?leadSource=verify%20wall>
- [https://money.cnn.com/2010/03/10/technology/nukes\\_backyard.fortune/index.htm](https://money.cnn.com/2010/03/10/technology/nukes_backyard.fortune/index.htm)



## 1.20 ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ PWR ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ LMR

Ο αντιδραστήρας της παρούσης μελέτης όπως αναφέρθηκε είναι ο HYPERION τύπου LMR και αποτελεί μία μεγάλη πρωτοτυπία στο τομέα εφόσον η ναυτική πυρηνική πρόωση στηριζόταν αποκλειστικά στους αντιδραστήρες τύπου PWR. Κατά τη παρουσίαση των πιο γνωστών τύπων αντιδραστήρων που χρησιμοποιήθηκαν στη ναυτιλία η συντριπτική πλειοψηφία ήταν αντιδραστήρες PWR και στο κομμάτι αυτό θα παρουσιαστούν οι διαφορές τους.

Οι αντιδραστήρες τύπου PWR αποτελούν το πιο κοινό τύπος για την παραγωγή ηλεκτρική ενέργειας και τη ναυτική πρόωση με εκατοντάδες αντιδραστήρες να βρίσκονται σε υπηρεσία. Ο αντιδραστήρας αρχικά κατασκευάστηκε για να εξυπηρετεί τα υποβρύχια ενώ αφού αναδείχθηκε η χρησιμότητα του τοποθετήθηκε και σε χερσαίες μονάδες παραγωγής ενέργειας. Η απλότητα συγκριτικά με άλλους τύπους αντιδραστήρων οδήγησε στην υιοθέτηση του ως το κύριο τύπο αντιδραστήρα. Η απλότητα αυτή εκφράζεται με πολλαπλούς τρόπους με κυριότερο να είναι ότι το επιβραδυντικό μέσο και το ψυκτικό μέσο είναι το νερό. Το νερό που βρίσκεται σε σχετική αφθονία, διακρίνεται για το χαμηλό κόστος ενώ είναι πολύ καλός επιβραδυντής νετρονίων.

Ο σχεδιασμός των αντιδραστήρων PWR επίσης στηριζόταν σε μία απλή μηχανολογική διάταξη δύο κυκλωμάτων ψύξης όπου το πρώτο και κύριο ρέει διαμέσου του πυρήνα ενώ το δεύτερο και δευτερεύον παραγόταν ο ατμός ο οποίος κινούσε τον στρόβιλο για τη παραγωγή ενέργειας. Το νερό που ρέει στο πρωτεύον κύκλωμα ψύξης προκειμένου να παραμείνει σε υγρή φάση και να αποφευχθεί η ατμοποίηση βρίσκεται σε υψηλή πίεση. Με τη θερμοκρασία του νερού να είναι έως και 325 βαθμοί Κελσίου, η πιθανότητα ατμοποίησης του νερού δε θα δημιουργούσε πρόβλημα αφού το νερό είναι και το επιβραδυντικό μέσο στους αντιδραστήρες σχάσης.

Από την άλλη πλευρά οι αντιδραστήρες LMR με μέσο ψύξης υγρό μέταλλο αποτελεί ένα σχέδιο αντιδραστήρα που ενώ μελετάται για δεκαετίες και αποτελεί ένα από τα πρώτα σχέδια αντιδραστήρων πυρηνικής σχάσης επανήλθε στο προσκήνιο λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει. Αντίστοιχος αντιδραστήρας είχε αναπτυχθεί από τη Σοβιετική Ένωση τη δεκαετία του 1960 και εφοδίασε τα πυρηνοκίνητα υποβρύχια κλάσης Alpha με τα κύρια πλεονεκτήματά του να είναι η ικανότητα για απόδοση μέγιστης ισχύος και ελάχιστο ακουστικό αποτύπωμα σε πολύ σύντομο χρόνο, οι αντιδραστήρες αυτοί ήταν οι OK-550 και BM-40A. Αρχικά, ο αντιδραστήρας χρησιμοποιεί ως ψυκτικό μέσο υγρό μέταλλο, συνήθως υγρό νάτριο ενώ στη περίπτωση μας κράμα μολύβδου-βισμούθιου. Το υγρό μέταλλο δεν λειτουργεί ως επιβραδυντικό των νετρονίων και ευνοεί τη μεταφορά θερμότητας από το πυρήνα. Η υψηλή τιμή βρασμού του υγρού μετάλλου επιτρέπει την συνεχή ψύξη του αντιδραστήρα ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες χωρίς να απαιτείται η αύξηση της πίεσης στο ψυκτικό μέσο. Οι αντιδραστήρες τύπου υγρού μετάλλου λόγω των κατάλληλων μηχανολογικών διατάξεων επιτυγχάνουν μεταξύ άλλων τη καλύτερη αξιοποίηση των πυρηνικών καυσίμων και τα πυρηνικά απόβλητα μειώνονται

σημαντικά ως ποσότητα. Χαρακτηριστικό είναι πως αυτοί οι αντιδραστήρες μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως καύσιμο τα πυρηνικά απόβλητα άλλων τύπων αντιδραστήρων σχάσης με ότι συνεπάγεται αυτό για τη μείωση των πυρηνικών αποβλήτων.

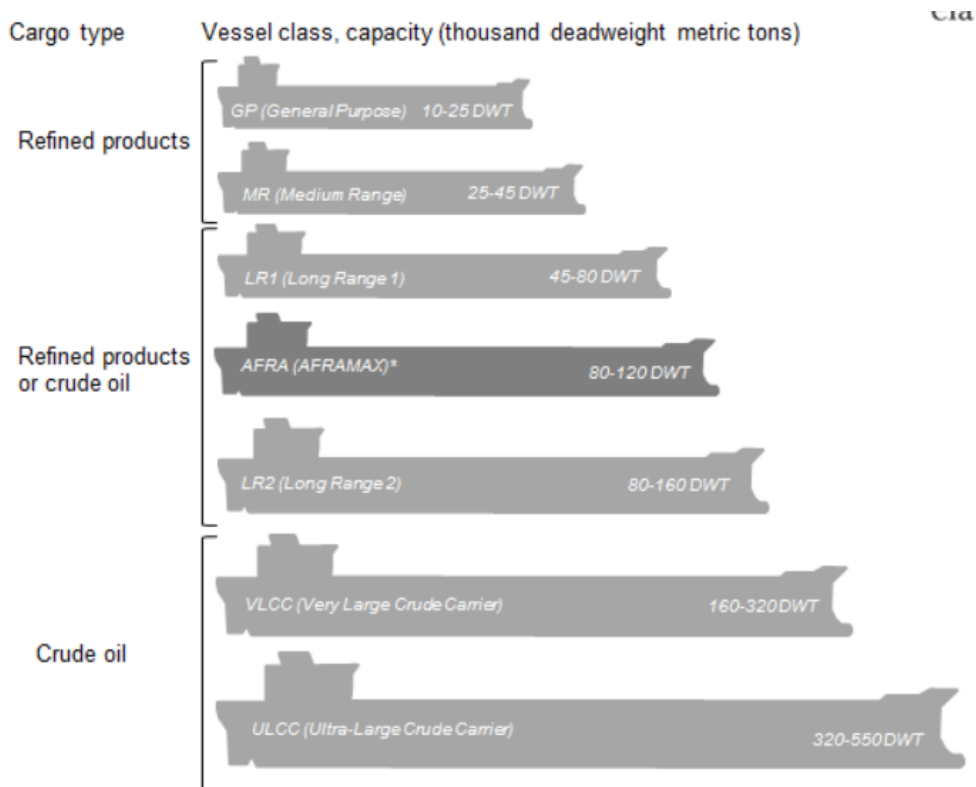
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΤΕΧΝΙΚΟ- ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**

### **2.1 ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ**

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι να παρουσιαστεί μία μελέτη σκοπιμότητας (feasibility study) για το κατά πόσο η πυρηνική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην εμπορική ναυτιλία ως μέσο πρόωσης. Η μελέτη δεν αφορά τη τεχνική εφαρμογή της αλλά εξετάζει την οικονομική σκοπιά της, δηλαδή αν η πυρηνική πρόωση ως επένδυση μπορεί να αποφέρει κέρδη σε όλα τα συμβαλλόμενα μέρη.

Το πλοίο που θα επιλεγεί είναι ένα πλοίο μεταφοράς ακατέργαστου πετρελαίου (crude oil tanker) κατηγορίας Aframax.

Η κατηγοριοποίηση των πλοίων μεταφοράς πετρελαίου είναι:

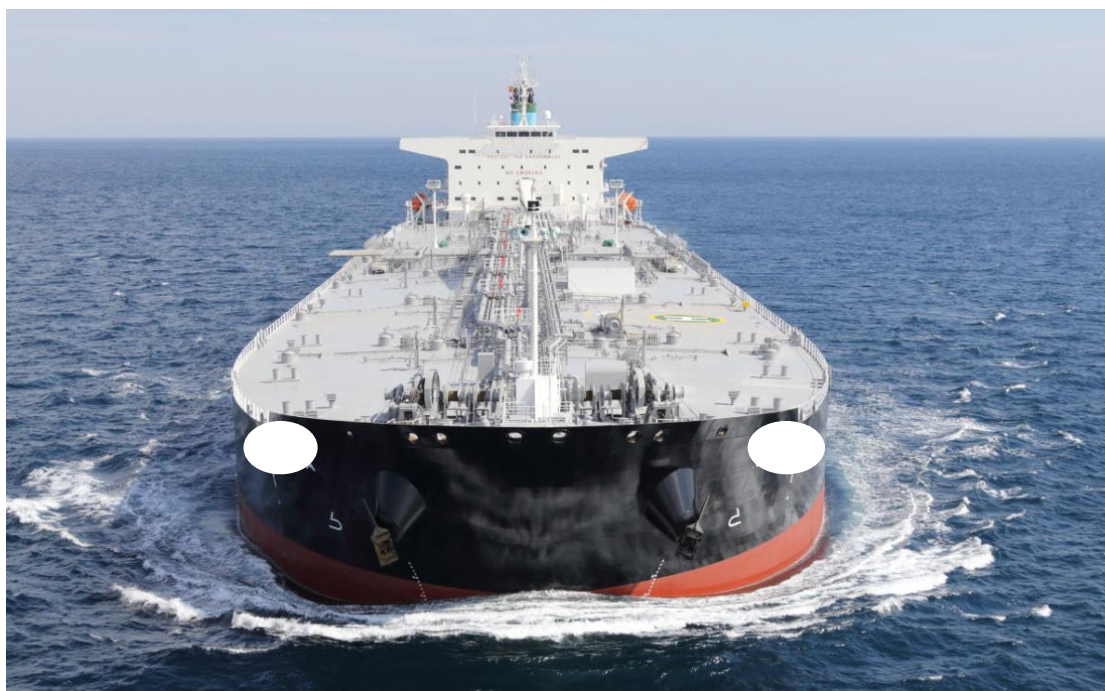


Source: U.S. Energy Information Administration, London Tanker Brokers' Panel

**Εικόνα 50. Η κατηγοριοποίηση των πλοίων tankers (Πηγή: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=17991> )**

Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι η μελέτη θα γίνει σε ένα πλοίο με μεγάλη χωρητικότητα, που δύναται να κάνει μεγάλα ταξίδια και μπορεί να μεταφέρει είτε ακατέργαστο πετρέλαιο είτε προϊόντα της δύλισης του πετρελαίου.

Το πλοίο που επιλέχτηκε είναι ελληνικής εταιρείας με ξένη σημαία, κατασκευής του 2019. Το πλοίο λόγω της πρόσφατης κατασκευής τους εφαρμόζει πληθώρα νέων τεχνολογιών και η εταιρεία επιθυμεί να κρατήσει τη ανωνυμία του πλοίου της. Επομένως στα πρώτα έτη λειτουργίας του όλες οι ευαίσθητες πληροφορίες θα αποκρυφτούν.



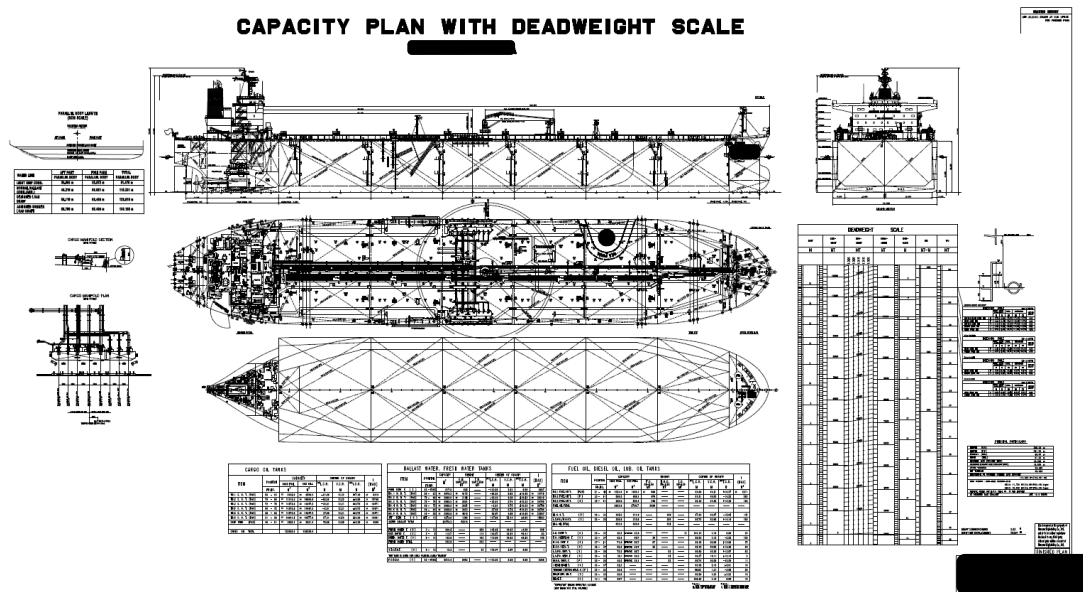
**Εικόνα 51. Το πλοίο της μελέτης**

Τα χαρακτηριστικά του πλοίου και οι επιμέρους πληροφορίες που χρειάζονταν για την εκπλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας προήλθαν από τα αυθεντικά έγγραφα/ σχέδια του πλοίου που παραδόθηκαν από την ιδιοκτήτρια εταιρεία. **Η αναπαραγωγή των στοιχείων αυτών δεν επιτρέπεται χωρίς τη σύμφωνη γνώμη του συγγραφέα.**

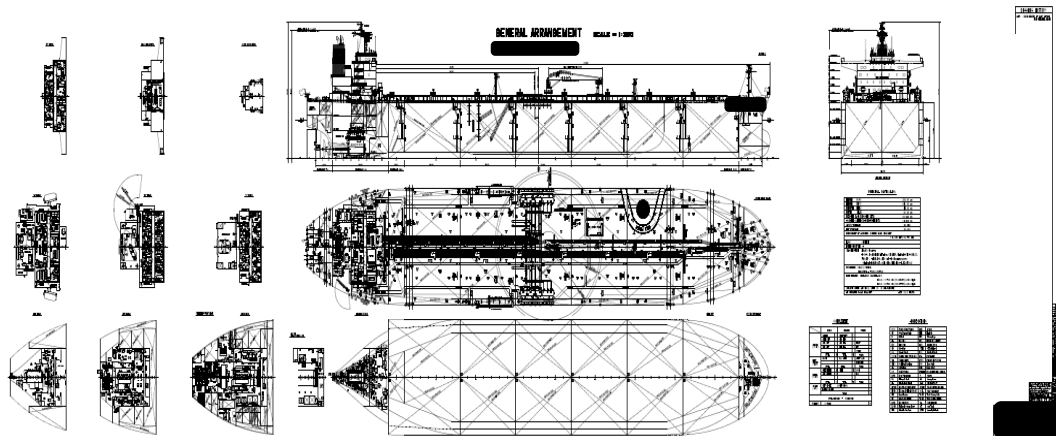
**Πίνακας 1. Τα χαρακτηριστικά του πλοίου της μελέτης**

<b>ΟΝΟΜΑ ΣΚΑΦΟΥΣ</b>		-		
<b>ΕΤΟΣ ΝΑΥΠΗΓΗΣΗΣ</b>		<b>2019</b>		
<b>LOA</b>	<b>(m)</b>	<b>250</b>		
<b>LPP</b>	<b>(m)</b>	<b>241</b>		
<b>B</b>	<b>(m)</b>	<b>44</b>		
<b>D</b>	<b>(m)</b>	<b>21,2</b>		
<b>T</b>	<b>(m)</b>	<b>14,838</b>		
<b>Vs</b>	<b>(kn)</b>	<b>14,4</b>		
<b>GT</b>	<b>(tn)</b>	<b>63460</b>		
<b>DWT</b>	<b>(tn)</b>	<b>114560</b>		
<b>LS</b>	<b>(tn)</b>			
<b>NT</b>	<b>(tn)</b>	<b>35033</b>		

<b>POWER</b>	<b>KW</b>	<b>11730</b>			
<b>ENGINE TYPE</b>	<b>(-)</b>	<b>MAN B&amp;W 6G60ME-C9.5</b>			
<b>RANGE</b>	<b>(nm )</b>	<b>20300</b>	<b>(for designed load draught)</b>		
<b>Total on board</b>	<b>(-)</b>	<b>30</b>			
<b>FRESH WATER TANKS</b>	<b>(tn)</b>	<b>565,480</b>			
<b>FUEL OIL TANKS</b>	<b>(tn)</b>	<b>2899,049</b>			
<b>MGO TANKS</b>	<b>(tn)</b>	<b>621,697</b>			
<b>LUBE OIL TANKS</b>	<b>(tn)</b>	<b>23,148</b>			
<b>DISTANCE BETW. PORTS=</b>	<b>(nm )</b>	<b>4417</b>			



Εικόνα 52. Το σχέδιο *capacity plan* του πλοίου της μελέτης (πηγή: επίσημα σχέδια του ναυπηγείου)



**Εικόνα 53.** Το σχέδιο *General Arrangement* του πλοίου της μελέτης (πηγή: επίσημα σχέδια του ναυπηγείου)

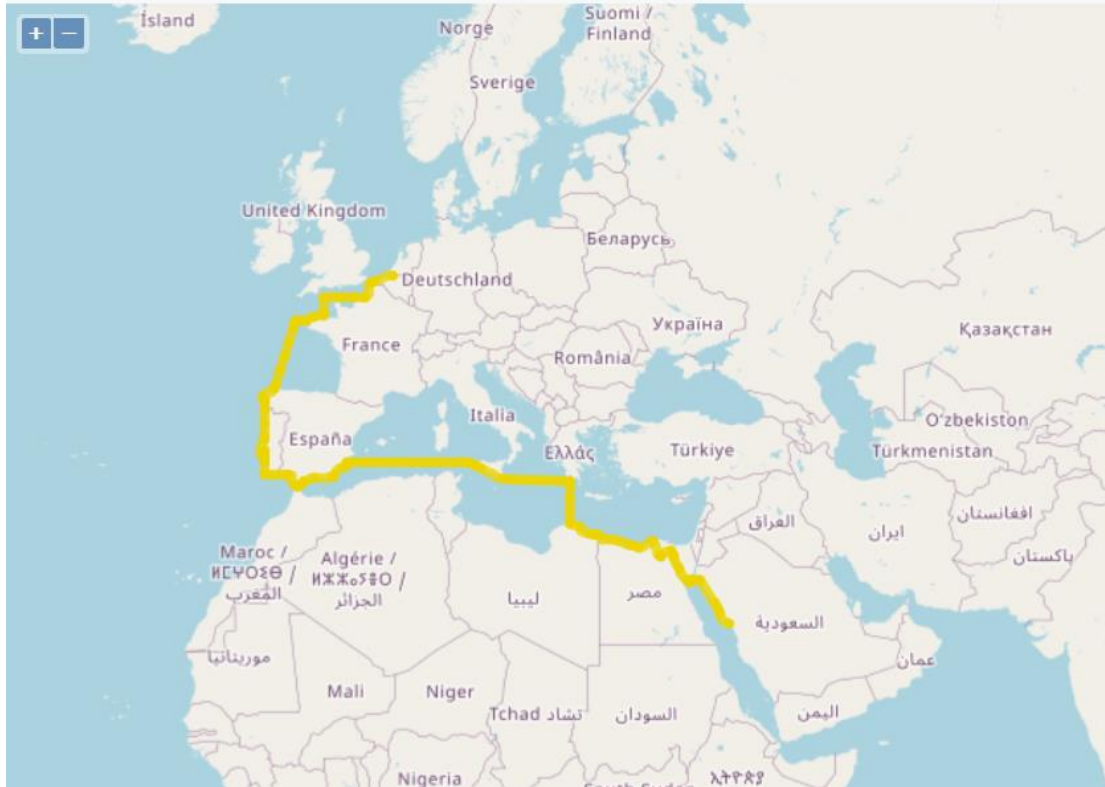
Για το παρόν πλοίο θα θεωρήσουμε ότι θα κλειστεί με χρονοναύλωση ίση με 20 έτη. Η χρονοναύλωση θα αφορά προκαθορισμένο δρομολόγιο μεταξύ δύο λιμένων. Για να διαμορφωθεί η μελέτη ρεαλιστικότερη θα αναφερθούν πραγματικοί λιμένες οι οποίοι είναι γνωστό ότι διαχειρίζονται πλοία μεταφοράς πετρελαίου. Να σημειωθεί ότι στη περίπτωση μας, οι λιμένες δεν έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τους εμπορικούς λιμένες που δέχονται εμπορευματοκιβώτια για παράδειγμα, αντιθέτως η μεταφορά πετρελαίου και ειδικά χύδην πετρελαίου γίνεται σε τερματικούς λιμένες που βρίσκονται κοντά σε εγκαταστάσεις υποδοχής ή και διύλισης του πετρελαίου.

Συνεπώς, η μελέτη αφορά γνωστούς τερματικούς λιμένες και θα θεωρήσουμε σταθερό δρομολόγιο μεταξύ αυτών.

Οι λιμένες που επιλέγονται είναι:

- King Fahd Industrial Port in Yanbu, Saudi Arabia
- Port of Antwerp, Belgium

Θα χρησιμοποιηθεί εφαρμογή από ιστοσελίδα για τους σχετικούς υπολογισμούς.



Εικόνα 54. Το δρομολόγιο μεταξύ των δύο λιμένων της μελέτης (πηγή: <http://ports.com/sea-route/king-fahad-industrial-port-vanbu.saudi-arabia/port-of-antwerp.belgium/> )

Προφανώς θα επιλεγεί η πρώτη διαδρομή μέσω του καναλιού του Σουέζ και όπως φαίνεται η απόσταση μεταξύ των λιμένων είναι 4417 ναυτικά μίλια και με τη προκαθορισμένη ταχύτητα του πλοίου το ταξίδι μπορεί να γίνει εντός 13 μέρες και 1 ώρα (για 14 κόμβους , το οποίο θα στρογγυλοποιηθεί στις 13 μέρες ταξιδιού (λόγω της ταχύτητας του πλοίου η οποία ανέρχεται στους 14,4 κόμβους).

Ως χρόνο για να φορτώσει και ξεφορτώσει το εμπόρευμα του (γεμίσει/ αδειάσει τις δεξαμενές τους) μπορεί να χρειαστεί έως και μία μέρα ανάλογα με τη χωρητικότητα του πλοίου και τον εξοπλισμό αντλιών που διατίθενται. Οπότε θα θεωρηθεί ότι δύο μέρες αφορούν τη φορτό- εκφόρτωση του πλοίου. Επίσης, θα θεωρηθεί επιπλέον μία μέρα ως αναμονή επί των λιμένων για να εξυπηρετηθούν στους τερματικούς σταθμούς, η συγκεκριμένη τιμή αφορά και τους δύο λιμένες αθροιστικά (άρα μισή μέρα στο κάθε λιμένα). Η συγκεκριμένη τιμή λαμβάνεται ως ένα μετριοπαθές μέτρο δημιουργίας ενός ρεαλιστικού σεναρίου και θεωρητικά δεν υφίσταται όταν το κομμάτι της διαχείρισης των λιμενικών αρχών λειτουργεί πρότυπα. Παρόλα αυτά,

υπάρχουν αστάθμητοι παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν σε καθυστερήσεις όπως οι απεργίες, κυκλοφοριακή συμφόρηση από πλοία, άδειες εργαζομένων κλπ.

Άρα, το ταξίδι του πλοίου από το λιμάνι της Σαουδικής Αραβίας, στο λιμάνι του Βελγίου και πάλι πίσω στο λιμάνι της Σαουδικής Αραβίας θα διαρκέσει  $2*1+2*13+1=29$  μέρες.

Σε βάθος ενός χρόνου θεωρούμε επίσης 50 μέρες όπου το πλοίο δεν εκτελεί το δρομολόγιο λόγω επισκευών, δεξαμενισμών, επιθεωρήσεων, αλλαγής πληρώματος και λοιπά. Οπότε, το πλοίο λειτουργεί 315 μέρες το κάθε έτος.

Αυτό αναλογεί σε συγκεκριμένα ταξίδια που είναι σε αριθμό:

$\text{Trips} = 315/29 = 10.86$  κυκλικά ταξίδια το έτος

Προφανώς, ο αριθμός των ταξιδιών πρέπει να είναι ακέραιος αλλά αφού θεωρούμε 20ετή λειτουργία του πλοίου στο συγκεκριμένο δρομολόγιο τότε προκύπτει ότι:

$\text{Totaltrips} = 10,86*20 = 217.2$  ταξίδια στο 20ετές σενάριο

Άρα, 217 ταξίδια σε βάθος 20 ετών λειτουργίας του πλοίου στη συγκεκριμένη διαδρομή, 17 ταξίδια περισσότερο από το αν λαμβάναμε 10 ταξίδια το χρόνο.

## 2.2 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Το κόστος λειτουργίας του πλοίου αφορά ένα σημαντικό έξοδο στη ζωή του πλοίου και απαρτίζεται από ποικίλα επιμέρους έξοδα. Αυτά τα έξοδα αφορούν την ορθή λειτουργία του πλοίου και είναι τα εξής:

- Κόστος αναλώσιμων (καύσιμο, λιπαντικά, πόσιμο νερό, υλικά και εφόδια, κόστος προσωπικού)
- Λιμενικά τέλη
- Κόστος επισκευών και συντήρησης
- Κόστος ασφαλιστρών
- Γενικά έξοδα

Για τον υπολογισμό των επιμέρους εξόδων θα γίνει χρήση εμπειρικών τύπων:

### **Κόστος αναλώσιμων**

Τα κύρια αναλώσιμα που βρίσκονται στο πλοίο είναι τα καύσιμα, τα λιπαντικά και το πόσιμο νερό. Σύμφωνα με τα σχέδια του πλοίου, τα βάρη σε τόνους αυτών των αναλώσιμων είναι:

Βάρος πόσιμου νερού= 513 τόνους

Βάρος καυσίμου (πετρέλαιο)= 2630 τόνους



Βάρος καυσίμου (M.G.O- Marine Gas Oil)= 564 τόνους

Βάρος λιπαντικών= 21 τόνοι

Ο υπολογισμός των εξόδων για τα αναλώσιμα απαιτεί και τη θεώρηση κάποιων συντελεστών όπως:

- 600\$ κόστος καυσίμου σε δολάρια ανά τόνο
- 1000\$ κόστος MGO σε δολάρια ανά τόνο
- 1,0 κόστος πόσιμου νερού σε δολάρια ανά τόνο
- 2000 κόστος λιπαντικών σε δολάρια ανά τόνο
- 2000 κόστος μισθοδοσίας ανά άτομο
- 13 κόστος τροφοδοσίας ανά άτομο ανά ημέρα
- 30 άτομα πάνω στο πλοίο

- Κόστος καυσίμου

$$K_{FO} = FO * C_{FO} * TRIPS * 4417 / R = 3728792,234 \text{ \$/year}$$

- Κόστος MGO

$$K_{GO} = GO * C_{GO} * TRIPS * 4417 / R = 1332724,221 \text{ \$/year}$$

- Κόστος πόσιμου νερού

$$K_{FW} = FW * C_{FW} * TRIPS * 4417 / R = 1212,212 \text{ \$/year}$$

- Κόστος λιπαντικών

$$K_{LO} = LO * C_{LO} * TRIPS * 4417 / R = 99245,421 \text{ \$/year}$$

- Κόστος τροφοδοσίας

$$K_{PROV} = C_{PROV} * (2 * 1 + 2 * 13 + 1) * CREW * TRIPS = 122.826,6 \text{ (\$/year)}$$

- Μισθοί

$$K_{PAYROLL} = C_{SALARY} * 12 * CREW = 720.000 \text{ (\$/year)}$$

Άρα, το συνολικό άθροισμα των αναλώσιμων προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους εξόδων και είναι:

$K_{ANAL} = 6.004.800,688 \text{ \$/year}$  (κόστος αναλώσιμων και προσωπικού ετησίως) (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)

### Λιμενικά τέλη

$E\Xi_{\text{ΛΙΜ.}} = (600 + 50 * LPP * B * D / 10^5) * (2 * \text{Trips}) = 15.473,380 \text{ \$/ year}$  (λιμενικά τέλη ετησίως) (Πηγή: Παπανικολάου- Αναστασόπουλος, 2002)

### Κόστος επισκευών και συντήρησης

Το κόστος αυτών χωρίζεται στις επιμέρους ομάδες κόστους που απευθύνονται στο κόστος επισκευών και συντήρησης της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου και το κόστος επισκευών και συντήρησης της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου.

$E\Xi_{\text{ΜΕ}} = 5,44 * P_B = 5,44 * 14280 = 63.811,200 \text{ \$}$  (Πηγή: Παπανικολάου- Αναστασόπουλος, 2002)

$E\Xi_{\text{ΜΚ}} = 2500 * (LPP * B * D / 10^5)^{2/3} = 4.211,433 \text{ \$}$  (Πηγή: Παπανικολάου- Αναστασόπουλος, 2002)

Άρα, το άθροισμα των δύο θα δώσει το συνολικό κόστος επισκευών και συντήρησης του πλοίου:

$E\Xi_{\text{ΕΣ}} = E\Xi_{\text{ΜΕ}} + E\Xi_{\text{ΜΚ}} = 68.022,633 \text{ \$/year}$  (συνολικό κόστος επισκευών και συντήρησης ετησίως) (Πηγή: Παπανικολάου- Αναστασόπουλος, 2002)

### Κόστος ασφαλίσεων

$E\Xi_{\text{ΑΣ}} = 770 * (\text{CREW} + \text{GT} / 100)$

$\text{CREW} = 30$

Άρα,  $E\Xi_{\text{ΑΣ}} = 770 * (30 + 63460 / 100) = 511.742 \text{ \$}$  (κόστος ασφαλίσεων ετησίως) (Πηγή: Παπανικολάου- Αναστασόπουλος, 2002)

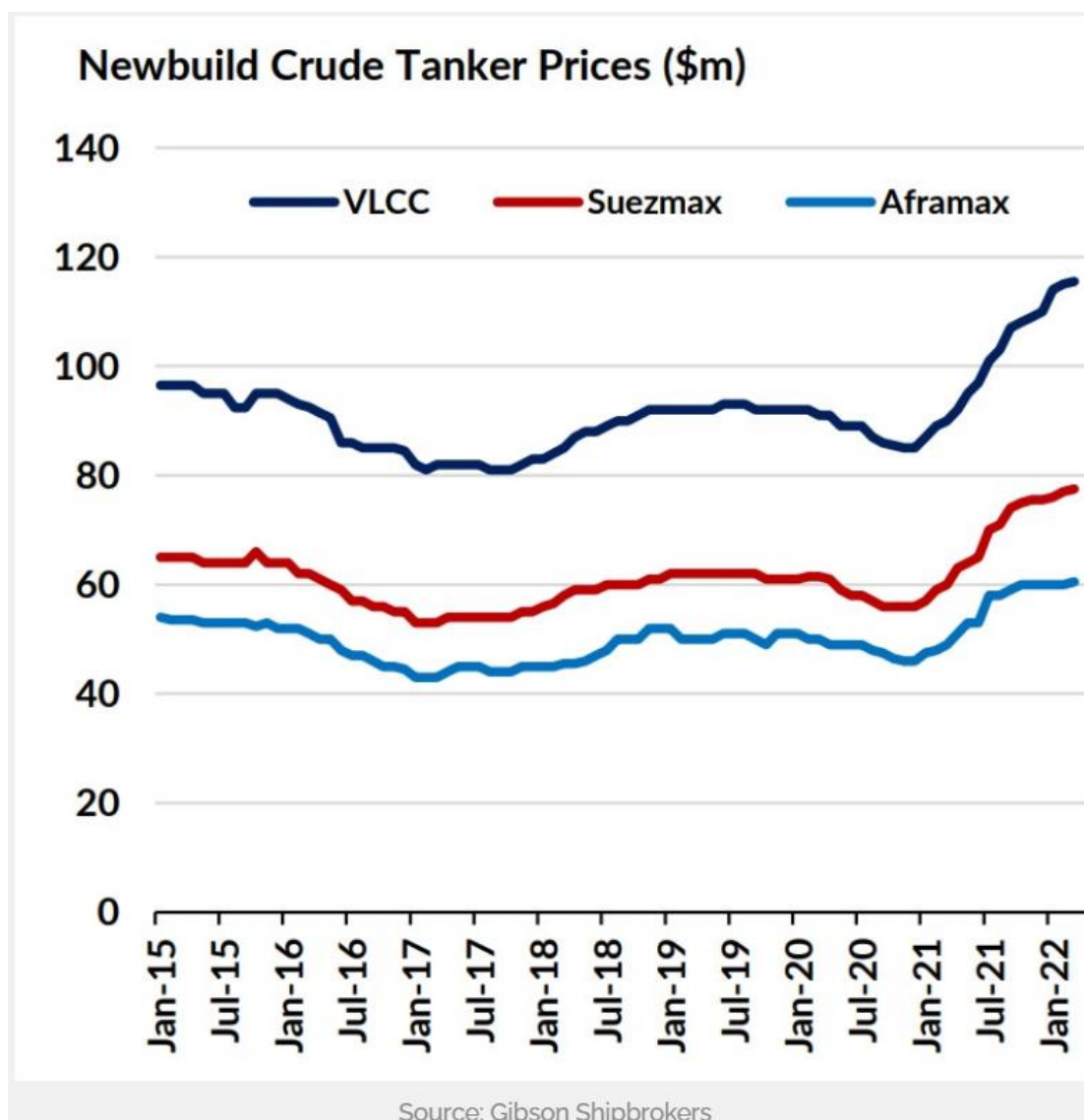
Συνεπώς, τα έξοδα λειτουργίας του πλοίου για ένα έτος λειτουργίας υπολογίζονται ως εξής:

$C_{\text{ΕΕ}} = E\Xi_{\text{ΑΝ}} + E\Xi_{\text{ΛΙΜ.}} + E\Xi_{\text{ΕΣ}} + E\Xi_{\text{ΑΣ}} = 6.600.038,701 \text{ \$/year}$  (έξοδα λειτουργίας ετησίως) (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)

## 2.3 ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΝΑΥΛΟΣ

Τα έξοδα κατασκευής του πλοίου δεν ήταν δυνατό να παρασχεθούν λόγω της επιχειρησιακής ιδιότητας του πλοίου οπότε θα αξιοποιηθούν βάσεις δεδομένων για τον καθορισμό της τιμής του. Όπως είναι γνωστό, το πλοίο είναι κατασκευής του

2019 και σύμφωνα με ναυλομεσιτική εταιρεία, οι τιμές κυμαίνονταν για αυτή τη περίοδο στα 45 εκατομμύρια.



Εικόνα 55. Οι τιμές των ναυπηγείων για ναυπηγήσεις πλοίων *tanker* σύμφωνα με ναυλομεσιτική εταιρεία (πηγή: <https://www.hellenicshippingnews.com/which-tanker-to-buy-a-shipowners-conundrum/>)

Η τελική αξία του πλοίου θα ληφθεί ίση με 2,5% της αρχικής του αξίας και αυτό διότι το πλοίο μελετάται στην παρούσα εργασία για 20 έτη λειτουργίας ενώ είναι ήδη 4 χρόνια σε λειτουργία. Η απόσυρση του στα 24 έτη λειτουργίας είναι αρκετά καλή και καλύπτει τη κοινή πρακτική των μεγάλων ναυτιλιακών όπου η ζωή του πλοίου κυμαίνεται μεταξύ 20-25 ετών. Η προσδοκώμενη απόδοση του κεφαλαίου (κόστος ευκαιρίας) είναι 12%.

$TA = 2,5/100 * \text{original\_price}$  (Πηγή: Ψαρούτης, 2005)

$TA = 2,5/100 * \text{original\_price} = 1.125.000 \$$  (τελική αξία του πλοίου)

Για τη πληρωμή της κατασκευής του πλοίου η οποία θεωρείται στα 45 εκατ. Δολάρια θα θεωρηθεί ότι ένα ποσό θα καλυφτεί από τα κεφάλαια του πλοιοκτήτη και το υπόλοιπο κομμάτι από τράπεζα με τη μορφή δανείου. Το ποσό που θα καταβάλει ο πλοιοκτήτης θα είναι της τάξης του 30% της αρχικής αξίας ενώ το εναπομείναν 70% θα καλυφθεί από το δάνειο της τράπεζας.

$KΠ = 0,3 * \text{original\_price} = 13.500.000 \$$  (κεφάλαιο πλοιοκτήτη)

$ΥΔ = 0,7 * \text{original\_price} = 31.500.000 \$$  (ύψος δανείου)

Η δόση του δανείου που η εταιρεία θα πληρώνει κάθε έτος στη τράπεζα υπολογίζεται ως εξής:

$Δ = (ΥΔ * r * (1+r)^N) / ((1+r)^N - 1)$  (Πηγή: Ψαρούτης, 2005)

Για ύψος δανείου (ΥΔ) ίσο με 31.5 εκατ. Δολάρια, σταθερό δανειακό επιτόκιο  $r$  ίσο με 0,08 και τα χρόνια αποπληρωμής του δανείου  $N$  τα 20 έτη, η δόση του δανείου προκύπτει ως εξής:

$Δ = 3.208.345 \$$  (δόση δανείου ετησίως)

Για να υπολογιστεί ο ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος, δηλαδή ο ναύλος που ουσιαστικά κάνει το πλοίο να είναι μία αδιάφορη επένδυση, γίνεται μέσω του υπολογισμού της καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ). Συγκεκριμένα, η εξίσωση της ΚΠΑ πρέπει να μηδενίζεται και η οποία θα οδηγήσει στον υπολογισμό του απαιτούμενου ναύλου.

Για να είναι η επένδυση (λειτουργία του πλοίου) κερδοφόρα και συμφέρουσα πρέπει ο ναύλος να ξεπερνά τη τιμή του απαιτούμενου ναύλου.

$KΠΑ = \sum \frac{EΣ_t - EΞ_t}{(1+i)^t}$  (Πηγή: Ψαρούτης, 2005)

Για  $KΠΑ = 0$ , η εξίσωση γίνεται:

$0 = -KΠ + ΕΣΟΔΑ * X - ΕΞΟΔΑ * X + TA / (1+0,12)^{20} \rightarrow$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * X + KΠ - \frac{TA}{(1+0,12)^{20}}}{X} =$$

$$\text{Όπου } X = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,12)^t} = 7,47$$

Τα ετήσια έξοδα προκύπτουν από τα ετήσια έξοδα λειτουργίας και την ετήσια δόση για τη πληρωμή του δανείου.

$ΕΞΟΔΑ = C_{ΕΞ} + Δ = 10.336.453,228 \$/\text{year}$  (συνολικά ετήσια έξοδα του πλοίου)

Συγκεντρωτικά είναι:

κεφάλαιο πλοιοκτήτη	KΠ=	13500000	(\$)
ύψος δανείου	ΥΔ=	31500000	(\$)
δανειακός τόκος	r=	0,08	
οικονομικά χρόνια πλοίου	N=	20	(years)
κόστος ευκαιρίας	i=	0,12	
λειτουργικά έξοδα/έτος	CEΞ=	9808383,279	(\$/year)
βάρος ωφέλιμου φορτίου	Wpl=	110440	(tn)
ΣWpl=Wpl*trips	ΣWpl=	1199378,4	(tn/year)
τελική αξία πλοίου=	TA=	1125000	(\$)
δότηση δανείου=	Δ=	3208345	(\$)

Άρα, προκύπτει:

ΕΣΟΔΑ= 11.599.999,26 \$/year (απαραίτητα ετήσια έσοδα ώστε η επένδυση να είναι αδιάφορη)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για να συμφέρει η επένδυση (λειτουργία του πλοίου) πρέπει η ΚΠΑ να είναι θετική, αντιθέτως ΚΠΑ αρνητική σημαίνει ότι η επένδυση δεν αποφέρει κέρδη από τη λειτουργία της ενώ ΚΠΑ ίση με μηδέν η λειτουργία της είναι αδιάφορη αφού δεν προσφέρει κέρδη αλλά ούτε και ζημιώνει.

Κατά επέκταση, τα έσοδα που υπολογίστηκαν είναι το κεφάλαιο χρημάτων που κάνει την επένδυση αδιάφορη.

$K_{trip} = \frac{ΕΣΟΔΑ}{TRIPS} = \frac{11.599.999,26}{10,86} = 1.068.139,895$  \$/ trip (απαραίτητα έσοδα από κάθε ταξίδι)

Άρα, η χρέωση του κάθε τόνου ωφέλιμου φορτίου να ισούται με:

$$F_M = \frac{K_{trips}}{W_{pl}} = \frac{1.068.139,895}{110440} = 9,672 \text{ $/tn}$$

Όπου, το βάρος ωφέλιμου φορτίου  $W_{PL}$  μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$DWT = W_{PL} + W_F + W_{PR} + W_P + W_{CR} + B$  και οι συνιστώσες τους είναι:

$W_F$ = βάρος καυσίμου και λιπαντικών

$W_{PR}$ = βάρος αναλώσιμων και πόσιμου νερού

$W_P$ = βάρος επιβατών και των αποσκευών τους

$W_{CR}$ = βάρος προσωπικού και των αποσκευών τους

$B$ = βάρος του νερού ballast όταν απαιτείται στη κατάσταση πλήρους φόρτωσης

Παρόλα αυτά, το εγχειρίδιο ευστάθειας έχει δοθεί και το βάρος ωφέλιμου φορτίου μπορεί να αντληθεί από εκεί για την ανάλογη κατάσταση φόρτωσης.

Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα όπου δίνουν τον απαιτούμενο ναύλο (AN) συναρτήσει της τιμής του πετρελαίου για τις διάφορες τιμές του κόστους ευκαιρίας.

Αναφέρεται ότι η τιμή του πετρελαίου αλλά και του ναύλου είναι σε μονάδες δολάρια ανά τόνο (\$/ton). Ενώ, οι τιμές του πετρελαίου θα είναι από 400 δολάρια ο τόνος έως 1000 δολάρια ο τόνος με βήμα ανά 100 δολάρια ο τόνος. Ο λόγος αυτής της ευρείας κάλυψης τιμών είναι η παγκόσμια αστάθεια των τιμών των ναυτιλιακών καυσίμων που παρατηρείται και είναι ευάλωτη στα διεθνή γεγονότα και εξελίξεις. Παρόλα αυτά, είναι κοινώς αποδεκτό ότι οι τιμές αυξάνονται σταθερά, η εποχή του ντίζελ και εν γένει των ορυκτών καυσίμων φτάνει στο τέλος της, οι διεθνείς απαιτήσεις για μείωση των εκπομπών αερίων των θερμοκηπίων συνεχώς αυξάνονται κάνοντας τα ορυκτά καύσιμα ιδιαιτέρως ακριβά.

Είναι προφανές, πως όσο υψηλότερη τιμή έχει το πετρέλαιο τόσες περισσότερες πιθανότητες έχει η πυρηνική ενέργεια να είναι πιο προσιτή οικονομικά.

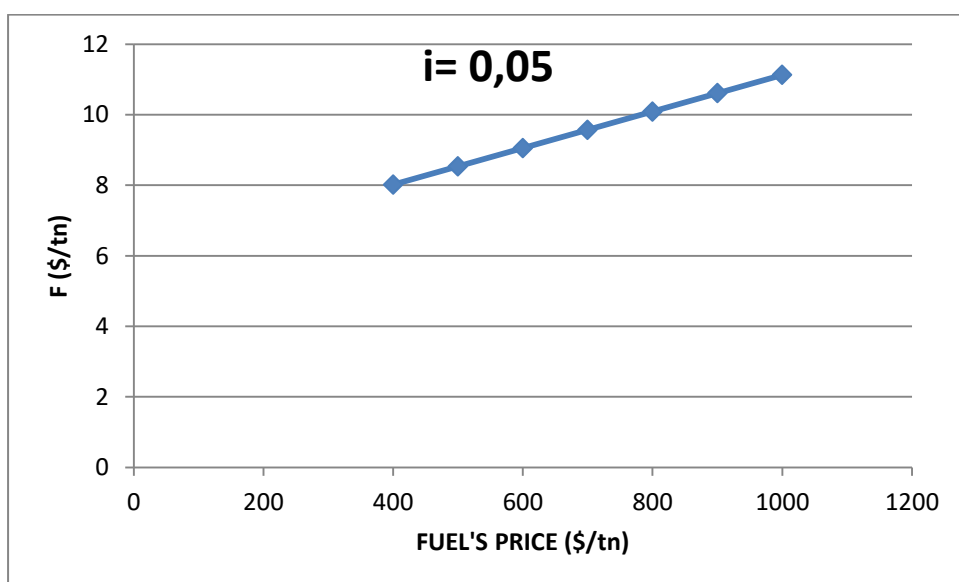
Το κόστος ευκαιρίας  $i$  θα λάβει τιμές από το 0,05 έως το 0,15 με βήμα 0,1. Συναρτήσει κόστους ευκαιρίας και των τιμών του πετρελαίου θα προκύψουν ο ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος  $F$  για κάθε συνδυασμό.

Για  $i=0,05$ :

$$\text{Όπου } \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,05)^t} = 12,462$$

Προκύπτουν οι παρακάτω ελάχιστοι απαιτούμενοι ναύλοι ανάλογα τη τιμή που παρουσιάζει το πετρέλαιο σε δολάρια ανά τόνο. Στο πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα ενώ στο διάγραμμα γίνεται αντιληπτή η μεταβολή της τιμής του ναύλου συναρτήσει του κόστους του πετρελαίου.

fuel price (\$/tn)	F (\$/tn)
400	8,016419
500	8,534575
600	9,052731
700	9,570887
800	10,08904
900	10,6072
1000	11,12536



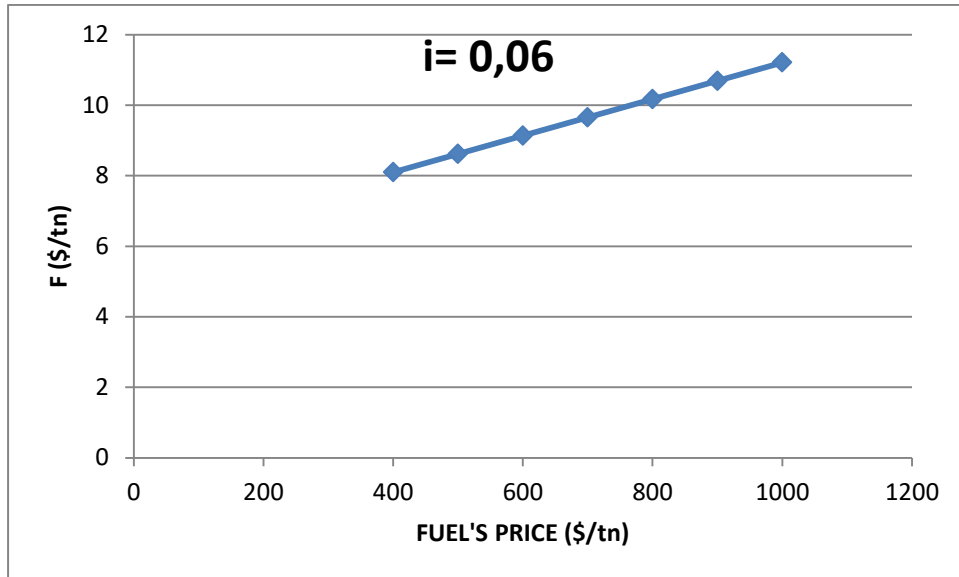
Για  $i=0.06$ :

$$\text{Όπου } \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0.06)^t} = 11,470$$

Προκύπτουν οι παρακάτω ελάχιστοι απαιτούμενοι ναύλοι ανάλογα τη τιμή που παρουσιάζει το πετρέλαιο σε δολάρια ανά τόνο. Στο πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα ενώ στο διάγραμμα γίνεται αντιληπτή η μεταβολή της τιμής του ναύλου συναρτήσει του κόστους του πετρελαίου.

fuel price (\$/tn)	F (\$/tn)
400	8,097405

500	8,615562
600	9,133718
700	9,651874
800	10,17003
900	10,68819
1000	11,20634



Για  $i = 0.07$ :

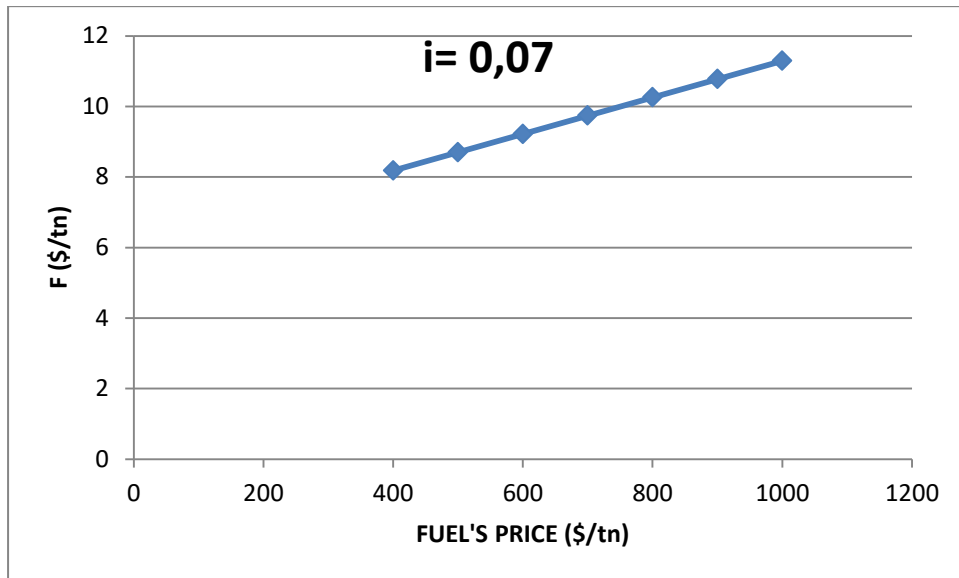
$$\text{Όπου } \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0.07)^t} = 10,594$$

Προκύπτουν οι παρακάτω ελάχιστοι απαιτούμενοι ναύλοι ανάλογα τη τιμή που παρουσιάζει το πετρέλαιο σε δολάρια ανά τόνο. Στο πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα ενώ στο διάγραμμα γίνεται αντιληπτή η μεταβολή της τιμής του ναύλου συναρτήσει του κόστους του πετρελαίου.

fuel price (\$/tn)	F (\$/tn)
400	8,181169
500	8,699325



600	9,217482
700	9,735638
800	10,25379
900	10,77195
1000	11,29011



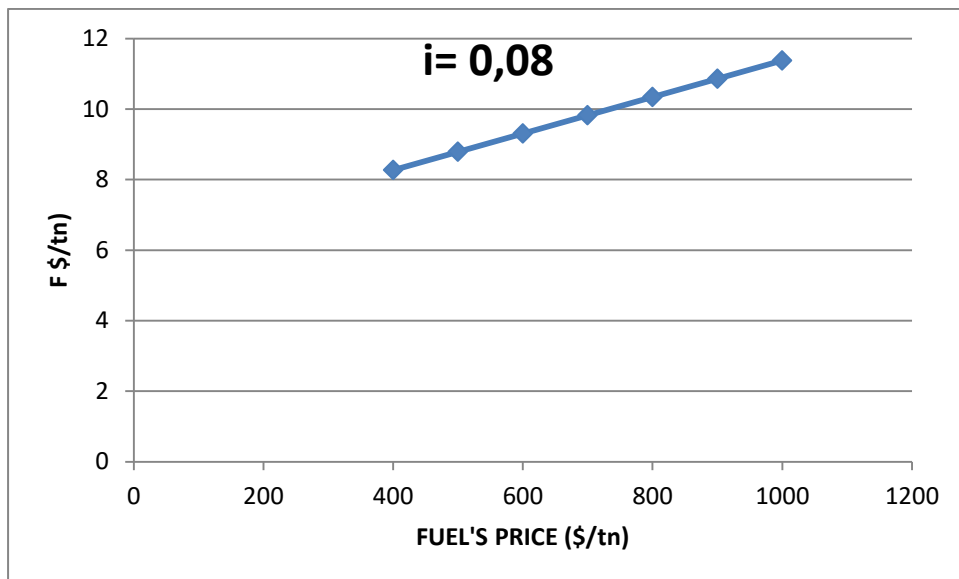
Για  $i=0.08$ :

$$\text{Όπου } \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0.08)^t} = 9,818$$

Προκύπτουν οι παρακάτω ελάχιστοι απαιτούμενοι ναύλοι ανάλογα τη τιμή που παρουσιάζει το πετρέλαιο σε δολάρια ανά τόνο. Στο πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα ενώ στο διάγραμμα γίνεται αντιληπτή η μεταβολή της τιμής του ναύλου συναρτήσει του κόστους του πετρελαίου.

fuel price (\$/tn)	F (\$/tn)
400	8,267528
500	8,785684
600	9,303841
700	9,821997
800	10,34015

900	10,85831
1000	11,37647



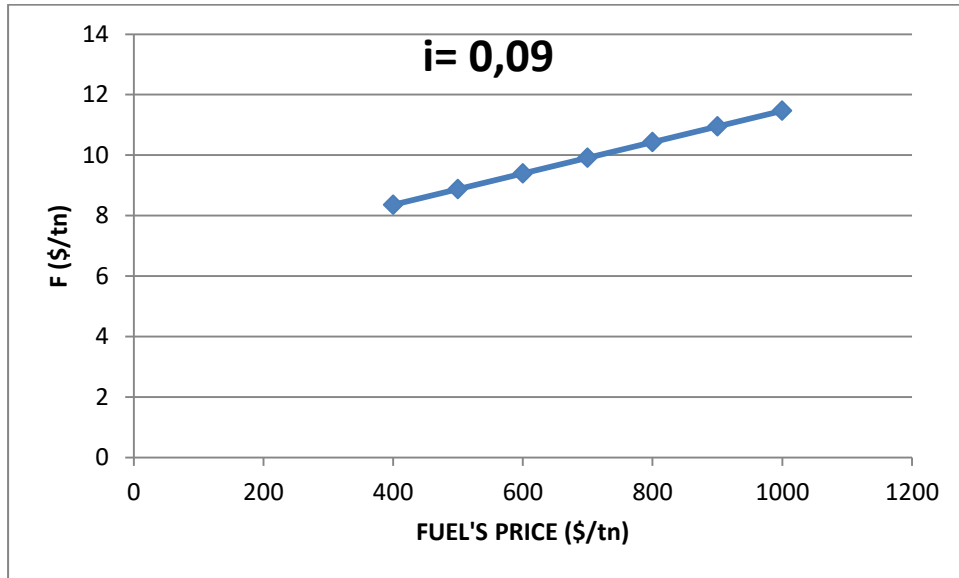
Για  $i = 0.09$ :

$$\text{Όπου } \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0.09)^t} = 9,129$$

Προκύπτουν οι παρακάτω ελάχιστοι απαιτούμενοι ναύλοι ανάλογα τη τιμή που παρουσιάζει το πετρέλαιο σε δολάρια ανά τόνο. Στο πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα ενώ στο διάγραμμα γίνεται αντιληπτή η μεταβολή της τιμής του ναύλου συναρτήσει του κόστους του πετρελαίου.

fuel price (\$/tn)	F (\$/tn)
400	8,356219
500	8,874375
600	9,392531
700	9,910688

800	10,42884
900	10,947
1000	11,46516

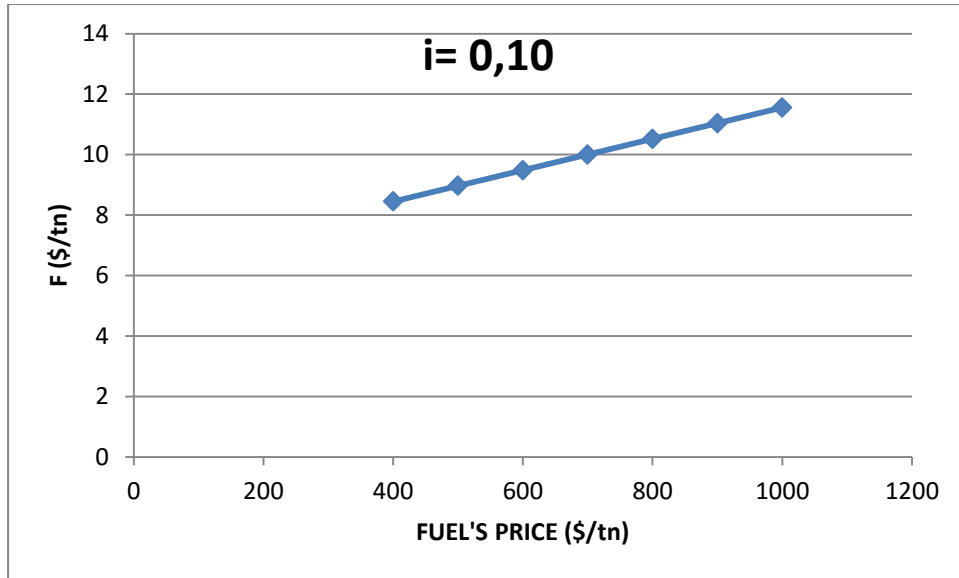


Για  $i = 0.10$ :

$$\text{Όπου } \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0.10)^t} = 8,514$$

Προκύπτουν οι παρακάτω ελάχιστοι απαιτούμενοι ναύλοι ανάλογα τη τιμή που παρουσιάζει το πετρέλαιο σε δολάρια ανά τόνο. Στο πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα ενώ στο διάγραμμα γίνεται αντιληπτή η μεταβολή της τιμής του ναύλου συναρτήσει του κόστους του πετρελαίου.

fuel price (\$/tn)	F (\$/tn)
400	8,447239
500	8,965395
600	9,483551
700	10,00171
800	10,51986
900	11,03802
1000	11,55618

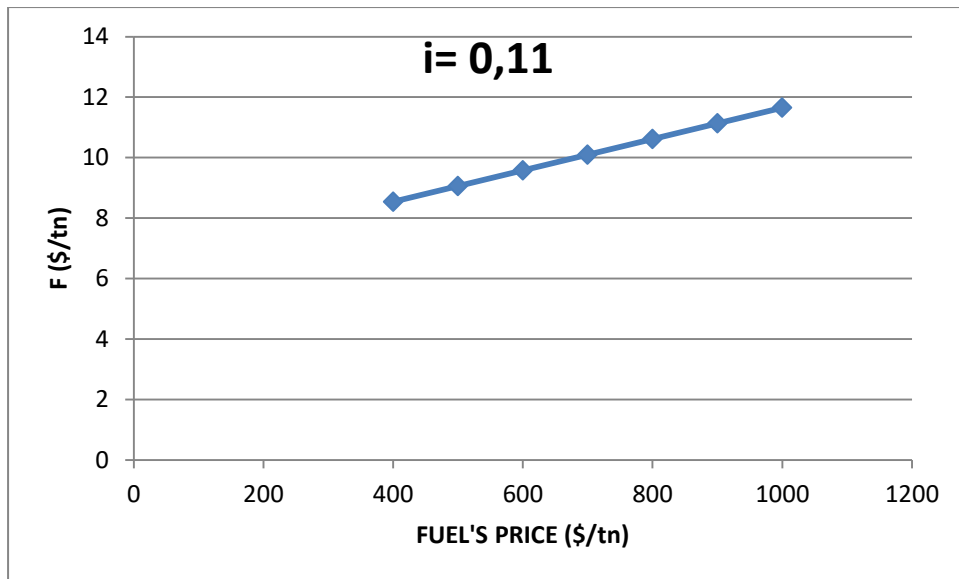


Για  $i=0.11$ :

$$\text{Όπου } \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0.11)^t} = 7,963$$

Προκύπτουν οι παρακάτω ελάχιστοι απαιτούμενοι ναύλοι ανάλογα τη τιμή που παρουσιάζει το πετρέλαιο σε δολάρια ανά τόνο. Στο πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα ενώ στο διάγραμμα γίνεται αντιληπτή η μεταβολή της τιμής του ναύλου συναρτήσει του κόστους του πετρελαίου.

fuel price (\$/tn)	F (\$/tn)
400	8,540483
500	9,058639
600	9,576796
700	10,09495
800	10,61311
900	11,13126
1000	11,64942

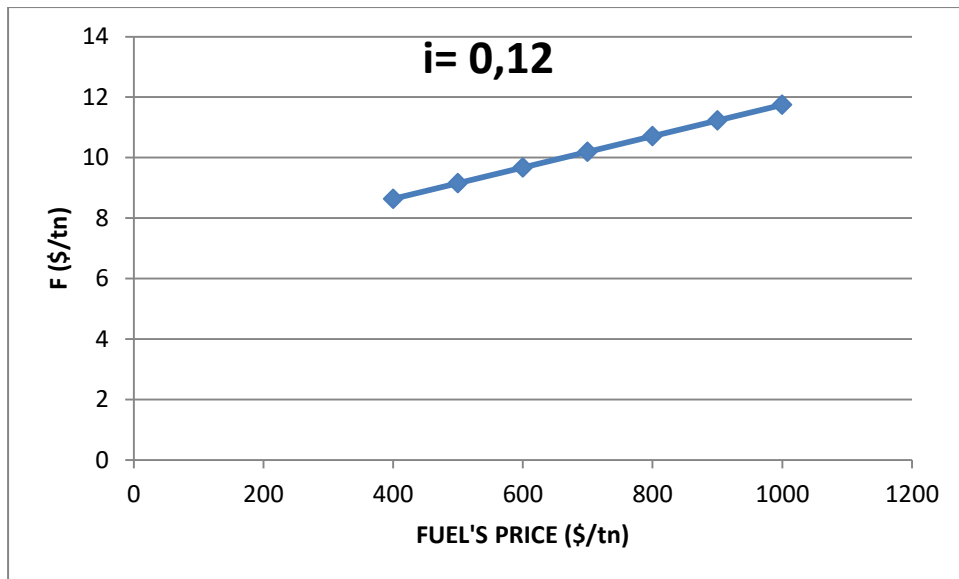


Για  $i=0.12$ :

$$\text{Όπου } \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0.12)^t} = 7,469$$

Προκύπτουν οι παρακάτω ελάχιστοι απαιτούμενοι ναύλοι ανάλογα τη τιμή που παρουσιάζει το πετρέλαιο σε δολάρια ανά τόνο. Στο πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα ενώ στο διάγραμμα γίνεται αντιληπτή η μεταβολή της τιμής του ναύλου συναρτήσει του κόστους του πετρελαίου.

fuel price (\$/tn)	F (\$/tn)
400	8,635565
500	9,153721
600	9,671877
700	10,19003
800	10,70819
900	11,22635
1000	11,7445

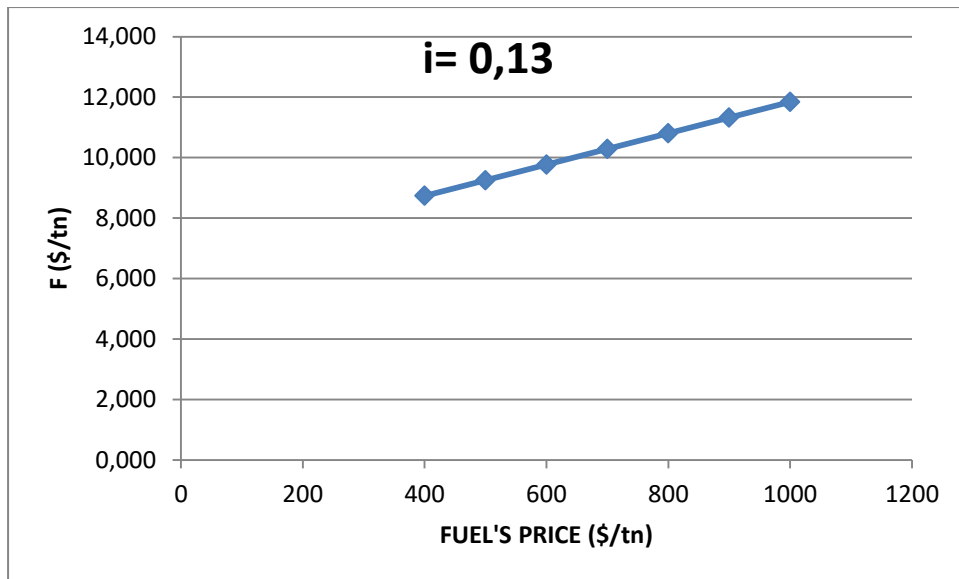


Για  $i = 0.13$  :

$$\text{Όπου } \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0.13)^t} = 7,025$$

Προκύπτουν οι παρακάτω ελάχιστοι απαιτούμενοι ναύλοι ανάλογα τη τιμή που παρουσιάζει το πετρέλαιο σε δολάρια ανά τόνο. Στο πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα ενώ στο διάγραμμα γίνεται αντιληπτή η μεταβολή της τιμής του ναύλου συναρτήσει του κόστους του πετρελαίου.

fuel price (\$/tn)	F (\$/tn)
400	8,732
500	9,250
600	9,769
700	10,287
800	10,805
900	11,323
1000	11,841

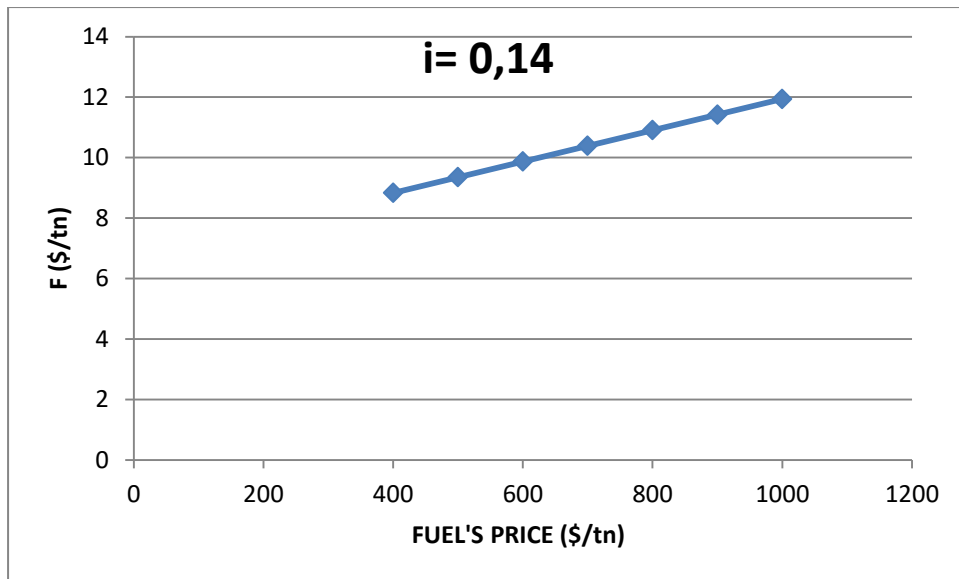


Για  $i = 0.14$ :

$$\text{Όπου } \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0.14)^t} = 6,623$$

Προκύπτουν οι παρακάτω ελάχιστοι απαιτούμενοι ναύλοι ανάλογα τη τιμή που παρουσιάζει το πετρέλαιο σε δολάρια ανά τόνο. Στο πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα ενώ στο διάγραμμα γίνεται αντιληπτή η μεταβολή της τιμής του ναύλου συναρτήσει του κόστους του πετρελαίου.

fuel price (\$/tn)	F (\$/tn)
400	8,830779
500	9,348935
600	9,867091
700	10,38525
800	10,9034
900	11,42156
1000	11,93972



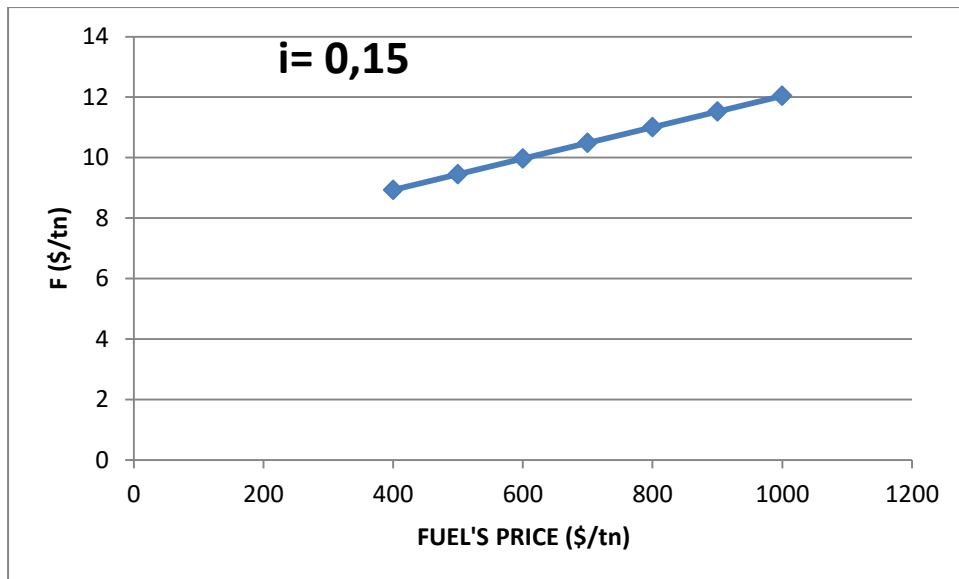
Για  $i=0.15$ :

$$\text{Όπου } \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0.15)^t} = 6,259$$

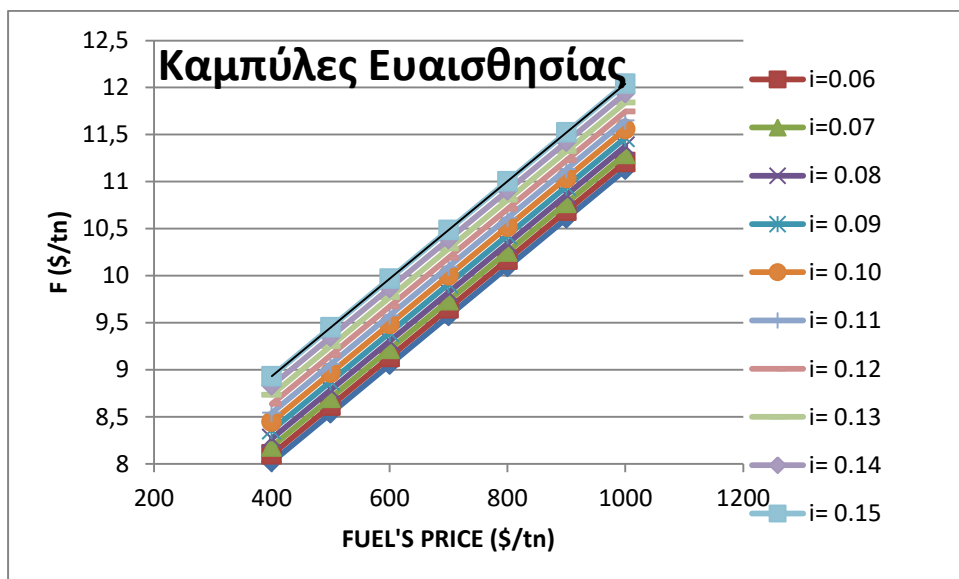
Προκύπτουν οι παρακάτω ελάχιστοι απαιτούμενοι ναύλοι ανάλογα τη τιμή που παρουσιάζει το πετρέλαιο σε δολάρια ανά τόνο. Στο πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα ενώ στο διάγραμμα γίνεται αντιληπτή η μεταβολή της τιμής του ναύλου συναρτήσει του κόστους του πετρελαίου.

fuel price (\$/tn)	F (\$/tn)
400	8,930764
500	9,44892
600	9,967076
700	10,48523
800	11,00339
900	11,52154
1000	12,0397





Αφού υπολογίστηκαν οι τιμές των ελάχιστων απαιτούμενων ναύλων για διαφορετικές τιμές πετρελαίου (400\$/tn-1000\$/tn) συνάμα με διαφορετικά κόστη ευκαιρίας (0.05-0.15) θα παρουσιαστούν συνολικά τα αποτελέσματα ώστε να δοθεί το μέγεθος ευαισθησίας απέναντι στους παράγοντες που θέσαμε. Το διάγραμμα παρακάτω απεικονίζει αυτές τις καμπύλες ευαισθησίας.



## 2.4 ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΜΕ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΠΡΩΣΗ

Στο παρόν κομμάτι της μελέτης το πλοίο υπό μελέτη θα διαθέτει το πυρηνικό αντιδραστήρα Hyperion αντί της μηχανής εσωτερικής καύσης. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα παρουσιάστηκαν παραπάνω. Γνωρίζουμε ότι το πλοίο έχει ανάγκες ενέργειας που ανέρχονται στις 11730 KW, οι οποίες υπερκαλύπτονται από την ηλεκτρική ισχύ του αντιδραστήρα των 25 MW. Ο αντιδραστήρας κοστίζει 50 εκατομμύρια δολάρια, συναρμολογείται και παραδίδεται έτοιμος για χρήση από το κατασκευαστή και εφόσον η οικονομική μελέτη αφορά τα 20 έτη του πλοίου, θα χρειαστούν 2 πυρηνικοί αντιδραστήρες. Το συνολικό κόστος για τους αντιδραστήρες θα ανέλθει στα 100 εκατ. δολάρια χωρίς ανάγκες για υπολογισμό του πυρηνικού καυσίμου αφού ο αντιδραστήρας παραδίδεται έτοιμος, δεν χρειάζεται ανεφοδιασμό και έχει επιχειρησιακή ζωή 10 έτη. Η αγορά του 1<sup>ου</sup> αντιδραστήρα θα γίνει το έτος N=0 της επένδυσης ενώ ο δεύτερος αντιδραστήρας θα αγοραστεί το έτος N=10 όπου και θα απαιτείται η αλλαγή του πρώτου αντιδραστήρα.

Κόστος μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου

Το πλοίο διαθέτει μηχανή εσωτερικής καύσης και συγκεκριμένα το μοντέλο MAN B&W 6G60ME-C9.5. Ο λόγος υπολογισμού του κόστους της μηχανολογικής εγκατάστασης είναι ώστε το ποσό αυτό να αφαιρεθεί από τη συνολική αξία του πλοίου και αντίστοιχα να προστεθεί το ποσό για τη πυρηνοκίνηση.

Το κόστος της μηχανολογικής εγκατάστασης απαρτίζεται από δύο επιμέρους κόστη τα οποία είναι του εργατικού κόστους και του κόστους υλικών.

Εργατικό κόστος

$MHS_M = 12000 * \left(\frac{P}{1000}\right)^{0.3} = 25.117,167$  απαιτούμενες εργατοώρες (Πηγή: Παπανικολάου- Αναστασόπουλος, 2002)

$CMH_M = C_{mhrm} * MHS_M = 879.100,838$  \$: (Πηγή: Παπανικολάου- Αναστασόπουλος, 2002)

- όπου  $C_{mhrm} = 35$  \$ κόστος εργατοώρας για τη μηχανολογική εγκατάσταση

Κόστος υλικών

$CS_M = 400 * P = 4.692.000$  \$: (Πηγή: Παπανικολάου- Αναστασόπουλος, 2002)

- όπου 400\$/KW είναι το κόστος των υλικών και θα θεωρηθεί για τις αργόστροφες μηχανές

Άρα, το συνολικό ποσό της μηχανολογικής εγκατάστασης είναι το άθροισμα των επιμέρους.

$K_M = CMH_M + CS_M = 5.571.100,838$  \$ (Πηγή: Παπανικολάου- Αναστασόπουλος, 2002) (Πολυζάκης, 2022) (Halliday, 2013)

Η νέα αξία του πλοίου χωρίς το μηχανολογικό σύστημα που διαθέτετε ανέρχεται στα:

$$K_T = 45.000.000 - 5.571.100,838 = 39.428.899,16$$

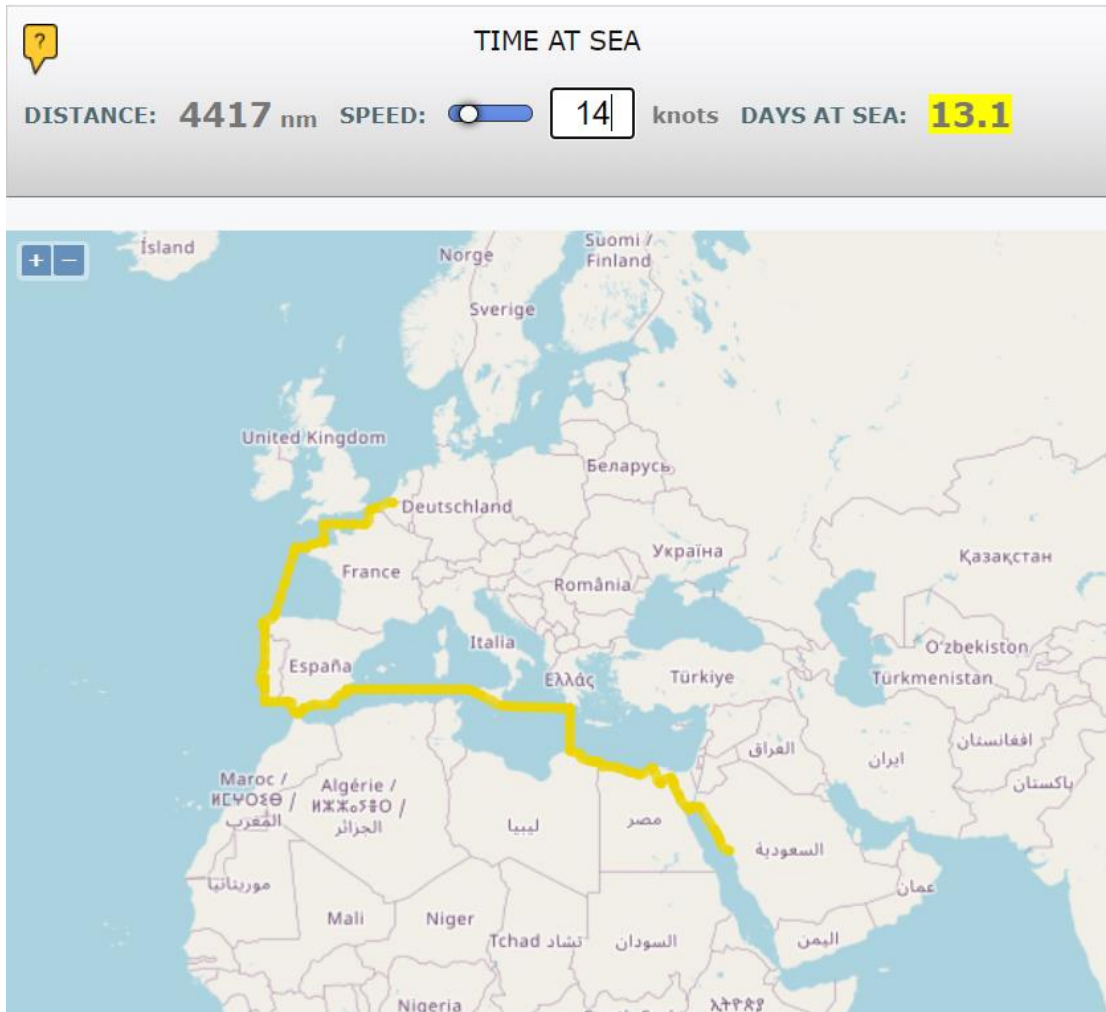
Το κόστος του πλοίου χωρίς σύστημα πρόωσης και του συστήματος πυρηνικής πρόωσης θα ανέρχεται στα:

$$K_T' = K_T + K_A = 39.428.899,16 + 50.000.000 = 89.428.899,16 \approx 90.000.000$$

## 2.5 ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Όπως και στο προηγούμενο κομμάτι της μελέτης το πλοίο θεωρείται ότι θα καλύπτει συγκεκριμένη διαδρομή ανάμεσα σε δυο σημαντικά λιμάνια για το τύπο του πλοίου. Τα λιμάνια είναι τα:

- King Fahd Industrial Port in Yanbu, Saudi Arabia
- Port of Antwerp, Belgium



Εικόνα 56. Το δρομολόγιο μεταξύ των δύο λιμένων της μελέτης (πηγή: <http://ports.com/sea-route/king-fahad-industrial-port-yanbu,saudi-arabia/port-of-antwerp,belgium/> )

Γνωρίζοντας τη ταχύτητα του πλοίου, η απόσταση καλύπτεται σε 13 μέρες και 1 ώρες το οποίο θα στρογγυλοποιηθεί στις 13 μέρες.

Ως χρόνο για να φορτώσει και ξεφορτώσει το εμπόρευμα του (γεμίσει/ αδειάσει τις δεξαμενές τους) μπορεί να χρειαστεί έως και μία μέρα ανάλογα με τη χωρητικότητα του πλοίου και τον εξοπλισμό αντλιών που διατίθενται. Οπότε θα θεωρηθεί ότι δύο μέρες αφοράνε τη φορτό- εκφόρτωση του πλοίου. Επίσης θα θεωρηθεί επιπλέον μία μέρα ως αναμονή επί των λιμένων για να εξυπηρετηθούν στους τερματικούς σταθμούς, η συγκεκριμένη τιμή αφορά και τους δύο λιμένες αθροιστικά (άρα μισή μέρα στο κάθε λιμένα). Η συγκεκριμένη τιμή λαμβάνεται ως ένα μετριοπαθές μέτρο δημιουργίας ενός ρεαλιστικού σεναρίου και θεωρητικά δεν υφίσταται όταν το κομμάτι της διαχείρισης των λιμενικών αρχών λειτουργεί πρότυπα. Παρόλα αυτά, υπάρχουν αστάθμητοι παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν σε καθυστερήσεις όπως

οι απεργίες, κυκλοφοριακή σύγχυση από πλοία, άδειες εργαζομένων κλπ. οπότε και η εξής θεώρηση πρόκειται να λειτουργήσει αντισταθμιστικά.

Άρα, το ταξίδι του πλοίου από το λιμάνι της Σαουδικής Αραβίας, στο λιμάνι του Βελγίου και πάλι πίσω στο λιμάνι της Σαουδικής Αραβίας θα διαρκέσει  $2*1+2*13+1=29$  μέρες.

Σε βάθος ενός χρόνου θεωρούμε επίσης 50 μέρες όπου το πλοίο δεν εκτελεί το δρομολόγιο λόγω επισκευών, δεξαμενισμών, επιθεωρήσεων, αλλαγής πληρώματος και λοιπά. Οπότε, το πλοίο λειτουργεί 315 μέρες το κάθε έτος.

Αυτό αναλογεί σε συγκεκριμένα ταξίδια που είναι σε αριθμό:

$\text{Trips} = 315/29 = 10.86$  κυκλικά ταξίδια το έτος

Προφανώς, ο αριθμός των ταξιδιών πρέπει να είναι ακέραιος αλλά αφού θεωρούμε 20ετή λειτουργία του πλοίου στο συγκεκριμένο δρομολόγιο τότε προκύπτει ότι:

$\text{Totaltrips} = 10,86*20 = 217.2$  ταξίδια στο 20ετές σενάριο

Άρα, 217 ταξίδια σε βάθος 20 ετών λειτουργίας του πλοίου στη συγκεκριμένη διαδρομή, 17 ταξίδια περισσότερο από το αν λαμβάναμε 10 ταξίδια το χρόνο.

**Κόστος λειτουργίας του πλοίου**

Το κόστος λειτουργίας του πλοίου αφορά ένα σημαντικό έξοδο στη ζωή του πλοίου και απαρτίζεται από ποικίλα επιμέρους έξοδα. Αυτά τα έξοδα αφορούν την ορθή λειτουργία του πλοίου και είναι τα εξής:

- Κόστος αναλώσιμων (λιπαντικά, πόσιμο νερό, υλικά και εφόδια, κόστος προσωπικού)
- Λιμενικά τέλη
- Κόστος επισκευών και συντήρησης
- Κόστος ασφαλιστρών
- Γενικά έξοδα

Για τον υπολογισμό των επιμέρους εξόδων θα γίνει χρήση εμπειρικών τύπων:

**Κόστος αναλώσιμων**

Τα κύρια αναλώσιμα που βρίσκονται στο πλοίο με πυρηνικό αντιδραστήρα είναι τα λιπαντικά και το πόσιμο νερό. Θα ήταν και το πυρηνικό καύσιμο αν και εφόσον ο αντιδραστήρας απαιτούσε τη διαδικασία του ανεφοδιασμού αλλά στη παρούσα περίπτωση ο αντιδραστήρας HYPERION παραδίδεται ανεφοδιασμένος και μέσα στα

10 έτη λειτουργίας αντικαθίσταται εξ ολοκλήρου. Σύμφωνα με τα σχέδια του πλοίου, τα βάρη σε τόνους αυτών των αναλώσιμων είναι:

Βάρος πόσιμου νερού= 513 τόνους

Βάρος λιπαντικών= 21 τόνοι

Ο υπολογισμός των εξόδων για τα αναλώσιμα απαιτεί και τη θεώρηση κάποιων συντελεστών όπως:

- 1,0 κόστος πόσιμου νερού σε δολάρια ανά τόνο
- 2000 κόστος λιπαντικών σε δολάρια ανά τόνο
- 2000 κόστος μισθοδοσίας ανά άτομο
- 13 κόστος τροφοδοσίας ανά άτομο ανά ημέρα
- 30 άτομα πάνω στο πλοίο

- Κόστος πόσιμου νερού

$$K_{FW} = FW * C_{FW} * TRIPS * 4417 / R = 1212,212 \text{ \$/year}$$

- Κόστος λιπαντικών

$$K_{LO} = LO * C_{LO} * TRIPS * 4417 / R = 99245,421 \text{ (\$/year)}$$

- Κόστος τροφοδοσίας

$$K_{PROV} = C_{PROV} * (2 * 1 + 2 * 13 + 1) * CREW * TRIPS = 122.826,6 \text{ (\$/year)}$$

- Μισθοί

$$K_{PAYROLL} = C_{SALARY} * 12 * CREW = 720.000 \text{ (\$/year)}$$

Άρα, το συνολικό άθροισμα των αναλώσιμων προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους εξόδων και είναι:

$$K_{ANAL} = 943.284,233 \text{ \$/year (ετήσια έξοδα αναλώσιμων και προσωπικού) (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)}$$

**Λιμενικά τέλη**

$E\Xi_{\Delta IM} = (600 + 50 * LPP * B * D / 10^5) * (2 * Trips) = 15.473,380 \text{ \$/ year}$  (ετήσια λιμενικά τέλη) (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

### **Κόστος επισκευών και συντήρησης**

Το κόστος αυτών χωρίζεται στις επιμέρους ομάδες κόστους που απευθύνονται στο κόστος επισκευών και συντήρησης της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου και το κόστος επισκευών και συντήρησης της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου.

$E\Xi_{ME} = 5,44 * P = 5,44 * 25000 = 136.000 \text{ \$}$  (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

$E\Xi_{MK} = 2500 * (LPP * B * D / 10^5)^{2/3} = 3284.221 \text{ \$}$  (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Άρα, το άθροισμα των δύο θα δώσει το συνολικό κόστος επισκευών και συντήρησης του πλοίου:

$E\Xi_{ES} = E\Xi_{ME} + E\Xi_{MK} = 140.211,433 \text{ \$/ year}$  (ετήσιο κόστος επισκευής και συντήρησης) (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

### **Κόστος ασφαλιστρών**

$E\Xi_{AS} = 770 * (CREW + GT / 100)$

$CREW = 30$

Άρα,  $E\Xi_{AS} = 770 * (30 + 63460 / 100) = 511.742 \text{ \$/ year}$  (ετήσιο κόστος ασφαλιστρών) (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Συνεπώς, τα έξοδα λειτουργίας του πλοίου για ένα έτος λειτουργίας υπολογίζονται ως εξής:

$C_{EE} = E\Xi_{AN} + E\Xi_{\Delta IM} + E\Xi_{ES} + E\Xi_{AS} = 1.610.711,046 \text{ \$/ year}$  (ετήσια έξοδα λειτουργίας του πλοίου) (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)

## **2.6 ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΝΑΥΛΟΣ**

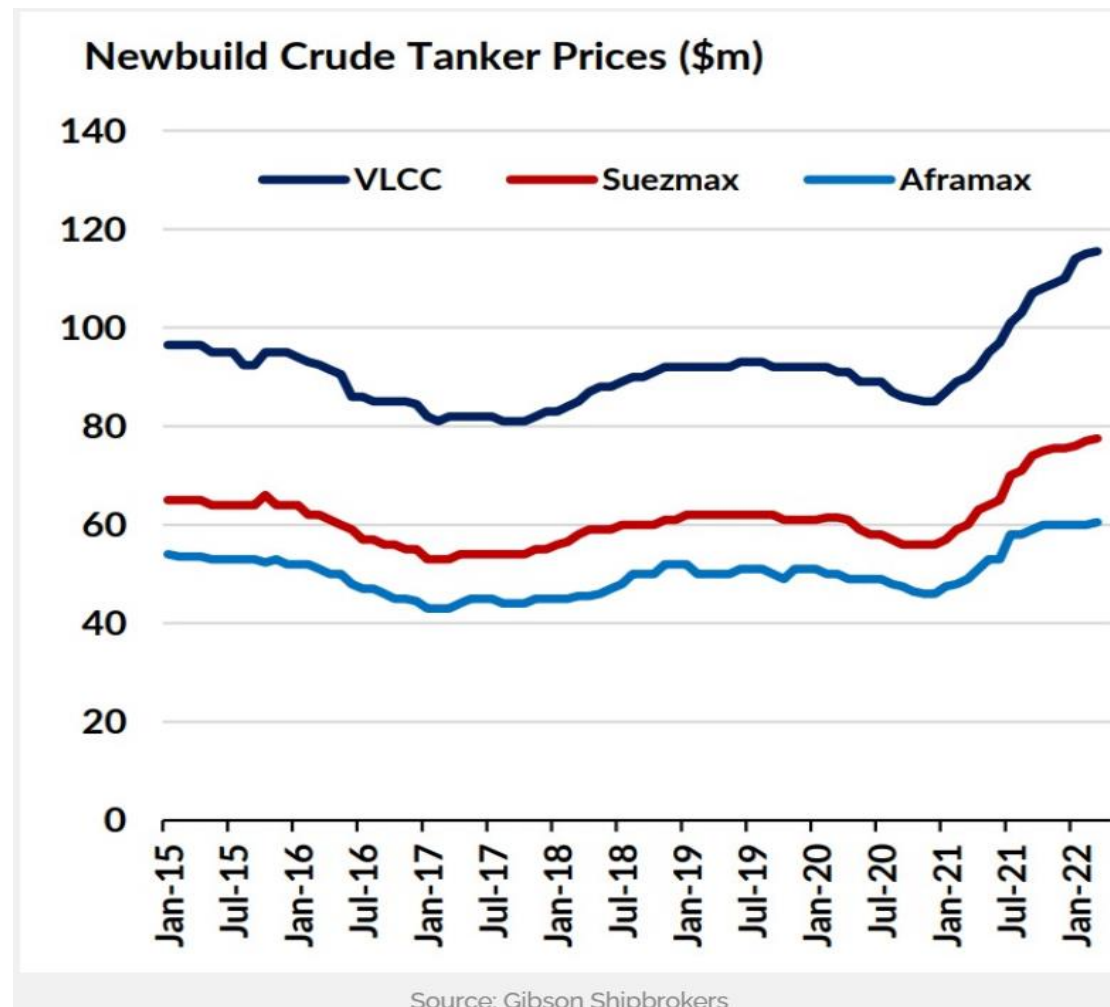
Για την αγορά του πλοίου δόθηκαν 90 εκατ. δολάρια τα οποία για να καλυφτούν θα παρθεί δάνειο αξίας του 70% της αξίας του πλοίου ενώ το εναπομείναν 30% θα καλυφθεί από τα κεφάλαια της εταιρείας/ πλοιοκτήτη.

$Y\Delta 1 = 63.000.000 \text{ \$}$  (ύψος δανείου)

$K\Pi 1 = 27.000.000 \text{ \$}$  (κεφάλαιο πλοιοκτήτη)

Η τελική αξία του πλοίου θα ληφθεί ίση με 2,5% της αρχικής του αξίας και αυτό διότι το πλοίο μελετάται στην παρούσα εργασία για 20 έτη λειτουργίας ενώ είναι ήδη 4 σε λειτουργία.

$TA = 2,5/100 * \text{original\_price}$  (Πηγή: Ψαρούτης, 2005)



Εικόνα 57. Οι τιμές των ναυπηγείων για την ναυπήγηση πλοίων *Tanker* σύμφωνα με ναυλομεσιτική εταιρεία (πηγή: <https://www.hellenicshippingnews.com/which-tanker-to-buy-a-shipowners-conundrum/>)

Το πλοίο είναι κατασκευής 2019 οπότε δεν υπάρχουν δεδομένα για τη συγκεκριμένη περίοδο παρόλα αυτά γίνεται αντιληπτό πως οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 45 εκατομμυρίων δολαρίων. Για αυτό το λόγο, η αρχική του πλοίου θα θεωρηθεί στα 90 εκατομμύρια δολάρια λόγω της πυρηνοκίνησης. Επίσης, θα θεωρηθεί το κόστος ευκαιρίας στο 12%.

$TA = 2,5/100 * \text{original\_price} = 2.250.000 \$$  (τελική αξία του πλοίου)



Η δόση του δανείου που η εταιρεία θα πληρώνει κάθε έτος στη τράπεζα υπολογίζεται ως εξής:

$$\Delta = (Y\Delta * r * (1+r)^N) / ((1+r)^N - 1) \text{ (Πηγή: Ψαραύτης, 2005)}$$

Για ύψος δανείου (YΔ) ίσο με 63.000.000 Δολάρια, σταθερό δανειακό επιτόκιο r ίσο με 0,08 και τα χρόνια αποπληρωμής του δανείου N ίσα με 10 έτη, η δόση του δανείου προκύπτει ως εξής:

$$\Delta_1 = 9.388.857,788 \text{ \$/year (ετήσια δόση δανείου για τα έτη 1-10)}$$

Παρόλα αυτά, η δόση του δανείου καλύπτει τόσο το κόστος του αντιδραστήρα μαζί με το κόστος του πλοίου χωρίς την εγκατάσταση πρόωσης. Μετά το 10<sup>ο</sup> έτος όπου θα έχει αποπληρωθεί το πρώτο δάνειο, θα γίνει η αλλαγή του παλαιού αντιδραστήρα με νέο ο οποίος κοστίζει 50 εκατομμύρια δολάρια. Αντίστοιχα, θα θεωρήσουμε ότι θα παρθεί νέο δάνειο ίσο με το 70% της αξίας του αντιδραστήρα ενώ το εναπομείναν 30% του κόστους του αντιδραστήρα θα καλυφθεί με τα κεφάλαια του πλοιοκτήτη.

$$K\Pi_2 = 15000000 \text{ \$ (κεφάλαιο πλοιοκτήτη)}$$

$$Y\Delta_2 = 35000000 \text{ \$ (ύψος δανείου)}$$

Αντίστοιχα, η δόση του δανείου με τα χρόνια αποπληρωμής να είναι 10 έτη και το δανειακό επιτόκιο σταθερά στο 0,08 προκύπτει:

$$\Delta_2 = 7451474,44 \text{ \$/year (ετήσια δόση δανείου για τα έτη 11-20) (Πηγή: Ψαραύτης, 2005)}$$

Για να υπολογιστεί ο ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος, δηλαδή ο ναύλος που ουσιαστικά κάνει το πλοίο να είναι μία αδιάφορη επένδυση, γίνεται μέσω του υπολογισμού της καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ). Συγκεκριμένα, η εξίσωση της ΚΠΑ πρέπει να μηδενίζεται και η οποία θα οδηγήσει στον υπολογισμό του απαιτούμενου ναύλου.

Ωστε η επένδυση (λειτουργία του πλοίου) να είναι κερδοφόρα και συμφέρουσα πρέπει ο ναύλος να ξεπερνά τη τιμή του απαιτούμενου ναύλου.

$$K\Pi A = \sum \frac{E\Sigma_t - E\Xi_t}{(1-i)^t} \text{ (Πηγή: Ψαραύτης, 2005)}$$

Η ανάλυση της ανωτέρω εξίσωσης για την εύρεση της ΚΠΑ είναι:

$$K\Pi A = -K\Pi + TA / (1+i)^{20} + (F * \Sigma Wpl - C_{EE} - \Delta) * \Sigma (1+i)^{20}$$

Για ΚΠΑ=0, η εξίσωση γίνεται:

$$0 = -ΚΠ + ΕΣΟΔΑ * X - ΕΞΟΔΑ * X + ΤΑ / (1+0,12)^{20} \rightarrow$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * X + ΚΠ - \frac{ΤΑ}{(1+0,12)^{20}}}{X}$$

$$\text{Όπου } X = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,12)^t} = 5,650 \text{ και}$$

ΕΞΟΔΑ = δόση δανείου + έξοδα λειτουργίας = 11.556.579,24 \$/ year (συνολικά ετήσια έξοδα του πλοίου)

Συγκεντρωτικά είναι:

ύψος δανείου 1 (έτη 1-10) =	97650000 \$
κεφάλαιο πλοιοκτήτη 1 (έτη 1-10) =	41850000 \$
τελική αξία=	3487500 \$
δόση δανείου 1 (έτη 1-10)=	9945868,192 \$/year
δανειακός τόκος=	0,08
διάρκεια μελέτης=	20 years
λειτουργικά έξοδα πλοίου=	1610711,046 \$/year
κόστος ευκαιρίας=	0,12
βάρος ωφέλιμου φορτίου=	113634 tons
ΣWpl=Wpl*trips=	1234065,24
Δόση δανείου 2 (έτη 11-20)	7451474,44 \$/year
ύψος δανείου 2 (έτη 11-20) =	35000000 \$
κεφάλαιο πλοιοκτήτη 2 (έτη 11-20) =	15000000 \$

Το νέο βάρος ωφέλιμου φορτίου  $W_{PL}$  προκύπτει λόγω της αφαίρεσης της μηχανής εσωτερικής καύσης που διέθετε το πλοίο στο πρώτο στάδιο της μελέτης οπότε και οι αντίστοιχες δεξαμενές καυσίμου δεν χρειάζονται πλέον. Συνεπώς, η αφαίρεση των 3194 τόνων καυσίμου (*FUEL & MGO TANKS*) θα προστεθούν στο βάρος ωφέλιμου φορτίου. Να σημειωθεί, πως η αφαίρεση της μηχανής πέρα από την αφαίρεση των αντίστοιχων δεξαμενών καυσίμου οδηγεί στην αφαίρεση πολλών βοηθητικών μηχανημάτων από το μηχανοστάσιο που συνδέονται άμεσα με τις κύριες μηχανές.

Αυτός ο χώρος που προκύπτει μπορεί ενδεχομένως να διατεθεί ως μεταφορικός χώρος αυξάνοντας περαιτέρω την μεταφορική ικανότητα του πλοίου.

Άρα, προκύπτει:

ΕΣΟΔΑ= 14757789,93 \$/ Year (απαραίτητα ετήσια έσοδα ώστε η επένδυση να είναι αδιάφορη)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για να συμφέρει η επένδυση (λειτουργία του πλοίου) πρέπει η ΚΠΑ να είναι θετική, αντιθέτως ΚΠΑ αρνητική σημαίνει ότι η επένδυση δεν αποφέρει κέρδη από τη λειτουργία της ενώ ΚΠΑ ίση με μηδέν η λειτουργία της είναι αδιάφορη αφού δεν προσφέρει κέρδη αλλά ούτε και ζημιώνει.

Κατά επέκταση, τα έσοδα που υπολογίστηκαν είναι το κεφάλαιο χρημάτων που κάνει την επένδυση αδιάφορη.

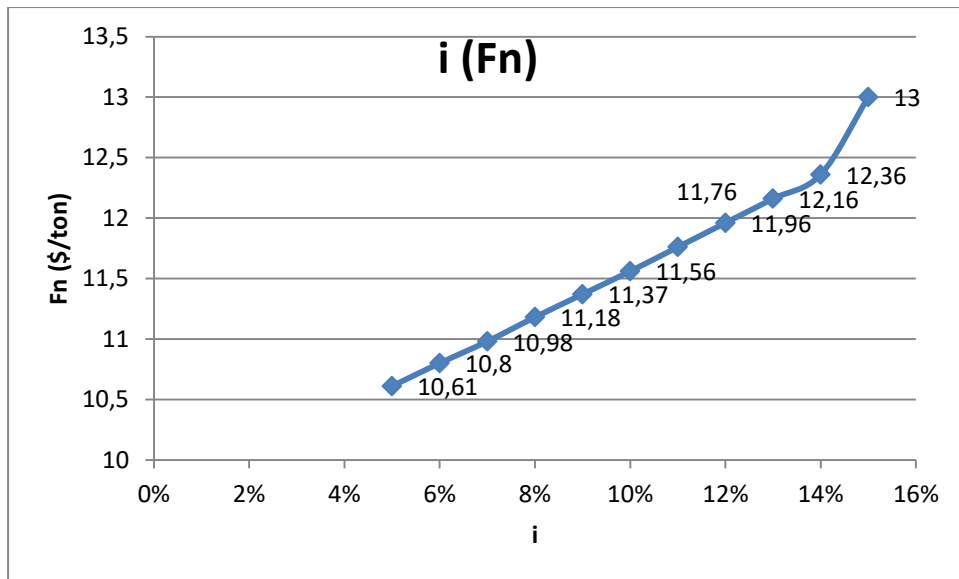
$K_{trip} = \frac{ΕΣΟΔΑ}{TRIPS} = \frac{14757789,93}{10,86} = 1.358.912,52$  \$/trip (απαραίτητα έσοδα ανά ταξίδι ώστε η επένδυση να είναι αδιάφορη)

Άρα, η χρέωση του κάθε τόνου ωφέλιμου φορτίου να ισούται με:

$$F_n = \frac{K_{trips}}{W_{pl}} = \frac{1.358.912,52}{113634} = 11,96 \text{ \$/ton}$$

Αντίστοιχα, για τα υπόλοιπα επιτόκια αναγωγής ο τόνος ωφέλιμου φορτίου θα χρεώνεται ως:

επιτόκιο αναγωγής (i)	$F_n$ (\$/ton)
5%	10,61
6%	10,8
7%	10,98
8%	11,18
9%	11,37
10%	11,56
11%	11,76
12%	11,96
13%	12,16
14%	12,36
15%	13



Είναι εμφανής η διαφορά των χρεώσεων κάθε τόνου ωφέλιμου φορτίου οπότε για αυτό το λόγο το πλοίο με πυρηνικό αντιδραστήρα πρέπει να υιοθετήσει πιο ελκυστικές μεθόδους έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει πιο προσιτό οικονομικά σε ένα μεγαλύτερο εύρος παραγόντων.

Παρόλα αυτά, στις περιπτώσεις όπου οι τιμές των καυσίμων είναι υψηλές η περίπτωση της πυρηνικής πρόωσης, για χαμηλά επιτόκια αναγωγής, είναι πιο οικονομική και συμφέρουσα.

Οι περιπτώσεις όπου αυτό συμβαίνει μπορούν να φανούν στο παρακάτω πίνακα με τα αποτελέσματα των ναύλων για τη συμβατική πρόωση συγκρίνοντας τες με τους αντίστοιχους ναύλους από τη πυρηνική πρόωση.

	i=0,05	i=0,06	i=0,07	i=0,08	i=0,09	i=0,1
fuel price (\$/tn)	F (\$/tn)	F (\$/tn)	F (\$/tn)	F (\$/tn)	F (\$/tn)	F (\$/tn)
400	8,02	8,10	8,18	8,27	8,36	8,45
500	8,53	8,62	8,70	8,79	8,87	8,97
600	9,05	9,13	9,22	9,30	9,39	9,48
700	9,57	9,65	9,74	9,82	9,91	10,00
800	10,09	10,17	10,25	10,34	10,43	10,52
900	10,61	10,69	10,77	10,86	10,95	11,04
1000	11,13	11,21	11,29	11,38	11,47	11,56

	i=0,11	i=0,12	i=0,13	i=0,14	i=0,15
fuel price (\$/tn)	F (\$/tn)	F (\$/tn)	F (\$/tn)	F (\$/tn)	F (\$/tn)
400	8,54	8,64	8,73	8,83	8,93
500	9,06	9,15	9,25	9,35	9,45
600	9,58	9,67	9,77	9,87	9,97
700	10,09	10,19	10,29	10,39	10,49
800	10,61	10,71	10,80	10,90	11,00
900	11,13	11,23	11,32	11,42	11,52
1000	11,65	11,74	11,84	11,94	12,04

## 2.7 ΕΚΜΠΟΜΠΕΣ CO<sub>2</sub> ΚΑΙ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥΣ

Αφού ολοκληρώθηκε η οικονομικό- τεχνική μελέτη στο πρώτο μέρος, σε αυτό το μέρος θα υπολογιστούν τα επιπλέον έξοδα σύμφωνα με τις νεότερες νομοθεσίες για τις εκπομπές αέριων ρύπων. Συγκεκριμένα, έχει υιοθετηθεί η ιδέα ότι ο *ρυπαίνων πληρώνει* και παρόλο που το σύστημα δεν έχει εφαρμοστεί σε παγκόσμιο επίπεδο προβλέπεται στο μέλλον να εφαρμοστεί. Έως τώρα αρκετά κράτη έχουν εισάγει ανάλογα συστήματα όπου χρεώνουν κάθε τόνο διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται λόγω εμπορικών δραστηριοτήτων εντός προκαθορισμένης ζώνης των συγκεκριμένων κρατών. Πρωτεργάτης στη παραπάνω νομοθεσία είναι η Ε.Ε η οποία έχει υιοθετήσει ένα σύστημα όπου οι εταιρείες αναφέρουν τις ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα εντός της επικράτειας της, οι τιμές που αναφέρονται εγκρίνονται από αναγνωρισμένη αρχή και αντίστοιχα η ναυτιλιακή καλείται να πληρώσει το ποσό που της αναλογεί.

Αρκετοί αναγνώστες θα απορούν για το λόγο ύπαρξης μίας τέτοιας μελέτης στα πλαίσια μίας οικονομικό- τεχνικής μελέτης για την εφαρμογή ενός πυρηνικού αντιδραστήρα σε εμπορικό πλοίο. Παρόλα αυτά, οι νέοι κανονισμοί που εφαρμόζονται στην ναυτιλία και όχι μόνο απαιτούν την πληρωμή των εκπομπών ρύπων ως αντισταθμιστικό μέτρο στην περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκαλούν. Αυτό αποτελεί ένα εισαγωγικό μέτρο ώστε οι ιδιοκτήτες να υιοθετούν συνεχώς νέες τεχνολογίες που θα μειώνουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα τους και εν γένει να πληρώνουν όσο επιβαρύνουν. Η πλειονότητα των κρατών είτε έχει εισάγει είτε επιθυμεί να δημιουργήσει ένα σύστημα καταμέτρησης ρύπων ακολουθώντας ένα εκ των δύο κυριότερων μεθόδων χρέωσης τους.

Τα δύο συστήματα είναι:

- Φόρος άνθρακα ( carbon tax)

Αποτελεί ειδικός φόρος ο οποίος επιβάλλεται στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που αφορούν την παραγωγή προϊόντων ή την παροχή υπηρεσιών. Μέσω αυτού του φόρου γίνεται προσπάθεια να γίνει φανερή η τυχόν επιβάρυνση του περιβάλλοντος η οποία μέσω των αυξανόμενων αναγκών κατανάλωσης από τους ανθρώπους δεν

αναγνωρίζεται. Αυτός ο φόρος αυξάνει τις τιμές των προϊόντων και των υπηρεσιών κάνοντας τις μη ελκυστικές στους καταναλωτές και έτσι οδηγούν βιομηχανίες/ εταιρείες αλλά και καταναλωτές να σκέφτονται τις αγορές τους και να επιλέγουν εναλλακτικά προϊόντα ή υπηρεσίες με μικρότερο περιβαλλοντικό σύστημα.

- Σύστημα εμπορίας εκπομπών (emissions trading system)

Το παρόν σύστημα αφορά την πώληση και αγορά δικαιωμάτων εκπομπών ρύπων μεταξύ βιομηχανιών και εταιρειών που παράγουν ρύπους. Κάθε κράτος θέτει ένα όριο εκπομπών αερίων που ποσοτικοποιεί και κατανέμει μεταξύ των εταιρειών/ βιομηχανιών που παράγουν ρύπους (π.χ εργοστάσια ενέργειας, μεταφορές). Στόχος των εταιρειών αυτών είναι να μην ξεπεράσουν το όριο που τους ανατέθηκε διότι αν το περάσουν πρέπει να αγοράσουν δικαιώματα από άλλη εταιρεία η οποία έχει μειώσει τις εκπομπές της και πλεονάζοντα δικαιώματα. Αυτό το σύστημα αν και πιο περίπλοκο, ανάλογα την ζήτηση και προσφορά για τις εκπομπές ρύπων μπορεί να διαμορφώσει ένα υγιές ανταγωνισμό μεταξύ των εταιρειών ώστε να γίνουν πιο καινοτόμες και φιλικές ως προς το περιβάλλον. Παρόλα αυτά, πολλοί περιβαλλοντικοί οργανισμοί επιμένουν στη αυστηροποίηση του πλαισίου για να αποφέρει καλύτερα αποτελέσματα.

Οι κυριότεροι ρύποι που παράγονται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης και επιβαρύνουν με ποικίλους τρόπους το περιβάλλον είναι:

- Διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ )

Ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, βρίσκεται στην ατμόσφαιρα ενώ είναι άοσμο και άχρωμο.

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Αποτέλεσμα της ατελούς καύσης έλλειψης οξυγόνου, επίσης άοσμο και άχρωμο. Σοβαρές επιπτώσεις στον άνθρωπο αφού αναστέλλει την ικανότητα απορρόφησης του οξυγόνου.

- Οξειδία του Αζώτου ( $\text{NO}_x$ )

Τα οξειδία του αζώτου εμφανίζονται σε διάφορες συνδυασμούς αζώτου και οξυγόνου, έχουν έντονη οσμή και ερυθρό- καφέ χρώμα. Είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο της όξινης βροχής ενώ ερεθίζουν το αναπνευστικό σύστημα.

- Οξειδία του Θείου ( $\text{SO}_x$ )

Επίσης συναντάται σε διάφορους συνδυασμούς οξυγόνου και θείου και είναι υπεύθυνα για την όξινη βροχή.

- Αιωρούμενα σωματίδια (PM)

Είναι σωματίδια, αλυσίδες σωματιδίων άνθρακα, τα οποία είναι προϊόν της ατελούς καύσης. Συναντάται από την καύση καυσίμων πετρελαίου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι κάποιοι ρύποι είναι αποτέλεσμα της τέλει καύσης και άλλα της ατελούς καύσης που συμβαίνει αναπόφευκτα στο θάλαμο καύσης της εμβολοφόρας μηχανής εσωτερικής καύσης.

Στη παρούσα φάση θα ληφθούν υπόψη οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του πλοίου της μελέτης για τα έτη 2019,2020 και 2021 όπως παρουσιάζονται στο ανοικτό για το κοινό σύστημα THETIS- MRV. Στο σύστημα THETIS- MRV αναφέρονται οι ετήσιες εκπομπές όπως αναφέρθηκε παραπάνω αλλά με συγκεκριμένες ποσοτώσεις οι οποίες είναι:

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) του πλοίου σύμφωνα με το σύστημα THETIS- MRV είναι:

The screenshot displays the 'Emission Report Details' for an oil tanker. It includes fields for IMO Number, Name, DoC issue date (08/03/2022), Ship type (Oil tanker), Reporting period (2021), DoC expiry date (30/06/2023), and Verifier (DNV GL). The 'Annual monitoring results' tab is active, showing a table of CO2 emissions and fuel consumption.

Parameter	Value
Total fuel consumption	5397.97 m tonnes
Total CO <sub>2</sub> emissions	17117.92 m tonnes
CO <sub>2</sub> emissions from all voyages between ports under a MS jurisdiction	646.81 m tonnes
CO <sub>2</sub> emissions from all voyages which departed from ports under a MS jurisdi...	7594.58 m tonnes
CO <sub>2</sub> emissions from all voyages to ports under a MS jurisdiction	8081.40 m tonnes
CO <sub>2</sub> emissions which occurred within ports under a MS jurisdiction at berth	795.12 m tonnes
Annual Time spent at sea	3723.70 hours

Εικόνα 58. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του πλοίου για το έτος 2021 (πηγή: <https://mrv.emsa.europa.eu/#public/emission-report> )

Emission Report Details	
IMO Number	Name
Ship type	Reporting period
Verifier	DoC issue date
	DoC expiry date
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Ship and Verifier details</span> <span>Monitoring methods</span> <span>Annual monitoring results</span> <span>Voluntary Reporting</span> </div>	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Totals</span> <span>Average energy efficiency</span> </div>	
Parameter	Value
Total fuel consumption	6033.16 m tonnes
Total CO <sub>2</sub> emissions	19115.02 m tonnes
CO <sub>2</sub> emissions from all voyages between ports under a MS jurisdiction	1328.50 m tonnes
CO <sub>2</sub> emissions from all voyages which departed from ports under a MS jurisd...	7220.59 m tonnes
CO <sub>2</sub> emissions from all voyages to ports under a MS jurisdiction	9648.77 m tonnes
CO <sub>2</sub> emissions which occurred within ports under a MS jurisdiction at berth	917.16 m tonnes
Annual Time spent at sea	4107.43 hours
Close	

Εικόνα 59. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του πλοίου για το έτος 2020 (πηγή: <https://mrv.emsa.europa.eu/#public/emission-report> )

Emission Report Details	
IMO Number	Name
Ship type	Reporting period
Verifier	DoC issue date
	DoC expiry date
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Ship and Verifier details</span> <span>Monitoring methods</span> <span>Annual monitoring results</span> <span>Voluntary Reporting</span> </div>	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Totals</span> <span>Average energy efficiency</span> </div>	
Parameter	Value
Total fuel consumption	5666.70 m tonnes
Total CO <sub>2</sub> emissions	17814.68 m tonnes
CO <sub>2</sub> emissions from all voyages between ports under a MS jurisdiction	2273.93 m tonnes
CO <sub>2</sub> emissions from all voyages which departed from ports under a MS jurisd...	6428.05 m tonnes
CO <sub>2</sub> emissions from all voyages to ports under a MS jurisdiction	8139.36 m tonnes
CO <sub>2</sub> emissions which occurred within ports under a MS jurisdiction at berth	973.34 m tonnes
Annual Total time spent at sea	5424.50 hours
Close	

Εικόνα 60. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του πλοίου για το 2019 (πηγή: <https://mrv.emsa.europa.eu/#public/emission-report> )



Αφού αναφέρθηκαν οι ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για λειτουργία του πλοίου εντός της επικράτειας της ΕΕ γίνεται αντιληπτό και το μέγεθος των ρύπων από ένα πλοίο και χωρίς να αφορά τις συνολικές ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αφού το σύστημα THETIS- MRV αφορά μόνο την ΕΕ. Το 2021 αναφέρθηκαν κάτι παραπάνω από 17000 τόνους διοξειδίου του άνθρακα και σύμφωνα με ειδικό υπολογιστικό πρόγραμμα της υπηρεσίας προστασίας του περιβάλλοντος των ΗΠΑ (*United States EPA- Environmental Protection Agency*) αυτό ισούται με τις παρακάτω επιβαρυντικές για το περιβάλλον ανθρώπινες ενέργειες.

This is equivalent to greenhouse gas emissions from:



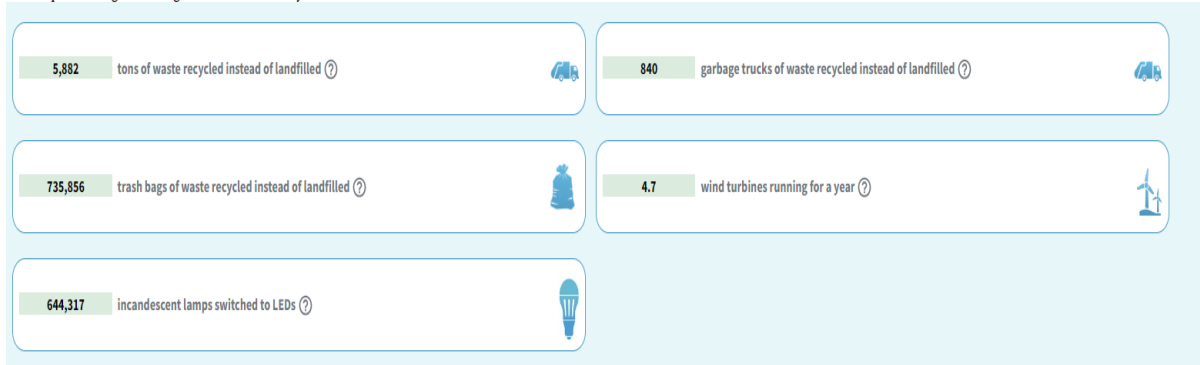
This is equivalent to CO<sub>2</sub> emissions from:



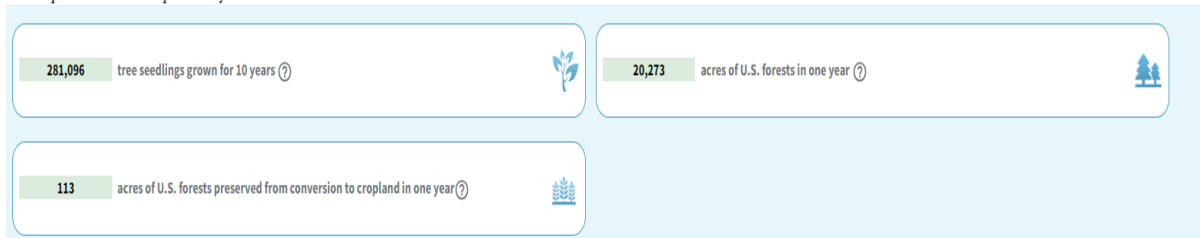
**Εικόνα 61. Η αναλογία της ετήσιας εκπομπής με άλλες ανθρώπινες- επιβαρυντικές δραστηριότητες (πηγή: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator#results>)**

Ενώ οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για το 2021 μπορούσαν να αποφευχθούν από τις αντίστοιχες δραστηριότητες:

This is equivalent to greenhouse gas emissions avoided by:



This is equivalent to carbon sequestered by:

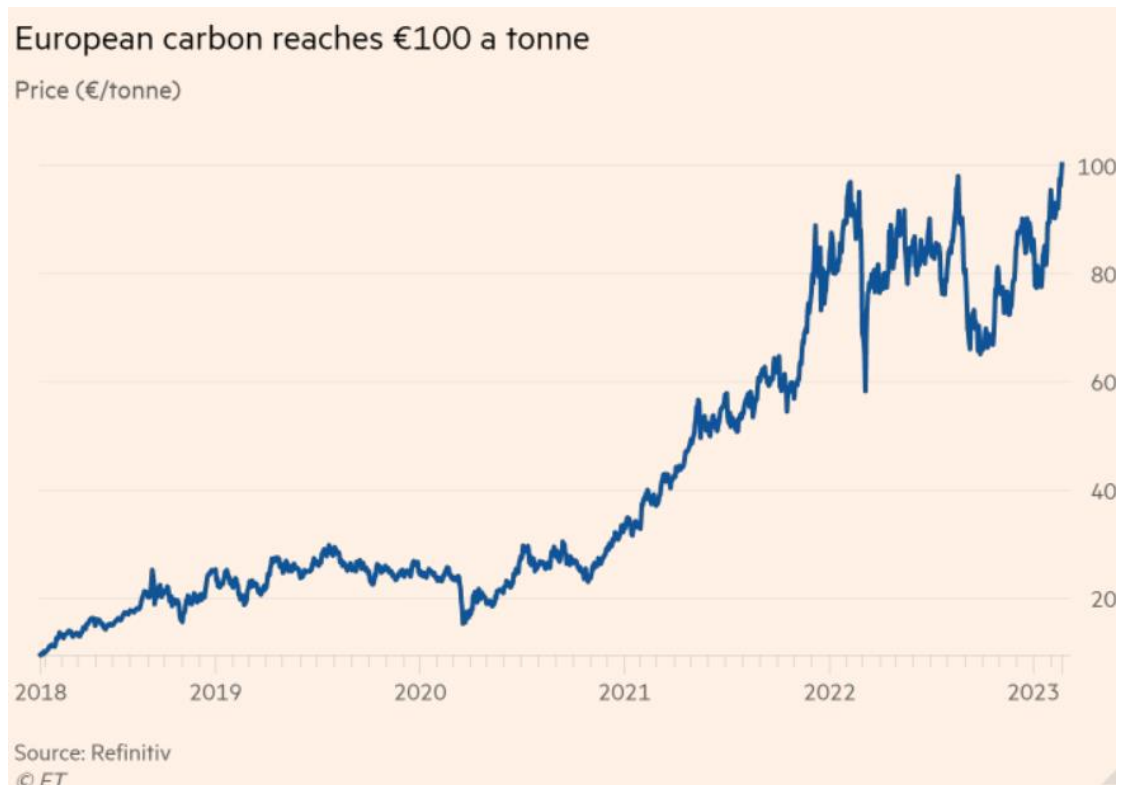


**Εικόνα 62. Η αναλογία της ετήσιας εκπομπής με ανθρώπινες- αποσυμφορητικές δραστηριότητες (πηγή: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator#results> )**

Αφού γίνεται αντιληπτή η επιβάρυνση στο περιβάλλον μόνο από ένα πλοίο και για τα ταξίδια που αφορούσαν την Ευρώπη ή πέρασμα από ύδατα υπό ευρωπαϊκή δικαιοδοσία γίνεται αντιληπτό ότι η πυρηνική πρόωση μπορεί να κάνει την διαφορά.

Προκειμένου να αναδειχθεί η εικόνα της οικονομικής σκοπιμότητας της εφαρμογής πυρηνικού αντιδραστήρα περαιτέρω ανάλογα με τους ρύπους που υπολογίστηκαν και συγκεκριμένα το διοξείδιο του άνθρακα θα υπολογιστεί το κόστος από το φόρο άνθρακα. Αν και ο φόρος άνθρακα δεν είναι ένα ενοποιημένο σύστημα χρέωσης των ρύπων σε παγκόσμιο επίπεδο είναι αρκετά πιθανό να εφαρμοστεί. Όπως με το σύστημα ανταλλαγής εκπομπών που στόχος είναι η μείωση των ρύπων.

Έχοντας υπολογισμένους τους τύπους με τη χρήση μαθηματικών σχέσεων αλλά και από το ευρωπαϊκό σύστημα THETIS- MRV θα υπολογιστεί το κόστος που προκύπτει το οποίο είναι ένα επιπλέον έξοδο για την λειτουργία των πλοίων με συμβατικό κινητήρα (MEK). Αυτό το επιπλέον έξοδο άμα αθροιστεί στα υπολογισμένα έξοδα θα οδηγήσει σε υψηλότερο απαιτούμενο ναύλο ώστε το πλοίο να είναι κερδοφόρο. Λαμβάνοντας αυτό υπόψη, τότε οι ελάχιστοι απαιτούμενοι ναύλοι για τη περίπτωση του πυρηνικού αντιδραστήρα ως μέσο πρόωση θα ήταν ακόμα πιο προσιτοί.



Εικόνα 63. Το κόστος του εκλούμενου τόνου διοξειδίου του άνθρακα στην ΕΕ (πηγή:

<https://www.ft.com/content/7a0dd553-fa5b-4a58-81d1-e500f8ce3d2a> )

Γίνεται αντιληπτό ότι το κόστος εκπομπής ενός τόνου διοξειδίου του άνθρακα τείνει να αυξάνεται συνεχώς πιάνοντας ιστορικά υψηλές τιμές. Συγκεκριμένα, το ταβάνι των 100 ευρώ ανά τόνο αναμένεται να πατηθεί το 2023 και δύσκολα θα πέσει ξανά κάτω από αυτή τη τιμή λόγω της πρωτοβουλίας της ΕΕ να μειώσει τις εκπομπές της σημαντικά και να φτάσει την ουδετερότητα το 2050.

Η τιμή που θα ληφθεί για τον υπολογισμό θα είναι τα 90 ευρώ αν και παρόλο που η μέση τιμή που έχει διαμορφωθεί από το 2018 έως σήμερα είναι αρκετά μικρότερη είναι φυσικό επακόλουθο σταδιακά η τιμή κάθε εκπεμπόμενου τόνου διοξειδίου του άνθρακα να κοστίζει πολύ παραπάνω από 100 ευρώ.

Οπότε, το πλοίο έχοντας εκπέμψει για το 2022 17.117 τόνους διοξειδίου του άνθρακα εντός της ζώνης αρμοδιότητας της ΕΕ θα κληθεί να πληρώσει για τις εκπομπές του.

$$E\Xi_{CO_2} = \text{emissions} * \text{price of ton} = 1.540.530 \text{ €}$$

Η μελέτη μας όμως λαμβάνει ως νόμισμα των συναλλαγών τα δολάρια των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Με την ισοτιμία των δύο νομισμάτων να κυμαίνεται στο ότι 1 ευρώ ισούται με 1,1 \$.

Άρα, το τελικό κόστος που θα κληθεί να πληρώσει η διαχειρίστρια εταιρεία για λειτουργία του πλοίου εντός της ΕΕ ανέρχεται στα 1.694.583 \$ μόνο για το έτος 2022.

Αυτό το πάγιο έξοδο τείνει να αυξάνεται με τα έτη ενώ το ότι είναι πάγιο σημαίνει πως πλέον προκειμένου να παραγγελθεί και να κατασκευαστεί ένα νέο πλοίο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ένα νέο έξοδο θα επιβαρύνει την επίδοση της επένδυσης.

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η πυρηνική πρόωση αποδείχτηκε σε αυτή τη μελέτη ότι παραμένει μία λύση η οποία είναι σίγουρα πράσινη και υπό προϋποθέσεις ελκυστική ως επένδυση. Η πυρηνική πρόωση είναι η λύση η οποία υπόσχεται μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του θείου και αζώτου και σωματίδια αιθάλης δηλαδή η λύση που θα εκμηδενίσει τους ρύπους που εκπέμπονται από την ναυτιλία. Παρόλο που η πυρηνική πρόωση αποτελεί τη μόνη σίγουρη λύση ώστε η ναυτιλία να συναντήσει τους στόχους της για ελάχιστες- μηδενικές εκπομπές παραμένει σταθερή η στήριξη στα ορυκτά καύσιμα και στα εναλλακτικά καύσιμα. Τεράστια κεφάλαια δίνονται για την υποστήριξη αυτών των τεχνολογιών και στην δημιουργία νέων καυσίμων που θα τηρούν τους συνεχώς αυστηρότερους κανονισμούς. Από την εποχή του μαζούτ έχουμε φτάσει στη ύπαρξη πολλαπλών ορυκτών καυσίμων που διαθέτουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και περιεκτικότητες. Στην αντίπερα όχθη υπάρχουν τα εναλλακτικά καύσιμα όπως η μεθανόλη, η αμμωνία και το υδρογόνο που εν γένει βρίσκονται σε πρώιμο πειραματικό στάδιο και απομένουν ακόμα πολλαπλά ζητήματα για να επιλυθούν με το πιο απλό να είναι η αποθήκευση, μεταφορά και ασφαλή χρήση τους.

Έχοντας θέσει ως στόχο αυτές τις λύσεις αρκετοί κατασκευαστές ναυτικών μηχανών έχουν προσηλωθεί στην περαιτέρω ανάπτυξη των συμβατικών μηχανών τους σε σημείο που πλοία πλέον εφοδιάζονται με κινητήρες διπλού καυσίμου και σε αρκετές περιπτώσεις κινητήρες διπλού καυσίμου αλλά με το δεύτερο καύσιμο να φέρει την επιγραφή (*Ammonia ready, methanol ready*) το οποίο σημαίνει πως εφόσον και όταν αυτά τα εναλλακτικά καύσιμα είναι έτοιμα για χρήση τότε η ναυτική μηχανή μπορεί να το κάψει.

Η πυρηνική ενέργεια αντιθέτως αξιοποιείται εδώ και δεκαετίες με περίπου 700 αντιδραστήρες να έχουν κριθεί επιχειρησιακοί και να έχουν λειτουργήσει στη θάλασσα με περίπου 100 από αυτούς να είναι ενεργοί τώρα. Δηλαδή έχει υπάρξει και υπάρχει συνεχής ανάπτυξη των αντιδραστήρων. Ο στρατιωτικός σκοπός της αποτέλεσε ιδανικό χώρο για ανάπτυξη τους αλλά πλέον ο ιδιωτικός τομέας μπορεί να προσφέρει παραπάνω εφόσον διαθέτει τα κεφάλαια. Ενδοιασμοί στη χρήση της πυρηνικής ενέργειας υπάρχουν αλλά μπορούν να ξεπεραστούν με την κατάλληλη

νομοθεσία και ενημέρωση. Το νούμερο ένα πρόβλημα όμως παραμένει το υψηλό κόστος απόκτησης ενός αντιδραστήρα, η ανάγκη ύπαρξης ενός τεράστιου κεφαλαίου για την αγορά αποθαρρύνει τους πλοιοκτήτες διότι ούτε διαθέτουν το ποσό καθεαυτό αλλά και οι διάφοροι δανειστές (π.χ. τράπεζα, P&I clubs) δεν θα στηρίξουν εύκολα ένα τέτοιο εγχείρημα λόγω της επικινδυνότητας/ ρίσκου της επένδυσης.

Συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας ανέδειξαν ότι:

- Η πυρηνική πρόωση είναι ελκυστική επένδυση αν συνδυαστεί με τη πώληση ηλεκτρικού ρεύματος στο χερσαίο εθνικό δίκτυο που βρίσκεται προσφέροντας επιπλέον κέρδη στην ναυτιλιακή και χαμηλότερα ναύλα στους ναυλωτές. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις όπως οι Ευρωπαϊκές χώρες όπου η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος είναι υψηλή, η παρουσία πυρηνοκίνητων πλοίων θα βοηθούσε τα εθνικά κράτη να αγοράσουν ηλεκτρικό ρεύμα κατευθείαν από ιδιώτη, να κλείσει ιδιαίτερα κοστοβόρες και ρυπογόνες μονάδες παραγωγής ενέργειας ενώ παράλληλα ενισχύει τον ανταγωνισμό μεταξύ των εταιρειών παραγωγής ενέργειας για πώληση του ηλεκτρικού ρεύματος σε χαμηλές τιμές.
- Η πυρηνική πρόωση και συγκεκριμένα η αξιοποίηση της τεχνολογίας SMR μπορεί να συνδυαστεί με σημαντική μείωση του προσωπικού του μηχανοστασίου αφού η αυτοματοποίηση που παρουσιάζουν οι συγκεκριμένοι αντιδραστήρες δεν έχει ανάγκη παρουσίας πολλών ανθρώπων. Η αυτοματοποίηση δεν απαιτεί τον συνεχόμενο έλεγχο που υπάρχει τώρα στις συμβατικές μηχανές και του εξοπλισμού που τις συνοδεύει. Ο αριθμός των μηχανικών μπορεί να μειωθεί οπότε από τη πρώτη μέρα μειώνονται τα έξοδα λειτουργίας του πλοίου.
- Το μικρό μέγεθος των αντιδραστήρων SMR, (1.5m x 2.5m) στη περίπτωση μας, μαζί με τις μικρότερες απαιτήσεις για το συνοδευτικό εξοπλισμό που απαιτείται για την λειτουργία τους οδηγούν σε μικρότερες απαιτήσεις για το χώρο του μηχανοστασίου. Το μηχανοστάσιο καταλαμβάνει ένα υπολογίσιμο χώρο του πλοίου το οποίο θα μπορούσε να αποδοθεί στην μεταφορά του εμπορεύματος. Επιπροσθέτως, η αφαίρεση των δεξαμενών καυσίμου που ανέρχονται σε χιλιάδες τόνους μπορεί να απελευθερώσει ακόμα περισσότερο χώρο ο οποίος με τη σειρά του μπορεί να αποδοθεί στη μεταφορά εμπορεύματος. Μελέτη της εταιρείας *CORE POWER* η οποία κατασκευάζει πυρηνικούς αντιδραστήρες τύπου SMR και συγκεκριμένα Molten Salt Reactor έδειξε ότι σε πλοίο μεταφοράς χύδην φορτίου 180.000 dwt η τοποθέτηση πυρηνικού αντιδραστήρα οδηγεί σε αφαίρεση των δεξαμενών καυσίμου (2000 τόνων) και στην αύξηση της μεταφορικής ικανότητας του πλοίου κατά 5%. Η αύξηση του ωφέλιμου χώρου και η αξιοποίηση του για μεταφορά επιπλέον εμπορεύματος μεταφράζεται σε επιπλέον κέρδη εκατομμυρίων σε βάθος χρόνου παράλληλα με την εκμηδένιση ποικίλων εξόδων λειτουργίας όπως τα καύσιμα και σε ένα βαθμό της συντήρησης/ επισκευής. Αντίστοιχη μελέτη δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί στη παρούσα εργασία λόγω έλλειψης σχετικών πληροφοριών για τον πυρηνικό αντιδραστήρα και τον υπάρχοντα

εξοπλισμό του πλοίου της μελέτης. Αλλά, ένα ποσοστό χώρου θα μπορούσε να αποδοθεί στη μεταφορά εμπορεύματος, το οποίο εφόσον λαμβάνονταν υπόψη στο σύνολο του τότε θα ενίσχυε τα κέρδη στη περίπτωση της πυρηνικής πρόωσης με αποτέλεσμα χαμηλότερους απαιτούμενους ναύλους και χαμηλότερες τιμές πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος. Η αφαίρεση των δεξαμενών καυσίμου παρόλα αυτά προστέθηκε στον ωφέλιμο χώρο με αναλογία ένα προς ένα τόνο.

- Η εφαρμογή του φόρου άνθρακα αποτελεί ένα μεγάλο πονοκέφαλο για τις ναυτιλιακές αφού καλούνται να πληρώσουν αδρά για τις εκπομπές ρύπων που ο στόλος της παράγει. Ειδικά σε χώρες όπως της ευρωπαϊκής ένωσης τα έξοδα αυξάνονται σημαντικά και τείνουν να αυξάνονται συνεχώς δημιουργώντας ένα νέο πάγιο έξοδο. Αυτή η αύξηση των λειτουργικών εξόδων στις ναυτιλιακές μπορεί σε ένα βαθμό να αντιμετωπιστεί από τα νέα σχέδια μηχανών και καυσίμων που παρουσιάζονται, όμως δεν πρόκειται να εξαλείψουν, αλλά μόνο να μειώσουν, αυτό το νέο πάγιο έξοδο. Αυτή η αύξηση λοιπόν, αναπόφευκτα οδηγεί σε αυξημένες τιμές που καταλήγουν εν τέλει στους καταναλωτές. Οι τωρινές εποχές είναι ιδιαίτερα εύθραυστες λόγω της ενεργειακής κρίσης και της παγκόσμιας αύξησης των τιμών των αγαθών οπότε η περαιτέρω αύξηση οδηγεί σε σοβαρές αναταράξεις. Λαμβάνοντας αυτά υπόψη, η πυρηνική πρόωση μπορεί να λειτουργήσει πλήρως σε περιοχές με αυστηρούς περιβαλλοντικούς περιορισμούς είτε αυτά λέγονται φόρος άνθρακα είτε ECA & SECA ζώνες. Αυτή η ελευθερία κινήσεων μπορεί να οδηγήσει στο μετριασμό της αύξησης των τιμών των αγαθών και αν συνδυαστεί με το reverse cold ironing να συνδράμει στη μείωση των τιμών.
- Η πυρηνική πρόωση συμφέρει σε συγκεκριμένους τύπους πλοίων που πληρούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Δύο είναι τα κυριότερα χαρακτηριστικά αυτών των πλοίων, το μεγάλο μέγεθος τους το οποίο μεταφράζεται ως μεγάλη χωρητικότητα και η ανάγκη ύπαρξης δρομολογίου μεγάλης απόστασης διότι ένα πλοίο που πρέπει να καλύψει μεγάλες αποστάσεις απαιτεί μεγάλες ποσότητες καυσίμου και ενδεχομένως ενδιάμεσο ανεφοδιασμό το οποίο μεταφράζεται σε απρόοπτα έξοδα επιρρεπή σε περιττά έξοδα που θα μπορούσαν με σωστό προγραμματισμό να αποφευχθούν, καθυστερήσεις και αποκλίσεις από το δρομολόγιο. Καθένα από αυτά, μεταφράζεται είτε σε αύξηση των εξόδων είτε σε μείωση των εσόδων. Τα πυρηνοκίνητα πλοία δεν εμπίπτουν σε τέτοια λειτουργικά κωλύματα, αλλά παρόλο της υψηλής επένδυσης που απαιτούν οι αντιδραστήρες, πλοία με μεγάλη ωφέλιμη χωρητικότητα μπορούν να αποσβέσουν εύκολα αυτά τα έξοδα.
- Η περίπτωση των εναλλακτικών καυσίμων παρότι είναι ιδιαίτερος ελκυστική και απαραίτητη για την ύπαρξη πολλαπλών λύσεων βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές ναυτικών μηχανών έχουν ήδη παρουσιάσει σχέδια μηχανών έτοιμα να χρησιμοποιούν ως καύσιμο τα εναλλακτικά καύσιμα αλλά τα καύσιμα αυτά ακόμα δεν είναι έτοιμα για

εφαρμογή. Υπάρχουν διάφορα προβλήματα που αφορούν κυρίως την αποθήκευση τους, τη λειτουργία τους, τον ανεφοδιασμό τους με ασφάλεια αλλά και τη γενική έλλειψη των εγκαταστάσεων αποθήκευσης τους σε λιμένες και όχι μόνο. Άρα υπάρχει ακόμα ανάγκη για μεγαλύτερη σε βάθος χρόνου μελέτη τους. Οι στόχοι όμως του IMO αρχίζουν και πιέζουν ασφυκτικά τις εταιρείες του τομέα. Η συνεχής υιοθέτηση νέων κανονισμών σχετικά τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος έχει δημιουργήσει μία αναστάτωση για την εξεύρεση λύσης. Συγκεκριμένα, ο IMO υιοθέτησε ως στόχο τη μείωση τις εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά 40% έως το 2030 και κατά 70% έως το 2050. Τέτοιοι φιλόδοξοι στόχοι δύσκολα μπορούν να γίνουν πραγματικά και απαιτούν υψηλά κεφάλαια σε επενδύσεις για τις νέες τεχνολογίες. Ταυτόχρονα, για τις μικρότερες εταιρείες που δεν διαθέτουν το απαραίτητο κεφάλαιο θα απειληθεί η ύπαρξη τους αν αναλογιστεί ότι τα ρυπογόνα πλοία θα πληρώνουν για τις εκπομπές τους και σε κάποιες περιοχές ενδεχομένως δε θα μπορούν να λειτουργούν τα πλοία τους. Κρίνοντας ότι, οι διάφορες τεχνολογίες που αφορούν τη βελτιστοποίηση (*Optimization*) όπως το *air lubrication*, *voyage optimization*, *propeller*, *hull design* και άλλα συνεισφέρουν προς το στόχο αλλά δεν το φτάνουν. Συγκριτικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ερωτηματολογίου της κατασκευαστικής εταιρείας MAN όπου εργαζόμενοι της ναυτιλίας ρωτήθηκαν για το πότε θεωρούν ότι οι κανονισμοί θα έχουν σοβαρό αντίκτυπο στο τομέα της ναυτιλίας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω ενώ τα αποτελέσματα της έρευνας μπορεί να τα δείτε στο σύνδεσμο: <https://www.man-es.com/marine/strategic-expertise/future-fuels> ).

IV. Asking when emissions regulations will have the greatest impact on businesses, most respondents consider 2030 to be the most challenging year. This may indicate that many companies have their intermediate targets for 2030.

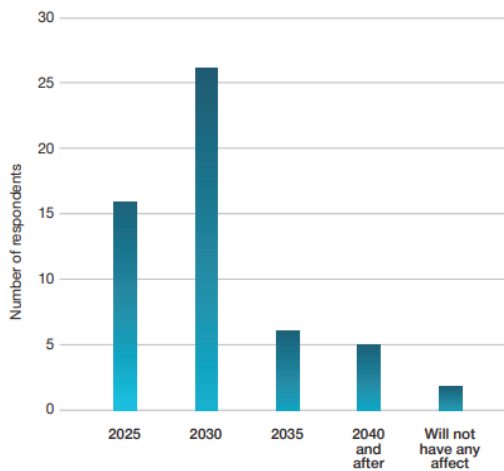


Figure 4: Results for question "When do you expect emissions regulations to significantly affect your business?"

**Εικόνα 64. Τα αποτελέσματα στην ερώτηση για το πότε οι κανονισμοί για τις εκπομπές θα έχουν το μεγαλύτερο αντίκτυπο στη ναυτιλία (πηγή: <https://www.man-es.com/marine/strategic-expertise/future-fuels> )**

- Το κυριότερο πρόβλημα για την εφαρμογή του πυρηνικού αντιδραστήρα στη ναυτιλία είναι το υψηλό κόστος αγοράς παρόλο που τα λειτουργικά έξοδα μειώνονται σημαντικά σε βαθμό που σε βάθος χρόνου η επένδυση είναι ελκυστικά οικονομικά σε αρκετές περιπτώσεις. Το υψηλό κόστος αγοράς αφορά το CAPEX έξοδο ενώ τα λειτουργικά έξοδα το OPEX και παρόλο που φαίνεται παράξενο είναι σύνηθες όταν μία νέα επένδυση απαιτεί ένα μεγάλο κεφάλαιο στην αρχή να μην προτιμάται, όταν ειδικά υπάρχουν ενδεχομένως εναλλακτικές λύσεις οι οποίες όμως σε βάθος χρόνου καταλήγουν πιο δαπανηρές. Αυτό αφορά ότι το υψηλό κόστος αγοράς απαιτεί αρκετά μεγάλο κεφάλαιο στην αρχή και έρχεται μαζί με το αντίστοιχο ρίσκο της επένδυσης που στη περίπτωση μας φαίνεται από το υψηλό κόστος των πυρηνικών αντιδραστήρων. Στην αντίπερα όχθη οι συμβατικές μηχανές είναι πιο οικονομικές και σίγουρα έχουν την αξιοπιστία τους λόγω της εφαρμογής τους τόσα χρόνια αλλά σε βάθος χρόνου με τα καθημερινά έξοδα λειτουργίας OPEX (καύσιμα, λιπαντικά, συντήρηση, επισκευή, επάνδρωση, αναλώσιμα) καταλήγει στο τέλος της επένδυσης να είναι ασύμφορη συγκριτικά με τη πυρηνική πρόωση. Για να γίνει αντιληπτό το μέγεθος των εξόδων που προκύπτουν αποκλειστικά από το κόστος του καυσίμου για τη περίοδο λειτουργίας του πλοίου θα γίνει ο υπολογισμός.

$$E_{\text{fuel}20} = V \times FC \times CF \times DY \times Y$$

Όπου:

$E_{\text{fuel}20}$ , το κόστος των καυσίμων για περίοδο 20 ετών



$V=1$ , ο αριθμός των πλοίων που υπολογίζουμε

$FC= 41.5 \text{ ton/day}$ , η ημερήσια κατανάλωση καυσίμου για τη μηχανή του πλοίου

$CF= 600\$/\text{tn}$ , η τιμή του κάθε τόνου πετρελαίου

$DY= 365 \text{ days/year}$ , οι μέρες λειτουργίας του πλοίου

$Y= 20$ , η περίοδος λειτουργίας του πλοίου

Λαμβάνοντας αυτούς τους παράγοντες υπόψη, μπορούμε να αποκομίσουμε μία ενδεικτική τιμή του μεγέθους των εξόδων για το καύσιμα καθόλη τη διάρκεια της οικονομικής ζωής του πλοίου στη μελέτη μας. Η τιμή αυτή είναι ενδεικτική και δεν αντικατοπτρίζει τη πραγματικότητα αφού κάποιες από τις παραπάνω συνιστώσες δεν είναι σταθερές στη πραγματικότητα όπως οι μέρες λειτουργίας του πλοίου ετησίως, το κόστος του καυσίμου ανά τόνο ενώ και οι πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ενός πλοίου σε μία ναυτιλιακή όπως οι ανάγκες για επιτάχυνση για να είναι στην ώρα του στο προορισμό (*speed up*) ή σε προγραμματισμένες επιβραδύνσεις (*slow down*).

$E\Xi_{\text{fuel}_{20}}= 181.770.000 \$$

Το κόστος αποκλειστικά για καύσιμα για 20 έτη λειτουργίας του πλοίου όταν για τη περίπτωση της πυρηνικής πρόωσης με δύο πυρηνικούς αντιδραστήρες χωρίς ανάγκες για ανεφοδιασμό ανέρχεται στα 100 εκατομμύρια \$.

Λαμβάνοντας υπόψη όλες αυτές τις πληροφορίες, η πυρηνική ενέργεια είναι μία λύση η οποία μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα στην εμπορική ναυτιλία και υπό προϋποθέσεις να συνεισφέρει και τις χώρες με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, πρακτικά να στηρίζει τα κράτη να φτάσουν τους ατομικούς στόχους τους για μείωση των εκπομπών.

## ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η παραπάνω μελέτη ανέδειξε σε πρωταρχικό στάδιο ότι η πυρηνική ενέργεια παραμένει στο επίκεντρο και θα παραμείνει επ'αόριστον λόγω της δυνατότητας να παράσχει ενέργεια χωρίς περιορισμούς ενώ οι εκπομπές ρύπων εκμηδενίζονται. Η διαχείριση των αποβλήτων δηλαδή των πυρηνικών καυσίμων που δεν δύναται να αξιοποιηθούν περισσότερο παραμένει κύριο θέμα συζήτησης αλλά με την ακατάπαυστη εξέλιξη της τεχνολογίας η αξιοποίηση του πυρηνικού καυσίμου βελτιώνεται και τα απόβλητα παραμένουν ραδιενεργά σε ανησυχητικό επίπεδο για μικρότερες χρονικές περιόδους. Ο φόβος που εκδηλώνει η κοινωνία ενώ είναι εύλογη έχει διαμορφωθεί σε άλλες εποχές όπου και η τεχνολογία και ενδεχομένως ο ανθρώπινος παράγοντας δεν ήταν τόσο προχωρημένα. Παρόλα αυτά, όπως σε κάθε τεχνολογικό τομέα η ύπαρξη ατυχημάτων/ δυστυχημάτων οδήγησε στην ανάπτυξη νέων νόμων και κανονισμών που λειτουργούσαν ως δικλίδες ασφαλείας. Για τη

στήριξη της παραπάνω πρότασης θα παρατεθούν χαρακτηριστικά παραδείγματα ατυχημάτων/ δυστυχημάτων στη ναυτιλία που οδήγησαν στη σημερινή εικόνα της.

- Τιτανικός (1912) → SOLAS (Safety Of Life At Sea)
- Torrey Canyon (1967) → OPRC (Oil Pollution Preparedness, Response and Co- operation)
- Amoco Cadiz (1978) → International on Civil Liability for Oil Pollution Damage
- Herald of Free Enterprise (1987) → new regulations for RO/RO ferries
- Exxon Valdez (1989) → Oil Pollution Act of 1990 for U.S waters
- Erika (1999) → EMSA (European Maritime Safety Agency)
- Costa Concordia (2012) → New regulations for on board safety drills



Εικόνα 65. Γνωστά ναυτικά ατυχήματα και οι διεθνείς κανονισμοί που προέκυψαν (πηγή:

<https://www.facebook.com/marineinsight/photos/a.324659590891166/4796703810353366/?type=3> )

Αυτά είναι μόνο λίγα από τα αρκετά ναυτικά δυστυχήματα που έχουν υπάρξει μέσα στα χρόνια και οδήγησαν σε σημαντικές αλλαγές στους διεθνείς κανονισμούς ή που οδήγησαν στη δημιουργία τους.

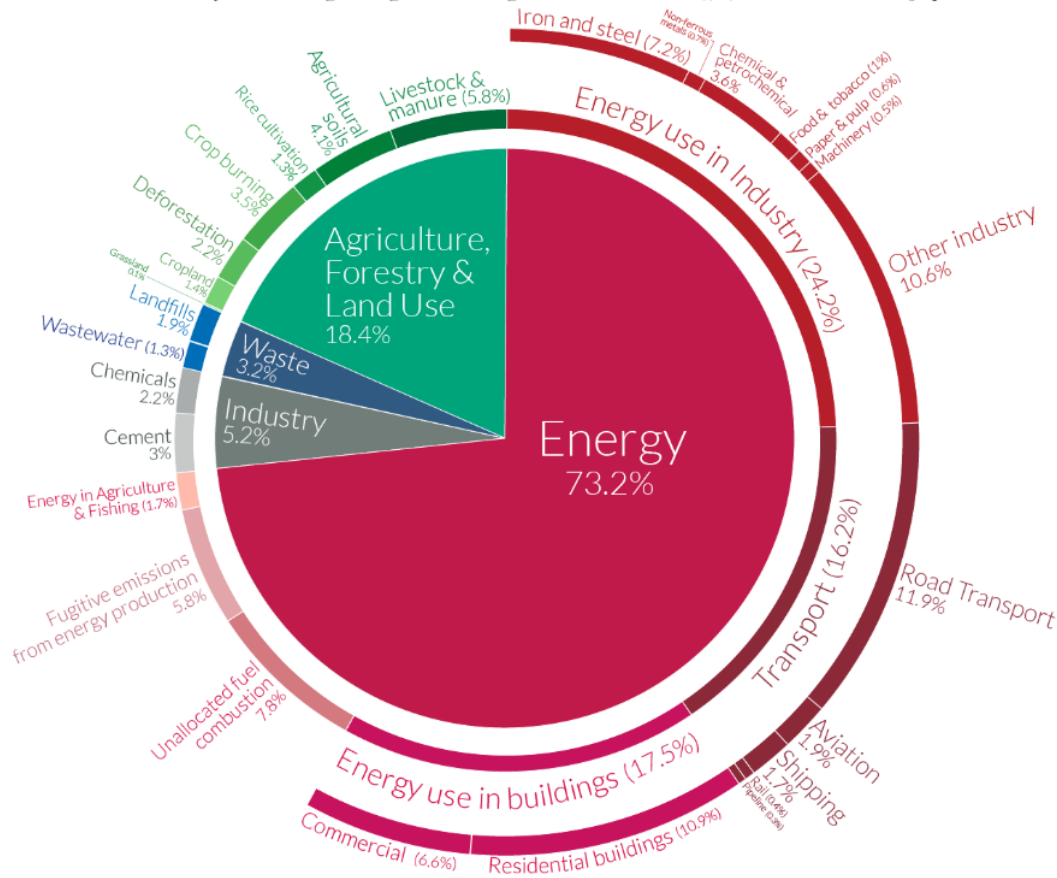
Συνεπώς, η πυρηνική ενέργεια αντίστοιχα έχει «διδασχθεί» από το παρελθόν της ενώ με τη συνεχή πρόοδο στη τεχνολογία η αυτοματοποίηση των συστημάτων και η απουσία της επίδρασης του ανθρώπινου παράγοντα μπορούν να μειώσουν έως και εξαλείψουν τα ατυχήματα/ δυστυχήματα.

Λαμβάνοντας αυτά υπόψη, η πρώτη σημαντική πρόταση που εξάγεται είναι η ανάγκη δημιουργίας εκστρατείας ενημέρωσης και εκπαίδευσης της κοινωνίας. Η παροχή όλων των πληροφοριών που χρειάζονται ώστε να αναδειχθεί η συνεισφορά της πυρηνικής πρόωσης για τη δημιουργία και καθιέρωση μίας πράσινης και βιώσιμης ναυτιλίας η οποία θα μειώσει αισθητά όχι μόνο το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της και το μερίδιο που της αναλογεί παγκοσμίως αλλά και σε ένα βαθμό τους ρύπους που παράγονται από τη χερσαία παραγωγή ενέργειας.

# Global greenhouse gas emissions by sector

Our World in Data

This is shown for the year 2016 – global greenhouse gas emissions were 49.4 billion tonnes CO<sub>2</sub>eq.



OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems. Source: Climate Watch, the World Resources Institute (2020). Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (2020).

Εικόνα 66. Η συμβολή της ναυτιλίας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (πηγή: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector> )

Μία δεύτερη πρόταση έπεται από τη συγγραφή της παρούσης εργασίας είναι ότι η πυρηνική πρόωση δείχνει σε προκαταρκτικό επίπεδο μελέτης να μην υιοθετείται το άμεσο μέλλον. Αντιθέτως, φαίνεται ότι θα υιοθετηθεί με μία άλλη μορφή και αυτή είναι των πλωτών εργοστασίων παραγωγής ενέργειας. Αυτή η εφαρμογή αφορά στη κυριολεξία τη δημιουργία πλωτών πυρηνικών εργοστασίων τα οποία θα παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα και θα τροφοδοτούν τα εθνικά συστήματα. Η αρχή έγινε από την Ρωσία με το πλωτό πυρηνικό εργοστάσιο Akademik Lomonosov ενώ τη σήμερα πολλές χώρες έχουν ανακοινώσει τη δημιουργία αντίστοιχων πλωτών πυρηνικών εργοστασίων ή την επιθυμία τους δημιουργία. Η παρούσα ιδέα μπορεί κάλλιστα να αναδείξει την εικόνα της πυρηνικής ενέργειας, να αναδείξει τη δύναμη της να παράγει ρεύμα για ακόμα και εκατομμύρια νοικοκυριά ενώ είναι σε πλωτό μέσο και παράλληλα να αναδειχτούν τα ενισχυμένα συστήματα ασφάλειας που κάνουν τα ατυχήματα τη σήμερα ημέρα σχεδόν ακατόρθωτα. Αυτή η απόπειρα θα μπορούσε να κερδίσει εκ νέου τη κοινή γνώμη για τη πυρηνική ενέργεια και επιτέλους να δώσει την απαραίτητη δυνατότητα για επέκταση της στη ναυτιλία.

Σχετικά με τους πλωτούς πυρηνικούς σταθμούς πέρα από τη Ρωσία, η Κίνα, η Νότια Κορέα, η Ινδονησία και οι ΗΠΑ έχουν ξεκινήσει τη κατασκευή ή επιθυμούν τη κατασκευή τους, ενώ μεγάλα ονόματα της ναυτιλίας όπως μεγάλοι νηογνώμονες (BV, LR, ABS, NK) και ναυπηγεία έχουν αρχίσει να συνεργάζονται με μεγάλους κατασκευαστές πυρηνικών αντιδραστήρων για να δουλέψουν από κοινού για τους πλωτούς πυρηνικούς αντιδραστήρες.

Ένα άλλο κομμάτι που επηρεάζει την ανάπτυξη της πυρηνικής πρόωσης και εφαρμογής της στην εμπορική ναυτιλία είναι η απουσία της νομοθεσίας. Η ναυτιλία διαθέτει ένα ευρύ νομοθετικό περιεχόμενο ως κανονισμούς, νόμους, συστάσεις, προτάσεις κλπ. που ουσιαστικά απαιτούν οποιαδήποτε ναυτιλιακή δραστηριότητα να πραγματοποιείται βάση αυτών των πλαισίων. Η απουσία αυτής της σχετικής νομοθεσίας αποκλειστικά για τα πυρηνοκίνητα πλοία αποτελεί τροχοπέδη για τη περαιτέρω ανάπτυξη της. Χωρίς τη σχετική νομοθεσία πρακτικά η πυρηνική πρόωση δεν εφαρμόζεται αφού δεν υπάρχουν οι κανονισμοί που να διασφαλίζουν την ορθή λειτουργία σε πολλαπλά κομμάτια όπως η ασφάλεια, η λειτουργία του αντιδραστήρα, οι απαιτήσεις για επάνδρωση, η συνεισφορά των νηογνώμωνων, η διαχείριση του φορτίου κλπ. Παρόλα αυτά, να αναφερθεί ότι έχουν δημιουργηθεί κανονισμοί που αναφέρουν τα πυρηνοκίνητα σκάφη και παρέχουν τις σχετικές οδηγίες ανάλογα το αντικείμενο που καλύπτουν, οπότε η δημιουργία του συνόλου της νομοθεσίας δεν είναι ακατόρθωτη αν και απαιτείται η επικαιροποίηση τους ή έστω να παρουσιαστούν και να δοθούν νέες κατευθυντήριες γραμμές λαμβάνοντας υπόψη τη τεχνολογική πρόοδο που έχει υπάρξει. Το σχετικό παράδοξο στο κενό των κανονισμών φαίνεται και από το γεγονός ότι ένα πυρηνοκίνητο πλοίο χωρίς τον αντιδραστήρα, είναι και αντιμετωπίζεται σαν οποιοδήποτε υπάρχων πλοίο emπίπτοντας στους υπάρχοντες κανονισμούς. Το έλλειμμα κανονισμών συνεπώς επικεντρώνεται στη ύπαρξη ενός πυρηνικού αντιδραστήρα εντός του πλοίου. Οι νόμοι που συγγράφηκαν το προηγούμενο αιώνα αναφέρουν μόνο τους αντιδραστήρες σχάσης πεπεσμένου ύδατος (PWR) όταν πλέον η αγορά έχει παρουσιάσει υπερσύγχρονα και πρωτοποριακά σχέδια τα οποία καμία σχέση δεν έχουν με τους αναφερθέντες αντιδραστήρες. Κανονισμοί που κάνουν αναφορά στη πυρηνική πρόωση είναι:

- *Code of Conduct on the Safety of Maritime Radiological Sources by IAEA*
- *IMO's Safety of Life at Sea (SOLAS)*
- *IMO's Convention for the Prevention of Maritime Pollution (MARPOL)*
- *International Convention on Liability and Compensation for Damage in Connection with the Carriage of Hazardous and Noxious Substances by Sea (HNS Convention)*
- *United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS)*
- *Protocols to the Treaty on the Non- Proliferation of Nuclear Weapons (NPT)*

Η παρουσίαση της ασφαλείας των σημερινών πυρηνικών αντιδραστήρων, οι διαφορές με τους αντιδραστήρες του παρελθόντος και η πραγματοποίηση πολλαπλών δοκιμών με αυστηρές προϋποθέσεις ώστε να παρομοιάζεται και να αντικατοπτρίζονται κατά το

δυνατό οι δύσκολες και απρόοπτες συνθήκες της θάλασσας. Με αυτό τον τρόπο πέρα από την αποκόμιση σημαντικών πληροφοριών για τη διασφάλιση της συνεχούς ανάπτυξης θα κερδηθεί και η εμπιστοσύνη της κοινωνίας.

Η παροχή κινήτρων για την ανάπτυξη της πυρηνικής τεχνολογίας και των εφαρμογών είναι ένα μέτρο που θα μπορούσε να οδηγήσει στη σταδιακή αξιοποίηση της σε άλλους τομείς πέρα από τη παραγωγή ενέργειας. Η παροχή κινήτρων με τη μορφή επιδοτήσεων και φοροαπαλλαγών από κυβερνήσεις, η ενίσχυση από τον ιδιωτικό τομέα, η δημιουργία ενός εύφορου πεδίου για έρευνα και ανάπτυξη είναι ένα απαραίτητο στοιχείο. Παρόλα αυτά, μεγάλοι ιδιωτικοί οργανισμοί αρχίζουν και επενδύουν κεφάλαια στην ανάπτυξη της πυρηνικής τεχνολογίας ενώ αρκετά κράτη δημιουργούν ή επικαιροποιούν τις νομοθεσίες τους σχετικά με τη πυρηνική τεχνολογία.

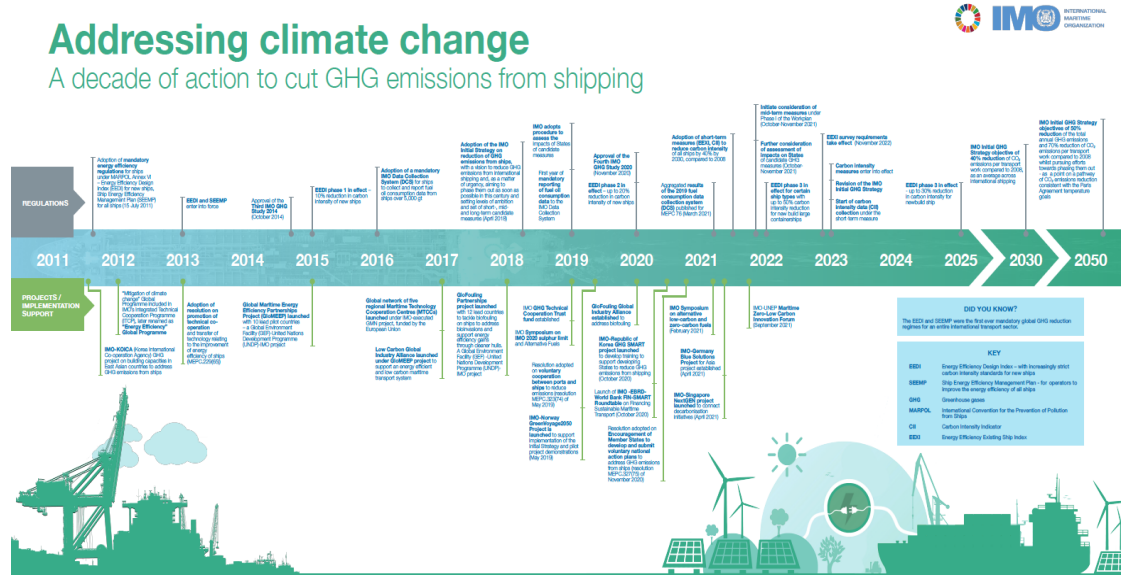
Η παροχή κινήτρων από κυβερνήσεις και οργανισμούς συνάμα με την βοήθεια του ιδιωτικού τομέα με ιδιωτικά κεφάλαια μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του κεφαλαίου για τη σχετική επένδυση από δυνητικούς αγοραστές. Το υψηλό κεφάλαιο που απαιτείται για την αγορά ενός πυρηνικού αντιδραστήρα λειτουργεί ως τροχοπέδη για την εφαρμογή. Επιβαρυντικά λειτουργεί και το σχετικό ρίσκο της επένδυσης παράλληλα με την απουσία σχετικής γνώσης (*know-how*) για την λειτουργία τους. Συνεπώς, η στήριξη της πυρηνικής τεχνολογίας με κεφάλαια που στοχεύουν στην έρευνα και ανάπτυξη, θα οδηγήσουν σε μείωση του κεφαλαίου που απαιτείται για την αγορά και λειτουργία. Η παρούσα εργασία, ανέδειξε ότι για το πλοίο της μελέτης, ο πυρηνικός αντιδραστήρας θα μπορούσε να λειτουργήσει ως πρωσθήριο μέσο και να αποφέρει σημαντικά κέρδη εφόσον τηρούνται κάποιες προϋποθέσεις αλλά το υψηλό κεφάλαιο για την αγορά του λειτουργεί αποτρεπτικά για την πραγματική εφαρμογή του παρόλο που σε βάθος χρόνου μπορεί να αποβεί συμφέρουσα.

Ενώ τέλος, πρέπει να βρεθούν εναλλακτικοί τρόποι για τη μείωση των υψηλών ναύλων τα οποία θα επιτρέψουν την σχετική επένδυση ελκυστικότερη. Η πώληση ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη παραμονή του πλοίου σε λιμάνι ή ναυπηγείο αποτελεί μία λύση η οποία θα ενισχύσει τα κέρδη και θα κάνει πιο προσιτή την επένδυση. Όπως υπολογίστηκε, ο ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος ώστε η επένδυση να συμφέρει στη περίπτωση της πυρηνικής πρόωσης ήταν μεγαλύτερος από την περίπτωση της συμβατικής μηχανής. Αυτή η μεγαλύτερη απαιτούμενη τιμή όμως δεν ήταν απαγορευτική εφόσον συνοδεύεται με κάποιες συνοδευτικές κινήσεις. Η πώληση ηλεκτρικού ρεύματος είναι μία έξυπνη λύση η οποία δεν κοστίζει ενώ μπορεί να επιδιωχθεί η αγορά και προπληρωμή του δεύτερου αντιδραστήρα με οικονομικότερους όρους. Το *reverse cold ironing* υφίσταται μόνο σε αυτή τη περίπτωση διότι το *cold ironing* που αφορά τη παροχή ηλεκτρισμού από τη ξηρά στα πλοία αποτελεί και θα αποτελεί τη κύρια λύση ώστε τα πλοία με συμβατικές μηχανές πρόωσης να τερματίζουν τη λειτουργία των συμβατικών μηχανών ώστε να μειώσουν τα λειτουργικά έξοδα τους αλλά και για να μειώσουν τους εκπεμπόμενους ρύπους. Συνεπώς, το *reverse cold ironing* έρχεται να αντικαταστήσει μία μεσοπρόθεσμη και όχι τόσο πράσινη λύση αφού τα πλοία λαμβάνουν ηλεκτρικό ρεύμα από τη ξηρά το

οποίο ενδέχεται να παράγεται από ρυπογόνες μονάδες και όχι εναλλακτικές πηγές. Η λύση αυτή παρόλο που μπορεί να μειώσει τους εκπεμπόμενους ρύπους δεν αποτελεί μακροπρόθεσμη λύση και ειδικά όταν τίθενται στόχοι για ουδέτερο οικολογικό αποτύπωμα. Το *reverse cold ironing* μπορεί να συνεχίσει να υποστηρίζει τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου και με το ρεύμα που παράγεται να αποδίδεται στο αντίστοιχο εθνικό δίκτυο καλύπτοντας χιλιάδες νοικοκυριά ή τις αυξημένες ενεργειακές ανάγκες ενός λιμένα ή ναυπηγείου.

Με τις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας για ιδιοχρησία (*Net – metering*) οι ναυτιλιακές μπορούν να προχωρούν σε συμφωνίες με τους τοπικούς λιμενικούς οργανισμούς ή ναυπηγεία ώστε το πλοίο να παρέχει ηλεκτρισμό έναντι συγκεκριμένης τιμής. Με αυτό τον τρόπο θα μπορεί να δημιουργηθεί μία τριμερής συμφωνία μεταξύ ναυτιλιακής, ναυπηγείου/ λιμένα και ναυλωτών.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. ΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ IMO ΚΑΙ ΟΙ ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ



Εικόνα 67. Οι στόχοι του IMO έως το 2050 (πηγή: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β. ΟΙ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΕΣ ΖΩΝΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ



Εικόνα 68. Οι υπάρχουσες και υποψήφιες ζώνες ECA & SECA (Πηγή: <https://www.thormarinetrading.com/bunker-trading/seca-eca/>)

Area	Sulphur limit	Scrubbers
Global	0.50% (2020)	Local restrictions may apply for open-loop scrubbers
SECA	0.10%	Yes
EU	0.10% in all ports	Open-loop scrubbers restricted in some countries
China	0.50% in national waters (12 nm)	Certain restrictions apply for open-loop scrubbers
California	0.10% within 24 nm	No, only with research exemption

Εικόνα 69. Οι περιορισμοί των ζωνών ECA & SECA (Πηγή: <https://www.dnv.com/news/sulphur-limit-in-ecas-increased-risk-of-psc-deficiencies-and-detentions-142911> )



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ. ΟΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΙΜΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ (ΜΕΡC 74)



Frequently Asked Questions  
The 2020 global sulphur limit

*For ships operating outside designated Emission Control Areas, IMO has set a limit for sulphur in fuel oil used on board ships of 0.50% m/m (mass by mass) from 1 January 2020. This will significantly reduce the amount of sulphur oxide emanating from ships and should have major health and environmental benefits for the world, particularly for populations living close to ports and coasts.*

- **When did IMO adopt regulations to control air pollution from ships?**

IMO has been working to reduce harmful impacts of shipping on the environment since the 1960s. Annex VI to the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL Convention) was adopted in 1997, to address air pollution from shipping.

The regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships (Annex VI) seek to control airborne emissions from ships (sulphur oxides (SO<sub>x</sub>), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), ozone depleting substances (ODS), volatile organic compounds (VOC) and shipboard incineration) and their contribution to local and global air pollution, human health issues and environmental problems.

Annex VI entered into force on 19 May 2005 and a revised Annex VI with significantly strengthened requirements was adopted in October 2008. These regulations entered into force on 1 July 2010.

The regulations to reduce sulphur oxide emissions introduced a global limit for sulphur content of ships' fuel oil, with tighter restrictions in designated emission control areas.

Since 2010, further amendments to Annex VI have been adopted, including amendments to introduce further Emission Control Areas. Energy efficiency requirements entered into force in 2013.

- **What are the limits on sulphur in the regulations?**

Until 31 December 2019, for ships operating outside Emission Control Areas, the limit for sulphur content of ships' fuel oil is 3.50% m/m (mass by mass).

The 0.50% m/m limit will apply on and after 1 January 2020.

- **Can this date be changed?**

No. The date is set in the MARPOL treaty. So it can only be changed by an amendment to the MARPOL Annex VI. This would require a proposal for an amendment to be put forward by a Member State that is a Party to Annex VI, that proposal then circulated and finally adopted by MEPC. An amendment to MARPOL is required to be circulated for a minimum of

---

six months prior to adoption and then can only enter into force a minimum of 16 months after adoption.

Parties to MARPOL Annex VI decided in October 2016 to implement the 2020 date.

- **So can there be a delay in implementation?**

No, legally, there can be no change in the 1 January 2020 implementation date, as it is too late now to amend the date and for any revised date to enter into force before 1 January 2020.

However, IMO Member States will work in the relevant IMO technical bodies to address any issues that might arise with regards to ensuring consistent implementation.

- **When was the date of 1 January 2020 decided?**

The date of 1 January 2020 was set in the regulations adopted in 2008. However, a provision was adopted, requiring IMO to review the availability of low sulphur fuel oil for use by ships, to help Member States determine whether the new lower global limit on sulphur emissions from international shipping shall come into effect on 1 January 2020 or be deferred until 1 January 2025. The "Assessment of fuel oil availability" study can be downloaded [here](#).

IMO's Marine Environment Protection Committee (MEPC 70), in October 2016, decided that the 0.50% limit shall apply from 1 January 2020.

- **What will the new limit mean for ships?**

Under the new sulphur limit, ships will have to use fuel oil on board with a sulphur content of no more than 0.50% m/m, against the current limit of 3.50%, which has been in effect since 1 January 2012.

The interpretation of "fuel oil used on board" includes use in main and auxiliary engines and boilers.

Exemptions are provided for situations involving the safety of the ship or saving life at sea, or if a ship or its equipment is damaged.

Another exemption allows for a ship to conduct trials for the development of ship emission reduction and control technologies and engine design programmes. This would require a special permit from the Administration(s) (flag State(s)).

- **How can ships meet lower sulphur emission standards?**

Ships can meet the requirement by using low-sulphur compliant fuel oil.

An increasing number of ships are also using gas as a fuel as when ignited it leads to negligible sulphur oxide emissions. This has been recognised in the development by IMO of the International Code for Ships using Gases and other Low Flashpoint Fuels (the IGF Code), which was adopted in 2015. Another alternative fuel is methanol which is being used on some short sea services.

Ships may also meet the SOx emission requirements by using approved equivalent methods, such as exhaust gas cleaning systems or "scrubbers", which "clean" the emissions before they are released into the atmosphere. In this case, the equivalent arrangement must be approved by the ship's Administration (the flag State).

- **What controls will there be once the new global limit takes effect?**

Ships taking on fuel oil for use on board must obtain a bunker delivery note, which states the sulphur content of the fuel oil supplied. Samples may be taken for verification.

Ships must be issued with an International Air Pollution Prevention (IAPP) Certificate by their Flag State. This certificate includes a section stating that the ship uses fuel oil with a sulphur content that does not exceed the applicable limit value as documented by bunker delivery notes or uses an approved equivalent arrangement.

Port and coastal States can use port State control to verify that the ship is compliant. They could also use surveillance, for example air surveillance to assess smoke plumes, and other techniques to identify potential violations.

- **What sanctions will there be for not complying?**

Sanctions are established by individual Parties to MARPOL, as flag and port States. IMO does not set fines or sanctions - it is down to the individual State Party.

- **What additional measures have been or are being developed to promote consistent implementation?**

Implementation is the remit and responsibility of the Administrations (flag States and port/coastal States). Ensuring the consistent and effective implementation of the 2020 0.50% m/m sulphur limit is a high priority.

IMO'S Sub-Committee on Pollution Prevention and Response (PPR) has been developing guidance to ensure consistent implementation of the 0.50% m/m sulphur limit.

In October 2018, the MEPC approved guidance on ship implementation planning. The guidance is part of a set of guidelines being developed by IMO for consistent implementation of the MARPOL regulation coming into effect from 1 January 2020. Download MEPC.1/Circ.878 [here](#).

The ship implementation planning guidance includes sections on:

- risk assessment and mitigation plan (impact of new fuels);
- fuel oil system modifications and tank cleaning (if needed);
- fuel oil capacity and segregation capability;
- procurement of compliant fuel;
- fuel oil changeover plan (conventional residual fuel oils to 0.50% sulphur compliant fuel oil); and
- documentation and reporting.

The PPR Sub-Committee has prepared, for adoption by MEPC 74 in May 2019, draft Guidelines for consistent implementation of the 0.50% sulphur limit under MARPOL Annex

VI, together with other relevant guidelines, forming a comprehensive package of new and updated instruments that will assist industry and Administrations to effectively and uniformly implement the 0.50% sulphur limit.

Read more [here](#).

- **What additional measures are being or have been developed to support the implementation of the 0.50% sulphur limit?**

IMO has adopted a MARPOL amendment to prohibit the carriage of non-compliant fuel oil for combustion purposes for propulsion or operation on board a ship - unless the ship has an exhaust gas cleaning system ("scrubber") fitted. Read more [here](#).

The PPR Sub-Committee has prepared further draft amendments to MARPOL Annex VI, for approval at MEPC 74, including amendments covering fuel oil sampling and testing.

This will be for the IMO Member States to decide, through the work in the PPR Sub-Committee, which in turn will report to the MEPC.

- **What is IMO doing to ensure fuel oil availability?**

Implementation is the responsibility of the Member States who are contracting Parties to MARPOL Annex VI. The decision by MEPC in October 2016 to affirm the effective date of 1 January 2020 (more than three years before entry into effect of the 0.50% limit) is intended, in part, to provide sufficient time for Member States and industry to prepare for the new requirement.

Regulation 18 of MARPOL Annex VI covers both fuel oil availability and quality.

On fuel oil availability, the regulation requires each Party to "take all reasonable steps to promote the availability of fuel oils which comply with this Annex and inform the Organization of the availability of compliant fuel oils in its ports and terminals". Parties are also required to notify IMO when a ship has presented evidence of the non-availability of compliant fuel oil.

Notifications received where there has been evidence of non-availability of compliant fuel oil are available on the IMO Global Integrated Shipping Information System (GISIS) Module (public users can register for free to access this module):  
<https://gisis.imo.org/Public/MARPOL6/Notifications.aspx?Reg=18.2.5>.

MEPC 73 urged Parties to MARPOL Annex VI to inform the Organization of the availability of compliant fuel oils in its ports and terminals via the IMO Global Integrated Shipping Information System (GISIS) MARPOL Annex VI module well in advance of 1 January 2020, in accordance with regulation 18.1 of MARPOL Annex VI.

- **What is IMO doing to ensure fuel oil quality?**

Implementation and monitoring falls to Parties to MARPOL Annex VI. MARPOL Annex VI regulation 18.3 specifies the requirements in terms of fuel oil quality, for fuel oil for combustion purposes delivered to and used on board ships.

Notifications received where fuel oil suppliers have failed to meet the requirements are available to view on GISIS:  
<https://gisis.imo.org/Public/MARPOL6/Notifications.aspx?Reg=18.9.6>

IMO has issued [MEPC.1/Circ.875](#) Guidance on best practice for fuel oil purchasers/users for assuring the quality of fuel oil used on board ships; and [MEPC.1/Circ.875/Add.1](#) Guidance on best practice for fuel oil suppliers for assuring the quality of fuel oil delivered to ships.

The former is intended to assist fuel oil purchasers/users in assuring the quality of fuel oil delivered to and used on board ships, with respect to both compliance with the MARPOL requirements and the safe and efficient operation of the ship. The guidance pertains to aspects of the fuel oil purchase up to the loading of the purchased fuel oil on board.

A draft joint MSC-MEPC circular addressing the delivery of compliant fuel oil by suppliers has been prepared, for approval at MEPC 74 and at the Maritime Safety Committee (MSC 101). The draft circular says that Members States should urge fuel oil suppliers to take into account the above guidance.

- **What is the current average sulphur content of fuel oil used on ships?**

IMO monitors the sulphur content of fuel oil used on ships globally. Samples are taken of residual fuel oil – the “heavy” fuel oil commonly used on ships – as well as distillate fuel oil (“light”, low sulphur fuel oil, which is more commonly used in emission control areas which have stricter limits on sulphur emissions).

The latest figures showed that the yearly average sulphur content of the residual fuel oils tested in 2017 was 2.54%. The worldwide average sulphur content for distillate fuel in 2017 was 0.08%.

- **Have there been any studies into the feasibility of using LNG as fuel oil?**

Yes, IMO has commissioned and published studies on the feasibility and use of [LNG as a fuel](#) for shipping (2016). The publication includes a feasibility study on the use of LNG as a fuel for international shipping in the North America ECA, a pilot study on the use of LNG as a fuel for a high speed passenger ship from the Port of Spain ferry terminal in Trinidad and Tobago and a feasibility study on LNG-fuelled short sea and coastal shipping in the wider Caribbean region.

- **What about the sulphur limit in Emission Control areas (ECAs)?**

Since 1 January 2015, the sulphur limit for fuel oil used by ships operating in Emission Control Areas (ECAs) designated by IMO for the control of sulphur oxides (SO<sub>x</sub>) has been 0.10% m/m.

The ECAs established under MARPOL Annex VI for SO<sub>x</sub> are: the Baltic Sea area; the North Sea area; the North American area (covering designated coastal areas off the United States and Canada); and the United States Caribbean Sea area (waters around Puerto Rico and the United States Virgin Islands).

- **Where can I find out more about the sulphur regulations?**

Read more [here](#).

Download MEPC Resolutions and Guidelines related to MARPOL Annex VI [here](#).

5

Εικόνες 70-78. Οι απαιτήσεις του IMO σχετικά με τις εκπομπές αέριων ρύπων από τη ναυτιλία (πηγή: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/HotTopics/Documents/2020%20sulphur%20limit%20FAQ%202019.pdf>)

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΟΙ ΠΡΟΣΦΑΤΕΣ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΙΜΟ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (ΜΕΡC 76)

TECHNICAL AND REGULATORY NEWS No. 10/2021 – STATUTORY

## IMO UPDATE: MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE – ΜΕΡC 76

DNV

Relevant for ship owners and managers.

June 2021

The 76th session of the IMO's Marine Environment Protection Committee (MEPC 76) was held remotely with a limited agenda from 10 to 17 June 2021. MEPC 76 adopted technical and operational measures to reduce carbon intensity of international shipping, taking effect from 2023. The measures include the Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI), the enhanced Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) and the Carbon Intensity Indicator (CII) rating scheme.



### Meeting highlights

- Adopted technical and operational measures (EEXI, CII and SEEMP) to reduce carbon intensity of international shipping, including supporting guidelines
- Adopted prohibition on the use and carriage for use as fuel of heavy fuel oil by ships in Arctic waters
- Adopted ban on cybutryne in anti-fouling systems

Adoption of amendments to mandatory instruments  
The MEPC 76 adopted amendments to the following IMO instruments:

MARPOL Annex VI - technical and operational measures to reduce carbon intensity of international shipping  
Amendments to MARPOL Annex VI were adopted, introducing mandatory goal-based technical and operational measures to reduce carbon intensity of international shipping. The measures include:

- The Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI), applicable from the first annual, intermediate or renewal IAPP survey after 1 January 2023
- The enhanced Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), whereby an approved SEEMP needs to be kept on board from 1 January 2023
- The operational Carbon Intensity Indicator (CII) rating scheme, taking effect from 1 January 2023

In addition, the amendments include an option for excluding unmanned non-self-propelled (UNSP) barges from survey and certification requirements.

The amendments will enter into force on 1 November 2022 and were adopted as a new consolidated MARPOL Annex VI, including restructuring and renumbering of existing regulations. The appendix to this newsletter shows an overview of which regulations in Chapter 4 apply to which ship types and sizes.

MARPOL Annex I – prohibition on the use and carriage for use as fuel of heavy fuel oil by ships in Arctic waters  
Amendments to MARPOL Annex I, prohibiting heavy fuel oil to be used or carried for use in Arctic waters, were adopted. The prohibition will apply from 1 July 2024, except for vessels subject to protected fuel oil tanks under MARPOL Annex I or the Polar Code for which the prohibition will apply from 1 July 2029. A state with a coastline which borders on Arctic waters may waive the requirement until 1 July 2029 for ships without fuel oil tank protection, operating in waters subject to its sovereignty or jurisdiction.

The amendments will enter into force on 1 November 2022.

MARPOL Annexes I and IV – exemption of unmanned non-self-propelled UNSP barges from survey and certification requirements

Amendments to MARPOL Annex I and Annex IV excluding UNSP barges from survey and certification requirements for pollution prevention by oil and sewage were adopted. The exemptions under Annex I are based on the barge not carrying oil or fitted with any oil tanks or machinery that generates oil residues. Likewise, for Annex IV on the barge not used for holding sewage or having any arrangement that could produce sewage.

Guidelines for exemption of UNSP barges from the survey and certification requirements were approved. UNSP barges being exempted will be issued an exemption certificate valid for 5 years instead of the relevant MARPOL certificate.

The amendments will enter into force on 1 November 2022.

Anti-Fouling Systems on Ships Convention (AFS) - controls on cybutryne and form of the International Anti-fouling System Certificate

Amendments to the AFS Convention to include controls on cybutryne and an operative paragraph with respect to issuance of the new International Anti-fouling System Certificate (IAFSC) were adopted.

This introduces a ban to apply or re-apply anti-fouling systems containing cybutryne from 1 January 2023. All ships should remove or seal such anti-fouling systems at the next scheduled renewal of the anti-fouling system after 1 January 2023, but no later than 60 months following the last application of such anti-fouling system prior to 1 January 2023.

The requirement to remove or seal does not apply to fixed and floating platforms, FSUs and FPSOs constructed prior to 1 January 2023 and not dry-docked on or after that date; ships not engaged in international voyages; and ships of less than 400 GT engaged in international voyages, if accepted by the coastal state.

The amendments will enter into force on 1 January 2023.

Harmful aquatic organisms in ballast water

Due to time constraints at this session, further work on ballast water management was deferred to MEPC 77.

### Air pollution and energy efficiency

Energy Efficiency Design Index

MEPC 76 agreed to progress the work on the Shaft/Engine Power Limitation concept to apply also to the EEDI framework for new ships, with a view to finalization at MEPC 77 in November 2021.

MEPC 76 approved amendments to the guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions. The amendments include changes to the definition of adverse weather conditions and a new minimum power assessment method.

MEPC 76 updated Unified Interpretations clarifying the dates related to EEDI Phase 2 and 3 for "new ships", as amendments to circular MEPC.1/Circ.795/Rev.4.

NOx Technical Code

MEPC 76 approved Unified Interpretations to the NOx Technical Code 2008, clarifying requirements for testing and certification of engines with Selective Catalytic Reduction (SCR) systems.

Due to time constraints at this session, further work on air pollution and energy efficiency was deferred to MEPC 77 in November 2021.

### Reduction of GHG emissions

Technical guidelines for the EEXI, CII and SEEMP

Building on the outcomes of ISWG-GHG 8 held two weeks prior to MEPC, technical guidelines for the EEXI and CII were adopted.

The key decision was the establishment of reduction factors for the CII. With 2019 as the base year for the reference lines, the reduction factor defines the mid-point of the C-rating band for each year. The CII reduction rates were set to increase by 1 percentage point (pp) per year for 2020-2022, followed by 2 pp per year for 2023-2026. The rates for 2027-2030 will be decided as part of the review to be concluded by 1 January 2026.

The reduction factors are as follows:

Year	Reduction from 2019 reference (mid-point of C-rating band)
2023	5%
2024	7%
2025	9%
2026	11%
2027-2030	To be decided

Remaining work will be conducted through a Correspondence Group reporting to MEPC 78 in 2022, and includes:

- Guidelines for the development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)
- Guidelines on correction factors for certain ship types, operational profiles and/or voyages for the CII calculations (G5)
- Guidelines on the audit and verification processes of SEEMP, including for ships required to develop a plan of corrective actions (PCA)
- Development of possible parameters and templates for reporting, verification and submission of data for trial CII of individual ships on a voluntary basis
- Various other guidelines, e.g. Procedures for Port State Control (PSC) and Verification of ship fuel oil consumption data (DCS)
- Guidelines on aggregation and reporting of ship's fuel consumption data to the new Administration and/or Company in the event of change from one Administration to another and/or from one Company to another

### Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI)

MEPC 76 adopted the following EEXI guidelines:

- Guidelines on the method of calculation of the attained Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI)
- Guidelines on survey and certification of the Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI)
- Guidelines on the shaft / engine power limitation system to comply with the EEXI requirements and use of a power reserve

The key decisions regarding EEXI guidelines include:

- In case an engine power limitation (EPL) is installed, the engine power in the EEXI calculation (PME) should be 83% of the maximum limited power ( $MCR_{lim}$ ) or 75% of maximum power (MCR), whichever is lower.
- Numerical calculations were accepted as an alternative to tank tests when calculating the speed in the EEXI calculation ( $v_{net}$ ).
- Additional options for calculating  $v_{net}$  using in-service speed measurements will be further discussed and may be included at a later stage.
- Consideration of energy efficiency technologies such as wind propulsion systems was deferred.
- An additional capacity correction factor for ro-ro cargo ships (vehicle carrier) was agreed.

### Carbon Intensity Indicator (CII)

MEPC 76 adopted the following CII guidelines:

- Guidelines on operational carbon intensity indicators and the calculation methods (G1)
- Guidelines on the reference lines for use with operational carbon intensity indicators (G2)
- Guidelines on the operational carbon intensity reduction factors relative to reference lines (G3)
- Guidelines on the operational carbon intensity rating of ships (G4)

The key decisions regarding CII guidelines include:

- The calculation guidelines (G1) were adopted without any correction factors, exceptions or exclusions.
- A new correction factor guideline (G5) will be discussed in a Correspondence Group and agreed by MEPC 78 in 2022 at the latest.
- The reference line guideline (G2) was adopted with no acceptance of proposals for split reference lines and no separate category for high-speed craft.
- The reduction factor guidelines (G3) were adopted using a phased approach for the required reduction rates.
- The rating guidelines (G4) were adopted with no changes being made. Some issues may be raised in the Correspondence Group dealing with correction factors.

MEPC 76 added a provision in MARPOL allowing flag administrations access to reported data needed to calculate the annual CII in case of a change of ship Company or flag during a calendar year.

### Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)

The draft SEEMP guidelines were not finalized due to time constraints and were sent to a Correspondence Group for further work and adoption at MEPC 78 in 2022 at the latest.

Proposals for allowing fleet averaging of the CII were not agreed but may, in principle, be considered in future as an option under mid- and long-term measures.

MEPC 76 agreed to make the regulatory text clear in that the verification and audit requirement for the SEEMP would only apply to ships above 5,000 GT subject to the CII requirements.

### Comprehensive Impact Assessment

A Comprehensive Impact Assessment had been completed prior to MEPC 76 analysing the impact of the adopted measures. MEPC agreed that the potential impacts on states did not stand in the way of adopting the agreed regulations. Proposals for the exclusion of countries, trades or ships from the requirements were rejected but will be kept under review and revisited in 2026. To cater to uncertainties and concerns raised by some parties, it was agreed to keep the Impact Assessment under review.

### International Maritime Research and Development Board (IMRB)

There were no conclusions on the establishment of the IMRB fund mechanism. Further submissions are invited to MEPC 77 in November 2021, where the proposal may be considered in connection with discussions on mid- and long-term measures, and in particular the discussions of market-based measures (MBM).

### Mid- and long-term measures, including market-based measures

MEPC 76 recognized the urgent need to progress the establishment of mid- and long-term measures and agreed on a working plan to this end. The work will include consideration of MBMs, as well as further discussion on measures to catalyse a fuel transition, including a potential GHG footprint requirement for fuels. While a specific proposal for a USD 100/tonne CO<sub>2</sub> bunker levy was not discussed in detail, this along with in-depth discussions on other mid- and long-term measures will continue at the next working group (ISWG-GHG 9) in October 2021. The intent is to have agreed measures for further development by spring 2023, in time for the review of the IMO GHG Strategy.

### Marine plastic litter

MEPC approved two circulars regarding marine plastic litter:

- A circular on the provision of adequate facilities at ports and terminals for the reception of plastic waste from ships
- A circular on the sharing of results from research on marine litter and encouraging studies to better understand microplastics from ships

Due to time constraints at this session, further work on marine plastic litter was deferred to MEPC 77.



### **Pollution prevention and response**

Due to time constraints at this session, further work on this topic including on safety and pollution hazards of chemicals, exhaust gas cleaning systems and black carbon, was deferred to MEPC 77.

### **Work programme**

A new output related to underwater noise was agreed with a target completion in 2023.

### **Correspondence Groups established**

The following Correspondence Group was established:

- Carbon Intensity Reduction

### **Recommendations**

DNV recommends that our customers evaluate possible technical and operational modifications to comply with the upcoming requirement and prepare for the development of an EEXI Technical File and an SEEMP.

For more information about the regulations and DNV services, visit:

- [www.dnv.com/decarbonization](http://www.dnv.com/decarbonization)
- [www.dnv.com/cii](http://www.dnv.com/cii)
- [www.dnv.com/eexi](http://www.dnv.com/eexi)

Customers should also note and prepare for the upcoming prohibition on the use of heavy fuel oil in the Arctic and the ban on cybutryne in anti-fouling systems.

### **Appendix**

- Provisional list of resolutions and circulars (page 5)
- Scope of regulations in Chapter 4 of MARPOL Annex VI (page 6)

### **Contact**

#### **For customers:**

DATE – Direct Access to Technical Experts via [My Services](#) on Veracity.

#### **Otherwise:**

Use our [office locator](#) to find the nearest DNV office.

### Provisional list of resolutions and circulars

Please note that the list and document references are provisional.

#### Resolution MEPC.328(76)

Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto (MARPOL Annex VI)

#### Resolution MEPC.329(76)

Amendments to the Annex of the International Convention for the Prevention of Pollution From Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto - Amendments to MARPOL Annex I (Prohibition on the use and carriage for use as fuel of heavy fuel oil By ships in Arctic waters)

#### Resolution MEPC.330(76)

Amendments to the Annex of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto - Amendments to MARPOL Annexes I and IV (Exemption of unmanned non-self-propelled barges from survey and certification requirements)

#### Resolution MEPC.331(76)

Amendments to the International Convention on the Control of Harmful Anti-Fouling Systems on Ships, 2001 - Amendments to Annexes 1 And 4 (Controls on cybutryne and form of the International Anti-Fouling System Certificate)

#### Resolution MEPC.332(76)

2021 Guidelines on the method of calculation of the attained Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI)

#### Resolution MEPC.333(76)

2021 Guidelines on survey and certification of the Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI)

#### Resolution MEPC.334(76)

2021 Guidelines on the shaft/engine power limitation system to comply with the EEXI requirements and use of a power reserve

#### Resolution MEPC.335(76)

2021 Guidelines on operational carbon intensity indicators and the calculation methods (CII Guidelines, G1)

#### Resolution MEPC.336(76)

2021 Guidelines on the reference lines for use with operational carbon intensity indicators (CII Reference Lines Guidelines, G2)

#### Resolution MEPC.337(76)

2021 Guidelines on the operational carbon intensity reduction factors relative to reference lines (CII Reduction Factor Guidelines, G3)

#### Resolution MEPC.338(76)

2021 Guidelines on the operational carbon intensity rating of ships (CII Rating Guidelines, G4)

#### Circular MEPC.1/Circ.892

Guidelines for exemption of unmanned non-self-propelled (UNSP) barges from the survey and certification requirements under the MARPOL Convention

#### Circular MEPC.1/Circ.893

Provision of adequate facilities at ports and terminals for the reception of plastic waste from ships

#### Circular MEPC.1/Circ.894

Sharing of results from research on marine litter and encouraging studies to better understand microplastics from ships

#### Circular MEPC.1/Circ.895

Unified interpretations to the NOX Technical Code 2008, as amended

#### Circular MEPC.1/Circ.795/Rev.5

Unified interpretations to MARPOL ANNEX VI

### Scope of regulations in Chapter 4 of MARPOL Annex VI

The following table shows which regulations in the amended Chapter 4 of MARPOL Annex VI apply to certain ship types and sizes.

Ship type/characteristics	Reg. 22: Attained EEDI	Reg. 23: Attained EEXI	Reg. 24: Required EEDI	Reg. 25: Required EEXI	Reg. 26.1: Basic SEEMP	Reg. 27: DCS Reg. 26.2: SEEMP Part 2	Reg. 28: CII rating Reg. 26.3: Enh. SEEMP	
Bulk carrier	≥ 400 GT	≥ 400 GT	≥ 10000 DWT	≥ 10000 DWT	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	≥ 5000 GT	
Gas carrier	≥ 400 GT	≥ 400 GT	≥ 2000 DWT	≥ 2000 DWT	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	≥ 5000 GT	
Tanker	≥ 400 GT	≥ 400 GT	≥ 4000 DWT	≥ 4000 DWT	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	≥ 5000 GT	
Container ship	≥ 400 GT	≥ 400 GT	≥ 10000 DWT	≥ 10000 DWT	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	≥ 5000 GT	
General cargo ship (except livestock carrier, barge carrier, heavy load carrier, yacht carrier, nuclear fuel carrier)	≥ 400 GT	≥ 400 GT	≥ 3000 DWT	≥ 3000 DWT	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	≥ 5000 GT	
Conventional propulsion	Refrigerated cargo carrier	≥ 400 GT	≥ 400 GT	≥ 3000 DWT	≥ 3000 DWT	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	≥ 5000 GT
	Combination carrier	≥ 400 GT	≥ 400 GT	≥ 4000 DWT	≥ 4000 DWT	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	≥ 5000 GT
	Ro-ro vehicle carrier	≥ 400 GT	≥ 400 GT	≥ 10000 DWT	≥ 10000 DWT	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	≥ 5000 GT
	Ro-ro cargo ship	≥ 400 GT	≥ 400 GT	≥ 1000 DWT	≥ 1000 DWT	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	≥ 5000 GT
	Ro-ro passenger ship	≥ 400 GT	≥ 400 GT	≥ 250+ DWT and ≥400 GT	≥ 250 DWT and ≥400 GT	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	≥ 5000 GT
	Cruise ship	≥ 400 GT	≥ 400 GT	N/A	N/A	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	≥ 5000 GT
	Passenger ship (except ro-ro passenger and cruise)	≥ 400 GT	N/A	N/A	N/A	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	N/A
	Other ship with conventional propulsion, (e.g. heavy load carrier, livestock carrier, offshore)	N/A	N/A	N/A	N/A	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	N/A
	LNG carrier with any propulsion system	≥ 400 GT	≥ 400 GT	≥ 10000 DWT	≥ 10000 DWT	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	≥ 5000 GT
	Cruise ship with non-conventional propulsion	≥ 400 GT	≥ 400 GT	≥ 25000 GT	≥ 25000 GT	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	≥ 5000 GT
Bulk carrier, gas carrier, tanker, container ship, general cargo ship (except livestock carrier, barge carrier, heavy load carrier, yacht carrier, nuclear fuel carrier), refrigerated cargo carrier, combination carrier, ro-ro vehicle carrier, ro-ro cargo ship and ro-ro passenger ship with non-conventional propulsion	N/A	N/A	N/A	N/A	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	≥ 5000 GT	
Livestock carrier, barge carrier, heavy load carrier, yacht carrier, nuclear fuel carrier and passenger ship with non-conventional propulsion, and Category A Polar Code ship	N/A	N/A	N/A	N/A	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	N/A	
Other ship with non-conventional propulsion	N/A	N/A	N/A	N/A	≥ 400 GT	≥ 5000 GT	N/A	
Platforms including FPSOs and FSUs and drilling rigs	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

Εικόνες 79-84. Τα αποτελέσματα της επιτροπής MEPC 76 (πηγή: <https://www.dnv.com/news/imo-update-marine-environment-protection-committee-mepc-76-203128> )

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε. ΟΙ ΤΕΛΕΥΤΑΙΕΣ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΙΜΟ (ΜΕΡC 79)

TECHNICAL REGULATORY NEWS No. 29/2022 – STATUTORY

## ΙΜΟ UPDATE: MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE – ΜΕΡC 79



Relevant for ship owners and managers, equipment manufacturers, fuel suppliers

December 2022

The 79th session of the IMO's Marine Environment Protection Committee (MEPC 79) was held from 12 to 16 December 2022. Highlights include the adoption of a Sulphur Emission Control Area (SECA) in the Mediterranean Sea from 1 May 2025 as well as further discussions on the revision of the IMO GHG Strategy scheduled for 2023 and future technical and market-based measures.



### Meeting highlights

- Adoption of amendments to MARPOL Annex VI to include information on the flashpoint of fuel in the Bunker Delivery Note (BDN)
- Adoption of a new Sulphur Emission Control Area (SECA) in the Mediterranean taking effect from 1 May 2025
- Consideration of revisions to the IMO GHG Strategy and future technical and market-based measures

### Adoption of amendments to mandatory instruments

MEPC 79 adopted amendments to the following IMO instruments:

#### MARPOL Annexes I, II, IV, V and VI - regional reception facilities within Arctic waters

Amendments to MARPOL Annexes I, II, IV and VI were adopted to provide for regional arrangements as an acceptable way to satisfy MARPOL obligations to provide port reception facilities that cover ports within Arctic waters. Consequently, the 2012 *Guidelines for the Development of a Regional Reception Facilities Plan* was amended to be aligned with the MARPOL amendments.

The amendments will enter into force on 1 May 2024.

#### MARPOL Annex V – Garbage Record Book

Amendments to MARPOL Annex V were adopted to make the Garbage Record Book mandatory also for ships between 100 and 400 gross tons.

The amendments will enter into force on 1 May 2024.

#### MARPOL Annex VI - Mediterranean sulphur ECA

Amendments to MARPOL Annex VI were adopted to establish a Mediterranean Emission Control Area for sulphur oxides and particulate matter. The requirement will be the same as for other sulphur ECAs, mandating the use of fuel oil with a sulphur content not exceeding 0.10% or the use of an exhaust gas cleaning system.

The amendments will enter into force on 1 May 2024, and the requirements take effect on 1 May 2025.

#### MARPOL Annex VI - information to be included in the BDN

Amendments to MARPOL Annex VI, Appendix V were adopted to extend the information to be included in the BDN to also include the flashpoint of the fuel oil, or alternatively a statement that the flashpoint has been measured at or above 70°C.

The amendments will enter into force on 1 May 2024.

#### MARPOL Annex VI - information to be submitted to the IMO Ship Fuel Oil Consumption Database

Amendments to MARPOL Annex VI, Appendix IX were adopted to include the attained and required Carbon Intensity Indicator (CII) values, the CII rating and attained Energy Efficiency Design Index for existing ships (EEXI) in the required information to be submitted to the IMO Ship Fuel Oil Consumption Database.

The amendments will enter into force on 1 May 2024. However, administrations are invited to consider early application from 1 January 2024 to ensure that the CII data for 2023 is reported to the IMO.

#### Harmful aquatic organisms in ballast water

##### Ballast Water Record Book (BWRB)

MEPC 79 revised the format of the BWRB in Appendix II of the Annex to the Ballast Water Management (BWM) Convention. The revised BWRB introduces code letters (A-H), similar as in the oil record book, and aims to improve the recording of issues around BWM systems. The amendments will be circulated for adoption at MEPC 80 in July 2023.

##### Grey water and treated sewage in ballast tanks

MEPC 79 agreed that it should be permitted to use ballast tanks for temporary storage of treated sewage and grey water. Guidance will be developed at the next MEPC to set out appropriate actions and

uniform procedures to ensure compliance with the BWM Convention, and in particular the D-2 standard, when the ballast tanks are returned to ballast water storage.

#### Ports with challenging water quality

MEPC 79 discussed and established a list of fundamental principles to consider when developing further guidance for ships encountering challenging water quality. Ships are expected to return to D-2 compliance after experiencing challenging uptake water, and bypassing a BWM system should only be used as a last resort. Communication with the port receiving the uptake water is crucial. Further work on guidelines will be conducted at MEPC 80 in July 2023.

### Air pollution and energy efficiency

#### Energy Efficiency Design Index (EEDI)

MEPC 79 revised the EEDI calculation guidelines to include a CO<sub>2</sub> conversion factor for ethane, a reference to the updated ITCC guidelines, and a clarification that in case of a ship with multiple load line certificates, the maximum certified summer draft should be used when determining the deadweight. MEPC 79 also discussed applying the shaft and engine power limitation concepts to the EEDI and agreed that, in principle, these concepts should be added in a future revision.

A possible Phase 4 of the EEDI was discussed, with several member states advocating for developing it into an energy-based index by removing the CO<sub>2</sub> conversion factor, while others wanted to also include methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxides (N<sub>2</sub>O). However, no decisions were taken, and further discussions were deferred to later sessions of the Committee.

#### Licensing scheme for bunker suppliers

MEPC 79 discussed establishing a mandatory licensing scheme for bunker suppliers. However, there were no agreements to do so, but member states were encouraged to apply the voluntary licensing scheme in the *Guidance for best practice for Member State/coastal State* (MEPC.1/Circ.884/Rev.1).

#### Unified Interpretations

MEPC 79 approved a clarification on the Unified Interpretation of Appendix IX of MARPOL Annex VI, that the DCS reporting includes boil-off gases (BOG) used for propulsion or operational needs such as in a boiler, or burnt in a Gas Combustion Unit (GCU) for cargo tank pressure control, or for other operational purposes.

MEPC 79 approved an extension of the Unified Interpretation of Regulation 18.3 of MARPOL Annex VI related to NO<sub>x</sub> emissions when using biofuels, that it should also be applicable for fuels with a synthetic fuel content of up to 30%. In principle, such fuels fall under the definition of Marine Fuel Oil derived from petroleum refining (Regulation 18.3.1) and no further NO<sub>x</sub> testing is required.

MEPC 79 approved Unified Interpretations of Regulation 26 of MARPOL Annex VI related to the Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP). A new ship should comply with the requirement at the

time of delivery. Furthermore, for ships delivered on 1 October or later, the following year should be the first year of the three-year implementation plan, and the attained CII for the remaining part of the year of delivery should not be included when determining whether the ship should develop a corrective action plan under Regulation 28.

MEPC 79 approved a Unified Interpretation of Regulation 28 of MARPOL Annex VI related to the plan for corrective action to achieve the required CII. The corrective action plan should plan for how to achieve the required CII on the second year after the reporting year that resulted in the third consecutive D-rating or an E-rating.

### Reduction of GHG emissions

#### Revision of the IMO GHG Strategy

There was an extensive exchange of views on the scheduled revision of the IMO GHG Strategy. MEPC 79 revised the *Guidance on process and methodological elements for the conduct of comprehensive impact assessments* (MEPC.1/Circ.885).

There was limited convergence between member states on the vision and levels of GHG reduction ambitions in the strategy. The main divergence in views is on those calling for full decarbonization by 2050, and those calling for further assessments on feasibility to achieve such an ambition and the potential impacts on states before such a decision can be made. There also remains a divergence of views on the necessity of intermediate GHG reduction targets being set for 2030 and 2040.

The MEPC will adhere to the established workplan on this matter and adopt the revised strategy at MEPC 80 in July 2023. Further discussions will take place at Working Group meetings to be held from 20 to 24 March, and during the week prior to MEPC 80 in July 2023.

#### Mid and long-term measures to reduce GHG emissions

There was an extensive discussion on potential mid and long-term measures at a Working Group meeting held the week prior to MEPC 79. At this meeting, proposals for various measures were discussed and there was an increased support for a basket of measures combining technical and economical elements. On market-based measures there was a convergence towards a levy scheme, imposing a set price on well-to-wake or tank-to-wake GHG emissions, possibly in combination with a rebate system where the revenues are partly provided back to vessels to cover the price gap between fossil and low or zero-carbon fuels. Additionally, there was significant support for a technical measure in the form of a well-to-wake GHG intensity fuel standard.

Further discussions will take place at Working Group meetings to be held from 20 to 24 March, and during the week prior to MEPC 80 in July 2023. The decision on which measures to develop into regulations will be made at MEPC 80.

#### Correction factors for the Carbon Intensity Indicator (CII)

Proposals for additional CII correction factors were deferred to MEPC 80. Considering the diverging views expressed, it is likely that decisions to add further correction factors will only be taken at the review point in 2025.

#### Revision of the Data Collection System (DCS)

In addition to the amendments to the DCS adopted at MEPC 79, there was a discussion on adding further elements, including mandatory cargo data reporting. The discussions will continue at future meetings of the MEPC.

#### On-board CO<sub>2</sub> capture

A brief discussion was held on provisions for considering on-board CO<sub>2</sub> capture and storage in GHG regulations under MARPOL Annex VI. Due to time constraints, the issue was deferred to MEPC 80.

#### Lifecycle GHG/carbon intensity for marine fuels

A brief discussion was held on developing guidelines on life cycle GHG/carbon intensity. The correspondence group will continue its work on the guidelines, and a first version is expected to be finalized at MEPC 80 in July 2023.

#### Marine plastic litter

MEPC 79 agreed to revise the terms of reference for the IMO study on marine plastic litter from ships to make it more specific by adopting a stepwise approach and pursue subprojects that address specific data gaps. Member states and international organizations were invited to submit proposals to MEPC 80 to assist the Committee on how to progress with the IMO Study.

#### Identification and protection of special areas, ECAs and PSSAs

MEPC 79 agreed in principle to designate the North-western Mediterranean Sea as a PSSA (Particularly Sensitive Sea Area). The associated protective measures need to be further developed before the area is designated as a PSSA.

#### Work programme

MEPC 79 agreed to new outputs to the work programme as follows:

- A new output for the revision of MARPOL Annex II to improve the effectiveness of cargo tank stripping, tank washing operations and prewash procedures for products with a high melting point and/or high viscosity
- A new output to amend the *Revised guidelines and specifications for pollution prevention equipment for machinery space bilges of ships* (Resolution MEPC.107(49)) to ensure the proper functioning of on-board 15 ppm bilge alarms

#### Recommendations

DNV recommends that our customers complete their preparations for compliance with the upcoming EEXI, SEEMP and CII requirements. From 1 January 2023, an approved SEEMP Part III needs to be on board and the necessary data to calculate the CII and relevant correction factors must be monitored and reported. By the first survey after 1 January, the EEXI Technical File needs to be approved.

For more information about decarbonizing shipping and about the relevant DNV services relating to GHG emissions, visit:

- [www.dnv.com/decarbonize-shipping](http://www.dnv.com/decarbonize-shipping)
- [www.dnv.com/cii](http://www.dnv.com/cii)
- [www.dnv.com/eexi](http://www.dnv.com/eexi)
- [www.dnv.com/seemp3](http://www.dnv.com/seemp3)

#### Provisional list of resolutions and circulars

Please note that the list and document references below are provisional:

##### Resolution MEPC.359(79)

Amendments to MARPOL Annexes I, II and IV concerning regional reception facilities within Arctic waters and form of IOPP certificate and supplements

##### Resolution MEPC.360(79)

Amendments to MARPOL Annex V concerning regional reception facilities within Arctic waters and Garbage Record Book

##### Resolution MEPC.361(79)

Amendments to MARPOL Annex VI concerning a Mediterranean Sea Emission Control Area for sulphur oxides and particulate matter

##### Resolution MEPC.362(79)

Amendments to MARPOL Annex VI concerning regional reception facilities within Arctic waters, information to be included in the Bunker Delivery Note (BDN) and information to be submitted to the IMO Ship Fuel Oil Consumption Database

##### Resolution MEPC.363(79)

Amendments to the 2012 *Guidelines for the development of a regional reception facilities plan* (Resolution MEPC.221(63))

##### Resolution MEPC.364(79)

2022 *Guidelines on the method of calculation of the attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships*

##### Resolution MEPC.365(79)

2022 *Guidelines on the survey and certification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI)*

##### Resolution MEPC.366(79)

Invitation to member states to encourage voluntary cooperation between the port and shipping sectors to contribute to reducing GHG emissions from ships

##### Resolution MEPC.367(79)

Encouragement of member states to develop and submit voluntary national action plans to address GHG emissions from ships

##### Resolution MEPC.368(79)

Amendments to the 2014 standard specification for shipboard incinerators (Resolution MEPC.244(66))

Εικόνες 85-87. Τα αποτελέσματα της επιτροπής MEPC 79 (πηγή: <https://www.dnv.com/news/imo-update-marine-environment-protection-committee-mepc-79-237141>)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ. ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΥΡΗΝΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΚΑΦΩΝ/ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ

ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΟ ΝΑΥΤΙΚΟ/ *UNITED STATES NAVY*

**Πίνακας 2. Τα πυρηνοκίνητα υποβρύχια του Αμερικάνικου ναυτικού**

A/A	SHIP'S NAME	NUMBER OF NR	REACTOR'S NAME	TYPE OF REACTOR
A/A	ΟΝΟΜΑ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ	ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ	ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ
1	USS VIRGINIA (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
2	USS TEXAS (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
3	USS HAWAII (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
4	USS NORTH CAROLINA (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
5	USS NEW HAMPSHIRE (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
6	USS NEW MEXICO (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
7	USS MISSOURI (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
8	USS CALIFORNIA (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
9	USS MISSISSIPPI (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
10	USS MINNESOTA (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
11	USS NORTH DAKOTA (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
12	USS JOHN WARNER (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
13	USS ILLINOIS (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
14	USS WASHINGTON (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
15	USS COLORADO (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
16	USS INDIANA (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
17	USS SOUTH DAKOTA (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
18	USS DELAWARE (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
19	USS VERMONT (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR

	CLASS)			
20	USS OREGON (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
21	USS MONTANA (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
22	USS HYMAN G. RICKOVER (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
23	USS NEW JERSEY (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
24	USS IOWA (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
25	USS MASSACHUSETTS (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
26	USS IDAHO (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
27	USS ARKANSAS (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
28	USS UTAH (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
29	USS OKLAHOMA (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
30	USS ARIZONA (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
31	USS BARB (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
32	USS TANG (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
33	USS WAHOO (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
34	USS SILVERSIDE (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
35	USS 1 (UNMANED YET) (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
36	USS 2 (UNMANED YET) (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
37	USS 3 (UNMAMED YET) (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
38	USS 4 (UNMANED YET) (VIRGINIA CLASS)	1	S9G	PWR
39	USS SEAWOLF (SEAWOLF CLASS)	1	S6W	PWR
40	USS CONNECTICUT (SEAWOLF CLASS)	1	S6W	PWR
41	USS JIMMY CARTER (SEAWOLF CLASS)	1	S6W	PWR
42	USS LOS ANGELES (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
43	USS BATON ROUGE (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
44	USS PHILADELPHIA (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR



45	USS MEMPHIS (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
46	USS OMAHA (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
47	USS CINCINNATI (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
48	USS GROTON (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
49	USS BIRMINGHAM (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
50	USS NEW YORK CITY (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
51	USS INDIANAPOLIS (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
52	USS BREMENTON (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
53	USS JACKSONVILLE (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
54	USS DALLAS (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
55	USS LA JOLLA (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
56	USS PHOENIX (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
57	USS BOSTON (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
58	USS BALTIMORE (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
59	USS CITY OF CORPUS CHRISTI (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
60	USS ALBUQUERQUE (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
61	USS PORTSMOUTH (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
62	USS MINNEAPOLIS-SAINT PAUL (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
63	USS HYMAN G. RICKOVER (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
64	USS AUGUSTA (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
65	USS SAN FRANCISCO (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
66	USS ATLANTA (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
67	USS HOUSTON (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
68	USS NORFOLK (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR

69	USS BUFFALO (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
70	USS SALT LAKE CITY (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
71	USS OLYMPIA (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
72	USS HONOLULU (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
73	USS PROVIDENCE (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
74	USS PITTSBURGH (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
75	USS CHICAGO (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
76	USS LOUISVILLE (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
77	USS HELENA (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
78	USS NEWPORT NEWS (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
79	USS SAN HUAN (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
80	USS PASADENA (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
81	USS ALBANY (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
82	USS TOPEKA (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
83	USS MIAMI (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
84	USS SCRANTON (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
85	USS ALEXANDRIA (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
86	USS ASHEVILLE (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
87	USS JEFFERSON CITY (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
88	USS ANNAPOLIS (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
89	USS SPRINGFIELD (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
90	USS COLUMBUS (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
91	USS SANTA FE (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
92	USS BOISE (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
93	USS MONTPELIER (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR

	ANGELES CLASS)			
94	USS CHARLOTTE (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
95	USS HAMPTON (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
96	USS HARTFORD (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
97	USS TOLEDO (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
98	USS TUSCON (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
99	USS COLUMBIA (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
100	USS GREENEVILLE (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
101	USS CHEYENNE (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
102	USS KEY WEST (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
103	USS OKLAHOMA CITY (LOS ANGELES CLASS)	1	S6G	PWR
104	USS SKIPJACK (SKIPJACK CLASS)	1	S5W	PWR
105	USS SCAMP (SKIPJACK CLASS)	1	S5W	PWR
106	USS SCORPION (SKIPJACK CLASS)	1	S5W	PWR
107	USS SCULPIN (SKIPJACK CLASS)	1	S5W	PWR
108	USS SHARK (SKIPJACK CLASS)	1	S5W	PWR
109	USS SNOOK (SKIPJACK CLASS)	1	S5W	PWR
110	USS THRESHER (THRESHER CLASS)	1	S5W	PWR
111	USS PERMIT (THRESHER CLASS)	1	S5W	PWR
112	USS PLUNGER (THRESHER CLASS)	1	S5W	PWR
113	USS BARB (THRESHER CLASS)	1	S5W	PWR
114	USS POLLACK (THRESHER CLASS)	1	S5W	PWR
115	USS HADDO (THRESHER CLASS)	1	S5W	PWR
116	USS JACK (THRESHER CLASS)	1	S5W	PWR
117	USS TINOSA (THRESHER CLASS)	1	S5W	PWR

118	USS DACE (THRESHER CLASS)	1	S5W	PWR
119	USS GUARDFISH (THRESHER CLASS)	1	S5W	PWR
120	USS FLASHER (THRESHER CLASS)	1	S5W	PWR
121	USS GREENLING (THRESHER CLASS)	1	S5W	PWR
122	USS GATO (THRESHER CLASS)	1	S5W	PWR
123	USS HADDOCK (THRESHER CLASS)	1	S5W	PWR
124	USS STURGEON (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
125	USS WHALE (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
126	USS TAUTOG (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
127	USS GRAYLING (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
128	USS POGY (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
129	USS ASPRO (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
130	USS SUNFISH (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
131	USS PARGO (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
132	USS QUEENFISH (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
133	USS PUFFER (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
134	USS RAY (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
135	USS SAND LANCE (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
136	USS LAPON (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
137	USS GURNARD (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
138	USS HAMMERHEAD (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
139	USS SEA DEVIL (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
140	USS GUITARRO (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
141	USS HAWKBILL (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
142	USS BERGALL (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR

	CLASS)			
143	USS SPADEFISH (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
144	USS SEAHORSE (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
145	USS FINBACK (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
146	USS PINTADO (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
147	USS FLYING FISH (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
148	USS TREPANG (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
149	USS BLUEFISH (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
150	USS BILLFISH (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
151	USS DRUM (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
152	USS ARCHERFISH (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
153	USS SILVERSIDES (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
154	USS WILLIAM H. BATES (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
155	USS BATFISH (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
156	USS TUNNY (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
157	USS PARCHE (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
158	USS CAVALLA (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
159	USS L. MENDEL RIVERS (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
160	USS RICHARD B. RUSSELL (STURGEON CLASS)	1	S5W	PWR
161	USS OHIO (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
162	USS MICHIGAN (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
163	USS FLORIDA (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
164	USS GEORGIA (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
165	USS HENRY M. JACKSON (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
166	USS ALABAMA (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
167	USS ALASKA (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
168	USS NEVADA (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
169	USS TENNESSEE (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR

	CLASS)			
170	USS PENNSYLVANIA (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
171	USS WEST VIRGINIA (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
172	USS KENTUCKY (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
173	USS MARYLAND (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
174	USS NEBRASKA (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
175	USS RHODE ISLAND (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
176	USS MAINE (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
177	USS WYOMING (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
178	USS LOUISIANA (OHIO CLASS)	1	S8G	PWR
179	USS BENJAMIN FRANKLIN (BENJAMIN FRANKLIN CLASS)	1	S5W	PWR
180	USS SIMON BOLIVAR (BENJAMIN FRANKLIN CLASS)	1	S5W	PWR
181	USS KAMEHAMEHA (BENJAMIN FRANKLIN CLASS)	1	S5W	PWR
182	USS GEORGE BANCROFT (BENJAMIN FRANKLIN CLASS)	1	S5W	PWR
183	USS LEWIS AND CLARK (BENJAMIN FRANKLIN CLASS)	1	S5W	PWR
184	USS JAMES K. POLK (BENJAMIN FRANKLIN CLASS)	1	S5W	PWR
185	USS GEORGE C. MARSHALL (BENJAMIN FRANKLIN CLASS)	1	S5W	PWR
186	USS HENRY L. STIMSON (BENJAMIN FRANKLIN CLASS)	1	S5W	PWR
187	USS GEORGE WASHINGTON CARVER (BENJAMIN FRANKLIN CLASS)	1	S5W	PWR
188	USS FRANCIS SCOTT KEY (BENJAMIN FRANKLIN CLASS)	1	S5W	PWR
189	USS MARIANO G. VALLEJO	1	S5W	PWR

	(BENJAMIN FRANKLIN CLASS)			
190	USS WILL ROGERS (BENJAMIN FRANKLIN CLASS)	1	S5W	PWR
191	USS JAMES MADISON (JAMES MADISON CLASS)	1	S5W	PWR
192	USS TECUMSEH (JAMES MADISON CLASS)	1	S5W	PWR
193	USS DANIEL BOONE (JAMES MADISON CLASS)	1	S5W	PWR
194	USS JOHN C. CALHOUN (JAMES MADISON CLASS)	1	S5W	PWR
195	USS ULYSSES S. GRANT (JAMES MADISON CLASS)	1	S5W	PWR
196	USS VON STEUBEN (JAMES MADISON CLASS)	1	S5W	PWR
197	USS CASIMIR PULASKI (JAMES MADISON CLASS)	1	S5W	PWR
198	USS STONEWALL JACKSON (JAMES MADISON CLASS)	1	S5W	PWR
199	USS SAM RAYBURN (JAMES MADISON CLASS)	1	S5W	PWR
200	USS NATHANAEL GREENE (JAMES MADISON CLASS)	1	S5W	PWR
201	USS LAFAYETTE (LAFAYETTE CLASS)	1	S5W	PWR
202	USS ALEXANDER HAMILTON (LAFAYETTE CLASS)	1	S5W	PWR
203	USS ANDREW JACKSON (LAFAYETTE CLASS)	1	S5W	PWR
204	USS JOHN ADAMS (LAFAYETTE CLASS)	1	S5W	PWR
205	USS JAMES MONROE (LAFAYETTE CLASS)	1	S5W	PWR
206	USS NATHAN HALE (LAFAYETTE CLASS)	1	S5W	PWR
207	USS WOODROW WILSON (LAFAYETTE CLASS)	1	S5W	PWR
208	USS HENRY CLAY (LAFAYETTE CLASS)	1	S5W	PWR
209	USS DANIEL WEBSTER (LAFAYETTE CLASS)	1	S5W	PWR
210	USS ETHAN ALLEN (ETHAN ALLEN CLASS)	1	S5W	PWR
211	USS SAM HOUSTON (ETHAN ALLEN CLASS)	1	S5W	PWR
212	USS THOMAS A. EDISON	1	S5W	PWR

	(ETHAN ALLEN CLASS)			
213	USS JOHN MARSHALL (ETHAN ALLEN CLASS)	1	S5W	PWR
214	USS THOMAS JEFFERSON (ETHAN ALLEN CLASS)	1	S5W	PWR
215	USS GEORGE WASHINGTON (GEORGE WASHINGTON CLASS)	1	S5W	PWR
216	USS PATRICK HENRY (GEORGE WASHINGTON CLASS)	1	S5W	PWR
217	USS THEODORE ROOSEVELT (GEORGE WASHINGTON CLASS)	1	S5W	PWR
218	USS ROBERT E. LEE (GEORGE WASHINGTON CLASS)	1	S5W	PWR
219	USS ABRAHAM LINCOLN (GEORGE WASHINGTON CLASS)	1	S5W	PWR
220	USS DISTRICT OF COLUMBIA (COLUMBIA CLASS)	1	CCR	PWR
221	USS NAUTILUS	1	S2W	PWR
222	USS SEAWOLF	1	S6W	PWR
223	USS SKATE (SKATE CLASS)	1	S3W	PWR
224	USS SWORDFISH (SKATE CLASS)	1	S3W/S4W	PWR
225	USS SARGO (SKATE CLASS)	1	S3W	PWR
226	USS SEADRAGON (SKATE CLASS)	1	S3W/S4W	PWR
227	USS TRITON	2	S4G	PWR
228	USS HALIBUT	1	S3W	PWR
229	USS TULLIBEE	1	S2C	PWR
230	USS NARWHAL	1	S5G	PWR

ΒΑΣΙΛΙΚΟ ΝΑΥΤΙΚΟ ΤΟΥ ΗΝΩΜΕΝΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ/ *UNITED KINGDOM'S  
NAVY*

**Πίνακας 3. Τα πυρηνοκίνητα υποβρύχια του ναυτικού του Ηνωμένου Βασιλείου**

A/A	SHIP'S NAME	NUMBER OF NR	REACTOR'S NAME	TYPE OF REACTOR
1	HMS ASTUTE (ASTUTE	1	R&R PWR 2	PWR



	CLASS)			
2	HMS AMBUSH (ASTUTE CLASS)	1	R&R PWR 2	PWR
3	HMS ARTFUL (ASTUTE CLASS)	1	R&R PWR 2	PWR
4	HMS AUDACIOUS (ASTUTE CLASS)	1	R&R PWR 2	PWR
5	HMS ANSON (ASTUTE CLASS)	1	R&R PWR 2	PWR
6	HMS AGAMEMNON (ASTUTE CLASS)	1	R&R PWR 2	PWR
7	HMS AGINCOURT (ASTUTE CLASS)	1	R&R PWR 2	PWR
8	HMS TRAFALGAR (TRAFALGAR CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
9	HMS TURBULENT (TRAFALGAR CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
10	HMS TIRELESS (TRAFALGAR CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
11	HMS TORBAY (TRAFALGAR CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
12	HMS TRENCHANT (TRAFALGAR CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
13	HMS TALENT (TRAFALGAR CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
14	HMS TRIUMPH (TRAFALGAR CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
15	HMS SWIFTSURE (SWIFTSURE CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
16	HMS SOVEREIGN (SWIFTSURE CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
17	HMS SUPERB (SWIFTSURE CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
18	HMS SCEPTRE (SWIFTSURE CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
19	HMS SPARTAN (SWIFTSURE CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
20	HMS SPLENDID (SWIFTSURE CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
21	HMS CHURCHILL (REAPANT-VALIENT CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
22	HMS CONQUEROR (REAPANT-VALIENT CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
23	HMS COURAGEOUS (REAPANT-VALIENT CLASS)	1	R&R PWR 1	PWR
24	HMS VALIANT (VALIANT CLASS)	1	R&R PWR	PWR

	CLASS)			
25	HMS WARSPRITE (VALIANT CLASS)	1	R&R PWR	PWR
26	HMS DREADNOUGHT	1	S5W	PWR
27	HMS VANGUARD (VANGUARD CLASS)	1	R&R PWR 2	PWR
28	HMS VICTORIOUS (VANGUARD CLASS)	1	R&R PWR 2	PWR
29	HMS VIGILANT (VANGUARD CLASS)	1	R&R PWR 2	PWR
30	HMS VENGEANCE (VANGUARD CLASS)	1	R&R PWR 2	PWR
31	HMS DREADNOUGHT (DREADNOUGHT CLASS)	1	P&R PWR 3	PWR
32	HMS WARSPITE (DREADNOUGHT CLASS)	1	P&R PWR 3	PWR
33	HMS VALIANT (DREADNOUGHT CLASS)	1	P&R PWR 3	PWR
34	HMS RESOLUTION (RESOLUTION CLASS)	1	VICKERS/R& R PWR 1	PWR
35	HMS REPULSE (RESOLUTION CLASS)	1	VICKERS/R& R PWR 1	PWR
36	HMS RENOWN (RESOLUTION CLASS)	1	VICKERS/R& R PWR 1	PWR
37	HMS REVENGE (RESOLUTION CLASS)	1	VICKERS/R& R PWR 1	PWR

ΣΟΒΙΕΤΙΚΟ- ΡΩΣΙΚΟ ΝΑΥΤΙΚΟ/ *SOVIET- RUSSIAN NAVY*

**Πίνακας 4. Τα πυρηνοκίνητα υποβρύχια του Ρωσικού/ Σοβιετικού ναυτικού**

A/A	SHIP'S NAME	NUMBER OF NR	REACTOR'S NAME	TYPE OF REACTOR
1	AKULA (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
2	AK BARS (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
3	BARNAUL (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
4	KASHALOT (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
5	PANTERA (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
6	VOLK (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
7	BRATSH (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
8	LEOPARD (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR

	CLASS)			
9	TIGR (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
10	MAGADAN (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
11	KUZBASS (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
12	GEPARD (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
13	KUGUAR (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
14	RYS (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
15	SAMARA (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
16	NERPA (AKULA CLASS)	1	OK-650B	PWR
17	TK 208 (TYPHOON CLASS)	2	OK-650VV	PWR
18	TK 202 (TYPHOON CLASS)	2	OK-650VV	PWR
19	TK 12 (TYPHOON CLASS)	2	OK-650VV	PWR
20	TK 13 (TYPHOON CLASS)	2	OK-650VV	PWR
21	TK 17 (TYPHOON CLASS)	2	OK-650VV	PWR
22	T 20 (TYPHOON CLASS)	2	OK-650VV	PWR
23	ST. PETESBURG (BOREI CLASS)	1	OK-650V	PWR
24	ALEXANDER NEVSKY (BOREI CLASS)	1	OK-650V	PWR
25	VLADIMIR MONOMAKH (BOREI CLASS)	1	OK-650V	PWR
26	KNYAZ VLADIMIR (BOREI CLASS)	1	OK-650V	PWR
27	KNYAZ OLEG (BOREI CLASS)	1	OK-650V	PWR
28	GENERALISSIMUS SUVOROV (BOREI CLASS)	1	OK-650V	PWR
29	IMPERATOR ALEKSANDR III (BOREI CLASS)	1	OK-650V	PWR
30	KNYAZ POZHARSKIY (BOREI CLASS)	1	OK-650V	PWR
31	DMITRY DONSKOY (BOREI CLASS)	1	OK-650V	PWR
32	KNYAZ POTEMKIN (BOREI CLASS)	1	OK-650V	PWR
33	K3 (NOVEMBER CLASS)	2	VM-A	PWR
34	K5 (NOVEMBER CLASS)	2	VM-A	PWR

35	K8 (NOVEMBER CLASS)	2	VM-A	PWR
36	K11 (NOVEMBER CLASS)	2	VM-A	PWR
37	K14 (NOVEMBER CLASS)	2	VM-A	PWR
38	K21 (NOVEMBER CLASS)	2	VM-A	PWR
39	K42 (NOVEMBER CLASS)	2	VM-A	PWR
40	K50 (NOVEMBER CLASS)	2	VM-A	PWR
41	K52 (NOVEMBER CLASS)	2	VM-A	PWR
42	K115 (NOVEMBER CLASS)	2	VM-A	PWR
43	K133 (NOVEMBER CLASS)	2	VM-A	PWR
44	K159 (NOVEMBER CLASS)	2	VM-A	PWR
45	K181 (NOVEMBER CLASS)	2	VM-A	PWR
46	K27	2	VT-1	lead-bismuth liquid metal-cooled reactors
47	K19 (HOTEL CLASS)	2	VM-A	PWR
48	K33 (HOTEL CLASS)	2	VM-A	PWR
49	K55 (HOTEL CLASS)	2	VM-A	PWR
50	K40 (HOTEL CLASS)	2	VM-A	PWR
51	K16 (HOTEL CLASS)	2	VM-A	PWR
52	K145 (HOTEL CLASS)	2	VM-A	PWR
53	K149 (HOTEL CLASS)	2	VM-A	PWR
54	K178 (HOTEL CLASS)	2	VM-A	PWR
55	K45 (ECHO CLASS)	2	VM-A	PWR
56	K59 (ECHO CLASS)	2	VM-A	PWR
57	K66 (ECHO CLASS)	2	VM-A	PWR
58	K122 (ECHO CLASS)	2	VM-A	PWR
59	K151 (ECHO CLASS)	2	VM-A	PWR
60	K18 (PAPA CLASS)	2	VM-5	PWR
61	K137 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
62	K140 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
63	K216 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
64	K26 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
65	K32 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
66	K207 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
67	K210 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
68	K249 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
69	K253 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
70	K395 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
71	K408 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR

72	K411 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
73	K418 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
74	K420 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
75	K423 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
76	K426 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
77	K415 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
78	K403 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
79	K245 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
80	K214 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
81	K241 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
82	K444 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
83	K399 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
84	K434 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
85	K236 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
86	K389 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
87	K258 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
88	K219 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
89	K228 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
90	K252 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
91	K446 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
92	K451 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
93	K436 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
94	K430 (YANKEE CLASS)	2	VM-4	PWR
95	K560 (GRANEY CLASS)	1	OK-650KPM	PWR
96	K561 (GRANEY CLASS)	1	OK-650KPM	PWR
97	K573 (GRANEY CLASS)	UNDER CONSTRUCTION	OK-650KPM	PWR
98	K571 (GRANEY CLASS)		OK-650KPM	PWR
99	K564 (GRANEY CLASS)		OK-650KPM	PWR
100	PERM (GRANEY CLASS)		OK-650KPM	PWR
101	ULYANOVSK (GRANEY CLASS)		OK-650KPM	PWR
102	VORONEZH (GRANEY CLASS)		OK-650KPM	PWR
103	VLADIVOSTOK (GRANEY CLASS)		OK-650KPM	PWR
104	K239 (SIERRA CLASS)	1	OK- 650A	PWR
105	K276 (SIERRA CLASS)	1	OK- 650A	PWR
106	K534 (SIERRA CLASS)	1	OK- 650A	PWR
107	K336 (SIERRA CLASS)	1	OK- 650A	PWR
108	K279 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR

109	K447 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
110	K450 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
111	K385 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
112	K457 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
113	K460 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
114	K472 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
115	K475 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
116	K171 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
117	K366 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
118	K417 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
119	K477 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
120	K497 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
121	K500 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
122	K512 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
123	K523 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
124	K530 (DELTA I CLASS)	2	VM-4	PWR
125	K182 (DELTA II CLASS)	2	VM-4	PWR
126	K92 (DELTA II CLASS)	2	VM-4	PWR
127	K193 (DELTA II CLASS)	2	VM-4	PWR
128	K421 (DELTA II CLASS)	2	VM-4	PWR
129	K424 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
130	K441 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
131	K449 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
132	K455 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
133	K490 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
134	K487 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
135	K96 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
136	K496 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
137	K506 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
138	K211 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
139	K223 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
140	K180 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
141	K433 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
142	K129 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
143	K44 (DELTA III CLASS)	2	VM-4	PWR
144	K51 (DELTA IV CLASS)	2	VM-4	PWR
145	K84 (DELTA IV CLASS)	2	VM-4	PWR
146	K64 (DELTA IV CLASS)	2	VM-4	PWR
147	K114 (DELTA IV CLASS)	2	VM-4	PWR
148	K117 (DELTA IV CLASS)	2	VM-4	PWR
149	K18 (DELTA IV CLASS)	2	VM-4	PWR
150	K407 (DELTA IV CLASS)	2	VM-4	PWR
151	K43 (CHARLIE I CLASS)	1	VM-4	PWR
152	K87 (CHARLIE I CLASS)	1	VM-4	PWR
153	K25 (CHARLIE I CLASS)	1	VM-4	PWR
154	K143 (CHARLIE I CLASS)	1	VM-4	PWR

	CLASS)			
155	K313 (CHARLIE CLASS)	I	1	VM-4 PWR
156	K308 (CHARLIE CLASS)	I	1	VM-4 PWR
157	K320 (CHARLIE CLASS)	I	1	VM-4 PWR
158	K302 (CHARLIE CLASS)	I	1	VM-4 PWR
159	K325 (CHARLIE CLASS)	I	1	VM-4 PWR
160	K429 (CHARLIE CLASS)	I	1	VM-4 PWR
161	K201 (CHARLIE CLASS)	I	1	VM-4 PWR
162	K452 (CHARLIE CLASS)	II	1	VM-4 PWR
163	K458 (CHARLIE CLASS)	II	1	VM-4 PWR
164	K479 (CHARLIE CLASS)	II	1	VM-4 PWR
165	K503 (CHARLIE CLASS)	II	1	VM-4 PWR
166	K508 (CHARLIE CLASS)	II	1	VM-4 PWR
167	K209 (CHARLIE CLASS)	II	1	VM-4 PWR
168	K38 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
169	K69 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
170	K147 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
171	K53 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
172	K306 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
173	K323 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
174	K370 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
175	K438 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
176	K367 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
177	K398 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
178	K462 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
179	K481 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
180	K314 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
181	K454 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
182	K469 (VIKTOR I CLASS)		2	VM-4 PWR
183	K387 (VIKTOR CLASS)	II	2	VM-4 PWR
184	K371 (VIKTOR II CLASS)		2	VM-4 PWR
185	K467 (VIKTOR II CLASS)		2	VM-4 PWR
186	K488 (VIKTOR II CLASS)		2	VM-4 PWR
187	K495 (VIKTOR II CLASS)		2	VM-4 PWR

188	K513 (VIKTOR II CLASS)	2	VM-4	PWR
189	K517 (VIKTOR II CLASS)	2	VM-4	PWR
190	K524 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
191	K254 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
192	K502 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
193	K527 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
194	K298 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
195	K358 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
196	K299 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
197	K244 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
198	K247 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
199	K507 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
200	K251 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
201	K255 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
202	K324 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
203	K355 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
204	K360 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
205	K218 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
206	K242 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
207	K492 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
208	K412 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
209	K305 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
210	K264 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
211	K292 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
212	K388 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
213	K138 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR



	CLASS)			
214	K414 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
215	K448 (VIKTOR III CLASS)	2	VM-4	PWR
216	K166 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
217	K104 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
218	K170 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
219	K172 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
220	K47 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
221	K1 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
222	K28 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
223	K74 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
224	K22 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
225	K35 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
226	K90 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
227	K116 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
228	K125 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
229	K128 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
230	K131 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
231	K135 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
232	K175 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
233	K184 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
234	K189 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
235	K57 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
236	K31 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
237	K48 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
238	K56 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
239	K10 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
240	K94 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
241	K108 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
242	K7 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
243	K23 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
244	K34 (ECHO II CLASS)	2	VM-A	PWR
245	K278 (MIKE CLASS)	1	OK-650B-3	PWR
246	K64 (ALPHA CLASS)	1	OK- 550	LMR
247	K316 (ALPHA CLASS)	1	OK- 550	LMR
248	K373 (ALPHA CLASS)	1	OK- 550	LMR
249	K463 (ALPHA CLASS)	1	OK- 550	LMR
250	K123 (ALPHA CLASS)	1	OK- 550	LMR
251	K432 (ALPHA CLASS)	1	OK- 550	LMR
252	K493 (ALPHA CLASS)	1	OK- 550	LMR
253	K525 (OSCAR CLASS)	2	OK-650B/ 650V	PWR
254	K206 (OSCAR CLASS)	2	OK-650B/ 650V	PWR
255	K148 (OSCAR CLASS)	2	OK-650B/	PWR

			650V	
256	K173 (OSCAR CLASS)	2	OK-650B/ 650V	PWR
257	K132 (OSCAR CLASS)	2	OK-650B/ 650V	PWR
258	K119 (OSCAR CLASS)	2	OK-650B/ 650V	PWR
259	K410 (OSCAR CLASS)	2	OK-650B/ 650V	PWR
260	K442 (OSCAR CLASS)	2	OK-650B/ 650V	PWR
261	K456 (OSCAR CLASS)	2	OK-650B/ 650V	PWR
262	K266 (OSCAR CLASS)	2	OK-650B/ 650V	PWR
263	K186 (OSCAR CLASS)	2	OK-650B/ 650V	PWR
264	K141 (OSCAR CLASS)	2	OK-650B/ 650V	PWR
265	K150 (OSCAR CLASS)	2	OK-650B/ 650V	PWR
266	AS-23 (X-RAY CLASS)	1	OK-200	PWR
267	AS-21 (X-RAY CLASS)	1	OK-200	PWR
268	AS-35 (X-RAY CLASS)	1	OK-200	PWR
269	AS-13 (UNIFORM CLASS)	1	N/A	PWR
270	AS-15 (UNIFORM CLASS)	1	N/A	PWR
271	AS-33 (UNIFORM CLASS)	1	N/A	PWR
272	AS-31	1	E-17	PWR

ΓΑΛΛΙΚΟ ΝΑΥΤΙΚΟ/ *FRENCH NAVY*

**Πίνακας 5. Τα πυρηνοκίνητα υποβρύχια του Γαλλικού ναυτικού**

A/A	SHIP'S NAME	NUMBER OF NR	REACTOR'S NAME	TYPE OF REACTOR
1	RUBIS (RUBIS CLASS)	1	CAS-48	PWR
2	CASABIANCA (RUBIS CLASS)	1	CAS-48	PWR
3	EMERAUDE (RUBIS CLASS)	1	CAS-48	PWR
4	AMETHYSTE (RUBIS CLASS)	1	CAS-48	PWR
5	PERLE (RUBIS CLASS)	1	CAS-48	PWR
6	SUFFREN (BARRACUDA CLASS)	1	K15	PWR

7	LE TRIUMPHANT (TRIUMPHANT CLASS)	1	K15	PWR
8	LE TEMERAIRE (TRIUMPHANT CLASS)	1	K15	PWR
9	LE VIGILANT (TRIUMPHANT CLASS)	1	K15	PWR
10	LE TERRIBLE (TRIUMPHANT CLASS)	1	K15	PWR
11	REDOUTABLE (LE REDOUTABLE CLASS)	1	SNLE	PWR
12	TERRIBLE (LE REDOUTABLE CLASS)	1	SNLE	PWR
13	FOUDROYANT (LE REDOUTABLE CLASS)	1	SNLE	PWR
14	INDOMPTABLE (LE REDOUTABLE CLASS)	1	SNLE	PWR
15	TONNANT (LE REDOUTABLE CLASS)	1	SNLE	PWR
16	INFLEXIBLE (LE REDOUTABLE CLASS)	1	SNLE	PWR

KINEZIKO NAYTIKO/ CHINESE NAVY

Πίνακας 6. Τα πυρηνοκίνητα υποβρύχια του Κινέζικου Ναυτικού

A/A	SHIP'S NAME	NUMBER OF NR	REACTOR'S NAME	TYPE OF REACTOR
1	(UNNAMED) (JIN CLASS)	1		PWR
2	CHANGZHENG 10 (JIN CLASS)	1		PWR
3	CHANGZHENG 11 (JIN CLASS)	1		PWR
4	CHANGZHENG 18 (JIN CLASS)	1		PWR
5	(UNNAMED) (JIN CLASS)	1		PWR
6	(UNNAMED) (JIN CLASS)	1		PWR
7	CHANGZHENG 6 (XIA CLASS)	1		PWR
8	CHANGZHENG 1 (HAN CLASS)	1		PWR
9	CHANGZHENG 2 (HAN CLASS)	1		PWR
10	CHANGZHENG 3 (HAN CLASS)	1		PWR
11	CHANGZHENG 4 (HAN CLASS)	1		PWR

	CLASS)			
12	CHANGZHENG 5 (HAN CLASS)	1		PWR
13	(UNNAMED) (SHAG CLASS)	1		PWR
14	(UNNAMED) (SHAG CLASS)	1		PWR
15	(UNNAMED) (SHAG CLASS)	1		PWR
16	(UNNAMED) (SHAG CLASS)	1		PWR
17	(UNNAMED) (SHAG CLASS)	1		PWR
18	(UNNAMED) (SHAG CLASS)	1		PWR

#### ΙΝΔΙΚΟ ΝΑΥΤΙΚΟ/ *INDIAN NAVY*

#### Πίνακας 7. Τα πυρηνοκίνητα υποβρύχια του Ινδικού Ναυτικού

A/A	SHIP'S NAME	NUMBER OF REACTORS	REACTOR'S NAME	TYPE OF REACTOR
1	INS ARIHANT (ARIHANT CLASS)	1	CLWR-B1	PWR
2	INS ARIGANT (ARIHANT CLASS)	1	CLWR-B1	PWR
3	(UNNAMED YET) (ARIHANT CLASS)	1	CLWR-B1	PWR
4	(UNNAMED YET) (ARIHANT CLASS)	1	CLWR-B1	PWR

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ- ABBREVIATIONS

ΗΠΑ- Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής

Ε.Ε- Ευρωπαϊκή Ένωση

*IMO- International Maritime Organization*

*USS- United States Ship*

*HMS- His Majesty's Ship*

*DWT- Deadweight*

GR- Gross Tonnage

MEPC- Marine Environment Protection Committee

MRV- Monitoring, Reporting and Verifying

IAEA- International Atomic Energy Agency

NS- Nuclear Ship

SMR- Small, Modular, Reactor

1\$=1,1 €

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ	MEANING
Trips	(year)	κυκλικά ταξίδια το έτος	<i>full trips per year</i>
Totaltrips	(years)	κυκλικά ταξίδια τη περίοδο μελέτης	<i>full trips for the study's period of time</i>
Kfo	(\$/year)	κόστος καυσίμου HFO ετησίως	<i>cost of HFO fuel per year</i>
FO	(tn)	βάρος καυσίμου HFO	<i>HFO's weight</i>
Cfo	(\$/tn)	κόστος τόνου καυσίμου HFO	<i>cost per ton of HFO fuel</i>
D	(nautical miles)	απόσταση μεταξύ των λιμένων	<i>distance between the ports</i>
R	(nautical miles)	η ακτίνα δράσης του πλοίου	<i>range of vessel</i>
Kgo	(\$/year)	κόστος καυσίμου MGO ετησίως	<i>cost of MGO fuel per year</i>
GO	(tn)	Βάρος καυσίμου MGO	<i>MGO's weight</i>
Cgo	(\$/tn)	κόστος ανά τόνο καυσίμου MGO	<i>cost per ton of MGO fuel</i>
Kfw	(\$/year)	κόστος πόσιμου νερού ετησίως	<i>cost of potable water per year</i>
FW	(tn)	βάρος πόσιμου νερού	<i>Potable water weight</i>
Cfw	(\$/tn)	κόστος ανά τόνο πόσιμου νερού	<i>cost per ton of potable water</i>
Klo	(\$/year)	κόστος λιπαντικών ετησίως	<i>cost of lube oils per year</i>

LO	(tn)	βάρος λιπαντικών	<i>lube oils weight</i>
Clo	(\$/tn)	κόστος ανά τόνο λιπαντικών	<i>cost per ton of lube oils</i>
Kprov	(\$/year)	κόστος τροφοδοσίας ετησίως	<i>cost of provisions per year</i>
Cprov	(\$/person)	ημερήσιο κόστος τροφοδοσίας ανά άτομο	<i>daily cost of provisions per person</i>
crew	(persons)	πλήρωμα του πλοίου	<i>crew of vessel</i>
Kpayroll	(\$/year)	κόστος μισθοδοσίας ετησίως	<i>payroll cost per year</i>
Csalary	(\$/person)	μισθός ανά άτομο	<i>salary per person</i>
Καναλ	(\$/year)	κόστος αναλώσιμων ετησίως	<i>cost of consumables per year</i>
Εξλιμ	(\$/year)	λιμενικά τέλη ετησίως	<i>Port expenses/clearances</i>
Lbp	(m)	μήκος μεταξύ καθέτων	<i>length between perpendiculars</i>
B	(m)	πλάτος	<i>beam</i>
D	(m)	κοίλο	<i>draught</i>
Εξεσ	(\$/year)	κόστος επισκευής και συντήρησης	<i>cost of repair and maintenance per year</i>
Εξμε	(\$/year)	κόστος επισκευής και συντήρησης της μηχανολογικής εγκατάστασης	<i>cost of repair and maintenance of the machinery installations</i>
Εξμκ	(\$/year)	κόστος επισκευής και συντήρησης της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου	<i>cost of repair and maintenance of the hull outfitting</i>
Pb	(KW)	εγκατεστημένη ισχύς της κύριας μηχανής)	<i>brake horsepower of the main engine</i>
Εξασ	(\$/year)	κόστος ασφαλίσεων ετησίως	<i>insurance costs</i>
GT	(tn)	ολική χωρητικότητα	<i>gross tonnage</i>

Cεξ	(\$/year)	κόστος λειτουργίας ανά έτος	<i>operational costs per year</i>
Original_price	(\$)	αρχική αξία του πλοίου	<i>initial vessel's value</i>
TA	(\$)	τελική αξία του πλοίου	<i>final vessel's value</i>
ΚΠ	(\$)	κεφάλαιο πλοιοκτήτη	<i>shipowner's capital</i>
ΥΔ	(\$)	ύψος δανείου	<i>total amount of loan</i>
r	(-)	δανειακό επιτόκιο	<i>bank's base rate</i>
N	(years)	χρόνια αποπληρωμής δανείου	<i>years of amortisation of loan</i>
Δ	(\$/year)	δόση δανείου	<i>loans yearly installment</i>
ΚΠΑ	(-)	Καθαρή παρούσα αξία	<i>net present value (NPV)</i>
i	(-)	προσδοκώμενη απόδοση του κεφαλαίου (κόστος ευκαιρίας)	<i>discount rate</i>
Ktrip	(\$)	ελάχιστο απαιτούμενο κέρδος ανά ταξίδι	<i>mininum profit per full trip</i>
F	(\$/tn)	ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος	<i>mininum required freight per ton</i>
Wpayload	(tn)	βάρος ωφέλιμου φορτίου	<i>payload weight</i>
MHΣm	(manhours)	απαιτούμενες εργατοώρες	<i>required manhours of labour</i>
CMHm	(\$)	εργατικό κόστος	<i>labour costs</i>
Cmhm	(\$/manhour)	κόστος εργατοώρας	<i>cost of manhour of labour</i>
CSm	(\$)	κόστος υλικών	<i>material's cost</i>
Km	(\$)	κόστος μηχανολογικής εγκατάστασης	<i>cost of the machinery installations</i>
Kτ	(\$)	αξία πλοίου χωρίς μηχανολογικό σύστημα	<i>vessel's value without machinery installations</i>
Kτ'	(\$)	αξία πλοίου με	<i>vessel's value</i>

		πυρηνική πρόωση	<i>with a nuclear propulsion system</i>
electr_price	(\$/KWh)	κόστος κιλοβατώρας ηλεκτρικού ρεύματος	<i>cost of Kilowatt per hour of electricity</i>
Fr	(\$/tn)	ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος (κεφάλαιο σύγκρισης των δύο περιπτώσεων)	<i>minimum required freight (chapter of evaluation of the two scenarios)</i>

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- al, Y. G. (n.d.). *Feasibility study on nuclear propulsion ship according to economic evaluation*. Ανάκτηση 06 05, 2023, από [https://www.academia.edu/7918824/Feasibility\\_Study\\_on\\_Nuclear\\_Propulsion\\_Ship\\_according\\_to\\_Economic\\_Evaluation](https://www.academia.edu/7918824/Feasibility_Study_on_Nuclear_Propulsion_Ship_according_to_Economic_Evaluation)
- Aruvian's Research . (n.d.). *Marine Applications of Nuclear Power*. Ανάκτηση 03 10, 2023, από Academia: [https://www.academia.edu/6558674/Nuclear\\_Naval\\_Propulsion](https://www.academia.edu/6558674/Nuclear_Naval_Propulsion)
- Barnaby, D. F. (2004). *How to build a nuclear bomb: and other weapons of mass destruction*. Nations Books.
- Carlton, J. &. (2011). The nuclear propulsion of merchant ships: Aspects of engineering, science and technology. *Proceedings of the Institute of Marine Engineering, Science and Technology*. σσ. 47-59.
- CORE-POWER. (2020). *marine-Molten Salt Reactor (m-SMR) Information Pack*. CORE-POWER.
- DNV. (n.d.). *Energy Transition Outlook 2021*. Ανάκτηση 05 20, 2023, από DNV: <https://www.dnv.com/Publications/technology-progress-report-211013>



- Halliday, R. W. (2013). *ΦΥΣΙΚΗ, ΤΟΜΟΣ Β*. Αθήνα: Gutenberg.
- Halvor Schoyen, K. S.-J. (n.d.). *Nuclear Propulsion in ocean merchant shipping: The role of historical experiments to gain insight into possible future applications*. Ανάκτηση 04 15, 2023, από science direct:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617311150>
- Hossam A. Gabbar, M. I. (n.d.). *Analysis of nuclear- renewable hybrid energy system for marine ships*. Ανάκτηση 05 10, 2023, από science direct:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721002468>
- IAEA. (n.d.). *Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage*. Ανάκτηση 01 20, 2023, από IAEA: <https://www.iaea.org/sites/default/files/infocirc500.pdf>
- J. Zhang, R. K. (n.d.). *Lead- Bismuth eutectic technology for hyperion reactor*. Ανάκτηση 03 04, 2023, από science direct:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022311513006971>
- Julio A. Vergara, C. B. (n.d.). *Nuclear Propulsion in High Performance Cargo Vessels*. Ανάκτηση 05 21, 2023, από Academia:  
[https://www.academia.edu/20799156/Nuclear\\_propulsion\\_in\\_high\\_performance\\_cargo\\_vessels](https://www.academia.edu/20799156/Nuclear_propulsion_in_high_performance_cargo_vessels)
- K. Lamprinou, V. K. (n.d.). *Corrosion scales on various steels after exposure to liquid lead- bismuth eutectic*. Ανάκτηση 05 14, 2023, από science direct:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022311513011100>
- Khalil, D. Y. (n.d.). *Nuclear Propulsion Systems: A comparative assessment of manned nuclear submarines*. Ανάκτηση 06 04, 2023, από  
[https://www.academia.edu/44555098/Nuclear\\_Propulsion\\_Systems\\_A\\_Comparative\\_Assessment\\_of\\_Manned\\_Nuclear\\_Submarines](https://www.academia.edu/44555098/Nuclear_Propulsion_Systems_A_Comparative_Assessment_of_Manned_Nuclear_Submarines)
- Kindt, J. (n.d.). *Floating nuclear power plants: US and International regulations*. Ανάκτηση 04 12, 2023, από science direct:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0308597X83900209>
- Kramer, A. (n.d.). *Nuclear Propulsion for Merchant Ships*. Ανάκτηση 02 05, 2023, από <https://books.google.gr/books?id=yy9Y7uYIZZIC>
- Lysenko, M. B.-V. (n.d.). *International Legal Regulations of Floating Nuclear Power Plants: Problems and Aspects*. Ανάκτηση 02 25, 2023, από  
[https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=International+legal+regulations+of+floating+nuclear+power+plants:+Problems+and+prospects&author=Lysenko,+M.N.&author=Bedenko,+V.M.&author=Dalnoki-Veress,+F.J.&publication\\_year=2019&journal=Mosc.+J.+Int.+Law&](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=International+legal+regulations+of+floating+nuclear+power+plants:+Problems+and+prospects&author=Lysenko,+M.N.&author=Bedenko,+V.M.&author=Dalnoki-Veress,+F.J.&publication_year=2019&journal=Mosc.+J.+Int.+Law&)

- M.V Ramana, L. B. (n.d.). *Licensing small modular reactors*. Ανάκτηση 04 15, 2023, από science direct:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213007615>
- Masumoto, J. (Σκηνοθέτης). (2023). *The Days* [Ταινία].
- Mazin, C. (Σκηνοθέτης). (2019). *Chernobyl* [Ταινία].
- McIntosh. (n.d.). *Nuclear Liability and post- Fukushima developments in Nuclear Law*. Ανάκτηση 06 12, 2023, από  
<https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/52422/978-94-6265-495-2.pdf?sequence=1#page=250>
- Michael Golay, A. C. (n.d.). *Floating Nuclear Plants to Improve Economics*. Ανάκτηση 04 12, 2023, από science direct:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128197257001975>
- Norman Friedman, J. L. (1994). *U.S. Submarines since 1945*. US Naval Institute Press.
- Pioro, I. (2016). *Handbook of Generation IV Nuclear Reactors*. Woodhead Publishing
- Ragheb, M. (n.d.). *Nuclear marine propulsion*. Ανάκτηση 05 21, 2023, από Academia:  
[https://www.academia.edu/6953167/NUCLEAR\\_MARINE\\_PROPULSION](https://www.academia.edu/6953167/NUCLEAR_MARINE_PROPULSION)
- Robert C. Block, Y. D. (2010). *Handbook of Nuclear Engineering*. Springer US.
- Rupsha Bhattacharyya, R. S.-E. (n.d.). *Climate action for the shipping industry: Some perspectives on the role of nuclear power in maritime decarbonization*. Ανάκτηση 06 20, 2023, από science direct:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277267112300027X>
- S.E Hirdaris, Y. C. (2014, Volume 61). Considerations on the potential use of Nuclear Small Modular Reactor (SMR) technology for merchant marine propulsion. *Ocean Engineering*, σσ. 101-130.
- Saur, J. (1996). March 13, 1980 serious incident in Saint- Laurent A second unit. Στο J. Saur. Paris: Controle.
- Subki, M. H. (n.d.). *Floating Nuclear Power Plants with Small Modular Reactors*. Ανάκτηση 03 05, 2023, από science direct:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128197257002269>
- UNITED NATIONS. (n.d.). *Convention on Third Party Liability in the Field of Nuclear Energy (Paris Convention)*. Ανάκτηση 01 20, 2023, από

<https://treaties.un.org/doc/Publication/UNTS/Volume%201519/volume-1519-I-13706-English.pdf>

- United Nations. (n.d.). *United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS)*. Ανάκτηση 02 01, 2023, από UN:  
[https://www.un.org/depts/los/convention\\_agreements/texts/unclos/unclos\\_e.pdf](https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf)
- Vlajic. (n.d.). *Legal framework for nuclear ships*. Ανάκτηση 03 30, 2023, από  
<https://www.neimagazine.com/features/featurelegal-framework-for-nuclear-ships-8063937/>
- Wang Q, Z. H. (n.d.). *Using nuclear energy for maritime shortcomings and improvements*. Ανάκτηση 06 05, 2023, από  
<https://doi.org/10.3390/ijerph20042993>
- Xueliang Yuan, J. Z. (n.d.). *How would social acceptance affect nuclear power development*. Ανάκτηση 06 01, 2023, από  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615004175>
- Yican Wu, Y. B. (n.d.). *Development strategy and conceptual design of China Lead-based reseach reactor*. Ανάκτηση 05 21, 2023, από science direct:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306454915004284>
- Α. Παπανικολάου, Κ. Α. (2002). *Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου 1- Συλλογή βοηθημάτων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.
- Αγγελόπουλος, Μ. (1983). *Πυρηνική τεχνολογία*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.
- Κ. Γκιζιάκης, Α. Π. (2002). *Εισαγωγή στις Ναυλώσεις*. Αθήνα: Σταμούλης.
- Παπανικολάου, Α. (2009). *Μελέτη Πλοίου (1ο Τεύχος)*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.
- Παπανικολάου, Α. (2009). *Μελέτη Πλοίου (2ο Τεύχος)*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.
- Πολυζάκης, Α. Λ. (2022). *Πυρηνική Ενέργεια και Τεχνολογικές Εφαρμογές*. Αθήνα: POWER HEAT COOL.
- Τριανταφυλλίδης, Κ. (2019). *Τεχνικο- οικονομική μελέτη για τη χρήση πυρηνικής ενέργειας ως μέσου πρόωσης στα σύγχρονα εμπορικά πλοία*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.
- Ψαραύτης, Χ. Ν. (2005). *Οικονομική Θαλασσιών Μεταφορών*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

- [How is uranium made into nuclear fuel - World Nuclear Association \(world-nuclear.org\)](http://world-nuclear.org)
- <http://large.stanford.edu/courses/2013/ph241/tekant1/>
- <http://www.nanhai.org.cn/info-detail/21/3192.html>
- <https://advisor.visualcapitalist.com/global-energy-prices-by-country/>
- [https://aris.iaea.org/Publications/SMR\\_Book\\_2020.pdf](https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf)
- <https://corepower.energy/about>
- [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_price\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Gen4\\_Energy](https://en.wikipedia.org/wiki/Gen4_Energy)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Lead-cooled\\_fast\\_reactor](https://en.wikipedia.org/wiki/Lead-cooled_fast_reactor)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Liquid\\_metal\\_cooled\\_reactor](https://en.wikipedia.org/wiki/Liquid_metal_cooled_reactor)
- <https://e-nautilia.gr/ypologismos-fortiou-cargo-calculation-gia-crude-kai-product/>
- <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02015R0757-20161216&qid=1484666516378&from=EN>
- <https://man.fas.org/dod-101/sys/ship/eng/index.html>
- [https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/special\\_pg/PG\\_7020-0145.pdf](https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/special_pg/PG_7020-0145.pdf)
- <https://maritime-executive.com/features/time-to-reconsider-nuclear-propulsion>
- <https://mawani.gov.sa/en-us/SAPorts/Yanbu/Pages/default.aspx>
- <https://nric.inl.gov/maritime/>
- [https://nucleus.iaea.org/sites/smr/Shared%20Documents/SMR%20Booklet\\_22-9-22.pdf](https://nucleus.iaea.org/sites/smr/Shared%20Documents/SMR%20Booklet_22-9-22.pdf)
- <https://radiationworks.com/nuclearships.htm>
- <https://safety4sea.com/abs-to-address-obstacles-for-adoption-of-nuclear-technology-at-sea/>
- <https://safety4sea.com/cm-the-role-of-nuclear-in-shipping-decarbonization-where-we-stand/>
- <https://trimis.ec.europa.eu/project/methodology-calculating-transport-emissions-and-energy-consumption>
- <https://ww2.eagle.org/en/innovation-and-technology/technology-advancements/nuclear-energy.html>
- <https://www.amacad.org/sites/default/files/academy/pdfs/nuclearReactors.pdf>
- <https://www.businesswire.com/news/home/20120313005422/en/Hyperion-Power-Generation-Announces-Change-Company-Gen4>
- <https://www.defensemecanetwork.com/stories/nuclear-power-for-surface-combatants/2/>
- <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Decarbonization-perspectives-for-navies.html>

- <https://www.dnv.com/to2030/technology/could-small-scale-nuclear-power-generation-become-attractive.html>
- <https://www.emsa.europa.eu/thetis-mrv/thetis-mrv-videos/download/4925/3118/23.html>
- <https://www.energy.gov/eere/maritime-decarbonization>
- <https://www.energy.gov/ne/articles/5-things-you-should-know-about-nuclear-and-maritime-shipping>
- <https://www.energycouncil.com.au/analysis/worldwide-electricity-prices-how-does-australia-compare/>
- <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator#results>
- <https://www.eria.org/uploads/media/Research-Project-Report/2021-07-Small-Modular-Reactor-/Global-Situation-Small-Modular-Reactor-Development-Deployment.pdf>
- <https://www.euronav.com/media/65361/special-report-2017-eng.pdf>
- [https://www.gen-4.org/gif/jcms/c\\_42153/very-high-temperature-reactor-vhtr](https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_42153/very-high-temperature-reactor-vhtr)
- [https://www.gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/2020-07/gen\\_iv\\_webinar\\_series\\_43\\_mr\\_frederik\\_reitsma\\_29jul\\_2020\\_final.pdf](https://www.gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/2020-07/gen_iv_webinar_series_43_mr_frederik_reitsma_29jul_2020_final.pdf)
- [https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/34\\_IAEA\\_Subki\\_ABDAN-GESEL\\_Webinar%20on%20SMR\\_10Mar22.pdf](https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/34_IAEA_Subki_ABDAN-GESEL_Webinar%20on%20SMR_10Mar22.pdf)
- <https://www.gov.uk/government/publications/mgn-679-nuclear-ships/mgn-679-m-nuclear-ships>
- <https://www.hellenicshippingnews.com/dry-bulk-newbuilding-review-the-spring-sentiment/>
- [https://www.iaea.org/sites/default/files/21/07/iaea\\_webinar\\_marine-based\\_smrs\\_bandi-60\\_bj\\_lee\\_18may2021.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/21/07/iaea_webinar_marine-based_smrs_bandi-60_bj_lee_18may2021.pdf)
- <https://www.iaea.org/sites/default/files/21/10/nuclear-energy-for-a-net-zero-world.pdf>
- <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull3-2/03205901116.pdf>
- <https://www.intechopen.com/chapters/19667>
- <https://www.iop.org/sites/default/files/2019-06/small-modular-reactors.pdf>
- <https://www.isalos.net/2022/05/osa-prepei-na-gnorizete-gia-tis-parangelies-kafsimon/>
- <https://www.kepco-enc.com/eng/contents.do?key=1542>
- [https://www.kns.org/files/pre\\_paper/42/19A-242-%EA%B9%80%EC%9D%BC%ED%99%98.pdf](https://www.kns.org/files/pre_paper/42/19A-242-%EA%B9%80%EC%9D%BC%ED%99%98.pdf)
- <https://www.laka.org/docu/ines/location/>
- <https://www.lr.org/en/insights/articles/how-can-nuclear-support-shippings-route-to-zero-carbon/>
- <https://www.marineinsight.com/know-more/10-worlds-biggest-container-ships-2017/>
- <https://www.marineinsight.com/know-more/major-ports-in-europe/>
- <https://www.morethanshipping.com/fuel-costs-ocean-shipping/>
- <https://www.nei.org/fundamentals/nuclear-waste>

- <https://www.neimagazine.com/news/newshyperion-launches-u2n3-fuelled-pb-bi-cooled-fast-reactor>
- <https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/nautilia/performance-shipping-parelave-to-dexamenoplio-m-t-p-aliki/>
- [https://www.oecd-ilibrary.org/energy/data/iea-world-energy-statistics-and-balances/word-indicators\\_data-00514-en](https://www.oecd-ilibrary.org/energy/data/iea-world-energy-statistics-and-balances/word-indicators_data-00514-en)
- <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/top-ten-tanker-terminals-57057>
- <https://www.terrapower.com/our-work/traveling-wave-reactor-technology/>
- <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/liquid-metal-cooled-nuclear-reactor>
- <https://www.wise-uranium.org/nfcch.html>
- <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/ABS-awarded-federal-contract-for-marine-nuclear-pr>
- <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Kepco-E-C-teams-up-with-shipbuilder-for-floating-r>
- <https://www3.epa.gov/ttnchie1/conference/ei19/session10/trozzi.pdf>
- [Nuclear Power By the Numbers - Gigaom](#)
- [Pressurized water reactor - Wikipedia](#)
- [Πυρηνοκίνητα σκάφη & περιβάλλον - e-telescope online magazine](#)