



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ 2018-2019

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΩΣ ΜΕΣΟΥ ΠΡΟΩΣΗΣ ΣΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ
ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ**



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ: nm12027

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δ. ΛΥΡΙΔΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2019

Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται μια τεχνικο-οικονομική μελέτη για τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας στα σύγχρονα εμπορικά πλοία. Μέχρι στιγμής η πυρηνική ενέργεια ως μέσο πρόωσης στο θαλάσσιο χώρο έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς, δηλαδή για την κίνηση και τις ενεργειακές ανάγκες Πολεμικών Πλοίων-Υποβρυχίων. Επίσης, χρησιμοποιείται για την πρόωση των περισσότερων Ρώσικων Παγοθραυστικών. Για εμπορικούς λόγους έχει δοκιμαστεί πειραματικά σε τέσσερα πλοία στο παρελθόν χωρίς ιδιαίτερη επιτυχία, κυρίως λόγω φόβου ύπαρξης ατυχήματος και πολιτικών αντιδράσεων. Έτσι, τα τρία εξ αυτών χρησιμοποιήθηκαν και αυτά για στρατιωτικές υπηρεσίες. Στην παρούσα μελέτη λαμβάνουμε τα οικονομικά στοιχεία για το κόστος ενός πυρηνικού συστήματος πρόωσης από τα σύγχρονα Ρώσικα Παγοθραυστικά της κλάσης LK-60, τα οποία διαθέτουν δύο RITM-200 αντιδραστήρες. Στη συνέχεια, διαθέτοντας τα απαραίτητα οικονομικά στοιχεία εφαρμόζουμε ένα πυρηνικό σύστημα πρόωσης με έναν RITM-200 αντιδραστήρα σε ένα Bulk Carrier ονόματι SAMSON με μήκος μεταξύ καθέτων 302 μέτρα, πλάτος 51,4 μέτρα, βύθισμα 17,5 μέτρα και ταχύτητα υπηρεσίας 14,4 κόμβους και ένα πυρηνικό σύστημα πρόωσης με δύο RITM-200 αντιδραστήρες σε ένα Containership ονόματι COSCO SHIPPING UNIVERSE με μήκος μεταξύ καθέτων 386,23 μέτρα, πλάτος 58,6 μέτρα, βύθισμα 18 μέτρα και ταχύτητα υπηρεσίας 22 κόμβους. Ακολουθώντας, πραγματοποιούμε μία σύγκριση ανάμεσα σε δύο προμελέτες οικονομικής σκοπιμότητας σε βάθος 20 χρόνων λειτουργίας για τα δύο πλοία. Οι προμελέτες αφορούν το Bulk Carrier SAMSON και Containership COSCO SHIPPING UNIVERSE πρώτα ως πλοία που χρησιμοποιούν συμβατικές μηχανές Diesel και δεύτερον ως πλοία με πυρηνικό σύστημα πρόωσης. Επίσης στις περιπτώσεις της πυρηνοκίνησης εξετάζεται και η δυνατότητα πώλησης ρεύματος στις χρονικές περιόδους που τα πλοία δεν χρησιμοποιούν τους RITM-200 αντιδραστήρες για την πρόωσή τους, όπως συμβαίνει κατά την φορτοεκφόρτωση και την παραμονή στα λιμάνια, κατά τη διάρκεια των επισκευών και των δεξαμενισμών.

Εκτός από τα οικονομικά στοιχεία γίνεται μία εκτεταμένη αναφορά στη πυρηνική φυσική και στις μεγάλες ανακαλύψεις που οδήγησαν στην χρήση της πυρηνικής ενέργειας όπως τη γνωρίζουμε σήμερα. Αναλύονται τα φαινόμενα σχάσης και σύντηξης των ατομικών πυρήνων καθώς και οι αντίστοιχοι πυρηνικοί αντιδραστήρες. Γίνεται επίσης λόγος για το ζήτημα των πυρηνικών ατυχημάτων και των πυρηνικών όπλων που ενέχουν σημαντικούς κινδύνους για τη ζωή στον πλανήτη. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται ένας κατάλογος με τα σημαντικότερα πυρηνοκίνητα Πλοία και Υποβρύχια που έχουν κατασκευαστεί και μια λίστα με τους ναυτικούς πυρηνικούς αντιδραστήρες που έχουν χρησιμοποιηθεί γενικά. Στην εργασία τονίζονται επίσης τα οφέλη από τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας για ειρηνικούς σκοπούς δηλαδή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του πλανήτη. Τα οφέλη αυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικά τόσο από οικονομική άποψη όσο και από περιβαλλοντολογική αν σκεφτούμε τις μηδενικές εκπομπές αέριων ρύπων των πυρηνικών εγκαταστάσεων. Οι μηδενικές εκπομπές αερίων ρύπων συμμορφώνονται τέλεια με τις νέες αυστηρότερες απαιτήσεις του IMO για τις εκπομπές καυσαερίων, που θα τεθούν σε ισχύ από την πρώτη Ιανουαρίου του 2020. Η εργασία ολοκληρώνεται με τα οικονομικά συμπεράσματα από τις δύο προμελέτες.

Abstract

This paper deals with a techno-economic study on the use of nuclear energy on modern commercial vessels. So far, nuclear power as a means of propulsion in the sea area has been used primarily for military purposes, that is to say propulsion and energy needs of Military Ships-Submarines. It is also used to promote most Russian Icebreakers. For commercial reasons, it has been experimentally tested on four ships in the past without much success, mainly due to fear of an accident and political reactions. Thus, three of these were also used for military service. In the present study, we obtain the financial data on the cost of a nuclear propulsion system from the modern Russian Icebreakers of the LK-60 class, which have two RITM-200 reactors. Then, having the necessary economic data, we implement a nuclear propulsion system with a RITM-200 reactor on a Bulk Carrier called SAMSON with a length between perpendiculars of 302 meters, a beam of 51.4 meters, a draft of 17.5 meters and a service speed of 14.4 knots and a nuclear propulsion system with two RITM-200 reactors on a Containership called COSCO SHIPPING UNIVERSE with a length between perpendiculars of 386,23 meters, a beam of 58,6 meters, a draft of 18 meters and a service speed of 22 knots . Next, we compare a two-pronged economic feasibility studies to a depth of 20 years for the tow ships. Preliminaries concern SAMSON Bulk Carrier and Containership COSCO SHIPPING UNIVERSE first as ships using conventional Diesel engines and secondly as ships with a nuclear propulsion system. Also in the case of nuclear propulsion, the possibility of selling electricity during the time periods when the ships do not use the RITM-200 reactors for propulsion, such as loading and unloading at ports, delays at ports, during repairs and tanks, is examined.

In addition to the economic data, there is an extensive reference to nuclear physics and the great discoveries that have led to the use of nuclear energy as we know it today. The nuclear fission and nuclear fusion phenomena as well as the corresponding to them nuclear reactors are analyzed in this research. There is also talk of the issue of nuclear accidents and nuclear weapons that pose significant risks to life on the planet. Additionally, there is a list of the most important Navy ships and submarines that have been constructed and a list of the naval nuclear reactors that have generally been used. This thesis also highlights the benefits of using nuclear energy for peaceful reasons, in order to cover the planet's energy needs. These benefits are particularly important both from an economic point of view and from an environmental when considering the zero emissions of gaseous pollutants from nuclear installations. The zero emissions of gaseous pollutants are perfectly in line with the IMO's new stricter exhaust emission requirements, which will come into effect from January 1, 2020. The thesis is completed with the economic conclusions from the two preliminary studies.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	7
Κεφάλαιο 1. Πυρηνική Φυσική.....	8
1.2 Πυρηνική σχάση	14
1.3 Πυρηνική Σύντηξη.....	17
Κεφάλαιο 2: Προβλήματα χρήσης της Πυρηνικής Ενέργειας	24
2.1. Τα κυριότερα Πυρηνικά Ατυχήματα	24
2.1.1. Τσέρνομπιλ 1986, Σοβιετική Ένωση (Επιπέδου 7).....	24
2.1.2. Φουκουσίμα 2011, Ιαπωνία (Επιπέδου 7).....	25
2.1.3. Κιστίμ 1957, Σοβιετική Ένωση (Επιπέδου 6).....	26
2.1.4. Windscale 1957, Μεγάλη Βρετανία (Επιπέδου 5)	27
2.1.5. Three Mile Island 1979, ΗΠΑ (Επιπέδου 5).....	28
2.1.6. Τοκαϊμούρα 1999, Ιαπωνία (Επιπέδου 4).....	29
2.1.7. Πυρηνικά ατυχήματα σε Πλοία-Υποβρύχια.....	30
2.2. Πυρηνικά Όπλα.....	31
Κεφάλαιο 3. Πυρηνοκίνητα Πλοία-Υποβρύχια.....	35
3.1. Στρατιωτικά Πλοία	35
3.1.1. Αεροπλανοφόρα (Aircraft Carriers).....	35
3.1.2. Destroyers and Cruisers.....	37
3.1.3. Communications and Command Ships.....	39
3.1.4. Υποβρύχια	40
3.2. Εμπορικά πυρηνοκίνητα πλοία	44
3.3. Παγοθραυστικά (Icebreakers)	46
3.4. Οι Ναυτικοί Πυρηνικοί Αντιδραστήρες που έχουν χρησιμοποιηθεί στα παραπάνω πλοία και υποβρύχια.	47
3.4.1. Αμερικάνικοι Ναυτικοί Αντιδραστήρες.....	47
3.4.2. Σοβιετικοί Ναυτικοί Αντιδραστήρες.....	48
3.4.3. Αγγλικοί Ναυτικοί Αντιδραστήρες της εταιρίας Rolls-Royce (PRESSURISED WATER REACTORS).....	48
3.5. Τα Παγοθραυστικά της κλάσης LK-60 του project 22220 της Ρωσίας.....	49
Κεφάλαιο 4. Τεχνικο-οικονομική Μελέτη.....	53
4.1. Προμελέτη Οικονομικής Σκοπιμότητας του Bulk Carrier Samson με συμβατικό Ναυτικό Κινητήρα Diesel.	57
4.1.1. Εισαγωγή – Σκοπός Μελέτης	57
4.1.2. Στοιχεία για Υπολογισμούς	57
4.1.3. Κόστος Κτήσης του Πλοίου	58

4.1.4. Κόστος Εκμετάλευσης του Πλοίου	59
4.1.5. Ελάχιστος Απαιτούμενος Ναύλος της Επένδυσης	61
4.2. Προμελέτη Οικονομικής Σκοπιμότητας του Bulk Carrier Samson με πυρηνικό σύστημα πρόωσης.....	75
4.2.1. Εισαγωγή – Σκοπός Μελέτης	75
4.2.2. Στοιχεία για Υπολογισμούς	76
4.2.3. Κόστος Κτήσης του Πλοίου	76
4.2.4. Κόστος Εκμετάλευσης του Πλοίου	78
4.2.5. Ελάχιστος Απαιτούμενος Ναύλος της Επένδυσης	79
4.3. Προμελέτη Οικονομικής Σκοπιμότητας του Containership Cosco Shipping Universe με συμβατικό Ναυτικό Κινητήρα Diesel.....	95
4.3.1. Εισαγωγή – Σκοπός Μελέτης	95
4.3.2. Στοιχεία για Υπολογισμούς	95
4.3.3. Κόστος Κτήσης του Πλοίου	95
4.3.4. Κόστος Εκμετάλευσης του Πλοίου	96
4.3.5. Ελάχιστος Απαιτούμενος Ναύλος της Επένδυσης	98
4.4. Προμελέτη Οικονομικής Σκοπιμότητας του Containership Cosco Shipping Universe με πυρηνικό σύστημα πρόωσης.....	111
4.4.1. Εισαγωγή – Σκοπός Μελέτης	112
4.4.2. Στοιχεία για Υπολογισμούς	112
4.4.3. Κόστος Κτήσης του Πλοίου	113
4.4.4. Κόστος Εκμετάλευσης του Πλοίου	113
4.4.5. Ελάχιστος Απαιτούμενος Ναύλος	115
Κεφάλαιο 5. Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα	131
Κεφάλαιο 6. Παράρτημα των Νέων Απαιτήσεων Εκπομπών Καυσαερίων του IMO	143
Βιβλιογραφία.....	147
Ηλεκτρονικές Πηγές.....	149
Εικόνες	152

ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΩΣ ΜΕΣΟ ΠΡΩΩΣΗΣ ΣΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ

Εισαγωγή

Η Γη δημιουργήθηκε πριν από 4,54 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου, οι επιστήμονες εκτιμούν ότι το θαύμα της ζωής ξεκίνησε πριν από 3,8 δισεκατομμύρια χρόνια ενώ μόλις τα τελευταία 500 χρόνια η ανθρώπινη δραστηριότητα απειλεί να καταστρέψει το περιβάλλον της ζωής. Είναι χρέος όλων μας να αντιταθούμε σε αυτήν την καταστροφή. Για το λόγο αυτό η παρούσα εργασία αποσκοπεί, εκτός από το να συνεισφέρει στην οικονομική ανάπτυξη και στην επιστημονική εξέλιξη στο χώρο της ναυτιλίας, στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και στη διαφύλαξη της έμβιας κληρονομιάς του πλανήτη.

Τα πλοία είναι υπαίτια για το 5% περίπου της παγκόσμιας ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Είναι ένα ποσοστό που μπορεί να φαντάζει μικρό αλλά είναι και αυτό σημαντικό δεδομένης της κρίσιμης κατάστασης στην οποία βρίσκεται ο πλανήτης. Για τον παραπάνω λόγο ο IMO και η MARPOL έχουν θεσπίσει νέα πολύ αυστηρότερα όρια για τις εκπομπές καυσαερίων των πλοίων και ιδίως για τα ιδιαίτερα ρυπογόνα NOx και SOx . Οι νέοι κανονισμοί και οι αντίστοιχες απαιτήσεις θα τεθούν σε ισχύ από 1η Ιανουαρίου του 2020 (IMO 2019).

Πυρηνική ενέργεια ή ατομική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που απελευθερώνεται όταν μετασχηματίζονται ατομικοί πυρήνες. Είναι δηλαδή η δυναμική ενέργεια που είναι εγκλωβισμένη στους πυρήνες των ατόμων λόγω της επίδρασης της ισχυρής πυρηνικής δύναμης μεταξύ των σωματιδίων που τους συνιστούν. Η πυρηνική ενέργεια απελευθερώνεται κατά τη σχάση (fission) ή σύντηξη (fusion) των πυρήνων των ατόμων. Εφόσον οι μετασχηματισμοί των ατομικών πυρήνων που καλούνται πυρηνικές αντιδράσεις είναι ελεγχόμενοι (όπως συμβαίνει στην καρδιά ενός πυρηνικού αντιδραστήρα) μπορούν να χρησιμοποιηθεί για να καλύψουν ενεργειακές ανάγκες.

Η πυρηνική τεχνολογία πρόκειται για έναν πολύ νέο επιστημονικό κλάδο που αναπτύσσεται μόλις τα τελευταία 50 χρόνια, ενώ αρχικά χρησιμοποιήθηκε κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι στο συγκεκριμένο κλάδο αναμένονται πολλές νέες ανακαλύψεις τα επόμενα χρόνια και ιδίως στον τομέα της ασφάλειας λειτουργίας των πυρηνικών αντιδραστήρων το οποίο ανησυχεί και τους περισσότερους. Οι διατάξεις πυρηνικών αντιδραστήρων μπορούν να προσφέρουν μαζικές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να επιβαρύνουν το περιβάλλον ως προς το φαινόμενο του θερμοκηπίου και ως προς τις εκπομπές άλλων αέριων ρύπων. Μπορούμε λοιπόν να αναφερόμαστε στο ότι η πυρηνική ενέργεια αποτελεί μία πράσινη μορφή παραγωγής ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η εκπομπή ραδιενέργειας περιορίζεται μόνο στις περιπτώσεις ατυχημάτων.

Η πυρηνική ενέργεια μπορεί να προσφέρει πολύ μεγάλη αυτονομία πράγμα ιδιαίτερα σημαντικό για τη ναυτιλία δεδομένου των μεγάλων χρόνων των ταξιδιών των πλοίων και τη δυνατότητα στα νέα πλοία να πλέουν με πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες. Επίσης, λύνει το πρόβλημα της ρύπανσης από τα πλοία ενώ συγχρόνως παρέχει τη δυνατότητα στο εμπορικό πλοίο να είναι το ίδιο πηγή ενέργειας για το λιμάνι. Για πρώτη φορά στα χρονικά το εμπορικό πλοίο εμφανίζεται ικανό να αποκομίσει χρήματα ακόμα και κατά την παραμονή του στο λιμάνι πουλώντας ηλεκτρική ενέργεια. Για τους παραπάνω λόγους θεωρώ ότι θα είναι ιδιαίτερα γόνιμη η παρουσίαση μιας τεχνικο-οικονομικής μελέτης για τη χρήση πυρηνικής ενέργειας ως μέσου πρόωσης στα σύγχρονα εμπορικά πλοία.

Κεφάλαιο 1. Πυρηνική Φυσική

Η πυρηνική φυσική είναι ο τομέας της φυσικής που μελετά τους ατομικούς πυρήνες και τα στοιχειώδη σωματίδια που τους αποτελούν καθώς και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Επίσης, μελετώνται και άλλες μορφές πυρηνικής ύλης. Η πυρηνική φυσική δεν πρέπει να συγχέεται με την ατομική φυσική, η οποία μελετά το άτομο ως σύνολο, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρονίων του. (European Science Foundation 2010)

Οι ανακαλύψεις στην πυρηνική φυσική έχουν οδηγήσει σε εφαρμογές σε πολλούς τομείς. Αυτό περιλαμβάνει την πυρηνική ενέργεια, τα πυρηνικά όπλα, την πυρηνική ιατρική και την απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού, τα βιομηχανικά και γεωργικά ισότοπα, την εμφύτευση ιόντων στη μηχανική των υλικών και την χρονολόγηση με ραδιοάνθρακα (ένα ραδιενεργό ισότοπο του άνθρακα) μέθοδος που χρησιμοποιείται στη γεωλογία και την αρχαιολογία για τον καθορισμό της ηλικίας ενός αντικειμένου που περιέχει οργανικά υλικά. Τέτοιες εφαρμογές μελετώνται στον τομέα της πυρηνικής μηχανικής. (European Science Foundation 2010)

Η φυσική των σωματιδίων εξελίχθηκε από την πυρηνική φυσική και τα δύο πεδία συνήθως διδάσκονται σε στενή συσχέτιση. Η πυρηνική αστροφυσική, δηλαδή η εφαρμογή της πυρηνικής φυσικής στην αστροφυσική, είναι κρίσιμη για την εξήγηση της εσωτερικής λειτουργίας των αστεριών και της προέλευσης των χημικών στοιχείων. (E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, W. A. Fowler & F. Hoyle 1957)

Ο διαχωρισμός της πυρηνικής φυσικής από την ατομική φυσική ξεκινά με την ανακάλυψη της ραδιενέργειας από τον Henri Becquerel το 1896, καθώς διερευνούσε την φωσφορίζουσα δράση στα άλατα ουρανίου. Η ανακάλυψη του ηλεκτρονίου από τον Joseph John Thomson ένα χρόνο αργότερα ήταν μια ένδειξη ότι το άτομο είχε και εσωτερική δομή. Στις αρχές του 20ου αιώνα, το αποδεκτό μοντέλο του ατόμου ήταν το μοντέλο του Joseph John Thomson στο οποίο το άτομο ήταν μια θετικά φορτισμένη μπάλα με μικρότερα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια ενσωματωμένα μέσα του. (Henri Becquerel 1896), (Thomson, Joseph John 1897)

Στα χρόνια που ακολούθησαν, η ραδιενέργεια διερευνήθηκε εκτενώς, κυρίως από τη Marie και τον Pierre Curie καθώς και από τον Ernest Rutherford και τους συνεργάτες του. Από τη αρχή του αιώνα οι φυσικοί είχαν επίσης ανακαλύψει τρεις τύπους ακτινοβολίας που προέρχονταν από άτομα, τα οποία ονόμαζαν άλφα, βήτα και ακτινοβολία γάμα. Τα πειράματα του Otto Hahn το 1911 και του James Chadwick το 1914 ανακάλυψαν ότι το φάσμα φθοράς βήτα ήταν συνεχές και όχι διακριτό. Δηλαδή, τα ηλεκτρόνια εκτοξεύτηκαν από το άτομο με μια συνεχή δέσμη ενεργειών, και όχι από τις διακριτές ποσότητες ενέργειας που παρατηρήθηκαν σε γάμα και άλφα διασπάσεις. Αυτό ήταν ένα πρόβλημα για την πυρηνική φυσική εκείνη την εποχή, επειδή φάνηκε να δείχνει ότι η ενέργεια δεν διατηρήθηκε σε αυτές τις αποσυνθέσεις. (European Science Foundation 2010)

Το βραβείο Νόμπελ Φυσικής του 1903 απονεμήθηκε από κοινού στον Becquerel για την ανακάλυψή του και στη Marie και Pierre Curie για τις μετέπειτα έρευνές τους (από το 1986 που ο Becquerel ανακάλυψε τη ραδιενέργεια) για τη ραδιενέργεια. Στον Ράδερφορντ απονεμήθηκε το βραβείο Νόμπελ Χημείας το 1908 για τις έρευνες του για την αποσύνθεση των στοιχείων και τη χημεία των ραδιενεργών ουσιών.

Το 1905 ο Albert Einstein διατύπωσε την γνωστή σε όλους εξίσωση $E=mc^2$ που συνδέει την μάζα με την ενέργεια. Η παραπάνω εξίσωση δηλώνει ότι η ολική ενέργεια που διαθέτει ένα

σώμα είναι ίση με τη μάζα του σώματος πολλαπλασιασμένη με την ταχύτητα του φωτός στο τετράγωνο. Έτσι, οτιδήποτε έχει μάζα έχει και μια ανάλογη ποσότητα ενέργειας και αντίστροφα. Ενώ οι εργασίες για τη ραδιενέργεια από τους Becquerel και Marie Curie προηγούνται αυτού, μια εξήγηση για την πηγή της ενέργειας της ραδιενέργειας θα πρέπει να περιμένει την ανακάλυψη ότι ο ίδιος ο πυρήνας αποτελείται από μικρότερα συστατικά, τα νουκλεόνια. (A. Einstein 1905)

Το 1906 ο Ernest Rutherford δημοσίευσε την εργασία με τίτλο "Η επιβράδυνση του σωματιδίου α από το ράδιο κατά τη διέλευσή του μέσα από την ύλη". Ο Hans Geiger επεκτάθηκε σε αυτό το έργο σε μια ανακοίνωση προς την Βασιλική Εταιρεία με πειράματα που είχε κάνει ο Rutherford, περνώντας τα σωματίδια άλφα μέσω αέρα, αλουμινοχάρτου και φύλλα χρυσού. Περισσότερες εργασίες δημοσιεύθηκαν το 1909 από τον Geiger και τον Ernest Marsden και οι εκτενέστερες εργασίες δημοσιεύθηκαν το 1910 από τον Geiger. Το 1911-1912 ο Ράδερφορντ πήγε ενώπιον της Βασιλικής Εταιρείας για να εξηγήσει τα πειράματα και να προτείνει τη νέα για την εποχή θεωρία του ατομικού πυρήνα. (Rutherford, Ernest 1906)

Το βασικό πείραμα πίσω από αυτή την ανακοίνωση πραγματοποιήθηκε το 1910 στο Πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ : η ομάδα του Ernest Rutherford πραγματοποίησε ένα αξιοσημείωτο πείραμα στο οποίο ο Geiger και ο Marsden υπό την επίβλεψη του Rutherford έριξαν σωματίδια άλφα (πυρήνες ηλίου) σε λεπτό φιλμ χρυσού . Το μέχρι τότε μοντέλο είχε προβλέψει ότι τα σωματίδια άλφα πρέπει να βγαίνουν από το φύλλο με τις τροχιές τους να είναι ελαφρώς καμπυλωμένες. Ο Rutherford όμως ανέθεσε στην ομάδα του να ερευνήσει μία παρατήρηση που τον συγκλόνισε: λίγα σωματίδια ήταν διάσπαρτα σε μεγάλες γωνίες, ακόμα και εντελώς προς τα πίσω σε ορισμένες περιπτώσεις. Την εξομοίωσε με την πυροδότηση μιας σφαίρας πάνω σε χαρτί και την απότομή της. Η ανακάλυψη, με την ανάλυση των δεδομένων του Rutherford το 1911, οδήγησε στο μοντέλο Rutherford του ατόμου, στο οποίο το άτομο είχε ένα πολύ μικρό πυκνό πυρήνα που περιείχε το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του και αποτελείται από βαριά θετικά φορτισμένα σωματίδια με ενσωματωμένα ηλεκτρόνια προκειμένου να εξισορροπηθεί το φορτίο (δεδομένου ότι το νετρόνιο ήταν άγνωστο). Για παράδειγμα, σε αυτό το μοντέλο το άζωτο-14 θα αποτελούνταν από έναν πυρήνα με 14 πρωτόνια και 7 ηλεκτρόνια (21 συνολικά σωματίδια) και ο πυρήνας περιβάλλεται από 7 περισσότερα περιστροφικά ηλεκτρόνια. (American Institute of Physics 2014), (Geiger, Hans 1910)

Γύρω στο 1920, ο Arthur Eddington προέβλεψε την ανακάλυψη και το μηχανισμό των διαδικασιών πυρηνικής σύντηξης στα αστέρια , στο έγγραφο του 'The Internal Constitution of the Stars'. Εκείνη την εποχή, η πηγή της αστρικής ενέργειας ήταν ένα πλήρες μυστήριο. Ο Eddington ορθώς υπολόγισε ότι η πηγή ήταν σύντηξη υδρογόνου σε ήλιο, απελευθερώνοντας τεράστια ενέργεια σύμφωνα με την εξίσωση του Einstein $E = mc^2$. Πρόκειται για μια ιδιαίτερα αξιοσημείωτη εξέλιξη, δεδομένου ότι εκείνη την εποχή η σύντηξη και η θερμοπυρηνική ενέργεια, ακόμα και ότι τα αστέρια αποτελούνται σε μεγάλο βαθμό από υδρογόνο , δεν είχαν ακόμη ανακαλυφθεί. (Eddington, A. S. 1920)

Το μοντέλο του Rutherford λειτούργησε αρκετά καλά μέχρι να πραγματοποιηθούν μελέτες πυρηνικής περιστροφής από τον Franco Rasetti στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Καλιφόρνιας το 1929. Μέχρι το 1925 ήταν γνωστό ότι τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια είχαν περιστροφή +/- 1/2 . Στο μοντέλο Rutherford του αζώτου-14, 20 από τα συνολικά 21 πυρηνικά σωματίδια θα έπρεπε να έχουν αντιστοιχιστεί για να ακυρώσουν την περιστροφή του άλλου και το τελικό σωματίδιο που περίσσευε θα έπρεπε να έχει αφήσει τον πυρήνα με μία καθαρή

περιστροφή $1/2$. Ο Rasetti ανακάλυψε, ωστόσο, ότι το άζωτο-14 είχε περιστροφή 1. (P.W. Atkins and J. de Paula 2006)

Το 1932 ο Chadwick συνειδητοποίησε ότι η ακτινοβολία που παρατηρήθηκε από τους Walther Bothe, Herbert Becker, Irène και Frédéric Joliot-Curie οφειλόταν πράγματι σε ένα ουδέτερο σωματίδιο περίπου της ίδιας μάζας με το πρωτόνιο, το οποίο το ονόμασε νετρόνιο (μετά από πρόταση του Rutherford για την ανάγκη για ένα τέτοιο σωματίδιο). Την ίδια χρονιά ο Dmitri Ivanenko πρότεινε ότι δεν υπήρχαν ηλεκτρόνια στον πυρήνα - μόνο πρωτόνια και νετρόνια - και ότι τα νετρόνια ήταν σωματίδια περιστροφής $1/2$. Τα νετρόνια εξήγησαν επίσης την υπόλοιπη μάζα του πυρήνα που δεν οφειλόταν σε πρωτόνια. Η περιστροφή του νετρονίου έλυσε αμέσως το πρόβλημα της περιστροφής του αζώτου-14, καθώς το ένα μη συζευγμένο πρωτόνιο και ένα μη συζευγμένο νετρόνιο σε αυτό το μοντέλο συνέβαλαν το καθένα με περιστροφή $1/2$ στην ίδια κατεύθυνση, δίνοντας μια τελική συνολική περιστροφή του 1. (Chadwick, James 1932)

Με την ανακάλυψη του νετρονίου, οι επιστήμονες θα μπορούσαν επιτέλους να υπολογίσουν το τμήμα της δεσμευτικής ενέργειας που είχε κάθε πυρήνας, συγκρίνοντας την μάζα του πυρήνα με εκείνη των πρωτονίων και των νετρονίων που την συνθέτουν. Διαφορές μεταξύ των πυρηνικών μαζών υπολογίστηκαν με αυτόν τον τρόπο. Όταν στη συνέχεια, μετρήθηκαν οι πυρηνικές αντιδράσεις, διαπιστώθηκε ότι συμφωνούσαν με τον υπολογισμό που προέκυπτε από την εξίσωση $E=mc^2$ Einstein (με αποκλίσεις όχι μεγαλύτερες από 1%) από το 1934.

Ο Alexandru Proca ήταν ο πρώτος που αναφέρθηκε στο τεράστιο διάλυμα των εξισώσεων του μποζονικού πεδίου και ανέπτυξε μια θεωρία για το μεσονικό πεδίο των πυρηνικών δυνάμεων. Οι εξισώσεις του Proca ήταν γνωστές στον Wolfgang Pauli ο οποίος τις ανέφερε και στην εργασία του που τιμήθηκε με το βραβείο Nobel το 1945. Σημειώνεται ότι ο Wolfgang Pauli ήταν Αυστριακός θεωρητικός φυσικός που ασχολήθηκε με την υπέρλεπτη δομή των ατομικών φασμάτων. Μάλιστα, ήταν ο πρώτος που υπέθεσε την ύπαρξη του νετρίνου, το 1931, σε μία προσπάθεια να δικαιολογήσει την απώλεια της ενέργειας που παρατηρείται κατά τη διάσπαση ραδιενεργών υλικών. Η αλληλεπίδραση των σωματιδίων αυτών με την ύλη είναι τόσο περιορισμένη, που οι φυσικοί χρειάστηκαν σχεδόν 30 χρόνια για να τη διαπιστώσουν πειραματικά. Οι εξισώσεις Proca ήταν επίσης γνωστές στους φυσικούς Yukawa, Wentzel, Taketani, Sakata, Kemmer, Heitler και Fröhlich που εκτιμούσαν το περιεχόμενο των εξισώσεων αυτών για την ανάπτυξη μιας θεωρίας των ατομικών πυρήνων στην πυρηνική φυσική. (Poenaru, Dorin N., Calboreanu, Alexandru 2006), (Alexandre Proca 1988), (W. Pauli 1946)

Το 1935 ο Hideki Yukawa πρότεινε την πρώτη σημαντική θεωρία για την ισχυρή πυρηνική δύναμη προκειμένου να εξηγήσει πώς συγκρατείται ο πυρήνας. Στην αλληλεπίδραση Yukawa ένα εικονικό σωματίδιο, που στη συνέχεια ονομάστηκε μεσόνιο, μεσολαβούσε ασκώντας μια δύναμη μεταξύ όλων των νουκλεονίων, συμπεριλαμβανομένων των πρωτονίων και των νετρονίων. Αυτή η δύναμη εξηγούσε γιατί οι πυρήνες δεν αποσυντέθηκαν (διασπάστηκαν) υπό την επίδραση της άπωσης των πρωτονίων μεταξύ τους και εξήγησε επίσης γιατί η ελκτική ισχυρή δύναμη είχε πιο περιορισμένη εμβέλεια από την ηλεκτρομαγνητική άπωση μεταξύ των πρωτονίων. Αργότερα, η ανακάλυψη του πιονίου (το πιόνιο αποτελείται από ένα quark και ένα antiquark και για αυτό το λόγο είναι μεσόνιο) έδειξε ότι έχει τις ιδιότητες του σωματιδίου του Yukawa. (Yukawa, Hideki 1935)

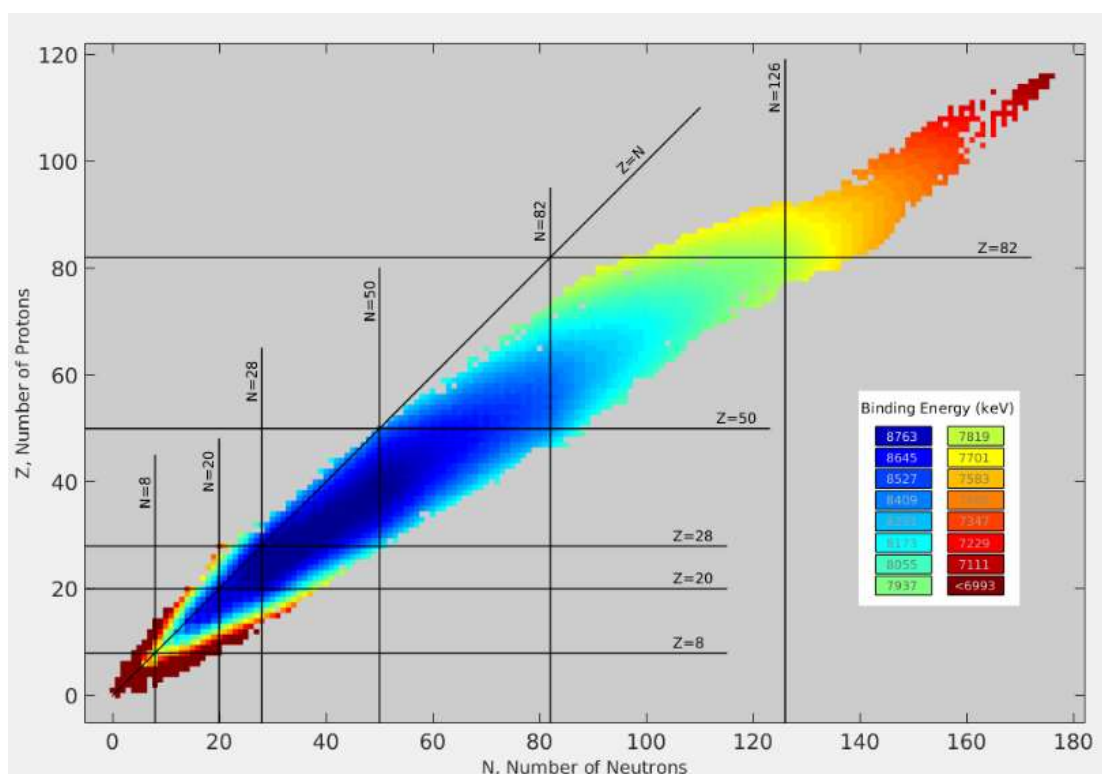
Με τις δημοσιεύσεις του Yukawa, το σύγχρονο μοντέλο του ατόμου ήταν πλήρες. Το κέντρο του ατόμου περιέχει μια σφιχτή μπάλα από νετρόνια και πρωτόνια, τα οποία συγκρατούνται από την ισχυρή πυρηνική δύναμη, εκτός αν είναι πολύ μεγάλα. Οι ασταθείς πυρήνες μπορεί να υποβληθούν σε άλφα διάσπαση, στην οποία εκπέμπουν έναν ενεργό πυρήνα ηλίου ή σε βήτα διάσπαση, στην οποία εκβάλλουν ένα ηλεκτρόνιο (ή ποζιτρόνιο). Μετά από μία από αυτές τις διασπάσεις, ο προκύπτων πυρήνας μπορεί να αφεθεί σε διεγερμένη κατάσταση και στην περίπτωση αυτή αποσυντίθεται στην λεγόμενη κατάσταση του εδάφους εκπέμποντας φωτόνια υψηλής ενέργειας (διάσπαση γάμμα).

Η μελέτη των ισχυρών και των ασθενών πυρηνικών δυνάμεων (σημειώνεται ότι οι ασθενείς πυρηνικές δυνάμεις αναλύθηκαν από τον Enrico Fermi μέσω της αλληλεπίδρασης Fermi το 1934) οδήγησε τους φυσικούς στο να πραγματοποιούν συγκρούσεις πυρήνων και ηλεκτρονίων σε ολοένα και υψηλότερες ενέργειες. Αυτή η έρευνα έγινε η επιστήμη της φυσικής των σωματιδίων, το σημαντικότερο επίτευγμα της οποίας είναι το πρότυπο μοντέλο της σωματιδιακής φυσικής που περιγράφει τις ισχυρές, ασθενείς πυρηνικές και τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις. (Enrico Fermi 1934)

Στη σύγχρονη πυρηνική φυσική, ένας βαρύς πυρήνας μπορεί να περιέχει εκατοντάδες νουκλεόνια. Αυτό σημαίνει ότι με κάποια προσέγγιση μπορεί να αντιμετωπιστεί ως ένα κλασικό σύστημα, αντί για ένα κβαντομηχανικό. Στο προκύπτον μοντέλο υγρής απόθεσης, ο πυρήνας έχει μια ενέργεια η οποία προκύπτει εν μέρει από την επιφανειακή τάση και εν μέρει από την ηλεκτρική απόρριψη των πρωτονίων. Το μοντέλο αυτό είναι σε θέση ερμηνεύσει πολλά χαρακτηριστικά των πυρήνων, συμπεριλαμβανομένης της βαρυτικής έλξης μεταξύ των ατομικών μαζών, καθώς και το φαινόμενο της πυρηνικής σχάσης. Αντίθετα, σε αυτή την κλασική εικόνα υπάρχουν στην πραγματικότητα κβαντομηχανικά φαινόμενα, τα οποία μπορούν να περιγραφούν χρησιμοποιώντας το μοντέλο του πυρηνικού κελύφους, το οποίο αναπτύχθηκε σε μεγάλο βαθμό από τους Maria Goerppert Mayer και J. Hans D. Jensen. Οι πυρήνες με ορισμένους αριθμούς νετρονίων και πρωτονίων (οι μαγικοί αριθμοί 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, ...) είναι ιδιαίτερα σταθεροί, επειδή τα κοχύλια τους είναι γεμάτα. Οι πυρήνες αυτοί έχουν τα νετρόνια τους σε τέτοιες θέσεις που σχηματίζουν τις λεγόμενες νήσους σταθερότητας. Έχουν επίσης προταθεί και άλλα πιο περίπλοκα μοντέλα για τον πυρήνα, όπως το μοντέλο αλληλεπίδρασης boson, στο οποίο τα ζεύγη νετρονίων και πρωτονίων αλληλεπιδρούν ως βοσόνια, ανάλογα με τα ζεύγη των ηλεκτρονίων Cooper. Μεγάλο μέρος της τρέχουσας έρευνας στην πυρηνική φυσική σχετίζεται με τη μελέτη των πυρήνων κάτω από ακραίες συνθήκες, όπως υψηλή περιστροφή και ενέργεια διέγερσης. Οι πυρήνες σε αυτές τις συνθήκες μπορεί επίσης να έχουν ακραία σχήματα (παρόμοια με εκείνα των μπαλών του Ράγκμπι ή ακόμη και των αχλαδιών) ή ακραίες αναλογίες νετρονίων προς πρωτόνια. Οι εμπειρογνώμονες μπορούν να δημιουργήσουν τέτοιους πυρήνες χρησιμοποιώντας τεχνητά επαγόμενες αντιδράσεις σύντηξης ή χρησιμοποιώντας δέσμες ιόντων από έναν επιταχυντή για τις συγκρούσεις νουκλεονίων (υπό συνθήκες μεγάλης ενέργειας σύγκρουσης). Οι δέσμες με ακόμη υψηλότερες ενέργειες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν πυρήνες σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και υπάρχουν ενδείξεις ότι αυτά τα πειράματα έχουν προκαλέσει μια μετάβαση φάσης από την κανονική πυρηνική ύλη σε μια νέα κατάσταση, το πλάσμα κουάρκ-γκλουονίων (QGP), στο οποίο τα κουάρκ αναμιγνύονται με γκλουόνια σε κατάσταση πλάσματος. Τα γκλουόνια ή γλοιόνια είναι στοιχειώδη σωματίδια (μποζόνια) με spin 1, μηδενική μάζα ηρεμίας και μηδενικό ηλεκτρικό φορτίο. Είναι σωματίδια τα οποία μεταφέρουν την ισχυρή αλληλεπίδραση, με την οποία αλληλεπιδρούν τα κουάρκ, θεμελιώδη σωματίδια από τα οποία απαρτίζεται η ύλη. Η αλληλεπίδραση αυτή περιγράφεται από την κβαντική

χρωμοδυναμική. Τα γκλουόνια είναι ταυτόχρονα φορείς του ισχυρού πυρηνικού φορτίου ("φορτίο χρώματος") και μεσάζοντες της ισχυρής πυρηνικής δύναμης. (Haxel, Otto, Jensen, J. Hans D, Suess, Hans E 1949), (Mayer, Maria Goepfert 1949)

Η διάσπαση των ατομικών πυρήνων είναι ένα από τα σημαντικότερα κεφάλαια της πυρηνικής φυσικής. Ογδόντα στοιχεία έχουν τουλάχιστον ένα σταθερό ισότοπο που δεν παρατηρείται ποτέ να καταστρέφεται, που ανέρχεται συνολικά σε περίπου 254 σταθερά ισότοπα. Ωστόσο, χιλιάδες ισότοπα έχουν χαρακτηριστεί ως ασταθή. Αυτά, γνωστά ως "ραδιοϊσότοπα" αποσυντίθενται σε χρονικές κλίμακες που κυμαίνονται από κλάσματα του ενός δευτερολέπτου έως τρισεκατομμύρια έτη. Σχεδιασμένο σε ένα διάγραμμα ως συναρτήσε του αριθμού των νετρονίων και του ατομικού αριθμού των στοιχείων, η ενέργεια δέσμευσης των νουκλεϊδίων σχηματίζει αυτό που είναι γνωστό ως κοιλάδα σταθερότητας. Σταθερά νουκλίδια βρίσκονται κατά μήκος του πυθμένα αυτής της ενεργειακής κοιλάδας, ενώ όλο και πιο ασταθή νουκλίδια βρίσκονται στα τοιχώματα της κοιλάδας, δηλαδή έχουν ασθενέστερη ενέργεια δέσμευσης. Στην εικόνα 1 διαφαίνεται το διάγραμμα της κοιλάδας σταθερότητας. (David C Kocher 1981)



Εικόνα 1: Κοιλάδα σταθερότητας.
(Πηγή: Alan Salcedo Gomez, 2016)

Οι πιο σταθεροί πυρήνες εμπίπτουν σε συγκεκριμένες διατάξεις ανάλογα με τη σύνθεση και τη θέση των νετρονίων και των πρωτονίων: πολύ λίγα ή πάρα πολλά νετρόνια (σε σχέση με τον αριθμό των πρωτονίων) μπορούν να προκαλέσουν την αποσύνθεσή του. Για παράδειγμα, σε διάσπαση βήτα ένα άτομο αζώτου -16 (7 πρωτόνια, 9 νετρόνια) μετατρέπεται σε ένα οξυγόνο -16 άτομα (8 πρωτόνια, 8 νετρόνια) μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα από τη δημιουργία του. Σε αυτή την αποσύνθεση ένα νετρόνιο στον πυρήνα του αζώτου μετατρέπεται από την ασθενή αλληλεπίδραση σε ένα πρωτόνιο, ένα ηλεκτρόνιο και ένα αντινεutrino. Το στοιχείο

μετασηματίζεται σε άλλο στοιχείο, με διαφορετικό αριθμό πρωτονίων. (Alan Salcedo Gomez 2016)

Στην άλφα διάσπαση (η οποία συμβαίνει συνήθως στους βαρύτερους πυρήνες) το ραδιενεργό στοιχείο διασπάται εκπέμποντας έναν πυρήνα ηλίου (2 πρωτόνια και 2 νετρόνια), δίδοντας ένα άλλο στοιχείο, συν το ήλιο-4. Σε πολλές περιπτώσεις η διαδικασία αυτή συνεχίζεται με διάφορα στάδια αυτού του είδους, συμπεριλαμβανομένων άλλων τύπων διασπάσεων (συνήθως βήτα) έως ότου σχηματιστεί ένα σταθερό στοιχείο.

Στην διάσπαση γάμμα, ένας πυρήνας αποσυντίθεται από μια διεγερμένη κατάσταση σε μια κατάσταση χαμηλότερης ενέργειας, εκπέμποντας μια ακτίνα γάμμα. Το στοιχείο στη γάμμα δεν μετατρέπεται σε άλλο στοιχείο (δεν υπάρχει μεταστοιχείωση πυρηνικής ενέργειας).

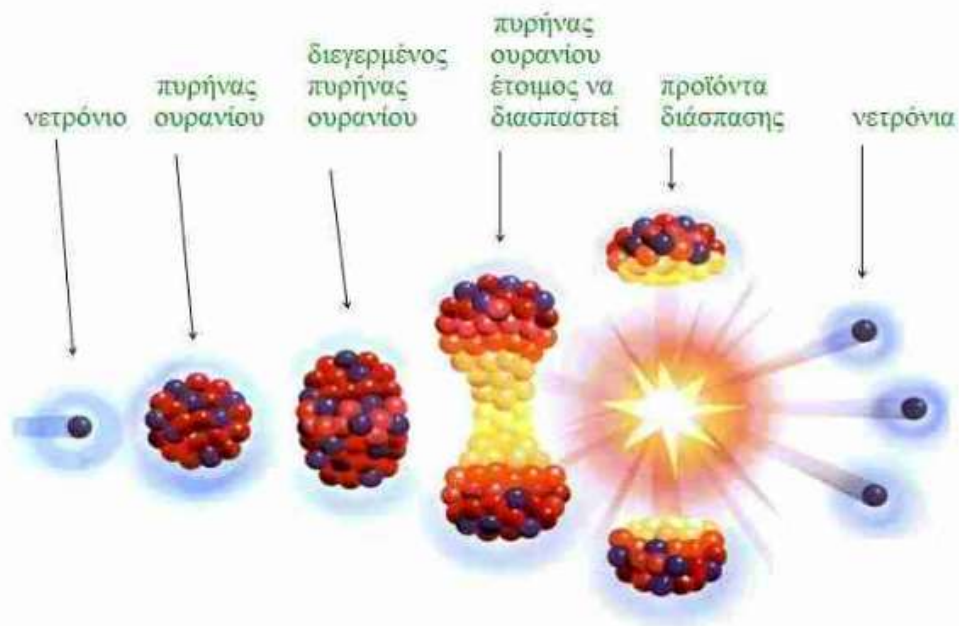
Υπάρχουν επίσης και άλλες πιο εξωτικές αποσυνθέσεις. Για παράδειγμα, όταν η ενέργεια από έναν διεγερμένο πυρήνα προκαλεί την εκτόξευση ενός από τα εσωτερικά τροχιακά ηλεκτρόνια του ατόμου, σε μια διαδικασία η οποία παράγει ηλεκτρόνια υψηλής ταχύτητας, προς ένα άλλο άτομο. (David C. Kocher 1981)

Όλες οι παραπάνω ανακαλύψεις της πυρηνικής φυσικής συντελούν στην ανάπτυξη της πυρηνικής τεχνολογίας και συνεπώς στην πρόοδο των μεθόδων πυρηνικής σχάσης και πυρηνικής σύντηξης. Μέσω των δύο αυτών μεθόδων απελευθερώνεται η ζητούμενη πυρηνική ενέργεια. Νέοι αντιδραστήρες οδηγούν στην παραγωγή ακόμη μεγαλύτερων ποσοτήτων ενέργειας με μεγαλύτερη ασφάλεια. Η πυρηνική σχάση και η πυρηνική σύντηξη αν και προφανώς είναι τμήμα της πυρηνικής φυσικής θα αναπτυχθούν σε δύο επόμενες ξεχωριστές ενότητες λόγω σημαντικότητας και έκτασης.

1.2 Πυρηνική σχάση

Η πυρηνική σχάση είναι μια πυρηνική αντίδραση στην οποία ο πυρήνας ενός ατόμου χωρίζεται σε δύο ή περισσότερους μικρότερους και φυσικά ελαφρύτερους πυρήνες. Η αντίδραση της σχάσης πυροδοτείται με την εκτόξευση νετρονίων πάνω σε έναν σχάσιμο πυρήνα. Κατά τη διαδικασία της σχάσης παράγονται ελεύθερα νετρόνια, φωτόνια ακτινοβολίας γάμμα και συγχρόνως απελευθερώνεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας.

Οι σχάσιμοι πυρήνες σχάζονται με βομβαρδισμό νετρονίων οποιασδήποτε ενέργειας, ακόμη και μηδενικής. Οι σχάσεις αυτές συνοδεύονται, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, από έκλυση νετρονίων που κατά μέσο όρο είναι περισσότερα από ένα. Οι δύο τελευταίες παρατηρήσεις αποτελούν και τις πρώτες βασικές προϋποθέσεις για τη δυνατότητα πρακτικής εκμεταλλεύσεως αυτού του τεράστιου ποσού ενέργειας που εκλύεται ανά σχάση σχάσιμου πυρήνα. Πράγματι λοιπόν, οι σχάσεις των σχάσιμων πυρήνων παράγουν τους φορείς που τις προκαλούν, δηλαδή τα νετρόνια. Έτσι, ένα ποσοστό τουλάχιστον των παραγόμενων νετρονίων, θεωρώντας βέβαια ότι εβρίσκεται σε περιβάλλον που περιέχει σχάσιμους πυρήνες, θα προκαλέσει νέες σχάσεις και μάλιστα ανεξάρτητα της ενέργειας με την οποία εκλύονται τα νετρόνια της σχάσεως. Έτσι, διαρκώς από τις νέες σχάσεις προκύπτουν νέες ακόμα περισσότερες σχάσεις. Αυτή η εκθετική αλληλουχία επαναλαμβανόμενων σχάσεων ονομάζεται αλυσιδωτή πυρηνική αντίδραση σχάσεων. Έτσι, λοιπόν, οι πυρηνικές σχάσεις, σχάσιμων πυρήνων με νετρόνια έχουν την ικανότητα της αυτοσυντηρήσεως. Στην εικόνα 2 παρατηρείται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα πυρηνικής σχάσεως ενός πυρήνα Ουρανίου. (Μ.Γ. Αγγελόπουλος 1983)

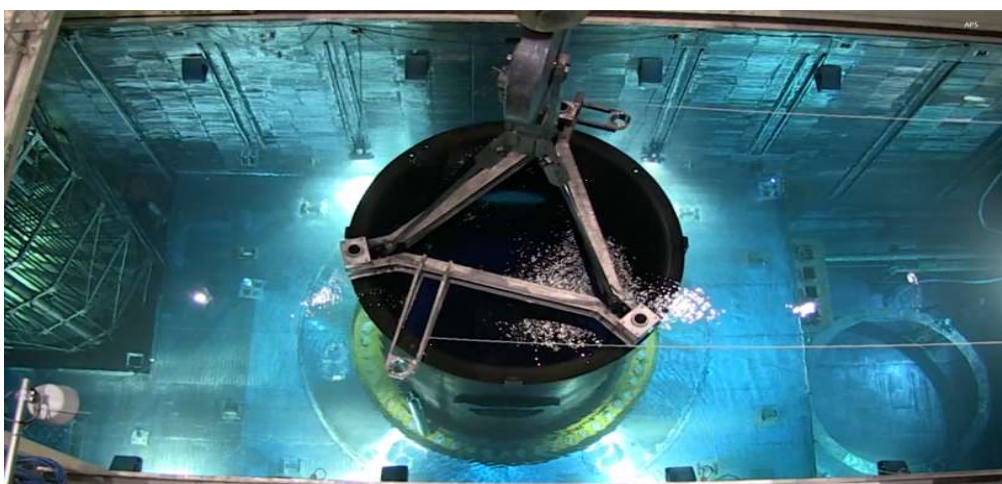


Εικόνα 2: Σχηματική αναπαράσταση πυρηνικής σχάσης.
(Πηγή: Δ.Μ. Γαρυφαλλίδου, 2019)

Η πρώτη εργαστηριακή πυρηνική σχάση επιτεύχθηκε από τους φυσικούς Ότο Χαν και Λίξε Μάιτνερ, το 1938 στο Βερολίνο. Οι δυο τους «βομβάρδισαν» ουράνιο με νετρόνια σε μια προσπάθεια να το μετατρέψουν στο άγνωστο τότε στοιχείο με ατομικό αριθμό 93 (το ουράνιο (Uranium U) έχει Ατομικό αριθμό 92 και Ατομική Μάζα 235 και η προσθήκη στον

πυρήνα του ενός νετρονίου θα έπρεπε, όπως είχε ήδη διαπιστωθεί ότι συνέβαινε με ελαφρύτερα στοιχεία, να το μετασχηματίσει σε ένα νέο στοιχείο με ένα πρωτόνιο παραπάνω). Το παραγόμενο όμως στοιχείο είχε ιδιότητες πολύ διαφορετικές από τις αναμενόμενες (για ένα βαρύ στοιχείο με Ατομικό αριθμό 93), γεγονός ανεξήγητο για τους δύο επιστήμονες. Εκείνη την περίοδο η Μάιτνερ λόγω της εβραϊκής καταγωγής της υποχρεώθηκε να εγκαταλείψει το Βερολίνο και ο Χαν συνέχισε τα πειράματά του με τον επίσης γερμανό φυσικό Φριτς Στράσμαν. Σύντομα οι τρεις τους μαζί με τη Μάιτνερ (εξόριστη στη Σκανδιναβία) κατέληξαν σε ένα πολύ τολμηρό συμπέρασμα: Το παραγόμενο στοιχείο με τις αναπάντεχες ιδιότητες ήταν βάριο (Barium Ba) που έχει Ατομικό αριθμό μόλις 56 και Ατομική μάζα 137. Αυτό σήμαινε ότι με κάποιο τρόπο η προσθήκη νετρονίου στον πυρήνα του ουρανίου προκαλούσε τη «σχάση» του, όπως ονόμασε τη διαδικασία η Μάιτνερ, σε δύο στοιχεία: Το Βάριο που ήδη ήταν γνωστό και ένα ακόμα στοιχείο (το οποίο αργότερα ονομάστηκε Τεχνητίο (Technetium Tc) με Ατομικό αριθμό 43 και Ατομική μάζα 98, απελευθερώνοντας μάλιστα τεράστια ποσά ενέργειας. Εκείνο όμως που έκανε ακόμα πιο ενδιαφέρουσα την ανακάλυψη, ήταν η απελευθέρωση (με τη σχάση) δύο νετρονίων, παρέχοντας τη δυνατότητα για μια αλυσιδωτή αντίδραση. Έτσι, τα δύο νετρόνια που απελευθερώνονται κατά τη σχάση του πυρήνα Ουρανίου προκαλούν τη σχάση δύο πρόσθετων πυρήνων Ουρανίου, απελευθερώνοντας 4 νετρόνια που με τη σειρά τους προκαλούν τη σχάση τεσσάρων πυρήνων κ.ο.κ. Με τον τρόπο αυτό μια ελάχιστη ποσότητα Ουρανίου μπορεί να απελευθερώσει με την αλυσιδωτή σχάση της ένα γιγαντιαίο ποσό ενέργειας, που —όπως έγινε σύντομα κατανοητό— είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί είτε για ειρηνικούς σκοπούς (την κάλυψη ενεργειακών αναγκών) είτε για την κατασκευή πυρηνικών βομβών. (Science History Institute 2016)

Για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών χρησιμοποιούνται οι πυρηνικοί αντιδραστήρες ισχύος που αποτελούν διατάξεις στις οποίες αποκαθίσταται αλυσωτή αντίδραση σχάσεων με νετρόνια και έκλυση της πυρηνικής ενέργειας. Ο πρώτος στον κόσμο πυρηνικός αντιδραστήρας τέθηκε σε ισχύ στις 2/12/1942 στο Πανεπιστήμιο του Σικάγου των Η.Π.Α. Ήταν η πρώτη φορά που αποκαταστάθηκε σε ένα σύστημα συνθήκη κρισιμότητας. Το σύστημα ήταν μια διάταξη Γραφίτη-φυσικού Ουρανίου. Έκτοτε έχουν κατασκευαστεί χιλιάδες αντιδραστήρες για ηλεκτροπαραγωγή και παραγωγή ραδιοϊσοτόπων. Ένα χαρακτηριστικός υδρόψυκτος πυρηνικός αντιδραστήρας σχάσης φαίνεται στην εικόνα 3. (Μ.Γ. Αγγελόπουλος 1983)

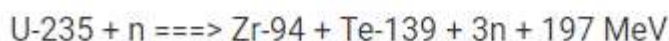
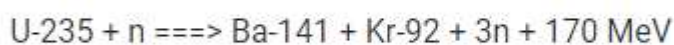


Εικόνα 3: Πυρηνικός αντιδραστήρας σχάσης.
(Πηγή: Energy.gov, 2019)

Η διάκριση των πυρηνικών αντιδραστήρων ισχύος (σχάσεως) σε κατηγορίες μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς τρόπους, ανάλογα κάθε φορά με το χρησιμοποιούμενο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό γνώρισμα του αντιδραστήρα. Συνήθως η διάκριση των αντιδραστήρων γίνεται με 6 βασικές κατηγορίες ως προς: (Μ.Γ. Αγγελόπουλος 1983)

1. Την Ενέργεια Νετρονίων: Οι αντιδραστήρες διακρίνονται σε αντιδραστήρες θερμικών νετρονίων, νετρονίων μέσης ενέργειας και ταχέων νετρονίων ανάλογα με τη μέση ενέργεια των νετρονίων που επάγουν τις σχάσεις.
2. Το Πυρηνικό Καύσιμο: Οι αντιδραστήρες διακρίνονται σε αντιδραστήρες φυσικού Ουρανίου 235, εμπλουτισμένου Ουρανίου 238, Πλουτωνίου 239, Ουρανίου 233, και μίγματος των παραπάνω πυρηνικών καυσίμων.
3. Τη Συγκρότηση: Οι αντιδραστήρες διακρίνονται σε ομοιογενείς ή ετερογενείς
4. Τον Επιβραδυντή: Οι αντιδραστήρες διακρίνονται ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο υλικό για την επιβράδυνση των νετρονίων. Έτσι έχουμε αντιδραστήρες ελαφρού ύδατος (H₂O), αντιδραστήρες βαρέως ύδατος (D₂O), αντιδραστήρες Γραφίτη κ.τ.λ.
5. Το Ψυκτικό Μέσο: Το ψυκτικό μέσο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά εκτός του αντιδραστήρα της θερμότητας από τις σχάσεις. Έτσι τους διακρίνουμε σε υδροψυκτους (H₂O, D₂O), αεριοψυκτους (αέρας, CO₂, He) και σε αντιδραστήρες ψυχόμενους με τήγματα μετάλλων (Na, K).
6. Τον Προορισμό: Οι αντιδραστήρες διακρίνονται σε πειραματικούς, ερευνητικούς, εκπαιδευτικούς, παραγωγής Πλουτωνίου, παραγωγής ραδιοϊσοτόπων (για εφαρμογές στην ιατρική, σε ελέγχους υλικών-ραδιογραφία), ηλεκτροπαραγωγής, πρόωσης πλοίων-υποβρυχίων (με ηλεκτροπαραγωγή πάλι).

Ως αρχική πηγή εκπομπής νετρονίων προκειμένου να ξεκινήσει η αλυσιδωτή αντίδραση σχάσεων χρησιμοποιείται συνήθως μία ένωση από Αμερίκιο (Americium) και Βηρύλλιο (Beryllium) (Am-Be). Ο αριθμός των νετρονίων και τα ακριβή προϊόντα από οποιαδήποτε αντίδραση σχάσης προσεγγίζονται με πιθανοθεωρητική στατιστική ανάλυση. Τα κυριότερα προϊόντα σχάσης του Ουρανίου 235 είναι τα εξής: Βάριο, Κρυπτό, Ζιρκόνιο, Στρόντιο, Τεχνητίο, Σκάνδιο, Ξένον. Στην εικόνα 4 δίνονται οι πιο συνήθεις πυρηνικές αντιδράσεις σχάσεως του Ουρανίου καθώς και οι αντίστοιχες ποσότητες ενέργειας που απελευθερώνονται. (G. Friedlander, +par 2011)



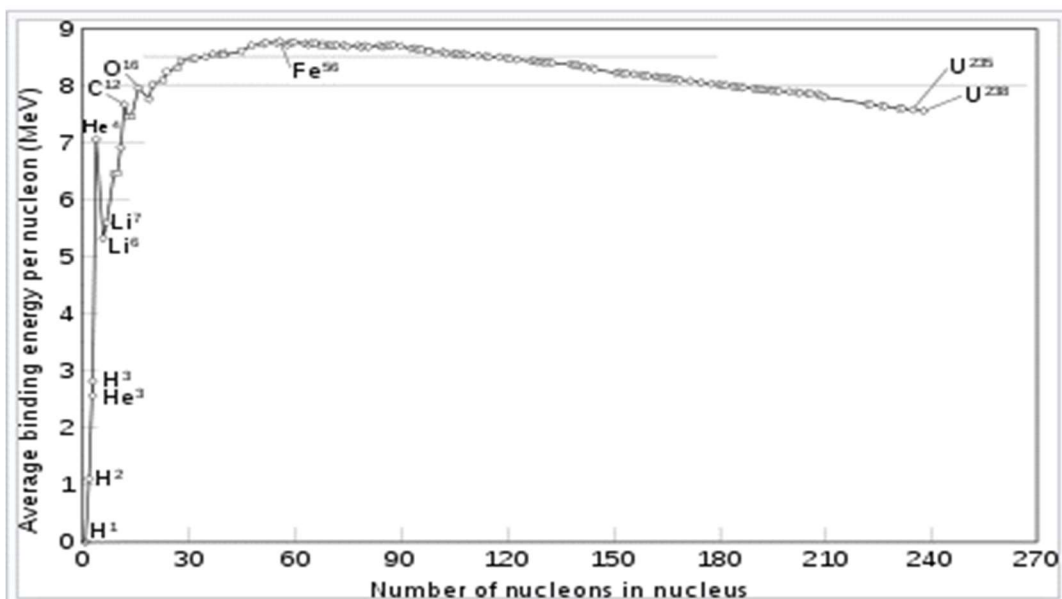
Εικόνα 4: Οι πιο συνήθεις πυρηνικές αντιδράσεις σχάσης του Ουρανίου και οι αντίστοιχες ποσότητες ενέργειας που απελευθερώνονται.

(Πηγή: world-nuclear.org, 2019)

Τα κυριότερα καύσιμα για τους αντιδραστήρες σχάσης είναι το φυσικό Ουράνιο 235, το εμπλουτισμένο Ουράνιο 238 και το Πλουτωνίο 239. Σύγχρονες έρευνες δείχνουν πως ως πυρηνικό καύσιμο αντιδραστήρων σχάσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το Θόριο με Ατομικό αριθμό 90 και Ατομική μάζα 232 το οποίο είναι ραδιενεργό μόνο όταν διαρρέεται από ρεύμα. Έτσι σε ένα αντιδραστήρα Θορίου σε περίπτωση κινδύνου με απλή διακοπή του ρεύματος σταματάει η αλυσιδωτή αντίδραση και συνεπώς η εξέλιξη ενός πυρηνικού ατυχήματος.

1.3 Πυρηνική Σύντηξη

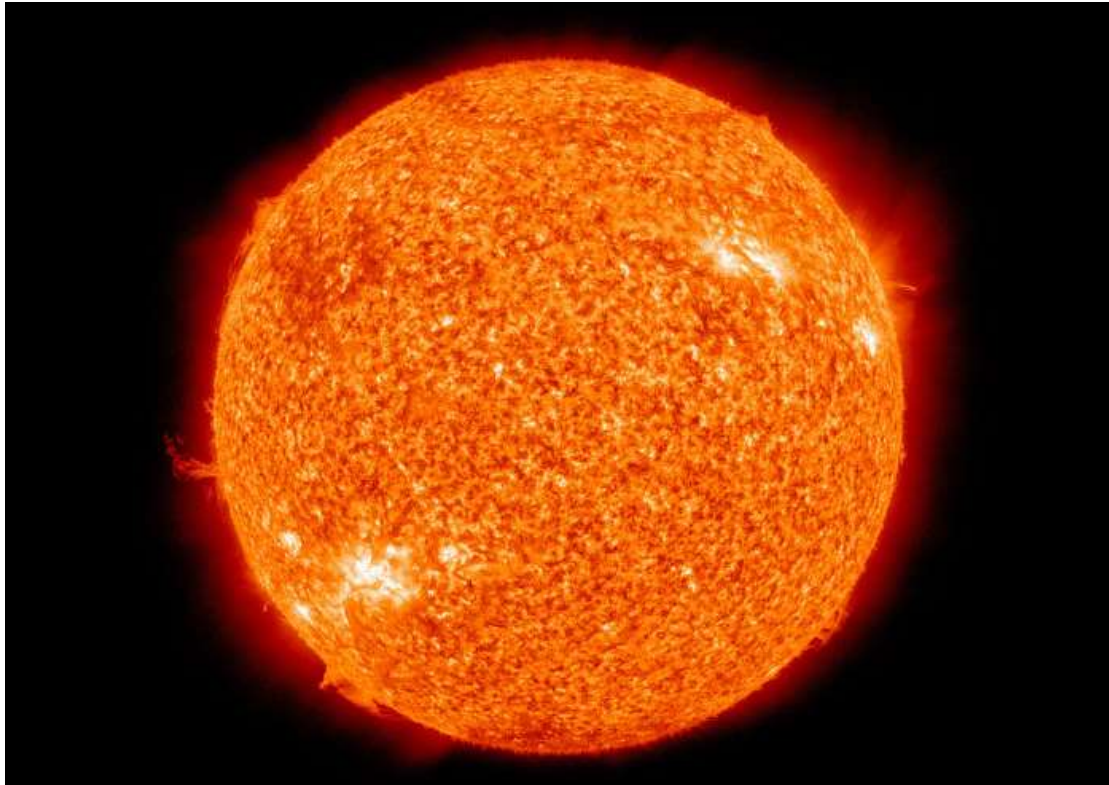
Η πυρηνική σύντηξη είναι μια πυρηνική αντίδραση στην οποία δύο ή περισσότεροι ατομικοί πυρήνες συνενώνονται προς τη δημιουργία πυρήνα ενός διαφορετικού βαρύτερου στοιχείου. Μια διαδικασία σύντηξης που παράγει έναν πυρήνα ελαφρύτερο από τον σίδηρο-56 (ή το νικέλιο-62 υπό συνθήκες) θα αποδώσει γενικά μια καθαρή μεγάλη απελευθέρωση ενέργειας. Η ενέργεια που απελευθερώνεται, οφείλεται στο γεγονός ότι η ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο στα προϊόντα της σύντηξης, είναι μικρότερη από το άθροισμα των ενεργειών σύνδεσης που χαρακτηρίζει κάθε αντιδρών συστατικό της σύντηξης (μέχρι τον σχηματισμό του σιδήρου). Κατά την παραγωγή βαρύτερων πυρήνων υπάρχει ενεργειακό έλλειμμα. Η καμπύλη πυρηνικής ενέργειας δέσμευσης καθώς και το ότι ο σχηματισμός πυρήνων μέχρι το σίδηρο-56 απελευθερώνει ενέργεια φαίνεται στην εικόνα 5 που ακολουθεί.



Εικόνα 5: Η καμπύλη πυρηνικής ενέργειας δέσμευσης. Ο σχηματισμός πυρήνων μέχρι το σίδηρο-56 απελευθερώνει ενέργεια.

(Πηγή: Dr. Rod Nave, 2010)

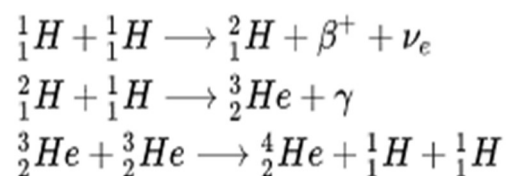
Με τη δημιουργία των προϊόντων στη διαδικασία της σύντηξης, υπάρχει ένα "πλεόσσευμα" ενέργειας, που οφείλεται στη διαφορά των ενεργειών σύνδεσης και αυτή απελευθερώνεται στο περιβάλλον με μορφή κινητικής ενέργειας στα παραπροϊόντα (πχ σωματίδια β ή νετρίνα ηλεκτρονίου) και με τη μορφή ακτινοβολίας γάμμα. Η σύντηξη αποτελεί τη βασική διαδικασία παραγωγής ενέργειας των αστεριών. Όταν πραγματοποιούμε σύντηξη δημιουργούμε στην ουσία ένα αστέρι σε μικρή κλίμακα και όταν η διαδικασία της σύντηξης μπορεί να αυτοσυντηρηθεί οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τον όρο 'ανάβει ήλιος'. Στην εικόνα 6 φαίνεται ο ήλιος ως η μεγαλύτερη πλησιέστερη στη γη, πηγή πυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης υδρογόνου.



Εικόνα 6: Ήλιος: η μεγαλύτερη πλησιέστερη σε εμάς πηγή πυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης υδρογόνου.
(Πηγή: NASA, 2019)

Οφέλιμη πυρηνική σύντηξη λοιπόν μπορούν να δημιουργήσουν μόνον ελαφρά στοιχεία, όπως τα ισότοπα του υδρογόνου. Στον ήλιο και στα διάφορα άστρα μικρής και μέσης ηλικίας το υδρογόνο βρίσκεται σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες που προκαλούνται συγκρούσεις των πυρήνων των ατόμων του υδρογόνου, τόσο ορμητικές και βίαιες που τελικά αυτοί συνενώνονται δημιουργώντας σταδιακά, πυρήνες ενός άλλου στοιχείου (μεταστοιχείωση), του ηλίου, εκλύοντας ταυτόχρονα μεγάλη ποσότητα ενέργεια.

Οι πυρηνικές αντιδράσεις που περιγράφουν την εξώθερμη σύντηξη υδρογόνου, αρχικά σε δευτέριο και τελικά σε ήλιο είναι οι ακόλουθες που δίνονται στην εικόνα 7:



Εικόνα 7: Οι πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης του Υδρογόνου.
(Πηγή: G. Friedlander,+par, 2011)

Όπου το (H1-1) είναι ο πυρήνας του υδρογόνου, το (H 2-1) ο πυρήνας του δευτερίου, το (H3-2) είναι το ελαφρύ ισότοπο του ηλίου, το (H4-2) είναι το ισότοπο του ηλίου που συνήθως συναντάμε στο περιβάλλον, το β^+ είναι ένα σωματίδιο β και εν προκειμένω ένα ποζιτρόνιο, το ν_e είναι ένα νεutrino ηλεκτρονίου, και γ η ακτιβολία γάμμα. (G. Friedlander,+par 2011)

- Αυτές οι αντιδράσεις σύντηξης εξελίσσονται συνέχεια στον Ήλιο, καθώς και σε θερμοπυρηνικούς αντιδραστήρες ή στα θερμοπυρηνικά όπλα.
- Αντίθετη αντίδραση της πυρηνικής σύντηξης είναι η πυρηνική σχάση που αναπτύξαμε προηγουμένως.

Το 1920, ο Arthur Eddington πρότεινε τη σύντηξη υδρογόνου-ηλίου να είναι η κύρια πηγή αστρικής ενέργειας. Η κβαντική σήραγγα ανακαλύφθηκε από τον Friedrich Hund το 1929 και λίγο αργότερα ο Robert Atkinson και ο Fritz Houtermans χρησιμοποίησαν μετρημένες μάζες από ελαφρά στοιχεία για να δείξουν ότι μεγάλες ποσότητες ενέργειας θα μπορούσαν να απελευθερωθούν με τη σύντηξη μικρών ατομικών πυρήνων. Ο Mark Oliphant βασισμένος στα πρώιμα πειράματα του πυρηνικού μετασχηματισμού του Ernest Rutherford, πραγματοποίησε την πρώτη εργαστηριακή σύντηξη ισότοπων υδρογόνου το 1932. Στο υπόλοιπο διάστημα αυτής της δεκαετίας, η θεωρία του κύριου κύκλου πυρηνικής σύντηξης στα αστέρια επεξεργάστηκε ο Hans Bethe. Η έρευνα για τη σύντηξη για στρατιωτικούς σκοπούς ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1940 ως μέρος του έργου του Μανχάταν. Η πυρηνική σύντηξη σε μεγάλη κλίμακα πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά την 1η Νοεμβρίου 1952, στην πυρηνική δοκιμή βόμβας υδρογόνου με το κωδικό όνομα Ivy Mike. Στην εικόνα 8 βλέπουμε ένα στιγμιότυπο από τη πυρηνική δοκιμή Ivy Mike.



Εικόνα 8: Η πρώτη πυρηνική σύντηξη σε μεγάλη κλίμακα. Η πυρηνική δοκιμή βόμβας υδρογόνου με το κωδικό όνομα Ivy Mike.
(Πηγή: Wikipedia, 2019, 1952)

Ωστόσο, η τρομερή ενέργεια που εκλύεται από τη σύντηξη υδρογόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει ενεργειακές ανάγκες. Η έρευνα για την ανάπτυξη ελεγχόμενης σύντηξης μέσα σε θερμοπυρηνικούς αντιδραστήρες συνεχίζεται από τη

δεκαετία του 1940 και μετά από 60 χρόνια ολοκληρώνεται από τον ITER (INTERNATIONAL THERMONUCLEAR EXPERIMENTAL REACTOR) ο πρώτος θερμοπυρηνικός αντιδραστήρας σύντηξης που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας δικτύου (σαν μονάδα δηλαδή παραγωγής ενέργειας). Στο project συμμετέχουν 35 χώρες και ο αντιδραστήρας κατασκευάζεται ικανός να παράγει 500MW ισχύος.



Εικόνα 9: Ο θερμοπυρηνικός αντιδραστήρας σύντηξης του ITER.
(Πηγή: ITER, 2019)

Πολύ σημαντικές έρευνες για την εκμετάλλευση της ενέργειας που προέρχεται από τη σύντηξη πυρήνων υδρογόνου διεξάγεται επίσης από τον NIF (National Ignition Facility) που εδρεύει στο Εθνικό Εργαστήριο Lawrence Livermore στο Livermore της Καλιφόρνια. Το κτήριο που εδράζεται ο NIF φαίνεται στην εικόνα 10.



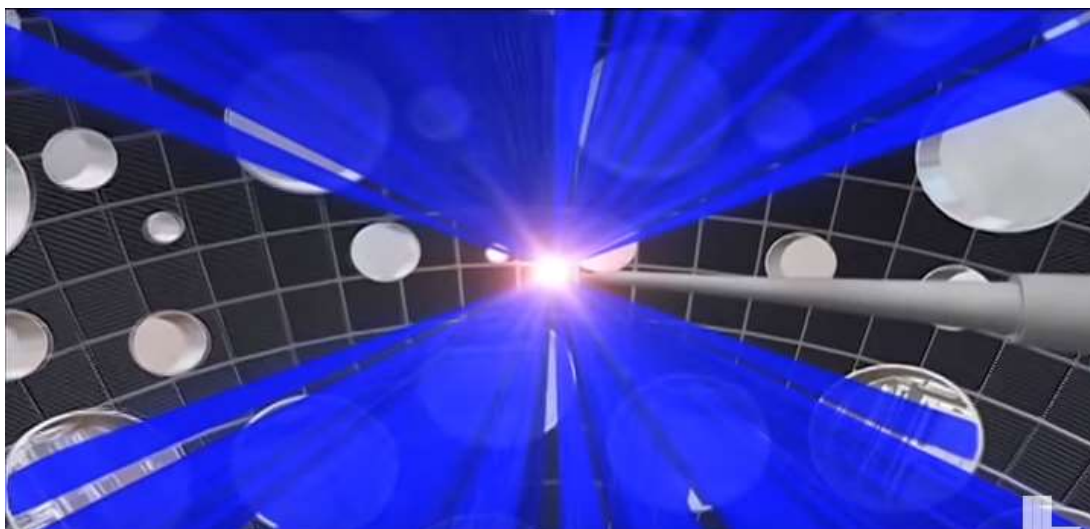
Εικόνα 10: NIF (National Ignition Facility).
(Πηγή: NIF, 2019)

Ο NIF διαθέτει το μεγαλύτερο και ισχυρότερο σύστημα laser στον κόσμο αποτελούμενο από 192 υπεριώδη laser που έχουν ως στόχο να θερμάνουν και να συμπυκνώσουν μια μικρή ποσότητα υδρογόνου προκαλώντας πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης σε αυτό. Στην εικόνα 9 φαίνεται ο αντιδραστήρας του NIF κατά τη μεταφορά του προς το σημείο τοποθέτησής του.



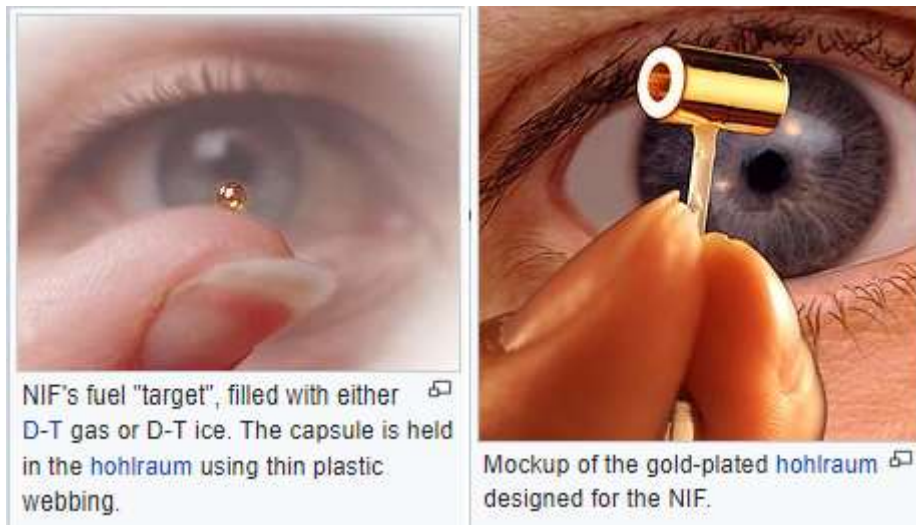
Εικόνα 11: Ο αντιδραστήρας του NIF
(Πηγή: NIF, 2019)

Τα 192 laser του NIF φαίνονται στην εικόνα 12 καθώς εστιάζουν σε μία μικρή ποσότητα υδρογόνου στο εσωτερικό του αντιδραστήρα.



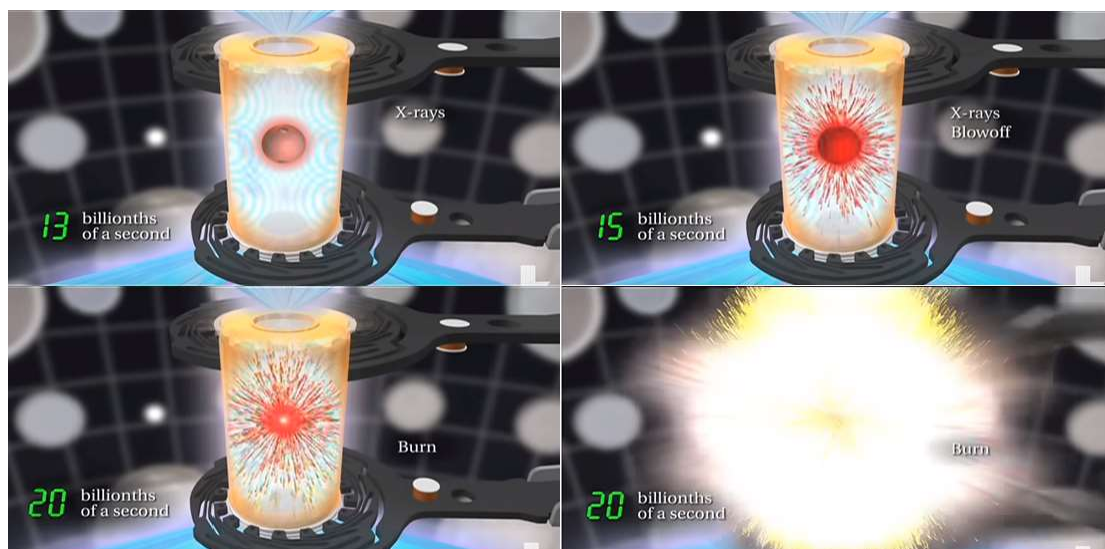
Εικόνα 12: Τα 192 laser του αντιδραστήρα του NIF
(Πηγή: NIF, 2019)

Στην εικόνα 13 φαίνεται η πλαστική κάψουλα που περιέχει το προς σύντηξη υδρογόνο. Στην εικόνα 14 φαίνεται το δοχείο χρυσού που περιέχει την κάψουλα υδρογόνου. Ο χρυσός χρησιμεύει στην εκπομπή πολύ ισχυρών ακτίνων Χ που συμβάλλουν στην ακόμη μεγαλύτερη άνοδο της θερμοκρασίας, ευνοώντας έτσι τις συνθήκες για τη σύντηξη.



Εικόνα 13: Η πλαστική κάψουλα που περιέχει το καύσιμο υδρογόνο
 Εικόνα 14: Το δοχείο χρυσού που περιέχει την κάψουλα υδρογόνου (Ο χρυσός χρησιμεύει στη εκπομπή πολύ ισχυρών ακτίνων Χ)
 (Πηγή: Wikipedia, 2019)

Από τη στιγμή που τα 192 laser εστιάσουν στο στόχο μεσολαβούν 20 δισεκατομμυριοστά του δευτερολέπτου μέχρι να ολοκληρωθεί η σύντηξη στον αντιδραστήρα. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 15 η σύντηξη αρχίζει στα 13 δισεκατομμυριοστά του δευτερολέπτου και ολοκληρώνεται περίπου στα 20 δισεκατομμυριοστά του δευτερολέπτου συνοδευόμενη από έκλυση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας.



Εικόνα 15: Η διαδικασία λαμβάνει χώρα 20 δισεκατομμυριοστά του δευτερολέπτου και μετά επέρχεται σύντηξη
 (Πηγή: NIF, 2019)

Οι επιστήμονες του NIF μέχρι στιγμής έχουν πραγματοποιήσει σύντηξη στον αντιδραστήρα και έχουν καταφέρει να πάρουν πίσω πολύ μεγαλύτερη ενέργεια από αυτή από έδωσαν, δεν έχουν καταφέρει όμως να πραγματοποιήσουν μία αυτοσυντηρούμενη διαδικασία σύντηξης. Οι ερευνητές του NIF δηλώνουν πως είναι θέμα χρόνου να το καταφέρουν και ότι βρίσκονται πολύ κοντά σε αυτό. Επίσης, μόλις ολοκληρωθεί ο αντιδραστήρας θα είναι ικανός με μια ποσότητα υδρογόνου που εμπεριέχεται σε ένα μικρό μπουκαλάκι νερό να τροφοδοτήσει μια μεγάλη πόλη σαν το Πεκίνο ή την Νέα Υόρκη για μία μέρα. (NIF 2019)

Κεφάλαιο 2: Προβλήματα χρήσης της Πυρηνικής Ενέργειας

2.1. Τα κυριότερα Πυρηνικά Ατυχήματα

Ως πυρηνικό ατύχημα ορίζεται σύμφωνα με την ΙΑΕΑ (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY) ένα γεγονός-συμβάν που έχει προκαλέσει σημαντικές συνέπειες για τους ανθρώπους, το περιβάλλον ή την εγκατάσταση. Τα πυρηνικά ατυχήματα περιλαμβάνουν θανατηφόρες επιδράσεις τόσο σε ανθρώπους όσο στα ζώα και στα φυτά ενώ συγχρόνως συνοδεύονται από μεγάλη διαρροή ραδιενέργειας η οποία παραμένει ακόμα και για εκατοντάδες χρόνια στις πληγείσες περιοχές. Το κύριο χαρακτηριστικό ενός 'μεγάλου πυρηνικού ατυχήματος' είναι η κατάσταση κατά την οποία ο πυρήνας του αντιδραστήρα έχει καταστραφεί και απελευθερώνονται σημαντικές ποσότητες ραδιενεργών ισότοπων, όπως συνέβη στην καταστροφή του Τσέρνομπιλ το 1986. Τα πυρηνικά ατυχήματα αξιολογούνται με βάση τη Διεθνή Κλίμακα Πυρηνικών Συμβάντων (από το 1 έως το 7) σύμφωνα με τη Διεθνή Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας (International Atomic Energy Agency – IAEA). (ΙΑΕΑ 2019)

2.1.1. Τσέρνομπιλ 1986, Σοβιετική Ένωση (Επιπέδου 7)



Εικόνα 16: Το πυρηνικό ατύχημα του Τσέρνομπιλ
(Πηγή: iefimerida, 2012, 1986)

Θεωρείται η μεγαλύτερη πυρηνική τραγωδία στην ιστορία, καθώς σημειώθηκε 400 φορές περισσότερη ραδιενεργός κατακρήμνιση στην ατμόσφαιρα από την ατομική βόμβα στην Χιροσίμα. Τα ξημερώματα της 26ης Απριλίου 1986, οι εργαζόμενοι στον πυρηνικό σταθμό «Βλαντιμίρ Ίλιτς Λένιν», στο Τσέρνομπιλ της Ουκρανίας, άρχισαν τις προγραμματισμένες εργασίες για ένα πείραμα, που σκοπό είχε να ελέγξει τα συστήματα ασφαλείας. Στο πλαίσιο του εν λόγω πειράματος, οι τεχνικοί έκλεισαν τα αυτόματα συστήματα ρύθμισης της ισχύος της τέταρτης μονάδας του σταθμού, καθώς και τα συστήματα ασφαλείας, αφήνοντας ωστόσο τον αντιδραστήρα να λειτουργεί με το 7% της ισχύος του. Στη 1:23 το πρωί, η αλυσιδωτή αντίδραση στον τέταρτο αντιδραστήρα προκάλεσε διαδοχικές εκρήξεις, οι οποίες τίναξαν στον αέρα το ασάλινο κάλυμμα του αντιδραστήρα, βάρους χιλίων τόνων. Τεράστιες ποσότητες ραδιενεργού υλικού σκορπίστηκαν στον αέρα, μέσω του οποίου μεταφέρθηκε στις γύρω περιοχές με ταχείς ρυθμούς. Δύο μέρες μετά, και 1000 χλμ μακριά, ανύποπτοι επιστήμονες ανιχνεύουν ραδιενέργεια στα παπούτσια τους, λίγο πριν μπουν σε ένα εργαστήριο στη Σουηδία. Η Σοβιετική Ένωση αναγκάζεται να παραδεχτεί το γεγονός. Στην εικόνα 16 φαίνεται το σημείο έναρξης του ατυχήματος.

Επί δέκα ημέρες, τα φλεγόμενα πυρηνικά καύσιμα απελευθέρωναν στην ατμόσφαιρα εκατομμύρια ραδιενεργά στοιχεία, σε ποσότητα που αντιστοιχεί σε 200 βόμβες σαν αυτή της Χιροσίμα. Ραδιενεργός σκόνη απλώθηκε πάνω από την Ευρώπη και μέχρι το Βόρειο Πόλο.

Επισήμως, 31 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους μετά την έκρηξη. Όμως, από το 1986 έως σήμερα έχουν χάσει τη ζωή τους περισσότεροι από 25.000 στρατιώτες και πολίτες από την Ουκρανία, τη Ρωσία, τη Λευκορωσία και άλλες Δημοκρατίες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, οι οποίοι εστάλησαν στις εργασίες αποκατάστασης του σταθμού. Σύμφωνα με τον ΟΗΕ, περίπου 8,4 εκατομμύρια άνθρωποι στις τρεις αυτές χώρες έχουν εκτεθεί στη ραδιενέργεια, από την οποία έχει μολυνθεί έκταση 150.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων, ίση με τη μισή έκταση της Ιταλίας. Τετρακόσιες χιλιάδες άνθρωποι εγκατέλειψαν τις εστίες τους, αλλά περίπου 6 εκατομμύρια εξακολουθούν να ζουν σε μολυσμένες ζώνες.

2.1.2. Φουκουσίμα 2011, Ιαπωνία (Επιπέδου 7)



Εικόνα 17: Το πυρηνικό ατύχημα στη Φουκουσίμα
(Πηγή: Google Images Fukushima Nuclear Accident, 2011)

Ο καταστροφικός σεισμός των 8,9 ρίχτερ στις 11 Μαρτίου 2011, προκάλεσε τσουνάμι (παλιρροϊκό κύμα) το οποίο έπληξε σφοδρότατα τις ακτές της ανατολικής Ιαπωνίας, επιφέροντας ανυπολόγιστες καταστροφές και σκορπώντας στο θάνατο σε δεκάδες χιλιάδες ανθρώπους. Το τσουνάμι είχε ως αποτέλεσμα την αποσταθεροποίηση και τελικά την τήξη των τριών εκ των έξι αντιδραστήρων του πυρηνικού σταθμού Φουκουσίμα-Νταϊτσι, με συνέπεια την έκλυση τεραστίων ποσοτήτων ραδιενέργειας στο περιβάλλον. Στην εικόνα 18 φαίνονται οι φλόγες και οι εκρήξεις κατά τη διάρκεια του ατυχήματος.

2.1.3.Κιστίμ 1957, Σοβιετική Ένωση (Επιπέδου 6)



Εικόνα 18: Το πυρηνικό ατύχημα του Κιστίμ
(Πηγή: newcoldwar.org, 1957)

Το τρίτο πιο καταστροφικό πυρηνικό ατύχημα παγκοσμίως. Σημειώθηκε επίσης στη Σοβιετική Ένωση στις 29 Σεπτεμβρίου 1957. Το σύστημα ψύξης σε μία δεξαμενή που περιείχε 70 τόνους ραδιενεργών αποβλήτων χάλασε και δεν επετεύχθη η επιδιόρθωση του. Αποτέλεσμα ήταν να προκληθεί έκρηξη, η οποία υπολογίζεται ότι είχε μια δύναμη 70 -100 τόνων TNT. Δεν υπήρξαν άμεσα θύματα, ωστόσο μέσα σε 10 με 11 ώρες, το ραδιενεργό νέφος κινήθηκε βόρεια-ανατολικά, φθάνοντας σε μια απόσταση 300-350 χιλιομέτρων από το σημείο της έκρηξης. 10.000 άνθρωποι απομακρύνθηκαν από τις εστίες τους ενώ εκτιμάται ότι 200 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους από καρκίνο. Στην εικόνα 18 βλέπουμε το εργοστάσιο όπου σημειώθηκε το ατύχημα στο Κιστίμ.

2.1.4. Windscale 1957, Μεγάλη Βρετανία (Επιπέδου 5)



Εικόνα 19: Το πυρηνικό ατύχημα στο Windscale
(Πηγή: Google Search Windscale Accident, 1957)

Το δυστύχημα συνέβη στις 10 Οκτωβρίου 1957 στο πυρηνικό εργοστάσιο της κομητείας Cumberland, στη Βορειοδυτική Αγγλία. Πρόκειται για το πιο σοβαρό πυρηνικό ατύχημα που σημειώθηκε στη χώρα. Η φωτιά που ξέσπασε στον πυρήνα του αντιδραστήρα, οδήγησε σε περιορισμένη απελευθέρωση ραδιενέργειας. Η φωτιά έκαιγε ανεξέλεγκτη για 16 ολόκληρες ώρες. Συνεπεία του ατυχήματος, η κυβέρνηση απαγόρευσε για ένα μήνα την πώληση του γάλακτος από γειτονικές γεωργικές εκμεταλλεύσεις. Εκείνη την εποχή, η βρετανική κυβέρνηση κυκλοφόρησε μόνο πρόχειρες λεπτομέρειες του ατυχήματος, σε μια προσπάθεια να μειώσει στα μάτια του κόσμου τη σοβαρότητα του. Ο μολυσμένος αντιδραστήρας σφραγίστηκε μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980, όταν άρχισε η εκκαθάριση. Η εικόνα 19 αποτελεί στιγμιότυπο από την εξέλιξη του ατυχήματος.

2.1.5. Three Mile Island 1979, ΗΠΑ (Επιπέδου 5)



Εικόνα 20: Το πυρηνικό ατύχημα στο Three Mile Island των ΗΠΑ
(Πηγή: Google Search στο Three Mile Island Accident, 1979)

Πρόκειται για το πιο καταστροφικό ατύχημα στην ιστορία των ΗΠΑ. Στις 28 Μαρτίου 1979, μια μικρή υδραυλική βλάβη προκάλεσε την υπερθέρμανση του πυρήνα του αντιδραστήρα, η θερμοκρασία του οποίου έφτασε τους 2.3710 Κελσίου. Μελέτες που έγιναν, δεν κατέδειξαν συσχέτιση με ενδεχόμενα περιστατικών καρκίνου. Ωστόσο, το ατύχημα επέδρασε καταλυτικά στη στάση των πολιτών απέναντι στην πυρηνική ενέργεια, καθώς έκτοτε στην περιοχή δεν έχει εγκριθεί ούτε ένας πυρηνικός σταθμός. Στην εικόνα 20 φαίνονται καπνοί από τον αντιδραστήρα που υπερθερμάνθηκε.

2.1.6.Τοκαϊμούρα 1999, Ιαπωνία (Επιπέδου 4)



Εικόνα 21: Το πυρηνικό ατύχημα στην Τοκαϊμούρα
(Πηγή: Google Search Tokaimura Accident, 1999)

Το ατύχημα συνέβη στις 30 Σεπτεμβρίου 1999, καθώς εργάτες αναμίγνυαν υγρό ουράνιο σε ακατάλληλη δεξαμενή. Περίπου 100 άνθρωποι που ζούσαν κοντά στο σταθμό νοσηλεύτηκαν για έκθεση σε ακτινοβολία, ενώ περισσότεροι από 150 αναγκάστηκαν να εκκενώσουν την περιοχή σε μια ακτίνα 300 μέτρων από το εργοστάσιο. Στην εικόνα 21 φαίνονται οι φλόγες και οι καπνοί κατά την εξέλιξη του ατυχήματος στην Τοκαϊμούρα.

2.1.7 Πυρηνικά ατυχήματα σε Πλοία-Υποβρύχια

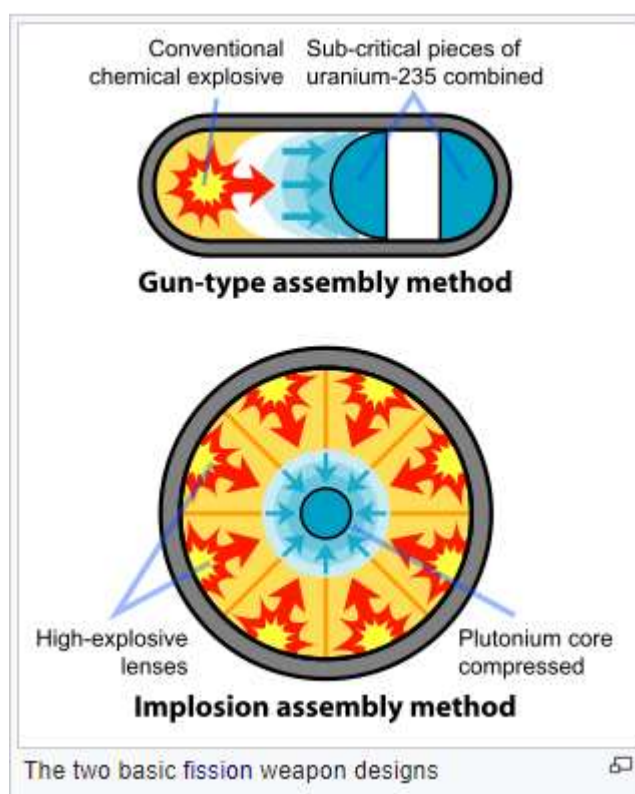
Τέλος σημειώνεται ότι σε σπάνιες περιπτώσεις ατυχήματα έχουν συμβεί και σε πυρηνοκίνητα πλοία-υποβρύχια, τα οποία για στρατιωτικούς και πολιτικούς λόγους αποκρύπτονται. Επίσης ιδίως σε υποβρύχια όταν τελειώνει ο χρόνος ζωής του αντιδραστήρα απορρίπτονται στα βάθη των θαλασσών και στο Βόρειο Αρκτικό Κύκλο προκαλώντας έτσι σοβαρότατες οικολογικές συνέπειες. Στη εικόνα 22 φαίνεται ένα νεκροταφείο πυρηνικών υποβρυχίων στη χερσόνησο Κόλα.



Εικόνα 22: Παρατημένα πυρηνικά υποβρύχια του Ψυχρού Πολέμου στην χερσόνησο Κόλα, κοντά στον Βόρειο Αρκτικό Κύκλο
(Πηγή: submarines.narod.ru, 2019)

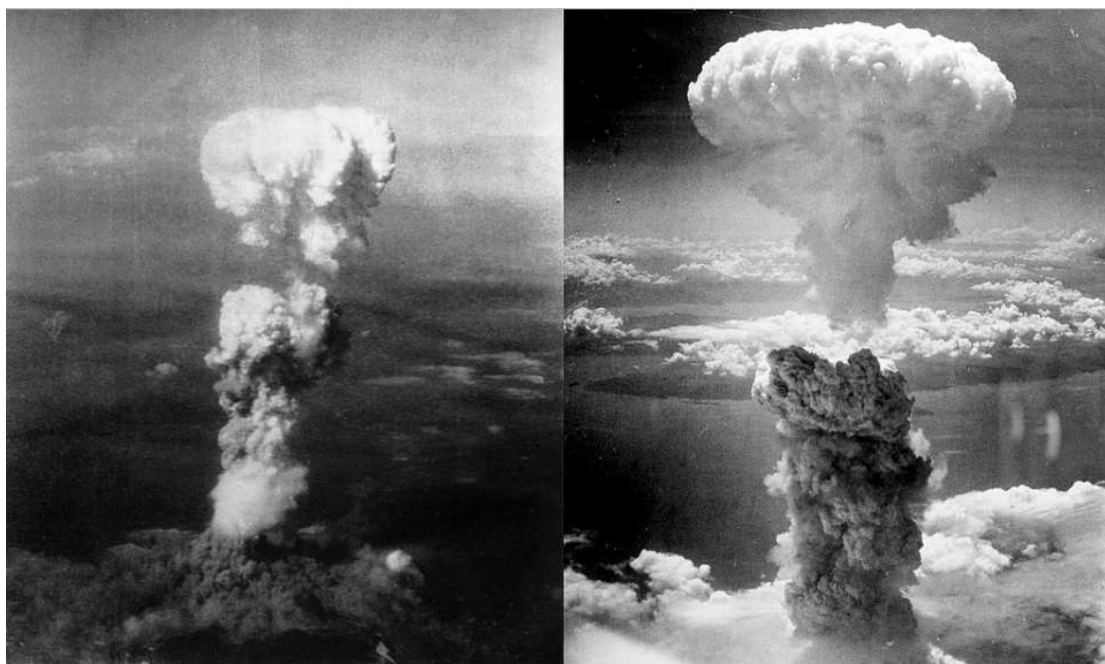
2.2. Πυρηνικά Όπλα

Τα πυρηνικά όπλα ή πυρηνικές κεφαλές είναι εκρηκτικοί μηχανισμοί (βόμβες-πύραυλοι) των οποίων η ενέργεια έκρηξης οφείλεται σε αλυσιδωτές μη ελεγχόμενες πυρηνικές αντιδράσεις. Τα πυρηνικά όπλα διακρίνονται σε βόμβες σχάσης (συνήθως τις ονομάζουμε ατομικές βόμβες) και σε βόμβες θερμοπυρηνικής σύντηξης. Στις βόμβες σύντηξης πάλι έχουμε ένα πρώτο κομμάτι που λειτουργεί με αντιδράσεις σχάσης και είναι αυτό που στη συνέχεια πυροδοτεί (σαν καψούλι) τις αντιδράσεις σύντηξης. Η πρώτη δοκιμή βόμβας σχάσης οδήγησε σε απελευθέρωση ενέργειας 20000 TNT (To 1 TNT ισοδυναμεί με 4,184 Gigajoule). Η πρώτη δοκιμή βόμβας θερμοπυρηνικής σύντηξης οδήγησε σε απελευθέρωση ενέργειας 10 εκατομμυρίων TNT. Μια πυρηνική βόμβα σύντηξης είναι 500 φορές ισχυρότερη από μια βόμβα σχάσης. Στην εικόνα 15 παρουσιάζονται οι δύο βασικοί μηχανισμοί που απαντώνται σε μία πυρηνική βόμβα σχάσης. Ο μηχανισμός τύπου όπλου και ο μηχανισμός τύπου συγκροτήματος έκρηξης. (Dr. Frank Barnaby Dr. 2004)



Εικόνα 23: Οι δύο βασικοί μηχανισμοί που απαντώνται σε μια πυρηνική βόμβα σχάσης
(Πηγή: atomicheritage.org, 2019)

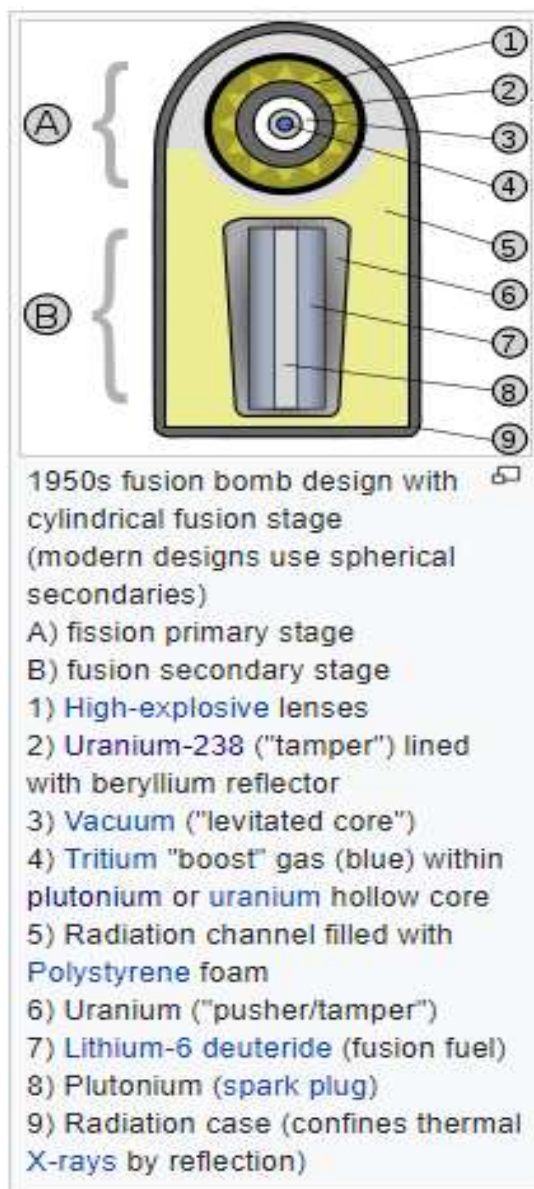
Οι ατομικές βόμβες που έπεσαν στη Χιροσίμα (αριστερά) στις 6 Αυγούστου του 1945 και στο Ναγκασάκι (δεξιά) 3 μέρες αργότερα στις 9 Αυγούστου του 1945 στο τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου φαίνονται στην εικόνα 24. Η βόμβα που ρίχτηκε στην πόλη Χιροσίμα με το κωδικό όνομα Little Boy ήταν βόμβα Ουρανίου gun-type. Η βόμβα που ρίχτηκε στην πόλη Ναγκασάκι με το κωδικό όνομα Fat Man ήταν βόμβα Πλουτωνίου implosion type. Οι δύο αυτές βόμβες στοίχησαν τη ζωή σε περισσότερους από 120 χιλιάδες ανθρώπους. Έκτοτε πυρηνικά όπλα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί σε πόλεμο, χρησιμοποιούνται από τις δυνατές χώρες για επίδειξη δύναμης και εθνικής ασφάλειας. (Gareth Jones, Gary Ombler 2012)



Εικόνα 24: Οι ατομικές βόμβες που έπεσαν στη Χιροσίμα (αριστερά) στις 6 Αυγούστου του 1945 και στο Ναγκαασάκι (δεξιά) 3 μέρες αργότερα στις 9 Αυγούστου του 1945 στο τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου. (Πηγή: Wikipedia, 2019, 1945)

Στην εικόνα 25 φαίνεται η χαρακτηριστική δομή μια βόμβας σύντηξης υδρογόνου. Η δομή της αποτελείται από δύο τμήματα. Το τμήμα Α που είναι στην ουσία μια πυρηνική βόμβα σχάσης Ουρανίου και λειτουργεί σαν καψούλι προκειμένου να πυροδοτηθεί η σύντηξη στο τμήμα Β. Το βασικό πυρηνικό καύσιμο της σύντηξης είναι το δευτέριο δηλαδή υδρογόνο-2, εξ' ου και η ονομασία βόμβα υδρογόνου. Στις σύγχρονες βόμβες υδρογόνου το τμήμα Β είναι επίσης σφαιρικό και όχι κυλινδρικό όπως φαίνεται στην εικόνα. Πιο συγκεκριμένα, η έκρηξη σύντηξης αρχίζει όπως είπαμε με την έκρηξη του αρχικού σταδίου της σχάσης, η θερμοκρασία ανεβαίνει βίαια στους 100 εκατομμύρια βαθμούς Κελβιν με ταυτόχρονη εκπομπή πολύ ισχυρών ακτίνων Χ. Οι ακτίνες Χ πλημμυρίζουν το κενό (κανάλι ακτινοβολίας) που συχνά γεμίζεται με αφρό πολυστερίνης και περιορίζονται έτσι στο εσωτερικό της βόμβας. Η απόσταση μεταξύ χωρίζει τα δύο συγκροτήματα εξασφαλίζει ότι θραύσματα από την πρωτογενή σχάση (τα οποία κινούνται πολύ πιο αργά από τα φωτόνια ακτίνων Χ) δεν μπορούν να αποσυναρμολογήσουν το δευτερεύον τμήμα πριν την ολοκλήρωση της έκρηξης σύντηξης. Το δευτερεύον στάδιο της σύντηξης αποτελείται από τον εξωτερικό ωθητήρα Ουρανίου και τον σπινθηριστή Πλουτωνίου, ενώ ενδιάμεσα βρίσκεται το προς σύντηξη δευτέριο μαζί με λίθιο-6. Οι ακτίνες Χ προσκρούουν στον ωθητήρα Ουρανίου και τον ενεργοποιούν. Αυτό συμπιέζει ολόκληρο το δευτερεύον στάδιο και αυξάνει την πυκνότητα του μπουζί του πλουτωνίου. Η πυκνότητα του καυσίμου πλουτωνίου αυξάνεται σε τέτοιο βαθμό ώστε το μπουζί να οδηγείται σε μια υπερκρίσιμη κατάσταση και αρχίζει μια επίσης αλυσιδωτή αντίδραση πυρηνικής σχάσης. Τα προϊόντα της σχάσης παράγουν έτσι το υπερσυμπιεσμένο, και κατά συνέπεια υπερπυκνό, θερμοπυρηνικό καύσιμο που περιβάλλει το μπουζί. Στην περιοχή αναπτύσσονται περίπου τριακόσιοι εκατομμύρια βαθμοί Kelvin, αναφλέγοντας τις αντιδράσεις σύντηξης μεταξύ των πυρήνων καυσίμου σύντηξης. Στα σύγχρονα όπλα όπου το καύσιμο δευτέριο βρίσκεται μαζί με λίθιο-6, ο σπινθήρας σχάσης πλουτωνίου εκπέμπει επίσης ελεύθερα νετρόνια τα οποία συγκρούονται με πυρήνες λιθίου

και τροφοδοτούν και τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις του τρίτιου, κάνοντας ακόμη ισχυρότερη την έκρηξη. (Anne C. Fitzpatrick, 1999), (Gareth Jones ,Gary Ombler, 2012)



Εικόνα 25: Ανάλυση κατασκευής θερμοπυρηνικής βόμβας σύντηξης υδρογόνου (Πηγή: Wikipedia thermonuclear Weapons, 2019)

Στην εικόνα 26 παρατηρούμε μία πυρηνική έκρηξη βόμβας υδρογόνου και τις τρομερές καταστροφικές της συνέπειες. Είναι ευνόητο γιατί αυτά τα τρομερά όπλα μαζικής καταστροφής δεν έχουν ξαναχρησιμοποιηθεί σε πόλεμο. Υπάρχουν ωστόσο Αμερικάνικα και Ρώσικα υποβρύχια που μπορούν με τους πυρηνικούς πυραύλους που διαθέτουν να καταστρέψουν τον σύγχρονο πολιτισμένο κόσμο. Δεν πρέπει όμως να μείνουμε στον αντίλογο, αλλά αξίζει να αναλογισθούμε τα οφέλη που θα μπορούσε να προσφέρει όλη αυτή

η τρομερή ισχύς που πηγάζει από την πυρηνική ενέργεια αν χρησιμοποιηθεί για ειρηνικούς σκοπούς δηλαδή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του πλανήτη.



Εικόνα 26: Πυρηνική έκρηξη βόμβας υδρογόνου
(Πηγή: Google Search Hydrogen Bomb Test, 2019)

Κεφάλαιο 3. Πυρηνοκίνητα Πλοία-Υποβρύχια

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων τα πυρηνοκίνητα πλοία και υποβρύχια χρησιμοποιούνται για στρατιωτικές υπηρεσίες του πολεμικού ναυτικού. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις πλοίων που έχουν χρησιμοποιηθεί για εμπορικούς λόγους. Ακολουθεί ένας κατάλογος με τα σημαντικότερα πυρηνοκίνητα πλοία-υποβρύχια που έχουν κατασκευαστεί. Η πυρηνική ενέργεια έχει χρησιμοποιηθεί με πολύ μεγάλη επιτυχία στο χώρο των πολεμικών πλοίων και υποβρυχίων.

3.1. Στρατιωτικά Πλοία

3.1.1. Αεροπλανοφόρα (Aircraft Carriers)

USS Enterprise (CVN-65). Το πλοίο υπηρέτησε το Αμερικάνικο Πολεμικό Ναυτικό από το 1962 έως το 2012 και διέθετε 8 πυρηνικούς αντιδραστήρες τύπου A2W. Μέχρι στιγμής αποτελεί το μόνο πλοίο που έχει κατασκευαστεί με περισσότερους από 2 πυρηνικούς αντιδραστήρες. Στην εικόνα 27 βλέπουμε το αεροπλανοφόρο USS Enterprise (CVN-65) να διασχίζει τον Ατλαντικό Ωκεανό.



Εικόνα 27: USS Enterprise (CVN-65) underway in the Atlantic Ocean
(Πηγή: naval-technology.com, 2019)

Τα Nimitz class αποτελούν μία κλάση 10 αεροπλανοφόρων που υπηρετούν το Αμερικάνικο Πολεμικό Ναυτικό. Χρησιμοποιούν δύο αντιδραστήρες τύπου A4W και έχουν τη δυνατότητα να ταξιδεύουν με ταχύτητα ακόμη και 30 κόμβων. Η αυτονομία τους εκτιμάται στα 20-25 χρόνια. Στην εικόνα 28 βλέπουμε ένα αεροπλανοφόρο Nimitz class εν ώρα υπηρεσίας.



Εικόνα 28: Nimitz class aircraft carrier
(Πηγή: Wikipedia Nimitz class, 2019)

Τα Gerald R. Ford class αποτελούν την νέα κλάση αεροπλανοφόρων του Αμερικάνικου Πολεμικού Ναυτικού. Μέχρι στιγμής έχει κατασκευαστεί μόνο ένα το οποίο βρίσκεται και σε υπηρεσία, ενώ την ίδια στιγμή κατασκευάζονται άλλα δύο και το σχέδιο μελλοντικά είναι η κλάση να αποτελείται από 10 τέτοια πλοία. Τα Gerald R. Ford class αποτελούν τα πιο σύγχρονα αεροπλανοφόρα που έχουν κατασκευαστεί και το κάθε ένα φέρει 2 A1B πυρηνικούς αντιδραστήρες. Η τιμή του ενός ανέρχεται στα 13 δισεκατομμύρια. Στην εικόνα 29 βλέπουμε ένα αεροπλανοφόρο USS Gerald R. Ford class εν ώρα υπηρεσίας.



Εικόνα 29: USS Gerald R. Ford class
(Πηγή: Gerald R. Ford class, 2019)

Το Γαλλικό Charles de Gaulle αποτελεί το πρώτο πυρηνοκίνητο μη υποβρύχιο πλοίο του Γαλλικού Πολεμικού Ναυτικού. Διαθέτει δύο K15 PWR (PRESSURISED WATER REACTORS) που του επιτρέπουν να κινείται με ταχύτητα μέχρι και 27 κόμβων. Στην εικόνα 30 παρατηρούμε το αεροπλανοφόρο Charles de Gaulle εν ώρα υπηρεσίας.



Εικόνα 30: The French Charles de Gaulle
(Πηγή: Wikipedia Charles_de_Gaulle, 2019)

3.1.2. Destroyers and Cruisers

Τα Ρώσικα Kirov class αποτελούν τα μεγαλύτερα Πολεμικά Πλοία που έχουν κατασκευαστεί μετά τα Αεροπλανοφόρα. Στην εικόνα 31 φαίνεται ένα Kirov Class Battle Cruiser εν ώρα υπηρεσίας.



Εικόνα 31: The Russian Kirov class.
(Πηγή: Google Search Kirov class warships, 2019)

Το Αμερικάνικο USS Long Beach (CLGN-160/CGN-160/CGN-9) ήταν το πρώτο πυρηνοκίνητο Battle Cruiser της επιφάνειας (δηλαδή μη υποβρύχιο). Στην εικόνα 32 βλέπουμε το Πολεμικό Πλοίο USS Long Beach (CLGN-160/CGN-160/CGN-9) εν ώρα υπηρεσίας.



Εικόνα 32: Το Αμερικάνικο USS Long Beach (CLGN-160/CGN-160/CGN-9)
(Πηγή: navysite.de, 2019)

Το Αμερικάνικο USS Bainbridge (DLGN-25/CGN-25) ήταν το πρώτο πυρηνοκίνητο πλοίο καταστροφέας (Destroyer) του Αμερικάνικου Πολεμικού Ναυτικού. Στην εικόνα 33 βλέπουμε το Destroyer USS Bainbridge (DLGN-25/CGN-25) εν ώρα υπηρεσίας.



Εικόνα 33: USS Bainbridge (DLGN-25/CGN-25) underway at sea, 20 September 1962.
(Πηγή: navsource.org, 2019, 1962)

Τα Virginia-class ήταν μία κλάση από 4 πυρηνοκίνητα βαλλιστικά Πολεμικά Πλοία Καταστροφείς (με κατευθυνόμενους βαλλιστικούς πυραύλους), τα οποία υπηρέτησαν το Αμερικάνικο Πολεμικό Ναυτικό μέχρι και τη δεκαετία του 1990. Στην εικόνα 34 διακρίνουμε ένα Virginia-class Πλοίο Καταστροφή εν ώρα υπηρεσίας.



Εικόνα 34: The Virginia-class nuclear guided-missile cruisers.
(Πηγή: navysite.de, 2019)

3.1.3. Communications and Command Ships

Το Ρώσικο Command and communications ship SSV-33 Ural. Αποτελεί στην ουσία ένα μετασκευασμένο πυρηνοκίνητο Kirov-class και είναι ένα πλοίο για διαταγές και επικοινωνίες. Διαθέτει ηλεκτρονικά συστήματα τεχνητής νοημοσύνης, συστήματα παρακολούθησης πυραύλων, συστήματα παρακολούθησης του διαστήματος και πολύ αναπτυγμένα συστήματα για επικοινωνία και αποκρυπτογράφηση πληροφοριών. Στην εικόνα 35 παρατηρούμε το πλοίο SSV-33 Ural εν ώρα υπηρεσίας.



Εικόνα 35: Command and communications ship SSV-33 Ural.
(Πηγή: military-today.com, 2019)

3.1.4. Υποβρύχια

Το **Αμερικάνικο υποβρύχιο Ναυτίλος** ήταν το πρώτο πυρηνοκίνητο πλοίο που κατασκευάστηκε και το πρώτο υποβρύχιο που ταξίδεψε υποβρυχίως κάτω από τους πάγους της Αρκτικής και το Βόρειο Πόλο. Το υποβρύχιο βρίσκεται πλέον στο μουσείο Submarine Force Library and Museum στο Groton των ΗΠΑ. Στην εικόνα 36 βλέπουμε τον Ναυτίλο αγκυροβολημένο.



Εικόνα 36: USS Nautilus (SSN-571).
(Πηγή: Wikipedia USS Nautilus, 2019)

Τα **Soviet November Class** αποτέλεσαν την πρώτη σειρά πυρηνοκίνητων υποβρυχίων της Σοβιετικής Ένωσης. Στην εικόνα 37 βλέπουμε ένα Soviet November Class εν ώρα υπηρεσίας.



Εικόνες 37: Soviet November Class.
(Πηγή:wordpress.com, 2010)

Το Αμερικάνικο USS Triton (SSRN/SSN-586) το οποίο υπήρξε το πρώτο υποβρύχιο που διέθετε σύστημα radar. Στην εικόνα 38 παρατηρούμε το υποβρύχιο USS Triton (SSRN/SSN-586) εν ώρα υπηρεσίας.



Εικόνα 38: USS Triton (SSRN/SSN-586). Το πρώτο υποβρύχιο με σύστημα radar.
(Πηγή: Wikipedia USS Triton, 2019)

Το USS Seawolf (SSN-575) αποτέλεσε το μόνο Αμερικάνικο υποβρύχιο με ψυκτικό μέσο για τον αντιδραστήρα το υγρό νάτριο. Ο αντιδραστήρας ονομάστηκε Submarine Intermediate Reactor (SIR) ή αλλιώς Liquid Metal Fast Reactor (LMFR), αργότερα έλαβε το όνομα S2G. Στην εικόνα 39 βλέπουμε το υποβρύχιο USS Seawolf (SSN-575) εν ώρα υπηρεσίας να περνάει τη γέφυρα Golden Bridge φεύγοντας από τον κόλπο του San Francisco τον Αύγουστο του 1977.



Εικόνα 39: USS Seawolf (SSN-575).
(Πηγή: navsource.org, 2019, 1977)

Τα Αμερικάνικα Skate-class submarines αποτέλεσαν ένα σύνολο 4 υποβρυχίων εφοδιασμένα το κάθε ένα με έναν S3W αντιδραστήρα. Διέθεταν σωλήνες εκτόξευσης τορπιλών ακόμα και στην πρύμνη για την περίπτωση που τα καταδίωκαν άλλα υποβρύχια. Επίσης ένα εκ των τεσσάρων αυτών υποβρυχίων αποτέλεσε το πρώτο υποβρύχιο στην ιστορία που αναδύθηκε στην παγωμένη επιφάνεια του Βόρειου Πόλου στις 17 Μαρτίου του 1959. Στην εικόνα 40 παρατηρούμε ένα Skate-class submarine να περιμένει στην επιφάνεια.



Εικόνα 40: The Skate-class submarines.
(Πηγή: britannica.com, 2019)

Τα Rubis type είναι τα πρώτα πυρηνοκίνητα υποβρύχια του Γαλλικού Πολεμικού Ναυτικού. Στην εικόνα 41 βλέπουμε ένα Rubis type υποβρύχιο εν ώρα ασκήσεως.



Εικόνα 41: Rubis type Submarine.
(Πηγή: Wikipedia Rubis type, 2019)

Τα Ρώσικα Typhoon-class submarine αποτελούν τα μεγαλύτερα υποβρύχια που έχουν κατασκευαστεί με εκτόπισμα 48000 τόνους. Διαθέτουν 2 OK-650 pressurized water πυρηνικούς αντιδραστήρες, απόδοσης 190 MW_{THERMAL} ο καθένας. Επίσης είναι σχεδιασμένα για εκτόξευση πυρηνικών κεφαλών. Οι 20 πυρηνικές κεφαλές που διαθέτουν μπορούν να καταστρέψουν τον σύγχρονο πολιτισμένο κόσμο. Έχουν μέγιστη ταχύτητα 27 κόμβους υπό την επιφάνεια της θάλασσας και μπορούν να φτάσουν τα 400 μέτρα βάθος. Μπορούν να μείνουν κάτω από το νερό περισσότερο από 120 μέρες χωρίς να ανέβουν καθόλου στην επιφάνεια. Στην εικόνα 42 παρατηρούμε ένα Ρώσικα Typhoon-class υποβρύχιο εν ώρα υπηρεσίας.



Εικόνα 42: The Russian Typhoon-class Submarines
(Πηγή: Wikipedia Typhoon class, 2019)

3.2. Εμπορικά πυρηνοκίνητα πλοία

Το Αμερικάνικο NS Savannah ήταν το πρώτο εμπορικό πλοίο που έκανε χρήση της πυρηνικής ενέργειας για την κίνησή του και αποτέλεσε την πρώτη προσπάθεια ένταξης της πυρηνικής ενέργειας στην εμπορική ναυτιλία. Κατασκευάστηκε το 1959 και χρησιμοποιήθηκε για μεταφορά εμπορευμάτων από τις Αμερικάνικες Κρατικές Υπηρεσίες από το 1962 έως το 1972. Κόστισε συνολικά 46,9 εκατομμύρια δολάρια από τα οποία τα 28,3 εκατομμύρια αφορούσαν τον αντιδραστήρα και το καύσιμό του, ενώ τα υπόλοιπα 18,6 εκατομμύρια αφορούσαν το υπόλοιπο πλοίο. Στη εικόνα 43 βλέπουμε το πλοίο NS Savannah όταν ξεκίνησε το πρώτο του ταξίδι το 1962.



Εικόνα 43: Το Αμερικάνικο NS Savannah.
(Πηγή: bbc.com, 2019, 1962)

Το Γερμανικό Otto Hahn ήταν ένα πειραματικό πυρηνοκίνητο πλοίο. Οι Γερμανοί με το πλοίο αυτό ήθελαν να πραγματοποιήσουν μία μελέτη σκοπιμότητας για την ένταξη της πυρηνικής ενέργειας στο χώρο των εμπορικών πλοίων. Το πλοίο Otto Hahn χρησιμοποιήθηκε για μεταφορά εμπορευμάτων από το 1964 έως το 1979 και στη συνέχεια ο αντιδραστήρας του αντικαταστάθηκε από έναν ναυτικό κινητήρα diesel. Προφανώς και σε αυτή την περίπτωση η πυρηνική ενέργεια δεν κατόρθωσε να εισαχθεί στο χώρο των εμπορικών πλοίων. Στην εικόνα 44 βλέπουμε το πλοίο Otto Hahn στο λιμάνι του Αμβούργου στις 9 Ιουνίου του 1970.



Εικόνα 44: Το Γερμανικό Otto Hahn.
(Πηγή: Wikipedia Otto Hahn, 2019, 1970)

Το Ιαπωνικό Mutsu ήταν ένα πυρηνοκίνητο πλοίο που οι Ιάπωνες επιχείρησαν να χρησιμοποιήσουν ως εμπορικό. Το πρώτο του ταξίδι ξεκίνησε στις 26 Αυγούστου του 1974 από το λιμάνι Ominato. Αντιδράσεις όμως κυρίως των ψαράδων και η ανησυχία αρκετών πολιτών για εκπομπές ραδιενέργειας από το πλοίο οδήγησαν στο να χρησιμοποιείται αποκλειστικά από τον Ιαπωνικό Στρατό για μεταφορά εμπορευμάτων. Στην εικόνα 45 βλέπουμε το πλοίο Mutsu εν ώρα υπηρεσίας.



Εικόνα 45: Το Ιαπωνικό Mutsu.
(Πηγή: ansnuclearcafe.org, 2018)

Το Ρώσικο Sevmorput πρόκειται για ένα πυρηνοκίνητο παγοθραυστικό ικανό να μεταφέρει πλατφόρμες και εμπορευματοκιβώτια. Κατασκευάστηκε το 1988 και αποτελεί το μόνο πυρηνοκίνητο εμπορικό πλοίο που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα. Η κατασκευή του κόστισε 265 εκατομμύρια δολάρια και η χωρητικότητά του είναι 1328 TEU. Στην εικόνα 46 βλέπουμε πλοίο Sevmorput αγκυροβολημένο σε κάποιο λιμάνι.



Εικόνα 46: Το Ρώσικο Sevmorput. Icebreaking LASH carrier and containership.
(Πηγή: e-nautilia.gr, 2019)

3.3. Παγοθραυστικά (Icebreakers)

Όλα τα πυρηνοκίνητα παγοθραυστικά έχουν κατασκευαστεί από τη Σοβιετική Ένωση ή τη Ρωσία. Τα κυριότερα παγοθραυστικά βρίσκονται στον πίνακα 3.3.1 που ακολουθεί.

Class	Time of Service	Condition
Lenin	1959-1989	museum ship
Arktika	1975-2008	inactive, awaiting refit or scrapping
Sibir	1977-1992	scrapped
Rossiya	1985-present	In service
Yamal	1986-present	In service
Taymyr	1989-present	In service
Vaygach	1990-present	In service
Sovetskiy Soyuz	1990-2014	decommissioned
50 Let Pobedy, formerly Ural	2007-present	In service
Arktika (LK-60 class)	2019-	In service
Sibir new	Planned for 2020	under construction, planned to be in service in 2020

Πίνακας 3.3.1: Τα πυρηνοκίνητα Παγοθραυστικά που έχουν κατασκευαστεί

Τα νέα παγοθραυστικά της κλάσης Arktika LK-60 αναπτύσσονται στην ξεχωριστή ενότητα 3.5 λόγω του ότι μας δίνουν μία πολύ καλή προσέγγιση για τα πλοία της μελέτης μας.

3.4. Οι Ναυτικοί Πυρηνικοί Αντιδραστήρες που έχουν χρησιμοποιηθεί στα παραπάνω πλοία και υποβρύχια.

3.4.1. Αμερικάνικοι Ναυτικοί Αντιδραστήρες

Στον πίνακα 3.4.1 βλέπουμε τους Αμερικάνικους Ναυτικούς Πυρηνικούς Αντιδραστήρες που έχουν κατασκευαστεί:

A1B reactor
A1W reactor
A2W reactor
A3W reactor
A4W reactor
C1W reactor
D1G reactor
D2G reactor
Operational Reactor Safeguard Examination
S1B reactor
S1C reactor
S1G reactor
S1W reactor
S2C reactor
S2G reactor
S2W reactor
S3G reactor
S3W reactor
S4G reactor
S4W reactor
S5G reactor
S5W reactor
S6G reactor
S6W reactor
S7G reactor
S8G reactor
S9G reactor

Πίνακας 3.4.1: Οι Αμερικάνικοι Ναυτικού Πυρηνικοί Αντιδραστήρες.

3.4.2. Σοβιετικοί Ναυτικοί Αντιδραστήρες

Στον πίνακα 3.4.2 βλέπουμε τους Σοβιετικούς-Ρώσικους Ναυτικούς Πυρηνικούς Αντιδραστήρες που έχουν κατασκευαστεί:

ABV Reactor
BM-40A reactor
KLT-40 reactor
KN-3 reactor
OK-150 reactor
OK-550 reactor
OK-650 reactor
RITM-200
Template: Soviet Naval reactor
VM reactor
VT-1 reactor

Πίνακας 3.4.2: Οι Σοβιετικοί-Ρώσικοι Ναυτικοί Πυρηνικοί Αντιδραστήρες.

3.4.3 Αγγλικοί Ναυτικοί Αντιδραστήρες της εταιρίας Rolls-Royce (PRESSURISED WATER REACTORS)

Στον πίνακα 3.4.3 βλέπουμε τους Αγγλικούς Ναυτικούς Πυρηνικούς Αντιδραστήρες που έχουν κατασκευαστεί και είναι όλοι της εταιρείας Rolls-Royce:

PWR1
PWR2
PWR3

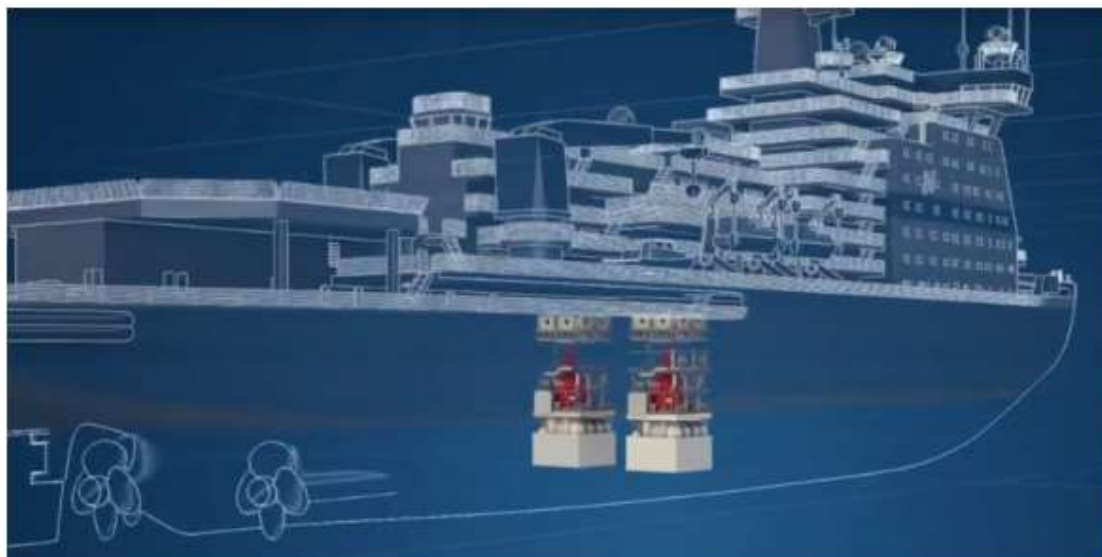
Πίνακας 3.4.3: Οι Αγγλικοί Ναυτικοί Πυρηνικοί Αντιδραστήρες.

3.5. Τα Παγοθραυστικά της κλάσης LK-60 του project 22220 της Ρωσίας

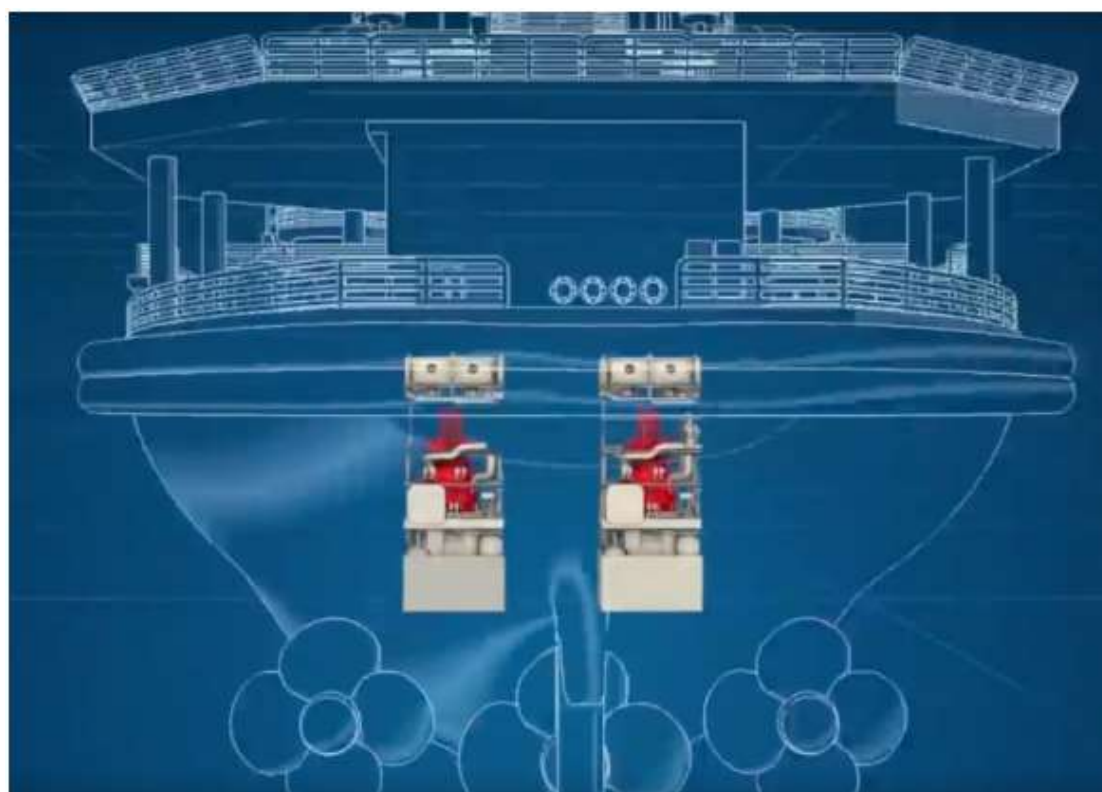


Εικόνα 47: Nuclear Icebreaker in service.
(Πηγή: thebarentsobserver.com, 2019)

Τα πλοία της κλάσης LK-60 του Project 22220 έχουν ολικό μήκος 173 μέτρα, πλάτος 34 μέτρα, βύθισμα σχεδίασης 10,5 μέτρα και συνολικό εκτόπισμα 33540 τόνους. Στην εικόνα 47 παρατηρούμε ένα πλοίο της κλάσης LK-60 εν ώρα υπηρεσίας. Οι δύο RITM-200 αντιδραστήρες που διαθέτουν, αποδίδουν συνολικά 350MW_{TH} (δηλαδή 175MW_{TH} έκαστος) μεταφέροντας στις 3 προπέλες 60MW ή αλλιώς 60000KW που ισοδυναμούν με 81000HP . Ο κάθε αντιδραστήρας έχει βάρος $147,5$ τόνους, ύψος $7,3$ μέτρα και διάμετρο $3,3$ μέτρα [ηλ.47]. Τα πλοία 22220 έχουν αναγνωριστεί από τον Russian Maritime Register of Shipping (RMRS) ως παγοθραυστικά της κλάσης Icebreaker9. Τα πλοία της κλάσης διαθέτουν ως μέγιστη παγοθραυστική ικανότητα τα 3 μέτρα και θα χρησιμοποιηθούν για τη διαδρομή στη Βόρεια Θάλασσα κατά μήκος του Ρώσικου Αρκτικού Κύκλου. Η Ρωσία αποσκοπεί να μεταφέρει περισσότερους από 80 εκατομμύρια μετρικούς τόνους αγαθών διαμέσου του NSR (Northern Sea Route) μέχρι το 2024. Αυτοί θα αποτελούνται κυρίως από 47 εκατομμύρια τόνους φυσικού αερίου, 23 εκατομμύρια τόνους άνθρακα, 5 εκατομμύρια τόνους πετρελαίου, 5 εκατομμύρια τόνους βιομηχανικών προϊόντων όπως μηχανήματα και 1 εκατομμύριο τόνους μετάλλων. Η ρώσικη κυβέρνηση σε συνεργασία με τις εταιρίες Rosatom, Rosneft and Novatek πρόκειται να επενδύσει $11,4$ δισεκατομμύρια δολάρια (κυρίως σε παγοθραυστικά) για την ανάπτυξη της υποδομής του NSR. Η Ρωσία ανοίγει έτσι το δρόμο για την άνθιση του εμπορίου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους στην Αρκτική θαλάσσια διαδρομή. Στην εικόνα 48 βλέπουμε το σχέδιο διάταξης σε τρισδιάστατη όψη ενός παγοθραυστικού της κλάσης LK-60 καθώς και που βρίσκονται εγκατεστημένοι οι δύο RITM-200 αντιδραστήρες. Στην εικόνα 49 βλέπουμε το σχέδιο διάταξης ενός παγοθραυστικού της κλάσης LK-60 από την όψη της πρύμνης καθώς και που βρίσκονται εγκατεστημένοι οι δύο RITM-200 αντιδραστήρες.



Εικόνα 48: Nuclear LK-60 class icebreaker with two RITM-200 reactors installed (3D view).
(Πηγή: lynceans.org, 2019)



Εικόνα 49: Nuclear LK-60 class Icebreaker with two RITM-200 reactors installed (Stern view).
(Πηγή: lynceans.org, 2019)

Σύμφωνα με το 'Project 22220 Icebreakers' το κόστος ενός πυρηνοκίνητου παγοθραυστικού κλάσης LK-60, εφοδιασμένου με δύο RITM-200 αντιδραστήρες εκτιμάται ότι θα ανέρχεται στα 750 εκατομμύρια δολάρια δηλαδή περίπου 665 εκατομμύρια ευρώ. ('In July 2018, it was announced Russian Defence Ministry intends to place an order for additional two project 22220 icebreakers by 2019, for a total of five vessels to be constructed at Baltic Shipyard. The cost for the two vessels is estimated at RUB100 billion (\$US1.5 billion).'^[ηλ.49]. Το κόστος

ενός RITM-200 αντιδραστήρα ανέρχεται στα 140 εκατομμύρια δολάρια δηλαδή περίπου στα 125 εκατομμύρια ευρώ. Η διάρκεια ζωής του αντιδραστήρα είναι 40 έτη και σημειώνεται ότι στην τιμή των 140 εκατομμυρίων δολαρίων συμπεριλαμβάνεται και η τιμή του πυρηνικού καυσίμου (Ουράνιο 235 εμπλουτισμένο λιγότερο από 20%) για το οποίο απαιτείται ανανέωση κάθε 7 έτη. ('The cost of one RITM-200 reactor is 8 billion rubles (US\$ 140 million), Designed for 40 years of reactor life, Arktika will require refuelling every seven years with less than 20% Uranium-235 enriched fuel.' [ηλ.50]. Στην εικόνα 50 βλέπουμε έναν τυπικό RITM-200 αντιδραστήρα.



Εικόνα 50: RITM-200 reactor
(Πηγή: reddit.com, 2019)

Ένας αντιδραστήρας 1000 MWe χρειάζεται περίπου 27 τόνους φυσικού ουρανίου ετησίως ('About 27 tonnes of fresh fuel is required each year by a 1000 MWe nuclear reactor.' [ηλ.56]. Άρα ένας αντιδραστήρας 30 MWe χρειάζεται περίπου 0,81 τόνους φυσικού ουρανίου ετησίως. Επομένως, ο κάθε ένας RITM-200 αντιδραστήρας χρειάζεται περίπου 5,67 τόνους καυσίμου για τα 7 χρόνια λειτουργίας. Σε υπολογισμό που πραγματοποιήθηκε στο διαδικτυακό πρόγραμμα του ισότοπου (<https://www.wise-uranium.org/nfcc.html>) προέκυψε ότι το κόστος του καυσίμου για κάθε έναν RITM-200 αντιδραστήρα ανέρχεται περίπου στα 1,5 εκατομμύρια δολάρια δηλαδή περίπου στα 1,34 εκατομμύρια ευρώ. Ακολουθούν πίνακες υπολογισμού του κόστους του καυσίμου ουρανίου (5,67 τόνοι) για έναν RITM-200 αντιδραστήρα για 7 χρόνια λειτουργίας σύμφωνα με το διαδικτυακό πρόγραμμα Nuclear Fuel Cost Calculator. [ηλ.57]. Στον πίνακα 3.5.1 πραγματοποιείται ανάλυση της ισορροπίας μεταξύ του απαιτούμενου καθαρού και εμπλουτισμένου Ουρανίου. Στον πίνακα 3.5.2 υπολογίζεται το συνολικό κόστος των 5,67 τόνων καυσίμου Ουρανίου για έναν RITM-200 αντιδραστήρα για 7 χρόνια λειτουργίας. Το κόστος αυτό προκύπτει ίσο με 1,418343 εκατομμύρια δολάρια.

Material Balance							
Natural Uranium input=		5,67 t		U ₃ O ₈ =		4,808168 t U	
		Product		Waste			
Conversion	7,075214 t	UF ₆ =	4,784128 t U (nat)				
Enrichment 2696,337 SWU	0,881186 t	UF ₆ =	0,595841 t U (enriched)	enriched	6,194028t	UF ₆ =	4,188286 t U (depleted)
Fuel Fab.	0,669182 t	UO ₂ =	0,589883 t U				
Power Plant	203,3539	GWH _e =	0,023199 GWa _e	Spent fuel	0,669182 t		

Πίνακας 3.5.1 : Ισορροπία Καθαρού και Εμπλουτισμένου Ουρανίου

Cost Summary (in Thousand US\$)			
	Nominal Cost	Future Waste Mgmt Cost	Total
Natural Uranium	303,7567	125,0028	428,7595
Conversion	64,91027	0	64,91027
Enrichment	115,9425	41,88286	157,8253
Fuel Fabrication	271,3461	0	271,3461
Subtotal (front end)	755,9556	166,8856	922,8412
Spent Fuel	-	495,5017	495,5017
Total	755,9556	662,3873	1418,343

Πίνακας 3.5.2: Υπολογισμός Κόστους των 5,67 τόνων Καυσίμου Ουρανίου για τον έναν RITM-200 αντιδραστήρα για 7 έτη λειτουργίας.

Κεφάλαιο 4. Τεχνικο-οικονομική Μελέτη

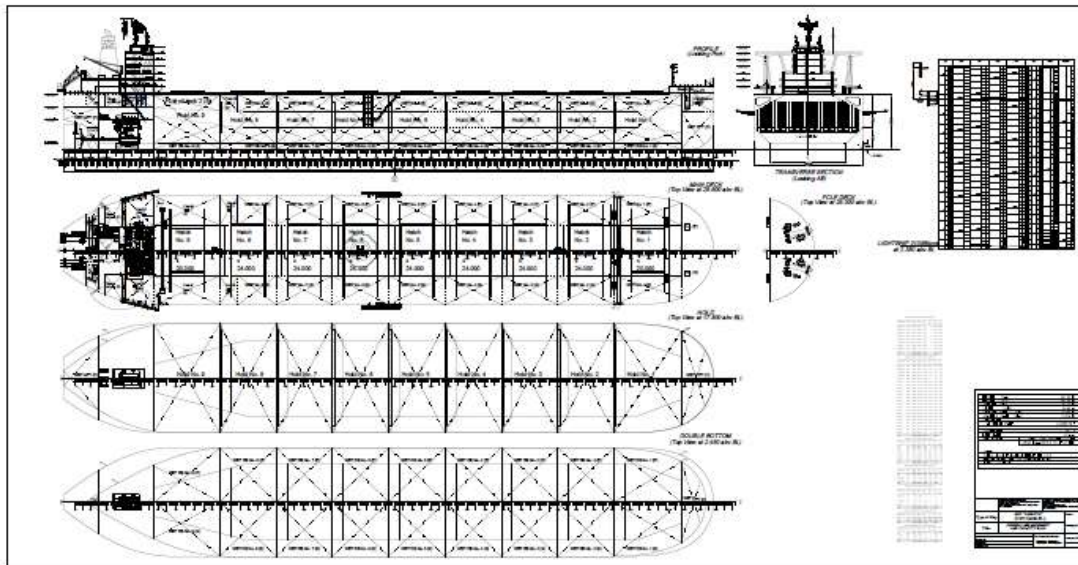
Στην παρούσα τεχνικο-οικονομική μελέτη εξετάζουμε αν συμφέρει ή όχι ένα εμπορικό πλοίο να διαθέτει πυρηνική πρόωση. Οι τύποι των εμπορικών πλοίων που εξετάζονται είναι τα Bulk Carriers (πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην) και τα Containerships (πλοία μεταφοράς Επορευματοκιβωτίων). Τα Tankers (πετρελαιοφόρα), τα LNG-LPG Carriers, και τα πλοία μεταφοράς χημικών δεν εξετάζονται λόγω αυξημένου κινδύνου πυρκαϊάς ο οποίος μπορεί να οδηγήσει σε πυρηνικό ατύχημα.

Για την περίπτωση των Bulk Carriers εξετάζεται το πλοίο SAMSON, όπως αυτό σχεδιάστηκε στο θέμα Σχεδίασης Πλοίου φέροντας για μηχανή την 5S90ME-C10.5 HL της MAN ως μέσο πρόωσης, και του ίδιου πλοίου όταν αυτό χρησιμοποιεί την πυρηνική ενέργεια ως μέσο πρόωσης. Η σύγκριση θα γίνει σε βάθος 20 χρόνων. Το πλοίο SAMSON πρόκειται για ένα Bulk Carrier 302 μέτρων, πλάτους 51,4 μέτρων, βυθίσματος 17,5 μέτρων και 14,4 κόμβους ταχύτητα υπηρεσίας. Τα βασικά χαρακτηριστικά του M/V SAMSON παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 4.1.

Όνομα σκάφους		"M/V SAMSON"	Περιορισμοί
Χρόνος ναυπηγήσεως			
LBP	m	302.00	302.00
LWL	m	307.60	
LOA	m	307.60	
B	m	51.40	51.40
D	m	25.60	
T	m	17.50	17.50
Δ	t	248134.39	
V	m ³	242082.33	
DWT	t	216739	
GT	t	115347	
WS	m ²	23804.72	
LCB _{AP}	m	157.047	
LCB _{MS}	m	6.047 fwd MS	
D _{PROP}	m	9.5	
C _B	-	0.889	
C _M	-	0.989	
C _P	-	0.899	
C _{WL}	-	0.951	
EN. POWER	KW	30500	
V _s	kn	14.4	
R	nm	18936	

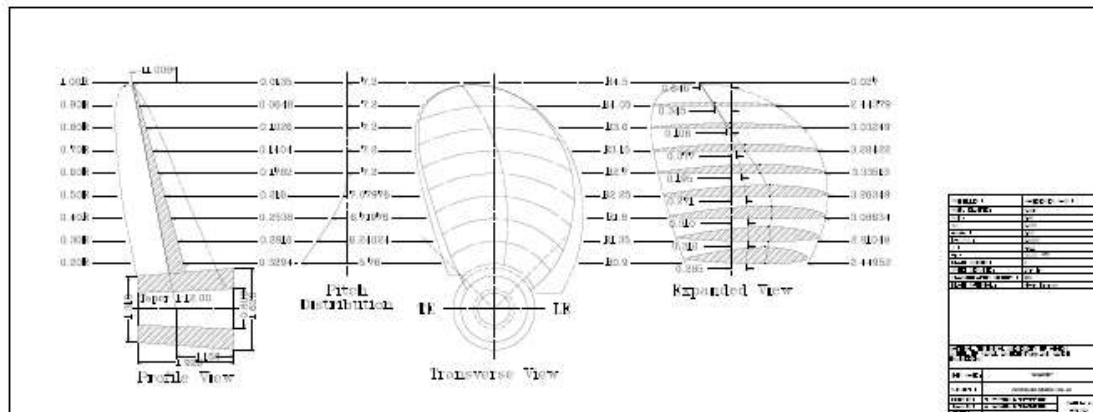
Πίνακας 4.1: Τα βασικά στοιχεία του M/V SAMSON
(Πηγή: Μαυράκος-Τρανταφύλλης, 2019)

Στην εικόνα 51 βλέπουμε το Capacity Plan του M/V SAMSON όπως αυτό προέκυψε από την εργασία του Θέματος Μελέτης και Σχεδίασης Πλοίου των φοιτητών Κωνσταντίνος Τριανταφύλλης-Ανάργυρος Μαυράκος.



Εικόνα 51. CAPACITY PLAN M/V SAMSON
(Πηγή: Μαυράκος-Τριανταφύλλης, 2019)

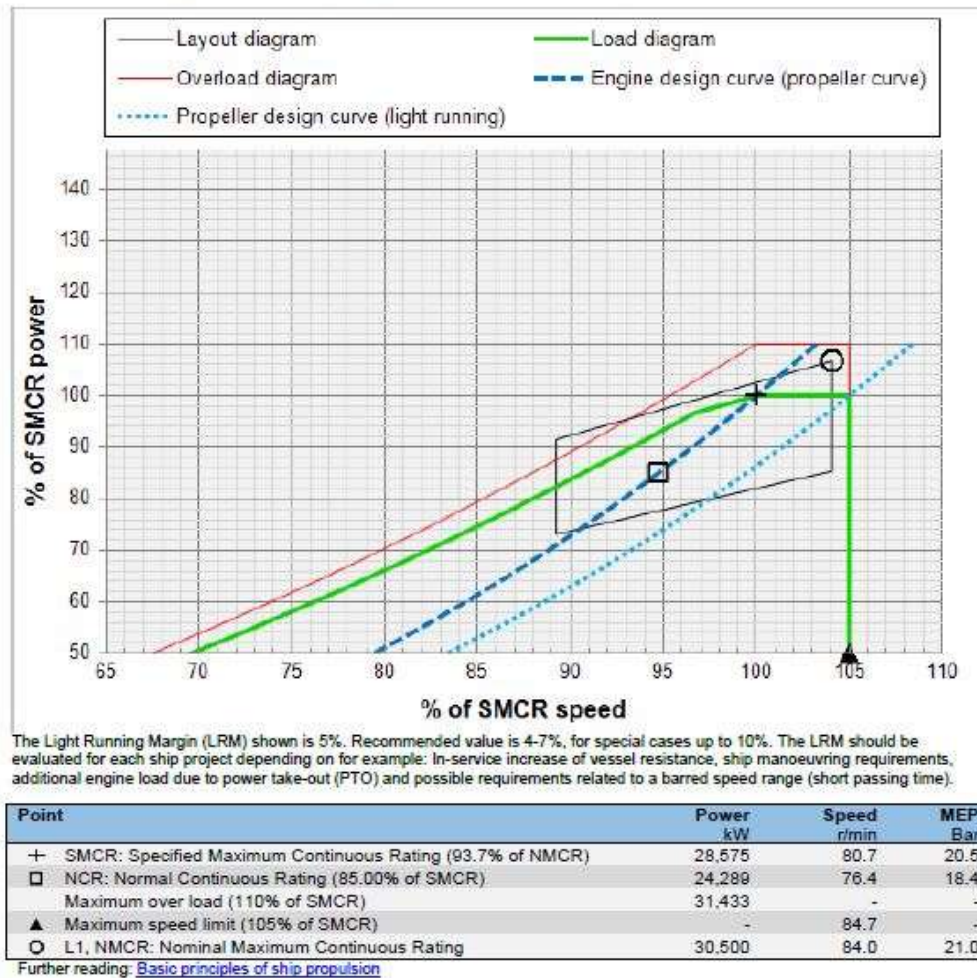
Σύμφωνα με τη μελέτη που πραγματοποιήσαμε για την αντίσταση και πρόωση του πλοίου SAMSON καταλήξαμε σε μία βέλτιστη τετράπτερη έλικα διαμέτρου 9 μέτρων σειράς Wageningen , λόγω εκτεταμένης επιφάνειας 0,65 και λόγω βήματος 0,8. Στην εικόνα 52 βλέπουμε το σχέδιο της έλικας όπως προέκυψε επίσης από Θέμα Μελέτης και Σχεδίασης Πλοίου.



Εικόνα 52. PROPELLER DESIGN M/V SAMSON
(Πηγή: Μαυράκος-Τριανταφύλλης, 2019)

Σύμφωνα με υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα grid 95 οι απαιτήσεις της έλικας προκειμένου το πλοίο να επιτύχει την ταχύτητα των 14,4 κόμβων ήταν SHP=38850,6PS=28575KW στις 80,7 RPM. Για τις παραπάνω απαιτήσεις η μηχανή 5S90ME-C10.5 HL της MAN κρίθηκε ως η πλέον κατάλληλη. Στην εικόνα 53 βλέπουμε το διάγραμμα περιοχής λειτουργίας του κινητήρα που σχεδιάστηκε με τη βοήθεια του διαδικτυακού προγράμματος CEAS της MAN.

CEAS Engine Data report
5S90ME-C10.5 HL with scrubber
Project name: M/V SAMSON
Report made by: MAVRAKOS-TRIANTAFYLLIS



Εικόνα 53: Το διάγραμμα περιοχής λειτουργίας του κινητήρα MAN 5S90ME-C10.5 HL του M/V SAMSON
 (Πηγή: Μαυράκος-Τρανταφύλλης, 2019)

Για την περίπτωση των Containerships εξετάζεται το πλοίο COSCO SHIPPING UNIVERSE της κινέζικης εταιρίας COSCO. Το Πλοίο χρησιμοποιεί για την πρόωση του τη μηχανή 12S90ME-C10.5 HL της MAN ως μέσο πρόωσης. Θα πραγματοποιήσουμε λοιπόν μία σύγκριση μεταξύ του πλοίου COSCO SHIPPING UNIVERSE όταν αυτό φέρει την παραπάνω μηχανή ως συμβατικό μέσο πρόωσης και του ίδιου πλοίου όταν αυτό χρησιμοποιεί την πυρηνική ενέργεια ως μέσο για την πρόωσή του. Η σύγκριση θα γίνει σε βάθος 20 χρόνων. Το Πλοίο COSCO SHIPPING UNIVERSE πρόκειται για ένα Containership 386,23 μέτρων, πλάτους 58,6 μέτρων , βυθίσματος 18 μέτρων και 22 κόμβους ταχύτητα υπηρεσίας. Τα βασικά χαρακτηριστικά του M/V COSCO SHIPPING UNIVERSE παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 4.2.

Όνομα σκάφους		“M/V COSCO SHIPPING UNIVERSE ”	Περιορισμοί
Χρόνος ναυπηγήσεως		2018	
LBP	m	386.23	
LOA	m	399.90	
B	m	58.6	
D	m	33.5	
T	m	18	18
DWT	t	198485.2	
GT	t	215553	
Number of 20ft Containers		21237	
EN. POWER	KW	57900	
Vs	kn	22	
R	nm	17500	
PRICE	USD	140 millions	

Πίνακας 4.2: Τα βασικά στοιχεία του M/V COSCO SHIPPING UNIVERSE

(Πηγή 1: scheepvaartwest, 2019, Πηγή 2: Ship.sh, 2019, Πηγή 3: Marinetraffic,2019)

4.1. Προμελέτη Οικονομικής Σκοπιμότητας του Bulk Carrier Samson με συμβατικό Ναυτικό Κινητήρα Diesel.

4.1.1. Εισαγωγή – Σκοπός Μελέτης

Στην παρούσα μελέτη, πραγματοποιείται προμελέτη οικονομικής σκοπιμότητας Bulk Carrier Samson με συμβατικό ναυτικό κινητήρα diesel. Το υπό σχεδίαση πλοίο υποτίθεται ότι έχει εξασφαλισμένη ναύλωση στην εξυπηρέτηση της γραμμής: «Λιμάνι Α - Λιμάνι Β», για τα επόμενα 20 χρόνια, τουλάχιστον. Η υπηρεσιακή ταχύτητα του είναι 14.4 kn, ενώ η μεταφορική του ικανότητα είναι DWT = 216739 t. Η διαδρομή «Λιμάνι Α - Λιμάνι Β», είναι συνολικά 15000 ναυτικά μίλια και θα καλύπτεται εν πλω από το υπό σχεδίαση πλοίο, μαζί με τις καθυστερήσεις εξόδου-εισόδου από τα λιμάνια που κατά μέσο όρο λαμβάνονται 2 ώρες (2hours) (χωρίς χρόνο φορτοεκφόρτωσης στα λιμάνια).

Το συνολικό κόστος κτήσεως-κατασκευής του υπό σχεδίασης πλοίου θα αναλυθεί στις επιμέρους τρεις παρακάτω κατηγορίες:

- Μικτό Κόστος Μεταλλικής Κατασκευής
- Μικτό Κόστος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού
- Μικτό Κόστος Μηχανολογικής Εγκατάστασης

*Σημειώνεται πως ως λογιστική μονάδα υπολογισμού λαμβάνεται το αμερικάνικο δολλάριο.

4.1.2. Στοιχεία για Υπολογισμούς

Παρακάτω δίνονται τα στοιχεία του M/V Bulk Carrier Samson που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς που ακολουθούν:

$L_{BP}=302$ Μήκος μεταξύ καθέτων σε μέτρα

$B=51,4$ Πλάτος πλοίου σε μέτρα

$D=25,6$ Κοίλο του πλοίου σε μέτρα από την τρόπιδα ως το πρώτο συνεχές κατάστρωμα

$T=17,5$ Βύθισμα του πλοίου σε μέτρα στην έμφορτη κατάσταση

$W_{PL}=207557,47$ Βάρος ωφέλιμου φορτίου

$W_{ST}=26238,5$ Βάρος μεταλλικής κατασκευής

$W_{OT}=2438,5$ Βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού

$W_M=1982,03$ Βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης

$P_B=30500$ Εγκατεστημένη ισχύς σε KW της μηχανής MAN 5S90ME-C10.5 HL

$GT=115347$ Gross Tonnage

$C_{ST}=600$ Κόστος χάλυβα σε δολλάρια ανά τόνο

$C_{mhrst}=35$ Κόστος εργατοώρας για την μεταλλική κατασκευή

$C_{mhrrot}=15$ Κόστος εργατοώρας για την ενδιαίτηση και τον εξοπλισμό

$C_{mhrm}=35$ Κόστος εργατοώρας για την μηχανολογική εγκατάσταση

$C_{FO}=600$ Κόστος πετρελαίου σε δολλάρια ανά τόνο

$C_{DO}=1200$ Κόστος πετρελαίου σε δολάρια ανά τόνο

$C_{FW}=1,0$ Κόστος πόσιμου νερού σε δολάρια να τόνο

$C_{SALARY}=2000$ Κόστος μισθοδοσίας ανά άτομο

$C_{PROVISIONS}=10$ Κόστος τροφοδοσίας ανά άτομο ανά ημέρα

$C_{LO}=2000$ Κόστος λιπαντικών σε δολάρια ανά τόνο

$CREW=28$ Persons on board

4.1.3. Κόστος Κτήσης του Πλοίου

Το κόστος κτήσης του πλοίου αποτελείται από το κόστος μεταλλικής κατασκευής K_{ST} , το κόστος ενδιαίτησης και εξοπλισμού K_{OT} και το κόστος της μηχανολογικής εγκατάστασης K_M .

$$K_{TOTAL}=K_{ST}+K_{OT}+K_M \text{ (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)}$$

4.1.3.1. Το Κόστος της Μεταλλικής Κατασκευής:

Οι υπολογισμοί του κόστους της μεταλλικής κατασκευής θα βασισθούν σε εμπειρικούς τύπους οι οποίοι έχουν προκύψει βάση στατιστικής ανάλυσης.

Εργατικό Κόστος

$MHS_{ST}=243 * W_{ST}^{0,86}= 1,5342 * 10^6$ Απαιτούμενες εργατοώρες (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

$CMH_{ST}= C_{mhrst} * MHS_{ST}=5,36984637 * 10^7$ Εργατικό κόστος μεταλλικής κατασκευής σε δολάρια (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Κόστος Υλικών

Το κόστος των πρώτων υλών μεταλλικής κατασκευής, για μικτή τιμή χάλυβα, είναι 600 δολάρια ανά τόνο και αναπόφευκτη φύρα κατά την διαμόρφωση-κατεργασία 15%.

$CS_{ST}= 1,15 * C_{ST} * W_{ST}=1,8105 * 10^7$ Κόστος πρώτων υλών για τη μεταλλική κατασκευή σε δολάρια (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Το συνολικό κόστος ανέγερσης της μεταλλικής κατασκευής τελικά προκύπτει:

$$K_{ST}= CMH_{ST}+ CS_{ST}=7,1803029 * 10^7 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

4.1.3.2. Το Κόστος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού

Οι υπολογισμοί και εδώ θα βασισθούν σε εμπειρικούς τύπους οι οποίοι έχουν προκύψει βάση στατιστικής ανάλυσης.

Εργατικό Κόστος

$MHS_{OT}=8160 * (L_{BP} * B * D / 1000)^{0,75}=7,26269 * 10^5$ Απαιτούμενες εργατοώρες (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

$CMH_{OT}=C_{mhrst} * MHS_{OT}=1,0894 * 10^7$ Εργατικό κόστος ενδιαίτησης και εξοπλισμού σε δολάρια (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Κόστος Υλικών

$CS_{OT}=8500*W_{OT}^{0,95}=1,4034*10^7$ Κόστος πρώτων υλών για την ediaίτηση και τον εξοπλισμό σε δολλάρια. (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Το συνολικό κόστος της ενδιαίτησης και του εξοπλισμού του πλοίου σε δολλάρια τελικά προκύπτει:

$$K_{OT}=CMH_{OT}+CS_{OT}=2,4928*10^7 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

4.1.3.3. Το Κόστος της Μηχανολογικής Εγκατάστασης

Το κόστος της μηχανολογικής εγκατάστασης δεν εξαρτάται από το βάρος αλλά από την υποδύναμη της κύριας μηχανής.

Εργατικό Κόστος

$MHS_M=12000*(P_B/1000)^{0,3}=33455,78$ Απαιτούμενες εργατοώρες (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

$CMH_M=C_{mhrm} * MHS_M=1,171*10^6$ Εργατικό κόστος μηχανολογικής εγκατάστασης σε δολλάρια (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Κόστος Υλικών

Το κόστος υλικών θα βρεθεί προσεγγιστικά, θεωρείται πως για αργόστροφες μηχανές το κόστος είναι 400\$/KW .

$$CS_M=400*P_B=1,22*10^7 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

Το συνολικό κόστος της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου τελικά προκύπτει:

$$K_M=CMH_M+CS_M=1,3371*10^7 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

4.1.3.4. Το Συνολικό Κόστος Κατασκευής Άφορτου Πλοίου

Το συνολικό κόστος κατασκευής του πλήρως εξοπλισμένου αλλά άφορτου πλοίου θα είναι συνεπώς:

$$K_{TOTAL}=K_{ST}+K_{OT}+K_M=1,1010215*10^8 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)}$$

4.1.4. Κόστος Εκμετάλευσης του Πλοίου

Το πλοίο έχει εξεταστεί να έχει ακτίνα ενέργειας ίση με $R=18936$ nautical miles, οπότε μπορεί εύκολα να καλύψει την απόσταση των 15000 ναυτικών μιλίων που απέχει το λιμάνι Α από το λιμάνι Β.

Με ταχύτητα υπηρεσίας $V_s=14,4$ knots

Άρα το πλοίο θα ταξιδεύει σε ώρες χρονικό διάστημα ίσο με $t=15000/V_s=1042,67$

Και σε μέρες είναι ίσο με $DAYS=t/24=43,4$

Θεωρούμε επίσης ότι χρειάζονται 48 ώρες δηλαδή 2 μέρες για να φορτώσει ή για να ξεφορτώσει το πλοίο το εμπόρευσμά του

Οπότε ένα κυκλικό ταξίδι θα διαρκέσει $2*43+2*2=91$ μέρες

Εάν θεωρήσουμε ότι το πλοίο ταξιδεύει 310 μέρες ενώ οι υπόλοιπες 55 είναι για επισκευές και δεξαμενισμούς, τότε ο αριθμός των ταξιδιών μέσα σε ένα έτος είναι:

$$\text{TRIPS}=310/91=3,4$$

Σημειώνεται ότι κανονικά θα έπρεπε να θεωρήσουμε 3 ταξίδια το χρόνο, όμως επειδή η μελέτη μας αφορά 20 χρόνια θα προκύψουν επιπλέον 8 ταξίδια (ακέραιος αριθμός). Αρα λαμβάνουμε:

$$\text{TRIPS}=3,4$$

4.1.4.1. Κόστος Λειτουργίας του Πλοίου

Το κόστος λειτουργίας του πλοίου διακρίνεται στο κόστος των αναλωσίμων, στα λιμενικά τέλη, στο κόστος ασφαλίσεως και στο κόστος συντήρησης και επισκευών. Όλα τα παρακάτω επιμέρους κόστη λειτουργίας του πλοίου υπολογίζονται με εμπειρικούς τύπους.

$FO=6108,13$ Βάρος αναλωσίμων σε τόνους

$DO=998,70$ Βάρος αναλωσίμων σε τόνους

$LO=220,10$ Βάρος αναλωσίμων σε τόνους

$FW=797,96$ Βάρος αναλωσίμων σε τόνους

$M_{FO}=FO \cdot C_{FO} \cdot \text{TRIPS} \cdot 15000/R=9,910871 \cdot 10^6$ Κόστος ανά έτος

$M_{DO}=DO \cdot C_{DO} \cdot \text{TRIPS} \cdot 15000/R=3,24092 \cdot 10^6$ Κόστος ανά έτος

$M_{LO}=LO \cdot C_{LO} \cdot \text{TRIPS} \cdot 15000/R=1,19043 \cdot 10^6$ Κόστος ανά έτος

$M_{FW}=FW \cdot C_{FW} \cdot \text{TRIPS} \cdot 15000/R=2157,9104$ Κόστος ανά έτος

$M_{PROV}=C_{PROV} \cdot (2 \cdot \text{DAYS}+2 \cdot 2) \cdot \text{CREW} \cdot \text{TRIPS}=86800,3$ Κόστος ανά έτος

$M_{CREW}=C_{SALARY} \cdot 12 \cdot \text{CREW}=6,72 \cdot 10^5$ Κόστος ανά έτος

$$C_{ANAΛ} = M_{FO} + M_{DO} + M_{LO} + M_{FW} + M_{PROV} + M_{CREW} = 1,50418 \cdot 10^7 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)}$$

Λιμενικά Τέλη

Τα λιμενικά τέλη υπολογίζονται σύμφωνα με τον ακόλουθο εμπειρικό τύπο.

$$C_{ΛΙΜ} = (600 + 50 \cdot L_{BP} \cdot B \cdot D / 10^5) \cdot (2 \cdot \text{TRIPS}) = 5453,289 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)}$$

Κόστος Ασφάλισης

Το κόστος ασφάλισης υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο εμπειρικό τύπο.

$$C_{ΑΣΦ} = 770 \cdot (\text{CREW} + \text{GT}/100) = 9,0973 \cdot 10^5 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)}$$

Κόστος Συντήρησης και Επισκευών

Αυτό το κόστος χωρίζεται σε δύο επιμέρους κατηγορίες.

Την επισκευή και συντήρηση της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου

Την επισκευή και συντήρησης της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου

$$C_{MK}=2500*(L_{BP}*B*D/10^5)^{2/3}=6272,1056 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

$$C_{ME}=5,44*P_B=1,6592*10^5 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

Οπότε το συνολικό κόστος συντήρησης και επισκευών θα είναι:

$$C_{ES}=C_{MK}+C_{ME}=1,72192*10^5 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

Οπότε τα έξοδα λειτουργίας μέσα σε ένα έτος θα είναι:

$$C_{EΞΟΔΑ}=C_{ΑΝΑΛ}+C_{ΛΙΜ}+C_{ΑΣΦ}+C_{ES}=1,612918*10^7 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)}$$

4.1.5. Ελάχιστος Απαιτούμενος Ναύλος της Επένδυσης

Υποθέτουμε ότι για να αγοραστεί το πλοίο θα παρθεί δάνειο ίσο με το 70% της αξίας του πλοίου. Ο χρόνος αποπληρωμής του δανείου θα είναι 20 χρόνια. Το υπόλοιπο 30% θα δοθεί από τον ίδιο τον πλοιοκτήτη (ή την πλοιοκτήτρια εταιρία) από τα ίδια του τα κεφάλαια.

$$K_{\Delta}=70/100*K_{TOTAL}=7,7071507*10^7 \text{ Ύψος δανείου}$$

$$ΚΕΦΑΛΑΙΟ=30/100* K_{TOTAL}=3,3031*10^7 \text{ Ύψος Κεφαλαίου}$$

Η διάρκεια εκμετάλλευσης του πλοίου ορίζεται στα 20 χρόνια και ως τελική αξία του πλοίου θεωρείται το 2,5% της αρχικής του αξίας.

$$ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ=2,5/100* K_{TOTAL}=2,752554*10^6 \text{ (Πηγή: Ψαραύτης, 2005)}$$

Η δόση του δανείου ανά έτος θα είναι:

$$\Delta = K_{\Delta} * \frac{r * (1 + r)^N}{(1 + r)^N - 1} = 7,849903 * 10^6$$

(Πηγή: Ψαραύτης, 2005)

Όπου: $r=0,08$ (μέση τιμή κυμαινόμενου επιτοκίου) και $N=20$ (τα χρόνια αποπληρωμής του δανείου)

Ο υπολογισμός του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου της Επένδυσης γίνεται με τον μηδενισμό της εξίσωσης της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Κ.Π.Α.) .

$$ΚΠΑ = \sum_{t=0}^N \frac{E_{\Sigma t} - E_{\Xi t}}{(1 + i)^t}$$

(Πηγή: Ψαραύτης, 2005)

$$ΚΠΑ = -\frac{ΚΕΦΑΛΑΙΟ}{(1+i)^0} + ΕΣΟΔΑ * \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} - ΕΞΟΔΑ * \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} + \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+i)^{20}}$$

Στην προκειμένη περίπτωση το κόστος ευκαιρίας λαμβάνεται $i=12\%=0,12$. Θα εξεταστούν όμως όλες οι περιπτώσεις για $i=0,05$ έως $i=0,15$ με βήμα $0,01$.

Άρα

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

Επίσης, κάθε χρόνο τα ετήσια έξοδα της επένδυσης θα είναι:

$$ΕΞΟΔΑ = C_{ΕΞΟΔΑ} + \Delta = 2,3979082 * 10^7$$

Οπότε για $ΚΠΑ=0$ έχουμε,

$$-ΚΕΦΑΛΑΙΟ + ΕΣΟΔΑ * 7,47 - ΕΞΟΔΑ * 7,47 + \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,12)^{20}} = 0$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,47 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,12)^{20}}}{7,47} = 2,836266 * 10^7$$

Υπενθυμίζεται ότι όταν μηδενίζεται η Κ.Π.Α. η επένδυση είναι αδιάφορη. Για θετική Κ.Π.Α. η επένδυση είναι συμφέρουσα ενώ για αρνητική η επένδυση δεν πρέπει να πραγματοποιηθεί.

Για να είναι συμφέρουσα η επένδυση λοιπόν πρέπει τα ετήσια ΕΣΟΔΑ να ξεπερνούν τα $2,836266 * 10^7$ δολάρια.

Για να συμβεί αυτό πρέπει από το κάθε ταξίδι να κερδίζει η εταιρεία

$$ΚΤΡΙPS = \frac{ΕΣΟΔΑ}{ΤΡΙPS} = 8,308022 * 10^6$$

Δηλαδή ο τόνος ωφέλιμου φορτίου προκειμένου να συμφέρει οριακά να πραγματοποιηθεί η επένδυση πρέπει να χρεώνεται ίσος με:

$$F = \frac{ΚΤΡΙPS}{WPALOAD} = 40,0276$$

Στη συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα που δίνουν τον Ελάχιστο Απαιτούμενο Ναύλο F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου (από 500 έως 1000 \$/t) για τις διάφορες τιμές του κόστους ευκαιρίας i.

Για $i=0,05$:

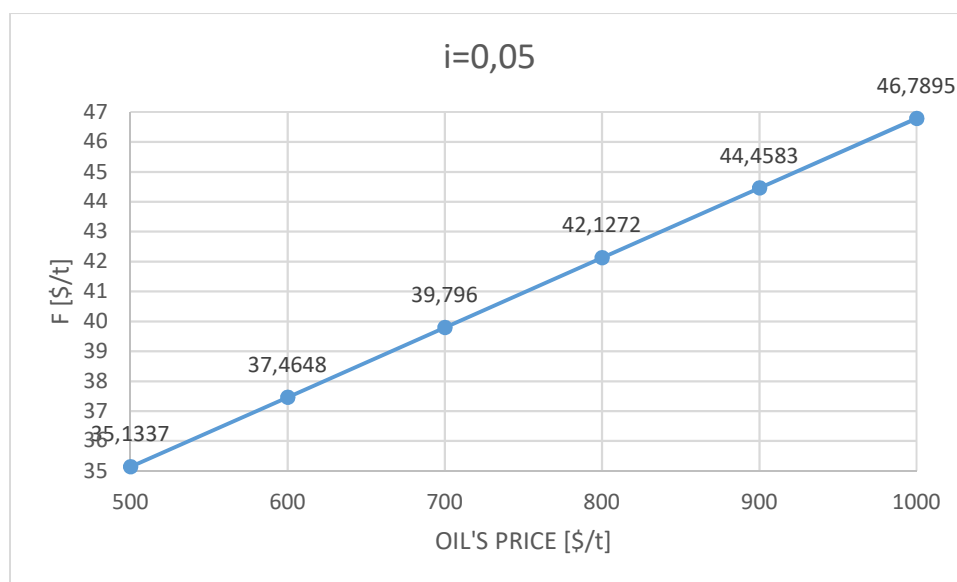
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,05)^t} = 12,46$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΕΟΔΑ * 12,46 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,05)^{20}}}{12,46}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,05$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.1.1. Στο διάγραμμα 4.1.1. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,05$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	35,1337
600	37,4648
700	39,7960
800	42,1272
900	44,4583
1000	46,7895

Πίνακας 4.1.1: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,05$.



Διάγραμμα 4.1.1: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,05$.

Για $i=0,06$:

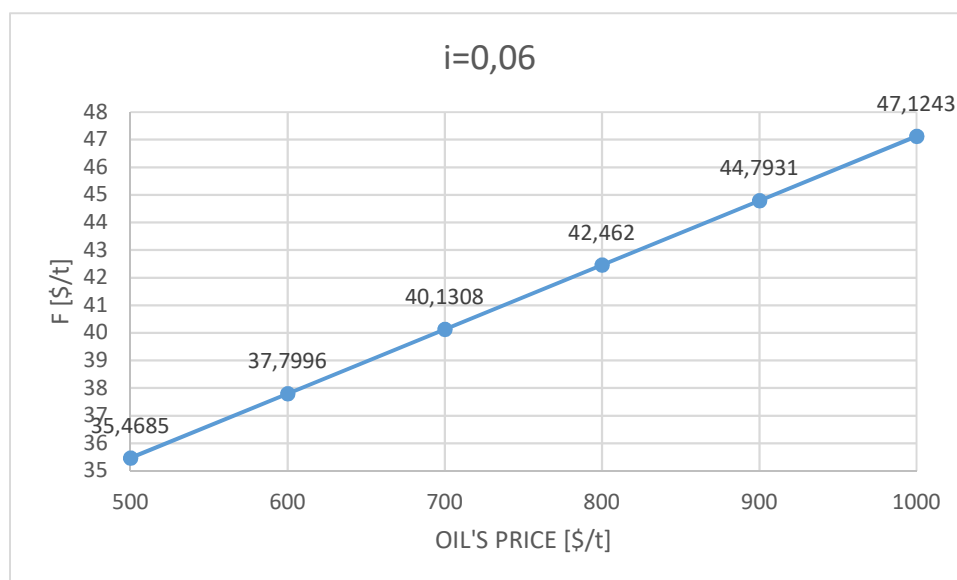
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,06)^t} = 11,47$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΣΟΔΑ * 11,47 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,06)^{20}}}{11,47}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,06$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.1.2. Στο διάγραμμα 4.1.2. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,06$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	35,4685
600	37,7996
700	40,1308
800	42,4620
900	44,7931
1000	47,1243

Πίνακας 4.1.2: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,06$.



Διάγραμμα 4.1.2: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,06$.

Για $i=0,07$:

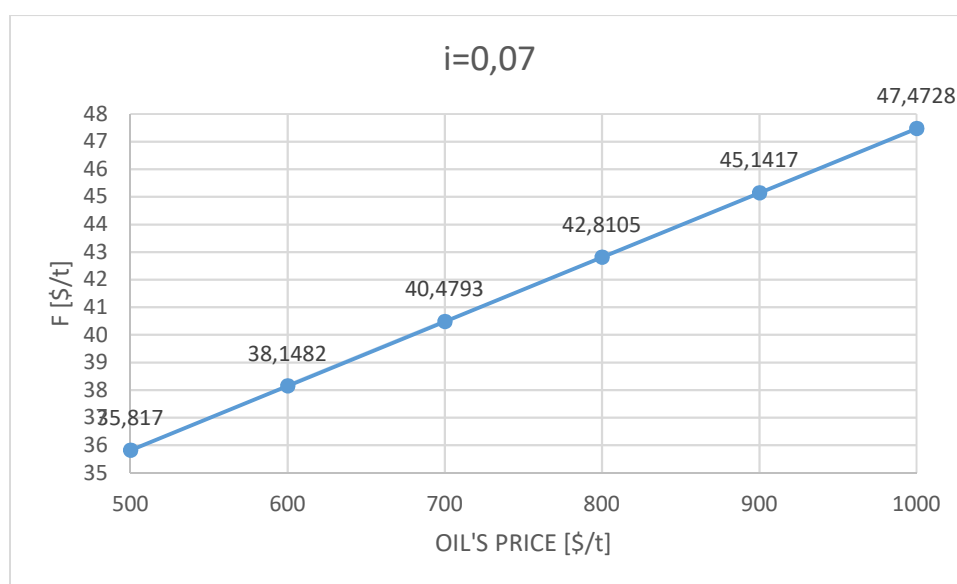
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,07)^t} = 10,59$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 10,59 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,07)^{20}}}{10,59}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,07$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.1.3. Στο διάγραμμα 4.1.3. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,07$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	35,8170
600	38,1482
700	40,4793
800	42,8105
900	45,1417
1000	47,4728

Πίνακας 4.1.3: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,07$.



Διάγραμμα 4.1.3: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,07$.

Για $i=0,08$:

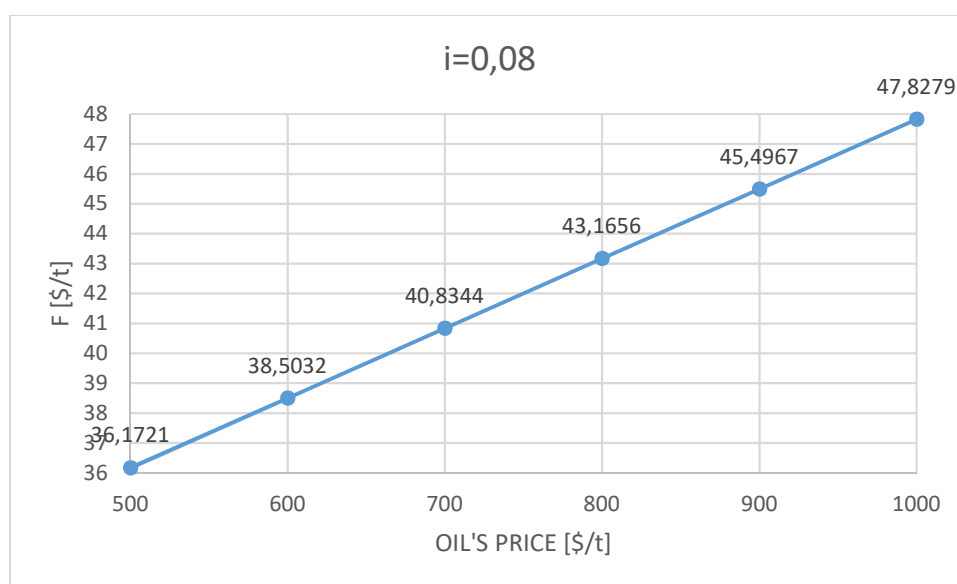
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,08)^t} = 9,82$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 9,82 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΘΕΤΑ}{(1+0,08)^{20}}}{9,82}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,08$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.1.4. Στο διάγραμμα 4.1.4. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,08$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	36,1721
600	38,5032
700	40,8344
800	43,1656
900	45,4967
1000	47,8279

Πίνακας 4.1.4: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,08$.



Διάγραμμα 4.1.4: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,08$.

Για $i=0,09$:

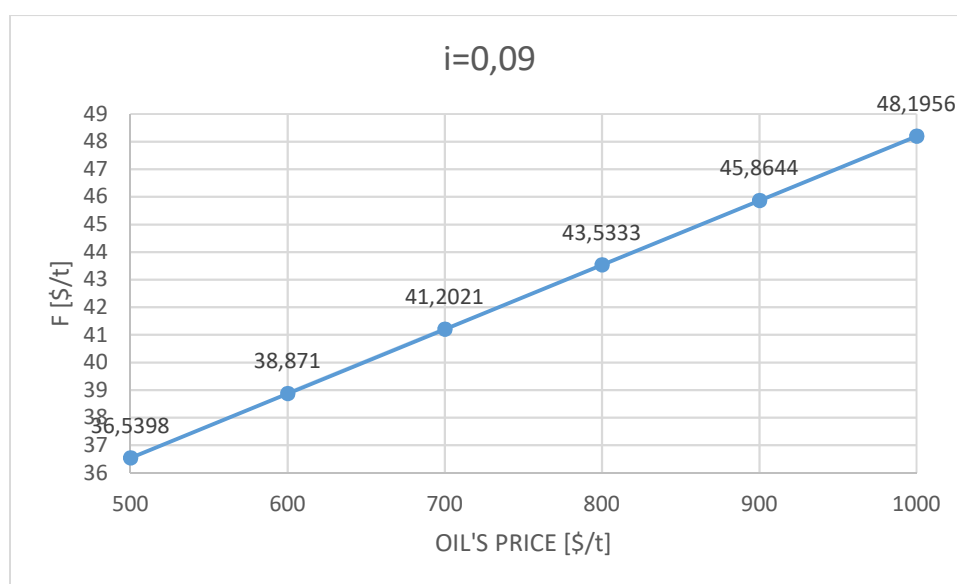
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,09)^t} = 9,13$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 9,13 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,09)^{20}}}{9,13}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,09$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.1.5. Στο διάγραμμα 4.1.5. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,09$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	36,5398
600	38,8710
700	41,2021
800	43,5333
900	45,8644
1000	48,1956

Πίνακας 4.1.5: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,09$.



Διάγραμμα 4.1.5: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,09$.

Για $i=0,10$:

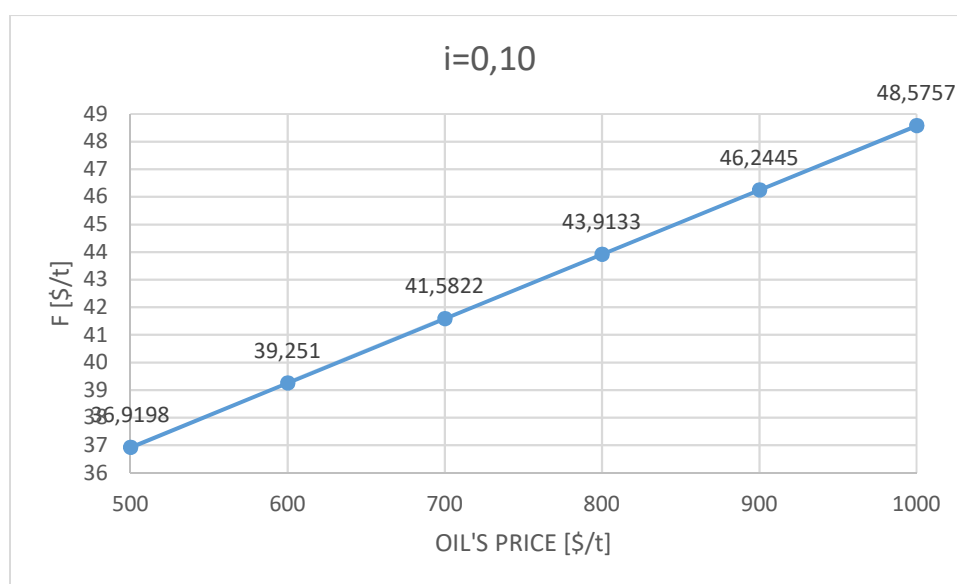
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,10)^t} = 8,51$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 8,51 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΘΑΞΙΑ}{(1+0,10)^{20}}}{8,51}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,10$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.1.6. Στο διάγραμμα 4.1.6. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,10$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	36,9198
600	39,2510
700	41,5822
800	43,9133
900	46,2445
1000	48,5757

Πίνακας 4.1.6: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,10$.



Διάγραμμα 4.1.6: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,10$.

Για $i=0,11$:

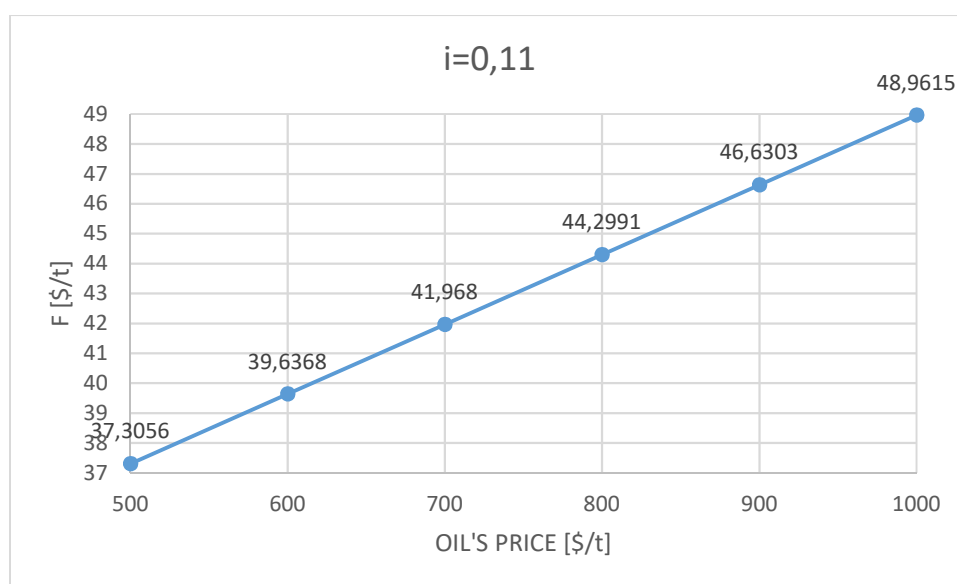
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,11)^t} = 7,96$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,96 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,11)^{20}}}{7,96}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,11$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.1.7. Στο διάγραμμα 4.1.7. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,11$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	37,3056
600	39,6368
700	41,9680
800	44,2991
900	46,6303
1000	48,9615

Πίνακας 4.1.7: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,11$.



Διάγραμμα 4.1.7: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,11$.

Για $i=0,12$:

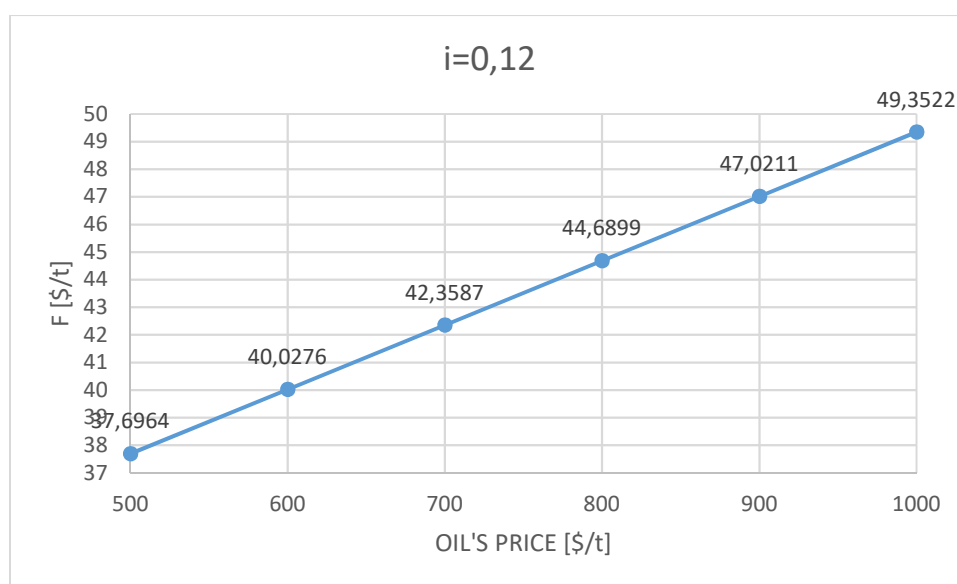
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,12)^t} = 7,47$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,47 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΘΑΞΙΑ}{(1+0,12)^{20}}}{7,47}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,12$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.1.8. Στο διάγραμμα 4.1.8. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,12$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	37,6964
600	40,0276
700	42,3587
800	44,6899
900	47,0211
1000	49,3522

Πίνακας 4.1.8: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,12$.



Διάγραμμα 4.1.8: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,12$.

Για $i=0,13$:

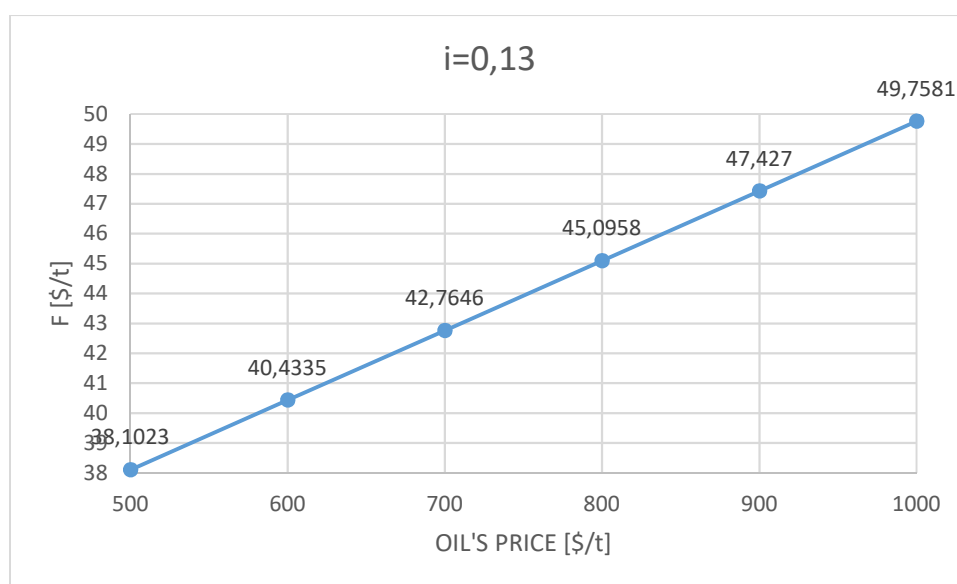
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,13)^t} = 7,02$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,02 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΘΑΞΙΑ}{(1+0,13)^{20}}}{7,02}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,13$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.1.9. Στο διάγραμμα 4.1.9. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,13$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	38,1023
600	40,4335
700	42,7646
800	45,0958
900	47,4270
1000	49,7581

Πίνακας 4.1.9: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,13$.



Διάγραμμα 4.1.9: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,13$.

Για $i=0,14$:

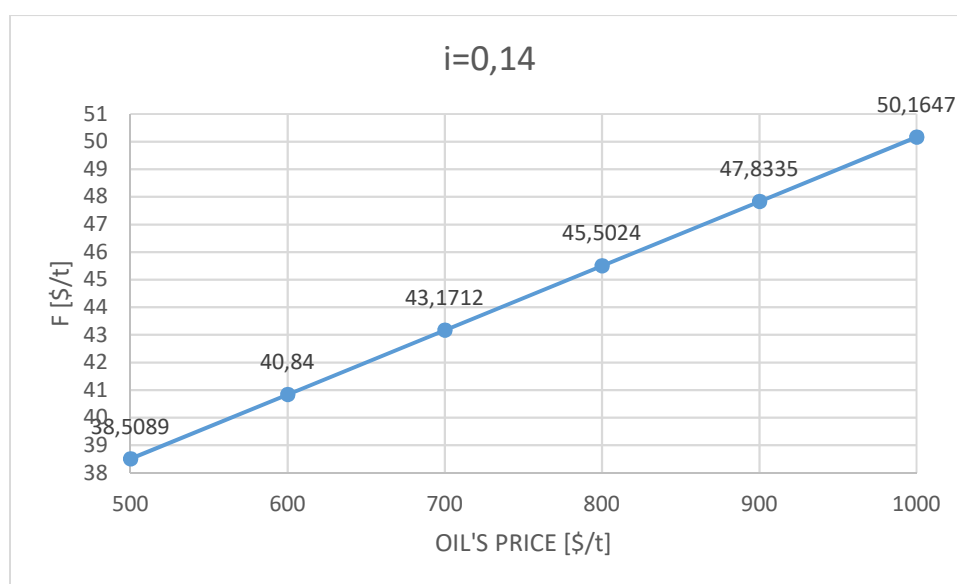
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,14)^t} = 6,62$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 6,62 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,14)^{20}}}{6,62}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,14$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.1.10. Στο διάγραμμα 4.1.10. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,14$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	38,5089
600	40,8400
700	43,1712
800	45,5024
900	47,8335
1000	50,1647

Πίνακας 4.1.10: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,14$.



Διάγραμμα 4.1.10: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,14$.

Για $i=0,15$:

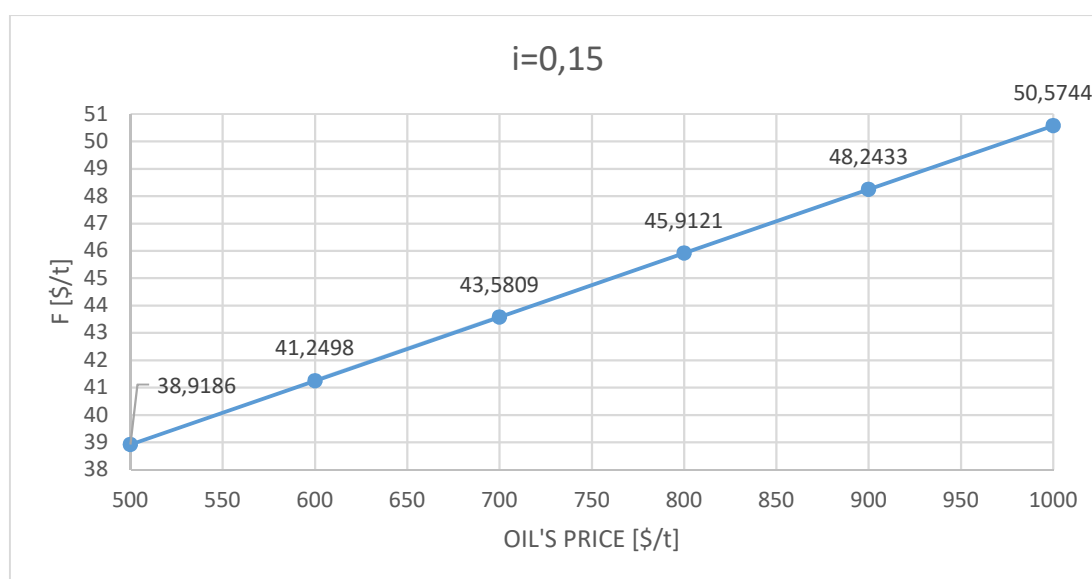
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,15)^t} = 6,26$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 6,26 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΘΑΞΙΑ}{(1+0,15)^{20}}}{6,26}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,15$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.1.11. Στο διάγραμμα 4.1.11. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,15$.

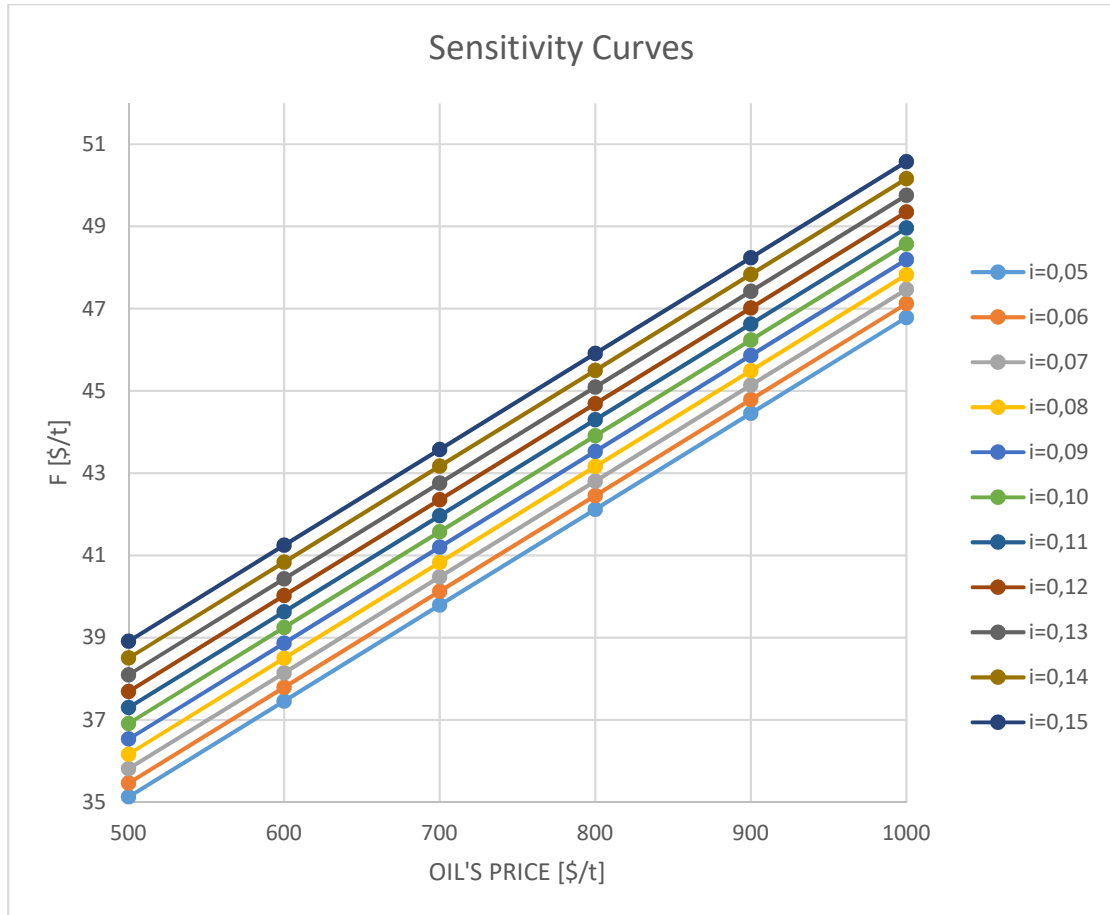
OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	38,9186
600	41,2498
700	43,5809
800	45,9121
900	48,2433
1000	50,5744

Πίνακας 4.1.11: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,15$.



Διάγραμμα 4.1.11: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,15$.

Στο διάγραμμα 4.1.12 παρουσιάζονται όλες οι παραπάνω μεταβολές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων της επένδυσης σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του πετρελαίου κίνησης από 500 έως 1000 \$/t για τα διάφορα κόστη ευκαιρίας $i=0,05,0,06,0,07,0,08,0,09,0,10,0,11,0,12, 0,13,0,14,0,15$. Όλες οι παραπάνω μεταβολές σε ένα διάγραμμα μας δίνουν μία αίσθηση του πόσο ευμετάβλητο-ευαίσθητο είναι το πρόβλημα που μελετάμε σε σχέση με τους παράγοντες που το επηρεάζουν για αυτό και ονομάζονται Καμπύλες-Ευαισθησίας.



Διάγραμμα 4.1.12 : Καμπύλες Ευαισθησίας

4.2. Προμελέτη Οικονομικής Σκοπιμότητας του Bulk Carrier Samson με πυρηνικό σύστημα πρόωσης.

Για την περίπτωση της πυρηνοκίνησης γνωρίζουμε ότι τα παγοθραυστικά της κλάσης LK-60 χρησιμοποιούν δύο RITM-200 αντιδραστήρες που μεταφέρουν στις 3 προπέλες τους 60MW ισχύος. Εμείς για το Bulk Carrier SAMSON χρειαζόμαστε μόνο τα 30MW αφού μία ισχύς 30000KW υπερεπαρκεί για τα 28575KW που έχει ανάγκη η έλικα. Η προσαρμογή του ηλεκτροκινητήρα στις 80,7 RPM είναι εύκολη υπόθεση. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως το κόστος ενός παγοθραυστικού LK-60 είναι 750 εκατομμύρια δολάρια. Γνωρίζουμε, ότι το κόστος ενός κανονικού παγοθραυστικού (δηλαδή με συμβατικό κινητήρα) δεν ξεπερνά τα 70 εκατομμύρια δολάρια. Άρα το σύστημα πρόωσης ενός LK-60 ανέρχεται περίπου στα 680 εκατομμύρια δολάρια. Έχουμε λοιπόν 680 εκατομμύρια δολάρια για ένα πυρηνικό σύστημα πρόωσης των 60MW. Οπότε ένα πυρηνικό σύστημα πρόωσης με έναν RITM-200 αντιδραστήρα που θα μεταφέρει στην έλικα 30MW το κοστολογούμε γύρω στα 340 εκατομμύρια δολάρια. Το Bulk Carrier SAMSON στην περίπτωση της συμβατικής μηχανής όπως δείξαμε παραπάνω έχει ολικό κόστος κτήσης 110,10215 εκατομμύρια δολάρια και το κόστος της μηχανολογικής του εγκατάστασης υπολογίστηκε 13,371 εκατομμύρια δολάρια. Οπότε, το κόστος κτήσης του πυρηνοκίνητου Bulk Carrier SAMSON θα είναι $110,10215 + (340 - 13,371) = 436,7312$ εκατομμύρια δολάρια. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως ένας RITM-200 αντιδραστήρας χρειάζεται 5,67 τόνους καυσίμου Ουρανίου, αξίας 1,418343 εκατομμύρια δολάρια, για 7 χρόνια λειτουργίας. Για 1 χρόνο λειτουργίας συνεπώς, χρειάζεται 0,81 τόνους καυσίμου Ουρανίου, αξίας 202,620 χιλιάδες δολάρια. Επίσης τους 6108,13 τόνους των FOT και τους 998,70 τόνους των DOT τους προσθέτουμε στο βάρος του payload (αφαιρώντας βέβαια τους 5,67 τόνους ουρανίου). Οι 147,5 τόνοι του αντιδραστήρα [ηλ.27], το σύστημα των αμμοστροβίλων ηλεκτροπαραγωγής (με άνω όριο 450 τόνους [ηλ.40]) και ο ηλεκτροκινητήρας (με άνω όριο 200 τόνους [ηλ.38]) μας δίνουν μια διαφορά γύρω στους 1000 τόνους σε σχέση με τους 1982,03 τόνους της συμβατικής μηχανολογικής εγκατάστασης. Οπότε καταλήγουμε σε νέο $W_{PL} = 215000$ τόνους.

4.2.1. Εισαγωγή – Σκοπός Μελέτης

Στην παρούσα μελέτη, πραγματοποιείται προμελέτη οικονομικής σκοπιμότητας Bulk Carrier Samson με πυρηνικό σύστημα πρόωσης. Το υπό σχεδίαση πλοίο υποτίθεται ότι έχει εξασφαλισμένη ναύλωση στην εξυπηρέτηση της γραμμής: «Λιμάνι Α – Λιμάνι Β», για τα επόμενα 20 χρόνια, τουλάχιστον. Η υπηρεσιακή ταχύτητα του είναι 14.4 kn, ενώ η μεταφορική του ικανότητα είναι DWT = 216739 t. Η διαδρομή «Λιμάνι Α – Λιμάνι Β», είναι συνολικά 15000 ναυτικά μίλια και θα καλύπτεται εν πλω από το υπό σχεδίαση πλοίο, μαζί με τις καθυστερήσεις εξόδου-εισόδου από τα λιμάνια που κατά μέσο όρο λαμβάνονται 2 ώρες (2hours) (χωρίς χρόνο φορτοεκφόρτωσης στα λιμάνια).

Το συνολικό κόστος κτήσεως-κατασκευής του υπό σχεδίασης πλοίου θα αναλυθεί στις επιμέρους τρεις παρακάτω κατηγορίες:

- Μικτό Κόστος Μεταλλικής Κατασκευής
- Μικτό Κόστος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού
- Μικτό Κόστος Μηχανολογικής Εγκατάστασης

*Σημειώνεται πως ως λογιστική μονάδα υπολογισμού λαμβάνεται το αμερικάνικο δολλάριο.

4.2.2. Στοιχεία για Υπολογισμούς

Παρακάτω δίνονται τα στοιχεία του πυρηνοκίνητου Bulk Carrier Samson που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς που ακολουθούν:

$L_{BP}=302$ Μήκος μεταξύ καθέτων σε μέτρα

$B=51,4$ Πλάτος πλοίου σε μέτρα

$D=25,6$ Κοίλο του πλοίου σε μέτρα από την τρόπιδα ως το πρώτο συνεχές κατάστρωμα

$T=17,5$ Βύθισμα του πλοίου σε μέτρα στην έμφορτη κατάσταση

$W_{PL}=215000$ Βάρος ωφέλιμου φορτίου

$W_{ST}=26238,5$ Βάρος μεταλλικής κατασκευής

$W_{OT}=2438,5$ Βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού

$W_M=797,5$ Βάρος του πυρηνικού συστήματος πρόωσης

$P_E=30000$ Ηλεκτρική ισχύς σε KW του ενός RITM-200 αντιδραστήρα

$GT=115347$ Gross Tonnage

$C_{ST}=600$ Κόστος χάλυβα σε δολλάρια ανά τόνο

$C_{mhst}=35$ Κόστος εργατώρας για την μεταλλική κατασκευή

$C_{mhrot}=15$ Κόστος εργατώρας για την ενδιαίτηση και τον εξοπλισμό

$C_{U7}=1418343$ Κόστος καυσίμου ουρανίου για έναν RITM-200 αντιδραστήρα για 7 χρόνια λειτουργίας.

$C_U=202620$ Κόστος καυσίμου ουρανίου για έναν RITM-200 αντιδραστήρα για 1 χρόνο λειτουργίας.

$C_{FW}=1,0$ Κόστος πόσιμου νερού σε δολλάρια να τόνο

$C_{SALARY}=2000$ Κόστος μισθοδοσίας ανά άτομο

$C_{PROVISIONS}=10$ Κόστος τροφοδοσίας ανά άτομο ανά ημέρα

$C_{LO}=2000$ Κόστος λιπαντικών για τον ηλεκτροκινητήρα σε δολλάρια ανά τόνο

$CREW=28$ Persons on board

4.2.3. Κόστος Κτήσης του Πλοίου

Το κόστος κτήσης του πλοίου αποτελείται από το κόστος μεταλλικής κατασκευής K_{ST} , το κόστος ενδιαίτησης και εξοπλισμού K_{OT} και το κόστος της μηχανολογικής εγκατάστασης K_M .

$$K_{TOTAL}=K_{ST}+K_{OT}+K_M \text{ (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)}$$

4.2.3.1. Το Κόστος της Μεταλλικής Κατασκευής:

Οι υπολογισμοί του κόστους της μεταλλικής κατασκευής θα βασισθούν σε εμπειρικούς τύπους οι οποίοι έχουν προκύψει βάση στατιστικής ανάλυσης.

Εργατικό Κόστος

$MHS_{ST}=243*W_{ST}^{0,86}=1,5342*10^6$ Απαιτούμενες εργατοώρες (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

$CMH_{ST}=C_{mhrst}*MHS_{ST}=5,36984637*10^7$ Εργατικό κόστος μεταλλικής κατασκευής σε δολάρια (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Κόστος Υλικών

Το κόστος των πρώτων υλών μεταλλικής κατασκευής, για μικτή τιμή χάλυβα, είναι 600 δολάρια ανά τόνο και αναπόφευκτη φύρα κατά την διαμόρφωση-κατεργασία 15%.

$CS_{ST}=1,15*C_{ST}*W_{ST}=1,8105*10^7$ Κόστος πρώτων υλών για τη μεταλλική κατασκευή σε δολάρια (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Το συνολικό κόστος ανέγερσης της μεταλλικής κατασκευής τελικά προκύπτει:

$$K_{ST}=CMH_{ST}+CS_{ST}=7,1803029*10^7 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

4.2.3.2. Το Κόστος Ενδιαίτησης και Εξοπλισμού

Οι υπολογισμοί και εδώ θα βασισθούν σε εμπειρικούς τύπους οι οποίοι έχουν προκύψει βάση στατιστικής ανάλυσης.

Εργατικό Κόστος

$MHS_{OT}=8160*(L_{BP}*B*D/1000)^{0,75}=7,26269*10^5$ Απαιτούμενες εργατοώρες (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

$CMH_{OT}=C_{mhrst}*MHS_{OT}=1,0894*10^7$ Εργατικό κόστος ενδιαίτησης και εξοπλισμού σε δολάρια (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Κόστος Υλικών

$CS_{OT}=8500*W_{OT}^{0,95}=1,4034*10^7$ Κόστος πρώτων υλών για την ενδιαίτηση και τον εξοπλισμό σε δολάρια. (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Το συνολικό κόστος της ενδιαίτησης και του εξοπλισμού του πλοίου σε δολάρια τελικά προκύπτει:

$$K_{OT}=CMH_{OT}+CS_{OT}=2,4928*10^7 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

4.2.3.3. Το Κόστος της Μηχανολογικής Εγκατάστασης

Το κόστος της συνολικής πυρηνικής μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου μαζί με τα εργατικά έχει κοστολογηθεί 340 εκατομμύρια δολάρια.

Οπότε:

$$K_M=3,4*10^8$$

4.2.3.4. Το Συνολικό Κόστος Κατασκευής Άφορτου Πλοίου

Το συνολικό κόστος κατασκευής του πλήρως εξοπλισμένου αλλά άφορτου πλοίου θα είναι συνεπώς:

$$K_{\text{TOTAL}}=K_{\text{ST}}+K_{\text{OT}}+K_{\text{M}}=4,367312*10^8 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)}$$

4.2.4. Κόστος Εκμετάλλευσης του Πλοίου

Το πλοίο έχει εξεταστεί να έχει ακτίνα ενέργειας ίση με $R=18936$ nautical miles, οπότε μπορεί εύκολα να καλύψει την απόσταση των 15000 ναυτικών μιλίων που απέχει το λιμάνι Α από το λιμάνι Β.

Με ταχύτητα υπηρεσίας $V_s=14,4$ knots

Άρα το πλοίο θα ταξιδεύει σε ώρες χρονικό διάστημα ίσο με $t=15000/V_s=1042,67$

Και σε μέρες είναι ίσο με $DAYS=t/24=43,4$

Θεωρούμε επίσης ότι χρειάζονται 48 ώρες δηλαδή 2 μέρες για να φορτώσει ή για να ξεφορτώσει το πλοίο το εμπόρευσμά του

Οπότε ένα κυκλικό ταξίδι θα διαρκέσει $2*43+2*2=91$ μέρες

Εάν θεωρήσουμε ότι το πλοίο ταξιδεύει 310 μέρες ενώ οι υπόλοιπες 55 είναι για επισκευές και δεξαμενισμούς, τότε ο αριθμός των ταξιδιών μέσα σε ένα έτος είναι:

$$TRIPS=310/91=3,4$$

Σημειώνεται ότι κανονικά θα έπρεπε να θεωρήσουμε 3 ταξίδια το χρόνο, όμως επειδή η μελέτη μας αφορά 20 χρόνια θα προκύψουν επιπλέον 8 ταξίδια (ακέραιος αριθμός). Άρα λαμβάνουμε:

$$TRIPS=3,4$$

4.2.4.1. Κόστος Λειτουργίας του Πλοίου

Το κόστος λειτουργίας του πλοίου διακρίνεται στο κόστος αναλωσίμων, στα λιμενικά τέλη, στο κόστος ασφάλισης και στο κόστος συντήρησης και επισκευών. Όλα τα παρακάτω επιμέρους κόστη λειτουργίας του πλοίου υπολογίζονται με εμπειρικούς τύπους.

$FU=0,81$ Βάρος καυσίμου Ουρανίου σε τόνους

$LO=220,10$ Βάρος λιπαντικών σε τόνους

$FW=797,96$ Βάρος φρέσκου νερού σε τόνους

$M_{FU}=2,0262*10^5$ Κόστος καυσίμου Ουρανίου ανά έτος

$M_{LO}=LO*C_{LO}*TRIPS*15000/R=1,19043*10^6$ Κόστος ανά έτος

$M_{FW}=FW*C_{FW}*TRIPS*15000/R=2157,9104$ Κόστος ανά έτος

$M_{PROV}=C_{PROV}*(2*24*2)*CREW*TRIPS=86800,3$ Κόστος ανά έτος

$M_{CREW}=C_{SALARY}*12*CREW=6,72*10^5$ Κόστος ανά έτος

$$C_{\text{ΑΝΑΛ}} = M_{\text{FU}} + M_{\text{LO}} + M_{\text{FW}} + M_{\text{PROV}} + M_{\text{CREW}} = 2,09263 * 10^6 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)}$$

Λιμενικά Τέλη

Τα λιμενικά τέλη υπολογίζονται σύμφωνα με τον ακόλουθο εμπειρικό τύπο.

$$C_{\text{ΛΙΜ}} = (600 + 50 * L_{\text{BP}} * B * D / 10^5) * (2 * \text{TRIPS}) = 5453,289 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

Κόστος Ασφάλισης

Το κόστος ασφάλισης υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο εμπειρικό τύπο.

$$C_{\text{ΑΣΦ}} = 770 * (\text{CREW} + \text{GT} / 100) = 9,0973 * 10^5 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

Κόστος Συντήρησης και Επισκευών

Αυτό το κόστος χωρίζεται σε δύο επιμέρους κατηγορίες.

Την επισκευή και συντήρηση της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου

Την επισκευή και συντήρησης της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου

$$C_{\text{ΜΚ}} = 2500 * (L_{\text{BP}} * B * D / 10^5)^{2/3} = 6272,1056 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

$$C_{\text{ΜΕ}} = 5,44 * P_{\text{B}} = 1,632 * 10^5 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

Οπότε το συνολικό κόστος συντήρησης και επισκευών θα είναι:

$$C_{\text{ΕΣ}} = C_{\text{ΜΚ}} + C_{\text{ΜΕ}} = 1,69472 * 10^5 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

Οπότε τα έξοδα λειτουργίας μέσα σε ένα έτος θα είναι:

$$C_{\text{ΕΞΟΔΑ}} = C_{\text{ΑΝΑΛ}} + C_{\text{ΛΙΜ}} + C_{\text{ΑΣΦ}} + C_{\text{ΕΣ}} = 3,177287 * 10^6 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)}$$

4.2.5. Ελάχιστος Απαιτούμενος Ναύλος της Επένδυσης

Υποθέτουμε ότι για να αγοραστεί το πλοίο θα παρθεί δάνειο ίσο με το 70% της αξίας του πλοίου. Ο χρόνος αποπληρωμής του δανείου θα είναι 20 χρόνια. Το υπόλοιπο 30% θα δοθεί από τον ίδιο τον πλοιοκτήτη (ή την πλοιοκτήτρια εταιρία) από τα ίδια του τα κεφάλαια.

$$K_{\Delta} = 70/100 * K_{\text{TOTAL}} = 3,0571184 * 10^8 \text{ Ύψος δανείου}$$

$$\text{ΚΕΦΑΛΑΙΟ} = 30/100 * K_{\text{TOTAL}} = 1,3102 * 10^8 \text{ Ύψος Κεφαλαίου}$$

Η διάρκεια εκμετάλλευσης του πλοίου ορίζεται στα 20 χρόνια και ως τελική αξία του πλοίου θεωρείται το 2,5% της αρχικής του αξίας.

$$\text{ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΑ} = 2,5/100 * K_{\text{TOTAL}} = 1,091828 * 10^7 \text{ (Πηγή: Ψαραύτης, 2005)}$$

Η δόση του δανείου ανά έτος θα είναι:

$$\Delta = K_{\Delta} * \frac{r * (1 + r)^N}{(1 + r)^N - 1} = 3,113743 * 10^7$$

(Πηγή: Ψαραύτης, 2005)

Όπου: $r=0,08$ (μέση τιμή κυμαινόμενου επιτοκίου) και $N=20$ (τα χρόνια αποπληρωμής του δανείου)

Ο υπολογισμός του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου της επένδυσης γίνεται με τον μηδενισμό της εξίσωσης της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Κ.Π.Α.) .

$$ΚΠΑ = \sum_{t=0}^N \frac{ΕΣt - ΕΞt}{(1+i)^t}$$

(Πηγή: Ψαραύτης, 2005)

$$ΚΠΑ = -\frac{ΚΕΦΑΛΑΙΟ}{(1+i)^0} + ΕΣΟΔΑ * \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} - ΕΞΟΔΑ * \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} + \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+i)^{20}}$$

Στην προκειμένη περίπτωση το κόστος ευκαιρίας λαμβάνεται $i=12\%=0,12$. Θα εξεταστούν όμως όλες οι περιπτώσεις για $i=0,05$ έως $i=0,15$ με βήμα $0,01$.

Άρα

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

Επίσης, κάθε χρόνο τα ετήσια έξοδα της επένδυσης θα είναι:

$$ΕΞΟΔΑ = C_{ΕΞΟΔΑ} + \Delta = 3,4314713 * 10^7$$

Οπότε για $ΚΠΑ=0$ έχουμε,

$$-ΚΕΦΑΛΑΙΟ + ΕΣΟΔΑ * 7,47 - ΕΞΟΔΑ * 7,47 + \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,12)^{20}} = 0$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,47 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,12)^{20}}}{7,47} = 5,17026 * 10^7$$

Υπενθυμίζεται ότι όταν μηδενίζεται η Κ.Π.Α. η επένδυση είναι αδιάφορη. Για θετική Κ.Π.Α. η επένδυση είναι συμφέρουσα ενώ για αρνητική η επένδυση δεν πρέπει να πραγματοποιηθεί.

Για να είναι συμφέρουσα η επένδυση λοιπόν πρέπει τα ετήσια ΕΣΟΔΑ να ξεπερνούν τα $5,17026 * 10^7$ δολάρια.

Για να συμβεί αυτό πρέπει από το κάθε ταξίδι να κερδίζει η εταιρεία

$$ΚΤΡΙPS = \frac{ΕΣΟΔΑ}{ΤΡΙPS} = 1,72342 * 10^7$$

Δηλαδή ο τόνος ωφέλιμου φορτίου πρέπει να χρεώνεται ίσος με:

$$F = \frac{ΚΤΡΙPS}{WPALOAD} = 80,1591$$

Όμως, στον υπολογισμό που έχουμε κάνει, ο πυρηνικός αντιδραστήρας λειτουργεί ασταμάτητα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι 5,67 τόνοι καυσίμου Ουρανίου είναι αρκετοί για 7 χρόνια συνεχόμενης λειτουργίας. Κάθε 7 χρόνια απαιτείται αλλαγή των ράβδων καυσίμου και επανεκκίνηση του όλου συστήματος (η διαδικασία μπορεί να ολοκληρωθεί στο πλαίσιο μιας ημέρας). Το πλοίο έχουμε θεωρήσει ότι βρίσκεται 55 μέρες για επισκευές και δεξαμενισμούς ενώ περίπου συνολικά 14 μέρες το χρόνο βρίσκεται σε κάποιο λιμάνι για για τη φόρτωση ή την εκφόρτωση εμπορευμάτων (ο χρόνος αυτός συνήθως αυξάνεται λόγω καθυστερήσεων). Όλες αυτές τις περίπου 70 μέρες το πλοίο δεν χρειάζεται τον πυρηνικό αντιδραστήρα για την πρόωσή του. Μπορεί όμως να τον χρησιμοποιήσει για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η πώληση αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας, στο λιμάνι ή στην εκάστοτε εγκατάσταση δεξαμενισμού ή επισκευών που βρίσκεται το πλοίο την εκάστοτε περίοδο, μπορεί να δώσει σημαντικά έσοδα στην ετήσια λειτουργία του πλοίου.

Θα υπολογίσουμε τώρα την τιμή στην οποία θα πρέπει το πλοίο να πουλάει την παραγόμενη από τον αντιδραστήρα ηλεκτρική ενέργεια αυτές τις 70 μέρες κάθε χρόνο έτσι ώστε η επένδυση του πυρηνοκίνητου πλοίου να είναι οικονομικά πιο συμφέρουσα έναντι αυτής με τη συμβατική μηχανή.

$$KTRIPS = F_2 * WPAYLOAD = 40,0276 * 215000 = 8,605934 * 10^6$$

$$ΕΣΟΔΑ = KTRIPS * TRIPS = 2,9379798 * 10^7$$

Για να κερδίζει η εταιρία πρέπει όπως υπολογίσαμε και προηγουμένως τα ΕΣΟΔΑ = $5,17026 * 10^7$. Αυτό σημαίνει ότι τα ετήσια έσοδα από την πώληση ρεύματος, θα πρέπει να είναι :

$$ΕΣΟΔΑ_p = 5,17026 * 10^7 - 2,9379798 * 10^7 = 2,2322802 * 10^7$$

$$ΕΣΟΔΑ_p = 30000 * 24 * 70 * Electricity_Price$$

$$Electricity_Price = 0,443 \$/ (KWh)$$

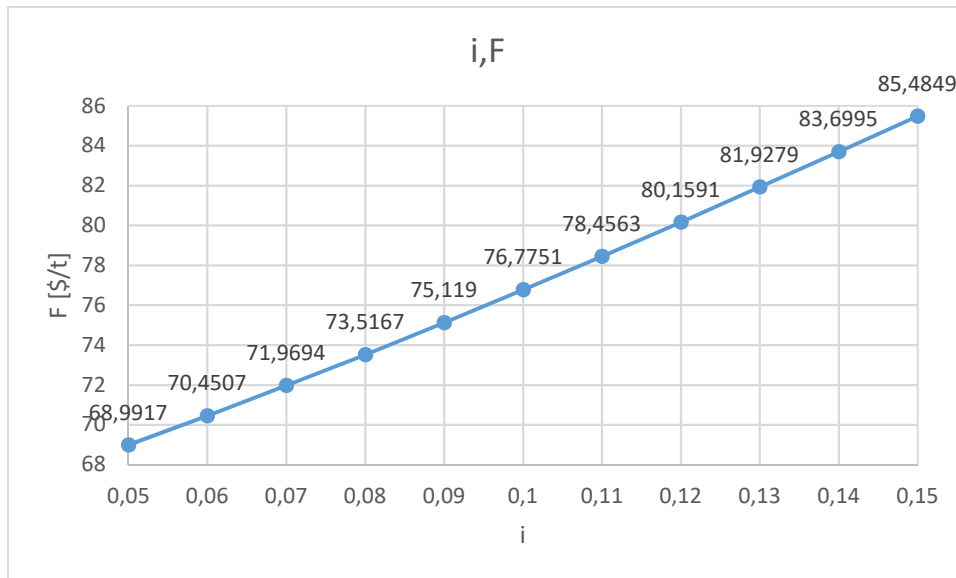
Η τιμή αυτή του ρεύματος είναι η τιμή για την οποία οι δύο επενδύσεις είναι ισοδύναμες. Για πώληση ρεύματος με χρέωση πάνω από αυτή την τιμή είναι πιο συμφέρουσα η επένδυση με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης. Αν δεν λάβουμε υπ' όψιν την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας σαφέστατα η χρήση πυρηνικής ενέργειας για την πρόωση του Bulk Carrier SAMSON δεν είναι καθόλου συμφέρουσα. Αυτό οφείλετε στο πολύ υψηλό κόστος του αντιδραστήρα, διότι όπως αποδεικνύεται και από τους παραπάνω υπολογισμούς το κόστος καυσίμων για την κίνηση του πλοίου είναι συντριπτικά μικρότερο στην περίπτωση της πυρηνοκίνησης.

Ακολουθεί ο πίνακας 4.2.1 με τις τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων της επένδυσης για την περίπτωση της πυρηνοκίνησης για τα διάφορα κόστη ευκαιρίας *i* και το διάγραμμα 4.2.1 που δείχνει για την περίπτωση της πυρηνοκίνησης τη μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου *F* της επένδυσης για τα διάφορα κόστη ευκαιρίας *i*.

<i>i</i>	<i>F</i> [\$/t]
0,05	68,9917
0,06	70,4507
0,07	71,9694
0,08	73,5167
0,09	75,119
0,10	76,7751

0,11	78,4563
0,12	80,1591
0,13	81,9279
0,13	83,6995
0,15	85,4849

Πίνακας 4.2.1: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης στην περίπτωση της πυρηνοκίνησης για τα διάφορα κόστη ευκαιρίας i.



Διάγραμμα 4.2.1: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης στην περίπτωση της πυρηνοκίνησης για τα διάφορα κόστη ευκαιρίας i.

Στη συνέχεια ακολουθούν πίνακες, για το κάθε κόστος ευκαιρίας i, που μας δίνουν την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος σε σχέση με τις εκάστοτε τιμές πετρελαίου έτσι ώστε η επένδυση που αφορά τη χρήση πυρηνικής ενέργειας να είναι η περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,05$:

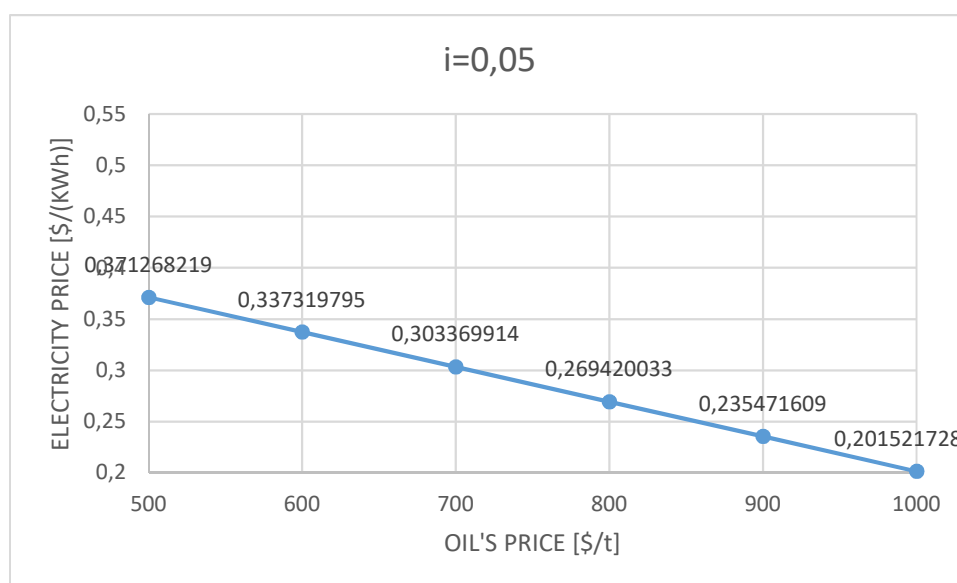
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,05)^t} = 12,46$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 12,46 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,05)^{20}}}{12,46}$$

Οπότε για $i=0,05$ στον πίνακα 4.2.2 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=68,9917$. Στο διάγραμμα 4.2.2 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,05$ και για $F=68,9917$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	68,9917	0,371268219
600	68,9917	0,337319795
700	68,9917	0,303369914
800	68,9917	0,269420033
900	68,9917	0,235471609
1000	68,9917	0,201521728

Πίνακας 4.2.2: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,05$ και για $F=68,9917$.



Διάγραμμα 4.2.2: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,05$ και για $F=68,9917$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,06$:

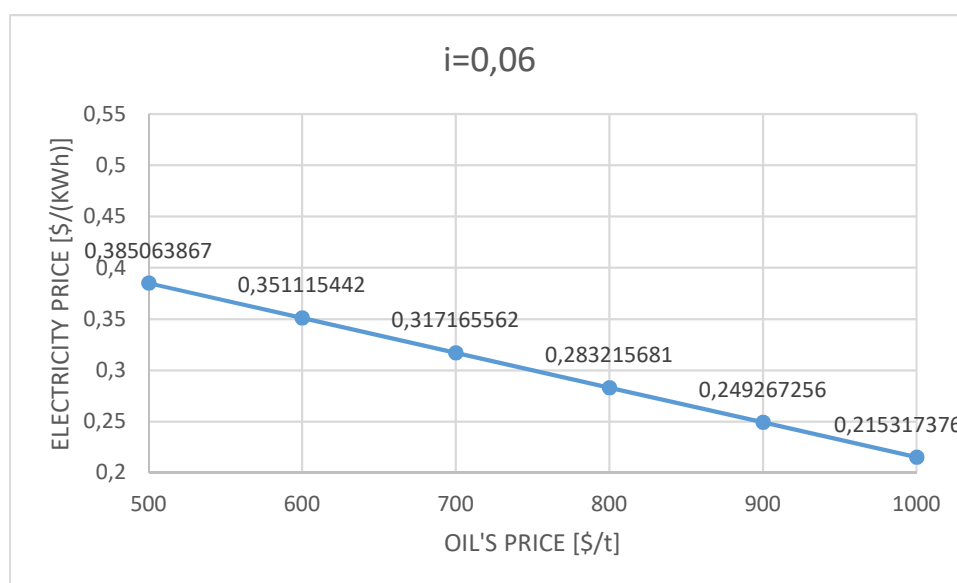
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,06)^t} = 11,47$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 11,47 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,06)^{20}}}{11,47}$$

Οπότε για $i=0,06$ στον πίνακα 4.2.3 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=70,4507$. Στο διάγραμμα 4.2.3 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,06$ και για $F=70,4507$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	70,4507	0,385063867
600	70,4507	0,351115442
700	70,4507	0,317165562
800	70,4507	0,283215681
900	70,4507	0,249267256
1000	70,4507	0,215317376

Πίνακας 4.2.3: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,06$ και για $F=70,4507$.



Διάγραμμα 4.2.3: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,06$ και για $F=70,4507$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,07$:

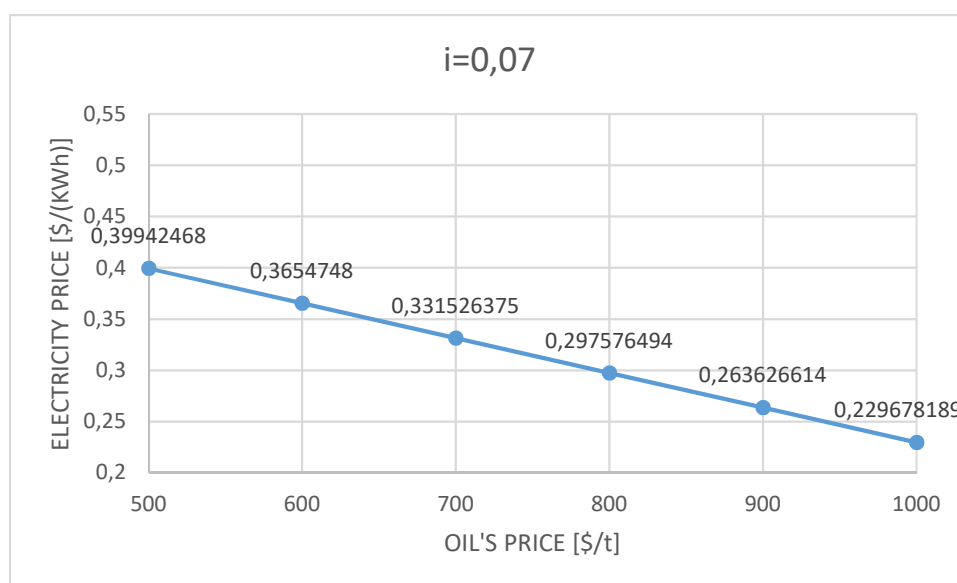
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,07)^t} = 10,59$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 10,59 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,07)^{20}}}{10,59}$$

Οπότε για $i=0,07$ στον πίνακα 4.2.4 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=71,9694$. Στο διάγραμμα 4.2.4 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,07$ και για $F=71,9694$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	71,9694	0,39942468
600	71,9694	0,3654748
700	71,9694	0,331526375
800	71,9694	0,297576494
900	71,9694	0,263626614
1000	71,9694	0,229678189

Πίνακας 4.2.4: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,07$ και για $F=71,9694$.



Διάγραμμα 4.2.4: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,07$ και για $F=71,9694$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,08$:

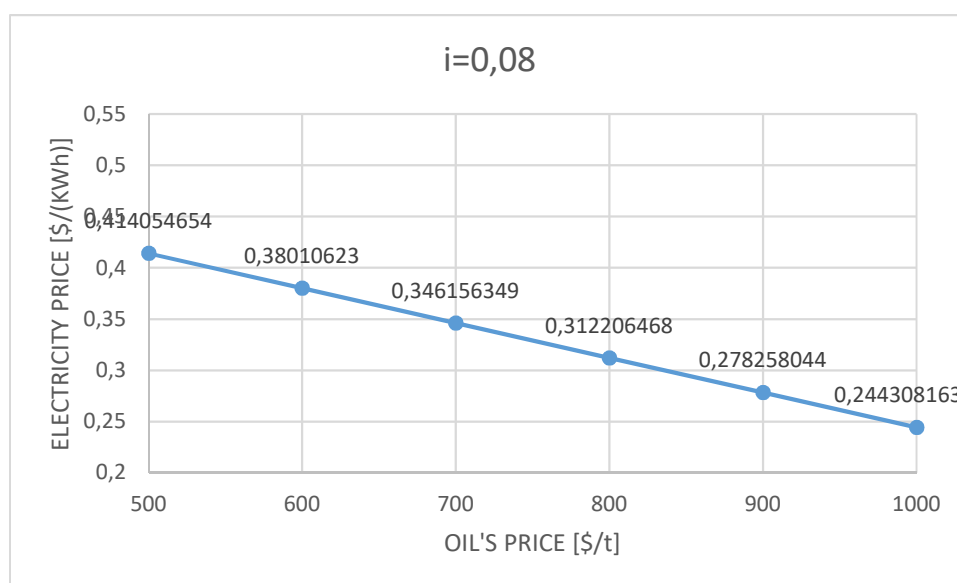
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,08)^t} = 9,82$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 9,82 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,08)^{20}}}{9,82}$$

Οπότε για $i=0,08$ στον πίνακα 4.2.5 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=73,5167$. Στο διάγραμμα 4.2.5 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,08$ και για $F=73,5167$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	73,5167	0,414054654
600	73,5167	0,38010623
700	73,5167	0,346156349
800	73,5167	0,312206468
900	73,5167	0,278258044
1000	73,5167	0,244308163

Πίνακας 4.2.5: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,08$ και για $F=73,5167$.



Διάγραμμα 4.2.5: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,08$ και για $F=73,5167$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,09$:

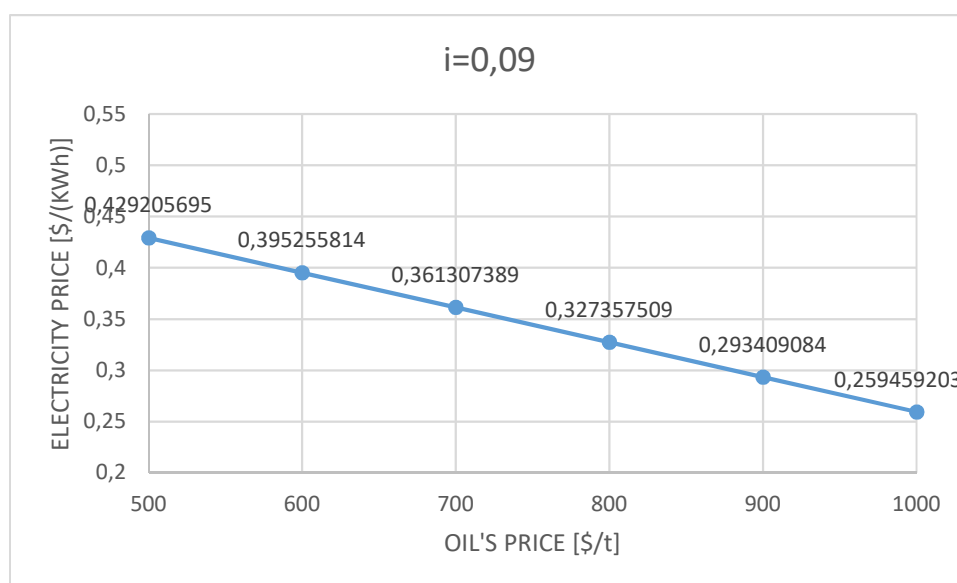
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,09)^t} = 9,13$$

Οπότε για $i=0,09$ στον πίνακα 4.2.6 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=75,119$. Στο διάγραμμα 4.2.6 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,09$ και για $F=75,119$.

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 9,13 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΧΑΕΙΑ}{(1+0,09)^{20}}}{9,13}$$

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	75,119	0,429205695
600	75,119	0,395255814
700	75,119	0,361307389
800	75,119	0,327357509
900	75,119	0,293409084
1000	75,119	0,259459203

Πίνακας 4.2.6: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,09$ και για $F=75,119$.



Διάγραμμα 4.2.6: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,09$ και για $F=75,119$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,10$:

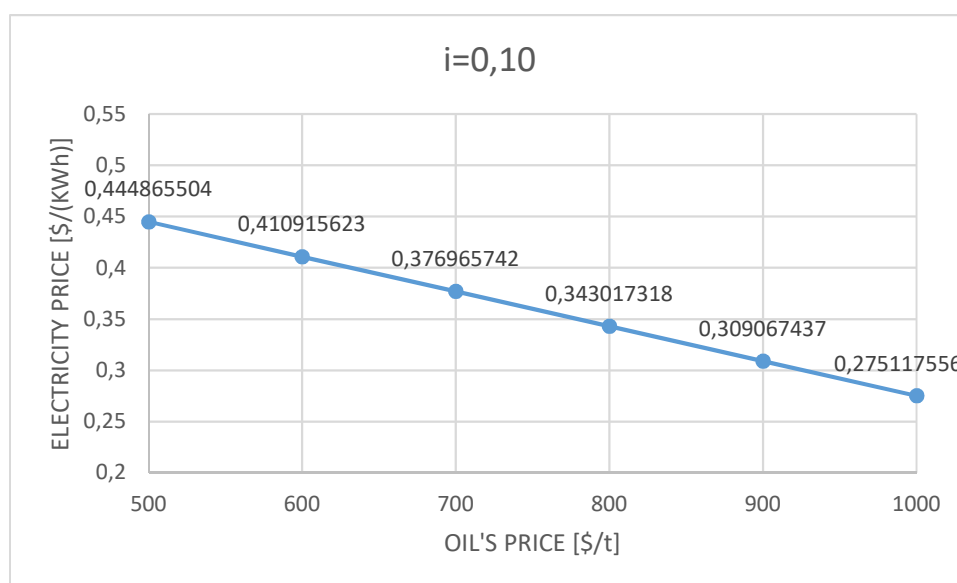
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,10)^t} = 8,51$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 8,51 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,10)^{20}}}{8,51}$$

Οπότε για $i=0,10$ στον πίνακα 4.2.7 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=76,7751$. Στο διάγραμμα 4.2.7 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,10$ και για $F=76,7751$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	76,7751	0,444865504
600	76,7751	0,410915623
700	76,7751	0,376965742
800	76,7751	0,343017318
900	76,7751	0,309067437
1000	76,7751	0,275117556

Πίνακας 4.2.7: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,10$ και για $F=76,7751$.



Διάγραμμα 4.2.7: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,10$ και για $F=76,7751$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,11$:

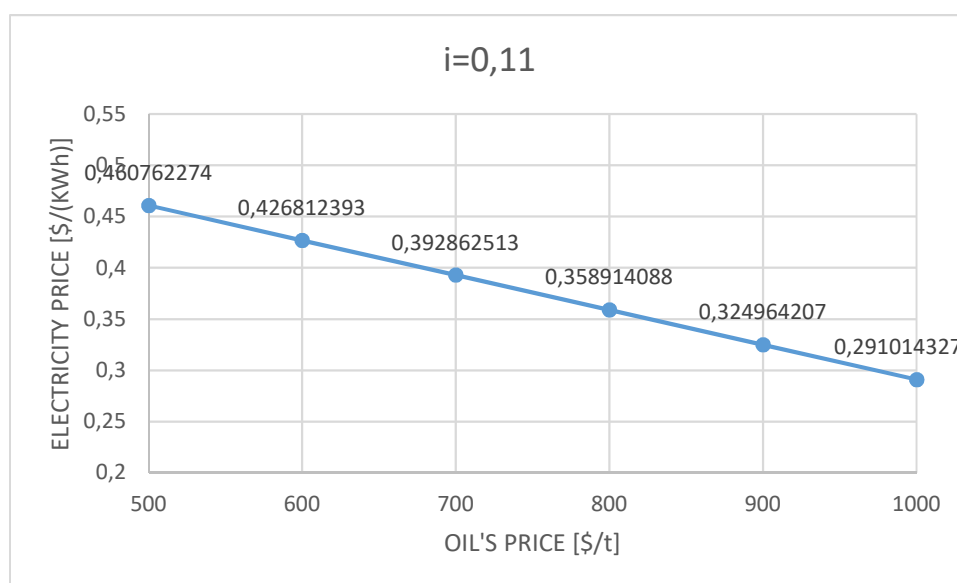
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,11)^t} = 7,96$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,96 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,11)^{20}}}{7,96}$$

Οπότε για $i=0,11$ στον πίνακα 4.2.8 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=78,4563$. Στο διάγραμμα 4.2.8 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,11$ και για $F=78,4563$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	78,4563	0,460762274
600	78,4563	0,426812393
700	78,4563	0,392862513
800	78,4563	0,358914088
900	78,4563	0,324964207
1000	78,4563	0,291014327

Πίνακας 4.2.8: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,11$ και για $F=78,4563$.



Διάγραμμα 4.2.8: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,11$ και για $F=78,4563$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,12$:

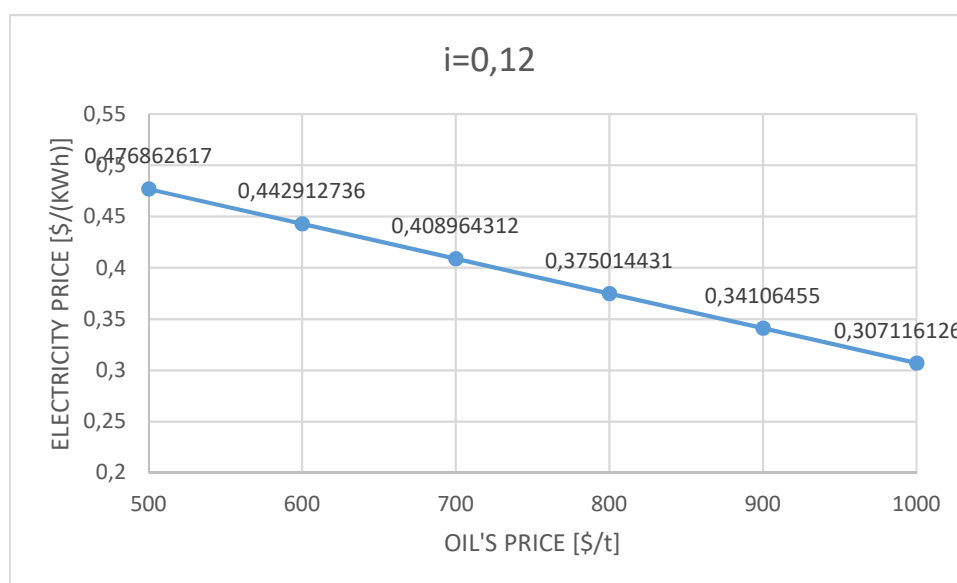
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,12)^t} = 7,47$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,47 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,12)^{20}}}{7,47}$$

Οπότε για $i=0,12$ στον πίνακα 4.2.9 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=80,1591$. Στο διάγραμμα 4.2.9 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,12$ και για $F=80,1591$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	80,1591	0,476862617
600	80,1591	0,442912736
700	80,1591	0,408964312
800	80,1591	0,375014431
900	80,1591	0,34106455
1000	80,1591	0,307116126

Πίνακας 4.2.9: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,12$ και για $F=80,1591$.



Διάγραμμα 4.2.9: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,12$ και για $F=80,1591$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,13$:

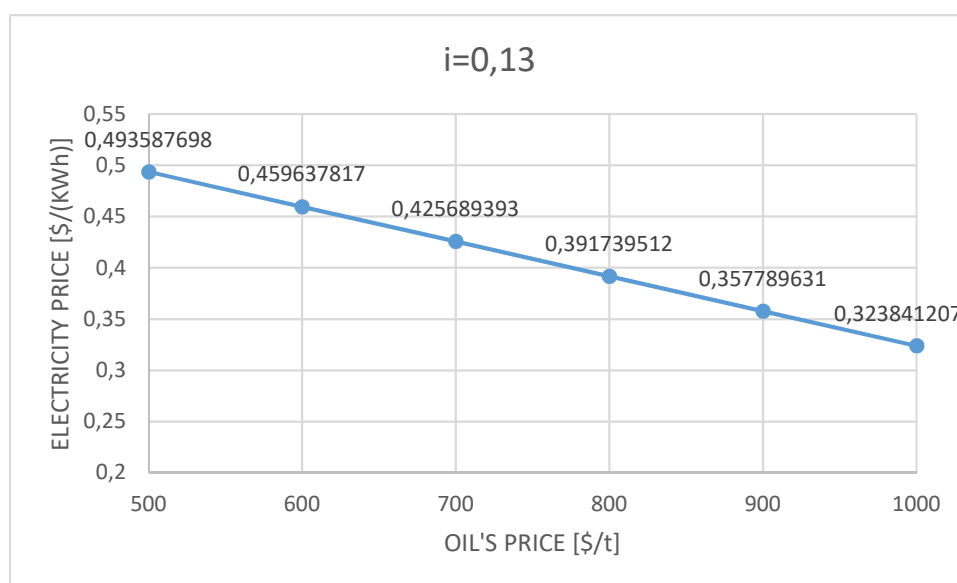
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,13)^t} = 7,02$$

$$ΕΞΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,02 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,13)^{20}}}{7,02}$$

Οπότε για $i=0,13$ στον πίνακα 4.2.10 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=81,9279$. Στο διάγραμμα 4.2.10 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,13$ και για $F=81,9279$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	81,9279	0,493587698
600	81,9279	0,459637817
700	81,9279	0,425689393
800	81,9279	0,391739512
900	81,9279	0,357789631
1000	81,9279	0,323841207

Πίνακας 4.2.10: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,13$ και για $F=81,9279$.



Διάγραμμα 4.2.10: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,13$ και για $F=81,9279$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,14$:

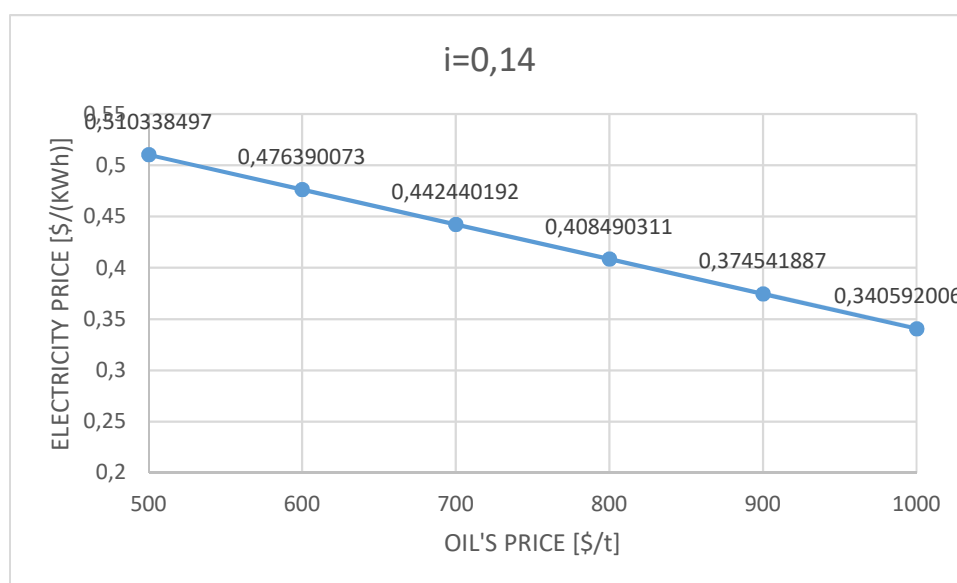
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,14)^t} = 6,62$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 6,62 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,14)^{20}}}{6,62}$$

Οπότε για $i=0,14$ στον πίνακα 4.2.11 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=83,6995$. Στο διάγραμμα 4.2.11 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,14$ και για $F=83,6995$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	83,6995	0,510338497
600	83,6995	0,476390073
700	83,6995	0,442440192
800	83,6995	0,408490311
900	83,6995	0,374541887
1000	83,6995	0,340592006

Πίνακας 4.2.11: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,14$ και για $F=83,6995$.



Διάγραμμα 4.2.11: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,14$ και για $F=83,6995$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,15$:

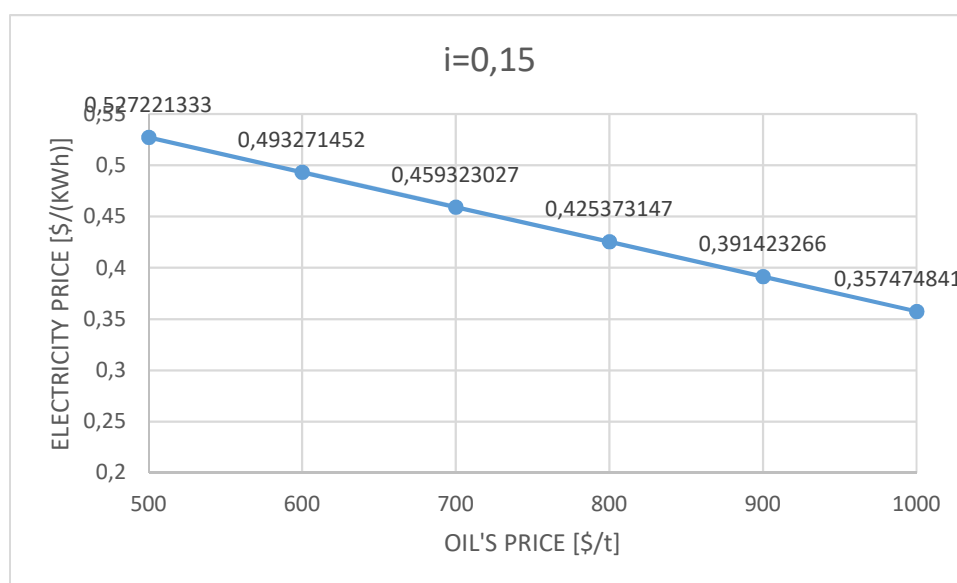
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,15)^t} = 6,26$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 6,26 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,15)^{20}}}{6,26}$$

Οπότε για $i=0,15$ στον πίνακα 4.2.12 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=85,4849$. Στο διάγραμμα 4.2.12 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,15$ και για $F=85,4849$.

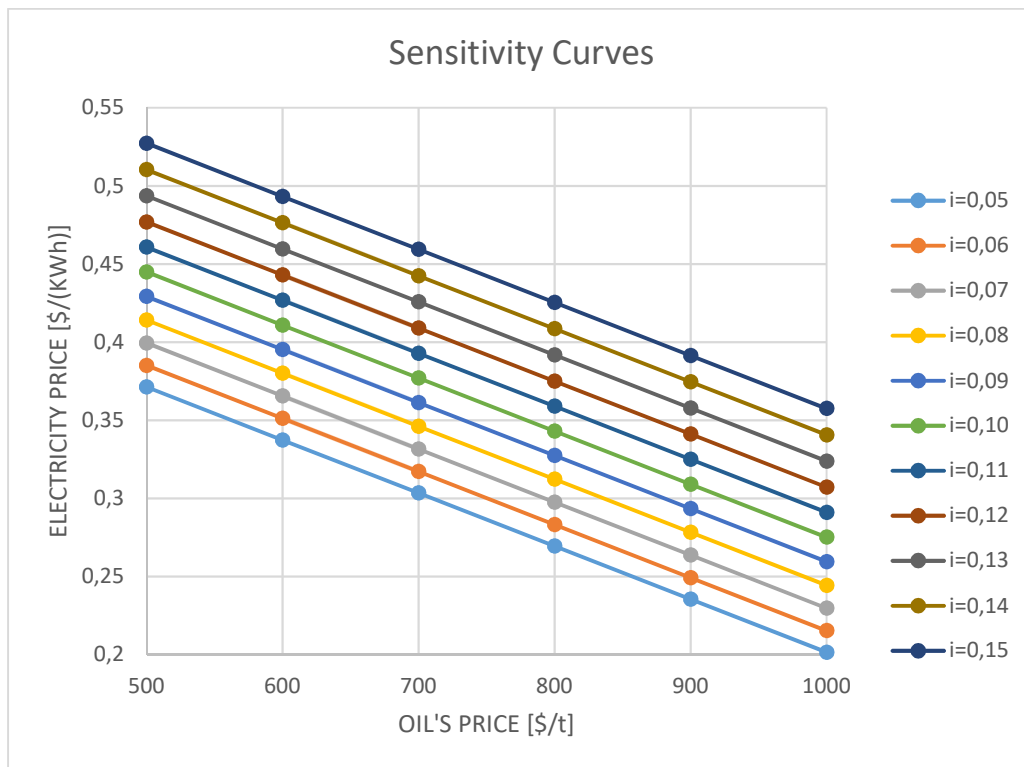
OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	85,4849	0,527221333
600	85,4849	0,493271452
700	85,4849	0,459323027
800	85,4849	0,425373147
900	85,4849	0,391423266
1000	85,4849	0,357474841

Πίνακας 4.2.12: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,15$ και για $F=85,4849$.



Διάγραμμα 4.2.12: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,15$ και για $F=85,4849$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Στο διάγραμμα 4.2.13 παρουσιάζονται όλες οι παραπάνω μεταβολές των ελάχιστων απαιτούμενων τιμών πώλησης ρεύματος σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του πετρελαίου κίνησης από 500 έως 1000 \$/t για τα διάφορα κόστη ευκαιρίας $i=0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.10, 0.11, 0.12, 0.13, 0.14, 0.15$ και για τις διάφορες τιμές των ελάχιστων απαιτούμενων ναύλων F των επενδύσεων. Όλες οι παραπάνω μεταβολές σε ένα διάγραμμα μας δίνουν μία αίσθηση του πόσο ευμετάβλητο-ευαίσθητο είναι το πρόβλημα που μελετάμε σε σχέση με τους παράγοντες που το επηρεάζουν για αυτό και ονομάζονται Καμπύλες-Ευαισθησίας.



Διάγραμμα 4.2.13: Καμπύλες Ευαισθησίας

4.3. Προμελέτη Οικονομικής Σκοπιμότητας του Containership Cosco Shipping Universe με συμβατικό Ναυτικό Κινητήρα Diesel.

4.3.1. Εισαγωγή – Σκοπός Μελέτης

Στην παρούσα μελέτη, πραγματοποιείται προμελέτη οικονομικής σκοπιμότητας Containership Cosco Shipping Universe με συμβατικό ναυτικό κινητήρα diesel. Το υπό μελέτη πλοίο υποτίθεται ότι έχει εξασφαλισμένη ναύλωση στην εξυπηρέτηση της γραμμής: «Λιμάνι Α - Λιμάνι Β», για τα επόμενα 20 χρόνια, τουλάχιστον. Η υπηρεσιακή ταχύτητα του είναι 22 kn, ενώ η μεταφορική του ικανότητα είναι DWT = 198485,2 t. Η διαδρομή «Λιμάνι Α - Λιμάνι Β», είναι συνολικά 15000 ναυτικά μίλια και θα καλύπτεται εν πλω από το υπό σχεδίαση πλοίο, μαζί με τις καθυστερήσεις εξόδου-εισόδου από τα λιμάνια που κατά μέσο όρο λαμβάνονται 2 ώρες (2hours) (χωρίς χρόνο φορτοεκφόρτωσης στα λιμάνια).

Το συνολικό κόστος κτήσεως-κατασκευής του πλοίου Cosco Shipping Universe είναι γνωστό και ανέρχεται στα 140 εκατομμύρια δολάρια.

*Σημειώνεται πως ως λογιστική μονάδα υπολογισμού λαμβάνεται το αμερικάνικο δολλάριο.

4.3.2. Στοιχεία για Υπολογισμούς

Παρακάτω δίνονται τα στοιχεία του M/V Containership Cosco Shipping Universe που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς που ακολουθούν:

$L_{BP}=386,23$ Μήκος μεταξύ καθέτων σε μέτρα

$B=58,6$ Πλάτος πλοίου σε μέτρα

$D=33,5$ Κοίλο του πλοίου σε μέτρα από την τρόπιδα ως το πρώτο συνεχές κατάστρωμα

$T=18$ Βύθισμα του πλοίου σε μέτρα στην έμφορτη κατάσταση

$W_{PL}=180000$ Βάρος ωφέλιμου φορτίου

$P_B=57900$ Εγκατεστημένη ισχύς σε KW της μηχανής MAN 12S90ME-C10.5 HL

$GT=215553$ Gross Tonnage

Number of 20ft Containers=21237

$C_{mhrm}=35$ Κόστος εργατώρας για την μηχανολογική εγκατάσταση

$C_{FO}=600$ Κόστος πετρελαίου σε δολάρια ανά τόνο

$C_{DO}=1200$ Κόστος πετρελαίου σε δολάρια ανά τόνο

$C_{FW}=1,0$ Κόστος πόσιμου νερού σε δολάρια να τόνο

$C_{SALARY}=2000$ Κόστος μισθοδοσίας ανά άτομο

$C_{PROVISIONS}=10$ Κόστος τροφοδοσίας ανά άτομο ανά ημέρα

$C_{LO}=2000$ Κόστος λιπαντικών σε δολάρια ανά τόνο

$CREW=36$ Persons on board

4.3.3. Κόστος Κτήσης του Πλοίου

Το κόστος κτήσης του πλοίου όπως αναφέρθηκε προηγουμένως είναι γνωστό και ανέρχεται στα 140 εκατομμύρια δολάρια.

$$K_{\text{TOTAL}}=1,4*10^8$$

4.3.3.1. Το Κόστος της Μηχανολογικής Εγκατάστασης

Παρότι γνωρίζουμε το συνολικό κόστος κτήσης του πλοίου υπολογίζουμε και το κόστος της μηχανολογικής εγκατάστασης προκειμένου να το αφαιρέσουμε στη συνέχεια από το συνολικό κόστος του πλοίου στην περίπτωση της πυρηνοκίνησης. Το κόστος της μηχανολογικής εγκατάστασης δεν εξαρτάται από το βάρος αλλά από την υποδύναμη της κύριας μηχανής.

Εργατικό Κόστος

$MHS_M=12000*(P_B/1000)^{0,3}=40549,44$ Απαιτούμενες εργατοώρες (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

$CMH_M=C_{\text{mhrm}} * MHS_M=1,419*10^6$ Εργατικό κόστος μηχανολογικής εγκατάστασης σε δολάρια (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Κόστος Υλικών

Το κόστος υλικών θα βρεθεί προσεγγιστικά, θεωρείται πως για αργόστροφες μηχανές το κόστος είναι 400\$/KW .

$CS_M=400*P_B=2,316*10^7$ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Το συνολικό κόστος της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου τελικά προκύπτει:

$$K_M= CMH_M+ CS_M=2,4579*10^7 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

4.3.3.2. Συνολικό Κόστος Κατασκευής Άφορτου Πλοίου

Το συνολικό κόστος κατασκευής του πλήρως εξοπλισμένου αλλά άφορτου είναι όπως προαναφέραμε:

$$K_{\text{TOTAL}}=1,4*10^8$$

4.3.4. Κόστος Εκμετάλευσης του Πλοίου

Το πλοίο έχει εξεταστεί να έχει ακτίνα ενέργειας ίση με $R=17500$ nautical miles, οπότε μπορεί εύκολα να καλύψει την απόσταση των 15000 ναυτικών μιλίων που απέχει το λιμάνι Α από το λιμάνι Β.

Με ταχύτητα υπηρεσίας $V_s=22$ knots

Άρα το πλοίο θα ταξιδεύει σε ώρες χρονικό διάστημα ίσο με $t=15000/V_s=681,8182$

Και σε μέρες είναι ίσο με $DAYS=t/24=28,4$

Θεωρούμε επίσης ότι χρειάζονται 48 ώρες δηλαδή 2 μέρες για να φορτώσει ή για να ξεφορτώσει το πλοίο το εμπόρευσμά του

Οπότε ένα κυκλικό ταξίδι θα διαρκέσει $2*28+2*2=61$ μέρες

Εάν θεωρήσουμε ότι το πλοίο ταξιδεύει 310 μέρες ενώ οι υπόλοιπες 55 είναι για επισκευές και δεξαμενισμούς, τότε ο αριθμός των ταξιδιών μέσα σε ένα έτος είναι:

$$TRIPS=310/61=5,1$$

Σημειώνεται ότι κανονικά θα έπρεπε να θεωρήσουμε 5 ταξίδια το χρόνο, όμως επειδή η μελέτη μας αφορά 20 χρόνια θα προκύψουν επιπλέον 2 ταξίδια (ακέραιος αριθμός). Αρα λαμβάνουμε:

$$\text{TRIPS}=5,1$$

4.3.4.1. Κόστος Λειτουργίας του Πλοίου

Το κόστος λειτουργίας του πλοίου διακρίνεται στο κόστος αναλωσίμων, στα λιμενικά τέλη, στο κόστος ασφάλισης και στο κόστος συντήρησης και επισκευών. Όλα τα παρακάτω επιμέρους κόστη λειτουργίας του πλοίου υπολογίζονται με εμπειρικούς τύπους.

$FO=12000$ Βάρος αναλωσίμων σε τόνους

$DO=1500$ Βάρος αναλωσίμων σε τόνους

$LO=400$ Βάρος αναλωσίμων σε τόνους

$FW=1000$ Βάρος αναλωσίμων σε τόνους

$$M_{FO}=FO \cdot C_{FO} \cdot \text{TRIPS} \cdot 15000/R=3,145676 \cdot 10^7 \quad \text{Κόστος ανά έτος}$$

$$M_{DO}=DO \cdot C_{DO} \cdot \text{TRIPS} \cdot 15000/R=7,86419 \cdot 10^6 \quad \text{Κόστος ανά έτος}$$

$$M_{LO}=LO \cdot C_{LO} \cdot \text{TRIPS} \cdot 15000/R=3,4952 \cdot 10^6 \quad \text{Κόστος ανά έτος}$$

$$M_{FW}=FW \cdot C_{FW} \cdot \text{TRIPS} \cdot 15000/R=4368,9942 \quad \text{Κόστος ανά έτος}$$

$$M_{PROV}=C_{PROV} \cdot (2 \cdot \text{DAYS}+2 \cdot 2) \cdot \text{CREW} \cdot \text{TRIPS}=1,116 \cdot 10^5 \quad \text{Κόστος ανά έτος}$$

$$M_{CREW}=C_{SALARY} \cdot 12 \cdot \text{CREW}=8,64 \cdot 10^5 \quad \text{Κόστος ανά έτος}$$

$$C_{ANAΛ}=M_{FO}+M_{DO}+M_{LO}+M_{FW}+M_{PROV}+M_{CREW}=4,379611 \cdot 10^7 \quad (\text{Πηγή: Παπανικολάου, 2009})$$

Λιμενικά Τέλη

Στα λοιπά έξοδα περιλαμβάνονται τα λιμενικά τέλη, τα τέλη ασφάλισης, καθώς και το κόστος συντήρησης και επισκευών. Τα παραπάνω θα βρεθούν με εμπειρικούς τύπους.

$$C_{ΛΙΜ}=(600+50 \cdot L_{BP} \cdot B \cdot D/10^5) \cdot (2 \cdot \text{TRIPS})=9981,2999 \quad (\text{Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002})$$

Κόστος Ασφάλισης

$$C_{ΑΣΦ}=770 \cdot (\text{CREW}+GT/100)=1,6875 \cdot 10^6 \quad (\text{Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002})$$

Κόστος Συντήρησης και Επισκευών

Αυτό το κόστος χωρίζεται σε δύο επιμέρους κατηγορίες.

Την επισκευή και συντήρηση της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου

Την επισκευή και συντήρησης της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου

$$C_{MK}=2500*(L_{BP}*B*D/10^5)^{2/3}=9648,6294 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

$$C_{ME}=5,44*P_B=3,1498*10^5 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

Οπότε το συνολικό κόστος συντήρησης και επισκευών θα είναι:

$$C_{ES}=C_{MK}+C_{ME}=3,24625*10^5 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

Οπότε τα έξοδα λειτουργίας μέσα σε ένα έτος θα είναι:

$$C_{EΞΟΔΑ}=C_{ΑΝΑΛ}+C_{ΛΙΜ}+C_{ΑΣΦ}+C_{ES}=4,58182*10^7 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)}$$

4.3.5. Ελάχιστος Απαιτούμενος Ναύλος της Επένδυσης

Υποθέτουμε ότι για να αγοραστεί το πλοίο θα παρθεί δάνειο ίσο με το 70% της αξίας του πλοίου. Ο χρόνος αποπληρωμής του δανείου θα είναι 20 χρόνια. Το υπόλοιπο 30% θα δοθεί από τον ίδιο τον πλοιοκτήτη (ή την πλοιοκτήτρια εταιρία) από τα ίδια του τα κεφάλαια.

$$K_{\Delta}=70/100*K_{TOTAL}=9,8*10^7 \text{ Ύψος δανείου}$$

$$ΚΕΦΑΛΑΙΟ=30/100* K_{TOTAL}=4,2*10^7 \text{ Ύψος Κεφαλαίου}$$

Η διάρκεια εκμετάλλευσης του πλοίου ορίζεται στα 20 χρόνια και ως τελική αξία του πλοίου θεωρείται το 2,5% της αρχικής του αξίας.

$$ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ=2,5/100* K_{TOTAL}=3,5*10^6 \text{ (Πηγή: Ψαραύτης, 2005)}$$

Η δόση του δανείου ανά έτος θα είναι:

$$\Delta = K_{\Delta} * \frac{r * (1 + r)^N}{(1 + r)^N - 1} = 9,981516 * 10^6$$

(Πηγή: Ψαραύτης, 2005)

Όπου: $r=0,08$ (μέση τιμή κυμαινόμενου επιτοκίου) και $N=20$ (τα χρόνια αποπληρωμής του δανείου)

Ο υπολογισμός του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου της επένδυσης γίνεται με τον μηδενισμό της εξίσωσης της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Κ.Π.Α.) .

$$ΚΠΑ = \sum_{t=0}^N \frac{E_{Σt} - E_{Ξt}}{(1 + i)^t}$$

(Πηγή: Ψαραύτης, 2005)

$$ΚΠΑ = -\frac{ΚΕΦΑΛΑΙΟ}{(1 + i)^0} + E_{ΣΟΔΑ} * \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1 + i)^t} - E_{ΞΟΔΑ} * \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1 + i)^t} + \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1 + i)^{20}}$$

Στην προκειμένη περίπτωση το κόστος ευκαιρίας λαμβάνεται $i=12\%=0,12$. Θα εξεταστούν όμως όλες οι περιπτώσεις για $i=0,05$ έως $i=0,15$ με βήμα $0,01$.

Άρα

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

Επίσης, κάθε χρόνο τα ετήσια έξοδα της επένδυσης θα είναι:

$$ΕΞΟΔΑ = C_{ΕΞΟΔΑ} + Δ = 5,5799713 * 10^7$$

Οπότε για ΚΠΑ=0 έχουμε,

$$-ΚΕΦΑΛΑΙΟ + ΕΣΟΔΑ * 7,47 - ΕΞΟΔΑ * 7,47 + \frac{ΤΕΛΙΚΗΧΑΞΙΑ}{(1+0,12)^{20}} = 0$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,47 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΧΑΞΙΑ}{(1+0,12)^{20}}}{7,47} = 6,137363 * 10^7$$

Υπενθυμίζεται ότι όταν μηδενίζεται η Κ.Π.Α. η επένδυση είναι αδιάφορη. Για θετική Κ.Π.Α. η επένδυση είναι συμφέρουσα ενώ για αρνητική η επένδυση δεν πρέπει να πραγματοποιηθεί.

Για να είναι συμφέρουσα η επένδυση λοιπόν πρέπει τα ετήσια ΕΣΟΔΑ να ξεπερνούν τα $6,137363 * 10^7$ δολάρια.

Για να συμβεί αυτό πρέπει από το κάθε ταξίδι να κερδίζει η εταιρεία

$$ΚΤΡΙPS = \frac{ΕΣΟΔΑ}{ΤΡΙPS} = 1,204075 * 10^7$$

Δηλαδή ο τόνος ωφέλιμου φορτίου πρέπει να χρεώνεται ίσος με:

$$F = \frac{ΚΤΡΙPS}{WPAAYLOAD} = 66,8931$$

Στη συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα που δίνουν τον Ελάχιστο Απαιτούμενο Ναύλο F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου (από 500 έως 1000 \$/t) για τις διάφορες τιμές του κόστους ευκαιρίας i.

Για i=0,05 :

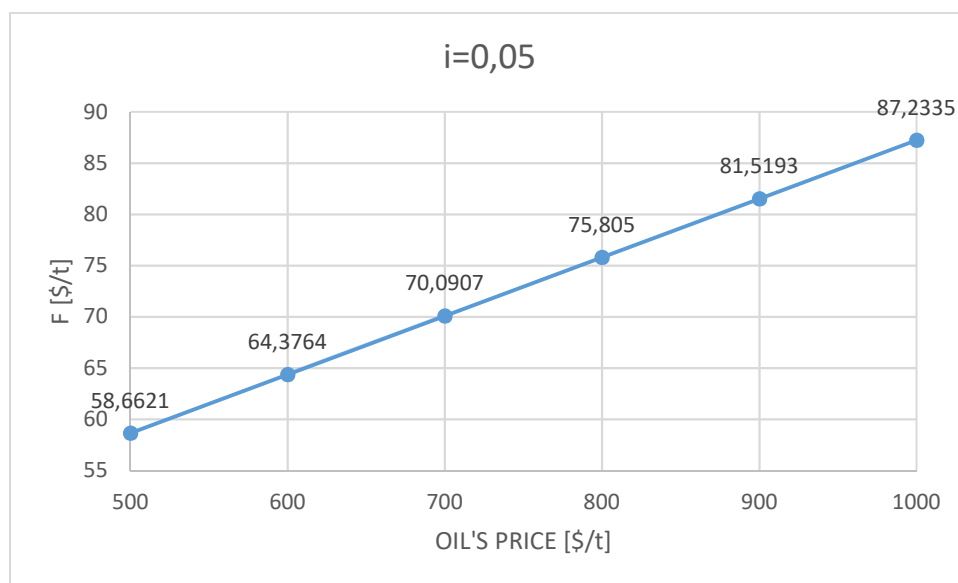
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,05)^t} = 12,46$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 12,46 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1 + 0,05)^{20}}}{12,46}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,05$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.3.1. Στο διάγραμμα 4.3.1. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,05$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	58,6621
600	64,3764
700	70,0907
800	75,8050
900	81,5193
1000	87,2335

Πίνακας 4.3.1: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,05$.



Διάγραμμα 4.3.1: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,05$.

Για $i=0,06$:

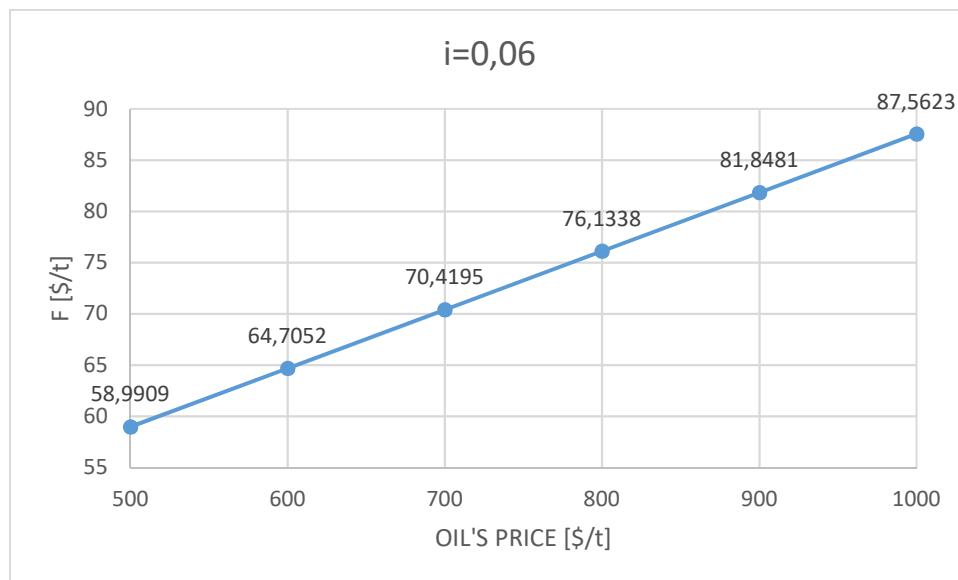
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,06)^t} = 11,47$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 11,47 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1 + 0,06)^{20}}}{11,47}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,06$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.3.2. Στο διάγραμμα 4.3.2. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,06$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	58,9909
600	64,7052
700	70,4195
800	76,1338
900	81,8481
1000	87,5623

Πίνακας 4.3.2: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,06$.



Διάγραμμα 4.3.2: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,06$.

Για $i=0,07$:

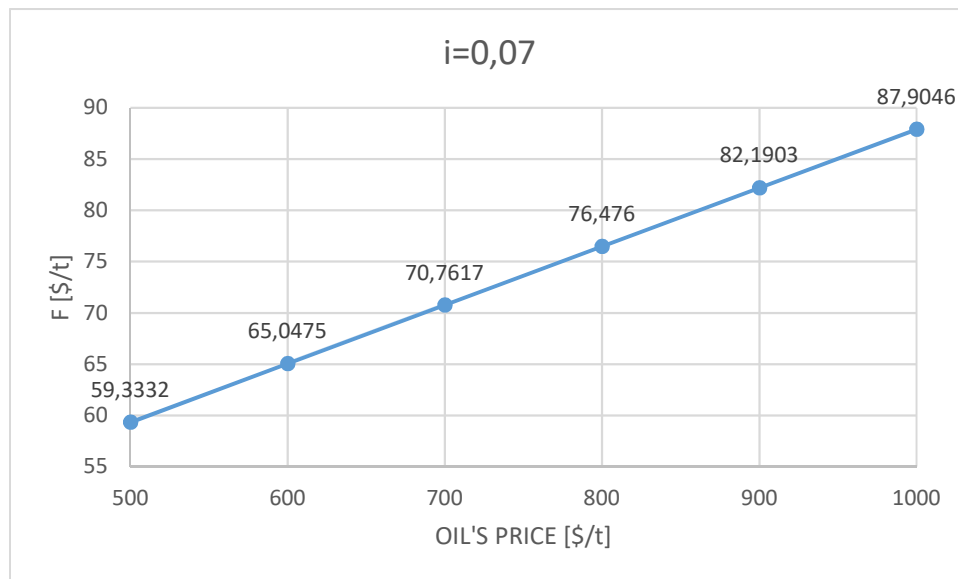
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,07)^t} = 10,59$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΣΟΔΑ * 10,59 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1 + 0,07)^{20}}}{10,59}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,07$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.3.3. Στο διάγραμμα 4.3.3. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,07$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	59,3332
600	65,0475
700	70,7617
800	76,4760
900	82,1903
1000	87,9046

Πίνακας 4.3.3: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,07$.



Διάγραμμα 4.3.3: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,07$.

Για $i=0,08$:

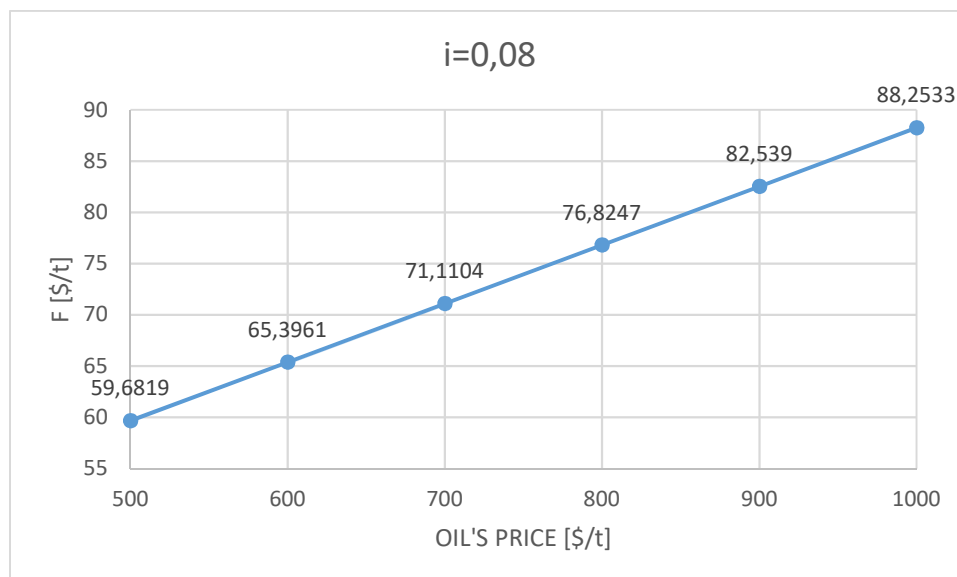
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,08)^t} = 9,82$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 9,82 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1 + 0,08)^{20}}}{9,82}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,08$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.3.4. Στο διάγραμμα 4.3.4. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,08$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	59,6819
600	65,3961
700	71,1104
800	76,8247
900	82,5390
1000	88,2533

Πίνακας 4.3.4: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,08$.



Διάγραμμα 4.3.4: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,08$

Για $i=0,09$:

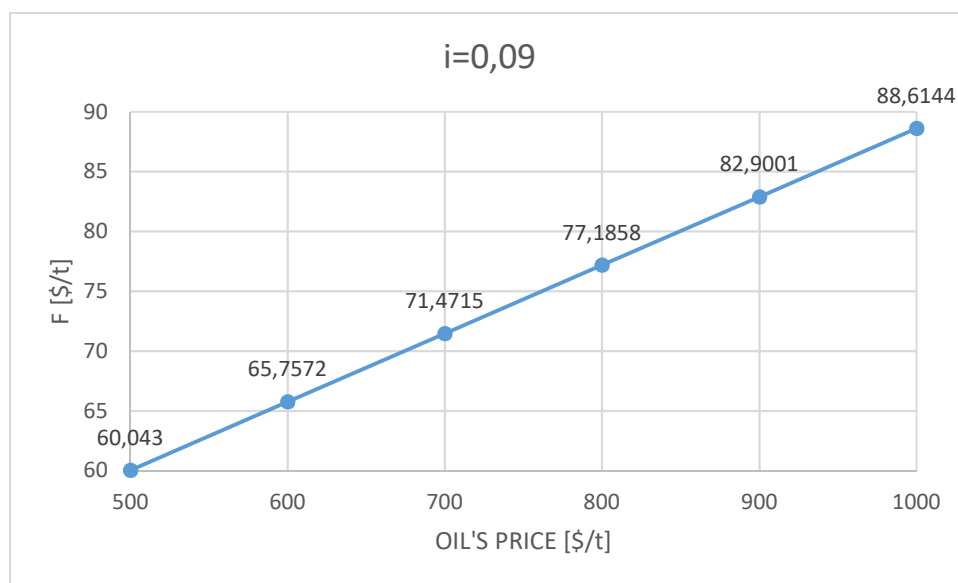
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,09)^t} = 9,13$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 9,13 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1 + 0,09)^{20}}}{9,13}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,09$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.3.5. Στο διάγραμμα 4.3.5. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,09$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	60,0430
600	65,7572
700	71,4715
800	77,1858
900	82,9001
1000	88,6144

Πίνακας 4.3.5: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,09$.



Διάγραμμα 4.3.5: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,09$.

Για $i=0,10$:

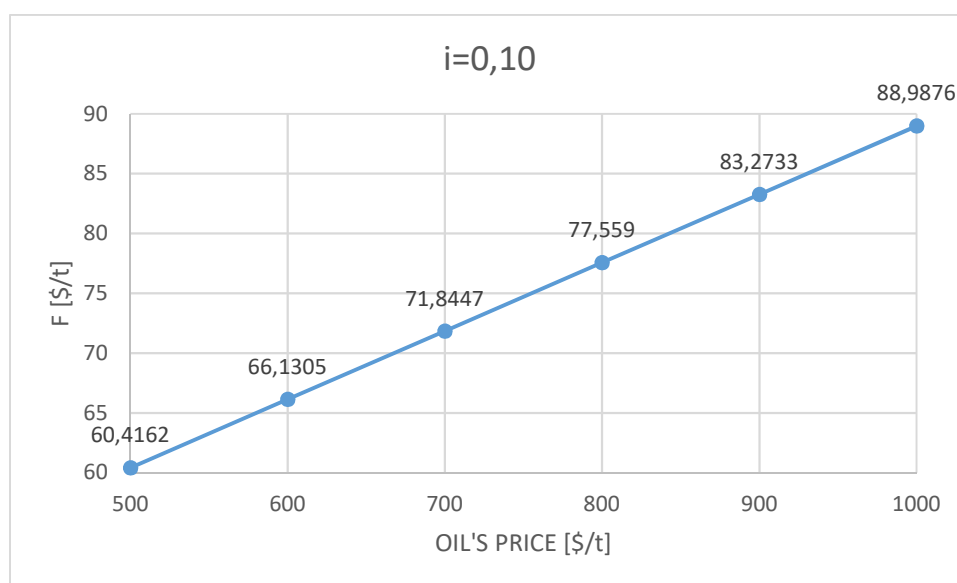
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,10)^t} = 8,51$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 8,51 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1 + 0,10)^{20}}}{8,51}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας i=0,10 δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.3.6. Στο διάγραμμα 4.3.6. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας i=0,10.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	60,4162
600	66,1305
700	71,8447
800	77,5590
900	83,2733
1000	88,9876

Πίνακας 4.3.6: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας i=0,10.



Διάγραμμα 4.3.6: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας i=0,10.

Για i=0,11 :

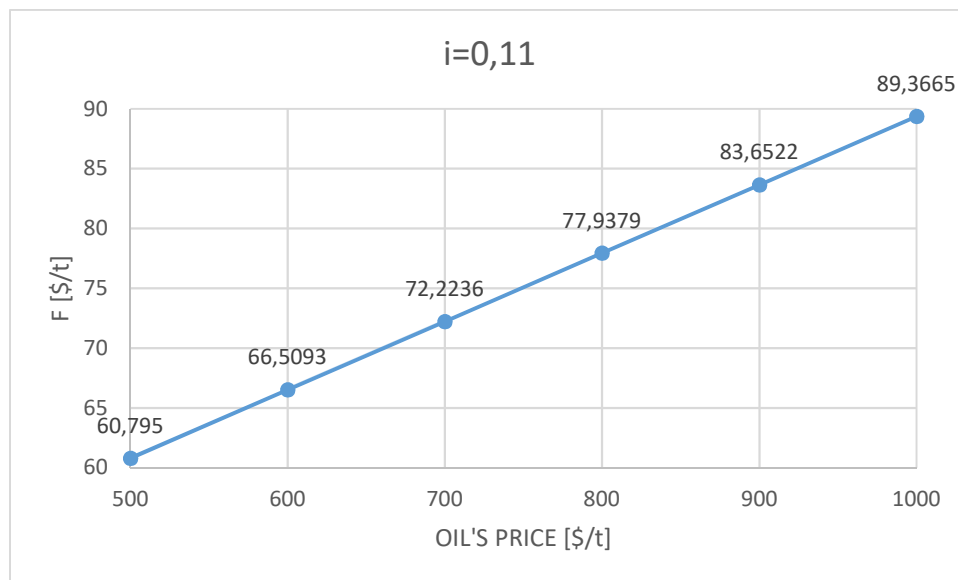
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,11)^t} = 7,96$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,96 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1 + 0,11)^{20}}}{7,96}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,11$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.3.7. Στο διάγραμμα 4.3.7. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,11$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	60,7950
600	66,5093
700	72,2236
800	77,9379
900	83,6522
1000	89,3665

Πίνακας 4.3.7: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,11$.



Διάγραμμα 4.3.7: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,11$.

Για $i=0,12$:

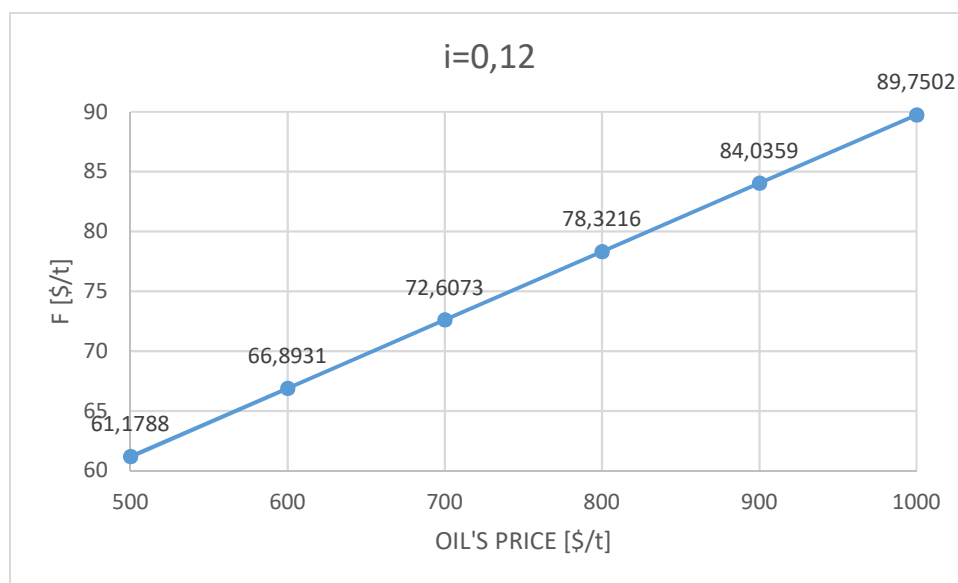
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,12)^t} = 7,47$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,47 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1 + 0,12)^{20}}}{7,47}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας i=0,12 δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.3.8. Στο διάγραμμα 4.3.8. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας i=0,12.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	61,1788
600	66,8931
700	72,6073
800	78,3216
900	84,0359
1000	89,7502

Πίνακας 4.3.8: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας i=0,12.



Διάγραμμα 4.3.8: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας i=0,12.

Για i=0,13 :

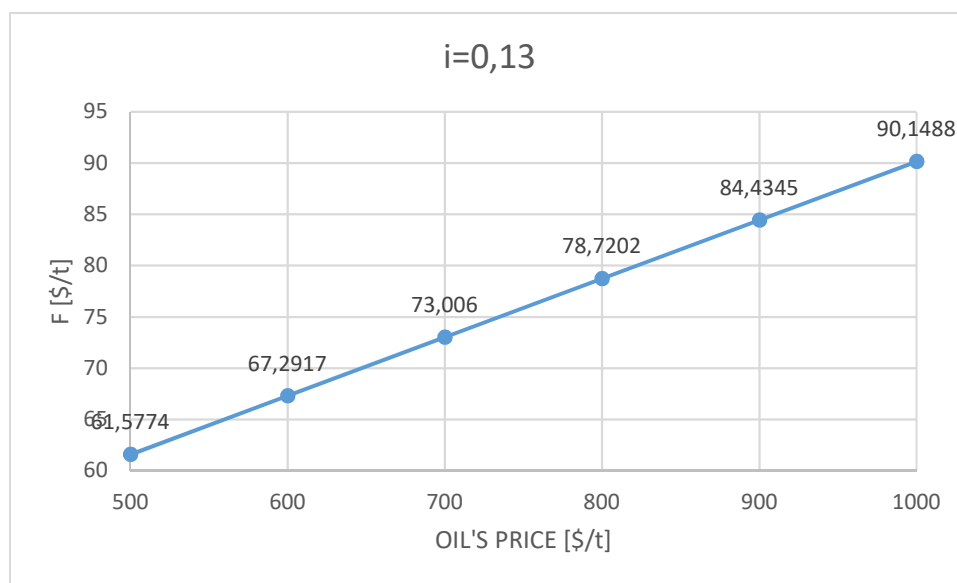
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,13)^t} = 7,02$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,02 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1 + 0,13)^{20}}}{7,02}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας i=0,13 δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.3.9. Στο διάγραμμα 4.3.9. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας i=0,13.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	61,5774
600	67,2917
700	73,0060
800	78,7202
900	84,4345
1000	90,1488

Πίνακας 4.3.9: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας i=0,13.



Διάγραμμα 4.3.9: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας i=0,13.

Για i=0,14 :

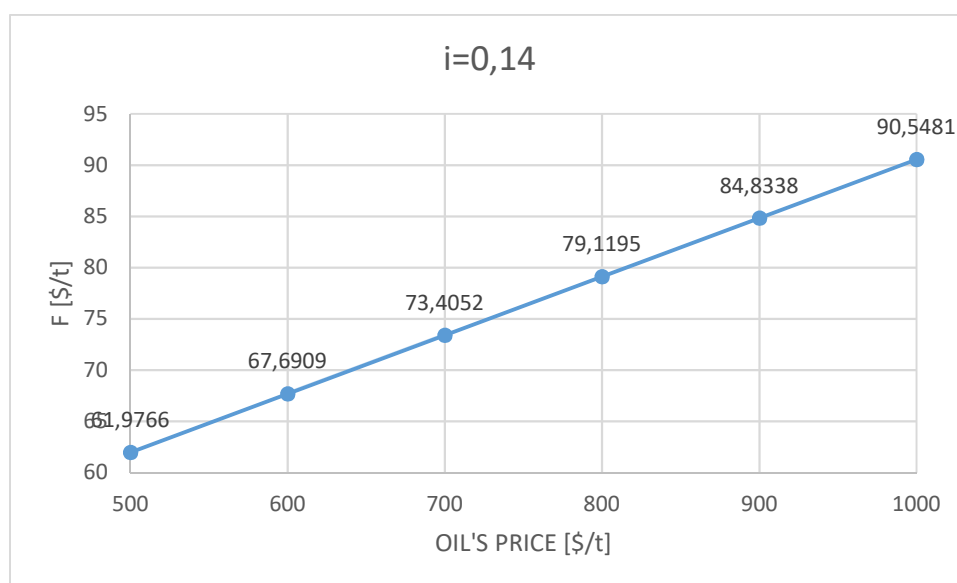
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,14)^t} = 6,62$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 6,62 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1 + 0,14)^{20}}}{6,62}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,14$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.3.10. Στο διάγραμμα 4.3.10. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,14$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	61,9766
600	67,6909
700	73,4052
800	79,1195
900	84,8338
1000	90,5481

Πίνακας 4.3.10: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,14$.



Διάγραμμα 4.3.10: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,14$.

Για $i=0,15$:

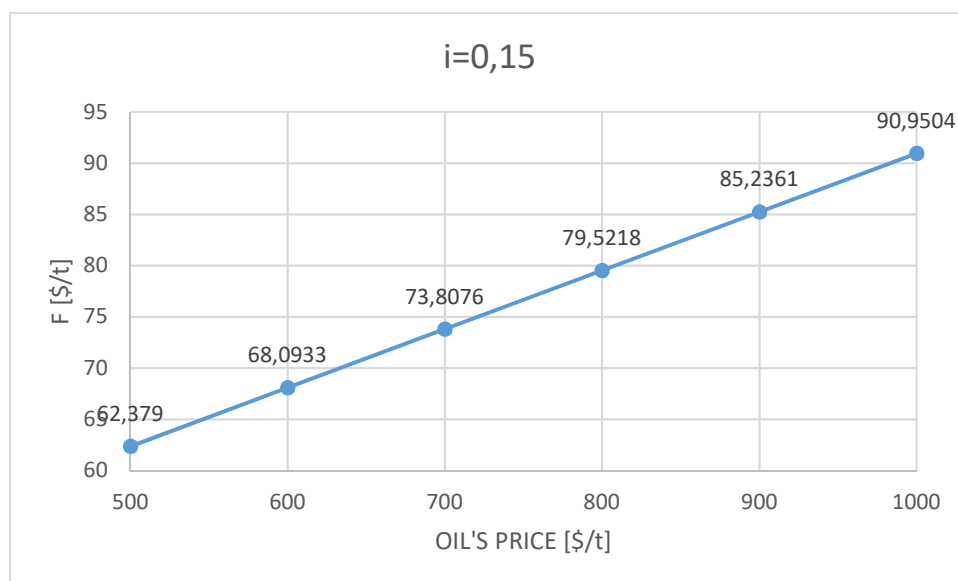
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,15)^t} = 6,26$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 6,26 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1 + 0,15)^{20}}}{6,26}$$

Οπότε οι διάφορες τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,15$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα 4.3.11. Στο διάγραμμα 4.3.11. φαίνεται πως μεταβάλλεται η τιμή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,15$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]
500	62,3790
600	68,0933
700	73,8076
800	79,5218
900	85,2361
1000	90,9504

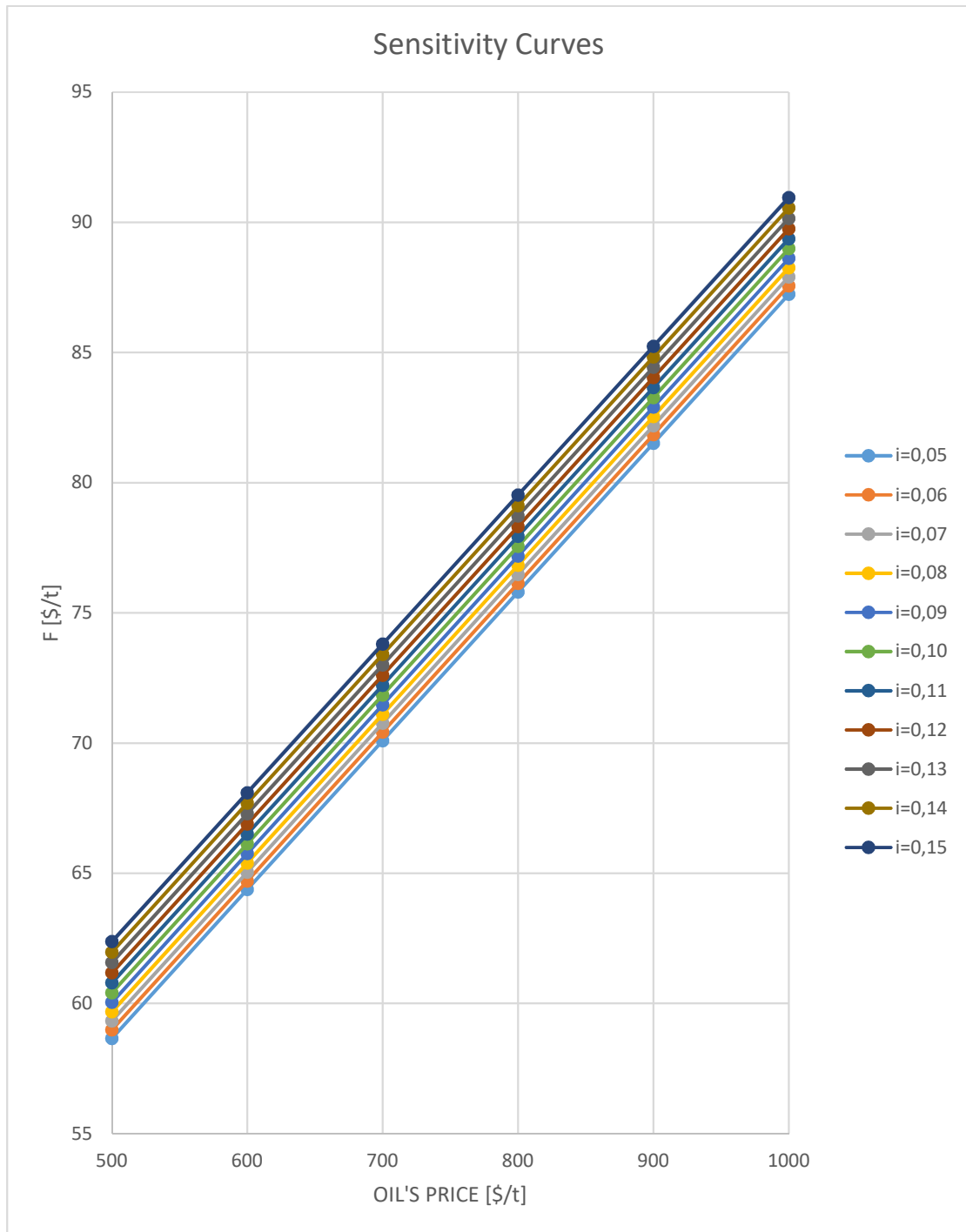
Πίνακας 4.3.11: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης για τις τιμές πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,15$.



Διάγραμμα 4.3.11: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης σε σχέση με την τιμή του πετρελαίου κίνησης του πλοίου από 500 έως 1000 \$/t για κόστος ευκαιρίας $i=0,15$.

Στο διάγραμμα 4.3.12 παρουσιάζονται όλες οι παραπάνω μεταβολές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων της επένδυσης σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του πετρελαίου κίνησης από 500 έως 1000 \$/t για τα διάφορα κόστη ευκαιρίας $i=0,05,0,06,0,07,0,08,0,09,0,10,0,11,0,12, 0,13,0,14,0,15$. Όλες οι παραπάνω μεταβολές σε ένα διάγραμμα μας δίνουν μία αίσθηση του πόσο ευμετάβλητο-ευαίσθητο είναι το

πρόβλημα που μελετάμε σε σχέση με τους παράγοντες που το επηρεάζουν για αυτό και ονομάζονται Καμπύλες-Ευαισθησίας.



Διάγραμμα 4.3.12: Καμπύλες Ευαισθησίας

4.4. Προμελέτη Οικονομικής Σκοπιμότητας του Containership Cosco Shipping Universe με πυρηνικό σύστημα πρόωσης.

Για την περίπτωση της πυρηνοκίνησης γνωρίζουμε ότι τα παγοθραυστικά της κλάσης LK-60 χρησιμοποιούν δύο RITM-200 αντιδραστήρες που μεταφέρουν στις 3 προπέλες τους 60MW ισχύος. Εμείς για το Containership Cosco Shipping Universe χρειαζόμαστε και τα 60MW για να καλύψουμε τα 57900KW που έχει ανάγκη η έλικα. Η προσαρμογή του ηλεκτροκινητήρα στις αντίστοιχες στροφές για την ταχύτητα των 22 κόμβων είναι εύκολη υπόθεση. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως το κόστος ενός παγοθραυστικού LK-60 είναι 750 εκατομμύρια δολάρια. Γνωρίζουμε, ότι το κόστος ενός κανονικού παγοθραυστικού (δηλαδή με συμβατικό κινητήρα) δεν ξεπερνά τα 70 εκατομμύρια δολάρια. Άρα το σύστημα πρόωσης ενός LK-60 ανέρχεται περίπου στα 680 εκατομμύρια δολάρια. Έχουμε λοιπόν 680 εκατομμύρια δολάρια για ένα πυρηνικό σύστημα πρόωσης των 60MW με δύο RITM-200 αντιδραστήρες. Η αξία του πλοίου Cosco Shipping Universe ανέρχεται όπως προαναφέρθηκε στα 140 εκατομμύρια δολάρια ενώ το κόστος της μηχανολογικής του εγκατάστασης στην περίπτωση της συμβατικής μηχανής εκτιμήθηκε στα 24,579 εκατομμύρια δολάρια. Οπότε η αξία του ίδιου πλοίου με πυρηνικό σύστημα πρόωσης θα είναι $K_{TOTAL}=680+140-24,579=795,421$ εκατομμύρια δολάρια. Εκτιμούμε δηλαδή το κόστος κτήσης του Containership Cosco Shipping Universe με τους δύο RITM-200 αντιδραστήρες είναι 800 εκατομμύρια δολάρια. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως ένας RITM-200 αντιδραστήρας χρειάζεται 5,67 τόνους καυσίμου ουρανίου, αξίας 1,418343 εκατομμύρια δολάρια, για 7 χρόνια λειτουργίας. Άρα οι δύο RITM-200 αντιδραστήρες χρειάζονται 11,34 τόνους καυσίμου Ουρανίου, αξίας 2,836686 εκατομμυρίων δολλαρίων, για 7 χρόνια λειτουργίας. Συνεπώς το Containership Cosco Shipping Universe χρειάζεται για 1 χρόνο λειτουργίας 1.62 τόνους καυσίμου Ουρανίου, αξίας 405,241 χιλιάδες δολάρια. Επίσης τους 12000 τόνους των FOT και τους 1500 τόνους των DOT τους προσθέτουμε στο βάρος του payload (αφαιρώντας βέβαια τους 11,34 τόνους ουρανίου). Οι 147,5x2 τόνοι των αντιδραστήρων, το σύστημα των ατμοστροβίλων ηλεκτροπαραγωγής (με άνω όριο 450x2 τόνους) και οι ηλεκτροκινητήρες (με άνω όριο 200x2 τόνους) μας δίνουν μια διαφορά γύρω στους 1500 τόνους σε σχέση με τους 3000 τόνους της συμβατικής μηχανολογικής εγκατάστασης. Οπότε καταλήγουμε σε νέο $W_{PL}=195000$ τόνους.

4.4.1. Εισαγωγή – Σκοπός Μελέτης

Στην παρούσα μελέτη, πραγματοποιείται προμελέτη οικονομικής σκοπιμότητας Containership Cosco Shipping Universe με συμβατικό ναυτικό κινητήρα diesel. Το υπό μελέτη πλοίο υποτίθεται ότι έχει εξασφαλισμένη ναύλωση στην εξυπηρέτηση της γραμμής: «Λιμάνι Α - Λιμάνι Β», για τα επόμενα 20 χρόνια, τουλάχιστον. Η υπηρεσιακή ταχύτητα του είναι 22 kn, ενώ η μεταφορική του ικανότητα είναι DWT = 198485,2 t. Η διαδρομή «Λιμάνι Α - Λιμάνι Β», είναι συνολικά 15000 ναυτικά μίλια και θα καλύπτεται εν πλω από το υπό σχεδίαση πλοίο, μαζί με τις καθυστερήσεις εξόδου-εισόδου από τα λιμάνια που κατά μέσο όρο λαμβάνονται 2 ώρες (2hours) (χωρίς χρόνο φορτοεκφόρτωσης στα λιμάνια).

Το συνολικό κόστος κτήσεως-κατασκευής του πλοίου Cosco Shipping Universe ανέρχεται στα 800 εκατομμύρια δολάρια.

*Σημειώνεται πως ως λογιστική μονάδα υπολογισμού λαμβάνεται το αμερικάνικο δολλάριο.

4.4.2. Στοιχεία για Υπολογισμούς

Παρακάτω δίνονται τα στοιχεία του πυρηνοκίνητου Containership Cosco Shipping Universe που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς που ακολουθούν:

$L_{BP}=386,23$ Μήκος μεταξύ καθέτων σε μέτρα

B=58,6 Πλάτος πλοίου σε μέτρα

D=33,5 Κοίλο του πλοίου σε μέτρα από την τροπίδα ως το πρώτο συνεχές κατάστρωμα

T=18 Βύθισμα του πλοίου σε μέτρα στην έμφορτη κατάσταση

$W_{PL}=195000$ Βάρος ωφέλιμου φορτίου

$P_B=60000$ Ηλεκτρική ισχύς σε KW των δύο RITM-200 αντιδραστήρων συνολικά

GT=215553 Gross Tonnage

Number of 20ft Containers=21237

$C_{mhrm}=35$ Κόστος εργατοώρας για την μηχανολογική εγκατάσταση

$C_{FU7}=2836686$ Κόστος καυσίμου Ουρανίου σε δολλάρια για τους δύο RITM-200 αντιδραστήρες για 7 χρόνια λειτουργίας

$C_{FU}=405241$ Κόστος καυσίμου Ουρανίου σε δολλάρια για τους δύο RITM-200 αντιδραστήρες για 1 χρόνο λειτουργίας

$C_{FW}=1,0$ Κόστος πόσιμου νερού σε δολλάρια να τόνο

$C_{SALARY}=2000$ Κόστος μισθοδοσίας ανά άτομο

$C_{PROVISIONS}=10$ Κόστος τροφοδοσίας ανά άτομο ανά ημέρα

$C_{LO}=2000$ Κόστος λιπαντικών σε δολλάρια ανά τόνο

CREW=36 Persons on board

4.4.3. Κόστος Κτήσης του Πλοίου

Το κόστος κτήσης του πλοίου όπως αναφέρθηκε προηγουμένως είναι γνωστό και ανέρχεται στα 800 εκατομμύρια δολλάρια.

$$K_{TOTAL}=8*10^8$$

4.4.3.1. Συνολικό Κόστος Κατασκευής Άφορτου Πλοίου

Συνεπώς το συνολικό κόστος κατασκευής του πλήρως εξοπλισμένου αλλά άφορτου πλοίου είναι:

$$K_{TOTAL}=8*10^8$$

4.4.4. Κόστος Εκμετάλλευσης του Πλοίου

Το πλοίο έχει εξεταστεί να έχει ακτίνα ενέργειας ίση με $R=17500$ nautical miles, οπότε μπορεί εύκολα να καλύψει την απόσταση των 15000 ναυτικών μιλίων που απέχει το λιμάνι Α από το λιμάνι Β.

Με ταχύτητα υπηρεσίας $V_s=22$ knots

Άρα το πλοίο θα ταξιδεύει σε ώρες χρονικό διάστημα ίσο με $t=15000/V_s=681,8182$

Και σε μέρες είναι ίσο με $DAYS=t/24=28,4$

Θεωρούμε επίσης ότι χρειάζονται 48 ώρες δηλαδή 2 μέρες για να φορτώσει ή για να ξεφορτώσει το πλοίο το εμπόρευσμά του

Οπότε ένα κυκλικό ταξίδι θα διαρκέσει $2*28+2*2=61$ μέρες

Εάν θεωρήσουμε ότι το πλοίο ταξιδεύει 310 μέρες ενώ οι υπόλοιπες 55 είναι για επισκευές και δεξαμενισμούς, τότε ο αριθμός των ταξιδιών μέσα σε ένα έτος είναι:

$$\text{TRIPS}=310/61=5,1$$

Σημειώνεται ότι κανονικά θα έπρεπε να θεωρήσουμε 5 ταξίδια το χρόνο, όμως επειδή η μελέτη μας αφορά 20 χρόνια θα προκύψουν επιπλέον 2 ταξίδια (ακέραιος αριθμός). Αρα λαμβάνουμε:

$$\text{TRIPS}=5,1$$

4.4.4.1. Κόστος Λειτουργίας του Πλοίου

Το κόστος λειτουργίας του πλοίου διακρίνεται στο κόστος αναλωσίμων, στα λιμενικά τέλη, στο κόστος ασφάλισης και στο κόστος συντήρησης και επισκευών. Όλα τα παρακάτω επιμέρους κόστη λειτουργίας του πλοίου υπολογίζονται με εμπειρικούς τύπους.

$FU=1,62$ Βάρος καυσίμου Ουρανίου σε τόνους

$LO=400$ Βάρος αναλωσίμων σε τόνους

$FW=1000$ Βάρος αναλωσίμων σε τόνους

$M_{FU}=C_{FU}=4,052409*10^5$ Κόστος ανά έτος

$M_{LO}=LO*C_{LO}*TRIPS*15000/R=3,4952*10^6$ Κόστος ανά έτος

$M_{FW}=FW*C_{FW}*TRIPS*15000/R=4368,9942$ Κόστος ανά έτος

$M_{PROV}=C_{PROV}*(2*DAYS+2*2)*CREW*TRIPS=1,116*10^5$ Κόστος ανά έτος

$M_{CREW}=C_{SALARY}*12*CREW=8,64*10^5$ Κόστος ανά έτος

$$C_{ANAL}=M_{FU}+M_{LO}+M_{FW}+M_{PROV}+M_{CREW}=4,880405*10^6 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)}$$

Λιμενικά Τέλη

Στα λοιπά έξοδα περιλαμβάνονται τα λιμενικά τέλη, τα τέλη ασφάλισης, καθώς και το κόστος συντήρησης και επισκευών. Τα παραπάνω θα βρεθούν με εμπειρικούς τύπους.

$C_{LIM}=(600+50*L_{BP}*B*D/10^5)*(2*TRIPS)=9981,2999$ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Κόστος Ασφάλισης

$C_{ΑΣΦ}=770*(CREW+GT/100)=1,6875*10^6$ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)

Κόστος Συντήρησης και Επισκευών

Αυτό το κόστος χωρίζεται σε δύο επιμέρους κατηγορίες.

Την επισκευή και συντήρηση της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου

Την επισκευή και συντήρησης της μηχανολογικής εγκατάστασης του πλοίου

$$C_{MK}=2500*(L_{BP}*B*D/10^5)^{2/3}=9648,6294 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

$$C_{ME}=5,44*P_B=3,264*10^5 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

Οπότε το συνολικό κόστος συντήρησης και επισκευών θα είναι:

$$C_{ES}=C_{MK}+C_{ME}=3,36049*10^5 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου-Αναστασόπουλος, 2002)}$$

Οπότε τα έξοδα λειτουργίας μέσα σε ένα έτος θα είναι:

$$C_{E\Omega\Delta A}=C_{ANAL}+C_{LIM}+C_{AS\Phi}+C_{ES}=6,913913*10^6 \text{ (Πηγή: Παπανικολάου, 2009)}$$

4.4.5. Ελάχιστος Απαιτούμενος Ναύλος

Υποθέτουμε ότι για να αγοραστεί το πλοίο θα παρθεί δάνειο ίσο με το 70% της αξίας του πλοίου. Ο χρόνος αποπληρωμής του δανείου θα είναι 20 χρόνια. Το υπόλοιπο 30% θα δοθεί από τον ίδιο τον πλοιοκτήτη (ή την πλοιοκτήτρια εταιρία) από τα ίδια του τα κεφάλαια.

$$K_{\Delta}=70/100*K_{TOTAL}=5,6*10^8 \text{ Ύψος δανείου}$$

$$ΚΕΦΑΛΑΙΟ=30/100*K_{TOTAL}=2,4*10^8 \text{ Ύψος Κεφαλαίου}$$

Η διάρκεια εκμετάλλευσης του πλοίου ορίζεται στα 20 χρόνια και ως τελική αξία του πλοίου θεωρείται το 2,5% της αρχικής του αξίας.

$$ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ=2,5/100*K_{TOTAL}=2*10^7$$

(Πηγή: Ψαραύτης, 2005)

Η δόση του δανείου ανά έτος θα είναι:

$$\Delta = K_{\Delta} * \frac{r * (1 + r)^N}{(1 + r)^N - 1} = 5,703724 * 10^7$$

(Πηγή: Ψαραύτης, 2005)

Όπου: $r=0,08$ (μέση τιμή κυμαινόμενου επιτοκίου) και $N=20$ (τα χρόνια αποπληρωμής του δανείου)

Ο υπολογισμός του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου της επένδυσης γίνεται με τον μηδενισμό της εξίσωσης της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Κ.Π.Α.) .

$$ΚΠΑ = \sum_{t=0}^N \frac{E\sigma t - E\Xi t}{(1 + i)^t}$$

(Πηγή: Ψαραύτης, 2005)

$$ΚΠΑ = -\frac{ΚΕΦΑΛΑΙΟ}{(1 + i)^0} + E\sigma\Omega\Delta A * \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1 + i)^t} - E\Xi\Omega\Delta A * \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1 + i)^t} + \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1 + i)^{20}}$$

Στην προκειμένη περίπτωση το κόστος ευκαιρίας λαμβάνεται $i=12\%=0,12$. Θα εξεταστούν όμως όλες οι περιπτώσεις για $i=0,05$ έως $i=0,15$ με βήμα $0,01$.

Άρα

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

Επίσης, κάθε χρόνο τα ετήσια έξοδα της επένδυσης θα είναι:

$$ΕΞΟΔΑ = C_{ΕΞΟΔΑ} + \Delta = 6,395115 * 10^7$$

Οπότε για $KPA=0$ έχουμε,

$$-ΚΕΦΑΛΑΙΟ + ΕΣΟΔΑ * 7,47 - ΕΞΟΔΑ * 7,47 + \frac{ΤΕΛΙΚΗΧΑΞΙΑ}{(1+0,12)^{20}} = 0$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,47 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΧΑΞΙΑ}{(1+0,12)^{20}}}{7,47} = 9,580211 * 10^7$$

Υπενθυμίζεται ότι όταν μηδενίζεται η Κ.Π.Α. η επένδυση είναι αδιάφορη. Για θετική Κ.Π.Α. η επένδυση είναι συμφέρουσα ενώ για αρνητική η επένδυση δεν πρέπει να πραγματοποιηθεί.

Για να είναι συμφέρουσα η επένδυση λοιπόν πρέπει τα ετήσια ΕΣΟΔΑ να ξεπερνούν τα $9,580211 * 10^7$ δολάρια.

Για να συμβεί αυτό πρέπει από το κάθε ταξίδι να κερδίζει η εταιρεία

$$KTRIPS = \frac{ΕΣΟΔΑ}{TRIPS} = 1,879519 * 10^7$$

Δηλαδή ο τόνος ωφέλιμου φορτίου πρέπει να χρεώνεται ίσος με:

$$F = \frac{KTRIPS}{WPAYLOAD} = 96,3856$$

Όμως, στον υπολογισμό που έχουμε κάνει, οι πυρηνικοί αντιδραστήρες λειτουργούν ασταμάτητα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι 11,34 τόνοι καυσίμου Ουρανίου είναι αρκετοί για 7 χρόνια συνεχόμενης λειτουργίας. Κάθε 7 χρόνια απαιτείται αλλαγή των ράβδων καυσίμου και επανεκκίνηση του όλου συστήματος (η διαδικασία μπορεί να ολοκληρωθεί στο πλαίσιο μιας ημέρας). Το πλοίο έχουμε θεωρήσει ότι βρίσκεται 55 μέρες για επισκευές και δεξαμενισμούς ενώ περίπου συνολικά 20 μέρες το χρόνο βρίσκεται σε κάποιο λιμάνι για για τη φόρτωση ή την εκφόρτωση εμπορευμάτων (ο χρόνος αυτός συνήθως αυξάνεται λόγω καθυστερήσεων). Όλες αυτές τις περίπου 75 μέρες το πλοίο δεν χρειάζεται τους πυρηνικούς αντιδραστήρες για την πρόωσή του. Μπορεί όμως να τους χρησιμοποιήσει για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η πώληση αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας, στο λιμάνι ή στην εκάστοτε εγκατάσταση δεξαμενισμού ή επισκευών που βρίσκεται το πλοίο την εκάστοτε περίοδο, μπορεί να δώσει σημαντικά έσοδα στην ετήσια λειτουργία του πλοίου.

Θα υπολογίσουμε τώρα την τιμή στην οποία θα πρέπει το πλοίο να πουλάει την παραγόμενη από τους αντιδραστήρες ηλεκτρική ενέργεια αυτές τις 75 μέρες κάθε χρόνο, έτσι ώστε η

επένδυση του πυρηνοκίνητου πλοίου να είναι οικονομικά πιο συμφέρουσα έναντι αυτού με τη συμβατική μηχανή.

$$KTRIPS=F_{\Sigma} * WPAYLOAD=66,8931 * 195000=1,3044155 * 10^7$$

$$ΕΣΟΔΑ=KTRIPS * TRIPS=6,6488664 * 10^7$$

Για να κερδίζει η εταιρία πρέπει όπως υπολογίσαμε και προηγουμένως τα ΕΣΟΔΑ=5,17026*10⁷. Αυτό σημαίνει ότι τα ετήσια έσοδα από την πώληση ρεύματος, θα πρέπει να είναι :

$$ΕΣΟΔΑ_p=9,580211 * 10^7 - 6,6488664 * 10^7 = 2,9313446 * 10^7$$

$$ΕΣΟΔΑ_p=60000 * 24 * 75 * Electricity_Price$$

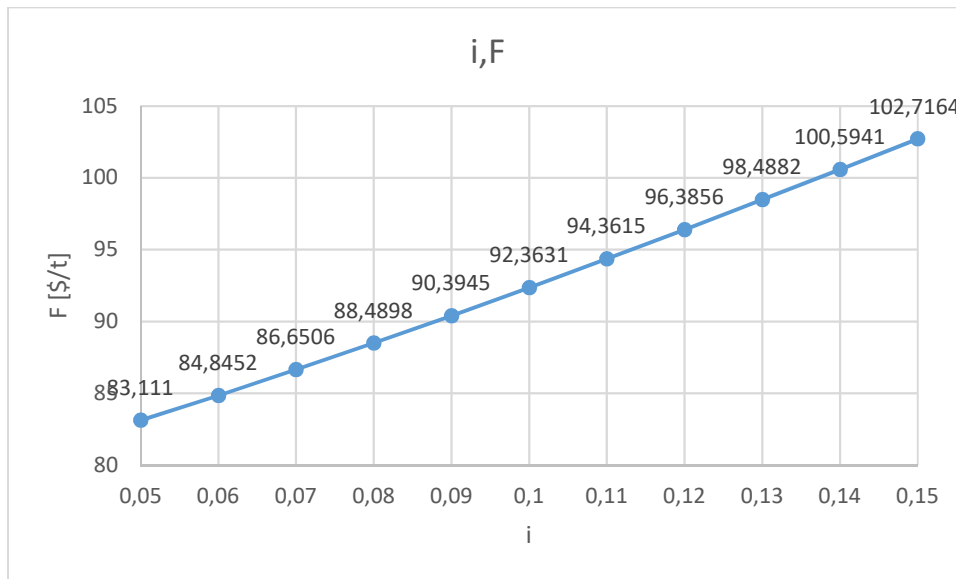
$$Electricity_Price=0,271 \$/ (KWh)$$

Η τιμή αυτή του ρεύματος είναι η τιμή για την οποία οι δύο επενδύσεις είναι ισοδύναμες. Για πώληση ρεύματος με χρέωση πάνω από αυτή την τιμή είναι πιο συμφέρουσα η επένδυση με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης. Αν δεν λάβουμε υπ' όψιν την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας σαφέστατα η χρήση πυρηνικής ενέργειας για την πρόωση του Containership Cosco Shipping Universe δεν είναι καθόλου συμφέρουσα . Αυτό οφείλετε στο πολύ υψηλό κόστος των δύο αντιδραστήρων, διότι όπως αποδεικνύεται και από τους παραπάνω υπολογισμούς το κόστος καυσίμων για την κίνηση του πλοίου είναι συντριπτικά μικρότερο στην περίπτωση της πυρηνοκίνησης.

Ακολουθεί ο πίνακας 4.4.1 με τις τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων της επένδυσης για την περίπτωση της πυρηνοκίνησης για τα διάφορα κόστη ευκαιρίας i και το διάγραμμα 4.4.1 που δείχνει για την περίπτωση της πυρηνοκίνησης τη μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F για τα διάφορα κόστη ευκαιρίας i.

i	F [\$/t]
0,05	83,111
0,06	84,8452
0,07	86,6506
0,08	88,4898
0,09	90,3945
0,10	92,3631
0,11	94,3615
0,12	96,3856
0,13	98,4882
0,13	100,5941
0,15	102,7164

Πίνακας 4.4.1: Οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F της επένδυσης στην περίπτωση της πυρηνοκίνησης για τα διάφορα κόστη ευκαιρίας i.



Διάγραμμα 4.4.1: Η μεταβολή του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου F της επένδυσης στην περίπτωση της πυρηνοκίνησης για τα διάφορα κόστη ευκαιρίας i.

Στη συνέχεια ακολουθούν πίνακες, για το κάθε κόστος ευκαιρίας i, που μας δίνουν την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος σε σχέση με τις εκάστοτε τιμές πετρελαίου έτσι ώστε η επένδυση που αφορά τη χρήση πυρηνικής ενέργειας να είναι η περισσότερο αποδοτική. Σημειώνεται ότι όπου προκύπτουν αρνητικές τιμές για το ρεύμα η επένδυση της πυρηνοκίνησης είναι περισσότερο συμφέρουσα και χωρίς την πώληση ρεύματος.

Για $i=0,05$:

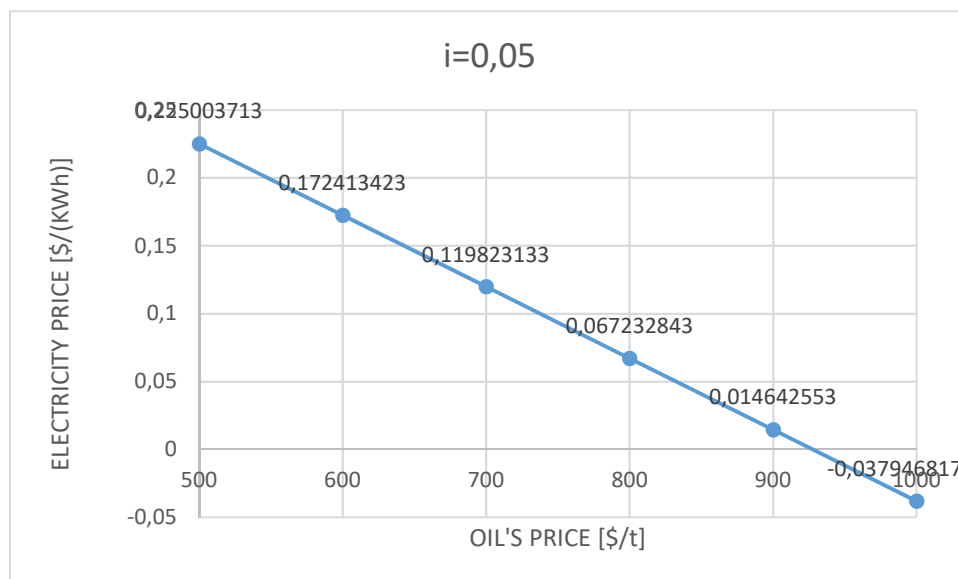
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,05)^t} = 12,46$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΣΟΔΑ * 12,46 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,05)^{20}}}{12,46}$$

Οπότε για $i=0,05$ στον πίνακα 4.4.2 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=83,111$. Στο διάγραμμα 4.4.2 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,05$ και για $F=83,111$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	83,111	0,225003713
600	83,111	0,172413423
700	83,111	0,119823133
800	83,111	0,067232843
900	83,111	0,014642553
1000	83,111	-0,037946817

Πίνακας 4.4.2: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,05$ και για $F=83,111$.



Διάγραμμα 4.4.2: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,05$ και για $F=83,111$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,06$:

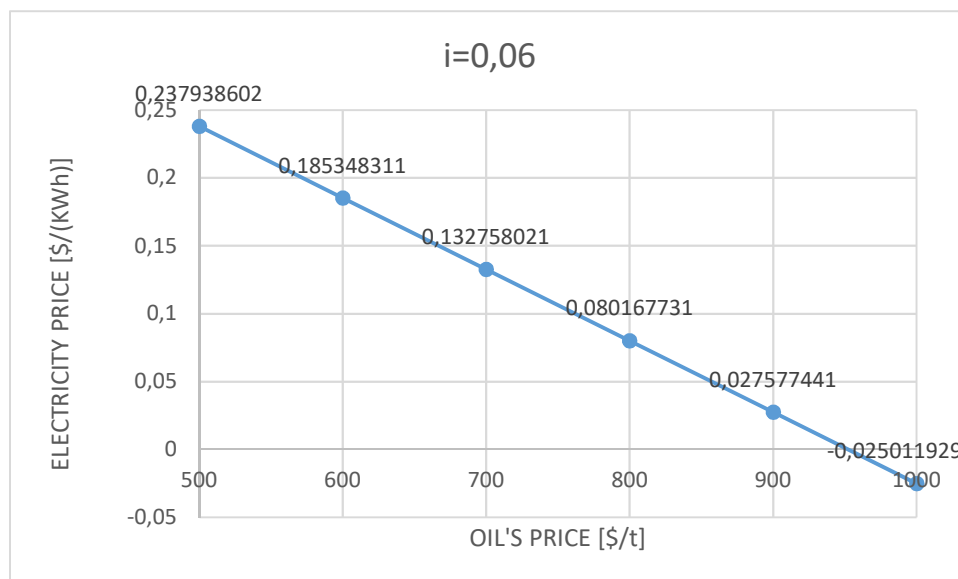
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,06)^t} = 11,47$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΣΟΔΑ * 11,47 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,06)^{20}}}{11,47}$$

Οπότε για $i=0,06$ στον πίνακα 4.4.3 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=84,8452$. Στο διάγραμμα 4.4.3 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,06$ και για $F=84,8452$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/ (KWh)]
500	84,8452	0,237938602
600	84,8452	0,185348311
700	84,8452	0,132758021
800	84,8452	0,080167731
900	84,8452	0,027577441
1000	84,8452	-0,025011929

Πίνακας 4.4.3: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,06$ και για $F=84,8452$.



Διάγραμμα 4.4.3: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,06$ και για $F=84,8452$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,07$:

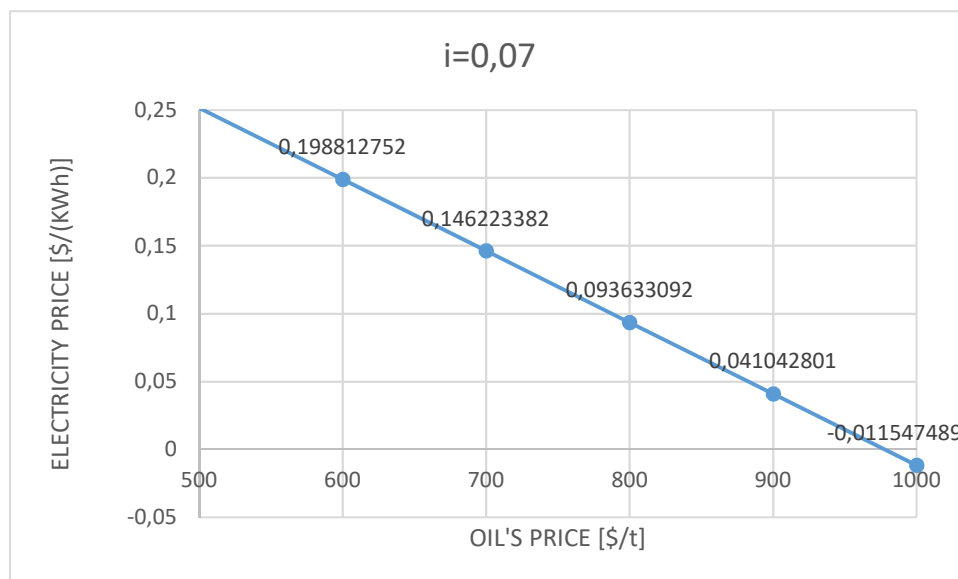
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,07)^t} = 10,59$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΣΟΔΑ * 10,59 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,07)^{20}}}{10,59}$$

Οπότε για $i=0,07$ στον πίνακα 4.4.4 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=86,6506$. Στο διάγραμμα 4.4.4 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,07$ και για $F=86,6506$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	86,6506	0,251403042
600	86,6506	0,198812752
700	86,6506	0,146223382
800	86,6506	0,093633092
900	86,6506	0,041042801
1000	86,6506	-0,011547489

Πίνακας 4.4.4: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,07$ και για $F=86,6506$.



Διάγραμμα 4.4.4: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,07$ και για $F=86,6506$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,08$:

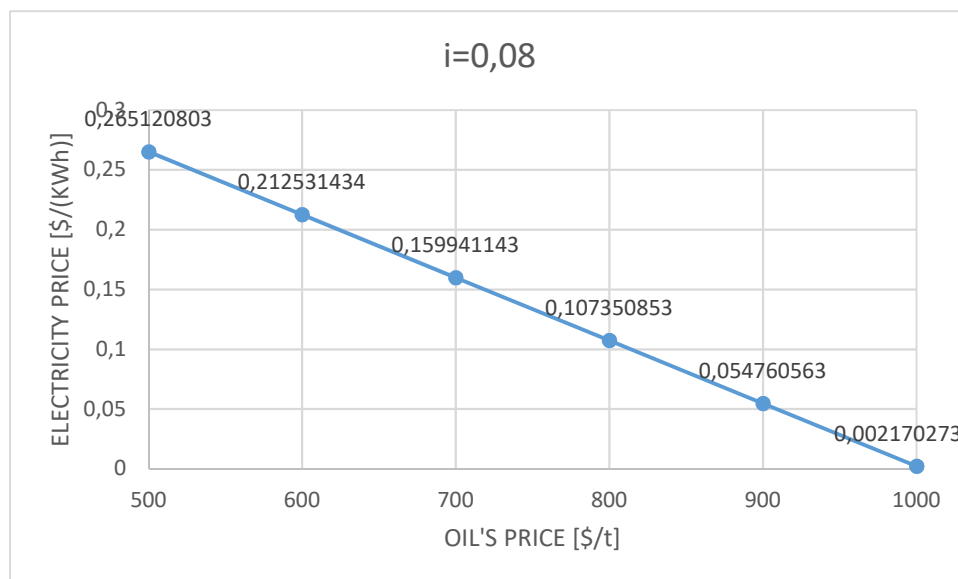
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,08)^t} = 9,82$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 9,82 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,08)^{20}}}{9,82}$$

Οπότε για $i=0,08$ στον πίνακα 4.4.5 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=88,4898$. Στο διάγραμμα 4.4.5 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,08$ και για $F=88,4898$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	88,4898	0,265120803
600	88,4898	0,212531434
700	88,4898	0,159941143
800	88,4898	0,107350853
900	88,4898	0,054760563
1000	88,4898	0,002170273

Πίνακας 4.4.5: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,08$ και για $F=88,4898$.



Διάγραμμα 4.4.5: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,08$ και για $F=88,4898$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,09$:

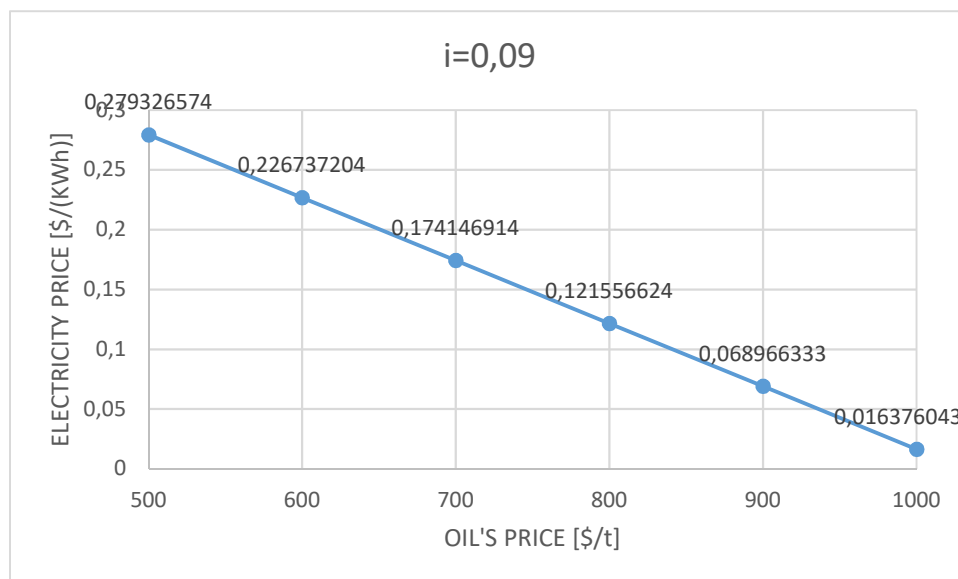
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,09)^t} = 9,13$$

$$ΕΞΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 9,13 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,09)^{20}}}{9,13}$$

Οπότε για $i=0,09$ στον πίνακα 4.4.6 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=90,3945$. Στο διάγραμμα 4.4.6 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,09$ και για $F=90,3945$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	90,3945	0,279326574
600	90,3945	0,226737204
700	90,3945	0,174146914
800	90,3945	0,121556624
900	90,3945	0,068966333
1000	90,3945	0,016376043

Πίνακας 4.4.6: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,09$ και για $F=90,3945$.



Διάγραμμα 4.4.6: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,09$ και για $F=90,3945$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,10$:

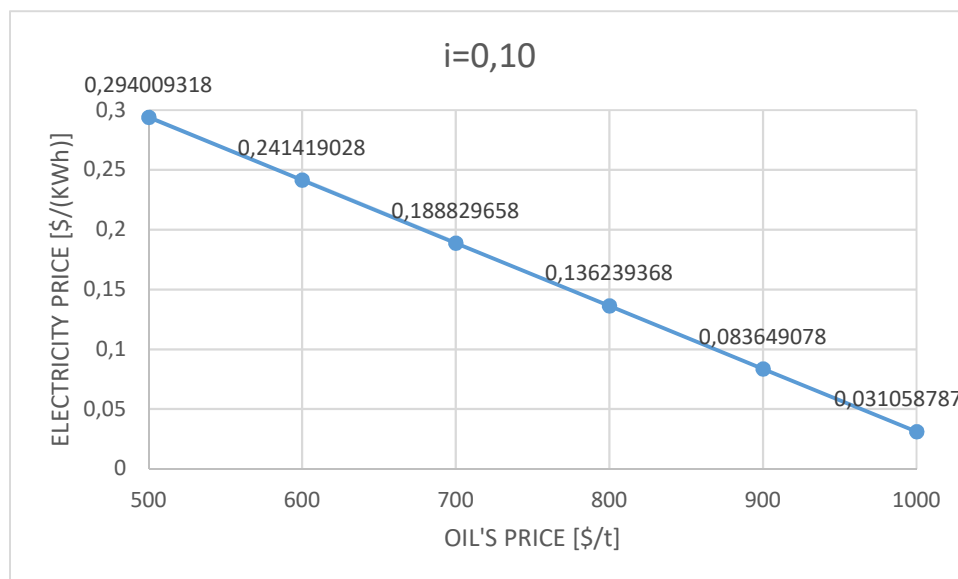
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,10)^t} = 8,51$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 8,51 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,10)^{20}}}{8,51}$$

Οπότε για $i=0,10$ στον πίνακα 4.4.7 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=92,3631$. Στο διάγραμμα 4.4.7 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,10$ και για $F=92,3631$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	92,3631	0,294009318
600	92,3631	0,241419028
700	92,3631	0,188829658
800	92,3631	0,136239368
900	92,3631	0,083649078
1000	92,3631	0,031058787

Πίνακας 4.4.7: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,10$ και για $F=92,3631$.



Διάγραμμα 4.4.7: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,10$ και για $F=92,3631$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,11$:

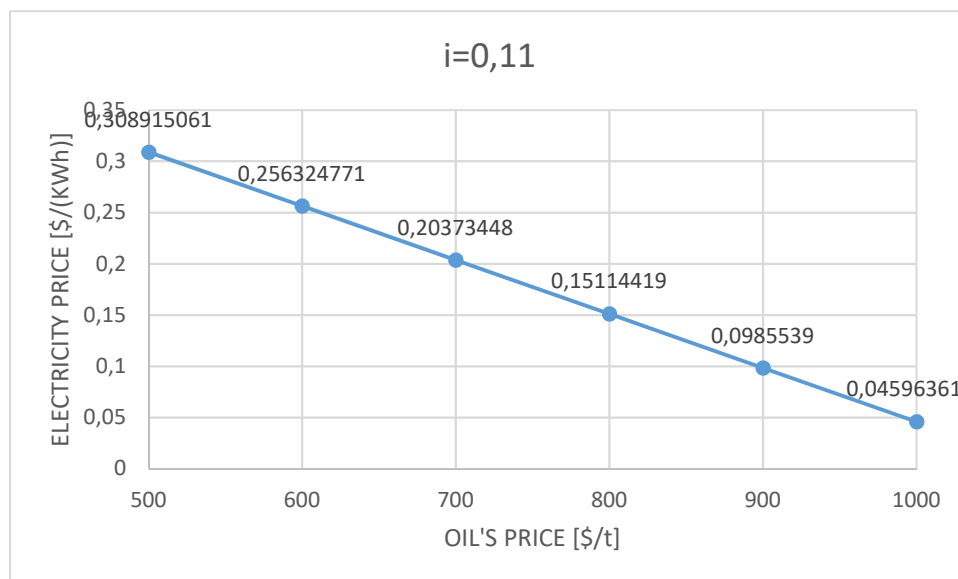
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,11)^t} = 7,96$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,96 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,11)^{20}}}{7,96}$$

Οπότε για $i=0,11$ στον πίνακα 4.4.8 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=94,3615$. Στο διάγραμμα 4.4.8 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,11$ και για $F=94,3615$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	94,3615	0,308915061
600	94,3615	0,256324771
700	94,3615	0,20373448
800	94,3615	0,15114419
900	94,3615	0,0985539
1000	94,3615	0,04596361

Πίνακας 4.4.8: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,11$ και για $F=94,3615$.



Διάγραμμα 4.4.8: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,11$ και για $F=94,3615$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,12$:

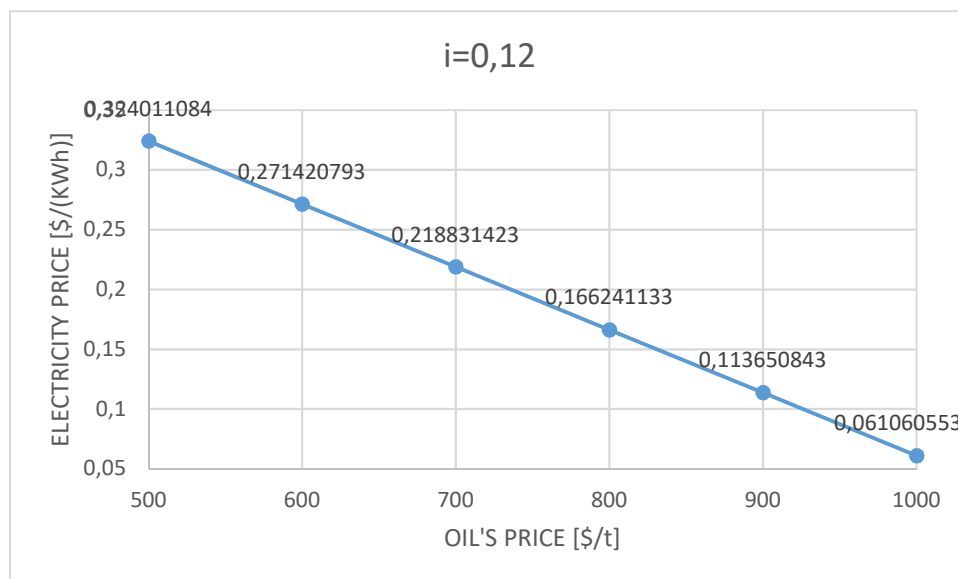
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,12)^t} = 7,47$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,47 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,12)^{20}}}{7,47}$$

Οπότε για $i=0,12$ στον πίνακα 4.4.9 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=96,3856$. Στο διάγραμμα 4.4.9 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,12$ και για $F=96,3856$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	96,3856	0,324011084
600	96,3856	0,271420793
700	96,3856	0,218831423
800	96,3856	0,166241133
900	96,3856	0,113650843
1000	96,3856	0,061060553

Πίνακας 4.4.9: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,12$ και για $F=96,3856$.



Διάγραμμα 4.4.9: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,12$ και για $F=96,3856$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,13$:

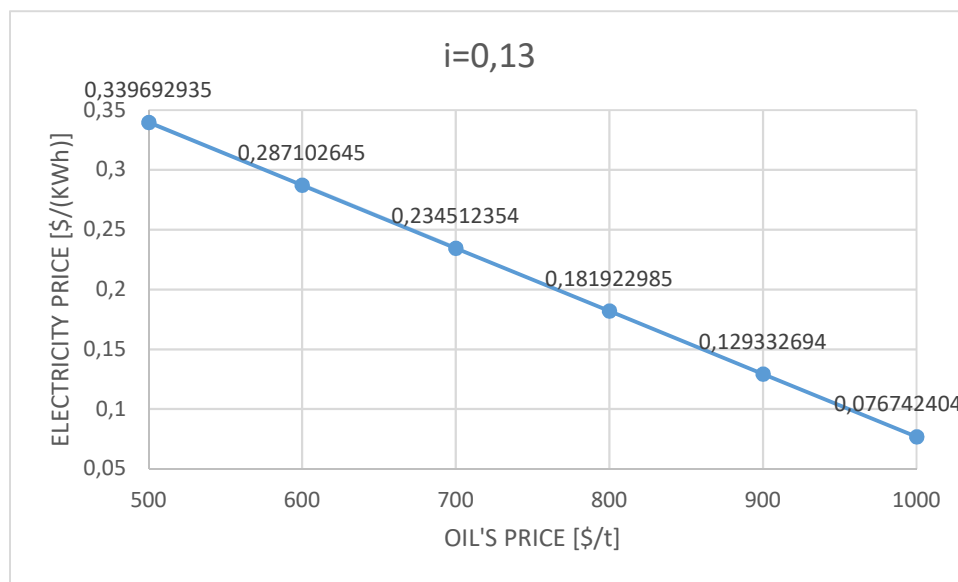
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,13)^t} = 7,02$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 7,02 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,13)^{20}}}{7,02}$$

Οπότε για $i=0,13$ στον πίνακα 4.4.10 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=98,4882$. Στο διάγραμμα 4.4.10 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,13$ και για $F=98,4882$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	98,4882	0,339692935
600	98,4882	0,287102645
700	98,4882	0,234512354
800	98,4882	0,181922985
900	98,4882	0,129332694
1000	98,4882	0,076742404

Πίνακας 4.4.10: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,13$ και για $F=98,4882$.



Διάγραμμα 4.4.10: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,13$ και για $F=98,4882$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,14$:

$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,14)^t} = 6,62$$

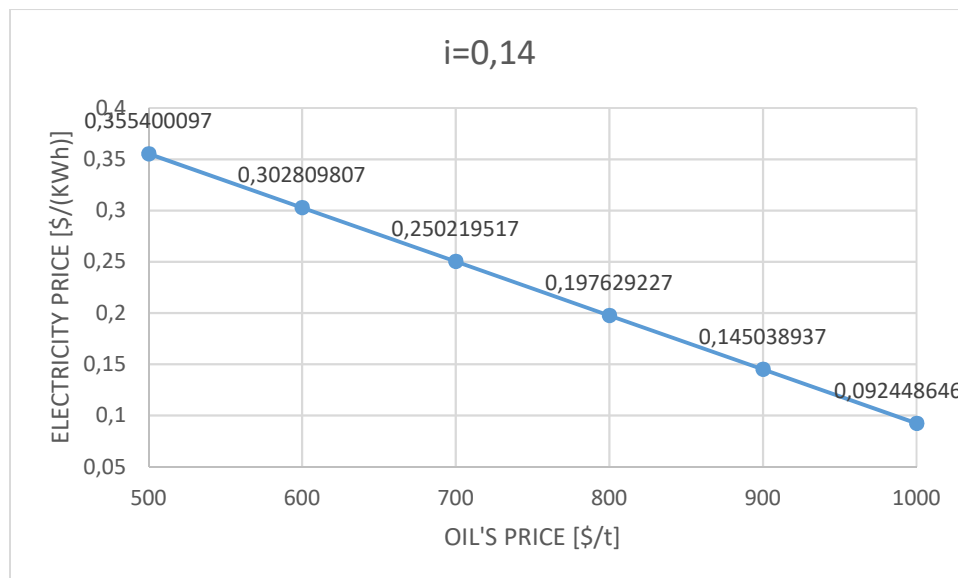
$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 6,62 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,14)^{20}}}{6,62}$$

για τα διάφορα κόστη ευκαιρίας i .

Οπότε για $i=0,14$ στον πίνακα 4.4.11 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=100,5941$. Στο διάγραμμα 4.4.11 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,14$ και για $F=100,5941$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	100,5941	0,355400097
600	100,5941	0,302809807
700	100,5941	0,250219517
800	100,5941	0,197629227
900	100,5941	0,145038937
1000	100,5941	0,092448646

Πίνακας 4.4.11: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,14$ και για $F=100,5941$.



Διάγραμμα 4.4.11: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,14$ και για $F=100,5941$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Για $i=0,15$:

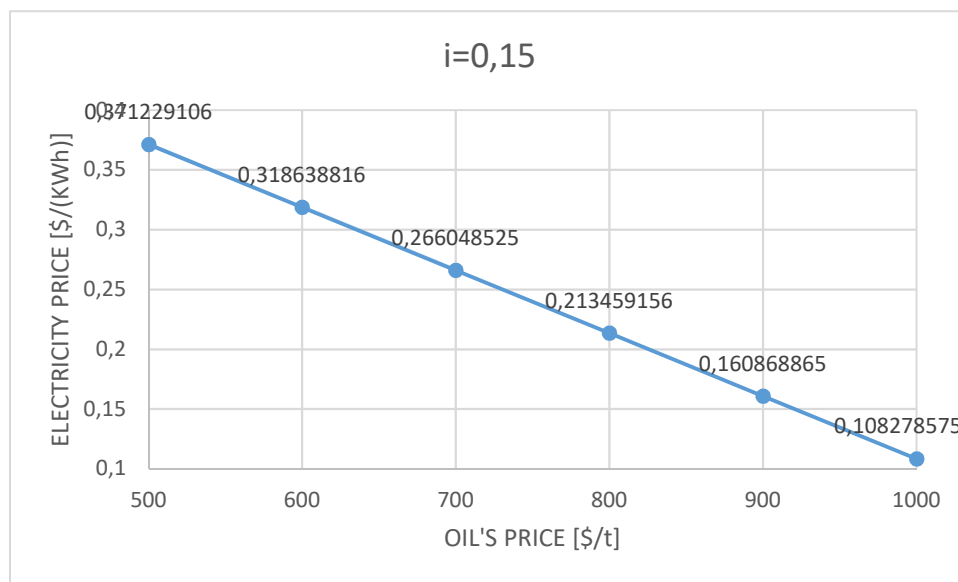
$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+0,15)^t} = 6,26$$

$$ΕΣΟΔΑ = \frac{ΕΞΟΔΑ * 6,26 + ΚΕΦΑΛΑΙΟ - \frac{ΤΕΛΙΚΗΑΞΙΑ}{(1+0,15)^{20}}}{6,26}$$

Οπότε για $i=0,15$ στον πίνακα 4.4.12 δίνεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t και για $F=102,7164$. Στο διάγραμμα 4.4.12 φαίνεται πως μεταβάλλεται η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή πώλησης του ρεύματος από το πυρηνοκίνητο πλοίο έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,15$ και για $F=102,7164$.

OIL'S PRICE [\$/t]	F [\$/t]	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	102,7164	0,371229106
600	102,7164	0,318638816
700	102,7164	0,266048525
800	102,7164	0,213459156
900	102,7164	0,160868865
1000	102,7164	0,108278575

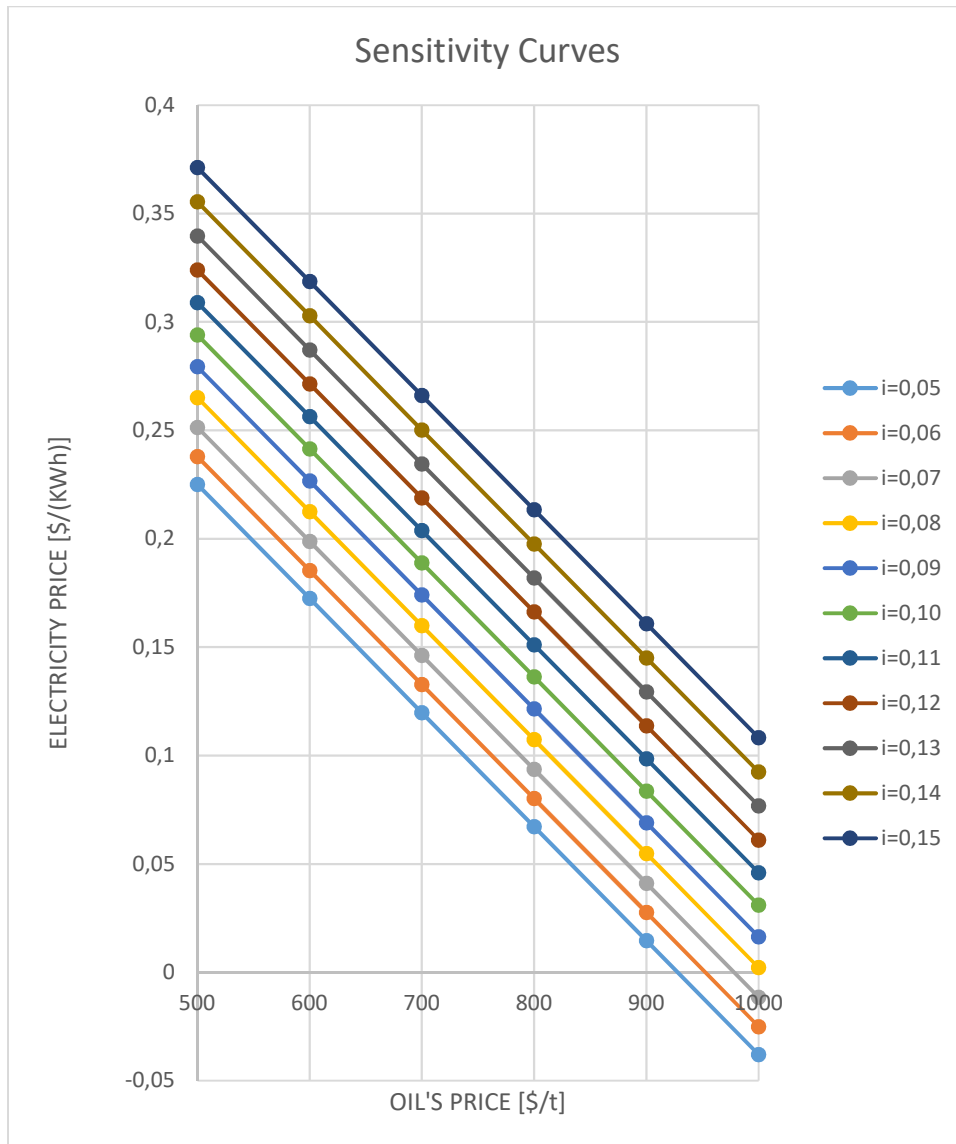
Πίνακας 4.4.12: Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι πιο αποδοτική για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,15$ και για $F=102,7164$.



Διάγραμμα 4.4.12: Η μεταβολή της ελάχιστης απαιτούμενης τιμής πώλησης ρεύματος για τις διάφορες τιμές πώλησης του πετρελαίου από 500 έως 1000 \$/t, για $i=0,15$ και για $F=102,7164$ έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης να είναι περισσότερο αποδοτική.

Στο διάγραμμα 4.4.13 παρουσιάζονται όλες οι παραπάνω μεταβολές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων της επένδυσης σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του πετρελαίου κίνησης από 500 έως 1000 \$/t για τα διάφορα κόσθη ευκαιρίας

$i=0.05,0.06,0.07,0.08,0.09,0.10,0.11,0.12, 0.13,0.14,0.15$. Όλες οι παραπάνω μεταβολές σε ένα διάγραμμα μας δίνουν μία αίσθηση του πόσο ευμετάβλητο-ευαίσθητο είναι το πρόβλημα που μελετάμε σε σχέση με τους παράγοντες που το επηρεάζουν για αυτό και ονομάζονται Καμπύλες-Ευαισθησίας.



Διάγραμμα 4.4.13: Καμπύλες Ευαισθησίας

Κεφάλαιο 5. Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα

Αρχικά σε συγκεντρωτικούς πίνακες θα συγκρίνουμε τις τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης, για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης για το κάθε πλοίο. Επίσης, στους πίνακες παρατίθενται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές ρεύματος, στις οποίες το κάθε πλοίο πρέπει να πουλάει σε κάθε περίπτωση το παραγόμενο ρεύμα από τον αντιδραστήρα του, όταν δεν το χρησιμοποιεί για την κίνησή του. Αν το πλοίο καταφέρει να πουλάει το παραγόμενο ρεύμα παραπάνω από αυτήν την τιμή τότε η επένδυση της πυρηνοκίνησης είναι καλύτερη και φυσικά πιο αποδοτική.

Bulk Carrier Samson

Για $i=0,05$

Στον πίνακα 5.1 για $i=0,05$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Samson από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Samson να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/((KWh))]
500	35,1337	68,9917	0,371268219
600	37,4648	68,9917	0,337319795
700	39,796	68,9917	0,303369914
800	42,1272	68,9917	0,269420033
900	44,4583	68,9917	0,235471609
1000	46,7895	68,9917	0,201521728

Πίνακας 5.1: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Bulk Carrier M/V Samson για κόστος ευκαιρίας $i=0,05$.

Για $i=0,06$

Στον πίνακα 5.2 για $i=0,06$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Samson από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Samson να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/((KWh))]
500	35,4685	70,4507	0,385063867
600	37,7996	70,4507	0,351115442
700	40,1308	70,4507	0,317165562
800	42,462	70,4507	0,283215681
900	44,7931	70,4507	0,249267256

1000	47,1243	70,4507	0,215317376
------	---------	---------	-------------

Πίνακας 5.2: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Bulk Carrier M/V Samson για κόστος ευκαιρίας $i=0,06$.

Για $i=0,07$

Στον πίνακα 5.3 για $i=0,07$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Samson από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Samson να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/((KWh))]
500	35,817	71,9694	0,39942468
600	38,1482	71,9694	0,3654748
700	40,4793	71,9694	0,331526375
800	42,8105	71,9694	0,297576494
900	45,1417	71,9694	0,263626614
1000	47,4728	71,9694	0,229678189

Πίνακας 5.3: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Bulk Carrier M/V Samson για κόστος ευκαιρίας $i=0,07$.

Για $i=0,08$

Στον πίνακα 5.4 για $i=0,08$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Samson από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Samson να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/((KWh))]
500	36,1721	73,5167	0,414054654
600	38,5032	73,5167	0,38010623
700	40,8344	73,5167	0,346156349
800	43,1656	73,5167	0,312206468
900	45,4967	73,5167	0,278258044
1000	47,8279	73,5167	0,244308163

Πίνακας 5.4: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Bulk Carrier M/V Samson για κόστος ευκαιρίας $i=0,08$.

Για $i=0,09$

Στον πίνακα 5.5 για $i=0,09$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Samson από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Samson να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/((kWh))]
500	36,5398	75,119	0,429205695
600	38,871	75,119	0,395255814
700	41,2021	75,119	0,361307389
800	43,5333	75,119	0,327357509
900	45,8644	75,119	0,293409084
1000	48,1956	75,119	0,259459203

Πίνακας 5.5: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Bulk Carrier M/V Samson για κόστος ευκαιρίας $i=0,09$.

Για $i=0,10$

Στον πίνακα 5.6 για $i=0,10$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Samson από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Samson να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/((kWh))]
500	36,9198	76,7751	0,444865504
600	39,251	76,7751	0,410915623
700	41,5822	76,7751	0,376965742
800	43,9133	76,7751	0,343017318
900	46,2445	76,7751	0,309067437
1000	48,5757	76,7751	0,275117556

Πίνακας 5.6: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Bulk Carrier M/V Samson για κόστος ευκαιρίας $i=0,10$.

Για $i=0,11$

Στον πίνακα 5.7 για $i=0,11$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Samson από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Samson να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/((kWh))]
--------------------	-------	-------	--------------------------------

500	37,3056	78,4563	0,460762274
600	39,6368	78,4563	0,426812393
700	41,968	78,4563	0,392862513
800	44,2991	78,4563	0,358914088
900	46,6303	78,4563	0,324964207
1000	48,9615	78,4563	0,291014327

Πίνακας 5.7: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Bulk Carrier M/V Samson για κόστος ευκαιρίας $i=0,11$.

Για $i=0,12$

Στον πίνακα 5.8 για $i=0,12$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Samson από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Samson να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	37,6964	80,1591	0,476862617
600	40,0276	80,1591	0,442912736
700	42,3587	80,1591	0,408964312
800	44,6899	80,1591	0,375014431
900	47,0211	80,1591	0,34106455
1000	49,3522	80,1591	0,307116126

Πίνακας 5.8: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Bulk Carrier M/V Samson για κόστος ευκαιρίας $i=0,12$.

Για $i=0,13$

Στον πίνακα 5.9 για $i=0,13$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Samson από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Samson να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	38,1023	81,9279	0,493587698
600	40,4335	81,9279	0,459637817
700	42,7646	81,9279	0,425689393
800	45,0958	81,9279	0,391739512
900	47,427	81,9279	0,357789631
1000	49,7581	81,9279	0,323841207

Πίνακας 5.9: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Bulk Carrier M/V Samson για κόστος ευκαιρίας $i=0,13$.

Για $i=0,14$

Στον πίνακα 5.10 για $i=0,14$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Samson από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Samson να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	38,5089	83,6995	0,510338497
600	40,84	83,6995	0,476390073
700	43,1712	83,6995	0,442440192
800	45,5024	83,6995	0,408490311
900	47,8335	83,6995	0,374541887
1000	50,1647	83,6995	0,340592006

Πίνακας 5.10: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Bulk Carrier M/V Samson για κόστος ευκαιρίας $i=0,14$.

Για $i=0,15$

Στον πίνακα 5.11 για $i=0,15$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Samson από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Samson να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	38,9186	85,4849	0,527221333
600	41,2498	85,4849	0,493271452
700	43,5809	85,4849	0,459323027
800	45,9121	85,4849	0,425373147
900	48,2433	85,4849	0,391423266
1000	50,5744	85,4849	0,357474841

Πίνακας 5.11: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Bulk Carrier M/V Samson για κόστος ευκαιρίας $i=0,15$.

Containership Cosco Shipping Universe

Για $i=0,05$

Στον πίνακα 5.12 για $i=0,05$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Cosco Shipping Universe από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Cosco Shipping Universe να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/((KWh))]
500	58,6621	83,111	0,225003713
600	64,3764	83,111	0,172413423
700	70,0907	83,111	0,119823133
800	75,805	83,111	0,067232843
900	81,5193	83,111	0,014642553
1000	87,2335	83,111	-0,037946817

Πίνακας 5.12: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Containership M/V Cosco Shipping Universe για κόστος ευκαιρίας $i=0,05$.

Για $i=0,06$

Στον πίνακα 5.13 για $i=0,06$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Cosco Shipping Universe από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Cosco Shipping Universe να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/((KWh))]
500	58,9909	84,8452	0,237938602
600	64,7052	84,8452	0,185348311
700	70,4195	84,8452	0,132758021
800	76,1338	84,8452	0,080167731
900	81,8481	84,8452	0,027577441
1000	87,5623	84,8452	-0,025011929

Πίνακας 5.13: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Containership M/V Cosco Shipping Universe για κόστος ευκαιρίας $i=0,06$.

Για $i=0,07$

Στον πίνακα 5.14 για $i=0,07$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Cosco Shipping Universe από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Cosco Shipping Universe να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	59,3332	86,6506	0,251403042
600	65,0475	86,6506	0,198812752
700	70,7617	86,6506	0,146223382
800	76,476	86,6506	0,093633092
900	82,1903	86,6506	0,041042801
1000	87,9046	86,6506	-0,011547489

Πίνακας 5.14: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Containership M/V Cosco Shipping Universe για κόστος ευκαιρίας $i=0,07$.

Για $i=0,08$

Στον πίνακα 5.15 για $i=0,08$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Cosco Shipping Universe από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Cosco Shipping Universe να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	59,6819	88,4898	0,265120803
600	65,3961	88,4898	0,212531434
700	71,1104	88,4898	0,159941143
800	76,8247	88,4898	0,107350853
900	82,539	88,4898	0,054760563
1000	88,2533	88,4898	0,002170273

Πίνακας 5.15: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Containership M/V Cosco Shipping Universe για κόστος ευκαιρίας $i=0,08$.

Για $i=0,09$

Στον πίνακα 5.16 για $i=0,09$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Cosco Shipping Universe από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε

η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Cosco Shipping Universe να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F ₀	F _N	ELECTRICITY PRICE [\$/((KWh))]
500	60,043	90,3945	0,279326574
600	65,7572	90,3945	0,226737204
700	71,4715	90,3945	0,174146914
800	77,1858	90,3945	0,121556624
900	82,9001	90,3945	0,068966333
1000	88,6144	90,3945	0,016376043

Πίνακας 5.16: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Containership M/V Cosco Shipping Universe για κόστος ευκαιρίας $i=0,09$.

Για $i=0,10$

Στον πίνακα 5.17 για $i=0,10$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Cosco Shipping Universe από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Cosco Shipping Universe να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F ₀	F _N	ELECTRICITY PRICE [\$/((KWh))]
500	60,4162	92,3631	0,294009318
600	66,1305	92,3631	0,241419028
700	71,8447	92,3631	0,188829658
800	77,559	92,3631	0,136239368
900	83,2733	92,3631	0,083649078
1000	88,9876	92,3631	0,031058787

Πίνακας 5.17: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Containership M/V Cosco Shipping Universe για κόστος ευκαιρίας $i=0,10$.

Για $i=0,11$

Στον πίνακα 5.18 για $i=0,11$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Cosco Shipping Universe από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Cosco Shipping Universe να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F ₀	F _N	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	60,795	94,3615	0,308915061
600	66,5093	94,3615	0,256324771
700	72,2236	94,3615	0,20373448
800	77,9379	94,3615	0,15114419
900	83,6522	94,3615	0,0985539
1000	89,3665	94,3615	0,04596361

Πίνακας 5.18: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Containership M/V Cosco Shipping Universe για κόστος ευκαιρίας $i=0,11$.

Για $i=0,12$

Στον πίνακα 5.19 για $i=0,12$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Cosco Shipping Universe από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Cosco Shipping Universe να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F ₀	F _N	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	61,1788	96,3856	0,324011084
600	66,8931	96,3856	0,271420793
700	72,6073	96,3856	0,218831423
800	78,3216	96,3856	0,166241133
900	84,0359	96,3856	0,113650843
1000	89,7502	96,3856	0,061060553

Πίνακας 5.19: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Containership M/V Cosco Shipping Universe για κόστος ευκαιρίας $i=0,12$.

Για $i=0,13$

Στον πίνακα 5.20 για $i=0,13$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Cosco Shipping Universe από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Cosco Shipping Universe να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F ₀	F _N	ELECTRICITY PRICE [\$/kWh]
500	61,5774	98,4882	0,339692935
600	67,2917	98,4882	0,287102645
700	73,006	98,4882	0,234512354
800	78,7202	98,4882	0,181922985
900	84,4345	98,4882	0,129332694
1000	90,1488	98,4882	0,076742404

Πίνακας 5.20: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Containership M/V Cosco Shipping Universe για κόστος ευκαιρίας $i=0,13$.

Για $i=0,14$

Στον πίνακα 5.21 για $i=0,14$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Cosco Shipping Universe από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Cosco Shipping Universe να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/ (KWh)]
500	61,9766	100,5941	0,355400097
600	67,6909	100,5941	0,302809807
700	73,4052	100,5941	0,250219517
800	79,1195	100,5941	0,197629227
900	84,8338	100,5941	0,145038937
1000	90,5481	100,5941	0,092448646

Πίνακας 5.21: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Containership M/V Cosco Shipping Universe για κόστος ευκαιρίας $i=0,14$.

Για $i=0,15$

Στον πίνακα 5.22 για $i=0,15$ συγκρίνονται οι τιμές των Ελάχιστων Απαιτούμενων Ναύλων F_0 της επένδυσης για την περίπτωση της συμβατικής πρόωσης με μηχανή Diesel σε σχέση με τους αντίστοιχους Ελάχιστους Απαιτούμενους Ναύλους F_N της επένδυσης της πυρηνοκίνησης για τις διάφορες τιμές του πετρελαίου κίνησης του M/V Cosco Shipping Universe από 500 έως 1000 \$/t, συγχρόνως δίνονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές πώλησης ρεύματος έτσι ώστε η επένδυση της πυρηνοκίνησης για το πλοίο Cosco Shipping Universe να είναι περισσότερο αποδοτική.

OIL'S PRICE [\$/t]	F_0	F_N	ELECTRICITY PRICE [\$/ (KWh)]
500	62,379	102,7164	0,371229106
600	68,0933	102,7164	0,318638816
700	73,8076	102,7164	0,266048525
800	79,5218	102,7164	0,213459156
900	85,2361	102,7164	0,160868865
1000	90,9504	102,7164	0,108278575

Πίνακας 5.22: Σύγκριση των Οικονομικών Αποτελεσμάτων μεταξύ της επένδυσης με τη συμβατική μηχανή Diesel και της επένδυσης με το πυρηνικό σύστημα πρόωσης για το Containership M/V Cosco Shipping Universe για κόστος ευκαιρίας $i=0,15$.

Η χαμηλότερη τιμή παραγωγής ρεύματος προέρχεται αυτή τη στιγμή από την καύση φυσικού αερίου. Η παραγωγή ρεύματος κοστίζει σε ένα μεγάλο εργοστάσιο παραγωγής 0,04-0,06

δολάρια ανά κιλοβατώρα. Το παραγόμενο ρεύμα πωλείται στους διάφορους καταναλωτές γύρω στα 0,10-0,15 \$/(KWh). Το ρεύμα γενικά είναι ακριβότερο στα λιμάνια. Εκτιμούμε λοιπόν ότι η ανώτερη ανταγωνιστική τιμή για την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας από το πυρηνοκίνητο πλοίο θα είναι τα 0,25 \$/(KWh).

Στους παραπάνω πίνακες για τις τιμές ρεύματος με πράσινο χρώμα παρουσιάζονται οι επενδύσεις που σύμφωνα με τις παραπάνω παραδοχές πρέπει να πραγματοποιηθούν, με κόκκινο οι επενδύσεις που δεν πρέπει να πραγματοποιηθούν και με κίτρινο οι επενδύσεις που ακόμα και χωρίς να λάβουμε υπόψιν την πώληση ρεύματος πρέπει να πραγματοποιηθούν.

Συγκεκριμένα στην περίπτωση του Bulk Carrier Samson πρέπει να πραγματοποιηθούν οι επενδύσεις για την κίνηση του πλοίου με πυρηνική ενέργεια στις ακόλουθες 6 περιπτώσεις που σημειώνονται με μπλε στον παρακάτω πίνακα 5.23 :

i	OIL'S PRICE [\$/t]					
	500	600	700	800	900	1000
0,05						
0,06						
0,07						
0,08						
0,09						
0,10						
0,11						
0,12						
0,13						
0,14						
0,15						

Πίνακας 5.23: Οι περιπτώσεις που πρέπει να πραγματοποιηθούν οι επενδύσεις για την κίνηση του Bulk Carrier Samson με πυρηνική ενέργεια.

Στην περίπτωση του Containership Cosco Shipping Universe πρέπει να πραγματοποιηθούν οι επενδύσεις για την κίνηση του πλοίου με πυρηνική ενέργεια στις ακόλουθες 50 περιπτώσεις που σημειώνονται με μπλε στον παρακάτω πίνακα 5.24 :

i	OIL'S PRICE [\$/t]					
	500	600	700	800	900	1000
0,05						
0,06						
0,07						
0,08						
0,09						
0,10						
0,11						
0,12						
0,13						
0,14						
0,15						

Πίνακας 5.24: Οι περιπτώσεις που πρέπει να πραγματοποιηθούν οι επενδύσεις για την κίνηση του Containership Cosco Shipping Universe με πυρηνική ενέργεια.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η επένδυση ενός πυρηνοκίνητου πλοίου είναι περισσότερο συμφέρουσα ιδίως στις περιπτώσεις μεγάλης υποδύναμης και ταχύτητας υπηρεσίας. Ιδανικό δηλαδή θα ήταν ένα πυρηνοκίνητο πλοίο πολύ μεγάλου μεγέθους με ειδικά σχεδιασμένη γάστρα για μεγάλες ταχύτητες πλεύσης γύρω στους 25 κόμβους. Η άνοδος της τιμής του πετρελαίου και οι νέες απαιτήσεις για πιο φιλικά προς το περιβάλλον αλλά σημαντικά ακριβότερα ναυτικά καύσιμα οδηγούν και ενισχύουν τη σκέψη για χρήση της πυρηνικής ενέργειας για την πρόωση και εμπορικών πλοίων.

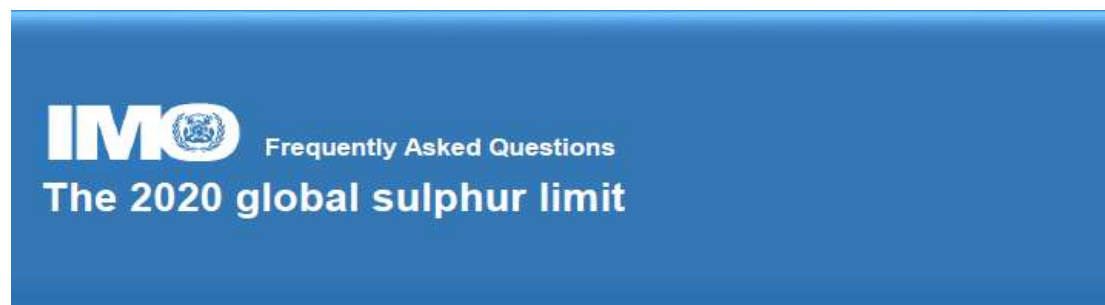
Συγκεκριμένα λαμβάνοντας την τιμή του πετρελαίου 600\$/t, το Bulk Carrier Samson ξοδεύει σε καύσιμα 263,03582 εκατομμύρια δολάρια για τα 20 χρόνια λειτουργίας, ενώ το Containership Cosco Shipping Universe 786,419 εκατομμύρια δολάρια. Τα ίδια πλοία στην περίπτωση της πρόωσης με χρήση πυρηνικής ενέργειας ξοδεύουν αντίστοιχα 4,0524 εκατομμύρια δολάρια και 8,1048 εκατομμύρια δολάρια για τα 20 χρόνια λειτουργίας, χωρίς να ληφθούν υπόψη τα έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας. Μία πραγματικά συντριπτική διαφορά. Το τρομακτικό όμως αρχικό κόστος κτήσης των αντιδραστήρων περιορίζει ή ακόμα και αντιστρέφει σε πολλές περιπτώσεις αυτή τη διαφορά όπως είδαμε παραπάνω. Η πρόοδος της τεχνολογίας θα οδηγήσει σε νέους οικονομικότερους και ασφαλέστερους αντιδραστήρες. Η πυρηνική ενέργεια στο άμεσο μέλλον μπορεί να προσφέρει πολλαπλά οικονομικά οφέλη στο χώρο και της εμπορικής ναυτιλίας. Το τόσο όμως υψηλό αρχικό κόστος κτήσης αυτή τη στιγμή ενός πυρηνοκίνητου πλοίου σε συνδυασμό με θέματα ασφάλειας που πρέπει οριστικά να επιλυθούν, καθιστούν ακόμη μία τέτοια επένδυση επικίνδυνη.

Η πυρηνική ενέργεια αποτελεί το μέλλον για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τόσο στη ναυτιλία ειδικότερα όσο και στις ευρύτερες κοινωνίες γενικότερα. Σίγουρα, ο κίνδυνος των πυρηνικών ατυχημάτων μας γεμίζει ενδοιασμούς ενάντια στη χρήση της, για αυτό λοιπόν πρέπει να προβούμε σε ασφαλέστερους τρόπους παραγωγής της. Ο πειραματικός αντιδραστήρας σύντηξης με laser του NIF καθώς και οι νέοι αντιδραστήρες θορίου φαίνεται να οδηγούν σημαντικά προς αυτή την κατεύθυνση.

Τέλος, η πυρηνική ενέργεια στο χώρο της ναυτιλίας εκτός από τα πολύ σημαντικά οικονομικά οφέλη οδηγεί σε πλοία με μηδενικές εκπομπές καυσαερίων. Το γεγονός αυτό εναρμονίζεται τέλεια με τις νέες απαιτήσεις εκπομπών καυσαερίων του IMO (ιδίως με την σημαντική μεταρρύθμιση που ορίζει οι εκπομπές θείου στα καυσαέρια να μην ξεπερνούν το 0,5% των καυσαερίων). Η πυρηνική ενέργεια και η πυρηνική τεχνολογία μπορεί να δώσει λύσεις σε μεγάλα περιβαλλοντολογικά ζητήματα.

Κεφάλαιο 6. Παράρτημα των Νέων Απαιτήσεων Εκπομπών Καυσαερίων του IMO

Στο παράρτημα που ακολουθεί, δίνουμε τις νέες απαιτήσεις του IMO που θα τεθούν σε ισχύ από 1 Ιανουαρίου του 2020. (IMO 2019)



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_x), nitrogen oxides (NO_x), 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 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_x) has been 0.10% m/m.

The ECAs established under MARPOL Annex VI for SO_x 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).

Εικόνες 63-75: Οι νέες πολύ σημαντικές απαιτήσεις IMO για τις Εκπομπές ρύπων των Ναυτικών Καυσίμων.

Πηγή:<http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/GHG/Documents/2020%20sulphur%20limit%20FAQ%202019.pdf>

Βιβλιογραφία

1. Robert C. Block, Yaron Danon, Frank Gunsing (auth.), Professor Dan Gabriel Cacuci (eds.) (2010), *Handbook of Nuclear Engineering*, Springer US.
2. Aasen A., Olsson P. (Eds) (2009), *Nuclear Reactors, Nuclear Fusion and Fusion Engineering*, Nova Science Publishers, Inc. New York.
3. D.E. Barnes, R. Batchelor, A.G. Maddock, J.A. Smedley, Denis Taylor (Eds) (1962), *Concise encyclopaedia of nuclear energy*, Interscience Publisher.
4. D. Olander, Us Dept of Energy (1976), *Fundamental Aspects of Nuclear Reactor Fuel Elements*.
5. Igor Pioro (2016), *Handbook of Generation IV Nuclear Reactors*, Woodhead Publishing.
6. Jeremy T. Busby, Gabriel Ilevbare, Peter L. Andresen (eds.) (2016), *Proceedings of the 15th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems — Water Reactors*, Springer International Publishing.
7. Serge Marguet (auth.) (2017), *The Physics of Nuclear Reactors* [1 ed.], Springer International Publishing.
8. I. R. Cameron (auth.) (1982), *Nuclear Fission Reactors* [1 ed.], Springer US.
9. Edward C. Stephens (1962), *Submarines: The Story of Underwater Craft From the Diving Bell of 300 B.C. to Nuclear-Powered Ships*, Golden Press. Inc.
10. The British Nuclear Energy Society, The British Nuclear Forum, and The Joint Panel on Nuclear Marine Propulsion, The British Nuclear Energy Society (1966), *The Future for Nuclear Powered Ships: symposium held at the Institution of Civil Engineers, London, on Thursday 2 December 1965*.
11. Norman Friedman, James L. Christley (1994), *U.S. Submarines since 1945*, US Naval Institute Press.
12. Gareth Jones, Gary Ombler (2012), *The Military History Book: The Ultimate Visual Guide to the Weapons that Shaped the World*, DK.
13. Vladimir M Gun'ko (2013), *Nuclear Magnetic Resonance Studies of Interfacial Phenomena*, CRC Press.
14. R. Ragaini (2010), *International Seminar on Nuclear War and Planetary Emergencies - 42nd Session (The Science and Culture Series-Nuclear Strategy and Peace Technology)*, World Scientific Publishing Company.
15. Hugh D. Young, Roger A. Freedman, Lewis Ford (2007), *University Physics with Modern Physics* [12th ed.], Addison Wesley.
16. David C Kocher (1981), *Radioactive decay data tables : a handbook of decay data for application to radiation dosimetry and radiological assessments*, US DOE.
17. G. Friedlander, G. Herrmann (auth.), Attila Vértes, Sándor Nagy, Zoltán Klencsár, Rezső G. Lovas, Frank Rösch (eds.) (2011), *Handbook of Nuclear Chemistry* [2 ed.], Springer US.
18. Dr. Frank Barnaby Dr. (2004), *How to Build a Nuclear Bomb: And Other Weapons of Mass Destruction*, Nation Books.
19. Anne C. Fitzpatrick (1999), *Igniting the Light Elements The Los Alamos Thermonuclear Weapon Project 1942-1952*, Los Alamos National Laboratory.; United States. Dept. of Energy.; United States. Dept. of Energy. Office of Scientific and Technical Information.
20. Α. Μαυράκος, Κ. Τριανταφύλλης (2019), *Θέμα μελέτης και Σχεδίασης Πλοίου*, ΕΜΠ, Αθήνα.

21. Χαρίλαος Ν. Ψαραύτης (Καθηγητής ΕΜΠ) (2005), *Οικονομική Θαλάσσιων Μεταφορών Ι*, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
22. Ν.Π. Κυρτάτος (Καθηγητής ΕΜΠ) (1993), *Ναυτικοί Κινητήρες Diesel (Θέματα Σχεδίασης και Λειτουργίας)*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
23. Μ.Γ. Αγγελόπουλος (Καθηγητής ΕΜΠ) (1983), *Πυρηνική Τεχνολογία*, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
24. Α. Παπανικολάου, Κ. Αναστασόπουλος (2002), *Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου Ι - Συλλογή Βοηθημάτων* [2 εκδ], Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα.
25. Α. Παπανικολάου (2009), *Μελέτη Πλοίου Μεθοδολογίες Προμελέτης* (Τεύχος 1), Εκδόσεις Συμμετών, Αθήνα.
26. Α. Παπανικολάου (2009), *Μελέτη Πλοίου Μεθοδολογίες Προμελέτης* (Τεύχος 2), Εκδόσεις Συμμετών, Αθήνα.

Ηλεκτρονικές Πηγές

1. European Science Foundation (2010), NuPECC Long Range Plan 2010: *Perspectives of Nuclear Physics in Europe* p. 6. *Nuclear physics is the science of the atomic nucleus and of nuclear matter*.
2. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, W. A. Fowler & F. Hoyle. (1957), "Synthesis of the Elements in Stars". *Reviews of Modern Physics*, 29 (4): 547. doi:10.1103/RevModPhys.29.547.
3. Cameron, A.G.W. (1957). *Stellar Evolution, Nuclear Astrophysics, and Nucleogenesis*, Atomic Energy of Canada.
4. Henri Becquerel (1896). "Sur les radiations émises par phosphorescence". *Comptes Rendus*. 122: 420–421.
5. Thomson, Joseph John (1897). "Cathode Rays". *Proceedings of the Royal Institution of Great Britain*. XV: 419–432.
6. Rutherford, Ernest (1906). "On the retardation of the α particle from radium in passing through matter". *Philosophical Magazine*. 12 (68): 134–146. doi:10.1080/14786440609463525.
7. Eddington, A. S. (1920). "The Internal Constitution of the Stars". *The Scientific Monthly*. 11 (4): 297–303. JSTOR 6491.
8. Eddington, A. S. (1916). "On the radiative equilibrium of the stars". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 77: 16–35. doi:10.1093/mnras/77.1.16.
9. Chadwick, James (1932). "The existence of a neutron", *Proceedings of the Royal Society A*. 136 (830): 692–708. doi:10.1098/rspa.1932.0112.
10. American Institute of Physics (2014), "Rutherford's Nuclear World: The Story of the Discovery of the Nucleus", American Institute of Physics. Retrieved 2014-10-23.
11. Geiger, Hans (1910). "The Scattering of the α -Particles by Matter" , *Proceedings of the Royal Society of London A*. 83 (565): 492–504. doi:10.1098/rspa.1910.0038.
12. P.W. Atkins and J. de Paula (2006), "Atkins' Physical Chemistry" (8th ed.), W.H. Freeman, p.451
13. Poenaru, Dorin N.; Calboreanu, Alexandru (2006). "Alexandru Proca (1897–1955) and his equation of the massive vector boson field". *Europhysics News*. 37 (5): 25–27. doi:10.1051/eprn:2006504–via <http://www.europhysicsnews.org>.
14. G. A. Proca (1988), *Alexandre Proca. Oeuvre Scientifique Publiée*, S.I.A.G., Rome.
15. Yukawa, Hideki (1935), "On the Interaction of Elementary Particles. I", *Proceedings of the Physico-Mathematical Society of Japan*. 3rd Series. 17: 48–57.
16. Haxel, Otto; Jensen, J. Hans D; Suess, Hans E (1949), "On the "Magic Numbers" in Nuclear Structure", *Physical Review*. 75 (11): 1766. doi:10.1103/PhysRev.75.1766.2.
17. Mayer, Maria Goeppert (1949). "On Closed Shells in Nuclei. II". *Physical Review*. 75 (12): 1969–1970.
18. W. Pauli (1946), *Exclusion principle and quantum mechanics* (Nobel lecture), December 13, 1946.
19. Science History Institute (2016), "Otto Hahn, Lise Meitner and Fritz Strassmann". Science History Institute. June 2016. Retrieved 20 March 2018.
20. A. Einstein (1905), 'On the Electrodynamics of Moving Bodies', June 30 1905.
21. <http://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/sulphur-2020.aspx>

22. http://2.bp.blogspot.com/-eKzzmYkNljo/TaIIYQG-VSI/AAAAAAAAAvg/_17g-8h2Yiw/s1600/02-reactor.jpg
23. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%B7>
24. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%84%CE%BC%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%AE>
25. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%86%CE%BD%CE%B8%CF%81%CF%89%CF%80%CE%BF%CF%82>
26. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%99%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B1_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%BA%CF%8C%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%85
27. <https://gigaom.com/2010/02/19/nuclear-power-by-the-numbers/>
28. https://en.wikipedia.org/wiki/Economics_of_nuclear_power_plants
29. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nuclear_reactors
30. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_longest_ships
31. <https://www.thoughtco.com/list-of-radioactive-elements-608644>
32. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BF%CF%85%CE%AC%CF%81%CE%BA>
33. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%BF%CF%85%CE%BA%CE%BB%CE%B5%CF%8C%CE%BD%CE%B9%CE%BF>
34. https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fusion
35. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%85%CF%81%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE
36. https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_physics
37. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%BA%CE%BB%CE%BF%CF%85%CF%8C%CE%BD%CE%B9%CE%BF>
38. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_radioactive_isotopes_by_half-life
39. <https://lynceans.org/all-posts/manufacturing-the-reactor-vessel-for-an-ritm-200-pwr-for-russias-new-ik-60-class-of-polar-icebreakers/>
40. <http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/outline-history-of-nuclear-energy.aspx>
41. https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Naval_reactors
42. https://en.wikipedia.org/wiki/Category:United_States_naval_reactors
43. https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Soviet_naval_reactors
44. https://en.wikipedia.org/wiki/Naval_Reactors
45. https://en.wikipedia.org/wiki/Rolls-Royce_PWR
46. <https://www.iter.org/>
47. <http://en.portnews.ru/news/265035/>
48. <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Russia-launches-worlds-largest-nuclear-powered-ic>
49. https://en.wikipedia.org/wiki/Project_22220_icebreaker
50. <http://lewin-of-greenwich-naval-history-forum.co.uk/forum/viewtopic.php?t=1075>
51. <https://en.wikipedia.org/wiki/RITM-200>
52. https://en.wikipedia.org/wiki/National_Ignition_Facility
53. <https://lasers.llnl.gov/news/look-back-nif-target-chambers-big-lift>
54. <https://lasers.llnl.gov/>
55. <https://www.youtube.com/watch?v=yixhyPN0r3g>
56. <http://www.world-nuclear.org/nuclear-basics/how-is-uranium-ore-made-into-nuclear-fuel.aspx> (τιμή ουρανίου)
57. <https://www.wise-uranium.org/nfcc.html> (nuclear fuel cost calculator)

58. <http://www.electric-vehiclenews.com/2009/06/navy-tests-worlds-most-powerful.html>
59. https://www.google.com/search?q=the+biggest+electric+motor+in+the+world&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiD26vc8qfjAhV95KYKHeyqAK4Q_AUIECgB&biw=1242&bih=597#imgrc=zso6PrfhFOIXDM:
60. http://www.doosanheavy.com/doosanpowerservice/catalog/WF_3.4.0.pdf
61. <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/physics-of-nuclear-energy.aspx>
62. <https://www.iefimerida.gr/news/480288/pos-egine-dystyhima-sto-tsernompil-apokalypseis-sok-ola-osa-apekrypsan-oi-sovietikoi-kai>
63. <https://www.sigmalive.com/news/international/59200/ta-6-megalytera-pyrinika-atyximata-sti-sygxroni-istoria>
64. https://en.wikipedia.org/wiki/Thermonuclear_weapon
65. https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_weapon
66. https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_warfare
67. https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_marine_propulsion
68. <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/GHG/Documents/2020%20sulphur%20limit%20FAQ%202019.pdf>
69. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/containerships/8960-cosco-shipping-universe-imo-9795610>
70. https://ship.sh/news_detail.php?nid=35838
71. <https://www.marinetraffic.com/el/ais/details/ships/shipid:5554510/mmsi:477157400/imo:9795610/vessel:COSCO%20SHIPPING%20UNIVERSE>

Εικόνες

1. Κοιλιάδα σταθερότητας. Πηγή: Alan Salcedo Gomez (2016), *Thermodynamics of Neutron-Rich Nuclear Matter*, Affiliation: Nuclear Theory Group, UTEP, Supervisor: Prof. Jorge A. Lopez, published: 07 July 2016.
2. Σχηματική αναπαράσταση πυρηνικής σχάσης. Πηγή: http://www.garyfallidou.org/energeia4/level_1/fission.html.
3. Πυρηνικός αντιδραστήρας σχάσης. Πηγή: <https://www.energy.gov/ne/articles/nuclear-101-how-does-nuclear-reactor-work>.
4. Οι πιο συνήθεις πυρηνικές αντιδράσεις σχάσης του Ουρανίου και οι αντίστοιχες ποσότητες ενέργειας που απελευθερώνονται. Πηγή: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/physics-of-nuclear-energy.aspx>.
5. Η καμπύλη πυρηνικής ενέργειας δέσμησης. Ο σχηματισμός πυρήνων μέχρι το σίδηρο-56 απελευθερώνει ενέργεια. Dr. Rod Nave (2010), *Nuclear Binding Energy*, Department of Physics and Astronomy, Georgia State University, July 2010.
6. Ήλιος: η μεγαλύτερη πλησιέστερη σε εμάς πηγή πυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης υδρογόνου. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Sun#/media/File:The_Sun_by_the_Atmospheric_Imaging_Assembly_of_NASA's_Solar_Dynamics_Observatory_-_20100819.jpg.
7. Οι πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης του Υδρογόνου. Πηγή: G. Friedlander, G. Herrmann (auth.), Attila Vértes, Sándor Nagy, Zoltán Klencsár, Rezső G. Lovas, Frank Röscher (eds.) (2011), *Handbook of Nuclear Chemistry* [2 ed.], Springer, US.
8. Η πρώτη πυρηνική σύντηξη σε μεγάλη κλίμακα. Η πυρηνική δοκιμή βόμβας υδρογόνου με το κωδικό όνομα Ivy Mike. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Ivy_Mike.
9. Ο θερμοπυρηνικός αντιδραστήρας σύντηξης του ITER. Πηγή: <https://www.iter.org/proj/inafewlines>.
10. NIF (National Ignition Facility). Πηγή: <https://www.youtube.com/watch?v=yixhyPN0r3g>.
11. Ο αντιδραστήρας του NIF. Πηγή: <https://lasers.llnl.gov/news/look-back-nif-target-chambers-big-lift>.
12. Τα 192 laser του αντιδραστήρα του NIF. Πηγή: <https://www.youtube.com/watch?v=yixhyPN0r3g>.
13. Η πλαστική κάψουλα που περιέχει το καύσιμο υδρογόνο. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/National_Ignition_Facility.
14. Το δοχείο χρυσού που περιέχει την κάψουλα υδρογόνου (Ο χρυσός χρησιμεύει στη εκπομπή πολύ ισχυρών ακτινών Χ). Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/National_Ignition_Facility.
15. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα 20 δισεκατομμυριοστά του δευτερολέπτου και μετά επέρχεται σύντηξη. Πηγή: <https://www.youtube.com/watch?v=yixhyPN0r3g>.
16. Το πυρηνικό ατύχημα του Τσέρνομπιλ. Πηγή: <https://www.iefimerida.gr/news/47431/πως-ένα-πείραμα-οδήγησε-στην-τραγωδία-του-τσερνομπιλ>.
17. Το πυρηνικό ατύχημα στη Φουκουσίμα. Πηγή: <https://www.google.com/search?q=%CF%86%CE%BF%CF%85%CE%BA%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B1&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewjh9eKJkK3jAhXN0qYKHVgYCH>

UQ_AUIECgB&biw=1242&bih=597#imgdii=8DfzO-Jo4YsB7M:&imgrc=qCMr2JP7Q7dStM:

18. Το πυρηνικό ατύχημα του Κιστίμ. Πηγή:<https://www.newcoldwar.org/visit-to-russias-formerly-secret-mayak-nuclear-disaster-site/>
19. Το πυρηνικό ατύχημα στο Windscale. Πηγή:https://www.google.com/search?biw=1242&bih=597&tbm=isch&sa=1&ei=D1YnXYgU14WFsg_OnprwBw&q=windscale+1957+nuclear+accident&oq=windscale+1957+nuclear+accident&gs_l=img.gws-wiz-img.c31DpE-I7w8#imgrc=g07F5CiGln5JM:
20. Το πυρηνικό ατύχημα στο Three Mile Island των ΗΠΑ. Πηγή:https://www.google.com/search?q=three+miles+island+accident+nuclear&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiW35LrmK3jAhVfBFAKHRhmBNUQ_AUIECgB&biw=1242&bih=597#imgdii=yujsY4A1jesqVM:&imgrc=xbNyzWolwIEeCM:
21. Το πυρηνικό ατύχημα στην Τοκαϊμούρα. Πηγή:https://www.google.com/search?q=tokaimura+nuclear+accident&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwJc8tuQmq3jAhWMaVAKHTW2DtUQ_AUIECgB&cshid=1562859769476379&biw=1242&bih=597#imgdii=leJPChrKb8wa7M:&imgrc=j3s0hUAxBzr99M:
22. Παρατημένα πυρηνικά υποβρύχια του Ψυχρού Πολέμου στην χερσόνησο Κόλα, κοντά στον Βόρειο Αρκτικό Κύκλο. Πηγή: <http://submarines.narod.ru/report01.html>
23. Οι δύο βασικοί μηχανισμοί που απαντώνται σε μια πυρηνική βόμβα σχάσης. Πηγή: <https://www.atomicheritage.org/history/science-behind-atom-bomb>.
24. Οι ατομικές βόμβες που έπεσαν στη Χιροσίμα (αριστερά) στις 6 Αυγούστου του 1945 και στο Ναγκασάκι (δεξιά) 3 μέρες αργότερα στις 9 Αυγούστου του 1945 στο τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_bombings_of_Hiroshima_and_Nagasaki#/media/File:Atomic_bombing_of_Japan.jpg , https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_warfare.
25. Ανάλυση κατασκευής θερμοπυρηνικής βόμβας σύντηξης υδρογόνου. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermonuclear_weapon.
26. Πυρηνική έκρηξη βόμβας υδρογόνου. Πηγή:https://www.google.com/search?q=hydrogen+bomb+test&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=YCvCC7uPeLpgFM%253A%252CCxckApNlckvPOM%252C_&vet=1&usg=AI4_kR5MkYSYhvc8cUif8nRgkNnix_EQ&sa=X&ved=2ahUKEwjeyS74q3jAhWIY1AKHWpOAN0Q9QEwGHoECAQQDA#imgrc=YCvCC7uPeLpgFM:&vet=1
27. USS Enterprise (CVN-65) underway in the Atlantic Ocean. Πηγή:<https://www.naval-technology.com/projects/uss-enterprise/>
28. Nimitz class aircraft carrier. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Nimitz-class_aircraft_carrier
29. USS Gerald R. Ford class. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Gerald_R._Ford-class_aircraft_carrier
30. The French Charles de Gaulle. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/French_aircraft_carrier_Charles_de_Gaulle
31. The Russian Kirov class. Πηγή: https://www.google.com/search?q=kirov+class+warships&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi1v75ra_jAhXl6aYKHX2eDggQ_AUIECgB&biw=1242&bih=597#imgrc=INLjs8W2OHaLoM:
32. Το Αμερικάνικο USS Long Beach (CLGN-160/CGN-160/CGN-9). Πηγή: <https://www.navysite.de/cg/cgn9.htm>
33. USS Bainbridge (DLGN-25/CGN-25) underway at sea, 20 September 1962. Πηγή: <http://www.navsource.org/archives/04/1125/040125.htm> / Official U.S.

- Navy Photograph, from the Collections of the Naval Historical Center #NH 98104, Fred Weiss.
34. The Virginia-class nuclear guided-missile cruiser. Πηγή: <https://www.navy.mil/navysite.de/cg/cgn38.htm>.
 35. Command and communications ship SSV-33 Ural. Πηγή: <http://www.military-today.com/navy/ural.htm>
 36. USS Nautilus (SSN-571). Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/USS_Nautilus_\(SSN-571\)](https://en.wikipedia.org/wiki/USS_Nautilus_(SSN-571)).
 37. Soviet November Class. Πηγές: <https://aw1tim.wordpress.com/2010/04/26/cold-war-threats-the-november-class-ssn/>
 38. USS Triton (SSRN/SSN-586). Το πρώτο υποβρύχιο με σύστημα radar. Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/USS_Triton_\(SSRN-586\)](https://en.wikipedia.org/wiki/USS_Triton_(SSRN-586))
 39. USS Seawolf (SSN-575). Πηγή: <http://www.navy.mil/our-people/08/08575.htm>
The Seawolf (SSN-575) is seen departing San Francisco Bay in August 1977. The Golden Gate Bridge is in the background, USN photo # KN-26095, courtesy of Darryl L. Baker.
 40. The Skate-class submarines. Πηγή: <https://www.britannica.com/topic/Skate-United-States-submarine>, Arctic Submarine Laboratory-Commander, Submarine Force U.S. Pacific Fleet/ U.S. Navy.
 41. Rubis type Submarine. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Rubis-class_submarine
 42. The Russian Typhoon-class Submarines. Πηγή :https://en.wikipedia.org/wiki/Typhoon-class_submarine.
 43. Το Αμερικάνικο NS Savannah. Πηγή: <https://www.bbc.com/news/magazine-28439159>.
 44. Το Γερμανικό Otto Hahn. Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Otto_Hahn_\(ship\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Otto_Hahn_(ship))
 45. Το Ιαπωνικό Mutsu. Πηγή: <http://ansnuclearcafe.org/2018/01/25/nuclear-merchant-ships-five-fast-facts/#sthash.Q2n28gxm.dpbs>
 46. Το Ρώσικο Sevморput. Icebreaking LASH carrier and containership. Πηγή: <http://www.e-nautilia.gr/epistrefei-to-purinokinito-container/>
 47. Nuclear Icebreaker in service. Πηγή : <https://thebarentsobserver.com/en/arctic/2019/03/moscow-confirms-go-ahead-giant-nuclear-icebreaker>.
 48. Nuclear LK-60 class icebreaker with two RITM-200 reactors installed (3D view). Πηγή: <https://lynceans.org/all-posts/manufacturing-the-reactor-vessel-for-an-ritm-200-pwr-for-russias-new-lk-60-class-of-polar-icebreakers/>
 49. Nuclear LK-60 class Icebreaker with two RITM-200 reactors installed (Stern view). Πηγή: <https://lynceans.org/all-posts/manufacturing-the-reactor-vessel-for-an-ritm-200-pwr-for-russias-new-lk-60-class-of-polar-icebreakers/>
 50. RITM-200 reactor. Πηγή:https://www.reddit.com/r/Engineering/comments/4q9133/ritm200_nuclear_reactor_for_arctic_icebreaker/.
 51. CAPACITY PLAN M/V SAMSON. Πηγή: Θέμα Μελέτης και Σχεδίασης Πλοίου των φοιτητών Κωνσταντίνος Τριανταφύλλης-Ανάργυρος Μαυράκος.
 52. PROPELER DESIGN M/V SAMSON. Πηγή: Θέμα Μελέτης και Σχεδίασης Πλοίου των φοιτητών Κωνσταντίνος Τριανταφύλλης-Ανάργυρος Μαυράκος.
 53. Το διάγραμμα περιοχής λειτουργίας του κινητήρα MAN 5S90ME-C10.5 HL του M/V SAMSON. Πηγή: Ανάργυρος Μαυράκος, Κωνσταντίνος Τριανταφύλλης (2019), *Θέμα Μελέτης και Σχεδίασης Πλοίου* (το διάγραμμα της εικόνας σχεδιάστηκε με τη χρήση του διαδικτυακού προγράμματος CEAS της MAN), ΕΜΠ, Αθήνα.

54. Παράρτημα. Πηγή: <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/GHG/Documents/2020%20sulphur%20limit%20FAQ%202019.pdf>
55. Εξώφυλλο αριστερή εικόνα: Πηγή: <http://www.e-nautilia.gr/ta-megalitera-ploia-pagosmios-ana-kategoria-2/>
56. Εξώφυλλο δεξιά εικόνα. Πηγή: <https://www.marinetraffic.com/el/ais/details/ships/shipid:5554510/mmsi:477157400/imo:9795610/vessel:COSCO%20SHIPPING%20UNIVERSE>.