



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Διπλωματική Εργασία**

**Συγκριτική αξιολόγηση και ανάλυση κύκλου ζωής υλικών  
κατασκευής πλοίων στο σύνολο της εφοδιαστικής τους αλυσίδας**

**Συγγραφέας:**

**Πολυχρονίδης Δημήτριος**

**AM:18392049**

**Επιβλέπουσα:**

**Δρ Παπαποστόλου Χριστιάνα**

**Αθήνα, Οκτώβριος 2023**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA  
SCHOOL OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

**Diploma Thesis**

**Comparative evaluation and life cycle analysis of shipbuilding  
materials throughout their entire supply chain**

**Student:**

**Polychronidis Dimitrios**

**Registration Number:18392049**

**Supervisor:**

**Dr Papapostolou Christiana**

**Athens, October 2023**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Συγκριτική αξιολόγηση και ανάλυση κύκλου ζωής υλικών  
κατασκευής πλοίων στο σύνολο της εφοδιαστικής τους αλυσίδας**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>A/A</b>	<b>ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
<b>1</b>	<b>ΠΑΠΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΧΡΙΣΤΙΑΝΑ</b>	<b>ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ</b>	
<b>2</b>	<b>ΚΟΝΔΥΛΗ ΑΙΜΙΛΙΑ</b>	<b>ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ</b>	
<b>3</b>	<b>ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ ΚΟΣΜΑΣ</b>	<b>ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ</b>	

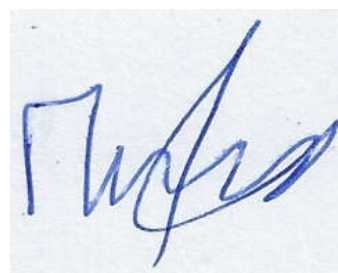
## Δήλωση συγγραφέα διπλωματικής εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Πολυχρονίδης Δημήτριος του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 18392049 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών



Πολυχρονίδης Δημήτριος

## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών, κατά το έτος 2023.

Η διπλωματική αυτή εργασία δεν θα ήταν δυνατό να ολοκληρωθεί χωρίς την συνεχή στήριξη συγκεκριμένων ανθρώπων.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου Δρ. Παπαποστόλου Χριστιάνα, η οποία μου έδειξε εμπιστοσύνη για την ανάληψη της παρούσας εργασίας, για την καθοδήγηση που μου προσέφερε, για τον χρόνο που αφιέρωσε, καθώς και τις πολύτιμες γνώσεις της πάνω στο αντικείμενο που μοιράστηκε μαζί μου, ούτως ώστε να έχω το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου στο προπτυχιακό επίπεδο, οι οποίοι αποτέλεσαν πηγή γνώσης για εμένα και με βοήθησαν να διευρύνω τους γνωστικούς μου ορίζοντες κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ματθαίο Ανδρέα και τον κ. Ματθαίο Νικόλαο, ιδιοκτήτες ναυτιλιακής εταιρείας, οι οποίοι με την σειρά τους μου παρείχαν σημαντική βοήθεια, καθ'όλη την διάρκεια αυτής της εργασίας.

Φυσικά δεν μπορώ να παραλείψω να ευχαριστήσω την μεταπτυχιακή φοιτήτρια Ζαρούλα Μιχαηλία για τον χρόνο που αφιέρωσε, καθώς με βοήθησε με τις συμβουλές της και τις γνώσεις της πάνω στα λογισμικά AKZ.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, την αδελφή μου και τους φίλους μου, για την συνεχή υποστήριξη που μου παρείχαν από την αρχή των σπουδών μου έως και σήμερα.

*Αθήνα, Οκτώβριος 2023*

## **Περίληψη**

Στις μέρες μας, είναι χαρακτηριστικό πως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του τομέα της ναυπηγικής, επηρεάζουν σε έναν σημαντικό βαθμό τόσο το περιβάλλον, όσο και την ανθρώπινη υγεία. Οι επιπτώσεις αυτές, προέρχονται κυρίως από τις φάσεις της κατασκευής, της συντήρησης και της ανακύκλωσης των πλοίων στο τέλος της ζωής τους. Για αυτόν τον λόγο, επιστήμονες αξιοποίησαν το εργαλείο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ), με βασικότερο στόχο την μελέτη διάφορων υλικών κατασκευής πλοίων, έτσι ώστε να εντοπίσουν ποια υλικά είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον. Ουσιαστικά, η ΑΚΖ αποτελεί εργαλείο, το οποίο αναπτύχθηκε με κυριότερο στόχο την απλοποίηση των υπολογισμών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διάφορων προϊόντων σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής τους. Τα υλικά που έχουν μελετηθεί κυρίως είναι ο χάλυβας, το αλουμίνιο, το ξύλο και ορισμένα σύνθετα υλικά. Στην παρούσα εργασία, αξιοποιήθηκε το εργαλείο αυτό, σε συνδυασμό με το Microsoft Excel και το λογισμικό ΑΚΖ SimaPro και μελετήθηκαν οι επιπτώσεις μιας χαλύβδινης γάστρας ενός πλοίου, σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής της. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκαν οι φάσεις της κατασκευής, της συντήρησης και της ανακύκλωσης της, ενώ οι επιμέρους διεργασίες που μελετήθηκαν, ήταν η παραγωγή, η κοπή, η συγκόλληση και η προστασία του χάλυβα και φυσικά οι μεταφορές του χάλυβα και των υλικών. Ως στόχοι της παρούσας εργασίας, ήταν ο υπολογισμός των εκπεμπόμενων ρύπων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής της χαλύβδινης γάστρας, ο προσδιορισμός των διαφορών που εμφανίζουν μεταξύ τους τα στάδια αυτά, των διαφορών που εμφανίζονται εάν αντί για χειροκίνητους υπολογισμούς των αποτελεσμάτων της ΑΚΖ, χρησιμοποιηθεί ένα λογισμικό ΑΚΖ και τέλος ο προσδιορισμός των διεργασιών που επιβάρυνουν περισσότερο το περιβάλλον. Όσον αφορά την πειραματική διαδικασία, στο Microsoft Excel ουσιαστικά δομήθηκε ένα εργαλείο υπολογισμών όλων των δεδομένων εισόδου και εξόδου της ΑΚΖ, με βάση ερευνητικά άρθρα κλπ. Ταυτόχρονα, όλοι οι αναγκαίοι συντελεστές για τους υπολογισμούς αυτούς αντλήθηκαν επίσης από ερευνητικά άρθρα, εργασίες κ.α. Στο SimaPro, όλες οι διεργασίες μαζί με όλους τους συντελεστές ήταν ενσωματωμένα μέσα στο λογισμικό και απλά δομήθηκαν τα επιθυμητά σενάρια. Με το πέρας της πειραματικής διαδικασίας, τα αποτελέσματα μεταξύ των 2 μεθόδων υπολογισμού εμφάνιζαν σημαντικές διαφορές, ειδικότερα κατά την φάση της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (ΑΕΚΖ). Σε αυτήν, παρόλο που χρησιμοποιήθηκε η ίδια μεθοδολογία ΑΕΚΖ (ReCiPe 2016), παρατηρήθηκαν ποσοτικές διαφορές σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων. Το SimaPro ουσιαστικά έδινε αποτελέσματα από 0,3 έως και 8 φορές μεγαλύτερα από ότι το Excel, με μερικές εξαιρέσεις στην φάση της ανακύκλωσης. Κατά την κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων και στα 2 λογισμικά, η πιο επιβαρυνόμενη κατηγορία επιπτώσεων, ήταν αυτή του σχηματισμού φωτοχημικού όζοντος (Οικοσυστήματα) και επομένως έγινε κατανοητό ότι ανάλογα με την μέθοδο υπολογισμού των αποτελεσμάτων, αλλάζαν και οι απαιτούμενοι πόροι που χρειάζονταν για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων. Παρόλα αυτά και με τα 2 λογισμικά, παρουσιάστηκε η διεργασία της παραγωγής του χάλυβα, ως η διαδικασία με τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ένα αποτέλεσμα, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε νέες μελέτες ΑΚΖ που θα αφορούν την αντικατάσταση του χάλυβα με κάποιο άλλο υλικό, όπως το αλουμίνιο, έτσι ώστε να μελετηθούν και να συγκριθούν μεταξύ τους τα υλικά, με βάση τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους.

## **Λέξεις κλειδιά**

Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Εφοδιαστική Αλυσίδα, Υλικά, Χάλυβας, Πλοία, Ναυπηγική, Ναυτιλία, SimaPro.

## **Abstract**

Nowadays, it is typical that the environmental impact of the shipbuilding sector has a significant impact on both the environment and human health. These impacts mainly come from the phases of construction, maintenance and recycling of ships at the end of their life. For this reason, scientists have used the tool of Life Cycle Analysis (LCA), with the main objective of studying different shipbuilding materials in order to identify which materials are more environmentally friendly. Essentially, LCA is a tool developed with the main objective of simplifying the calculations of the environmental impact of different products throughout their life cycle. The materials that have been studied are mainly steel, aluminium, wood and certain composites. In this study, this tool was used in combination with Microsoft Excel and the LCA software SimaPro to study the effects of a steel ship hull, throughout its life cycle. More specifically, the phases of construction, maintenance and recycling were studied, while the individual processes studied were the production, cutting, welding and protection of steel and of course the transportation of steel and materials. The objectives of this study were to calculate the pollutant emissions and environmental impacts at each stage of the steel hull life cycle, to determine the differences between those stages, the differences that occur if an LCA software is used instead of manual calculations of the LCA results and finally to identify the most environmentally damaging processes. Regarding the experimental procedure, a tool for calculating all the input and output data of the LCA, based on research articles etc., was essentially structured in Microsoft Excel. At the same time, all the necessary coefficients for these calculations were also obtained from research articles, papers, etc. In SimaPro, all the processes along with all the coefficients were integrated within the software and the desirable scenarios were structured as needed. At the end of the experimental procedure, the results between the 2 calculation methods showed significant differences, especially during the life cycle impact assessment phase (LCIA). In this phase, although the same LCIA methodology was used (ReCiPe 2016), quantitative differences were observed in all impact categories. SimaPro actually gave results from 0,3 to 8 times larger than Excel, with a few exceptions in the recycling phase. When normalizing the results in both software, the most burdensome impact category was that of photochemical ozone formation (Ecosystems) and it was therefore understood that depending on the method of calculating the results, the resources that are needed to address the impacts changed. Nevertheless, with both software, the steel production process was presented as the process with the greatest environmental impact. A result, which may lead to new LCA studies involving the replacement of steel with another material, such as aluminium, so that the materials can be studied and compared with each other based on their environmental impacts.

## **Keywords**

Life Cycle Analysis, Supply Chain, Materials, Steel, Ships, Shipbuilding, Shipping, SimaPro.

## Πίνακας περιεχομένων

Δήλωση συγγραφέα διπλωματικής εργασίας.....	4
Ευχαριστίες .....	5
Περίληψη .....	6
Abstract.....	7
Ευρετήριο σχημάτων.....	10
Ευρετήριο πινάκων.....	11
Ευρετήριο γραφημάτων .....	12
Πίνακας συντομογραφιών.....	13
Πρόλογος .....	15
1. Εισαγωγή.....	16
1.1. Ναυτιλία και περιβάλλον .....	16
1.2. Ναυπηγική και περιβάλλον.....	20
2. Υλικά κατασκευής πλοίων.....	22
2.1. Η εξέλιξη της ναυπηγικής βιομηχανίας.....	22
2.2. Υλικά κατασκευής πλοίων.....	24
2.2.1. Ξύλο .....	24
2.2.2. Χάλυβας.....	24
2.2.3. Αλουμίνιο και τα κράματα του.....	27
2.2.4. Χαλκός και τα κράματα του .....	28
2.2.5. Σύνθετα υλικά.....	29
3. Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ) .....	30
3.1. Φάση προσδιορισμού στόχου και πεδίου εφαρμογής της ανάλυσης.....	34
3.1.1. Ο στόχος της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	34
3.1.2. Το πεδίο εφαρμογής της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	34
3.1.3. Η Λειτουργία, η λειτουργική μονάδα και οι ροές αναφοράς .....	36
3.1.4. Τα όρια του συστήματος.....	37
3.2. Φάση καταγραφής και απογραφής των δεδομένων του κύκλου ζωής .....	39
3.2.1. Τα είδη και οι πηγές των δεδομένων .....	40
3.2.2. Οι απαιτήσεις της ποιότητας των δεδομένων .....	41
3.2.3. Συλλογή των δεδομένων .....	41
3.2.4. Υπολογισμός των δεδομένων .....	42
3.2.5. Κατανομή των ροών και των εκλύσεων .....	42
3.3. Φάση της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής.....	42
3.3.1. Στοιχεία της ΑΕΚΖ .....	43
3.3.2. Περιορισμοί της ΑΕΚΖ.....	44



3.3.3. Υποχρεωτικά στοιχεία της ΑΕΚΖ.....	45
3.3.4. Προαιρετικά στοιχεία της ΑΕΚΖ.....	46
3.3.5. Μεθοδολογίες ΑΕΚΖ.....	48
3.4. Φάση της ερμηνείας των αποτελεσμάτων.....	51
3.5. Λογισμικά Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	52
4. Μελέτες ΑΚΖ στον τομέα της ναυπηγικής-ναυτιλίας.....	61
5. Μεθοδολογική προσέγγιση, τεκμηρίωση και στόχοι εργασίας.....	70
5.1. Τεκμηρίωση και προσδιορισμός στόχων εργασίας.....	70
5.2. Μεθοδολογική προσέγγιση και παραδοχές.....	70
6. Μελέτη Περίπτωσης - ΑΚΖ μιας χαλύβδινης γάστρας ενός πλοίου.....	73
6.1. Προσδιορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής.....	73
6.1.1. Διεργασίες κατασκευής και προστασίας της γάστρας.....	76
6.1.2. Διεργασίες συντήρησης της γάστρας.....	79
6.1.3. Διεργασίες ανακύκλωσης της γάστρας.....	80
6.2. Καταγραφή και απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής.....	81
6.2.1. Δεδομένα εισόδου.....	81
6.2.2. Δεδομένα εξόδου - Αποτελέσματα.....	91
6.3. Αξιολόγηση επιπτώσεων του κύκλου ζωής.....	100
6.3.1. Μεθοδολογία – ReCiPe 2016 v1.1.....	100
6.3.2. Αξιολόγηση επιπτώσεων κύκλου ζωής γάστρας υπό μελέτη πλοίου μέσω της μεθοδολογία ReCiPe 2016 v1.1.....	103
6.4. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων.....	110
6.4.1. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων της φάσης της απογραφής και καταγραφής των δεδομένων.....	110
6.4.2. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων της φάσης της ΑΕΚΖ.....	112
6.5. Υπολογισμοί ΑΚΖ με την χρήση του λογισμικού SimaPro.....	114
6.5.1. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων του SimaPro.....	121
7. Τελικά συμπεράσματα.....	122
Αναφορές.....	129
Παράρτημα Α.....	136
Παράρτημα Β.....	137
Παράρτημα Γ.....	138
Παράρτημα Δ.....	140

## **Ευρετήριο σχημάτων**

<b>Σχήμα 1:</b> Χρονοδιάγραμμα Δράσεων και Κανονισμών για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής στον τομέα της ναυτιλίας.....	19
<b>Σχήμα 2:</b> Εκπεμπόμενοι ρύποι κατά την λειτουργία του πλοίου.....	19
<b>Σχήμα 3:</b> Στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος .....	30
<b>Σχήμα 4:</b> Οι τέσσερις φάσεις της ανάλυσης κύκλου ζωής .....	32
<b>Σχήμα 5:</b> Παράδειγμα ενός τυπικού συστήματος προϊόντος για την εκπόνηση μιας AKZ .....	35
<b>Σχήμα 6:</b> Σύνοψη εισροών και εκροών ενός συστήματος μελέτης κατά την διαδικασία μιας AKZ σε μια τυπική βιομηχανία .....	35
<b>Σχήμα 7:</b> Παράδειγμα ενός ζεύγους μοναδιαίων διεργασιών μέσα σε ένα σύστημα προϊόντος .....	37
<b>Σχήμα 8:</b> Απλοποιημένες διαδικασίες απογραφής και καταγραφής των δεδομένων μιας AKZ .....	40
<b>Σχήμα 9:</b> Στοιχεία/Βήματα της φάσης της ΑΕΚΖ .....	44
<b>Σχήμα 10:</b> Σχέση των στοιχειώδων ροών με τις Midpoint και τις Endpoint κατηγορίες .....	51
<b>Σχήμα 11:</b> Σχέσεις μεταξύ των στοιχείων της ερμηνείας των αποτελεσμάτων και μεταξύ των φάσεων μιας AKZ .....	52
<b>Σχήμα 12:</b> Εμπορικό λογότυπο του SimaPro.....	54
<b>Σχήμα 13:</b> Εμπορικό λογότυπο του OpenLCA.....	58
<b>Σχήμα 14:</b> Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας ανοδίων .....	78
<b>Σχήμα 15:</b> Ανακτώμενες ποσότητες χάλυβα διαφορετικού τύπου πλοίων.....	80
<b>Σχήμα 16:</b> Κατηγορίες επιπτώσεων ReCiPe 2016 ενδιάμενου επιπέδου .....	101
<b>Σχήμα 17:</b> Σχηματική απεικόνιση των 2 βημάτων της μεθοδολογίας ReCiPe 2016	101
<b>Σχήμα 18:</b> Κατηγορίες επιπτώσεων ReCiPe 2016 τελικού επιπέδου .....	102
<b>Σχήμα 19:</b> Περιβάλλον χρήστη δοκιμαστικής έκδοσης 9.4.0 του SimaPro. ....	114

## **Ευρετήριο πινάκων**

<b>Πίνακας 1:</b> Εκπομπές CO <sub>2</sub> της συνολικής ναυτιλίας, με βάση τα ταξίδια και με βάση τα πλοία παγκοσμίως από το 2012 έως το 2018 .....	17
<b>Πίνακας 2:</b> Λίστα Midpoint κατηγοριών επιπτώσεων ανά μεθοδολογία .....	49
<b>Πίνακας 3:</b> Λίστα Endpoint κατηγοριών ανά μεθοδολογία.....	50
<b>Πίνακας 4:</b> Επαγγελματικές Άδειες Χρήσης SimaPro .....	55
<b>Πίνακας 5:</b> Εκπαιδευτικές Άδειες Χρήσης SimaPro .....	55
<b>Πίνακας 6:</b> Ενσωματωμένες βάσεις δεδομένων LCI στο SimaPro .....	56
<b>Πίνακας 7:</b> Ενσωματωμένες μεθοδολογίες AEKZ στο SimaPro .....	57
<b>Πίνακας 8:</b> Ελάχιστες λειτουργικές απαιτήσεις του OpenLCA ανάλογα την βάση δεδομένων που χρησιμοποιείται .....	58
<b>Πίνακας 9:</b> Δωρεάν βάσεις δεδομένων που παρέχονται από το OpenLCA .....	59
<b>Πίνακας 10:</b> Δωρεάν μεθοδολογίες AEKZ που παρέχονται από το OpenLCA .....	59
<b>Πίνακας 11:</b> Συγκεντρωτικά στοιχεία των παραπάνω ερευνητικών άρθρων(Πλοία) .....	68
<b>Πίνακας 12:</b> Συγκεντρωτικά στοιχεία των παραπάνω ερευνητικών άρθρων(Σκάφη).....	69
<b>Πίνακας 13:</b> Βασικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου .....	73
<b>Πίνακας 14:</b> Στοιχεία και παραδοχές για την εκπόνηση της μεθόδου Sneekluth.....	82
<b>Πίνακας 15:</b> Εξισώσεις υπολογισμού μηκών συγκόλλησης χάλυβα.....	83
<b>Πίνακας 16:</b> Υπολογισμένα μήκη συγκόλλησης χάλυβα .....	83
<b>Πίνακας 17:</b> Επιφάνειες βαφής γάστρας ανά είδος βαφής .....	88
<b>Πίνακας 18:</b> Ενέργεια που απαιτείται για την βαφή των επιφανειών της γάστρας ανά είδος βαφής .....	88
<b>Πίνακας 19:</b> Θεωρητική κάλυψη κάθε είδους βαφής.....	89
<b>Πίνακας 20:</b> Συνολική απαιτούμενη ποσότητα κάθε είδους βαφής .....	89
<b>Πίνακας 21:</b> Ποσότητες και μορφές ανακτώμενου χάλυβα .....	90
<b>Πίνακας 22:</b> Συντελεστές Χαρακτηρισμού και κανονικοποίησης ουσιών από ReCiPe 2016 v1.1 (Hierarchist Perspective).....	104

## Ευρετήριο γραφημάτων

<b>Γράφημα 1:</b> Κατασκευασμένα πλοία ανά ήπειρο σε ετήσια βάση.....	21
<b>Γράφημα 2:</b> Όρια του συστήματος μελέτης της AKZ για την γάστρα του πλοίου ....	74
<b>Γράφημα 3:</b> Στάδια του κύκλου ζωής του υπό μελέτη πλοίου.....	75
<b>Γράφημα 4:</b> Συνολικές εκπομπές κατά την φάση παραγωγής του χάλυβα.....	91
<b>Γράφημα 5:</b> Συνολικές εκπομπές κατά την φάση συγκόλλησης του χάλυβα.....	92
<b>Γράφημα 6:</b> Συνολικές εκπομπές κατά την φάση κοπής του χάλυβα.....	92
<b>Γράφημα 7:</b> Συνολικές εκπομπές κατά την φάση ψηγματοβολής του χάλυβα.....	93
<b>Γράφημα 8:</b> Συνολικές εκπομπές κατά την φάση καθοδικής προστασίας του χάλυβα.....	94
<b>Γράφημα 9:</b> Συνολικές εκπομπές κατά την φάση της βαφής του χάλυβα.....	95
<b>Γράφημα 10:</b> Συνολικές εκπομπές κατά την φάση της μεταφοράς όλων των υλικών.....	96
<b>Γράφημα 11:</b> Συνολικές εκπομπές κατά την φάση της συντήρησης της γάστρας. (Παραγωγή και μεταφορά χάλυβα) .....	97
<b>Γράφημα 12:</b> Συνολικές εκπομπές κατά την φάση της συντήρησης της γάστρας. (Συγκόλληση και κοπή χάλυβα) .....	97
<b>Γράφημα 13:</b> Συνολικές εκπομπές κατά την φάση της ανακύκλωσης του χάλυβα..	98
<b>Γράφημα 14:</b> Συνολικές εκπομπές σε ολόκληρη την φάση της κατασκευής της γάστρας.....	98
<b>Γράφημα 15:</b> Συνολικές εκπομπές σε ολόκληρη την φάση της συντήρησης της γάστρας.....	98
<b>Γράφημα 16:</b> Συνολικές εκπομπές ανά στάδιο του κύκλου ζωής της γάστρας.....	99
<b>Γράφημα 17:</b> Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού ΑΕΚΖ ανά φάση κύκλου ζωής – ReCiPe 2016 v1.1.....	105
<b>Γράφημα 18:</b> Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού ΑΕΚΖ ανά Midpoint Κατηγορία – ReCiPe 2016 v1.1.....	106
<b>Γράφημα 19:</b> Αποτελέσματα Κανονικοποίησης (Συνολικά).....	107
<b>Γράφημα 20:</b> Αποτελέσματα Κανονικοποίησης (Κατασκευή).....	108
<b>Γράφημα 21:</b> Αποτελέσματα Κανονικοποίησης (Συντήρηση).....	108
<b>Γράφημα 22:</b> Αποτελέσματα Κανονικοποίησης (Ανακύκλωση).....	108
<b>Γράφημα 23:</b> Σύγκριση αποτελεσμάτων κανονικοποίησης ανά κατηγορία, ανά φάση του κύκλου ζωής της μελέτης.....	109
<b>Γράφημα 24:</b> Ποσοστιαίες συνεισφορές των φάσεων της κατασκευής, της συντήρησης και της ανακύκλωσης της γάστρας στις εκπομπές των εκάστοτε ρύπων.....	110
<b>Γράφημα 25:</b> Ποσοστιαίες συνεισφορές των διεργασιών που αφορούν την κατασκευή της γάστρας στις εκπομπές των ρύπων.....	111
<b>Γράφημα 26:</b> Ποσοστιαίες συνεισφορές των διεργασιών που αφορούν την συντήρηση της γάστρας στις εκπομπές των ρύπων.....	111
<b>Γράφημα 27:</b> Στάδια του κύκλου ζωής του υπό μελέτη πλοίου (SimaPro).....	115
<b>Γράφημα 28:</b> Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού SimaPro (Κατασκευή).....	116
<b>Γράφημα 29:</b> Αποτελέσματα χαρακτηρισμού SimaPro (Διεργασίες κατασκευής)..	116
<b>Γράφημα 30:</b> Αποτελέσματα Κανονικοποίησης SimaPro (Κατασκευή).....	117

<b>Γράφημα 31:</b> Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού SimaPro (Συντήρηση). .....	117
<b>Γράφημα 32:</b> Αποτελέσματα χαρακτηρισμού SimaPro (Διεργασίες συντήρησης). .....	118
<b>Γράφημα 33:</b> Αποτελέσματα Κανονικοποίησης SimaPro (Συντήρηση). .....	118
<b>Γράφημα 34:</b> Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού SimaPro (Ανακύκλωση). .....	119
<b>Γράφημα 35:</b> Αποτελέσματα Κανονικοποίησης SimaPro (Ανακύκλωση). .....	119
<b>Γράφημα 36:</b> Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού SimaPro (Σύγκριση Φάσεων). .....	120
<b>Γράφημα 37:</b> Αποτελέσματα Κανονικοποίησης SimaPro (Σύγκριση Φάσεων). .....	120
<b>Γράφημα 38:</b> Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρακτηρισμού – Φάση Κατασκευής. ....	122
<b>Γράφημα 39:</b> Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρακτηρισμού – Φάση Συντήρησης. ....	123
<b>Γράφημα 40:</b> Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρακτηρισμού – Φάση Ανακύκλωσης. ...	123
<b>Γράφημα 41:</b> Σύγκριση αποτελεσμάτων κανονικοποίησης – Φάση Κατασκευής. ..	125
<b>Γράφημα 42:</b> Σύγκριση αποτελεσμάτων κανονικοποίησης – Φάση Συντήρησης. ..	125
<b>Γράφημα 43:</b> Σύγκριση αποτελεσμάτων κανονικοποίησης – Φάση Ανακύκλωσης. ....	126

## Πίνακας συντομογραφιών

Πίνακας Συντομογραφιών				
A/A	Ελληνική Ορολογία	Αγγλική Ορολογία	Συντομογραφία Ελληνικά	Συντομογραφία Αγγλικά
1	Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός	International Maritime Organization	ΔΝΟ	IMO
2	Δείκτης σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης	Energy Efficiency Design Index	-	EEDI
3	Δείκτης ενεργειακής απόδοσης υφιστάμενων πλοίων	Energy Efficiency eXisting ship Index	-	EEXI
4	Επιχειρησιακό πλάνο ενισχυμένης ενεργειακής απόδοσης πλοίων	Ship Energy Efficiency Management Plan	-	SEEMP
5	Ανάλυση Κύκλου Ζωής	Life Cycle Assessment	AKZ	LCA
6	Ενισχυμένο πλαστικό με ίνες γυαλιού	Glass-Reinforced Polyester	-	GRP
7	Απογραφή-Καταγραφή Δεδομένων Κύκλου Ζωής	Life Cycle Inventory	-	LCI
8	Αξιολόγηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής	Life Cycle Impact Assessment	AEKZ	LCIA
9	Διοξείδιο του άνθρακα	Carbon Dioxide	-	CO <sub>2</sub>
10	Μονοξείδιο του άνθρακα	Carbon Monoxide	-	CO
11	Μεθάνιο	Methane	-	CH <sub>4</sub>
12	Όξειδια του αζώτου	Nitrogen Oxides	-	NO <sub>x</sub>
13	Μικροσωματίδια προκαθορισμένης διαμέτρου	Particulate Matter	-	PM
14	Διοξείδιο του θείου	Sulfur Dioxide	-	SO <sub>2</sub>
15	Οξείδια του θείου	Sulfur Oxides	-	SO <sub>x</sub>
16	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις	Volatile Organic Compounds	-	VOC
17	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις χωρίς μεθάνιο	Non-Methane Volatile Organic Compounds	-	NMVOC
18	Υποξείδιο του αζώτου	Nitrous Oxide	-	N <sub>2</sub> O
19	Χλωροφθοράνθρακες	ChloroFluoroCarbons	-	CFCs

## Πρόλογος

Στο **1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο** της παρούσας διπλωματικής εργασίας, το οποίο αποτελεί και την εισαγωγή της, πραγματοποιείται μια γενική αναφορά στις επιπτώσεις τόσο της ναυτιλίας, όσο και της ναυπηγικής στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Ενώ ταυτόχρονα, παρουσιάζονται οι δράσεις και τα μέτρα που μελετά ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από τους άνωθεν τομείς.

Έπειτα στο **2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο**, παρουσιάζονται αναλυτικά τα υλικά που χρησιμοποιούνται στον τομέα της ναυπηγικής, για την κατασκευή πλοίων και των επιμέρους κατασκευών τους. Αρχικά, παρουσιάζεται η εξέλιξη των υλικών στην ναυπηγική βιομηχανία, από το ξύλο μέχρι και τα σύνθετα υλικά και μετέπειτα παρουσιάζονται αναλυτικά τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην σημερινή εποχή, στις διάφορες κατασκευές ενός πλοίου.

Μετέπειτα, στο **3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο** της εργασίας, παρουσιάζεται αναλυτικά το εργαλείο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ) με βάση τα πρότυπα ISO14040:2006 και ISO14044:2006. Συνοπτικά, πραγματοποιείται παρουσίαση και ανάλυση του μεθοδολογικού πλαισίου του εργαλείου αυτού, το οποίο και αξιοποιείται μετέπειτα για το κύριο μέρος της εργασίας. Ταυτόχρονα, καταγράφονται και τα λογισμικά τα οποία χρησιμοποιούνται για αναλύσεις κύκλου ζωής σήμερα.

Στο **4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο**, πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση των ερευνητικών άρθρων που αφορούν το αντικείμενο με το οποίο ασχολείται η παρούσα εργασία.

Έπειτα με το **5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο**, εισαγόμαστε στο κύριο μέρος της εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται η μεθοδολογική προσέγγιση της μελέτης αυτής, οι στόχοι και τα ερωτήματα της μελέτης, μερικές γενικές παραδοχές που αφορούν την μελέτη, τα δεδομένα εισόδου και η ερευνητική υποδομή.

Στο **6<sup>ο</sup>** και πρότελευταίο **κεφάλαιο** της εργασίας αυτής, με την χρήση του εργαλείου της AKZ και των λογισμικών Microsoft Excel και SimaPro, πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί των εκπομπών διάφορων ρύπων, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, που εμφανίζονται κατά την κατασκευή, την συντήρηση και την ανακύκλωση/αποσυναρμολόγηση μιας γάστρας ενός πλοίου μεταφοράς χύδην φορτίου, κατασκευασμένης πλήρως από χάλυβα.

Τέλος, στο **7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο** της εργασίας, παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα της παρούσας μελέτης, αλλά και ιδέες σχετικά με μελλοντικές μελέτες που θα μπορούν να πραγματοποιηθούν ως συνέχεια αυτής της εργασίας, για την εξαγωγή επιπρόσθετων συμπερασμάτων πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

## **1. Εισαγωγή**

### **1.1. Ναυτιλία και περιβάλλον**

Στις μέρες μας, ο τομέας της ναυτιλίας παίζει έναν από τους κομβικότερους ρόλους στον τομέα της μεταφοράς των αγαθών παγκοσμίως. Προσεγγιστικά, περίπου το 80% των αγαθών παγκοσμίως διακινούνται μέσω περίπου 90000 πλοίων που υπάρχουν έως και σήμερα διαθέσιμα (Review of Maritime Transport 2017, 2017). Εύκολα λοιπόν γίνεται αντιληπτό ότι ο τομέας της ναυτιλίας θεωρείται πλέον ένας από τους σημαντικότερους πυλώνες της παγκόσμιας οικονομίας και όχι μόνο (IMO, 2018). Ταυτόχρονα, έχει παρατηρηθεί ότι ο ίδιος τομέας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο καλώς-έχει της κοινωνίας, αλλά και σε διάφορα θέματα της βιωσιμότητας των πόλεων (Vakili et al., 2023).

Περιβαλλοντικά η ναυτιλία σε σχέση με τους υπόλοιπους τομείς μεταφοράς αγαθών (Τρένα, Αεροπλάνα κ.α.), θεωρείται ως η καλύτερη και ως η πιο βιώσιμη λύση μεταφοράς αγαθών, καθώς οι εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά τόνο ανά χιλιόμετρο που διακινείται είναι αισθητά μικρότερες από τους άλλους τρόπους μεταφοράς αγαθών ("Sustainable Shipping", 2023).

Παρόλα αυτά όπως και προαναφέρθηκε, οι μεταφορές αγαθών μέσω πλοίων σε σχέση με τις άλλες μεθόδους μεταφορών, αποτελούν περίπου το 80% του παγκόσμιου εμπορίου. Έτσι λοιπόν είναι αντιλήψιμη η κλίμακα αυτής της βιομηχανίας σε σχέση με τις υπόλοιπες, καθιστώντας τις εκπομπές ρύπων της τεράστιας σημασίας καθώς επιδρούν αρνητικά τόσο στον άνθρωπο, όσο και στο υδρόβιο περιβάλλον.

Ενδεικτικά, ο τομέας αυτός είναι υπεύθυνος για το 3% των συνολικών εκπομπών του CO<sub>2</sub> που βοηθούν την ενίσχυση του **φαινομένου του θερμοκηπίου (Βλ. Παράρτημα Α)** σε παγκόσμια κλίμακα (IMO, 2018). Ταυτόχρονα, αναμένεται ότι οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου σε αυτόν τον τομέα, θα αυξηθούν κατά 50% μέχρι το έτος 2050 σε σχέση με τα ποσοστά του έτους 2018. Επιπροσθέτως, ο ίδιος τομέας καθίσταται υπεύθυνος περίπου για το 17-31% των παγκόσμιων εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και για το 5-10% των παγκόσμιων εκπομπών οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>) (Vakili et al., 2023). Σημειώνεται επιπλέον ότι οι περισσότερες από αυτές τις εκπομπές, αφορούν τις εκπομπές ρύπων που εμφανίζονται κατά την καύση των καυσίμων για την λειτουργία των εκάστοτε πλοίων (IMO, 2018). Έαν συνοπολογίσει κανείς πως το 50% και παραπάνω αυτών των εκπομπών παράγονται σε παράκτιες περιοχές και μπορούν ταυτόχρονα να επηρεάσουν περιοχές που βρίσκονται μέχρι και 400 χιλιόμετρα μακριά, οι αέριοι ρύποι που προέρχονται από την βιομηχανία της ναυτιλίας, επιφέρουν αρνητικό κοινωνικό και υγειονομικό αντίκτυπο στον πληθυσμό που ζεί κοντά σε αυτές τις περιοχές (López-Aparicio et al., 2017).

Πιο αναλυτικά κατά την 4<sup>η</sup> μελέτη για τα αέρια του θερμοκηπίου που εκπόνησε ο **Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization - IMO)** το 2020, ελήφθησαν τα εξής αποτελέσματα ("Fourth Greenhouse Gas Study 2020", 2020):



- Από το 2012 έως το 2018, οι εκπομπές του CO<sub>2</sub>, του CH<sub>4</sub> και του N<sub>2</sub>O, εκφρασμένα σε μονάδα CO<sub>2</sub>-eq αυξήθηκαν από 977 εκατομμύρια τόνους σε 1076 εκατομμύρια τόνους, κάτι που υποδεικνύει αύξηση κατά 9,6% μέσα σε μόλις περίπου 6 χρόνια. Από αυτούς τους 977 εκατομμύρια τόνους το 2012, οι 962 εκατομμύρια τόνοι αποτελούσαν εκπομπές CO<sub>2</sub>. Αντίστοιχα το 2018, από τους 1076 εκατομμύρια τόνους εκπομπών, μόλις οι 1056 εκατομμύρια τόνοι αποτελούσαν εκπομπές CO<sub>2</sub>.
- Το μερίδιο των εκπομπών που προκύπτουν από την ναυτιλία, μέσα στο σύνολο των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων, αυξήθηκε από 2,76% που ήταν το 2012 σε 2,89% το 2018.
- Μέσω της κατανομής των εκπομπών με βάση τα ταξίδια που εκτελούν τα πλοία, παρατηρήθηκε ότι οι εκπομπές CO<sub>2</sub> αυξήθηκαν από τους 701 εκατομμύρια τόνους το 2012 σε 740 εκατομμύρια τόνους το 2018 (Αύξηση της κλίμακας του 5,6%), αλλά με χαμηλότερο ρυθμό αύξησης από τις συνολικές εκπομπές που προκύπτουν από την ναυτιλία και αντιπροσωπεύουν ένα σταθερό μερίδιο των παγκόσμιων εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά την περίοδο αυτή (≈ 2%). Αντίθετα μέσω της κατανομής των εκπομπών με βάση τα πλοία που εκτελούν τα ταξίδια, που λαμβάνεται από μελέτη του IMO για τα αέρια του θερμοκηπίου, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> αυξήθηκαν από 848 εκατομμύρια τόνους το 2012 σε 919 εκατομμύρια τόνους το 2018 (Αύξηση της κλίμακας του 8,4%).

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης, συγκεντρώνονται και στον πίνακα που ακολουθεί παρακάτω (**Πίνακας 1**).

**Πίνακας 1:** Εκπομπές CO<sub>2</sub> της συνολικής ναυτιλίας, με βάση τα ταξίδια και με βάση τα πλοία παγκοσμίως από το 2012 έως το 2018. ("Fourth Greenhouse Gas Study 2020", 2020)

Έτος	Παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές CO <sub>2</sub>	Συνολικές εκπομπές CO <sub>2</sub> ναυτιλίας	Συνολικές εκπομπές CO <sub>2</sub> ναυτιλίας σε σχέση με τις παγκόσμιες εκπομπές CO <sub>2</sub> (Ποσοστιαία)	Εκπομπές CO <sub>2</sub> βάσει των παγκόσμιων ταξιδιών των πλοίων	Συνολικές εκπομπές CO <sub>2</sub> βάσει των παγκόσμιων ταξιδιών των πλοίων σε σχέση με τις παγκόσμιες εκπομπές CO <sub>2</sub> (Ποσοστιαία)	Εκπομπές CO <sub>2</sub> βάσει των πλοίων παγκοσμίως	Συνολικές εκπομπές CO <sub>2</sub> βάσει των πλοίων παγκοσμίως σε σχέση με τις παγκόσμιες εκπομπές CO <sub>2</sub> (Ποσοστιαία)
2012	34793	962	2,76%	701	2,01%	848	2,44%
2013	34959	957	2,74%	684	1,96%	837	2,39%
2014	35225	964	2,74%	681	1,93%	846	2,37%
2015	35239	991	2,81%	700	1,99%	859	2,44%
2016	35380	1026	2,90%	727	2,05%	894	2,53%
2017	35810	1064	2,97%	746	2,08%	929	2,59%
2018	36573	1056	2,89%	740	2,02%	919	2,51%

Στην σημερινή εποχή ο IMO ως ο αποκλειστικός ρυθμιστικός φορέας της διεθνούς ναυτιλίας, εξετάζει μια πολυδιάστατη προσέγγιση για την ελαχιστοποίηση της συμβολής της ναυτιλιακής βιομηχανίας στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ο IMO με γνώμονα την άμεση επίτευξη του στόχου που θέλει να επιτύχει, εφαρμόζει τεχνολογικά μέτρα όπως ο σχεδιασμός του δείκτη ενεργειακής απόδοσης (EEDI) και του δείκτη ενεργειακής απόδοσης υφιστάμενων πλοίων (EEXI), και επιχειρησιακά μέτρα, όπως το επιχειρησιακό πλάνο ενισχυμένης ενεργειακής απόδοσης των πλοίων (ESEEMP). Επιπλέον, οικονομικά μέτρα όπως τα μέτρα που βασίζονται στην αγορά, αποτελούν μέτρα που μπορεί να εξεταστούν από τον IMO σύντομα, για την μείωση των εκπομπών από την διεθνή ναυτιλία.

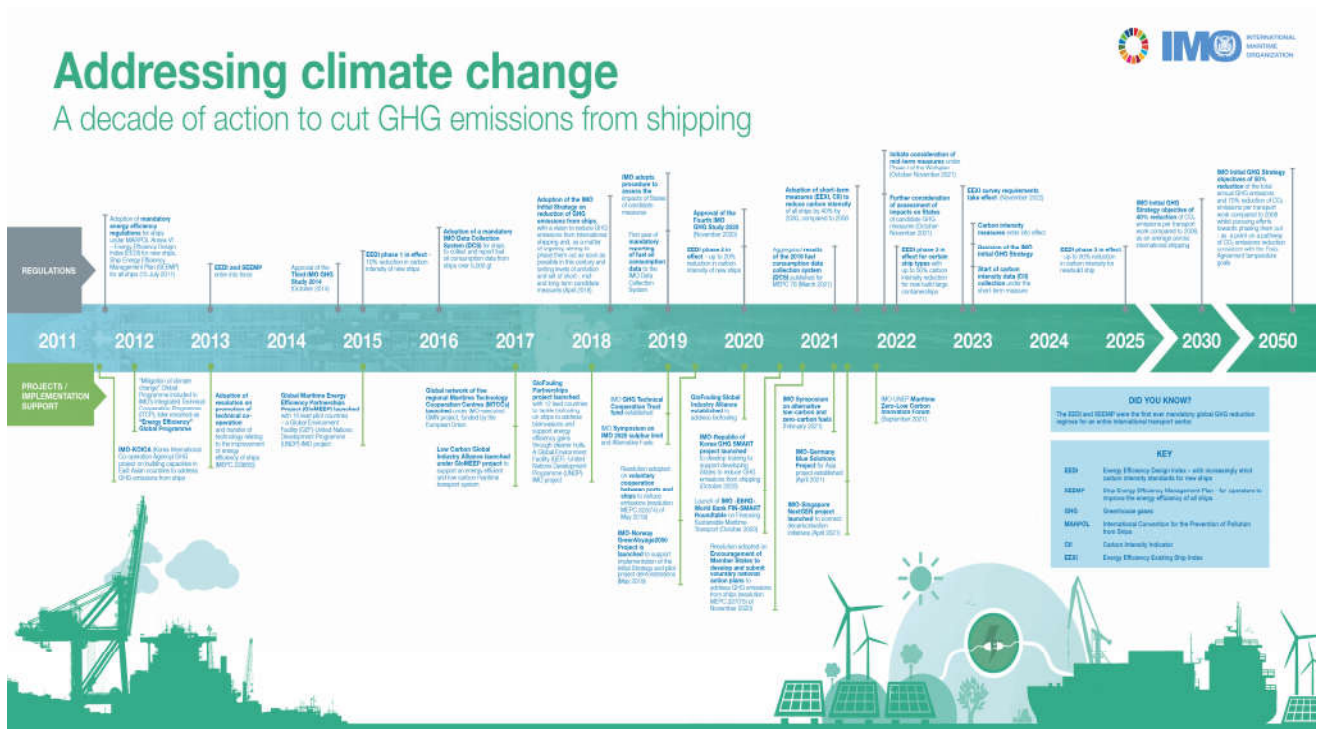
Από την άλλη το 2018, ο IMO υιοθέτησε την αρχική του στρατηγική για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία. Ο IMO έως το 2030, στοχεύει στη μείωση της έντασης του άνθρακα κατά τουλάχιστον 40% και κατά 70% έως το έτος του 2050.

Ένα από τα σημεία κλειδιά του IMO για την μείωση των εκπομπών της ναυτιλίας, αποτελούν οι λιμένες. Οι λιμένες διαδραματίζουν πολύ καθοριστικό ρόλο στην παγκόσμια εφοδιαστική αλυσίδα και χρησιμεύουν ταυτόχρονα ως κρίσιμα περιουσιακά στοιχεία για το κάθε κράτος ξεχωριστά. Ωστόσο, έχει αποδειχθεί ότι έχουν σημαντικό αρνητικό αντίκτυπο τόσο στο περιβάλλον, όσο και στην κοινωνία. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι πιο άμεσες εκπομπές αερίων ρύπων από τη ναυτιλία προέρχονται κατά κύριο λόγο από διάφορους λιμένες ανά τον κόσμο.

Επιπροσθέτως, οι λιμένες έχουν χαρακτηριστεί ως ένας από τους βασικότερους παράγοντες της στρατηγικής του IMO, για την επίτευξη του στόχου της μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από την ναυτιλιακή βιομηχανία, η οποία μπορεί να έχει θετικό αντίκτυπο στη βιωσιμότητα των πόλεων. Η σωστή ανάπτυξη των λιμένων μέσω της βελτιστοποίησης των υποδομών και της εφοδιαστικής αλυσίδας τους, αποτελούν τα πιθανά βραχυπρόθεσμα μέτρα της αρχικής στρατηγικής του IMO για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την ναυτιλία.

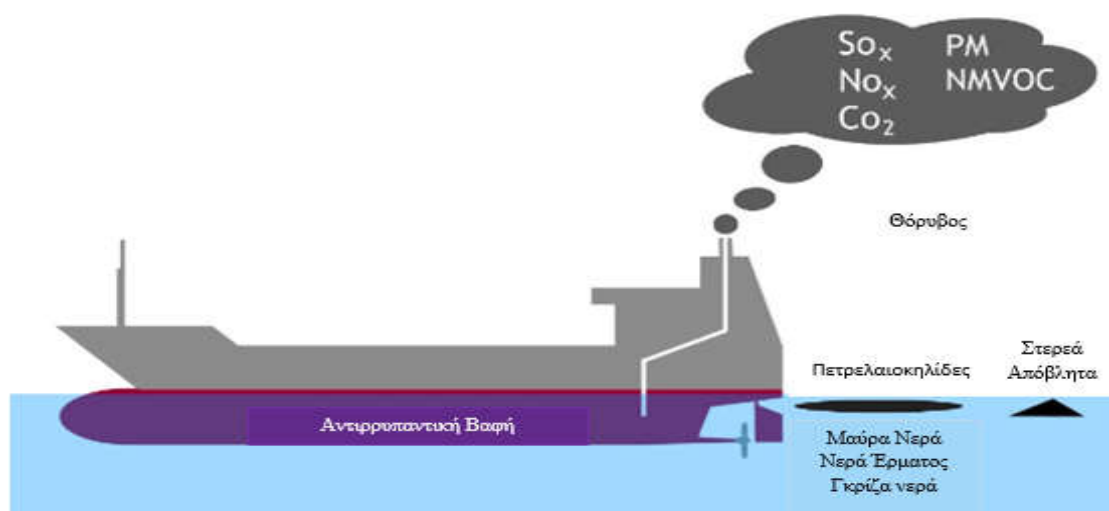
Στο ψήφισμα MEPC 323(74), ο IMO προέτρεψε τις χώρες να καταβάλουν μεγαλύτερη προσοχή στις δυνατότητες μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία και τους λιμένες τους. Το ψήφισμα αυτό, ενθάρρυνε τα κράτη να προωθήσουν και να διευκολύνουν την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία στους λιμένες, με την παροχή παράκτιας ηλεκτρικής ενέργειας (κατά προτίμηση από ανανεώσιμες πηγές), τον ασφαλή και αποτελεσματικό δεξαμενισμό εναλλακτικών καυσίμων και καυσίμων που δεν εκπέμπουν άνθρακα, αναπτύσσοντας συστήματα κινητήρων για μια πιο βιώσιμη και χωρίς άνθρακα ναυτιλία και την ανάπτυξη της βελτιστοποίησης των επισκέψεων στους λιμένες. Φυσικά, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και συνάμα η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> στα λιμάνια μπορεί να συμβάλει άμεσα στη βελτίωση της αστικής βιωσιμότητας (Vakili et al., 2023).

Έτσι ο IMO αντιλαμβάνοντας το πρόβλημα της **κλιματικής αλλαγής (Βλ. Παράρτημα Α)**, αλλά και το ότι οι εκπομπές του CO<sub>2</sub> στον τομέα της ναυτιλίας παραμένουν αυξημένες, δημιούργησε έναν χάρτη έργου (**Σχήμα 1**) που περιλαμβάνει κανονισμούς και έργα από το 2011 έως το 2050, παρουσιάζοντας τρόπους με τους οποίους προσπαθεί να καταπολεμήσει το πρόβλημα ("IMO's work to cut GHG emissions from ships", 2020).



**Σχήμα 1:** Χρονοδιάγραμμα Δράσεων και Κανονισμών για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής στον τομέα της ναυτιλίας. ("IMO's work to cut GHG emissions from ships", 2020)

Ενδεικτικά στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 2**) παρουσιάζονται και οι ρύποι που εκπέμπονται από ένα πλοίο κατά την λειτουργία του.



**Σχήμα 2:** Εκπεμπόμενοι ρύποι κατά την λειτουργία του πλοίου. (Bacalja et al., 2020)

## **1.2. Ναυπηγική και περιβάλλον**

Ταυτόχρονα πέρα από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αναπτύσσονται κατά την λειτουργία των πλοίων, δεν πρέπει να παραμελούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που εμφανίζονται κατά την ναυπήγηση των πλοίων, οι οποίες δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να θεωρηθούν αμελητέες. Πρωτού όμως γίνει η ανάλυση αυτή, χρειάζεται να επεξηγηθεί πλήρως ο όρος της **Ναυπηγικής Βιομηχανίας**, όπου ουσιαστικά αυτός αποτελεί και το κύριο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς θα συζητηθεί και αργότερα στο θέμα της αξιολόγησης των υλικών που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή των πλοίων με βάση τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις.

Έτσι αρχικά ως Ναυπηγική Βιομηχανία, ορίζεται η βιομηχανία που ασχολείται με την κατασκευή ενός ολοκληρωμένου πλοίου και που συμπεριλαμβάνει την κατασκευή του περιβλήματος του, την εγκατάσταση του προωστηρίου συστήματος του (Propulsion System), εφόσον προβλέπεται, των βοηθητικών συστημάτων του και την κατασκευή και τον εξοπλισμό των κύριων και των βοηθητικών χώρων του (ΕΛΙΝΥΑΕ, 2023).

Σύμφωνα λοιπόν με τον παραπάνω ορισμό, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της ναυπηγικής βιομηχανίας καταλαβαίνουμε ότι προέρχεται από διαδικασίες που αφορούν την κατασκευή, την συντήρηση και την αποσυναρμολόγηση διάφορων πλοίων. Οι διαδικασίες αυτές θα αναλυθούν και στην συνέχεια στο κύριο μέρος της εργασίας.

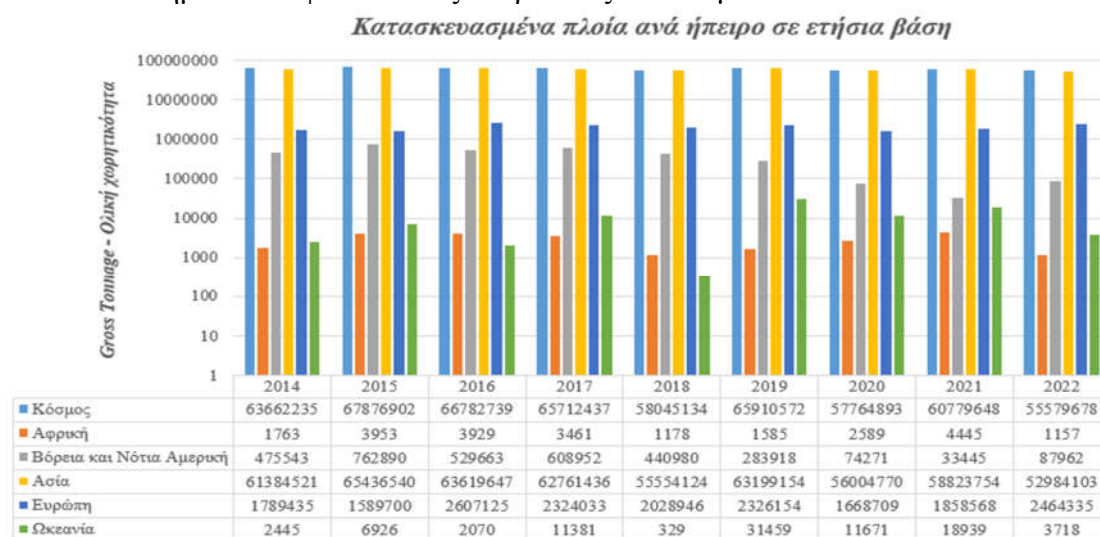
Όπως προαναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα (**Ενότητα 1.1.**), οι περισσότερες εκπομπές ρύπων από τα πλοία που επιβαρύνουν το περιβάλλον σήμερα προέρχονται κυρίως κατά την φάση της λειτουργίας τους. Αντίθετα στο τομέα της ναυπηγικής, οι διάφορες διεργασίες που συντελούνται στον ναυπηγείο κατά την κατασκευή ή την συντήρηση ή την αποσυναρμολόγηση ενός πλοίου, εκπέμπουν και αυτές με την σειρά τους τεράστιες ποσότητες ρύπων. Κάτι το οποίο οδηγεί στην ανάπτυξη περαιτέρω οικολογικών και υγειονομικών προβλημάτων.

Το χαρακτηριστικότερο πρόβλημα που δημιουργείται, είναι η είσοδος επικίνδυνων ρύπων στις υδρόβιες οδούς, στα θαλάσσια οικοσυστήματα και στις τροφικές αλυσίδες κατά την εκτέλεση των διεργασιών ναυπηγικής, όπου σε συνδυασμό με το ότι αυτές οι διεργασίες πραγματοποιούνται σε ανοιχτό περιβάλλον και ειδικότερα σε λιμένες-ναυπηγεία (Δηλαδή Παραθαλάσσιες περιοχές), οι ρύποι που παράγονται εναποτίθενται άμεσα στο έδαφος, στον αέρα και στο νερό (OECD, 2010).

Επιπροσθέτως αξίζει να τονισθεί ότι τα ίδια τα ναυπηγεία στα οποία κατασκευάζονται τα πλοία, βρίσκονται τοποθετημένα κυρίως κοντά σε αστικά κέντρα και έτσι εύκολα αντιλαμβανόμαστε την σοβαρότητα της κατάστασης, καθώς η ρύπανση της ατμοσφαιράς σε εκείνα τα σημεία μπορεί να επηρεάσει τις γειτονικές περιοχές, θέτοντας κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, τα θαλάσσια οικοσυστήματα κ.α.

Όσο επίσης προχωράνε τα χρόνια, φαίνεται ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της λειτουργίας των πλοίων ολοένα και θα μειώνονται, καθώς πια δοκιμάζονται συνεχώς η χρήση εναλλακτικών καυσίμων φιλικών προς το περιβάλλον και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται πάνω στο πλοίο, μειώνοντας έτσι σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της φάσης της λειτουργίας του. Ενώ από την αλλαγή φαίνεται ότι με την πάροδο του χρόνου οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ναυπηγικής βιομηχανίας, δηλαδή οι φάσεις της κατασκευής, της συντήρησης, της επισκευής και της αποσυναρμολόγησης του πλοίου, θα είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές της λειτουργίας του πλοίου (Vakili et al., 2023).

Ενδεικτικά, στο γράφημα που ακολουθεί (**Γράφημα 1**) παρουσιάζεται ο αριθμός των πλοίων που κατασκευάζονται ανά ήπειρο σε ετήσια βάση. Αυτό που εύκολα γίνεται αντιληπτό, είναι ότι η Ασία αποτελεί την κυρίαρχο χώρα στον τομέα της ναυπηγικής και ακριβώς μετά ακολουθεί η Ευρώπη, κάτι το οποίο φυσικά υποδεικνύει ότι με το πέρασμα των χρόνων, τόσο οι περιβαλλοντικές αλλά και οι υγειονομικές επιπτώσεις της ναυπήγησης των πλοίων εκεί, θα επηρεάσουν σοβαρά την ατμόσφαιρα, τα οικοσυστήματα και φυσικά τους ανθρώπους που διαμένουν εκεί.



**Γράφημα 1:** Κατασκευασμένα πλοία ανά ήπειρο σε ετήσια βάση. (UNCTAD, 2022)

Επομένως, κρίνονται απαραίτητες οι έρευνες που αφορούν την ανάπτυξη νέων μεθόδων κατασκευής πλοίων και σκαφών πιο φιλικών προς το περιβάλλον, την ανάπτυξη και την χρήση/επιλογή πιο φιλικών υλικών προς το περιβάλλον στις διάφορες κατασκευές του πλοίου ή του σκάφους και φυσικά οι εκπονήσεις μελετών **Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Βλ. Κεφάλαιο 3)** σε ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα των υλικών κατασκευής ενός πλοίου, έτσι ώστε να μπορούν να προσδιορίζονται σε ένα πρώιμο στάδιο, οι πιο περιβαλλοντικά επιβαρυνόμενες φάσεις της κατασκευής ενός πλοίου ή σκάφους, έτσι ώστε μέσω στοχευμένων ενεργειών να γίνει η προσπάθεια της βελτίωσής τους.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί (**Κεφάλαιο 2**) θα πραγματοποιηθεί εισαγωγή στο κομμάτι των υλικών κατασκευής πλοίων και στο κομμάτι της εξέλιξής τους με την πάροδο των χρόνων.

## **2. Υλικά κατασκευής πλοίων**

Σε συνέχεια του προηγούμενου κεφαλαίου (**Κεφάλαιο 1**), θα πραγματοποιηθεί παρουσίαση τόσο της εξέλιξης της ναυπηγικής βιομηχανίας με την πάροδο των χρόνων, όσο και παρουσίαση του κάθε υλικού ξεχωριστά που χρησιμοποιείται ανάλογα με την κατασκευή που υπάρχει στο πλοίο.

### **2.1. Η εξέλιξη της ναυπηγικής βιομηχανίας**

Η ναυπηγική βιομηχανία στις μέρες μας μπορεί να θεωρηθεί ως ένας κλάδος της βαριάς βιομηχανίας, καταλαμβάνοντας πολύ υψηλή θέση στο παγκόσμιο εμπόριο. (Mentes and Çağlayan, 2022)

Η ιστορία όμως της κατασκευής διαφόρων πλοίων πιθανολογείται να ξεκινάει από πάρα πολλά χρόνια πριν. Συγκεκριμένα, οι Αιγύπτιοι ήταν αυτοί όπου ξεκίνησαν την κατασκευή σκαφών γύρω στο 4000 π.Χ. Στην αρχή, ξεκίνησαν με την κατασκευή σκαφών από **καλάμια πάπυρου** και μετέπειτα άρχισαν να χρησιμοποιούν έντονα το **ξύλο**. Φυσικά, αυτά τα σκάφη είχαν το μειονέκτημα το ότι δεν μπορούσαν να επιχειρήσουν μεγάλων αποστάσεων ταξίδια όπως σήμερα. Μετέπειτα, κάπου στο 3000 π.Χ., οι Αυστρονήσιοι ήταν οι πρώτοι που επιχείρησαν την κατασκευή πλοίων από ξύλο, σε συνδυασμό με την χρήση διαφορετικών παστών συγκράτησης του ξύλου και την χρήση συστήματος οδήγησης του πλοίου, έτσι ώστε να μπορούν να πραγματοποιούν ταξίδια μεγαλύτερων αποστάσεων. Φυσικά, αξίζει να τονισθεί ότι μεταξύ του 7<sup>ου</sup> και του 1<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ., στον τομέα της ναυπηγικής ασχολούνταν και οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι, οι οποίοι κατασκεύαζαν με την σειρά τους πλοία αποκλειστικά από ξύλο. (Idrees, 2021)

Ιστορικά, το ξύλο είναι γνωστό και ως το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή διαφόρων πλοίων. Ένα υλικό που βρίσκεται εύκολα στη φύση και ταυτόχρονα είναι εύκολα επεξεργάσιμο, διατηρώντας έτσι την κυριαρχία του στη ναυπηγική βιομηχανία για πολλά χρόνια. (Mentes and Çağlayan, 2022)

Με το πέρασμα των χρόνων η ναυπηγική αναπτύχθηκε σταδιακά. Μετά το ξύλο, λόγω του ότι τα ξύλινα πλοία δεν μπορούσαν να ξεπεράσουν τα 80 μέτρα μήκος, αλλά και λόγω του ότι ο όγκος των πλοίων ήταν αρκετά περιορισμένος, ξεκίνησε η χρήση του **σιδήρου** για την κατασκευή διάφορων πλοίων. Όλα ξεκίνησαν με την βιομηχανική επανάσταση τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, όπου και άρχισε πλέον η χρήση του σιδήρου για την κατασκευή πλοίων κάτι το οποίο οδήγησε στο να παράγονται μεγαλύτερα σε μήκος και όγκο πλοία, με μεγάλη ανθεκτικότητα σε μεγάλα ταξίδια ("Shipbuilding", 2023). Σημείο ορόσημο αποτελεί το έτος 1830 κατά το οποίο έχουμε την «Γέννηση» της ατμομηχανής για τα πλοία, κάτι το οποίο επιτάγγυνε την χρήση του σιδήρου κατά την κατασκευή διαφόρων πλοίων που κατασκευάζονταν τότε. (Van Dokkum, 2010)

Με την εμφάνιση του **χάλυβα** (Κράμα σιδήρου-άνθρακα) κάπου στην δεκαετία του 1860, τα πλοία άρχισαν να κατασκευάζονται εξ'ολοκλήρου από αυτόν. Οι λόγοι για τους οποίους έγινε αυτό, ήταν ότι ο χάλυβας ως υλικό ήταν αρκετά ανθεκτικός μηχανικά, βαρύτερος σαν υλικό (Περίπου 30% βαρύτερος από το αλουμίνιο), εύκολα επεξεργάσιμος σε σχέση με άλλα υλικά, αρκετά ανθεκτικός στην τριβή καθώς έφερε μεγάλη αντίσταση εναντίον της και φυσικά ήταν πολύ πιο οικονομικός σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά. ("Wood to steel and beyond", 2018)

Κατά τα έτη 1853 έως και το 1858, επιτυγχάνεται ένας τεράστιος στόχος τότε για την ναυπηγική βιομηχανία με την κατασκευή του πλοίου «SS Great Eastern» στην Μεγάλη Βρετανία. Ένα πλοίο που πλησίαζε περίπου τα 200 μέτρα, κατασκευασμένο πλήρως από χάλυβα.

Από το 1875 και μετέπειτα, η διαδικασία παραγωγής του χάλυβα βελτιώθηκε σταδιακά σε αυτό που είναι σήμερα και συνάμα η χρήση του στην ναυπηγική βιομηχανία ενισχύθηκε περαιτέρω. (Van Dokkum, 2010)

Από το 1940 μέχρι και σήμερα, σχεδόν όλα τα πλοία παράγονται από συγκολλημένο χάλυβα. Κάθε κομμάτι του πλοίου, συνηθίζεται να προκατασκευάζεται σε προκαθορισμένες τοποθεσίες και μετέπειτα τοποθετούνται και δένονται μαζί σε κάποιο χώρο κάποιου ναυπηγείου. ("Shipbuilding", 2023)

Στην σύγχρονη εποχή αρκετοί κατασκευαστές πλοίων και ερευνητές, αναζητούν εναλλακτικές αντικατάστασης του χάλυβα, έτσι ώστε να ενισχύσουν την απόδοση του πλοίου, μειώνοντας ταυτόχρονα τα κόστη σε καύσιμα, τις ανάγκες συντήρησης του πλοίου και φυσικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του. ("Radical new materials in shipbuilding", 2020)

Με την ανάπτυξη της ναυπηγικής βιομηχανίας, διαφόρων ειδών υλικά άρχισαν να χρησιμοποιούνται, ενώ ταυτόχρονα άρχισαν να εφαρμόζονται και νέες μέθοδοι παραγωγής αυτών των υλικών. Οι προτιμήσεις και συνάμα οι επιλογές των υλικών στη ναυπηγική, έχουν αλλάξει με την πάροδο του χρόνου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, πρωταρχικός στόχος είναι η αύξηση της απόδοσης του πλοίου, η μείωση του κόστους των καυσίμων του, η μείωση των αναγκών συντήρησης του και η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του. Ταυτόχρονα, σημαντικό ρόλο επίσης στην επιλογή ενός υλικού, παίζουν οι μηχανικές, οι φυσικές και οι χημικές ιδιότητες τους.

Στην σημερινή εποχή, τα **κύρια υλικά** που χρησιμοποιούνται στη ναυπηγική βιομηχανία είναι τα εξής (Mentes and Çağlayan, 2022):

- **Ξύλο (Van Dokkum, 2010),**
- **Χάλυβας,**
- **Αλουμίνιο και τα κράματα του,**
- **Χαλκός και τα κράματα του (Van Dokkum, 2010),**
- **Σύνθετα υλικά.**

Στην ενότητα που θα ακολουθήσει (**Ενότητα 2.2**), θα πραγματοποιηθεί εμβάθυνση στο κομμάτι των τεσσάρων προαναφερόμενων υλικών. Πιο συγκεκριμένα θα παρουσιαστούν οι ιδιότητες τους, οι μέθοδοι παρασκευής τους αλλά και οι διαφορετικές τους χρήσεις κατά την κατασκευή ενός πλοίου.

## **2.2. Υλικά κατασκευής πλοίων**

Στην παρούσα ενότητα, όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνταν, χρησιμοποιούνται ή μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ναυπηγική βιομηχανία για την κατασκευή πλοίων διαφόρων κατηγοριών.

Στόχος αυτής της ενότητας, είναι η ανάλυση αυτών των υλικών ως προς τις ιδιότητες τους, αλλά και η ανάλυση στο πως μέσω αυτών των ιδιοτήτων, οδηγούμαστε στην τελική επιλογή του κάθε υλικού για την κατασκευή διαφορετικών τμημάτων ενός πλοίου.

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, με την είσοδο του χάλυβα ως βασικό κατασκευαστικό υλικό για τα πλοία, η χρήση του ξύλου μειώθηκε ραγδαία. Ταυτόχρονα, λόγω του ότι το αλουμίνιο είναι πολύ ελαφρύ σαν μέταλλο, σήμερα αξιοποιείται κυρίως σε υπερκατασκευές πλοίων, αλλά και στην κατασκευή σκαφών αναψυχής (Yachts). Κυρίως σε μεγάλο ποσοστό όπως θα δούμε και στην συνέχεια, τα μεταλλικά υλικά είναι αυτά τα οποία κυριαρχούν στην κατασκευή πλοίων. (Mentes and Çağlayan, 2022)

### **2.2.1. Ξύλο**

Μέχρι το τέλος του 18<sup>ου</sup> αιώνα, το ξύλο ήταν το μοναδικό υλικό που χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή διαφόρων πλοίων. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό που είχαν τα ξύλινα πλοία, ήταν ότι είχαν μεγαλύτερο χρόνο ζωής σε σχέση με τα αντίστοιχα χαλύβδινα που τα διαδέχτηκαν.

Στην σημερινή εποχή, το ξύλο εξακολουθεί να χρησιμοποιείται και να εντοπίζεται στα σύγχρονα πλοία κυρίως στα προστατευτικά καλύμματα τους, στις επικαλύψεις των καταστρωμάτων τους, στις σκάλες τους και στην εσωτερική διακόσμηση τους, ιδίως στα κρουαζιερόπλοια (Cruise-Ships).

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του ξύλου, είναι ότι ενώ υπάρχουν στην αγορά πολλά είδη «σκληρού» ξύλου που δεν σαπίζουν, οι περισσότεροι τύποι ξύλου που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή πλοίων, πρέπει να προστατεύονται από την σήψη απαραίτητα. Επιπροσθέτως, ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό που έχει το ξύλο που χρησιμοποιείται στα καταστρώματα των πλοίων, είναι ότι δεν ευνοεί την ολίσθηση και σε αντίθεση με τα μέταλλα, δεν εξασθενεί με την κόπωση που δέχεται. Εξού και γιατί πλέον σήμερα, συνηθίζεται να συναντάμε το ξύλο ως υλικό κατά κύριο λόγο στα καταστρώματα των επιβατηγών πλοίων (Ferry-type Ships). (Van Dokkum, 2010)

### **2.2.2. Χάλυβας**

Με την πάροδο των χρόνων, από τις αρχές του 1800 η κατασκευή των πλοίων εξελίχθηκε σταδιακά από την χρήση ξύλου μέσω σύνθετων κατασκευών (π.χ. Ξύλινες σανίδες πάνω σε χαλύβδινα πλαίσια), σε χρήση 100% **χάλυβα**. Οι σύνθετες κατασκευές αυτές, ήταν ένα μείγμα σιδερένιων πλαισίων και ξύλινων πλευρικών ελασμάτων και καταστρωμάτων, το οποίο επέτρεψε στους ναυπηγούς τότε να κατασκευάζουν πλοία μήκους που φτάνανε περίπου τα 90 μέτρα.



Μέχρι και σήμερα, ο χάλυβας παραμένει το πιο δημοφιλές υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή πλοίων λόγω των παρακάτω χαρακτηριστικών του (Van Dokkum, 2010):

1. Τεχνικά και Οικονομικά πλεονεκτήματα,
2. Αντοχή,
3. Συγκολλησιμότητα,
4. Επαρκής αντοχή σε ψαθυρή θραύση,
5. Χαμηλό κόστος,
6. Μεγάλη διαθεσιμότητα στην αγορά.

Ο χάλυβας που αξιοποιείται για την κατασκευή της **γάστρας (Hull)** διαφόρων πλοίων, είναι συνήθως μαλακός χάλυβας που εμπεριέχει 0,15% έως περίπου 0,23% άνθρακα και αρκετά υψηλή περιεκτικότητα σε μαγγάνιο. Τόσο το θείο, όσο και ο φώσφορος στον μαλακό χάλυβα διατηρούνται στο ελάχιστο (Λιγότερο από 0,05%). Υψηλότερες συγκεντρώσεις και των δύο στον χάλυβα, είναι επιζήμιες για τις ιδιότητες συγκόλλησης του και μπορεί να δημιουργηθούν ρωγμές κατά τη διάρκεια της αν η περιεκτικότητα σε θείο είναι υψηλή.

Ο χάλυβας για ένα πλοίο που κατατάσσεται στο Lloyd's Register, παράγεται από έναν εγκεκριμένο κατασκευαστή και η επιθεώρηση του και οι προβλεπόμενες δοκιμές του πραγματοποιούνται στο χαλυβουργείο πριν από την αποστολή του στο αντίστοιχο ναυπηγείο. Όλα τα πιστοποιημένα υλικά φέρουν τη σήμανση του εμπορικού σήματος της εταιρείας και άλλα στοιχεία όπως απαιτείται από τους κανόνες.

Οι νηογνώμονες πλοίων, είχαν αρχικά διαφορετικές προδιαγραφές για τον χάλυβα. Ωστόσο το 1959, οι μεγαλύτεροι οργανισμοί συμφώνησαν να τυποποιήσουν τις απαιτήσεις τους προκειμένου να μειώσουν τις απαιτούμενες ποιότητες χάλυβα στο ελάχιστο.

Σήμερα, υπάρχουν πέντε διαφορετικές ποιότητες χάλυβα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή εμπορικών πλοίων και τώρα συχνά αναφέρονται ως χάλυβες IACS. Οι χάλυβες αυτοί κατηγοριοποιούνται στις εξής κατηγορίες: A, B, C, D και E. Η κατηγορία A είναι ένας συνηθισμένος ήπιος χάλυβας σύμφωνα με το Lloyd's Register και χρησιμοποιείται γενικότερα στη ναυπηγική βιομηχανία. Η κατηγορία B θεωρείται καλύτερης ποιότητας από την κατηγορία A και εντοπίζεται όταν απαιτούνται παχύτερες πλάκες στις πιο κρίσιμες περιοχές του πλοίου. Και οι κατηγορίες C, D και E διαθέτουν αυξημένα χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας σε εγχοπές. (Eyres and Bruce, 2012a)

### Μέθοδοι παραγωγής χάλυβα

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, οι χάλυβες μπορούν να θεωρηθούν ως κράματα σιδήρου-άνθρακα, με το ποσοστό του άνθρακα σε αυτά να κυμαίνεται μεταξύ του 0,1% έως και 1,8%. Σε πιο μαλακούς χάλυβες, το ποσοστό του άνθρακα που εντοπίζεται στο κράμα σιδήρου-άνθρακα, κυμαίνεται περίπου στο ποσοστό του 0,1%. Σε πιο σκληρούς χάλυβες, το ίδιο ποσοστό κυμαίνεται περίπου στο 1.8%. (Eyres and Bruce, 2012a)

Ειδικότερα στην σημερινή εποχή, οι διάφοροι τύποι χάλυβα παρασκευάζονται με βάση το σίδηρο (υπό μορφή μεταλλεύματος) ή/και με θραύσματα σιδήρου (γνωστά και ως Scrap), διαμέσω μιας διαδικασίας παραγωγής χάλυβα κατά την οποία το υλικό θερμαίνεται σε θερμοκρασία που φτάνει περίπου τους 1600 °C.

Στην συνέχεια, αρχίζει η διαδικασία της διύλισης. Στο πλαίσιο της διαδικασίας αυτής, απομακρύνονται ορισμένα στοιχεία που εντοπίζονται σε αφθονία στο υλικό, όπως ο άνθρακας, το θείο και ο φώσφορος, με την μορφή της λεγόμενης «Σκωρίας».

Ανάλογα με την ποιότητα και τον τύπο του χάλυβα που απαιτείται σε κάποια κατασκευή, θα ολοκληρωθεί και η διαδικασία της διύλισης του, στο πλαίσιο μιας επιλεγμένης διαδικασίας παραγωγής χάλυβα. (Van Dokkum, 2010) Τέσσερις από τις διαδικασίες παραγωγής χαλύβων είναι επιγραμματικά οι εξής (Eyres and Bruce, 2012a):

1. Διαδικασία υψικάμινου,
2. Διαδικασία μετατροπεία τύπου Bessemer,
3. Διαδικασία ηλεκτρικής υψικάμινου,
4. Διαδικασία Οξυγόνου.

Οι διαφορές στην αντοχή, την ανθεκτικότητα, την σκληρότητα και την συγκολλησιμότητα του χάλυβα, θα επιτευχθούν με την προσθήκη συγκεκριμένων στοιχείων (Άνθρακας, Μαγγάνιο, Νικέλιο κ.α.) κατά τη διαδικασία παραγωγής του, σε συνδυασμό με την θερμική κατεργασία κατά την κατασκευή του υλικού των πλακών, των σφυρηλατημένων και των χυτών προϊόντων του. (Van Dokkum, 2010)

### Είδη χάλυβα

Ο χάλυβας που χρησιμοποιείται ως υλικό κατασκευής πλοίων, μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως εξής (Van Dokkum, 2010):

#### 1. Υλικά και Προφίλ πλακών

- Ήπιος Χάλυβας (MS – Mild Steel)
- Χάλυβας Υψηλής Αντοχής (HS – High Strength Steel)
- Χάλυβας Εξαιρετικά Υψηλής Αντοχής (EHS – Extra High Strength Steel)

#### 2. Χαλύβδινα Σφυρηλατημένα προϊόντα

Τυπικά παραδείγματα εφαρμογών χαλύβδινων σφυρηλατημένων προϊόντων, συναντώνται στους άξονες των ελίκων, στα πηδάλια και στα εξαρτήματα των κινητήρων, όπως οι στροφαλοφόροι άξονες, οι ράβδοι των εμβόλων, οι εγκάρσιες κεφαλές κ.α.

#### 3. Χαλύβδινα χυτά προϊόντα

Αντίστοιχα, τυπικά παραδείγματα εφαρμογών χαλύβδινων χυτών προϊόντων, συναντώνται στην κατασκευή πολύπλοκων διαμορφώσεων, όπως πλαίσια πρύμνης, σύνθετα εξαρτήματα πηδαλίων, άγκυρες, χυτά αντλιών κ.α.

## Ανοξειδωτοι γάλυβες

Τέλος, στην ναυπηγική συναντώνται και οι **ανοξειδωτοι γάλυβες**. Αυτοί, αποτελούν ένα κράμα γάλυβα-χρωμίου (Cr) και νικελίου (Ni) και μερικές φορές άλλων στοιχείων. Οι επιφάνειες αυτών ουσιαστικά αποτελούν ένα στρώμα εξουδετέρωσης, το οποίο είναι ένα οξειδωμένο δέρμα, το χρώμα του μετάλλου. Αυτό προστατεύει το υλικό που βρίσκεται από κάτω, από την οξείδωση. Επιπλέον, ο ανοξειδωτος γάλυβας είναι πιο ευγενής από τον συνηθισμένο γάλυβα και επομένως διαβρώνεται λιγότερο. (Van Dokkum, 2010)

### 2.2.3. Αλουμίνιο και τα κράματα του

Ένα δεύτερο υλικό το οποίο χρησιμοποιείται εκτεταμένα στην ναυπηγική, είναι το **αλουμίνιο**. Η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκε το αλουμίνιο για την κατασκευή πλοίων, ήταν το 1891 για μικρά σκάφη και το 1894 για μεγαλύτερα πλοία σε πειραματικό κυρίως επίπεδο. (Eyres and Bruce, 2012b)

Το αλουμίνιο μπορεί να θεωρηθεί έως ένα πολύ μαλακό μέταλλο, όπου με την επιλογή των σωστών στοιχείων για την δημιουργία κραμάτων, η αντοχή και η ακαμψία του μπορούν να αυξηθούν σημαντικά.

Παρόλο όμως που το αλουμίνιο δεν είναι ευγενές μέταλλο, η διάβρωση του περιορίζεται σημαντικά επειδή καλύπτεται από ένα πολύ πυκνό στρώμα οξειδίου, που προστατεύει το υπόλοιπο μέταλλο από το φαινόμενο της διάβρωσης. Στην περίπτωση όμως όπου χημικές ουσίες ή ηλεκτρικά ρεύματα αφαιρέσουν αυτό το στρώμα οξειδίου, τότε η διάβρωση του μετάλλου θα επιταχυνθεί σε μεγάλο βαθμό. Ταυτόχρονα, το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της χρήσης αλουμινίου στην ναυπηγική βιομηχανία είναι το χαμηλό του βάρος.

Φυσικά, παρά το γεγονός ότι το αλουμίνιο είναι πολύ πιο μαλακό από τον γάλυβα, είναι ταυτόχρονα πολύ πιο δύσκολο να το επεξεργαστεί κανείς. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα, είναι ότι ένα τρυπάνι μπορεί να κολλήσει πολύ εύκολα πάνω στην επιφάνεια του μετάλλου, καθιστώντας έτσι πολύ δύσκολο να λειανθεί η επιφάνεια του κατά την επεξεργασία του. Επιπρόσθετα, είναι σχεδόν αδύνατον να συγκολληθεί με τις κοινές συσκευές συγκόλλησης.

Τέλος, το αλουμίνιο στα πλοία το συναντάμε κατά κύριο λόγο στα άνω μέρη επιβατηγών πλοίων, ναρκοθηρευτικών πλοίων (Minesweeper Ships) λόγω της μη-μαγνητικής του φύσης, πλοίων υψηλής ταχύτητας και σε μη μαγνητικά μέρη διαφόρων πλοίων, όπως το τιμόνι ενός αλιευτικού σκάφους ή το περιβάλλον μιας τυπικής πυξίδας σε μεγαλύτερα πλοία. (Van Dokkum, 2010)

#### 2.2.4. Χαλκός και τα κράματα του

##### Ορείχαλκος

Ο **ορείχαλκος** αποτελεί κράμα του μέτρια ευγενούς χαλκού και του λιγότερο ευγενούς ψευδαργύρου. Το θαλασσινό νερό, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα «επιθετικό» είδος νερού, διαλύει τον ψευδάργυρο, αφήνοντας τον εναπομείναντα χαλκό πολύ πορώδη. Ως εκ τούτου, ο ορείχαλκος δεν χρησιμοποιείται ποτέ για εξαρτήματα που μπορούν να έρθουν σε τακτική επαφή με το θαλασσινό νερό. Για επαφή με γλυκό νερό και λάδι, ο ορείχαλκος είναι κατάλληλος για την χρήση του σε θηλές, θερμόμετρα, μανόμετρα και πολλές άλλες συσκευές. Επιπροσθέτως, είναι αρκετά σύνηθες, το πηδάλιο της πυξίδας του πλοίου να κατασκευάζεται από ορείχαλκο. (Van Dokkum, 2010)

##### Μπρούντζος

Ο **μπρούντζος** από την άλλη, αποτελεί κράμα του μέτρια ευγενούς χαλκού και του λιγότερο ευγενούς κασσίτερου. Ο μπρούντζος γενικότερα, θεωρείται πιο ευγενής από τον χάλυβα και μπορεί επομένως να επηρεάσει τον χάλυβα του πλοίου σε πιθανές ενώσεις των δύο υλικών. Ο μπρούντζος είναι αρκετά ανθεκτικός στο θαλασσινό νερό και επομένως τείνει να χρησιμοποιείται σε έλικες, βαλβίδες, ψυγεία και σχεδόν σε όλα τα μέρη του πλοίου που έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό. Σήμερα, η καμπάνα του πλοίου εξακολουθεί να είναι κατασκευασμένη από μπρούντζο. Όσον αφορά όμως για τις προπέλες των πλοίων, έχουν αναπτυχθεί καλύτερα κράματα. Ο μπρούντζος εξακολουθεί να εντοπίζεται στους εναλλάκτες θερμότητας και στις αντλίες που φέρει το κάθε πλοίο. (Van Dokkum, 2010)

##### Υλικά για προπέλες πλοίων

Όσον αφορά τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή προπελών, συνήθως χρησιμοποιούνται **διάφορα κράματα** τα οποία είναι **παρόμοια με τον μπρούντζο**, αλλά με μια πιο περίπλοκη σύνθεση. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις τα κράματα περιέχουν ελάχιστο ή καθόλου σίδηρο και συμπεριφέρονται ευγενέστερα από τον χάλυβα, κάτι το οποίο μπορεί να προκαλέσει την διάβρωση του σε περίπτωση ένωσης των δύο υλικών μεταξύ τους. Σε πολύ λίγες περιπτώσεις οι προπέλες τείνουν να κατασκευάζονται από **ανοξειδωτο χάλυβα**, λόγω των ιδιοτήτων που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο. Το ισχυρότερο κράμα χαλκού που χρησιμοποιείται σήμερα για την κατασκευή προπελών, είναι αυτό του χαλκού-νικελίου-αλουμινίου. (Van Dokkum, 2010)

##### Υλικά για εναλλάκτες θερμότητας

Το περίβλημα, οι σωλήνες και οι πλάκες σωληνών ενός σωληνωτού εναλλάκτη θερμότητας ενός πλοίου, είναι σχεδόν πάντα κατασκευασμένα από **χαλκό** που εμπριέχει μη σιδηρούχα κράματα. Στους πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας, οι πλάκες κατασκευάζονται εξ'ολοκλήρου από ανοξειδωτο χάλυβα ή τιτάνιο. Και στις δύο περιπτώσεις το κράμα που χρησιμοποιείται είναι ευγενέστερο από τον χάλυβα, ο οποίος μπορεί να διαβρωθεί σε πιθανές ενώσεις των δύο κραμάτων. (Van Dokkum, 2010)

### **2.2.5. Σύνθετα υλικά**

Τα **σύνθετα υλικά** συνδυάζουν 2 στοιχεία με πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους, έτσι ώστε να παρέχουν ένα υλικό με καλή δομική ικανότητα. Οι ίνες, παρέχουν την αντοχή και η μήτρα στην οποία εμπεριέχονται, συνήθως ένα πλαστικό, συγκρατεί τις ίνες στις θέσεις τους. Οι ίνες, μπορούν να τοποθετηθούν έτσι ώστε να παρέχουν κατευθυνόμενη αντοχή, ώστε ένα σύνθετο υλικό να μπορεί να προσαρμοστεί σε πολύ συγκεκριμένες δομικές απαιτήσεις.

Ένα από τα πιο γνωστά σύνθετα υλικά που υπάρχουν σήμερα, είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο αξιοποιείται στις κατασκευές κτηρίων. Για τις θαλάσσιες εφαρμογές, το **ενισχυμένο πλαστικό με ίνες γυαλιού (Glass Reinforced Polyester - GRP)**, το οποίο εισήχθη για πρώτη φορά την δεκαετία του 1950, είναι το κύριο υλικό για την κατασκευή μικρών σκαφών. (Eyres and Bruce, 2012b)

Το GRP, πρόκειται για ένα σύνθετο υλικό, το οποίο αποτελείται από υφασμένες ή τεμαχισμένες (γυάλινες) ίνες που συνδέονται μεταξύ τους με πολυεστέρα. Χρησιμοποιούνται και άλλοι συνδυασμοί ινών και συνδετικού υλικού, αλλά κυρίως για εφαρμογές υψηλότερης τεχνολογίας.

Το GRP χρησιμοποιείται κυρίως για εξαρτήματα όπου το βάρος ή οι μη διαβρωτικές ιδιότητες του υλικού είναι σημαντικές. Ταυτόχρονα με την χρήση καλουπιού καθίσταται δυνατή η κατασκευή πολύπλοκων σχημάτων. Παρόλα αυτά λόγω της αυξημένης τιμής τους, τα προϊόντα GRP είναι συνήθως τυποποιημένα εξαρτήματα που παράγονται σε μεγάλες σειρές, όπως σωληνώσεις, στεγανές πόρτες κλπ. Ακόμη και ολόκληρες γάστρες μικρότερων πλοίων (Π.χ. Σωσίβιες λέμβοι, Ταχύπλοα σκάφη, σκάφη αναψυχής, ναρκοθηρευτικά πλοία) κατασκευάζονται από GRP. (Van Dokkum, 2010) Το GRP γενικά μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το πιο επιεικές από όλα τα κατασκευαστικά μέσα. Φυσικά, μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα λόγω κακής τεχνικής κατασκευής, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε δαπανηρές επισκευές. Ωστόσο, τα καλά κατασκευασμένα σκάφη από GRP μπορούν να εξακολουθούν να είναι λειτουργικά μετά από 50 χρόνια λειτουργίας. (Eyres and Bruce, 2012b)

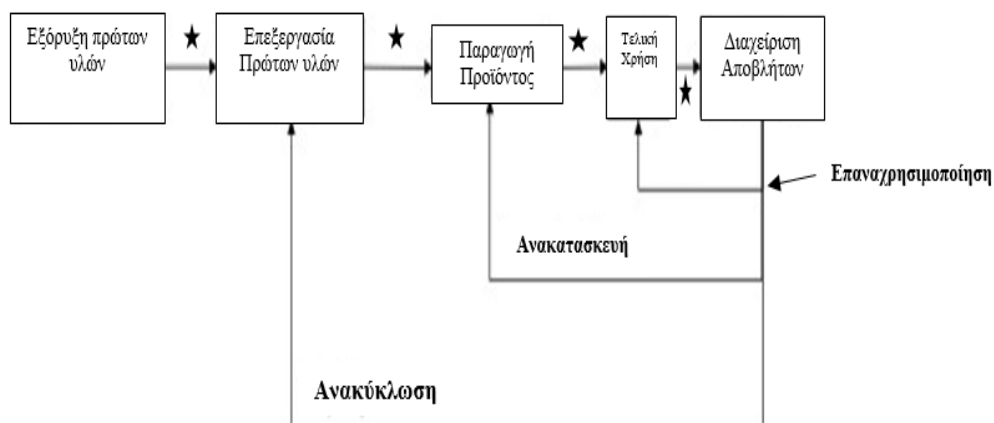
Σε ένα γενικότερο επίπεδο, τα σύνθετα υλικά δεν είναι ευαίσθητα στη διάβρωση. Ωστόσο η υπερϊώδης ακτινοβολία του ηλιακού φωτός και η γήρανση μπορούν να υποβαθμίσουν τις ενώσεις των υλικών αυτών. Επίσης, είναι μη μαγνητικά και δεν μπορούν να συγκολληθούν. Στην κατασκευή σκαφών αναψυχής (Yachts) τα σύνθετα υλικά τείνουν να χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά. Στα μεγαλύτερα πλοία χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για τα συστήματα σωληνώσεων, λόγω της αδυναμίας τους να μεταφέρουν τον ηλεκτρισμό και της αναισθησίας τους στη διάβρωση.

Σήμερα, οι μπογίες θεωρούνται επίσης σε ένα μεγάλο βαθμό συνθετικά υλικά. Τα σχοινιά δεν κατασκευάζονται πλέον από μανίλια, αλλά από πολλές συνθετικές ίνες. Τα σύνθετα υλικά είναι σε ορισμένες περιπτώσεις εύφλεκτα, αλλά πάντα αποδυναμώνονται από την πρόσδοση θερμότητας σε αυτά περισσότερο από ό,τι τα μέταλλα. Τα μέταλλα όπως ο σίδηρος και το αλουμίνιο, μπορούν να καούν σαν πυρσοί και δεν μπορούν να σβήσουν εύκολα, κάτι το οποίο όμως δεν είναι ανησυχητικό καθώς τα μέταλλα δεν μπορούν να πάρουν φωτιά τόσο εύκολα. (Van Dokkum, 2010)

### 3. Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ)

Παραδοσιακά, τα περισσότερα προϊόντα σχεδιάζονταν και κατασκευάζονταν, χωρίς ποτέ να λαμβάνονταν υπόψη οι διάφορες αρνητικές επιπτώσεις που επιφέρουν στο περιβάλλον σε όλα τα στάδια της εφοδιαστικής τους αλυσίδας. Κατά βάση, οι παράγοντες που λαμβάνονταν υπόψη κατά την ανάπτυξη ενός προϊόντος, ήταν παράγοντες όπως η ποιότητα του, η λειτουργικότητα του, το κόστος του κ.α. Με την πάροδο των χρόνων, καθώς τα περιβαλλοντικά προβλήματα ταλανίζουν ολοένα και περισσότερο την ανθρωπότητα, θέτοντας ταυτόχρονα την επιβίωση στον πλανήτη σε άμεσο κίνδυνο (Hsu, 2010), πολλές επιχειρήσεις και οργανισμοί αναγνώρισαν την σημαντικότητα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων τους σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής τους και έτσι ξεκίνησαν να συνυπολογίζουν αυτές τις επιπτώσεις κατά την φάση της ανάπτυξης τους.

Κάτι τέτοιο φυσικά είναι εξαιρετικά σύνθετο. Αυτό συμβαίνει καθώς ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος (**Σχήμα 3**), ξεκινάει από την στιγμή που γίνεται η εξόρυξη των πρώτων υλών του και ολοκληρώνεται με την τελική του διάθεση. (Lee and Inaba, 2004)



★: Μεταφορικές δραστηριότητες.

**Σχήμα 3:** Στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. (D’Agosto, 2019)

Για αυτόν ακριβώς λοιπόν τον λόγο, ανάπτυχθηκαν εργαλεία που είχαν ως κύριο στόχο την απλοποίηση των υπολογισμών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είτε για υλικά, είτε για προϊόντα. Μερικά από τα πιο δεδομένα εργαλεία που αναπτύχθηκαν, είναι τα παρακάτω (Finnveden and Moberg, 2005):

- **Ανάλυση Κύκλου Ζωής - AKZ (Life Cycle Assessment – LCA):** Ένα από τα πιο διαδεδομένα εργαλεία υπολογισμού περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος, από την στιγμή της εξόρυξης της πρώτης ύλης του έως και την τελική του διάθεση (Cradle-to-Grave), το οποίο και θα αναλυθεί περαιτέρω στην συνέχεια αυτής της ενότητας.

- **Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής – AKKZ (Life Cycle Costing - LCC):** Αποτελεί ένα εργαλείο που χρησιμεύει στον υπολογισμό του οικονομικού, κοινωνικού και περιβαλλοντικού κόστους ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής τους.
- **Ανάλυση Ροής Υλικών – APY (Material Flow Accounting – MFA):** Αποτελεί ένα εργαλείο που σε αυτό συμπεριλαμβάνονται πολλές διαφορετικές μέθοδοι, το οποίο εστιάζει κυρίως στην ροή των υλικών κατά την είσοδο τους σε οποιαδήποτε φάση της εφοδιαστικής αλυσίδας ενός προϊόντος. Μια από τις μεθόδους που φέρει ομοιότητες με αυτές του εργαλείου της **Ανάλυσης Κύκλου Ζωής**, είναι η μέθοδος MIPS. Αυτή αναπτύχθηκε κάπου στην δεκαετία του 1990 με 2000 και ουσιαστικά δίνει έμφαση στα υλικά που εισάγονται σε ένα σύστημα, είτε ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής τους.
- **Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων – ΕΠΕ (Environmental Impact Assessment – EIA):** Αποτελεί ένα διαδικαστικό εργαλείο που χρησιμοποιείται κυρίως για τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διαφόρων συστημάτων.
- **Στρατηγική Περιβαλλοντικής Εκτίμησης – ΣΠΕ (Strategic Environmental Assessment – SEA):** Επίσης ένα διαδικαστικό εργαλείο το οποίο όμως συνηθίζεται να χρησιμοποιείται κυρίως κατά την φάση της λήψης-αποφάσεων μιας επιχείρησης ή ενός κράτους, σε ένα πιο στρατηγικό επίπεδο. Στόχος του, είναι να βοηθήσει στην οργάνωση δράσεων, προγραμμάτων και πολιτικών για την προστασία του περιβάλλοντος.

Φυσικά, υπάρχουν και άλλα εργαλεία που αναπτύχθηκαν για την εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων προϊόντων ή υπηρεσιών πέρα από τα προαναφερόμενα, τα οποία όμως δεν αναφέρονται σε αυτήν την εργασία. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, το εργαλείο με το οποίο θα ασχοληθούμε είναι η **Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment)**.

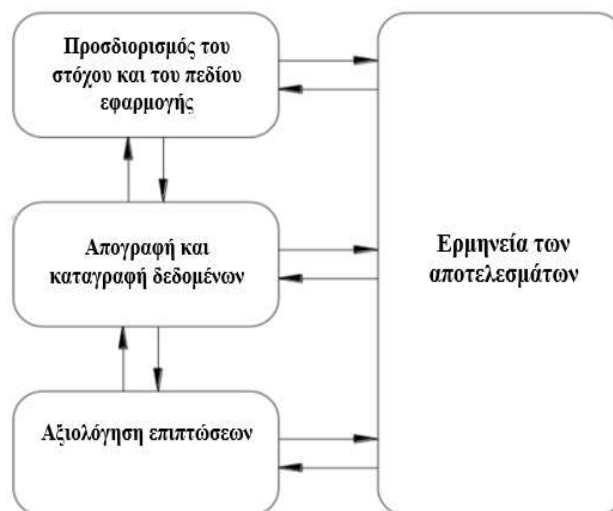
Η **Ανάλυση Κύκλου Ζωής**, είναι περισσότερο γνωστή για την ποσοτική ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος σε όλα τα στάδια του κύκλου της ζωής του. Αποτελεί ένα συστηματικό εργαλείο μέσω του οποίου κάποιος θα μπορεί να αναλύσει τα περιβαλλοντικά φορτία ενός προϊόντος, σε όλη τη διάρκεια του κύκλου της ζωής του και τις πιθανές επιπτώσεις αυτών των φορτίων στο περιβάλλον. (Lee and Inaba, 2004)

Η **Ανάλυση Κύκλου Ζωής** ως εργαλείο με βάση το πρότυπο **ISO 14040:2006**, μπορεί και προσδιορίζει αναλυτικά τις περιβαλλοντικές πτυχές και τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (π.χ. Χρήση των πόρων και περιβαλλοντικές συνέπειες των διαφόρων εκπομπών ρύπων) ενός προϊόντος σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής του από την στιγμή της εξόρυξης των πρώτων υλών του, έως την παραγωγή του, την χρήση του, την επεξεργασία του στο τέλος του κύκλου της ζωής του, την ανακύκλωση του και την τελική του διάθεση. (ISO 14040:2006, 2006)

Βάση του ίδιου προτύπου, η ΑΚΖ ως διαδικασία χωρίζεται στις παρακάτω 4 φάσεις (ISO 14040:2006, 2006):

1. **Φάση προσδιορισμού του στόχου και του πεδίου εφαρμογής της ανάλυσης (Goal and Scope Definition):** Προσδιορισμός του λόγου για τον οποίον γίνεται η ανάλυση, περιγραφή ή του προϊόντος ή της διαδικασίας που θα αναλυθεί και προσδιορισμός των ορίων του συστήματος της ανάλυσης.
2. **Φάση απογραφής και καταγραφής των δεδομένων του κύκλου ζωής (Life Cycle Inventory - LCI):** Συλλογή και καταγραφή των δεδομένων εισόδου και εξόδου του συστήματος που μελετάται. Ουσιαστικά γίνεται η καταγραφή των δεδομένων όπως η απαιτούμενη ενέργεια, οι απαιτούμενες πρώτες ύλες και φυσικά οι εκπομπές ρύπων που εξέρχονται από το σύστημα.
3. **Φάση αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής - ΑΕΚΖ (Life Cycle Impact Assessment - LCIA):** Συγκέντρωση επιπρόσθετων πληροφοριών που θα βοηθήσουν στην εκτίμηση των αποτελεσμάτων που έχουν ήδη προσδιοριστεί στην 2<sup>η</sup> φάση, έτσι ώστε να αντιληφθεί ο ερευνητής την περιβαλλοντική τους αξία.
4. **Ερμηνεία των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής (Interpretation):** Συγκέντρωση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την φάση της LCI και από την φάση της ΑΕΚΖ, με κύριο στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων, απόψεων και συμβουλών έτσι ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της ανάλυσης που προσδιορίστηκε στην αρχή της μελέτης.

Στο **Σχήμα 4** που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι 4 προαναφερόμενες φάσεις της ΑΚΖ αλλά και το πως συνδέονται αυτές μεταξύ τους.



**Σχήμα 4:** Οι τέσσερις φάσεις της ανάλυσης κύκλου ζωής. (Dong and Cai, 2019)

Στις υποενότητες που θα ακολουθήσουν (βλ. **Υποενότητες 3.1, 3.2, 3.3, 3.4**), θα εξεταστούν αναλυτικότερα οι 4 φάσεις στις οποίες χωρίζεται μια ολοκληρωμένη ΑΚΖ. Πριν από αυτό όμως, θα παρουσιαστούν ορισμένα από τα πλεονεκτήματα, αλλά και ορισμένα από τα μειονεκτήματα που εμφανίζονται κατά την χρήση του εργαλείου της ΑΚΖ για διάφορες μελέτες.



Ορισμένα από τα **πλεονεκτήματα** της χρήσης του εργαλείου της AKZ είναι τα εξής (Burman et al., 2016):

- Δεδομένου ότι η AKZ εξετάζει ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, κάθε διαδικασία και κάθε ροή ενέργειας λαμβάνεται υπόψη. Κάτι τέτοιο αποκαλύπτει τις προγενέστερες και μεταγενέστερες υλικές και ενεργειακές ροές, που διαφορετικά θα μπορούσαν να είχαν παραμείνει κρυφές.
- Επιπλέον, παρέχεται μια βάση για την λήψη αποφάσεων και μπορεί να δημιουργήσει νέες ιδέες για αλλαγές που οδηγούν στην ίδια λειτουργικότητα ενός προϊόντος, αλλά με λιγότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο.
- Επίσης, το αποτέλεσμα μιας AKZ μπορεί να ξεκαθαρίσει πλήρως διάφορες περιβαλλοντικές διαμάχες.
- Ταυτόχρονα η AKZ, μπορεί να αποτελέσει την βάση για τη δημιουργία κατάλληλων κανόνων για την ανάπτυξη περιβαλλοντικά προσαρμοσμένων προϊόντων, όπως για παράδειγμα τον καθορισμό περιβαλλοντικών πρότυπων απαιτήσεων κατά την κατασκευή ενός προϊόντος.
- Τέλος, κατά την χρήση της AKZ οι μελετητές θα μπορούν να λάβουν περισσότερες γνώσεις σχετικά με το ίδιο το προϊόν ή την παραγωγική διαδικασία σε συζητήσεις με πελάτες και άλλα ενδιαφερόμενα μέρη.

Από την άλλη πλευρά, ορισμένα από τα βασικότερα **μειονεκτήματα** της AKZ είναι τα παρακάτω (Burman et al., 2016):

- Τα δεδομένα που χρειάζεται ένας μελετητής κατά την έρευνα του είναι συχνά ελλιπή ή λείπουν και η μέθοδος υπολογισμού πρέπει να βασίζεται εν μέρει σε θεωρητικούς υπολογισμούς ή σε σύντομες σειρές μετρήσεων.
- Η συλλογή των δεδομένων για την διεξαγωγή μιας AKZ απαιτεί πάρα πολύ χρόνο και απαιτεί μεγάλους πόρους, γεγονός που περιπλέκει την χρήση της στην διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων.
- Απαιτεί σημαντική εκπαίδευση για να χρησιμοποιηθεί σωστά.
- Η διενέργεια μιας AKZ ενός νέου προϊόντος είναι δύσκολη και δαπανηρή.
- Η ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων κατά την διενέργεια μιας AKZ δεν είναι πάντα ικανοποιητική, με αποτέλεσμα μια μικρή αλλαγή στα δεδομένα να μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες αποκλίσεις στα αποτελέσματα.
- Δεν υπάρχει ενιαία διεθνώς αναγνωρισμένη μέθοδος στάθμισης.

Έχοντας δει λοιπόν ορισμένα από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του εργαλείου της AKZ, στην συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα οι 4 φάσεις από τις οποίες αποτελείται μια ολοκληρωμένη AKZ οι οποίες αναφέρθηκαν συνοπτικά και παραπάνω.

### **3.1. Φάση προσδιορισμού στόχου και πεδίου εφαρμογής της ανάλυσης**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω βάσει του πρότυπου ISO 14040:2006, η 1<sup>η</sup> φάση της ΑΚΖ αναφέρεται στον **προσδιορισμό του στόχου και του πεδίου εφαρμογής της μελέτης** που εκπονείται. Στην συνέχεια αυτής της ενότητας οι όροι αυτοί θα επεξηγηθούν περαιτέρω.

#### **3.1.1. Ο στόχος της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής**

Ο **στόχος** μιας ΑΚΖ θα πρέπει να αναφέρει και να περιλαμβάνει τα εξής (ISO 14040:2006, 2006):

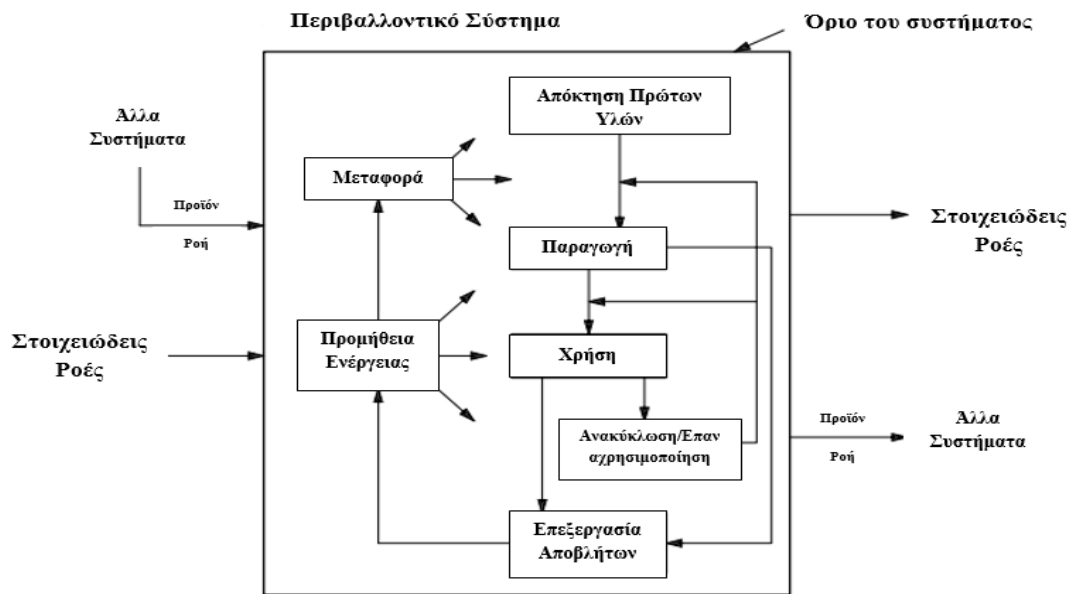
1. Την προβλεπόμενη εφαρμογή της μελέτης,
2. Τους λόγους για τους οποίους πραγματοποιείται η εκάστοτε μελέτη,
3. Το κοινό για το οποίο προορίζεται. Με λίγα λόγια σε ποιον πρόκειται να κοινοποιηθούν τα αποτελέσματα της μελέτης, έτσι ώστε να κινητοποιηθεί και να προβεί στις αντίστοιχες ενέργειες,
4. Αναφορά στο εάν τα αποτελέσματα προορίζονται να χρησιμοποιηθούν σε συγκριτικούς ισχυρισμούς που πρόκειται να γνωστοποιηθούν προς το κοινό.

#### **3.1.2. Το πεδίο εφαρμογής της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής**

Από την άλλη όσον αφορά το **πεδίο εφαρμογής** μιας ΑΚΖ, θα πρέπει να είναι επαρκώς καθορισμένο έτσι ώστε να διασφαλίζεται ότι το εύρος, το βάθος και η λεπτομέρεια της μελέτης είναι συμβατά και επαρκή για την αντιμετώπιση του δηλωθέντα στόχου. Το πεδίο εφαρμογής μιας ΑΚΖ θα πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής (ISO 14040:2006, 2006):

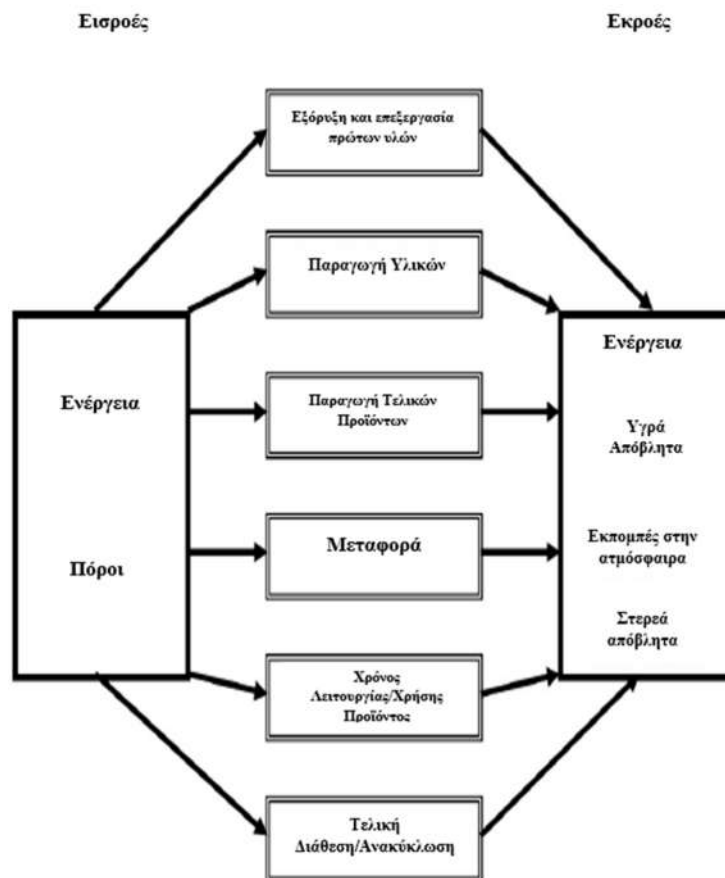
1. Το **σύστημα του προϊόντος (Παράδειγμα: Σχήμα 5)** που πρόκειται να τεθεί υπό μελέτη,
2. Τις λειτουργίες του συστήματος του προϊόντος ή στην περίπτωση συγκριτικών μελετών των συστημάτων,
3. Την λειτουργική μονάδα της μελέτης,
4. Τα όρια του συστήματος,
5. Τις διαδικασίες κατανομής,
6. Τις κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που επιλέγονται, την μεθοδολογία εκτίμησης των επιπτώσεων που επιλέγεται, καθώς και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων που θα χρησιμοποιηθεί,
7. Τις απαιτήσεις των δεδομένων για την εκπόνηση της μελέτης,
8. Τις παραδοχές της μελέτης,
9. Τους περιορισμούς της μελέτης,
10. Τις αρχικές απαιτήσεις για την ποιότητα των δεδομένων,
11. Το είδος της κριτικής αναθεώρησης, εάν υπάρχει,

Κάτι που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι η ΑΚΖ αποτελεί μια επαναληπτική τεχνική και καθώς συλλέγονται τα δεδομένα και οι πληροφορίες, διάφορες πτυχές του **πεδίου εφαρμογής** μπορεί να απαιτούν την τροποποίηση του προκειμένου να επιτευχθεί ο αρχικός στόχος της μελέτης. (ISO 14040:2006, 2006)



**Σχήμα 5:** Παράδειγμα ενός τυπικού συστήματος προϊόντος για την εκπόνηση μιας ΑΚΖ. (ISO 14040:2006, 2006)

Αντίστοιχα στο **Σχήμα 6** που ακολουθεί παρακάτω, παρουσιάζεται σχηματικά μια σύνοψη των εισροών και των εκροών ενός **συστήματος προϊόντος** κατά την εκπόνηση μιας ΑΚΖ σε μια τυπική βιομηχανία.



**Σχήμα 6:** Σύνοψη εισροών και εκροών ενός συστήματος μελέτης κατά την διαδικασία μιας ΑΚΖ σε μια τυπική βιομηχανία. (Gillani et al., 2010)

Το **Σχήμα 5** και το **Σχήμα 6** που παρατέθηκαν προηγούμενως αποτελούν κυρίως παραδείγματα, έτσι ώστε ο εκάστοτε μελετητής να μπορέσει να εξοικειωθεί με το τι ορίζεται ως σύστημα ενός προϊόντος κατά την ΑΚΖ. Είναι λογικό λοιπόν τα συστήματα αυτά να αλλάζουν ανάλογα το προϊόν που μελετάται.

### **3.1.3. Η Λειτουργία, η λειτουργική μονάδα και οι ροές αναφοράς**

Ένα σύστημα προϊόντος που τίθεται υπό μελέτη μπορεί να έχει πολλές πιθανές διαφορετικές λειτουργίες. Η **λειτουργία** ή οι **λειτουργίες** που επιλέγονται για την μελέτη, εξαρτώνται από τον **στόχο** και το **πεδίο εφαρμογής** της ΑΚΖ που έχουν προσδιοριστεί προηγουμένως.

Όσον αφορά την **λειτουργική μονάδα** ενός συστήματος μελέτης, αυτή καθορίζει την ποσοτικοποίηση των προσδιορισμένων λειτουργιών του προϊόντος. Ο πρωταρχικός σκοπός της λειτουργικής μονάδας είναι να παρέχει μια τιμή αναφοράς με την οποία οι εισροές και οι εκροές του συστήματος να σχετίζονται μαζί της. Αυτή η τιμή, καθίσταται απαραίτητη για να εξασφαλιστεί η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων μιας ΑΚΖ που εκπονείται. Αυτή η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, ειδικότερα όταν αξιολογούνται διαφορετικά συστήματα, έτσι ώστε να διασφαλίζεται ότι οι συγκρίσεις αυτές γίνονται σε μια κοινή βάση.

Τέλος όσον αφορά τις **ροές αναφοράς** ενός συστήματος μελέτης, είναι σημαντικό να καθορίζονται σε κάθε σύστημα προϊόντος, προκειμένου να εκπληρώνεται η προβλεπόμενη λειτουργία. Με λίγα λόγια πρέπει να προσδιορίζεται η ποσότητα των προϊόντων που απαιτούνται για την εκπλήρωση της εκάστοτε λειτουργίας στο εκάστοτε σύστημα. (ISO 14040:2006, 2006)

Παρακάτω θα παρουσιαστεί και ένα μικρό παράδειγμα, μέσω του οποίου θα επεξηγηθούν στην πράξη οι προαναφερόμενες έννοιες, έτσι ώστε να αφομοιωθούν πλήρως από τον μελετητή.

#### ***Παράδειγμα***

Για την **λειτουργία** του στεγνώματος χεριών, μελετώνται τόσο μια χαρτοπετσέτα όσο και ένα σύστημα στεγνωτήρα με αέρα.

Η επιλεγμένη **λειτουργική μονάδα** μπορεί να εκφραστεί και ως ο αριθμός των ζευγών των χεριών που θέλουμε να στεγνώσουμε και για τα 2 συστήματα.

Για κάθε σύστημα είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η **ροή αναφοράς**, π.χ. η μέση μάζα του χαρτιού ή ο μέσος όγκος του θερμού αέρα που απαιτείται για το στέγνωμα ενός ζεύγους χεριών αντίστοιχα.

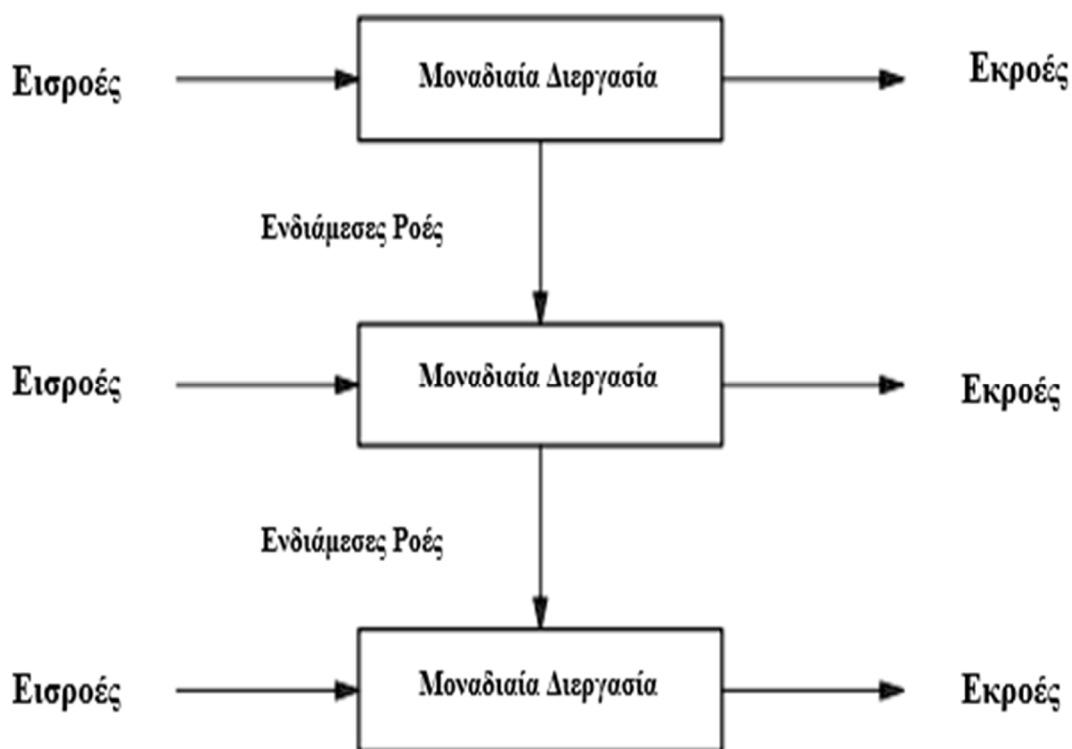
Και για τα 2 συστήματα είναι δυνατόν να καταρτιστεί ένας κατάλογος των **εισροών** και των **εκροών** με βάση τις ροές αναφοράς. Σε ένα απλουστευμένο επίπεδο, στην περίπτωση της χαρτοπετσέτας αυτό θα σχετιζόταν με το χαρτί που καταναλώνεται. Στην περίπτωση του στεγνωτήρα με αέρα αυτό θα σχετιζόταν με τη μάζα του θερμού αέρα που απαιτείται για το στέγνωμα των χεριών. (ISO 14040:2006, 2006)

### 3.1.4. Τα όρια του συστήματος

Τα όρια ενός υπό μελέτη συστήματος καθορίζουν ποιες μοναδιαίες διεργασίες θα πρέπει να συμπεριληφθούν στην ΑΚΖ. Η επιλογή αυτών των ορίων πρέπει να συνάδει με τον στόχο της μελέτης που ορίστηκε προηγουμένως. Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των ορίων αυτών, πρέπει επίσης να προσδιορίζονται και να επεξηγούνται πλήρως από τον μελετητή.

Ήδη από την αρχή της μελέτης πρέπει να λαμβάνονται αποφάσεις σχετικά με τις μοναδιαίες διεργασίες που θα συμπεριληφθούν στη μελέτη, αλλά και το επίπεδο της λεπτομέρειας στο οποίο θα μελετηθούν οι εν λόγω διεργασίες. Ταυτόχρονα, πρέπει επίσης να λαμβάνονται αποφάσεις σχετικά με το ποιες εισροές και εκροές θα συμπεριληφθούν σε κάθε μοναδιαία διεργασία (ISO 14044:2006, 2006).

Στο **Σχήμα 7** που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ενός ζεύγους μοναδιαίων διεργασιών που υπάρχουν μέσα σε ένα σύστημα προϊόντος.



**Σχήμα 7:** Παράδειγμα ενός ζεύγους μοναδιαίων διεργασιών μέσα σε ένα σύστημα προϊόντος. (ISO 14040:2006, 2006)

Κάτι το οποίο τονίζεται και στο πρότυπο ISO 14044:2006, είναι ότι η διαγραφή σταδίων του κύκλου ζωής του προϊόντος, η διαγραφή διεργασιών και η διαγραφή εισροών ή εκροών, επιτρέπεται μόνο εάν δεν επιφέρει σημαντικές μεταβολές στα συνολικά συμπεράσματα της μελέτης. Οποιαδήποτε απόφαση για την παράλειψη σταδίων του κύκλου ζωής, διεργασιών και εισροών ή εκροών πρέπει να δηλώνεται με σαφήνεια και να εξηγούνται οι λόγοι και οι επιπτώσεις της παράλειψής τους. (ISO 14044:2006, 2006)

Κατά τον καθορισμό των ορίων του συστήματος που θέλει να μελετήσει ο ερευνητής, τα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, οι μοναδιαίες διεργασίες και οι ροές που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι οι εξής (ISO 14040:2006, 2006):

1. Η απόκτηση των πρώτων υλών,
2. Οι εισροές και οι εκροές στην κύρια ακολουθία παραγωγής ή επεξεργασίας των υλικών,
3. Η διανομή ή η μεταφορά των προϊόντων,
4. Η παραγωγή και η χρήση καυσίμων, ηλεκτρισμού και θερμότητας,
5. Η χρήση και η συντήρηση των προϊόντων,
6. Η διάθεση των αποβλήτων διαφόρων διαδικασιών και προϊόντων,
7. Η ανάκτηση των χρησιμοποιημένων προϊόντων (Συμπεριλαμβανομένης της επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης και της ανάκτησης ενέργειας),
8. Η κατασκευή βοηθητικών υλικών,
9. Η κατασκευή, η συντήρηση και ο παροπλισμός του κεφαλαιουχικού εξοπλισμού,
10. Οι πρόσθετες λειτουργίες, όπως ο φωτισμός και η θέρμανση.

Ο καλύτερος και ο πιο χρήσιμος τρόπος περιγραφής του συστήματος που μελετάται και συνάμα των ορίων του, γίνεται με τη χρήση ενός διαγράμματος ροής διεργασιών που παρουσιάζει τις μοναδιαίες διεργασίες και τις μεταξύ τους σχέσεις. Κάθε μία από τις μοναδιαίες διεργασίες θα πρέπει αρχικά να περιγράφεται και μετέπειτα να καθορίζονται τα εξής:

1. Από πού ξεκινά η μοναδιαία διεργασία όσον αφορά την παραλαβή των πρώτων υλών ή των ενδιάμεσων προϊόντων,
2. Η φύση των μετασχηματισμών και των λειτουργιών που λαμβάνουν χώρα στο πλαίσιο της μοναδιαίας διεργασίας,
3. Και πού ολοκληρώνεται η μοναδιαία διεργασία όσον αφορά τον προορισμό των ενδιάμεσων ή των τελικών προϊόντων.

Ιδανικά, το σύστημα ενός προϊόντος θα πρέπει να μοντελοποιείται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε οι εισροές και οι εκροές στα όριά του να είναι στοιχειώδεις ροές και ροές προϊόντων. Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, ο προσδιορισμός των εισροών και των εκροών που πρέπει να ανιχνευθούν στο περιβάλλον, δηλαδή ο προσδιορισμός του ποιες από τις μοναδιαίες διεργασίες που παράγουν τις εισροές (ή Ποιες από τις μοναδιαίες διεργασίες που λαμβάνουν τις εκροές) πρέπει να περιλαμβάνονται στο υπό μελέτη σύστημα προϊόντων, είναι μια επαναληπτική διαδικασία. Ο αρχικός προσδιορισμός γίνεται χρησιμοποιώντας τα ήδη διαθέσιμα δεδομένα της μελέτης.

Όσον αφορά τις υλικές εισροές, η ανάλυση αρχίζει με την αρχική επιλογή των εισροών που θα μελετηθούν. Η επιλογή αυτή θα πρέπει να βασίζεται στον προσδιορισμό των εισροών που σχετίζονται με καθεμία από τις μοναδιαίες διεργασίες που πρόκειται να μοντελοποιηθούν. Αυτό, μπορεί να γίνει με δεδομένα που συλλέγονται από συγκεκριμένες τοποθεσίες ή από δημοσιευμένες επιστημονικές μελέτες. Στόχος, είναι να προσδιοριστούν οι σημαντικές εισροές που σχετίζονται με κάθε μία από τις μοναδιαίες διεργασίες.

Από την άλλη, οι ενεργειακές εισροές και εκροές πρέπει να αντιμετωπίζονται όπως κάθε άλλη εισροή και εκροή σε μια ΑΚΖ. Οι διάφοροι τύποι ενεργειακών εισροών και εκροών, περιλαμβάνουν εισροές και εκροές σχετικές με την παραγωγή και την παράδοση των καυσίμων και την ενέργεια των διεργασιών που πραγματοποιούνται στο σύστημα που μοντελοποιείται.

Τα κριτήρια αποκοπής για την αρχική συμπερίληψη των εισροών και των εκροών και οι παραδοχές βάσει των οποίων καθορίζονται τα κριτήρια αποκοπής, πρέπει να περιγράφονται με σαφήνεια. Η επίδραση στο αποτέλεσμα της μελέτης των κριτηρίων αποκοπής πρέπει επίσης να αξιολογείται και να περιγράφεται στην τελική έκθεση.

Πρακτικά, κατά την διάρκεια μιας ΑΚΖ χρησιμοποιούνται διάφορα κριτήρια αποκοπής όπως η μάζα, η ενέργεια και η περιβαλλοντική σημασία, για να αποφασιστεί ποιες εισροές πρέπει να συμπεριληφθούν στην αξιολόγηση. Ο αρχικός προσδιορισμός των εισροών με βάση μόνο το κριτήριο αποκοπής της μάζας, μπορεί να οδηγήσει στην παράλειψη σημαντικών εισροών από την εκάστοτε μελέτη. Κατά συνέπεια, η ενέργεια και η περιβαλλοντική σημασία θα πρέπει επίσης να χρησιμοποιούνται ως κριτήρια αποκοπής.

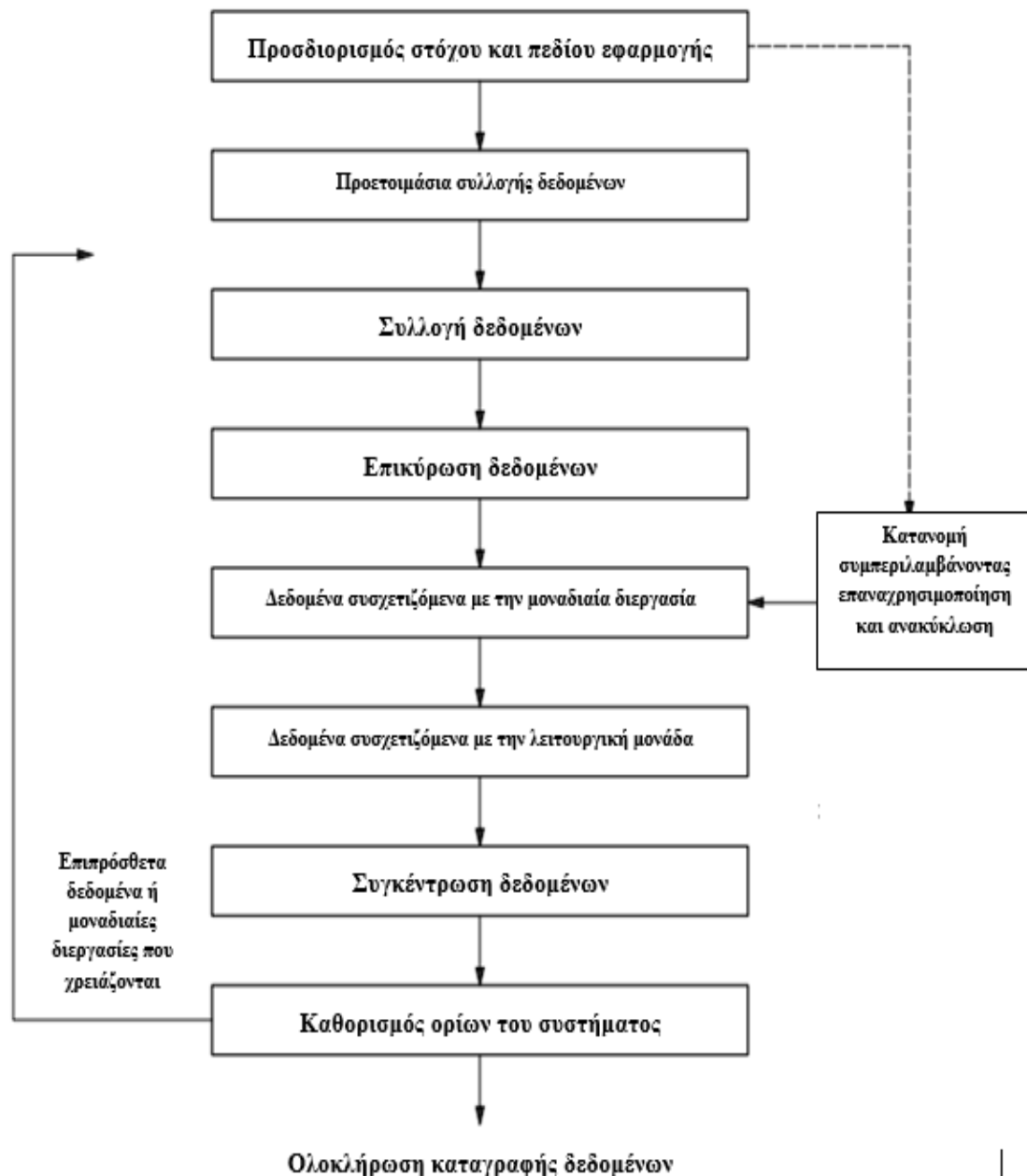
Τέλος θα πρέπει να αποφασιστεί ποια δεδομένα εισροών και εκροών πρέπει να ανιχνευθούν σε άλλα συστήματα προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων των ροών που υπόκεινται σε κατανομή. Το σύστημα θα πρέπει να περιγράφεται με επαρκή λεπτομέρεια και σαφήνεια ώστε να επιτρέπει σε έναν άλλον μελετητή, να αναπαράγει την ανάλυση απογραφής που θα παρουσιαστεί παρακάτω. (ISO 14044:2006, 2006)

### **3.2. Φάση καταγραφής και απογραφής των δεδομένων του κύκλου ζωής**

Στην συνέχεια με βάση το πρότυπο ISO 14040:2006, η 2<sup>η</sup> φάση της ΑΚΖ αναφέρεται στην **απογραφή και την καταγραφή των δεδομένων του κύκλου ζωής**. Η φάση αυτή περιλαμβάνει τις διαδικασίες συλλογής των δεδομένων και τις υπολογιστικές διαδικασίες για την ποσοτικοποίηση των σχετικών εισροών και εκροών του συστήματος της μελέτης.

Η διαδικασία της διεξαγωγής μιας απογραφής δεδομένων είναι επαναληπτική. Καθώς συλλέγονται τα δεδομένα της μελέτης και ο μελετητής αποκτά περισσότερες γνώσεις για το σύστημα που μελετάει, μπορούν να εντοπιστούν νέες απαιτήσεις δεδομένων ή περιορισμοί που απαιτούν την αλλαγή της διαδικασίας κατά την οποία πραγματοποιήθηκε η συλλογή των δεδομένων, έτσι ώστε να εξακολουθούν να επιτυγχάνονται οι στόχοι της μελέτης. Μερικές φορές, υπάρχει και η περίπτωση που μπορεί να εντοπιστούν ζητήματα που να απαιτούν να πραγματοποιηθούν αναθεωρήσεις του στόχου ή του πεδίου εφαρμογής της μελέτης. (ISO 14040:2006, 2006)

Στο **Σχήμα 8** που ακολουθεί παρακάτω, παρουσιάζονται οι απλοποιημένες διαδικασίες που ακολουθούνται κατά την διάρκεια μια ολοκληρωμένης απογραφής και καταγραφής των δεδομένων μιας ΑΚΖ.



**Σχήμα 8:** Απλοποιημένες διαδικασίες απογραφής και καταγραφής των δεδομένων μιας ΑΚΖ. (ISO 14044:2006, 2006)

### 3.2.1. Τα είδη και οι πηγές των δεδομένων

Τα **δεδομένα** που επιλέγονται για μια ΑΚΖ εξαρτώνται πάντοτε από τον στόχο και το πεδίο εφαρμογής της μελέτης. Τα δεδομένα αυτά, μπορούν να συλλεχθούν από τους τόπους παραγωγής που σχετίζονται με τις μοναδιαίες διεργασίες εντός των ορίων του συστήματος, ή μπορούν να ληφθούν ή να υπολογιστούν από άλλες πηγές όπως π.χ. επιστημονικές έρευνες. Στην πράξη, η ολοκληρωμένη λίστα των δεδομένων μπορεί να περιλαμβάνει ένα μείγμα υπολογισμένων ή εκτιμώμενων δεδομένων.



Οι εισροές μπορεί να περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων, την χρήση των ορυκτών πόρων (π.χ. Μέταλλα από μεταλλεύματα ή ανακύκλωση, Υπηρεσίες όπως η μεταφορά ή η παροχή ενέργειας και η χρήση βοηθητικών υλικών).

Όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων στον αέρα, οι εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), των οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>), των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) κ.α. πρέπει να προσδιορίζονται ξεχωριστά. Ταυτοχρόνως, οι εκπομπές στον αέρα, το νερό και το έδαφος, συνήθως λαμβάνονται από συσκευές υπολογισμού ρύπανσης και έπειτα καταγράφονται. Τέλος, δεδομένα που αφορούν τον θόρυβο, την χρήση της γής, την ραδιενέργεια, την οσμή και την απορριπτόμενη θερμότητα μπορούν να καταγράφονται και να συλλέγονται κατά αυτήν την φάση. (ISO 14044:2006, 2006)

### **3.2.2. Οι απαιτήσεις της ποιότητας των δεδομένων**

Οι **απαιτήσεις της ποιότητας των δεδομένων** προσδιορίζουν σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά των δεδομένων που απαιτούνται για την μελέτη. Οι απαιτήσεις αυτές είναι σημαντικές για την κατανόηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της μελέτης και την ορθή ερμηνεία αυτών, στο τέλος αυτής. (ISO 14040:2006, 2006) Αυτές οι απαιτήσεις θα πρέπει να εξετάζουν τις παρακάτω κατηγορίες (ISO 14044:2006, 2006):

1. Χρονική κάλυψη,
2. Γεωγραφική κάλυψη,
3. Τεχνολογική κάλυψη,
4. Ακρίβεια,
5. Πληρότητα,
6. Αντιπροσωπευτικότητα,
7. Συνοχή,
8. Επαναληψιμότητα,
9. Πηγές των δεδομένων,
10. Αβεβαιότητα των πληροφοριών.

### **3.2.3. Συλλογή των δεδομένων**

Στο κομμάτι της **συλλογής των δεδομένων** της μελέτης, τα δεδομένα για κάθε μοναδιαία διεργασία εντός των ορίων του συστήματος μπορούν να ταξινομηθούν σε κύριες κατηγορίες όπως οι παρακάτω:

1. Ενεργειακές εισροές, εισροές πρώτων υλών, βοηθητικές εισροές, άλλες φυσικές εισροές,
2. Προϊόντα, συμπαράγωγα και απόβλητα,
3. Εκπομπές στον αέρα, απορρίψεις στο νερό και στο έδαφος,
4. Άλλες περιβαλλοντικές πτυχές.

Ταυτόχρονα, επισημαίνεται ότι οι πρακτικοί περιορισμοί κατά την φάση της συλλογής των δεδομένων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο πεδίο εφαρμογής της μελέτης και να τεκμηριώνονται ορθώς στην τελική έκθεση του ερευνητή. (ISO 14040:2006, 2006)

### **3.2.4. Υπολογισμός των δεδομένων**

Μετά την συλλογή των δεδομένων ακολουθούν οι διαδικασίες των **υπολογισμών των δεδομένων**, συμπεριλαμβανομένων της **επικύρωσης** τους, της **συσχέτισης τους με τις μοναδιαίες διεργασίες** και της **συσχέτισης τους με τις ροές αναφοράς της λειτουργικής μονάδας**. Όλες αυτές οι διαδικασίες, απαιτούνται για τη δημιουργία των αποτελεσμάτων της απογραφής του καθορισμένου συστήματος για κάθε μοναδιαία διεργασία και για την καθορισμένη λειτουργική μονάδα του συστήματος προϊόντων που πρόκειται να μοντελοποιηθεί.

Σημειώνεται ότι για τον υπολογισμό των ενεργειακών ροών, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα διάφορα καύσιμα και οι διάφορες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται, η αποδοτικότητα της μετατροπής και της διανομής της ροής ενέργειας, καθώς και οι εισροές και εκροές που σχετίζονται με την παραγωγή και την χρήση της εν λόγω ροής ενέργειας. (ISO 14040:2006, 2006)

### **3.2.5. Κατανομή των ροών και των εκλύσεων**

Τέλος όσον αφορά την διαδικασία της **κατανομής των ροών και των εκλύσεων**, αυτή πραγματοποιείται καθώς ελάχιστες βιομηχανικές διεργασίες αποδίδουν μία μόνο έξοδο. Στην πραγματικότητα, οι περισσότερες βιομηχανικές διεργασίες παράγουν περισσότερα από ένα προϊόντα και ανακυκλώνουν ενδιάμεσα ή απορριπτόμενα προϊόντα ως πρώτες ύλες. Για αυτόν ακριβώς λοιπόν τον λόγο καθίσταται απαραίτητη η κατανομή των ροών και των εκλύσεων κατά την εκπόνηση μιας μελέτης ΑΚΖ.

Επιπροσθέτως θα πρέπει να εξετάζεται η ανάγκη για τις διαδικασίες της κατανομής, όταν πρόκειται για συστήματα που περιλαμβάνουν πολλαπλά προϊόντα και συστήματα ανακύκλωσης, με κυριότερο στόχο την απλοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερο της μελέτης. (ISO 14040:2006, 2006)

## **3.3. Φάση της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής**

Έπειτα με βάση το πρότυπο ISO 14040:2006, η **3<sup>η</sup> φάση** μιας ΑΚΖ είναι αυτή της **αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (ΑΕΚΖ)**. Αυτή αποσκοπεί στην αξιολόγηση της σημασίας των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των πιθανών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, που μπορεί να υπάρχουν σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής ενός προϊόντος μέσω της χρήσης των αποτελεσμάτων από την φάση της απογραφής και της καταγραφής των δεδομένων. Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την συσχέτιση των καταγεγραμμένων δεδομένων με συγκεκριμένες κατηγορίες επιπτώσεων, επιχειρώντας έτσι ο ερευνητής να συνηδαιοποιήσει την περιβαλλοντική αξία των αποτελεσμάτων αυτής της φάσης. Ταυτόχρονα, παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την φάση της ερμηνείας των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής που θα αναπτυχθεί σε παρακάτω υποενότητα.

Επιπροσθέτως μπορεί να περιλαμβάνει και την επαναληπτική διαδικασία επανεξέτασης του στόχου και του πεδίου εφαρμογής μιας μελέτης ΑΚΖ, έτσι ώστε να διαπιστωθεί το εάν οι στόχοι της μελέτης έχουν επιτευχθεί ή για να τροποποιηθεί ο στόχος και το πεδίο εφαρμογής της.

Τέλος, ζητήματα όπως η επιλογή, η μοντελοποίηση και η αξιολόγηση των κατηγοριών των επιπτώσεων μπορούν να εισάγουν υποκειμενικότητα στην φάση της ΑΕΚΖ. Ως εκ τούτου, η διαφάνεια των δεδομένων κρίνεται απαραίτητη για την αξιολόγηση των επιπτώσεων, έτσι ώστε να διασφαλίζεται ότι οι παραδοχές αναφέρονται και περιγράφονται με έναν σαφή τρόπο στην τελική έκθεση του μελετητή. (ISO 14040:2006, 2006)

### **3.3.1. Στοιχεία της ΑΕΚΖ**

Ο διαχωρισμός της φάσης της ΑΕΚΖ σε διαφορετικά στοιχεία, είναι χρήσιμος και αναγκαίος για διάφορους λόγους οι οποίοι δεν αναλύονται στην παρούσα εργασία. Γενικότερα με βάση το πρότυπο ISO 14040:2006, τα στοιχεία μιας ΑΕΚΖ χωρίζονται σε 2 διαφορετικές κατηγορίες. Στην κατηγορία των **υποχρεωτικών στοιχείων** και στην κατηγορία των **προαιρετικών στοιχείων**. Τόσο τα υποχρεωτικά, όσο και τα προαιρετικά στοιχεία θα αναλυθούν περαιτέρω παρακάτω.

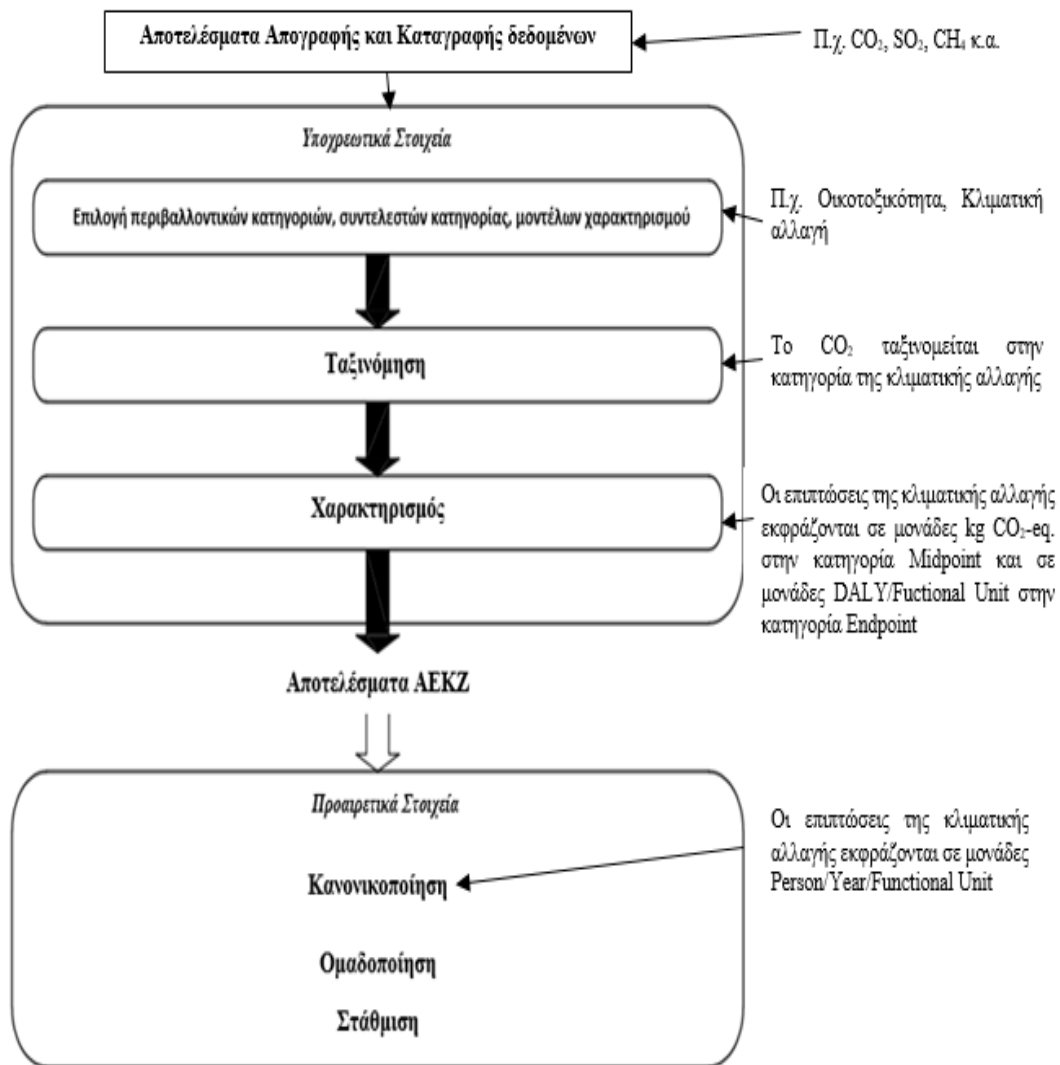
Συνοπτικά στα **υποχρεωτικά στοιχεία** της φάσης της ΑΕΚΖ έχουμε τα εξής:

1. Επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων, των συντελεστών της κάθε κατηγορίας και των μοντέλων χαρακτηρισμού,
2. Ταξινόμηση,
3. Χαρακτηρισμός.

Ενώ στα **προαιρετικά στοιχεία** της φάσης της ΑΕΚΖ έχουμε τα εξής:

1. Κανονικοποίηση,
2. Ομαδοποίηση,
3. Στάθμιση.

Στο **Σχήμα 9** που ακολουθεί παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία που συμπεριλαμβάνονται στην φάση της ΑΕΚΖ, με την σειρά με την οποία πρέπει να εκτελούνται.



**Σχήμα 9:** Στοιχεία/Βήματα της φάσης της ΑΕΚΖ. (Guinée, 2015; ISO 14040:2006, 2006)

### 3.3.2. Περιορισμοί της ΑΕΚΖ

Πρωτού όμως αναλυθούν τα στοιχεία της ΑΕΚΖ που παρατέθηκαν παραπάνω, αξίζουν να αναφερθούν οι περιορισμοί μιας ΑΕΚΖ. Πιο συγκεκριμένα η ΑΕΚΖ εξετάζει μόνο τα περιβαλλοντικά ζητήματα που καθορίζονται στο στόχο και το πεδίο εφαρμογής της εκάστοτε μελέτης. Ως εκ τούτου, η ΑΕΚΖ δεν εξετάζει την πλήρη αξιολόγηση όλων των περιβαλλοντικών ζητημάτων του υπό μελέτη συστήματος προϊόντων.

Επιπλέον, η έλλειψη χωρικών και χρονικών διαστάσεων στα αποτελέσματα της απογραφής των δεδομένων, εισάγει αβεβαιότητα στα αποτελέσματα της ΑΕΚΖ. Η αβεβαιότητα αυτή ποικίλλει ανάλογα με τα χωρικά και τα χρονικά χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας επιπτώσεων.

Τέλος, δεν υπάρχουν γενικά αποδεκτές μεθοδολογίες για την συνεπή και την ακριβή συσχέτιση των δεδομένων της 2<sup>ης</sup> φάσης με συγκεκριμένες κατηγορίες επιπτώσεων, καθώς τα μοντέλα για τις κατηγορίες των επιπτώσεων βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης. (ISO 14040:2006, 2006)

### **3.3.3. Υποχρεωτικά στοιχεία της ΑΕΚΖ**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τα **υποχρεωτικά στοιχεία** της ΑΕΚΖ είναι τα εξής:

1. Επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων, των συντελεστών της κάθε κατηγορίας και των μοντέλων χαρακτηρισμού,
2. Ταξινόμηση,
3. Χαρακτηρισμός.

Στην παρούσα υποενότητα θα αναλυθούν περαιτέρω τα στοιχεία αυτά.

#### **Επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων, των συντελεστών της κάθε κατηγορίας και των μοντέλων χαρακτηρισμού**

Κάθε φορά που επιλέγονται οι κατηγορίες επιπτώσεων, οι συντελεστές των κατηγοριών και τα μοντέλα χαρακτηρισμού σε μια ΑΚΖ, θα πρέπει να αναφέρονται οι σχετικές πληροφορίες και οι πηγές από όπου αντλήθηκαν. Αυτό ισχύει επίσης όταν δημιουργούνται νέες κατηγορίες επιπτώσεων, νέοι συντελεστές κατηγορίας ή νέα μοντέλα χαρακτηρισμού.

Ταυτόχρονα η επιλογή όλων αυτών πρέπει αιτιολογείται ορθώς και να είναι συνεπής με τον στόχο και το πεδίο εφαρμογής της ΑΚΖ. Φυσικά, πρέπει αντικατοπτρίζει ένα ολοκληρωμένο σύνολο περιβαλλοντικών και υγειονομικών ζητημάτων που σχετίζονται με το σύστημα του προϊόντος που μελετάται, λαμβάνοντας υπόψη τον στόχο και το πεδίο εφαρμογής της μελέτης.

Ο περιβαλλοντικός μηχανισμός και το μοντέλο χαρακτηρισμού που συσχετίζουν τα αποτελέσματα της 2<sup>ης</sup> φάσης της ΑΚΖ με τον αντίστοιχο συντελεστή της κατηγορίας μιας επίπτωσης και παρέχουν μια βάση για τους συντελεστές χαρακτηρισμού, πρέπει να περιγράφονται αναλυτικά κατά την μελέτη.

Για τις περισσότερες μελέτες ΑΚΖ οι υπάρχουσες κατηγορίες επιπτώσεων, οι συντελεστές της κάθε κατηγορίας ή τα μοντέλα χαρακτηρισμού επιλέγονται ξεχωριστά. Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις, υφιστάμενες κατηγορίες επιπτώσεων, συντελεστές κατηγοριών ή μοντέλα χαρακτηρισμού δεν επαρκούν για την εκπλήρωση του καθορισμένου στόχου και του πεδίου εφαρμογής της ΑΚΖ και έτσι πρέπει να καθοριστούν από την αρχή καινούργιες. (ISO 14044:2006, 2006)

#### **Ταξινόμηση**

Ως **ταξινόμηση** ορίζεται η τοποθέτηση όλων των αποτελεσμάτων της 2<sup>ης</sup> φάσης μιας ΑΚΖ σε διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων, με βάση τις αντίστοιχες επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. (Ρουμελιώτη, 2013)

Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα εκτός και εάν απαιτείται διαφορετικά από τον στόχο και το πεδίο εφαρμογής της ΑΚΖ (ISO 14044:2006, 2006):

1. Τοποθέτηση των αποτελεσμάτων της φάσης καταγραφής των δεδομένων που αφορούν αποκλειστικά μια κατηγορία επιπτώσεων,
2. Προσδιορισμός των αποτελεσμάτων της φάσης καταγραφής των δεδομένων, που αφορούν περισσότερες από μία κατηγορίες επιπτώσεων συμπεριλαμβανομένων:
  - a) Διάκριση μεταξύ παράλληλων μηχανισμών (π.χ. Το SO<sub>2</sub> κατανέμεται μεταξύ των κατηγοριών επιπτώσεων της ανθρώπινης υγείας και της οξίνισης),
  - b) Κατανομή σε σειριακούς μηχανισμούς (π.χ. τα NO<sub>x</sub> μπορούν να ταξινομηθούν ώστε να συμβάλλουν τόσο στον επίγειο σχηματισμό όζοντος όσο και στην οξίνιση).

### Χαρακτηρισμός

Ο **χαρακτηρισμός** περιλαμβάνει την μετατροπή των αποτελεσμάτων της 2<sup>ης</sup> φάσης μιας ΑΚΖ σε κοινές μονάδες και τη συνάθροιση των μετατρεπόμενων αποτελεσμάτων εντός της ίδιας κατηγορίας επιπτώσεων. Η μετατροπή αυτή, χρησιμοποιεί συντελεστές χαρακτηρισμού και το αποτέλεσμα της αποτελεί ένα αριθμητικό αποτέλεσμα δείκτη.

Η μέθοδος του υπολογισμού των αποτελεσμάτων αυτών προσδιορίζεται και τεκμηριώνεται αναλυτικά, συμπεριλαμβανομένων των επιλογών των τιμών και των παραδοχών που χρησιμοποιήθηκαν.

Εάν τα αποτελέσματα της 2<sup>ης</sup> φάσης της ΑΚΖ δεν είναι διαθέσιμα ή εάν τα δεδομένα είναι ανεπαρκούς ποιότητας για την επίτευξη του στόχου και του πεδίου εφαρμογής της μελέτης, απαιτείται είτε επαναληπτική συλλογή των δεδομένων είτε προσαρμογή του στόχου και του πεδίου εφαρμογής της μελέτης.

Η χρησιμότητα των αποτελεσμάτων της φάσης του χαρακτηρισμού για έναν δεδομένο στόχο και πεδίο εφαρμογής εξαρτάται από την ακρίβεια, την εγκυρότητα και τα χαρακτηριστικά των μοντέλων και των συντελεστών χαρακτηρισμού που χρησιμοποιούνται. (ISO 14044:2006, 2006)

#### **3.3.4. Προαιρετικά στοιχεία της ΑΕΚΖ**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τα **προαιρετικά στοιχεία** της ΑΕΚΖ είναι τα εξής:

1. Κανονικοποίηση,
2. Ομαδοποίηση,
3. Στάθμιση.

Σε αυτήν την υποενότητα θα αναλυθούν περαιτέρω τα στοιχεία αυτά.

## Κανονικοποίηση

Η διαδικασία της **κανονικοποίησης** αφορά τον υπολογισμό του μεγέθους των αποτελεσμάτων σε σχέση με κάποια τιμή αναφοράς. Στόχος της είναι η καλύτερη κατανόηση του σχετικού μεγέθους για κάθε αποτέλεσμα του υπό μελέτη συστήματος. Με λίγα λόγια μέσω της κανονικοποίησης εκφράζονται οι πιθανές επιπτώσεις του συστήματος με έναν τρόπο που να μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους.

Η κανονικοποίηση στην πράξη μετασχηματίζει ουσιαστικά ένα αποτέλεσμα χαρακτηρισμού διαιρώντας το με μια επιλεγμένη τιμή αναφοράς.

Η κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων του χαρακτηρισμού μπορεί να αλλάξει τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την φάση της ΑΕΚΖ. Γενικότερα καθίσταται επιθυμητό να χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα αναφοράς για να καταδειχθεί έτσι η συνέπεια στο αποτέλεσμα των υποχρεωτικών στοιχείων της φάσης της ΑΕΚΖ. Μια ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να παρέχει επιπρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την επιλογή των δεδομένων αναφοράς. (ISO 14044:2006, 2006)

## Ομαδοποίηση

Η διαδικασία της **ομαδοποίησης** αφορά την ανάθεση των κατηγοριών επιπτώσεων σε ένα ή περισσότερα σύνολα όπως προκαθορίζονται στο στόχο και το πεδίο εφαρμογής της μελέτης. Η ομαδοποίηση αποτελεί ένα προαιρετικό στοιχείο με 2 διαφορετικές πιθανές διαδικασίες:

1. Είτε την ταξινόμηση των κατηγοριών των επιπτώσεων σε ονομαστική βάση,
2. Είτε την κατάταξη των κατηγοριών των επιπτώσεων σε μια δεδομένη ιεραρχία.

Η κατάταξη αυτή βασίζεται σε διαφορετικά άτομα, οργανισμούς και κοινωνίες που μπορεί να έχουν διαφορετικές προτιμήσεις και ως εκ τούτου, είναι πιθανό να καταλήξουν σε διαφορετικά αποτελέσματα κατάταξης με βάση τα ίδια κανονικοποιημένα ή μη αποτελέσματα. (ISO 14044:2006, 2006)

## Στάθμιση

Η διαδικασία της **στάθμισης** αφορά μια διαδικασία κατά την οποία υπολογίζεται η βαρύτητα της κάθε κατηγορίας επιπτώσεων μέσω της χρήσης ορισμένων συντελεστών στάθμισης. (Ρουμελιώτη, 2013)

Η διαδικασία αυτή αποτελεί ένα προαιρετικό στοιχείο της ΑΕΚΖ με 2 πιθανές διαδικασίες:

1. Είτε την μετατροπή των αποτελεσμάτων του χαρακτηρισμού ή των κανονικοποιημένων αποτελεσμάτων με επιλεγμένους συντελεστές στάθμισης,
2. Είτε την συγκέντρωση των αποτελεσμάτων του χαρακτηρισμού ή των κανονικοποιημένων αποτελεσμάτων σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων.

Τα βήματα που ακολουθούνται κατά την διαδικασία της στάθμισης δεν είναι επιστημονικά τεκμηριωμένα. Διαφορετικά άτομα, οργανισμοί και κοινωνίες μπορεί να έχουν διαφορετικές προτιμήσεις και ως εκ τούτου είναι πιθανό να καταλήξουν σε διαφορετικά αποτελέσματα στάθμισης με βάση τα ίδια κανονικοποιημένα ή μη αποτελέσματα.

Σε μια ΑΚΖ καθίσταται επιθυμητή η χρήση πολλών διαφορετικών συντελεστών στάθμισης και μεθόδων στάθμισης και η διεξαγωγή ανάλυση ευαισθησίας, έτσι ώστε να εκτιμηθούν οι συνέπειες στα αποτελέσματα της ΑΕΚΖ των διαφορετικών επιλογών τιμών και μεθόδων στάθμισης. Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται πριν από την στάθμιση θα πρέπει να διατίθενται μαζί με τα αποτελέσματα της στάθμισης. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται ότι:

1. Οι συμβιβασμοί και οι επιπρόσθετες πληροφορίες παραμένουν διαθέσιμες στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων και σε τρίτα πρόσωπα,
2. Οι χρήστες μπορούν να εκτιμήσουν την πλήρη έκταση και τις επιπτώσεις των αποτελεσμάτων. (ISO 14044:2006, 2006)

### **3.3.5. Μεθοδολογίες ΑΕΚΖ**

Γενικότερα με την πάροδο των χρόνων αναπτύχθηκαν συγκεκριμένες μεθοδολογίες αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής. Σε αυτές τις μεθοδολογίες παρέχονται βήματα για την εκτέλεση των διαδικασιών της αξιολόγησης αυτής, κανονισμοί, αλλά και συντελεστές χαρακτηρισμού κ.α. έτσι ώστε ο ερευνητής να εξάγει συγκεκριμένα αποτελέσματα εύκολα.

Έως και σήμερα, οι μεθοδολογίες ΑΕΚΖ που είναι διαθέσιμες είναι οι παρακάτω:

1. IMPACT 2002+ (Jolliet et al., 2003)
2. ReCiPe 2016 (M. A. J. Huijbregts et al., 2017)
3. Eco-Indicator 99 (Goedkoop and spriensma, 2001)
4. EDIP 2003 (Hauschild and Potting, 2005)
5. CML 2002 (de Bruijn et al., 2002)
6. EPS 2000 (Steen, 1999)
7. LIME3 (Inaba and Itsubo, 2018)
8. LUCAS (Toffoletto et al., 2007)
9. Ecological Scarcity 2006 (Frischknecht et al., 2009)
10. TRACI 2.0 (Bare, 2011)
11. ILCD (Hauschild et al., 2012)

Όλες οι μεθοδολογίες ΑΕΚΖ εμφανίζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, τόσο στα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ο μελέτητης, όσο και στις κατηγορίες επιπτώσεων που μελετάνε, τους συντελεστές χαρακτηρισμού τους κλπ. Στους **Πίνακες 2** και **3** που ακολουθούν παρουσιάζονται οι κατηγορίες επιπτώσεων Midpoint και Endpoint αντίστοιχα, που εμπεριέχει και μελετάει η κάθε μεθοδολογία.



**Πίνακας 2:** Λίστα Midpoint κατηγοριών επιπτώσεων ανά μεθοδολογία. (Guinée, 2015)

Midpoint categories	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Abiotic resource depletion								X			
2. Depletion of abiotic resources				X							X
3. Depletion of biotic resources				X							
4. Depletion of element reserves (element)						X					
5. Depletion of fossil reserves (coal)						X					
6. Depletion of fossil reserves (gas)						X					
7. Depletion of fossil reserves (oil)						X					
8. Depletion of mineral reserves (ore)						X					
9. Mineral extraction	X										
10. Mineral resources consumption							X				
11. Gravel									X		
12. Energy resources									X		
13. Non-renewable energy	X										
14. Fossil fuel consumption							X				
15. Fossil fuel depletion										X	
16. Resource depletion, water											X
17. Resources									X		
18. Fish and meat production capacity						X					
19. Crop production capacity						X					
20. Wood production capacity						X					
21. Forest resources consumption							X				
22. Freshwater									X		
23. Land competition				X							
24. Land occupation	X										
25. Agricultural land occupation		X									
26. Natural land transformation			X								
27. Rural land occupation		X									
28. Land use							X	X	X		X
29. Impacts of land use				X							
30. Share of species extinction [NEX]						X					
31. Loss of biodiversity				X							
32. Loss of life support functions				X							
33. Global warming/climate change	X	X		X	X		X	X	X	X	X
34. (Stratospheric) ozone (layer) depletion (destruction)	X	X		X	X		X	X	X	X	X
35. Photochemical oxidation (formation)/photochemical ozone formation/photochemical smog (formation)	X	X		X	X		X	X		X	X
36. Volatile organic compounds (NMVOCs)									X		
37. Acidification				X	X		X	X	X	X	X

Midpoint categories	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
38. Base cation capacity [H <sup>+</sup> ]						X					
39. Terrestrial acidification/nitrification	X	X									
40. Eutrophication				X			X			X	
41. Eutrophication, aquatic											X
42. Aquatic eutrophication/freshwater eutrophication	X	X			X			X			
43. Terrestrial eutrophication					X			X			X
44. Marine eutrophication		X									
45. Nitrogen (nitrate)									X		
46. Freshwater aquatic ecotoxicity				X							X
47. Groundwater emissions									X		
48. Hazardous wastes in underground landfills									X		
49. Heavy metals									X		
50. Human health cancer										X	
51. Human health criteria pollutants										X	
52. Human health non-cancer										X	
53. Human toxicity	X	X		X	X		X	X			
54. Human toxicity cancer											X
55. Human toxicity non-cancer											X
56. Particulate matter formation		X									
57. Particulate matter/respiratory inorganics											X
58. PM10 and diesel soot									X		
59. Respiratory effects	X							X			
60. Life expectancy						X					
61. Endocrine disruptors									X		
62. Soil emissions									X		
63. Surface water emissions									X		
64. Urban area air pollution							X				
65. Indoor air contamination							X				
66. Impacts of ionising radiation				X							
67. Ionising radiation, ecosystems											X
68. Ionising radiation, human health											X
69. Ionizing radiation	X	X									
70. Aquatic ecotoxicity/freshwater ecotoxicity	X	X									
71. Ecotoxicity (aquatic and terrestrial)				X	X		X	X		X	
72. Freshwater sediment ecotoxicity				X							
73. Terrestrial ecotoxicity	X	X		X							
74. Marine ecotoxicity		X		X							

Midpoint categories	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
75. Marine sediment ecotoxicity				X							
76. Malodourous air				X							
77. Malodourous water				X							
78. Carbon in bio-reactive landfills									X		
79. Casualties				X							
80. Desiccation				X							
81. Noise				X	X		X		X		
82. Plant protection products									X		
83. Production capacity for water (drinking water)						X					
84. Radioactive									X		
85. Radioactive wastes in final repositories									X		
86. Waste(s)							X		X		
87. Morbidity						X					
88. Severe morbidity and suffering						X					
89. Nuisance						X					
90. Severe nuisance						X					
91. Waste heat				X							

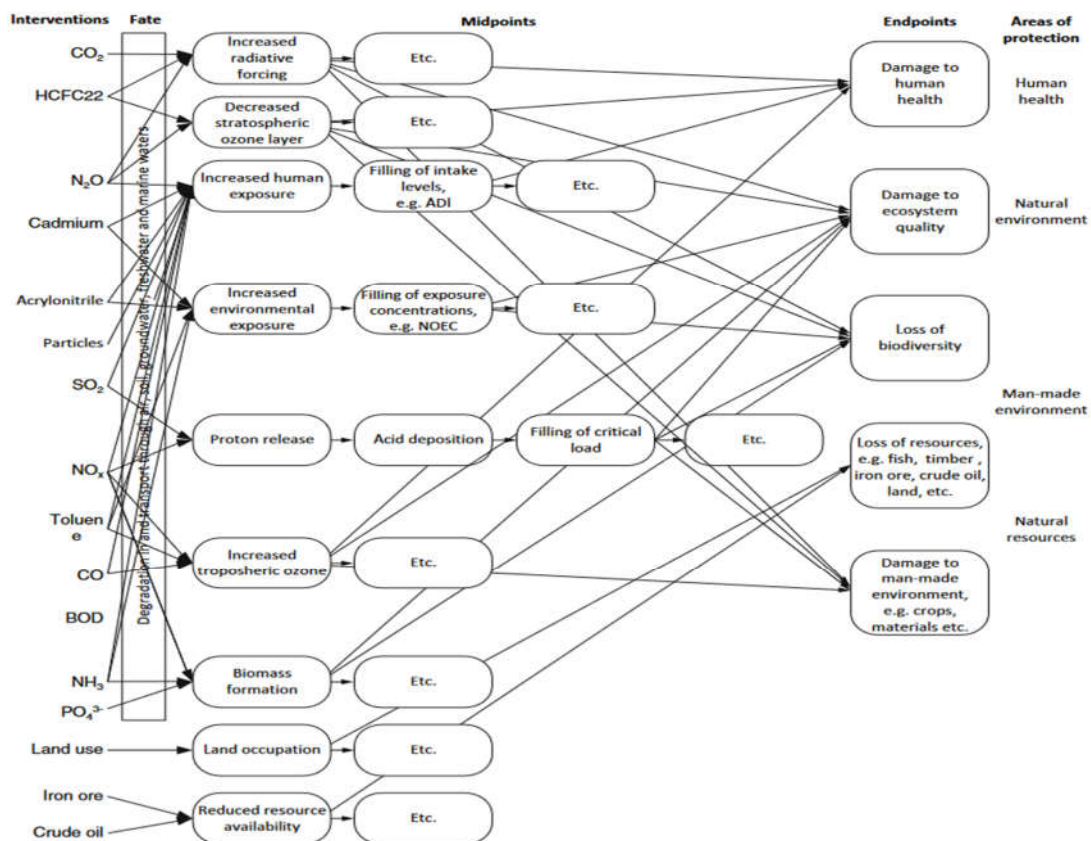
**Όπου:** 1. IMPACT 2002+, 2. ReCiPe, 3. Eco-Indicator 99, 4. CML 2002, 5. EDIP 2003, 6. EPS 2000, 7. LIME2, 8. LUCAS, 9. Ecological-Ecoscarcity 2006, 10. TRACI 2.0, 11. ILCD.

**Πίνακας 3:** Λίστα Endpoint κατηγοριών ανά μεθοδολογία. (Guinée, 2015)

Damage or endpoint categories	1	3	6	7
1. (Damage to) human health	X	X	X	
2. (Damage to) ecosystem quality	X	X		
3. Climate change (life support systems)	X			
4. Resources	X	X	X	
5. Ecosystem production			X	
6. Biodiversity			X	
7. Urban area air pollution				X
8. Global warming				X
9. Ozone layer destruction				X
10. Toxic chemicals (human toxicity)				X
11. Biological toxicity (ecotoxicity)				X
12. Acidification				X
13. Eutrophication				X
14. Photochemical oxidant				X
15. Land use				X
16. Mineral resources consumption				X
17. Fossil fuel consumption				X
18. Forest resources consumption				X
19. Indoor air contamination				X
20. Noise				X
21. Waste				X

**Όπου:** 1. IMPACT 2002+, 3. Eco-Indicator 99, 6. EPS 2000, 7. LIME2.

Στο **Σχήμα 10** που ακολουθεί παρουσιάζεται ενδεικτικά το διάγραμμα ροής μιας μεθοδολογίας ΑΕΚΖ. Κατά κύριο λόγο το διάγραμμα αυτό παρουσιάζεται έτσι ώστε να αποδοθεί σχηματικά το τι ορίζεται ως Midpoint κατηγορία και τι ορίζεται ως Endpoint κατηγορία.



**Σχήμα 10:** Σχέση των στοιχειώδων ροών με τις Midpoint και τις Endpoint κατηγορίες. (Guinée, 2015)

Περαιτέρω ανάλυση στο κομμάτι των μεθοδολογιών θα πραγματοποιηθεί στο πειραματικό μέρος της εργασίας αυτής.

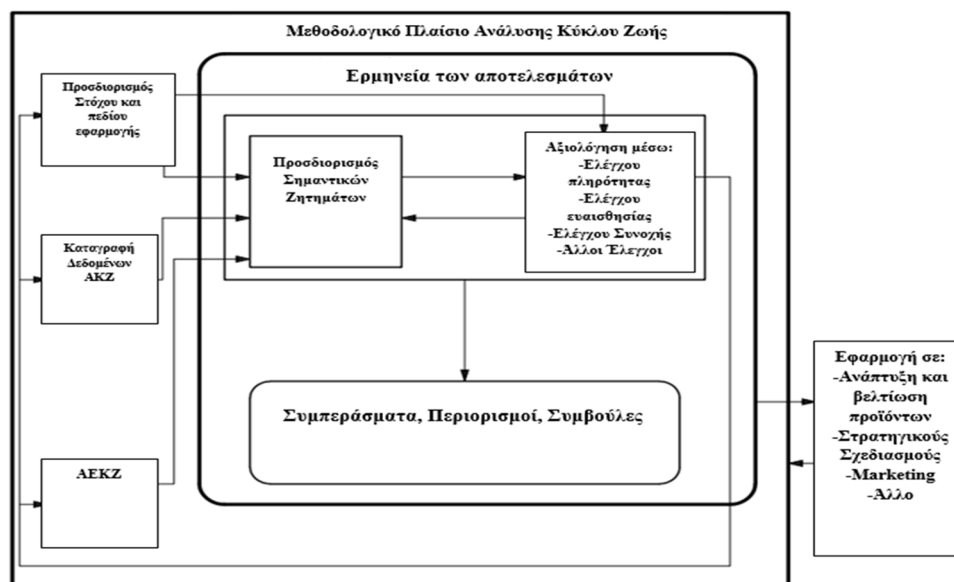
### 3.4. Φάση της ερμηνείας των αποτελεσμάτων

Τέλος, η τελευταία φάση μιας ΑΚΖ είναι αυτή της **ερμηνείας των αποτελεσμάτων**. Η συγκεκριμένη φάση αποσκοπεί στην παροχή μιας εύκολα κατανοητής, πλήρους και συνεπούς παρουσίασης των αποτελεσμάτων μιας ΑΚΖ, σύμφωνα πάντα με τον καθορισμό του στόχου και του πεδίου εφαρμογής της μελέτης. Κατά την διάρκεια αυτής της φάσης τα αποτελέσματα από την φάση της **απογραφής και καταγραφής των δεδομένων** και τα αποτελέσματα από την φάση της **ΑΕΚΖ** εξετάζονται από κοινού. Κατά την φάση αυτήν, θα πρέπει να εξάγονται αποτελέσματα που να συνάδουν με τον καθορισμένο στόχο και το καθορισμένο πεδίο εφαρμογής της μελέτης, τα οποία αποτελέσματα να καταλήγουν σε συμπεράσματα, να επεξηγούν ορισμένους περιορισμούς και να παρέχουν συμβουλές για την βελτίωση π.χ. ενός προϊόντος. Ταυτόχρονα τα αποτελέσματα της μπορούν να λάβουν την μορφή συμπερασμάτων και συστάσεων προς τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, σύμφωνα με τον στόχο και το πεδίο εφαρμογής της εκάστοτε μελέτης.

Επιπροσθέτως, θα πρέπει να αντικατοπτρίζει το γεγονός ότι τα αποτελέσματα της ΑΕΚΖ βασίζονται σε μια σχετική προσέγγιση, υποδεικνύοντας πιθανές επιπτώσεις και ότι δεν προβλέπουν τις πραγματικές επιπτώσεις στα τελικά σημεία (Endpoints) της κάθε κατηγορίας επιπτώσεων.

Τέλος, η φάση της ερμηνείας των αποτελεσμάτων μπορεί να περιλαμβάνει την επαναληπτική διαδικασία αναθεώρησης του πεδίου εφαρμογής της ΑΚΖ, όπως και της φύσης και της ποιότητας των δεδομένων που συλλέχθηκαν με τρόπο που να συνάδει με τον καθορισμένο στόχο της μελέτης. (ISO14040:2006, 2006)

Στο σχήμα που ακολουθεί (**Σχήμα 11**) παρουσιάζονται σχηματικά οι σχέσεις μεταξύ των στοιχείων της ερμηνείας των αποτελεσμάτων και της κάθε φάσης μιας ΑΚΖ.



**Σχήμα 11:** Σχέσεις μεταξύ των στοιχείων της ερμηνείας των αποτελεσμάτων και μεταξύ των φάσεων μιας ΑΚΖ. (ISO 14044:2006, 2006)

### 3.5. Λογισμικά Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Με βάση ότι προαναφέρθηκε γίνεται κατανοητό ότι η ΑΚΖ απαιτεί την διαχείριση ενός μεγάλου αριθμού δεδομένων αλλά και θεωρήσεων (Silva et al., 2017). Αυτή η παράμετρος οδήγησε στην ανάπτυξη των αντίστοιχων **λογισμικών εργαλείων (Software Tools)** για να διευκολύνουν αυτήν την διαδικασία. Στόχος κατά την ανάπτυξη αυτών των λογισμικών ήταν η διευκόλυνση, τόσο των υπολογισμών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων για το κάθε στάδιο ξεχωριστά της εφοδιαστικής αλυσίδας ενός προϊόντος, όσο και της επεξεργασίας όλων των δεδομένων που μπορεί να έχει κάποιος διαθέσιμα κατά την μελέτη του. (Unger et al., 2004)

Έως και σήμερα στην αγορά υπάρχουν πάρα πολλά διαφορετικά λογισμικά που χρησιμοποιούνται για την ΑΚΖ προϊόντων και υλικών. Η πρόσβαση σε αυτά είναι είτε επί πληρωμή, είτε δωρεάν. Κάθε λογισμικό φυσικά μπορεί να διαφέρει το ένα από το άλλο για διαφορετικούς λόγους (Dašić, 2007; Rice et al., 1997; Unger et al., 2004).

Τα κυριότερα και τα πιο διαδεδομένα λογισμικά που χρησιμοποιούνται σήμερα για την ΑΚΖ προϊόντων και υλικών και τα οποία θα αναλυθούν περαιτέρω παρακάτω είναι τα εξής (Silva et al., 2017):

- **SimaPro**
- **OpenLCA**
- **GaBi Software (Σημερινό Sphera LCA Software)**

## Συνοπτικά:

1. Το **SimaPro** αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα επι πληρωμή λογισμικά AKZ το οποίο αναπτύχθηκε από την PRé Sustainability, εταιρεία με έδρα την Ολλανδία το 1990. Έως και σήμερα χρησιμοποιείται από βιομηχανίες και ερευνητικά ινστιτούτα σε πάνω από 80 χώρες παγκοσμίως. (SimaPro, 2023)
2. Το **OpenLCA** από την άλλη αποτελεί ένα τα πιο διαδεδομένα λογισμικά και ταυτόχρονα το μοναδικό ανοιχτού κώδικα που αφορά την AKZ, τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο, το οποίο αναπτύχθηκε το 2006 από την GreenDelta στην Γερμανία. (openLCA, 2023)
3. Το **GaBi Software (Σημερινό Sphera LCA Software)** αποτελεί με την σειρά του ένα ακόμα επί πληρωμή λογισμικό που αφορά την AKZ το οποίο πλέον το διαχειρίζεται η εταιρεία Sphera, η οποία εταιρεία εδρεύει στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. (Sphera, 2023)

Στον Ελλαδικό χώρο είναι χαρακτηριστικό ότι τα λογισμικά SimaPro και OpenLCA είναι αυτά τα οποία χρησιμοποιούνται περισσότερο, είτε κατά την εκπόνηση διδακτορικών διατριβών, είτε κατά την εκπόνηση διπλωματικών και πτυχιακών εργασιών, είτε και κατά την εκπόνηση ερευνητικών δραστηριοτήτων σε διάφορους τομείς. Τα θέματα για τα οποία αξιοποιήθηκαν αυτά τα λογισμικά αφορούσαν τομείς όπως οι ξενοδοχειακές μονάδες και ο τουρισμός, τα αιολικά πάρκα, τα έξυπνα υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας, η αμπελουργία, η επεξεργασία των αστικών στερεών αποβλήτων, τα δομικά υλικά, η ναυτιλία και η ναυπηγική και φυσικά πολλοί ακόμα τομείς που λόγω της τεράστιας βιβλιογραφίας, ήταν αδύνατο να καταγραφούν. (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015; Papadopoulou and Gaitanis, 2017; Θεοδωρίδης, 2009; Μακρή, 2021; Πακτίτη, 2023; Τζεγιαννάκης, 2016; Χατζηδημητριάδης, 2021; Χατζηνικολάου, 2018) Γίνεται αντιληπτό λοιπόν ότι αυτά τα λογισμικά δύναται να αξιοποιηθούν για πάρα πολλές ερευνητικές δραστηριότητες διαφορετικής θεματολογίας. Κάτι το οποίο μελλοντικά θα βοηθήσει στην επίτευξη μιας πιο βιώσιμης περιβαλλοντικά κοινωνίας.

Αξιοσημείωτο χαρακτηρίζεται το γεγονός ότι ποσοτικά το SimaPro εντοπίστηκε να χρησιμοποιείται αρκετά περισσότερο από ότι το OpenLCA, παρόλο που το δεύτερο αποτελεί λογισμικό ανοιχτού κώδικα.

Γενικότερα πλέον τα λογισμικά ανοιχτού κώδικα έχουν κυριαρχήσει σε αρκετές βιομηχανίες έως και σήμερα (Karitsaki et al., 2022). Οι λόγοι για τους οποίους έχουν κυριαρχήσει, είναι το μειωμένο κόστος τους, η αυξημένη ασφάλεια τους, η διαλειτουργικότητα τους και η σταδιακή ανάπτυξη των συστημάτων τους. Ταυτόχρονα, το μηδενικό κόστος αδειών αλλά και η μεγαλύτερη ευκολία επικοινωνίας με τους προγραμματιστές παρόμοιων λογισμικών, μπορούν να βοηθήσουν και στην ανάπτυξη τοπικών λογισμικών έτσι ώστε να προαχθεί και η επιχειρηματικότητα τοπικά. Φυσικά μια τέτοια ανάπτυξη θα βοηθήσει και τους οικονομικά αδύναμους οργανισμούς και χώρες, οι οποίοι συνήθως λόγω έλλειψης πόρων καταφεύγουν σε λύσεις «ηλεκτρονικής πειρατείας» για την απόκτηση ορισμένων επί πληρωμή λογισμικών. (Silva et al., 2023)



Φυσικά για να επιτύχει ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα, προϋποθέτει την ενεργή συμμετοχή της κοινότητας που το χρησιμοποιεί, έτσι ώστε οι εθελοντές προγραμματιστές που αναπτύσσουν παρόμοια προγράμματα να μπορούν να το βελτιώσουν, με σκοπό το λογισμικό τους να καταστεί ανταγωνιστικό έναντι των αντίστοιχων επί πληρωμή λογισμικών της ίδιας κατηγορίας. (Gharanchi et al., 2014)

Από την άλλη, σε παγκόσμιο επίπεδο μετά από εκτενή έρευνα παρατηρήθηκε ότι πολλές έρευνες AKZ, διαφορετικής θεματολογίας, εκτελούνται με την βοήθεια των λογισμικών GaBi Software (Σημερινό Sphera LCA Software) και SimaPro. Παραδείγματος χάριν, πολλές έρευνες AKZ που αφορούν την ναυτιλία και την ναυπηγική, τομείς δηλαδή με τους οποίους ασχολείται και η παρούσα εργασία, εκτελέστηκαν με την βοήθεια των άνωθεν λογισμικών. (Dong and Cai, 2019, 2020; Quang et al., 2020, 2021; Tuan and Wei, 2019)

Επιπρόσθετα στην αγορά είναι διαθέσιμα και ορισμένα λογισμικά τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως σε πιο απλουστευμένους κύκλους ζωής. Κάποια από αυτά επιγραμματικά είναι τα εξής:

- **ArtoACV**: Online Λογισμικό σχεδιασμένο από την εταιρεία ArtoGreen.
- **Bilan Produit**: Online Λογισμικό σχεδιασμένο από την εταιρεία ADEME.
- **Ecodesign Studio**: Online Πλατφόρμα που επιτρέπει περιβαλλοντικές αναλύσεις σχεδιασμένα από την εταιρεία Altermaker. (Pongérard et al., 2022)

Φυσικά όπως είναι λογικό πέρα από τα προαναφερόμενα λογισμικά, υπάρχουν διαθέσιμα στην αγορά περίπου ακόμη 29 διαφορετικά λογισμικά (ecoinvent, 2020).

## 1. SimaPro

Το **SimaPro** θεωρείται έως και σήμερα ένα από τα πιο διαδεδομένα λογισμικά AKZ που χρησιμοποιείται για την εκπόνηση ερευνών και ακαδημαϊκών εργασιών παγκοσμίως. Αυτό αναπτύχθηκε από την PRé Sustainability, εταιρεία με έδρα την Ολλανδία το 1990. Το εμπορικό λογότυπο του παρουσιάζεται και στο **Σχήμα 12** παρακάτω.



**Σχήμα 12**: Εμπορικό λογότυπο του SimaPro. (SimaPro Help Center, 2023)

Έως και σήμερα οι άδειες που παρέχονται από την εταιρεία για το λογισμικό χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην κατηγορία των αδειών για επιχειρήσεις (Business Licenses) και στην κατηγορία των αδειών για εκπαιδευτικές δομές (Education Licenses). Κάθε μια κατηγορία έχει τις δικές της υποκατηγορίες και αντίστοιχα η κάθε υποκατηγορία κοστολογείται διαφορετικά. Στον **Πίνακα 4** και στον **Πίνακα 5** που ακολουθούν παρουσιάζονται οι βασικότερες πληροφορίες για την κάθε κατηγορία/υποκατηγορία άδειας που παρέχεται από την PRé Sustainability.

**Πίνακας 4:** Επαγγελματικές Άδειες Χρήσης SimaPro. (SimaPro, 2023)

Άδειες Χρήσης SimaPro			
A/A	Business Licenses		
	Power User License	Expert User License	Business User License
<b>Σύντομη Περιγραφή</b>	Αποτελεί την πιο ολοκληρωμένη έκδοση με προηγμένα χαρακτηριστικά για έναν έμπειρο επαγγελματία που ασχολείται με τις AKZ.  <b>Περιλαμβάνει:</b> SimaPro Developer license, SimaPro Collect, SimaPro Share, SimaPro Explore, Report Maker	Σχεδιασμένο για χρήστες που χρειάζονται ισχυρές δυνατότητες μοντελοποίησης και ανάλυσης.  <b>Περιλαμβάνει:</b> SimaPro Analyst license, SimaPro Collect, SimaPro Share, SimaPro Explore, Report Maker	Σχεδιασμένο για να κάνει την συλλογή των δεδομένων μιας <b>AKZ</b> πιο αποτελεσματική και για να επιτρέπει στον χρήστη να προβάλλει και να διαμοιράζει τα αποτελέσματα σε τρίτους.  Αυτό θα διευκολύνει τη συνεργασία με τα μέλη της αλυσίδας εφοδιασμού ή τα εσωτερικά τμήματα μιας εταιρείας.
<b>Κοστολόγηση</b>	<b>First Time User:</b> 7275€	<b>First Time User:</b> 5700€	<b>Χρήστης SimaPro Share:</b> 370€
			<b>Χρήστης SimaPro Explore:</b> 950€
	<b>Μετέπειτα:</b> 5830€	<b>Μετέπειτα:</b> 4650€	<b>30 Χρήστες SimaPro Collect:</b> 370€
			<b>10 ή και παραπάνω χρήστες:</b> Κοστολόγηση μετά από αίτηση στην εταιρεία.

**Πίνακας 5:** Εκπαιδευτικές Άδειες Χρήσης SimaPro. (SimaPro, 2023)

Άδειες Χρήσης SimaPro			
A/A	Education Licenses		
	PhD License	Classroom License	Faculty License
<b>Σύντομη Περιγραφή</b>	Προηγμένη μοντελοποίηση και αξιολόγηση χαρακτηριστικά για ολοκληρωμένες μελέτες AKZ.	Έως και 40 μαθητές μπορούν να εργαστούν στο ίδιο έργο και την ίδια βάση δεδομένων ταυτόχρονα.	Εγκατάσταση και χρήση του <b>SimaPro</b> σε ολόκληρη την Πανεπιστημιακή Μονάδα.  Ιδανικό για μεγάλα εκπαιδευτικά ιδρύματα.
<b>Κοστολόγηση</b>	<b>Exclusive User:</b> 2600€ (Για 12 Μήνες)	<b>Multiple Users:</b> 6790€	<b>Μοναδικός Χρήστης (Επιτρέπεται η διακίνηση του λογισμικού μεταξύ φοιτητών και ακαδημαϊκού προσωπικού):</b> 3750€ (Για 12 Μήνες)

Σήμερα στην αγορά η πιο πρόσφατη έκδοση του SimaPro που κυκλοφορεί είναι η έκδοση 9.5.0, η οποία έγινε διαθέσιμη στο κοινό στις 28/02/2023. (SimaPro Help Center, 2023)

Οι λειτουργικές απαιτήσεις της έκδοσης 9.5.0 του SimaPro με βάση την ιστοσελίδα του λογισμικού είναι παρόμοιες με αυτές της έκδοσης 9.2.0, οι οποίες είναι και οι εξής:

- **Λειτουργικό σύστημα<sup>1</sup>:** Windows 11/ Windows 10/ Windows Server 2012/ Windows Server 2012 R2/ Windows Server 2016/ Windows Server 2019/ Windows Server 2022 (32 bits ή 64 bits).
- **Εγκατεστημένη μνήμη:** 4 GB (32 bits) ή 8 GB (64 bits).
- **Επεξεργαστής:** Προτείνεται επεξεργαστής με πολλαπλούς πυρήνες και λειτουργικό σύστημα 64 bit.
- **Σκληρός δίσκος:** 10 GB ελεύθερα τοπικού σκληρού δίσκου για την αποθήκευση προσωρινών αρχείων. Για την περίπτωση άδειας ενός ατόμου απαιτούνται 20 GB ελεύθερα τοπικού σκληρού δίσκου για την αποθήκευση των βάσεων δεδομένων.

***1: Σημειώνεται ότι σε υπολογιστές της Apple ή της Unix για να λειτουργήσει το SimaPro χρειάζεται ένας προσομοιωτής λογισμικού Windows. (SimaPro Help Center, 2023)***

Ταυτόχρονα το SimaPro παρέχει ενσωματωμένες βάσεις δεδομένων για την εκτέλεση της 2<sup>ης</sup> φάσης μιας AKZ (**Πίνακας 6**) και ενσωματωμένες μεθοδολογίες ΑΕΚΖ (**Πίνακας 7**), έτσι ώστε να διευκολύνουν τις διαδικασίες εκπόνησης μιας AKZ, τόσο από άποψη χρόνου, όσο και από άποψη ακρίβειας.

**Πίνακας 6:** Ενσωματωμένες βάσεις δεδομένων LCI στο SimaPro. (SimaPro, 2023)

A/A	Ενσωματωμένες Βάσεις Δεδομένων στο SimaPro
1	Agri-footprint
2	Carbon Minds
3	Quantis World Food LCA Database
4	WEEE LCI database
5	Environmental Footprint database
6	EXIOBASE
7	IDEA Japanese Inventory database
8	ESU world food LCA database
9	DATASMART LCI package
10	Social hotspots database
11	AGRIBALYSE
12	Industry data library: PlasticsEurope, ERASM, World Steel
13	ecoinvent
14	Agri-footprint
15	US Life Cycle Inventory database
16	European and Danish Input/Output database



**Πίνακας 7:** Ενσωματωμένες μεθοδολογίες ΑΕΚΖ στο SimaPro. (SimaPro, 2023)

A/A	Ενσωματωμένες Μεθοδολογίες ΑΕΚΖ στο SimaPro	
1	ML-IA baseline	<i>Ευρωπαϊκές Μεθοδολογίες</i>
2	CML-IA non-baseline	
3	Ecological Scarcity 2021	
4	EN 15804 + A2	
5	Environmental Footprint 3.1	
6	Environmental Prices	
7	EPD (2018)	
8	EPS 2015d	
9	EPS 2015dx	
10	IMPACT World+ Endpoint	<i>Παγκόσμιες Μεθοδολογίες</i>
11	IMPACT World+ Midpoint	
12	LC-IMPACT (8 variations)	
13	ReCiPe 2016 Endpoint (3 perspectives)	
14	ReCiPe 2016 Midpoint (3 perspectives)	<i>Μεθοδολογίες Β.Αμερικής</i>
15	BEES+	
16	TRACI 2.1	<i>Μεθοδολογίες Single Use</i>
17	Cumulative Energy Demand	
18	Cumulative Energy Demand (LHV)	
19	Cumulative Exergy Demand	
20	Freshwater eutrophication	
21	IPCC 2021 (8 variations)	
22	Land use biodiversity	
23	Mineral resource dissipation	
24	Selected LCI results	
25	Selected LCI results, additional	
26	USEtox 2	<b>Water Footprint</b>
27	USEtox 2	
28	AWARE	
29	Water Scarcity	

## 2. OpenLCA

Το **OpenLCA** από την άλλη αποτελεί ένα τα πιο διαδεδομένα λογισμικά και ταυτόχρονα το μοναδικό ανοιχτού κώδικα που αφορά την ΑΚΖ τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο, το οποίο αναπτύχθηκε το 2006 από την GreenDelta στην Γερμανία. Το εμπορικό λογότυπο του λογισμικού παρουσιάζεται και στο **Σχήμα 13** παρακάτω.

Σε αντίθεση με το SimaPro, το OpenLCA αποτελεί το μοναδικό λογισμικό ανοιχτού κώδικα που αφορά την AKZ (openLCA, 2023). Παρόλα αυτά ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι ότι οι βάσεις δεδομένων που μπορεί κάποιος ερευνητής ή φοιτητής να χρησιμοποιήσει, διαφέρουν κοστολογικά. Μέσω του OpenLCA Nexus διατίθενται δωρεάν, αλλά και επί πληρωμή βάσεις δεδομένων ή αλλιώς περιβαλλοντικές βιβλιοθήκες. Ένα αρνητικό χαρακτηριστικό αυτού του μοντέλου, είναι ότι διαφέρουν μερικώς ή και πλήρως οι βάσεις δεδομένων που είναι δωρεάν και οι βάσεις δεδομένων που είναι επί πληρωμή. Ταυτόχρονα μέσα από τον ίδιο ιστότοπο του OpenLCA Nexus, παρέχονται δωρεάν εγχειρίδια εκπαίδευσης και δωρεάν case studies έτσι ώστε να εξοικειωθεί ο καθένας στο πως δομείται και εκτελείται μια ολοκληρωμένη AKZ. (openLCA Nexus, 2023)

Σήμερα στην αγορά η πιο πρόσφατη έκδοση του OpenLCA που κυκλοφορεί είναι η έκδοση 1.11.0, η οποία έγινε διαθέσιμη στο κοινό στις 09/02/2022. (openLCA, 2023)



**Σχήμα 13:** Εμπορικό λογότυπο του OpenLCA. (openLCA, 2023)

Οι λειτουργικές απαιτήσεις<sup>2</sup> της έκδοσης 1.11.0 του OpenLCA, με βάση την ιστοσελίδα του λογισμικού, παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω:

- **Λειτουργικό σύστημα:** Windows/Mac/Linux. Για μελέτες που χρησιμοποιούν την βάση δεδομένων ecoinvent 3 προτείνεται 64bit λειτουργικό σύστημα.
- **Πρόσθετα:** Έκδοση Java 1.8 ή πιο πρόσφατη Java SDK 1.8.
- **Εγκατεστημένη μνήμη:** 1 GB Ram.
- **Επεξεργαστής:** Προτείνεται επεξεργαστής με ισχύ 2 GHz ή παραπάνω.
- **Σκληρός δίσκος:** 500 MB ελεύθερα τοπικού σκληρού δίσκου.

**2:** Σημειώνεται ότι ανάλογα με την βάση δεδομένων που χρησιμοποιείται από τον μελετητή, οι ελάχιστες λειτουργικές απαιτήσεις για να λειτουργήσει απρόσκοπτα το λογισμικό, αλλάζουν ανάλογα με την βάση δεδομένων που χρησιμοποιείται. Στον Πίνακα 8 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ελάχιστες λειτουργικές απαιτήσεις για κάποιες βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούνται σήμερα. (openLCA, 2023)

**Πίνακας 8:** Ελάχιστες λειτουργικές απαιτήσεις του OpenLCA ανάλογα την βάση δεδομένων που χρησιμοποιείται. (openLCA, 2023)

A/A	ecoinvent 2	ecoinvent 3	Social Hotspots Database	PSILCA (Professional)
Επεξεργαστής (CPU)	2 GHz	2 GHz	2 GHz	2 GHz
Εγκατεστημένη μνήμη (RAM)	1 GB	4 GB	4 GB	16 GB
Σκληρός Δίσκος (HDD)	1 GB	3 GB	1 GB	8 GB

Ταυτόχρονα το OpenLCA όπως αναφέρθηκε, παρέχει δωρεάν και επι-πληρωμή βάσεις δεδομένων για την εκτέλεση της 2<sup>ης</sup> φάσης μιας ΑΚΖ (**Πίνακας 9**) και δωρεάν μεθοδολογίες ΑΕΚΖ (**Πίνακας 10**), έτσι ώστε να διευκολύνουν τις διαδικασίες εκπόνησης μιας ΑΚΖ, τόσο από άποψη χρόνου, όσο και από άποψη ακρίβειας. Αυτές δεν είναι ενσωματωμένες στο λογισμικό και πρέπει ο χρήστης να τις κατεβάσει ηλεκτρονικά και να τις εισάγει μόνος του.

**Πίνακας 9:** Δωρεάν βάσεις δεδομένων που παρέχονται από το OpenLCA. (openLCA Nexus, 2023)

A/A	Βάσεις Δεδομένων που παρέχονται από το OpenLCA	
1	IMPACT World+, OzLCI2019, Environmental Footprints, exiobase, ARVI, Agribalyse, NEEDS, ELCD, bioenergiestat,	<i>Δωρεάν</i>
2	EN15804 add-on, ecoinvent, Circularity Package, UVEK LCI Data, The Evah Pigments Database, LCA Commons, IDEMAT, Carbon Minds, idea, Agri-footprint, Circularity Food Package, soca, EuGeos' 15804-IA, PSILCA, ESU World Food, LC-Inventories.ch, Social Hotspots, ProBas, Worldsteel, Okobaudat	<i>Επί-πληρωμή</i>

**Πίνακας 10:** Δωρεάν μεθοδολογίες ΑΕΚΖ που παρέχονται από το OpenLCA. (openLCA Nexus, 2023)

A/A	Μεθοδολογίες ΑΕΚΖ που παρέχονται από το OpenLCA
1	AWARE
2	CML-IA (baseline/non-baseline)
3	Recipe 2016 (endpoint/midpoint)
4	IPCC 2021
5	Ecological scarcity method 2013
6	ILCD 2011 Midpoint+
7	IMPACT 2002+
8	TRACI 2.1
9	Crustal Scarcity Indicator κ.α.

### 3. GaBi Software (Σημερινό Sphera LCA Software)

Τέλος, το **GaBi Software (Σημερινό Sphera LCA Software)** αποτελεί με την σειρά του ένα ακόμα επί πληρωμή λογισμικό που αφορά την AKZ. Η εταιρεία που το διαχειρίζεται ονομάζεται Sphera και εδρεύει στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. (Sphera, 2023) Το λογισμικό αυτό αποτελεί ένα ολοκληρωμένο εργαλείο αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διάφορων προϊόντων και υλικών που τίθονται υπό μελέτη. Το εμπορικό λογότυπο του λογισμικού δεν παραθέτεται σε αυτήν την εργασία, καθώς αφού εξαγοράστηκε η εταιρεία που το ανέπτυξε από την Sphera, το λογισμικό άλλαξε εξ' ολοκλήρου.

Το συγκεκριμένο λογισμικό εκτός το ότι διαθέτει την δημοφιλή βάση δεδομένων ecoinvent και την βάση δεδομένων GaBi, διαθέτει πολλές ενσωματωμένες βάσεις δεδομένων απογραφής κύκλου ζωής (LCI) για διάφορους κλάδους, όπως τα ηλεκτρονικά, τα χημικά, τα πλαστικά και τις κατασκευές. (DEISO, 2023) Γενικότερα ήταν δύσκολη η καταγραφή αναλυτικά των βάσεων δεδομένων που παρέχονται από το λογισμικό, λόγω του ότι δεν παρέχονταν από την εταιρεία αυτού του είδους οι πληροφορίες. Επιπροσθέτως όσον αφορά τις μεθοδολογίες AEKZ που έχει ενσωματωμένες το ίδιο λογισμικό, πάλι η καταγραφή τους ήταν δύσκολη για τους λόγους που προαναφέρθηκαν.

Το λογισμικό συνοδεύεται με ένα σύνολο εργαλείων που ονομάζεται "GaBi Analyst", όπου ο τελικός χρήστης μπορεί να εκτελέσει Monte Carlo Tests, αναλύσεις ευαισθησίας, αναλύσεις σεναρίων και μεταβολές διάφορων παραμέτρων. Το GaBi επιπροσθέτως επιτρέπει την παραμετροποίηση οποιουδήποτε μοντέλου, παρέχοντας την δυνατότητα στον χρήστη να αλλάζει τις αριθμητικές τιμές των υλικών και της ενέργειας με τοπικές και παγκόσμιες παραμέτρους. Επίσης παρέχει την δυνατότητα εισαγωγής και εξαγωγής έργων και δεδομένων απογραφής κύκλου ζωής (LCI). Το πιο ζωτικό σημείο του GaBi είναι ότι προσφέρει ένα ευρύ φάσμα βάσεων δεδομένων απογραφής κύκλου ζωής για σχεδόν κάθε κλάδο, σε αντίθεση με άλλα λογισμικά. (DEISO, 2023)

Μετά από έρευνα σε Forum του ResearchGate, εντοπίστηκε πως ένα σημαντικό ζήτημα που αντιμετωπίζει το GaBi Software, είναι ότι οι βάσεις δεδομένων του απαιτούν συνεχώς ενημερώσεις από την ιστοσελίδα του λογισμικού, κάτι το οποίο ενδέχεται να είναι χρονοβόρο και περίπλοκο.

Κάτι το οποίο παρατηρήθηκε και κατά την βιβλιογραφική έρευνα πάνω στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας, ήταν ότι στις περισσότερες μελέτες που αφορούσαν τις AKZ πλοίων και σκαφών χρησιμοποιούνταν πολύ περισσότερο το GaBi Software σε σχέση με το SimaPro και η μεθοδολογία AEKZ CML-IA, η οποία αποτελεί με την σειρά της μια από τις ενσωματωμένες μεθοδολογίες μέσα σε αυτό το λογισμικό.

Στο επόμενο κεφάλαιο (**Κεφάλαιο 4**) θα παρουσιαστεί η βιβλιογραφική ανασκόπηση που αφορά το αντικείμενο της παρούσας εργασίας και εκεί θα παρουσιαστεί το τι λογισμικά AKZ και τι μεθοδολογίες AEKZ αξιοποιήθηκαν σε κάθε διαφορετική μελέτη.

#### **4. Μελέτες AKZ στον τομέα της ναυπηγικής-ναυτιλίας**

Το υπό εξέταση αντικείμενο έχει συγκεντρώσει το ερευνητικό ενδιαφέρον μεγάλου αριθμού επιστημόνων ανά τον κόσμο. Στην συνέχεια αυτής της ενότητας θα παρουσιαστούν οι μελέτες που έχουν γίνει τόσο σε μεγάλα πλοία, όσο και σε μικρότερου τύπου πλοία (Σκάφη). Στην αρχή του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί ανά κατηγορία πλοίων σε χρονολογική σειρά και μετέπειτα θα συγκεντρωθούν σε 2 πίνακες (**Πίνακας 12, Πίνακας 13**) επιπρόσθετα στοιχεία των πλοίων και των σκαφών που μελετήθηκαν.

Ενδεικτικά, οι **Gratsos et al. (2010)** αποτέλεσαν από τις πρώτες επιστημονικές ομάδες που ασχολήθηκαν με το αντικείμενο της AKZ στα πλοία. Στην μελέτη τους αυτή, στόχος ήταν ο υπολογισμός και η σύγκριση των εκπομπών του CO<sub>2</sub> σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής (Cradle-to-Grave) 4 διαφορετικών πλοίων. Πιο συγκεκριμένα μελετήσαν **2 πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου τύπου Panamax** και **2 πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου τύπου Handymax**. Τα 2 πλοία σε κάθε κατηγορία τα χώρισαν σε υποκατηγορίες. Στην **1<sup>η</sup> υποκατηγορία**, το πλοίο ήταν κατασκευασμένο λαμβάνοντας υπόψην το να είναι χαμηλό το αρχικό κόστος παραγωγής του και το να είναι ελαφρύτερο έτσι ώστε να μπορεί να αυξηθεί η ποσότητα των προϊόντων που μπορεί να μεταφέρει. Η **2<sup>η</sup> υποκατηγορία**, αφορούσε την κατασκευή του πλοίου έτσι ώστε να είναι βαρύτερο, αυξάνοντας τα περιθώρια διάβρωσης ορισμένων σημείων του, μειώνοντας έτσι την ανάγκη αντικατάστασης του χάλυβα κατά την φάση της συντήρησης του. Τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας των πλοίων που μελετώνται είναι το στάδιο της εξαγωγής και της παραγωγής του χάλυβα, της κατασκευής του κάθε πλοίου, των επισκευών τους, της ανακύκλωσης τους και των μεταφορικών δραστηριοτήτων όλων των υλικών. Στα συμπεράσματα τους καταλήγουν ότι όλα τα πλοία που άνηκαν στην 2<sup>η</sup> υποκατηγορία, δηλαδή αυτά που είχαν μεγαλύτερο βάρος, παρήγαγαν πολύ λιγότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής τους από ότι τα ελαφρύτερα πλοία ανεξαρτήτως τύπου. (Gratsos et al., 2010)

Τέσσερα χρόνια μετά οι **Blanco-Davis et al. (2014)** χρησιμοποίησαν την AKZ, έτσι ώστε να αξιολογήσουν τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της τοποθέτησης ενός συγκεκριμένου είδους βαφής (Fouling Release Coating - FRC) έναντι ενός συμβατικού είδους βαφής (Conventional Antifouling – Conv. A/F) σε ένα συγκεκριμένο πλοίο που αξιοποίησαν για την μελέτη τους. Ο χρόνος ζωής του πλοίου αυτού ορίζονταν στα 25 χρόνια και ταυτόχρονα υπήρξε η παραδοχή ότι το πλοίο θα περνάει από Dry-Docking (Ολοκληρωτική συντήρηση σε ναυπηγείο) κάθε 2,5 χρόνια. Οι φάσεις του κύκλου ζωής του πλοίου που συμπεριέλαβαν στην μελέτη τους ήταν αυτές της κατασκευής του, της συντήρησης του, της λειτουργίας του και της διάλυσης του στο τέλος της ζωής του. Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μελετήθηκαν, εντοπίστηκε ότι με την τοποθέτηση της νέας βαφής (FRC) μειώνεται η ποσότητα του καυσίμου που απαιτείται για την λειτουργία του πλοίου και επομένως οι εκπομπές των αερίων κατά την φάση της λειτουργίας του μειώνονται σημαντικά. Ταυτόχρονα και στην φάση της συντήρησης του πλοίου με την χρήση της νέας βαφής (FRC), οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι αισθητά μειωμένες συγκριτικά με το σενάριο χρήσης της συμβατικής βαφής (Conv. A/F). (Blanco-Davis et al., 2014)

Στην συνέχεια οι **Chatzinikolaou και Ventikos (2015)** προσπάθησαν να αναπτύξουν ένα μαθηματικό μοντέλο AKZ, το οποίο θα αφορούσε την προσέγγιση κύκλων ζωής για διάφορα πλοία. Βασικότερος τους στόχος ήταν η παροχή μιας ολιστικής αξιολόγησης των εκπομπών που προέρχονται από διαφορετικά πλοία σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής τους. Για την ανάπτυξη αυτού του μοντέλου εφαρμόστηκαν και λήφθηκαν υπόψη σημαντικά στοιχεία του εργαλείου της AKZ, ενός εργαλείου που λαμβάνει υπόψη ολόκληρο τον κύκλο της ζωής του συστήματος που μελετάται. Προς το τέλος της έρευνας αυτής παρουσιάζουν τα ποσοτικά αποτελέσματα μιας μελέτης που εκπονήθηκε για ένα **πλοίο μεταφοράς υγρών καυσίμων**. Οι φάσεις που λήφθηκαν υπόψη ήταν αυτές της κατασκευής του πλοίου, της λειτουργίας του, της συντήρησης του και της διάλυσης του στο τέλος της ζωής του. Η καταγραφή των δεδομένων και των αποτελεσμάτων για αυτήν την μελέτη έγινε με βάση το μαθηματικό μοντέλο που ανέπτυξαν στην ίδια έρευνα. Τέλος, καταλήγουν στο ότι η φάση με τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την διάρκεια της ζωής του υπό μελέτη πλοίου τους, ήταν η φάση της λειτουργίας του. (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015)

Επιπροσθέτως οι **Pommier et al. (2016)** με την χρήση της AKZ, εξέτασαν τον κύκλο της ζωής μιας γάστρας ενός **σκάφους μεταφοράς επιβατών 18 μέτρων**, από την στιγμή της εξόρυξης των πρώτων υλών της γάστρας, μέχρι και την τελική της διάθεση στο τέλος της ζωής του σκάφους. Στόχος της έρευνας αυτής ήταν να συγκρίνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τεσσάρων διαφορετικών υλικών για την κατασκευή της γάστρας, σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής της. Τα υλικά που εξέτασαν ήταν το αλουμίνιο, ορισμένα σύνθετα υλικά, το ξύλο και θαλάσσιο πεύκο. Όλοι οι υπολογισμοί της έρευνας τους πραγματοποιήθηκαν με βάση το πρότυπο **ISO 14040** και όλα τα δεδομένα και οι παραδοχές ελήφθησαν από τους τόπους των διεργασιών της κατασκευής. Το λογισμικό που χρησιμοποίησαν για την μελέτη τους ήταν το **Ecodesign Studio** και η μεθοδολογία εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που χρησιμοποίησαν ήταν η **ReCiPe MidPoint (H) V1.06**. Στα αποτελέσματα τους έχουν ότι γενικότερα οι γάστρες που ήταν κατασκευασμένες με ξύλο ή θαλάσσιο πεύκο ήταν οι καλύτερες περιβαλλοντικά. Τόσο σε οικονομικό, όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο, το θαλάσσιο πεύκο εντοπίστηκε ότι σε σχέση με το κανονικό ξύλο ήταν πάρα πολύ καλύτερο. (Pommier et al., 2016)

Από την άλλη οι **Burman et al. (2016)** χρησιμοποίησαν την AKZ για να μελετήσουν και να συγκρίνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις διαφορετικών υλικών, που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός **περιπολικού σκάφους 24 μέτρων**. Η σύγκριση των υλικών γίνεται σε σχέση με το καύσιμο που καταναλώνεται για την λειτουργία του σκάφους. Τα υλικά τα οποία εξετάζονταν σε αυτήν την μελέτη ήταν το αλουμίνιο και ορισμένα σύνθετα υλικά. Το λογισμικό που χρησιμοποίησαν για την μελέτη τους ήταν το **SimaPro** και η μεθοδολογία εκτίμησης των επιπτώσεων που χρησιμοποίησαν ήταν η **CML 2 Baseline 2000**. Η μελέτη τους έδειξε ότι ανεξάρτητα από το υλικό που ήταν κατασκευασμένη η γάστρα του σκάφους, η φάση της λειτουργίας του, είχε τις μεγαλύτερες επιπτώσεις. Όταν όμως το υλικό κατασκευής της γάστρας ήταν το ανθρακόνημα, παρατηρήθηκε ότι η φάση της λειτουργίας του σκάφους είχε τις μικρότερες επιπτώσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά.

Στο κομμάτι της κατασκευής της γάστρας οι μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις εντοπίζονται όταν η γάστρα είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο. Ενώ την μεγαλύτερη επιβάρυνση σε ορισμένες κατηγορίες επιπτώσεων τις προκάλεσε η εξόρυξη και η παραγωγή του αλουμινίου στην μια περίπτωση. Ως βασικό συμπέρασμα αναφέρουν ότι η καλύτερη περιβαλλοντικά επιλογή υλικού για το σκάφος είναι αυτή της χρήσης του ανθρακονήματος, καθώς μειώνει το βάρος του σκάφους και συνάμα την κατανάλωση του καυσίμου που χρειάζεται για να λειτουργήσει. Έτσι, μείωση του καυσίμου συνεπάγεται με μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του σκάφους. (Burman et al., 2016)

Έναν χρόνο αργότερα οι **Gilbert et al. (2017)** χρησιμοποίησαν το εργαλείο της AKZ για να αναλύσουν ολόκληρο τον κύκλο της ζωής μιας **γάστρας ενός πλοίου**, έτσι ώστε να προσδιορίσουν το κατά πόσο η επαναχρησιμοποίηση του υλικού κατασκευής της γάστρας στο τέλος της ζωής του, μπορεί να βοηθήσει στην μείωση των αέριων εκπομπών του CO<sub>2</sub> κατά την κατασκευή μιας πανομοιότυπης γάστρας. Σε αυτήν την μελέτη εξέτασαν **3 διαφορετικά σενάρια**. Το **1<sup>ο</sup> σενάριο** αφορούσε την μηδενική επαναχρησιμοποίηση της γάστρας του πλοίου στο τέλος της ζωής του, κάτι που οδηγεί στην κατασκευή μιας πανομοιότυπης γάστρας εξ'ολοκλήρου από την αρχή. Το **2<sup>ο</sup> σενάριο** αφορούσε την επαναχρησιμοποίηση της γάστρας στο 100%, κάτι που σε σχέση με το **1<sup>ο</sup> σενάριο** εντοπίστηκε ότι οι εκπομπές του CO<sub>2</sub> εμφάνισαν μείωση της τάξεως του 29% (Από 221,978 tn CO<sub>2</sub> στους 158,285 tn CO<sub>2</sub>) σε ολόκληρο τον κύκλο που μελετήθηκε. Το **3<sup>ο</sup> σενάριο** που αφορούσε την επαναχρησιμοποίηση της γάστρας στο 50% εμφάνισε 10% μείωση των εκπομπών του CO<sub>2</sub>, σε σχέση με το **1<sup>ο</sup> σενάριο** (Από 221,978 tn CO<sub>2</sub> στους 199,816 tn CO<sub>2</sub>). Σημειώνεται ότι ο χρόνος ζωής της κάθε γάστρας ορίστηκε στα 26 έτη η κάθε μια και επομένως ο χρόνος ζωής ολόκληρου του κύκλου που μελετήθηκε σε κάθε σενάριο ήταν ίσος με τα 52 έτη. Τέλος στο κομμάτι των συζητήσεων τους, αναφέρουν ορισμένα σημεία-κλειδιά που θα πρέπει να διευθετηθούν προκειμένου να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί η γάστρα ενός πλοίου με το τέλος της ζωής του. Κάποια από αυτά τα σημεία είναι το ότι η γάστρα ενός πλοίου πρέπει να κατασκευάζεται εξ αρχής έτσι, ώστε να είναι εύκολη η επαναχρησιμοποίηση της ή το ότι η λειτουργία και η συντήρηση της γάστρας θα πρέπει να γίνονται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής του πλοίου η ποιότητα του χάλυβα να παραμένει σε ένα υψηλό επίπεδο. (Gilbert et al., 2017)

Επιπροσθέτως το 2017 οι **Cucinotta et al. (2017)** με την χρήση της AKZ, προσπάθησαν να εκτιμήσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις **2 διαφορετικών τεχνολογιών κατασκευής** (Hand Lay-Up Technique και Vacuum Infusion) ενός σκάφους αναψυχής. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του σκάφους αυτού ήταν γυάλινες ίνες, PVC στον πυρήνα και ρητίνη πολυεστέρα. Η βασική διαφορά μεταξύ των τεχνολογιών κατασκευής του σκάφους είναι ότι ανάλογα με την τεχνολογία κατασκευής, το βάρος του πλοίου αλλάζει. Κάτι το οποίο επηρεάζει άμεσα τις φάσεις παραγωγής, της λειτουργίας και της τελικής διάθεσης του σκάφους. Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιούν είναι η **ecoinvent** και το λογισμικό που χρησιμοποιείται είναι το **GaBi Software**.

Καταλήγουν στο ότι μια πιο ελαφριά γάστρα, μειώνει την κατανάλωση του καυσίμου κατά 656 τόνους σε ολόκληρο τον χρόνο ζωής του σκάφους, κάτι το οποίο έχει σημαντικό αντίκτυπο και στις κατηγορίες επιπτώσεων που μελετήθηκαν. (Cucinotta et al., 2017)

Μετάπειτα το 2018 οι **Önal και Neser (2018)** χρησιμοποίησαν την AKZ, για την μελέτη μιας γάστρα ενός σκάφους κατασκευασμένου από GRP, για έξι σενάρια που περιλαμβάνουν δύο μεθόδους χύτευσης (Δηλαδή χειροποίητη χύτευση με το χέρι - HLM και μέθοδος έγχυσης υπό κενό - VIM) και τρεις εναλλακτικές λύσεις για το τέλος του κύκλου της ζωής του σκάφους (Συγκεκριμένα εξώθηση, αποτέφρωση και υγειονομική ταφή). Η ανάλυση δείχνει ότι στην φάση της παραγωγής της γάστρας, οι επιπτώσεις οφείλονταν κυρίως στην χρήση της ενέργειας (Ηλεκτρική ενέργεια), στην μεταφορά των πρώτων υλών και στην παραγωγή τους. Οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των εξεταζόμενων μεθόδων χύτευσης (HLM και VIM) παρατηρούνται στις κατηγορίες της οικοτοξικότητας των θαλάσσιων υδάτων και του ευτροφισμού, ενώ οι αμέσως επόμενες είναι η αβιοτική εξάντληση, η καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος και η φωτοχημική οξειδωση. Ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της μεθόδου VIM υπολογίζεται υψηλότερος από ότι ο αντίκτυπος της μεθόδου HLM λόγω της υψηλότερης κατανάλωσης ενέργειας, ενώ η μέθοδος VIM έχει χαμηλότερο κίνδυνο από την μέθοδο HLM από την άποψη της επαγγελματικής υγείας, λόγω της χρήσης λιγότερης πρώτης ύλης (Ρητίνη) σε κλειστό καλούπι. Στην σύγκριση των τριών σεναρίων EoL (End of Life), ο μηχανικός τρόπος ανακύκλωσης (Εξώθηση κόκκων) παρουσιάζει τις καλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις εκτός από τις κατηγορίες των επιπτώσεων της οικοτοξικότητας στην γη, της φωτοχημικής οξειδωσης και της οξίνισης. Μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων EoL, η υγειονομική ταφή είχε τις υψηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις εκτός από την κατηγορία του δυναμικού της υπερθέρμανσης του πλανήτη και της ανθρώπινης τοξικότητας, οι οποίες ήταν υψηλότερες στην εξώθηση. Η κύρια αιτία των επιπτώσεων της υγειονομικής ταφής ήταν οι ανάγκες μεταφοράς των σκαφών στους αδειοδοτημένους χώρους υγειονομικής ταφής. Αν και έχει τις υψηλότερες επιπτώσεις στην ανθρώπινη τοξικότητα, η αποτέφρωση είναι η δεύτερη καθαρότερη εναλλακτική λύση των τεχνικών EoL που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη. Είναι προφανές ότι η χρήση πιο πράσινων εναλλακτικών λύσεων μεταφοράς των υλικών και του σκάφους μπορεί να μειώσει σημαντικά τις συνολικές επιπτώσεις όλων των φάσεων. (Önal and Neser, 2018)

Στην συνέχεια οι **Favi et al. (2018a)** προσπάθησαν με την έρευνα τους να αναπτύξουν ένα μοντέλο AKZ και ένα πλαίσιο δεδομένων που αφορά τις αρχικές φάσεις της σχεδίασης και της κατασκευής πλοίων, έτσι ώστε μέσα από αυτό το μοντέλο να μπορούν να επιλέγονται τα καλύτερα υλικά, οι καλύτερες διεργασίες για κάθε φάση κατασκευής του πλοίου, τα καλύτερα μοντέλα συντήρησης και λειτουργίας και η καλύτερη δυνατή επιλογή της τελικής διάθεσης του πλοίου στο τέλος της ζωής του. Σε ένα γενικό πλαίσιο προσπάθησαν να αναπτύξουν ένα μοντέλο στην AKZ πλοίων, μέσω του οποίου θα μπορεί να γίνεται εύκολη η συλλογή όλων των δεδομένων που απαιτούνται για αυτήν την ανάλυση.



Με βάση το μοντέλο που ανέπτυξαν, εκτέλεσαν AKZ σε 3 διαφορετικά σκάφη πολυτελείας και στην συνέχεια τις ίδιες αναλύσεις τις εκτέλεσαν με την χρήση ενός λογισμικού AKZ (**SimaPro**). Καταλήγουν στο ότι τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν με την χρήση του λογισμικού, σε σχέση με τα αποτελέσματα που εξήγαγαν από το μοντέλο που ανέπτυξαν, ότι δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές. Παρόλα αυτά η χρήση λογισμικού βοηθάει περισσότερο έναν ερευνητή, καθώς μειώνεται ο χρόνος απογραφής όλων των δεδομένων, τα πάντα υπολογίζονται με βάση ορισμένων προτύπων και επίσης μέσω των λογισμικών μπορεί να γίνουν ευκολότερα συγκρίσεις μεταξύ διαφόρων προϊόντων, αλλά και αναλύσεις αβεβαιότητας και ευαισθησίας. (Favi et al., 2018a)

Την ίδια περίοδο η ίδια ερευνητική ομάδα των **Favi et al. (2018b)** παρουσίασαν το ίδιο μοντέλο που είχαν αναπτύξει, με την μόνη διαφορά ότι αυτή την φορά πραγματοποίησαν ανάλυση σε διαφορετικές μορφές σχεδίασης ενός πολυτελούς σκάφους αναψυχής. (Favi et al., 2018b)

Το ίδιο έτος οι **Wang et al. (2018)** εκπόνησαν μια έρευνα, έτσι ώστε να δώσουν έμφαση στην αναγκαιότητα της συντήρησης της γάστρας του πλοίου, αλλά και για να προτείνουν μια οικονομική και περιβαλλοντικά φιλική στρατηγική συντήρησης πλοίων μέσω της χρήσης της AKZ, για την περίπτωση μελέτης **1 πλοίου μετακίνησης επιβατών (Τύπου Ferry)**. Ως βασικότερο τους εύρημα ήταν ότι οι ετήσιες συντηρήσεις και οι βαφές της γάστρας του πλοίου μειώνανε την αντίσταση της γάστρας στο νερό και επομένως μειώνανε την κατανάλωση του καυσίμου που χρειάζονταν για να λειτουργήσει το πλοίο. Συνεπώς, καταλήγουν στο ότι μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου οδηγεί στην μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την λειτουργία του πλοίου. (Wang et al., 2018)

Μετάπειτα οι **Tuan και Wei (2019)** προσπάθησαν στην μελέτη τους με την χρήση της AKZ, να υπολογίσουν τις εκπομπές των αερίων που εκλύονται προς το περιβάλλον κατά την διάρκεια ενός «Cradle-to-Gate» κύκλου ζωής ενός πλοίου, εστιάζοντας κυρίως σε διαδικασίες που αφορούσαν την κατασκευή του. Ουσιαστικά μέσω της χρήσης της AKZ, στόχος τους ήταν να υπολογίσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός **πλοίου μεταφοράς χύδην φορτίου τύπου Panamax**, από την στιγμή που εξάγονται οι πρώτες ύλες για την κατασκευή του, έως και την φάση της κατασκευής του στο ναυπηγείο μέχρι και να τοποθετηθεί στην θάλασσα. Η μεθοδολογία εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που χρησιμοποιήθηκε ήταν η **CML 2001**. Από αυτήν οι ερευνητές επέλεξαν 10 κατηγορίες επιπτώσεων κατά την φάση της ΑΕΚΖ, οι οποίες ήταν σχετικές με το κομμάτι της ναυτιλίας. Για τους υπολογισμούς των αποτελεσμάτων τους, τόσο στην φάση της απογραφής των δεδομένων, όσο και στην φάση της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό **GaBi Software**. Με βάση τα αποτελέσματα τους καταλήγουν στο ότι η φάση της εξαγωγής και παραγωγής του χάλυβα είναι υπεύθυνη για το 85% των εκπομπών των CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>. Αντιθέτως, η φάση της κατασκευής του πλοίου στο ναυπηγείο, η οποία συμπεριλαμβάνει τις διεργασίες της κοπής, της συγκόλλησης, της ψηγματοβολής και της βαφής του χάλυβα είναι υπεύθυνη για το 99% των εκπομπών των VOC, για το 36,08% των εκπομπών των NMVOCs και για το 26,76% των εκπομπών των PM. (Tuan and Wei, 2019)

Τον ίδιο χρόνο οι **Dong και Cai (2019)** χρησιμοποίησαν την AKZ, με βασικότερο στόχο το να συγκρίνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις **2 διαφορετικών σεναρίων σχεδίασης ενός πλοίου μεταφοράς χύδην φορτίου τύπου Panamax**. Το σύστημα το οποίο μελετάται σε αυτήν την μελέτη συμπεριλαμβάνει την εξόρυξη και την παραγωγή του χάλυβα, την κατασκευή του πλοίου, την λειτουργία του, την συντήρηση του και την τελική του διάθεση στο τέλος της ζωής του. Στο **1<sup>ο</sup> σενάριο** το βάρος του άφορτου πλοίου (**Lightship: Βάρος του πλήρως εξοπλισμένου και έτοιμου να ταξιδέψει πλοίου, χωρίς καθόλου φορτίο, πλήρωμα και αναλώσιμα**), ήταν πολύ πιο ελαφρύ από ότι το βάρος του άφορτου πλοίου στο **2<sup>ο</sup> σενάριο**. Στόχος του **1<sup>ου</sup> σεναρίου** με το μικρότερο βάρος άφορτου πλοίου, ήταν να αυξηθεί η ποσότητα των προϊόντων που μπορεί να μεταφέρει το πλοίο κατά την διάρκεια ενός ταξιδιού του. Στο **2<sup>ο</sup> σενάριο** όπου το βάρος του άφορτου πλοίου ήταν μεγαλύτερο, λόγω του αυξημένου πάχους του χάλυβα στα περισσότερα σημεία του πλοίου αυξάνονται και τα περιθώρια διάβρωσης των σημείων αυτών. Ταυτόχρονα, τονίζεται ότι στο **2<sup>ο</sup> σενάριο** μπορεί να υπάρξει μείωση του χάλυβα που χρησιμοποιείται κατά την συντήρηση του πλοίου, για την αντικατάσταση ορισμένων σημείων του. Στα αποτελέσματα της έρευνας τους έχουν ότι όταν το πλοίο είναι πιο βαρύ, σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής του εμφανίζονται πιο μειωμένες οι τιμές των αέριων εκπομπών του CO, του CH<sub>4</sub> και των VOC σε αντίθεση με την περίπτωση όπου το πλοίο είναι ελαφρύτερο. Ταυτόχρονα, το βαρύτερο πλοίο σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής του επιβαρύνει λιγότερο τις κατηγορίες των επιπτώσεων της θαλάσσιας οικοτοξικότητας, της εξάντλησης της στοιβάδας του όζοντος και της οικοτοξικότητας του εδάφους. Ως τελικό συμπέρασμα έχουν ότι το βαρύτερο πλοίο που μελετήθηκε, λόγω των χαμηλότερων περιβαλλοντικών επιπτώσεων του σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής του σε συνδυασμό με τα μεγαλύτερα περιθώρια διάβρωσης του, αποτελεί την καλύτερη επιλογή τόσο περιβαλλοντικά όσο και τεχνικά. (Dong and Cai, 2019)

Μετάπειτα το 2020, η ίδια ερευνητική ομάδα των **Dong και Cai (2020)** σε συνέχεια της προηγούμενης μελέτης τους, με την χρήση της AKZ προσπάθησαν να μελετήσουν και να παρουσιάσουν την επίδραση της μείωσης της κατανάλωσης του καυσίμου και της μείωσης του βάρους του πλοίου στην περιβαλλοντική αποδοτικότητα των πλοίων. Συνολικά μελέτησαν **25 διαφορετικά σενάρια** με διαφορετική κατανάλωση καυσίμου και διαφορετικό βάρος άφορτου πλοίου. Η μεθοδολογία AEKZ που χρησιμοποίησαν ήταν η **CML2001** και όλοι οι υπολογισμοί έγιναν με την βοήθεια του λογισμικού **GaBi Software**. Στα ευρήματα αυτής της έρευνας καταλήγουν ότι η μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου βοηθάει στην μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του πλοίου. Παρόλα αυτά, σε κάποια σενάρια παρατηρήθηκε ότι λόγω της αύξησης του βάρους του άφορτου πλοίου οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του πλοίου ήταν αρκετά αυξημένες. (Dong and Cai, 2020)

Τον ίδιο χρόνο οι **Quang et al. (2020)** χρησιμοποίησαν την AKZ, για να υπολογίσουν τις συνολικές επιπτώσεις στην υπερθέρμανση του πλανήτη ενός **πλοίου μεταφοράς γενικού φορτίου** σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής του. Ο κύκλος ζωής του υπό μελέτη πλοίου χωρίζεται στις φάσεις της παραγωγής των υλικών του, της κατασκευής του πλοίου, της συντήρησης του, της λειτουργίας του και της τελικής του διάθεσης μετά το πέρας της ζωής του. Για τον υπολογισμό όλων των αποτελεσμάτων το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το **GaBi Software**. Ταυτόχρονα, για το κομμάτι της αξιολόγησης των επιπτώσεων χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία **CML 2001**, από την οποία και αντλήθηκε ο συντελεστής για το δυναμικό της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Στα αποτελέσματα τους, έδειξαν ότι η φάση της λειτουργίας του πλοίου είναι αυτή που επιβαρύνει εξαιρετικά το πρόβλημα της υπερθέρμανσης του πλανήτη που μελετήθηκε. Τέλος καταλήγουν ότι οι εκπομπές του CO<sub>2</sub>, είναι αυτές που παίζουν το κομβικότερο ρόλο στην ενίσχυση του φαινομένου της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε σχέση με τα υπόλοιπα αέρια του θερμοκήπιου που εκπέμπονται σε έναν κύκλο ζωής ενός πλοίου. (Quang et al., 2020)

Τέλος, ένα χρόνο αργότερα οι **Quang et al. (2021)** χρησιμοποίησαν την AKZ, για να υπολογίσουν το περιβαλλοντικό αντίκτυπο ενός **πλοίου μεταφοράς υγρών καυσίμων (Tanker)**, σε ολόκληρο τον κύκλο της ζωής του. Ο κύκλος της ζωής του πλοίου που μελετήθηκε εμπεριέχει τις φάσεις της εξόρυξης και παραγωγής των υλικών του, όλων των μεταφορικών δραστηριοτήτων των υλικών, της κατασκευής του πλοίου, της λειτουργίας του, της συντήρησης του και της τελικής του διάθεσης. Για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό **GaBi Software**. Η μεθοδολογία AEKZ που χρησιμοποιήθηκε ήταν η **CML2001**. Σε ένα γενικότερο πλαίσιο υπολογίστηκαν οι συνολικές εκπομπές αερίων και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανά στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας του πλοίου και οι αντίστοιχες συνεισφορές του κάθε σταδίου σε ολόκληρο το κύκλο της ζωής του πλοίου. Βασικότερο συμπέρασμα της μελέτης αυτής, ήταν ότι λόγω των τεράστιων ποσοτήτων καυσίμων που καταναλώνεται κατά την φάση της λειτουργίας του πλοίου, αυτή η φάση είναι και η πιο ζημιογόνα προς το περιβάλλον από ότι οι υπόλοιπες φάσεις του κύκλου ζωής του πλοίου. (Quang et al., 2021)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στους **Πίνακες 11 και 12**, συγκεντρώνονται ορισμένες επιπρόσθετες πληροφορίες των πλοίων και των σκαφών αντίστοιχα, όπου μελετήθηκαν στα προαναφερόμενα επιστημονικά άρθρα.

**Πίνακας 11:** Συγκεντρωτικά στοιχεία των παραπάνω ερευνητικών άρθρων. (Πλοία)

Τίτλος Άρθρου	Είδος Πλοίου	Τοποθεσία Νεοατήρησης	Έτος Νεοατήρησης	Χρόνος Ζωής (Χρόνια)	Mass Displacement (Τόνου)	DWT (Τόνου)	LWT (Τόνου)	Συνολικό Μήκος (m)	Length between perpendicular (m)	Breadth (m)	Depth (m)	Draft (m)	Block Coefficient (Cb)	Είδος LC	Λογαμικό	Μεθοδολογία LCA	Υπερά Κατασκευής Γάταρας
Cradle-To-Gate life cycle assessment of ships - A case study of Panamax bulk carrier (Tuan & Wei, 2019)	Panamax Bulk Carrier (M/Prabhu Yuvika)	Ισπανία	2004	25	88248	76300	11948	225,00	217,30	32,26	19,30	13,98	0,76	Cradle-to-Gate	Gabi Software	OML 2001	Χάλυβας
	Panamax Oil Tanker	Νότια Κορέα	2009	25	86318	74296	12022	219,00	N/A	32,24	20,60	14,17	0,85	Cradle-to-Grave	Gabi Software	OML 2001	Χάλυβας
Evaluating environmental impacts of an oil tanker using life cycle assessment method (Quang, 2021)	Panamax Oil Tanker	Νότια Κορέα	2009	25	88221	74296	12022	N/A	219,00	32,24	20,60	14,17	0,85	Cradle-to-Grave	N/A	N/A	Χάλυβας
	2 Container Vessels	Νότια Κορέα	N/A	52 (26 ανά τοίχο)	N/A	N/A	55000	399,00	376,21	59,00	30,30	15,80	0,7 - 0,75	Cradle-to-Grave	N/A	N/A	Χάλυβας
The role of material efficiency to reduce CO2 emissions during ship manufacture A Life Cycle Approach (Gilbert, 2017)	Panamax Bulk Carrier	Σιγκαπούρη	2004	20	84400	73000	11400	N/A	218,69	32,25	19,03	13,77	N/A	Cradle-to-Gate	Gabi Software	OML 2001	Χάλυβας
	Panamax Bulk Carrier (P20)	N/A	N/A	20	84400	N/A	11400	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Cradle-to-Grave	Gabi Software	OML 2001	Χάλυβας
A comp study of LCA of a Panamax bulk carrier in consideration of lightweight (Dong & Cai, 2019)	Panamax Bulk Carrier (P30)	N/A	N/A	30	84400	N/A	12200	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Cradle-to-Grave	Gabi Software	OML 2001	Χάλυβας
	Bulk Carrier	Νότια Κορέα	1997	20	N/A	73000	N/A	224,97	218,69	32,25	19,03	13,77	N/A	Cradle-to-Grave	Gabi Software	OML 2001	Χάλυβας
Greenhouse Gas Emissions of a Cargo Ship from a Life Cycle Perspective (Quang, 2020)	Panamax Bulk Carrier	N/A	N/A	N/A	84400	N/A	11,400- 12,200	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Cradle-to-Grave	N/A	OML 2001	Χάλυβας
	Handymax Bulk Carrier	N/A	N/A	N/A	54600	N/A	8,087- 8,700	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Cradle-to-Grave	N/A	OML 2001	Χάλυβας
Fouling release coating application as an environmentally efficient retrofit a case study of a ferry-type ship (Blanco-Davis, 2014)	Ro-Ro Passenger Ship	N/A	2001	25	20150	6515	N/A	203,90	185,60	25,00	9,1	N/A	N/A	Cradle-to-Grave	Gabi Software	OML 2010	Χάλυβας

**Πίνακας 12:** Συγκεντρωτικά στοιχεία των παραπάνω ερευνητικών άρθρων. (Σκάφη)

Τίτλος/Άρθρο	Είδος/Πλοίο	Τοποθεσία Ναυπηγείο	Έτος Ναυπηγείο	Χρόνος Συρτή (Χρόνος)	Μάζα Displacement (Tons)	DMT (Tons)	LMT (Tons)	Σταθμό ήφους (m)	Length between perpendiculars (m)	Breadth (m)	Depth (m)	Draft (m)	Block Coefficient (Cb)	Είδος LC	Λογισμικό	Μεθόδολογία LCA	Υλικά/Κατασκευές/Γέφυρες
Comparative environmental LCA of materials in wooden boat exodisign (Pormier, 2016)	Ferry Boat	Ιταλία	2012	30-100+	2050-2336	N/A	8-10,85	18,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Cradle-to-Grave	Ecodesign Studio	Recipe Midpoint (H) V1.05	Αλουμίνιο/GFR/African Wood/Airtime Pine & Oak
Comparative life cycle assessment of the hull of a high-speed craft (Burman, 2016)	Patrol Craft	Σουηδία	N/A	25	274-33.6	N/A	4.48.7	23.90	20.1	5.10	N/A	N/A	N/A	Cradle-to-Grave	SimPro	CM.2 Baseline 2000	Αλουμίνιο/Σύνθετα Υλικά
Life cycle assessment in yacht industry A case study of comparison between hand lay-up and vacuum infusion (Guineada, 2017)	Yacht	Ιταλία	N/A	25	N/A	31,15-36,28	28,15-31,28	18,66	N/A	5.00	N/A	N/A	N/A	Cradle-to-Grave	GAB Software	CM.2001	Σύνθετα Υλικά
Life Cycle Model and Metrics in Shipbuilding How to Use them in the Preliminary Design Phases (Fau, 2018)	Motor Yacht	Ιταλία	N/A	20	N/A	N/A	N/A	49.80	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Cradle-to-Grave	SimPro	Recipe Midpoint	Χάλυβας, Αλουμίνιο
Using design information to create a data framework and tool for life cycle analysis of complex maritime vessels (Fau, 2018)	Yacht	Ιταλία	N/A	N/A	N/A	N/A	230-330	42,6-48,8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Cradle-to-Grave	SimPro	Recipe Midpoint (H) and Cumulative Energy Demand	Χάλυβας/Αλουμίνιο/Σύνθετα Υλικά
End-of-Life Alternatives of Glass Reinforced Polyester Boat Hulls Compared by LCA (Orsi-Nesser, 2019)	Boat	Τουρκία	N/A	N/A	400	N/A	N/A	11,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Cradle-to-Grave	N/A	CM-1A	GRP (Glass Reinforced Polyester)
Life Cycle cost and environmental impact analysis of ship hull maintenance strategies for a short route hybrid ferry (Wang et al., 2018)	Hybrid Ferry (NV+Hull@)	Σαουδία	2012	N/A	N/A	499	N/A	48,5	N/A	12,20	3,00	1,73	0,45	Cradle-to-Grave	GAB Software	CM.2001, ReCFE, TRAG, ILCD	Χάλυβας

## **5. Μεθοδολογική προσέγγιση, τεκμηρίωση και στόχοι εργασίας**

### **5.1. Τεκμηρίωση και προσδιορισμός στόχων εργασίας**

Στόχος της παρούσας εργασίας, είναι η συγκριτική αξιολόγηση και η ανάλυση κύκλου ζωής υλικών κατασκευής πλοίων στο σύνολο της εφοδιαστικής τους αλυσίδας.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν, με βάση και το μεθοδολογικό πλαίσιο της ΑΚΖ που παρουσιάστηκε παραπάνω, θα πραγματοποιηθεί ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προέρχονται από τα στάδια της κατασκευής, της συντήρησης και της αποσυναρμολόγησης/ανακύκλωσης μιας γάστρας κατασκευασμένης από χάλυβα, ενός εμπορικού πλοίου. Το υλικό στο οποίο θα εστιάσει η παρούσα έρευνα είναι ο χάλυβας. Ορισμένα υλικά όπως οι βαφές και τα ανόδια ψευδαργύρου που θα παρουσιαστούν παρακάτω, συμπεριλαμβάνονται στις φάσεις της προστασίας του χάλυβα από την διάβρωση. Δηλαδή παίζουν και αυτά με την σειρά τους ενεργό ρόλο στο κομμάτι της μελέτης για τον χάλυβα.

**Ως ερωτήματα/στόχοι της παρούσας εργασίας θετώνται τα παρακάτω:**

- Ποιες είναι οι ποσοτικές εκπομπές ρύπων προς το περιβάλλον σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής μιας χαλύβδινης γάστρας ενός πλοίου;
- Ποιες είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής μιας χαλύβδινης γάστρας ενός πλοίου;
- Τι διαφορές εμφανίζουν μεταξύ τους τα στάδια του κύκλου της ζωής της γάστρας τόσο στις εκπομπές ρύπων, όσο και στις επιπτώσεις που επιφέρουν;
- Προσδιορισμός των διεργασιών που επιβάρυνουν περισσότερο το περιβάλλον λόγω των εκπομπών ρύπων που εκλύουν και αναφορά σε ιδέες εκπόνησης νέων μελετών πάνω σε αυτό το αντικείμενο.

### **5.2. Μεθοδολογική προσέγγιση και παραδοχές**

#### **Κύρια Μεθοδολογικά Βήματα**

- Αρχικά, με γνώμονα το μεθοδολογικό πλαίσιο του εργαλείου της ΑΚΖ που αναλύθηκε σε παραπάνω κεφάλαιο (**Κεφάλαιο 3**), πραγματοποιήθηκε ΑΚΖ που αφορούσε την μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την κατασκευή, την συντήρηση και την αποσυναρμολόγηση/ανακύκλωση μιας γάστρας ενός εμπορικού πλοίου, κατασκευασμένη πλήρως από χάλυβα.
- Οι εξισώσεις και οι υπολογισμοί των δεδομένων εισόδου και εξόδου της μελέτης ΑΚΖ παρουσιάζονται στο **Κεφάλαιο 6** που ακολουθεί.

- Έπειτα, για τους υπολογισμούς τόσο των εκλύσεων κατά την φάση της απογραφής και καταγραφής των δεδομένων, όσο και των επιπτώσεων προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο κατά την φάση της ΑΕΚΖ, αξιοποιήθηκε πρώτα το λογισμικό **Microsoft Excel**, στο οποίο και δομήθηκε ένα εργαλείο γρήγορων υπολογισμών των άνωθεν ζητούμενων. Επιπλέον μέσω αυτού του λογισμικού, κατασκευάστηκαν και τα γραφήματα που θα ακολουθήσουν στο **Κεφάλαιο 6** που θα ακολουθήσει. **(Βλ. Παράρτημα Β)**
- Τέλος, αξιοποιήθηκε και ένα λογισμικό ΑΚΖ το οποίο παρουσιάστηκε και παραπάνω, το **SimaPro**. Μέσω αυτού του λογισμικού έγινε προσπάθεια υπολογισμού των αποτελέσματος της 2<sup>ης</sup> και της 3<sup>ης</sup> φάσης της ΑΚΖ της γάστρας του πλοίου. Τα αποτελέσματα και τα γραφήματα που ελήφθησαν από εκεί, θα παρουσιαστούν παρακάτω.

### Παραδοχές

- Όπως είναι λογικό, ένα πλοίο αποτελεί μια εξαιρετικά σύνθετη κατασκευή. Ακόμα και κατά τον διαχωρισμό του σε επιμέρους κατασκευές, πάλι οι επιμέρους αυτές κατασκευές απαιτούν μεγάλη ανάλυση για οποιαδήποτε επεξεργασία δέχονται. Στην παρούσα εργασία, οι διεργασίες που θα μελετηθούν, λήφθηκαν από ερευνητικά άρθρα και εργασίες που αφορούν αυτό το αντικείμενο.
- Κάποιοι από τους υπολογισμούς των γενικών χαρακτηριστικών της γάστρας, όπως ο υπολογισμός της επιφάνειας της γάστρας που θα δεχτεί ψηγματοβολή και βαφές, λήφθηκαν προσεγγιστικά και σε συνεννόηση με μηχανικούς από την εταιρεία που διαχειρίζεται το πλοίο που θα μελετηθεί.
- Επιπρόσθετες παραδοχές θα παρουσιάζονται σε κάθε φάση που θα μελετηθεί παρακάτω.

### Δεδομένα Εισόδου

- Όσον αφορά τους υπολογισμούς μέσω του Microsoft Excel, οι συντελεστές εκπομπών των ρύπων, για κάθε διεργασία, ελήφθησαν από το SimaPro, από άλλη διπλωματική εργασία με τίτλο «Ανάλυση Κύκλου Ζωής της Μεταλλικής Κατασκευής του πλοίου». (Ρουμελιώτη, 2013), από διάφορα ερευνητικά άρθρα και από έγγραφα τεχνικών προδιαγραφών προϊόντων. Αυτοί οι συντελεστές παραθέτονται σε πίνακες (**Πίνακες Δ1 έως και Δ9**) στο **Παράρτημα Δ** παρακάτω.
- Επιπρόσθετα δεδομένα και εξισώσεις, αντλήθηκαν από την εταιρεία διαχείρισης του υπό μελέτη πλοίου, άλλες διπλωματικές εργασίες, βιβλία επιστημονικού περιεχομένου, ερευνητικά άρθρα και από έγγραφα τεχνικών προδιαγραφών προϊόντων.
- Ορισμένα δεδομένα επίσης, βρίσκονταν ήδη στις βάσεις δεδομένων του λογισμικού του SimaPro, από όπου και αντλήθηκαν.

### Ερευνητική υποδομή

Η έκδοση του λογισμικού AKZ που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία είναι η εξής:

#### **SimaPro - 9.4.0 (Demo Version)**

Επίσης χρησιμοποιείται και το παρακάτω λογισμικό:

#### **Microsoft Excel 2016**

Για την εκτέλεση των υπολογισμών της πειραματικής διαδικασίας, χρησιμοποιήθηκε υπολογιστής με τις παρακάτω προδιαγραφές:

- **Επεξεργαστής:** AMD A8-7600 Radeon R7, 10 Compute Cores 4C + 6G 3.10GHz
- **Κάρτα Γραφικών:** NVIDIA GeForce GTX 960
- **Εγκατεστημένη RAM:** 8 GB
- **Σκληρός Δίσκος:** Εγκατεστημένος SSD 128 GB



## **6. Μελέτη Περίπτωσης - AKZ μιας χαλύβδινης γάστρας ενός πλοίου**

Στην παρούσα ενότητα θα πραγματοποιηθεί μια αναλυτική AKZ που αφορά την κατασκευή, την συντήρηση και την τελική διάθεση του χάλυβα μιας γάστρας ενός εμπορικού πλοίου μεταφοράς χύδην φορτίου.

### **6.1. Προσδιορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής**

Ο στόχος της παρούσας μελέτης είναι μέσω της χρήσης του εργαλείου της AKZ, να υπολογιστούν οι διάφορες εκπομπές ρύπων και οι διάφορες επιπτώσεις, που προκύπτουν από τις διαφορετικές διεργασίες που απαιτούνται για την κατασκευή, την συντήρηση, αλλά και την τελική διάθεση του χάλυβα, από τον οποίον κατασκευάζεται η γάστρα ενός εμπορικού πλοίου. Επιπροσθέτως, άλλος ένας στόχος της παρούσας μελέτης είναι να διακριθούν οι διεργασίες ανάλογα με τις εκπομπές ρύπων που απελευθερώνουν προς στο περιβάλλον και να υπογραμμιστούν αυτές που μελλοντικά θα πρέπει να βελτιωθούν.

Γενικότερα, όπως αναλύθηκε και στο **Κεφάλαιο 2** ο χάλυβας δεν είναι το μόνο υλικό που συναντάται μέσα σε ένα πλοίο. Ορισμένα σημεία του μπορεί είτε να αποτελούνται από αλουμίνιο, είτε από χαλκό, είτε και από σύνθετα υλικά. Συνηθίζεται σε πολύ μεγάλα πλοία, η γάστρα του πλοίου να κατασκευάζεται από χάλυβα κυρίως λόγω του ότι είναι εύκολα επεξεργάσιμος, οικονομικός συγκριτικά με τα άλλα υλικά και λόγω της υψηλής μηχανικής αντοχής του. Ταυτόχρονα, ένα πλοίο αποτελεί μια εξαιρετικά σύνθετη κατασκευή, κάτι που καθιστά αδύνατη την εφαρμογή της AKZ σε ολόκληρο το σύνολο του. Επομένως, γίνεται εύκολα αντιληπτή η ανάγκη για τον διαχωρισμό του πλοίου, σε επιμέρους κατασκευές που θα μπορούν να αναλυθούν ξεχωριστά για την εξαγωγή των αντίστοιχων συμπερασμάτων.

Στην παρούσα μελέτη το υποσύστημα που μελετάται είναι αυτό της γάστρας του πλοίου “*M/V AG. NEKTARIOS*”. Το πλοίο αυτό, ανήκει στην κατηγορία των Bulk Carriers (Πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου). Η διάρκεια ζωής του ορίζεται στα 25 έτη και τα βασικά χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στον **Πίνακα 13** παρακάτω.

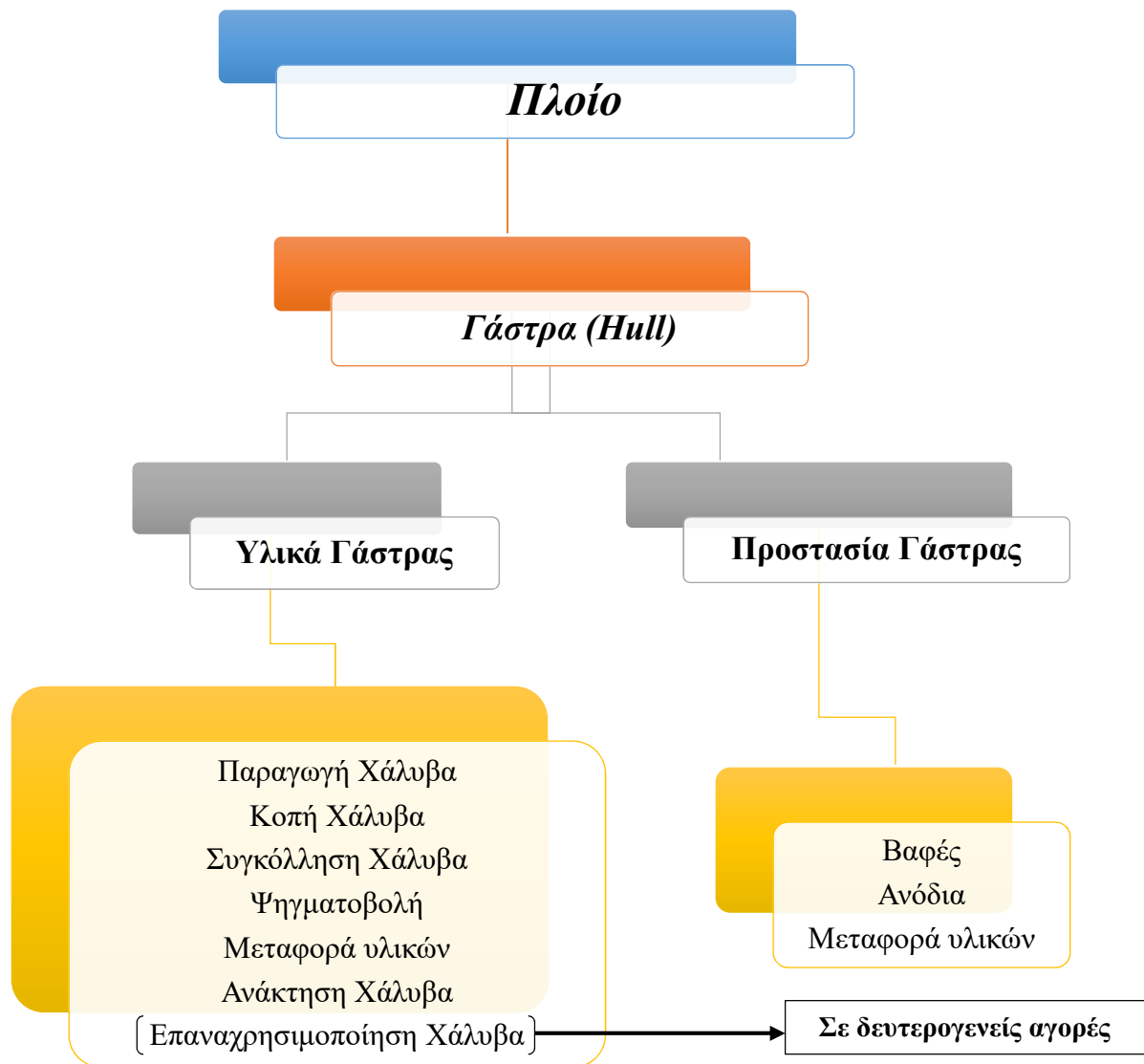
**Πίνακας 13:** Βασικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου.

<b>Load Line</b>	<b>Length LOA (m)</b>	<b>Breadth B (m)</b>	<b>Depth D (m)</b>	<b>Draught T (m)</b>	<b>Deadweight DWT (Τόνοι)</b>	<b>Displacement Δ (Τόνοι)</b>
<b>Fresh Water Line</b>	189,90	32,26	17,20	12,77	58915,17	70226,44

Σημειώνεται ότι τα χαρακτηριστικά του πλοίου που παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα, ελήφθησαν από επίσημα σχέδια και έγγραφα που δόθηκαν στον μελετητή από την ίδια την εταιρεία διαχείρισης του πλοίου, έτσι ώστε να εκπονηθεί η παρούσα εργασία.

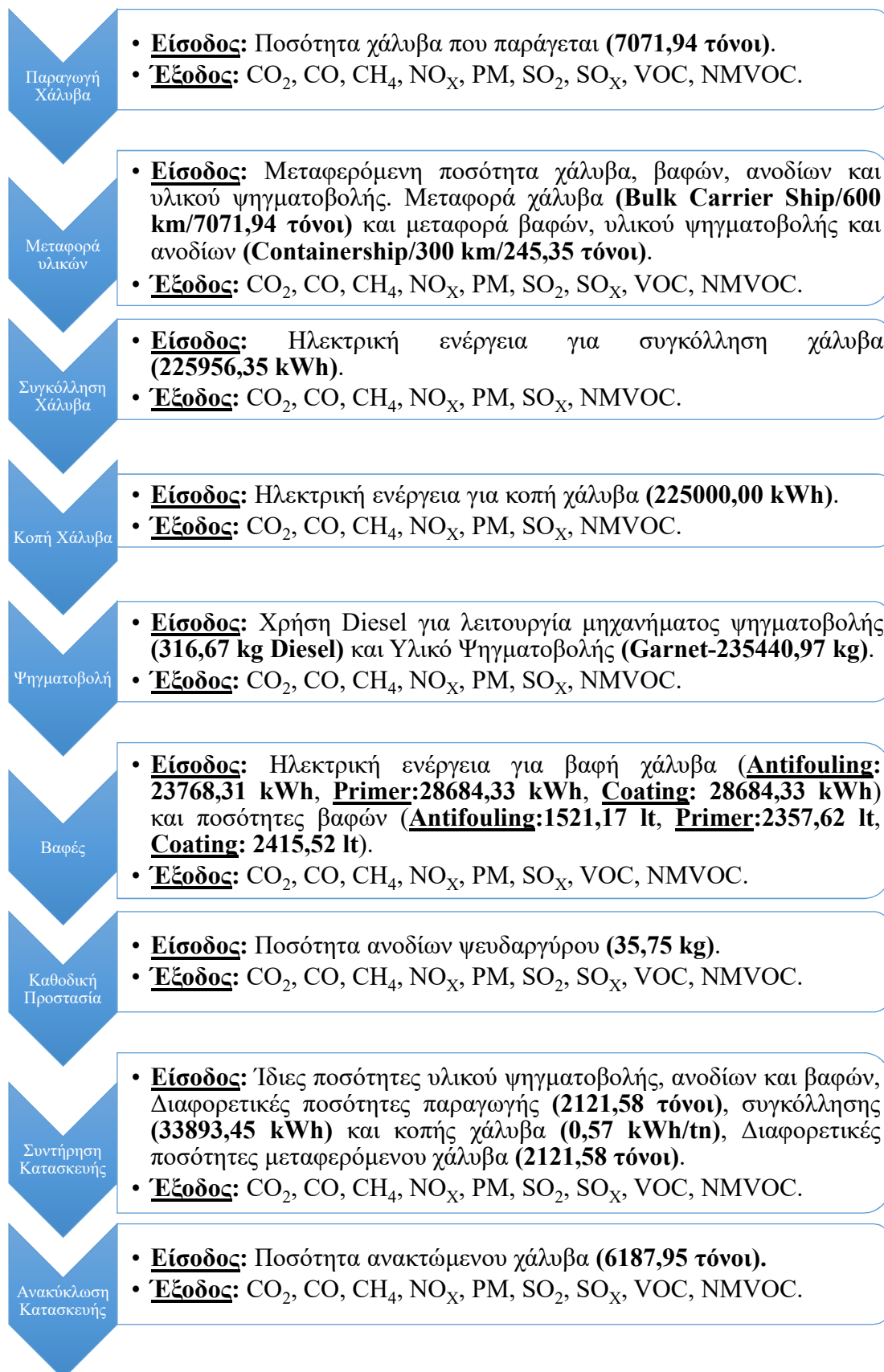
Το κοινό στο οποίο απευθύνεται η παρούσα εργασία δεν περιορίζεται αποκλειστικά σε ερευνητές και μελετητές που εργάζονται στον κλάδο της ναυτιλίας και της ναυπηγικής, αλλά προορίζεται και προς μελετητές που ασχολούνται γενικότερα με το εργαλείο της ΑΚΖ.

Τα γραφήματα που ακολουθούν (**Γράφημα 2**, **Γράφημα 3**) περιγράφουν τα όρια του συστήματος της μελέτης και τις διεργασίες που συμμετέχουν στην ΑΚΖ της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου.



**Γράφημα 2:** Όρια του συστήματος μελέτης της ΑΚΖ για την γάστρα του πλοίου.  
(Chatzinikolaou and Ventikos, 2015)

Συνολικά, κατά την διάρκεια του κύκλου της ζωής ενός πλοίου υπάρχουν 4 φάσεις. Αυτές είναι η κατασκευή, η συντήρηση και η ανακύκλωση/αποσυναρμολόγηση της γάστρας του και του συστήματος πρόωσης του και η λειτουργία του πλοίου. Στο παρακάτω γράφημα (**Γράφημα 3**) παρουσιάζεται, ποιες διαδικασίες συμμετέχουν στην μελέτη. Στο ίδιο γράφημα παρουσιάζονται οι εισροές και οι εκροές κάθε σταδίου του κύκλου ζωής που θα μελετηθεί παρακάτω.



**Γράφημα 3:** Στάδια του κύκλου ζωής του υπό μελέτη πλοίου.

Στις υποενότητες που ακολουθούν, θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα οι διεργασίες των παραπάνω γραφημάτων.

#### **6.1.1. Διεργασίες κατασκευής και προστασίας της γάστρας**

Στην φάση της κατασκευής της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου συμμετέχουν οι παρακάτω διεργασίες:

##### **Παραγωγή χάλυβα**

Σε αυτήν την διαδικασία, περιλαμβάνεται ο υπολογισμός της ποσότητας του χάλυβα που απαιτείται για την κατασκευή του υπό μελέτη πλοίου, το οποίο έχει νεκρό βάρος (Deadweight – DWT) ίσο με 58915,17 τόνους (**Από Πίνακα 13**). Ο υπολογισμός του βάρους του χάλυβα που απαιτείται γίνεται με την χρήση της μεθόδου Sneeckluth, που θα αναλυθεί παρακάτω στην φάση της καταγραφής και απογραφής των δεδομένων του κύκλου ζωής. (Papanikolaou, 2014).

##### **Συγκόλληση χάλυβα**

Στην συνέχεια, η απαιτούμενη ποσότητα του χάλυβα μεταφέρεται σε πλάκες και στην συνέχεια κόβεται και συγκολλείται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθεί το τελικό αποτέλεσμα. Ο υπολογισμός του συνολικού μήκους συγκόλλησης πραγματοποιήθηκε μέσω της χρήσης του τυπολόγιου που παρατίθεται στον **Πίνακα 1 (Table 1)** του **ερευνητικού άρθρου με τίτλο «Application of Life Cycle Assessment in Shipping»** από τους Χατζηνικολάου και Βεντίκο. (Chatzinikolaou and Ventikos, 2014)

##### **Κοπή χάλυβα**

Για την κατασκευή της γάστρας του πλοίου κάποιες από τις τυποποιημένες πλάκες περνάνε από την διαδικασία της κοπής, έτσι ώστε να λάβουν το κατάλληλο σχήμα και μέγεθος για να εφαρμόσουν στην κατασκευή της. Για τον υπολογισμό της ενέργειας που απαιτείται για τις διαδικασίες της κοπής του χάλυβα, έγινε αναγωγή από την ενέργεια που απαιτείται για την κοπή ενός Bulk Carrier με νεκρό βάρος ίσο με 76000 τόνους. (Kameyama et al., 2004)

##### **Μεταφορά υλικών**

Σε αυτό το στάδιο υπολογίζεται η μεταφορά της συνολικής ποσότητας του χάλυβα, των βαφών και του υλικού ψηγματοβολής που καταναλώνονται συνολικά. Το σενάριο μεταφοράς των υλικών που θεωρείται στην παρούσα μελέτη είναι το εξής:

- Ο χάλυβας μεταφέρεται με Bulk Carrier Ship, ενώ οι βαφές, το υλικό της ψηγματοβολής και τα ανόδια μεταφέρονται με Containership. Όσον αφορά τις αποστάσεις μεταφοράς αυτές ορίζονται στα 600 km για την μεταφορά του χάλυβα και στα 300 km για την μεταφορά των βαφών, του υλικού της ψηγματοβολής και των ανοδίων.

## Ψηγματοβολή

Η αμμοβολή ή αλλιώς η ψηγματοβολή της γάστρας ενός πλοίου είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος για την αφαίρεση των βαφών και την προετοιμασία της χαλύβδινης επιφάνειας της γάστρας, έτσι ώστε να βαφτεί για πρώτη φορά ή να επαναβαφτεί κατά την συντήρηση του πλοίου. Χαλκός, σκωρία, σκωρία άνθρακα, χαλύβδινο τρίξιμο, χαλύβδινο σφαιρίδιο, γυαλί και γρανάτης, αποτελούν τα πιο κοινά λειαντικά αμμοβολής που παρέχουν ένα εύρος μεγεθών σωματιδίων και σκληρότητας. Γενικότερα, ορισμένες σημαντικές περιοχές του πλοίου απαιτούν την εφαρμογή λειαντικής αμμοβολής πριν από την βαφή τους. Η φύση του κόκκου του λειαντικού (Δηλαδή το μέγεθος, το σχήμα και κυρίως η μάζα του) καθορίζει το πόσο αποτελεσματικά θα λειτουργήσει αυτό στον χάλυβα. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο τύπος της χαλύβδινης επιφάνειας, η κατανομή της και η πολυπλοκότητα της διαμόρφωσής της, πρωτού αρχίσει η ψηγματοβολή. Όπως προσδιορίζουν και οι Χατζηνικολάου και Βεντικός στην μελέτη τους, την κατανάλωση του Diesel και του υλικού που χρειάζεται για την ψηγματοβολή, μπορούν οι μελετητές να τις λαμβάνουν από έρευνες του (Fet, 2002) και του (Hansink, 1998) αντίστοιχα. (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015)

## Βαφές

Οι διεργασίες των βαφών στην ναυπηγική βιομηχανία, παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις, καθώς χρησιμοποιούνται πολλές διαφορετικού τύπου βαφές ανάλογα με τον τύπο του πλοίου που βάφεται, την επιφάνεια που τίθεται προς βαφή κ.α. Παρακάτω, μετά από έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε έγγραφα τα οποία αφορούσαν τις βαφές κατά την συντήρηση ενός πλοίου που διαχειρίζεται η ίδια εταιρεία που διαχειρίζεται το υπό μελέτη πλοίο, εντοπίστηκαν και καταγράφηκαν τα διαφορετικά τμήματα ενός πλοίου που υπόκεινται σε διαδικασίες βαφής σε οποιαδήποτε φάση της ζωής ενός πλοίου γενικότερα. Αυτές παρουσιάζονται επιγραμματικά παρακάτω:

- Βρεχόμενες επιφάνειες,
- Κατάστρωμα,
- Έξαλλα,
- Υπερκατασκευές,
- Αμπάρια,
- Δεξαμενές έρματος.

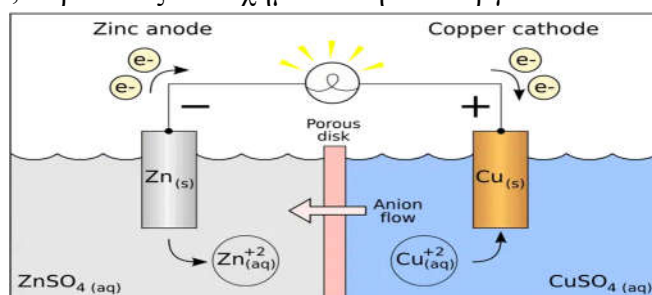
Στο πλοίο που τίθεται υπό μελέτη χρησιμοποιείται **1 στρώση Primer, 1 στρώση Antifouling** και μια **1 στρώση Coating**. Σημειώνεται πως μόνο στην περιοχή της βρεχόμενης επιφάνειας χρησιμοποιήθηκε βαφή Antifouling ανάμεσα στις 2 στρώσεις των άλλων δύο βαφών. (**Παραδοχή:** Η φάση των βαφών αφορά **αποκλειστικά** την ολοκληρωμένη βαφή του εξωτερικού της γάστρας και όχι άλλων κατασκευών όπως π.χ. των Ballast Tanks, των υπερκατασκευών, των καταστρωμάτων κ.α.)

Οι επιλογές των βαφών (**Σημείωση:** Όχι ο αριθμός των στρώσεων) στηρίχθηκαν σε ένα πραγματικό σενάριο βαφής, της γάστρας ενός άλλου πλοίου που διαχειρίζεται η εταιρεία που διαχειρίζεται και το πλοίο που θα μελετηθεί. Τα διάφορα στοιχεία που χρειάστηκαν για τους υπολογισμούς λήφθηκαν μέσα από τα φύλλα των τεχνικών προδιαγραφών των βαφών, μέσα από το διαδικτυακό ιστότοπο της εταιρείας που παράγει αυτές τις βαφές (**Βλ. Παράρτημα Γ**).

### Καθοδική προστασία

Όπως αναφέρθηκε και σε παραπάνω ενότητα η διάβρωση αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους εχθρούς τόσο του πλοίου όσο και των λοιπών μηχανημάτων του. Ο χάλυβας από τον οποίον αποτελείται το μεγαλύτερο μέρος της γάστρας ενός πλοίου είναι γενικότερα ένα υλικό εξαιρετικά επιρρεπής στην διάβρωση, ειδικά όταν έρχεται σε τακτική επαφή με τον αέρα και το νερό. Ένα πλοίο και ειδικότερα η γάστρα του έρχονται συνεχώς σε επαφή με το θαλασσινό νερό και τους ανέμους που είναι φορτωμένοι με υγρασία, γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερα ευαίσθητα στην διάβρωση. Εξού και η τοποθέτηση των βαφών που αναφέρθηκαν παραπάνω για την προστασία τους. Για την επιμέρους όμως προστασία του χάλυβα χρησιμοποιούνται και οι θυσιαζόμενες άνοδοι ή αλλιώς τα ανόδια (Sacrificial Anodes). Τα ανόδια λειτουργούν με μια αρχή που μοιάζει με αυτήν της ηλεκτρόλυσης, σύμφωνα με την οποία αν μια άνοδος και μια μεταλλική λωρίδα βυθιστούν σε ένα ηλεκτρολυτικό διάλυμα, τα ηλεκτρόνια της ανόδου θα διαλυθούν και θα εναποτεθούν πάνω στη μεταλλική λωρίδα και θα την καταστήσουν κάθοδο.

Στην περίπτωση ενός πλοίου το θαλασσινό νερό λειτουργεί ως ο ηλεκτρολύτης της διαδικασίας, ο οποίος μεταφέρει τα ηλεκτρόνια από την άνοδο οξειδώνοντάς τα πάνω από τη χαλύβδινη πλάκα και δημιουργεί ένα προστατευτικό στρώμα. Εάν το μέταλλο του ανοδίου είναι πιο ενεργό από το μέταλλο που χρίζει προστασίας θα οξειδώνεται εύκολα και θα προστατεύει τη μεταλλική ένωση κάνοντάς την να λειτουργεί ως κάθοδος. Η άνοδος θα διαβρωθεί πρώτη θυσιάζοντας τον εαυτό της για την άλλη ένωση και έτσι ονομάζεται θυσιαζόμενη άνοδος. (Anish, 2021) Στο **Σχήμα 14** που ακολουθεί, παρουσιάζεται σχηματικά η λειτουργία των ανοδίων.



**Σχήμα 14:** Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας ανοδίων. (Anish, 2021)

Συνήθως τα ανόδια ελέγχονται κάθε 2 με 3 χρόνια που γίνονται οι συντηρήσεις των πλοίων έτσι ώστε να διαπιστωθεί κάποια πιθανή φθορά τους, κάτι το οποίο θα οδηγήσει στην αλλαγή ενός αριθμού από αυτά. Εάν διαπιστωθεί εκτεταμένη φθορά των εκάστοτε ανοδίων τότε γίνεται αντικατάσταση αυτών με ανόδια μεγαλύτερου μεγέθους κατά την συντήρηση του πλοίου. (Anish, 2021)

### **6.1.2. Διεργασίες συντήρησης της γάστρας**

Στην φάση της συντήρησης της γάστρας οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα είναι κοινές με αυτές της κατασκευής της. Παρόλα αυτά, μετά από συζήτηση με τους μηχανικούς και τους ιδιοκτήτες της ναυτιλιακής εταιρείας που διαχειρίζεται το υπό μελέτη πλοίο, έγινε κατανοητό πως η φάση της συντήρησης ενός πλοίου είναι κάτι εξαιρετικά σύνθετο. Και για αυτόν λοιπόν τον λόγο έγιναν οι έξης παραδοχές:

1. Σε ολόκληρη την διάρκεια της ζωής του πλοίου γίνεται μια ολοκληρωτική συντήρηση. Σε πραγματικές συνθήκες συνηθίζεται η συντήρηση του πλοίου να γίνεται ανά 2 με 3 χρόνια.
2. Όσον αφορά την ποσότητα του χάλυβα που αντικαθιστάται σε ολόκληρη την διάρκεια της ζωής του πλοίου, αυτή λαμβάνεται ίση περίπου με το 30% του συνολικού βάρους του χάλυβα που απαιτείται για την κατασκευή της γάστρας του πλοίου. Σε πραγματικές συνθήκες η αντικατάσταση του χάλυβα γίνεται μόνο σε ορισμένα σημεία της γάστρας που το απαιτούν, λόγω της εκτεταμένης φθοράς του.
3. Το μήκος της συγκόλλησης για την φάση της συντήρησης λαμβάνεται ίσο με το 15% του μήκους της συγκόλλησης ολόκληρης της κατασκευής.
4. Η ενέργεια που απαιτείται για την κοπή του χάλυβα λαμβάνεται ίση με το 15% της ενέργειας κοπής που απαιτείται για ολόκληρη την κατασκευή.
5. Για την μεταφορά των υλικών ισχύουν οι ίδιες συνθήκες, απλά αλλάζουν οι ποσότητες που μεταφέρονται. Σε πραγματικές συνθήκες, οι αποστάσεις αλλά και οι τρόποι με τους οποίους μεταφέρονται τα υλικά αλλάζουν. Καθώς συνήθως η αγορά όλων των υλικών μπορεί να γίνεται από πολλούς διαφορετικούς προμηθευτές ανά τον κόσμο.
6. Η ψηγματοβολή θεωρείται ότι εφαρμόζεται μία ολόκληρη φορά καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του πλοίου σε ολόκληρη την επιφάνεια της γάστρας του. Σε πραγματικές συνθήκες κατά την συντήρηση του πλοίου, ψηγματοβολή εφαρμόζεται μόνο σε συγκεκριμένα σημεία της γάστρας που το απαιτούν. Αυτά τα σημεία προσδιορίζονται συνήθως από το ίδιο το ναυπηγείο που πραγματοποιείται η συντήρηση.
7. Οι βαφές εφαρμόζονται μια φορά εξ' ολοκλήρου όπως και κατά την φάση της κατασκευής της γάστρας του πλοίου σε όλες τις επιφάνειες της. Σε πραγματικές συνθήκες οι βαφές εφαρμόζονται μόνο σε συγκεκριμένα σημεία της γάστρας που το απαιτούν. Αυτά τα σημεία προσδιορίζονται συνήθως από το ίδιο το ναυπηγείο που πραγματοποιείται η συντήρηση.
8. Η καθοδική προστασία εφαρμόζεται μια φορά εξ' ολοκλήρου, όπως και κατά την φάση της κατασκευής της γάστρας του πλοίου. Σε πραγματικές συνθήκες γίνεται αντικατάσταση ενός συγκεκριμένου αριθμού ανοδίων που έχουν φθαρεί. Ο αριθμός των ανοδίων προς αντικατάσταση συνήθως προσδιορίζεται από τους μηχανικούς του ναυπηγείου που πραγματοποιείται η συντήρηση. Επιπροσθέτως, θεωρείται ότι δεν χρειάζεται η τοποθέτηση μεγαλύτερων ανοδίων από αυτά που επιλέγονται κατά την φάση της κατασκευής της γάστρας.



### 6.1.3. Διεργασίες ανακύκλωσης της γάστρας

Ο συνολικός περιβαλλοντικός αντίκτυπος ενός προϊόντος μπορεί να μειωθεί δραστικά, εάν η ανακύκλωση των υλικών που σχετίζονται με αυτό το προϊόν ληφθεί υπόψη. Ωστόσο στην περίπτωση των πλοίων, αξιόπιστες περιβαλλοντικές πληροφορίες για την ανακύκλωση τους δεν είναι ευρέως διαθέσιμες. Αυτό συμβαίνει καθώς ο τεράστιος όγκος της διεθνούς χωρητικότητας διάλυσης πλοίων καταλήγει συνήθως σε χώρους της Ν. Ασίας λόγω ορισμένων φυσικών, ρυθμιστικών και κοστολογικών πλεονεκτημάτων. Σε αυτές τις περιοχές η διάλυση ενός πλοίου πραγματοποιείται ακολουθώντας διαδικασίες που βασίζονται στην αρχή του μέγιστου διαχωρισμού της δομής του πλοίου, αλλά δεν χρησιμοποιούνται τεχνολογίες παρόμοιες με αυτές της ναυπηγικής και δύσκολα θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως βιομηχανικές διαδικασίες, καθιστώντας έτσι την συλλογή των σχετικών περιβαλλοντικών πληροφοριών ένα πολύ δύσκολο έργο.

Ορισμένες πληροφορίες σχετικά με τα ανακυκλώσιμα υλικά από διάφορα εμπορικά πλοία προέρχονται από ναυπηγεία ανακύκλωσης στην Ινδία. Ο χάλυβας στην Ινδία σε μεγάλο βαθμό ανακτάται ως χαλυβδοέλασμα. Αυτή είναι μια συνήθης πρακτική στην Ασία η οποία είναι σχεδόν ανήκουστη στις ανεπτυγμένες χώρες, όπου η πιο συνηθισμένη επεξεργασία για τα scrap του χάλυβα που προέρχονται από τα διαλυμένα πλοία, είναι πρώτα ο χάλυβας να λιώσει σε φούρνους τήξης. Επιπροσθέτως με βάση μια άλλη έρευνα, υπολογίστηκε ότι η ποσότητα του χάλυβα του πλοίου που περνάει από επεξεργασία και ανακτάται με αυτήν την συγκεκριμένη μέθοδο επανακυκλώσεως ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του πλοίου (**Σχήμα 15**). (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015)

Material recovered	General cargo ship (%)	Bulk carrier (%)	Oil tanker (%)
Re-rollable ferrous sheet	56-70	61-75	72-81
Meltable ferrous scrap	10	8-10	5-7
Cast iron scrap	1.5-5	1.5-2.5	1.5-3
Non - ferrous metals	0.5-1	0.5	0.5-2
Weight loss	9-15	10-16	10-12
Machinery	4-8	1-6	0.5-2

**Σχήμα 15:** Ανακτώμενες ποσότητες χάλυβα διαφορετικού τύπου πλοίων. (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015)



## **6.2. Καταγραφή και απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής**

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι μέθοδοι που αξιοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των δεδομένων εισόδου (Inputs) για κάθε φάση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Διεργασία) του χάλυβα της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου, των εκπομπών (Δεδομένα Εξόδου - Outputs) για κάθε φάση και τις παραδοχές που ελήφθησαν. Παρακάτω, για κάθε διεργασία που παρουσιάστηκε και στην **Ενότητα 6.1**, παρουσιάζονται οι εξισώσεις με τις οποίες έγιναν οι υπολογισμοί όλων των δεδομένων εισόδου και εξόδου αυτής της μελέτης. Αυτές αντλήθηκαν από ένα ερευνητικό άρθρο των Χατζηνικολάου και Βεντίκου. (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015)

### **6.2.1. Δεδομένα εισόδου**

#### **Παραγωγή χάλυβα**

Για τον υπολογισμό των εκπομπών ρύπων που εκλύονται προς το περιβάλλον κατά την διαδικασία της παραγωγής του χάλυβα, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015):

$$m_i^{\text{Steel}} = EF_i * W_{\text{Steel}} \quad (1)$$

**Όπου:**

- $EF_i$  = Ο συντελεστής εκπομπής για τον κάθε διαφορετικό ρύπο  $i$  κατά την διαδικασία παραγωγής του χάλυβα,
- $W_{\text{Steel}}$  = Το βάρος του χάλυβα της γάστρας του πλοίου (Τόνοι).

Οι συντελεστές των εκπομπών που αφορούν χάλυβα St13 ελήφθησαν από άλλη διπλωματική εργασία [(Ρουμελιώτη, 2013)] και από το λογισμικό SimaPro.

Για τον υπολογισμό του βάρους του χάλυβα που απαιτείται για την κατασκευή της γάστρας του πλοίου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Sneekluth (Papanikolaou, 2014). Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν αντλήθηκαν επίσης από άλλη διπλωματική εργασία [(Λεβεντάκης, 2013)]. Να σημειωθεί πως σε αυτήν την μελέτη δεν υπολογίστηκε το βάρος του χάλυβα των υπερκατασκευών του πλοίου καθώς αυτές δεν αποτελούν ενιαίο μέρος της γάστρας του πλοίου. Τα στοιχεία και οι παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν και λήφθηκαν υπόψη για την εκπόνηση της μεθόδου Sneekluth, παρουσιάζονται στον πίνακα παρακάτω (**Πίνακας 14**).

Εν συνεχεία ο κάθε συντελεστής εκπομπής για κάθε ρύπο πολλαπλασιάζεται με το βάρος του χάλυβα  $W_{\text{ST}}$  και έτσι έχουμε τις συνολικές εκπομπές για τον κάθε ρύπο ξεχωριστά κατά την παραγωγή του χάλυβα.

**Πίνακας 14:** Στοιχεία και παραδοχές για την εκπόνηση της μεθόδου Sneekluth.

Μέθοδος Sneekluth		
Μεγέθη	Τιμή	Παραδοχή
<b>Block Coefficient C<sub>B(T)</sub></b>	0,875	-
<b>C<sub>1</sub></b>	0,25	Θεωρείται ότι το πλοίο έχει μικρό άνοιγμα νομέων υπεράνω της ισάλου.
<b>Block Coefficient C<sub>B(D)</sub></b>	0,886	-
<b>Όγκος V<sub>u</sub> κάτωθεν ανώτατου συνεχούς καταστρώματος (m<sup>3</sup>)</b>	93320,55	-
<b>V<sub>D</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	0	-
<b>V<sub>S</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	0	-
<b>S<sub>F</sub></b>	0	S <sub>F</sub> = S <sub>A</sub> = 0, καθώς δεν υφίσταται σιμότητα στο πατρικό πλοίο και ως εκ τούτου δεν έχουμε αύξηση όγκου λόγω σιμότητας.
<b>S<sub>A</sub></b>	0	
<b>V<sub>b</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	0	-
<b>b</b>	0	Θεωρείται ότι δεν υφίσταται κυρτότητα στο πατρικό πλοίο και άρα δεν υπάρχει αύξηση όγκου λόγω κυρτότητας.
<b>C<sub>ST'</sub></b>	0,110	Για Bulk Carriers.
<b>n</b>	1	Λαμβάνεται ίσο με 1.
<b>C<sub>M</sub></b>	1	Λαμβάνεται ίσο με 1.
<b>W<sub>ST</sub> (Τόννοι)</b>	7392,40	-
<b>W<sub>ST'</sub> (Τόννοι)</b>	<b>7071,94</b>	<i>Πραγματοποιήθηκε η πράξη W<sub>ST</sub>-5%, για να γίνει διόρθωση για βολοειδή πλώρα.</i>

### Συγκόλληση χάλυβα

Για τον υπολογισμό των εκπομπών ρύπων που εκλύονται προς το περιβάλλον κατά την διαδικασία της συγκόλλησης του χάλυβα, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015):

$$m_i^{Weld} = \sum_{k=1}^n EF_{i,k} * E_k^{Weld} * L_k \quad (2)$$

**Όπου:**

- $EF_{i,k}$  = Ο συντελεστής εκπομπής για τον κάθε διαφορετικό ρύπο  $i$  κατά την διαδικασία παραγωγής του χάλυβα,
- $E_k^{Weld}$  = Η συνολική ενέργεια που απαιτείται για την συγκόλληση ενός μέτρου χάλυβα (kWh/m),
- $L_k$  = Το μήκος της συγκόλλησης μέσω της μεθόδου συγκόλλησης  $k$  (m).

Οι συντελεστές των εκπομπών που αφορούν την συγκόλληση ελήφθησαν από άλλη διπλωματική εργασία [(Ρουμελιώτη, 2013)] και από το λογισμικό SimaPro.

Για τον υπολογισμό του συνολικού μήκους της συγκόλλησης του χάλυβα χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις που παραθέτονται σε ερευνητικό άρθρο των Χατζηνικολάου και Βεντίκου (Chatzinikolaou and Ventikos, 2014) στον **Πίνακα 1**. Αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα παρακάτω (**Πίνακας 15**).

**Πίνακας 15:** Εξισώσεις υπολογισμού μηκών συγκόλλησης χάλυβα.

Welding length of longitudinal stiffeners	$L_1 = \left(\frac{B}{0,7} \times 3 \times L\right) + \left(\frac{D}{0,7} \times 2 \times L\right) + \left(\frac{D-2}{0,7} \times 2 \times L\right)$	m
Welding length of transverse stiffeners	$L_2 = \left[\frac{L}{0,7} \times (3 \times B + 2 \times D)\right] + \left[\frac{L}{0,7} \times (D - 2) \times 2\right]$	m
Welding length of bulkheads	$L_3 = [8 \times (3B + 2D + 2(D - 2))] + [8 \times \frac{B}{0,7} \times D]$	m
Welding length of plating	$L_4 = \left[\frac{L}{6m} \times (3B + 2D + 2(D - 2))\right] + \left[\frac{B}{2m} \times 3 \times L\right] + \left[\left(\frac{D}{2m} + \frac{D-2}{2m}\right) \times 2 \times L\right]$	m
Total welding length	$L_{WeldingTotal} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$	m

Στον **Πίνακα 16** που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα υπολογιζόμενα μήκη συγκόλλησης βάση των διαστάσεων του πλοίου που μελετάται.

**Πίνακας 16:** Υπολογισμένα μήκη συγκόλλησης χάλυβα.

<b>Μήκος Συγκόλλησης Longitudinal Stiffeners (m)</b>	43834,35
<b>Μήκος Συγκόλλησης Transverse Stiffeners (m)</b>	43834,35
<b>Μήκος Συγκόλλησης Bulkheads (m)</b>	7634,03
<b>Μήκος Συγκόλλησης Longitudinal Stiffeners (m)</b>	20456,03
<b>Συνολικό μήκος συγκόλλησης <math>L_k</math> (m)</b>	<b>115758,75</b>

Τέλος, όσον αφορά την απαιτούμενη ενέργεια για την συγκόλληση του χάλυβα, μέσω του (Kameyama et al., 2004) υπολογίζεται ότι η απαιτούμενη ενέργεια για την συγκόλληση 1 μέτρου χάλυβα ισούται με 1,952 kWh/m.

Έπειτα αυτή η απαιτούμενη ενέργεια πολλαπλασιάζεται με το συνολικό μήκος της συγκόλλησης και υπολογίζεται ότι:

$$E_k^{Weld} = 1,952 \text{ kWh/m} * 115758,75 \text{ m} =$$

$$225956,35 \text{ kWh}$$

Εν συνεχεία ο κάθε συντελεστής εκπομπής του κάθε ρύπου πολλαπλασιάζεται με την συνολική απαιτούμενη ενέργεια συγκόλλησης  $E_k^{Weld}$  και έτσι έχουμε τις συνολικές εκπομπές για τον κάθε ρύπο ξεχωριστά κατά την συγκόλληση του χάλυβα.

### Κοπή χάλυβα

Για τον υπολογισμό των εκπομπών ρύπων που εκλύονται προς το περιβάλλον κατά την διαδικασία της κοπής του χάλυβα χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015):

$$m_i^{Cut} = EF_i * E_{1ton}^{Cut} * DWT \quad (3)$$

#### Όπου:

- $EF_i$  = Ο συντελεστής εκπομπής για τον κάθε διαφορετικό ρύπο  $i$  κατά την διαδικασία κοπής του χάλυβα,
- $E_{1ton}^{Cut}$  = Η συνολική ενέργεια που απαιτείται για την κοπή ενός τόνου χάλυβα (kWh/Τόνο), από (Kameyama et al., 2004) ίσο με 3,819 kWh/tn,
- Deadweight - DWT = Το νεκρό βάρος του πλοίου από **Πίνακα 13** (Τόνοι).

Οι συντελεστές των εκπομπών που αφορούν την συγκόλληση ελήφθησαν από άλλη διπλωματική εργασία [(Ρουμελιώτη, 2013)] και από το λογισμικό SimaPro.

Έτσι, ο κάθε συντελεστής εκπομπής για κάθε ρύπο πολλαπλασιάζεται με την συνολική απαιτούμενη ενέργεια συγκόλλησης  $E_{1ton}^{Cut}$  και έτσι έχουμε τις συνολικές εκπομπές για τον κάθε ρύπο ξεχωριστά κατά την κοπή του χάλυβα.

### Ψηγματοβολή

Για τον υπολογισμό των εκπομπών ρύπων που εκλύονται προς το περιβάλλον κατά την διαδικασία της ψηγματοβολής του χάλυβα, χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω εξισώσεις (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015):

$$m_i^{Blasting} = EF_i * C_{Diesel,Blasting} \quad (4)$$

$$m_{PMs}^{Blasting} = EF_{PM} * C_{Material,Blasting} \quad (5)$$

#### Όπου:

- $EF_i$  = Ο συντελεστής εκπομπής για τον κάθε διαφορετικό ρύπο  $i$  εκτός από τα PM, κατά την διαδικασία ψηγματοβολής του χάλυβα,
- $EF_{PM}$  = Ο συντελεστής εκπομπής για τα PM, κατά την διαδικασία ψηγματοβολής του χάλυβα,
- $C_{Diesel,Blasting} = C_{Diesel,Blasting} (m2) * A_{Blasting}$  Συνολική κατανάλωση Diesel (kg),
- $C_{Material,Blasting} = C_{Material,Blasting} (m2) * A_{Blasting}$  Συνολική κατανάλωση υλικού ψηγματοβολής (kg).

Οι συντελεστές των εκπομπών ρύπων που αφορούν την ψηγματοβολή εκτός από τους συντελεστές των PM ελήφθησαν από άλλη διπλωματική εργασία [(Ρουμελιώτη, 2013)] και από το λογισμικό SimaPro. Ο συντελεστής εκπομπής των PM λαμβάνεται ίσος με 0,69 g/ton. (National Pollutant Inventory, 1999)

Για τον υπολογισμό της συνολικής κατανάλωσης Diesel και υλικού ψηγματοβολής πρέπει να υπολογιστεί το εμβαδόν της επιφάνειας που θα βαφτεί, έτσι ώστε να περαστεί πρώτα από ψηγματοβολή. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τα στοιχεία του **Πίνακα 13**. Πιο συγκεκριμένα:

**Πλευρές:**

$$[\text{LOA (m)} * \text{Depth (m)}] * 2 = 6532,56 \text{ m}^2$$

**Πρόσοψη-Πίσω Όψη:**

$$[\text{Breadth (m)} * \text{Depth (m)}] * 2 = 1109,74 \text{ m}^2$$

**Κάτοψη:**

$$[\text{Breadth (m)} * \text{LOA (m)}] = 6126,17 \text{ m}^2$$

**Συνολική Επιφάνεια Ψηγματοβολής:**

$$13768,48 \text{ m}^2$$

Αυτό το οποίο πρέπει να σημειωθεί, είναι ότι τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών, αποτελούν προσεγγιστικά μεγέθη, καθώς για λόγους απλούστευσης οι επιφάνειες θεωρήθηκαν ότι έχουν ορθογώνια σχήματα. Σε πραγματικές συνθήκες, οι επιφάνειες της γάστρας που τίθενται τόσο προς ψηγματοβολή, όσο και προς βαφή, εμφανίζουν αρκετά σύνθετες γεωμετρίες, οι οποίες δεν μπορούν να αναλυθούν εύκολα.

Έπειτα πραγματοποιείται ο υπολογισμός των  $C_{\text{Diesel,Blasting}}$  και  $C_{\text{Material,Blasting}}$  μέσω των παρακάτω τύπων:

$$\begin{aligned} C_{\text{Diesel,Blasting}} &= \\ &= C_{\text{Diesel,Blasting (m2)}} * A_{\text{Blasting}} = \\ &316,67 \text{ kg} \end{aligned}$$

**Όπου:**

- $C_{\text{Diesel,Blasting (m2)}}$  = Η ποσότητα Diesel που απαιτείται για την ψηγματοβολή ενός τετραγωνικού μέτρου της επιφάνειας της γάστρας, η οποία λαμβάνεται ίση με 0,023 kg/m<sup>2</sup>. (Ρουμελιώτη, 2013)

$$\begin{aligned} C_{\text{Material,Blasting}} &= \\ &= C_{\text{Material,Blasting (m2)}} * A_{\text{Blasting}} = \\ &235440,97 \text{ kg} \end{aligned}$$

### Όπου:

- $C_{Material,Blasting} (m^2)$  = Η ποσότητα του υλικού που απαιτείται για την ψηγματοβολή ενός τετραγωνικού μέτρου της επιφάνειας της γάστρας, η οποία λαμβάνεται ίση με  $17,10 \text{ kg/m}^2$  για την περίπτωση όπου το υλικό της ψηγματοβολής είναι ο γρανάτης (Garnet). Η επιλογή αυτή στηρίχθηκε σε άρθρο του Hansink, στο οποίο αναφέρεται ότι ο γρανάτης, αποτελεί το καλύτερο υλικό ψηγματοβολής, λόγω της δυνατότητας του να αφαιρεί πλήρως ένα σύστημα 3-βαφών όπως θα εφαρμοστεί και στην παρούσα μελέτη και να παρέχει μια αρκετά λεία επιφάνεια για την τοποθέτηση των βαφών. Επιπροσθέτως, θεωρείται και ως το πιο περιβαλλοντικά φιλικό υλικό ψηγματοβολής, σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά όπως τα Copper Slag, Coal Slag κλπ. (Hansink, 1998) Επίσης, η επιλογή αυτή στηρίχθηκε και από συζητήσεις με μηχανικούς της εταιρείας διαχείρισης του υπό μελέτη πλοίου.

Έτσι, ο κάθε συντελεστής εκπομπής για κάθε ρύπο πολλαπλασιάζεται ή με την συνολική ποσότητα του Diesel στην περίπτωση όλων των ρύπων εκτός των PM ή με την συνολική ποσότητα του υλικού που απαιτείται για την ψηγματοβολή των επιφανειών στην περίπτωση των PM και έτσι έχουμε τις συνολικές εκπομπές για τον κάθε ρύπο ξεχωριστά κατά την ψηγματοβολή του χάλυβα.

### Καθοδική προστασία

Για τον υπολογισμό των εκπομπών ρύπων που εκλύονται προς το περιβάλλον κατά την διαδικασία της καθοδικής προστασίας του χάλυβα, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015):

$$m_i^{\text{Anodes}} = EF_{i/\text{ZincAnodes(Shipbuilding)}} * Q \quad (6)$$

### Όπου:

- $EF_{i/\text{ZincAnodes(Shipbuilding)}}$  = Ο συντελεστής εκπομπής για τον κάθε διαφορετικό ρύπο  $i$  κατά την διαδικασία της καθοδικής προστασίας του χάλυβα,
- $Q$  = Η συνολική ποσότητα των ανοδίων που απαιτείται για την βρεχόμενη επιφάνεια και τις δεξαμένες έρματος του πλοίου (kg).

Οι συντελεστές των εκπομπών που αφορούν την καθοδική προστασία ελήφθησαν από άλλη διπλωματική εργασία [(Ρουμελιώτη, 2013)] και από το λογισμικό SimaPro.

Για τον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας των ανοδίων γίνεται χρήση της παρακάτω εξίσωσης (Chatzinikolaou and Ventikos, 2014):

$$Q = \frac{A_{\text{Wetted/Ballast}} * i_c * t}{\epsilon * U} \quad (7)$$

### Όπου:

- $A_{\text{Wetted/Ballast}}$  = Η βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας ή των δεξαμενών έρματος αντίστοιχα ( $m^2$ ).

Η  $A_{Wetted}$  υπολογίζεται μέσω της παρακάτω εξίσωσης (Chatzinikolaou and Ventikos, 2014):

Wetted surface	$A_{Wetted} = L \times ((2 \times D) + B) \times \sqrt{0,992 \times (0,53 + 0,632 \times C_B - 0,36 \times (0,992 - 0,5) - 0,00135 \times \frac{L}{B})}$	$m^2$
----------------	--	-------

Η  $A_{Ballast}$  θεωρούμε ότι είναι το 50% της  $A_{Wetted}$  με την παραδοχή ότι οι δεξαμενές έρματος γεμίζουν μέχρι το 50% της χωρητικότητας τους.

- $i_c$  = Η απαιτούμενη ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία ισούται με 15 mA/m<sup>2</sup> και με 5 mA/m<sup>2</sup>, για την βρεχόμενη επιφάνεια και για την επιφάνεια των δεξαμενών έρματος αντίστοιχα. (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015),
- $t$  = Ο χρόνος που περνάει το ανόδιο μέσα στο νερό σε ώρες. Με βάση την παραδοχή ότι τα ανόδια αλλάζουν μόνο μια φορά σε ολόκληρη την ζωή του πλοίου, ο χρόνος είναι ίσος με 12,5 χρόνια\*8760 ώρες = 109500 ώρες.
- $\epsilon$  = Η ηλεκτρική χωρητικότητα του ανοδίου στο θαλασσινό νερό, ίση με 780000 A\*hr/kg (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015),
- $U$  = Ο συντελεστής ενεργοποίησης του ανοδίου, όπου λαμβάνεται ίσος με 1.

**Έτσι έχουμε ότι:**

$$Q_{Wetted} = 23,84 \text{ kg}$$

$$Q_{Ballast} = 11,92 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{Συνολικό}} = 35,75 \text{ kg}$$

Εν συνεχεία ο κάθε συντελεστής εκπομπής για κάθε ρύπο πολλαπλασιάζεται με την συνολική ποσότητα των ανοδίων και έτσι έχουμε τις συνολικές εκπομπές για τον κάθε ρύπο ξεχωριστά κατά την εφαρμογή της καθοδικής προστασίας του χάλυβα.

### Βαφές

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, όσον αφορά τις βαφές, τα Primers και τα Coatings θα τοποθετηθούν σε ολόκληρη την επιφάνεια της γάστρας. Αντίθετα, το Antifouling θα τοποθετηθεί μόνο στην βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας του πλοίου ως ενδιάμεση στρώση μεταξύ του Primer και του Coating.

Για τον υπολογισμό των εκπομπών ρύπων που εκλύονται προς το περιβάλλον κατά την διαδικασία της βαφής του χάλυβα χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω εξισώσεις (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015):

$$m_{i,Painting/energy} = EF_i * E_A \quad (8)$$

$$m_{VOC,Painting/energy} = EF_{VOC} * Q_i \quad (9)$$

**Όπου:**

- $EF_i$  = Ο συντελεστής εκπομπής για τον κάθε διαφορετικό ρύπο  $i$  εκτός από τα VOC, κατά την διαδικασία βαφής του χάλυβα,



- $EF_{VOC}$  = Ο συντελεστής εκπομπής για τα VOC, κατά την διαδικασία βαφής του χάλυβα,
- $E_A = E_{Paints(1m2)} * A_{Painting} * n$  = Η ενέργεια που απαιτείται για την βαφή των επιφανειών (kWh),
- $Q = TC * A_{Painting} * n$  = Το υλικό βαφής που χρειάζεται για την βαφή των επιφανειών (Λίτρα).

Ο συντελεστής  $EF_{VOC}$  λαμβάνεται για το κάθε είδος βαφής από τα έγγραφα των τεχνικών προδιαγραφών της κάθε βαφής που είναι διαθέσιμα προς στο κοινό από την ίδια την εταιρεία. Τα έγγραφα των βαφών που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται και στο **Παράρτημα Γ** παρακάτω. Σε κάθε έγγραφο στο γκρι κουτί παρουσιάζονται οι συντελεστές εκπομπών VOC σε g/l. Οι συντελεστές των υπόλοιπων εκπομπών ελήφθησαν από άλλη διπλωματική εργασία [(Ρουμελιώτη, 2013)] και από το λογισμικό SimaPro.

Για τον υπολογισμό της ενέργειας που απαιτείται για την βαφή των επιφανειών της γάστρας του πλοίου θεωρείται ότι οι στρώσεις  $n$  για κάθε βαφή ξεχωριστά είναι ίσες με τον αριθμό 1. Η επιφάνεια που τίθεται προς βαφή εξαρτάται ανάλογα το είδος της βαφής που χρησιμοποιήθηκε. Στον **Πίνακα 17** που ακολουθεί παρουσιάζονται οι επιφάνειες που τίθενται προς βαφή. Αυτές υπολογίστηκαν και παραπάνω στην διεργασία της ψηφματοβολής.

**Πίνακας 17:** Επιφάνειες βαφής γάστρας ανά είδος βαφής.

Επιφάνεια Antifouling ( $A_{Wetted}$ ) ( $m^2$ )	11408,79
Επιφάνεια Primer ( $m^2$ )	13768,48
Επιφάνεια Coating ( $m^2$ )	13768,48

Επιπλέον για τον υπολογισμό της ενέργειας που απαιτείται ανά τετραγωνικό μέτρο βαφής  $E_{Paints(1m2)}$ , θεωρήθηκε ίση με  $2,08 \text{ kW/m}^2$ , με την προϋπόθεση ότι το σπρέι της βαφής που χρησιμοποιείται έχει ονομαστική ισχύ  $25 \text{ kWh}$  και με την παραδοχή ότι βάφεται  $1 \text{ m}^2$  επιφάνειας ανά  $5$  λεπτά.

Η συνολική ενέργεια που απαιτείται για κάθε είδος βαφής παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί (**Πίνακας 18**).

**Πίνακας 18:** Ενέργεια που απαιτείται για την βαφή των επιφανειών της γάστρας ανά είδος βαφής.

Απαιτούμενη ενέργεια για εφαρμογή βαφής ανά επιφάνεια - Antifouling (kWh)	23768,31
Απαιτούμενη ενέργεια για εφαρμογή βαφής ανά επιφάνεια - Primer (kWh)	28684,33
Απαιτούμενη ενέργεια για εφαρμογή βαφής ανά επιφάνεια - Coating (kWh)	28684,33



Για τον υπολογισμό της ποσότητας του υλικού της βαφής που απαιτείται για την βαφή των επιφανειών θεωρείται ότι οι στρώσεις η για κάθε βαφή ξεχωριστά είναι ίσες με τον αριθμό 1. Η επιφάνεια που τίθεται προς βαφή εξαρτάται ανάλογα το είδος της βαφής που χρησιμοποιήθηκε. Η θεωρητική κάλυψη TC της κάθε βαφής λαμβάνεται από τα έγγραφα των τεχνικών προδιαγραφών των βαφών που παρουσιάζονται στο **Παράρτημα Γ** παρακάτω. Αυτές οι τιμές παρατίθενται και στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 19**).

**Πίνακας 19:** Θεωρητική κάλυψη κάθε είδους βαφής.

Θεωρητική Κάλυψη Βαφής (m <sup>2</sup> /lt)	
Primer	5,84
Antifouling	7,50
Coating	5,70

Η συνολική απαιτούμενη ποσότητα των βαφών για κάθε είδος βαφής παρουσιάζεται στον πίνακα παρακάτω (**Πίνακας 20**).

**Πίνακας 20:** Συνολική απαιτούμενη ποσότητα κάθε είδους βαφής.

Ποσότητα βαφής Antifouling (lt)	1521,17
Ποσότητα βαφής Primer (lt)	2357,62
Ποσότητα βαφής Coating (lt)	2415,52

Εν συνεχεία ο κάθε συντελεστής εκπομπής για κάθε ρύπο πολλαπλασιάζεται με την συνολική ποσότητα της αντίστοιχης ποσότητας και ενέργειας που απαιτείται για κάθε βαφή και έτσι έχουμε τις συνολικές εκπομπές για τον κάθε ρύπο ξεχωριστά κατά τις διεργασίες των βαφών της γάστρας.

### Μεταφορά υλικών

Για τον υπολογισμό των εκπομπών ρύπων που εκλύονται προς το περιβάλλον κατά την διαδικασία της μεταφοράς όλων των υλικών προς τον τόπο ναυπήγησης της γάστρας, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015):

$$m_{i,Transportation} = EF_{i,transportation} * Q * D \quad (10)$$

**Όπου:**

- $EF_{i,Transportation}$  = Ο συντελεστής εκπομπής για τον κάθε διαφορετικό ρύπο i κατά την διαδικασία της μεταφοράς των υλικών,
- Q = Η συνολική ποσότητα των υλικών που μεταφέρονται (Τόνοι),
- D = Η απόσταση που μεταφέρεται το εκάστοτε υλικό (km).

Οι συντελεστές των εκπομπών που αφορούν την μεταφορά των υλικών ελήφθησαν από άλλη διπλωματική εργασία [(Ρουμελιώτη, 2013)] και από το λογισμικό SimaPro.

Εν συνεχεία, ο κάθε συντελεστής εκπομπής για κάθε ρύπο πολλαπλασιάζεται με την συνολική ποσότητα των υλικών και έτσι έχουμε τις συνολικές εκπομπές για τον κάθε ρύπο ξεχωριστά, κατά την μεταφορά των υλικών.

### Ανακύκλωση χάλυβα

Πρωτού γίνει η παρουσίαση των εξισώσεων υπολογισμού των εκπομπών ρύπων κατά την ανακύκλωση του χάλυβα, μέσω του παρακάτω σχήματος (**Σχήμα 15**), παρουσιάζονται οι ποσότητες του χάλυβα που ανακτώνται και οι μορφές στις οποίες ανακτάται ο χάλυβα, ανά διαφορετικό τύπο πλοίου.

Material recovered	General cargo ship (%)	Bulk carrier (%)	Oil tanker (%)
Re-rollable ferrous sheet	56-70	61-75	72-81
Meltable ferrous scrap	10	8-10	5-7
Cast iron scrap	1.5-5	1.5-2.5	1.5-3
Non - ferrous metals	0.5-1	0.5	0.5-2
Weight loss	9-15	10-16	10-12
Machinery	4-8	1-6	0.5-2

**Σχήμα 15:** Ανακτώμενες ποσότητες χάλυβα διαφορετικού τύπου πλοίων. (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015)

Με βάση τις τιμές του παραπάνω σχήματος (**Σχήμα 15**) υπολογίζονται οι ποσότητες και τα είδη του ανακτώμενου χάλυβα της γάστρας του πλοίου, κατά την διαδικασία της ανακύκλωσης του. Αυτές οι ποσότητες παρουσιάζονται και στον πίνακα παρακάτω (**Πίνακας 21**).

**Πίνακας 21:** Ποσότητες και μορφές ανακτώμενου χάλυβα.

<i>W<sub>Steel</sub> (tns)</i>	<b>7071,94</b>
<i>Weight Loss (tns)</i>	883,99
<i>Reroll Scrap (tns)</i>	5303,96
<i>Melting Scrap (tns)</i>	707,19
<i>Cast Iron (tns)</i>	176,80

Για τον υπολογισμό του συνόλου του χάλυβα που ανακτάται, προστίθενται οι ποσότητες του παραπάνω πίνακα (**Πίνακας 21**) μεταξύ τους και έτσι έχουμε:

$$W_{STEEL,RECOVERED} = 6187,95 \text{ tons}$$

Έπειτα, για τον υπολογισμό των εκπομπών ρύπων που εκλύονται προς το περιβάλλον κατά την διαδικασία της ανακύκλωσης του χάλυβα, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση (Chatzinikolaou and Ventikos, 2015):

$$m_{i,recycling} = EF_{i,recycling} * W_{SteelRecovered} \quad (11)$$

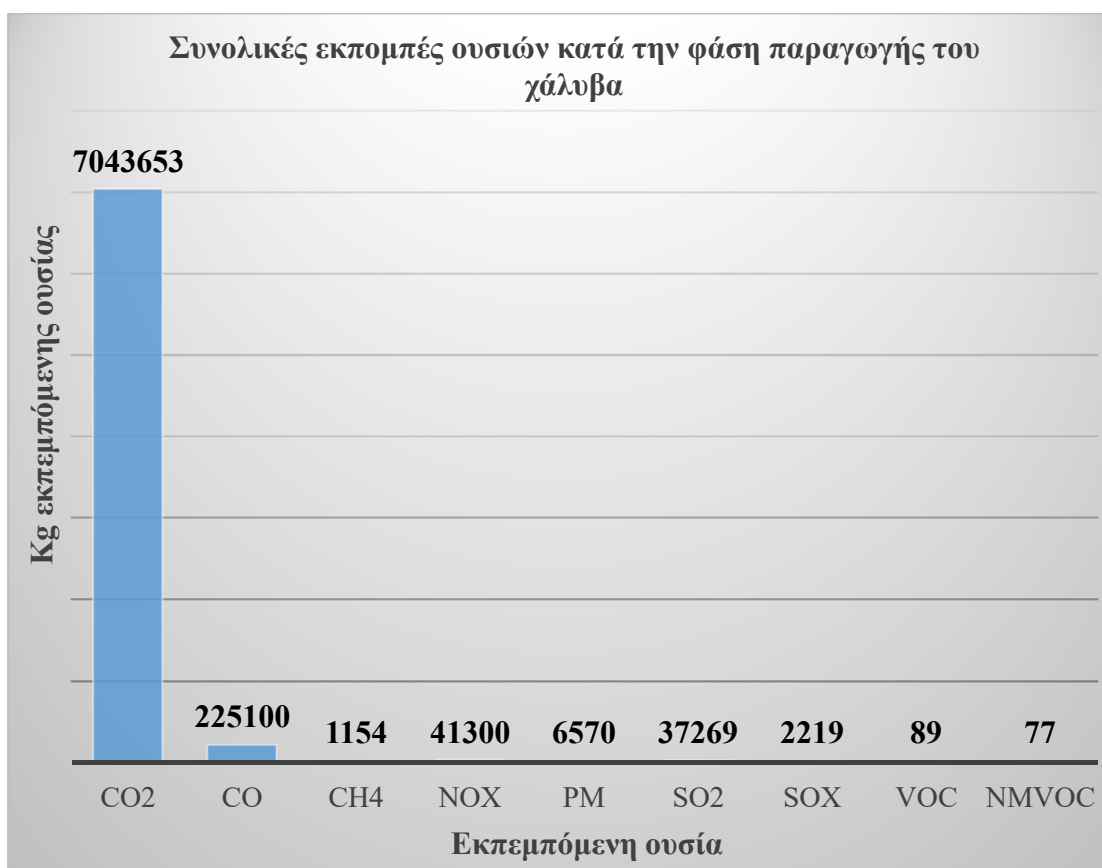
Οι συντελεστές των εκπομπών που αφορούν την ανακύκλωση του χάλυβα, ελήφθησαν από άλλη διπλωματική εργασία [(Ρουμελιώτη, 2013)] και από το λογισμικό SimaPro.

### 6.2.2. Δεδομένα εξόδου - Αποτελέσματα

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που ελήφθησαν μετά από την εφαρμογή της ΑΚΖ για το υπό μελέτη πλοίο. Τα αποτελέσματα αυτά υπολογίστηκαν στο λογισμικό **Microsoft Excel**. Σημειώνεται ότι οι πίνακες των συντελεστών εκπομπής για κάθε διεργασία τοποθετήθηκαν στο **Παράρτημα Δ** παρακάτω. Στην συνέχεια αυτής της ενότητας τα αποτελέσματα από τους πίνακες των συνολικών εκπομπών ανά διεργασία, θα παρουσιαστούν με την μορφή ραβδογραμμάτος έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μετέπειτα.

#### Παραγωγή γάλυβα

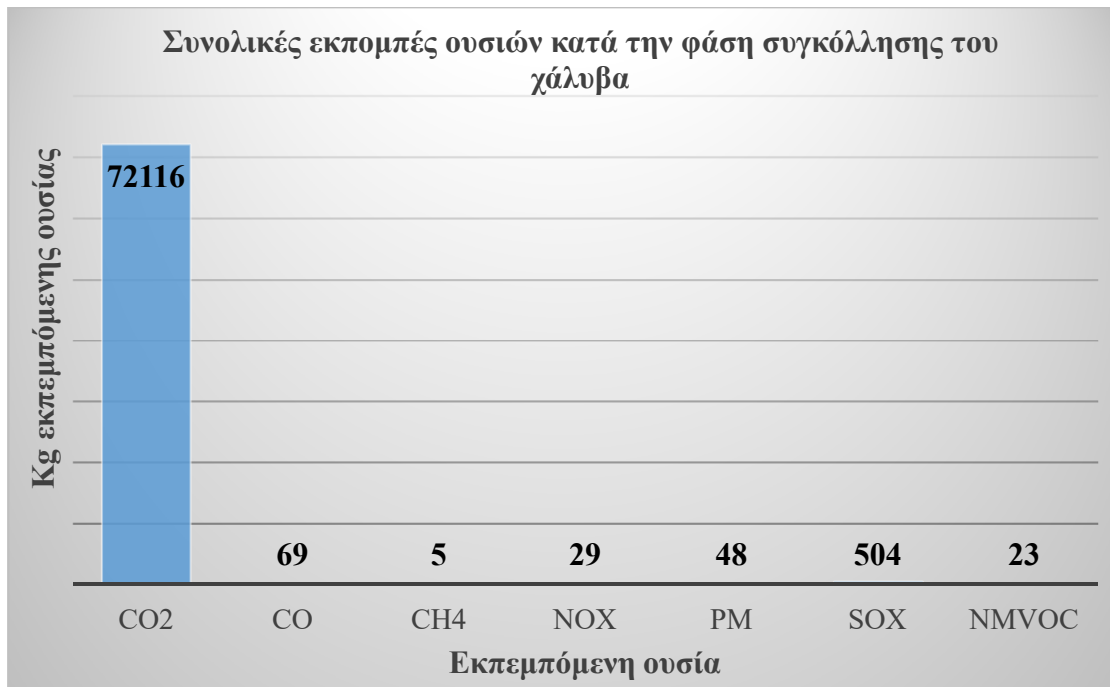
Στον **Πίνακα Δ1** του **Παραρτήματος Δ** παρουσιάζονται οι εκπεμπόμενες ουσίες κατά την φάση παραγωγής του γάλυβα μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές τους. Στο **Γράφημα 4** που ακολουθεί παρουσιάζονται σχηματικά οι υπολογισμένες συνολικές εκπομπές των ουσιών αυτών.



**Γράφημα 4:** Συνολικές εκπομπές κατά την φάση παραγωγής του γάλυβα.

#### Συγκόλληση γάλυβα

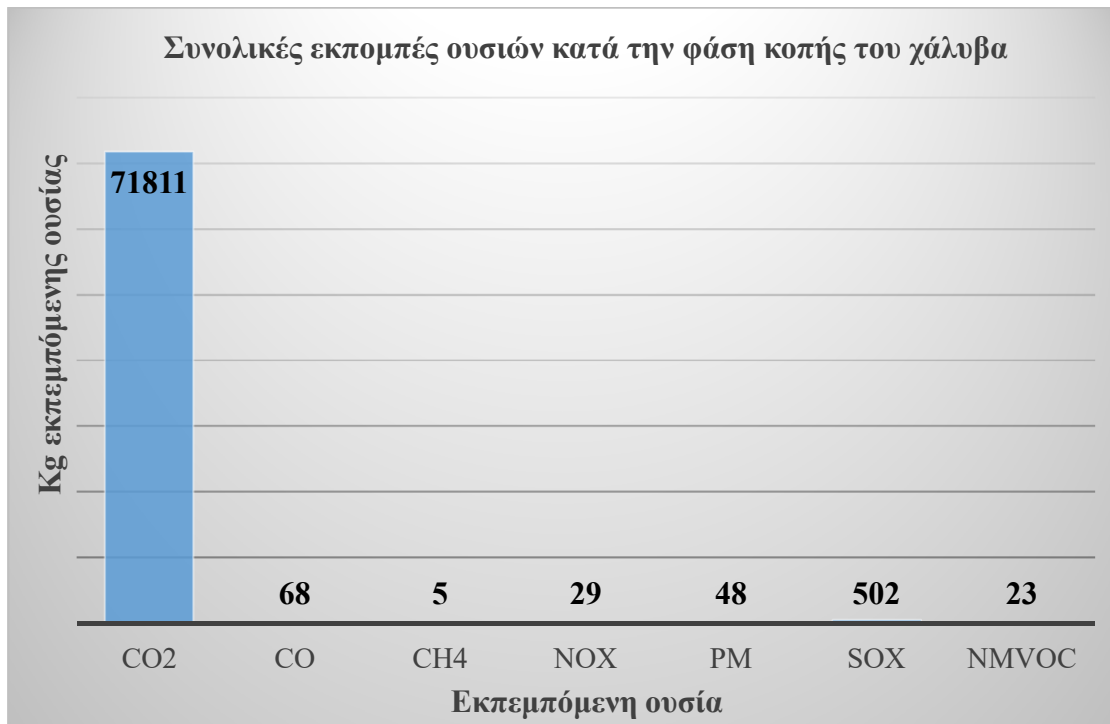
Στον **Πίνακα Δ2** του **Παραρτήματος Δ** παρουσιάζονται οι εκπεμπόμενες ουσίες κατά την φάση συγκόλλησης του γάλυβα μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές τους. Στο **Γράφημα 5** που ακολουθεί παρουσιάζονται σχηματικά οι υπολογισμένες συνολικές εκπομπές των ουσιών αυτών.



**Γράφημα 5:** Συνολικές εκπομπές κατά την φάση συγκόλλησης του χάλυβα.

#### Κοπή χάλυβα

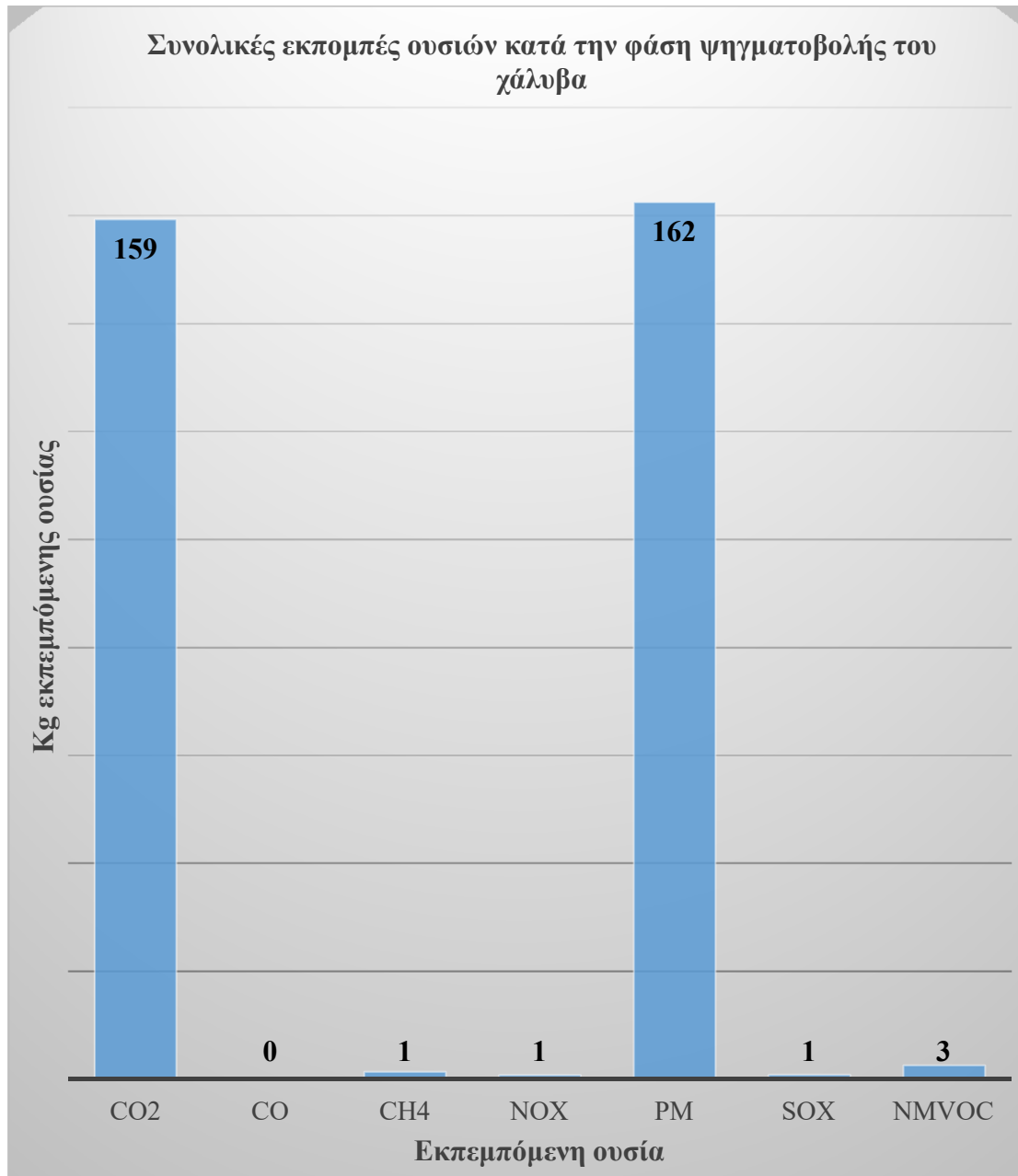
Στον Πίνακα Δ3 του Παραρτήματος Δ, παρουσιάζονται οι εκπεμπόμενες ουσίες κατά την φάση κοπής του χάλυβα μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές τους. Στο **Γράφημα 6** που ακολουθεί, παρουσιάζονται σχηματικά οι υπολογισμένες συνολικές εκπομπές των ουσιών αυτών.



**Γράφημα 6:** Συνολικές εκπομπές κατά την φάση κοπής του χάλυβα.

### Ψηγματοβολή

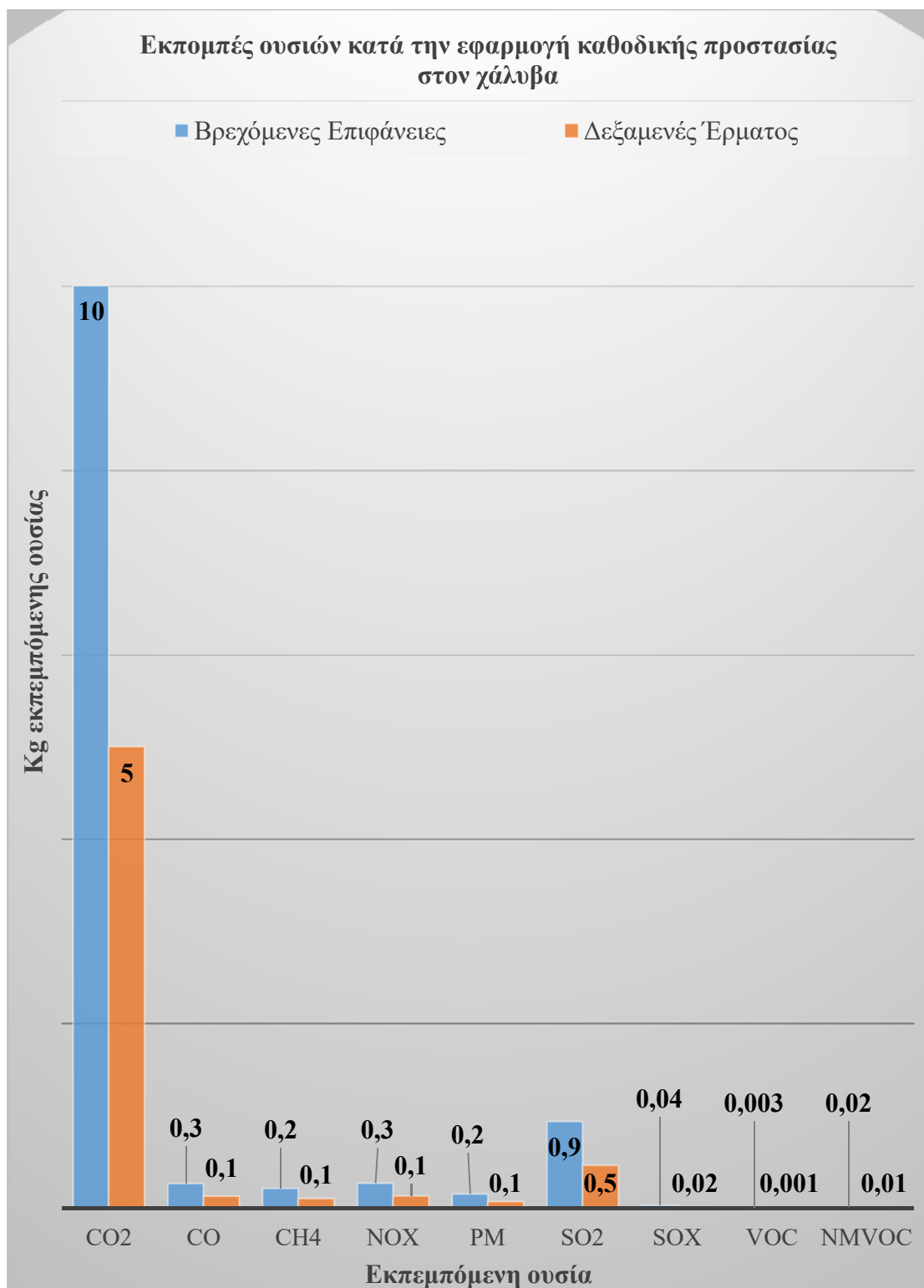
Στον Πίνακα Δ4 του Παραρτήματος Δ παρουσιάζονται οι εκπεμπόμενες ουσίες κατά την φάση ψηγματοβολής του χάλυβα μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές τους. Στο Γράφημα 7 που ακολουθεί, παρουσιάζονται σχηματικά οι υπολογισμένες συνολικές εκπομπές των ουσιών αυτών.



**Γράφημα 7:** Συνολικές εκπομπές κατά την φάση ψηγματοβολής του χάλυβα.

### Καθοδική προστασία

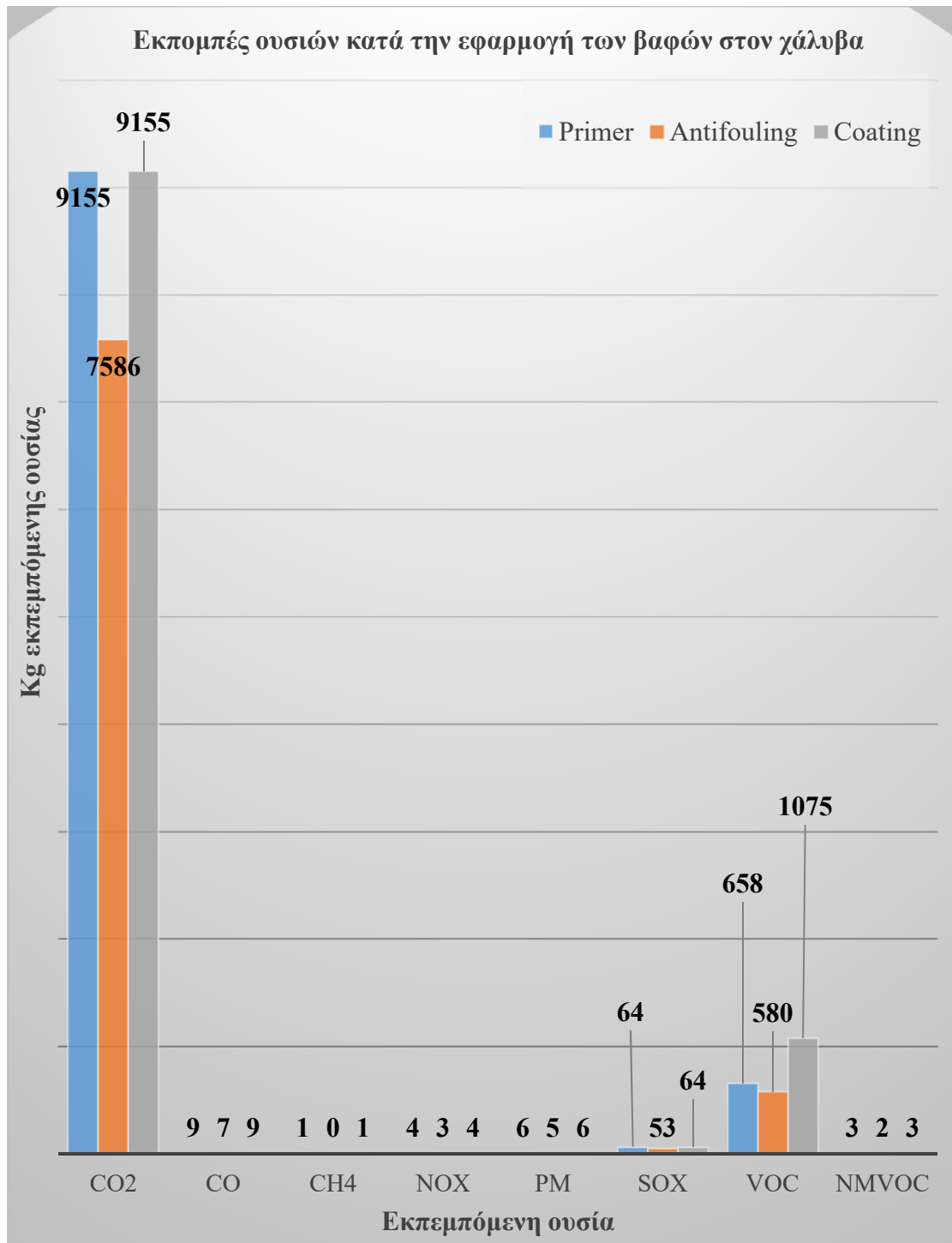
Στον Πίνακα Δ5 του Παραρτήματος Δ παρουσιάζονται οι εκπεμπόμενες ουσίες κατά την φάση της καθοδικής προστασίας του χάλυβα μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές τους. Στο Γράφημα 8 που ακολουθεί, παρουσιάζονται σχηματικά οι υπολογισμένες συνολικές εκπομπές των ουσιών αυτών.



**Γράφημα 8:** Συνολικές εκπομπές κατά την φάση καθοδικής προστασίας του χάλυβα.

### Βαφές

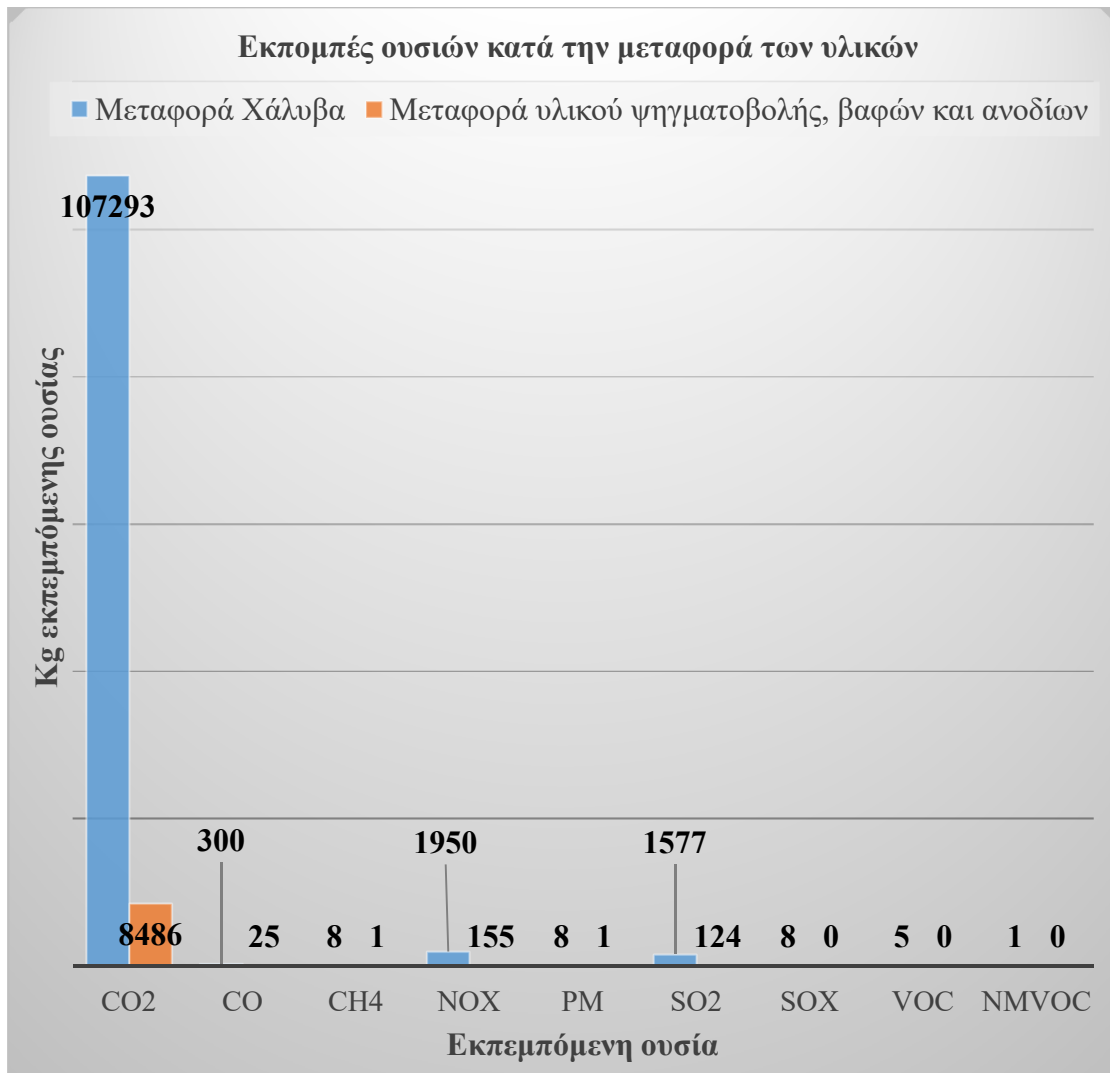
Στον Πίνακα Δ6 του Παραρτήματος Δ παρουσιάζονται οι εκπεμπόμενες ουσίες κατά την φάση της βαφής του χάλυβα μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές τους. Στο Γράφημα 9 που ακολουθεί, παρουσιάζονται σχηματικά οι υπολογισμένες συνολικές εκπομπές των ουσιών αυτών.



**Γράφημα 9:** Συνολικές εκπομπές κατά την φάση της βαφής του χάλυβα.

### Μεταφορά υλικών

Στους Πίνακες Δ7 και Δ8 του Παραρτήματος Δ παρουσιάζονται οι εκπεμπόμενες ουσίες κατά την φάση της μεταφοράς των υλικών κατασκευής της γάστρας του πλοίου μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές τους ανάλογα τον τύπο του υλικού που μεταφέρεται, καθώς όπως αναφέρθηκε και παραπάνω κάθε υλικό μεταφέρεται με διαφορετικό μέσο. Στο Γράφημα 10 που ακολουθεί, παρουσιάζονται σχηματικά οι υπολογισμένες συνολικές εκπομπές των ουσιών αυτών.

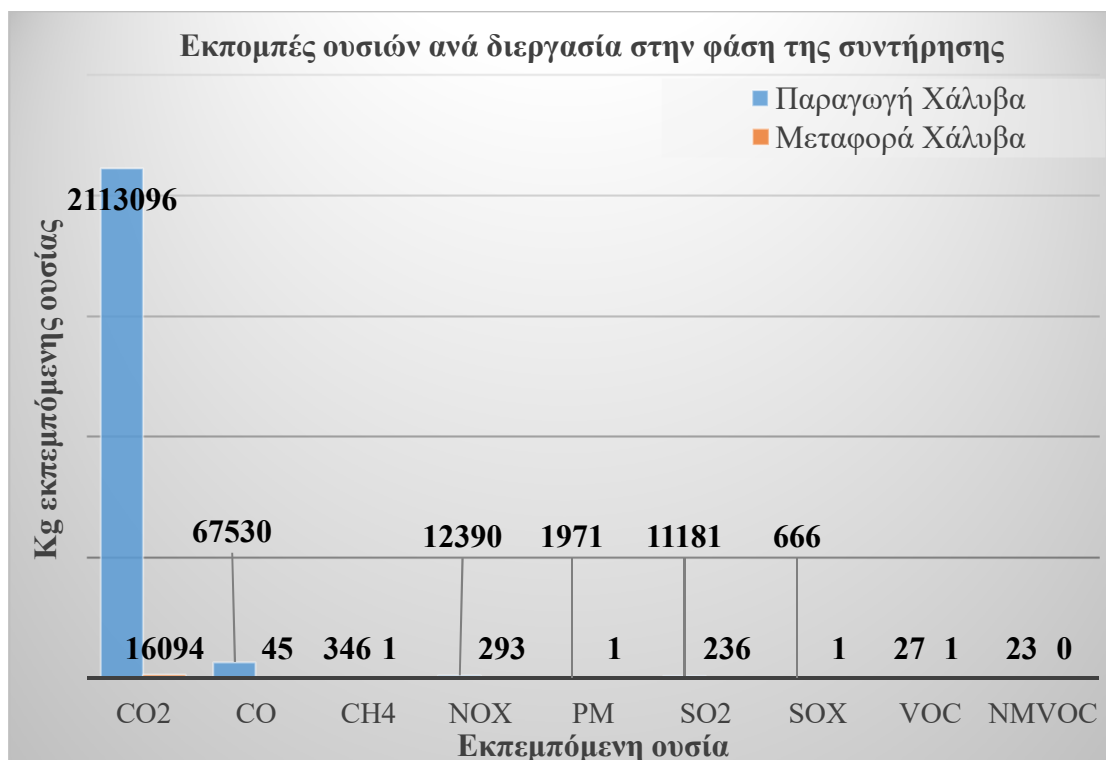


**Γράφημα 10:** Συνολικές εκπομπές κατά την φάση της μεταφοράς όλων των υλικών.

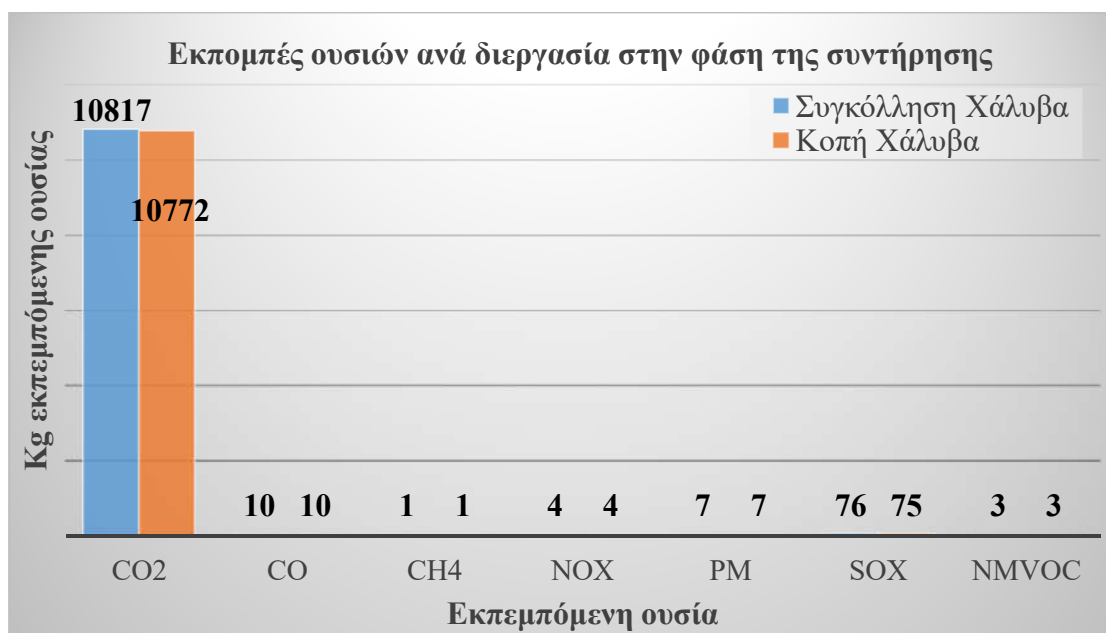
### Συντήρηση κατασκευής

Στην φάση της συντήρησης της γάστρας όπως αναφέρθηκε και παραπάνω γίνεται μια συντήρηση σε ολόκληρη την διάρκεια της ζωής του πλοίου για λόγους απλοποίησης. Το βάρος του χάλυβα που παράγεται για την αντικατάσταση του σε ορισμένα σημεία της γάστρας ισούται με το 30% του συνολικού αρχικού βάρους κατά την κατασκευή της γάστρας. Το μήκος της συγκόλλησης ισούται με το 15% του αρχικού μήκους συγκόλλησης και ταυτόχρονα η ενέργεια κοπής ισούται με το 15% της αρχικής ενέργειας κοπής. Οι βαφές, τα ανόδια και το υλικό της ψηγματοβολής είναι ακριβώς τα ίδια σε ποσότητες και επομένως οι συνολικές εκπομπές των ουσιών τους παραμένουν σταθερές. Όσον αφορά τις μεταφορές των υλικών, τα μεταφορικά μέσα και οι αποστάσεις είναι ίδιες και αλλάζουν μόνο οι μεταφερόμενες ποσότητες. Για τις βαφές, το υλικό της ψηγματοβολής και τα ανόδια οι ποσότητες παραμένουν ίδιες και έτσι οι συνολικές εκπομπές παραμένουν σταθερές. Οι εκπομπές από την παραγωγή του χάλυβα, την συγκόλληση του, την κοπή του, την μεταφορά του χάλυβα, αλλά και οι συνολικές εκπομπές της συντήρησης, παρουσιάζονται στα **Γραφήματα 11** και **12** που ακολουθούν.





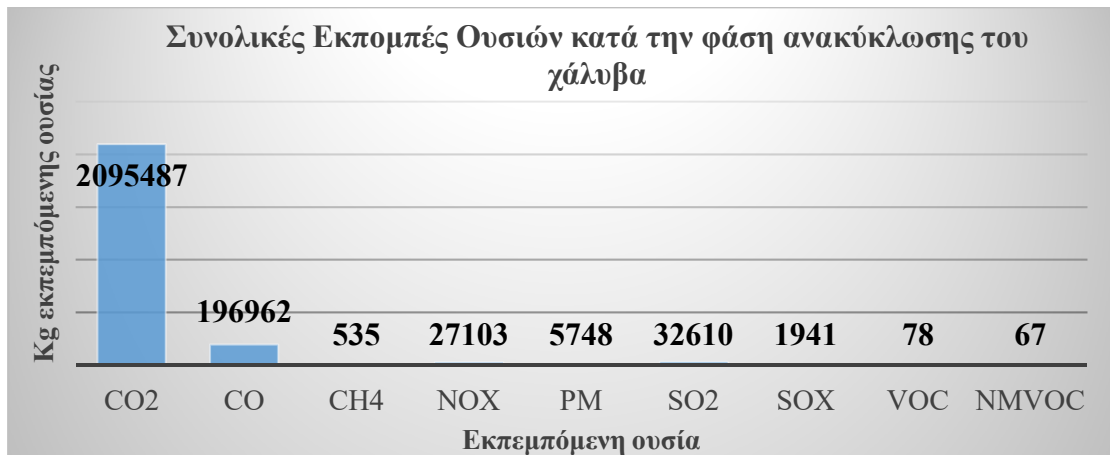
**Γράφημα 11:** Συνολικές εκπομπές κατά την φάση της συντήρησης της γάστρας. (Παραγωγή και μεταφορά χάλυβα)



**Γράφημα 12:** Συνολικές εκπομπές κατά την φάση της συντήρησης της γάστρας. (Συγκόλληση και κοπή χάλυβα)

### Ανακύκλωση κατασκευής

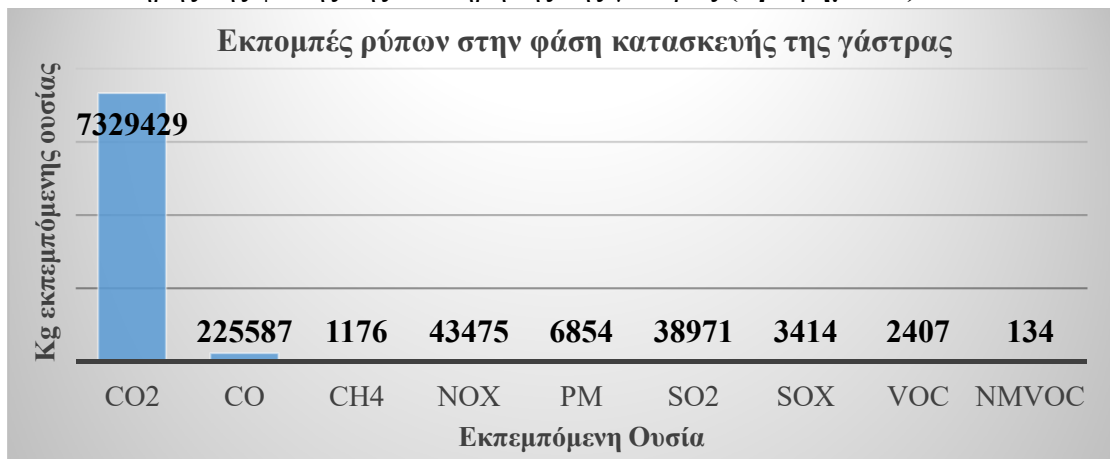
Στον Πίνακα Δ9 του Παραρτήματος Δ παρουσιάζονται οι συντελεστές των εκπεμπόμενων ουσιών κατά την ανακύκλωση του χάλυβα. Στο Γράφημα 13 που ακολουθεί, παρουσιάζονται σχηματικά οι υπολογισμένες συνολικές εκπομπές των ουσιών αυτών.



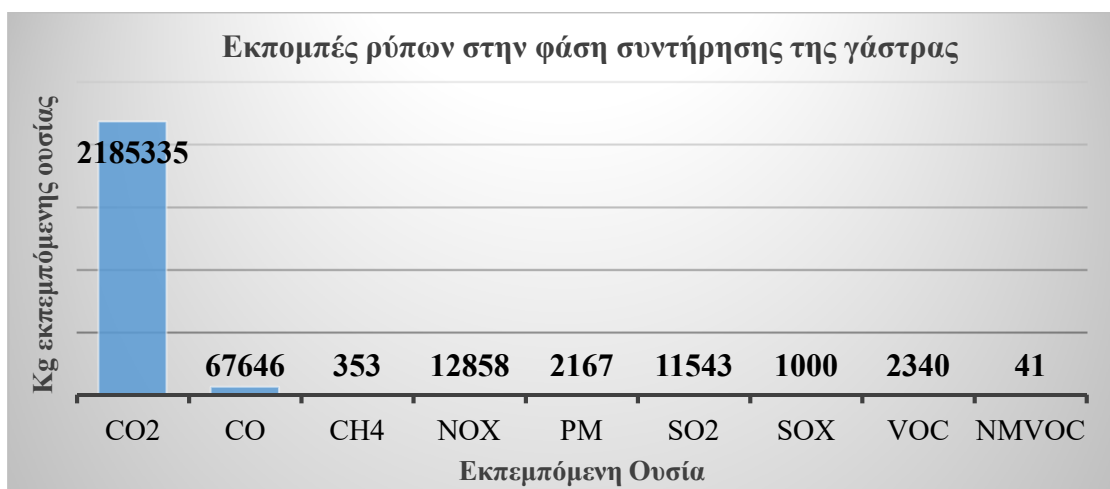
**Γράφημα 13:** Συνολικές εκπομπές κατά την φάση της ανακύκλωσης του χάλυβα.

### Συνολικές εκπομπές

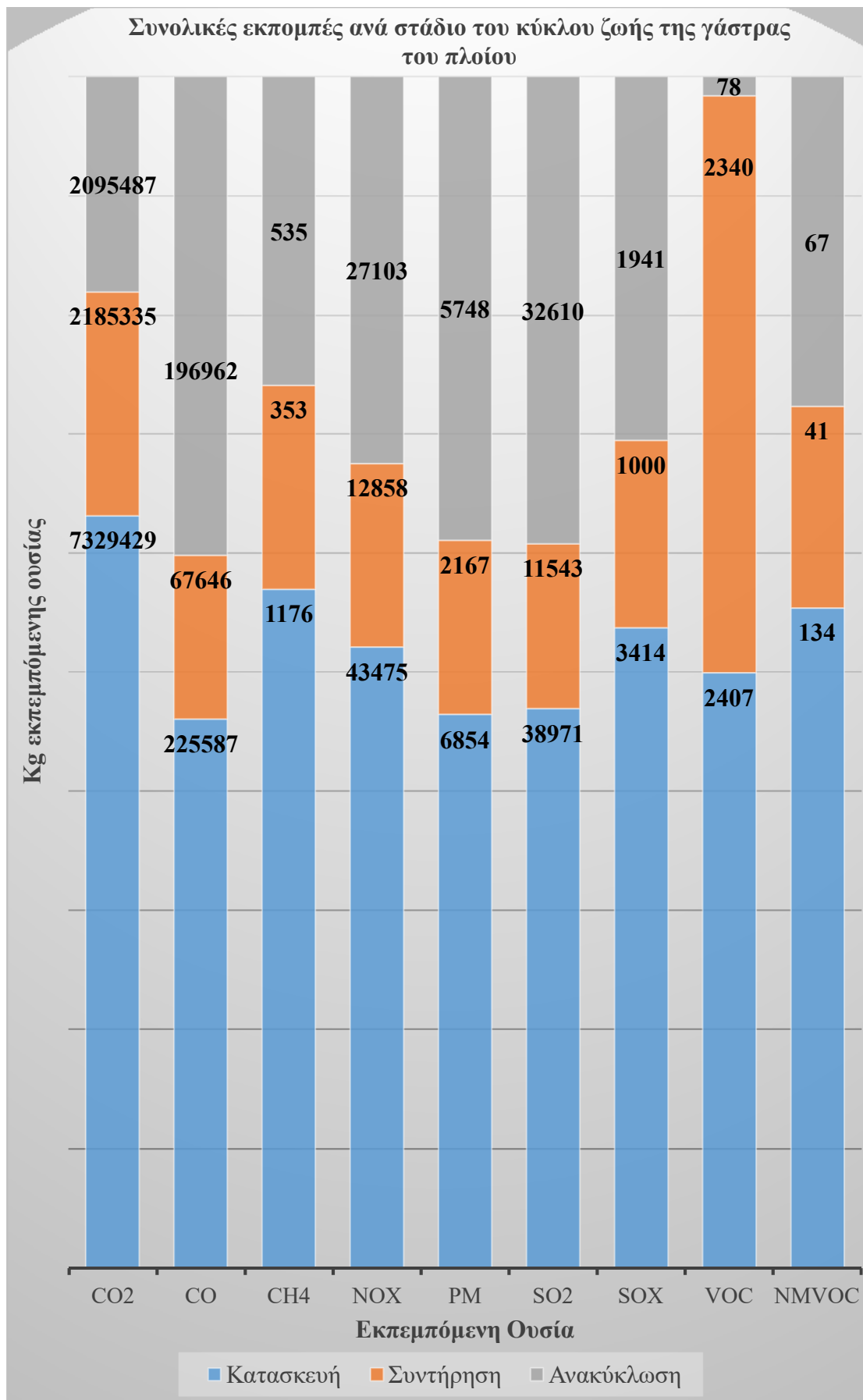
Τέλος στα γραφήματα που θα ακολουθούν, παρουσιάζονται οι συνολικές εκπομπές ουσιών ολόκληρης της φάσης της κατασκευής της γάστρας (**Γράφημα 14**) και ολόκληρης της φάσης της συντήρησης της γάστρας (**Γράφημα 15**).



**Γράφημα 14:** Συνολικές εκπομπές σε ολόκληρη την φάση της κατασκευής της γάστρας.



**Γράφημα 15:** Συνολικές εκπομπές σε ολόκληρη την φάση της συντήρησης της γάστρας.



**Γράφημα 16:** Συνολικές εκπομπές ανά στάδιο του κύκλου ζωής της γάστρας.

### **6.3. Αξιολόγηση επιπτώσεων του κύκλου ζωής**

#### **6.3.1. Μεθοδολογία – ReCiPe 2016 v1.1**

Σε αυτήν την ενότητα, θα πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής της γάστρας του πλοίου που μελετήθηκε παραπάνω, χρησιμοποιώντας την μεθοδολογία **ReCiPe 2016 v1.1**. (M. A. J. Huijbregts et al., 2017) Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας έγινε μετά από έρευνα μέσα από την διδακτορική διατριβή με τίτλο «Methodologies for assessing sustainability in maritime transport» (Χατζηνικολάου, 2018). Ταυτόχρονα η συγκεκριμένη μεθοδολογία επιλέχθηκε, καθώς το SimaPro που θα χρησιμοποιηθεί και σε επόμενη ενότητα για την εξαγωγή των ιδίων αποτελεσμάτων, διαθέτει ενσωματωμένη σε αυτό την συγκεκριμένη μεθοδολογία ΑΕΚΖ όπως παρουσιάστηκε και στο **Κεφάλαιο 3** παραπάνω.

Αυτή η μεθοδολογία ουσιαστικά αποτελεί μια ανανεωμένη έκδοση της μεθοδολογίας ReCiPe2008, όπου οι μελετητές που την ανέπτυξαν ανανέωσαν τους συντελεστές χαρακτηρισμού σε κάθε κατηγορία επιπτώσεων, έτσι ώστε να είναι αντιπροσωπευτικοί σε παγκόσμια κλίμακα, έναντι των προηγούμενων συντελεστών χαρακτηρισμού που ήταν αντιπροσωπευτικοί σε Ευρωπαϊκή κλίμακα. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία αποτελείται ουσιαστικά από 2 διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων, τις **κατηγορίες Midpoint** και τις **κατηγορίες Endpoint**, όπου η κάθε μια κατηγορία έχει και τους δικούς της συντελεστές χαρακτηρισμού.

Πιο συγκεκριμένα, η συγκεκριμένη μεθοδολογία αποτελείται από 2 βήματα συνολικά. Το πρώτο βήμα αφορά την συσχέτιση των εκπομπών των ρύπων που υπολογίστηκαν κατά την 2<sup>η</sup> φάση μιας ΑΚΖ, με τις αντίστοιχες κατηγορίες Midpoint.

Έπειτα, ως **δεύτερο βήμα** αυτής της μεθοδολογίας, έχουμε την μετατροπή των παραπάνω Midpoint κατηγοριών σε Endpoint κατηγορίες, μέσω της χρήσης ορισμένων συντελεστών που παρέχονται από αυτούς που ανέπτυξαν την μεθοδολογία.

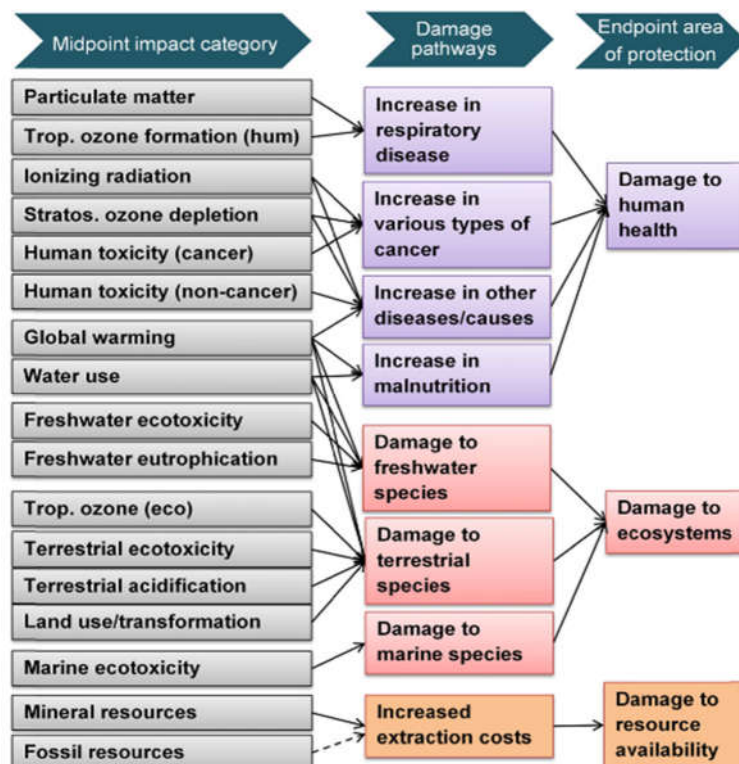
Οι **κατηγορίες Endpoint** χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες οι οποίες είναι και οι εξής (M. Huijbregts et al., 2017):

- **Βλάβες στην ανθρώπινη υγεία (Σε μονάδες DALY – Disability Adjusted Life Years)** = Αφορά το πόσα χρόνια ζωής χάνει ένας άνθρωπος όταν εκτίθεται σε ορισμένες ουσίες ή το πόσα χρόνια ένας άνθρωπος παραμένει ανάπηρος λόγω κάποιας ασθένειας ή λόγω κάποιου ατυχήματος.
- **Βλάβες στα οικοσυστήματα (Σε μονάδες Species year)** = Αφορά το πόσα είδη ζώων χάνονται με την πάροδο του χρόνου από κάποιο οικοσύστημα.
- **Βλάβες στις πρώτες ύλες (Σε Dollars)** = Αφορά τα επιπρόσθετα κόστη που θα χρειαστούν, εάν μελλοντικά κάποιος θελήσει να εξορύξει τις ίδιες ποσότητες καυσίμων ή μετάλλων.

Οι **κατηγορίες Midpoint** από την άλλη, χωρίζονται σε 15 διαφορετικές κατηγορίες, όπου κάθε μια από αυτές συνδέονται με μια ή περισσότερες κατηγορίες Endpoint. Πιο συγκεκριμένα στο **Σχήμα 16** που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά οι κατηγορίες Midpoint και έπειτα στο αμέσως επόμενο σχήμα (**Σχήμα 17**), παρουσιάζονται οι σχέσεις μεταξύ των Midpoint και των Endpoint κατηγοριών με βάση την μεθοδολογία ReCiPe 2016.

Midpoint impact category	Indicator	CF <sub>m</sub>	Unit	Key references
Climate change	Infrared radiative forcing increase	Global warming potential (GWP)	kg CO <sub>2</sub> -eq to air	IPCC 2013; Joos et al. 2013
Ozone depletion	Stratospheric ozone decrease	Ozone depletion potential (ODP)	kg CFC-11-eq to air	WMO 2011
Ionising radiation	Absorbed dose increase	Ionising radiation potential (IRP)	kBq Co-60-eq to air	Frisknecht et al. 2000
Fine particulate matter formation	PM2.5 population intake increase	Particulate matter formation potential (PMFP)	kg PM2.5-eq to air	Van Zelm et al. 2016
Photochemical oxidant formation: terrestrial ecosystems	Tropospheric ozone increase	Photochemical oxidant formation potential: ecosystems (EOFP)	kg NOx-eq to air	Van Zelm et al. 2016
Photochemical oxidant formation: human health	Tropospheric ozone population intake increase	Photochemical oxidant formation potential: humans (HOFP)	kg NOx-eq to air	Van Zelm et al. 2016
Terrestrial acidification	Proton increase in natural soils	Terrestrial acidification potential (TAP)	kg SO <sub>2</sub> -eq to air	Roy et al. 2014
Freshwater eutrophication	Phosphorus increase in freshwater	Freshwater eutrophication potential (FEP)	kg P-eq to freshwater	Helmes et al. 2012
Human toxicity: cancer	Risk increase of cancer disease incidence	Human toxicity potential (HTPc)	kg 1,4-DCB-eq to urban air	Van Zelm et al. 2009
Human toxicity: non-cancer	Risk increase of non-cancer disease incidence	Human toxicity potential (HTPnc)	kg 1,4-DCB-eq to urban air	Van Zelm et al. 2009
Terrestrial ecotoxicity	Hazard-weighted increase in natural soils	Terrestrial ecotoxicity potential (TETP)	kg 1,4-DCB-eq to industrial soil	Van Zelm et al. 2009
Freshwater ecotoxicity	Hazard-weighted increase in freshwaters	Freshwater ecotoxicity potential (FETP)	kg 1,4-DCB-eq to freshwater	Van Zelm et al. 2009
Marine ecotoxicity	Hazard-weighted increase in marine water	Marine ecotoxicity potential (METP)	kg 1,4-DCB-eq to marine water	Van Zelm et al. 2009
Land use	Occupation and time-integrated land transformation	Agricultural land occupation potential (LOP)	m <sup>2</sup> × yr annual cropland-eq	De Baan et al. 2013; Curran et al. 2014
Water use	Increase of water consumed	Water consumption potential (WCP)	m <sup>3</sup> water-eq consumed	Döll and Siebert 2002; Hoekstra and Mekonnen 2012
Mineral resource scarcity	Increase of ore extracted	Surplus ore potential (SOP)	kg Cu-eq	Vieira et al. 2016a
Fossil resource scarcity	Upper heating value	Fossil fuel potential (FFP)	kg oil-eq	Jungbluth and Frisknecht 2010

**Σχήμα 16:** Κατηγορίες επιπτώσεων ReCiPe 2016 ενδιάμενου επιπέδου. (M. A. J. Huijbregts et al., 2017)



**Σχήμα 17:** Σχηματική απεικόνιση των 2 βημάτων της μεθοδολογίας ReCiPe 2016. (M. A. J. Huijbregts et al., 2017)

Στο **Σχήμα 18** που ακολουθεί, παρουσιάζονται επίσης οι σχέσεις των κατηγοριών Endpoint, με αυτές των κατηγοριών Midpoint, αλλά παρουσιάζονται αναλυτικά και τα Damage Pathways, δηλαδή οι λόγοι οι οποίοι οδηγούν στις αντίστοιχες επιπτώσεις ανά κατηγορία.

Environmental problem	Area of protection	Damage pathways	References
Climate change	Human health	Years of life lost and disabled related to increased malaria, diarrhoea, malnutrition and natural disasters due to increased global mean temperature	IPCC 2013; Joos et al. 2013; De Schryver et al. 2009
	Ecosystems (terrestrial)	Species loss related to changing biome distributions due to increased global temperature	IPCC 2013; Joos et al. 2013; Urban 2015
	Ecosystems (freshwater)	Fish species loss due to decrease river discharge	Hanafiah et al. 2011
Stratospheric ozone depletion	Human health	Years of life lost and disabled related to increased skin cancer and cataract due to UV-exposure	WMO 2011; Hayashi et al. 2006
Ionising radiation	Human health	Years of life lost and disabled related to an increase in cancer and hereditary diseases due to exposure to radiation	Frischknecht et al. 2000; De Schryver et al. 2011
Particulate matter formation	Human health	Years of life lost related to an increase in cardiopulmonary and lung cancer caused by exposure to primary and secondary aerosols	Van Zelm et al. 2016
Photochemical ozone formation	Human health	Years of life lost related to an increase in respiratory diseases caused by exposure to ozone	Van Zelm et al. 2016
	Ecosystems (terrestrial)	Loss of plant species due to increase in ozone exposure	Van Zelm et al. 2016
Terrestrial acidification	Ecosystems (terrestrial)	Loss of plant species due to decrease in soil pH	Roy et al. 2014
Freshwater eutrophication	Ecosystems (aquatic)	Loss of aquatic species due to increased phosphorus concentrations	Helmes et al. 2012; Azevedo et al. 2013a, b
Toxicity	Human health	Years of life lost and disabled due to cancer and non-cancer effects due to ingestion and inhalation of toxic substances	Van Zelm et al. 2009
	Ecosystems (marine)	Species loss due to chemical exposure in marine waters	Van Zelm et al. 2009
	Ecosystems (terrestrial)	Species loss due to chemical exposure in soils	Van Zelm et al. 2009
	Ecosystems (freshwater)	Species loss due to chemical exposure in freshwater	Van Zelm et al. 2009
Water consumption	Human health	Malnutrition caused by water shortage	Pfister et al. 2009
	Ecosystems (terrestrial)	Decrease in Net Primary Productivity because of water shortage as proxy for total species loss	Pfister et al. 2009
	Ecosystems (aquatic)	Fish species loss due to decreased river discharge	Hanafiah et al. 2011
Land use	Ecosystems (terrestrial)	Species loss due to different types of land use (agriculture, forestry, built up). Species loss caused by transformation of natural land to used land, including the time it takes to back-transform to natural land	De Baan et al. 2013; Curran et al. 2014
Mineral resource scarcity	Resource scarcity	Cost increase due to mineral extraction increase	Vieira et al. 2016b
Fossil resource scarcity	Resource scarcity	Cost increase due to fossil extraction increase	Vieira et al. 2016c

**Σχήμα 18:** Κατηγορίες επιπτώσεων ReCiPe 2016 τελικού επιπέδου. (M. A. J. Huijbregts et al., 2017)



### **6.3.2. Αξιολόγηση επιπτώσεων κύκλου ζωής γάστρας υπό μελέτη πλοίου μέσω της μεθοδολογία ReCiPe 2016 v1.1**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για την αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου θα χρησιμοποιηθεί η μεθοδολογία *ReCiPe 2016 v.1.1 (Midpoint Impact – Hierarchist)*.

Τα βήματα που θα ακολουθηθούν αρχικά είναι όπως ορίζονται από το πρότυπο ISO14040:2006. Αυτά αναλύθηκαν σε παραπάνω υποενότητα και είναι τα εξής:

- 1. Επιλογή κατηγοριών επιπτώσεων,**
- 2. Ταξινόμηση,**
- 3. Χαρακτηρισμός.**

Μετάπειτα, θα πραγματοποιηθεί και **κανονικοποίηση** των αποτελεσμάτων που θα ληφθούν κατά την φάση του χαρακτηρισμού, με βάση τους συντελεστές κανονικοποίησης που παρέχονται από την μεθοδολογία ReCiPe 2016 v1.1.

#### **Επιλογή κατηγοριών επιπτώσεων**

Οι κατηγορίες επιπτώσεων Midpoint που επιλέχθηκαν με βάση την μεθοδολογία ReCiPe 2016, είναι οι εξής:

#### **Κατηγορίες Midpoint**

- Κλιματική αλλαγή (Σε kg CO<sub>2</sub>-eq.),
- Οξίνιση του εδάφους (Σε kg SO<sub>2</sub>-eq.),
- Σχηματισμός φωτοχημικού όζοντος - Ανθρώπινη υγεία (Σε kg NO<sub>x</sub>-eq.),
- Σχηματισμός φωτοχημικού όζοντος – Οικοσυστήματα (Σε kg NO<sub>x</sub>-eq.),
- Σχηματισμός σωματιδίων προκαθορισμένης διαμέτρου (Σε kg PM-eq.),
- Βλάβη στις πρώτες ύλες - Μέταλλα (Σε kg Cu-eq.).

#### **Ταξινόμηση**

Έπειτα με βάση την ίδια μεθοδολογία, τοποθετούνται στις κατηγορίες επιπτώσεων, οι αντίστοιχες ουσίες που συνεισφέρουν στην εκάστοτε κατηγορία. Έτσι έχουμε:

## Κατηγορίες Midpoint

- Κλιματική αλλαγή (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>),
- Οξίνιση του εδάφους (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>),
- Σχηματισμός φωτοχημικού όζοντος- Ανθρώπινη υγεία (NO<sub>x</sub>, NMVOCs),
- Σχηματισμός φωτοχημικού όζοντος- Οικοσυστήματα (NO<sub>x</sub>, NMVOCs),
- Σχηματισμός σωματιδίων προκαθορισμένης διαμέτρου (PM, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>),
- Βλάβη στις πρώτες ύλες - Μέταλλα (Ποσότητα σιδήρου που γίνεται εξόρυξη).

Στον **Πίνακα 22** που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συντελεστές χαρακτηρισμού και κανονικοποίησης των κατηγοριών Midpoint, όπως ορίζονται από την μεθοδολογία ReCiPe 2016 v1.1 για κάθε κατηγορία επιπτώσεων, οι οποίες ελήφθησαν από το διαδίκτυο. (“Normalization scores ReCiPe 2016 | RIVM,” 2017; “ReCiPe2016\_CFs\_v1.1\_20180117 | RIVM,” 2017)

**Πίνακας 22:** Συντελεστές Χαρακτηρισμού και κανονικοποίησης ουσιών από ReCiPe 2016 v1.1 (Hierarchist Perspective). (“Normalization scores ReCiPe 2016 | RIVM,” 2017; “ReCiPe2016\_CFs\_v1.1\_20180117 | RIVM,” 2017)

Κλιματική αλλαγή (kg CO <sub>2</sub> -eq./kg)		
Ουσία	Συντέλ Χαρακ. Midpoint (kg CO <sub>2</sub> -eq./kg)	Συντέλ Κανονικ. Midpoint (kg CO <sub>2</sub> -eq./Κάτοικο το 2010)
CO <sub>2</sub>	1	7,99E+03
CH <sub>4</sub>	34	7,99E+03
Οξίνιση του εδάφους (kg SO <sub>2</sub> -eq./kg)		
Ουσία	Συντέλ Χαρακ. Midpoint (kg SO <sub>2</sub> -eq./kg)	Συντέλ Κανονικ. Midpoint (kg SO <sub>2</sub> -eq./ Κάτοικο το 2010)
NO <sub>x</sub>	0,36	4,10E+01
SO <sub>2</sub>	1	4,10E+01
SO <sub>x</sub>	1	4,10E+01
Σχηματισμός φωτοχημικού όζοντος - Ανθρώπινη υγεία (kg NO <sub>x</sub> -eq./kg)		
Ουσία	Συντέλ Χαρακ. Midpoint (kg NO <sub>x</sub> -eq./kg)	Συντέλ Κανονικ. Midpoint (kg NO <sub>x</sub> -eq./ Κάτοικο το 2010)
NO <sub>x</sub>	1	2,06E+01
NMVOC	0,18	2,06E+01
Σχηματισμός φωτοχημικού όζοντος- Οικοσυστήματα (kg NO <sub>x</sub> -eq./kg)		
Ουσία	Συντέλ Χαρακ. Midpoint (kg NO <sub>x</sub> -eq./kg)	Συντέλ Κανονικ. Midpoint (kg NO <sub>x</sub> -eq./Κάτοικο το 2010)
NO <sub>x</sub>	1	1,77E+01
NMVOC	0,29	1,77E+01
Βλάβη στις πρώτες ύλες - Μέταλλα (kg Cu-eq./kg)		
Πρώτη ύλη	Συντέλ Χαρακ. Midpoint (kg Cu-eq./kg)	Συντέλ Κανονικ. Midpoint (kg Cu-eq./Κάτοικο το 2010)
Σίδηρος	0,018	1,20E+05



Σχηματισμός σωματιδίων προκαθορισμένης διαμέτρου (kg PM-eq./kg)		
Ουσία	Συντέλ. Χαρακ. Midpoint (kg PM-eq./kg)	Συντέλ. Κανονικ. Midpoint (kg PM-eq./Κάτοικο το 2010)
PM	1	2,56E+01
NO <sub>x</sub>	0,11	2,56E+01
SO <sub>2</sub>	0,29	2,56E+01
SO <sub>x</sub>	0,29	2,56E+01

### Χαρακτηρισμός

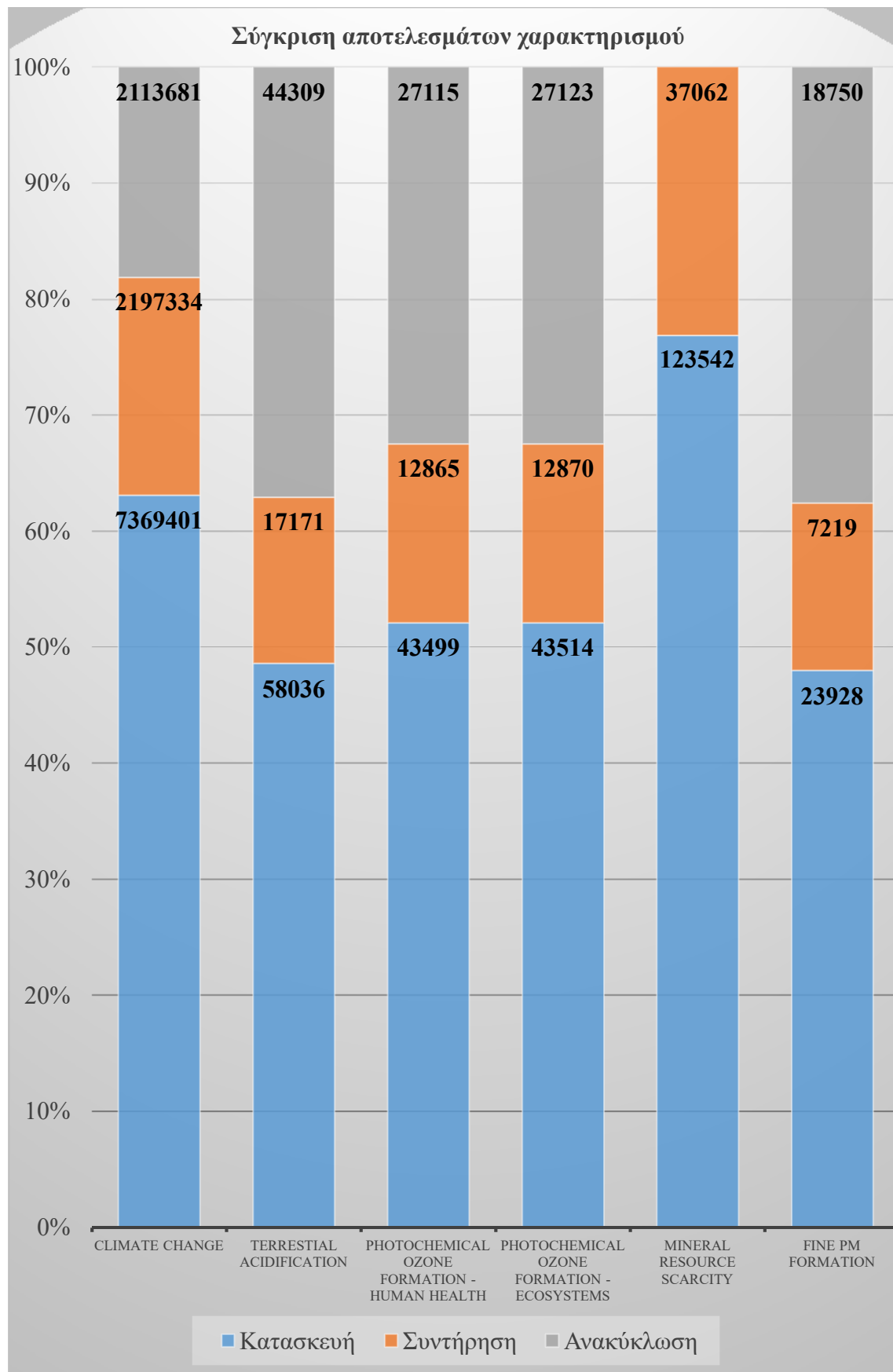
Έπειτα, προχωράμε στον Χαρακτηρισμό των αποτελεσμάτων, μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$\text{Αποτέλ. Χαρακτ.} = \text{Εκπεμπόμενη ουσία (kg)} * \text{Συντελ. Χαρακτ.} \quad (12)$$

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν, παρουσιάζονται αναλυτικά ανά Midpoint κατηγορία, στα **Γραφήματα 17** και **18** παρακάτω.



**Γράφημα 17:** Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού ΑΕΚΖ ανά φάση κύκλου ζωής – ReCiPe 2016 v1.1.



**Γράφημα 18:** Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού AEKZ ανά Midpoint Κατηγορία – ReCiPe 2016 v1.1.

## Κανονικοποίηση

Έπειτα προχωράμε στην κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων του χαρακτηρισμού μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$\text{Αποτέλ. Κανονικ.} = \text{Αποτελέσμα Χαρακ.} / \text{Συντελ. Κανονικ.} \quad (13)$$

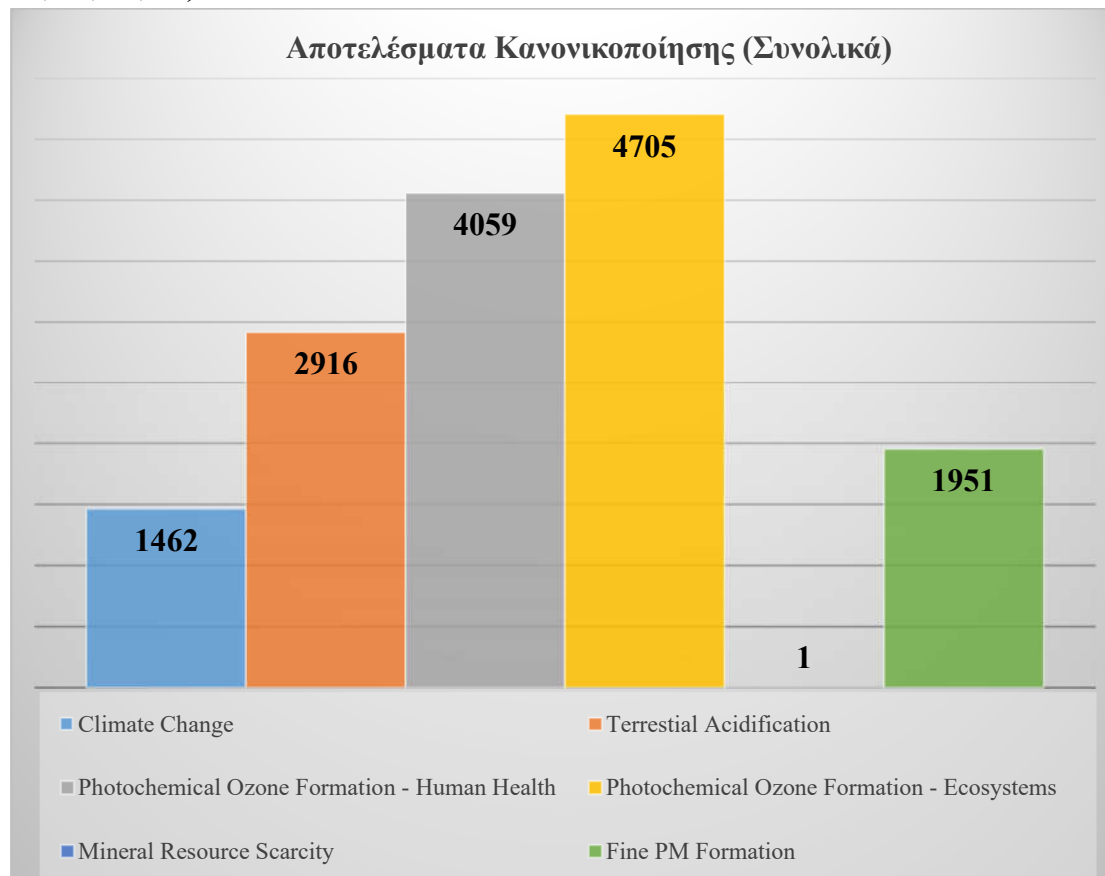
Παρακάτω, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα υπολογισμού, για να καταστεί κατανοητή η διαδικασία της κανονικοποίησης. Έστω λοιπόν:

- Αποτέλεσμα Χαρακτηρισμού (Κλιματική Αλλαγή) = 11680416 kg CO<sub>2</sub>-eq.
- Συντελεστής Κανονικοποίησης (Κλιματική Αλλαγή) = 7990,41 kg CO<sub>2</sub>-eq/Κάτοικο το 2010. (“Normalization scores ReCiPe 2016 | RIVM,” 2017)

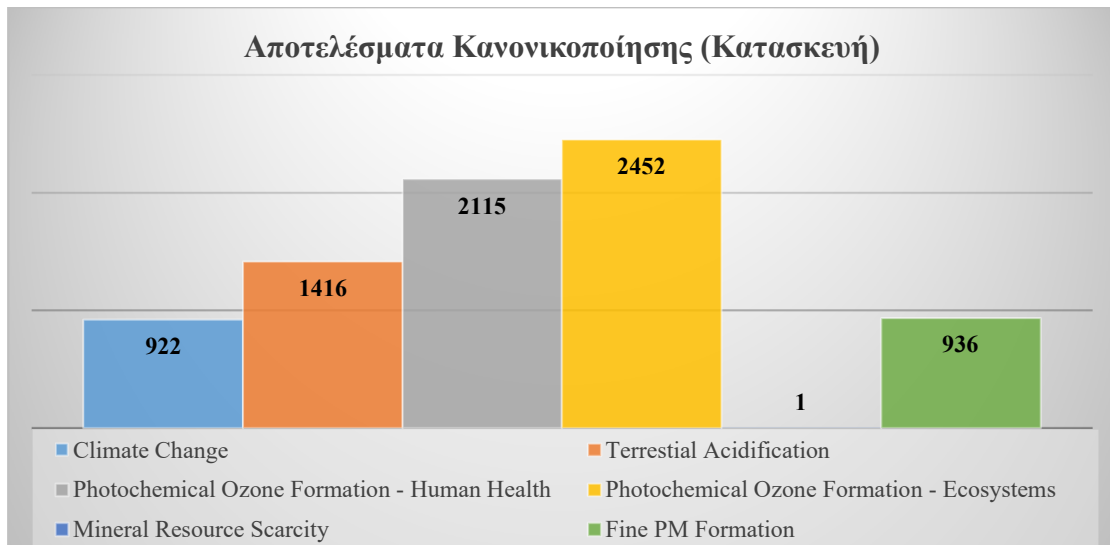
Άρα έχουμε:

$$\begin{aligned} \text{Αποτέλ. Κανονικ. (Κλιμ. Αλλ.)} &= \\ [11680416 \text{ kg CO}_2\text{-eq}/7990,41 \text{ kg CO}_2\text{-eq/Κάτοικο το 2010}] &= \\ 1462 \text{ Κάτοικοι το 2010.} & \end{aligned}$$

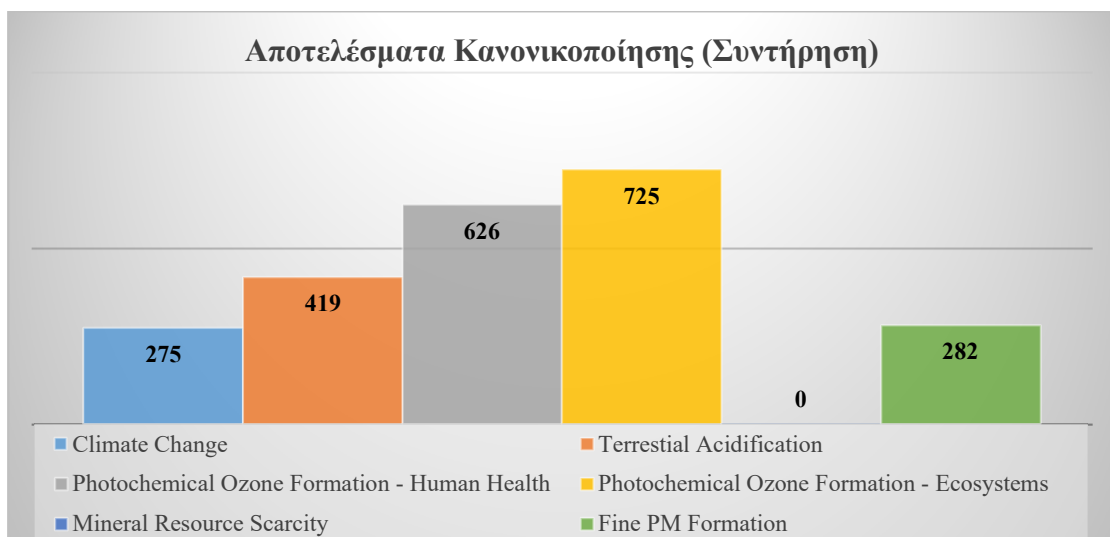
Ίδιοι υπολογισμοί πραγματοποιούνται και για τις υπόλοιπες Midpoint κατηγορίες και τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα γραφήματα που ακολουθούν (**Γράφημα 19, 20, 21, 22, 23**).



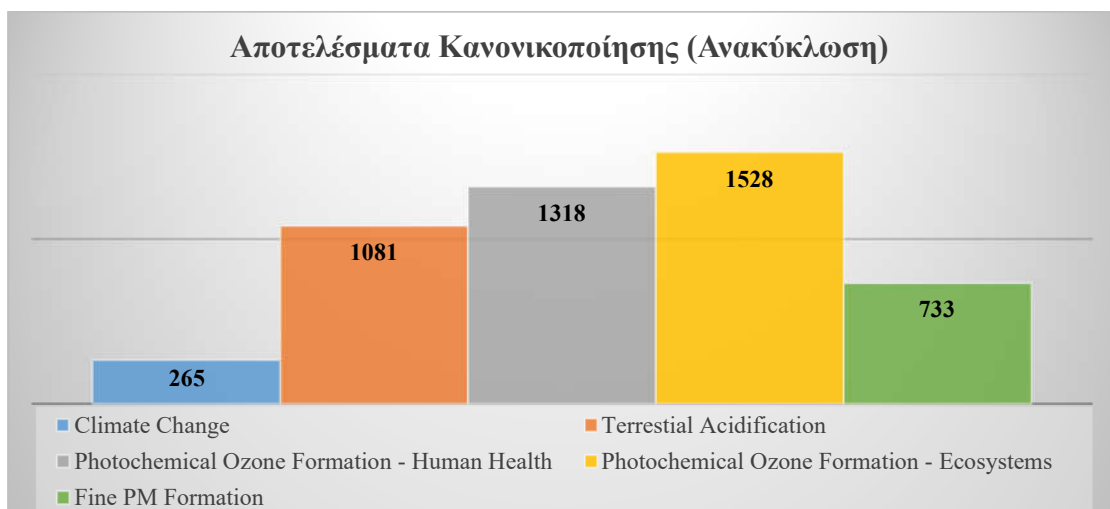
**Γράφημα 19:** Αποτελέσματα Κανονικοποίησης (Συνολικά).



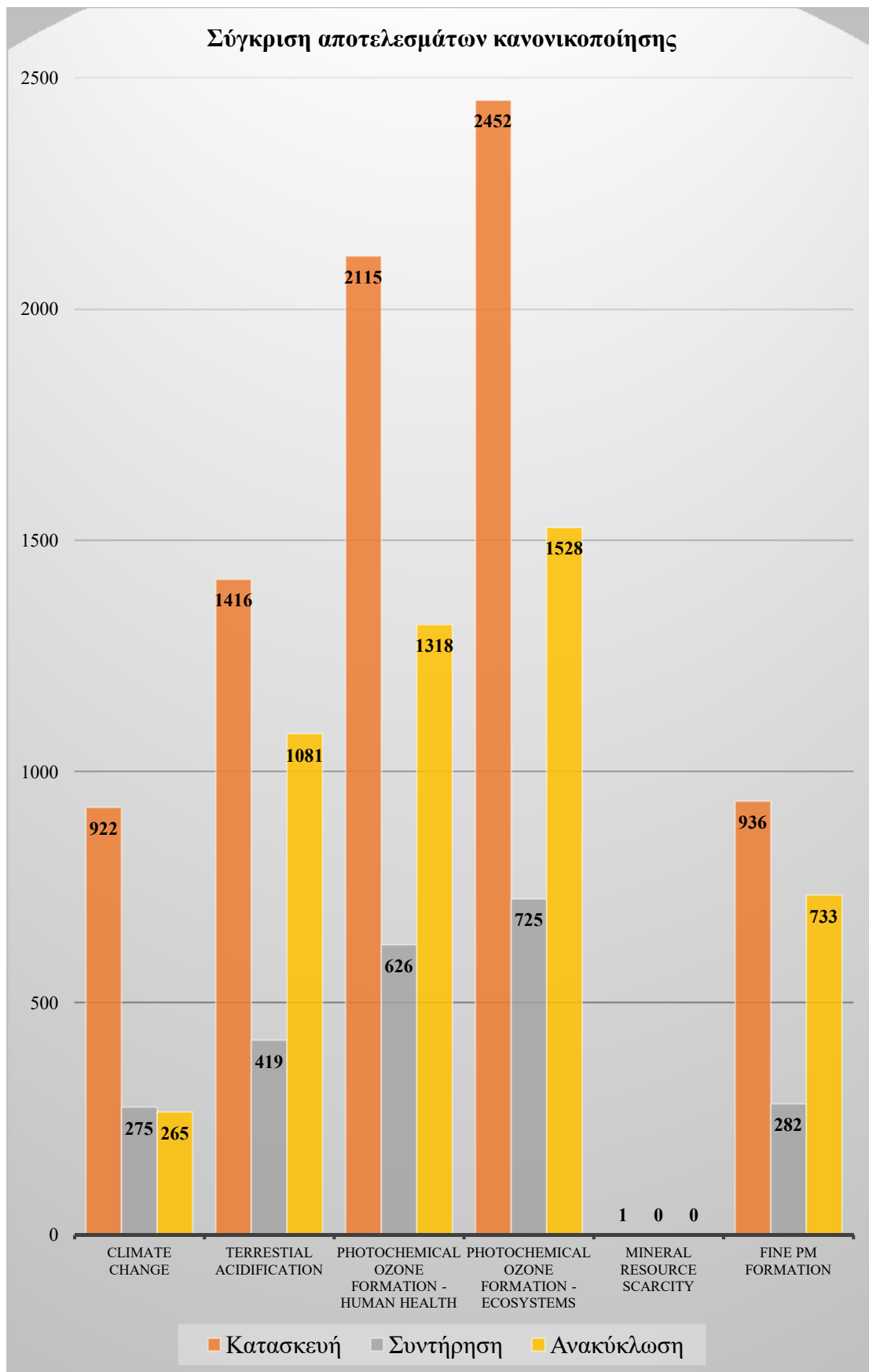
**Γράφημα 20:** Αποτελέσματα Κανονικοποίησης (Κατασκευή).



**Γράφημα 21:** Αποτελέσματα Κανονικοποίησης (Συντήρηση).



**Γράφημα 22:** Αποτελέσματα Κανονικοποίησης (Ανακύκλωση).



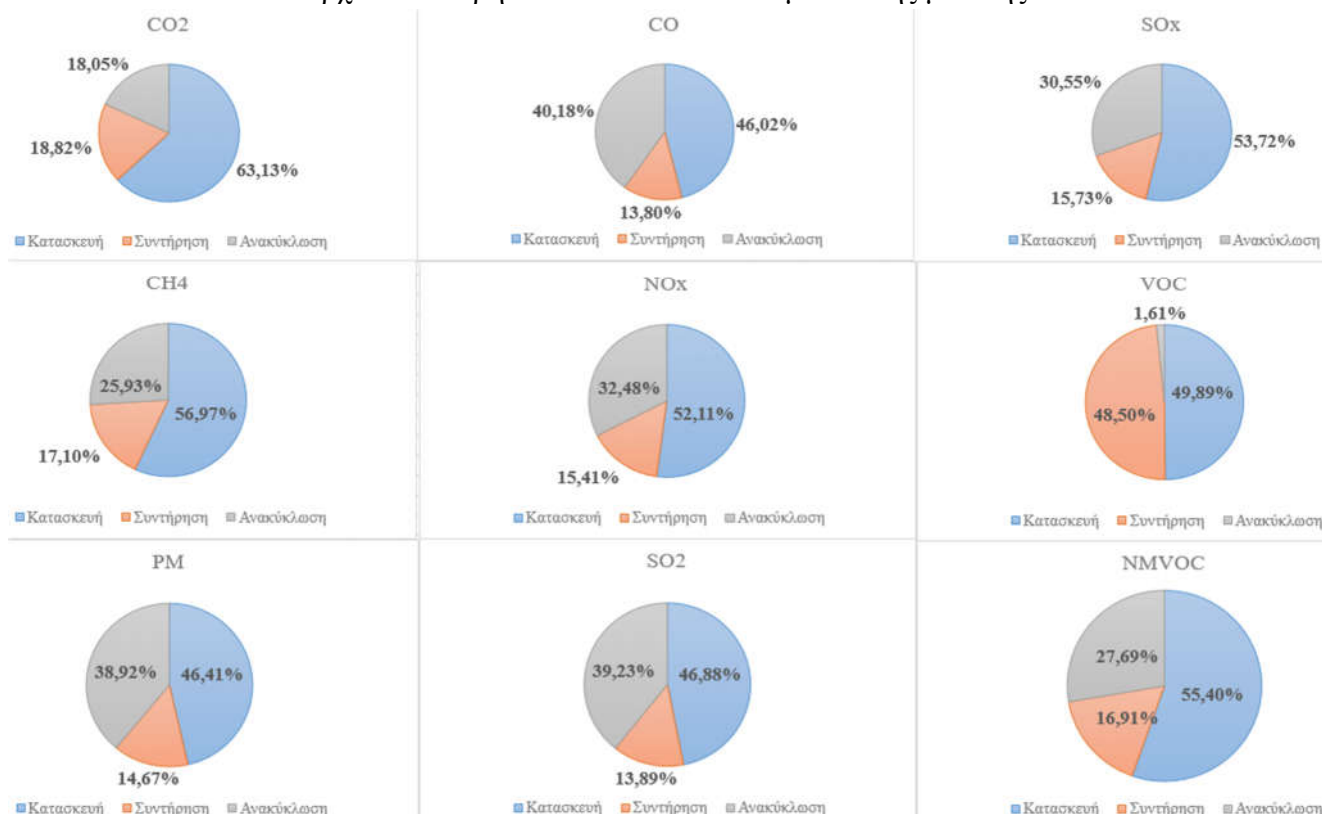
**Γράφημα 23:** Σύγκριση αποτελεσμάτων κανονικοποίησης ανά κατηγορία, ανά φάση του κύκλου ζωής της μελέτης.

#### 6.4. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Τέλος σε αυτήν την υποενοότητα θα πραγματοποιηθεί η ερμηνεία των αποτελεσμάτων τόσο της 2<sup>ης</sup> φάσης, όσο και της 3<sup>ης</sup> φάσης της ΑΚΖ που πραγματοποιήθηκε παραπάνω.

##### 6.4.1. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων της φάσης της απογραφής και καταγραφής των δεδομένων

Στο Γράφημα που ακολουθεί παρακάτω (Γραφήμα 24), παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες συνεισφορές της κάθε φάσης που μελετήθηκε ανά εκπεμπόμενη ουσία, έτσι ώστε να υπάρχει καλύτερη εικόνα των αποτελεσμάτων της μελέτης.



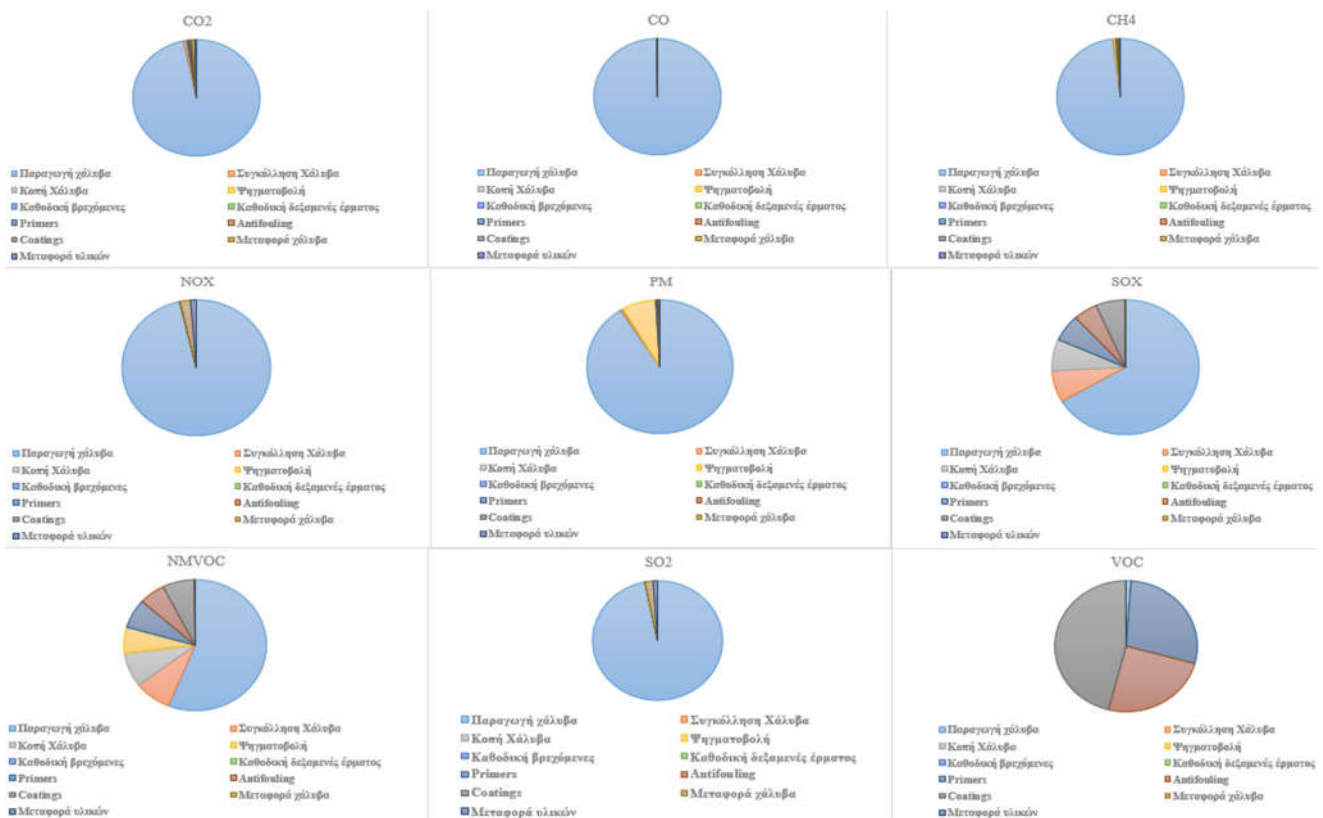
**Γράφημα 24:** Ποσοστιαίες συνεισφορές των φάσεων της κατασκευής, της συντήρησης και της ανακύκλωσης της γάστρας στις εκπομπές των εκάστοτε ρύπων.

Με βάση το παραπάνω γράφημα, αυτό που εύκολα μπορεί να παρατηρήσει κάποιος, είναι ότι η φάση της κατασκευής της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου, είναι αυτή η οποία υπερिशχει ποσοστιαία στις περισσότερες κατηγορίες εκπομπών ρύπων. Έπειτα σε πολλές περιπτώσεις δεύτερη ποσοστιαία (Εκτός από τις εκπομπές CO<sub>2</sub> και VOC) ακολουθεί η φάση της ανακύκλωσης, δηλαδή της διεργασίας της αποσυναρμολόγησης του πλοίου και τέλος ακολουθεί η συντήρηση. Αυτό το μοτίβο παρόλα αυτά δεν εντοπίζεται στην περίπτωση των VOC. Όσον αφορά τις εκπομπές των VOC, παρατηρείται ότι η φάση της κατασκευής, με αυτής της συντήρησης είναι σχεδόν παρόμοιες ποσοστιαία. Αυτό συμβαίνει καθώς σε μεγάλο ποσοστό οι εκπομπές VOC προέρχονται κατά τις διεργασίες των βαφών της γάστρας.

Στα Γραφήματα 25 και 26 που θα παρουσιαστούν παρακάτω, παραθέτονται επιπροσθέτως οι ποσοστιαίες συνεισφορές της κάθε διεργασίας ανά εκπεμπόμενη ουσία, στις φάσεις της κατασκευής και της συντήρησης αντίστοιχα.



**Γράφημα 25:** Ποσοστιαίες συνεισφορές των διεργασιών που αφορούν την κατασκευή της γάστρας στις εκπομπές των ρύπων.



**Γράφημα 26:** Ποσοστιαίες συνεισφορές των διεργασιών που αφορούν την συντήρηση της γάστρας στις εκπομπές των ρύπων.

Όσον αφορά τις διεργασίες που αφορούν την κατασκευή της γάστρας, με βάση το **Γράφημα 25**, η διεργασία που συνεισφέρει περισσότερο σχεδόν σε όλες τις κατηγορίες των εκπεμπόμενων ουσιών, είναι αυτή της **παραγωγής του χάλυβα**. Μόνο στις εκπομπές των VOC, το μεγαλύτερο ποσοστό το καταλαμβάνουν και τα 3 είδη βαφών που χρησιμοποιήθηκαν πάνω στον χάλυβα. Έπειτα όσον αφορά τις εκπομπές των SO<sub>x</sub>, των NMVOC και του CH<sub>4</sub>, οι διεργασίες που έρχονται μετά την παραγωγή του χάλυβα, είναι αυτές της **συγκόλλησης** και της **κοπής του χάλυβα**. Στις εκπομπές των PM δεύτερη διεργασία ποσοστιαία έρχεται η **ψηγματοβολή του χάλυβα**. Στις εκπομπές των SO<sub>2</sub> και των NO<sub>x</sub>, δεύτερη διεργασία ποσοστιαία έρχεται η **μεταφορά του χάλυβα**.

Όσον αφορά τις διεργασίες που αφορούν την συντήρηση της γάστρας, με βάση το **Γράφημα 26**, η διεργασία που συνεισφέρει περισσότερο σχεδόν σε όλες τις κατηγορίες των εκπομπών είναι πάλι αυτή της **παραγωγής του χάλυβα**, όπως και κατά την φάση της κατασκευής της γάστρας. Μόνο στην εκπομπές των VOC, το μεγαλύτερο ποσοστό το καταλαμβάνουν και τα 3 είδη βαφών που χρησιμοποιήθηκαν πάνω στον χάλυβα. Έπειτα στις εκπομπές των SO<sub>x</sub> και των NMVOC, οι διεργασίες που έρχονται μετά την παραγωγή του χάλυβα, είναι αυτές της **συγκόλλησης** και της **κοπής του χάλυβα**. Στις εκπομπές του μεθανίου και των PM, η διεργασία που έρχεται δεύτερη είναι αυτή της **ψηγματοβολής του χάλυβα**. Στις εκπομπές των SO<sub>2</sub> και των NO<sub>x</sub>, δεύτερη διεργασία ποσοστιαία έρχεται η **μεταφορά του χάλυβα**. Πιθανώς, αυτήν την φορά λόγω της μείωσης της ποσότητας του χάλυβα που χρειάστηκε στην συντήρηση και οι μειώσεις στα μήκη συγκόλλησης και στις ενέργειες κοπής, η καθοδική προστασία, οι βαφές και η ψηγματοβολή έλαβαν μεγαλύτερο ποσοστό καθώς εφαρμόστηκαν ακριβώς οι ίδιες ποσότητες βαφών και ψηγματοβολής, όπως και κατά την κατασκευή της γάστρας. Σε πραγματικές συνθήκες, με πολλαπλές συντηρήσεις ανά δύο με τρία χρόνια, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της καθοδικής προστασίας και των βαφών, ενδέχεται να μεταβληθούν σημαντικά, εάν ληφθούν υπόψη πολλές παράμετροι που δεν ελήφθησαν στην παρούσα εργασία.

#### **6.4.2. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων της φάσης της ΑΕΚΖ**

Με βάση τα αποτελέσματα που ελήφθησαν κατά την φάση της ΑΕΚΖ μέσω της χρήσης της μεθοδολογίας ReCiPe 2016 v1.1, έχουμε τα εξής:

Σύμφωνα με το **Γράφημα 17**, το οποίο παρουσιάζει τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού για κάθε φάση του κύκλου ζωής της γάστρας που μελετήθηκε, αυτό που παρατηρήθηκε είναι ότι και στις 3 φάσεις του κύκλου ζωής, ποσοστιαία οι κατηγορία των επιπτώσεων που έρχεται πρώτη, είναι αυτή της κλιματικής αλλαγής. Έπειτα έρχονται σε σειρά, η βλάβη στις μεταλλικές πρώτες ύλες (Εκτός από ανακύκλωση, καθώς εκεί ισούται με 0), η οξίνιση του εδάφους, ο σχηματισμός φωτοχημικού όζοντος (Και στις 2 κατηγορίες) και τέλος ο σχηματισμός σωματιδίων προκαθορισμένης διαμέτρου.



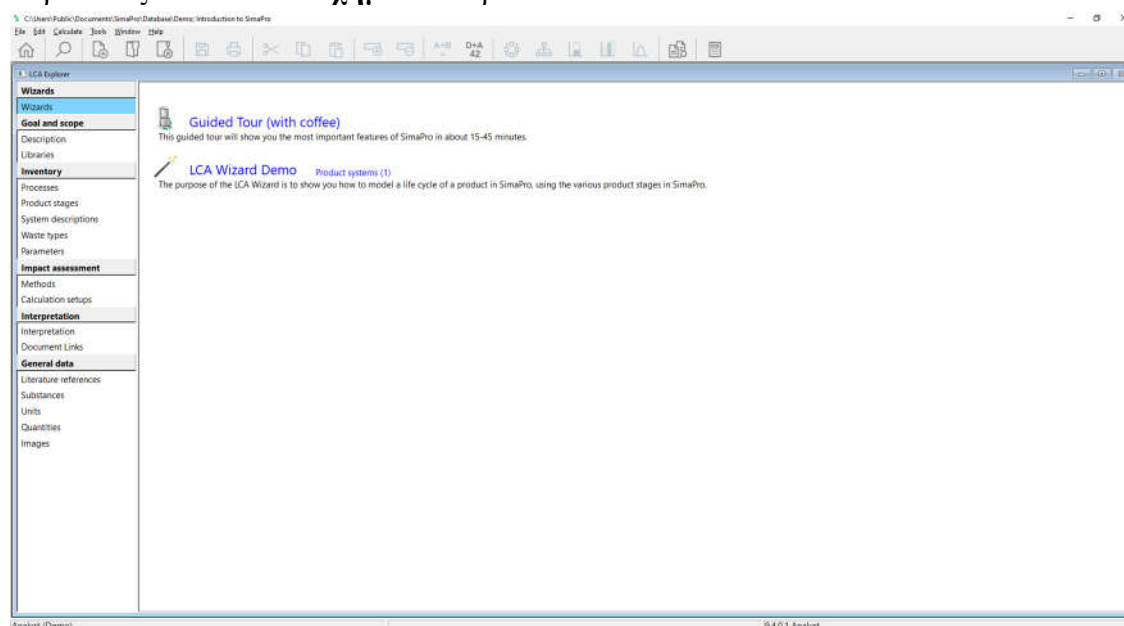
Σύμφωνα με το **Γράφημα 18**, το οποίο παρουσιάζει τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού ανά Midpoint κατηγορία, ανά φάση του κύκλου ζωής της γάστρας που μελετήθηκε, αυτό που παρατηρήθηκε είναι ότι στις κατηγορίες επιπτώσεων που αφορούσαν την οξίνιση του εδάφους, τον σχηματισμό φωτοχημικού όζοντος (Και οι δύο κατηγορίες), και του σχηματισμού σωματιδίων προκαθορισμένης διαμέτρου, η κατασκευή ήταν η φάση που υπερισχύει και δεύτερη στην σειρά έρχοταν η φάση της ανακύκλωσης και τελευταία ακολουθούσε η φάση της συντήρησης. Από την άλλη, στην κατηγορία της κλιματικής αλλαγής, ενώ πρώτη παρέμενε η φάση της κατασκευής της γάστρας, δεύτερη έρχοταν η συντήρηση της γάστρας και τελευταία ήταν η φάση της ανακύκλωσης. Τέλος, στην κατηγορία των επιπτώσεων που αφορούσε την βλάβη στις μεταλλικές πρώτες ύλες, όπως είναι και λογικό πρώτη έρχοταν η φάση της κατασκευής και έπειτα ακολουθούσε η φάση της συντήρησης, κάτι το οποίο οφείλονταν κυρίως στο ότι κατά την συντήρηση χρειάζεται να παραχθεί πολύ λιγότερος χάλυβας, από ότι κατά την κατασκευή της γάστρας.

Παρόλα αυτά, κατά την κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων (**Γράφημα 19**), η μεγαλύτερη κανονικοποιημένη κατηγορία ήταν αυτή του σχηματισμού φωτοχημικού όζοντος (Οικοσυστήματα), η οποία κατά κύριο λόγο επηρεάζεται από τις εκπομπές των NO<sub>x</sub> και των NMVOC, όπως παρατηρήθηκε και κατά τον χαρακτηρισμό. Στην συνέχεια, ακολουθούν η κατηγορία του σχηματισμού φωτοχημικού όζοντος (Ανθρώπινη υγεία, λόγω NO<sub>x</sub> και NMVOC), η κατηγορία της οξίνισης του εδάφους (Λόγω SO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> και NO<sub>x</sub>), η κατηγορία του σχηματισμού σωματιδίων προκαθορισμένης διαμέτρου (Λόγω PM, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> και SO<sub>x</sub>), η κατηγορία της κλιματικής αλλαγής (Λόγω CO<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub>) και στο τέλος η μικρότερη κανονικοποιημένη κατηγορία είναι αυτή της βλάβης στις μεταλλικές πρώτες ύλες (Λόγω του εξορυγμένου σιδηρού). Το ίδιο μοτίβο, παρατηρείται και στα **γραφήματα 20, 21 και 22**.

Τέλος, όσον αφορά το **Γράφημα 23**, παρατηρείται ότι η κατασκευή της γάστρας είναι η φάση με τις μεγαλύτερες συνεισφορές στην κάθε κανονικοποιημένη κατηγορία επιπτώσεων. Έπειτα σε όλες τις κατηγορίες, πλην της κλιματικής αλλαγής και της βλάβης στις πρώτες ύλες, δεύτερη φάση έρχεται η φάση της ανακύκλωσης και τέλος ακολουθεί η φάση της συντήρησης.

## 6.5. Υπολογισμοί AKZ με την χρήση του λογισμικού SimaPro

Τέλος, οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν παραπάνω με την χρήση του Microsoft Excel, τόσο κατά την φάση της απογραφής και καταγραφής των δεδομένων, όσο και κατά την φάση της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, θα επαναυπολογιστούν αυτή την φορά με την χρήση του λογισμικού AKZ **SimaPro**, που παρουσιάστηκε και στο **Κεφάλαιο 3** παραπάνω. Ουσιαστικά θα γίνει μια προσπάθεια να χτιστεί ένα σενάριο σε αυτό το λογισμικό, το οποίο σενάριο θα φέρει ομοιότητες με το σενάριο που ακολουθήσαμε κατά τον χειροκίνητο υπολογισμό των αποτελεσμάτων. Όπως αναφέρθηκε και στο **Κεφάλαιο 5** παραπάνω, η έκδοση του SimaPro που θα χρησιμοποιηθεί είναι η δοκιμαστική έκδοση 9.4.0, της οποίας το περιβάλλον χρήστη παρουσιάζεται και στο **Σχήμα 19** παρακάτω.



**Σχήμα 19:** Περιβάλλον χρήστη δοκιμαστικής έκδοσης 9.4.0 του SimaPro.

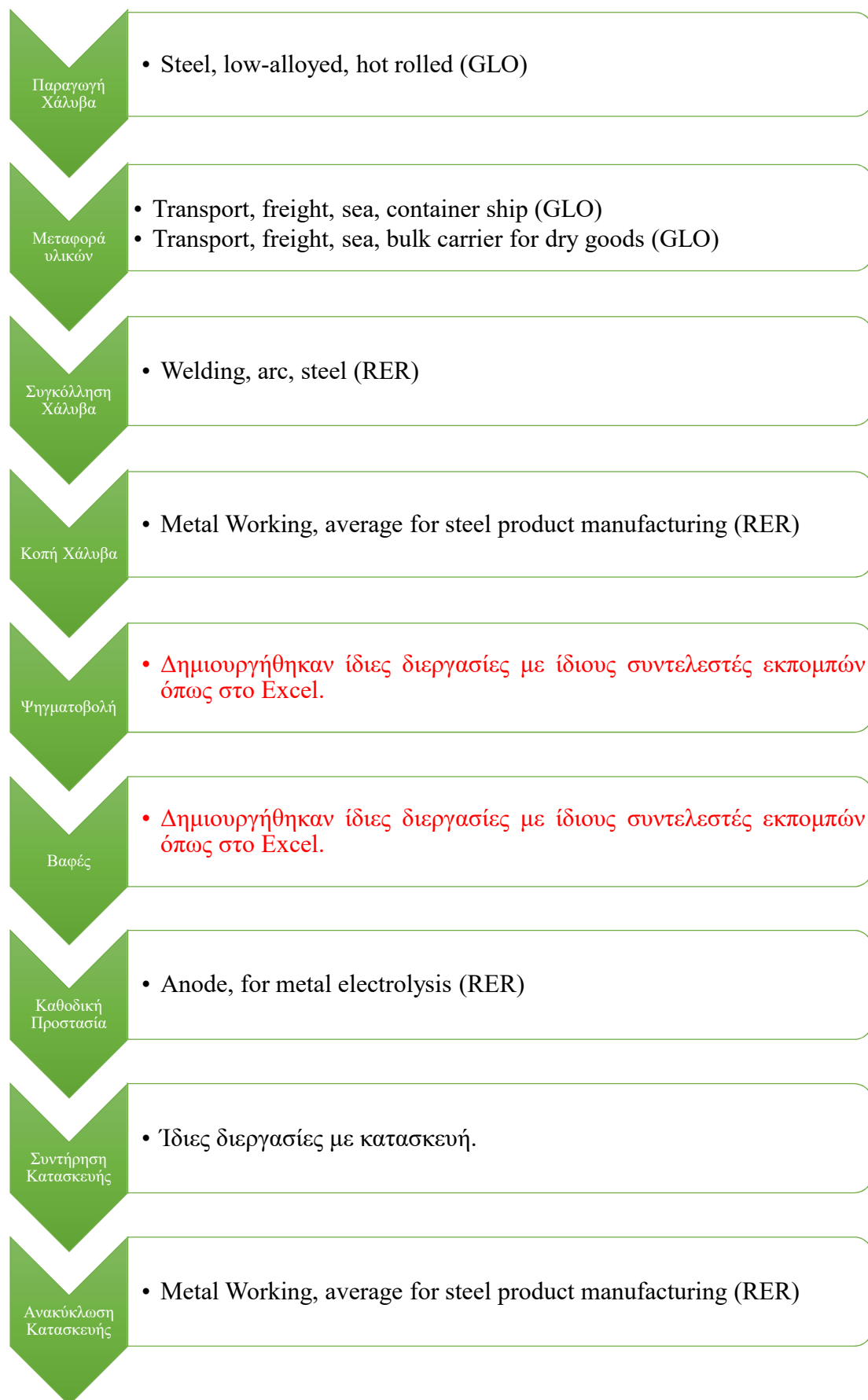
Οι **βάσεις δεδομένων** που επιλέχθηκαν από το Section: Goal and Scope → Libraries, του λογισμικού ήταν οι εξής:

1. Ecoinvent 3 – Allocation, cut-off by classification – system,
2. Ecoinvent 3 – Allocation, cut-off by classification – units,
3. Industry Data 2.0,
4. Methods.

Η **μεθοδολογία ΑΕΚΖ** που επιλέχθηκε από το Section: Impact Assessment → Methods είναι η εξής:

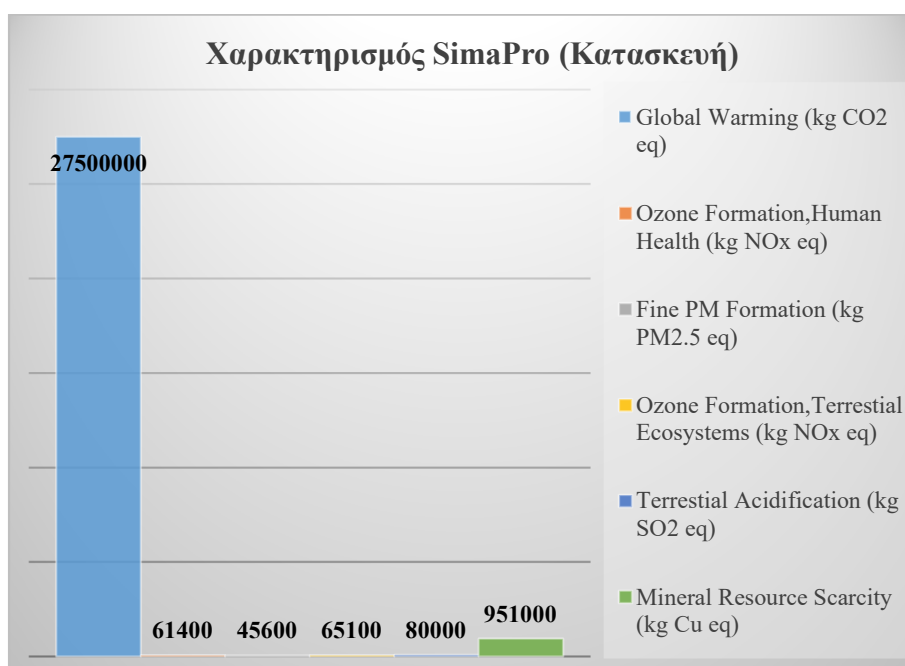
1. ReCiPe 2016 Midpoint (H) – Version 1.07 – Global

Στο **Γράφημα 27** που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι διεργασίες που επιλέχθηκαν στο SimaPro για την μελέτη. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν, παρουσιάζονται παρακάτω.

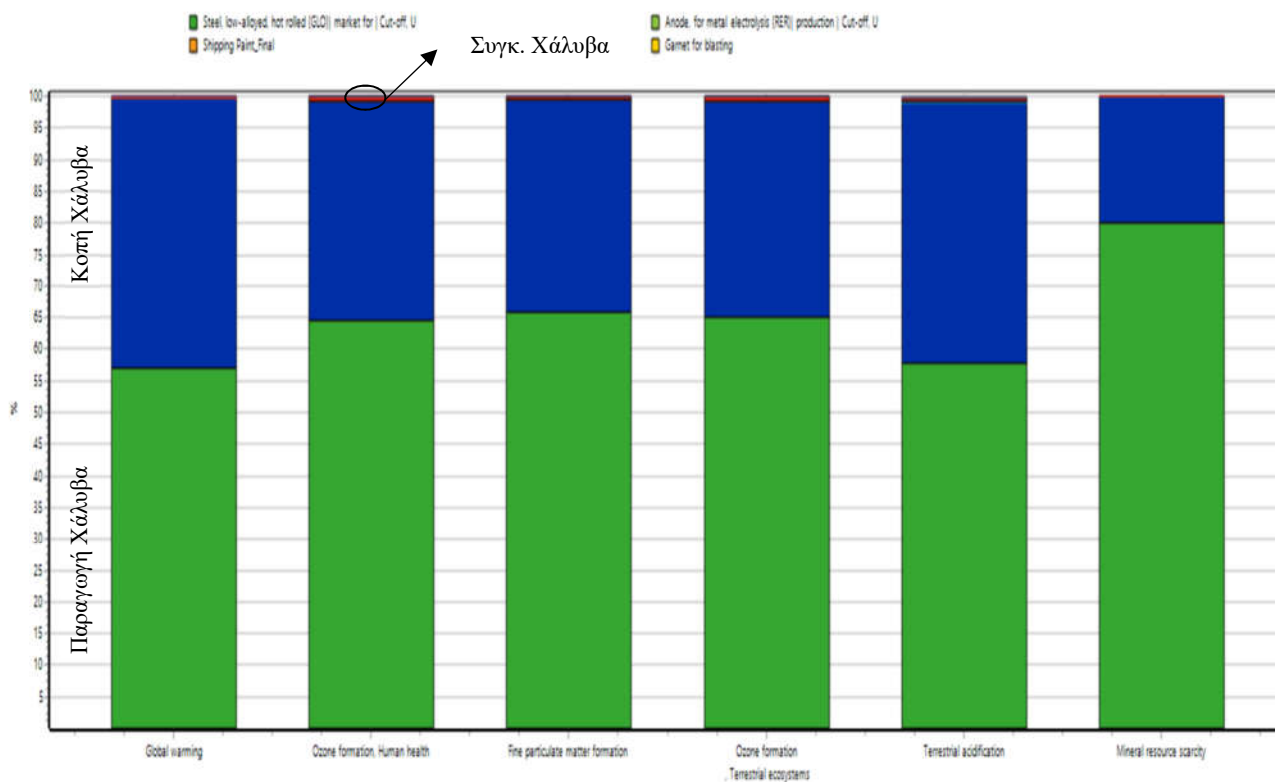


**Γράφημα 27:** Στάδια του κύκλου ζωής του υπό μελέτη πλοίου (SimaPro).

## Κατασκευή γάστρας

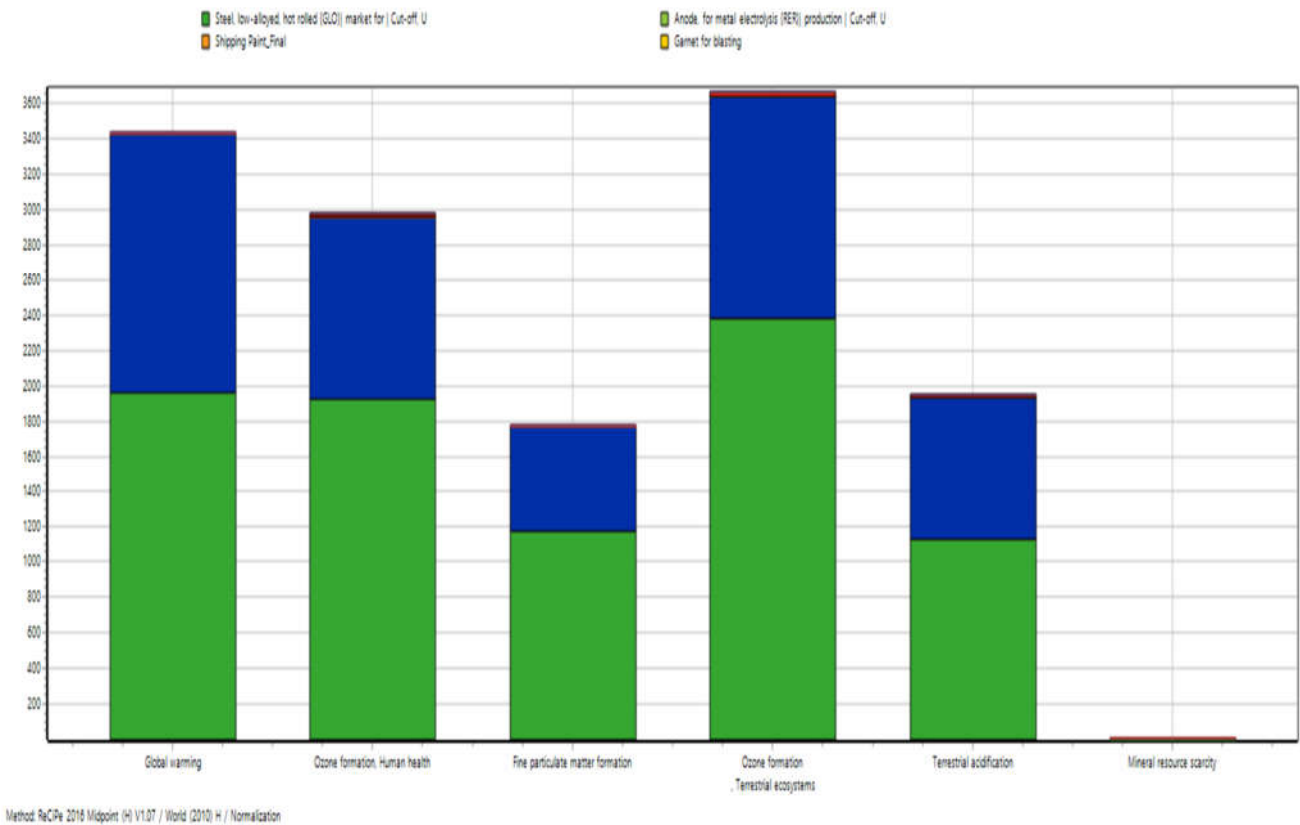


**Γράφημα 28:** Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού SimaPro (Κατασκευή).



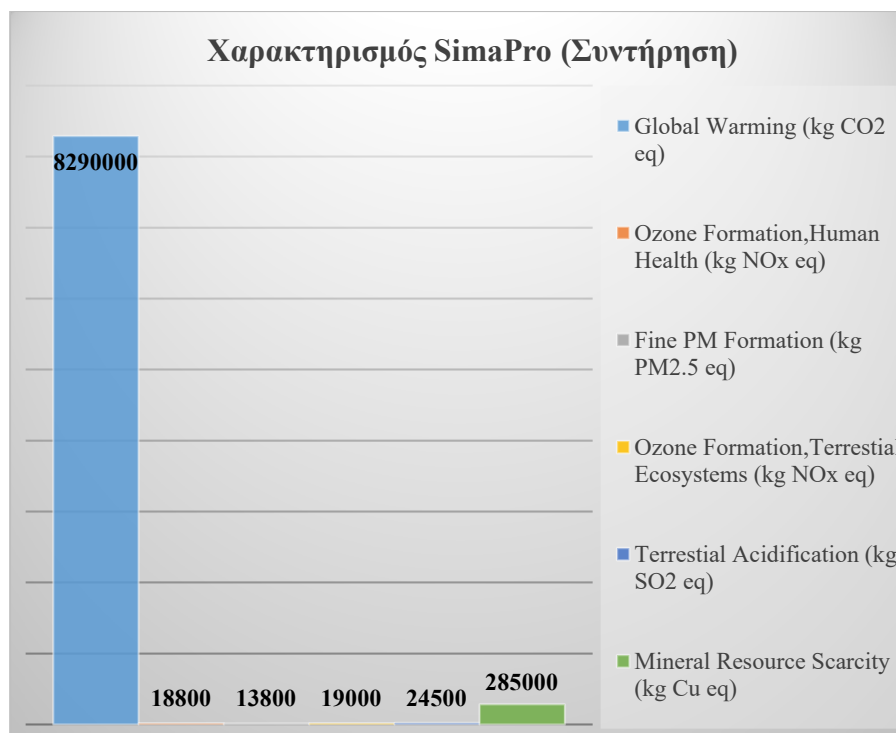
Method ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.07 / World (2010) H / Characterization

**Γράφημα 29:** Αποτελέσματα χαρακτηρισμού SimaPro (Διεργασίες κατασκευής).

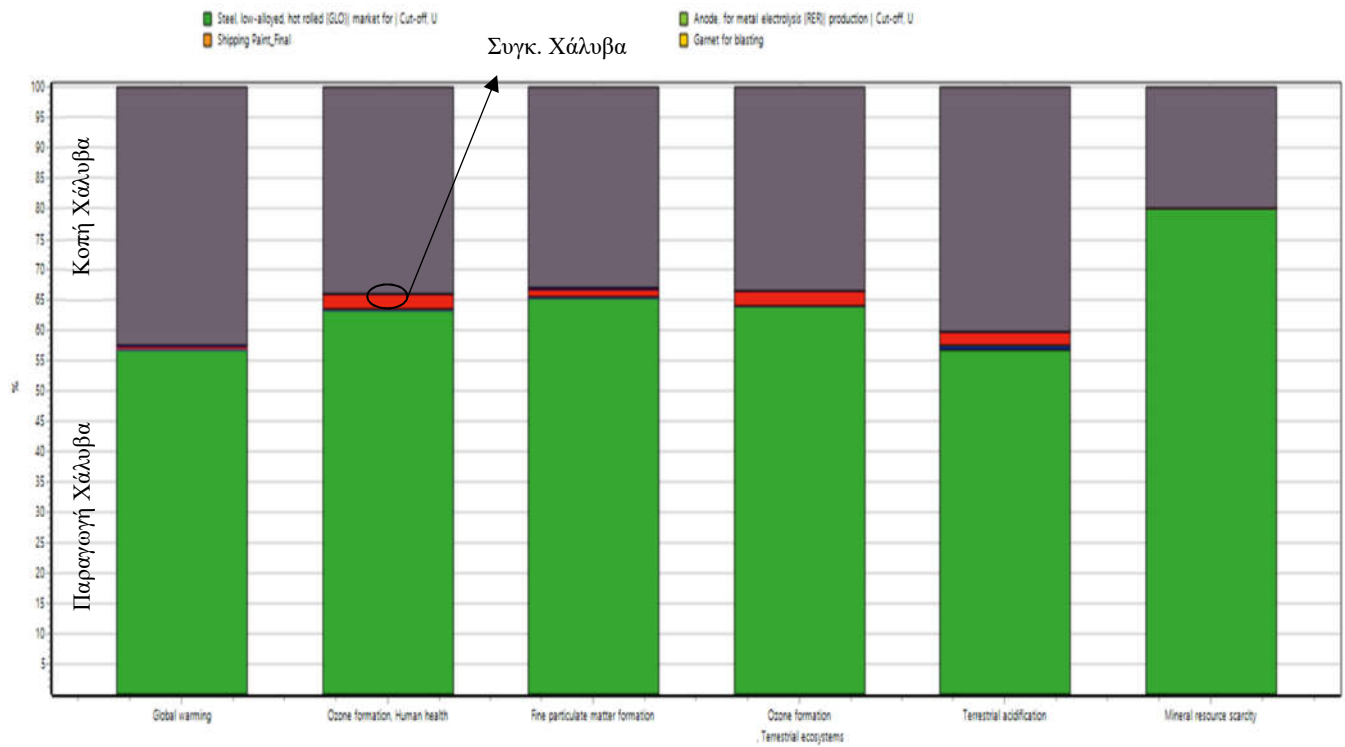


**Γράφημα 30:** Αποτελέσματα Κανονικοποίησης SimaPro (Κατασκευή).

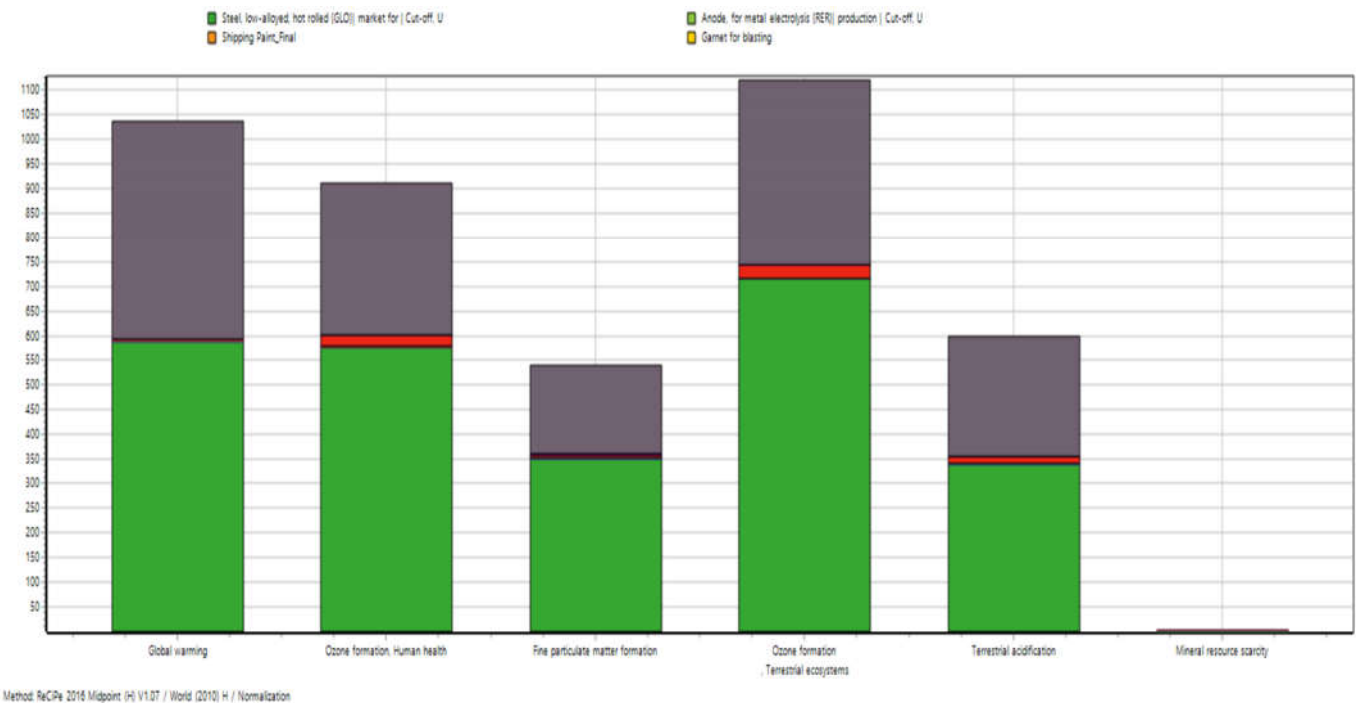
Συντήρηση γάστρας



**Γράφημα 31:** Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού SimaPro (Συντήρηση).

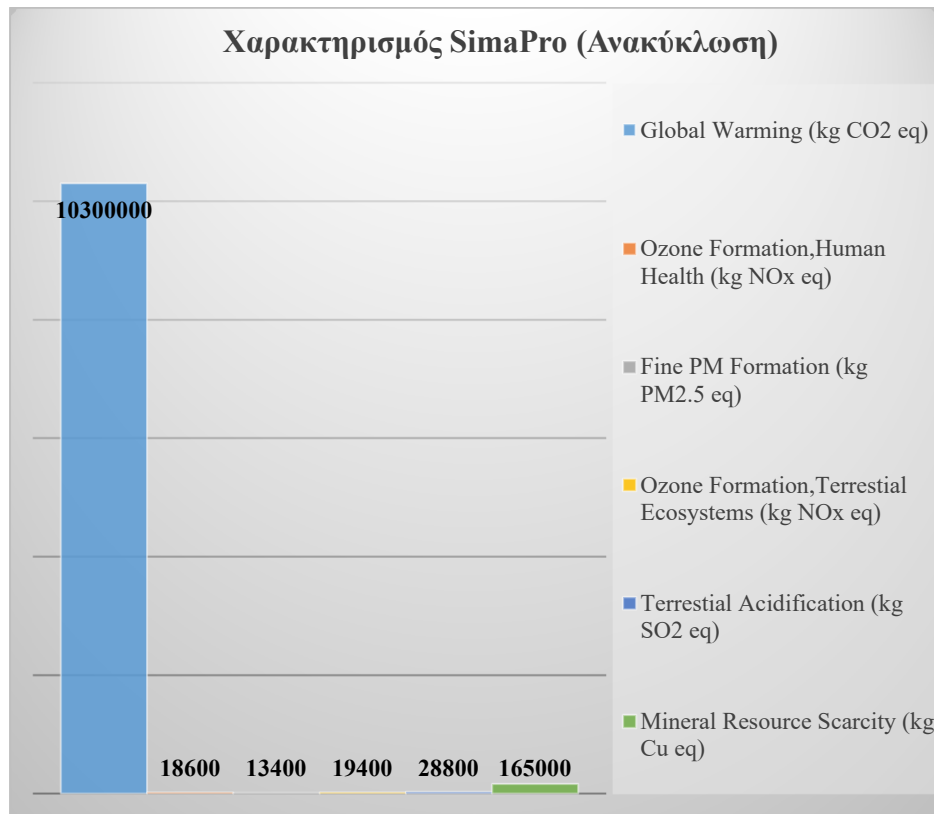


**Γράφημα 32:** Αποτελέσματα χαρακτηρισμού SimaPro (Διεργασίες συντήρησης).

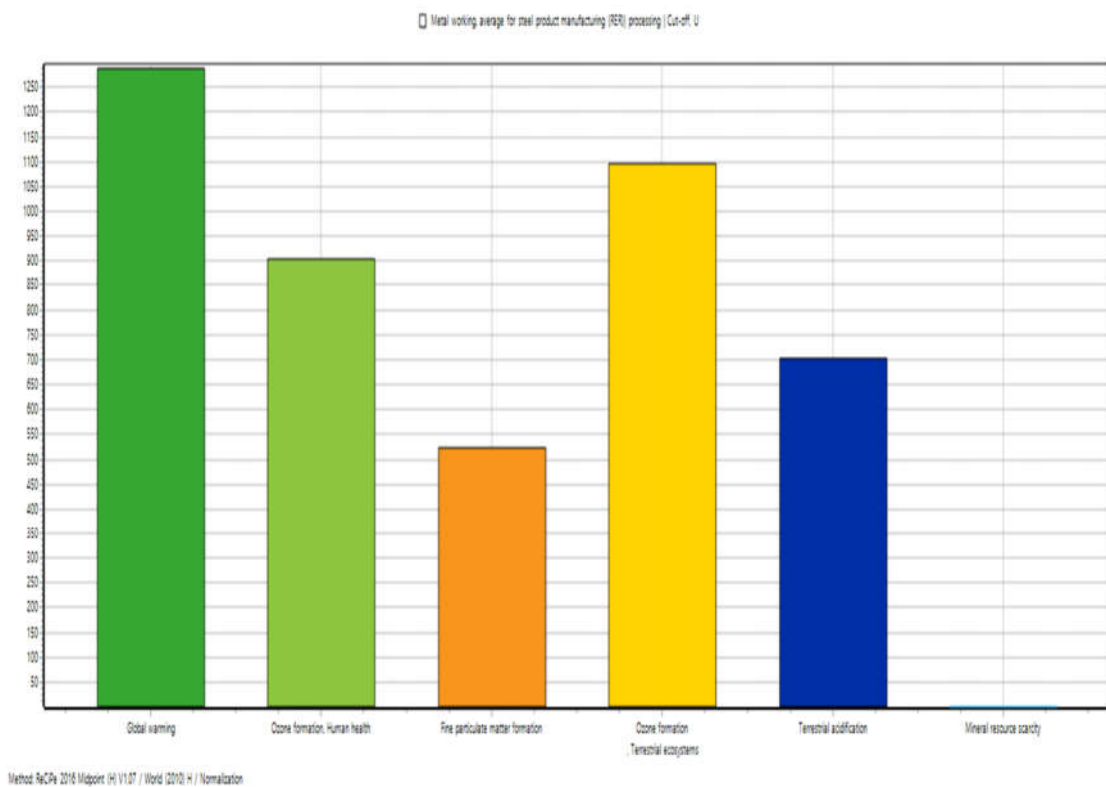


**Γράφημα 33:** Αποτελέσματα Κανονικοποίησης SimaPro (Συντήρηση).

## Ανακύκλωση γάστρας

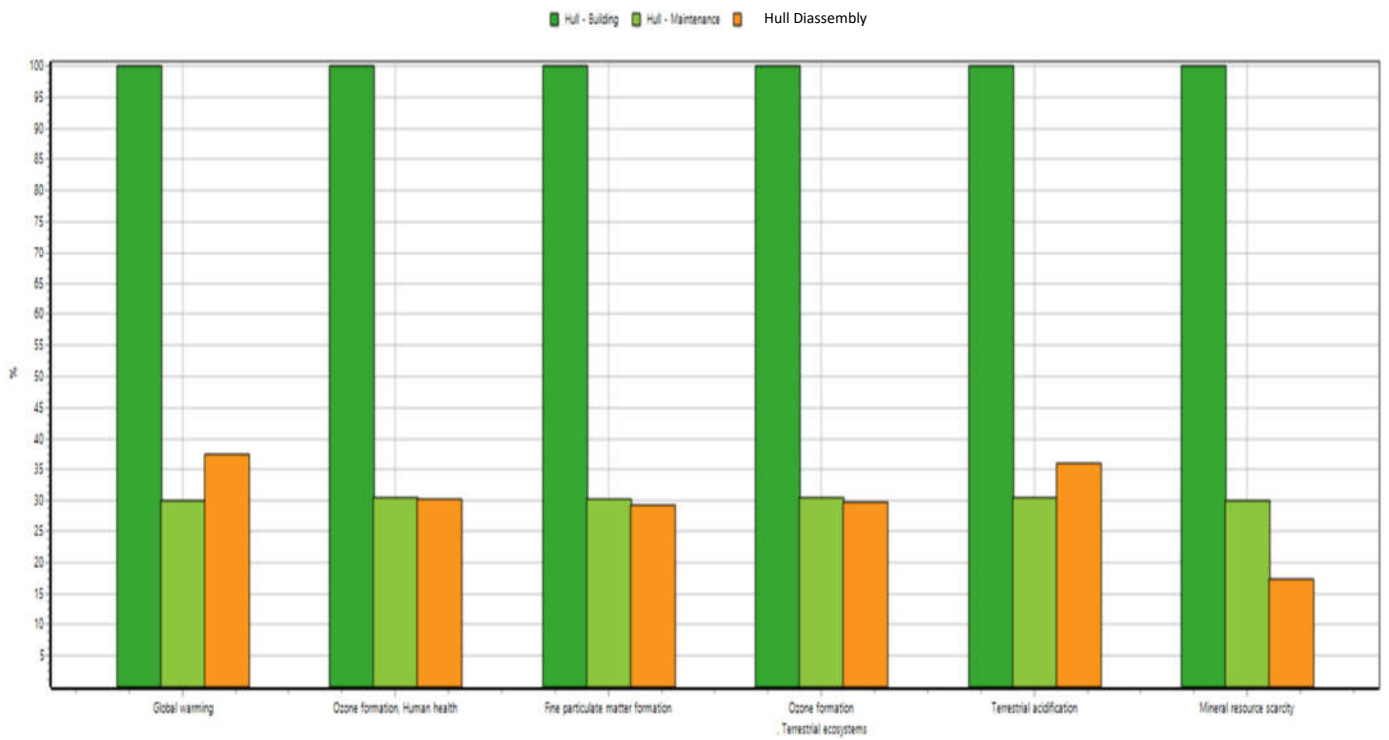


**Γράφημα 34:** Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού SimaPro (Ανακύκλωση).



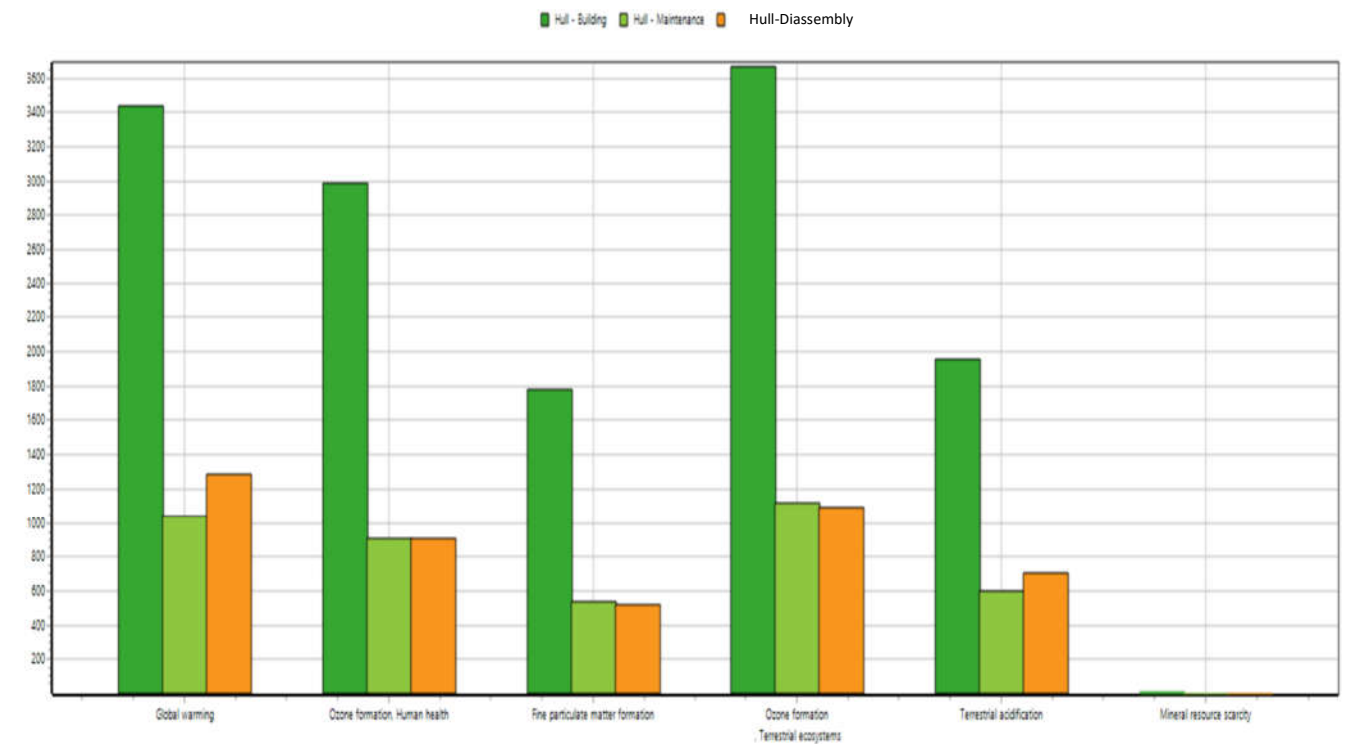
**Γράφημα 35:** Αποτελέσματα Κανονικοποίησης SimaPro (Ανακύκλωση).

## Σύγκριση φάσεων κατασκευής-συντήρησης-ανακύκλωσης



Method: ReCPe 2016 Midpoint (H) V1.07 / World (2010) H / Characterization

**Γράφημα 36:** Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού SimaPro (Σύγκριση Φάσεων).



Method: ReCPe 2016 Midpoint (H) V1.07 / World (2010) H / Normalization

**Γράφημα 37:** Αποτελέσματα Κανονικοποίησης SimaPro (Σύγκριση Φάσεων).



### **6.5.1. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων του SimaPro**

Μελετώντας τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από το SimaPro, το πρώτο που μπορεί να παρατηρήσει κάποιος είναι ότι με βάση τα **Γραφήματα 28, 31 και 34**, σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής της γάστρας του πλοίου που μελετάται, μετά τον χαρακτηρισμό των αποτελεσμάτων της ΑΚΖ, πρώτη κατηγορία επιπτώσεων είναι αυτή της κλιματικής αλλαγής. Έπειτα ακολουθούν με σειρά οι κατηγορίες: Βλάβες στις πρώτες ύλες-Μέταλλα, Οξίνιση του εδάφους, σχηματισμός φωτοχημικού όζοντος (Οικοσυστήματα), σχηματισμός φωτοχημικού όζοντος (Ανθρώπινη υγεία) και τέλος ο σχηματισμός σωματιδίων προκαθορισμένης διαμέτρου.

Με βάση τα **Γραφήματα 29 και 30**, που ουσιαστικά περιγράφουν το ποιές διεργασίες επηρεάζουν την κάθε κατηγορία επιπτώσεων ξεχωριστά, τόσο κατά την φάση της κατασκευής, όσο και κατά την φάση της συντήρησης της γάστρας, αυτό που παρατηρείται είναι ότι η διεργασία της παραγωγής του χάλυβα είναι αυτή που επηρεάζει περισσότερο την κάθε κατηγορία επιπτώσεων σε όλες τις φάσεις. Έπειτα, ακολουθεί η κοπή του χάλυβα (Metal Working) σε αρκετά μεγάλο ποσοστό και μετά ακολουθούν η συγκόλληση του χάλυβα και οι υπόλοιπες διεργασίες.

Κατά την κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων, παρατηρείται ότι τόσο στην φάση της κατασκευής (**Γράφημα 30**), όσο και στην φάση της συντήρησης (**Γράφημα 33**), η μεγαλύτερη κανονικοποιημένη κατηγορία επιπτώσεων ήταν αυτή του σχηματισμού φωτοχημικού όζοντος (Οικοσυστήματα). Έπειτα ακολουθούσαν με την σειρά οι κατηγορίες της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Κλιματική αλλαγή), του σχηματισμού φωτοχημικού όζοντος (Ανθρώπινη υγεία), της οξίνισης του εδάφους, του σχηματισμού σωματιδίων προκαθορισμένης διαμέτρου και τέλος της βλάβης στις πρώτες ύλες-Μέταλλα. Όσον αφορά τα κανονικοποιημένα αποτελέσματα της φάσης της ανακύκλωσης (**Γράφημα 35**), εκεί παρατηρείται η διαφορά ότι η κατηγορία της υπερθέρμανσης του πλανήτη, είναι πρώτη ποσοτικά και έπειτα δεύτερη έρχεται η κατηγορία του σχηματισμού φωτοχημικού όζοντος (Οικοσυστήματα).

Τέλος, όσον αφορά τα αποτελέσματα που ελήφθησαν, αφού πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό σύγκριση των 3 φάσεων έχουμε τα εξής:

Στο **Γράφημα 36**, όπου αφορά τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού, εκεί παρατηρείται ότι σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων, η φάση της κατασκευής ξεπερνούσε ποσοτικά, τόσο την φάση της συντήρησης, όσο και την φάση της ανακύκλωσης. Έπειτα, η φάση της συντήρησης σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων, πλήν των κατηγοριών της υπερθέρμανσης του πλανήτη και της οξίνισης του εδάφους (Εκεί υπερίσχυε η φάση της ανακύκλωσης), υπερίσχυε έναντι της ανακύκλωσης.

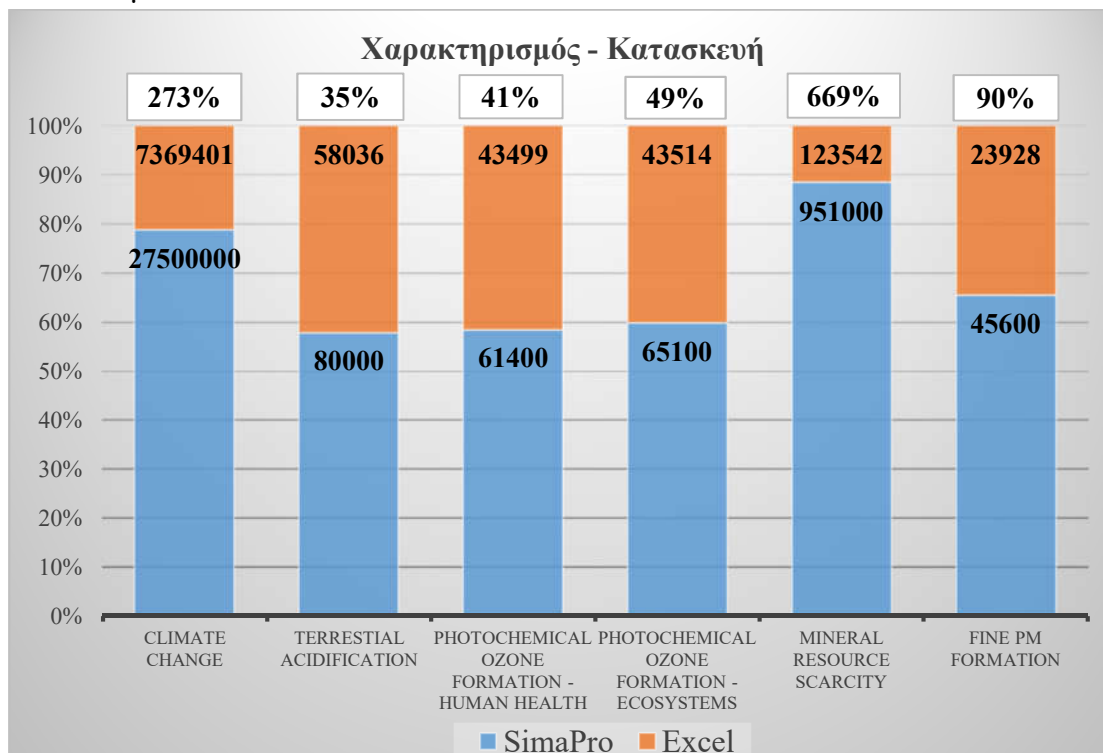
Στο **Γράφημα 37**, όπου αφορά τα αποτελέσματα της κανονικοποίησης, εκεί παρατηρείται ότι σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων, η φάση της κατασκευής ξεπερνούσε ποσοτικά, τόσο την φάση της συντήρησης, όσο και την φάση της ανακύκλωσης. Έπειτα η φάση της συντήρησης, σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων, πλήν των κατηγοριών της υπερθέρμανσης του πλανήτη και της οξίνισης του εδάφους (Εκεί υπερίσχυε η φάση της ανακύκλωσης), υπερίσχυε έναντι της ανακύκλωσης.

## 7. Τελικά συμπεράσματα

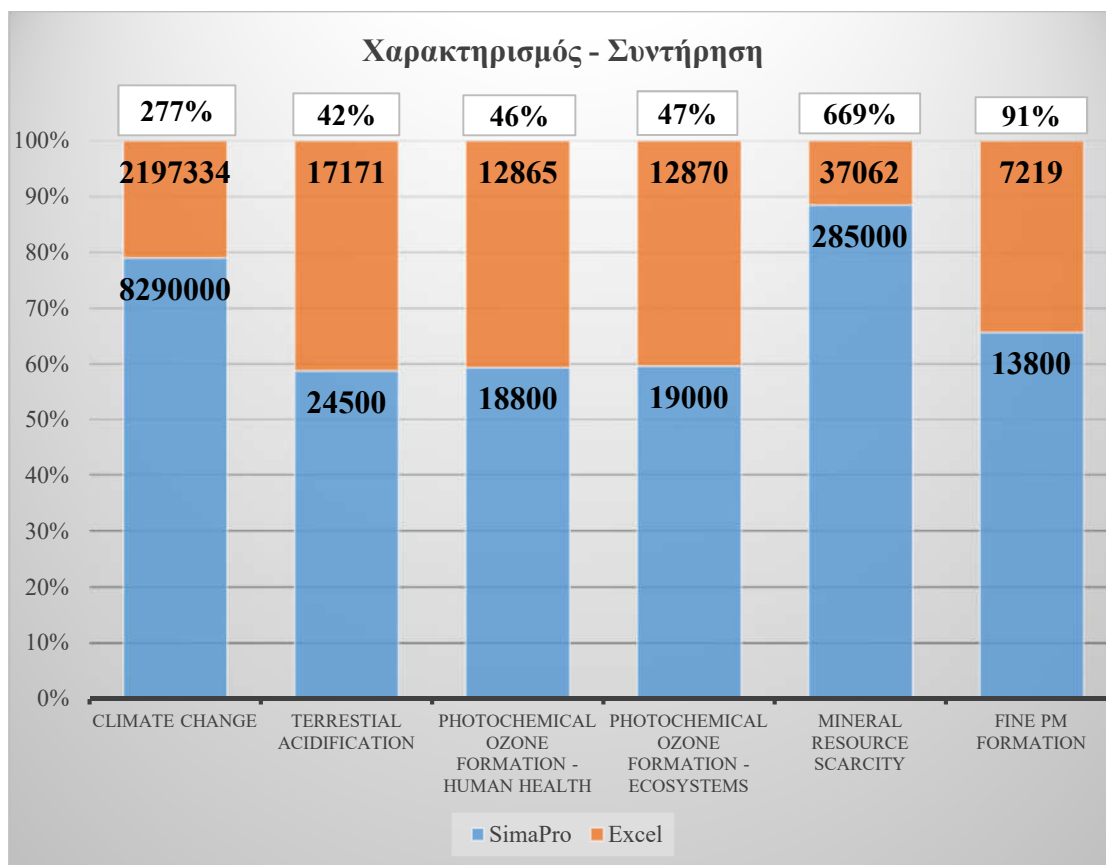
Πρωτού προχωρήσουμε στην σύγκριση των αποτελεσμάτων που ελήφθησαν, πρέπει να αναφερθεί ότι όταν αναφερόμαστε στα αποτελέσματα του Microsoft Excel, ουσιαστικά αναφερόμαστε στα αποτελέσματα τα οποία υπολογίστηκαν, χρησιμοποιώντας συντελεστές οι οποίοι αντλήθηκαν από διάφορα ερευνητικά άρθρα, ακαδημαϊκές εργασίες, έγγραφα τεχνικών προδιαγραφών προϊόντων, εγχειρίδια, λογισμικά κ.α. Αντιθέτως, όταν αναφερόμαστε στα αποτελέσματα του SimaPro, εκεί το λογισμικό έχει ήδη ενσωματωμένους όλους τους απαραίτητους συντελεστές για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων του, μέσα στις βάσεις δεδομένων και στις μεθοδολογίες ΑΕΚΖ που εμπεριέχει. Επιπροσθέτως, αξίζει να σημειωθεί ότι οι διεργασίες που δομήθηκαν στο SimaPro με τους ίδιους συντελεστές εκπομπών όπως στο Excel (**Ψηματοβολή και Βαφές – Βλ. Γράφημα 27**), όταν εκτελέστηκαν μεμονωμένα, δώσανε παρόμοιο αποτέλεσμα με αυτό του Excel. Όταν εκτελέστηκαν συγκεντρωτικά ανά φάση, κάποιες δεν λήφθηκαν υπόψη από το SimaPro.

Ως πρώτο συμπέρασμα που βγαίνει με το πέρας της πειραματικής διαδικασίας, είναι ότι τόσο τα αποτελεσμάτα που εξήχθησαν με το Microsoft Excel, όσο και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν με το SimaPro, υποδεικνύουν ότι η διεργασία της **παραγωγής του χάλυβα**, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες διεργασίες που συντελούνται κατά την κατασκευή και την συντήρηση της χαλύβδινης γάστρας, είναι αυτή που επηρεάζει περισσότερο όλες τις κατηγορίες των επιπτώσεων.

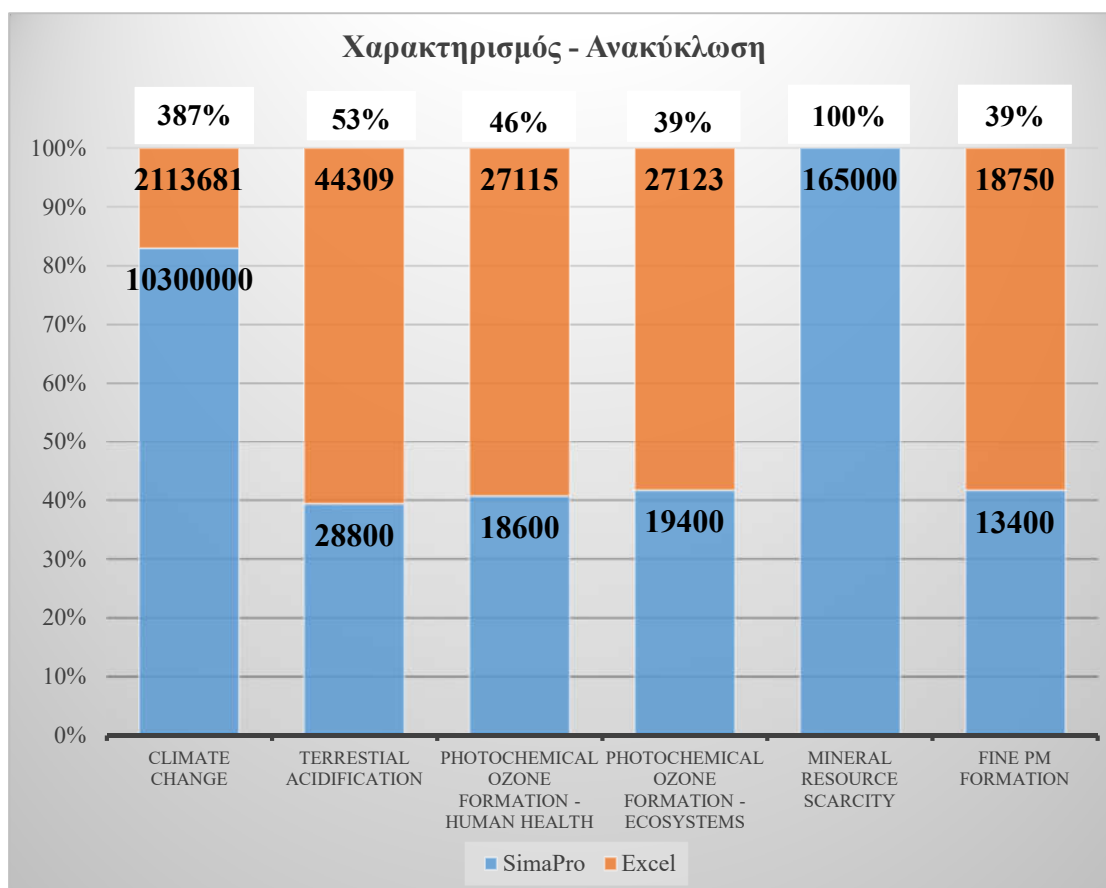
Έπειτα για την εξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων, δημιουργήθηκαν γραφήματα (**Γράφημα 38 έως και 43**) τα οποία αξιοποιήθηκαν για συγκριτικούς ισχυρισμούς μεταξύ των αποτελεσμάτων που ελήφθησαν από το SimaPro και το Microsoft Excel, τόσο κατά τον χαρακτηρισμό, όσο και κατά την κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων.



**Γράφημα 38:** Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρακτηρισμού – Φάση Κατασκευής.



**Γράφημα 39:** Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρακτηρισμού – Φάση Συντήρησης.



**Γράφημα 40:** Σύγκριση αποτελεσμάτων χαρακτηρισμού – Φάση Ανακύκλωσης.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα που ελήφθησαν κατά το στάδιο του χαρακτηρισμού (**Γραφήματα 38 έως 40**), σε όλες τις κατηγορίες των επιπτώσεων που μελετήθηκαν, παρατηρήθηκαν πολύ σημαντικές διαφορές μεταξύ του SimaPro και του Microsoft Excel.

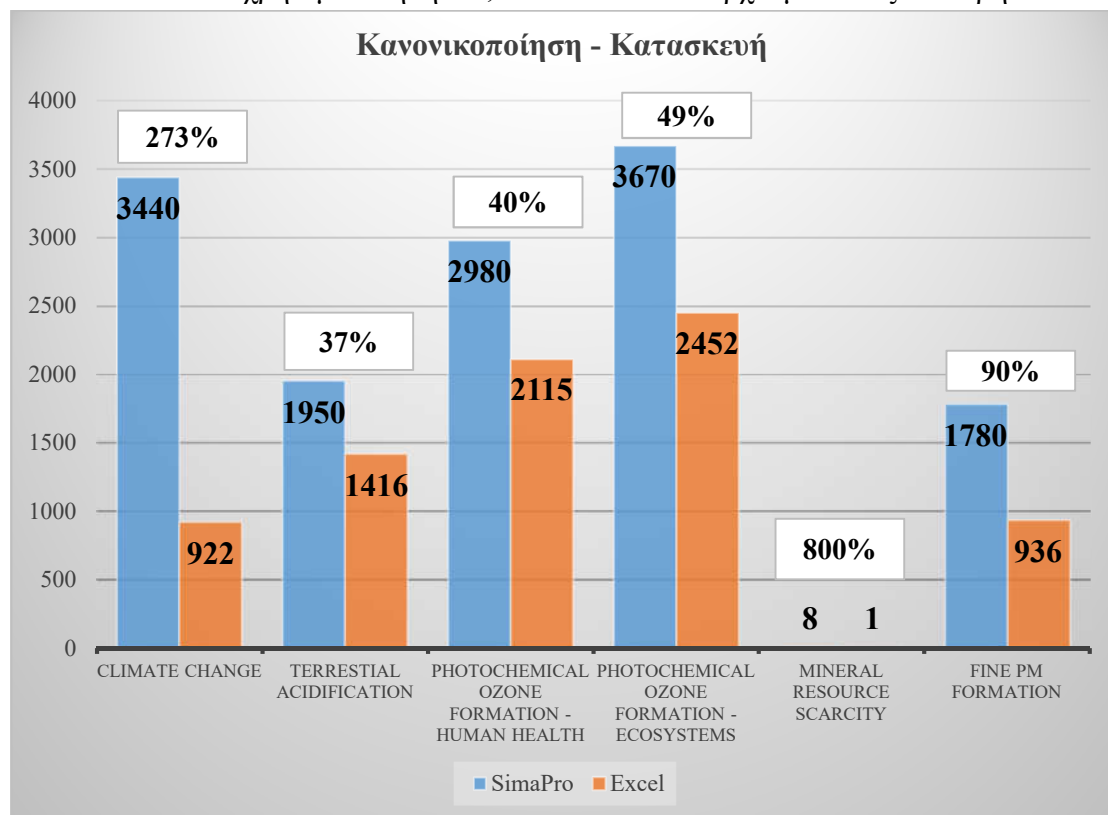
Πιο συγκεκριμένα, τόσο στην φάση της κατασκευής, όσο και στην φάση της συντήρησης της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου, παρατηρήθηκε ότι το SimaPro σε όλες τις κατηγορίες των επιπτώσεων, οι τιμές που έδινε ανά κατηγορία ήταν αρκετά μεγαλύτερες σε σχέση με τις τιμές που εξήχθησαν με το Microsoft Excel. Ειδικότερα στις κατηγορίες επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, αλλά και της βλάβης στις πρώτες ύλες (Μέταλλα), οι τιμές που δίνει το SimaPro είναι από 3 έως και 7 φορές μεγαλύτερες από ότι οι τιμές που ελήφθησαν μέσω του Excel. Κάτι το οποίο αξίζει να σημειωθεί, είναι ότι για την φάση της ανακύκλωσης του πλοίου, δηλαδή την στιγμή της αποσυναρμολόγησης του, επιλέχθηκε η διεργασία Metal Working στο SimaPro, η οποία έδωσε αριθμητικό αποτέλεσμα στην κατηγορία επιπτώσεων βλάβη στις πρώτες ύλες (Μέταλλα). Κάτι το οποίο έρχεται σε μεγάλη αντίθεση σε σχέση με τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν στο Excel. Επίσης σε μερικές κατηγορίες επιπτώσεων στην φάση της ανακύκλωσης, το Excel έδινε μεγαλύτερα αποτελέσματα από το SimaPro.

Οι διαφορές αυτές που προκύπτουν μπορεί να οφείλονται σε πολλές διαφορετικές παραμέτρους, που δεν μπορούν πάντοτε να προβλέπονται. Παραδείγματος χάριν, στα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού μέσω του Microsoft Excel, οι εκπεμπόμενες ουσίες που συμβάλλουν στην ενίσχυση της κλιματικής αλλαγής, είναι το CO<sub>2</sub> και το CH<sub>4</sub>. Αντίθετα, το SimaPro υπολογίζει αναλυτικά τις ποσότητες όλων των εκπεμπόμενων ουσιών που επηρεάζουν την κατηγορία αυτήν, με βάση την μεθοδολογία ReCiPe 2016 (π.χ. Το SimaPro συμπεριλαμβάνει στον υπολογισμό αυτόν ουσίες όπως οι χλωροφθοράνθρακες, το υποξείδιο του αζώτου κ.α.).

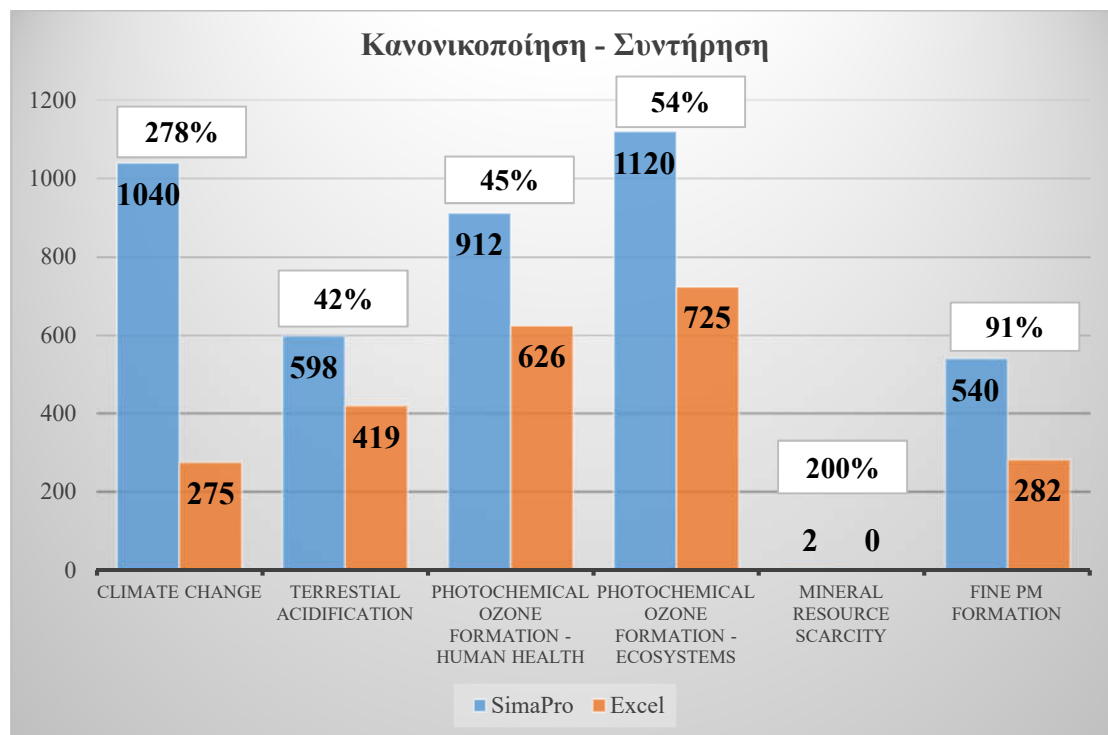
Επίσης, ενδέχεται οι διαφορές να παρουσιάστηκαν, και λόγω του ότι στο SimaPro, επειδή δεν υπήρχε ξεκάθαρη διεργασία που να αναφέρεται στην κοπή του χάλυβα, επιλέχθηκε η διεργασία Metal Working, στην οποία όπως προσδιορίζονταν και στο λογισμικό ανά 1kg διεργασίας, παράγονταν 1kg χαλύβδινου προϊόντος. Η ίδια διεργασία όπως και προαναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκε και στην φάση της ανακύκλωσης/αποσυναρμολόγησης. Παρόλα αυτά ενδεχομένως μέσα να συνυπολογίζει και επιπρόσθετες διεργασίες μεταλλουργίας πέρα από την κοπή του χάλυβα, που με την σειρά τους να αύξησαν εν μέρει τις τιμές των αποτελεσμάτων.

Επιπροσθέτως, υπάρχει περίπτωση να υπάρχουν διαφορές στους συντελεστές χαρακτηρισμού μεταξύ των μεθοδολογιών, καθώς στο SimaPro υπάρχει ενσωματωμένη η μεθοδολογία ReCiPe 2016 v1.07, ενώ για τους υπολογισμούς στο Microsoft Excel χρησιμοποιήθηκε η έκδοση v1.1 της ίδιας μεθοδολογίας. Ταυτόχρονα το SimaPro, συμπεριλαμβάνει στους υπολογισμούς του πολλές διαφορετικές υποδιεργασίες που συνδέονται στις βασικές διεργασίες του συστήματος, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε αυτές τις μεγάλες διαφορές. Πέρα βέβαια από τους συντελεστές χαρακτηρισμού, μπορεί οι διαφορές να οφείλονται και στους διαφορετικούς συντελεστές εκπομπών για κάθε ουσία ξεχωριστά ανάλογα την διεργασία και έτσι να οδηγηθήκαμε σε αυτές τις διαφορές.

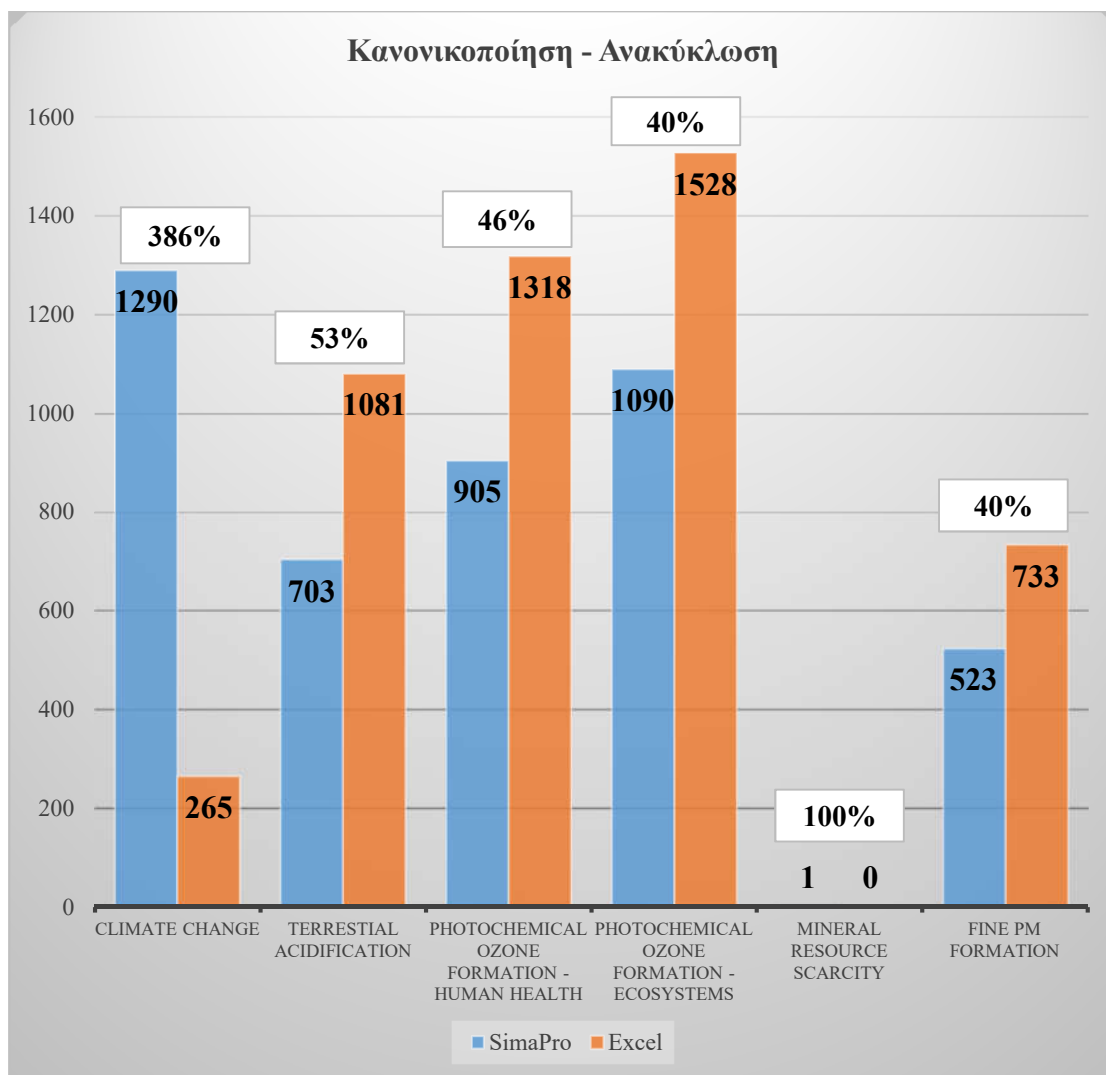
Σε ένα γενικότερο επίπεδο, η δυσκολία εντοπισμού της πηγής αυτών των διαφορών, προκύπτει και από το γεγονός ότι όλοι οι υπολογισμοί στο SimaPro, εκτελούνται σε ένα κλειστό σύστημα. Επομένως ήταν αδύνατος ο εντοπισμός των συντελεστών που χρησιμοποιήθηκαν, έτσι ώστε να υπάρχει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα.



**Γράφημα 41:** Σύγκριση αποτελεσμάτων κανονικοποίησης – Φάση Κατασκευής.



**Γράφημα 42:** Σύγκριση αποτελεσμάτων κανονικοποίησης – Φάση Συντήρησης.



**Γράφημα 43:** Σύγκριση αποτελεσμάτων κανονικοποίησης – Φάση Ανακύκλωσης.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα που ελήφθησαν κατά το στάδιο της κανονικοποίησης (**Γραφήματα 41 έως 43**), σε όλες τις κατηγορίες των επιπτώσεων που μελετήθηκαν, παρατηρήθηκαν εξίσου σημαντικές διαφορές μεταξύ του SimaPro και του Microsoft Excel.

Πιο συγκεκριμένα, τόσο στην φάση της κατασκευής, όσο και στην φάση της συντήρησης της γάστρας του υπό μελέτη πλοίου, παρατηρήθηκε ότι και στο SimaPro, αλλά και στο Microsoft Excel, η μεγαλύτερη κανονικοποιημένη κατηγορία ήταν αυτή του σχηματισμού φωτοχημικού όζοντος (Οικοσυστήματα). Μετέπειτα, με βάση το Excel και στις δύο φάσεις, δεύτερη κανονικοποιημένη κατηγορία επιπτώσεων έρχονταν αυτή του σχηματισμού φωτοχημικού όζοντος (Ανθρώπινη υγεία), ενώ το SimaPro, έδινε ως δεύτερη κατηγορία αυτή της κλιματικής αλλαγής. Αξιοσημείωτο χαρακτηρίζεται, ότι η κατηγορία βλάβη στις πρώτες ύλες (Μέταλλα) και στα 2 λογισμικά κατατάσσονταν τελευταία. Φυσικά οι αριθμητικές τιμές των αποτελεσμάτων μεταξύ των 2 λογισμικών εμφάνιζαν αρκετές διαφορές. Παρόλα αυτά, στην φάση της ανακύκλωσης, το SimaPro κατέταξε πρώτη την κατηγορία της κλιματικής αλλαγής, έναντι του σχηματισμού του φωτοχημικού όζοντος (Οικοσυστήματα), που αυτή κατατάσσονταν πρώτη με βάση τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από το Excel.

Οι διαφορές αυτές που προκύπτουν, μπορεί να οφείλονται σε πολλές διαφορετικές παραμέτρους που δεν μπορούν πάντοτε να προβλέπονται. Π.χ. υπάρχει περίπτωση να υπάρχουν διαφορές στους συντελεστές κανονικοποίησης μεταξύ των μεθοδολογιών, καθώς στο SimaPro υπάρχει ενσωματωμένη η μεθοδολογία ReCiPe 2016 v1.07, ενώ για τους υπολογισμούς στο Microsoft Excel χρησιμοποιήθηκε η έκδοση v1.1 της ίδιας μεθοδολογίας. Ταυτόχρονα, το SimaPro συμπεριλαμβάνει στους υπολογισμούς του, πολλές διαφορετικές υποδιεργασίες που συνδέονται στις βασικές διεργασίες του συστήματος, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε αυτές τις διαφορές. Πέρα βέβαια από τους συντελεστές χαρακτηρισμού, μπορεί οι διαφορές να οφείλονται και στους διαφορετικούς συντελεστές εκπομπών για κάθε ουσία ξεχωριστά ανάλογα την διεργασία και έτσι να οδηγηθήκαμε σε αυτές τις διαφορές.

Σε ένα γενικότερο επίπεδο, η δυσκολία εντοπισμού της πηγής αυτών των διαφορών, προκύπτει και από το γεγονός ότι όλοι οι υπολογισμοί στο SimaPro, εκτελούνται σε ένα κλειστό σύστημα. Επομένως ήταν αδύνατος ο εντοπισμός των συντελεστών που χρησιμοποιήθηκαν, έτσι ώστε να υπάρχει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα. Φυσικά, οι διαφορές αυτές θεωρούνται αποδεκτές, λόγω του ότι υπάρχουν ήδη διαφορές στα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού, από τα οποία ουσιαστικά γίνεται η μετατροπή έτσι ώστε να έχουμε τα αποτελέσματα της κανονικοποίησης.

Επομένως, γίνεται κατανοητό ότι οι διαφορές που προέκυψαν, μπορούν να επηρεάσουν τις τελικές αποφάσεις μιας εταιρείας ή ενός ερευνητή/φοιτητή που ασχολείται με τον τομέα της ναυπηγικής. Παραδείγματος χάριν, εάν μια εταιρεία ή κάποιος τρίτος θελήσει να βελτιώσει τις επιπτώσεις που προέρχονται από την ναυπήγηση ενός πλοίου, στην κατηγορία της κλιματικής αλλαγής, θα πρέπει να αναπτύξει διαφορετικά σενάρια αντιμετώπισης, για κάθε διαφορετικό στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας του πλοίου που μελετάει.

Ταυτόχρονα, ανάλογα με την μεθοδολογία που θα ακολουθήσει κάποιος κατά την μελέτη του, δηλαδή εάν οι υπολογισμοί γίνουν με συντελεστές που αντλούνται από διάφορα ερευνητικά άρθρα ή εργασίες ή έγγραφα τεχνικών προδιαγραφών προϊόντων ή εγχειρίδια ή λογισμικά κλπ. και στην συνέχεια υπολογιστούν τα αποτελέσματα με την χρήση του Excel ή εάν χρησιμοποιήσει απευθείας ένα λογισμικό AKZ το οποίο φέρει ενσωματωμένες βάσεις δεδομένων και μεθοδολογίες AEKZ με τους αντίστοιχους συντελεστές, θα χρειαστεί λόγω των μεγάλων αριθμητικών διαφορών που εμφανίζονται μεταξύ τους, να αξιολογήσει περισσότερους ή λιγότερους πόρους και διαφορετικά μέσα αντιμετώπισης των αντίστοιχων επιπτώσεων.

Τέλος, μεταξύ των φάσεων της κατασκευής, της συντήρησης και της ανάκυκλωσης της γάστρας, και στα 2 λογισμικά η πιο επιβλαβής φάση σε σχέση με τις υπόλοιπες, είναι αυτή της κατασκευής της γάστρας. Οι υπόλοιπες 2 φάσεις είναι σχετικά κοντά αριθμητικά μεταξύ τους.

Φυσικά, τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας και οι διαφορές που εντοπίστηκαν, σε μελλοντικές μελέτες μπορεί να διαφέρουν λόγω της πολυπλοκότητας, αλλά και της υποκειμενικότητας που εισάγει το εργαλείο της ΑΚΖ. Καθώς στην παρούσα εργασία ελήφθησαν πολλές διαφορετικές παραδοχές, οι οποίες μπορεί να διαφέρουν ανά φοιτητή/ερευνητή. Μια αλλαγή σε αυτές τις παραδοχές, όπως π.χ. ότι κάποιος θα θελήσει να βάνει και τις δεξαμένες έρματος ή κάποια διαφορετική παραδοχή κατά τον υπολογισμό του απαιτούμενου χάλυβα με την χρήση της μεθόδου Sneekluth ή η επιλογή ενός διαφορετικού υλικού ψηγματοβολής κλπ. μπορεί να επιφέρει μεγάλες ή μικρές διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα.

Επομένως ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία, αυτό που μπορεί να καταλάβει κανείς είναι ότι κατά κύριο λόγο, η πιο επιβλαβής διεργασία κατά την κατασκευή μιας γάστρας ενός πλοίου, είναι αυτή της παραγωγής του χάλυβα από τον οποίον κατασκευάζεται η γάστρα αυτή και έπειτα επόμενες έρχονται οι διεργασίες επεξεργασίας του χάλυβα. Φυσικό επόμενο λοιπόν, είναι η κατασκευή της γάστρας να θεωρείται ως η πιο επιβλαβής φάση του κύκλου ζωής της, κυρίως λόγω της αυξημένης ποσότητας χάλυβα που πρέπει να παραχθεί και έπειτα να επεξεργαστεί, έτσι ώστε να κατασκευαστεί η γάστρα του εκάστοτε πλοίου. Αξίζει λοιπόν, να δοθεί περαιτέρω σημασία στην βελτίωση τόσο των μεθόδων παραγωγής του χάλυβα, όσο και των μεθόδων επεξεργασίας του, έτσι ώστε να περιοριστούν μελλοντικά οι εκτεταμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν κατά την κατασκευή της γάστρας.

Μελλοντικά επίσης, θα ήταν χρήσιμο να εκπονηθούν αντίστοιχες εργασίες/μελέτες, αλλά αυτή την φορά να εξεταστεί και κάποιο διαφορετικό υλικό για την κατασκευή της γάστρας. Όπως αναφέρθηκε και στο **Κεφάλαιο 2**, ένα υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή μεγάλων πλοίων, είναι το αλουμίνιο. Το αλουμίνιο όπως αναφέρθηκε και παραπάνω λόγω της ιδιαίτερης μεταλλικής φύσης του, μέχρι στιγμής έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως σε γάστρες μικρότερων πλοίων ή επιβατηγών πλοίων ή σε υπερκατασκευές πλοίων.

Αξίζει λοιπόν να μελετηθεί η περίπτωση όπου η γάστρα ενός εμπορικού πλοίου είναι κατασκευασμένη πλήρως από αλουμίνιο. Εκεί θα εντοπιστούν αρκετές διαφορές σε σχέση με τον χάλυβα, καθώς η δυσκολία επεξεργασίας του αλουμινίου, η αντοχή του στην διάβρωση κλπ. θα οδηγήσει στην επιλογή διαφορετικών μεθόδων επεξεργασίας και προστασίας του αλουμινίου και φυσικά σε άλλες διαφορετικές επιλογές.

Ταυτόχρονα, αξίζει να συγκριθούν και οι επιπτώσεις μεταξύ του αλουμινίου και του χάλυβα που κατασκευάζεται η γάστρα. Έτσι ώστε να εντοπιστεί ποιο υλικό εν τέλει, μπορεί να αποτελέσει την φιλικότερη επιλογή για την κατασκευή πλοίων στο μέλλον, μειώνοντας έτσι τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν κατά την κατασκευή νέων πλοίων.



## Αναφορές

1. Anish, 2021. Understanding Sacrificial Anodes on Ship [WWW Document]. Mar. Insight. URL <https://www.marineinsight.com/tech/understanding-sacrificial-anodes-on-ships/> (accessed 6.24.23).
2. Bacalja, B., Krčum, M., Slišković, M., 2020. A Line Ship Emissions while Manoeuvring and Hotelling—A Case Study of Port Split. *J. Mar. Sci. Eng.* 8, 953. <https://doi.org/10.3390/jmse8110953>
3. Bare, J., 2011. TRACI 2.0: The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts 2.0. *Clean Technol. Environ. Policy* 13, 687–696. <https://doi.org/10.1007/s10098-010-0338-9>
4. Beyond 20/20 WDS - Table view - Ships built by country of building, annual [WWW Document], n.d. URL <https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx> (accessed 7.31.23).
5. Blanco-Davis, E., del Castillo, F., Zhou, P., 2014. Fouling release coating application as an environmentally efficient retrofit: a case study of a ferry-type ship. *Int. J. Life Cycle Assess.* 19, 1705–1715. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0780-8>
6. Briefing: GaBi Software for Life Cycle Assessment (LCA) - DEISO, 2023. URL <https://deiso.co.jp/briefing-gabi-software-for-life-cycle-assessment-lca/> (accessed 7.30.23).
7. Burman, M., Kutteneuler, J., Stenius, I., Garne, K., Rosén, A., 2016. Comparative Life Cycle Assessment of the hull of a high-speed craft. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part M J. Eng. Marit. Environ.* 230, 378–387. <https://doi.org/10.1177/1475090215580050>
8. Chatzinikolaou, S., Ventikos, N., 2014. Applications of Life Cycle Assessment in Shipping.
9. Chatzinikolaou, S.D., Ventikos, N.P., 2015. Holistic framework for studying ship air emissions in a life cycle perspective. *Ocean Eng., Energy Efficient Ship Design and Operations* 110, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.05.042>
10. Cucinotta, F., Guglielmino, E., Sfravara, F., 2017. Life cycle assessment in yacht industry: A case study of comparison between hand lay-up and vacuum infusion. *J. Clean. Prod.* 142, 3822–3833. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.080>
11. D'Agosto, M. de A., 2019. Chapter 3 - Transportation planning and energy use, in: D'Agosto, M. de A. (Ed.), *Transportation, Energy Use and Environmental Impacts*. Elsevier, pp. 85–122. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813454-2.00003-9>
12. Dašić, P., 2007. Analysis and evaluation of software tools for life cycle assessment. *Ann. Univ. Petrosani Electr. Eng.* 9, 6–15.
13. de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M.A.J., Guinee, J.B., Gorree, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H.A., 2002. Impact assessment, in: de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M.A.J., Guinee, J.B., Gorree, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H.A. (Eds.), *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards, Eco-Efficiency in Industry and Science*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 161–388. [https://doi.org/10.1007/0-306-48055-7\\_14](https://doi.org/10.1007/0-306-48055-7_14)

14. Dong, D.T., Cai, W., 2020. Life-cycle assessment of ships: The effects of fuel consumption reduction and light displacement tonnage. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part M J. Eng. Marit. Environ.* 234, 143–153. <https://doi.org/10.1177/1475090219858810>
15. Dong, D.T., Cai, W., 2019. A comparative study of life cycle assessment of a Panamax bulk carrier in consideration of lightship weight. *Ocean Eng.* 172, 583–598. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.12.015>
16. Eyres, D.J., Bruce, G.J., 2012a. Steels, in: *Ship Construction*. Elsevier, pp. 45–52. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097239-8.00005-2>
17. Eyres, D.J., Bruce, G.J., 2012b. Other shipbuilding materials, in: *Ship Construction*. Elsevier, pp. 53–59. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097239-8.00006-4>
18. FAQ: What is the greenhouse effect? [WWW Document], n.d. . *Clim. Change Vital Signs Planet*. URL <https://climate.nasa.gov/faq/19/what-is-the-greenhouse-effect> (accessed 6.28.23).
19. Favi, C., Campi, F., Germani, M., Manieri, S., 2018a. Using design information to create a data framework and tool for life cycle analysis of complex maritime vessels. *J. Clean. Prod.* 192, 887–905. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.263>
20. Favi, C., Germani, M., Campi, F., Mandolini, M., Manieri, S., Marconi, M., Vita, A., 2018b. Life Cycle Model and Metrics in Shipbuilding: How to Use them in the Preliminary Design Phases. *Procedia CIRP, 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, 30 April – 2 May 2018, Copenhagen, Denmark* 69, 523–528. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.071>
21. Finnveden, G., Moberg, Å., 2005. Environmental systems analysis tools – an overview. *J. Clean. Prod.* 13, 1165–1173. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.06.004>
22. Fourth Greenhouse Gas Study 2020 [WWW Document], n.d. URL <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx> (accessed 6.24.23).
23. Frischknecht, R., Steiner, R., Jungbluth, N., 2009. The Ecological Scarcity Method - Eco-Factors 2006. A method for impact assessment in LCA. *Env. Stud* No 906.
24. Ghapanchi, A.H., Wohlin, C., Aurum, A., 2014. Resources contributing to gaining competitive advantage for open source software projects: An application of resource-based theory. *Int. J. Proj. Manag.* 32, 139–152. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.03.002>
25. Gilbert, P., Wilson, P., Walsh, C., Hodgson, P., 2017. The role of material efficiency to reduce CO2 emissions during ship manufacture: A life cycle approach. *Mar. Policy* 75, 227–237. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.04.003>
26. Gillani, S., Belaud, J.-P., Sablayrolles, C., Montréjaud-Vignoles, M., Lann, J., 2010. Review of Life Cycle Assessment in Agro-Chemical Processes. *Chem. Prod. Process Model.* 5. <https://doi.org/10.2202/1934-2659.1496>
27. Goedkoop, M., spriensma, renilde, 2001. Eco-indicator 99 Methodology report. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4271.3127>
28. Gratsos, G.A., Psaraftis, H., Zachariadis, P., 2010. Life-cycle CO2 emissions of bulk carriers: A comparative study. *Trans. R. Inst. Nav. Archit. Part Int. J. Marit. Eng.* 152, A119–A134. <https://doi.org/10.3940/rins.ijme.2010.a3.176>

29. Guinée, J.B., 2015. Selection of Impact Categories and Classification of LCI Results to Impact Categories, in: Hauschild, M.Z., Huijbregts, M.A.J. (Eds.), Life Cycle Impact Assessment, LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 17–37. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9744-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9744-3_2)
30. Hansink, J., 1998. Economics of Abrasive Selection for Shipyard Use 24–27.
31. Hauschild, M., Goedkoop, M., Guinee, J., Heijungs, R., Huijbregts, M., Jolliet, O., Margni, M., De, S.A., 2012. Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context - based on existing environmental impact assessment models and factors (International Reference Life Cycle Data System - ILCD handbook) [WWW Document]. JRC Publ. Repos. <https://doi.org/10.2788/33030>
32. Hauschild, M., Potting, J., 2005. Spatial Differentiation in Life Cycle Impact Assessment – The EDIP 2003 Methodology. *Env. News* 80.
33. Hsu, S.L., 2010. Life cycle assessment of materials and construction in commercial structures: variability and limitations (Thesis). Massachusetts Institute of Technology.
34. Huijbregts, M., Steinmann, Z., Elshout, P., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Hollander, A., Zijp, M., van Zelm, R., 2017. ReCiPe 2016 v1.1, A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level, Report I: Characterization. National Institute for Public Health and the Environment, Netherlands.
35. Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., van Zelm, R., 2017. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *Int. J. Life Cycle Assess.* 22, 138–147. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>
36. Idrees, M., 2021. The Evolution Shipbuilding and Where We Are Today. URL <https://constructionhow.com/the-evolution-of-shipbuilding-and-where-we-are-today/> (accessed 6.28.23).
37. IMO, 2018. Ship Emissions Toolkit - Guide No.1: Rapid Assessment of ship emissions in the national context.
38. IMO's work to cut GHG emissions from ships [WWW Document], n.d. URL <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx> (accessed 6.24.23).
39. Inaba, A., Itsubo, N., 2018. Preface. *Int. J. Life Cycle Assess.* 23, 2271–2275. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1545-6>
40. Intergard 263 Epoxy Tie Coat [WWW Document], n.d. URL <https://www.international-marine.com/product/intergard-263> (accessed 6.26.23).
41. Interspeed 6200 [WWW Document], n.d. URL <https://www.international-marine.com/product/interspeed-6200> (accessed 6.26.23).
42. Intertuf 262 Surface Tolerant Epoxy [WWW Document], n.d. URL <https://www.international-marine.com/product/intertuf-262> (accessed 6.26.23).
43. ISO 14040:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, 2006.
44. ISO 14044:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, 2006.

45. Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., Rosenbaum, R., 2003. IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology. *Int. J. Life Cycle Assess.* 8, 324–330. <https://doi.org/10.1007/BF02978505>
46. Kameyama, M., Hiraoka, K., Sakurai, A., Naruse, T., Tauchi, H., 2004. Development of LCA software for ships and LCI Analysis based on actual shipbuilding and operation 159–162.
47. Kapitsaki, G.M., Tselikas, N.D., Kyriakou, K.-I.D., Papoutsoglou, M., 2022. Help me with this: A categorization of open source software problems. *Inf. Softw. Technol.* 152, 107034. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2022.107034>
48. LCI databases in SimaPro, n.d. . SimaPro. URL <https://simapro.com/databases/> (accessed 7.16.23).
49. Lee, K.-M., Inaba, A., 2004. Life Cycle Assessment - Best Practices of ISO 14040 Series. Center for Ecodesign and LCA (CEL), Ajou University, Νότια Κορεά.
50. López-Aparicio, S., Tønnesen, D., Thanh, T.N., Neilson, H., 2017. Shipping emissions in a Nordic port: Assessment of mitigation strategies. *Transp. Res. Part Transp. Environ.* 53, 205–216. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.021>
51. Mentés, A., Çağlayan, M., 2022. METALLIC MATERIALS USED IN SHIP CONSTRUCTION - FABRICATION TECHNIQUES, CLASSIFICATION AND CERTIFICATION 21, 23–31.
52. National Pollutant Inventory, 1999. Emission Estimation Technique Manual for Shipbuilding Repair and Maintenance.
53. Nations, U., n.d. What Is Climate Change? [WWW Document]. U. N. URL <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change> (accessed 6.28.23).
54. Normalization scores ReCiPe 2016 | RIVM [WWW Document], n.d. URL <https://www.rivm.nl/en/documenten/normalization-scores-recipe-2016> (accessed 8.11.23).
55. OECD, 2010. Environmental and Climate Change issues in the shipbuilding industry.
56. Önal, M., Neşer, G., 2018. End-of-Life Alternatives of Glass Reinforced Polyester Boat Hulls Compared by LCA. *Adv. Compos. Lett.* 27, 096369351802700402. <https://doi.org/10.1177/096369351802700402>
57. openLCA Nexus: The source for LCA data sets [WWW Document], n.d. URL <https://nexus.openlca.org/> (accessed 6.21.23).
58. openLCA.org | openLCA is a free, professional Life Cycle Assessment (LCA) and footprint software with a broad range of features and many available databases, created by GreenDelta since 2006 [WWW Document], n.d. URL <https://www.openlca.org/> (accessed 6.21.23).
59. Papadopoulou, M., Gaitanis, P., 2017. Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Συμβατικής vs. Βιολογικής Αμπελουργίας με Ανάλυση Κύκλου Ζωής. *YDROTECHNIKA* 26, 53–66.
60. Papanikolaou, A., 2014. Selection of Main Dimensions and Calculation of Basic Ship Design Values, in: Papanikolaou, A. (Ed.), *Ship Design: Methodologies of Preliminary Design*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 69–292. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-8751-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8751-2_2)

61. Pommier, R., Grimaud, G., Prinçaud, M., Perry, N., Sonnemann, G., 2016. Comparative environmental life cycle assessment of materials in wooden boat ecodesign. *Int. J. Life Cycle Assess.* 21. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-1009-1>
62. Pongérard, M., San Augustin, F., Paredes, M., 2022. Comparison of Tools for Simplified Life Cycle Assessment in Mechanical Engineering, in: Cavas Martínez, F., Peris-Fajarnes, G., Morer Camo, P., Lengua Lengua, I., Defez García, B. (Eds.), *Advances in Design Engineering II, Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer International Publishing, Cham, pp. 71–80. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92426-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92426-3_9)
63. Quang, P.K., Dong, D.T., Hai, P.T.T., 2021. Evaluating environmental impacts of an oil tanker using life cycle assessment method. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part M J. Eng. Marit. Environ.* 235, 705–717. <https://doi.org/10.1177/1475090221989195>
64. Quang, P.K., Dong, D.T., Van, T.V., Hai, P.T.T., 2020. Greenhouse Gas Emissions of a Cargo Ship from a Life Cycle Perspective. *Int. J. Environ. Sci. Dev.* 11, 347–351. <https://doi.org/10.18178/ijesd.2020.11.7.1274>
65. Radical new materials in shipbuilding [WWW Document], 2020. . MS Amlin Consum. Website. URL <http://www.msamlin.com/en/chart-hub/english/radical-new-materials-in-shipbuilding.html> (accessed 6.28.23).
66. ReCiPe2016\_CFs\_v1.1\_20180117 | RIVM [WWW Document], n.d. URL <https://www.rivm.nl/documenten/recipe2016cfsv1120180117> (accessed 8.11.23).
67. Review of Maritime Transport 2017, 2017. , Review of Maritime Transport.
68. Rice, G., Clift, R., Burns, R., 1997. Comparison of currently available european LCA software. *Int. J. Life Cycle Assess.* 2, 53–59. <https://doi.org/10.1007/BF02978725>
69. Shipbuilding: 1800–Present [WWW Document], n.d. URL <https://www.rmg.co.uk/stories/topics/shipbuilding-1800-present> (accessed 6.28.23).
70. Silva, D., Nunes, A., Moris, V., Piekarski, C., Rodrigues, T., 2017. How important is the LCA software tool you choose Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto.
71. Silva, D.G., Coutinho, C., Costa, C.J., 2023. Factors influencing free and open-source software adoption in developing countries—an empirical study. *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.* 9, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.01.002>
72. SimaPro | LCA software for informed change-makers [WWW Document], n.d. . SimaPro. URL <https://simapro.com/> (accessed 6.21.23).
73. SimaPro | System Requirements [WWW Document], n.d. URL <https://support.simapro.com/s/article/SimaPro-System-Requirements> (accessed 6.21.23).
74. Software Tools - ecoinvent, 2020. URL <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-association/software-tools/> (accessed 6.21.23).
75. Sphera | Sustainability, Operational Risk Management & EHS Software [WWW Document], n.d. . Sphera. URL <https://sphera.com/> (accessed 7.30.23).
76. Steen, B., 1999. A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000–General system characteristics. Gothenbg. Cent. Env. Assess Prod Mater. Syst.

77. Sustainable Shipping [WWW Document], n.d. . World Shipp. Counc. URL <https://www.worldshipping.org/sustainable-shipping> (accessed 4.5.23).
78. Technical details | openLCA.org, n.d. URL <https://www.openlca.org/software/technical-details/> (accessed 6.21.23).
79. Toffoletto, L., Bulle, C., Godin, J., Reid, C., Deschênes, L., 2007. LUCAS - A New LCIA Method Used for a Canadian-Specific Context. *Int. J. Life Cycle Assess.* 12, 93–102. <https://doi.org/10.1065/lca2005.12.242>
80. Tuan, D.D., Wei, C., 2019. Cradle-to-gate life cycle assessment of ships: A case study of Panamax bulk carrier. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part M J. Eng. Marit. Environ.* 233, 670–683. <https://doi.org/10.1177/1475090218813731>
81. Unger, N., Beigl, P., Obersteiner, G., 2004. General requirements for LCA software tools.
82. Vakili, S., Schönborn, A., Ölçer, A.I., 2023. The road to zero emission shipbuilding Industry: A systematic and transdisciplinary approach to modern multi-energy shipyards. *Energy Convers. Manag.* X 18, 100365. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100365>
83. Van Dokkum, K., 2010. *Ship Knowledge: Ship Design, Construction and operation*, 6η Έκδοση. ed. Dokmar Maritime Publishers B.V.
84. Wang, H., Oguz, E., Jeong, B., Zhou, P., 2018. Life cycle cost and environmental impact analysis of ship hull maintenance strategies for a short route hybrid ferry. *Ocean Eng.* 161, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.04.084>
85. Which impact assessment methods are available in SimaPro desktop? [WWW Document], n.d. URL <https://support.simapro.com/s/article/Which-impact-assessment-methods-are-available-in-SimaPro> (accessed 7.16.23).
86. Wood to steel and beyond: shipbuilding history, 2018. . ShapeCUT. URL <https://www.shapecut.com.au/wood-to-steel-and-beyond-the-history-of-shipbuilding/> (accessed 6.28.23).
87. Θεοδωρίδης, Θ., 2009. Ανάλυση κύκλου ζωής δομικών υλικών. Σύγκριση γεωπολυμερικού και συμβατικού σκυροδέματος (Διπλωματική Εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
88. Καλδέλλης, Ι., Χαλβατζής, Κ., 2005. Περιβάλλον και Βιομηχανική Ανάπτυξη: Αειφορία και Ανάπτυξη, Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Πρώτη. ed. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα.
89. Λεβεντάκης, Μ., 2013. ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ ΜΙΚΡΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΦΟΡΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΒΥΤΙΟΦΟΡΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΟΥ ΠΟΛΕΜΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ (Μεταπτυχιακή Εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
90. Μακρής, Δ., 2021. Έξυπνα υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας σε ελληνικά νησιά (Master Thesis). Πανεπιστήμιο Πειραιώς. [https://doi.org/10.26267/unipi\\_dione/602](https://doi.org/10.26267/unipi_dione/602)
91. Ορισμοί | ΕΛΙΝΥΑΕ [WWW Document], n.d. URL <https://www.elinyae.gr/orismoι/%CE%BD> (accessed 6.24.23).
92. Πακτίτη, Δ., 2023. Εστία - Βιβλιοθήκη και Κέντρο Πληροφόρησης Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου (Μεταπτυχιακή Εργασία). Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
93. Ρουμेलιώτη, Η., 2013. Ανάλυση Κύκλου Ζωής της Μεταλλικής Κατασκευής του Πλοίου (Διπλωματική Εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

94. Τζεγιαννάκης, Χ., 2016. Εφαρμογή της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής σε ξενοδοχειακές μονάδες των Χανίων για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της τουριστικής δραστηριότητας.
95. Χατζηδημητριάδης, Α., 2021. Ανάλυση κύκλου ζωής στην επεξεργασία και διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων στη βόρεια Ελλάδα με χρήση του λογισμικού OpenLCA (Διπλωματική Εργασία). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
96. Χατζηνικολάου, Σ., 2018. Methodologies for assessing sustainability in maritime transport (Διδακτορική Διατριβή). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ελλάδα.

## Παράρτημα Α

### Κλιματική αλλαγή και Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που έχει να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα σήμερα, είναι αυτό της **κλιματικής αλλαγής**. Όταν αναφερομαστε στον όρο κλιματική αλλαγή, αναφερόμαστε στις μεταβολές τόσο στην θερμοκρασία, όσο και στα καιρικά μοντέλα του πλανήτη γη. Αυτές οι μεταβολές μπορεί να οφείλονται είτε σε φυσικές καταστάσεις, είτε σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες οι οποίες δρουν ζημιογόνα ενάντια του πλανήτη. Περίπου από το 1800 και μετέπειτα όπου και αρχίζει να αναπτύσσεται η βιομηχανία, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες θεωρούνται ως οι κύριες υπεύθυνες για το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Η κλιματική αλλαγή με την πάροδο των χρόνων μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την υγεία των ανθρώπων, την δυνατότητα παραγωγής τροφίμων, την δυνατότητα στέγασης, την ασφάλεια και την εργασία των ανθρώπων. Ειδικότερα σε νησιωτικά κράτη, φαινόμενα που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή όπως η αύξηση της στάθμης των υδάτων και η εισβολή του θαλασσινού νερού σε πηγές πόσιμου νερού, θα οδηγήσουν τόσο σε μετακινήσεις πληθυσμών όσο και σε φαινόμενα λοιμού. (Nations, 2023)

Ένα από τα φαινόμενα που επιβαρύνουν ολοένα και περισσότερο το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής είναι το **Φαινόμενο του Θερμοκηπίου**. Ως φαινόμενο του θερμοκηπίου ονομάζουμε την κατάσταση εκείνη κατά την οποία η θερμότητα που εισέρχεται στον πλανήτη γη μέσω της ακτινοβολίας του ηλίου, εγκλωβίζεται κοντά στην επιφάνεια της γης λόγω της ύπαρξης διάφορων αερίων όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και οι υδρατμοί (H<sub>2</sub>O). (NASA, 2023) Το φαινόμενο αυτό από την μια, θεωρείται απολύτως χρήσιμο για τον ίδιο τον πλανήτη καθώς μέσω αυτού παραμένει θερμός και κατοικήσιμος (Καλδέλλης and Χαλβατζής, 2005). Επιστήμονες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα το ότι εάν δεν υπήρχε το CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα της γης, το φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν θα υφίστατο και έτσι η θερμοκρασία του πλανήτη θα ήταν περίπου 33°C μικρότερη από ότι είναι σήμερα. Ωστόσο, εδώ και δύο αιώνες τα αέρια που ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου αυξάνονται ραγδαία λόγω της ανθρωπογενούς δραστηριότητας. Κατά κύριο λόγο, η καύση ορυκτών και υγρών καυσίμων είναι η διαδικασία η οποία εκπέμπει τα μεγαλύτερα ποσοστά CO<sub>2</sub>, εγκλωβίζοντας έτσι ακόμα περισσότερη θερμότητα εντός της ατμόσφαιρας της γης. (NASA, 2023) Άλλα αέρια όπως το CH<sub>4</sub> παράγονται κατά μεγάλο ποσοστό φυσικά, είτε από μηρυκαστικά σε καλλιέργειες ρυζιού, είτε κατά την αποσύνθεση του οργανικού μέρους των απορριμάτων. Ταυτόχρονα, το ίδιο το CH<sub>4</sub> αποτελεί και το βασικότερο συστατικό του φυσικού αερίου και επομένως γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι εκπομπές μεθανίου μπορούμε να έχουμε και από πιθανές διαρροές τέτοιων αερίων καυσίμων. Τέλος, δευτερεύοντα αέρια που ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O), φθοριούχες ενώσεις όπως οι υδρογονάνθρακες κλπ., το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου, το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και διάφορες κυκλικές αρωματικές ενώσεις (NMVOC). (Καλδέλλης and Χαλβατζής, 2005)



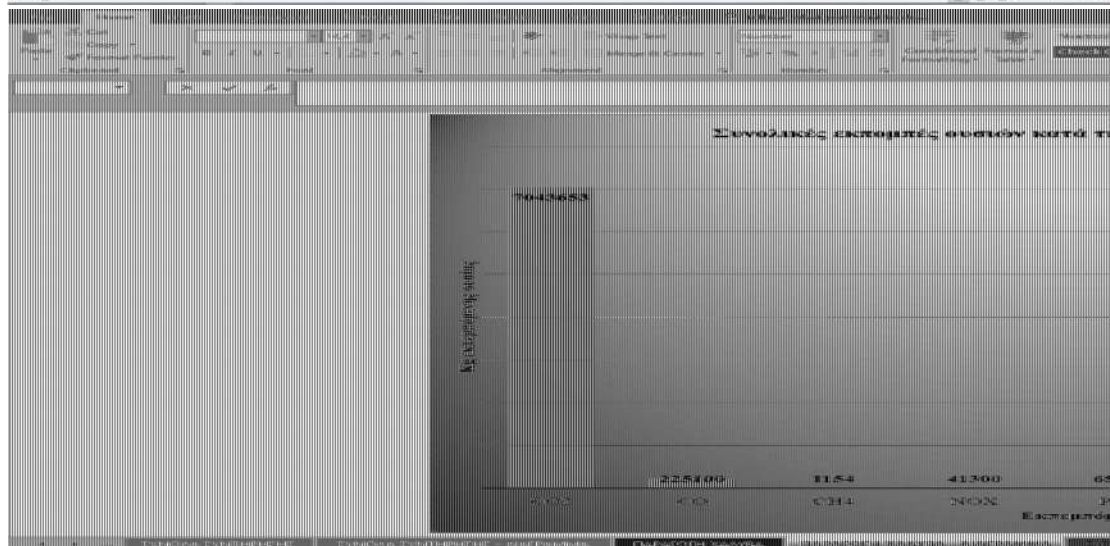
# Παράρτημα Β

## Εργαλείο υπολογισμών αποτελεσμάτων μελέτης στο Microsoft Excel

Εκπεμπόμενες ουσίες κατά την Παραγωγή του Κάλυβη	Συνολικές εκπομπές ουσίας κατά την παραγωγή του κάλυβη	Μονάδα Μέτρησης
CO2	396,00	t/a
CO	11,81	kg/a
CH4	183,17	kg/a
Nox	1,94	kg/a
PM	828,96	kg/a
SO2	5,27	kg/a
Ses	331,72	kg/a
VOC	12,31	kg/a
Συνολικά	10,84	kg/a

Εκπεμπόμενες ουσίες κατά την Παραγωγή του Κάλυβη	Συνολικές Εκπομπές Ουσίας κατά την ετήσια παραγωγή (kg)
CO2	304265,89
CO	27509,87
CH4	1153,91
Nox	4130,13
PM	6585,53
SO2	3728,13
Ses	2318,61
VOC	88,89
Συνολικά	76,88
WST (t/a)	3071,84



Εκπεμπόμενες ουσίες κατά την Παραγωγή του Κάλυβη	Ετήσιες Εκπομπές ουσίας κατά την παραγωγή του κάλυβη (kg)	Ετήσιες Εκπομπές ουσίας κατά την παραγωγή του κάλυβη (t/a)	Ετήσιες Εκπομπές ουσίας κατά την παραγωγή του κάλυβη (kg)	Ετήσιες Εκπομπές ουσίας κατά την παραγωγή του κάλυβη (t/a)	Ετήσιες Εκπομπές ουσίας κατά την παραγωγή του κάλυβη (kg)	Ετήσιες Εκπομπές ουσίας κατά την παραγωγή του κάλυβη (t/a)	Ετήσιες Εκπομπές ουσίας κατά την παραγωγή του κάλυβη (kg)	Ετήσιες Εκπομπές ουσίας κατά την παραγωγή του κάλυβη (t/a)	Ετήσιες Εκπομπές ουσίας κατά την παραγωγή του κάλυβη (kg)	Ετήσιες Εκπομπές ουσίας κατά την παραγωγή του κάλυβη (t/a)	Ετήσιες Εκπομπές ουσίας κατά την παραγωγή του κάλυβη (kg)	Ετήσιες Εκπομπές ουσίας κατά την παραγωγή του κάλυβη (t/a)		
CO2	304265,89	304,266	CO	27509,87	27,510	CH4	1153,91	1,154	Nox	4130,13	4,130	PM	6585,53	6,586
SO2	3728,13	3,728	Ses	2318,61	2,319	VOC	88,89	0,089	Συνολικά	76,88	0,077	WST (t/a)	3071,84	3,072

# Παράρτημα Γ

## Προδιαγραφές Primer (Intertuf 262 Surface Tolerant Epoxy, 2023)

### Intertuf 262

#### Epoxy Anticorrosive



<b>PRODUCT DESCRIPTION</b>	A surface tolerant, two pack epoxy primer.								
<b>INTENDED USES</b>	As an epoxy anticorrosive coating for use from Keel to Rail. Suitable for use with controlled cathodic protection. For use at Newbuilding, Maintenance & Repair or On Board Maintenance.								
<b>PRODUCT INFORMATION</b>	<b>Colour</b>	KHA303-Red							
	<b>Finish/Sheen</b>	Matt							
	<b>Part B (Curing Agent)</b>	KHA062							
	<b>Volume Solids</b>	73% ±2% (ISO 3233:1998)							
	<b>Mix Ratio</b>	4.00 volume(s) Part A to 1 volume(s) Part B							
	<b>Typical Film Thickness</b>	125 microns dry (171 microns wet)							
	<b>Theoretical Coverage</b>	5.84 m <sup>2</sup> /litre at 125 microns dft, allow appropriate loss factors							
	<b>Method of Application</b>	Airless Spray, Brush, Roller							
	<b>Flash Point (Typical)</b>	Part A 28°C; Part B 34°C; Mixed 29°C							
	<b>Induction Period</b>	None required							
	<b>Drying Information</b>	5°C		10°C		25°C		35°C	
	Touch Dry [ISO 9117/3:2010]	9 hrs		7 hrs		4 hrs		3 hrs	
	Hard Dry [ISO 9117-1:2009]	47 hrs		29 hrs		9 hrs		5 hrs	
	Pot Life	8 hrs		7 hrs		4 hrs		2 hrs	
	<b>Overcoating Data - see limitations</b>	<b>Substrate Temperature</b>							
		5°C		10°C		25°C		35°C	
	<b>Overcoated By</b>	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	Interbond 201	24 hrs	28 days	18 hrs	28 days	8 hrs	28 days	4 hrs	15 days
	Interbond 501	24 hrs	21 days	18 hrs	21 days	6 hrs	21 days	4 hrs	21 days
	Intergard 263	24 hrs	21 days	16 hrs	21 days	6 hrs	21 days	4 hrs	21 days
	Intergard 282	24 hrs	14 days	16 hrs	14 days	6 hrs	14 days	4 hrs	14 days
	Intergard 740	24 hrs	28 days	18 hrs	20 days	6 hrs	14 days	4 hrs	7 days
	Intertuf 262	24 hrs	28 days	18 hrs	28 days	6 hrs	28 days	4 hrs	15 days
	<b>Note</b>	The overcoating data above for Interbond 201 applies to the Temperate version only.							
<b>REGULATORY DATA</b>	<b>VOC</b>	279 g/lit as supplied (EPA Method 24) 229 g/kg of liquid paint as supplied. EU Solvent Emissions Directive (Council Directive 1999/13/EC) 243 g/lit Chinese National Standard GB23985							
		<b>Note:</b> VOC values are typical and are provided for guidance purposes only. These may be subject to variation depending on factors such as differences in colour and normal manufacturing tolerances.							

## Προδιαγραφές Antifouling (Interspeed 6200, 2023)

### Interspeed 6200

#### TBT Free CDP Antifouling



<b>PRODUCT DESCRIPTION</b>	TBT free, controlled depletion polymer (CDP) self polishing antifouling system.								
<b>INTENDED USES</b>	For use at Newbuilding or Maintenance & Repair In repair situations Interspeed 6200 can be applied directly over existing antifouling. For deep sea and coastal use.								
<b>PRODUCT INFORMATION</b>	<b>Colour</b>	BQA624-Red, BQA628-Brown							
	<b>Finish/Sheen</b>	Not applicable							
	<b>Part B (Curing Agent)</b>	Not applicable							
	<b>Volume Solids</b>	58% ±2% (ISO 3233:1998)							
	<b>Mix Ratio</b>	Not applicable							
	<b>Typical Film Thickness</b>	Range: 75 - 150 microns dry (129 - 259 microns wet) may be specified depending upon end use.							
	<b>Theoretical Coverage</b>	Range: 7.5 - 3.7 m <sup>2</sup> /litre at 75 - 150 microns dft, allow appropriate loss factors							
	<b>Method of Application</b>	Airless Spray, Brush, Roller							
	<b>Flash Point (Typical)</b>	Single Pack 26°C							
	<b>Drying Information</b>	-5°C		5°C		25°C		35°C	
	Touch Dry [ISO 9117/3:2010]	6 hrs		4 hrs		2 hrs		50 mins	
	Before Flooding	32 hrs		12 hrs		8 hrs		7 hrs	
	<b>Note</b>	For Major Refurbishment and Repair if total dft is >300µm or a single coat is >150µm dft, the flooding times must be increased as follows: 24 hours at 10°C or less and 18 hours at 25°C or above.							
	<b>Overcoating Data - see limitations</b>	<b>Substrate Temperature</b>							
		-5°C		5°C		25°C		35°C	
	<b>Overcoated By</b>	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	Interspeed 6200	20 hrs	6 mths	12 hrs	6 mths	6 hrs	6 mths	4 hrs	3 mths
	<b>Note</b>	Overcoating data refers to BQA628 followed by BQA624.							
<b>REGULATORY DATA</b>	<b>VOC</b>	381 g/lit as supplied (EPA Method 24) 227 g/kg of liquid paint as supplied. EU Solvent Emissions Directive (Council Directive 1999/13/EC) 365 g/lit Chinese National Standard GB23985							
		<b>Note:</b> VOC values are typical and are provided for guidance purposes only. These may be subject to variation depending on factors such as differences in colour and normal manufacturing tolerances.							
		This product does not contain organotin compounds acting as biocides and as such is in compliance with the International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on ships as adopted by IMO in October 2001 (IMO document AFS/CONF/26).							

## Προδιαγραφές Coating (Intergard 263 Epoxy Tie Coat, 2023)

### Intergard 263



#### Epoxy Tie Coat

**PRODUCT DESCRIPTION** A two pack, tar free, epoxy tie coat.

**INTENDED USES** As a tie coat between anticorrosives and either antifoulings or cosmetic finishes to ensure maximum system adhesion and performance on outside shell vessel areas.  
As a sealer coat over Tributyltin (TBT) antifoulings.  
For use at Newbuilding, Maintenance & Repair or On Board Maintenance.

<b>PRODUCT INFORMATION</b>	<b>Colour</b>	FAJ034-Light Grey, FAJ035-Buff (See Systems and Compatibility section)
	<b>Finish/Sheen</b>	Matt
	<b>Part B (Curing Agent)</b>	FAA262
	<b>Volume Solids</b>	57% ±2% (ISO 3233:1996)
	<b>Mix Ratio</b>	4 volume(s) Part A to 1 volume(s) Part B
	<b>Typical Film Thickness</b>	100 microns dry (175 microns wet)
	<b>Theoretical Coverage</b>	5.7 m <sup>2</sup> /litre at 100 microns dft, allow appropriate loss factors
	<b>Method of Application</b>	Airless Spray, Brush, Roller
	<b>Flash Point (Typical)</b>	Part A 45°C; Part B 21°C; Mixed 38°C
	<b>Induction Period</b>	Not required

<b>Drying Information</b>	-5°C	5°C	25°C	35°C
Touch Dry [ISO 9117/3:2010]	24 hrs	12 hrs	6 hrs	4 hrs
Hard Dry [ISO 9117-1:2009]	72 hrs	24 hrs	16 hrs	12 hrs
Pot Life	12 hrs	8 hrs	6 hrs	4 hrs

<b>Overcoating Data - see limitations</b>	<b>Substrate Temperature</b>							
	-5°C		5°C		25°C		35°C	
<b>Overcoated By</b>	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Intercept 7000	72 hrs	14 days	24 hrs	14 days	8 hrs	7 days	5 hrs	7 days
Intercept 5500 LPP	72 hrs	14 days	24 hrs	8 days	5 hrs	7 days	5 hrs	7 days
Intergard 263	-	-	36 hrs	42 days	8 hrs	28 days	5 hrs	14 days
Intergard 740	-	-	36 hrs	14 days	8 hrs	14 days	5 hrs	14 days
Intersheen 579	72 hrs	5 days	36 hrs	5 days	8 hrs	5 days	5 hrs	5 days
Intersleek 717	-	-	36 hrs	ext	8 hrs	ext	5 hrs	ext
Intersmooth 7460HS SPC	72 hrs	14 days	24 hrs	8 days	8 hrs	5 days	5 hrs	3 days
Intersmooth 7465SI SPC	72 hrs	14 days	24 hrs	8 days	8 hrs	5 days	5 hrs	3 days
Intersmooth 7475SI SPC	72 hrs	14 days	24 hrs	8 days	8 hrs	5 days	5 hrs	3 days
Interswift 6500HS	72 hrs	7 days	24 hrs	7 days	8 hrs	7 days	5 hrs	7 days
Intershane 990	72 hrs	5 days	36 hrs	5 days	8 hrs	5 days	5 hrs	5 days
Interluf 203	48 hrs	15 days	24 hrs	15 days	8 hrs	15 days	5 hrs	15 days

**Note** For Intersmooth 360, 365, 460, 465, 7465HS SPC and 7670 SPC follow the overcoating interval data given for Intersmooth 7460HS SPC.  
For Interspeed 5500 and 6400 follow the overcoating interval data given for Intersmooth 7460HS SPC.  
Intersleek 717 may only be applied over Intergard 263 in Korea.

<b>REGULATORY DATA</b>	<b>VOC</b>	445 g/lit as supplied (EPA Method 24) 305 g/kg of liquid paint as supplied. EU Solvent Emissions Directive (Council Directive 1999/13/EC) 420 g/lit Chinese National Standard GB23985
------------------------	------------	---

**Note:** VOC values are typical and are provided for guidance purposes only. These may be subject to variation depending on factors such as differences in colour and normal manufacturing tolerances.

## Παράρτημα Δ

### Παραγωγή γάλυβα

**Πίνακας Δ1:** Συντελεστές εκπομπών ουσιών για την φάση παραγωγής του γάλυβα.

Εκπεμπόμενες ουσίες κατά την παραγωγή του γάλυβα.	Συντελεστής εκπομπών κατά την παραγωγή του γάλυβα.	Μονάδα Μέτρησης
CO <sub>2</sub>	996,00	g/kg
CO	31,83	g/kg
CH <sub>4</sub>	163,17	mg/kg
NO <sub>x</sub>	5,84	g/kg
PM	928,96	mg/kg
SO <sub>2</sub>	5,27	g/kg
SO <sub>x</sub>	313,72	mg/kg
VOC	12,57	mg/kg
NMVOC	10,84	mg/kg

### Συγκόλληση γάλυβα

**Πίνακας Δ2:** Συντελεστές εκπομπών ουσιών για την φάση συγκόλλησης του γάλυβα.

Εκπεμπόμενες ουσίες κατά την συγκόλληση του γάλυβα.	Συντελεστής εκπομπών κατά την συγκόλληση του γάλυβα. (Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας)	Μονάδα Μέτρησης
CO <sub>2</sub>	319,16	g/kWh
CO	303,68	mg/kWh
CH <sub>4</sub>	20,82	mg/kWh
NO <sub>x</sub>	128,89	mg/kWh
PM	212,74	mg/kWh
SO <sub>x</sub>	2,23	g/kWh
NMVOC	101,97	mg/kWh

### Κοπή γάλυβα

**Πίνακας Δ3:** Συντελεστές εκπομπών ουσιών για την φάση κοπής του γάλυβα.

Εκπεμπόμενες ουσίες κατά την κοπή του γάλυβα.	Συντελεστής εκπομπών κατά την κοπή του γάλυβα. (Χρήση Ηλεκτρικής Ενέργειας)	Μονάδα Μέτρησης
CO <sub>2</sub>	319,16	g/kWh
CO	303,68	mg/kWh
CH <sub>4</sub>	20,82	mg/kWh
NO <sub>x</sub>	128,89	mg/kWh
PM	212,74	mg/kWh
SO <sub>x</sub>	2,23	g/kWh
NMVOC	101,97	mg/kWh

### Ψηματοβολή

**Πίνακας Δ4:** Συντελεστές εκπομπών ουσιών για την φάση ψηματοβολής του χάλυβα.

Εκπεμπόμενες ουσίες κατά την ψηματοβολή του χάλυβα.	Συντελεστής εκπομπών κατά την ψηματοβολή του χάλυβα. (Χρήση Ηλεκτρικής Ενέργειας)	Μονάδα Μέτρησης
CO <sub>2</sub>	503,00	g/kg
CO	867,00	mg/kg
CH <sub>4</sub>	4,42	g/kg
NO <sub>x</sub>	2,64	g/kg
PM	0,69	kg/tons
SO <sub>x</sub>	2,76	g/kg
NMVOC	8,33	g/kg

### Καθοδική προστασία

**Πίνακας Δ5:** Συντελεστές εκπομπών ουσιών για την φάση της καθοδικής προστασίας του χάλυβα.

Εκπεμπόμενες ουσίες κατά την παραγωγή ψευδαργύρου.	Συντελεστής εκπομπών κατά την παραγωγή ψευδαργύρου.	Μονάδα Μέτρησης
CO <sub>2</sub>	419,86	g/kg
CO	11,42	g/kg
CH <sub>4</sub>	9,22	g/kg
NO <sub>x</sub>	11,55	g/kg
PM	6,65	g/kg
SO <sub>2</sub>	39,48	g/kg
SO <sub>x</sub>	1,60	g/kg
VOC	112,00	mg/kg
NMVOC	629,48	mg/kg

### Βαφές

**Πίνακας Δ6:** Συντελεστές εκπομπών ουσιών για την φάση της βαφής του χάλυβα.

Εκπεμπόμενες ουσίες βαφών και ηλεκτρικής ενέργειας.	Συντελεστής εκπομπών βαφών και χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας.	Μονάδα Μέτρησης
CO <sub>2</sub>	319,16	g/kWh
CO	303,68	mg/kWh
CH <sub>4</sub>	20,82	mg/kWh
NO <sub>x</sub>	128,89	mg/kWh
PM	212,74	mg/kWh
SO <sub>x</sub>	2,23	g/kWh
VOC	279,00 (Primer), 381,00 (Antifouling), 445,00 (Coating)	g/lt
NMVOC	101,97	mg/kWh

### Μεταφορά υλικών

**Πίνακας Δ7:** Συντελεστές εκπομπών ουσιών για την φάση της μεταφοράς του χάλυβα.

Εκπεμπόμενες ουσίες κατά την μεταφορά του χάλυβα.	Συντελεστής εκπομπών κατά την μεταφορά του χάλυβα.	Μονάδα Μέτρησης
CO <sub>2</sub>	25,29	g/tons*km
CO	70,74	mg/tons*km
CH <sub>4</sub>	1,95	mg/tons*km
NO <sub>x</sub>	459,62	mg/tons*km
PM	1,85	mg/tons*km
SO <sub>2</sub>	371,54	mg/tons*km
SO <sub>x</sub>	1,81	mg/tons*km
VOC	1,29	mg/tons*km
NMVOC	129,45	μg/tons*km

**Πίνακας Δ8:** Συντελεστές εκπομπών ουσιών για την φάση της μεταφοράς των βαφών, του υλικού ψηγματοβολής και των ανοδίων.

Εκπεμπόμενες ουσίες κατά την μεταφορά του υλικού ψηγματοβολής, βαφών, ανοδίων.	Συντελεστής εκπομπών κατά την μεταφορά του υλικού ψηγματοβολής, βαφών, ανοδίων.	Μονάδα Μέτρησης
CO <sub>2</sub>	115,29	g/tons*km
CO	340,18	mg/tons*km
CH <sub>4</sub>	8,93	mg/tons*km
NO <sub>x</sub>	2,10	g/tons*km
PM	10,81	mg/tons*km
SO <sub>2</sub>	1,69	g/tons*km
SO <sub>x</sub>	4,07	mg/tons*km
VOC	5,93	mg/tons*km
NMVOC	593,51	μg/tons*km

### Ανακύκλωση κατασκευής

**Πίνακας Δ9:** Συντελεστές εκπομπών ουσιών ανακύκλωσης χάλυβα.

Εκπεμπόμενες ουσίες κατά την ανακύκλωση του χάλυβα.	Συντελεστής εκπομπών κατά την ανακύκλωση του χάλυβα.	Μονάδα Μέτρησης
CO <sub>2</sub>	338,64	g/kg
CO	31,83	g/kg
CH <sub>4</sub>	86,48	mg/kg
NO <sub>x</sub>	4,38	g/kg
PM	928,96	mg/kg
SO <sub>2</sub>	5,27	g/kg
SO <sub>x</sub>	313,72	mg/kg
VOC	12,57	mg/kg
NMVOC	10,84	mg/kg