



Εφοδιαστική αλυσίδα (δέσμευση, μεταφορά και αποθήκευση) διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), μελέτη περίπτωσης βιομηχανιών

Τομέας: Βιομηχανικής Διοίκησης & Επιχειρησιακής Έρευνας (Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών)

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Κηρυττόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2024



*Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:*

**Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.**

**Γιάννης Ιωάννου**

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

**Περιεχόμενα**

Συνοτμήσεις – αρκτικόλεξα (abbreviations).....	6
1. Εισαγωγή .....	8
1.1 Πλαίσιο έρευνας .....	8
1.2 Κύριο πρόβλημα .....	8
1.3 Σκοπός .....	8
1.4 Ερευνητικά ερωτήματα .....	8
1.5 Στόχοι.....	8
1.6 Ορισμοί.....	9
1.6.1 Εφοδιαστική αλυσίδα (Supply chain).....	9
1.6.2 Αβεβαιότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα .....	9
1.6.3 Καθαρή παρούσα αξία-ΚΠΑ (NPV) και Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης-EBA (IRR).....	9
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	11
2.1 Κανονισμοί και στόχοι Ε.Ε. και Ελλάδας για την μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHGs).....	11
2.2 Εφοδιαστική αλυσίδα CO <sub>2</sub> .....	11
2.2.1 Δέσμευση CO <sub>2</sub> .....	11
2.2.2 Μεταφορά CO <sub>2</sub> .....	13
2.2.2.1 Μέσω αγωγών .....	13
2.2.2.2 Μέσω φορτηγών.....	14
2.2.2.3 Μέσω πλοίων .....	14
2.2.2.4 Μέσω σιδηροδρομικής γραμμής .....	14
2.2.2.5 Ασφάλεια μεταφοράς .....	14
2.2.3 Αποθήκευση CO <sub>2</sub> .....	14
2.2.3.1 Κίνδυνοι αποθήκευσης CO <sub>2</sub> .....	15
2.2.4 “Αξιοποίηση” CO <sub>2</sub> .....	16
3. Μεθοδολογία .....	19
3.1 Σχεδιασμός έρευνας.....	19
3.2 Μελέτη βιβλιογραφίας.....	20
3.3 Μελέτη περίπτωσης.....	20
4. Μελέτη περίπτωσης εφοδιαστικής αλυσίδας CO <sub>2</sub> σε βιομηχανίες.....	22
4.1 Βιομηχανίες μελέτης περίπτωσης .....	23
4.2 Κόστη δέσμευσης CO <sub>2</sub> .....	23
4.3 Κόστη μεταφοράς CO <sub>2</sub> .....	29
4.3.1 Κόστη μεταφοράς CO <sub>2</sub> μέσω φορτηγών .....	29
4.3.2 Κόστη μεταφοράς CO <sub>2</sub> μέσω πλοίων .....	33
4.4 Κόστη αποθήκευσης CO <sub>2</sub> .....	41
4.4.1 Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> .....	41
4.4.2 Εύρεση πιθανών χώρων μόνιμης αποθήκευσης .....	45
4.4.3 Κόστη μόνιμης αποθήκευσης CO <sub>2</sub> .....	46
4.5 Κόστος δανείου (τόκοι) .....	46
4.6 Κόστος απροσδόκητο .....	47

4.7	Συνολικό κόστος εφοδιαστικής αλυσίδας.....	48
4.8	Εξέταση εναλλακτικών σεναρίων ως προς την βελτιστοποίηση εφοδιαστικής αλυσίδας CO <sub>2</sub> μεγάλων βιομηχανιών Ελλάδος.....	48
4.9	Έσοδα εφοδιαστικής αλυσίδας .....	54
4.9.1	Σύστημα εμπορίας εκπομπών της Ε.Ε. (EU ETS) .....	54
4.9.2	Εθελοντική αγορά άνθρακα (VCM).....	55
4.9.3	Προγράμματα χρηματοδοτήσεων Ε.Ε. ....	59
4.10	Αξιολόγηση επένδυσης .....	59
4.10.1	Υπολογισμός ΚΠΑ για την εφοδιαστική αλυσίδα CO <sub>2</sub> μεγάλων βιομηχανιών Ελλάδος.....	60
4.10.2	Υπολογισμός ΚΠΑ για καμία ενέργεια ως προς την αποφυγή εκπομπών CO <sub>2</sub> μεγάλων βιομηχανιών Ελλάδος.....	65
4.10.3	Σύγκριση ΚΠΑ επένδυσης και ΚΠΑ μη επένδυσης και καμιάς ενέργειας ως προς την αποφυγή εκπομπών CO <sub>2</sub> .....	68
4.10.4	Υπολογισμός συντελεστών ΚΠΑ και ΕΒΑ πρόσθετης επένδυσης.....	69
4.11	Ανάλυση ευαισθησίας.....	71
4.12	Απλοποιήσεις/Υποθέσεις που έχει βασιστεί η εφοδιαστική αλυσίδα.....	77
4.12.1	Διαθεσιμότητα γεωλογικών χώρων αποθήκευσης Πρίνου και Ραβέννας .	77
4.12.2	Αξιοπιστία μοντέλων για εύρεση κοστών δέσμευσης, μεταφοράς, αποθήκευσης.....	77
4.12.3	Ορθότητα/ακρίβεια τιμής εθελοντικής αγοράς άνθρακα (VCM).....	77
4.13	Συμπεράσματα και προτάσεις για το μέλλον.....	78
	Κατάλογος Πινάκων .....	80
	Κατάλογος Σχημάτων .....	83
	Κατάλογος Εικόνων .....	84
	Κατάλογος Αναφορών.....	85
	Παράρτημα Ι – Πίνακες υπολογισμών εναλλακτικού σεναρίου .....	91

## Συντομεύσεις – αρκτικόλεξα (abbreviations)

EBA: Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης

ΕΣΑ: Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης

Ε.Ε.: Ευρωπαϊκή Ένωση

ΕΚΕ: Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη

ΕΜΠ: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΗΠΑ: Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

ΚΠΑ: Καθαρή Παρούσα Αξία

ACR: American Carbon Registry

BSGC: Break Specific Gas Consumption

BSFC: Break Specific Fuel Consumption

CAR: Climate Action Reserve

CapEx: Capital Expenditure

CCS: Carbon Capture and Storage

DAC: Direct Air Capture

DOE: Department Of Energy

EOR: Enhanced Oil Recovery

ESG: Environmental, Social and Governance

EU ETS: Europe Emissions Trading System

EPA: U.S. Environmental Protection Agency

FCC: Fluid Catalytic Cracking

GTD: General Technical Data

GHGs: Greenhouse Gases

IEA: International Energy Agency

IRR: Internal Rate of Return

IGCC: Integrated Gasification Combined Cycle

LPG: Liquefied Petroleum Gas

MCR: Maximum Continuous Rating

MMT: Million Metric Tons

NPV: Net Present Value

NTUA: National Technical University of Athens

NGCC: Natural Gas Combined Cycle

O&M: Operating and Maintenance

OpEx: Operating Expense

PHMSA: Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration

RPM: Rounds Per Minute

RCSPs: Regional Carbon Sequestration Partnerships

R&D: Research and Development

SCPC: Supercritical Pulverized Coal

TCR: Total Capital Requirement

TRL: Technology Readiness Levels

USCPC: Ultra Supercritical Pulverized Coal

VCM: Voluntary Carbon Market

VCS: Verified Carbon Standard

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Πλαίσιο έρευνας

Νέες προκλήσεις καλούνται να αντιμετωπίσουν όλες οι βιομηχανίες που εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), καθώς οι φορολογίες αυξάνονται και οι κανονισμοί γίνονται ολοένα και πιο αυστηροί όπως εξηγείται στην ενότητα 2.1. Μια φαινομενικά καλή λύση είναι η δέσμευση CO<sub>2</sub> προτού φύγει στην ατμόσφαιρα. Εν συνεχεία της δέσμευσης ακολουθεί η μεταφορά του και η αποθήκευσή του. Τόσο για την δέσμευση, όσο και για την μεταφορά και την αποθήκευση υπάρχουν διάφορες μέθοδοι επίτευξης. Αντικείμενο της μελέτης θα αποτελέσει η εύρεση και κοστολόγηση όλων των υπηρεσιών που χρειάζονται για την ανάπτυξη εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα.

### 1.2 Κύριο πρόβλημα

Η κλιματική αλλαγή έχει οδηγήσει στην θέσπιση νέων κανονισμών για μείωση των αέριων του θερμοκηπίου. Οι ολοένα και μεγαλύτερες φορολογίες εκπομπών CO<sub>2</sub> καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για μεταρρυθμίσεις. Οι βιομηχανίες με μεγάλες εκπομπές CO<sub>2</sub> θα βρεθούν σύντομα σε πολύ δύσκολη θέση εάν δεν λάβουν ανάλογα μέτρα.

### 1.3 Σκοπός

Δημιουργία και βελτιστοποίηση εφοδιαστικής αλυσίδας (δέσμευση, αποθήκευση, μεταφορά) CO<sub>2</sub> μεγάλων βιομηχανιών Ελλάδος. Εύρεση ελάχιστου κόστους λειτουργίας της αλυσίδας και των επιμέρους διεργασιών δημιουργώντας μια καλή αντίληψη της εν λόγω εφοδιαστικής αλυσίδας.

### 1.4 Ερευνητικά ερωτήματα

- Ποιοι είναι οι κίνδυνοι (ασφάλεια, βιωσιμότητα) της εν λόγω εφοδιαστικής αλυσίδας;
- Με ποιους τρόπους μπορεί να γίνει βελτιστοποίηση αυτής της εφοδιαστικής αλυσίδας;
- Είναι τελικά συμφέρουσα μια τέτοια επένδυση, εάν ναι για ποιους;
- Είναι βραχυπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη αυτή η λύση;
- Που θα αποθηκεύεται το CO<sub>2</sub>;

### 1.5 Στόχοι

1. Ανάπτυξη εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub>.



2. Βελτιστοποίηση εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub> και εύρεση ελάχιστου κόστους αυτής.
3. Αξιολόγηση επένδυσης συστημάτων δέσμευσης CO<sub>2</sub>.

## 1.6 Ορισμοί

### 1.6.1 Εφοδιαστική αλυσίδα (Supply chain)

Σύμφωνα με την Flex Logistics (2021) η εφοδιαστική αλυσίδα ορίζεται ως εξής: «*Η αλυσίδα εφοδιασμού είναι ένα δίκτυο μεταξύ μιας εταιρείας και των προμηθευτών της για την παραγωγή και διανομή ενός συγκεκριμένου προϊόντος στον τελικό αγοραστή. Το δίκτυο αυτό περιλαμβάνει διάφορες δραστηριότητες, ανθρώπους, οντότητες, πληροφορίες και πόρους. Η αλυσίδα εφοδιασμού αντιπροσωπεύει επίσης τα βήματα που απαιτούνται για να φτάσει το προϊόν ή η υπηρεσία από την αρχική του κατάσταση στον πελάτη.*»

Με λίγα λόγια είναι το σύνολο των δραστηριοτήτων που απαιτούνται από την στιγμή που ένας πελάτης παραγγείλει κάτι ή μια υπηρεσία μέχρι και την παράδοση του προϊόντος ή της υπηρεσίας σε αυτόν.

### 1.6.2 Αβεβαιότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα

Σύμφωνα με την Brugnach et al. (2008) η αβεβαιότητα ορίζεται ως εξής: «*Η αβεβαιότητα αναφέρεται στην κατάσταση κατά την οποία δεν υπάρχει μοναδική και πλήρης κατανόηση του προς διαχείριση συστήματος.*»

Η αβεβαιότητα της αλυσίδας εφοδιασμού αναφέρεται στην έλλειψη διαφάνειας στην αλυσίδα και ανεπαρκούς γνώσης για συγκεκριμένα θέματα με αποτέλεσμα να μην γνωρίζουμε την σωστή απόφαση εκ των προτέρων. Η αποδοτικότητα και το προσδοκώμενο αποτέλεσμα είναι δυνατόν να μεταβληθούν ξαφνικά λόγω πιθανών απρόβλεπτων γεγονότων όπως για παράδειγμα η αστοχία ενός κρίσιμου εξοπλισμού παραγωγής ή μιας καθυστερημένης παράδοσης από έναν προμηθευτή. Αυτά μπορεί να έχουν αντίκτυπο σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα καθώς πολλές από τις διεργασίες που απαιτούνται για την σωστή λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι αλληλεξαρτώμενες. Η αβεβαιότητα αποτελεί πρόβλημα για κάθε εξειδικευμένο διαχειριστή εφοδιαστικής αλυσίδας και προέρχεται τόσο από την αυξημένη πολυπλοκότητα όσο και μεταβλητότητα των παγκόσμιων δικτύων (Νικολάου, 2020).

### 1.6.3 Καθαρή παρούσα αξία-ΚΠΑ (NPV) και Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης-EBA (IRR)

Σύμφωνα με τους Αραβώσης, Καρμπέρης, & Σωτήρχος (2011, p. 18) η ΚΠΑ ορίζεται ως εξής: «*Η τιμή που προκύπτει από την αφαίρεση του συνόλου των προ εξοφλημένων ταμειακών εισροών μίας επένδυσης με το σύνολο των αντίστοιχων εκροών.*»

Σύμφωνα με τους Αραβώσης, Καρμπέρης, & Σωτήρχος (2011, p. 22) ο EBA ή αλλιώς EΣΑ ορίζεται ως εξής: «*Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης σε μια επένδυση, ισούται με την τιμή*

*που πρέπει να λάβει το προεξοφλητικό επιτόκιο ώστε η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης να λαμβάνει μηδενική τιμή.»*

Οι δείκτες ΚΠΑ και ΕΒΑ είναι δύο πολύ αποτελεσματικές μέθοδοι για την αξιολόγηση επενδύσεων. Θα βοηθήσουν για αυτό τον σκοπό στην ενότητα 4.10 και 4.11 για την αξιολόγηση επένδυσης σε συστήματα δέσμευσης CO<sub>2</sub>.

## 2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 2.1 Κανονισμοί και στόχοι Ε.Ε. και Ελλάδας για την μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHGs)

Οι κανονισμοί και στόχοι που έχουν τεθεί για την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου με βάση την Ευρωπαϊκή νομοθεσία για το κλίμα από την European Commission (2023a) είναι οι εξής: «Ο Ευρωπαϊκός Νόμος για το Κλίμα (European Climate Law) μετατρέπει σε νόμο τον στόχο που έχει τεθεί στην Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal) για την οικονομία και την κοινωνία της Ευρώπης να γίνουν κλιματικά ουδέτερες έως το 2050 από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ο νόμος θέτει επίσης τον ενδιάμεσο στόχο της μείωσης των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Η κλιματική ουδετερότητα έως το 2050 σημαίνει επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για το σύνολο των χωρών της Ε.Ε., κυρίως με τη μείωση των εκπομπών, την επένδυση σε πράσινες τεχνολογίες και την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.»

Ως προς την επίτευξη των ανωτέρω η Ε.Ε. θέσπισε ένα σύστημα εμπορίας εκπομπών (EU ETS) για το οποίο ο κάθε φορέας θα πρέπει να πληρώνει για τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Πλήρης επεξήγηση του συστήματος αυτού γίνεται στην ενότητα 4.9.1.

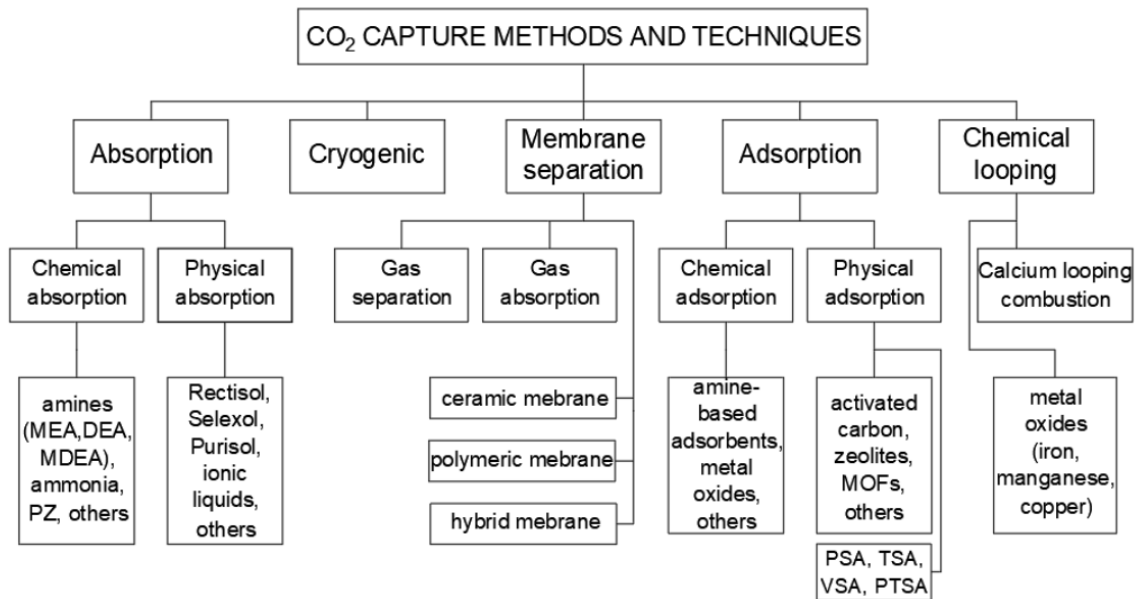
Διευκρινίζεται ότι αέρια του θερμοκηπίου (GHGs), είναι τα αέρια αυτά που επιδεινώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου άρα και την υπερθέρμανση του πλανήτη και αυτά αποτελούν το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), το οξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O), οι υδρατμοί (H<sub>2</sub>O), το όζον (O<sub>3</sub>) και βιομηχανικά αέρια όπως υδροφθοράνθρακες (HFC), υπερφθοράνθρακες (PFC), εξαφθοριούχο θείο (SF<sub>6</sub>), τριφθοριούχο άζωτο (NF<sub>3</sub>). Ωστόσο το CO<sub>2</sub> κατέχει τις περισσότερες εκπομπές με διαφορά. Για παράδειγμα, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> στις ΗΠΑ για το έτος 2022 καταλαμβάνουν σχεδόν το 80% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (EPA, 2024).

Η Ελλάδα προφανώς υποστηρίζει και συμμορφώνεται με το 55% έως το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 και την επίτευξη μηδενικών εκπομπών μέχρι το 2050. Επιπρόσθετα θέτει στόχους για μείωση των GHGs κατά 55% μέχρι το 2030 και κατά 80% μέχρι το 2040 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005 (IEA, 2023).

### 2.2 Εφοδιαστική αλυσίδα CO<sub>2</sub>

#### 2.2.1 Δέσμευση CO<sub>2</sub>

Υπάρχει μια πληθώρα τρόπων δέσμευσης CO<sub>2</sub> και ο κάθε τρόπος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ο κύριος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι γιατί η δέσμευση γίνεται σε πολλών διαφορετικών ειδών βιομηχανίες, σε πλοία και γενικότερα σε διαφορετικές μηχανές καύσεως. Οι τρόποι δέσμευσης διαφέρουν ακόμη ανάλογα με το ποσοστό δέσμευσης CO<sub>2</sub> και αυτή είναι μια σημαντική παράμετρος καθώς μεταβάλλει πολύ τα κόστη.



**Σχήμα 1: Μέθοδοι και τεχνικές δέσμησης CO<sub>2</sub> (Madejski, et al., 2022)**

Αντικείμενο αυτής της μελέτης αποτελεί η ανάλυση της εφοδιαστικής αλυσίδας κυρίως από οικονομικής άποψης. Έτσι δεν θα αναλυθούν οι μηχανισμοί και η χημεία πίσω από τις μεθόδους, παρά μόνο το κόστος δέσμησης και αυτό θα γίνει στην μελέτη περίπτωσης που θα ακολουθήσει στην ενότητα 4.2 με την βοήθεια ενός μοντέλου.

Η ετοιμότητα κάθε μεθόδου καθορίζεται συνήθως με βάση την κλίμακα επιπέδων τεχνολογικής ετοιμότητας (TRL) κατά την οποία οι τεχνολογίες κατηγοριοποιούνται σε μια κλίμακα από το 1 μέχρι το 9 (Manning, 2023). Μερικοί όμως πάνε αυτή την κλίμακα ένα βήμα παρακάτω και κατηγοριοποιούν τις τεχνολογίες ως προς την ετοιμότητα τους σε κλίμακα 1 μέχρι 11 (IEA, 2020b, pp. 91-93). Πολλές τεχνολογίες δέσμησης εντάσσονται ήδη στην κλίμακα 9, πράγμα που αποδεικνύει την τεχνολογική ετοιμότητα της δέσμησης CO<sub>2</sub> (IEA, 2020b, pp. 194-195).

Η δέσμηση CO<sub>2</sub> κατευθείαν από την ατμόσφαιρα (DAC) θα είναι ακόμη ένα απαραίτητο κομμάτι για να φτάσει η Ευρώπη τους στόχους της για το 2050 οι οποίοι προαναφέρθηκαν στην ενότητα 2.1 (Valluri, et al., 2022). Επιπρόσθετα είναι ένας τρόπος εξισορρόπησης των εκπομπών που είναι δύσκολο να αποφευχθούν (IEA, 2022, p. 13). Υπάρχουν έργα που ακολουθούν αυτή την τεχνική, ωστόσο είναι σε μικρή κλίμακα και ίσως τα περισσότερα να έγιναν με επιδοτήσεις. Τα κόστη για δέσμηση κατευθείαν από την ατμόσφαιρα είναι ακόμη σε αρκετά υψηλά επίπεδα, πράγμα που τα καθιστά εμπορικά μη βιώσιμα (IEA, 2020b, p. 302).

Επομένως κατά τον σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub> για μεγάλες βιομηχανίες Ελλάδος που θα πραγματοποιηθεί στην ενότητα 4.2 θα χρησιμοποιηθούν μόνο τεχνολογίες δέσμησης CO<sub>2</sub> από τις μηχανές καθώς είναι μια καθαρά πιο υποσχόμενη τεχνολογία.

## 2.2.2 Μεταφορά CO<sub>2</sub>

Μετά από την δέσμευση του CO<sub>2</sub> ακολουθεί η μεταφορά του στους χώρους αποθήκευσης. Η μεταφορά του γίνεται συνήθως μέσω αγωγών, μέσω φορηγών, μέσω πλοίων, μέσω σιδηρόδρομου ή και με συνδυασμό αυτών. Κατά την μεταφορά συνήθως γίνεται μετατροπή σε υγρό CO<sub>2</sub> (συμπύεση) καθότι καταλαμβάνει πολύ μικρότερο όγκο από το την αέρια μορφή του.

### 2.2.2.1 Μέσω αγωγών

Η πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδος μεταφοράς CO<sub>2</sub> και με τις περισσότερες εφαρμογές είναι μέσω αγωγών. Οι μεταφορά CO<sub>2</sub> μέσω αγωγών είναι μια ώριμη τεχνολογία αφού χρησιμοποιείται παγκοσμίως εδώ και δεκαετίες, με πάνω από 5000 μίλια αγωγών CO<sub>2</sub> στις ΗΠΑ (Smith, et al., 2021). Στην Εικόνα 1 φαίνεται ένα υπάρχον σύστημα μεταφοράς CO<sub>2</sub> κατά το οποίο το δεσμευόμενο CO<sub>2</sub> από την βιομηχανία μεταφέρεται στο λιμάνι μέσω αγωγών και έπειτα από το λιμάνι μέχρι τον χώρο αποθήκευσης μέσω αγωγών στην θάλασσα.



Εικόνα 1: Απεικόνιση μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω αγωγών υπάρχουσας βιομηχανίας (Future Humber, 2023)

#### 2.2.2.2 Μέσω φορτηγών

Ένας άλλος υποσχόμενος τρόπος μεταφοράς CO<sub>2</sub> είναι τα φορτηγά. Σε αυτή την περίπτωση φυσικά, το CO<sub>2</sub> μεταφέρεται από το εργοστάσιο μέχρι το λιμάνι συνήθως και μετέπειτα χρειάζεται η μεταφορά του στον τελικό αποθηκευτικό χώρο είτε μέσω πλοίου είτε μέσω αγωγών. Η μεταφορά CO<sub>2</sub> με φορτηγά είναι συνήθως ευνοϊκή σε μικρές ποσότητες και αποστάσεις (Smith, et al., 2021).

#### 2.2.2.3 Μέσω πλοίων

Η μεταφορά CO<sub>2</sub> μέσω πλοίων δεν είναι κάτι καινούριο, ωστόσο έχει χρησιμοποιηθεί σε πολύ μικρή κλίμακα και όγκο. Ως εκ τούτου η ανάπτυξη της τεχνολογίας είναι απαραίτητη για την εξεύρεση τρόπων κλιμάκωσης της μεταφοράς CO<sub>2</sub> και τη μείωση του κόστους μεταφοράς μέσω πλοίων. Επισημαίνεται ότι το υγρό CO<sub>2</sub> θέτει νέους κινδύνους και προκλήσεις στον σχεδιασμό των πλοίων (Sørhaug, 2022). Ωστόσο τα πλοία αναμένεται να είναι πολύ πιο αποδοτικά ως προς το κόστος για τη μεταφορά μεγατόνων CO<sub>2</sub> ετησίως (Smith, et al., 2021).

#### 2.2.2.4 Μέσω σιδηροδρομικής γραμμής

Η σιδηροδρομική μεταφορά CO<sub>2</sub> είναι λιγότερο διαδεδομένη από άλλους τρόπους μεταφοράς (Stolaroff, et al., 2021). Υπάρχουν όμως μερικές περιπτώσεις που καθίσταται ευνοϊκή και αυτές αποτελούν μεμονωμένες περιπτώσεις μεταφοράς CO<sub>2</sub> σε μικρές αποστάσεις και ποσότητες (Smith, et al., 2021).

#### 2.2.2.5 Ασφάλεια μεταφοράς

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι πολύ ασφαλέστερο στη μεταφορά από πολλές άλλες ουσίες, επειδή δεν σχηματίζει εύφλεκτα ή εκρηκτικά μείγματα με τον αέρα, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Επιπλέον, το CO<sub>2</sub> δεν είναι άμεσα τοξικό για τον άνθρωπο ή την άγρια ζωή όταν απελευθερώνεται στον αέρα του περιβάλλοντος, εκτός από την εξαιρετικά απίθανη περίπτωση που η απελευθέρωση είναι καταστροφική, δηλαδή πολύ γρήγορη και σε εξαιρετικά μεγάλες ποσότητες. Ωστόσο, τα συνήθη μέτρα ασφαλείας, όπως η λειτουργία αυτόματης διακοπής λειτουργίας όταν πέφτει η πίεση σε έναν αγωγό, καθιστούν μια καταστροφική απελευθέρωση εξαιρετικά απίθανη. Οι αγωγοί διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και άλλες μέθοδοι μεταφοράς, είναι ασφαλείς και υπόκεινται σε στενή διαχείριση βάσει διεθνών προτύπων. Για παράδειγμα, στις ΗΠΑ, η ασφάλεια των αγωγών CO<sub>2</sub> ρυθμίζεται από την ομοσπονδιακή υπηρεσία ασφαλείας αγωγών και επικίνδυνων υλικών (PHMSA) και τα δεδομένα ασφαλείας των αγωγών CO<sub>2</sub> δημοσιοποιούνται από την PHMSA. Υπάρχει σημαντική εμπειρία στην ανάπτυξη και λειτουργία αγωγών CO<sub>2</sub> στην ξηρά αλλά και κάτω από τη θάλασσα. Στις ΗΠΑ λειτουργούν σήμερα περίπου 50 αγωγοί CO<sub>2</sub> με μήκος άνω των 8,000 χιλιομέτρων, οι οποίοι μεταφέρουν περίπου 70 εκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub> κάθε χρόνο (Global CCS Institute, 2022).

### 2.2.3 **Αποθήκευση CO<sub>2</sub>**

Αφού έχει προηγηθεί η δέσμευση και η μεταφορά του CO<sub>2</sub>, ακολουθεί η αποθήκευση του σε κατάλληλους χώρους αποθήκευσης. Η αποθήκευση του σε μεγάλες κλίμακες γίνεται σε

υπόγειους γεωλογικούς χώρους αποθήκευσης. Σκοπός συνήθως είναι η μόνιμη αποθήκευση του σε αυτούς τους χώρους με εξαίρεση τις περιπτώσεις που το CO<sub>2</sub> χρησιμοποιείται εκ νέου για διάφορες άλλες διεργασίες που θα αναλυθούν στην ενότητα 2.2.4.

Ο χώρος αποθήκευσης (ταμιευτήρας) αποτελείται από πορώδες πέτρωμα που επικαλύπτεται από ένα αδιαπέραστο στρώμα πετρωμάτων, το οποίο σφραγίζει τον ταμιευτήρα και εμποδίζει την ανοδική μετανάστευση του CO<sub>2</sub> και τη διαφυγή του στην ατμόσφαιρα. Το CO<sub>2</sub> παγιδεύεται μόνιμα στον ταμιευτήρα με διάφορους μηχανισμούς (IEA, 2020a, pp. 112-116).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ταμιευτήρων κατάλληλων για την αποθήκευση CO<sub>2</sub> για τους οποίους όμως δεν θα γίνει ανάλυση, καθώς σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης είναι η διερεύνηση της συγκεκριμένης εφοδιαστικής αλυσίδας κυρίως από οικονομικής άποψης.

Η συνολική τεχνική χωρητικότητα αποθήκευσης για την υπόγεια αποθήκευση CO<sub>2</sub> παγκοσμίως είναι αβέβαιη, αλλά δυνητικά είναι πολύ μεγάλη. Ως εκ τούτου, είναι απίθανο να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα για την ανάπτυξη της CCS. Η συνολική παγκόσμια χωρητικότητα αποθήκευσης έχει εκτιμηθεί μεταξύ 8 000 Gt και 55 000 Gt (IEA, 2020a, p. 113). Η θεωρητική παγκόσμια αποθηκευτική ικανότητα μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες για αποθήκευση τουλάχιστον μέχρι το 2070 (IEA, 2020a, p. 114).

Αποθήκευση του CO<sub>2</sub> πραγματοποιείται και σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται να αποθηκευτεί κάπου προσωρινά μέχρι να μεταφερθεί στον τελικό αποθηκευτικό χώρο. Σε αυτές τις περιπτώσεις το CO<sub>2</sub> μπορεί να αποθηκευτεί σε ειδικές δεξαμενές διαφόρων πιέσεων, σχημάτων και υλικού (Fraga, et al., 2021).

#### 2.2.3.1 Κίνδυνοι αποθήκευσης CO<sub>2</sub>

Πολλοί είναι αυτοί που εκφράζουν τις ανησυχίες τους για την αποθήκευση CO<sub>2</sub> σε γεωλογικούς χώρους αποθήκευσης. Υποστηρίζουν ότι είναι άλλη μια απάτη που δεν θα λύσει το πρόβλημα της υπερθέρμανσης του πλανήτη καθώς υπάρχουν πολλοί κίνδυνοι.

Ο πιο άμεσος και προφανής κίνδυνος είναι η διαρροή. Εάν το CO<sub>2</sub> δεν αποθηκευτεί σωστά ή δεν παραμείνει σε υγρή κατάσταση, μπορεί να διαφύγει και να διαρρεύσει στις γύρω περιοχές. Επιπρόσθετα οι αγωγοί είναι ευάλωτοι σε σεισμούς, κατολισθήσεις και άλλες φυσικές καταστροφές. Οι διαρροές θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε περιβαλλοντικά ζητήματα και ζητήματα ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένης της μόλυνσης του εδάφους και της ρύπανσης των υδάτινων οδών. Το αέριο θα μπορούσε ακόμη και να μεταναστεύσει σε κατοικημένες περιοχές και να προκαλέσει προβλήματα υγείας σε όσους ζουν κοντά (Institute of Innovation and Knowledge Exchange, 2023).

Επίσης η έκθεση σε αυξημένα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να προκαλέσει συμπτώματα όπως ζάλη, πονοκέφαλο, δύσπνοια και, σε ακραίες περιπτώσεις, απώλεια των αισθήσεων ή θάνατο. Τα υψηλά επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να εκτοπίσουν το οξυγόνο στον αέρα, οδηγώντας σε στέρηση οξυγόνου, η οποία είναι επικίνδυνη (CO<sub>2</sub> Meter Gas Measurement Specialists, 2024).

Οι διαρροές CO<sub>2</sub> σε μεγάλες ποσότητες, δημιουργούν ένα νέφος CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, το οποίο είναι εξαιρετικά επικίνδυνο αφού μπορεί να προκαλέσει ασφυξία στους ανθρώπους. Το 1986, μια λίμνη στο Καμερούν απελευθέρωσε μια τεράστια φυσαλίδα CO<sub>2</sub> που σχηματίστηκε από ηφαιστειακή δραστηριότητα. Αυτό το CO<sub>2</sub> εξαπλώθηκε σε ένα σύννεφο που σκότωσε σχεδόν 1,800 ανθρώπους, μερικούς σε απόσταση μεγαλύτερη από 15 μίλια μακριά. Ακόμη μια διαρροή από αγωγό στη Satartia του Mississippi οδήγησε στο νοσοκομείο σχεδόν 50 κατοίκους το 2020 (DiFelice & Shelton-Thomas, 2023).

Αποθήκευση CO<sub>2</sub> παρά ταύτα πραγματοποιείται σε πολλές χώρες, οι οποίες αναφέρονται στην ενότητα 4.4.2 και τα τελευταία χρόνια σε αυξημένα επίπεδα. Ως εκ τούτου η πλειοψηφία φαίνεται να μην ανησυχεί και πολύ για τους πιθανούς κινδύνους ή τουλάχιστον δεν τους θεωρεί αρκετά σημαντικούς.

Ένα θετικό στοιχείο του CO<sub>2</sub> είναι ότι δεν είναι εύφλεκτο έτσι δεν μπορούν να προκληθούν εκρήξεις ή φωτιές λόγω αυτού. Το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και τα φυσικά κοιτάσματα CO<sub>2</sub> έχουν παγιωθεί και αποθηκευτεί με φυσικό τρόπο σε υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς για εκατομμύρια χρόνια, παρέχοντας αποδείξεις ότι είναι δυνατή η αποθήκευση CO<sub>2</sub> σε παρόμοιους γεωλογικούς σχηματισμούς για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα (National Energy Technology Laboratory, 2024b).

Επιπρόσθετα έχουν πραγματοποιηθεί μεγάλης κλίμακας εμπορικές και ερευνητικές δοκιμαστικές επιχειρήσεις αποθήκευσης CO<sub>2</sub> στις ΗΠΑ και σε όλο τον κόσμο που έχουν αποδείξει την αποτελεσματική αποθήκευση CO<sub>2</sub>. Παραδείγματα προσπαθειών που έχουν επιτύχει την αποθήκευση CO<sub>2</sub> σε μεγάλη κλίμακα περιλαμβάνουν το έργο Sleipner στη Βόρεια Θάλασσα (σε λειτουργία από το 1996) και το έργο Weyburn στο Saskatchewan (σε λειτουργία από το 2000 έως το 2012). Επιπλέον ερευνητικά έργα μεγάλης κλίμακας για την αποθήκευση CO<sub>2</sub> διεξάγονται από το υπουργείο ενέργειας των ΗΠΑ (DOE) σε διάφορα γεωλογικά περιβάλλοντα στις ΗΠΑ. Σε αυτά περιλαμβάνονται οι προσπάθειες έγχυσης που διεξάγονται από τις περιφερειακές συμπράξεις δέσμευσης άνθρακα (RCSPs). Μέχρι σήμερα, περισσότεροι από 14 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι (MMT) CO<sub>2</sub> έχουν εγχυθεί με επιτυχία και 10,5 MMT CO<sub>2</sub> έχουν αποθηκευτεί με επιτυχία στο πλαίσιο των προσπαθειών αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας των RCSP. Ο τεράστιος όγκος των στοιχείων που αποκτήθηκαν από τις προσπάθειες EOR, αποθήκευσης αερίου, έρευνας και ανάπτυξης (R&D) και δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS) σε εμπορική κλίμακα υποδηλώνει ότι η αποθήκευση CO<sub>2</sub> είναι ασφαλής, εφόσον οι χώροι επιλέγονται, σχεδιάζονται και λειτουργούν κατάλληλα (National Energy Technology Laboratory, 2024b).

#### 2.2.4 “Αξιοποίηση” CO<sub>2</sub>

Αυτή η ενότητα αναφέρεται στην αξιοποίηση του δεσμευμένου CO<sub>2</sub> που έρχεται σε αντίθεση με την αποθήκευσή του. Τονίζεται ότι η αξιοποίηση του ενδεχομένως να έχει εκ νέου εκπομπές CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν 2 ενδεχόμενα. Το πρώτο είναι να γίνει εκ νέου δέσμευση και ουσιαστικά να ακολουθείται ένα κύκλος δέσμευσης και αξιοποίησης CO<sub>2</sub>. Το δεύτερο ενδεχόμενο είναι να μην γίνεται εκ νέου δέσμευση, ενδεχόμενο που δεν βοηθάει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αλλά εξυπηρετεί άλλους σκοπούς.



Μερικές από τις εφαρμογές του δεσμευμένου CO<sub>2</sub> είναι οι εξής:

- Χρήση CO<sub>2</sub> στη χημική βιομηχανία και την επεξεργασία υλικών
- Ενισχυμένη ανάκτηση πετρελαίου με CO<sub>2</sub>
- Χρήση του CO<sub>2</sub> σε δομικά υλικά από σκυρόδεμα
- Καύσιμα και χημικά από CO<sub>2</sub>
- Υπερκρίσιμο CO<sub>2</sub> (s-CO<sub>2</sub>)

Ωστόσο οι περισσότερες εξ αυτών δεν θεωρούνται τεχνολογικά έτοιμες (Πίνακας 1).

**Πίνακας 1: Τεχνολογική ετοιμότητα τεχνολογιών αξιοποίησης CO<sub>2</sub> (Valluri, et al., 2022)**

Table 7 – Technology readiness levels of various CO <sub>2</sub> utilization technologies.					
Division	Application	Impact	CO <sub>2</sub> uptake capacity (Gton CO <sub>2</sub> /year)	Technology readiness level	Breakeven cost (USD/ton)
Fuels and chemicals	Fuels (methanol, ethanol, syngas, methane); Chemicals (formic acid, oxalic acid); Urea production.	High	-	5–6	-
Food	Dry ice; Drinks carbonation; Baking soda (bicarbonate); Food preservative.	Medium	-	10	-
Chemical and materials processing industry	Iron and steel making; Acid mine drainage rare earth extraction; Steel slag carbonation.	Medium	0.2–0.3	6–8	–20 to 50
Oil and gas	Enhanced oil recovery	Very high	0.1–1	10	–45 to –60
Mineral carbonation	Concrete building materials; Red-mud (Bauxite residue) neutralization.	Medium	3–4	7–8	–30 to 70
Power sector	Working fluid in power cycle	Medium	-	3–4	-
Other	Solvent (Supercritical CO <sub>2</sub> ); Refrigerant; Dry cleaning.	Low	-	6	-

Οι πλέον τεχνολογικά πλήρως έτοιμες είναι η ενισχυμένη ανάκτηση πετρελαίου με CO<sub>2</sub> (EOR) και το υπερκρίσιμο CO<sub>2</sub> (s-CO<sub>2</sub>) που χρησιμεύει στην βιομηχανία τροφίμων.

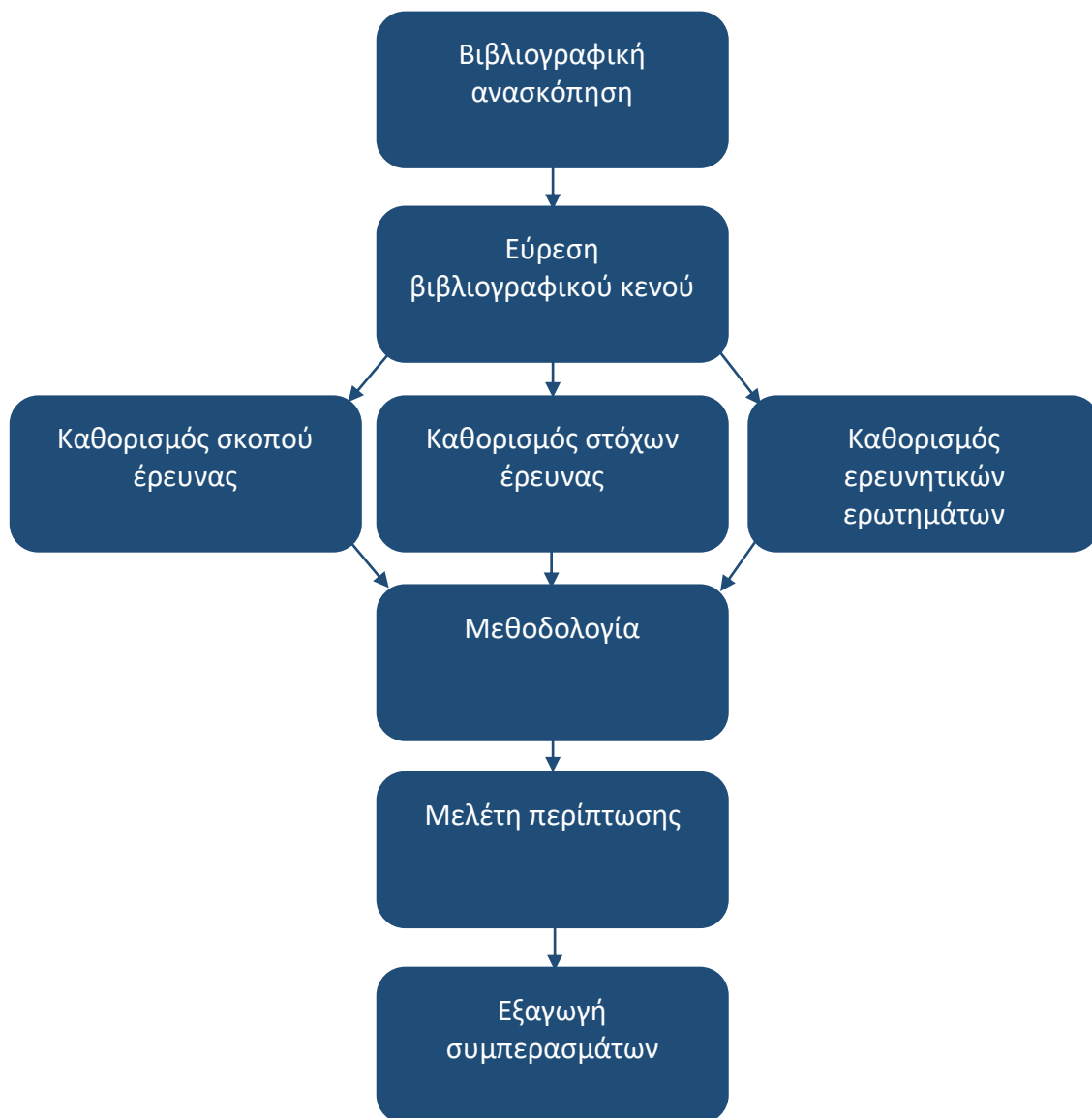
Η ενισχυμένη ανάκτηση πετρελαίου με CO<sub>2</sub> (EOR) είναι μακράν η πιο διαδεδομένη μέθοδος αξιοποίησης CO<sub>2</sub>. Είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την ανάκτηση πετρελαίου, συνήθως από ώριμα κοιτάσματα που έχουν πάψει να είναι παραγωγικά μέσω των παραδοσιακών πρωτογενών και δευτερογενών μεθόδων ανάκτησης. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα ελκυστική λόγω της αποτελεσματικότητάς του και της ικανότητάς του να δεσμεύει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> που δημιουργούνται από την αεριοποίηση. Μετά τις εργασίες ενισχυμένης ανάκτησης πετρελαίου, το CO<sub>2</sub> μπορεί να παραμείνει υπόγεια στον ταμιευτήρα και έτσι εμποδίζεται η είσοδος του στην ατμόσφαιρα (National Energy Technology Laboratory, 2024a).

Όσο αφορά το υπερκρίσιμο CO<sub>2</sub> είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί στην βιομηχανία τροφίμων για την ανθρακοποίηση ποτών, για την μαγειρική σόδα αλλά και για τα συντηρητικά τροφίμων (Valluri, et al., 2022). Αν και από τεχνολογικής άποψης το CO<sub>2</sub> μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βιομηχανία τροφίμων, ωστόσο δεν έχει και μεγάλη επίδραση σε αυτήν (Πίνακας 1).

## 3. Μεθοδολογία

### 3.1 Σχεδιασμός έρευνας

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται τα βήματα της εργασίας αλλά και οι μέθοδοι που επιλέγονται να χρησιμοποιηθούν ως προς την επίτευξη του προσδοκώμενου αποτελέσματος. Το προσδοκώμενο αποτέλεσμα είναι η επίτευξη του σκοπού και των στόχων που έχουν τεθεί στην ενότητα 1.3 και 1.5 αλλά και η απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων που έχουν τεθεί στην ενότητα 1.4. Ιδιαίτερα βοηθητικό είναι το Σχήμα 2 στο οποίο παρουσιάζονται τα βήματα της εργασίας με την σειρά.



Σχήμα 2: Βήματα εργασίας

Διευκρινίζεται ότι το βιβλιογραφικό κενό αντιπροσωπεύει το περιεχόμενο που υπολείπεται από την βιβλιογραφία και το οποίο θα καλύψει η εργασία. Αφού βρεθεί αυτό, μπορεί να τεθεί και ο σκοπός την εργασίας, οι στόχοι και τα ερευνητικά ερωτήματα. Ακολουθώς γίνεται επιλογή της μεθοδολογίας/μεθοδολογιών που θα βοηθήσουν στην επίτευξη του σκοπού, των στόχων και στην απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων. Έπειτα εφαρμόζονται οι μεθοδολογίες και εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με την έρευνα.

### 3.2 Μελέτη βιβλιογραφίας

Αρχικά έχει μελετηθεί μια αρχική βιβλιογραφία αποκτώντας μια καλή αρχική εικόνα του θέματος και διερευνώντας το βιβλιογραφικό κενό που θα καλύψει η συγκεκριμένη εργασία (Αθανασίου, 2023; IEA, 2020a; IEA, 2020b; Trakakis, 2024). Στη συνέχεια έχουν τεθεί ο σκοπός, τα ερευνητικά ερωτήματα και οι στόχοι της εργασίας στην ενότητα 1. Αφού υπάρχει πλέον η πλήρης εικόνα του γιατί θα γίνει η έρευνα, ως προς την πλήρη κατανόηση των βασικών εννοιών του θέματος γίνεται περεταίρω ανασκόπηση της βιβλιογραφίας.

### 3.3 Μελέτη περίπτωσης

Όταν έχουμε να κάνουμε με μία οικονομική μελέτη σίγουρα θα πρέπει να τεθεί κάποιο παράδειγμα ως προς την κατανόηση. Η μελέτη περίπτωσης θα επιτρέψει ακόμη την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την σκοπιμότητα της εν λόγω εφοδιαστικής αλυσίδας και ως προς τον προσδιορισμό των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν την βιωσιμότητά της. Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 1.5 οι στόχοι της εργασίας είναι οι εξής:

1. Ανάπτυξη εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub>.
2. Βελτιστοποίηση εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub> και εύρεση ελάχιστου κόστους αυτής.
3. Αξιολόγηση επένδυσης συστημάτων δέσμευσης CO<sub>2</sub>.

Η συγκεκριμένη εφοδιαστική αλυσίδα ακόμη δεν έχει υλοποιηθεί στην Ελλάδα. Αναπτύσσοντας και βελτιστοποιώντας μια θεωρητική εφοδιαστική αλυσίδας CO<sub>2</sub> για την Ελλάδα, θα μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα ως προς την βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης αλλά και ως προς την κοστολόγηση των ίδιων των υπηρεσιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Για την ανάπτυξη της εφοδιαστικής αλυσίδας θα πρέπει να γίνει κοστολόγηση όλων των υπηρεσιών που διέπουν την εφοδιαστική αλυσίδα. Για τον λόγο αυτό θα θεωρηθεί ένα σενάριο λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας 25 ετών και θα βρεθούν τόσο οι κεφαλαιουχικές δαπάνες (CapEx) όσο και τα λειτουργικά έξοδα ετησίως (OpEx). Για την εύρεση του τελικού κόστους θα πρέπει να μελετηθούν τα εξής:

- Κόστη δέσμευσης CO<sub>2</sub>
- Κόστη μεταφοράς CO<sub>2</sub>

- Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO<sub>2</sub>
- Κόστη μόνιμης αποθήκευσης CO<sub>2</sub>
- Απροσδόκητο κόστος
- Απαιτούμενο ύψος δανείου

Αυτά θα προσδιοριστούν από μοντέλα και μελέτες που υπάρχουν στον τομέα, τόσο για Ελλάδα όσο και για άλλες χώρες οι οποίες έχουν ήδη αναπτύξει αυτή την εφοδιαστική αλυσίδα. Σε περίπτωση μελέτης μοντέλων άλλων χωρών θα γίνεται αναγωγή με εμπειρικά δεδομένα αλλά και διάφορους υπολογισμούς για δεδομένα Ελλάδας. Όσο αφορά την βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας θα γίνει με εξέταση εναλλακτικών σεναρίων. Αυτό έχει ως σκοπό την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπρόσθετα θα γίνει εκτίμηση των εσόδων που μπορούν να επωφεληθούν οι βιομηχανίες από την συγκεκριμένη εφοδιαστική αλυσίδα. Αφού θα είναι πλέον γνωστές οι εισροές και εκροές που αφορούν την εφοδιαστική αλυσίδα που περιγράφεται, θα πραγματοποιηθεί μια ενδεικτική αξιολόγηση επένδυσης με σκοπό την ανάδειξη της βιωσιμότητας της. Τέλος θα πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας, ώστε να αξιολογηθεί η επένδυση και για πιθανές μεταβολές των εσόδων.

## 4. Μελέτη περίπτωσης εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub> σε βιομηχανίες

Τονίζεται ότι η συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης σκοπό έχει την καθοδήγηση της ανάλυσης της συγκεκριμένης εφοδιαστικής αλυσίδας για τις βιομηχανίες και δεν αποτελεί κάποια πρακτική εφαρμογή με πραγματικά νούμερα. Η μέθοδος προφανώς απευθύνεται για πολύ μεγάλο εύρος βιομηχανιών. Οι βιομηχανίες που επιλέγονται στην ενότητα 4.1 αποτελούν απλώς ένα παράδειγμα για να γίνει όσο το δυνατόν πιο κατανοητό το κόστος μιας εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα. Σκοπός λοιπόν είναι να αναδειχθεί η χρησιμότητα της μεθόδου δέσμευσης CO<sub>2</sub> για κάθε βιομηχανία που εκπέμπει μεγάλες ποσότητες CO<sub>2</sub>. Επίσης να βρεθεί ένα ελάχιστο κόστος λειτουργίας της εν λόγω εφοδιαστικής αλυσίδας αφού αυτό μπορεί να χρησιμεύσει στην κοστολόγηση των υπηρεσιών που διέπουν την εφοδιαστική αλυσίδα.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι οι μεγάλες ποσότητες εκπομπών CO<sub>2</sub> είναι σχετικό αφού τον τελευταίο καιρό είναι ποσότητα με μεγάλη μεταβλητότητα, όπως και οι φορολογίες (για τις εκπομπές CO<sub>2</sub>). Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ίσως να χρησιμεύσει και για βιομηχανίες με σχετικά μικρές εκπομπές CO<sub>2</sub>. Ανασταλτικό παράγοντα για αυτές αποτελεί η σχετικά ακριβή εγκατάσταση των συστημάτων δέσμευσης και αυτός είναι ο λόγος που η εργασία αυτή ασχολείται με βιομηχανίες που έχουν μεγάλες εκπομπές CO<sub>2</sub>.

Μέσω αυτής της μελέτης περίπτωσης γίνεται μια προσπάθεια για ποσοτικοποίηση των πραγμάτων, η οποία είναι λίγο έως πολύ αόριστη και έχει ως μοναδικό σκοπό να προσφέρει μια επιφανειακή με οικονομικούς όρους γνώση της κατάστασης. Η αοριστία της οφείλεται τόσο στην μεγάλη μεταβλητότητα των παραμέτρων, όσο και στο ότι είναι κάτι καινούριο που ακόμη δεν υλοποιήθηκε από κάποιον στην Ελλάδα, έτσι η μελέτη βασίζεται σε πολλές απλοποιήσεις και υποθέσεις. Μερικές από αυτές αναγράφονται στην ενότητα 4.12. Έχοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, η μελέτη αυτή είναι αφενός χρήσιμη για να κατανοήσει κάποιος την χρησιμότητα και τις προοπτικές της μεθόδου και αφετέρου μη χρήσιμη για να βασιστεί κάποιος εξολοκλήρου σε αυτήν.

Τα κόστη σε κάθε περίπτωση θα διαχωρίζονται σε κεφαλαιουχικές δαπάνες (CapEx) και ετήσια λειτουργικά έξοδα (OpEx). Αφού πραγματοποιηθεί η κοστολόγηση των υπηρεσιών θα ακολουθήσει ο υπολογισμός των εσόδων της εφοδιαστικής αλυσίδας στην ενότητα 4.9. Τέλος θα γίνει αξιολόγηση της επένδυσης με τους συντελεστές Καθαρής Παρούσας Αξίας-ΚΠΑ (NPV) και Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης-EBA (IRR).

Επισημαίνεται ότι σε αυτή την μελέτη ευρίσκονται μόνο οι εισροές και εκροές (των βιομηχανιών) που έχουν να κάνουν με το κομμάτι των εκπομπών CO<sub>2</sub> και σε καμιά περίπτωση δεν αποτελούν το ισοζύγιο αυτών των βιομηχανιών.

#### 4.1 Βιομηχανίες μελέτης περίπτωσης

Θα πραγματοποιηθεί η μελέτη για 4 τυπικές βιομηχανίες οι οποίες φαίνονται παρακάτω (Πίνακας 2) μαζί με τις αντίστοιχες εκπομπές CO<sub>2</sub> που έχει η κάθε μία. Αυτές αποτελούν 4 θεωρητικές βιομηχανίες με μεγάλες εκπομπές CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα, οπότε προσφέρονται για τον σκοπό της μελέτης. Ωστόσο αυτές οι βιομηχανίες αποτελούν απλά ένα παράδειγμα, αφού η μελέτη θα μπορούσε να γίνει για οποιοσδήποτε βιομηχανίες παρόμοιας εμβέλειας και να έχει παρόμοια αποτελέσματα.

**Πίνακας 2: Εκπομπές CO<sub>2</sub> βιομηχανιών προς μελέτη**

Βιομηχανίες	Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/μέρα]
Βιομηχανία Α	1,300,000	3,611
Βιομηχανία Β	1,300,000	3,611
Βιομηχανία Γ	1,080,000	3,000
Βιομηχανία Δ	1,000,000	2,778
Συνολικά	4,680,000	13,000

Στο σενάριο που θα γίνει η μελέτη θεωρούμε μια υποθετική συνεργασία των τεσσάρων βιομηχανιών (Πίνακας 2). Στη συνέχεια θα αναλυθούν όλα τα κόστη της εφοδιαστικής αλυσίδας.

#### 4.2 Κόστη δέσμευσης CO<sub>2</sub>

Αφού έχει ήδη παρουσιαστεί μια πρώτη εικόνα για τους πιθανούς τρόπους δέσμευσης CO<sub>2</sub> στην ενότητα 2.2.1, τώρα θα γίνει επιλογή για κάθε είδος βιομηχανίας που επιλέχθηκε στην ενότητα 4.1. Για διαφορετικές βιομηχανίες είναι λογικό να συμφέρουν διαφορετικές μέθοδοι δέσμευσης και οι λόγοι είναι πολλοί. Αρχικά υπάρχουν διαφόρων ειδών μηχανές αφού το κάθε εργοστάσιο έχει διαφορετικές ανάγκες. Ακόμη ανάλογα με το ποσοστό δέσμευσης που θέλει να επιτύχει η κάθε βιομηχανία, το κόστος αλλάζει.

Για να γίνει επιλογή των τρόπων δέσμευσης στην συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης και για τις διάφορες βιομηχανίες που επιλέχθηκαν στην ενότητα 4.1 θα χρησιμοποιηθεί ένα έτοιμο μοντέλο που παρουσιάζει τα κόστη για την κάθε μέθοδο δέσμευσης. Αυτό το μοντέλο ουσιαστικά δημιουργήθηκε από δεδομένα πολλών βιομηχανιών για διαφορετικούς τρόπους δέσμευσης και παρέχει τον μέσο όρο κόστους ανάλογα με το δεσμευόμενο CO<sub>2</sub>.

Όπως είχε αναφερθεί και στην ενότητα 2.2.1 ανάλογα με το είδος βιομηχανίας εφαρμόζεται και διαφορετικός τρόπος δέσμευσης CO<sub>2</sub>. Ως εκ τούτου, θα γίνει κατηγοριοποίηση των

βιομηχανιών που αναγράφονται παραπάνω (Πίνακας 2). Οι κατηγορίες όπως αναφέρονται στο μοντέλο είναι οι εξής (Pieri & Angelis Dimakis, 2021):

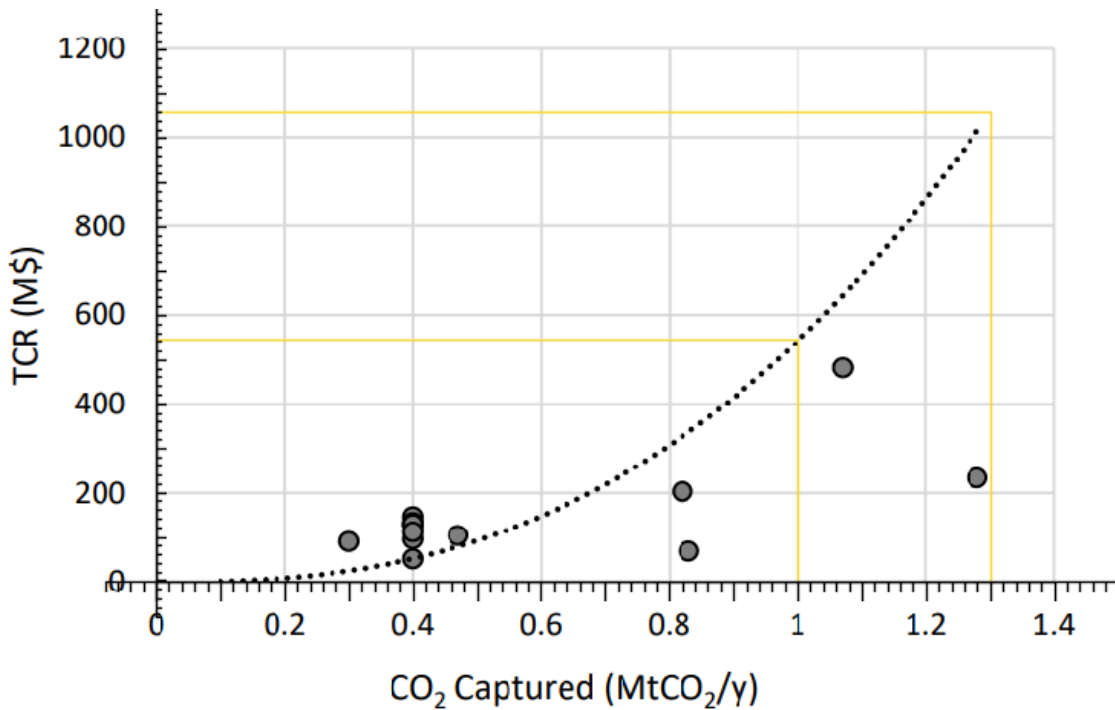
- Metal industry
- Cement industry
  - Βιομηχανία Β
  - Βιομηχανία Δ
- Fluid catalytic cracking (FCC)
- Power related sources
  - i. IGCC
  - ii. SCPC
  - iii. NGCC
    - Βιομηχανία Α
    - Βιομηχανία Γ
  - iv. USCPC

Επισημαίνεται ότι οι Βιομηχανίες Β και Δ αποτελούν τσιμεντοβιομηχανίες ενώ οι Βιομηχανίες Α και Γ αποτελούν ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς οι οποίοι λειτουργούν με τεχνολογία NGCC. Ανάλογα με τους τόνους δεσμευόμενου CO<sub>2</sub> και την κατηγορία που εντάσσεται η κάθε βιομηχανία, θα γίνει εκτίμηση της συνολικής κεφαλαιουχικής απαίτησης (TCR) αλλά και του συνολικού κόστους λειτουργίας και συντήρησης (O&M). Το μοντέλο παρέχει γραφικές για κάθε κατηγορία βιομηχανίας με σκοπό την εκτίμηση του κόστους για δεδομένες εκπομπές CO<sub>2</sub> (Pieri & Angelis Dimakis, 2021). Οι ποσότητες δεσμευόμενου CO<sub>2</sub> αναγράφονται παρακάτω (Πίνακας 3). Οι ποσότητες αυτές προέκυψαν από τις εκπομπές CO<sub>2</sub> που έχει η κάθε βιομηχανία (Πίνακας 2) πολλαπλασιάζοντας με το ποσοστό δέσμησης. Το ποσοστό δέσμησης δεν παρέχεται από το μοντέλο, έτσι γίνεται εκτίμηση αυτού. Τα ποσοστά για δέσμηση CO<sub>2</sub> σε ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς κυμαίνονται από 90-99.7% και για τσιμεντοβιομηχανίες είναι εξίσου μεγάλα ποσοστά, οπότε θεωρείται δέσμηση 95% (IEA, 2020a, p. 103).

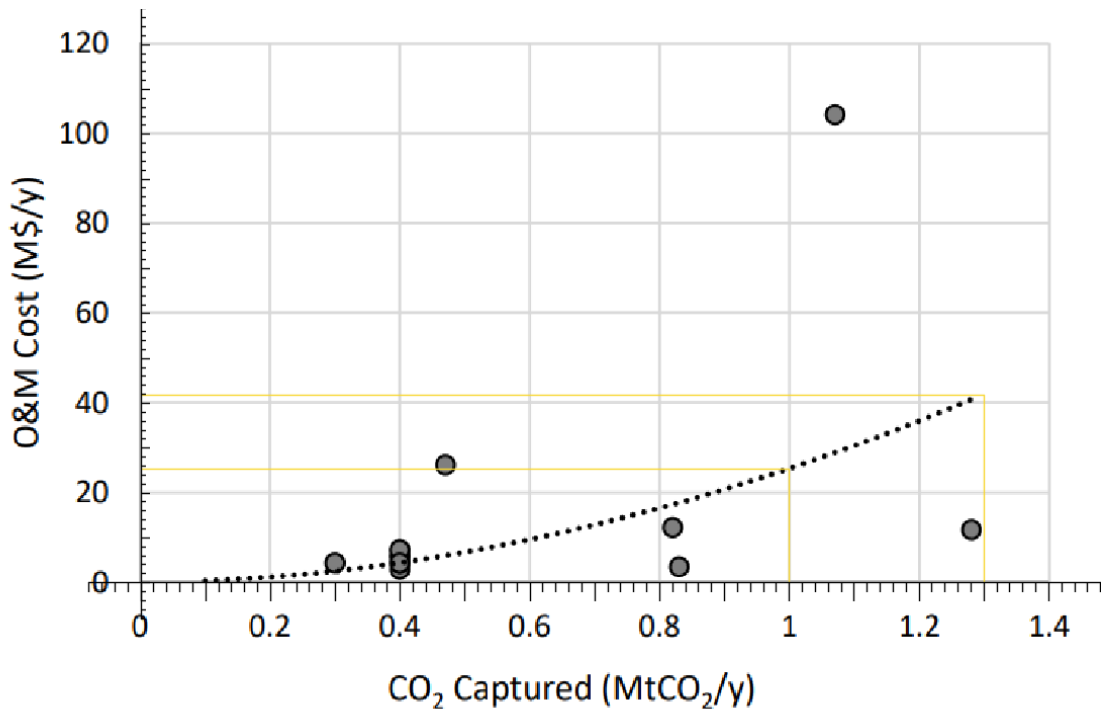
**Πίνακας 3: Δεσμευόμενο CO<sub>2</sub> βιομηχανιών προς μελέτη**

Βιομηχανίες	Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> [t/έτος]	Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> [t/μέρα]
Βιομηχανία Α	1,235,000	3,431
Βιομηχανία Β	1,235,000	3,431
Βιομηχανία Γ	1,026,000	2,850
Βιομηχανία Δ	950,000	2,639
Συνολικό δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> (95%)	4,446,000	12,351

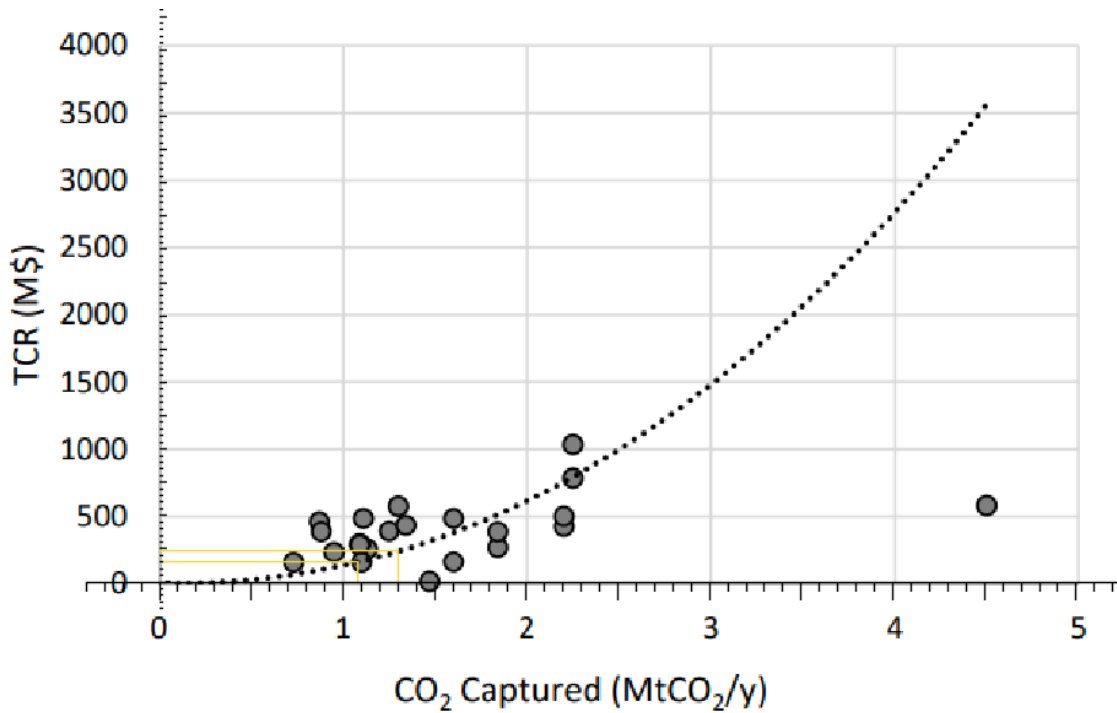




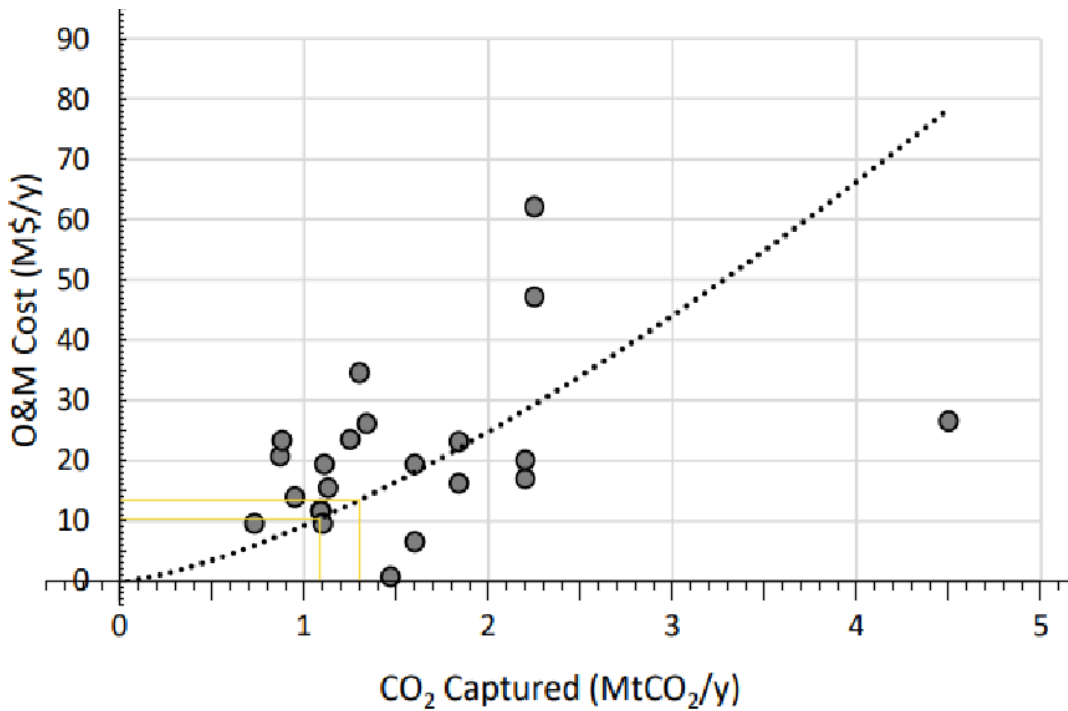
Σχήμα 3: Γραφική παράσταση κεφαλαιουχικής απαίτησης (TCR) εγκατάστασης συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub> σε τσιμεντοβιομηχανίες



Σχήμα 4: Γραφική παράσταση κόστους λειτουργίας και συντήρησης (O&M) συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub> σε τσιμεντοβιομηχανίες



Σχήμα 5: Γραφική παράσταση κεφαλαιουχικής απαίτησης (TCR) εγκατάστασης συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub> σε τεχνολογίες συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου



Σχήμα 6: Γραφική παράσταση λειτουργίας και συντήρησης (O&M) συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub> σε τεχνολογίες συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου

Ακολουθώς παρουσιάζονται (Πίνακας 4, Πίνακας 5) οι κεφαλαιουχικές απαιτήσεις (TCR) ή κεφαλαιουχικές δαπάνες (CapEx) για την εγκατάσταση των συστημάτων δέσμευσης σε κάθε βιομηχανία όπως προέκυψαν από τις γραφικές (Σχήμα 3, Σχήμα 5). Παρουσιάζονται ακόμη (Πίνακας 6, Πίνακας 7) παρουσιάζονται τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης (O&M) ή λειτουργικά έξοδα (OpEx) για τα συστήματα δέσμευσης σε κάθε βιομηχανία όπως προέκυψαν από τις γραφικές (Σχήμα 4, Σχήμα 6).

**Πίνακας 4: CapEx-Εγκατάστασης συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub> τσιμεντοβιομηχανιών**

Cement industry	Κόστη [€]	
	Βιομηχανία Β	Βιομηχανία Δ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,000,000
TCR	€1,060,000,000.00	€535,000,000.00

**Πίνακας 5: CapEx-Εγκατάστασης συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub> για βιομηχανίες με τεχνολογία NGCC**

NGCC	Κόστη [€]	
	Βιομηχανία Α	Βιομηχανία Γ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,080,000
TCR	€235,000,000.00	€160,000,000.00

**Πίνακας 6: OpEx-Συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub> τσιμεντοβιομηχανιών**

Cement industry	Κόστη [€/έτος]	
	Βιομηχανία Β	Βιομηχανία Δ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,080,000
O&M	€42,000,000.00	€25,500,000.00

**Πίνακας 7: OpEx-Εγκατάστασης συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub> για βιομηχανίες με τεχνολογία NGCC**

	Βιομηχανία Α	Βιομηχανία Γ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,080,000
O&M	€13,500,000.00	€10,000,000.00

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα τελικά CapEx και OpEx για την δέσμευση CO<sub>2</sub> (Πίνακας 8, Πίνακας 9)

**Πίνακας 8: Συνολικά CapEx συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub>**

Cement industry	Κόστη [€]	
	Βιομηχανία Β	Βιομηχανία Δ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,000,000
TCR	€1,060,000,000.00	€535,000,000.00
NGCC	Κόστη [€]	
	Βιομηχανία Α	Βιομηχανία Γ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,080,000
TCR	€235,000,000.00	€160,000,000.00
Συνολικά CapEx συστήματος δέσμευσης	€1,455,000,000.00	

**Πίνακας 9: Συνολικά OpEx συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub>**

Cement industry	Κόστη [€/έτος]	
	Βιομηχανία Β	Βιομηχανία Δ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,080,000
O&M	€42,000,000.00	€25,500,000.00

NGCC	Κόστη [€/έτος]	
	Βιομηχανία Α	Βιομηχανία Γ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,080,000
O&M	€13,500,000.00	€10,000,000.00
Συνολικά OpEx δέσμμευσης	€65,500,000.00	

### 4.3 Κόστη μεταφοράς CO<sub>2</sub>

Σκοπός είναι να γίνει η μεταφορά με το ελάχιστο δυνατό κόστος αλλά και με ασφάλεια. Έτσι θα διερευνηθούν οι τρόποι αυτοί ώστε να βρεθεί ο πιο συμφέρον για δεδομένα Ελλάδα, ταυτόχρονα προέχοντας και για την ασφάλεια. Η τελική μόνιμη αποθήκευση του CO<sub>2</sub> που γίνεται επιλογή στην ενότητα 4.4.2 είναι ο γεωλογικός χώροι αποθήκευσης στον Πρίνο και ο γεωλογικός χώρος αποθήκευσης στην Ραβέννα. Η μεταφορά επιλέγεται να γίνει μέσω φορτηγών μέχρι το λιμάνι του Πειραιά και έπειτα με πλοία μέχρι τους δύο γεωλογικούς χώρους αποθήκευσης. Εναλλακτικά θα μπορούσε να γίνει μεταφορά μέσω αγωγών μέχρι το λιμάνι και έπειτα με πλοίο ή μέσω αγωγών στην θάλασσα μέχρι τους γεωλογικούς χώρους αποθήκευσης, σενάρια τα οποία εξετάζονται μετέπειτα στην ενότητα 4.8.

Σε αυτή την ενότητα αναλύεται διεξοδικά η μεταφορά CO<sub>2</sub> από τις βιομηχανίες που έγινε επιλογή στην ενότητα 4.1 προς τον χώρο αποθήκευσης. Αρχικά γίνεται μεταφορά στο λιμάνι του Πειραιά μέσω φορτηγών και έπειτα μεταφορά με πλοία μέχρι τον χώρο αποθήκευσης. Για την μεταφορά του CO<sub>2</sub> τόσο με φορτηγά, όσο και με πλοία οι περισσότερες παράμετροι βρέθηκαν από μοντέλο που δημιουργήθηκε για την δέσμμευση και μεταφορά CO<sub>2</sub> για την Σουηδική βιομηχανία (Karlsson, et al., 2023). Φυσικά όπου κρίθηκε σκόπιμο έγιναν τροποποιήσεις στα κόστη (για δεδομένα Ελλάδα).

#### 4.3.1 Κόστη μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω φορτηγών

Από το προαναφερθέν μοντέλο απαραίτητη κρίθηκε η αλλαγή της μισθοδοσίας του οδηγού φορτηγού (Karlsson, et al., 2023). Η μισθοδοσία οδηγών φορτηγών την Ελλάδα ανέρχεται κατά μέσο όρο στα €12,732 ανά έτος (Mywage, 2024). Σημειώνεται επίσης ότι οι κανονισμοί για το χρονικά όρια οδήγησης για τους οδηγούς φορτηγών αυτοκινήτων σύμφωνα με την Ελληνική Δημοκρατία-Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικής Ασφάλισης (2006) περιλαμβάνουν τα εξής: «οι ώρες οδήγησης δεν μπορεί να υπερβαίνουν τις 8 ημερησίως. Ειδικώς για τις διεθνείς μεταφορές ο ημερήσιος χρόνος οδήγησης δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 9 ώρες, ωστόσο μπορεί να παρατείνεται σε 10 ώρες κατ' ανώτατο όριο, όχι περισσότερες από δύο φορές στη διάρκεια της εβδομάδας. Ο συνολικός χρόνος οδήγησης ο οποίος σωρεύεται κατά τη διάρκεια δυο διαδοχικών εβδομάδων, δεν υπερβαίνει τις 90 ώρες. Ο χρόνος εβδομαδιαίας εργασίας των οδηγών φορτηγών αυτοκινήτων δεν μπορεί να υπερβαίνει τις 48 ώρες, κατά μέσο όρο, σε περίοδο αναφοράς 4 μηνών. Ο κάθε οδηγός έχει ημερήσια ανάπαυση

τουλάχιστον 12 ωρών ημερησίως. Επιπλέον μετά από περίοδο οδήγησης 4,5 ωρών, ο οδηγός κάνει διάλειμμα 45 τουλάχιστον λεπτών, εντός του χρόνου οδήγησης, το οποίο μπορεί να κατανέμεται σε 15 και 30 λεπτά αντίστοιχα. Ο οδηγός λαμβάνει κατά την διάρκεια 15ημέρου δύο κανονικές περιόδους εβδομαδιαίας ανάπαυσης. Η μία περίοδος εβδομαδιαίας ανάπαυσης πρέπει να αρχίζει το αργότερο μόλις συμπληρωθούν έξι συνεχόμενα εικοσιτετράωρα από το τέλος της προηγούμενης περιόδου εβδομαδιαίας ανάπαυσης. Ως κανονική περίοδος εβδομαδιαίας ανάπαυσης ορίζεται κάθε περίοδος ανάπαυσης, διάρκειας τουλάχιστον 45 ωρών με τις σχετικές παρεκκλίσεις του οικείου Κανονισμού.»

Ακόμη έχουν υπολογιστεί οι χρόνοι που χρειάζονται για κάθε μεταφορά λαμβάνοντας υπόψη τις αποστάσεις από την κάθε βιομηχανία μέχρι το λιμάνι του Πειραιά αλλά και τις ταχύτητες των φορτηγών με την βοήθεια διαδικτυακού χάρτη (Google, 2005).

Έτσι λαμβάνοντας υπόψη τους προαναφερθέντες κανονισμούς αλλά και τους χρόνους που χρειάζονται για την κάθε μεταφορά έχει δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα εργασίας για τους οδηγούς (Πίνακας 10). Διευκρινίζεται ότι οι οδηγοί εργάζονται έξι φορές την εβδομάδα και εναλλάσσουν τα δρομολόγια κάθε 1-2 μέρες ανάλογα με τις ημερήσιες ανάγκες μεταφοράς CO<sub>2</sub> κάθε βιομηχανίας. Η εναλλαγή αυτή σκοπό έχει την σύγκλιση των ωρών εργασίας όλων των οδηγών. Επιπλέον ο χρόνος φορτοεκφόρτωσης θεωρείται για τους οδηγούς διάλειμμα οπότε με βάση τους κανονισμούς αλλά και τις συνεχόμενες ώρες οδήγησης δεν χρειάζεται επιπλέον χρόνος για αυτό. Επιλέχθηκε μόνο το λιμάνι του Πειραιά καθώς ο χρόνος για φόρτωση στο πλοίο ανέρχεται περίπου στις 8 ώρες και δεν θα ήταν επωφελές να φορτώνει σε διάφορα λιμάνια το πλοίο καθώς θα γινόταν σπατάλη χρόνου. Ήταν επίσης το πιο κοντινό από τις περισσότερες βιομηχανίες. Παρά ταύτα θα εξεταστεί μετέπειτα και το κόστος για δύο λιμάνια αντί του ενός, στην ενότητα 4.8.

**Πίνακας 10: Πρόγραμμα εργασίας οδηγών**

Βιομηχανίες	Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> [t/μέρα]	Απόσταση μέχρι λιμάνι Πειραιά [km]	Μέση ταχύτητα [km/h]	Ώρες για 1 διαδρομή + φορτοεκφόρτωση [h]
Βιομηχανία Α	3,431	186.0	74.4	6.0
Βιομηχανία Β	3,431	32.3	53.8	2.2
Βιομηχανία Γ	2,850	76.1	64.3	3.4
Βιομηχανία Δ	2,639	344	85.3	9.1
Συνολικό δεσμευόμενο CO <sub>2</sub>	15,438			
Μέσοι όροι		159.6	69.5	

Βιομηχανίες	Διαδρομές	Ώρες εργασίας [h]	Φορτηγά	Οδηγοί
Βιομηχανία Α	1.0	6.0	91	91
Βιομηχανία Β	3.0	6.6	91	31
Βιομηχανία Γ	2.0	6.7	75	38
Βιομηχανία Δ	1.0	9.1	70	70
Μέσος όρος ημερήσιας εργασίας [h]				7.1
Μέσος όρος εβδομαδιαίας εργασίας [h]				42.8

Έπειτα παρουσιάζονται οι παράμετροι και τα τελικά κόστη για την μεταφορά CO<sub>2</sub> από τις βιομηχανίες μέχρι το λιμάνι του Πειραιά (Πίνακας 11). Το κόστος καυσίμων (diesel) βρέθηκε ως μέση τιμή του τελευταίου έτους στην Ελλάδα περίπου στο 1.7€ ανά λίτρο (Fuelo, 2024). Η μέση απόσταση διαδρομής και η μέση ταχύτητα προέκυψαν ως μέσοι όροι παραπάνω (Πίνακας 10).

**Πίνακας 11: Κόστη μεταφοράς CO<sub>2</sub> με φορτηγά**

Χωρητικότητα (t)	38
Απαίτηση (t)	12,350
Μέση απόσταση διαδρομής [km]	159.6
Φόρτωση-εκφόρτωση [h]	0.5
Ώρες εργασίας [h/οδηγό]	7.1
Μέση ταχύτητα [km/h]	69.46
Μέσος χρόνος για 1 διαδρομή [h]	3.30
Διαδρομές ανά οδηγό ανά μέρα	2.16
Μεταφερόμενο CO <sub>2</sub> [t/οδηγό/μέρα]	82.22
Οδηγοί/φορτηγά	150.21
Φορτηγά	151

Οδηγοί	177
Κόστος φορτηγού	€320,000.00
Αγορά φορτηγών	€48,320,000.00
Συντήρηση [5 % of capex/έτος]	€2,416,000.00
Μισθός οδηγού [/οδηγό/έτος]	€12,732.00
Μισθός οδηγών [/έτος]	€2,253,564.00
Κόστος καυσίμων (diesel) [ανά λίτρο]	€1.70
Απαιτούμενα λίτρα [/km]	0.5
Απαιτούμενα km [/μέρα]	52143.86
Απαιτούμενα λίτρα [/μέρα]	26071.93
Κόστος καυσίμων (diesel) [/μέρα]	€44,322.28
Κόστος καυσίμων (diesel) [/έτος]	€15,956,020.65

Ακολούθως παρουσιάζονται τα τελικά CapEx και OpEx για την μεταφορά CO<sub>2</sub> μέσω φορτηγών (Πίνακας 12, Πίνακας 13).

**Πίνακας 12: Συνολικά CapEx μεταφοράς CO<sub>2</sub> με φορτηγά**

CapEx	Κόστη [€]
Αγορά φορτηγών	€48,320,000.00
Συνολικά CapEx φορτηγών	€48,320,000.00

**Πίνακας 13: Συνολικά OpEx μεταφοράς CO<sub>2</sub> με φορτηγά**

OpEx	Κόστη [€]
Συντήρηση [5 % of capex/έτος]	€2,416,000.00
Μισθός οδηγών [/έτος]	€2,253,564.00
Κόστος καυσίμων (diesel) [/έτος]	€15,956,020.65
Συνολικά OpEx μεταφοράς με φορτηγά	€20,625,584.65



### 4.3.2 Κόστη μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω πλοίων

Στη συνέχεια αναλύεται η μεταφορά του CO<sub>2</sub> από το λιμάνι του Πειραιά μέχρι την αποθήκη στον Πρίνο που έγινε επιλογή στην ενότητα 4.4.2. Τα πλοία που επιλέχθηκαν είναι ειδικά για αυτό τον σκοπό και ονομάζονται πλοία μεταφοράς υγροποιημένου CO<sub>2</sub> (LCO<sub>2</sub> carriers). Για τα συγκεκριμένα πλοία και ειδικότερα για μεγάλης κλίμακας δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες καθώς τώρα βγαίνουν στην αγορά. Ωστόσο η μελέτη αυτή θα βασιστεί σε παραγγελία κατασκευής τέτοιων πλοίων που έχει προγραμματιστεί να παραδοθούν το 2025 από την «HD Korea Shipbuilding & Marine Engineering» στην Ελληνική εταιρεία «Capital Maritime», συμφερόντων του Βαγγέλη Μαρινάκη (Infomarine, 2024).

Τα πλοία αυτά μπορούν να μεταφέρουν έως 22,000 m<sup>3</sup> υγροποιημένου CO<sub>2</sub> στους -55°C (Ναυτικά Χρονικά, 2023). Η πυκνότητα του υγροποιημένου CO<sub>2</sub> στους -50°C ανέρχεται στα 1,156 kg/m<sup>3</sup> (Engineering ToolBox, 2024). Για την μελέτη των 4 βιομηχανιών απαιτείται η μεταφορά 12,351 t ημερησίως, οι οποίοι αναλογούν σε 12,351,000 kg άρα περίπου 14,278 m<sup>3</sup> υγροποιημένου CO<sub>2</sub>. Υπάρχει αρκετό περιθώριο για μεταφορά περισσότερου CO<sub>2</sub> πράγμα που καθιστά το συγκεκριμένο πλοίο αρκετά μεγάλο για τις ανάγκες μας. Προφανώς ένα μεγαλύτερο πλοίο θα έχει τόσο μεγαλύτερες κεφαλαιουχικές δαπάνες όσο και λειτουργικά έξοδα. Ωστόσο, ένα μεγαλύτερο πλοίο δίνει την ευχέρεια για πιο μεγάλες απαιτήσεις σε περίπτωση που χρειαστούν. Ακόμη, είναι δυνατόν να εκτελεί και διαφορετικά δρομολόγια αφού τα συγκεκριμένα πλοία είναι ικανά και για μεταφορά άλλων υγροποιημένων αερίων όπως υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG) και αμμωνία (Infomarine, 2024).

Οι κινητήρες αυτών των πλοίων είναι διπλού καυσίμου (Infomarine, 2024), πράγμα που τα κάνει πιο φιλικά προς το περιβάλλον καθώς όλοι οι κινητήρες διπλού καυσίμου έχουν μειωμένες εκπομπές CO<sub>2</sub>. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιούν ως καύσιμα αμμωνία και diesel. Ωστόσο οι ακριβείς κινητήρες που χρησιμοποιούνται για τα συγκεκριμένα πλοία που έγινε παραγγελία δεν είναι γνωστοί, ως εκ τούτου γίνονται κάποιοι υπολογισμοί για την εύρεση κινητήρα διπλού καυσίμου με γνωστές τις διαστάσεις του πλοίου. Αυτό θα χρειαστεί για να γίνει εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου ώστε να μπορεί να γίνει εκτίμηση και του κόστους καυσίμων. Για να γίνει επιλογή κινητήρα χρειάζονται οι στροφές που θα λειτουργεί και η ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς (MCR). Για την εύρεση της ισχύος θα παρθούν δεδομένα από παρόμοια πλοία εν λειτουργία. Για τον συγκεκριμένο τύπο πλοίου (μεταφοράς υγροποιημένου CO<sub>2</sub>-LCO<sub>2</sub> carrier) ακόμη δεν υπάρχουν δεδομένα, οπότε ο πιο κοντινός τύπος πλοίου είναι μεταφοράς υγροποιημένου αερίου πετρελαίου (LPG) τα οποία ομοίως μεταφέρουν υγροποιημένο αέριο σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και ανήκουν ομοίως στην κατηγορία υγραεριοφόρων. Συγκεκριμένα το μεταφέρουν στους -42°C, ενώ τα LCO<sub>2</sub> στους -55°C όπως προαναφέρθηκε (ELGAS Knowledge Hub, 2024). Με την βοήθεια του τομέα μελέτης πλοίου και θαλασσιών μεταφορών του ΕΜΠ βρέθηκαν 12 υπάρχοντα παρόμοια πλοία για την εύρεση του συντελεστή αγγλικού ναυαρχείου (ΕΜΠ, 2024). Τα όμοια πλοία παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 14). Από αυτά τα πλοία θα απορριφθούν κάποια τα οποία είναι αδελφά πλοία, δηλαδή έχουν πανομοιότυπα χαρακτηριστικά. Τα τελικά πλοία που επιλέγονται είναι 5 και εμφανίζονται παρακάτω με πράσινο χρώμα (Πίνακας 14).

Πίνακας 14: Επιλογή όμοιων πλοίων

Name of Ship	Displacement [ton]	Length overall [m]	Breadth Extreme [m]	Depth [m]	Service Speed [kn]	Total HP Main Eng	Gas Capacity [m <sup>3</sup> ]
NAVIGATOR ORION	33,021	169.970	24.240	16.7	15.50	13,052	21,650
NAVIGATOR VENUS	33,021	169.980	24.240	16.7	15.50	11,584	21,650
NAVIGATOR PLUTO	33,021	169.970	24.240	16.7	15.50	13,051	21,633
GREAT SAIL	33,021	169.990	24.240	16.7	15.50	13,051	21,660
MARIANNA GLORY	26,288	164.800	26.290	15.3	16.50	18,436	22,702
PRIMA LAUTAN II	26,140	164.837	26.286	15.3	16.50	18,436	22,707
NAVIGATOR PEGASUS	33,004	169.980	24.234	16.7	16.00	11,665	21,768
NAVIGATOR PHOENIX	33,004	169.980	24.234	16.7	16.00	12,889	21,768
CLIPPER EOS	27,056	159.860	25.640	12.389	16.00	9,653	20,863
CLIPPER ENYO	26,620	159.860	25.640	12.389	16.00	9,653	20,863
CLIPPER EIRENE	26,599	159.860	25.640	12.389	16.00	9,653	20,863
CLIPPER ERIS	26,587	159.860	25.640	12.389	16.00	9,653	20,915
ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟ		159.900	27.400	17.8			22,000

Ακολούθως γίνεται εκτίμηση της ισχύος και των λοιπών χαρακτηριστικών ως μέσος όρος των όμοιων πλοίων που επιλέχθηκαν (Πίνακας 15). Κατ' όμοιο τρόπο γίνεται εκτίμηση και των

στροφών της μηχανής. Οι στροφές των μηχανών των όμοιων πλοίων βρέθηκαν από εφαρμογή που υπάρχει στο διαδίκτυο, η οποία παρέχει αρκετά χαρακτηριστικά για πλοία εν λειτουργία (The Signal Group, 2024).

**Πίνακας 15: Εκτίμηση ισχύος και στροφών από όμοια πλοία**

Name of Ship	Displacement [ton]	Length overall [m]	Breadth Extreme [m]	Depth [m]	Service Speed [kn]	Total kW Main Eng	Gas Capacity [m3]	RPM-signal ocean
GREAT SAIL	33,021	169.990	24.240	16.7	15.50	9,732	21,660	130
MARIANNA GLORY	26,288	164.800	26.290	15.3	16.50	13,748	22,702	127
PRIMA LAUTAN II	26,140	164.837	26.286	15.3	16.50	13,748	22,707	127
NAVIGATOR PHOENIX	33,004	169.980	24.234	16.7	16.00	9,611	21,768	130
CLIPPER ERIS	26,587	159.860	25.640	12.389	16.00	7,198	20,915	113
ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟ	29,008	159.900	27.400	17.8	16.10	10,807.61	22,000	125.4

Στη συνέχεια γίνεται επιλογή μηχανής διπλού καυσίμου (αμμωνίας, diesel) βάση της ισχύος που εκτιμήθηκε με σκοπό την εύρεση της ειδικής κατανάλωσης των δύο καυσίμων. Σημειώνεται ότι οι συγκεκριμένες μηχανές χρησιμοποιούν περίπου 95% αμμωνία και 5% diesel (Hellenic Shipping News, 2023). Διευκρινίζεται ότι η ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς που βρέθηκε είναι στο 100% δυνατότητας της μηχανής, πράγμα που χρειάζεται για την εύρεση της μηχανής αλλά όχι για την εύρεση της κατανάλωσης. Ο λόγος είναι ότι τα πλοία δουλεύουν κατά μέσο όρο περίπου στο 85% της δυνατότητας της κύριας μηχανής (85% MCR), όπου αυτό είναι και το ποσοστό που θα ληφθεί υπόψη για την εκτίμηση της ειδικής κατανάλωσης. Η επιλογή της κύριας μηχανής και εύρεση της ειδικής κατανάλωσης γίνεται από την εφαρμογή GTD.exe της WIN GD (WIN GD, 2024). Η Win gd ή Wartsila είναι η μόνη εταιρεία που παρέχει πληροφορίες για μηχανές διπλού καυσίμου αμμωνίας-diesel αυτή την στιγμή, καθώς η εξέλιξη τους είναι σχετικά σε πρώιμο στάδιο. Οι μόνες μηχανές που παρέχονται πληροφορίες για αυτές είναι μέχρι 105 RPM. Φαίνεται ότι οι στροφές μηχανών

τύπου πλοίου σαν τον υπό μελέτη κυμαίνονται περίπου στις 125 RPM (Πίνακας 15). Για τους σκοπούς της μελέτης θα θεωρηθεί ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς όπως προέκυψε παραπάνω (Πίνακας 15)  $P=10,807.6$  kW και στροφές 105 RPM και έπειτα θα πραγματοποιηθεί προσαύξηση της ειδικής κατανάλωσης κατά 5% ώστε να είναι σίγουρο ότι υπερκαλύπτονται τα έξοδα καυσίμων, μιας και οι στροφές της μηχανής θεωρήθηκαν λιγότερες. Η μηχανή που επιλέγεται είναι η X52DF-A-1.0 με 7 κυλίνδρους (WIN GD, 2024). Η ειδικές καταναλώσεις των δύο καυσίμων στο 85% του MCR της συγκεκριμένης μηχανής όπως προέκυψαν από την εφαρμογή παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 16) (WIN GD, 2024). Στον πίνακα επίσης παρουσιάζεται η προαναφερθέν προσαύξηση 5%.

**Πίνακας 16: Εκτίμηση ειδικής κατανάλωσης καυσίμων**

X52DF-A-1.0	Power (kW)	RPM
	10,808	105
Ειδική κατανάλωση	Ammonia	Diesel
$b_e$ στο 85% MCR [g/kWh]	340.4	158.3
Προσαύξηση 5% [g/kWh]	357.4	166.2

Εντέλει υπολογίζεται η ποσότητα των καυσίμων (παροχή μάζας) που χρειάζεται ετησίως με τον ακόλουθο τύπο:

$$\dot{m} = b_e * P_E$$

Έτσι προκύπτουν οι ποσότητες καυσίμου αμμωνίας και diesel που χρειάζονται για τις διαδρομές των πλοίων (Πίνακας 17, Πίνακας 18). Αυτές θα χρησιμοποιηθούν μετέπειτα (Πίνακας 19) ώστε να γίνει υπολογισμός του κόστους ετησίων καυσίμων ανάλογα με τις τιμές των καυσίμων ανά τόνο. Σημειώνεται ότι κατά την μετατροπή από ώρες σε μέρες, λαμβάνονται υπόψη μόνο οι ώρες λειτουργίας της κύριας μηχανής. Οι ώρες αυτές υπολογίζονται αφαιρώντας από τον συνολικό χρόνο ταξιδιού, τις ώρες φορτοεκφόρτωσης, κατά τις οποίες το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι με κλειστές τις μηχανές.

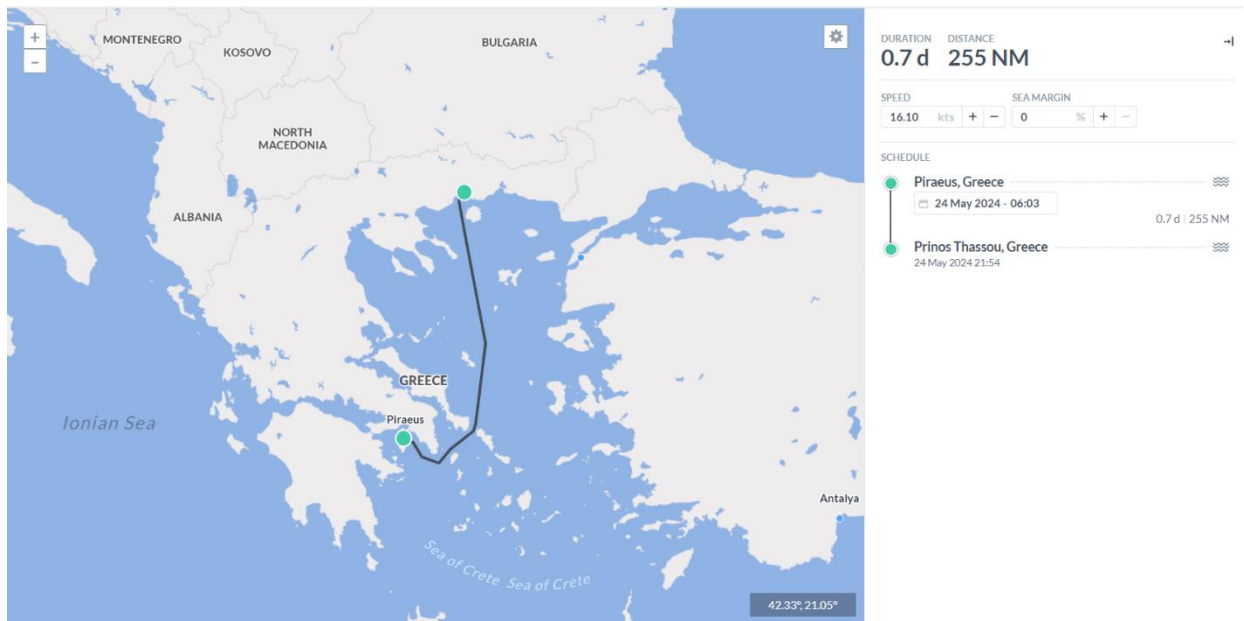
**Πίνακας 17: Εκτίμηση ποσοτήτων καυσίμων Πειραιάς-Πρίνος**

Ποσότητα καυσίμων	95% Ammonia	5% Diesel
$\dot{m}$ [kg/μέρα]	51,026.82	1,248.92
$\dot{m}$ [t/έτος]	18,369.66	449.61

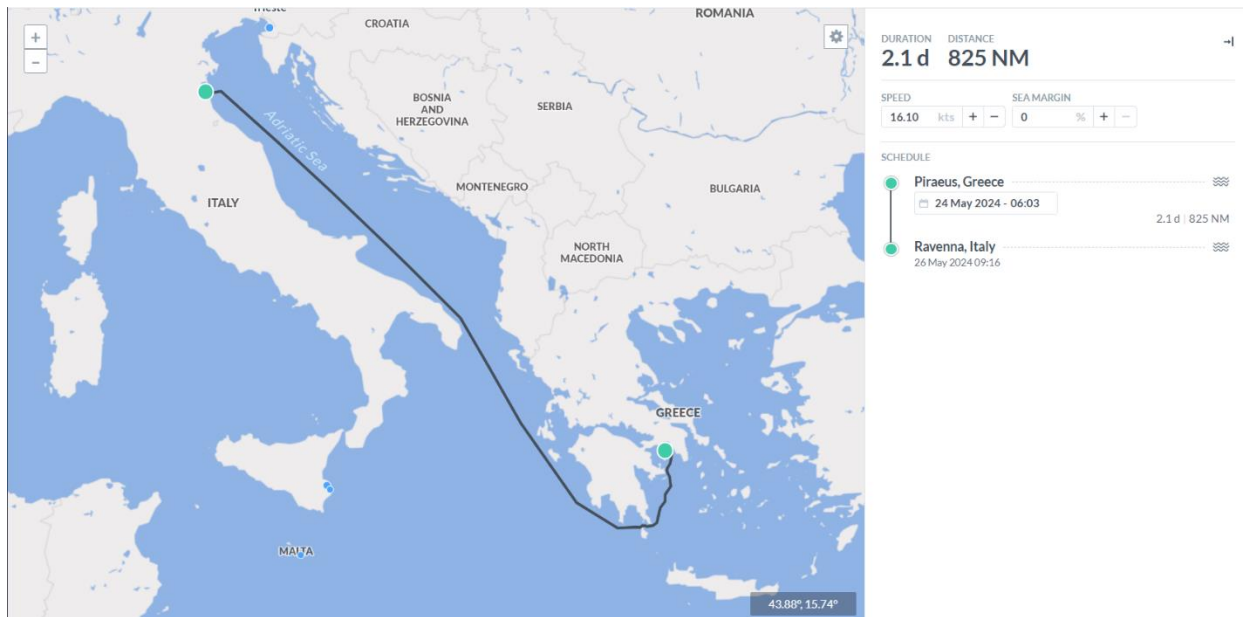
**Πίνακας 18: Εκτίμηση ποσοτήτων καυσίμων Πειραιάς-Ραβέννα**

Ποσότητα καυσίμων	95% Ammonia	5% Diesel
ἡ [kg/μέρα]	71,932.82	1,760.62
ἡ [t/έτος]	25,895.82	633.82

Στην Εικόνα 2 και Εικόνα 3 απεικονίζονται οι αποστάσεις μεταξύ των λιμανιών, οι οποίες βρέθηκαν με την βοήθεια εφαρμογής (The Signal Group, 2024).



**Εικόνα 2: Απόσταση Πειραιάς-Πρίνος (The Signal Group, 2024)**



**Εικόνα 3: Απόσταση Πειραιάς-Ραβέννα (The signal group, 2024)**

Ακολουθώς παρουσιάζονται (Πίνακας 19, Πίνακας 20) οι παράμετροι και τα τελικά κόστη για την μεταφορά CO<sub>2</sub> από το λιμάνι του Πειραιά μέχρι την αποθήκη στον Πρίνο και από Πειραιά μέχρι την αποθήκη στην Ραβέννα αντίστοιχα. Για την μεταφορά στον Πρίνο επιλέγονται οι βιομηχανίες Βιομηχανία Α και Βιομηχανία Δ ενώ για την μεταφορά στην Ραβέννα επιλέγονται οι βιομηχανίες Βιομηχανία Β και Βιομηχανία Γ.

**Πίνακας 19: Κόστη μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω πλοίων Πειραιάς-Πρίνος**

Μέση ταχύτητα [knots or nm/h]	16.1
Χρόνος φόρτωσης [h]	8
Χρόνος εκφόρτωσης [h]	15
Απαιτήση μεταφοράς [t/μέρα]	7,587
Αγορά πλοίου	€70,750,000.00
Λειτουργία και Συντήρηση [4% του CapEx/έτος]	€2,830,000.00
Χωρητικότητα [t]	25,925
Απαιτούμενη απόσταση [nm/διαδρομή]	510
Απαιτούμενος χρόνος [h/διαδρομή]	32
Συνολικός χρόνος	55
Πλοία μεταφοράς CO <sub>2</sub>	1

Αγορά πλοίων	€70,750,000.00
Δυνατότητα μεταφοράς [t]	25,925
"Δυνατότητα μεταφοράς ανά μέρα" [t]	11,380
Περιθώριο επιπλέον μεταφοράς [t]	3,793
Λιμενικά κόστη [/στάση]	€20,000.00
Λιμενικά κόστη ανά έτος	€6,320,754.29
$m_A$ [t/έτος]	18,369.66
$m_D$ [t/έτος]	449.61
Κόστος καυσίμου αμμωνίας [/t]	€390.00
Κόστος καυσίμου diesel [/t]	€755.00
Κόστος καυσίμου αμμωνίας ανά έτος	€7,164,165.59
Κόστος καυσίμου diesel ανά έτος	€339,457.75
Κόστος καυσίμων πλοίων ανά έτος	€7,503,623.34
Κόστος καυσίμων βοηθητικών μηχανών πλοίων ανά έτος [15% κόστους καυσίμων κύριας μηχανής]	€1,125,543.50

**Πίνακας 20: Κόστη μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω πλοίων Πειραιάς-Ραβέννα**

Μέση ταχύτητα [knots or nm/h]	16.1
Χρόνος φόρτωσης [h]	8
Χρόνος εκφόρτωσης [h]	15
Απαίτηση μεταφοράς [t/μέρα]	7,851
Αγορά πλοίου	€70,750,000.00
Λειτουργία και Συντήρηση [4% του CapEx/έτος]	€2,830,000.00
Χωρητικότητα [t]	25,925
Απαιτούμενη απόσταση [nm/διαδρομή]	1,650
Απαιτούμενος χρόνος [h/διαδρομή]	102

Συνολικός χρόνος	125
Πλοία μεταφοράς CO <sub>2</sub>	2
Αγορά πλοίων	€141,500,000.00
Δυνατότητα μεταφοράς [t]	51,850
"Δυνατότητα μεταφοράς ανά μέρα" [t]	9,917
Περιθώριο επιπλέον μεταφοράς [t]	2,066
Λιμενικά κόστη [/στάση]	€ 20,000.00
Λιμενικά κόστη ανά έτος	€2,754,125.62
m <sub>A</sub> [t/έτος]	25,895.82
m <sub>D</sub> [t/έτος]	25,895.82
Κόστος καυσίμου αμμωνίας [/t]	€390.00
Κόστος καυσίμου diesel [/t]	€755.00
Κόστος καυσίμου αμμωνίας ανά έτος	€10,099,368.57
Κόστος καυσίμου diesel ανά έτος	€19,551,341.71
Κόστος καυσίμων πλοίων ανά έτος	€29,650,710.28
Κόστος καυσίμων βοηθητικών μηχανών πλοίων ανά έτος [15% κόστους καυσίμων κύριας μηχανής)	€4,447,606.54

Ακολούθως παρουσιάζονται τα τελικά CapEx και OpEx για την μεταφορά CO<sub>2</sub> μέσω πλοίων (Πίνακας 21, Πίνακας 22).

**Πίνακας 21: Συνολικά CapEx μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω πλοίων**

CapEx	Κόστη [€]
Αγορά πλοίων	€212,250,000.00
Συνολικά CapEx πλοίων	€212,250,000.00



**Πίνακας 22: Συνολικά OpEx μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω πλοίων**

OpEx	Κόστη [€]
Λιμενικά κόστη ανά έτος	€9,074,879.91
Κόστος καυσίμων κύριων μηχανών πλοίων ανά έτος	€37,154,333.62
Κόστος καυσίμων βοηθητικών μηχανών πλοίων ανά έτος (15% κόστους καυσίμων κύριας μηχανής)	€5,573,150.04
<b>Συνολικά OpEx μεταφοράς με πλοίο</b>	<b>€51,802,363.57</b>

#### 4.4 Κόστη αποθήκευσης CO<sub>2</sub>

##### 4.4.1 Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO<sub>2</sub>

Στην ενότητα 4.3 επιλέγεται η μεταφορά του CO<sub>2</sub> να γίνει με φορτηγά μέχρι το λιμάνι και έπειτα με πλοίο μέχρι τον γεωλογικό χώρο αποθήκευσης. Για τον λόγο αυτό πρέπει το CO<sub>2</sub> να αποθηκεύεται κάπου προσωρινά μέχρι να γίνεται περισυλλογή από τις βιομηχανίες και η μεταφορά μέχρι το λιμάνι με φορτηγά. Θα πρέπει επίσης να αποθηκεύεται κάπου προσωρινά μέχρι να γίνεται η περισυλλογή από το λιμάνι και η μεταφορά μέχρι τον γεωλογικό χώρο αποθήκευσης με πλοίο. Συνολικά δηλαδή θα υπάρχουν 5 συστήματα προσωρινής αποθήκευσης για το συγκεκριμένο σενάριο, από 1 σε κάθε βιομηχανία και 1 στο λιμάνι του Πειραιά. Τα κόστη προσωρινής αποθήκευσης βρέθηκαν με βάση μοντέλο που εφαρμόστηκε στην Νορβηγία (Fraga, et al., 2021). Σε αυτό το μοντέλο υπάρχουν δύο εναλλακτικές δεξαμενών. Η μία με χαμηλή πίεση (7 bar) και η άλλη με υψηλή πίεση (15bar). Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες και τα λειτουργικά έξοδα φαίνονται παρακάτω (Πίνακας 23).

**Πίνακας 23: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης ανά τόνο CO<sub>2</sub>**

	Πίεση	CapEx/tCO <sub>2</sub>	OpEx/tCO <sub>2</sub>
Υγροποίηση	Μικρή (7bar)	€22.10	€2.20
	Μεσαία (15bar)	€17.10	€1.70
Προσωρινός αποθηκευτικός χώρος	Μικρή (7bar)	€545.00	€27.30
	Μεσαία (15bar)	€899.00	€44.90

Το δεσμευόμενο CO<sub>2</sub> ανέρχεται στους 4,446,000 τόνους ανά έτος και 12,350 τόνους ανά ημέρα (Πίνακας 22). Ακολούθως παρουσιάζονται τα συνολικά κόστη προσωρινής αποθήκευσης (Πίνακας 24).

**Πίνακας 24: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης λιμάνι Πειραιά**

	Πίεση	CapEx	Opex/έτος
Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> ανά μέρα [t]	12,350.00		
Υγροποίηση	Μικρή (7bar)	€272,935.00	€27,170.00
	Μεσαία (15bar)	€211,185.00	€20,995.00
Προσωρινός αποθηκευτικός χώρος	Μικρή (7bar)	€6,730,750.00	€337,155.00
	Μεσαία (15bar)	€11,102,650.00	€554,515.00
	Συνολικό κόστος μικρής πίεσης 25 ετών	€16,111,810.00	
	Συνολικό κόστος μεγάλης πίεσης 25 ετών	€25,701,585.00	

Για την περίπτωση που μελετάται είναι συμφέρον η εγκατάσταση συστήματος μικρή πίεσης όπως προέκυψε (Πίνακας 24).

Με ανάλογο τρόπο για τις ποσότητες CO<sub>2</sub> που δεσμεύει η κάθε βιομηχανία προκύπτουν τα κόστη (CapEx, OpEx) για τους άλλους 4 προσωρινούς αποθηκευτικούς χώρους (Πίνακας 25, Πίνακας 26, Πίνακας 27, Πίνακας 28).

**Πίνακας 25: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> Βιομηχανία Α**

	Πίεση	CapEx	Opex/έτος
Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> ανά μέρα [t]	3,431.00		
Υγροποίηση	Μικρή (7bar)	€75,825.10	€7,548.20
	Μεσαία (15bar)	€58,670.10	€5,832.70
Προσωρινός αποθηκευτικός χώρος	Μικρή (7bar)	€1,869,895.00	€93,666.30
	Μεσαία (15bar)	€3,084,469.00	€154,051.90
	Συνολικό κόστος μικρής πίεσης 25 ετών	€4,476,082.60	
	Συνολικό κόστος μεγάλης πίεσης 25 ετών	€7,140,254.10	

**Πίνακας 26: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> Βιομηχανία Β**

	Πίεση	CapEx	Opex/έτος
Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> ανά μέρα [t]	3,431.00		
Υγροποίηση	Μικρή (7bar)	€75,825.10	€7,548.20
	Μεσαία (15bar)	€58,670.10	€5,832.70
Προσωρινός αποθηκευτικός χώρος	Μικρή (7bar)	€1,869,895.00	€93,666.30
	Μεσαία (15bar)	€3,084,469.00	€154,051.90
	Συνολικό κόστος μικρής πίεσης 25 ετών	€4,476,082.60	
	Συνολικό κόστος μεγάλης πίεσης 25 ετών	€7,140,254.10	

**Πίνακας 27: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> Βιομηχανία Γ**

	Πίεση	CapEx	Opex/έτος
Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> ανά μέρα [t]	2,850.00		
Υγροποίηση	Μικρή (7bar)	€62985	€6,270.00
	Μεσαία (15bar)	€48735	€4,845.00
Προσωρινός αποθηκευτικός χώρος	Μικρή (7bar)	€1553250	€77,805.00
	Μεσαία (15bar)	€2562150	€127,965.00
	Συνολικό κόστος μικρής πίεσης 25 ετών	€3,718,110.00	
	Συνολικό κόστος μεγάλης πίεσης 25 ετών	€5,931,135.00	

**Πίνακας 28: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> Βιομηχανία Δ**

	Πίεση	CapEx	Opex/έτος
Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> ανά μέρα [t]	2,639.00		
Υγροποίηση	Μικρή (7bar)	€58321.9	€5,805.80
	Μεσαία (15bar)	€45126.9	€4,486.30
Προσωρινός αποθηκευτικός χώρος	Μικρή (7bar)	€1438255	€72,044.70
	Μεσαία (15bar)	€2372461	€118,491.10
	Συνολικό κόστος μικρής πίεσης 25 ετών	€3,442,839.40	
	Συνολικό κόστος μεγάλης πίεσης 25 ετών	€5,492,022.90	

Ακολούθως παρουσιάζονται τα συνολικά CapEx και OpEx για την προσωρινή αποθήκευση CO<sub>2</sub> (Πίνακας 29, Πίνακας 30).

**Πίνακας 29: Συνολικά CapEx συστημάτων προσωρινής αποθήκευσης CO<sub>2</sub>**

CapEx	Κόστη [€]
Εγκατάσταση συστημάτων υγροποίησης	€545,892.10
Εγκατάσταση συστήματος προσωρινής αποθήκευσης	€13,462,045.00
Συνολικά CapEx συστημάτων προσωρινής αποθήκευσης	€14,007,937.10

**Πίνακας 30: Συνολικά OpEx συστημάτων προσωρινής αποθήκευσης CO<sub>2</sub>**

OpEx	Κόστη [€]
Υγροποίηση	€54,342.20
Προσωρινής αποθήκευσης	€580,671.00
Συνολικά OpEx προσωρινής αποθήκευσης	€635,013.20

#### 4.4.2 Εύρεση πιθανών χώρων μόνιμης αποθήκευσης

Όσο αφορά την μόνιμη αποθήκευση του CO<sub>2</sub> όπως έχει προαναφερθεί στην ενότητα 2.2.3 πραγματοποιείται σε γεωλογικούς χώρους αποθήκευσης. Το 2025 θα λειτουργήσει ο πρώτος γεωλογικός αποθηκευτικός χώρος στην Ελλάδα και θα είναι στον Πρίνο. Είναι προφανώς ο πιο κοντινός χώρος που μπορεί να αποθηκευτεί το CO<sub>2</sub>, ωστόσο πρέπει να διερευνηθεί ως προς την διαθεσιμότητά του.

Ο συγκεκριμένος χώρος αποθήκευσης θα έχει πολύ μεγάλη χωρητικότητα αλλά αυτό δεν είναι ιδιαίτερα επωφελές εάν ληφθεί υπόψη ο ρυθμός που θα μπορεί να αποθηκεύει CO<sub>2</sub>. Τα πρώτα δύο χρόνια λειτουργίας του (2025-2027) θα έχει την δυνατότητα αποθήκευσης μόλις 1Mt ετησίως, ενώ κατά την επόμενη 25-ετία θα μπορεί να αποθηκεύει 3Mt ετησίως (Energean, 2024). Ποσότητες οι οποίες είναι σχετικά μικρές εάν ληφθούν υπόψη οι ετήσιες εκπομπές των τεσσάρων βιομηχανιών που ασχολείται η μελέτη, οι οποίες ανέρχονται στους 4.4Mt. Ο γεωλογικός χώρος αποθήκευσης στον Πρίνο θα ενείχε τα μικρότερα κόστη αφού είναι και ο πιο κοντινός, ωστόσο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σύνολο του CO<sub>2</sub> που χρειάζεται να αποθηκευτεί.

Σκοπός σε αυτό το σημείο είναι να βρεθεί κάποιος γεωλογικός χώρος αποθήκευσης όσο το δυνατόν πιο κοντά στην Ελλάδα που να έχει την δυνατότητα αποθήκευσης των ποσοτήτων CO<sub>2</sub> που ασχολείται η εργασία.

Ένας πιθανός χώρος αποθήκευσης είναι στην Ιταλία και συγκεκριμένα κοντά στην Ραβέννα (Levina, et al., 2023). Ο συγκεκριμένος χώρος θα τεθεί σε πλήρη λειτουργία το 2027 και θα μπορεί να αποθηκεύει 4Mt ανά έτος για τα πρώτα τρία χρόνια (2027-2030) και μετέπειτα θα μπορεί να αποθηκεύει 16Mt ανά έτος (Eni, 2023).

Ένας άλλος πιθανός χώρος αποθήκευσης είναι στην Κροατία και συγκεκριμένα στο Koromacno (Levina, et al., 2023). Ωστόσο ο συγκεκριμένος χώρος μπορεί να διοχετεύει μόλις 0.367Mt ετησίως, οπότε δεν θα αξιοποιηθεί για τους σκοπούς της μελέτης (Holcim, 2023).

Ακόμη ένας πιθανός χώρος αποθήκευσης βρίσκεται στην Βουλγαρία και συγκεκριμένα στην Βάρνα (Levina, et al., 2023). Αυτός ο χώρος έχει την δυνατότητα αποθήκευσης 0.8 Mt ετησίως, έτσι ούτε και αυτός θα χρησιμεύσει στην συγκεκριμένη μελέτη (International Association of Oil & Gas Producers, 2024).

Υπάρχουν επίσης γεωλογικοί χώροι αποθήκευσης σε Αυστρία, Βέλγιο, Δανία, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ολλανδία, Νορβηγία, Πολωνία, Σλοβενία, Σουηδία, Ελβετία, Αγγλία αλλά και σε πολλές άλλες χώρες εκτός Ε.Ε..

Για τους σκοπούς της μελέτης γίνεται επιλογή του χώρου στην Ελλάδα στον Πρίνο και του χώρου στην Ιταλία στην Ραβέννα. Επισημαίνεται ότι αν και οι χώροι αυτοί θεωρητικά έχουν την δυνατότητα αποθήκευσης των ποσοτήτων CO<sub>2</sub> που ασχολείται η μελέτη, δεν είναι σίγουρο ότι αυτοί οι χώροι θα είναι διαθέσιμοι. Ο λόγος είναι ότι πιθανόν να κατελημμένοι εκ των προτέρων λόγω συμφωνιών με άλλες βιομηχανίες. Οπότε αν και επιλέγονται αυτοί οι χώροι αυθαίρετα, στην πραγματικότητα αν κάποια βιομηχανία θελήσει να αποθηκεύσει το

δεσμευόμενο της CO<sub>2</sub> θα πρέπει να κλίσει κάποιου είδους συμφωνία εκ των προτέρων. Έχοντας υπόψη το ότι δεν είναι η γνωστή η διαθεσιμότητα των συγκεκριμένων χώρων αποθήκευσης, οι οποίοι είναι και οι πιο κοντινοί για τα δεδομένα της μελέτης αυτής, θα γίνει εκτίμηση κόστους μόνιμης αποθήκευσης για αυτούς τους δύο χώρους.

#### 4.4.3 Κόστη μόνιμης αποθήκευση CO<sub>2</sub>

Το κόστος γεωλογικής αποθήκευσης εκτιμήθηκε με την βοήθεια ενός μοντέλου το οποίο εξάγει ελάχιστη τιμή αποθήκευσης \$8.00/t CO<sub>2</sub> και μέγιστη τιμή \$10.75/t CO<sub>2</sub> (Smith, et al., 2021). Σημειώνεται ότι το συγκεκριμένο μοντέλο εστιάζει στα κόστη αποθήκευσης CO<sub>2</sub> σε παγκόσμια κλίμακα (Smith, et al., 2021). Στην παρούσα μελέτη θεωρείται ο μέσος όρος των δύο που αναλογεί σε €8.719/t CO<sub>2</sub>. Δεδομένου ότι το κόστος θεωρείται το ίδιο και για τους δύο γεωλογικούς αποθηκευτικούς χώρους, τα κόστη παρουσιάζονται συνολικά για τον Πρίνο και την Ραβέννα. Συμπεριλαμβανομένων και των ετήσιων εκπομπών CO<sub>2</sub> των τεσσάρων βιομηχανιών γίνεται υπολογισμός των ετήσιων εξόδων (Πίνακας 31).

**Πίνακας 31: Κόστος γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub>**

Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/year]	4,446,000
	Κόστη
/tCO <sub>2</sub>	\$9.375
/tCO <sub>2</sub>	€8.719
/έτος	€38,763,562.50

Ακολούθως παρουσιάζονται τα τελικά OpEx για την προσωρινή αποθήκευση CO<sub>2</sub> (Πίνακας 32).

**Πίνακας 32: Συνολικά OpEx μόνιμης αποθήκευσης CO<sub>2</sub>**

OpEx	Κόστη [€]
Γεωλογική αποθήκευση	€38,763,562.50
Συνολικά OpEx γεωλογικής αποθήκευσης	€38,763,562.50

#### 4.5 Κόστος δανείου (τόκοι)

Για μια επένδυση της τάξης δισεκατομμυρίων σχεδόν σίγουρα θα χρειαστεί δάνειο. Για την εκτίμηση του ύψους του δανείου που θα χρειαστεί, λαμβάνεται υπόψη μόνο το σύνολο των κεφαλαιουχικών δαπανών (CapEx). Το επιτόκιο λαμβάνεται 5% εμπειρικά και ο χρόνος αποπληρωμής 9 έτη με κριτήριο τις χρηματοροές που έχουν οι βιομηχανίες για τις εκπομπές

CO<sub>2</sub> αυτό το διάστημα, οι οποίες επεξηγούνται στην ενότητα 4.10.2. Δεδομένου λοιπόν ότι ούτως η αλλιώς έχουν τις συγκεκριμένες χρηματοροές (αρνητικές) και βρίσκουν την λύση για την πληρωμή αυτών, έτσι και με τις δόσεις δανείου θα μπορούν αντίστοιχα να τις πληρώνουν. Διευκρινίζεται ότι ο χρόνος αποπληρωμής δανείου λαμβάνεται εις τρόπον ώστε οι υπό μελέτη χρηματοροές ίσα ίσα να μην ξεπερνούν τις χρηματοροές που έχουν τώρα οι βιομηχανίες για τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνουμε την ελάχιστη δυνατή επιβολή τόκων, δεδομένου όμως του ότι οι βιομηχανίες δύναται να έχουν ελάχιστες χρηματοροές όσες και τώρα. Η εκτίμηση των 9 ετών πραγματοποιήθηκε στην ενότητα 4.10.1 αφού ήταν πλέον γνωστές όλες οι εισροές και εκροές (CapEx, OpEx, έσοδα, φορολογίες). Οι υπολογισμοί για τους τόκους φαίνονται παρακάτω (Πίνακας 33).

**Πίνακας 33: Υπολογισμός δόσεων δανείου**

CapEx	€1,729,577,937.10
Επιτόκιο	5%
Χρόνος αποπληρωμής [έτη]	9
Δόσεις μέχρι 9ο έτος	€243,334,458.29

Οι δόσεις δανείου λαμβάνονται ως λειτουργικά έξοδα (OpEx) για τα πρώτα 9 έτη. Ακολούθως παρουσιάζονται τα τελικά OpEx λόγω των τόκων δανείου (Πίνακας 34).

**Πίνακας 34: Συνολικά OpEx δανείου**

	Κόστη [€]
Δόσεις μέχρι το 9ο έτος (αποπληρωμή)	€243,334,458.29
Συνολικά OpEx αποπληρωμής δανείου (9 έτη)	€243,334,458.29

## 4.6 Κόστος απροσδόκητο

Σε κάθε χρηματοοικονομική μελέτη και ειδικά στις εφοδιαστικές αλυσίδες λαμβάνεται ένα επιπλέον απροσδόκητο κόστος. Ο λόγος αυτού είναι γιατί σε κάθε εφοδιαστική αλυσίδα υπάρχει αβεβαιότητα. Για την αβεβαιότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα παρατίθενται κάποιιοι ορισμοί στην ενότητα 1.6.

Ακολούθως παρουσιάζονται τα OpEx λόγω του απροσδόκητου κόστους (Πίνακας 35).

**Πίνακας 35: Συνολικά OpEx απροσδόκητου κόστους**

OpEx	Κόστη[€]
Απροσδόκητο κόστος 10%	€17,732,652.39
<b>Συνολικά OpEx απροσδόκητου κόστους</b>	<b>€17,732,652.39</b>

#### 4.7 Συνολικό κόστος εφοδιαστικής αλυσίδας

Εντέλει γίνεται ο υπολογισμός για τα συνολικά κόστη της εφοδιαστικής αλυσίδας (Πίνακας 36) όπως προέκυψαν στις ενότητες 4.2, 4.3.1, 4.3.2, 4.4.1, 4.4.3, 4.5 και 4.6.

**Πίνακας 36: Συνολικά κόστη εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub> μεγάλων βιομηχανιών Ελλάδος**

Συνολικά OpEx (χωρίς δόσεις δανείου)	€195,059,176.31	Έτη 10-25
Συνολικά OpEx (με δόσεις δανείου)	€438,393,634.61	Έτη 1-9
Συνολικά OpEx για 25 έτη	€7,066,489,532.44	25-έτη
Δάνειο-Αρχικό κεφάλαιο	€1,729,577,937.10	
Συνολικά κόστη OpEx	€5,336,911,595.34	
Συνολικά κόστη CapEx	€1,729,577,937.10	
<b>Συνολικά κόστη 25 ετών</b>	<b>€7,066,489,532.44</b>	

#### 4.8 Εξέταση εναλλακτικών σεναρίων ως προς την βελτιστοποίηση εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub> μεγάλων βιομηχανιών Ελλάδος

Με σκοπό την βελτιστοποίηση της εν λόγω εφοδιαστικής αλυσίδας θα γίνει μεταβολή κάποιων παραμέτρων που εκ των υστέρων φάνηκε ότι είναι δυνατόν να ελαχιστοποιήσουν τα κόστη.

1. Μεταφορά και περισυλλογή CO<sub>2</sub> από δύο λιμάνια αντί για ένα. Οι δύο βιομηχανίες θα μεταφέρουν το CO<sub>2</sub> στο λιμάνι Πειραιά και οι άλλες δύο στο λιμάνι Βόλου. Ακολούθως θα μεταφέρεται από το λιμάνι Πειραιά στον χώρο αποθήκευσης στην Ραβέννα και από τον Βόλο στον χώρο αποθήκευσης στον Πρίνο.

Κατ' όμοιο τρόπο με τις ενότητες 4.2, 4.3.1, 4.3.2, 4.4.1, 4.4.3, 4.5, 4.6 πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί για τα κόστη εφοδιαστικής αλυσίδας με πριν, με μερικές αλλαγές:



- Αλλαγές στα κόστη μεταφοράς με φορτηγά λόγω αλλαγής αποστάσεων μεταφοράς των δύο βιομηχανιών που θα μεταφέρουν το CO<sub>2</sub> στον Βόλο αντί του Πειραιά. Επίσης λόγω μικρής διάρκειας ταξιδιού Βόλου-Πρίνου το πλοίο χρειάζεται να μεταφέρει CO<sub>2</sub> κάθε 2 μέρες αντί κάθε 1. Αυτό όχι μόνο ελαχιστοποιεί τα κόστη καυσίμων αλλά δίνει την δυνατότητα στο πλοίο και για άλλες διαδρομές με πιθανά επιπλέον έσοδα. Ωστόσο στο συγκεκριμένο σενάριο θεωρήθηκε ότι το πλοίο παραμένει στο λιμάνι κατά το χρονικό διάστημα που δεν μεταφέρει CO<sub>2</sub> με κάποιο επιπλέον κόστος παραμονής στο λιμάνι.
- Αλλαγές στα κόστη μεταφοράς με πλοία λόγω αλλαγής αποστάσεων μεταφοράς Βόλος- Πρίνος αντί Πειραιάς-Πρίνος.
- Αλλαγή στην διάρκεια αποπληρωμής δανείου από 9 έτη σε 7 έτη. Ο τρόπος διαμόρφωσης της διάρκειας αποπληρωμής επεξηγείται στις ενότητες 4.5 και 4.10.1. Περαιτέρω διάρκεια αποπληρωμής θεωρητικά δεν έχει νόημα και το μόνο που θα επιφέρει είναι επιπλέον κόστη λόγω αυξημένων τόκων. Η μείωση αυτή επισημαίνεται ότι οφείλεται στην μείωση των OpEx.
- Προσωρινοί χώροι αποθήκευσης έξι αντί πέντε. Ένα σε κάθε βιομηχανία (τέσσερις) και ένα σε κάθε λιμάνι (δύο). Ωστόσο το κόστος τους παραμένει ίδιο καθώς το κόστος αυτών διαμορφώνεται ανάλογα με την χωρητικότητα, η οποία θα είναι ίδια με προηγουμένως.

Οι πίνακες υπολογισμών δεν επισυνάπτονται σε αυτό το σημείο καθώς καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση και είναι παρόμοιοι με πριν, όμως παρατίθενται στο Παράρτημα Ι – Πίνακες υπολογισμών εναλλακτικού σεναρίου για σκοπούς πληρότητας. Τα συνολικά κόστη παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 37).

**Πίνακας 37: Συνολικά κόστη εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub> Ελλάδος με 2 εξυπηρετούμενα λιμάνια**

Συνολικά OpEx (χωρίς δόσεις δανείου)	€181,202,136.23	Έτη 8-25
Συνολικά OpEx (με δόσεις δανείου)	€478,393,108.71	Έτη 1-7
Συνολικά OpEx για 25 έτη	€6,610,390,213.01	25-έτη
Δάνειο-Αρχικό κεφάλαιο	€1,719,657,937.10	
Συνολικά κόστη OpEx	€4,890,732,275.91	
Συνολικά κόστη CapEx	€1,719,657,937.10	
<b>Συνολικά κόστη 25 ετών</b>	<b>€6,610,390,213.01</b>	

Τα συνολικά κόστη που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 38) και στην πρώτη στήλη ενώ στην δεύτερη στήλη παρουσιάζονται τα προηγούμενα κόστη με σκοπό την σύγκριση μεταξύ τους.

**Πίνακας 38: Σύγκριση κοστών εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub> Ελλάδος με 1 ή 2 εξυπηρετούμενα λιμάνια**

Συνολικά κόστη	2 λιμάνια	1 λιμάνι
Συνολικά CapEx συστήματος δέσμευσης	€1,455,000,000.00	€1,455,000,000.00
Συνολικά CapEx φορτηγών	€38,400,000.00	€48,320,000.00
Συνολικά CapEx πλοίων	€212,250,000.00	€212,250,000.00
Συνολικά CapEx συστημάτων προσωρινής αποθήκευσης	€14,007,937.10	€14,007,937.10
Συνολικά OpEx δέσμευσης	€65,500,000.00	€65,500,000.00
Συνολικά OpEx προσωρινής αποθήκευσης	€635,013.20	€635,013.20
Συνολικά OpEx μεταφοράς με φορτηγά	€12,149,853.54	€20,625,584.65
Συνολικά OpEx μεταφοράς με πλοίο	€47,680,785.51	€51,802,363.57
Συνολικά OpEx γεωλογικής αποθήκευσης	€38,763,562.50	€38,763,562.50
Συνολικά OpEx αποπληρωμής δανείου	€297,190,972.48	€243,334,458.29
Συνολικά OpEx απροσδόκητου κόστους	€16,472,921.48	€17,732,652.39
<b>Συνολικά κόστη 25 ετών</b>	<b>€6,610,390,213.01</b>	<b>€7,066,489,532.44</b>

Η μείωση στα κόστη είναι λίγο μεγαλύτερη από 456 εκατομμύρια σε διάρκεια 25 ετών. Εδώ φαίνεται πόσο μεγάλη μπορεί να είναι η μείωση στα κόστη για μεταβολές σε μεγάλης τάξεως εφοδιαστικές αλυσίδες. Ως εκ τούτου πρέπει να μελετώνται όλα τα ενδεχόμενα και οι παράμετροι, προτού να προβεί κάποια βιομηχανία σε τόσο μεγάλες επενδύσεις, καθώς φαινομενικά μικρές μεταβολές ίσως έχουν μεγάλο αντίκτυπο στα κόστη. Εντέλει επιλέγεται αυτό το σενάριο με τα 2 λιμάνια για την διαμόρφωση της υπόλοιπης εργασίας.

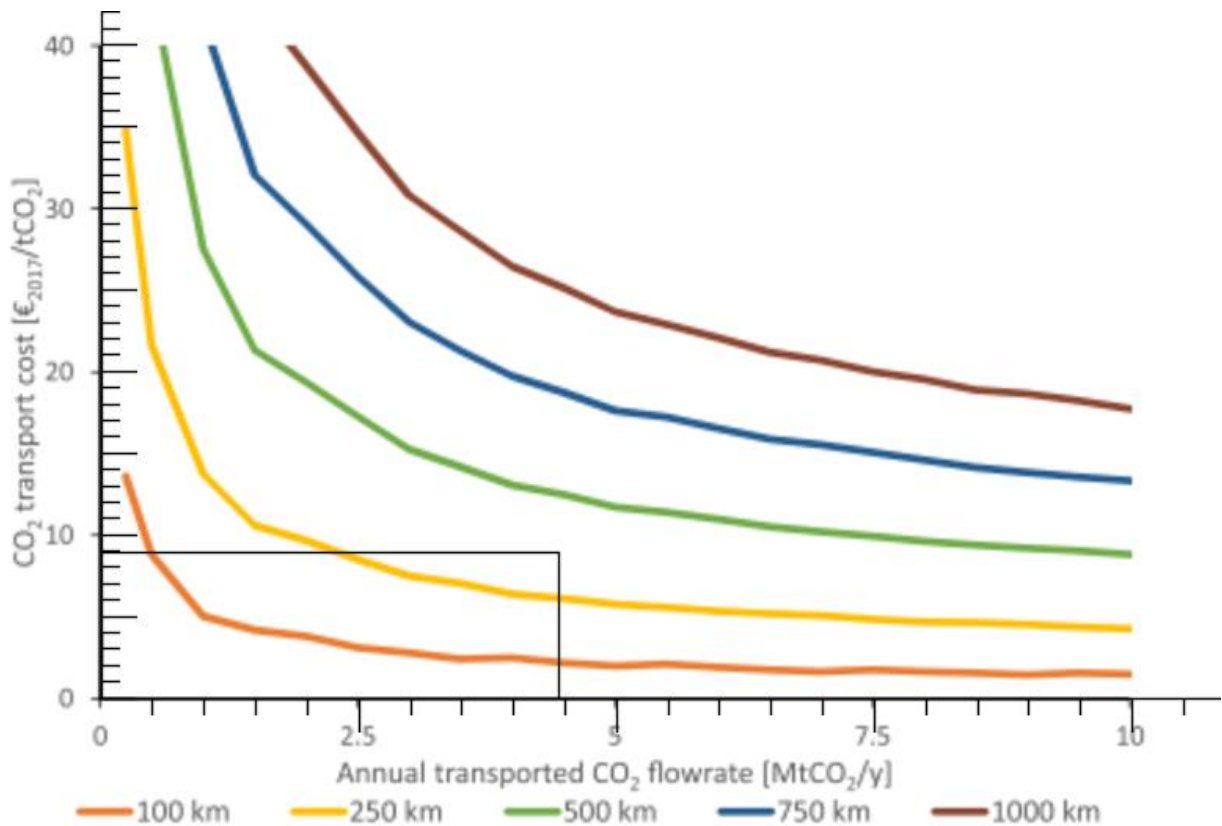
Ακόμη ένα εναλλακτικό σενάριο είναι η αξιοποίηση αγωγών αντί φορτηγών για την μεταφορά του CO<sub>2</sub> από τις βιομηχανίες μέχρι τα λιμάνια. Οι αγωγοί είναι μέχρι στιγμής η πιο διαδεδομένη μέθοδος για την μεταφοράς CO<sub>2</sub>, ως εκ τούτου θα πρέπει να αξιολογηθεί και αυτό το ενδεχόμενο. Φυσικά όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 2.2.2.1 οι πλείστες εφαρμογές τους έχουν και μεγάλες αποστάσεις μεταφοράς, πράγμα που δεν συμβαίνει στην συγκεκριμένη μελέτη.

## 2. Μεταφορά CO<sub>2</sub> μέσω αγωγών αντί μέσω φορτηγών από τις βιομηχανίες μέχρι τα λιμάνια

Για αυτό το σενάριο για να εξαχθεί συμπέρασμα της πιο συμφέρουσας μεθόδου, αρκεί ο υπολογισμός της μεταφοράς του CO<sub>2</sub> από τις βιομηχανίες μέχρι τα δύο λιμάνια με αγωγούς και η σύγκριση του με τα κόστη μεταφοράς με φορτηγά όπως παρουσιάζονται παραπάνω (Πίνακας 38). Τα υπόλοιπα κόστη θα είναι ίδια με το προηγούμενο σενάριο εκτός από το κόστος προσωρινής αποθήκευσης. Οι διαφορές που υπόκειται η εφοδιαστική αλυσίδα σε αυτό το σενάριο είναι οι εξής:

- Αλλαγή στα κόστη μεταφοράς από τις βιομηχανίες μέχρι τα λιμάνια.
- Αλλαγή στα κόστη προσωρινής αποθήκευσης λόγω μη ανάγκης προσωρινών αποθηκευτικών χώρων στις βιομηχανίες καθώς οι αγωγοί μεταφέρουν κατευθείαν το δεσμευόμενο CO<sub>2</sub> στους προσωρινούς αποθηκευτικούς χώρους που βρίσκονται στα λιμάνια. Σε αυτό το σενάριο θα υπάρχουν δηλαδή μόνο οι δύο αποθηκευτικοί χώροι που βρίσκονται στα λιμάνια, των οποίων τα κόστη υπολογίστηκαν (Πίνακας 73, Πίνακας 74).

Για τον υπολογισμό των κοστών μεταφοράς με αγωγούς χρησιμοποιείται μοντέλο το οποίο παρέχει τα κόστη μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω αγωγών με βάση την ποσότητα CO<sub>2</sub> που χρειάζεται να μεταφερθεί και την απόσταση μεταφοράς για διάρκεια 25 ετών (Roussanally, et al., 2021). Η γραφική παράσταση για την εύρεση των συνολικών εξόδων μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω αγωγών όπως πάρθηκε από το μοντέλο παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.



**Σχήμα 7: Γραφική παράσταση κόστους μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω αγωγών**

Η συνολική απόσταση μεταφοράς διαμορφώνεται εάν προστεθούν οι επιμέρους αποστάσεις μεταφοράς προς τα λιμάνια όπως παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 59) και ανέρχεται στα 338 km. Η τιμή κόστους μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω αγωγών όπως προέκυψε από το Σχήμα 7 ανέρχεται στα €8.9 ανά τόνο CO<sub>2</sub>. Οπότε για ετήσιες ανάγκες μεταφοράς 4,446,000 t όπως προέκυψαν παραπάνω (Πίνακας 3) το συνολικό ετήσιο κόστος μεταφοράς ανέρχεται στα €39,569,400.00 ενώ για την συνολική διάρκεια των 25 ετών στα €989,235,000.00. Όπως προαναφέρθηκε από αυτό πρέπει να αφαιρεθούν τα κόστη των τεσσάρων προσωρινών χώρων αποθήκευσης που βρίσκονται στις βιομηχανίες, καθώς δεν χρειάζονται στην περίπτωση μεταφοράς μέσω αγωγών. Αυτά ανέρχονται στα €16,113,114.60 εάν προστεθούν οι CapEx και τα OpEx των τεσσάρων προσωρινών αποθηκευτικών χώρων των βιομηχανιών όπως προέκυψαν (Πίνακας 75, Πίνακας 76, Πίνακας 77, Πίνακας 78) για τα 25 έτη. Εντέλει το κόστος εφοδιαστικής αλυσίδας με την αξιοποίηση αγωγών αντί φορτηγών για την μεταφορά του CO<sub>2</sub> από τις βιομηχανίες στα λιμάνια ανέρχεται στα €973,121,885.40.

Αυτό το κόστος είναι πολύ πιο μεγάλο από το κόστος μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω φορτηγών το οποίο ανέρχεται για την συνολική διάρκεια των 25 ετών στα €342,146,338.55 εάν προστεθούν τα CapEx και τα OpEx (συνολικά 25 ετών) μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω φορτηγών όπως παρουσιάζονται παραπάνω (Πίνακας 38).

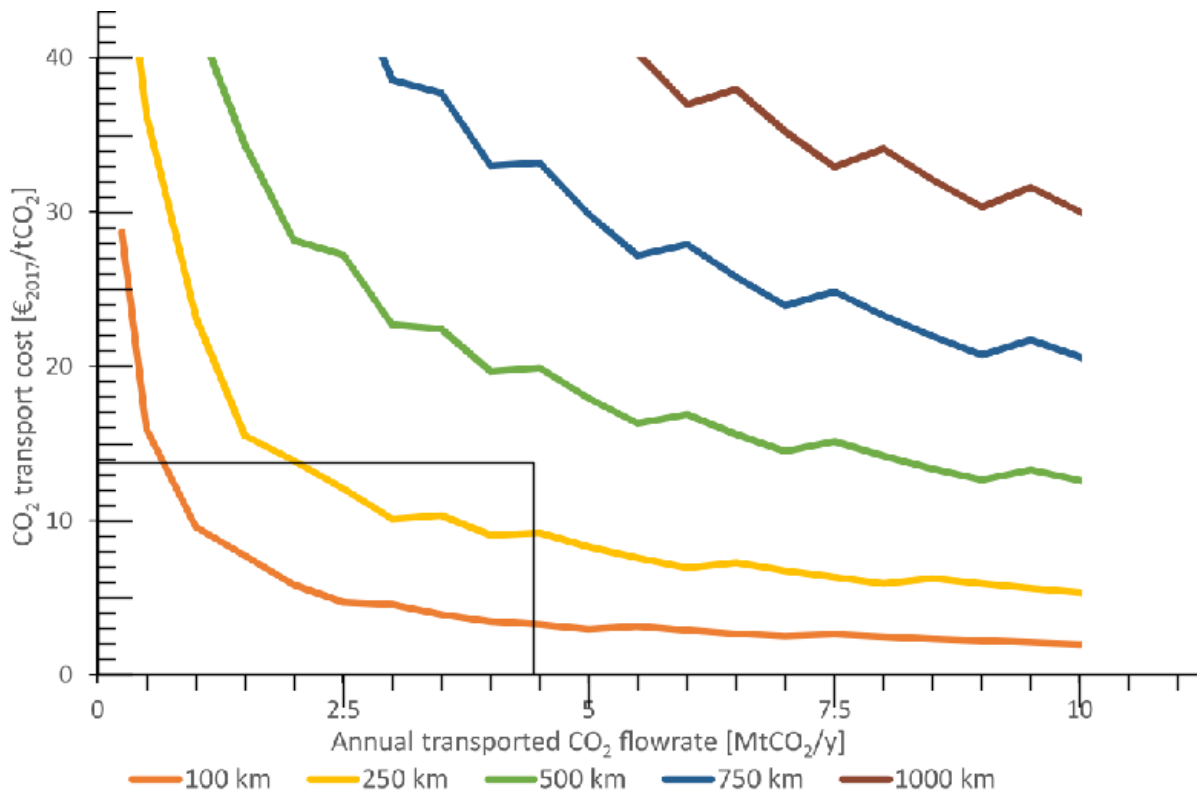
Παραμένοντας στην μελέτη των αγωγών για την μεταφορά CO<sub>2</sub>, ένα επιπλέον εναλλακτικό σενάριο αποτελεί η αξιοποίηση υπεράκτιων αγωγών αντί πλοίων για την μεταφορά του CO<sub>2</sub> από τα λιμάνια μέχρι τους γεωλογικούς χώρους αποθήκευσης. Τα πλοία θεωρούνται πολύ πιο αποδοτικά ως προς το κόστος για τη μεταφορά μεγατόνων CO<sub>2</sub> ετησίως σε σχέση με άλλες μεθόδους μεταφοράς όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 2.2.2.3. Δεδομένης όμως και της μεγάλης αγοραστικής αξίας των πλοίων, αξίζει να αξιολογηθεί και αυτό το σενάριο.

### 3. Μεταφορά CO<sub>2</sub> μέσω υπεράκτιων αγωγών αντί μέσω πλοίων από τα λιμάνια μέχρι τους γεωλογικούς χώρους αποθήκευσης

Για αυτό το σενάριο για να εξαχθεί συμπέρασμα της πιο συμφέρουσας μεθόδου, αρκεί ο υπολογισμός της μεταφοράς του CO<sub>2</sub> από τα δύο λιμάνια μέχρι τους δύο γεωλογικούς χώρους αποθήκευσης μέσω υπεράκτιων αγωγών και η σύγκριση του με τα κόστη μεταφοράς μέσω πλοίων όπως παρουσιάζονται παραπάνω (Πίνακας 38). Τα υπόλοιπα κόστη θα είναι ίδια με το προηγούμενο σενάριο. Οι διαφορές που υπόκειται η εφοδιαστική αλυσίδα σε αυτό το σενάριο είναι η εξής:

- Αλλαγή στα κόστη μεταφοράς από τα λιμάνια μέχρι τους γεωλογικούς χώρους αποθήκευσης

Για τον υπολογισμό των κοστών μεταφοράς μέσω υπεράκτιων αγωγών χρησιμοποιείται μοντέλο το οποίο παρέχει τα κόστη μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω αγωγών με βάση την ποσότητα CO<sub>2</sub> που χρειάζεται να μεταφερθεί και την απόσταση μεταφοράς για διάρκεια 25 ετών (Roussanaly, et al., 2021). Η γραφική παράσταση για την εύρεση των συνολικών εξόδων μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω υπεράκτιων αγωγών όπως πάρθηκε από το μοντέλο παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.



**Σχήμα 8: Γραφική παράσταση κόστους μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω υπεράκτιων αγωγών**

Η συνολική απόσταση μεταφοράς διαμορφώνεται εάν προστεθούν οι επιμέρους αποστάσεις μεταφοράς προς τα λιμάνια όπως παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 59) και ανέρχεται στα 338 km. Η τιμή κόστους μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω υπεράκτιων αγωγών όπως προέκυψε από το Σχήμα 8 ανέρχεται στα €13.8 ανά τόνο CO<sub>2</sub>. Οπότε για ετήσιες ανάγκες μεταφοράς 4,446,000 t όπως προέκυψαν παραπάνω (Πίνακας 3) το συνολικό ετήσιο κόστος μεταφοράς ανέρχεται στα €61,354,800.00 ενώ για την συνολική διάρκεια των 25 ετών στα €1,533,870,000.00.

Αυτό το κόστος είναι πολύ πιο μεγάλο από το κόστος μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω πλοίων το οποίο ανέρχεται για την συνολική διάρκεια των 25 ετών στα € 1,404,269,637.73 εάν προστεθούν οι CapEx και τα OpEx (συνολικά 25 ετών) μεταφοράς CO<sub>2</sub> πλοίων όπως παρουσιάζονται παραπάνω (Πίνακας 38).

Εντέλει επιλέγεται το πρώτο εναλλακτικό σενάριο με τα 2 λιμάνια για την διαμόρφωση της υπόλοιπης εργασίας, καθώς το δεύτερο και τρίτο σενάριο αποδείχτηκαν μη συμφέρον.

## 4.9 Έσοδα εφοδιαστικής αλυσίδας

### 4.9.1 Σύστημα εμπορίας εκπομπών της Ε.Ε. (EU ETS)

Τα έσοδα της εν λόγω εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να πηγάζουν από διάφορους τομείς. Ο μακράν πιο σημαντικός είναι το σύστημα εμπορίας εκπομπών της Ε.Ε. (EU ETS) (European

Commission, 2022). Είναι ουσιαστικά μια φορολογία ή μια αγορά με σκοπό την συμμόρφωση όλων των κρατών μελών της Ε.Ε. ως προς την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, η οποία αναλύθηκε στην ενότητα 2.1. Επισημαίνεται ότι η συμμετοχή όσων εκπέμπουν CO<sub>2</sub> είναι υποχρεωτική. Με λίγα λόγια είναι η αγοραπωλησία δικαιωμάτων εκπομπών CO<sub>2</sub>, υπάρχουν όμως κάποια κρίσιμα σημεία σε αυτό το σύστημα. Καταρχήν η αγορά εκπομπών CO<sub>2</sub> είναι περιορισμένη (έχει κάποιο ανώτατο όριο) και με την πάροδο του χρόνου περιορίζεται περαιτέρω με απώτερο σκοπό τον εκμηδενισμό τόσο των αγορών δικαιωμάτων όσο και των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Επισημαίνεται ότι αυτή η αγορά είναι διαμορφωμένη εις τρόπον ώστε το όριο αυτό να μην ξεπεραστεί. Η κάθε βιομηχανία θα πρέπει να αγοράζει δικαιώματα για το σύνολο των εκπομπών CO<sub>2</sub> που έχει. Εάν εντέλει είχε για παράδειγμα πιο λίγες εκπομπές απ' ό,τι τα δικαιώματα που είχε αγοράσει και εξασφαλίσει (πλεονάζοντα δικαιώματα), μπορεί στην συνέχεια να μεταπωλήσει αυτά τα δικαιώματα κάπου αλλού. Άρα η πηγή αυτή εσόδων, ουσιαστικά είναι τα λεφτά που θα γλιτώσει κάποια βιομηχανία εάν έχει μειωμένες εκπομπές CO<sub>2</sub>. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας αγοράς δικαιωμάτων, η οποία θα περιορίζεται όλο και περισσότερο, η τιμή δικαιωμάτων αναμένεται να έχει μεγάλη αύξηση. Δεδομένου ότι η τιμή των δικαιωμάτων αλλάζει με την ζήτηση και την διαθεσιμότητα, αναμένεται μεγάλη αύξηση τουλάχιστον μέχρι το 2050 όπου θα πρέπει θεωρητικά να εκμηδενιστούν οι εκπομπές CO<sub>2</sub> όπως αναλύθηκε στην ενότητα 2.1. Συμπερασματικά, εάν κάποια βιομηχανία προβεί στην δέσμευση CO<sub>2</sub> αποφεύγει τα έξοδα τα οποία θα υπήρξαν εάν δεν πρόβαινε σε καμία ενέργεια προς αποφυγή των εκπομπών. Έτσι ακόμη και στην περίπτωση όπου οι εισροές της εν λόγω εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μικρότερες απ' ό,τι οι εκροές ίσως να είναι πάλι συμφέρουσα. Σε αυτή την περίπτωση θα είναι συμφέρουσα εάν τα εναπομείναντα έξοδα είναι μικρότερα από τα έξοδα αγοράς δικαιωμάτων εάν οι βιομηχανίες δεν προβαίνουν σε καμία ενέργεια ως προς την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub>. Για να συμπεριληφθούν τα ανωτέρω στην μελέτη, θα πραγματοποιηθούν δύο αξιολογήσεις στην ενότητα 4.10, η μία για δέσμευση CO<sub>2</sub> και η άλλη για καμία ενέργεια ως προς την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub> και στην συνέχεια θα γίνει σύγκριση μεταξύ αυτών ώστε να εξαχθεί η πιο συμφέρουσα ενέργεια εκ των δύο.

Το σύστημα εμπορίας ρύπων παρέχει επίσης σε μεμονωμένες περιπτώσεις δωρεάν δικαιώματα εκπομπών CO<sub>2</sub> ή δωρεάν κατανομή όπως αλλιώς ονομάζεται (European Commission, 2023b). Τα οποία μπορούν εξίσου να μεταπωληθούν εάν δεν αξιοποιηθούν.

#### **4.9.2 Εθελοντική αγορά άνθρακα (VCM)**

Η εθελοντική αγορά άνθρακα είναι μια αγορά τελείως διαφορετική από το σύστημα εμπορίας εκπομπών της Ε.Ε. (EU ETS) και δεν πρέπει να συγχέεται με αυτό. Ουσιαστικά είναι μια αγορά στην οποία μπορούν να πωληθούν και να αγοραστούν μία μόνο φορά μονάδες άνθρακα με απώτερο σκοπό την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου ή ως επί των πλείστων περιπτώσεων την αντιστάθμιση των εκπομπών CO<sub>2</sub> από δραστηριότητες που δεν καλύπτονται από το EU ETS. Η αντιστάθμιση αυτή εξυπηρετεί άλλους σκοπούς και δεν είναι υποχρεωτική σε αντίθεση με το EU ETS, ωστόσο η ύπαρξή του VCM είναι εξίσου σημαντική. Οι σκοποί που μπορεί να εξυπηρετεί είναι μεταξύ άλλων οι εξής:

- Εταιρική κοινωνική ευθύνη (ΕΚΕ): Ενίσχυση της φήμης μιας εταιρείας ως περιβαλλοντικά υπεύθυνης οντότητας. Ικανοποίηση των προσδοκιών βιωσιμότητας των ενδιαφερόμενων μερών, συμπεριλαμβανομένων των πελατών, των εργαζομένων και των επενδυτών.
- Περιβαλλοντικό αντίκτυπο: Συμβολή στις παγκόσμιες προσπάθειες για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής με την υποστήριξη έργων που μειώνουν ή απομακρύνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Προώθηση της βιοποικιλότητας, της διατήρησης και της βιώσιμης ανάπτυξης μέσω της υποστήριξης έργων αντιστάθμισης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.
- Ανταγωνιστικό πλεονέκτημα: Με την εμπορία προϊόντων και υπηρεσιών ως ουδέτερων ή χαμηλών εκπομπών άνθρακα, προσέλκυση πελατών με περιβαλλοντική συνείδηση και ενίσχυση της αφοσίωσης των πελατών.
- Προσέλκυση επενδυτών: Απευθύνεται σε επενδυτές που δίνουν προτεραιότητα στα περιβαλλοντικά, κοινωνικά κριτήρια και κριτήρια διακυβέρνησης (ESG) στις επενδυτικές τους αποφάσεις. Βελτίωση των βαθμολογιών στους δείκτες βιωσιμότητας και απόκτηση πρόσβασης σε πράσινες επιλογές χρηματοδότησης.
- Οικονομικά αποδοτικές μειώσεις εκπομπών: Η αντιστάθμιση των εκπομπών μέσω VCM μπορεί να είναι ένας οικονομικά αποδοτικός τρόπος για την επίτευξη ουδετερότητας ως προς τον άνθρακα, ιδίως όταν οι εσωτερικές μειώσεις είναι πιο δαπανηρές ή τεχνικά δύσκολες.

Πιο συγκεκριμένα τα οικονομικά οφέλη που μπορεί να αποσκοπήσει κάποιος από την αγορά μονάδων άνθρακα με σκοπό την μείωση ή ουδετερότητα άνθρακα είναι τα εξής:

- Βιώσιμα δάνεια και ομόλογα: Οι εταιρείες που δεσμεύονται για ουδετερότητα ως προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να τύχουν πράσινων ομολόγων και βιώσιμων δανείων, συχνά με ευνοϊκά επιτόκια.
- Προσέλκυση επενδύσεων ESG: Ολοένα και περισσότεροι επενδυτές δίνουν προτεραιότητα σε κριτήρια περιβαλλοντικά, κοινωνικά και εταιρικής διακυβέρνησης (ESG). Οι εταιρείες με ισχυρές πρακτικές βιωσιμότητας μπορούν να προσελκύσουν επενδύσεις από ταμεία που εστιάζουν σε ESG.
- Αυξημένες πωλήσεις: Μια ισχυρή φήμη για τη βιωσιμότητα μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των πωλήσεων, καθώς οι καταναλωτές είναι πιο πιθανό να υποστηρίξουν μάρκες που θεωρούν περιβαλλοντικά υπεύθυνες.
- Προσαύξηση της τιμής: Ορισμένοι καταναλωτές είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν ένα ασφάλιστρο για προϊόντα που παράγονται με βιώσιμο τρόπο, ενισχύοντας τα περιθώρια κέρδους.
- Ασφαλιστικές παροχές: Οι εταιρείες με ισχυρές περιβαλλοντικές πρακτικές μπορεί να επωφεληθούν από χαμηλότερα ασφάλιστρα λόγω μειωμένου προφίλ κινδύνου.



Για του ανωτέρω σκοπούς αναμένεται ζήτηση και σε αυτή την αγορά. Φυσικά για να προβεί ο οποιασδήποτε στην αγορά μονάδων άνθρακα από την συγκεκριμένη αγορά (VCM) θα πρέπει να πραγματοποιήσει κάποιου είδους μελέτη εκ των προτέρων και ανάλογα με την εκάστοτε τιμή αγοράς να αποφανθεί αν είναι συμφέρον ή όχι. Επιπλέον εάν η αγορά αυτή έχει ζήτηση οι τιμή αγοραπωλησίας θα αυξάνεται.

Ο τρόπος που λειτουργεί είναι σχετικά απλός αλλά υπάρχουν σημεία για τα οποία πρέπει να δοθεί η απαραίτητη προσοχή. Αυτή η αγορά ονομάζεται εθελοντική γιατί μπορεί να συμμετάσχει όποιος θέλει σε αυτήν, δεδομένου όμως ότι πληροί τις απαραίτητες προϋποθέσεις. Τα είδη των μειώσεων των εκπομπών που μπορούν να δημιουργήσουν εμπορεύσιμα πιστωτικά μόρια άνθρακα εξαρτώνται από τη φύση του έργου και το χρησιμοποιούμενο πρότυπο πιστοποίησης. Η συγκεκριμένη εργασία πραγματεύεται την δέσμευση CO<sub>2</sub> για την οποία η μείωση των εκπομπών μπορεί να δημιουργήσει πιστωτικά μόρια άνθρακα και μάλιστα είναι από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους προς επιλογή. Στη συνέχεια για να προβεί κάποιος στην πώληση αυτών θα πρέπει να πιστοποιηθούν οι μειώσεις των εκπομπών από αναγνωρισμένα πρότυπα, τα οποία διασφαλίζουν την αξιοπιστία των μειώσεων. Δηλαδή το ότι οι μειώσεις των εκπομπών είναι πραγματικές, μετρήσιμες και μόνιμες. Κάποια παραδείγματα αναγνωρισμένων προτύπων είναι τα εξής:

- VCS by Verra (Verra, 2024)
- Gold Standard (Gold Standard, 2024a)
- CAR (Climate Action Reserve, 2023)
- ACR (American Carbon Registry, 2023)

Παίρνοντας πιστοποίηση από ένα καλό πρότυπο πιθανόν η τιμή πώλησης πιστώσεων άνθρακα να είναι αυξημένη. Εντέλει αφού πραγματοποιηθεί και η πιστοποίηση μπορούν να πωληθούν τα δικαιώματα στην αγορά. Η τιμή των συγκεκριμένων δικαιωμάτων είναι μεταβαλλόμενη και αλλάζει ανάλογα με την ζήτηση και την διαθεσιμότητα. Διαφέρει επίσης ανάλογα με την ποιότητα των πιστοποιήσεων. Επισημαίνεται ότι ανάλογα με την ποιότητα των μειώσεων και των πιστοποιήσεων, οι οποίες οδηγούν σε μεγαλύτερη τιμή πώλησης τα οικονομικά οφέλη που προαναφέρθηκαν μεταβάλλονται ανάλογα. Η εύρεση της ζήτησης αλλά και της τιμής μονάδας άνθρακα για αυτή την αγορά φάνηκε δύσκολη καθώς δεν υπάρχει επαρκές βιβλιογραφία περί του θέματος για δεδομένα Ε.Ε.. Ωστόσο με την βοήθεια εργαλείου τεχνητής νοημοσύνης και μερικών άλλων βιβλιογραφικών πηγών η τιμή εκτιμήθηκε για την Ε.Ε. αυτό τον καιρό από €20 μέχρι €60 συγκεκριμένα για CCS (OpenAI, 2024; Gold Standard, 2024b; Carbon Credits, 2022). Για τους σκοπούς της μελέτης θα θεωρηθεί η μέση τιμή πώλησης πιστώσεων άνθρακα για την Ευρώπη και συγκεκριμένα για CCS των €40 ανά τόνο δεσμευόμενου CO<sub>2</sub>. Τα αντίστοιχα έσοδα παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 39) για τα 25 έτη του έργου.

**Πίνακας 39: Έσοδα από την πώληση μονάδων άνθρακα VCM**

Έτη	Τιμή μονάδας άνθρακα VCM	Έσοδα
1	40.00 €	177,840,000.00 €
2	40.00 €	177,840,000.00 €
3	40.00 €	177,840,000.00 €
4	40.00 €	177,840,000.00 €
5	40.00 €	177,840,000.00 €
6	40.00 €	177,840,000.00 €
7	40.00 €	177,840,000.00 €
8	40.00 €	177,840,000.00 €
9	40.00 €	177,840,000.00 €
10	40.00 €	177,840,000.00 €
11	40.00 €	177,840,000.00 €
12	40.00 €	177,840,000.00 €
13	40.00 €	177,840,000.00 €
14	40.00 €	177,840,000.00 €
15	40.00 €	177,840,000.00 €
16	40.00 €	177,840,000.00 €
17	40.00 €	177,840,000.00 €
18	40.00 €	177,840,000.00 €
19	40.00 €	177,840,000.00 €
20	40.00 €	177,840,000.00 €
21	40.00 €	177,840,000.00 €
22	40.00 €	177,840,000.00 €
23	40.00 €	177,840,000.00 €
24	40.00 €	177,840,000.00 €

Έτη	Τιμή μονάδας άνθρακα VCM	Έσοδα
25	40.00 €	177,840,000.00 €
Συνολικά έσοδα 25 ετών		4,446,000,000.00 €

### 4.9.3 Προγράμματα χρηματοδοτήσεων Ε.Ε.

Μια άλλη πηγή εσόδων ή μειωμένων εξόδων είναι τα προγράμματα χρηματοδότησης της Ε.Ε., τα οποία υποστηρίζουν επενδυτικά σχέδια δέσμευσης CO<sub>2</sub>. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρηματοδότηση του ομίλου TITAN για το έργο δέσμευσης CO<sub>2</sub> IFESTOS (European Commission, 2023c). Το ύψος της χρηματοδότησης φημολογείται ότι ανέρχεται στα 234 εκατομμύρια ευρώ (Euro2day, 2024). Ωστόσο, για την μελέτη περίπτωσης αυτή, δεν θα συμπεριληφθούν χρηματοδοτήσεις καθότι η διαθεσιμότητα τους είναι αβέβαιη.

### 4.10 Αξιολόγηση επένδυσης

Για την αξιολόγηση μίας επένδυσης πολύ χρήσιμα εργαλεία είναι ο δείκτης Καθαρής Παρούσας Αξίας-ΚΠΑ (NPV) και ο δείκτης Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης-EBA (IRR), ο ορισμός των οποίων παρατέθηκαν στην ενότητα 1.6.3 ενώ ο τύποι υπολογισμού επεξηγούνται ακολούθως.

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^N \frac{Χρηματοροές}{(1+r)^t} - Αρχική Επένδυση$$

Όπου:

- t = Χρονική περίοδος
- N = Χρονική διάρκεια επένδυσης
- r = Προεξοφλητικό επιτόκιο

$$0 = ΚΠΑ = \sum_{t=1}^N \frac{Χρηματοροές}{(1+EBA)^t} - Αρχική Επένδυση$$

Ο ΕΒΑ υπολογίζεται μηδενίζοντας την ΚΠΑ και λύνοντας ως προς αυτόν.

Διευκρινίζεται ότι οι χρηματοροές ή αλλιώς ταμειακές ροές είναι οι εισροές και εκροές μιας επιχείρησης σε μια χρονική περίοδο.

Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 4.9.1 εάν δεν ληφθούν οποιαδήποτε μέτρα μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> θα υπάρξουν κάποια φορολογικά έξοδα από το EU ETS. Για τον λόγο αυτό θεωρείται σκόπιμος ο υπολογισμός και των ενδεχόμενων εξόδων σε περίπτωση καμίας ενέργειας ως προς την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Οπότε για την αξιολόγηση της επένδυσης δεν αρκεί μόνο ο υπολογισμός του δείκτη ΚΠΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας αλλά η σύγκριση του δείκτη ΚΠΑ στην περίπτωση επένδυσης και στην περίπτωση μη επένδυσης και καμιάς ενέργειας ως προς την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Για τα ανωτέρω θα χρησιμεύσει μόνο ο δείκτης ΚΠΑ και όχι ο δείκτης ΕΒΑ. Χωρίς έσοδα ή εισροές, ο υπολογισμός του ΕΒΑ δεν έχει νόημα, διότι ο ΕΒΑ βασίζεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ εισροών και εκροών. Με μόνο εκροές (έξοδα), δεν υπάρχει σημείο νεκρού σημείου για να υπολογιστεί και τότε ο ΕΒΑ είτε δεν θα υπήρχε είτε δεν θα είχε νόημα. Ωστόσο θα χρησιμεύσει στην σύγκριση αυτών των δύο ενδεχομένων όπως επεξηγείται στην ενότητα 4.10.4.

#### 4.10.1 Υπολογισμός ΚΠΑ για την εφοδιαστική αλυσίδα CO<sub>2</sub> μεγάλων βιομηχανιών Ελλάδος

Για τον υπολογισμό του δείκτη ΚΠΑ θα χρειαστεί ο υπολογισμός της ετήσιων χρηματοροών. Οι χρηματοροές συμπεριλαμβάνουν τα μικτά αποτελέσματα, τους πιθανούς φόρους, τις ροές παγίων (CapEx και την υπολειμματική αξία) και τις ροές δανείων. Για τον υπολογισμό των μικτών αποτελεσμάτων θα χρειαστούν τα έσοδα όπως προέκυψαν παραπάνω (Πίνακας 39) και τα έξοδα χωρίς τις δόσεις δανείου όπως προέκυψαν παραπάνω (Πίνακας 37). Όσο αφορά τον υπολογισμό των φόρων, θα πρέπει να αφαιρεθούν από τα μικτά οι αποσβέσεις και οι τόκοι και μόνο στην περίπτωση που υπάρχει κέρδος, τότε φορολογείται το ποσό κέρδους και μόνο. Διευκρινίζεται ότι οι αποσβέσεις προκύπτουν αφαιρώντας από την αξία κτίσης (CapEx) την υπολειμματική αξία και στην συνέχεια διαιρώντας την τιμή που προκύπτει με τα χρόνια ζωής της επένδυσης.

Η υπολειμματική αξία αποτελεί την αξία της επένδυσης μετά το πέρας του χρονικού διαστήματος της επένδυσης (25 έτη στην συγκεκριμένη περίπτωση). Αυτά που θα έχουν κάποια αξία μετά το πέρας των 25 ετών θα είναι τα φορτηγά, τα πλοία, οι δεξαμενές προσωρινής αποθήκευσης και τα συστήματα δέσμησης. Ωστόσο θεωρούμε διάρκεια ζωής φορτηγών και πλοίων 25 έτη, οπότε αυτά θα πάνε για παλιοσίδερα. Υπολογίζεται παρακάτω (Πίνακας 40) η συνολική υπολειμματική αξία και οι τιμές των παραμέτρων λαμβάνονται ως εξής:

- Έσοδα από παλιοσίδερα φορτηγών: €4,000 ανά φορτηγό
- Έσοδα από παλιοσίδερα πλοίων: €900,000 ανά πλοίο
- Έσοδα από δεξαμενές προσωρινής αποθήκευσης χωρητικότητας περίπου 25,000 t: €45,000 ανά δεξαμενή
- Έσοδα από συστήματα δέσμησης CO<sub>2</sub>: €1,800 ανά τόνο ανά μέρα
- Έξοδα αποκομιδής: €1,800,000

**Πίνακας 40: Υπολογισμός συνολικής υπολειμματικής αξίας**

Φορτηγά	158	632,000.00 €
Πλοία	3	2,700,000.00 €
Προσωρινή αποθήκευση	5	225,000.00 €
Συστήματα δέσμευσης	12,351 t/μέρα	22,230,000.00 €
Αποκομιδή		-1,800,000.00 €
Συνολική υπολειμματική αξία		23,987,000.00 €

Τα μικτά αποτελέσματα διαμορφώνονται παρακάτω (Πίνακας 41). Διευκρινίζεται ότι όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 4.5 ο χρόνος αποπληρωμής δανείου διαμορφώθηκε εις τρόπον ώστε οι υπό μελέτη χρηματοροές να μην ξεπερνούν τις χρηματοροές που έχουν οι βιομηχανίες αυτό το χρονικό διάστημα από την αγορά δικαιωμάτων CO<sub>2</sub> (επεξηγείται στην ενότητα 4.9.1) και άρα βρίσκουν τρόπο να πληρώνουν (αρνητικές χρηματοροές). Αυτές οι χρηματοροές υπολογίζονται στην ενότητα 4.10.2 παρακάτω (Πίνακας 45). Επιδιώκεται με αυτό τον τρόπο η ελαχιστοποίηση του χρόνου αποπληρωμής δανείου με απώτερο σκοπό την ελαχιστοποίηση των τόκων.

**Πίνακας 41: Υπολογισμός μικτών αποτελεσμάτων**

Έτος	Έσοδα	Έξοδα	Μικτά
0			
1	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
2	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
3	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
4	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
5	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
6	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
7	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
8	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
9	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
10	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €

Έτος	Έσοδα	Έξοδα	Μικτά
11	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
12	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
13	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
14	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
15	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
16	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
17	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
18	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
19	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
20	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
21	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
22	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
23	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
24	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €
25	177,840,000.00 €	- 181,202,136.23 €	- 3,362,136.23 €

Όπως προαναφέρθηκε για τον υπολογισμό των φόρων, θα πρέπει να αφαιρεθούν από τα μικτά οι αποσβέσεις και οι τόκοι και μόνο στην περίπτωση που υπάρχει κέρδος, τότε φορολογείται το ποσό κέρδους και μόνο. Στην συγκεκριμένη μελέτη δεν υπάρχει κέρδος άρα δεν θα υπάρχουν ούτε φόροι. Αυτό φαίνεται άλλωστε και κατευθείαν από τα μικτά αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν αρνητικά για κάθε έτος, ωστόσο παρουσιάζονται και τα λοιπά αποτελέσματα για πληρότητα. Διευκρινίζεται ότι οι αποσβέσεις προκύπτουν αφαιρώντας από την αξία κτίσης (CapEx) την υπολειμματική αξία και στην συνέχεια διαιρώντας την τιμή που προκύπτει με τα χρόνια ζωής της επένδυσης (25 στην συγκεκριμένη περίπτωση).

Πίνακας 42: Υπολογισμός φόρων

Έτος	Αποσβέσεις	Τόκος	Φορολογούμενο Ποσό (Κέρδη)	Φόρος
0				
1	67,826,837.48 €	85,982,896.86 €	- €	- €
2	67,826,837.48 €	75,422,493.07 €	- €	- €
3	67,826,837.48 €	64,334,069.10 €	- €	- €
4	67,826,837.48 €	52,691,223.93 €	- €	- €
5	67,826,837.48 €	40,466,236.51 €	- €	- €
6	67,826,837.48 €	27,629,999.71 €	- €	- €
7	67,826,837.48 €	14,151,951.07 €	- €	- €
8	67,826,837.48 €		- €	- €
9	67,826,837.48 €		- €	- €
10	67,826,837.48 €		- €	- €
11	67,826,837.48 €		- €	- €
12	67,826,837.48 €		- €	- €
13	67,826,837.48 €		- €	- €
14	67,826,837.48 €		- €	- €
15	67,826,837.48 €		- €	- €
16	67,826,837.48 €		- €	- €
17	67,826,837.48 €		- €	- €
18	67,826,837.48 €		- €	- €
19	67,826,837.48 €		- €	- €
20	67,826,837.48 €		- €	- €
21	67,826,837.48 €		- €	- €
22	67,826,837.48 €		- €	- €
23	67,826,837.48 €		- €	- €

Έτος	Αποσβέσεις	Τόκος	Φορολογούμενο Ποσό (Κέρδη)	Φόρος
24	67,826,837.48 €		- €	- €
25	67,826,837.48 €		- €	- €

Ακολούθως παρακάτω (Πίνακας 43), στην στήλη των ροών παγίων παρουσιάζονται τα CapEx και η υπολειμματική αξία ενώ στην στήλη των ροών δανείου παρουσιάζονται οι δόσεις δανείου. Τα καθαρά αποτελέσματα προκύπτουν ως άθροισμα των μικτών αποτελεσμάτων, των ροών δανείου και των φόρων (δεν υπάρχουν στην συγκεκριμένη περίπτωση) και ακολούθως υπολογίζονται οι χρηματοροές ως άθροισμα των ροών παγίων και των καθαρών αποτελεσμάτων. Οι καθαρές χρηματοροές είναι ουσιαστικά η διαφορά θετικών και αρνητικών χρηματοροών.

**Πίνακας 43: Καθαρές χρηματοροές εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub>**

Έτος	Ροές Παγίων	Ροές δανείου	Καθαρά Αποτελέσματα	Καθαρές Χρηματοροές
0	-1,719,657,937.10 €			-1,719,657,937.10 €
1		-297,190,972.48 €	-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
2		-297,190,972.48 €	-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
3		-297,190,972.48 €	-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
4		-297,190,972.48 €	-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
5		-297,190,972.48 €	-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
6		-297,190,972.48 €	-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
7		-297,190,972.48 €	-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
8			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
9			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
10			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
11			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
12			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
13			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
14			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €



Έτος	Ροές Παγίων	Ροές δανείου	Καθαρά Αποτελέσματα	Καθαρές Χρηματοροές
15			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
16			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
17			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
18			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
19			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
20			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
21			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
22			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
23			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
24			-300,553,108.71 €	-300,553,108.71 €
25	23,987,000.00 €		-300,553,108.71 €	20,624,863.77 €

Τελικά πραγματοποιείται υπολογισμός του δείκτη ΚΠΑ όπως επεξηγήθηκε στην αρχή της ενότητας 4.10. Το προεξοφλητικό επιτόκιο λαμβάνεται εμπειρικά στο 5%, οι καθαρές χρηματοροές παρουσιάζονται παραπάνω (Πίνακας 43), η αρχική επένδυση ισοδυναμεί με τα CapEx και η χρονική διάρκεια της επένδυσης ανέρχεται στα 25 έτη.

**ΚΠΑ= -3,479,618,208.21 €**

#### **4.10.2 Υπολογισμός ΚΠΑ για καμία ενέργεια ως προς την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub> μεγάλων βιομηχανιών Ελλάδος**

Αν και σύμφωνα με τα προαναφερθέντα της ενότητας 4.9.1 αναμένεται αύξηση της τιμής άνθρακα, στην συγκεκριμένη μελέτη τα ετήσια έξοδα θα ληφθούν για σταθερή τιμή άνθρακα. Θα ληφθεί σταθερή καθώς δεν είναι βέβαιη η αύξηση της τιμής αλλά και ούτε ο ρυθμός αύξησης. Η τιμή δικαιωμάτων άνθρακα μεταβάλλεται συνεχώς οπότεν για την μελέτη περίπτωσης θα παρθεί η μέση τιμή για τον μήνα Μάιο του 2024 (Trading Economics, 2024). Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα έξοδα από το σύστημα εμπορίας εκπομπών της Ε.Ε. για το συνολικό χρονικό διάστημα του έργου των 25 ετών (Πίνακας 44). Η ετήσιες εκπομπές όπως προέκυψαν παραπάνω (Πίνακας 3) ανέρχονται στους 12,351 t.

**Πίνακας 44: Ετήσια έξοδα για σταθερή τιμή δικαιωμάτων εκπομπών άνθρακα EU ETS**

Έτη	Τιμή δικαιωμάτων EU ETS	Έξοδα
1	73.63 €	327,358,980.00 €
2	73.63 €	327,358,980.00 €
3	73.63 €	327,358,980.00 €
4	73.63 €	327,358,980.00 €
5	73.63 €	327,358,980.00 €
6	73.63 €	327,358,980.00 €
7	73.63 €	327,358,980.00 €
8	73.63 €	327,358,980.00 €
9	73.63 €	327,358,980.00 €
10	73.63 €	327,358,980.00 €
11	73.63 €	327,358,980.00 €
12	73.63 €	327,358,980.00 €
13	73.63 €	327,358,980.00 €
14	73.63 €	327,358,980.00 €
15	73.63 €	327,358,980.00 €
16	73.63 €	327,358,980.00 €
17	73.63 €	327,358,980.00 €
18	73.63 €	327,358,980.00 €
19	73.63 €	327,358,980.00 €
20	73.63 €	327,358,980.00 €
21	73.63 €	327,358,980.00 €
22	73.63 €	327,358,980.00 €
23	73.63 €	327,358,980.00 €
24	73.63 €	327,358,980.00 €

Έτη	Τιμή δικαιωμάτων EU ETS	Έξοδα
25	73.63 €	327,358,980.00 €
<b>Συνολικά έξοδα 25 ετών</b>		<b>8,183,974,500.00 €</b>

Στην περίπτωση καμίας ενέργειας ως προς την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub> οι χρηματοροές προκύπτουν κατευθείαν από τα έξοδα που αντιστοιχούν στην αγορά δικαιωμάτων εκπομπών CO<sub>2</sub> όπως εξεξηγήθηκε στην αρχή της ενότητας 4.10. Ακολουθώς παρουσιάζονται οι αντίστοιχες χρηματοροές (Πίνακας 45). Διευκρινίζεται ότι όπως και στην ανάλυση της εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub>, όπως και τώρα στην περίπτωση καμίας ενέργειας δεν συνυπολογίζονται τα οποιαδήποτε άλλα έσοδα ή έξοδα που έχουν να κάνουν με την βιομηχανία, παρά μόνο αυτά που σχετίζονται με την δέσμευση CO<sub>2</sub>. Αυτές είναι ουσιαστικά και οι χρηματοροές για ότι αφορά εκπομπές CO<sub>2</sub> που έχουν θεωρητικά οι βιομηχανίες αυτή την χρονική περίοδο.

**Πίνακας 45: Καθαρές χρηματοροές για καμία ενέργεια ως προς την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub>**

Έτος	Καθαρές Χρηματοροές
0	
1	- 327,358,980.00 €
2	- 327,358,980.00 €
3	- 327,358,980.00 €
4	- 327,358,980.00 €
5	- 327,358,980.00 €
6	- 327,358,980.00 €
7	- 327,358,980.00 €
8	- 327,358,980.00 €
9	- 327,358,980.00 €
10	- 327,358,980.00 €
11	- 327,358,980.00 €
12	- 327,358,980.00 €

Έτος	Καθαρές Χρηματοροές
13	- 327,358,980.00 €
14	- 327,358,980.00 €
15	- 327,358,980.00 €
16	- 327,358,980.00 €
17	- 327,358,980.00 €
18	- 327,358,980.00 €
19	- 327,358,980.00 €
20	- 327,358,980.00 €
21	- 327,358,980.00 €
22	- 327,358,980.00 €
23	- 327,358,980.00 €
24	- 327,358,980.00 €
25	- 327,358,980.00 €

Τελικά πραγματοποιείται υπολογισμός του δείκτη ΚΠΑ όπως επεξηγήθηκε στην αρχή της ενότητας 4.10 με σκοπό την σύγκριση που ακολουθεί στην ενότητα 4.10.3.

**ΚΠΑ= - 4,613,779,317.32 €**

#### **4.10.3 Σύγκριση ΚΠΑ επένδυσης και ΚΠΑ μη επένδυσης και καμιάς ενέργειας ως προς την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub>**

Οι δείκτες ΚΠΑ όπως προέκυψαν στις ενότητες 4.10.1 και 4.10.2 παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 46).

**Πίνακας 46: Σύγκριση ΚΠΑ**

Ενδεχόμενα	ΚΠΑ
Επένδυση σε συστήματα δέσμησης CO <sub>2</sub>	- 3,479,618,208.21 €
Καμία ενέργεια ως προς την αποφυγή εκπομπών CO <sub>2</sub>	- 4,613,779,317.32 €

Όπως αποδεικνύεται και οι δύο δείκτες ΚΠΑ που υπολογίστηκαν είναι αρνητικοί. Πράγμα που σημαίνει ότι οι βιομηχανίες με τον ένα ή τον άλλο τρόπο θα χάσουν λεφτά όσο αφορά τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Στην αρχή της ενότητας 4 αναφέρθηκε η αοριστία και η αβεβαιότητα της ανάπτυξης μιας τέτοιας εφοδιαστικής αλυσίδας λόγω του ότι είναι κάτι που ακόμη να αναπτυχθεί στην Ελλάδα αλλά και λόγω της μεγάλης μεταβλητότητας των παραμέτρων. Ωστόσο η διαφορά των δεικτών ΚΠΑ είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι βιομηχανίες θα χάσουν λιγότερα λεφτά εάν γίνει επιλογή της επένδυσης σε συστήματα δέσμευσης CO<sub>2</sub>.

Είναι βέβαιο λοιπόν το ότι θα πρέπει να ληφθούν κάποια μέτρα ως προς την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub>. Το ερώτημα είναι αν αυτά τα μέτρα θα συμπεριλαμβάνουν την δέσμευση CO<sub>2</sub> ή αν θα συμπεριλαμβάνουν κάποια άλλη λύση όπως για παράδειγμα εναλλακτικά καύσιμα.

#### 4.10.4 Υπολογισμός συντελεστών ΚΠΑ και ΕΒΑ πρόσθετης επένδυσης

Για πιο εύκολη σύγκριση και αξιολόγηση προσδιορίζονται οι συντελεστές ΚΠΑ και ΕΒΑ για την πρόσθετη επένδυση, την διαφορά δηλαδή των δύο ενδεχομένων που παρουσιάζονται παρακάτω:

- Ενδεχόμενο Ε: Επένδυση σε συστήματα δέσμευσης CO<sub>2</sub>
- Ενδεχόμενο Κ: Καμία ενέργεια ως προς την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub>

Από την διαφορά των δύο ενδεχομένων μπορεί να εξαχθεί το πιο συμφέρον με βάση τον δείκτη ΕΒΑ και το προεξοφλητικό επιτόκιο που είχε τεθεί στην ενότητα 4.10.1 ίσο με 5%. Εάν ο συντελεστής ΕΒΑ των χρηματοροών που προκύπτουν από την διαφορά χρηματοροών ενδεχομένου Ε και χρηματοροών ενδεχομένου Κ, είναι μεγαλύτερος του προεξοφλητικού επιτοκίου (5%), τότε το ενδεχόμενο Ε είναι πιο συμφέρον έναντι του ενδεχομένου Κ.

Προσδιορίζονται αρχικά οι καθαρές χρηματοροές πρόσθετης επένδυσης. Αυτές διαμορφώνονται παρακάτω (Πίνακας 47) από την διαφορά καθαρών χρηματοροών των δύο ενδεχομένων. Οι προαναφερθέν χρηματοροές διαμορφώθηκαν παραπάνω (Πίνακας 43) για το ενδεχόμενο Ε και παραπάνω (Πίνακας 44) για το ενδεχόμενο Κ.

**Πίνακας 47: Καθαρές χρηματοροές πρόσθετης επένδυσης**

Έτος	Ε-Κ
0	- 1,719,657,937.10 €
1	26,805,871.29 €
2	26,805,871.29 €
3	26,805,871.29 €
4	26,805,871.29 €

Έτος	E-K
5	26,805,871.29 €
6	26,805,871.29 €
7	26,805,871.29 €
8	323,996,843.77 €
9	323,996,843.77 €
10	323,996,843.77 €
11	323,996,843.77 €
12	323,996,843.77 €
13	323,996,843.77 €
14	323,996,843.77 €
15	323,996,843.77 €
16	323,996,843.77 €
17	323,996,843.77 €
18	323,996,843.77 €
19	323,996,843.77 €
20	323,996,843.77 €
21	323,996,843.77 €
22	323,996,843.77 €
23	323,996,843.77 €
24	323,996,843.77 €
25	347,983,843.77 €

Προσδιορίζονται ακολούθως (Πίνακας 48) οι συντελεστές πρόσθετης επένδυσης σε συστήματα δέσμευσης CO<sub>2</sub> και για καμία ενέργεια ως προς την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub>. Ο υπολογισμός των συντελεστών ΚΠΑ και ΕΒΑ για πρόσθετη επένδυση είναι ίδιος με αυτόν που εξεξηγηθεί στη ενότητα 4.10. Όσο αφορά τον συντελεστή ΕΒΑ πρόσθετης επένδυσης για να θεωρείται μια επένδυση συμφέρουσα πρέπει να ξεπερνάει το προεξοφλητικό επιτόκιο, το

οποίο είχε τεθεί στην ενότητα 4.10.1 ίσο με 5%. Στην περίπτωση αυτή όπως ήταν αναμενόμενο είναι μεγαλύτερος του 5% οπότε το ενδεχόμενο Ε είναι πιο συμφέρον έναντι του Κ. Επισημαίνεται ότι οι συντελεστές πρόσθετης επένδυσης χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την σύγκριση επενδύσεων. Είναι διαφορετικοί από τους συντελεστές ΚΠΑ και ΕΒΑ της επένδυσης σε συστήματα δέσμευσης CO<sub>2</sub> και δεν πρέπει να συγχέονται με αυτούς.

**Πίνακας 48: Συντελεστές ΚΠΑ και ΕΒΑ πρόσθετης επένδυσης**

Συντελεστής ΚΠΑ πρόσθετης επένδυσης	1,134,161,109.10 €
Συντελεστής ΕΒΑ πρόσθετης επένδυσης	8.86%

#### 4.11 Ανάλυση ευαισθησίας

Πολύ κομβικό σημείο στον προσδιορισμό των εισροών και εκροών αποτελεί η ζήτηση και η επακόλουθη τιμή αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών CO<sub>2</sub> που αναλύθηκε στην ενότητα 4.9.1 (EU ETS) αλλά και η τιμή εθελοντικής αγοράς μονάδων CO<sub>2</sub>, η οποία λήφθηκε υπόψη στον προσδιορισμό των εσόδων στην ενότητα 4.9.2 (VCM). Ως εκ τούτου κρίθηκε απαραίτητη η ανάλυση ευαισθησίας αυτών των παραμέτρων καθότι η τιμή τους δεν είναι σε καμία περίπτωση βέβαιη ειδικά σε χρονικό διάστημα 25 ετών. Φυσικά όπως αναλύθηκε στις προαναφερθέντες ενότητες οι τιμές αυτές αναμένονται αύξηση ως αποτέλεσμα της αυξημένης ζήτησης για μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και όχι μόνο. Σε κάθε περίπτωση όμως υπάρχει αβεβαιότητα, οπότε θα πραγματοποιηθούν υπολογισμοί τόσο για την αύξηση αυτών των τιμών όσο και για την μείωση. Στην συνέχεια θα υπολογιστούν οι συντελεστές πρόσθετης επένδυσης όπως επεξηγήθηκαν στην ενότητα 4.10.4 για πιο εύκολη σύγκριση των ενδεχομένων.

Για την ανάλυση ευαισθησίας λαμβάνεται για τους σκοπούς της μελέτης η παραδοχή ότι η τιμή εκπομπών CO<sub>2</sub> (EU ETS) που αναλύθηκε στην ενότητα 4.9.1 και η τιμή εθελοντικής αγοράς άνθρακα (VCM) που αναλύθηκε στην ενότητα 4.9.2 αυξάνονται ή μειώνονται με ίδιο ρυθμό. Αυτή η παραδοχή θα βοηθήσει στην απλοποίηση της σύγκρισης. Από την μία πλευρά αιτιολογείται αυτή η παραδοχή γιατί με την αύξηση της ζήτησης για μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> θεωρητικά αυξάνεται η ζήτηση και για τις δύο αγορές. Από την άλλη πλευρά δεν είναι σίγουρος ο ρυθμός αύξησης κάθε αγοράς γιατί όπως επεξηγήθηκε στην ενότητα 4.9.2 είναι δύο αγορές αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους.

Η τιμή εκπομπών CO<sub>2</sub> (EU ETS) στην ενότητα 4.10.2 είχε παρθεί ίση με 73.63 € ενώ η τιμή εθελοντικής αγοράς μονάδων άνθρακα (VCM) στην ενότητα 4.9.2 είχε παρθεί ίση με 40 €. Θα θεωρηθούν όπως και πριν σταθερές οι τιμές αυτές για την διάρκεια των 25 ετών. Για την ανάλυση ευαισθησίας θεωρείται και για τις δύο αγορές 25% και 50% αυξομείωση των τιμών. Τα αποτελέσματα των καθαρών χρηματοροών και των συντελεστών ΚΠΑ και ΕΒΑ πρόσθετης επένδυσης παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 49). Αυτά προέκυψαν με ανάλογο τρόπο με

την ενότητα 4.10 οπότε οι υπολογισμοί δεν επισυνάπτονται γιατί καταλαμβάνουν και μεγάλη έκταση. Επισημαίνεται ότι με την αυξομείωση των δύο τιμών που προαναφέρθηκαν υπάρχει αλλαγή στον χρόνο αποπληρωμής δανείου και άρα στα έξοδα που αφορούν τους τόκους. Ο τρόπος διαμόρφωσης του χρόνου αποπληρωμής δανείου έχει επεξηγηθεί στην ενότητα 4.5.

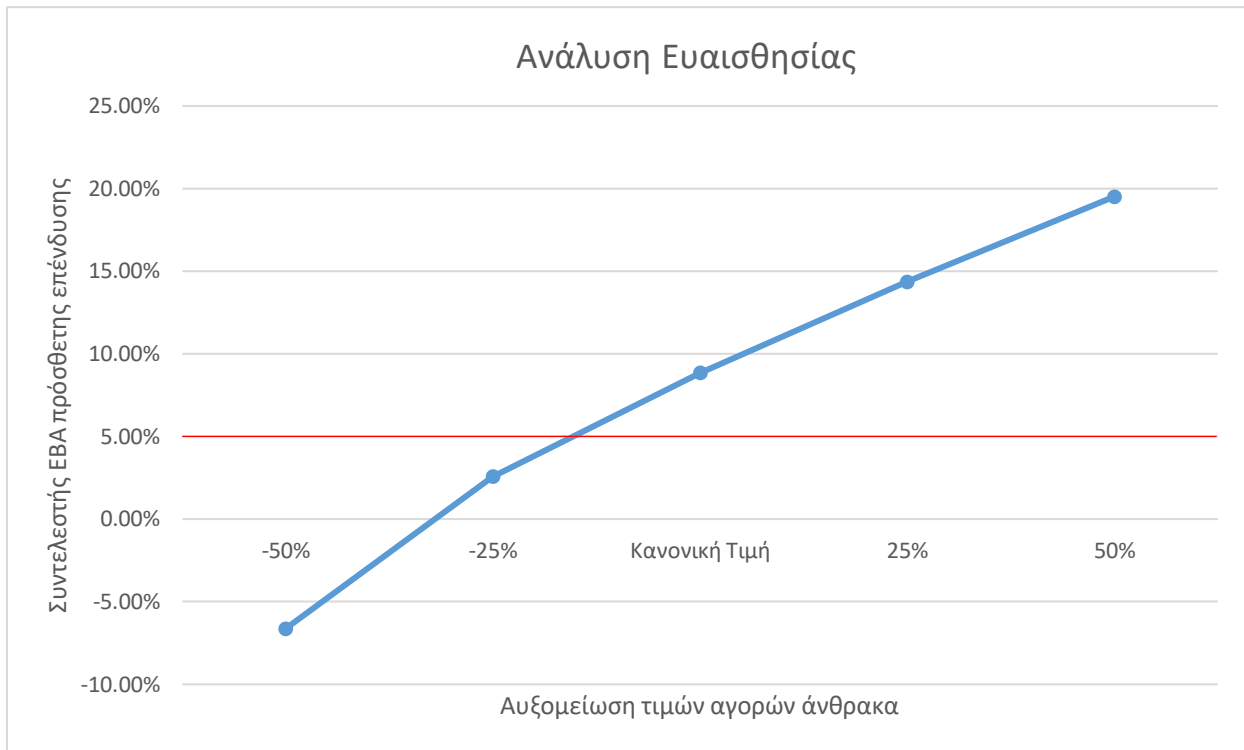
**Πίνακας 49: Καθαρές χρηματοροές και συντελεστές ΚΠΑ και ΕΒΑ πρόσθετης επένδυσης για αυξομείωση των τιμών αγορών άνθρακα**

Ε-Κ					
Έτος	-50%	-25%	Κανονική Τιμή	25%	50%
0	- 1,719,657,937.10 €	- 1,719,657,937.10 €	- 1,719,657,937.10 €	- 1,719,657,937.10 €	- 1,719,657,937.10 €
1	- 151,306,216.46 €	- 68,371,496.07 €	26,805,871.29 €	111,493,935.99 €	179,398,688.90 €
2	- 151,306,216.46 €	- 68,371,496.07 €	26,805,871.29 €	111,493,935.99 €	179,398,688.90 €
3	- 151,306,216.46 €	- 68,371,496.07 €	26,805,871.29 €	111,493,935.99 €	179,398,688.90 €
4	- 151,306,216.46 €	- 68,371,496.07 €	26,805,871.29 €	111,493,935.99 €	179,398,688.90 €
5	- 151,306,216.46 €	- 68,371,496.07 €	26,805,871.29 €	111,493,935.99 €	179,398,688.90 €
6	- 151,306,216.46 €	- 68,371,496.07 €	26,805,871.29 €	111,493,935.99 €	576,596,333.77 €
7	- 151,306,216.46 €	- 68,371,496.07 €	26,805,871.29 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
8	- 151,306,216.46 €	- 68,371,496.07 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
9	- 151,306,216.46 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
10	- 151,306,216.46 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
11	71,397,353.77 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
12	71,397,353.77 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
13	71,397,353.77 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
14	71,397,353.77 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
15	71,397,353.77 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
16	71,397,353.77 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
17	71,397,353.77 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
18	71,397,353.77 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
19	71,397,353.77 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
20	71,397,353.77 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €



E-K					
Έτος	-50%	-25%	Κανονική Τιμή	25%	50%
21	71,397,353.77 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
22	71,397,353.77 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
23	71,397,353.77 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
24	71,397,353.77 €	197,697,098.77 €	323,996,843.77 €	450,296,588.77 €	576,596,333.77 €
25	95,384,353.77 €	221,684,098.77 €	347,983,843.77 €	474,283,588.77 €	600,583,333.77 €
Συντελεστής ΚΠΑ πρόσθετης επένδυσης	- 2,425,962,100.37 €	- 645,900,495.63 €	1,134,161,109.10 €	2,914,222,713.84 €	4,694,284,318.58 €
Συντελεστής EBA πρόσθετης επένδυσης	-6.62%	2.58%	8.86%	14.38%	19.52%

Στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται γραφική παράσταση των συντελεστών EBA πρόσθετης επένδυσης για αυξομειώσεις των τιμών αγορών άνθρακα όπως προέκυψαν παραπάνω (Πίνακας 49). Για τον οποίο συντελεστή όπως προαναφέρθηκε η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα εάν ξεπερνά το 5%, το οποίο αντιστοιχεί στο προεξοφλητικό επιτόκιο που θεωρήθηκε για την συγκεκριμένη επένδυση. Με βάση αυτό, το όριο μείωσης των τιμών αγορών άνθρακα ώστε αυτή η επένδυση να θεωρείται συμφέρουσα ανέρχεται περίπου στο -15.4% όπως προέκυψε από την εξίσωση ευθείας μεταξύ του -25% και της κανονικής τιμής.



**Σχήμα 9: Γραφική παράσταση συντελεστή EBA πρόσθετης επένδυσης για αυξομείωση τιμών αγορών άνθρακα (Ανάλυση Ευαισθησίας)**

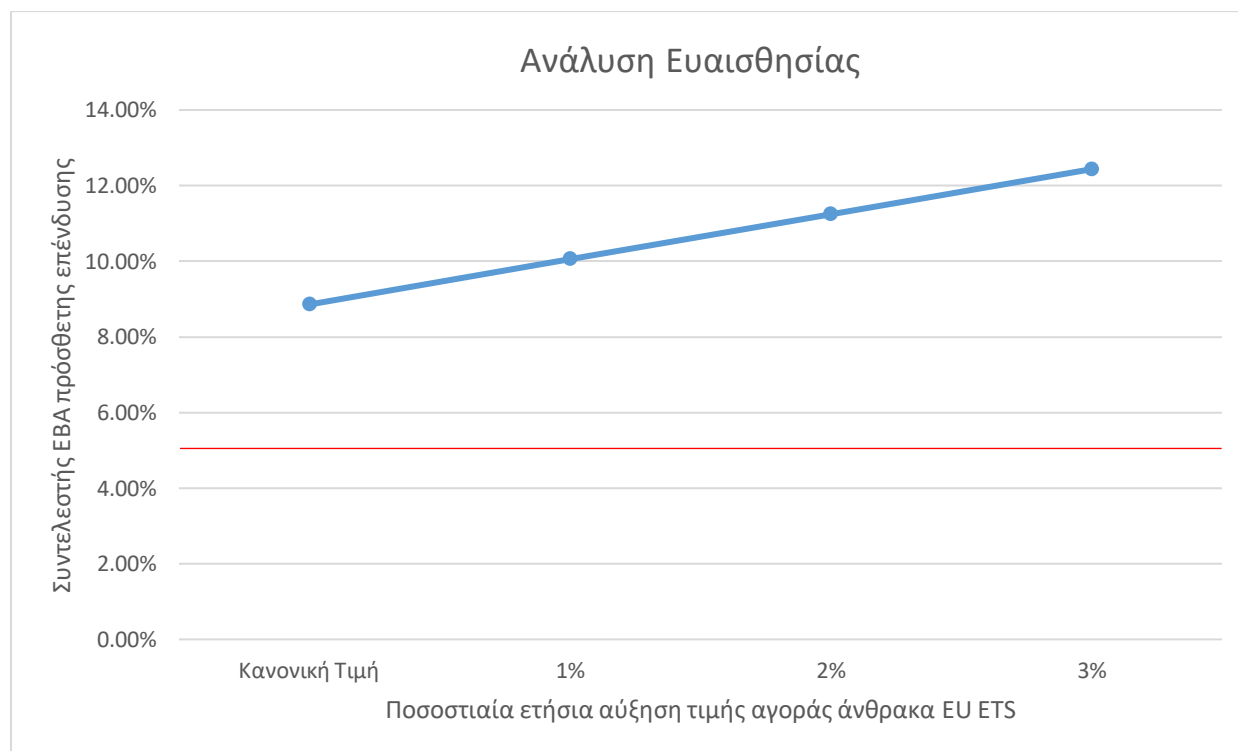
Επιπρόσθετα πραγματοποιείται και μία δεύτερη ανάλυση ευαισθησίας που αφορά την αύξηση των τιμών αγορών άνθρακα κατά 1%, 2% και 3% ετησίως, αυτή την φορά όμως μόνο της αγοράς EU ETS. Η αύξηση της τιμής άνθρακα στην αγορά εκπομπών CO<sub>2</sub> EU ETS είναι το πιο πιθανό σενάριο καθώς είναι ουσιαστικά μια φορολογία, για την οποία αναμένεται αύξηση εάν λάβουμε υπόψη τους κανονισμούς και τους στόχους που έχει θέσει η Ε.Ε. για την μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που αναλύθηκαν στην ενότητα 2.1. Αν και αναμένεται αύξηση και στην εθελοντική αγορά άνθρακα VCM, είναι μια πολύ διαφορετική αγορά και πολύ πιο δύσκολα προβλέψιμη καθώς δεν υπάρχει επαρκής βιβλιογραφία όσο αφορά την ζήτηση και την τιμή μονάδας άνθρακα για την Ε.Ε. όπως προαναφέρθηκε και στην ενότητα 4.9.2. Ακολουθώς παρουσιάζονται (Πίνακας 50) οι χρηματοροές και οι συντελεστές ΚΠΑ και EBA πρόσθετης επένδυσης για ετήσια ποσοστιαία αύξηση της τιμής αγοράς άνθρακα EU ETS. Αυτά προέκυψαν με ανάλογο τρόπο με την ενότητα 4.10 οπότε οι υπολογισμοί δεν επισυνάπτονται γιατί καταλαμβάνουν και μεγάλη έκταση.

**Πίνακας 50: Καθαρές χρηματοροές και συντελεστές ΚΠΑ και ΕΒΑ πρόσθετης επένδυσης για ετήσια ποσοστιαία αύξηση της τιμής αγοράς άνθρακα EU ETS**

Ε-Κ				
Έτος	Κανονική Τιμή	1%	2%	3%
0	- 1,719,657,937.10 €	- 1,719,657,937.10 €	- 1,719,657,937.10 €	- 1,719,657,937.10 €
1	26,805,871.29 €	26,805,871.29 €	26,805,871.29 €	26,805,871.29 €
2	26,805,871.29 €	30,079,461.09 €	33,353,050.89 €	36,626,640.69 €
3	26,805,871.29 €	33,385,786.79 €	40,031,174.09 €	46,742,033.18 €
4	26,805,871.29 €	36,725,175.75 €	46,842,859.74 €	57,160,887.43 €
5	26,805,871.29 €	40,097,958.59 €	53,790,779.11 €	67,892,307.32 €
6	26,805,871.29 €	43,504,469.27 €	60,877,656.87 €	78,945,669.80 €
7	26,805,871.29 €	46,945,045.04 €	68,106,272.18 €	90,330,633.15 €
8	323,996,843.77 €	347,610,999.06 €	372,670,432.28 €	399,248,117.89 €
9	323,996,843.77 €	351,120,730.41 €	380,191,083.65 €	411,326,425.51 €
10	323,996,843.77 €	354,665,559.08 €	387,862,148.04 €	423,767,082.36 €
11	323,996,843.77 €	358,245,836.03 €	395,686,633.73 €	436,580,958.92 €
12	323,996,843.77 €	361,861,915.76 €	403,667,609.13 €	449,779,251.78 €
13	323,996,843.77 €	365,514,156.28 €	411,808,204.04 €	463,373,493.42 €
14	323,996,843.77 €	369,202,919.20 €	420,111,610.84 €	477,375,562.30 €
15	323,996,843.77 €	372,928,569.76 €	428,581,085.78 €	491,797,693.26 €
16	323,996,843.77 €	376,691,476.82 €	437,219,950.22 €	506,652,488.15 €
17	323,996,843.77 €	380,492,012.95 €	446,031,591.95 €	521,952,926.88 €
18	323,996,843.77 €	384,330,554.44 €	455,019,466.51 €	537,712,378.77 €
19	323,996,843.77 €	388,207,481.34 €	464,187,098.57 €	553,944,614.22 €
20	323,996,843.77 €	392,123,177.52 €	473,538,083.26 €	570,663,816.73 €
21	323,996,843.77 €	396,078,030.66 €	483,076,087.65 €	587,884,595.32 €
22	323,996,843.77 €	400,072,432.33 €	492,804,852.13 €	605,621,997.27 €
23	323,996,843.77 €	404,106,778.01 €	502,728,191.90 €	623,891,521.27 €

E-K				
Έτος	Κανονική Τιμή	1%	2%	3%
24	323,996,843.77 €	408,181,467.15 €	512,849,998.46 €	642,709,131.00 €
25	347,983,843.77 €	436,283,903.19 €	547,161,241.16 €	686,078,269.01 €
Συντελεστής ΚΠΑ πρόσθετης επένδυσης	1,134,161,109.10 €	1,605,038,314.68 €	2,145,767,636.00 €	2,768,053,689.11 €
Συντελεστής EBA πρόσθετης επένδυσης	8.86%	10.06%	11.25%	12.43%

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται γραφική παράσταση των συντελεστών EBA πρόσθετης επένδυσης για αύξηση της τιμής αγοράς άνθρακα EU ETS. Για τον οποίο συντελεστή όπως προαναφέρθηκε η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα εάν ξεπερνά το 5%.



**Σχήμα 10: Γραφική παράσταση συντελεστή EBA πρόσθετης επένδυσης για αύξηση τιμής αγοράς άνθρακα EU ETS (Ανάλυση Ευαισθησίας)**

## 4.12 Απλοποιήσεις/Υποθέσεις που έχει βασιστεί η εφοδιαστική αλυσίδα

Σε αυτή την ενότητα αναλύονται οι πιο κρίσιμες απλοποιήσεις στις οποίες βασίστηκε η εφοδιαστική αλυσίδα. Αυτές είναι που αυξάνουν και την αβεβαιότητα αυτής και που ευθύνονται για τις επιφυλάξεις που υπάρχουν σχετικά με την αξιοπιστία του συνολικού κόστους της εφοδιαστικής αλυσίδας.

### 4.12.1 Διαθεσιμότητα γεωλογικών χώρων αποθήκευσης Πρίνου και Ραβέννας

Η διαθεσιμότητα των χώρων αυτών είναι αβέβαιη. Ο λόγος είναι ότι πιθανόν οι χώροι αυτοί να είναι κατειλημμένοι εκ των προτέρων λόγω συμφωνιών με άλλες βιομηχανίες. Οπότε αν και επιλέγονται αυτοί οι χώροι αυθαίρετα, στην πραγματικότητα αν κάποια βιομηχανία θελήσει να αποθηκεύσει το δεσμευόμενο της CO<sub>2</sub> θα πρέπει να κλίσει κάποιου είδους συμφωνία εκ των προτέρων. Στην περίπτωση που αυτοί οι χώροι δεν διατίθενται για αποθήκευση, οι βιομηχανίες πιθανόν να χρειαστεί να αποθηκεύσουν το δεσμευόμενο CO<sub>2</sub> σε κάποιον απομακρυσμένο γεωλογικό χώρο αποθήκευσης για τον οποίο τα κόστη μεταφοράς θα είναι αυξημένα.

### 4.12.2 Αξιοπιστία μοντέλων για εύρεση κοστών δέσμευσης, μεταφοράς, αποθήκευσης

Σε διάφορα σημεία της εργασίας χρησιμοποιούνται μοντέλα για την κοστολόγηση διαφόρων υπηρεσιών. Τα πλείστα από αυτά τα μοντέλα είναι διαφορετικών χωρών. Ως εκ τούτου γίνεται μια προσπάθεια για αναγωγή των δεδομένων που παρέχουν τα συγκεκριμένα μοντέλα σε δεδομένα Ελλάδας. Ωστόσο δεν είναι βέβαιο ότι αυτά τα μοντέλα παρέχουν αξιόπιστες πληροφορίες, με αποτέλεσμα την αύξηση της αβεβαιότητας όσον αφορά την τελική κοστολόγηση των υπηρεσιών. Η αξιοπιστία των μοντέλων εναπόκειται τόσο στις χρονικές περιόδους που έχουν αναπτυχθεί, όσο και στην αξιοπιστία των ατόμων που τα έχουν αναπτύξει. Αν και τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι όλα σχετικά πρόσφατα, σε μια αγορά τόσο μεταβαλλόμενη, ιδιαίτερα αυτό το διάστημα που γίνονται από όλους προσπάθειες για μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου, δεν μπορεί να υπάρξει πλήρης αξιοπιστία.

### 4.12.3 Ορθότητα/ακρίβεια τιμής εθελοντικής αγοράς άνθρακα (VCM)

Όσο αφορά την τιμή αγοράς EU ETS η τωρινή τιμή άνθρακα είναι γνωστή προς όλους και η μελλοντική τιμή είναι αναλόγως προβλέψιμη. Σε αντίθεση έρχεται η τιμή εθελοντικής αγοράς άνθρακα, για την οποία δεν υπάρχει αρκετή βιβλιογραφία. Η τιμή αυτή επίσης διαφοροποιείται πολύ ανάλογα με τον τομέα και τον τύπο μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub>. Ως εκ τούτου η τιμή συγκεκριμένα για τον τομέα του CCS κατέστη δύσκολη. Εντέλει έγινε η εκτίμηση των €40 ανά τόνο δεσμευόμενου CO<sub>2</sub> για την Ε.Ε. όμως δεν είναι βέβαιη ούτε η τωρινή τιμή καθώς μεταβάλλεται από παραμέτρους όπως η πιστοποίηση ποιότητας των μονάδων άνθρακα, αλλά και ούτε η μελλοντική τιμή της. Η συγκεκριμένη αγορά αλλά και η δυσκολία πρόβλεψης της έχει επεξηγηθεί στην ενότητα 4.9.2.

### 4.13 Συμπεράσματα και προτάσεις για το μέλλον

Έχοντας ολοκληρώσει και την μελέτη περίπτωσης μπορούν να εξαχθούν με διαύγεια μερικά συμπεράσματα. Με βάση τους κανονισμούς και στόχους που έχει θέσει η Ε.Ε. και έχουν αναλυθεί στην ενότητα 2.1 αλλά και μέσω της ΚΠΑ (NPV) που προέκυψε για καμία ενέργεια ως προς την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub> στην ενότητα 4.10.2, είναι βέβαιο το ότι οποιαδήποτε βιομηχανία θέλει να επιβιώσει θα πρέπει να λάβει ανάλογα μέτρα. Αυτά τα μέτρα μπορούν να συμπεριλαμβάνουν την δέσμευση CO<sub>2</sub> ή μπορεί να συμπεριλαμβάνουν κάποιου άλλου είδους τακτική για την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub>. Ο δείκτης ΚΠΑ της συγκεκριμένης επένδυσης όπως προέκυψε στην ενότητα 4.10.1 είναι αρνητικός, πράγμα που σημαίνει ότι οι βιομηχανίες το πιο πιθανόν θα έχουν περισσότερες εκροές παρά εισροές όσον αφορά την δέσμευση CO<sub>2</sub>. Παρόλα ταύτα η επένδυση σε συστήματα δέσμευσης CO<sub>2</sub> για μεγάλες βιομηχανίες Ελλάδος όπως αποδείχτηκε στην ενότητα 4.10.3 και 4.10.4 είναι μια πολύ συμφέρον επένδυση σε σύγκριση με την αδράνεια (καμία ενέργεια ως προς την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub>). Σημειώνεται ακόμη ότι στην μελέτη αυτή δεν συμπεριλήφθηκαν χρηματοδοτήσεις και ούτε αύξηση της τιμής δικαιωμάτων εκπομπών CO<sub>2</sub> καθώς η ύπαρξη τους είναι αβέβαιη, ωστόσο υπάρχουν καλές πιθανότητες να αξιοποιηθούν και αυτά στην εφοδιαστική αλυσίδα. Φυσικά αύξηση της τιμής αγοράς EU ETS θεωρήθηκε στην ανάλυση ευαισθησίας στην ενότητα 4.11. Είναι το πιο πιθανό σενάριο καθώς είναι ουσιαστικά μια φορολογία, για την οποία αναμένεται αύξηση εάν λάβουμε υπόψη τους κανονισμούς και τους στόχους που έχει θέσει η Ε.Ε. για την μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που αναλύθηκαν στην ενότητα 2.1.

Επιπλέον η εφοδιαστική αλυσίδα CO<sub>2</sub> που αναλύθηκε θεωρείται μια μακροπρόθεσμη λύση στην μείωση και εκμηδενισμό των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Στην ενότητα 2.2.3 έγινε αναφορά στην συνολική παγκόσμια χωρητικότητα για γεωλογική αποθήκευση CO<sub>2</sub>, η οποία εκτιμάται πολύ μεγάλη και άρα δεν μπορεί να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπρόσθετα η εν λόγω εφοδιαστική αλυσίδα μπορεί να ικανοποιήσει τους κανονισμούς και τους στόχους που έχουν τεθεί από την Ε.Ε. και την Ελλάδα, οι οποίοι αναλύονται στην ενότητα 2.1. Ακόμη στην ενότητα 2.2.3.1 έγινε περιγραφή των κινδύνων που ενέχει η αποθήκευση CO<sub>2</sub> σε υπόγειους γεωλογικούς χώρους. Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους όμως, εξήχθη το συμπέρασμα ότι οι θεωρητικοί αυτοί κίνδυνοι δεν χρήζουν ιδιαίτερης ανησυχίας.

Ως προς την πλήρη βελτιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους της συγκεκριμένης εφοδιαστικής αλυσίδας θα μπορούσαν να μελετηθούν επιπλέον εναλλακτικά σενάρια όπως για παράδειγμα η αξιοποίηση μέρους του CO<sub>2</sub> που δεσμεύεται με μεθόδους που αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.2.4. Όπως προέκυψε και στην ενότητα 4.8 μικρές αλλαγές σε τέτοιου μεγέθους εφοδιαστικές αλυσίδες μπορούν να μεταβάλλουν τις εισροές ή εκροές σε μεγάλο βαθμό. Οπότε σε κάθε περίπτωση είναι σημαντικό να εξετάζονται εκτενώς όλες οι παράμετροι και οι εναλλακτικές λύσεις. Ακόμη και φαινομενικά μικρές αλλαγές στην εφοδιαστική αλυσίδα μπορεί να έχουν μεγάλο αντίκτυπο στα κόστη.

Μια άλλη λύση για την αποφυγή εκπομπών CO<sub>2</sub> που διερευνάται πολύ αυτό το διάστημα είναι η εύρεση εναλλακτικών καυσίμων με μικρότερες ή ακόμη και με μηδενικές εκπομπές CO<sub>2</sub> όπως για παράδειγμα η αμμωνία. Ωστόσο η μελέτη αυτών καθιστάτε αυστηρή και απαιτητική καθώς πολλά εξ' αυτών είτε διατρέχουν κίνδυνους προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον, είτε δεν υπάρχουν σε μεγάλες ποσότητες, είτε δεν υπάρχουν εξελιγμένες τεχνολογίες για την αξιοποίηση τους, είτε είναι ακριβά. Η πλήρης εξέταση τους όμως καθιστάτε επιτακτική καθώς είναι δυνατόν να δώσουν την λύση στο πρόβλημα της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Τεχνολογική ετοιμότητα τεχνολογιών αξιοποίησης CO <sub>2</sub> (Valluri, et al., 2022).....	17
Πίνακας 2: Εκπομπές CO <sub>2</sub> βιομηχανιών προς μελέτη .....	23
Πίνακας 3: Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> βιομηχανιών προς μελέτη .....	24
Πίνακας 4: CapEx-Εγκατάστασης συστήματος δέσμησης CO <sub>2</sub> τσιμεντοβιομηχανιών.....	27
Πίνακας 5: CapEx-Εγκατάστασης συστήματος δέσμησης CO <sub>2</sub> για βιομηχανίες με τεχνολογία NGCC .....	27
Πίνακας 6: OpEx-Συστήματος δέσμησης CO <sub>2</sub> τσιμεντοβιομηχανιών.....	27
Πίνακας 7: OpEx-Εγκατάστασης συστήματος δέσμησης CO <sub>2</sub> για βιομηχανίες με τεχνολογία NGCC .....	28
Πίνακας 8: Συνολικά CapEx συστήματος δέσμησης CO <sub>2</sub> .....	28
Πίνακας 9: Συνολικά OpEx συστήματος δέσμησης CO <sub>2</sub> .....	28
Πίνακας 10: Πρόγραμμα εργασίας οδηγών .....	30
Πίνακας 11: Κόστη μεταφοράς CO <sub>2</sub> με φορτηγά .....	31
Πίνακας 12: Συνολικά CapEx μεταφοράς CO <sub>2</sub> με φορτηγά .....	32
Πίνακας 13: Συνολικά OpEx μεταφοράς CO <sub>2</sub> με φορτηγά.....	32
Πίνακας 14: Επιλογή όμοιων πλοίων.....	34
Πίνακας 15: Εκτίμηση ισχύος και στροφών από όμοια πλοία .....	35
Πίνακας 16: Εκτίμηση ειδικής κατανάλωσης καυσίμων .....	36
Πίνακας 17: Εκτίμηση ποσοτήτων καυσίμων Πειραιάς-Πρίνος .....	36
Πίνακας 18: Εκτίμηση ποσοτήτων καυσίμων Πειραιάς-Ραβέννα.....	37
Πίνακας 19: Κόστη μεταφοράς CO <sub>2</sub> μέσω πλοίων Πειραιάς-Πρίνος .....	38
Πίνακας 20: Κόστη μεταφοράς CO <sub>2</sub> μέσω πλοίων Πειραιάς-Ραβέννα .....	39
Πίνακας 21: Συνολικά CapEx μεταφοράς CO <sub>2</sub> μέσω πλοίων .....	40
Πίνακας 22: Συνολικά OpEx μεταφοράς CO <sub>2</sub> μέσω πλοίων .....	41
Πίνακας 23: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης ανά τόνο CO <sub>2</sub> .....	41
Πίνακας 24: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης λιμάνι Πειραιά .....	42
Πίνακας 25: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> Βιομηχανία Α.....	42
Πίνακας 26: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> Βιομηχανία Β.....	43
Πίνακας 27: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> Βιομηχανία Γ .....	43
Πίνακας 28: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> Βιομηχανία Δ.....	44
Πίνακας 29: Συνολικά CapEx συστημάτων προσωρινής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> .....	44
Πίνακας 30: Συνολικά OpEx συστημάτων προσωρινής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> .....	44
Πίνακας 31: Κόστος γεωλογικής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> .....	46
Πίνακας 32: Συνολικά OpEx μόνιμης αποθήκευσης CO <sub>2</sub> .....	46
Πίνακας 33: Υπολογισμός δόσεων δανείου .....	47
Πίνακας 34: Συνολικά OpEx δανείου .....	47
Πίνακας 35: Συνολικά OpEx απροσδόκητου κόστους .....	48
Πίνακας 36: Συνολικά κόστη εφοδιαστικής αλυσίδας CO <sub>2</sub> μεγάλων βιομηχανιών Ελλάδος ....	48
Πίνακας 37: Συνολικά κόστη εφοδιαστικής αλυσίδας CO <sub>2</sub> Ελλάδος με 2 εξυπηρετούμενα λιμάνια .....	49



Πίνακας 38: Σύγκριση κοστών εφοδιαστικής αλυσίδας CO <sub>2</sub> Ελλάδος με 1 ή 2 εξυπηρετούμενα λιμάνια .....	50
Πίνακας 39: Έσοδα από την πώληση μονάδων άνθρακα VCM .....	58
Πίνακας 40: Υπολογισμός συνολικής υπολειμματικής αξίας .....	61
Πίνακας 41: Υπολογισμός μικτών αποτελεσμάτων.....	61
Πίνακας 42: Υπολογισμός φόρων.....	63
Πίνακας 43: Καθαρές χρηματοροές εφοδιαστικής αλυσίδας CO <sub>2</sub> .....	64
Πίνακας 44: Ετήσια έξοδα για σταθερή τιμή δικαιωμάτων εκπομπών άνθρακα EU ETS.....	66
Πίνακας 45: Καθαρές χρηματοροές για καμία ενέργεια ως προς την αποφυγή εκπομπών CO <sub>2</sub> .....	67
Πίνακας 46: Σύγκριση ΚΠΑ .....	68
Πίνακας 47: Καθαρές χρηματοροές πρόσθετης επένδυσης.....	69
Πίνακας 48: Συντελεστές ΚΠΑ και ΕΒΑ πρόσθετης επένδυσης .....	71
Πίνακας 49: Καθαρές χρηματοροές και συντελεστές ΚΠΑ και ΕΒΑ πρόσθετης επένδυσης για αυξομείωση των τιμών αγορών άνθρακα .....	72
Πίνακας 50: Καθαρές χρηματοροές και συντελεστές ΚΠΑ και ΕΒΑ πρόσθετης επένδυσης για ετήσια ποσοστιαία αύξηση της τιμής αγοράς άνθρακα EU ETS.....	75
Πίνακας 51: Εκπομπές CO <sub>2</sub> βιομηχανιών προς μελέτη (εναλλακτικό σενάριο) .....	91
Πίνακας 52: Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> βιομηχανιών προς μελέτη (εναλλακτικό σενάριο).....	91
Πίνακας 53: CapEx-Εγκατάσταση συστήματος δέσμευσης CO <sub>2</sub> τσιμεντοβιομηχανιών (εναλλακτικό σενάριο) .....	92
Πίνακας 54: CapEx-Εγκατάσταση συστήματος δέσμευσης CO <sub>2</sub> για βιομηχανίες με τεχνολογία NGCC (εναλλακτικό σενάριο) .....	92
Πίνακας 55: OpEx-Συστήματος δέσμευσης CO <sub>2</sub> τσιμεντοβιομηχανιών (εναλλακτικό σενάριο) 92	
Πίνακας 56: OpEx-Εγκατάσταση συστήματος δέσμευσης CO <sub>2</sub> για βιομηχανίες με τεχνολογία NGCC (εναλλακτικό σενάριο) .....	92
Πίνακας 57: Συνολικά CapEx συστήματος δέσμευσης CO <sub>2</sub> (εναλλακτικό σενάριο) .....	93
Πίνακας 58: Συνολικά OpEx συστήματος δέσμευσης CO <sub>2</sub> (εναλλακτικό σενάριο) .....	93
Πίνακας 59: Πρόγραμμα εργασίας οδηγών (εναλλακτικό σενάριο).....	94
Πίνακας 60: Κόστη μεταφοράς CO <sub>2</sub> με φορτηγά (εναλλακτικό σενάριο) .....	94
Πίνακας 61: Συνολικά CapEx μεταφοράς CO <sub>2</sub> με φορτηγά (εναλλακτικό σενάριο) .....	95
Πίνακας 62: Συνολικά OpEx μεταφοράς CO <sub>2</sub> με φορτηγά (εναλλακτικό σενάριο) .....	96
Πίνακας 63: Επιλογή όμοιων πλοίων (εναλλακτικό σενάριο) .....	96
Πίνακας 64: Εκτίμηση ισχύος και στροφών από όμοια πλοία (εναλλακτικό σενάριο) .....	97
Πίνακας 65: Εκτίμηση ειδικής κατανάλωσης καυσίμων (εναλλακτικό σενάριο) .....	98
Πίνακας 66: Εκτίμηση ποσοτήτων καυσίμων Βόλος-Πρίνος (εναλλακτικό σενάριο) .....	98
Πίνακας 67: Εκτίμηση ποσοτήτων καυσίμων Πειραιάς-Ραβέννα (εναλλακτικό σενάριο) .....	98
Πίνακας 68: Κόστη μεταφοράς CO <sub>2</sub> μέσω πλοίων Βόλος-Πρίνος (εναλλακτικό σενάριο).....	100
Πίνακας 69: Κόστη μεταφοράς CO <sub>2</sub> μέσω πλοίων Πειραιάς-Ραβέννα (εναλλακτικό σενάριο) 101	
Πίνακας 70: Συνολικά CapEx μεταφοράς CO <sub>2</sub> μέσω πλοίων (εναλλακτικό σενάριο).....	102
Πίνακας 71: Συνολικά OpEx μεταφοράς CO <sub>2</sub> μέσω πλοίων (εναλλακτικό σενάριο) .....	102
Πίνακας 72: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης ανά τόνο CO <sub>2</sub> (εναλλακτικό σενάριο) .....	102
Πίνακας 73: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης λιμάνι Πειραιά (εναλλακτικό σενάριο) .....	103

Πίνακας 74: : Κόστη προσωρινής αποθήκευσης λιμάνι Βόλου (εναλλακτικό σενάριο).....	103
Πίνακας 75: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> βιομηχανία Βιομηχανία Α (εναλλακτικό σενάριο).....	104
Πίνακας 76: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> βιομηχανία Βιομηχανία Β (εναλλακτικό σενάριο).....	104
Πίνακας 77: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> βιομηχανία Βιομηχανία Γ (εναλλακτικό σενάριο).....	105
Πίνακας 78: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> βιομηχανία Βιομηχανία Δ (εναλλακτικό σενάριο).....	105
Πίνακας 79: Συνολικά CapEx συστημάτων προσωρινής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> (εναλλακτικό σενάριο).....	106
Πίνακας 80: Συνολικά OpEx συστημάτων προσωρινής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> (εναλλακτικό σενάριο).....	106
Πίνακας 81: Κόστος γεωλογικής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> (εναλλακτικό σενάριο) .....	106
Πίνακας 82: Συνολικά OpEx μόνιμης αποθήκευσης CO <sub>2</sub> (εναλλακτικό σενάριο) .....	106
Πίνακας 83: Υπολογισμός δόσεων δανείου (εναλλακτικό σενάριο) .....	107
Πίνακας 84: Συνολικά OpEx δανείου (εναλλακτικό σενάριο).....	107
Πίνακας 85: Συνολικά OpEx απροσδόκητου κόστους (εναλλακτικό σενάριο).....	107
Πίνακας 86: Συνολικά κόστη εφοδιαστικής αλυσίδας CO <sub>2</sub> μεγάλων βιομηχανιών Ελλάδος (εναλλακτικό σενάριο) .....	107

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Μέθοδοι και τεχνικές δέσμμευσης CO <sub>2</sub> (Madejski, et al., 2022).....	12
Σχήμα 2: Βήματα εργασίας.....	19
Σχήμα 3: Γραφική παράσταση κεφαλαιουχικής απαίτησης (TCR) εγκατάστασης συστήματος δέσμμευσης CO <sub>2</sub> σε τσιμεντοβιομηχανίες.....	25
Σχήμα 4: Γραφική παράσταση κόστους λειτουργίας και συντήρησης (O&M) συστήματος δέσμμευσης CO <sub>2</sub> σε τσιμεντοβιομηχανίες.....	25
Σχήμα 5: Γραφική παράσταση κεφαλαιουχικής απαίτησης (TCR) εγκατάστασης συστήματος δέσμμευσης CO <sub>2</sub> σε τεχνολογίες συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου.....	26
Σχήμα 6: Γραφική παράσταση λειτουργίας και συντήρησης (O&M) συστήματος δέσμμευσης CO <sub>2</sub> σε τεχνολογίες συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου.....	26
Σχήμα 7: Γραφική παράσταση κόστους μεταφοράς CO <sub>2</sub> μέσω αγωγών.....	52
Σχήμα 8: Γραφική παράσταση κόστους μεταφοράς CO <sub>2</sub> μέσω υπεράκτιων αγωγών.....	54
Σχήμα 9: Γραφική παράσταση συντελεστή EBA πρόσθετης επένδυσης για αυξομείωση τιμών αγορών άνθρακα (Ανάλυση Ευαισθησίας).....	74
Σχήμα 10: Γραφική παράσταση συντελεστή EBA πρόσθετης επένδυσης για αύξηση τιμής αγοράς άνθρακα EU ETS (Ανάλυση Ευαισθησίας).....	76

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Απεικόνιση μεταφοράς CO <sub>2</sub> μέσω αγωγών υπάρχουσας βιομηχανίας (Future Humber, 2023).....	13
Εικόνα 2: Απόσταση Πειραιάς-Πρίνος (The Signal Group, 2024).....	37
Εικόνα 3: Απόσταση Πειραιάς-Ραβέννα (The signal group, 2024).....	38
Εικόνα 4: Απόσταση Βόλος-Πρίνος (εναλλακτικό σενάριο) (The Signal Group, 2024) .....	99
Εικόνα 5: Απόσταση Πειραιάς-Ραβέννα (εναλλακτικό σενάριο) (The signal group, 2024) .....	99

## Κατάλογος Αναφορών

American Carbon Registry, 2023. *The ACR Standard*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://acrcarbon.org/acr-program/acr-standard/>  
[Πρόσβαση 6 6 2024].

Brugnach, M., Dewulf, A., Pahl-Wostl, C. & Taillieu, T., 2008. Toward a Relational Concept of Uncertainty: About Knowing Too Little, Knowing Too Differently, and Accepting Not to Know. *Ecology and Society*, 13(2), pp. 1-16.

Carbon Credits, 2022. *What is the Voluntary Carbon Market?*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://carboncredits.com/how-do-you-get-carbon-credits/>  
[Πρόσβαση 24 6 2024].

Climate Action Reserve, 2023. *Verification*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.climateactionreserve.org/how/verification/>  
[Πρόσβαση 6 6 2024].

CO2 Meter Gas Measurement Specialists, 2024. *Dangers of CO2: What you need to know*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.co2meter.com/blogs/news/dangers-of-co2-what-you-need-to-know#co2-dangers>  
[Πρόσβαση 19 4 2024].

DiFelice, M. & Shelton-Thomas, O., 2023. *Why Carbon Storage Is a Bad Idea*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.foodandwaterwatch.org/2023/09/06/carbon-storage-bad-idea/#:~:text=Carbon%20Storage%20Risks%20Catastrophic%20Accidents,CO2%20can%20suffocate%20people>  
[Πρόσβαση 19 4 2024].

ELGAS Knowledge Hub, 2024. *Science Properties of LPG*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [https://www.elgas.com.au/elgas-knowledge-hub/residential-lpg/science-properties-of-lpg/#:~:text=LPG%20temperature,-LPG%20temperature%20can&text=LPG%20flame's%20normal%20temperature%20is,C%20or%20%2D44%C2%B0F.&text=LPG%20temperature%20also%20affects%20gas%](https://www.elgas.com.au/elgas-knowledge-hub/residential-lpg/science-properties-of-lpg/#:~:text=LPG%20temperature,-LPG%20temperature%20can&text=LPG%20flame's%20normal%20temperature%20is,C%20or%20%2D44%C2%B0F.&text=LPG%20temperature%20also%20affects%20gas%20)  
[Πρόσβαση 17 5 2024].

Energean, 2024. *Prinos CO2*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.energean.com/operations/greece/prinos-co2/>  
[Πρόσβαση 22 5 24].

Engineering ToolBox, 2024. *Carbon Dioxide - Liquid Properties*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [https://www.engineeringtoolbox.com/carbon-dioxide-d\\_1000.html](https://www.engineeringtoolbox.com/carbon-dioxide-d_1000.html)  
[Πρόσβαση 13 5 2024].

Eni, 2023. *Ravenna CCS project.* [Ηλεκτρονικό]  
 Available at: <https://www.eni.com/ravenna-ccs/en-IT/project/ravenna-hub.html>  
 [Πρόσβαση 22 05 24].

EPA, 2024. *Overview of Greenhouse Gases.* [Ηλεκτρονικό]  
 Available at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>  
 [Πρόσβαση 6 4 2024].

Euro2day, 2024. *Τιτάν: Χρηματοδότηση €234 εκατ. από το Ταμείο Καινοτομίας για το έργο «IFESTOS».* [Ηλεκτρονικό]  
 Available at: <https://www.euro2day.gr/news/enterprises/article/2223455/titan-hrmatodothsh-toy-ergoy-ifestos-apo-to-tamei.html>  
 [Πρόσβαση 28 5 2024].

European Commission, 2022. *EU Emissions Trading System (EU ETS).* [Ηλεκτρονικό]  
 Available at: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en)  
 [Πρόσβαση 29 5 2024].

European Commission, 2023a. *European Climate Law.* [Ηλεκτρονικό]  
 Available at: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law\\_en#:~:text=The%20European%20Climate%20Law%20writes,2030%2C%20compared%20to%201990%20levels](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en#:~:text=The%20European%20Climate%20Law%20writes,2030%2C%20compared%20to%201990%20levels)  
 [Πρόσβαση 3 6 2024].

European Commission, 2023b. *Free Allocation.* [Ηλεκτρονικό]  
 Available at: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation_en)  
 [Πρόσβαση 6 5 2024].

European Commission, 2023c. *Projects selected for grant preparation.* [Ηλεκτρονικό]  
 Available at: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/calls-proposals/large-scale-calls/projects-selected-grant-preparation\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/calls-proposals/large-scale-calls/projects-selected-grant-preparation_en)  
 [Πρόσβαση 28 5 2024].

Flex Logistics, 2021. *Supply Chain and Logistics Basics.* [Ηλεκτρονικό]  
 Available at: <https://flexlogistics.com/supply-chain-and-logistics-basics/>  
 [Πρόσβαση 02 04 2024].

Fraga, D. M. και συν., 2021. Design of a multi-user CO2 intermediate storage facility in the Grenland region of Norway. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Τόμος 112, pp. 1-12.

Fuelo, 2024. *Diesel.* [Ηλεκτρονικό]  
 Available at: <https://gr.fuelo.net/fuel/type/diesel/year?lang=en>  
 [Πρόσβαση 21 5 2024].

Future Humber, 2023. *Viking CCS*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://investhumber.com/opportunities/viking-ccs>  
[Πρόσβαση 15 4 2024].

Global CCS Institute, 2022. *CCS Explained: Transport*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.globalccsinstitute.com/ccs-explained-transport/>  
[Πρόσβαση 16 4 2024].

Gold Standard, 2024a. *Certification Process*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [https://www.goldstandard.org/gold-standard-for-the-global-goals/gs4gg-certification-process](https://www.goldstandard.org/gold-standard-for-the-global-goals/gold-standard-for-the-global-goals/gold-standard-for-the-global-goals/gs4gg-certification-process)  
[Πρόσβαση 6 6 2024].

Gold Standard, 2024b. *The Gold Standard Marketplace*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://marketplace.goldstandard.org/collections/projects>  
[Πρόσβαση 23 6 2024].

Google, 2005. *Google Maps*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.google.gr/maps/@38.0780959,25.0274338,7z?hl=el&entry=ttu>  
[Πρόσβαση 12 5 2024].

Hellenic Shipping News, 2023. *WinGD to power EXMAR LPG's first ammonia-fuelled vessels*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.hellenicshippingnews.com/wingd-to-power-exmar-lpgs-first-ammonia-fuelled-vessels/>  
[Πρόσβαση 19 5 2024].

Holcim, 2023. *KOdeCO net zero CCS knowledge sharing workshop by the unniovation fund*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [https://climate.ec.europa.eu/system/files/2024-01/policy\\_ccs\\_implementation\\_20231215\\_capture\\_en.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2024-01/policy_ccs_implementation_20231215_capture_en.pdf)  
[Πρόσβαση 22 5 2024].

IEA, 2020a. *CCUS in Clean Energy Transitions*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions#overview>  
[Πρόσβαση 7 7 2024].

IEA, 2020b. *Energy Technology Perspectives*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>  
[Πρόσβαση 29 5 2024].

IEA, 2022. *Direct Air Capture*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture-2022>  
[Πρόσβαση 29 5 2024].

IEA, 2023. *Greece 2023 Energy Policy Review*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.iea.org/reports/greece-2023>  
[Πρόσβαση 4 6 2024].

Infomarine, 2024. *Evangelos Marinakis orders world's largest CO2 carriers in South Korea*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.infomarine.gr/press-releases/690375-evangelos-marinakis-orders.html>  
[Πρόσβαση 5 5 2024].

Institute of Innovation and Knowledge Exchange, 2023. *What Are the Risks of Carbon Capture and Storage*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/what-risks-carbon-capture-storage>  
[Πρόσβαση 19 4 2024].

International Association of Oil & Gas Producers, 2024. *CO2 storage projects in Europe*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://iogpeurope.org/wp-content/uploads/2024/03/Map-CO2-Storage-Projects-in-Europe.pdf>  
[Πρόσβαση 22 5 2024].

Karlsson, S., Normann, F., Odenberger, M. & Johnson, F., 2023. Modeling the development of a carbon capture and transportation infrastructure for Swedish industry. *International Journal of Greenhouse and Control*, Τόμος 124, pp. 1-18.

Levina, E., Gerrits, B. & Blanchard, M., 2023. *CCS in Europe-Regional Overview*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/ccs-in-europe-regional-overview/>  
[Πρόσβαση 2 6 2024].

Madejski, P., Chmiel, K., Subramanian, N. & Kus, T., 2022. Methods and Techniques for CO2 Capture: Review of Potential Solutions and Applications in Modern Energy Technologies. *Energies*, 15(3), pp. 1-21.

Manning, C. G., 2023. *Technology Readiness Levels*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/>  
[Πρόσβαση 24 4 2024].

Mywage, 2024. *Οδηγοί φορτηγών και βαρέων φορτηγών*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://mywage.gr/career/epaggelmata-kai-misthoi/odegoi-phortegon-kai-bareon-phortegon>  
[Πρόσβαση 13 5 2024].

National Energy Technology Laboratory, 2024a. *Commercial Carbon Dioxide Uses: Carbon Dioxide Enhanced Oil Recovery*. [Ηλεκτρονικό]



Available at: [https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifiedia/eor#:~:text=Carbon%20dioxide%20enhanced%20oil%20recovery%20\(CO2%20EOR\)%20is%20a,oil%20in%20place%20\(OOIP\).](https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifiedia/eor#:~:text=Carbon%20dioxide%20enhanced%20oil%20recovery%20(CO2%20EOR)%20is%20a,oil%20in%20place%20(OOIP).)

[Πρόσβαση 24 04 2024].

National Energy Technology Laboratory, 2024b. *How do we know that CO2 storage is safe?*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://netl.doe.gov/carbon-management/carbon-storage/faqs/permanence-safety>

[Πρόσβαση 19 4 2024].

OpenAI, 2024. *ChatGPT*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://chatgpt.com/>

[Πρόσβαση 23 6 2024].

Pieri, T. & Angelis Dimakis, A., 2021. Model Development for Carbon Capture Cost Estimation. *Clean Technologies*, 3(4), pp. 787-803.

Roussanaly, S. και συν., 2021. Towards improved cost evaluation of Carbon Capture and Storage from industry. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Τόμος 106, pp. 1-21.

Smith, E. και συν., 2021. The cost of CO2 transport and storage in global integrated assesment modeling. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Τόμος 109, pp. 1-11.

Sørhaug, E. M., 2022. *Shipping of captured CO2 – Background for ongoing work on ISO Technical report*. Oslo, DNV.

Stolaroff, J. K. και συν., 2021. Transport Cost for Carbon Removal Projects With Biomass and CO2 Storage. *Frontiers in Energy Research*, Τόμος 9, pp. 1-13.

The Signal Group, 2024. *Signalocean*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://app.signalocean.com/lpg/vessels>

[Πρόσβαση 19 5 2024].

Trading Economics, 2024. *EU Carbon Permits*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>

[Πρόσβαση 29 5 2024].

Trakakis, P., 2024. *Supply Chain of CO2 and Techno-economical Assessment of CCS Chain*. Athens: NTUA.

Valluri, S., Claremboux, V. & Kawatra, S., 2022. Opportunities and challenges in CO2 utilization. *Journal of Enviromental Sciences*, Τόμος 113, pp. 322-344.

Verra, 2024. *Verified Carbon Standard*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://verra.org/programs/verified-carbon-standard/>

[Πρόσβαση 6 6 2024].

WIN GD, 2024. *GTD* 2.22.0.1. [Ηλεκτρονικό]  
 Available at: [https://www.wingd.com/en/engines/general-technical-data-\(gtd\)/](https://www.wingd.com/en/engines/general-technical-data-(gtd)/)  
 [Πρόσβαση 14 07 2024].

WIN GD, 2024. *X52DF-A-1.0*. [Ηλεκτρονικό]  
 Available at: <https://www.wingd.com/en/engines/engine-types/x-df-dual-fuel-ammonia/x52df-a-1-0/>  
 [Πρόσβαση 19 5 2024].

Αθανασίου, Ε. Κ., 2023. *Ανάπτυξη και βελτιστοποίηση αλυσίδας δέσμευσης, μεταφοράς και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Αραβώσης, Κ., Καρμπέρης, Α. & Σωτήρχος, Α., 2011. *Τεχνικοοικονομική Αξιολόγηση Επενδύσεων*. Αθήνα: Οικονομική Βιβλιοθήκη.

Ελληνική Δημοκρατία-Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικής Ασφάλισης, 2006. *Οδηγί φορτηγών αυτοκινήτων*. [Ηλεκτρονικό]  
 Available at: <https://ypergasias.gov.gr/ergasiakes-scheseis/atomikes-ergasiakes-sxeseis/chronika-oria-ergasias-odikon-metaforon/odigoi-fortigon-aftokiniton/>  
 [Πρόσβαση 12 5 2024].

ΕΜΠ, 2024. *Τομέας μελέτης πλοίου και θαλασσίων μεταφορών*. Αθήνα: s.n.

Ναυτικά Χρονικά, 2023. *Capital Gas: Έπεσαν οι υπογραφές για την κατασκευή των πρώτων στον κόσμο LCO2 Carriers*. [Ηλεκτρονικό]  
 Available at: <https://www.naftikachronika.gr/2023/07/28/capital-gas-epesan-oi-yprografes-gia-tin-kataskevi-ton-proton-ston-kosmo-lco2-carriers/>  
 [Πρόσβαση 13 5 2024].

Νικολάου, Α., 2020. *Ο κίνδυνος στην εφοδιαστική αλυσίδα και η αντιμετώπιση της αβεβαιότητας με έμφαση στον τομέα της ναυτιλίας*. Αθήνα: ΕΜΠ.

## Παράρτημα Ι – Πίνακες υπολογισμών εναλλακτικού σεναρίου

Σε αυτό το παράρτημα παρατίθενται για πληρότητα οι πίνακες για τους υπολογισμούς του πρώτου εναλλακτικού σεναρίου της ενότητας 4.8, το οποίο και επιλέχθηκε για την διαμόρφωση της εργασίας καθότι αποδείχτηκε το πιο συμφέρον. Δεν έχουν παρατεθεί στην ενότητα 4.8 καθότι είναι πολύ παρόμοιοι με τους πίνακες υπολογισμών της ενότητας 4.7 (ίδια διαδικασία υπολογισμών) και καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση.

**Πίνακας 51: Εκπομπές CO<sub>2</sub> βιομηχανιών προς μελέτη (εναλλακτικό σενάριο)**

Βιομηχανίες	Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/μέρα]
Βιομηχανία Α	1,300,000	3,611
Βιομηχανία Β	1,300,000	3,611
Βιομηχανία Γ	1,080,000	3,000
Βιομηχανία Δ	1,000,000	2,778
Συνολικά	4,680,000	13,000

**Πίνακας 52: Δεσμευόμενο CO<sub>2</sub> βιομηχανιών προς μελέτη (εναλλακτικό σενάριο)**

Βιομηχανίες	Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> [t/έτος]	Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> [t/μέρα]
Βιομηχανία Α	1,235,000	3,431
Βιομηχανία Β	1,235,000	3,431
Βιομηχανία Γ	1,026,000	2,850
Βιομηχανία Δ	950,000	2,639
Συνολικό δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> (95%)	4,446,000	12,351

**Πίνακας 53: CapEx-Εγκατάστασης συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub> τσιμεντοβιομηχανιών (εναλλακτικό σενάριο)**

Cement industry	Κόστη [€]	
	Βιομηχανία Β	Βιομηχανία Δ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,000,000
TCR	€1,060,000,000.00	€535,000,000.00

**Πίνακας 54: CapEx-Εγκατάστασης συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub> για βιομηχανίες με τεχνολογία NGCC (εναλλακτικό σενάριο)**

NGCC	Κόστη [€]	
	Βιομηχανία Α	Βιομηχανία Γ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,080,000
TCR	€235,000,000.00	€160,000,000.00

**Πίνακας 55: OpEx-Συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub> τσιμεντοβιομηχανιών (εναλλακτικό σενάριο)**

Cement industry	Κόστη [€/έτος]	
	Βιομηχανία Β	Βιομηχανία Δ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,080,000
O&M	€42,000,000.00	€25,500,000.00

**Πίνακας 56: OpEx-Εγκατάστασης συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub> για βιομηχανίες με τεχνολογία NGCC (εναλλακτικό σενάριο)**

	Βιομηχανία Α	Βιομηχανία Γ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,080,000
O&M	€13,500,000.00	€10,000,000.00

**Πίνακας 57: Συνολικά CapEx συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub> (εναλλακτικό σενάριο)**

Cement industry	Κόστη [€]	
	Βιομηχανία Β	Βιομηχανία Δ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,000,000
TCR	€1,060,000,000.00	€535,000,000.00
NGCC	Κόστη [€]	
	Βιομηχανία Α	Βιομηχανία Γ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,080,000
TCR	€235,000,000.00	€160,000,000.00
Συνολικά CapEx συστήματος δέσμευσης	€1,455,000,000.00	

**Πίνακας 58: Συνολικά OpEx συστήματος δέσμευσης CO<sub>2</sub> (εναλλακτικό σενάριο)**

Cement industry	Κόστη [€/έτος]	
	Βιομηχανία Β	Βιομηχανία Δ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,080,000
O&M	€42,000,000.00	€25,500,000.00
NGCC	Κόστη [€/έτος]	
	Βιομηχανία Α	Βιομηχανία Γ
Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/έτος]	1,300,000	1,080,000
O&M	€13,500,000.00	€10,000,000.00
Συνολικά OpEx συστήματος δέσμευσης	€65,500,000.00	

**Πίνακας 59: Πρόγραμμα εργασίας οδηγών (εναλλακτικό σενάριο)**

Βιομηχανίες	Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> [t/μέρα]	Απόσταση μέχρι λιμάνι Πειραιά [km]	Απόσταση μέχρι λιμάνι Βόλου [km]	Μέση ταχύτητα [km/h]	Ώρες για 1 διαδρομή + φορτοεκφόρτωση [h]
Βιομηχανία Α	3,431		224.0	73.8	7.1
Βιομηχανία Β	3,431	32.3		53.8	2.2
Βιομηχανία Γ	2,850	76.1		64.3	3.4
Βιομηχανία Δ	2,639		5.6	28	1.4
Συνολικό δεσμευόμενο CO <sub>2</sub>	15,438				
Μέσοι όροι		84.5		55.0	
Βιομηχανίες	Διαδρομές	Ώρες εργασίας [h]		Φορτηγά	Οδηγοί
Βιομηχανία Α	1.0	7.1		91	91
Βιομηχανία Β	3.0	6.6		91	31
Βιομηχανία Γ	2.0	6.7		75	38
Βιομηχανία Δ	1.0	7.0		70	14
Μέσος όρος ημερήσιας εργασίας [h]					6.9
Μέσος όρος εβδομαδιαίας εργασίας [h]					41.4

**Πίνακας 60: Κόστη μεταφοράς CO<sub>2</sub> με φορτηγά (εναλλακτικό σενάριο)**

Χωρητικότητα (t)	38
Απαίτηση (t)	12,350
Μέση απόσταση διαδρομής π.χ. [km]	84.5

Φόρτωση-εκφόρτωση [h]	0.5
Ώρες εργασίας [h/οδηγό]	6.9
Μέση ταχύτητα [km/h]	55.00
Μέσος χρόνος για 1 διαδρομή [h]	2.54
Διαδρομές ανά οδηγό ανά μέρα	2.72
Μεταφερόμενο CO <sub>2</sub> [t/οδηγό/μέρα]	103.45
Οδηγοί/φορτηγά	119.38
Φορτηγά	120
Οδηγοί	140
Κόστος φορτηγού	€320,000.00
Αγορά φορτηγών	€38,400,000.00
Συντήρηση [5 % of capex/έτος]	€1,920,000.00
Μισθός οδηγού [/οδηγό/έτος]	€12,732.00
Μισθός οδηγών [/έτος]	€1,782,480.00
Κόστος καυσίμων (diesel) [ανά λίτρο]	€1.70
Απαιτούμενα λίτρα [/km]	0.5
Απαιτούμενα km [/μέρα]	27605.80
Απαιτούμενα λίτρα [/μέρα]	13802.90
Κόστος καυσίμων (diesel) [/μέρα]	€23,464.93
Κόστος καυσίμων (diesel) [/έτος]	€8,447,373.54

**Πίνακας 61: Συνολικά CapEx μεταφοράς CO<sub>2</sub> με φορτηγά (εναλλακτικό σενάριο)**

CapEx	κόστη [€]
Αγορά φορτηγών	€38,400,000.00
Συνολικά CapEx φορτηγών	€38,400,000.00

**Πίνακας 62: Συνολικά OpEx μεταφοράς CO<sub>2</sub> με φορτηγά (εναλλακτικό σενάριο)**

OpEx	κόστη [€]
Συντήρηση [5 % of capex/έτος]	€1,920,000.00
Μισθός οδηγών [/έτος]	€1,782,480.00
Κόστος καυσίμων (diesel) [/έτος]	€8,447,373.54
Συνολικά OpEx μεταφοράς με φορτηγά	€12,149,853.54

**Πίνακας 63: Επιλογή όμοιων πλοίων (εναλλακτικό σενάριο)**

Name of Ship	Displacement [ton]	Length overall [m]	Breadth Extreme [m]	Depth [m]	Service Speed [kn]	Total HP Main Eng	Gas Capacity [m3]
NAVIGATOR ORION	33,021	169.970	24.240	16.7	15.50	13,052	21,650
NAVIGATOR VENUS	33,021	169.980	24.240	16.7	15.50	11,584	21,650
NAVIGATOR PLUTO	33,021	169.970	24.240	16.7	15.50	13,051	21,633
GREAT SAIL	33,021	169.990	24.240	16.7	15.50	13,051	21,660
MARIANNA GLORY	26,288	164.800	26.290	15.3	16.50	18,436	22,702
PRIMA LAUTAN II	26,140	164.837	26.286	15.3	16.50	18,436	22,707
NAVIGATOR PEGASUS	33,004	169.980	24.234	16.7	16.00	11,665	21,768
NAVIGATOR PHOENIX	33,004	169.980	24.234	16.7	16.00	12,889	21,768
CLIPPER EOS	27,056	159.860	25.640	12.389	16.00	9,653	20,863
CLIPPER ENYO	26,620	159.860	25.640	12.389	16.00	9,653	20,863



Name of Ship	Displacement [ton]	Length overall [m]	Breadth Extreme [m]	Depth [m]	Service Speed [kn]	Total HP Main Eng	Gas Capacity [m3]
CLIPPER EIRENE	26,599	159.860	25.640	12.389	16.00	9,653	20,863
CLIPPER ERIS	26,587	159.860	25.640	12.389	16.00	9,653	20,915
ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟ		159.900	27.400	17.8			22,000

**Πίνακας 64: Εκτίμηση ισχύος και στροφών από όμοια πλοία (εναλλακτικό σενάριο)**

Name of Ship	Displacement [ton]	Length overall [m]	Breadth Extreme [m]	Depth [m]	Service Speed [kn]	Total kW Main Eng	Gas Capacity [m3]	RPM-signal ocean
GREAT SAIL	33,021	169.990	24.240	16.7	15.50	9,732	21,660	130
MARIANNA GLORY	26,288	164.800	26.290	15.3	16.50	13,748	22,702	127
PRIMA LAUTAN II	26,140	164.837	26.286	15.3	16.50	13,748	22,707	127
NAVIGATOR PHOENIX	33,004	169.980	24.234	16.7	16.00	9,611	21,768	130
CLIPPER ERIS	26,587	159.860	25.640	12.389	16.00	7,198	20,915	113
ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟ	29,008	159.900	27.400	17.8	16.10	10,807.61	22,000	125.4

**Πίνακας 65: Εκτίμηση ειδικής κατανάλωσης καυσίμων (εναλλακτικό σενάριο)**

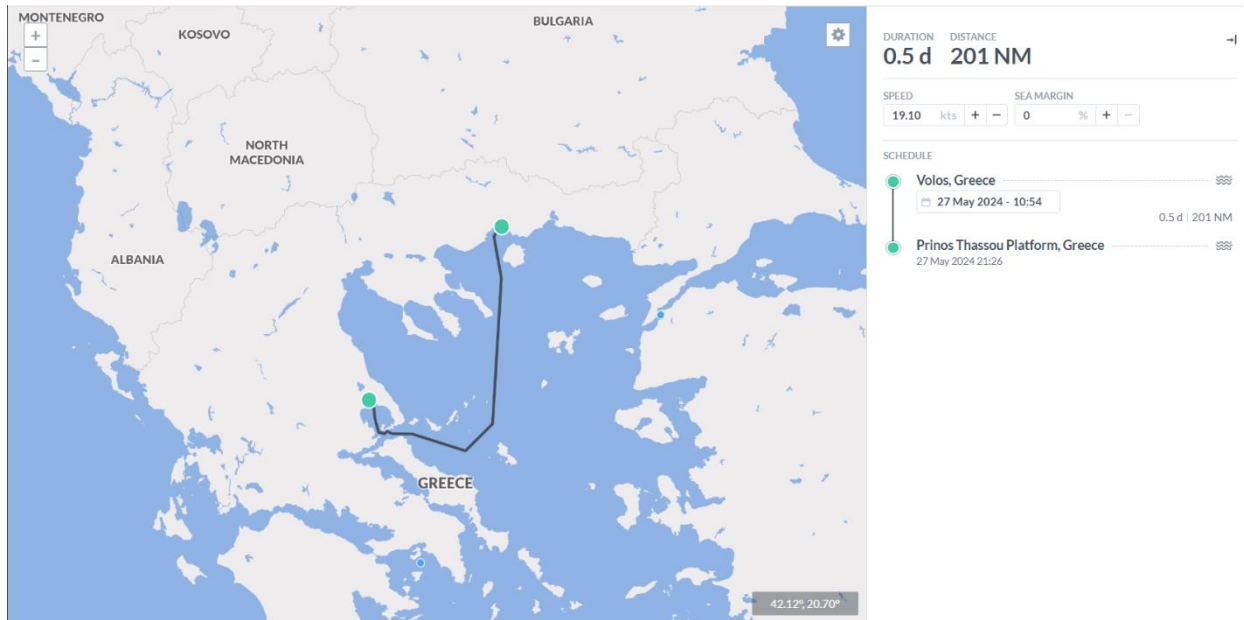
X52DF-A-1.0	Power (kW)	RPM
	10,808	105
Ειδική κατανάλωση	Ammonia	Diesel
β <sub>e</sub> στο 85% MCR [g/kWh]	340.4	158.3
Προσαύξηση 5% [g/kWh]	357.4	166.2

**Πίνακας 66: Εκτίμηση ποσοτήτων καυσίμων Βόλος-Πρίνος (εναλλακτικό σενάριο)**

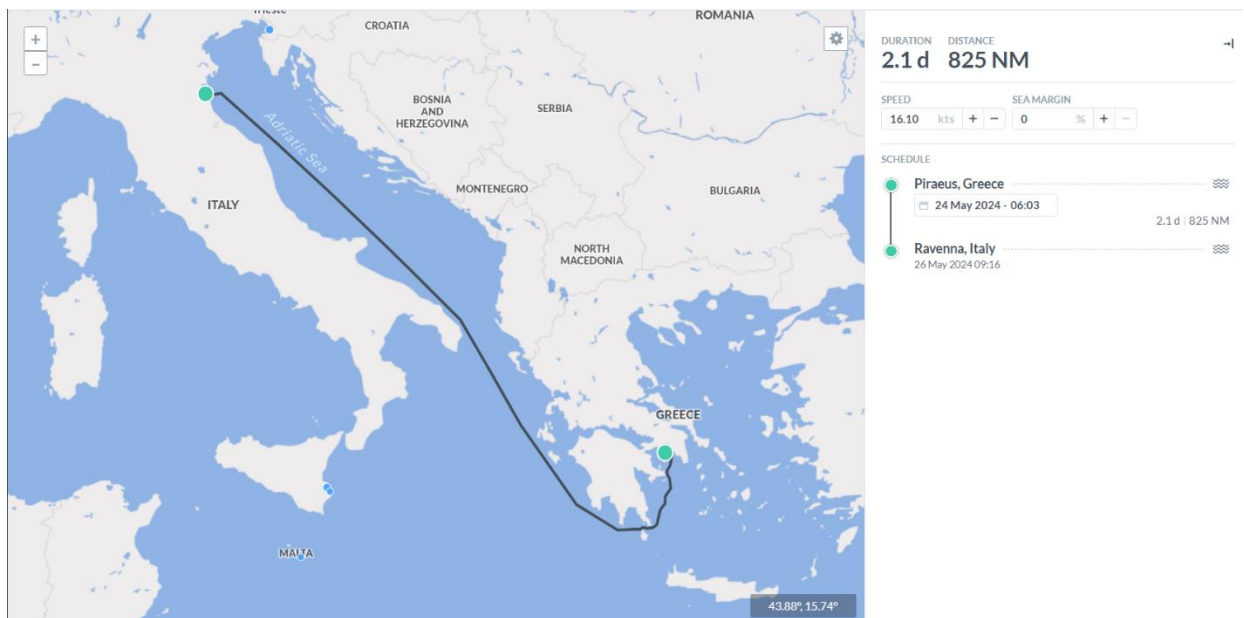
Ποσότητα καυσίμων	95% Ammonia	5% Diesel
ḡ [kg/μέρα]	45,845.75	1,122.11
ḡ [t/έτος]	16,504.47	403.96

**Πίνακας 67: Εκτίμηση ποσοτήτων καυσίμων Πειραιάς-Ραβέννα (εναλλακτικό σενάριο)**

Ποσότητα καυσίμων	95% Ammonia	5% Diesel
ḡ [kg/μέρα]	71,932.82	1,760.62
ḡ [t/έτος]	25,895.82	633.82



Εικόνα 4: Απόσταση Βόλος-Πρίνος (εναλλακτικό σενάριο) (The Signal Group, 2024)



Εικόνα 5: Απόσταση Πειραιάς-Ραβέννα (εναλλακτικό σενάριο) (The signal group, 2024)

**Πίνακας 68: Κόστη μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω πλοίων Βόλος-Πρίνος (εναλλακτικό σενάριο)**

Μέση ταχύτητα [knots or nm/h]	16.1
Χρόνος φόρτωσης [h]	8
Χρόνος εκφόρτωσης [h]	15
Απαίτηση μεταφοράς [t/μέρα]	6,070
Αγορά πλοίου	€70,750,000.00
Λειτουργία και Συντήρηση [4% του CapEx/έτος]	€2,830,000.00
Χωρητικότητα [t]	25,925
Απαιτούμενη απόσταση [nm/διαδρομή]	402
Απαιτούμενος χρόνος [h/διαδρομή]	25
Συνολικός χρόνος	48
Πλοία μεταφοράς CO <sub>2</sub>	1
Αγορά πλοίων	€70,750,000.00
Δυνατότητα μεταφοράς [t]	25,925
"Δυνατότητα μεταφοράς ανά μέρα" [t]	12,971
Περιθώριο επιπλέον μεταφοράς [t]	6,901
Λιμενικά κόστη [/στάση]	€20,000.00
Λιμενικά κόστη ανά έτος	€7,204,661.40
mA [t/έτος]	16,504.47
mD [t/έτος]	403.96
Κόστος καυσίμου αμμωνίας [/t]	€390.00
Κόστος καυσίμου diesel [/t]	€755.00
Κόστος καυσίμου αμμωνίας ανά έτος	€6,436,742.85
Κόστος καυσίμου diesel ανά έτος	€304,990.47

Κόστος καυσίμων πλοίων ανά έτος	€3,370,866.66
Κόστος καυσίμων βοηθητικών μηχανών πλοίων ανά έτος [15% κόστους καυσίμων κύριας μηχανής]	€252,815.00

**Πίνακας 69: Κόστη μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω πλοίων Πειραιάς-Ραβέννα (εναλλακτικό σενάριο)**

Μέση ταχύτητα [knots or nm/h]	16.1
Χρόνος φόρτωσης [h]	8
Χρόνος εκφόρτωσης [h]	15
Απαίτηση μεταφοράς [t/μέρα]	7,851
Αγορά πλοίου	€70,750,000.00
Λειτουργία και Συντήρηση [4% του CapEx/έτος]	€2,830,000.00
Χωρητικότητα [t]	25,925
Απαιτούμενη απόσταση [nm/διαδρομή]	1,650
Απαιτούμενος χρόνος [h/διαδρομή]	102
Συνολικός χρόνος	125
Πλοία μεταφοράς CO <sub>2</sub>	2
Αγορά πλοίων	€141,500,000.00
Δυνατότητα μεταφοράς [t]	51,850
"Δυνατότητα μεταφοράς ανά μέρα" [t]	9,917
Περιθώριο επιπλέον μεταφοράς [t]	2,066
Λιμενικά κόστη [/στάση]	€20,000.00
Λιμενικά κόστη ανά έτος	€2,754,125.62
mA [t/έτος]	25,895.82
mD [t/έτος]	25,895.82
Κόστος καυσίμου αμμωνίας [/t]	€390.00

Κόστος καυσίμου diesel [/t]	€755.00
Κόστος καυσίμου αμμωνίας ανά έτος	€10,099,368.57
Κόστος καυσίμου diesel ανά έτος	€19,551,341.71
Κόστος καυσίμων πλοίων ανά έτος	€29,650,710.28
Κόστος καυσίμων βοηθητικών μηχανών πλοίων ανά έτος [15% κόστους καυσίμων κύριας μηχανής]	€4,447,606.54

**Πίνακας 70: Συνολικά CapEx μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω πλοίων (εναλλακτικό σενάριο)**

CapEx	κόστη [€]
Αγορά πλοίων	€212,250,000.00
Συνολικά CapEx πλοίων	€212,250,000.00

**Πίνακας 71: Συνολικά OpEx μεταφοράς CO<sub>2</sub> μέσω πλοίων (εναλλακτικό σενάριο)**

OpEx	κόστη [€]
Λιμενικά κόστη ανά έτος	€9,958,787.03
Κόστος καυσίμων κύριων μηχανών πλοίων ανά έτος	€33,021,576.94
Κόστος καυσίμων βοηθητικών μηχανών πλοίων ανά έτος [15% κόστους καυσίμων κύριας μηχανής]	€4,700,421.54
Συνολικά OpEx μεταφοράς με πλοίο	€47,680,785.51

**Πίνακας 72: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης ανά τόνο CO<sub>2</sub> (εναλλακτικό σενάριο)**

	Πίεση	CapEx/tCO <sub>2</sub>	OpEx/tCO <sub>2</sub>
Υγροποίηση	Μικρή (7bar)	€22.10	€2.20
	Μεσαία (15bar)	€17.10	€1.70
Προσωρινός αποθηκευτικός χώρος	Μικρή (7bar)	€545.00	€27.30
	Μεσαία (15bar)	€899.00	€44.90

**Πίνακας 73: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης λιμάνι Πειραιά (εναλλακτικό σενάριο)**

	Πίεση	CapEx	Opex/έτος
Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> ανά μέρα [t]	6,070.00		
Υγροποίηση	Μικρή (7bar)	€134,147.00	€13,354.00
	Μεσαία (15bar)	€103,797.00	€10,319.00
Προσωρινός αποθηκευτικός χώρος	Μικρή (7bar)	€3,308,150.00	€165,711.00
	Μεσαία (15bar)	€5,456,930.00	€272,543.00
	Συνολικό κόστος μικρής πίεσης 25 ετών	€7,918,922.00	
	Συνολικό κόστος μεγάλης πίεσης 25 ετών	€12,632,277.00	

**Πίνακας 74: : Κόστη προσωρινής αποθήκευσης λιμάνι Βόλου (εναλλακτικό σενάριο)**

	Πίεση	CapEx	Opex/έτος
Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> ανά μέρα [t]	6,281.00		
Υγροποίηση	Μικρή (7bar)	€138,810.10	€13,818.20
	Μεσαία (15bar)	€107,405.10	€10,677.70
Προσωρινός αποθηκευτικός χώρος	Μικρή (7bar)	€3,423,145.00	€171,471.30
	Μεσαία (15bar)	€5,646,619.00	€282,016.90
	Συνολικό κόστος μικρής πίεσης 25 ετών	€8,194,192.60	
	Συνολικό κόστος μεγάλης πίεσης 25 ετών	€13,071,389.10	

**Πίνακας 75: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> βιομηχανία Βιομηχανία Α (εναλλακτικό σενάριο)**

	Πίεση	CapEx	Opex/έτος
Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> ανά μέρα [t]	3,431.00		
Υγροποίηση	Μικρή (7bar)	€75,825.10	€7,548.20
	Μεσαία (15bar)	€58,670.10	€5,832.70
Προσωρινός αποθηκευτικός χώρος	Μικρή (7bar)	€1,869,895.00	€93,666.30
	Μεσαία (15bar)	€3,084,469.00	€154,051.90
	Συνολικό κόστος μικρής πίεσης 25 ετών	€4,476,082.60	
	Συνολικό κόστος μεγάλης πίεσης 25 ετών	€7,140,254.10	

**Πίνακας 76: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> βιομηχανία Βιομηχανία Β (εναλλακτικό σενάριο)**

	Πίεση	CapEx	Opex/έτος
Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> ανά μέρα [t]	3,431.00		
Υγροποίηση	Μικρή (7bar)	€75,825.10	€7,548.20
	Μεσαία (15bar)	€58,670.10	€5,832.70
Προσωρινός αποθηκευτικός χώρος	Μικρή (7bar)	€1,869,895.00	€93,666.30
	Μεσαία (15bar)	€3,084,469.00	€154,051.90
	Συνολικό κόστος μικρής πίεσης 25 ετών	€4,476,082.60	
	Συνολικό κόστος μεγάλης πίεσης 25 ετών	€7,140,254.10	



**Πίνακας 77: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> βιομηχανία Βιομηχανία Γ (εναλλακτικό σενάριο)**

	Πίεση	CapEx	Opex/έτος
Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> ανά μέρα [t]	2,850.00		
Υγροποίηση	Μικρή (7bar)	€62985	€6,270.00
	Μεσαία (15bar)	€48735	€4,845.00
Προσωρινός αποθηκευτικός χώρος	Μικρή (7bar)	€1553250	€77,805.00
	Μεσαία (15bar)	€2562150	€127,965.00
	Συνολικό κόστος μικρής πίεσης 25 ετών	€3,718,110.00	
	Συνολικό κόστος μεγάλης πίεσης 25 ετών	€5,931,135.00	

**Πίνακας 78: Κόστη προσωρινής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> βιομηχανία Βιομηχανία Δ (εναλλακτικό σενάριο)**

	Πίεση	CapEx	Opex/έτος
Δεσμευόμενο CO <sub>2</sub> ανά μέρα [t]	2,639.00		
Υγροποίηση	Μικρή (7bar)	€58321.9	€5,805.80
	Μεσαία (15bar)	€45126.9	€4,486.30
Προσωρινός αποθηκευτικός χώρος	Μικρή (7bar)	€1438255	€72,044.70
	Μεσαία (15bar)	€2372461	€118,491.10
	Συνολικό κόστος μικρής πίεσης 25 ετών	€3,442,839.40	
	Συνολικό κόστος μεγάλης πίεσης 25 ετών	€5,492,022.90	

**Πίνακας 79: Συνολικά CapEx συστημάτων προσωρινής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (εναλλακτικό σενάριο)**

CapEx	Κόστη [€]
Εγκατάσταση συστημάτων υγροποίησης	€545,892.10
Εγκατάσταση συστήματος προσωρινής αποθήκευσης	€13,462,045.00
Συνολικά CapEx συστημάτων προσωρινής αποθήκευσης	€14,007,937.10

**Πίνακας 80: Συνολικά OpEx συστημάτων προσωρινής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (εναλλακτικό σενάριο)**

OpEx	Κόστη [€]
Υγροποίηση	€54,342.20
Προσωρινής αποθήκευσης	€580,671.00
Συνολικά OpEx προσωρινής αποθήκευσης	€635,013.20

**Πίνακας 81: Κόστος γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (εναλλακτικό σενάριο)**

Εκπομπές CO <sub>2</sub> [t/year]	4,446,000
	Κόστη
/tCO <sub>2</sub>	\$9.375
/tCO <sub>2</sub>	€8.719
/year	€38,763,562.50

**Πίνακας 82: Συνολικά OpEx μόνιμης αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (εναλλακτικό σενάριο)**

OpEx	Κόστη [€]
Γεωλογική αποθήκευση	€38,763,562.50
Συνολικά OpEx γεωλογικής αποθήκευσης	€38,763,562.50

**Πίνακας 83: Υπολογισμός δόσεων δανείου (εναλλακτικό σενάριο)**

CapEx	€1,719,657,937.10
Επιτόκιο	5%
Χρόνος αποπληρωμής [έτη]	7
Δόσεις μέχρι 7ο έτος	€297,190,972.48

**Πίνακας 84: Συνολικά OpEx δανείου (εναλλακτικό σενάριο)**

	Κόστη [€]
Δόσεις μέχρι το 7ο έτος (αποπληρωμή)	€297,190,972.48
Συνολικά OpEx αποπληρωμής δανείου (7 έτη)	€297,190,972.48

**Πίνακας 85: Συνολικά OpEx απροσδόκητου κόστους (εναλλακτικό σενάριο)**

OpEx	Κόστη [€/έτος]
Απροσδόκητο κόστος 10%	€16,472,921.48
Συνολικά OpEx απροσδόκητου κόστους	€16,472,921.48

**Πίνακας 86: Συνολικά κόστη εφοδιαστικής αλυσίδας CO<sub>2</sub> μεγάλων βιομηχανιών Ελλάδος (εναλλακτικό σενάριο)**

Συνολικά OpEx (χωρίς δόσεις δανείου)	€181,202,136.23	Έτη 8-25
Συνολικά OpEx (με δόσεις δανείου)	€478,393,108.71	Έτη 1-7
Συνολικά OpEx για 25 έτη	€6,610,390,213.01	25-έτη
Δάνειο-Αρχικό κεφάλαιο	€1,719,657,937.10	
Συολικά κόστη OpEx	€4,890,732,275.91	
Συνολικά κόστη CapEx	€1,719,657,937.10	
<b>Συνολικά κόστη 25 ετών</b>	<b>€6,610,390,213.01</b>	

