



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)
«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

Μεταπτυχιακή Εργασία

**Θέμα: Περιβαλλοντική Αξιολόγηση των ψυκτικών μέσων σε συστήματα
ψύξης- κλιματισμού**

Τριμελής Επιτροπή:

Αθήνα, 2021

Αναπλ. Καθηγήτρια ΕΙΡΗΝΗ ΚΟΡΩΝΑΚΗ (Επιβλέπουσα)

Καθηγητής ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΡΟΓΔΑΚΗΣ

Ε.ΔΙ.Π ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΑΚΟΣ

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	3
Περίληψη	5
Abstract	6
Κατάλογος πινάκων	7
Κατάλογος διαγραμμάτων	8
Κατάλογος εικόνων	10
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στο πρόβλημα	11
Κεφάλαιο 2: Επισκόπηση Βιβλιογραφίας	12
2.1 Τεχνολογίες αντλιών θερμότητας	12
2.2 Ψυκτικά μέσα	13
2.2.1 Τύποι ψυκτικών μέσων	14
2.2.2 Ιστορική αναδρομή ψυκτικών μέσων	15
2.3 Ιστορική αναδρομή των νομοθεσιών για τα αέρια του θερμοκηπίου	17
2.3.1 Σύμβαση της Βιέννης – Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ	17
2.3.2 Πρωτόκολλο του Κιότο	18
2.3.3 Κανονισμός (ΕΚ) 842/2006	18
2.3.4 Οδηγία 2006/40/(ΕΚ)	19
2.3.5 Κανονισμός (ΕΚ) 517/2014 - Ο κανονισμός της ΕΕ για τα φθοριούχα αέρια (F-GAS Regulation)	19
2.4 Ανάλυση κύκλου ζωής των ψυκτικών μέσων	22
2.4.1 Παραγωγή ψυκτικών μέσων	23
2.4.2 Διαρροές ψυκτικών μέσων	24
2.4.3 Τέλος ζωής ψυκτικών μέσων	26
2.4.4 Δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων	27
2.4.5 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ψυκτικών μέσων	28
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία	36
3.1 Περιγραφή των εξεταζόμενων ψυκτικών μέσων	36
3.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής	37
3.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	37
3.2.2 Σκοπός της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	38
3.2.3 Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	38
3.3 Περιγραφή του λογισμικού	42
3.3.1 Εισαγωγή στο SimaPro	42
3.3.2 Ξεκινώντας στο SimaPro	43

3.3.3 Μέθοδοι αποτίμησης	45
3.3.4 Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν	47
3.4 Σενάρια που μελετήθηκαν	50
3.5 Βασικές υποθέσεις	51
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα	51
4.1 Καθορισμός Σκοπού και Στόχου	51
4.2 Απογραφή του Κύκλου Ζωής - Life Cycle Inventory (LCI).....	52
4.2.1 Ανάκτηση ψυκτικού μέσου	52
4.2.2 Καταστροφή των ψυκτικών μέσων.....	55
4.3 Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων	58
4.3.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το ψυκτικό R134A	58
4.3.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το ψυκτικό R22	70
4.3.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το ψυκτικό R32	80
4.3.4 Σύγκριση ψυκτικών μέσων	90
Κεφάλαιο 5 : Συζήτηση- Συμπεράσματα	95
Βιβλιογραφία	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	99
Παράρτημα 1: Πίνακας ψυκτικών μέσων	99
Παράρτημα 2: Πίνακας συντελεστών χαρακτηρισμού για τις κατηγορίες επίδρασης	108
Παράρτημα 3: Πίνακες αποτελεσμάτων από SimaPro.....	112

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μια από τις βραχυπρόθεσμες απειλές για την ανθρωπότητα λόγω των επιπτώσεών της στο περιβάλλον και κατά συνέπεια στη φυτική και ζωική ζωή. Η κλιματική αλλαγή προκαλείται από εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται κατά κύριο λόγο από ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι αντλίες θερμότητας (ψυγεία, κλιματιστικά) είναι οι κύριους συντελεστές αυτού που φαινομένου διότι χρησιμοποιούν ψυκτικά μέσα, τα οποία έχουν μεγάλη επίδραση στην κλιματική αλλαγή. Λόγω της αναγκαιότητας αυτών των συστημάτων πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει την αλλαγή αυτών με νέα πιο φιλικά προς το περιβάλλον με παρόμοιες ή καλύτερες ιδιότητες. Μια ευρύτατα χρησιμοποιούμενη μέθοδο περιβαλλοντικής αξιολόγησης των συστημάτων και προϊόντων είναι η Ανάλυση Κύκλου Ζωής. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τη διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, δεδομένου ότι οι εμπλεκόμενες ροές υλικών, ενέργειας όπως και οι εκπομπές των αερίων που απελευθερώνονται στο περιβάλλον εμφανίζονται σε διάφορα στάδια του κύκλου ζωής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από 3 ψυκτικά μέσα (R134A, R22 και R32) με τη βοήθεια του λογισμικού SimaPro, σε όλο τον κύκλο ζωής τους. Αρχικά, περιγράφεται η διαδικασία ανάκτησης του ψυκτικού υγρού από την επίσκεψη που πραγματοποιήθηκε στην Ελληνική Ανακύκλωση Ψυγείων καθώς και η καταστροφή από ειδική μονάδα διάθεσης του εξωτερικού. Ακόμα, με βάση τη βιβλιογραφία αναπτύχθηκαν διάφορα σενάρια με στόχο την επισήμανση των κρίσιμων σταδίων του κύκλου ζωής των ψυκτικών, όπως είναι οι διαρροές και η διαδικασία ανάκτησής τους. Από τα τελικά αποτελέσματα σύγκρισης των 3 ψυκτικών αυτό με τις λιγότερες επιπτώσεις είναι το R32 ενώ το R22 είναι αυτό με τις μεγαλύτερες. Το κύριο συμπέρασμα είναι η σημασία των σέρβις στα συστήματα με στόχο την ελαχιστοποίηση των διαρροών καθώς και η σωστή διαχείριση στο τέλος ζωής των υλικών αυτών.

Abstract

Climate change is one of the short term threats to humanity because of its effects on the environment and, consequently, on vegetal and animal life. Climate change is caused by greenhouse gas emissions that come from human activities. Heat pumps like refrigerators, air conditioners, are one of the main contributors to this phenomenon because the use of refrigerants have a great impact on climate change. Due to the necessity of these systems, many researchers have studied their replacement with new environmentally friendly refrigerants. Life cycle analysis of assessment (LCA) is a robust tool for estimating the environmental impacts attributed to the life cycle of a product or a process.

This work utilizes the LCA methodology in order to estimate the environmental footprint of 3 refrigerants (R134A, R22, R32). For this reason the software package SimaPro 9 was used. Firstly, we described the process of recovering the coolant from the visit that took place in the Hellenic Fridge Recycling SA as well as the destruction by a special unit for disposal abroad. Also, observing from the literature, various scenarios were developed, for the great importance of leaking in the life of refrigerants as well as their recovery. From the final results of the comparison of the 3 refrigerants, the one with the least footprint is R32 while the R22 is the one with the biggest ones. The main conclusion is the importance of service in the systems in order to minimize leaks as well as the proper management of the end-of-life of these materials.

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Υδροφθοράνθρακες που συμπεριλαμβάνονται στο Παράρτημα I του κανονισμού 842/2006	19
Πίνακας 2: : Απαγορεύσεις διάθεσης στην αγορά σύμφωνα με το άρθρο 11 του κανονισμού (ΕΚ) 517/2014	21
Πίνακας 3: Εκπομπές CO ₂ από την εισροή χημικών και ενέργειας κατά την παραγωγή του R134a (Anil Baral, 2013)	23
Πίνακας 4: Εκπομπές CO ₂ από την εισροή χημικών και ενέργειας κατά την παραγωγή του R1234yf (Anil Baral, 2013)	23
Πίνακας 5: Επιπτώσεις από την κατασκευή ψυκτικών (International Institute of Refrigeration, 2015).....	24
Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά των ευρέως χρησιμοποιούμενων ψυκτικών (Animesh Pal, 2018).....	29
Πίνακας 7: Πίνακας με τους δεκαοκτώ δείκτες (Ε. Πανταζή, 2014)	47
Πίνακας 8: Ποσά CO ₂ για το R134A σε όλα τα σενάρια	65
Πίνακας 9: Ποσά CO ₂ για το R134A σε όλα τα σενάρια	86
Πίνακας 10: Συνολικών πίνακας επιπτώσεων σε Pt.....	95
Πίνακας 11: Συνολικών πίνακας επιπτώσεων σε kg CO ₂ eq	95
Πίνακας 12: Πίνακας επιπτώσεων από πρώτες ύλες, ροή ενέργειας και παραπροϊόντα	96
Πίνακας 13: Χαρακτηρισμός δεδομένων	112
Πίνακας 14: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης	113
Πίνακας 15: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	114
Πίνακας 16: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία	115
Πίνακας 17: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών.....	115
Πίνακας 18: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	115
Πίνακας 19: Χαρακτηρισμός δεδομένων.....	116
Πίνακας 20: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης	117
Πίνακας 21: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	118
Πίνακας 22: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία	119
Πίνακας 23: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών.....	119
Πίνακας 24: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	119
Πίνακας 25: Χαρακτηρισμός δεδομένων.....	120
Πίνακας 26: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης	121
Πίνακας 27: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	122
Πίνακας 28: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία	123
Πίνακας 29: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών.....	123
Πίνακας 30: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	123
Πίνακας 31: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	124
Πίνακας 32: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	124
Πίνακας 33: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	125
Πίνακας 34: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	125
Πίνακας 35: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	126
Πίνακας 36: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	126

Κατάλογος διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Άμεσες και έμμεσες εκπομπές από της διαρροές ψυκτικών (I.P. Koronaki, 2012).....	25
Διάγραμμα 2: Ποσότητες ανακτηθέντων ψυκτικών στις ΗΠΑ από το 2000 έως το 2019 (EPA, 2020).....	26
Διάγραμμα 3: Στοιχεία για την απόδοση κύκλου ζωής (International Institute of Refrigeration, 2015).....	28
Διάγραμμα 4: Είδος και ποσότητα ψυκτικού που χρησιμοποιείτε σε διαφορετικές (Animesh Pal, 2018).....	30
Διάγραμμα 5: Άμεσες εκπομπές από τα ψυκτικά των οικιακών κλιματιστικών (αριστερά) και σύγκριση άμεσων εκπομπών στα διάφορα συστήματα (δεξιά).....	31
Διάγραμμα 6: GWP 100years, ODP και χρόνος ζωής κάποιων ψυκτικών (Naeem Abas, 2018).....	32
Διάγραμμα 7: Συνολικό αποτύπωμα άνθρακα από την κατασκευή ενός εμπορικού συστήματος ψύξης (Alessandro Cascini, 2013).....	33
Διάγραμμα 8: Αποτύπωμα άνθρακα για όλο τον κύκλο ζωής ενός συστήματος εμπορικής ψύξης.....	33
Διάγραμμα 9: Διάγραμμα ροής αποβλήτων από τη δεξαμενή στον κλίβανο (Tradebe UK, 2021).....	56
Διάγραμμα 10: Συνολικό διάγραμμα ροής των αποβλήτων κατά τη φάση της τελικής διάθεσης με τη μέθοδο της καύσης.....	57
Διάγραμμα 11: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων κατά την παραγωγή του R134A.....	59
Διάγραμμα 12: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων μέχρι το τέλος ζωής του R134A για το 1 ^ο σενάριο.....	60
Διάγραμμα 13: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων μέχρι το τέλος ζωής του R134A για το 2 ^ο σενάριο.....	61
Διάγραμμα 14: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων μέχρι το τέλος ζωής του R134A για το 3 ^ο σενάριο.....	62
Διάγραμμα 15: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων μέχρι το τέλος ζωής του R134A για το 4 ^ο σενάριο.....	63
Διάγραμμα 16: Περιβαλλοντικό φορτίο παραπροϊόντων.....	64
Διάγραμμα 17: Γράφημα χαρακτηρισμού για το R134A.....	66
Διάγραμμα 18: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης.....	67
Διάγραμμα 19: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης.....	67
Διάγραμμα 20: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλάβης.....	68
Διάγραμμα 22: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών.....	69
Διάγραμμα 23: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	69
Διάγραμμα 24: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για την παραγωγή του R22.....	71
Διάγραμμα 25: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων μέχρι το τέλος ζωής του R22 για το 1 ^ο σενάριο.....	72
Διάγραμμα 26: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων μέχρι το τέλος ζωής του R22 για το 2 ^ο σενάριο.....	73

Διάγραμμα 27: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων μέχρι το τέλος ζωής του R22 για το 3 ^ο σενάριο	74
Διάγραμμα 28: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων μέχρι το τέλος ζωής του R22 για το 4 ^ο σενάριο	75
Διάγραμμα 29: Γράφημα χαρακτηρισμού για το R22	77
Διάγραμμα 31: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	78
Διάγραμμα 30: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης	78
Διάγραμμα 32: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλάβης	79
Διάγραμμα 33: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών	79
Διάγραμμα 34: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	80
Διάγραμμα 35: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων κατά την παραγωγή του R32.....	81
Διάγραμμα 36: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων μέχρι το τέλος ζωής του R134A για το 1 ^ο σενάριο.....	82
Διάγραμμα 37: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων μέχρι το τέλος ζωής του R134A για το 2 ^ο σενάριο.....	83
Διάγραμμα 38: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων μέχρι το τέλος ζωής του R32 για το 3 ^ο σενάριο	84
Διάγραμμα 39: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων μέχρι το τέλος ζωής του R32 για το 4 ^ο σενάριο	85
Διάγραμμα 40: Γράφημα χαρακτηρισμού για το R32	86
Διάγραμμα 41: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης	87
Διάγραμμα 42: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	87
Διάγραμμα 43: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλάβης	88
Διάγραμμα 44: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών	89
Διάγραμμα 45: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	89
Διάγραμμα 46: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	90
Διάγραμμα 47: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	91
Διάγραμμα 48: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	92
Διάγραμμα 49: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	92
Διάγραμμα 50: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης	93
Διάγραμμα 51: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης.....	94

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Βασική διάταξη παραγωγής ψύξης (Κατσαπρακάκης Δημήτριος, 2015)	13
Εικόνα 2: Ταξινόμηση ψυκτικών μέσων βάση τοξικότητας και αναφλεξιμότητας (ASHRAE, 2018)	14
Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση τις εξέλιξης των ψυκτικών μέσων. (Hundy G.H, 2016, p. 42)	16
Εικόνα 4: Ανάλυση Κύκλου Ζωής ψυκτικών μέσων (Louise Harmot, 2020)	22
Εικόνα 5: Επίδραση από τις διαρροές των ψυκτικών μέσων (Louise Harmot, 2020)	24
Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ψυκτικών μέσων (Animesh Pal, 2018)	29
Εικόνα 7: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τάσεις ψυκτικών στον κλιματισμό (Daikin, 2021)	31
Εικόνα 8: Σχηματική απεικόνιση των 3 φάσεων στα δύο υποσυστήματα (ψυγείο και ψυκτικό μέσο) (Alessandro Cascini, 2013)	32
Εικόνα 10: Σενάρια που μελετήθηκαν στην έρευνα των Mianqiang Xue et al. (Mianqiang Xue, 2019)	34
Εικόνα 11: Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία από 1) (re) ψυκτικά μέσα και 2) (ec) την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Mianqiang Xue, 2019)	35
Εικόνα 12: Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Ραγκούσης, 2016)	39
Εικόνα 13: Οριοθέτηση του συστήματος (Κορνελάκη, 2009)	40
Εικόνα 14: Ενδεικτική περιγραφή επιπτώσεων σε διάφορα συστήματα κατά τον Κύκλο Ζωής τους (UNEP, 2011)	41
Εικόνα 15: Αρχική εικόνα του λογισμικό SimaPro που χρησιμοποιήθηκε	42
Εικόνα 16: Γενικό περιβάλλον του SimaPro και εισαγωγή νέου έργου	43
Εικόνα 17: Οι διαθέσιμες βιβλιοθήκες του χρήστη	44
Εικόνα 18: Επιλογές της καρτέλας των διεργασιών	44
Εικόνα 19: Δημιουργία νέων προϊόντων	45
Εικόνα 20: Φόρμα εισαγωγής όλων των απαιτούμενων ενεργειών για το προϊόν	45
Εικόνα 21: Σχηματική απεικόνιση της ReCiPe (PRé & authors, 2014)	49
Εικόνα 22: Σημείο άντλησης του ψυκτικού υγρού με το λάδι	53
Εικόνα 23: «Κύκλωμα» διαχωρισμού ψυκτικού υγρού και λαδιού	54
Εικόνα 24: Γενική άποψη από την εγκατάσταση της μονάδας διάθεσης στην Αγγλία	55

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στο πρόβλημα

Με τη συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού και την τεχνολογική ανάπτυξη τα ποσά ενέργειας που απαιτούνται, ώστε να δημιουργηθεί ένα καλύτερο περιβάλλον, αυξάνονται συνεχώς. Έτσι προκύπτουν διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα των οποίων η αντιμετώπισή τους απαιτεί κατάλληλο πολιτικό σχεδιασμό, ορθολογική διαχείριση ενέργειας και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών.

Ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουμε, είναι η κλιματική αλλαγή ως συνέπεια της υπερθέρμανση του πλανήτη και της καταστροφής της στοιβάδας του όζοντος. Η συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην τροπόσφαιρα αυξάνεται ιδιαίτερα λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, όπως είναι οι μεταφορές, η εκβιομηχάνιση, η παραγωγή ενέργειας κ.α. Μια από τις χρήσεις που είναι υπεύθυνη για την υπερθέρμανση του πλανήτη και τη μείωση της στοιβάδας του όζοντος είναι η χρήση των ψυκτικών μέσων στις αντλίες θερμότητας. Η εκτεταμένη χρήση κάποιων εξ' αυτών αποδείχθηκε ότι συνεισφέρουν στην καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος, ενώ τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα ψυκτικά μέσα αποτελούν αέρια του θερμοκηπίου και στην αύξηση της θερμοκρασίας της γης. (Animesh, et al., 2018)

Εξαιτίας αυτών των περιβαλλοντικών συνεπειών λήφθηκαν αποφάσεις οι οποίες αργότερα μετουσιώθηκαν σε νομοθεσίες, τις οποίες θα δούμε αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο, με στόχο την απαγόρευση και αντικατάσταση με μια νέα γενιά ψυκτικών μέσων πιο ασφαλή και φιλικά προς το περιβάλλον.

Επίσης τα τελευταία χρόνια η χρήση των ψυκτικών αυξάνει συνεχώς λόγω της ζήτησης για ψύξη σε όλο και περισσότερα κτίρια (εγκατάσταση κλιματιστικών). Από διάφορες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, παρατηρήθηκε ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ψυκτικών μέσων από διαρροές και λανθασμένη τελική διάθεση στο τέλος ζωής των ψυκτικών διαθέτει ένα σημαντικό μερίδιο ευθύνης στην κλιματική αλλαγή.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αρχικά καταγράφηκε η διαδικασία από την ανάκτηση των ψυκτικών μέσων μέχρι την καταστροφή τους με τη μέθοδο της καύσης, όπου είναι ο τρόπος διάθεσης σε περίπτωση που τα ψυκτικά μέσα δεν μπορούν να ανακυκλωθούν. Επίσης αξιολογήθηκε όλος ο κύκλος ζωής κάποιον από τα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται ευρέως με τη μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.

Κεφάλαιο 2: Επισκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1 Τεχνολογίες αντλιών θερμότητας

Οι τεχνολογίες των αντλιών θερμότητας αποτέλεσαν και αποτελούν πολύ σημαντικές δραστηριότητες για την καθημερινή ζωή. Οι πιο γνωστές αντλίες θερμότητας που συναντάμε σε ευρεία κλίμακα είναι τα ψυγεία και τα κλιματιστικά, τα οποία παρέχουν στην κοινωνία αρκετά πλεονεκτήματα όπως είναι η συντήρηση τροφίμων και φαρμάκων αλλά καθώς επίσης η άνεση και ιδανική ατμόσφαιρα στο σπίτι και στο περιβάλλον εργασίας αντίστοιχα. Ωστόσο, τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού καταναλώνουν σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιούν ψυκτικά μέσα (refrigerants) τα οποία είναι απαραίτητα στην δημιουργία μηχανισμών ψύξης με μεγαλύτερη ικανότητα.

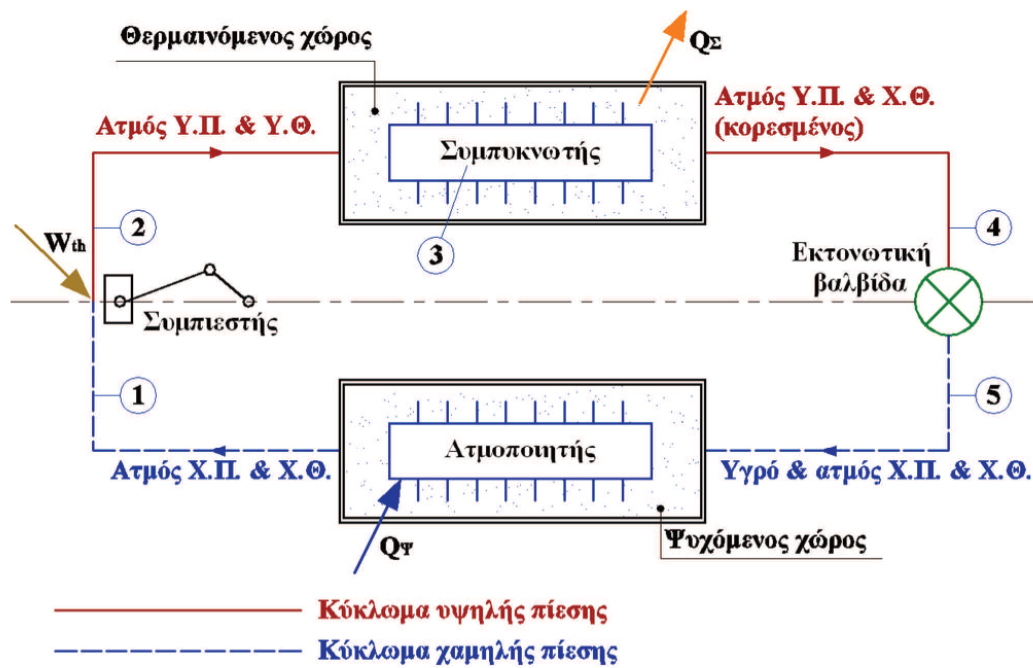
Τα βασικά εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται ένα τέτοιο σύστημα είναι ο ατμοποιητής(evaporator), ο συμπιεστής (compressor), ο συμπυκνωτής (condenser) και η εκτονωτική βαλβίδα(expansion valve). Ένα ψυκτικό μέσο εκτελώντας ένα πλήρη κύκλο υφίσταται τις ακόλουθες διεργασίες (βλέπε εικόνα 1):

Συμπίεση: Μετά την έξοδο του από τον ατμοποιητή, το ψυκτικό μέσο σε κατάσταση κορεσμένου ατμού χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας εισέρχεται στο συμπιεστή. Στο συμπιεστή ο ατμός συμπιέζεται, με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας του.

Συμπύκνωση: Στο συμπυκνωτή ξεκινά η αποβολή θερμότητας από τον ατμό προς το μέσο απορρόφησης θερμότητας όπου συνήθως είναι ο αέρας του περιβάλλοντος ή νερό (αερόψυκτος ή υδρόψυκτος). Καθώς ο ατμός αποβάλλει θερμότητα, η θερμοκρασία του μειώνεται μέχρι να φτάσει τη θερμοκρασία εξάτμισης, στην οποία η πίεση του αερίου ψυκτικού μέσω ισούται με την πίεση ατμών του. Σε αυτό το σημείο αρχίζει η συμπύκνωση του ατμού δηλαδή η υγροποίηση του η οποία ολοκληρώνεται πριν εισέλθει στην βαλβίδα εκτόνωσης. Το ψυκτικό υγρό εξέρχεται από τον συμπιεστή σε κατάσταση υψηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας.

Εκτόνωση: Κατά το στάδιο εκτόνωσης, το υψηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας ψυκτικό μέσο, εισέρχεται εντός της εκτονωτικής βαλβίδας, όπου εκτονούμενο μειώνεται η πίεση και η θερμοκρασία του στα επίπεδα πίεσης και θερμοκρασίας του ατμοποιητή.

Ατμοποίηση: Σε αυτή τη φάση το ψυκτικό μέσο απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον του ατμοποιητή, παράγοντας ψύξη, ατμοποιείται και εξέρχεται από αυτόν σε κατάσταση ψυχρού κορεσμένου ατμού χαμηλής πίεσης. (Κατσαπρακάκης Δημήτριος, 2015)



Εικόνα 1: Βασική διάταξη παραγωγής ψύξης (Κατσαπρακάκης Δημήτριος, 2015)

2.2 Ψυκτικά μέσα

Το ψυκτικό μέσο είναι ένα υγρό που μπορεί να αλλάξει εύκολα κατάσταση, από υγρό σε αέριο και στη συνέχεια μέσω συμπύκνωσης να επιστρέψει στην υγρή φάση του. Λόγω αυτής της ιδιότητας είναι τα υγρά λειτουργίας στα συστήματα αντλιών θερμότητας τα οποία απορροφούν θερμότητα από μια περιοχή και την απορρίπτουν σε άλλη, όπως εξωτερικοί χώροι συνήθως μέσω εξάτμισης και συμπύκνωσης. (ASHRAE, 2017)

Ένα ψυκτικό μέσο πρέπει να πληροί ορισμένες απαιτήσεις που σχετίζονται με την ασφάλεια, τη χημική σταθερότητα, τις περιβαλλοντικές του ιδιότητες, τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά, τη συμβατότητα με τα υλικά κατασκευής και τις επιπτώσεις στο συνολικό κόστος του συστήματος. Δεν υπάρχει κανένα σύνολο βέλτιστων χαρακτηριστικών (ειδικά για θερμοδυναμικές ιδιότητες) και συχνά υπάρχουν αντισταθμίσεις μεταξύ των επιθυμητών χαρακτηριστικών. Στην εικόνα 2 μπορούμε να δούμε ένα διάγραμμα χαρακτηρισμού των ψυκτικών μέσων βάση τοξικότητας και αναφλεξιμότητας.

		SAFETY GROUP	
F L A M M A B I L I T Y	Higher Flammability	A3	B3
	Flammable	A2	B2
	Lower Flammability	A2L	B2L
	No Flame Propagation	A1	B1
		Lower Toxicity	Higher Toxicity
		INCREASING TOXICITY →	

Εικόνα 2: Ταξινόμηση ψυκτικών μέσων βάση τοξικότητας και αναφλεξιμότητας (ASHRAE, 2018)

2.2.1 Τύποι ψυκτικών μέσων

A) Ψυκτικά μέσα CFC: Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα ψυκτικά μέσα τα οποία αποτελούνται από χλώριο, φθόριο και άνθρακα. Τα κοινά ψυκτικά μέσα CFC είναι τα R-11, R-12, R-13, R-114, R-115. Ακόμα οποιοδήποτε μείγμα περιέχει ένα CFC τότε θεωρείται και αυτό ψυκτικό μέσω CFC.

B) Ψυκτικά μέσα HCFC: Σε αυτή την κατηγορία το HCFC αναφέρεται στη χημική σύνθεση του ψυκτικού μέσου όπου αποτελείται από υδρογόνο, χλώριο, φθόριο και άνθρακα. Τα κοινά ψυκτικά μέσα HCFC είναι το R-22, R-123, R-124, R-142b. Ένα μείγμα που περιέχει HCFC και HFC θεωρείται HCFC.

Γ) Ψυκτικά μέσα HFC: Σε αυτή την περίπτωση τα ψυκτικά μέσα αποτελούνται από υδρογόνο, φθόριο και άνθρακα. Τα ψυκτικά μέσα HFO είναι αυτά που έχουν μηδενικό αντίκτυπο στην καταστροφή του όζοντος (ODP, Ozone Depletion Potential) και χαμηλό GWP(Global Warming Potential). Έτσι αποτελούν μια φιλική προς το περιβάλλον λύση έναντι των CFCs, HCFCs και HFCs.

Δ) Ψυκτικά μέσα HC: Είναι υδρογονάνθρακες που βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στο αργό πετρέλαιο. Χρησιμοποιούνται σαν εναλλακτικά ψυκτικά μέσα καθώς οι μη τοξικοί υδρογονάνθρακες είναι φιλική προς το περιβάλλον και αποτελούν μια καλή λύση για τα CFCs, HCFCs και HFCs τα οποία συνδέονται με την καταστροφή του όζοντος και τη αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη

Τον τελευταίο αιώνα έχει χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα ψυκτικών μέσων ενώ η τρέχουσα χρήση κυριαρχείται από μια σειρά φθοριούχων χημικών όπως τα HFCs

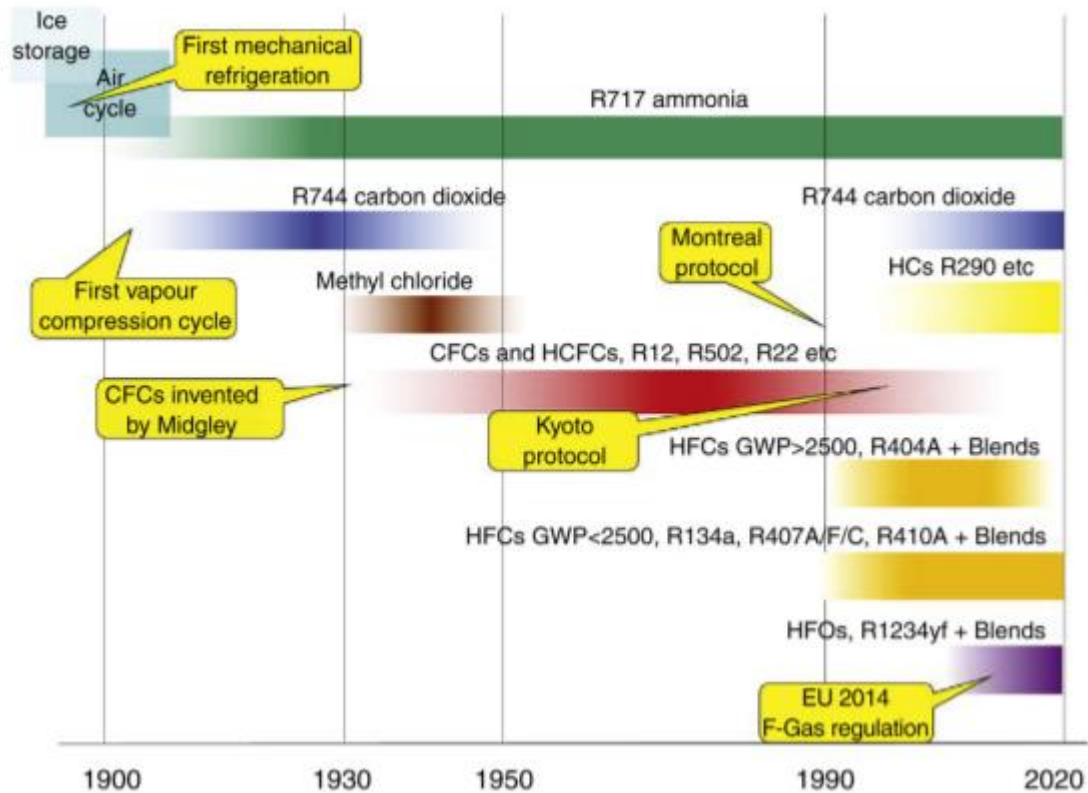
εκτός από υδρογονάνθρακες και πολλές ανόργανες ενώσεις, συμπεριλαμβανομένης της αμμωνία και του CO₂. (ASHRAE, 2018)

Η εκτεταμένη όμως χρήση κάποιων εξ αυτών προκάλεσε σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα διότι αρκετά από αυτά διαθέτουν υψηλό δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP) καθώς και υψηλό δυναμικό μείωσης της στοιβάδας του όζοντος (ODS).

Ο όρος δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) χρησιμοποιείται ως παράμετρος που υποδεικνύει τη συμβολή ενός αερίου στη θέρμανση της ατμόσφαιρας. Υπολογίζεται ως το δυναμικό θέρμανσης, εντός 100 ετών, ενός χιλιόγραμμου φθοριούχου αερίου θερμοκηπίου σε σχέση με ένα χιλιόγραμμο CO₂.

2.2.2 Ιστορική αναδρομή ψυκτικών μέσων

Όπως περιγράφεται και στη συνέχεια οι αλλαγές στην επιλογή και τη χρήση των ψυκτικών μέσων τα τελευταία χρόνια έχει γίνει επιτακτική ανάγκη ώστε να αντιμετωπιστούν τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούν. Στην εικόνα 3 εμφανίζεται μια ιστορική αναδρομή των ψυκτικών μέσων. Η παλαιότερη μηχανή ψύξης χρησιμοποίησε τον αέρα ως ψυκτικό μέσω. Στη συνέχεια και με τη βοήθεια του κύκλου συμπίεσης ατμών παράχθηκαν πιο αποτελεσματικά συστήματα. Στην αρχή τα μόνο πρακτικά υγρά ήταν η αμμωνία και το διοξείδιο του άνθρακα. Η διατήρηση του κρέατος ήταν ένας σημαντικός προβληματισμός της εποχής διότι η αμμωνία ήταν τοξική και το διοξείδιο του άνθρακα απαιτούσε υψηλές πιέσεις. Επίσης το Μεθυλοχλωρίδιο ή Χλωρομεθάνιο (R-40 ή HCC 40) αν και τοξικό χρησιμοποιήθηκε από ορισμένα μικρότερα συστήματα μεταξύ του 1930 - 1950. Στις αρχές της δεκαετία του 1930 ο Hundy ανακαλύπτει τον χλωροφθοράνθρακα (CFCs). Η οικογένεια των CFCs φάνηκε να διαθέτει όλες τις επιθυμητές ιδιότητες καθώς ήταν μη τοξικά, μη εύφλεκτα, με καλές θερμοδυναμικές ιδιότητες. Τα CFC όπως ήταν τα R12, R114 και το R502 αλλά και τα HCFC όπως το R22 έγιναν τα συνηθέστερα ψυκτικά μέσα, με το R502 και R22 να χρησιμοποιούνται κυρίως στα κλιματιστικά. (Hundy, et al., 2016)



Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση τις εξέλιξης των ψυκτικών μέσων (Hundy, et al., 2016, p. 42)

Μετά την εμφάνιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων της υπερθέρμανσης του πλανήτη και την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος, εφαρμόστηκαν πολλές αλλαγές και καταργήσεις αρκετών από τα ψυκτικά μέσα. Έτσι αναπτύχθηκαν τα HFCs χωρίς χλώριο τα οποία εφαρμόστηκαν με επιτυχία σε σχεδόν όλες τις εφαρμογές. Ωστόσο, τα HFCs είναι ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου και απαιτούν πολύ καλό έλεγχο. Μερικά από τα HFCs όπως το R404A, τα οποία προκαλούν αρκετά προβλήματα στο περιβάλλον προορίζονται να καταργηθούν και σε άλλα να υπάρχει μια επιπλέον ρύθμιση. Αυτό έχει επιταχύνει την ανάπτυξη μιας νέας κατηγορίας ψυκτικών μέσων τα HFO, τα οποία έχουν μικρή διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα, μικρές επιπτώσεις στην υπερθέρμανση του πλανήτη αλλά είναι εύφλεκτα και ακριβά.

2.3 Ιστορική αναδρομή των νομοθεσιών για τα αέρια του θερμοκηπίου

2.3.1 Σύμβαση της Βιέννης – Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ

Μετά την εμφάνιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων της υπερθέρμανσης του πλανήτη και της καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος, εφαρμόστηκαν διάφορες πολιτικές για τον περιορισμό της χρήσης ψυκτικών μέσων τα οποία ήταν υπεύθυνα για τα παραπάνω. Η αρχή έγινε με τη Σύμβαση της Βιέννης που κυρώθηκε το 1985 και εφαρμόστηκε στις 22 Σεπτεμβρίου του 1988. Στόχος της Σύμβασης ήταν να προωθηθεί η συνεργασία μεταξύ των κρατών μελών για έρευνα και μελέτη των επιπτώσεων που προκαλεί η ανθρώπινη δραστηριότητα στη στοιβάδα του όζοντος. Η Σύμβαση της Βιέννης δεν αφορούσε συγκεκριμένα μέτρα που έπρεπε να ληφθούν υπόψιν από τα κράτη μέλη, αυτό έγινε αργότερα με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ.

Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ συμφωνήθηκε στις 16 Σεπτεμβρίου του 1987 και τέθηκε σε ισχύ την 1^η Ιανουαρίου του 1989. Το πρωτόκολλο αυτό έθεσε συγκεκριμένους στόχους και χρονοδιαγράμματα για τον περιορισμό στην παραγωγή και κατανάλωση, κάθε μια από τις ομάδες των ουσιών που καταστρέφουν την στοιβάδα του όζοντος (Ozone Depleting Substances-ODS) όπως τα CFCs, HCFCs, κτλ. Για κάθε μια από τις ομάδες των ODS τέθηκαν χρονοδιαγράμματα με σταδιακή μείωση που τελικά έφτανε στην πλήρη εξάλειψη. Οι αναπτυσσόμενες χώρες ήταν υποχρεωμένες να αρχίσουν να καταργούν τη χρήση χλωροφθορανθράκων το 1993 και να φτάσουν σε μια μείωση 50% (σε σχέση με τα επίπεδα του 1986) το 1998. Στις αναπτυσσόμενες χώρες δόθηκε περίοδος χάριτος 10 ετών πριν αρχίσουν τη μείωση. Στην συνέχεια υπήρξαν διάφορα επιμέρους άρθρα όπου οριζόνταν διαδικασίες ελέγχου των χωρών μελών, όπως κανόνες για τη συλλογή και παρουσίαση ετήσιων στοιχείων. Ακολούθησαν τροποποιήσεις όπως αυτή του Λονδίνου και της Κοπεγχάγης με αλλαγή των χρονοδιαγραμμάτων που είχαν αποφασιστεί.

Παρόλο που η εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση των ODS, παρατηρήθηκε ακόμα αύξηση για τα HCFCs και το Hallon 1301. Τέλος, το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ ήταν εμφανής ότι είχε ανακόψει τη σταδιακή μείωση της στοιβάδας του όζοντος που υπήρχε τις δεκαετίες του '80 και '90. (Καρατζάς, 2017)

2.3.2 Πρωτόκολλο του Κιότο

Το Δεκέμβριο του 1987 συμφωνήθηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο όπου στόχευσε σε συνολική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, έτσι τα κράτη – μέλη έπρεπε να εξασφαλίσουν μείωση για συνολικά έξι αέρια του θερμοκηπίου τα οποία φαίνονται παρακάτω:

- Διοξείδιο του άνθρακα
- Μεθάνιο
- Υποξείδιο του αζώτου
- Υδροφθοράνθρακες
- Πλήρως φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες ή υπερφθοράνθρακες
- Εξαφθοριούχου θείο

Το Πρωτόκολλο τέθηκε σε ισχύ το 2005, όπου τα αναπτυγμένα κράτη δεσμεύονται να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 5 % την περίοδο 2008-2012, προκειμένου να συνεισφέρουν στον κοινό στόχο της ΕΕ για 8% μείωση των εκπομπών σε αυτό το χρονικό διάστημα. Επίσης, το πρωτόκολλο του Κιότο παρέχει τη δυνατότητα να επιτυγχάνεται ο στόχος μέσω 3 μηχανισμών:

- Από κοινού εφαρμογή
- Μηχανισμός «καθαρής» ανάπτυξης και
- Εμπόριο εκπομπών

Στο πλαίσιο του Πρωτόκολλο του Κιότο και προκειμένου να καταπολεμηθούν οι επιπτώσεις της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη λόγω των φθοριούχων αερίων, η ΕΕ ψήφισε το 2006 2 νομοθετικές πράξεις α) τον κανονισμό (ΕΚ) 842/2006 και την οδηγία 2006/40/ (ΕΚ) για τις εκπομπές των συστημάτων κλιματισμού των μηχανοκίνητων οχημάτων.

2.3.3 Κανονισμός (ΕΚ) 842/2006

Ο κανονισμός (ΕΚ) 842/2006 αποτέλεσε την πρώτη προσπάθεια της Ε.Ε μετά από το Πρωτόκολλο του Κιότο να περιορίσει τη χρήση ορισμένων φθοριούχων αερίων που συνέβαλαν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Στόχος του κανονισμού αυτού είναι η συγκράτηση, η πρόληψη και η συνακόλουθη μείωση των εκπομπών των φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου του παραστήματος Ι. Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται το σύνολο των υδροφθορανθράκων (ψυκτικά μέσα) τα οποία βρίσκονται στο Παράστημα Ι του κανονισμού.

<i>Φθοριούχο αέριο θερμοκηπίου</i>	<i>Χημικός τύπος</i>	<i>Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP)</i>
<i>HFC-23</i>	<i>CHF₃</i>	12000
<i>HFC-32</i>	<i>CH₂F₂</i>	550
<i>HFC-41</i>	<i>CH₃F</i>	97
<i>HFC-43-10mee</i>	<i>C₅H₂F₁₀</i>	1500
<i>HFC-125</i>	<i>C₂HF₅</i>	3400
<i>HFC-134</i>	<i>C₂H₂F₄</i>	1100
<i>HFC-134a</i>	<i>CH₂FCF₃</i>	1300
<i>HFC-152a</i>	<i>C₂H₄F₂</i>	120
<i>HFC-143</i>	<i>C₂H₃F₃</i>	330
<i>HFC-143a</i>	<i>C₂H₃F₃</i>	4300
<i>HFC-227ea</i>	<i>C₃HF₇</i>	3500
<i>HFC-236cb</i>	<i>CH₂FCF₂CF₃</i>	1300
<i>HFC-236ea</i>	<i>CHF₂CHF₂CF₃</i>	1200
<i>HFC-236fa</i>	<i>C₃H₂F₆</i>	9400
<i>HFC-245ca</i>	<i>C₃H₃F₅</i>	640
<i>HFC-245fa</i>	<i>CHF₂CH₂CF₃</i>	950
<i>HFC-365mfc</i>	<i>CF₃CH₂CF₂CH₃</i>	890

Πίνακας 1: Υδροφθοράνθρακες που συμπεριλαμβάνονται στο Παράρτημα I του κανονισμού 842/2006

2.3.4 Οδηγία 2006/40/(ΕΚ)

Η οδηγία 2006/40 /(ΕΚ) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου που εκδόθηκε το Μάιο του 2006, είχε σαν κύριο στόχο την τεχνική εναρμόνιση όσον αφορά τις εκπομπές των συστημάτων κλιματισμού των μηχανοκίνητων οχημάτων και στην ουσία συμπληρώνει τον κανονισμό 842/2006. Η οδηγία , συνυπολογίζοντας τους στόχους του Πρωτοκόλλου του Κιότο για μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που ευθύνονται για την αλλαγή του κλίματος, αποβλέπει στη μείωση των εκπομπών αυτών στα συστήματα κλιματισμού των μηχανοκίνητων οχημάτων. Με αυτόν τον τρόπο, προλαμβάνει τυχόν περιορισμούς που θα δημιουργούνταν στην εσωτερική αγορά, αν τα κράτη-μέλη υιοθετούσαν διαφορετικές τεχνικές στο συγκεκριμένο τομέα. Συνεπώς, η οδηγία προβλέπει τη σταδιακή απαγόρευση των συστημάτων κλιματισμού που έχουν σχεδιαστεί να περιέχουν φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου με δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη πάνω από 150.

2.3.5 Κανονισμός (ΕΚ) 517/2014 - Ο κανονισμός της ΕΕ για τα φθοριούχα αέρια (F-GAS Regulation)

Στόχος του παρόντος κανονισμού είναι η προστασία του περιβάλλοντος μέσω της μείωσης των εκπομπών φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου. Έτσι ο παρών κανονισμός:

- 1) Καθορίζει κανόνες για τη συγκράτηση, τη χρήση, την ανάκτηση και την καταστροφή των φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου
- 2) Θέτει όρους για τη διάθεση στην αγορά συγκεκριμένων προϊόντων και εξοπλισμού που περιέχουν ή η λειτουργία τους βασίζεται στα φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου
- 3) Επιβάλλει προϋποθέσεις για συγκεκριμένες χρήσεις φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου και
- 4) Καθιερώνει ποσοτικά όρια για τη διάθεση υδροφθορανθράκων στην αγορά.

Τα μέτρα που έχουν ως στόχο τον έλεγχο και περιορισμό της χρήσης των αερίων μπορούν να χωριστούν σε 3 βασικούς άξονες:

1. Σταδιακή μείωση της παραγωγής και κατανάλωσης των φθοριούχων μέχρι το 2030.
2. Κλιμακούμενες απαγορεύσεις σε συγκεκριμένες χρήσεις με έναρξη από την 1/1/2015.
3. Κλιμακούμενες απαγορεύσεις στην τοποθέτηση και αγορά νέων προϊόντων που χρησιμοποιούν φθοριούχα αέρια, με έναρξη από την 1/1/2015.

Με βάση των παραπάνω κανονισμό οι ποσότητες των φθοριούχων αερίων εκφράζονται σε τόνους ισοδύναμου CO₂ (CO₂ equivalent) στα πλαίσια της φιλοσοφίας του UNFCCC (United Nation Framework convention on Climate Chance).

Το σημαντικότερο σκέλος του νέου κανονισμού είναι τα άρθρα που αφορούν τον έλεγχο χρήσης των φθοριούχων αερίων καθώς και τις επιβαλλόμενες απαγορεύσεις.

Το πιο σπουδαίο από τα μέτρα είναι ότι από 1/1/2020 έχουμε απαγόρευση συντήρησης υφιστάμενου ψυκτικού εξοπλισμού με φθοριούχα που έχουν υψηλό GWP (>2500) και φορτίο μεγαλύτερο των 40 τόνων CO₂ eq. Η διάταξη αυτή αφορά κυρίως τα ψυκτικά αέρια και μείγματα όπως τα R-507, R-404A, R-422A με GWP από 2700 έως 3900. Κατ' εξαίρεση και μέχρι το 2030, τα μηχανήματα αυτά θα μπορούν να συντηρούνται με τα ανωτέρω φθοριούχα μόνο εάν αυτά προέρχονται από ανακύκλωση ή ποιοτική αποκατάσταση. Εξαιρούνται επίσης οι εφαρμογές σε στρατιωτικές χρήσεις καθώς και οι εγκαταστάσεις κατάψυξης προϊόντων σε θερμοκρασίες κάτω των -50°C. Μια εξίσου σημαντική δέσμη απαγορεύσεων είναι αυτή που αφορά την τοποθέτηση στην αγορά νέων προϊόντων των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε φθοριούχα. Οι απαγορεύσεις, που άρχισαν από την 1/1/2015, βασίζονται στο GWP του περιεχόμενου φθοριούχου αερίου και περιγράφονται αναλυτικά στο Παράρτημα III του κανονισμού. Για τις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού οι απαγορεύσεις παρατίθενται στον Πίνακας 2.

Προϊόντα και εξοπλισμός	Ημερομηνία απαγόρευσης
Για τους μη επαναπληρούμενους περιέκτες φθοριούχων αερίων θερμοκηπίου που χρησιμοποιούνται για την επισκευή, τη συντήρηση ή την πλήρωση εξοπλισμού ψύξης, κλιματισμού ή αντλιών θερμότητας, συστημάτων πυροπροστασίας ή μεταγωγής, ή χρησιμοποιούνται ως διαλύτες	4 Ιουλίου 2007
Ανοικτά συστήματα άμεσης εξάτμισης τα οποία περιέχουν HFC και PFC ως ψυκτικά μέσα	4 Ιουλίου 2007
Ψυγεία και καταψύκτες οικιακής χρήσης που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 150	1η Ιανουαρίου 2015
Ψυγεία και καταψύκτες εμπορικής χρήσης (ερμητικά σφραγισμένος εξοπλισμός) που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 2 500	1η Ιανουαρίου 2020
Ψυγεία και καταψύκτες εμπορικής χρήσης (ερμητικά σφραγισμένος εξοπλισμός) που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 150	1η Ιανουαρίου 2022
Στατικός ψυκτικός εξοπλισμός που περιέχει ή του οποίου η λειτουργία βασίζεται σε HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 2 500, εξαιρουμένου του εξοπλισμού που προορίζεται για εφαρμογές σχεδιασμένες για την ψύξη προϊόντων σε θερμοκρασίες κάτω των – 50 °C.	1η Ιανουαρίου 2020
Κεντρικά ψυκτικά συγκροτήματα εμπορικής χρήσης, με ισχύ 40 kW ή μεγαλύτερη, τα οποία περιέχουν ή των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου με GWP τουλάχιστον 150, με εξαίρεση το πρωτεύον ψυκτικό κύκλωμα των κλιμακοειδών συστημάτων, όπου μπορούν να χρησιμοποιούνται φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου με GWP μικρότερο του 1500.	1η Ιανουαρίου 2022
Κινητός εξοπλισμός κλιματισμού αιθουσών (ερμητικά σφραγισμένα συστήματα που μπορούν να μετακινηθούν από τον τελικό χρήστη) που περιέχουν HFC με GWP μεγαλύτερο ή ίσο του 150	1η Ιανουαρίου 2020
Συστήματα κλιματισμού απλού διαιρούμενου τύπου με λιγότερο από 3 kg φθοριούχων αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία περιέχουν ή των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου με GWP τουλάχιστον 750.	1η Ιανουαρίου 2025

Πίνακας 2: : Απαγορεύσεις διάθεσης στην αγορά σύμφωνα με το άρθρο 11 του κανονισμού (ΕΚ) 517/2014

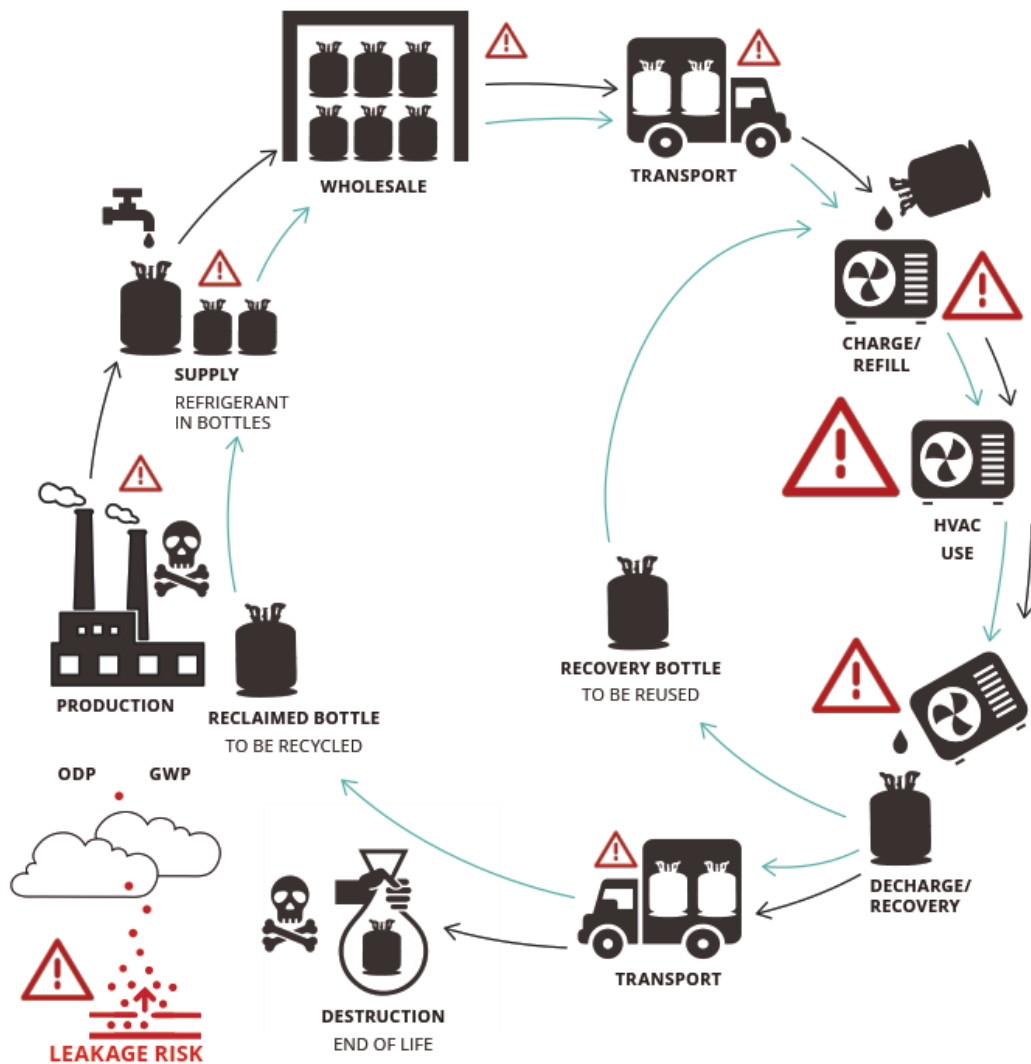
2.4 Ανάλυση κύκλου ζωής των ψυκτικών μέσων

Η υλοποίηση μιας ανάλυσης κύκλου ζωής (ΑΚΖ) ενός ψυκτικού μέσου μας δίνει τη δυνατότητα αξιολόγησης της βιωσιμότητας του και αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για τη διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ σημαντική ώστε να προσδιοριστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής.

Τα βασικά στάδια του κύκλου ζωής ενός ψυκτικού μέσου είναι:

- 1) Η παραγωγή τους
- 2) Η εγκατάσταση και η φάση λειτουργίας τους – Διαρροές
- 3) Τέλος ζωής, Διάθεση ή ανακύκλωση

Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε και σχηματικά πιο αναλυτικά τα βήματα σε όλο τον κύκλο ζωής ενός ψυκτικού υγρού.



Εικόνα 4: Ανάλυση Κύκλου Ζωής ψυκτικών μέσων (Harmot, et al., 2020)

2.4.1 Παραγωγή ψυκτικών μέσων

Το πρώτο στάδιο του κύκλου ζωής των ψυκτικών μέσων είναι η κατασκευή τους και από κει προέρχονται οι πρώτες επιπτώσεις προς το περιβάλλον. Στους 2 παρακάτω πίνακες μπορούμε να δούμε αναλυτικά για τα ψυκτικά R134a και R1234yf τις εισροές χημικών και ενέργειας που απαιτούνται για την παραγωγή τους. Ακόμα παρατίθεται πίνακας στον οποίο μπορούμε να δούμε τις επιπτώσεις που προκαλούν και άλλα ψυκτικά κατά τη φάση παραγωγής τους.

Input	GHG emission contribution (kg CO ₂ e per kg of R-134a produced)	GHG contribution (%)
Chemicals		
Trichloroethylene	0.6	11.9
Hydrogen fluoride	2.1	42.3
Process energy		
Natural gas	0.7	13.6
Electricity	1.6	32.0
Fugitive emissions	0.01	0.3
Total	5.0	100

Πίνακας 3: Εκπομπές CO₂ από την εισροή χημικών και ενέργειας κατά την παραγωγή του R134a (Anil, et al., 2013)

Input	GHG Emission Contribution (kg CO ₂ e per kg of R-1234yf produced)	GHG Contribution (%)
Chemicals		
Tetrachloroethylene	6.4	46.7
Chlorine	0.3	2.5
Methyl chloride	1.5	11.3
Hydrogen fluoride	2.2	16.3
Energy		
Natural gas	1.0	7.6
Electricity	2.1	15.4
Fugitive emissions	0.03	0.2
Total	13.7	100

Πίνακας 4: Εκπομπές CO₂ από την εισροή χημικών και ενέργειας κατά την παραγωγή του R1234yf (Anil, et al., 2013)

Ψυκτικό μέσω	Επιπτώσεις από την κατασκευή (kg CO2e/kg)
HFC-32	7,2
HFO- 1234yf	13,7
HFC-134a	5,0
HC-290	0,05
HFC-404A	16,7
HFC-410A	10,7

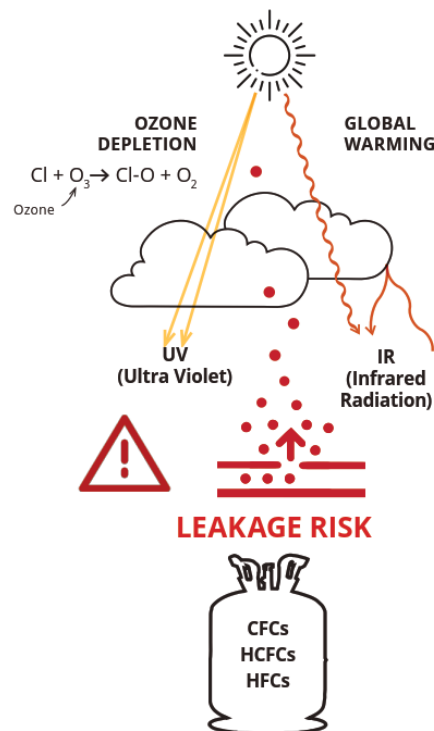
Πίνακας 5: Επιπτώσεις από την κατασκευή ψυκτικών (International Institute of Refrigeration, 2015)

2.4.2 Διαρροές ψυκτικών μέσων

Οι διαρροές ψυκτικών είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στον κύκλο ζωής τους διότι μπορούν να επηρεάσουν το περιβάλλον με 2 τρόπους:

- 1) Άμεση περιβαλλοντική επιβάρυνση από το GWP του διαρρέοντος ψυκτικού (εικόνα 5)
- 2) Έμμεση επιβάρυνση λόγω της μειωμένη απόδοσης του συστήματος που οδηγεί σε αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση.

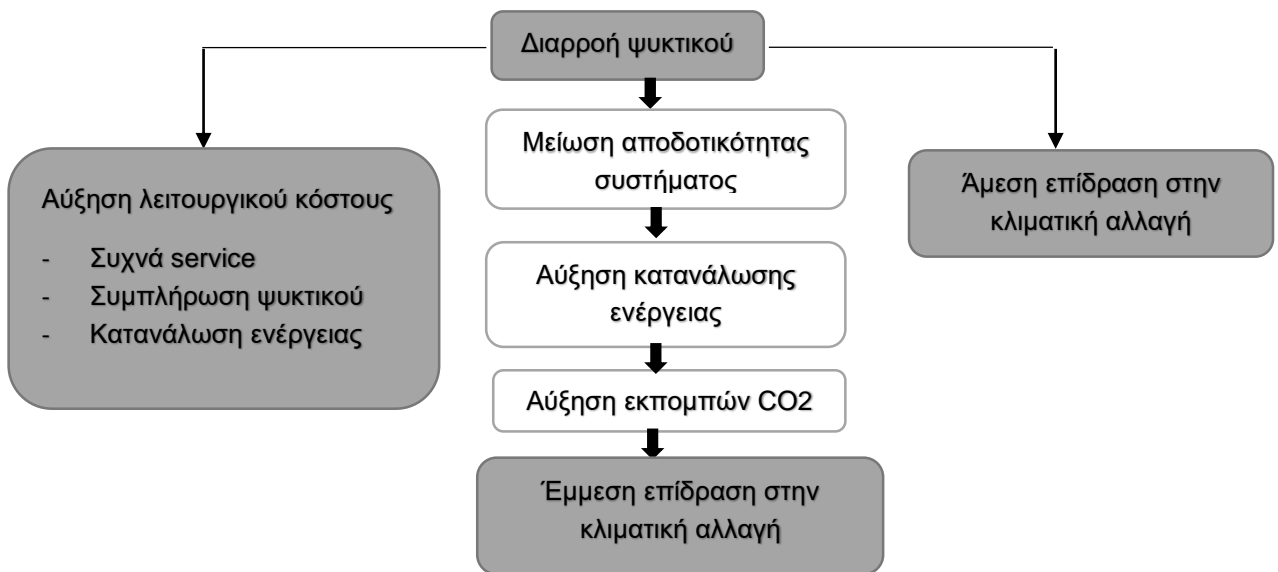
Ο ετήσιος ρυθμός διαρροής μπορεί να είναι κατά μέσω όρο 11% όμως σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει και το 30%. (Christina, et al., 2017)



Εικόνα 5: Επίδραση από τις διαρροές των ψυκτικών μέσων (Harmot, et al., 2020)

Οι αιτίες αυτών των ανεπιθύμητων απωλειών είναι:

- Από διαρροές σε αρμούς, στεγανοποιήσεις και ραγισμένες σωλήνες οι οποίες είναι δύσκολα ανιχνεύσιμες και πολλές φορές περνάνε μεγάλα χρονικά διαστήματα για να εντοπιστούν
- Καταστροφές ή φυσικές βλάβες των συστημάτων, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική απώλεια ψυκτικού σε μικρό χρονικό διάστημα.
- Απώλειες μικρών ποσοτήτων από γραμμές φόρτισης κατά τη διάρκεια συντήρησης
- Απώλεια μικρών ποσοτήτων από τμήματα σωλήνων ή άλλων εξαρτημάτων αφού έχουν γίνει όλα τα πρακτικά βήματα για την ανάκτηση του ψυκτικού. (Koronaki, et al., 2012)



Διάγραμμα 1: Άμεσες και έμμεσες εκπομπές από της διαρροές ψυκτικών (Koronaki, et al., 2012)

Το 2017 η Christina Francis et al. πραγματοποίησαν μια μελέτη γύρω από τις διαρροές ψυκτικών σε μεγάλα σουπερ μάρκετ του Ηνωμένου Βασιλείου. Η πλειοψηφία αυτών (82%) χρησιμοποιούσε το R404A ενώ τα υπόλοιπα χρησιμοποιούσαν ψυκτικά όπως το R134a και το R410A. Η έρευνα έδειξε ότι η πιο κοινή αιτία απωλειών είναι η αστοχία σε σωλήνες ή αρμούς. Επειδή η απώλεια ψυκτικού είναι αναπόφευκτη πρέπει να βρεθούν λύσεις για τη μείωση αυτής σε πολύ χαμηλά επίπεδα μέσω των βιομηχανιών, της σωστής λειτουργίας αλλά και των ειδικών που πραγματοποιούν τις συντηρήσεις των συστημάτων αυτών. (Christina, et al., 2017)

Σύμφωνα με την έρευνα της Louise Harmot αν τα επόμενα 30 χρόνια καταφέρναμε να μειώσουμε τη διαρροή ψυκτικού υγρού στο 0,4% αυτό θα εξοικονομούσε 89,7 Giga tons CO₂. (Harmot, et al., 2020)

Εκτός από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η απώλεια ψυκτικού συμβάλει και στη μείωση της αποδοτικότητας του συστήματος που οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση

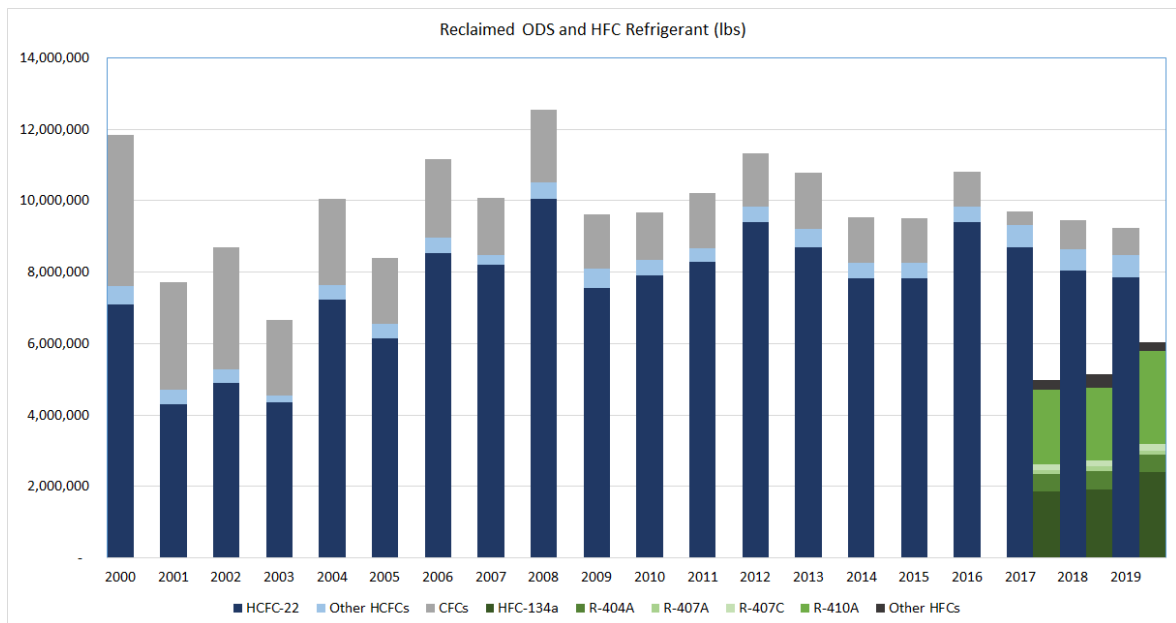
και συντήρηση που καταλήγει σε οικονομικό κόστος και αστοχία του συστήματος. Η εκτίμηση του συνολικού κόστους είναι δύσκολο να βρεθεί αλλά οι παράμετροι που συμβάλλουν σημαντικά είναι:

- 1) Το ψυκτικό μέσο
- 2) Το κόστος εργασίας για την επισκευή και επαναφόρτιση
- 3) Το πρόσθετο κόστος λειτουργίας του συστήματος λόγω της διαρροής
- 4) Η διακοπή της λειτουργίας του συστήματος

2.4.3 Τέλος ζωής ψυκτικών μέσων

Η τρίτη φάση του κύκλου και το τέλος ζωής των ψυκτικών, περιλαμβάνει την ανάκτηση από το αποκρυπτόμενο σύστημα και στη συνέχεια την καταστροφή ή ανακύκλωσή του. Είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στον κύκλο ζωής ενός ψυκτικού διότι υπάρχει η πιθανότητα λόγω κακής διαχείρισης να έχουμε επιπλέον διαρροές προς την ατμόσφαιρα.

Παρακάτω ακολουθεί διάγραμμα που απεικονίζει τις ποσότητες των διάφορων ανακτηθέντων ψυκτικών σε λίβρες από το 2000 έως το 2019 στις ΗΠΑ. Όπως μπορούμε να δούμε μέχρι το 2016 η ανάκτηση των ψυκτικών περιοριζόταν σε CFCs και HCFCs με το R22 (HCFC-22) να διαθέτει τις υψηλότερες τιμές. Από το 2017 το διάγραμμα περιλαμβάνει και HFCs.



Διάγραμμα 2: Ποσότητες ανακτηθέντων ψυκτικών στις ΗΠΑ από το 2000 έως το 2019 (EPA, 2020)

2.4.4 Δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων

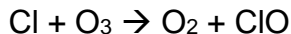
Τα ψυκτικά μέσα όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω παίζουν σημαντικό ρόλο στην καθημερινή μας ζωή, για αυτό το λόγο πρέπει να γνωρίζουμε και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούν. Για τον προσδιορισμό της επίδρασης των ψυκτικών στο στρώμα του όζοντος και του φαινομένου του θερμοκηπίου έχουν αναπτυχθεί οι παρακάτω δείκτες.

- **GWP (Global Warming Potential) – Δυναμικό Υπερθέρμανσης του Πλανήτη**

Το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη ενός αερίου αναφέρεται στη συνολική συμβολή που προκύπτει από την εκπομπή μιας μονάδας αυτού σε σχέση με τη μονάδα αναφοράς GWP=1 που είναι ένα άτομο CO₂. Για παράδειγμα εάν το R134A έχει GWP= 1300, αυτό σημαίνει ότι 1kg R134A ισοδυναμεί με 1300kg CO₂.

- **ODP (Ozone Depletion Potential) – Δυναμικό εξάντλησης του όζοντος**

Όλα τα ψυκτικά μέσα που περιέχουν χλώριο ή βρώμιο συμβάλλουν στη διάσπαση της στοιβάδας του όζοντος. Η αντίδραση που πραγματοποιείται έχει ως εξής:



Το μόριο του ClO που προκύπτει από την ένωση είναι ασταθές και διασπάται, έτσι το μόριο του χλωρίου αντιδρά ξανά με τα μόρια του όζοντος επανειλημμένα μέχρι να δημιουργηθεί μια πιο σταθερή ένωση. Το ODP είναι ο λόγος της επίδρασης στο όζον μιας χημικής ουσίας σε σύγκριση με τον αντίκυττο μια παρόμοιας μάζας CFC-11 (R11). Το σημείο αναφοράς σε αυτό το δείκτη είναι το R11 όπου έχει ODP=1. Άλλα CFCs και HCFCs έχουν ODP που κυμαίνεται από 0,01 έως 1, ενώ τα HFC έχουν μηδενικό ODP επειδή δεν περιέχουν χλώριο.

- **TEWI (Total Equivalent Warming Impact) – Συνολικές ισοδύναμες επιπτώσεις στην υπερθέρμανση**

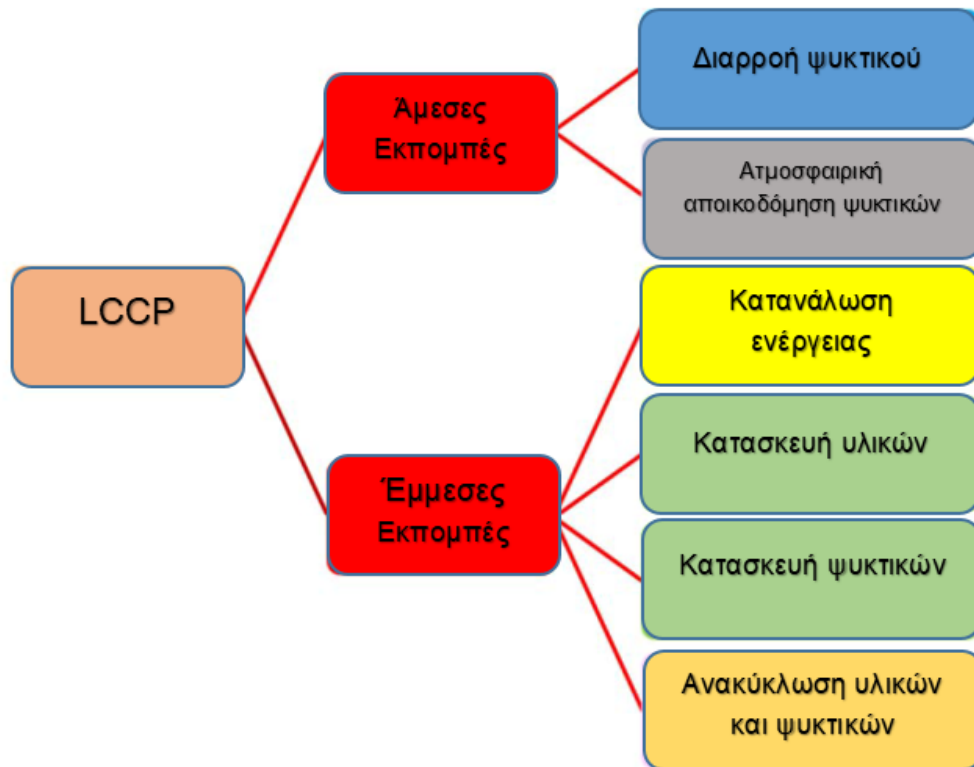
Μια άλλη μέτρηση που χρησιμοποιείται είναι οι συνολικές επιπτώσεις στην υπερθέρμανση του πλανήτη σε μονάδες μάζας σε kg ισοδύναμου CO₂ (CO₂-eq). Αυτός ο δείκτης δεν περιλαμβάνει μόνο την άμεση επίδραση του ψυκτικού στην ατμόσφαιρα (GWP) αλλά και τις επιπτώσεις που προκαλούνται κατά την παραγωγή και χρήση του στο σύστημα ψύξης. Το TEWI υπολογίζεται ως άθροισμα 2 μερών:

1) Το ψυκτικό που απελευθερώνετε κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των ενδεχόμενων απωλειών κατά την τελική διάθεση

2) Οι επιπτώσεις που προέρχονται από την κατανάλωση ενέργειας κατά τη φάση λειτουργίας του συστήματος. (Swep, 2020)

- **LCCP (Life Cycle Climate Performance) – Κλιματική απόδοση του κύκλου ζωής**

Το LCCP είναι μια μέθοδο αξιολόγησης με την οποία εκτιμάται το αντίκτυπο στην υπερθέρμανση του πλανήτη κάποιων συστημάτων(πχ. ψυγείων και κλιματιστικών) κατά τη διάρκεια όλου του κύκλου ζωής τους. Το LCCP είναι το άθροισμα των άμεσων και έμμεσων εκπομπών που παράγονται κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος. Στο διάγραμμα παρακάτω μπορούμε να δούμε αναλυτικά τις άμεσες και έμμεσες εκπομπές των ψυκτικών.



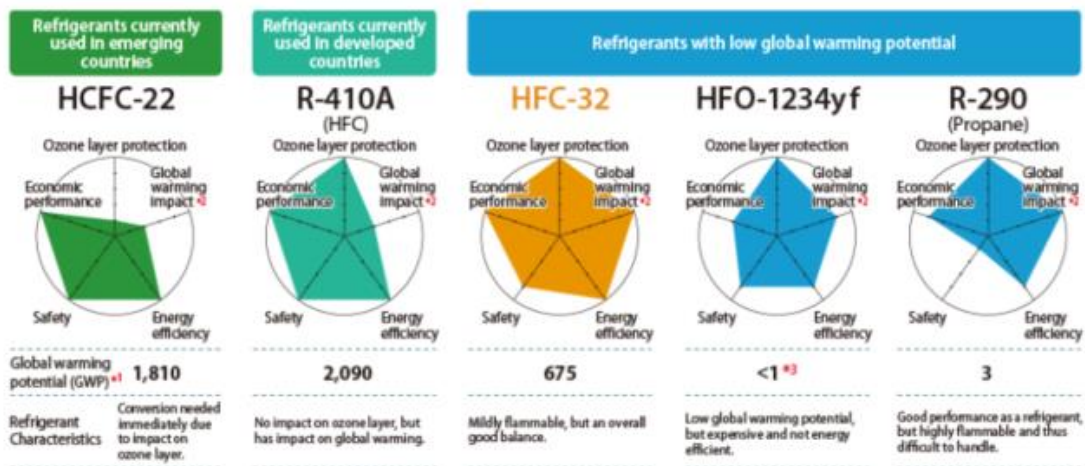
Διάγραμμα 3: Στοιχεία για την απόδοση κύκλου ζωής (International Institute of Refrigeration, 2015)

2.4.5 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ψυκτικών μέσων

Με την αυξανόμενη ζήτηση σε συσκευές κλιματισμού παγκοσμίως, μεγαλώνει και ο προβληματισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ψυκτικών μέσων με αποτέλεσμα η επιστημονική κοινότητα να προσπαθεί να ανακαλύψει βιώσιμες λύσεις. Έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες μελέτες ώστε να βρεθούν εναλλακτικά ψυκτικά μέσα υψηλής απόδοσης αλλά φιλικά προς το περιβάλλον. Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε τη σύσταση, το GWP και ODP για κάποια από τα χρησιμοποιούμενα ψυκτικά μέσα.

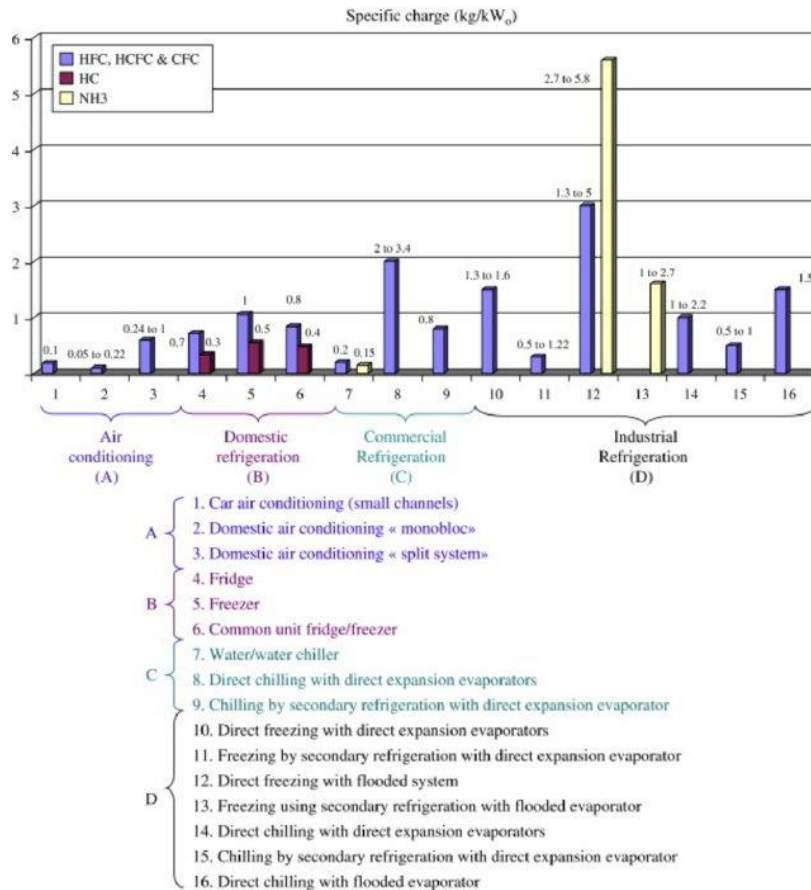
Όνομα	Φόρμουλα και αναλογία κάθε συστατικού για το μίγμα	GWP	ODP	Safety group
CFCs				
R11	CCl ₃ F	4660	1	A1
R12	CCl ₂ F ₂	10200	1	A1
R113	CCl ₂ FCClF ₂	5820	0.8	A1
R114	CClF ₂ CClF ₂	8590	1	A1
R115	CClF ₂ CF ₃	7670	0.6	A1
HCFCs				
R22	CHClF ₂	1760	0.055	A1
R123	CHCl ₂ CF ₃	79	0.02	B1
R124	CHClF ₂ CF ₃	527	0.022	A1
R142b	CH ₃ CClF ₂	1980	0.065	A2
HFCs				
R23	CHF ₃	12400	0	A1
R32	CH ₂ F ₂	677	0	A2L
R125	CHF ₂ CF ₃	3170	0	A1
R134a	CF ₃ CH ₂ F	1300	0	A1
R143a	CH ₃ CF ₃	4800	0	A2
R404A		3260	0	A1
R410A	R32 (50%) R125 (50%)	1900	0	A1
R152A	CH ₃ CHF ₂	138	0	A2

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά των ευρέως χρησιμοποιούμενων ψυκτικών (Animesh, et al., 2018)



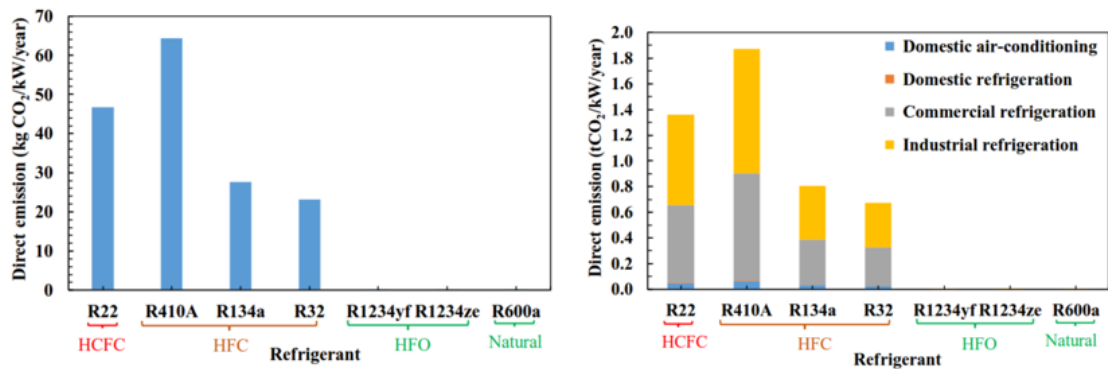
Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ψυκτικών μέσων (Animesh, et al., 2018)

Μέσα από την μελέτη των Animesh Pal et al. μας δίνεται η δυνατότητα να δούμε το ποσό ειδικής χρέωσης (kg/kW) για συστήματα διαφορετικών εφαρμογών που χρησιμοποιούν διάφορα ψυκτικά μέσα. Εύκολα μπορούμε να παρατηρήσουμε τις μεγάλες διαφορές στα ποσοστά αρχικής φόρτισης. (Animesh, et al., 2018)



Διάγραμμα 4: Είδος και ποσότητα ψυκτικού που χρησιμοποιείτε σε διαφορετικές (Animesh, et al., 2018)

Στο παρακάτω διάγραμμα (στα αριστερά) βλέπουμε αρχικά τα ποσοστά εκπομπών CO₂ ανά kW/έτος για τα οικιακά κλιματιστικά. Το R32 έχει τις λιγότερες εκπομπές σε σχέση με τα υπόλοιπα HFC ενώ τα πολλά υποσχόμενα ψυκτικά HFO και φυσικά έχουν σχεδόν μηδενικές εκπομπές. Στο διάγραμμα που βρίσκεται στα δεξιά έχουμε μια σύγκριση των άμεσων εκπομπών από τα διάφορα συστήματα. Τα συστήματα συμβάλλουν σημαντικά στις άμεσες εκπομπές λόγω του υψηλού ρυθμού διαρροής και της μεγάλης αρχικής ποσότητας φόρτισης ψυκτικού.



Διάγραμμα 5: Άμεσες εκπομπές από τα ψυκτικά των οικιακών κλιματιστικών (αριστερά) και σύγκριση άμεσων εκπομπών στα διάφορα συστήματα (δεξιά) (Animesh, et al., 2018)

Επί του παρόντος το R410A είναι το συνηθέστερο ψυκτικό μέσο στα κλιματιστικά. Σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από την Daikin μια από τις μεγαλύτερες εταιρείες κατασκευής κλιματιστικών στον κόσμο ανέφερε ότι εάν όλα τα κλιματιστικά που χρησιμοποιούν R410A μετατραπούν σε R32 ο αντίκτυπος στην υπερθέρμανση του πλανήτη από τα HFC το 2030 θα είχε ελαχιστοποιηθεί 800 εκατομμύρια τόνος ισοδύναμου CO₂ σε σύγκριση με συνεχόμενη χρήση του R410A. Αναφέρετε ακόμα ότι αν στις αναπτυγμένες και αναδυόμενες χώρες μετατραπεί το R410A και το R404A σε R32 η παγκόσμια επίδραση της θερμοκρασίας θα μειώνονταν κατά περίπου 46%. (Daikin, 2021)

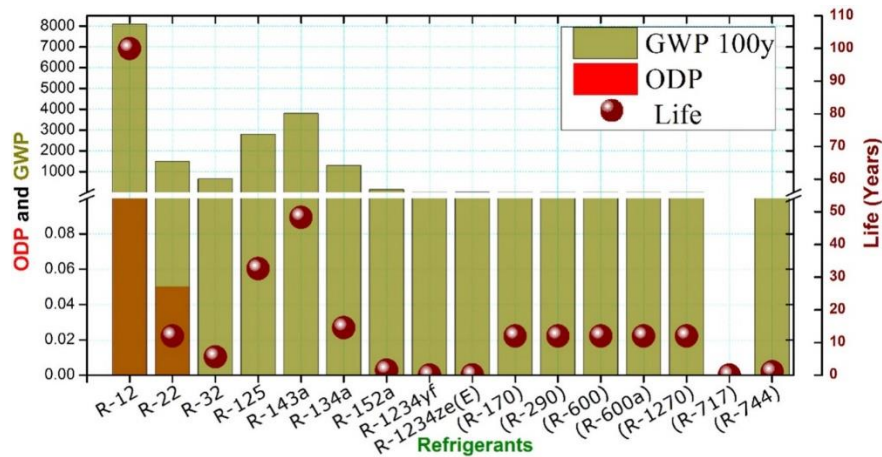
	Ozone Depletion Potential (ODP)	100 Year Global Warming Potential of Different Refrigerants* ¹
R12 (CFC)	1.0	10,900
R22 (HCFC)	0.055	1,810
R410A (HFC)	0	2,090
R32 (HFC)	0	675

Εικόνα 7: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τάσεις ψυκτικών στον κλιματισμό (Daikin, 2021)

Το ψυκτικό υγρό R32 είναι αυτό που λαμβάνει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον το τελευταίο διάστημα διότι επιφέρει λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις αλλά ακόμα μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας έως περίπου 10%, που σημαίνει ότι συνολικά στο κύκλο ζωής του μπορεί να μειώσει κατά πολύ τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα συστήματα κλιματισμού και ψύξης. Βέβαια τα νέα ψυκτικά απαιτούν δοκιμή και τροποποίηση των συστημάτων για τη σωστή λειτουργία τους.

Ένα διάγραμμα από τη έρευνα των Naeem Abas et al. το 2018 παρουσιάζει το GWP 100years, το ODP καθώς και την διάρκεια ζωής διάφορων ψυκτικών στην

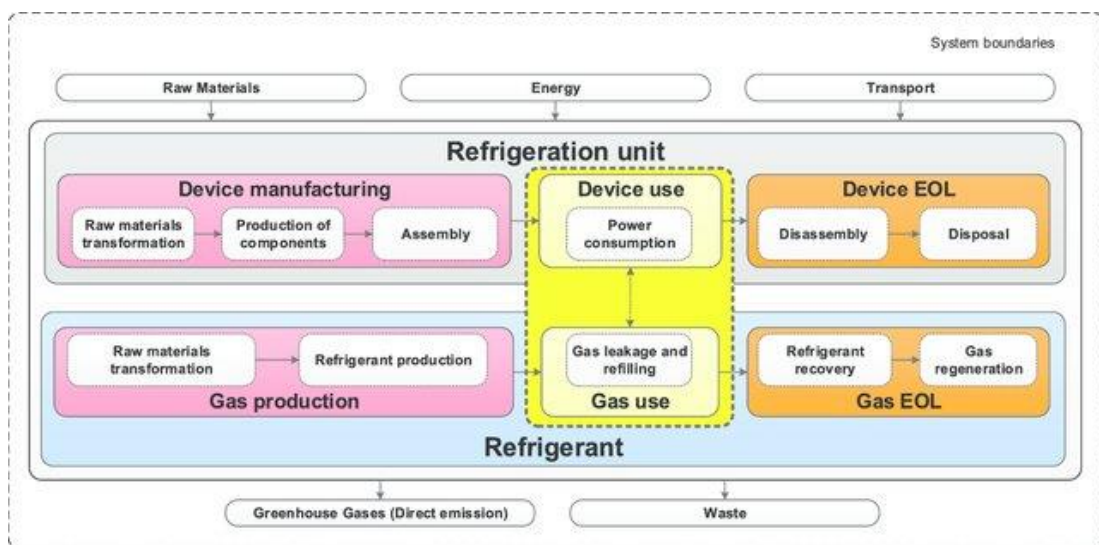
ατμόσφαιρα. Ο προσδιορισμός του χρόνου ζωής τους έχει προκύψει από το ρυθμού αντιδράσεων των ατόμων χλωρίου στην ατμόσφαιρα. Μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε τη μεγάλη διαφορά στο χρόνο ζωής του R12 σε σχέση με τα υπόλοιπα ψυκτικά.



Διάγραμμα 6: GWP 100years, ODP και χρόνος ζωής κάποιων ψυκτικών (Naeem Abas, 2018)

Οι Alessandro Cascini et al. το 2013 πραγματοποίησαν μια εκτενή μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλεί ένα εμπορικό σύστημα ψύξης. Για κάθε ένα από τα 2 «υποσυστήματα» (ψυγείο και ψυκτικό μέσο) διακρίνονται οι φάσεις: κατασκευής, χρήσης και τέλος ζωής τους (εικόνα 8).

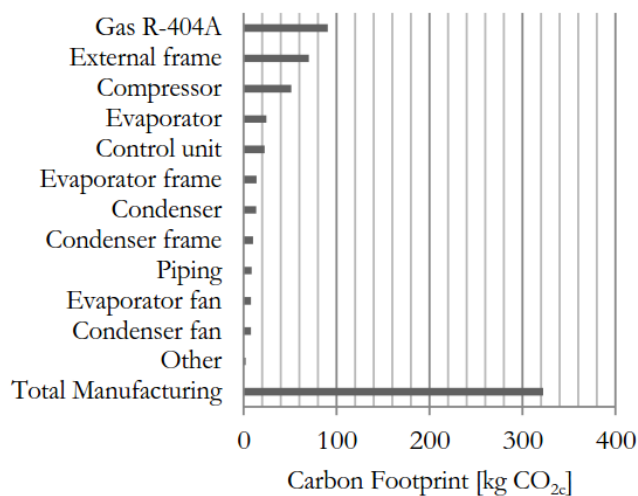
Στη φάση χρήσης εμπεριέχεται και η απόδοση του ψυγείου η οποία επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του ψυκτικού καθώς επίσης και ο ρυθμός διαρροής του ψυκτικού μέσου.



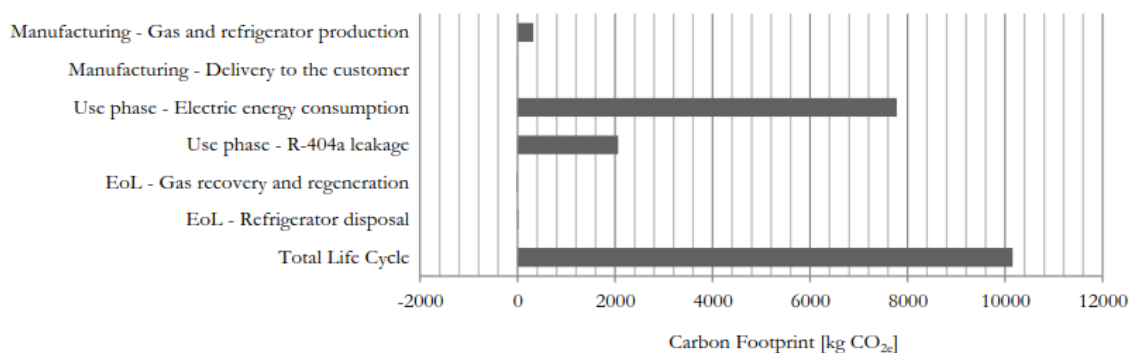
Εικόνα 8: Σχηματική απεικόνιση των 3 φάσεων στα δύο υποσυστήματα (ψυγείο και ψυκτικό μέσο) (Cascini, et al., 2016)

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την έρευνα των Alessandro Cascini et al. είχε αρχικά το αποτύπωμα άνθρακα κατά τη φάση κατασκευής (διάγραμμα 7) και στη συνέχεια στο διάγραμμα 8 μια συνολική εκτίμηση σε όλο τον κύκλο ζωής (15 έτη) του συστήματος.

Από τα αποτελέσματα του διαγράμματος 7 προκύπτει ότι εντός των παραγωγικών διαδικασιών η παραγωγή του ψυκτικού μέσου, στην περίπτωση των Alessandro Cascini et al., το R-404a επιφέρει την μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Στο διάγραμμα 8 όμως, το 76,6% του συνολικού αποτυπώματος άνθρακα προέρχεται από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος σε όλο τον κύκλο ζωής του. Επίσης, η διαρροή του ψυκτικού παίζει σημαντικό ρόλο και ευθύνεται για το 20,2% των συνολικών εκπομπών CO₂.



Διάγραμμα 7: Συνολικό αποτύπωμα άνθρακα από την κατασκευή ενός εμπορικού συστήματος ψύξης (Cascini, et al., 2016)



Διάγραμμα 8: Αποτύπωμα άνθρακα για όλο τον κύκλο ζωής ενός συστήματος εμπορικής ψύξης (Cascini, et al., 2016)

Μια αντίστοιχη έρευνα που υλοποιήθηκε από τους Mianqiang Xue et al. το 2019, εστιάζει στις 3 σημαντικές φάσεις των ψυκτικών μέσων στο κύκλο ζωής τους και ανέπτυξε διάφορα σενάρια γύρω από αυτά. Οι 3 φάσεις του κύκλου ζωής των ψυκτικών μέσων όπως αναφέραμε και παραπάνω είναι:

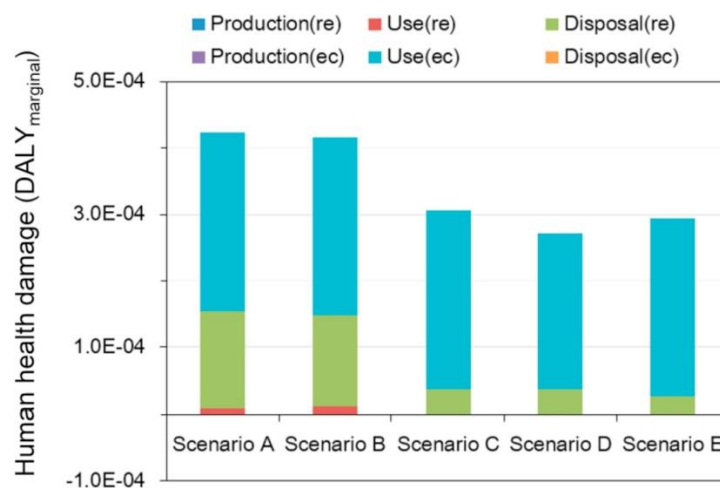
- 1) Η παραγωγή τους
- 2) Η φάση λειτουργίας τους
- 3) Η τελική διάθεση τους.

Τα αποτελέσματα από την έρευνα που υλοποίησαν οι Mianqiang Xue et al. το 2019, έδειξαν ότι η ανθρώπινη υγεία επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό από την κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με τις επιπτώσεις από τις εκπομπές των ψυκτικών. Παρακάτω μπορούμε να δούμε ένα διάγραμμα που διαχωρίζει τις εκπομπές των ψυκτικών μέσων και της κατανάλωσης ενέργειας κατά τις φάσεις παραγωγής, λειτουργίας και διάθεσης για 5 διαφορετικά σενάρια που μελετήθηκαν τα οποία φαίνονται στην εικόνα 9.

Στα 5 σενάρια που μελετήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικά ψυκτικά μέσα (R22, R410a, R32) με COP 6,1 και 7 στο τέταρτο σενάριο που αφορά το ανώτατο όριο COP. Τέλος, στο πέμπτο σενάριο η αλλαγή που πραγματοποιήθηκε αναφερόταν στην αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης από 26,7% σε 50%. Από τα αποτελέσματα εύκολα διακρίνουμε τα καλύτερα αποτελέσματα του R32 σε σχέση με το R22 και R410a ενώ το καλύτερο σενάριο ήταν αυτό όπου το COP του ψυκτικού ήταν 7. Ακόμα στο 5 σενάριο όπου αυξήθηκε το ποσοστό της ανακύκλωσης παρατηρήθηκε η μικρότερη επιβάρυνση από το ψυκτικό, καταλήγοντας στο πόσο σημαντική είναι η σωστή διαχείριση του ψυκτικού. (Mianqiang Xue, 2019)

Coordinate	Driving forces	A	B	C	D	E
X	refrigerant	R-22	R-410a	R-32	R-32	R-32
Y	COP	6.1	6.1	6.1	7	6.1
Z	recycling rate	26.7%	26.7%	26.7%	26.7%	50%

Εικόνα 9: Σενάρια που μελετήθηκαν στην έρευνα των Mianqiang Xue et al. (Mianqiang Xue, 2019)



Εικόνα 10: Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία από 1) (re) ψυκτικά μέσα και 2) (ec) την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Mianqiang Xue, 2019)

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία

3.1 Περιγραφή των εξεταζόμενων ψυκτικών μέσων

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν 3 από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα ψυκτικά μέσα. Παρακάτω θα περιγράψουμε κάποιες από τις ιδιότητες αυτών.

Το R22 είναι μια απλή ένωση υδροχλωροφθοράνθρακα (HCFC) η οποία χρησιμοποιούνταν κυρίως για κλιματισμό.

Κάποιες από τις ιδιότητες του είναι:

- ODP =0,05 και GWP= 1700
- Βρίσκεται στη A1 κατηγορία ασφάλειας της ASHRAE
- Είναι ασφαλή στη χρήση του και δεν είναι εύφλεκτο
- Το σημείο βρασμού είναι -40,8 °C
- Κρίσιμη θερμοκρασία είναι 96,2 °C
- Το μοριακό βάρος του είναι 86,5

Ένα ακόμα ψυκτικό που θα μελετήσουμε είναι το R134A όπου είναι ένας υδροφθοράνθρακας (HFC) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οικιακές, εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές καθώς για κλιματιστικά και αντλίες θερμότητας. Το R134A ήταν το ψυκτικό υγρό σε συστήματα κλιματισμού αυτοκινήτων και γεωργικών μηχανημάτων.

Οι φυσικές ιδιότητες του είναι:

- Βρίσκεται στη A1 κατηγορία ασφάλειας της ASHRAE
- Είναι ασφαλή στη χρήση του και δεν είναι εύφλεκτο
- Το σημείο βρασμού είναι -26,06 °C
- Κρίσιμη θερμοκρασία είναι 108,08 °C
- Το μοριακό βάρος του είναι 102,03

Το R32 (CH₂F₂) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οικιακές και εμπορικές εφαρμογές κλιματισμού. Το R32 λόγω του ότι έχει πολύ μικρότερο GWP από το R410A θεωρείται πιο φιλικό προς το περιβάλλον έτσι είναι ο αντικαταστάτης του.

Οι φυσικές ιδιότητες του είναι:

- ODP =0 και GWP= 650
- Βρίσκεται στη A2L κατηγορία ασφάλειας της ASHRAE
- Ήπια εύφλεκτο
- Το σημείο βρασμού είναι -51,65 °C
- Κρίσιμη θερμοκρασία είναι 78,4 °C
- Το μοριακό βάρος του είναι 52,02

3.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής

3.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Με την ευαισθητοποίηση όλο και μεγαλύτερου μέρους του πληθυσμού σε θέματα που αφορούν το περιβάλλον, η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αποτελεί πια μείζον θέμα. Μέχρι τώρα η βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων γινόταν με μοναδικό στόχο το κέρδος. Παράγοντες όπως η ελάττωση των ρύπων και η διαχείριση των αποβλήτων στις παραγωγικές μονάδες συνθέτουν πια σημαντικές λειτουργίες για τις βιομηχανίες.

Μια από τις πλέον πολλά υποσχόμενες συστηματικές προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό και την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αποτελεί η λεγόμενη Ανάλυση Κύκλου Ζωής – ΑΚΖ (Life Cycle Analysis - LCA). Η ΑΚΖ είναι μια ολοκληρωμένη μέθοδος ποσοτικοποίησης υλικού και ενεργειακών εισροών, όπου μας δίνει την δυνατότητα να λάβουμε υπόψη όλα τα στάδια του κύκλου ζωής. Η ΑΚΖ είναι σύμφωνη με το ISO 14040, ISO 14044 και τις πρότυπες κατευθυντήριες γραμμές από την Task 12 της IEA. Εφαρμόζοντας μια ΑΚΖ, οι εταιρείες προσδιορίζουν τις υπάρχουσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας παραγωγικής διαδικασίας, με σκοπό τη μείωση αυτών και την περαιτέρω βελτίωση και ανταγωνιστικότητα των προϊόντων. Αν και η ΑΚΖ είναι μια σχετικά νέα έννοια, έχει βοηθήσει αρκετά στο να ελαχιστοποιηθούν τα παραγόμενα απόβλητα και επίσης έχει συνεισφέρει στη γενική μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε αρκετές διεργασίες (Fthenakis & Kim, 2011).

Η ΑΚΖ αποτελεί πολύτιμο εργαλείο για:

- Την παροχή τρόπου προσδιορισμού των αλλαγών που προκύπτουν από μετατροπές του σχεδιασμού ενός προϊόντος, των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών και διάφορων άλλων διαχειριστικών επιλογών.
- Τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων με αναφορικά στοιχεία που θα αποτελέσουν μέτρο σύγκρισης μελλοντικών τροποποιήσεων.
- Τον ποσοτικό προσδιορισμό και την παρακολούθηση της καταναλισκόμενης ενέργειας και των εκπομπών που δημιουργούνται κατά τη κατασκευή ενός προϊόντος (Γιδαράκος, 2005)

Ο όρος «Ανάλυση Κύκλου Ζωής» χρησιμοποιείται όλο και πιο συχνά στις βιομηχανίες, γι' αυτό είναι σημαντική η κατανόηση της διαδικασίας.

Η SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry) έχει ορίσει την ΑΚΖ σαν «μια τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, εκτιμώντας τις επιπτώσεις από την χρήση της ενέργειας και των υλικών καθώς και των αποβλήτων, αναγνωρίζοντας και εκτιμώντας τις δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων». (Κορνελάκη, 2009)

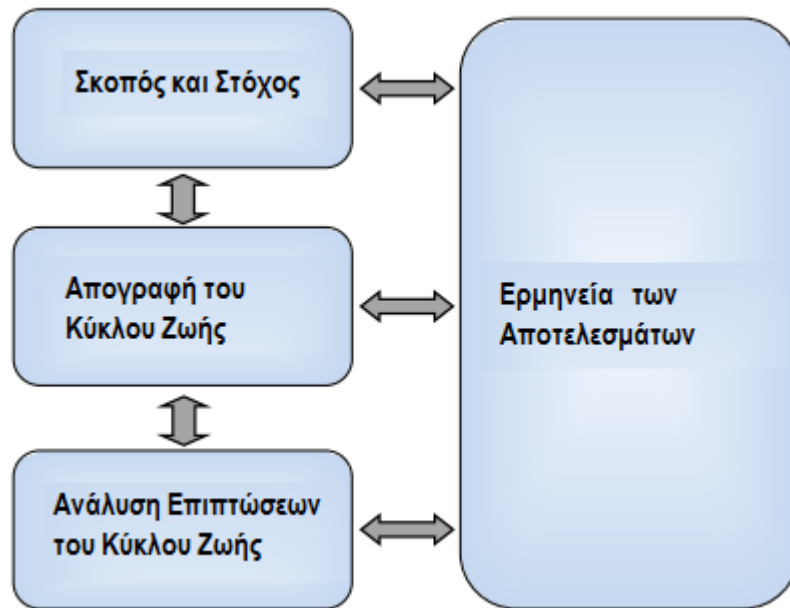
3.2.2 Σκοπός της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Η ΑΚΖ αποτελεί ένα βασικό εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων. Συμβάλλει στην πρόληψη της ρύπανσης, στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων και γενικά στη βιώσιμη ανάπτυξη. Είναι μια μεθοδική προσέγγιση και αποτίμηση, παρακολουθώντας όλο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, από τη συλλογή των πρώτων υλών μέχρι την τελική διάθεσή του προϊόντος. Εξετάζει μέσω εναλλακτικών σεναρίων την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης για την προστασία του περιβάλλοντος. Επίσης, παρουσιάζεται μια αποτίμηση (1) των σχετικών αποβλήτων που παράγονται, (2) των επιρροών στην ανθρώπινη υγεία και (3) των οικολογικών επιβαρύνσεων. Τέλος, αξιολογεί τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις εκπομπές αερίων, παρέχοντας έτσι μια διευκόλυνση στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων και στη λήψη των αποφάσεων, με σκοπό τη βελτίωση και την ανταγωνιστικότητα των προϊόντων.

3.2.3 Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Σύμφωνα με τη SETAC η ΑΚΖ αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια (εικόνα 3.8):

- Σκοπός και Στόχος (Scope and Goal): Προσδιορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης
- Απογραφή του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Inventory): Αναλυτική απογραφή των δεδομένων
- Ανάλυση Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment): Προσδιορισμός και εκτίμηση των επιπτώσεων που προκύπτουν από τη χρήση πρώτων υλών και ενέργειας, και των εκπομπών ρύπων προς το περιβάλλον
- Αποτίμηση - Ερμηνεία των Αποτελεσμάτων (Data Interpretation): Εύρεση εναλλακτικών δυνατοτήτων για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων (Κορνελάκη, 2009)



Εικόνα 11: Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Ραγκούσης, 2016)

❖ **Σκοπός και στόχος**

Το πρώτο στάδιο καθορίζεται από το σκοπό, το αντικείμενο, τη μελλοντική εφαρμογή της μελέτης (που επηρεάζει άμεσα τις απαιτήσεις της τελικής αναφοράς) και τον καθορισμό της λειτουργικής μονάδας. Η λειτουργική μονάδα ορίζεται συνήθως ως ένα κομμάτι του προϊόντος, μια παροχής συγκεκριμένης λειτουργίας ή μια συγκεκριμένη ποσότητα (π.χ. 1 kg ψυκτικού μέσου)

❖ **Απογραφή του Κύκλου Ζωής**

Στη συνέχεια, συλλέγονται και παρουσιάζονται όλα τα δεδομένα εισόδου – εξόδου του υπό εξέτασης συστήματος σε όλα τα στάδια του. Από τη μία πλευρά, δεδομένα εισόδου θεωρούνται όλες οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν, όπως επίσης και η ενέργεια που δαπανήθηκε. Από την άλλη, ως δεδομένα εξόδου καλούνται οι αέριες εκπομπές, τα απόβλητα κ.α..



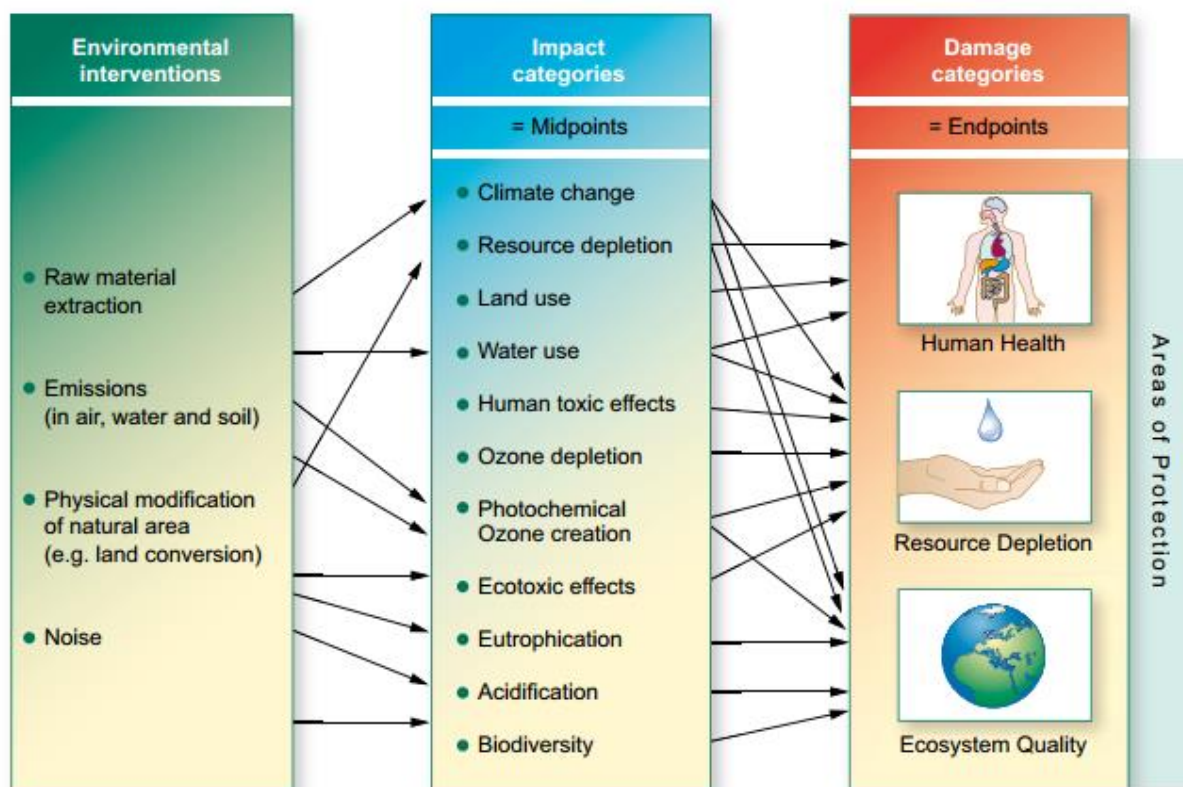
Εικόνα 12: Οριοθέτηση του συστήματος (Κορνελάκη, 2009)

❖ Ανάλυση Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής

Ένα ακόμα σημαντικό στάδιο της ΑΚΖ είναι η ανάλυση των επιπτώσεων. Σε αυτό το στάδιο, κατατάσσονται οι εκπομπές που προκαλούνται στον κύκλο ζωής και οι οποίες ανάλογα με την συμβολή τους στις κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (π.χ. την υπερθέρμανση του πλανήτη) χαρακτηρίζονται και με τη σχέση τους ως προς τη μονάδα αναφοράς (π.χ. σε kg CO₂).

Η χρήση περιβαλλοντικών δεικτών βοηθάει στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διακρίνεται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Ανθρώπινη υγεία (π.χ. Εισπνοή οργανικών και ανόργανων ενώσεων)
- Ποιότητα οικοσυστήματος (π.χ. Κλιματική αλλαγή)
- Φυσικοί πόροι (π.χ. Μείωση πρώτων υλών)



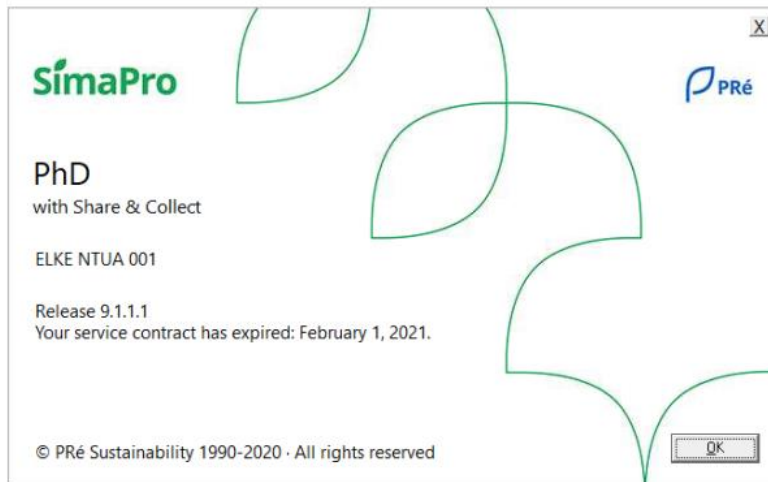
Εικόνα 13: Ενδεικτική περιγραφή επιπτώσεων σε διάφορα συστήματα κατά τον Κύκλο Ζωής τους (UNEP, 2011)

❖ Αποτίμηση – Ερμηνεία

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό της βελτίωσης του προϊόντος αλλά και την μείωση των απρόβλεπτων επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Επίσης, μπορεί να συγκριθεί με άλλες μελέτες ανάλυσης κύκλου ζωής, ώστε να βγουν τα τελικά συμπεράσματα. (Ραγκούσης, 2016)

3.3 Περιγραφή του λογισμικού

3.3.1 Εισαγωγή στο SimaPro



Εικόνα 14: Αρχική εικόνα του λογισμικό *SimaPro* που χρησιμοποιήθηκε

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα ΑΚΖ είναι το SimaPro 9 (System for Integrated environMental Assessment of PROducts), το οποίο δημιουργήθηκε και διατίθεται από την Ολλανδική εταιρεία Pre Consultants. Είναι διεθνώς αναγνωρισμένο και ευρέως διαδεδομένο εργαλείο για την ΑΚΖ, ενώ είναι ένα επικυρωμένο εργαλείο από Πανεπιστήμια και Ερευνητικά Κέντρα.

Το λογισμικό αυτό παρέχει μεγάλο όγκο δεδομένων, τα οποία βρίσκονται κατανεμημένα σε ξεχωριστές βιβλιοθήκες, προσφέροντας έτσι τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα. Ακόμη μια ιδιότητα του λογισμικού αυτού είναι ότι τα αποτελέσματα που εξάγονται στα αρχικά στάδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επόμενες διαδικασίες. Ο χρήστης έχει στη διάθεσή του διάφορα εργαλεία τα οποία του προσφέρουν τη δυνατότητα να προσδιορίσει με περισσότερη ακρίβεια τον κύκλο ζωής του προϊόντος, προσθέτοντας τα σημαντικότερα δεδομένα. Παράλληλα, παρουσιάζονται σε ραβδογράμματα και πίνακες οι σημαντικότερες πληροφορίες που λαμβάνονται από τα αποτελέσματα (π.χ. σημαντικότερες εκπομπές). Δηλαδή μέσω της επιλογής των ορίων που κάνει ο χρήστης μπορεί να αποφύγει την παρουσίαση δεδομένων εξόδου με πολλή μικρή συνεισφορά στο περιβαλλοντικό φορτίο. Τα δεδομένα εξόδου κατατάσσονται ανάλογα με τον αποδέκτη εκπομπών (εκπομπές σε υδάτινο περιβάλλον, εκπομπές στην ατμόσφαιρα, εκπομπές στο έδαφος) και ανάλογα με τον αποδέκτη αποβλήτων. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με διάφορους τρόπους, δίνοντας τη δυνατότητα να εμφανίζονται μόνο τα αποτελέσματα που συνεισφέρουν σε μια συγκεκριμένη κατηγορία ευρείας επίδρασης.

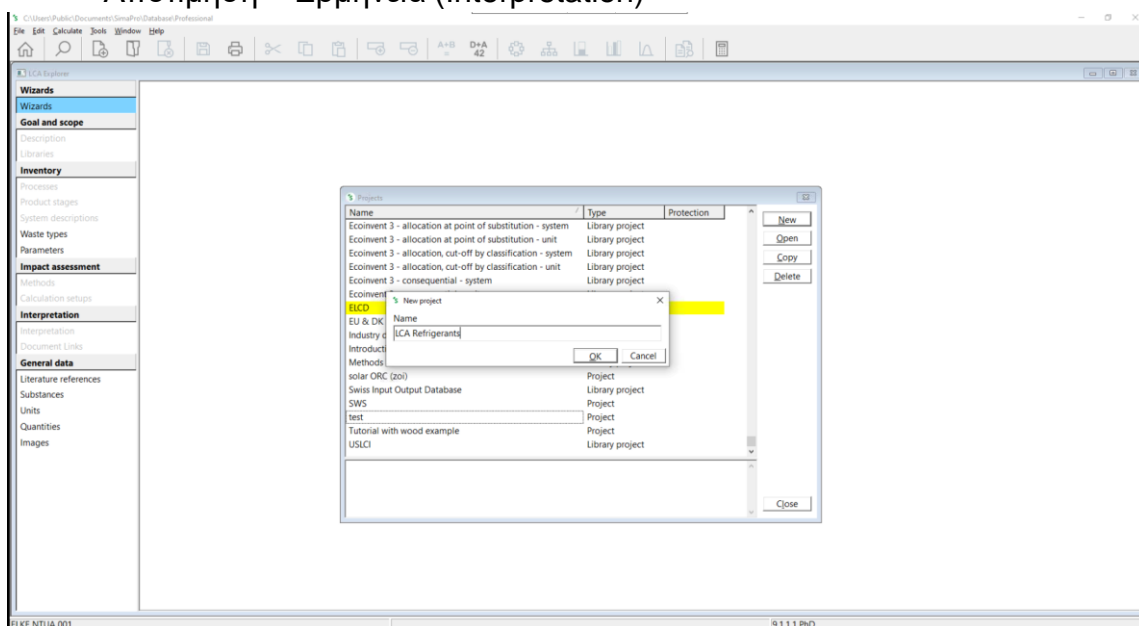
Τα κύρια χαρακτηριστικά του λογισμικού αυτού είναι:

- Ένα διαισθητικό περιβάλλον διεπαφής με το χρήστη καθοδηγεί μέσα από μια εξορθολογισμένη ή βασισμένη στο ISO 14040 AKZ.
- Εύκολη μοντελοποίηση με δυνατά εργαλεία.
- Διάφορες βάσεις δεδομένων απογραφής και μέθοδοι αξιολόγησης επιδράσεων προς επιλογή.
- Κατανομή πολλαπλών διαδικασιών των εξαγομένων.
- Διαφάνεια, εύκολη ανάδραση.
- Ανάλυση αδύναμων στοιχείων αναγνώριση των «hot spots» στον κύκλο ζωής χρησιμοποιώντας το δέντρο της διαδικασίας.
- Φιλτράρισμα επιλογών διαθέσιμων για όλα τα αποτελέσματα.
- Ανάλυση πολύπλοκης διαχείρισης αποβλήτων και σεναρίων ανακύκλωσης.
- Monte Carlo ανάλυση για αβεβαιότητα δεδομένων.

3.3.2 Ξεκινώντας στο SimaPro

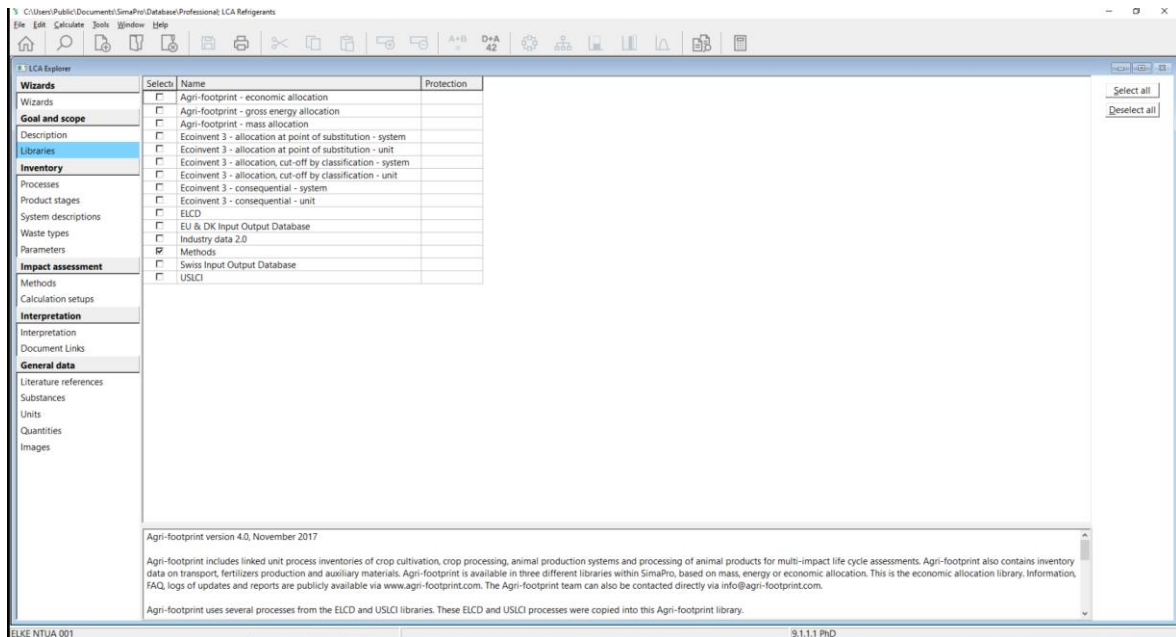
Κατά την εκκίνηση του λογισμικού ζητείται είτε να ανοιχτεί ένα έργο ή μια βιβλιοθήκη, είτε να δημιουργηθεί ένα νέο έργο (Εικόνα 15). Ανοίγοντας ένα νέο έργο έχουμε τη δυνατότητα να αποθηκευτούν τα δεδομένα που απαιτούνται και να συναρμολογηθούν τα προϊόντα ή οι διεργασίες που θα μελετηθούν. Επίσης στην εικόνα 15 στα αριστερά φαίνονται τα στάδια του λογισμικού που είναι ίδια με εκείνα της AKZ όπως παρατίθενται παρακάτω:

- Σκοπός και Στόχος (Scope and Goal)
- Απογραφή (Inventory)
- Ανάλυση Επιπτώσεων (Impact Assessment)
- Αποτίμηση – Ερμηνεία (Interpretation)



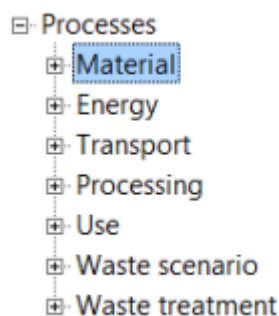
Εικόνα 15: Γενικό περιβάλλον του SimaPro και εισαγωγή νέου έργου

Οι βιβλιοθήκες περιλαμβάνουν κάποια συγκεκριμένα δεδομένα που παρέχονται από το SimaPro και όπως παρατηρείτε στην εικόνα 16 υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγθούν όσες θεωρούνται απαραίτητες για το εκάστοτε έργο.

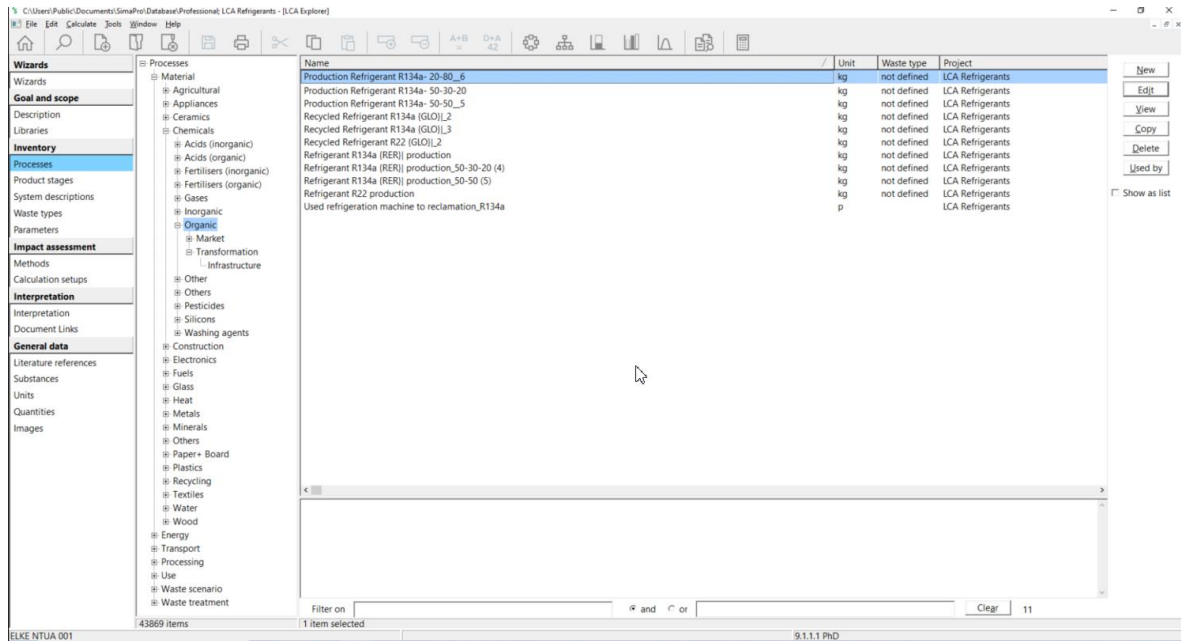


Εικόνα 16: Οι διαθέσιμες βιβλιοθήκες του χρήστη

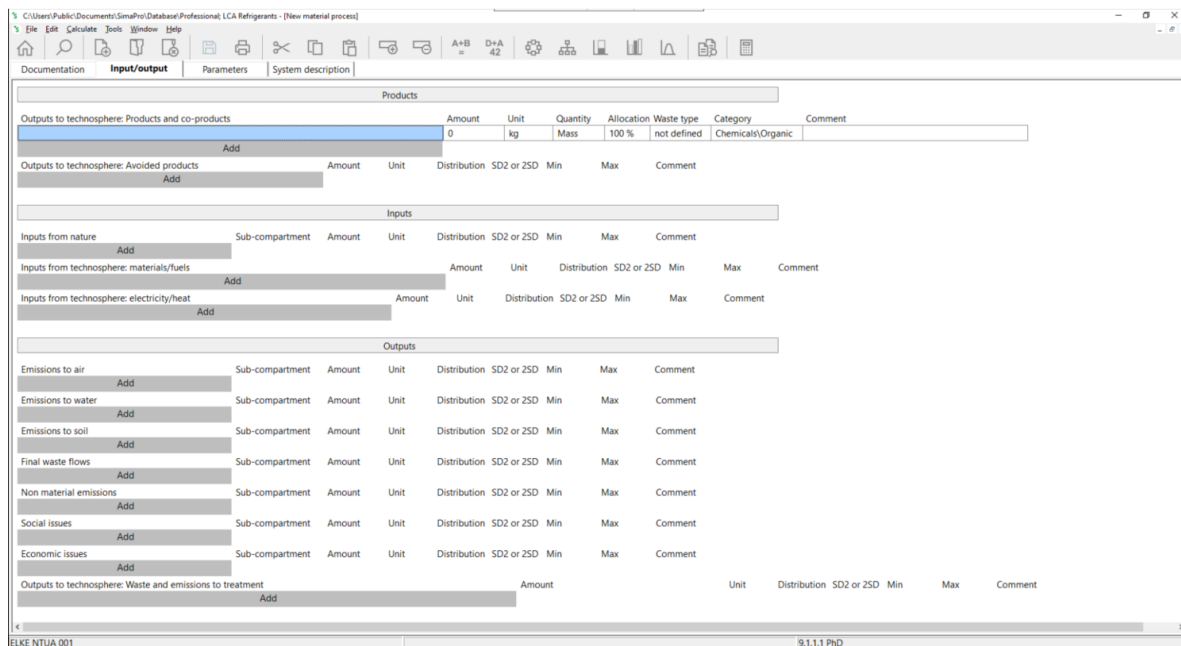
Πηγαίνοντας στην απογραφή υπάρχει μια καρτέλα που ονομάζεται διαδικασίες (Process), πατώντας εκεί ανοίγουν διάφορες επιλογές όπως υλικά, μεταφορές, ενέργεια κ.α. (εικόνα 17). Από εκεί πηγαίνοντας στην κατάλληλη επιλογή, για παράδειγμα στην δικιά μας περίπτωση για το ψυκτικό μέσο R134A πήγαμε: υλικά→ Χημικά→ οργανικά (material → chemicals → organic) και πατώντας πάνω δεξιά την επιλογή “νέο” δημιουργήσαμε ένα νέο προϊόν τοποθετώντας όλα τα υλικά, ενέργεια, μεταφορές κ.α. που απαιτούνται. (εικόνα 18 και εικόνα 19).



Εικόνα 17: Επιλογές της καρτέλας των διεργασιών



Εικόνα 18: Δημιουργία νέων προϊόντων



Εικόνα 19: Φόρμα εισαγωγής όλων των απαιτούμενων ενεργειών για το προϊόν

3.3.3 Μέθοδοι αποτίμησης

Το λογισμικό SimaPro περιέχει διάφορες μεθόδους αποτίμησης αντικτύπου. Η βασική δομή των μεθόδων αντικτύπου είναι οι εξής:

- Χαρακτηρισμός – Characterization
- Αποτίμηση βλάβης – Damage Assessment

- Κανονικοποίηση – Normalization
- Στάθμιση – Weighting

Εκτός από το πρώτο βήμα τα επόμενα τρία είναι προαιρετικά σύμφωνα με τα πρότυπα ISO, επομένως δεν είναι διαθέσιμα και τα τέσσερα βήματα σε όλες τις μεθόδους που προσφέρονται για αποτίμηση.

❖ **Χαρακτηρισμός – Characterization**

Οι ουσίες που συνεισφέρουν σε μια κατηγορία ευρείας επίδρασης, πολλαπλασιάζονται με κάποιο αντίστοιχο συντελεστή (Characterization), όπου εκφράζει το βαθμό συνεισφοράς της κάθε υπό εξέταση ουσίας, στην αντίστοιχη κατηγορία επίδρασης. Το παραγόμενο αποτέλεσμα εκφράζεται σε δείκτες ευρείας επίδρασης (Impact Category Indications).

❖ **Αποτίμηση βλάβης – Damage Assessment**

Σκοπός του συγκεκριμένου βήματος είναι ο συνδυασμός ενός αριθμού δεικτών κατηγορίας ευρείας επίδρασης σε μια ευρύτερη κατηγορία βλάβης (Damage Category). Συνοψίζοντας τις επιβαρύνσεις σε συγκεκριμένες ευρύτερες κατηγορίες, είναι ευκολότερο να αξιολογήσουμε τη συνολική επιβάρυνση που προκαλείται από κάθε κατηγορία ευρείας επίδρασης στις κατηγορίες βλάβης.

❖ **Κανονικοποίηση – Normalization**

Στο βήμα αυτό δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης των δεικτών κατηγορίας ευρείας επίδρασης με καθορισμένο σημείο αναφοράς. Η σύγκριση αυτή επιτυγχάνεται διαιρώντας τους δείκτες με το σημείο αναφοράς, ανάγοντας έτσι όλους τους δείκτες στην ίδια μονάδα μέτρησης. Το βήμα αυτό μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στα αποτελέσματα που προκύπτουν από το πρώτο βήμα, όσο και σε αυτά που εξάγονται από το δεύτερο. Ως σημείο αναφοράς χρησιμοποιείται ευρέως το μέσο ετήσιο περιβαλλοντικό φορτίο ανά χώρα ή ήπειρο, διαιρούμενο με τον αντίστοιχο πληθυσμό.

❖ **Στάθμιση – Weighting**

Στο τελευταίο αυτό βήμα μπορούμε να πολλαπλασιάσουμε τα δεδομένα που έχουμε, είτε τους δείκτες κατηγορίας ευρείας επίδρασης είτε τους αντίστοιχους δείκτες από τις κατηγορίες βλάβης (Damage Category Indications), με ένα συντελεστή στάθμισης (weighting factor) προσθέτοντας τα νέα αποτελέσματα, ώστε να έχουμε ένα συνολικό τελικό αποτέλεσμα. Το βήμα αυτό έχει τη δυνατότητα να εφαρμοστεί σε κανονικοποιημένα ή μη δεδομένα. (Κορνελάκη, 2009)

3.3.4 Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν

Μέθοδος ReCiPe

Η μέθοδος σύγκρισης και παρουσίασης των αποτελεσμάτων που επιλέχθηκε είναι η ReCiPe η οποία είναι διάδοχος της Eco – Indicator 99 και τις CML-IA. Η μεθοδολογία ReCiPe παρέχει μια «συνταγή» για τον υπολογισμό των δεικτών κατηγοριών επίδρασης του κύκλου ζωής. Ο βασικός στόχος της ReCiPe είναι η μετατροπή της μεγάλης λίστας των αποτελεσμάτων των επιπτώσεων του κύκλου ζωής σε έναν περιορισμένο αριθμό δεικτών. Εδώ οι δείκτες εκφράζουν τη σχετική σοβαρότητα μια περιβαλλοντικής κατηγορίας επίδρασης.

Οι δείκτες καθορίζονται σε δύο επίπεδα:

- 1) Δείκτες σε δεκαοκτώ κατηγορίες επίδρασης που απευθύνονται στο ενδιάμεσο επίπεδο:

1. κλιματική αλλαγή (CC)	10. οικοτοξικότητα γλυκού νερού (FET)
2. μείωση όζοντος (OD)	11.θαλάσσια οικοτοξικότητα (MET)
3. οξίνιση εδάφους (TA)	12. ιοντίζουσα ακτινοβολία (IR)
4. ευτροφισμός γλυκού νερού (FE)	13. ενασχόληση με την αγροτική γη (ALO)
5. θαλάσσιος ευτροφισμός (ME)	14. ενασχόληση με την αστική γη (ULO)
6. ανθρώπινη τοξικότητα (HT)	15. μετασχηματισμός φυσικής γης (NLT)
7. φωτοχημική οξείδωση (POF)	16. μείωση νερού (WD)
8. σχηματισμός σωματιδίων (PMF)	17. μείωση ορυκτών πόρων (MRD)
9. οικοτοξικότητα εδάφους (TET)	18. μείωση ορυκτών καυσίμων (FD)

Πίνακας 7: Πίνακας με τους δεκαοκτώ δείκτες (Πανταζή, 2014)

- 2) Οι παραπάνω κατηγορίες μετατρέπονται και συντίθενται στις ακόλουθες τρεις τελικές κατηγορίες, οι οποίες αποτελούν τους κυριότερους αποδέκτες των περιβαλλοντικών φορτίων:

- Βλάβες στην Ανθρώπινη υγεία – Damage to Human Health
- Βλάβες στην Ποιότητα Οικοσυστήματος - Damage to Ecosystem Quality
- Βλάβες στους Πόρους - Damage to Resources

❖ **Βλάβες στην Ανθρώπινη υγεία – Damage to Human Health**

Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως αριθμός των ετών ζωής που χάθηκαν και τον αριθμό των ετών ζωής αναπηρίας. Από το συνδυασμό αυτών προκύπτει η αντίστοιχη μονάδα μέτρησης DALY (Disability Adjusted Life Years).

❖ **Βλάβες στην Ποιότητα Οικοσυστήματος - Damage to Ecosystem Quality**

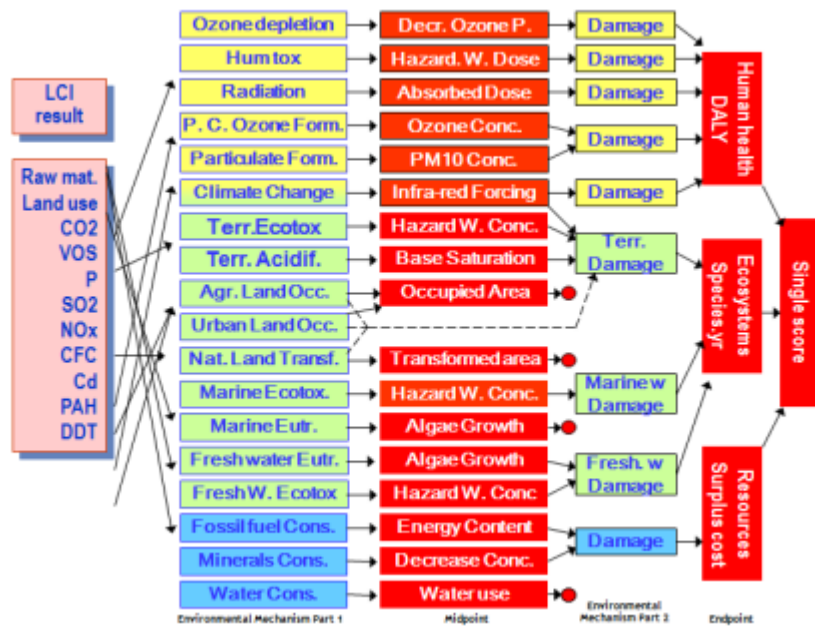
Μια προσέγγιση για την περιγραφή της ποιότητας του οικοσυστήματος είναι σε όρους ενέργειας, ύλης και ροής πληροφοριών. Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως αριθμός ειδών που εξαφανίστηκαν σε καθορισμένη περιοχή για καθορισμένο χρόνο (species.yr).

❖ **Βλάβες στους Πόρους - Damage to Resources**

Ένα αρκετά σημαντικό ζήτημα που αναφέρεται πολύ τα τελευταία χρόνια είναι η εξάντληση των πόρων. Εδώ η μέθοδος που χρησιμοποιούμε έχει επιλέξει να βασίσουν αυτό το μοντέλο στη γεωλογική κατανομή ορυκτών πόρων και καυσίμων και να αξιολογήσουν πως η χρήση αυτών προκαλεί αλλαγές στις προσπάθειες εξόρυξης μελλοντικών πόρων. Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως πλεόνασμα ενέργειας που απαιτείται για μελλοντική εξαγωγή ορυκτών καυσίμων (\$). (Πανατζή, 2014)

Η ReCiPe χρησιμοποιεί έναν περιβαλλοντικό μηχανισμό σαν τη βάση για τη μοντελοποίηση. Ένας περιβαλλοντικός μηχανισμός μπορεί να θεωρηθεί σαν μια σειρά επιπτώσεων που όλες μαζί μπορούν να δημιουργήσουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο βλάβης στη ανθρώπινη υγεία ή στο οικοσύστημα. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται σχηματικά η μέθοδος όπου αντιστοιχίζονται τα αποτελέσματα των επιπτώσεων του κύκλου ζωής στις μέσες κατηγορίες κι έπειτα στις κατηγορίες βλάβης.

Τέλος, η χρησιμοποιούμενη μονάδα μέτρησης για τα συνολικά αποτελέσματα είναι το 1 Pt, το οποίο είναι ίσο με το 1/1000 του ετήσιου περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου κατοίκου.



Εικόνα 20: Σχηματική απεικόνιση της ReCiPe (PRé & authors, 2014)

Μέθοδος IPCC 2013

Η μέθοδος IPCC 2013 είναι μια ανανέωση της μεθόδου IPCC 2007, που αναπτύχθηκε από το Διεθνές Panel στην Κλιματική Αλλαγή (International Panel on Climate Change, IPCC). Ο χαρακτηρισμός διαφόρων αερίων εκπομπών σύμφωνα με το δυναμικό τους στην υπερθέρμανση του πλανήτη και τη σύνθεση διαφόρων εκπομπών στην κατηγορία επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής είναι μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους στην αξιολόγηση μιας ΑΚΖ. Οι συντελεστές χαρακτηρισμού για τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου βασίζονται στα δυναμικά αποτελέσματα για την υπερθέρμανσης του πλανήτη που έχουν δημοσιευθεί από το IPCC και χρησιμοποιούνται επίσης και σε άλλες μεθόδους αξιολόγησης επιπτώσεων όπως η Eco-indicator 99 ή η Ecological Scarcity 2006. Όλες αυτές οι μέθοδοι αξιολογούν τις εκπομπές αερίων φαινομένου θερμοκηπίου που οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες και καταγράφονται στους πίνακες απογραφής. Να σημειωθεί ότι χρησιμοποιούνται τρεις χρονικοί ορίζοντες – των 20, 100 και 500 ετών – για να δείξουν τις επιδράσεις των ατμοσφαιρικών χρόνων ζωής των διαφορετικών αερίων.

❖ Χρήση της μεθόδου

Τα άμεσα δυναμικά της υπερθέρμανσης του πλανήτη (global warming potentials, GWPs) σχετίζονται με την επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα. Τα GWPs είναι ένας δείκτης για την εκτίμηση της σχετικής συμβολής στην πλανητική υπερθέρμανση εξαιτίας ατμοσφαιρικής εκπομπής ενός κιλού ενός συγκεκριμένου αερίου του θερμοκηπίου σε σύγκριση με μια εκπομπή ενός κιλού διοξειδίου του άνθρακα.

❖ Χαρακτηρισμός

Στην εφαρμογή της μεθόδου λαμβάνονται υπόψη οι εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα. Με βάση την εφαρμογή της μεθόδου στο SimaPro, οι συντελεστές χαρακτηρισμού για το άμεσο δυναμικό της υπερθέρμανσης του πλανήτη των αέριων εκπομπών (εκτός από το μεθάνιο CH₄):

- Δεν περιλαμβάνει την έμμεση δημιουργία νιτρικού μονοξειδίου από νιτρικές εκπομπές, διότι δε συμβάλλουν άμεσα στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής.
- Δε λαμβάνει υπόψη την κατακράτηση ακτινοβολίας εξαιτίας εκπομπών NO_x, νερού, θειικού άλατος, κ.ά. στη χαμηλότερη στρατόσφαιρα και στην υψηλότερη τροπόσφαιρα
- Δε λαμβάνει υπόψη τις διάφορες έμμεσες επιδράσεις που δίνονται από το IPCC από υδρογονάνθρακες και έμμεσες εκπομπές νιτρικού μονοξειδίου
- Δεν περιλαμβάνει τη δημιουργία διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO).
- Δεν θεωρεί το βιογενές uptake CO₂ σαν αρνητική επίδραση.

Στη μέθοδο αυτή η κανονικοποίηση και η στάθμιση δεν αποτελούν μέρος της. (Πανταζή, 2014)

3.4 Σενάρια που μελετήθηκαν

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης αποτιμήθηκε περιβαλλοντικά η χρησιμοποίηση των ψυκτικών μέσων από την παραγωγή τους μέχρι την τελική διάθεση ή ανακύκλωση αυτών διαμορφώνοντας διάφορα σενάρια αξιολόγησης.

Αρχικά, μελετήθηκε η περιβαλλοντική επιβάρυνση που μπορεί να προκληθεί από τα ψυκτικά μέσα (R134A, R22, R32, R410A) κατά τη φάση παραγωγής τους. Στη συνέχεια και με τη βοήθεια τις βιβλιογραφίας διαμορφώθηκαν τα παρακάτω σενάρια:

- Στο πρώτο σενάριο υποθέσαμε ότι στον κύκλο ζωής του ψυκτικού θα υπάρξουν απευθείας διαρροές σε ποσοστό 50%, θα ανακτηθεί ψυκτικό για επαναχρησιμοποίηση σε ποσοστό 30% ενώ το υπόλοιπο 20% θα οδηγηθεί για καταστροφή.
- Στο δεύτερο σενάριο υποθέσαμε ότι στον κύκλο ζωής του ψυκτικού θα υπάρξουν απευθείας διαρροές σε ποσοστό 20% και το υπόλοιπο 80% θα ανακτηθεί.
- Στο επόμενο σενάριο μελετήσαμε τη χρησιμοποίηση ανακυκλωμένου ψυκτικού. Από την ανάκτηση αυτού υπολογίστηκαν τα ποσοστά 0% διαρροές, 80% ανάκτηση.
- Στο τελευταίο σενάριο έχουμε πάλι ανακυκλωμένο ψυκτικό αλλάζοντας τα ποσοστά των διαρροών 0%, ανάκτησης 70% και καταστροφής 30%.

3.5 Βασικές υποθέσεις

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας ήταν αναγκαίο να γίνουν κάποιες βασικές υποθέσεις. Ειδικότερα, στο λογισμικό SimaPro και στη βάση δεδομένων ecoinvent υπήρχε μόνο το ψυκτικό R134A, για τα υπόλοιπα ψυκτικά έγιναν οι κατάλληλες υποθέσεις. Βασιζόμενοι στα στοιχεία της ASHRAE τα οποία φαίνονται και στον πίνακα 1 του παραρτήματος θεωρήσαμε τα παρακάτω:

- Το 1kg για το ψυκτικό R22 θεωρήθηκε ως 1kg Διφθοροχλωρομεθάνιο (Chlorodifluoromethane)
- Το 1kg για το ψυκτικό R32 θεωρήθηκε ως 1kg Διχλωρομεθάνιο (Dichloromethane) (ASHRAE, 2018)

Επίσης, ως βασική υπόθεση στην χρησιμοποίηση ανακυκλωμένου ψυκτικού ήταν η διαδικασία ανάκτησης του R134A που υπήρχε στο λογισμικό και βάσει των δεδομένων αυτών δημιουργήθηκαν και οι διαδικασίες ανάκτησης για τα άλλα 2 ψυκτικά που μελετήσαμε.

Όλα τα υλικά και οι διεργασίες που απαιτούνταν για τα παραπάνω καταχωρήθηκαν από τη βάση δεδομένων Ecoinvent που διαθέτει το λογισμικό SimaPro.

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα

4.1 Καθορισμός Σκοπού και Στόχου

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναλυθεί ο κύκλος ζωής των ψυκτικών μέσων με εστίαση στην ανάκτηση και καταστροφή των ψυκτικών μέσων, καθώς και στην περιβαλλοντική αξιολόγηση και σύγκριση των ψυκτικών μέσων, ως προς τις διαφορετικές κατηγορίες επιδράσεων που ενδέχεται να έχουν στο περιβάλλον. Αυτό που επιδιώχθηκε ήταν η εύρεση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που επιφέρει ένα ψυκτικό μέσο, στα διάφορα σενάρια που αναπτύχθηκαν με στόχο την περιβαλλοντική τους αξιολόγηση καθώς και την εύρεση των σημείων που χρειάζεται περαιτέρω έρευνα και βελτίωση.

Η λειτουργική μονάδα που ορίστηκε για την συγκεκριμένη εργασία ήταν το 1 kg ψυκτικού μέσου. Στον κύκλο ζωής του ψυκτικού δεν έχει υπολογιστεί η ενεργειακή κατανάλωση της λειτουργικής μονάδας.

4.2 Απογραφή του Κύκλου Ζωής - Life Cycle Inventory (LCI)

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η παρούσα μελέτη είχε ως βάση την απογραφή του κύκλου ζωής του ψυκτικού R134A, του Chlorodifluoromethane στην περίπτωση του R22 και του Dichloromethane για το R32 οι οποίες υπήρχαν στο λογισμικό SimaPro. Ακόμα, υπήρχε μια βάση δεδομένων για τη χρησιμοποίηση ανακυκλωμένου ψυκτικού R134A. Σε αυτή τη βάση υπήρχαν αναλυτικά όλα τα δεδομένα και οι ροές υλικών και ενέργειας που απαιτούνται μέχρι την επαναχρησιμοποίηση του ψυκτικού.

Παρακάτω αναλύεται η 3 φάση στον κύκλο ζωής των ψυκτικών όπου είναι το τέλος ζωής τους. Πιο αναλυτικά μετά το τέλος ζωής μιας λειτουργικής μονάδας (π.χ. ψυγεία, κλιματιστικά) έχουμε την μεταφορά της στην εγκατάσταση ανακύκλωσης όπου πραγματοποιείται ανάκτηση και ανακύκλωση του μεγαλύτερου μέρους των λειτουργικών μονάδων αυτών. Με βάση στοιχεία που συλλέξαμε από την Ελληνική Ανακύκλωση Ψυγείων (HFR) μετά το διαχωρισμό πάνω από το 90% των τμημάτων των ψυγείων οδηγείται προς ανακύκλωση στο κατάλληλο ρεύμα. Το πρώτο και πολύ σημαντικό βήμα στην ανακύκλωση των ψυγείων είναι η ανάκτηση των ψυκτικών μέσων, τα οποία περιλαμβάνονται στο ποσοστό που δεν ανακυκλώνονται τις περισσότερες φορές.

4.2.1 Ανάκτηση ψυκτικού μέσου

Ένα σημαντικό στάδιο στο κύκλο ζωής του ψυκτικού είναι η ανάκτησή του από τις μονάδες που χρησιμοποιείται, κατά κύριο λόγο τα ψυγεία, που οδηγούνται για ανακύκλωση. Αρχικά η ανάκτηση του ψυκτικού πρέπει να πραγματοποιείται σε αδειοδοτημένες μονάδες οι οποίες διαθέτουν τον εξοπλισμό και τη γνώση για την κατάλληλη διαχείριση όλων των υλικών, όχι μόνο των ψυκτικών μέσων. Στην παρούσα εργασία επισκεφτήκαμε την Ελληνική Ανακύκλωση Ψυγείων (HFR) με σκοπό να καταγράψουμε την διαδικασία ανάκτησης των ψυκτικών μέσων από τα ψυγεία. Η διαδικασία της ανάκτησης είναι πολύ σημαντική καθώς αν δεν γίνει με σωστό τρόπο παραμονεύει ο κίνδυνος μεγάλης διαρροής ψυκτικού στην ατμόσφαιρα.

Μετά την είσοδο του ψυγείου στην γραμμή ανακύκλωσης το πρώτο βήμα είναι η ανάκτηση του ψυκτικού υγρού. Το ψυγείο τοποθετείται σε τέτοια στάση ώστε η συσκευή να αρχίσει να αντλεί το ψυκτικό μαζί με λάδι (εικόνα 21). Στην εγκατάσταση της HFR δεν υπάρχει δυνατότητα να ξεχωριστούν τα ψυκτικά, έτσι αυτό που ανακτάτε είναι ένα κοκτέιλ ψυκτικών R134A, R12, R22, R410A, R407 και R32.



Εικόνα 21: Σημείο άντλησης του ψυκτικού υγρού με το λάδι

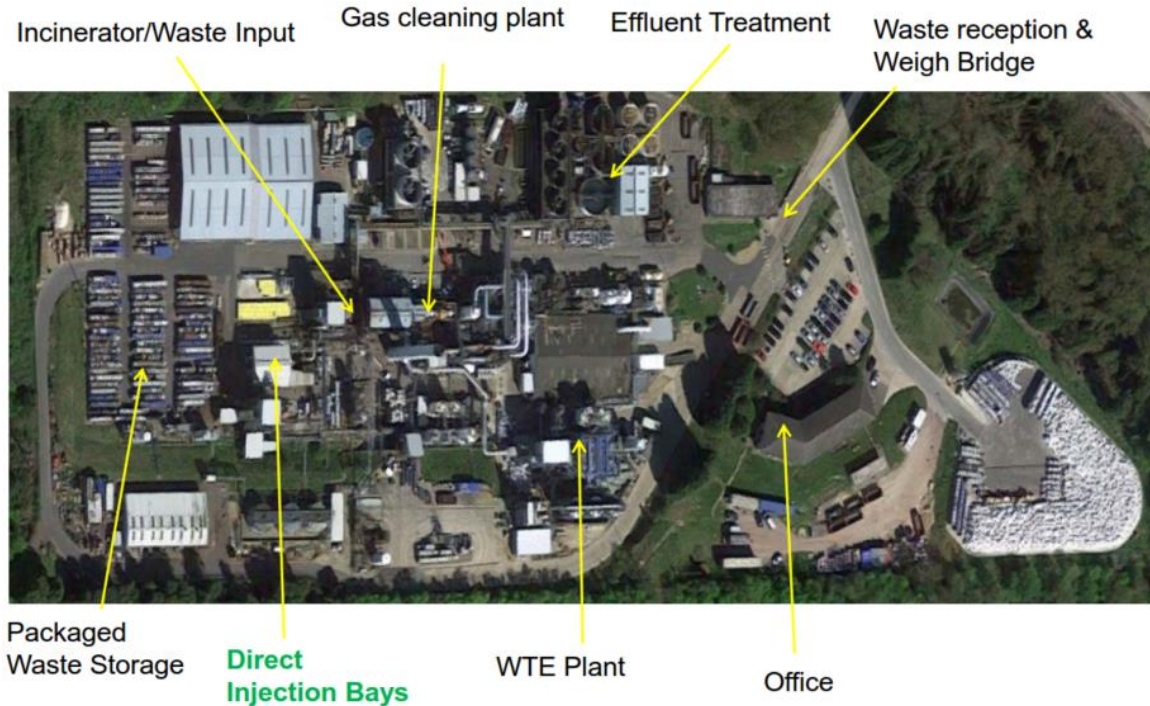
Στη συνέχεια το ψυκτικό υγρό μαζί με το λάδι οδηγούνται στο «κύκλωμα» διαχωρισμού τους και πιο συγκεκριμένα στο tank 1. Έπειτα αφού θερμανθεί γίνεται ο πρώτος διαχωρισμός με το ψυκτικό μέσο σε αέρια μορφή να οδηγείτε στο tank 2 και το λάδι στο tank 3. Το λάδι αφού μείνει για 4 ώρες θερμαίνεται ξανά και γίνεται ο δεύτερος διαχωρισμός ψυκτικού και λαδιού. Το λάδι οδηγείτε στο tank 4 και στη συνέχεια για ανακύκλωση και το ψυκτικό στο tank 2. Στο tank 2 έχουμε συλλέξει το ψυκτικό μέσο σε αέρια μορφή, σε αυτό αυξάνεται η πίεση και στη συνέχεια μειώνουμε τη θερμοκρασία του με σκοπό να υγροποιηθεί και να συλλεχθεί σε ειδικά βαρέλια και έπειτα να τοποθετηθεί σε ειδικές φιάλες ή δεξαμενές για τη μεταφορά τους προς την μονάδα διαχείρισή τους.



Εικόνα 22: «Κύκλωμα» διαχωρισμού ψυκτικού υγρού και λαδιού

4.2.2 Καταστροφή των ψυκτικών μέσων

Η τελική διάθεση των ψυκτικών προς καταστροφή είναι το τελευταίο στάδιο του κύκλου ζωής των ψυκτικών μέσων. Η καταστροφή αυτών γίνεται σε αδειοδοτημένες μονάδες διάθεσης οι οποίες έχουν την τεχνογνωσία για τη διαχείριση των αποβλήτων αυτών. Μια από αυτές της μονάδες είναι η Tradebe UK η οποία βρίσκεται στο Southampton της Αγγλίας (εικόνα 23).

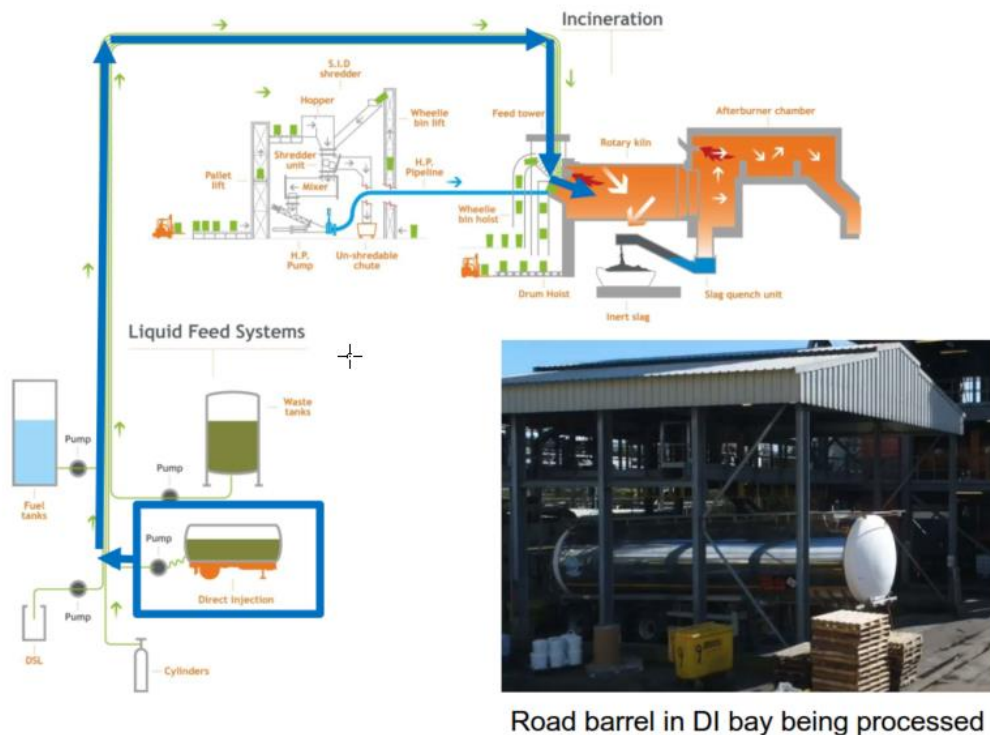


Εικόνα 23: Γενική άποψη από την εγκατάσταση της μονάδας διάθεσης στην Αγγλία

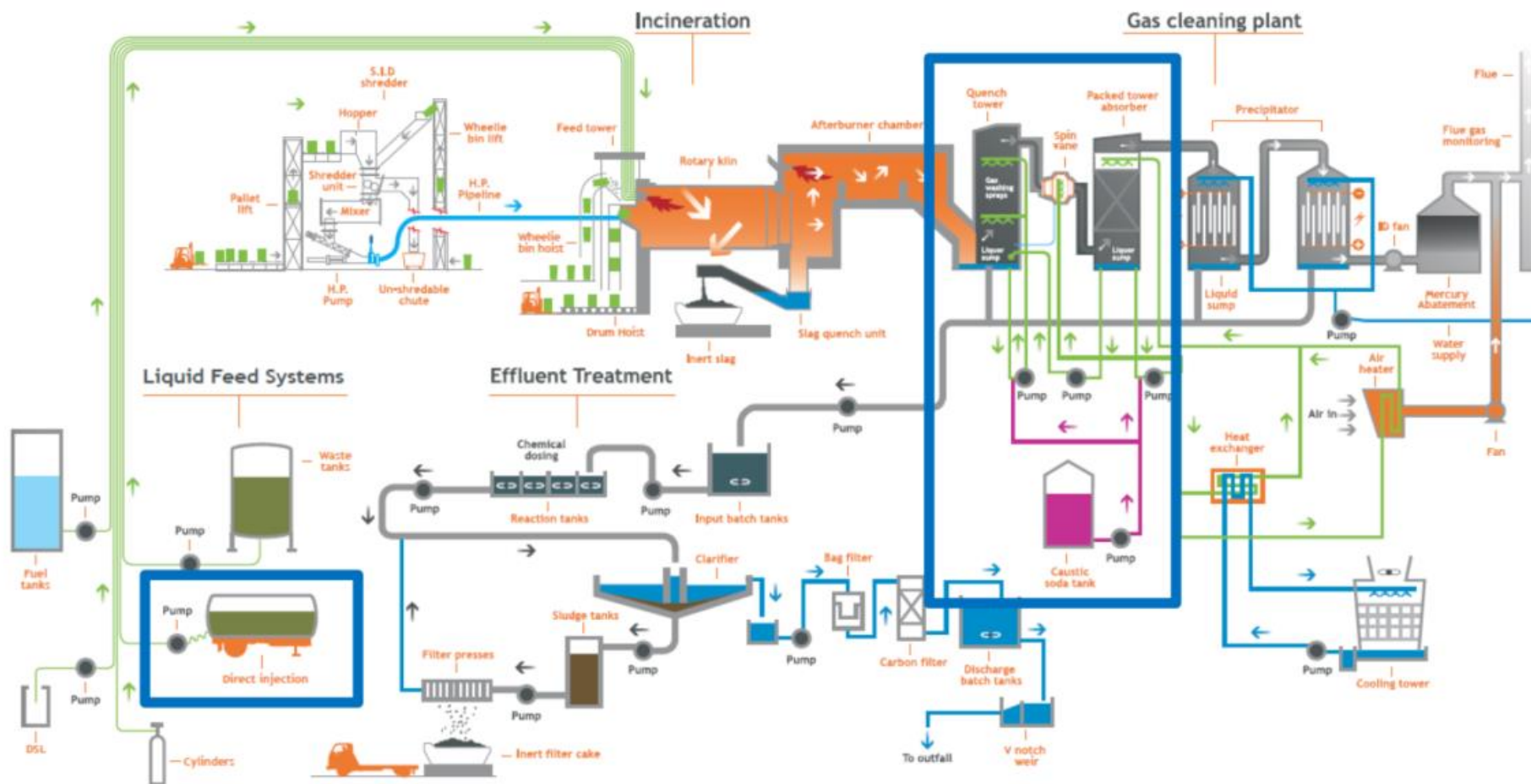
Στην παραπάνω εγκατάσταση υπάρχει αποτεφρωτήρας υψηλής θερμοκρασίας (HTI – High Temperature incinerator) ο οποίος χρησιμοποιείται για την αποτέφρωση όλων των τύπων επικινδύνων αποβλήτων στερεά, υγρά και αέρια. Στην περίπτωση των υγρών και αερίων που βρίσκονται σε δεξαμενές όπου δεν μπορούν να ξεφορτωθούν χρησιμοποιείται η μέθοδο της άμεσης τροφοδοσίας (Direct Injection – DI). Τα απόβλητα αυτά υπόκεινται σε επεξεργασία απευθείας από τη δεξαμενή. Έτσι μέσω αντλίας οδηγούνται στον περιστροφικό κλίβανο όπου η θερμοκρασία φτάνει του 1000°C, πριν περάσει στο θάλαμο μετά την καύση όπου διατηρείται θερμοκρασία 100-1050°C (διάγραμμα 9).

Τα θερμά αέρια που παράγονται κατά τη διαδικασία της αποτέφρωσης περνούν στον πύργο σβέσης και ανεβαίνουν μέσω ψεκασμού με υδατικό υδροξείδιο του νατρίου για εξουδετέρωση και ψύξη των όξινων αερίων. Στη συνέχεια, τα ψυχθέντα αέρια περνούν μέσα από ένα πύργο απορρόφησης για περαιτέρω εξουδετέρωση με τη βοήθεια υδατικού υδροξειδίου του νατρίου. Τα όξινα αέρια παράγονται μέσω σχηματισμού αλογόνων (Χλώριο, Φθόριο κλπ.) με το υδρογόνο. Όσο μεγαλύτερο είναι η περιεκτικότητα των αλογόνων τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα αερίων

HCl ή HF. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται περισσότερο υδροξείδιο του νατρίου για την εξουδετέρωση. Τα ψυκτικά ανήκουν σε αυτή την κατηγορία καθώς μπορούν να περιέχουν σημαντικά επίπεδα χλωρίου ή φθορίου για αυτό και το κόστος της επεξεργασίας τους είναι αυξημένο. Τέλος, ο ρυθμός με τον οποίο μπορούν να αποτεφρωθούν τα απόβλητα καθορίζεται από τα επίπεδα αλογόνων λόγω του ρυθμού με τον οποίο τα όξινα αέρια μπορούν να εξουδετερωθούν και την επίδραση που θα έχουν συνολικά στην εγκατάσταση (διάγραμμα 10). (Tradebe UK, 2021)



Διάγραμμα 9: Διάγραμμα ροής αποβλήτων από τη δεξαμενή στον κλίβανο (Tradebe UK, 2021)



Διάγραμμα 10: Συνολικό διάγραμμα ροής των αποβλήτων κατά τη φάση της τελικής διάθεσης με τη μέθοδο της καύσης

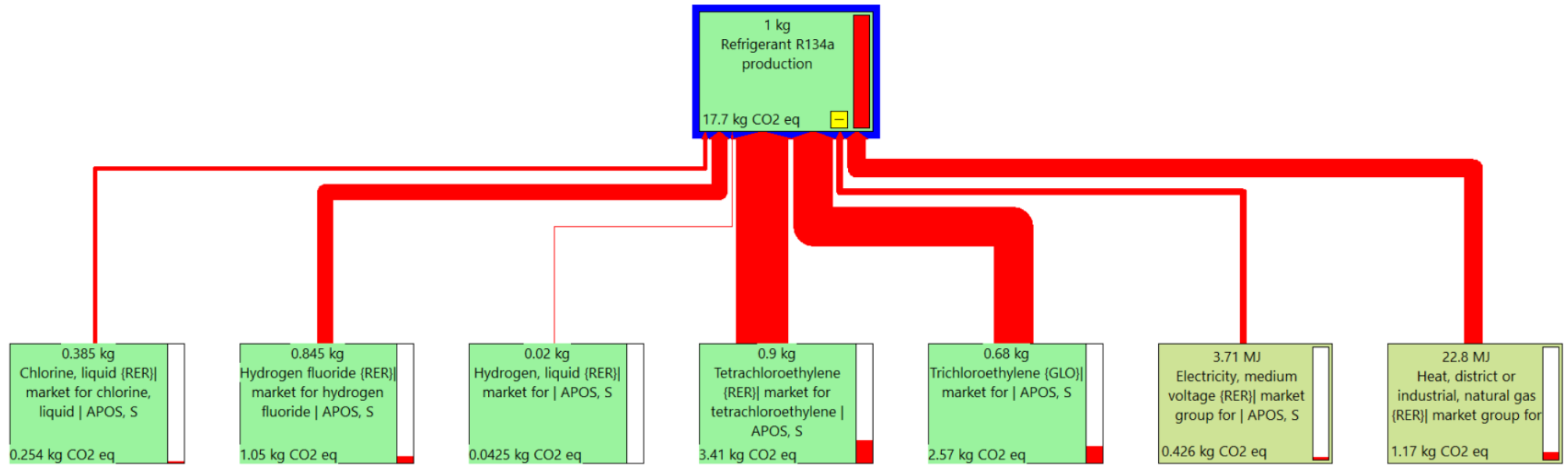
4.3 Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού SimaPro. Στην συγκεκριμένη εργασία θα παρουσιαστούν οι επιβαρύνσεις που προκαλούνται από τα ψυκτικά μέσα σε διάφορες κατηγορίες επίδρασης καθώς και τα ποσά CO₂ που εκλύονται στα διάφορα σενάρια που υποθέσαμε.

4.3.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το ψυκτικό R134A

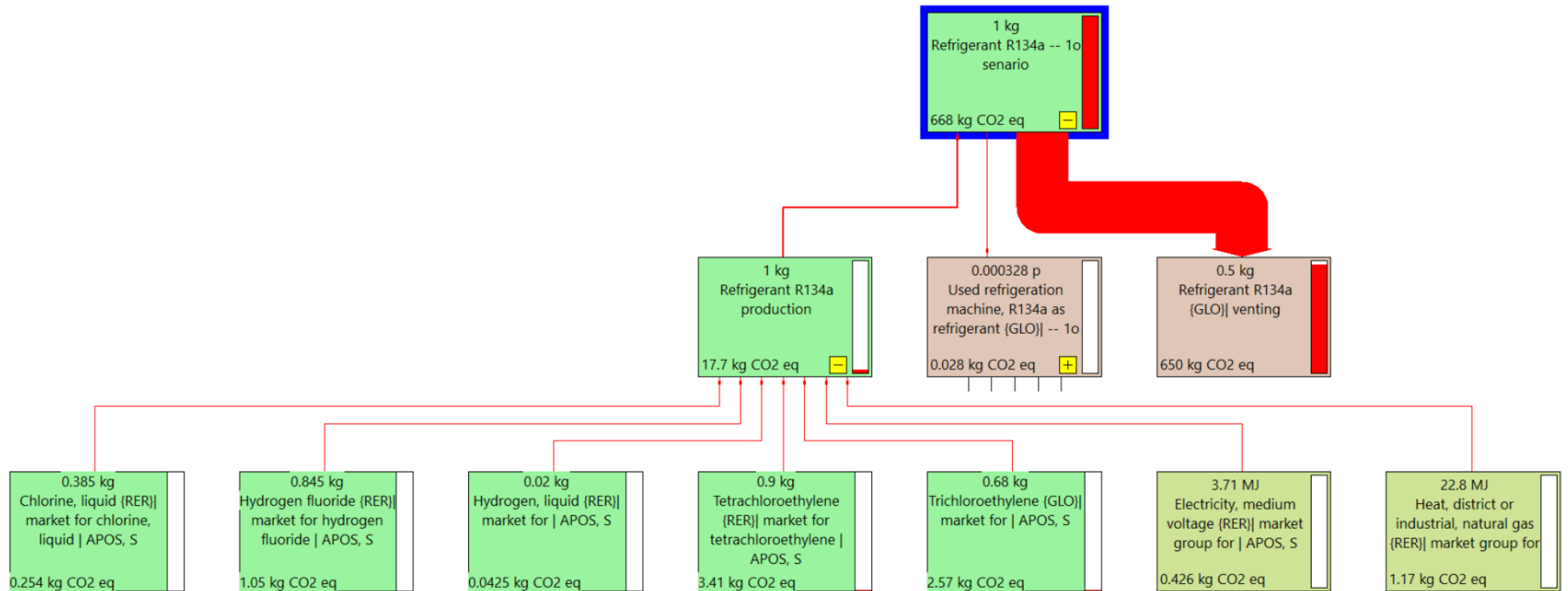
Βρίσκοντας τα δεδομένα από την βάση δεδομένων Ecoinvent που διαθέτει το SimaPro βρήκαμε αρχικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή του R134A. Στη συνέχεια στηριζόμενοι στη παραγωγή του R134A και στο ανακυκλώσιμο R134A που υπήρχε στη βάση δεδομένων αναπτύχθηκαν τα διάφορα σενάρια. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης μέσω του SimaPro, με τα διαγράμματα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για το ψυκτικό R134A για τα διάφορα σενάρια που επιλέχθηκαν. Στα παρακάτω διαγράμματα ροής εμφανίζονται οι εισροές που έχουν επίδραση στο συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο. Κάθε εισροή στα δεξιά της έχει μια στήλη η οποία δείχνει το περιβαλλοντικό φορτίο της, σε σχέση με τη συνολική επιβάρυνση που έχει στο τελικό προϊόν. Όσο πιο υψηλή τιμή έχει τόσο μεγαλύτερο είναι το περιβαλλοντικό φορτίο. Το ίδιο συμβαίνει και τις γραμμές ροής όπου όσο πιο παχιές είναι τόσο μεγαλύτερο το φορτίο μεταφέρουν.

Επιπτώσεις από την παραγωγή του R134A



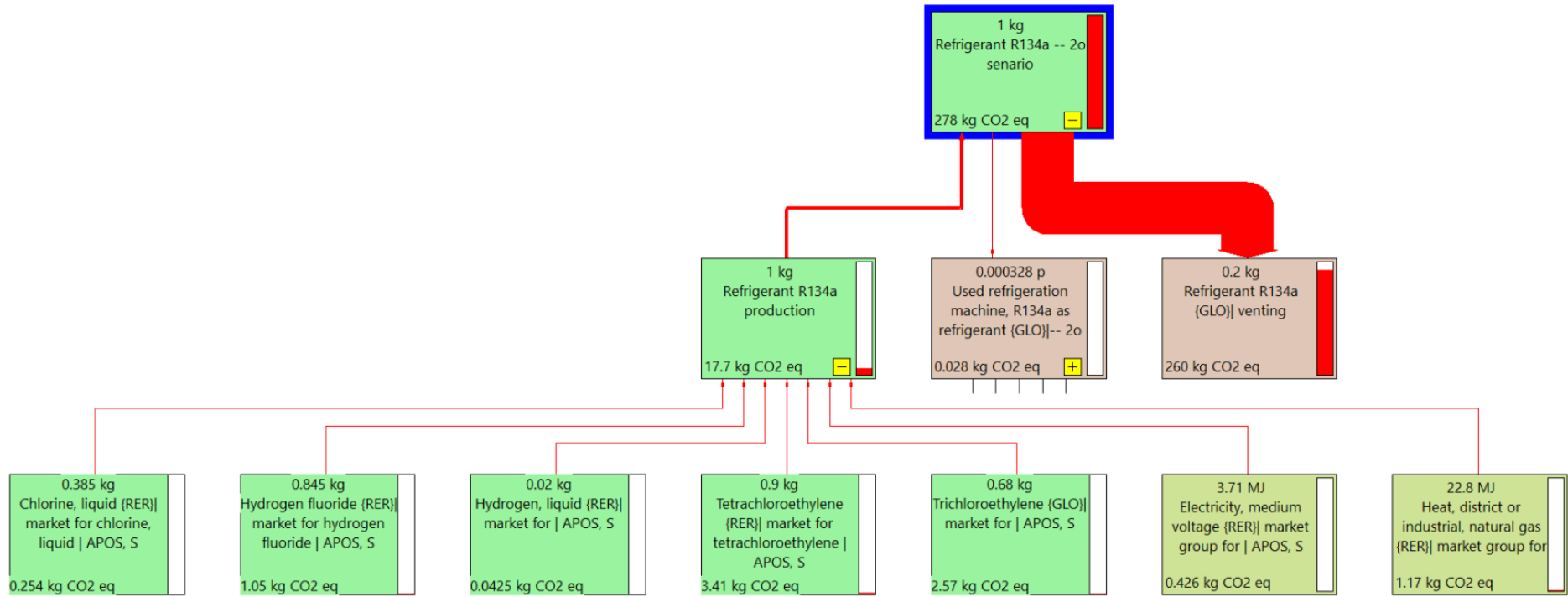
Διάγραμμα 11: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτιών κατά την παραγωγή του R134A

Σενάριο 1° → 50% διαρροές, 30% ανάκτηση και 20% διάθεση



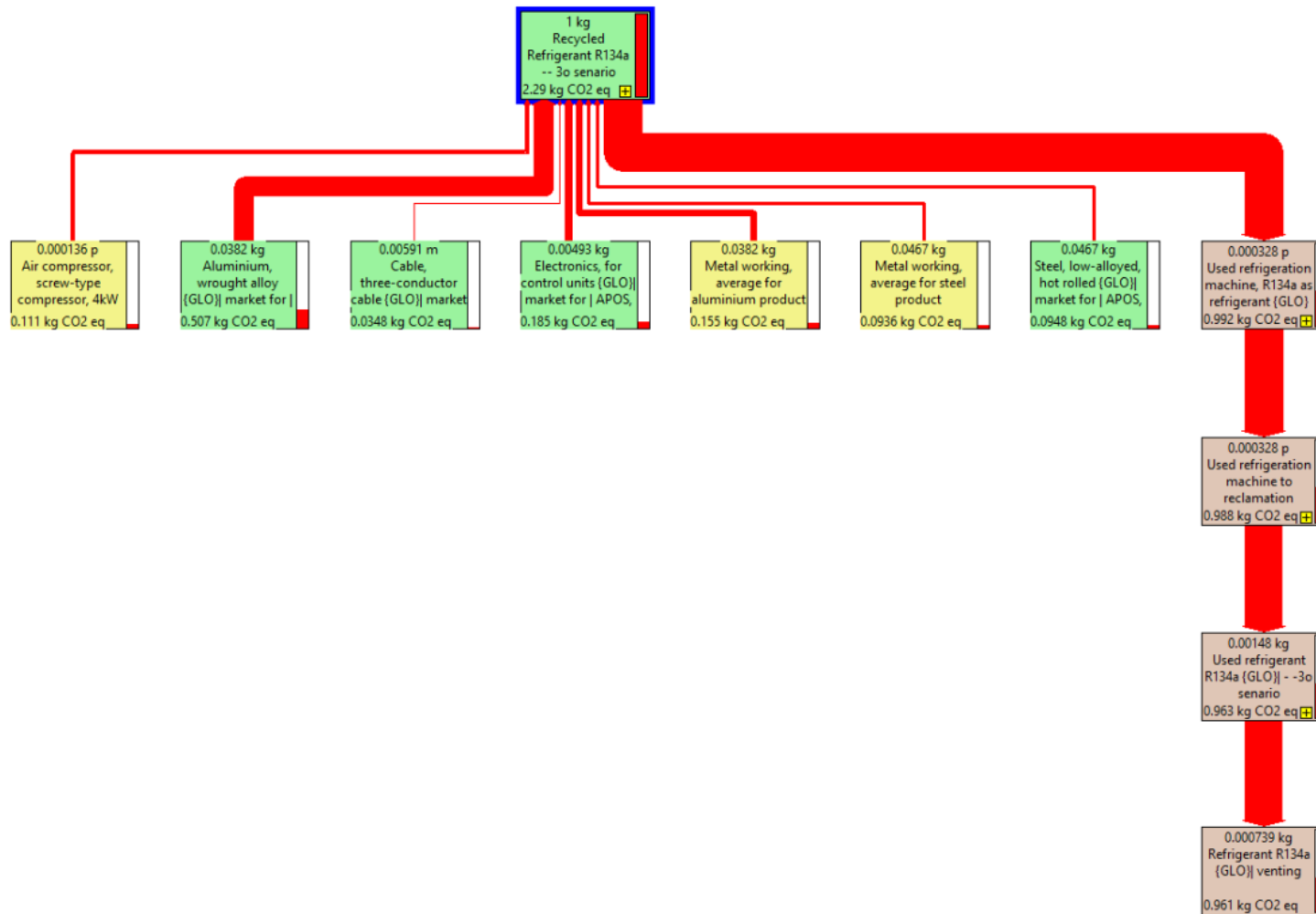
Διάγραμμα 12: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτιών μέχρι το τέλος ζωής του R134A για το 1° σενάριο

Σενάριο 2° → 20% διαρροές, 80% ανάκτηση



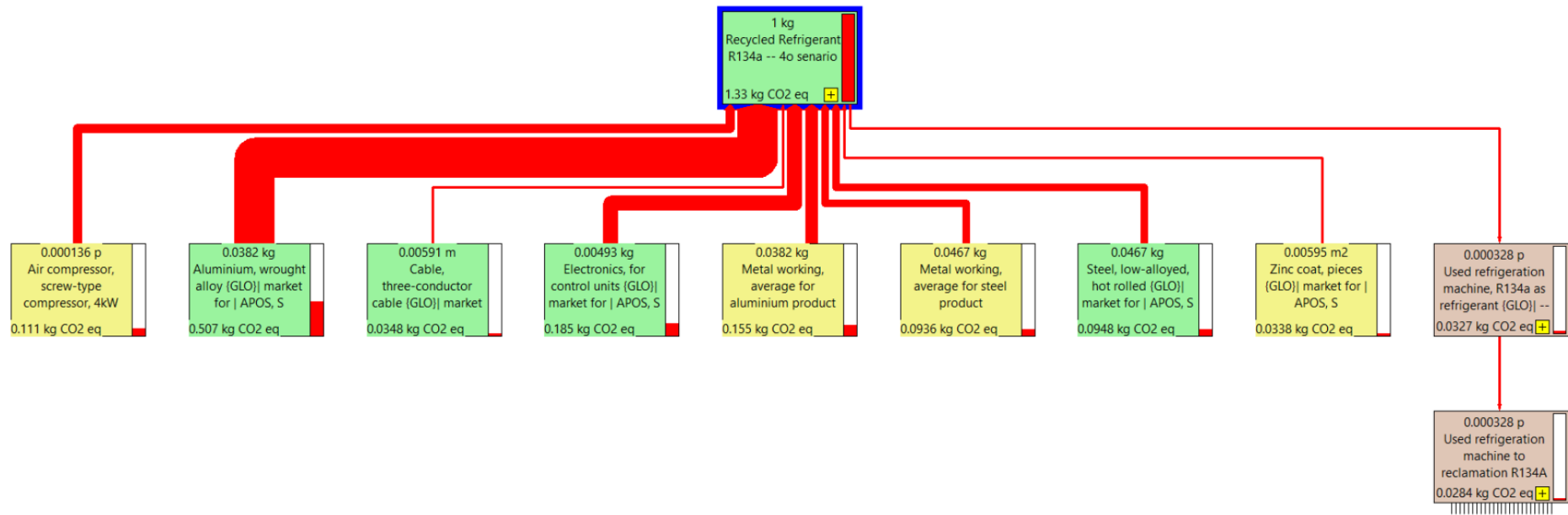
Διάγραμμα 13: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτιών μέχρι το τέλος ζωής του R134A για το 2° σενάριο

Σενάριο 3° → ανακυκλώσιμο R134A και 50% διαρροές, 30% ανάκτηση και 20% διάθεση



Διάγραμμα 14: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτιών μέχρι το τέλος ζωής του R134A για το 3° σενάριο

Σενάριο 4° → ανακυκλώσιμο R134A και 0% διαρροές, 70% ανάκτηση και 30% διάθεση



Διάγραμμα 15: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτιών μέχρι το τέλος ζωής του R134A για το 4° σενάριο

Αρχικά βρέθηκε ότι κατά την παραγωγή του R134A εκλύονται 17,7 kg CO₂ eq. Η συνολική αυτή περιβαλλοντική επιβάρυνση πηγάζει από 2 κατηγορίες,

A) Ροές υλικών και ενέργειας

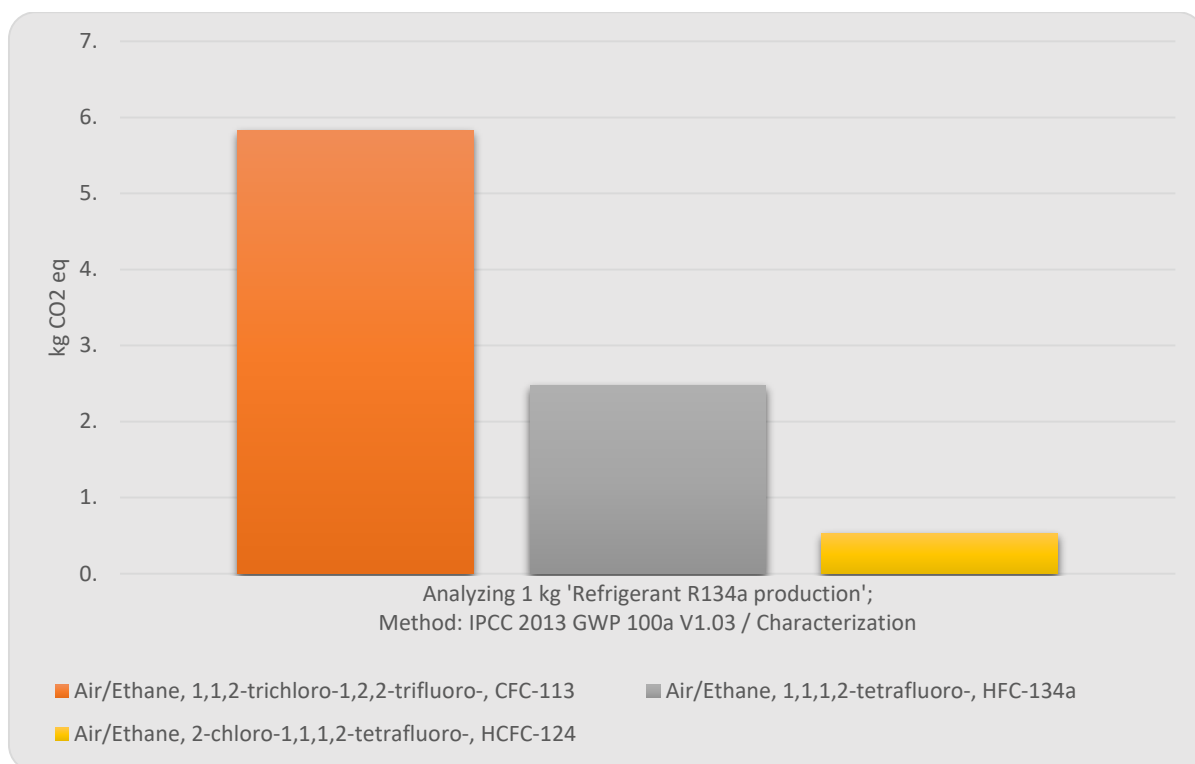
B) Αέριες εκπομπές από ουσίες που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία παραγωγής (William & Marvin, 2001).

Οι κύριες ροές υλικών και ενέργειας που εμφανίζονται είναι οι παρακάτω:

- 1) Τετραχλωροαιθυλένιο (tetrachloroethylene) → 3,41 kg CO₂ eq
- 2) Τριχλωροαιθυλένιο (trichloroethylene) → 2,57 kg CO₂ eq
- 3) Η κατανάλωση ενέργειας που χωρίζεται σε 2 κατηγορίες → 1,596 kg CO₂ eq
- 4) Υδροφθόριο (Hydrogen fluoride) με φορτίο 1,05 kg CO₂ eq

Στη κατηγορία των ουσιών που παράγονται σαν υποπροϊόντα όπου στην περίπτωση μας διαθέτουν και μεγάλο περιβαλλοντικό φορτίο έχουμε τα (διάγραμμα 16):

- 1) Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113 → 5,82 kg CO₂ eq
- 2) Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a → 2,47 kg CO₂ eq
- 3) Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124 → 0,527 kg CO₂ eq



Διάγραμμα 16: Περιβαλλοντικό φορτίο παραπροϊόντων του R134A

Στο πρώτο σενάριο θεωρήσαμε ότι κατά τη λειτουργία ενός συστήματος, με ψυκτικό λειτουργίας το R134A, θα υπάρξουν διαρροές σε ένα ποσοστό 50%, σε όλο τον κύκλο ζωής του συστήματος συμπεριλαμβανομένες και οι όποιες διαρροές που μπορεί να υπάρξουν κατά την ανάκτηση και καταστροφή του ψυκτικού. Οι διαρροές όπως βλέπουμε στο διάγραμμα προκαλούν μεγάλη περιβαλλοντική επιβάρυνση με

650 kg CO₂ eq να εκλύονται. Για την ποσότητα που ανακτήθηκε (30%) και καταστράφηκε (20%) η επίδραση ήταν πολύ μικρή.

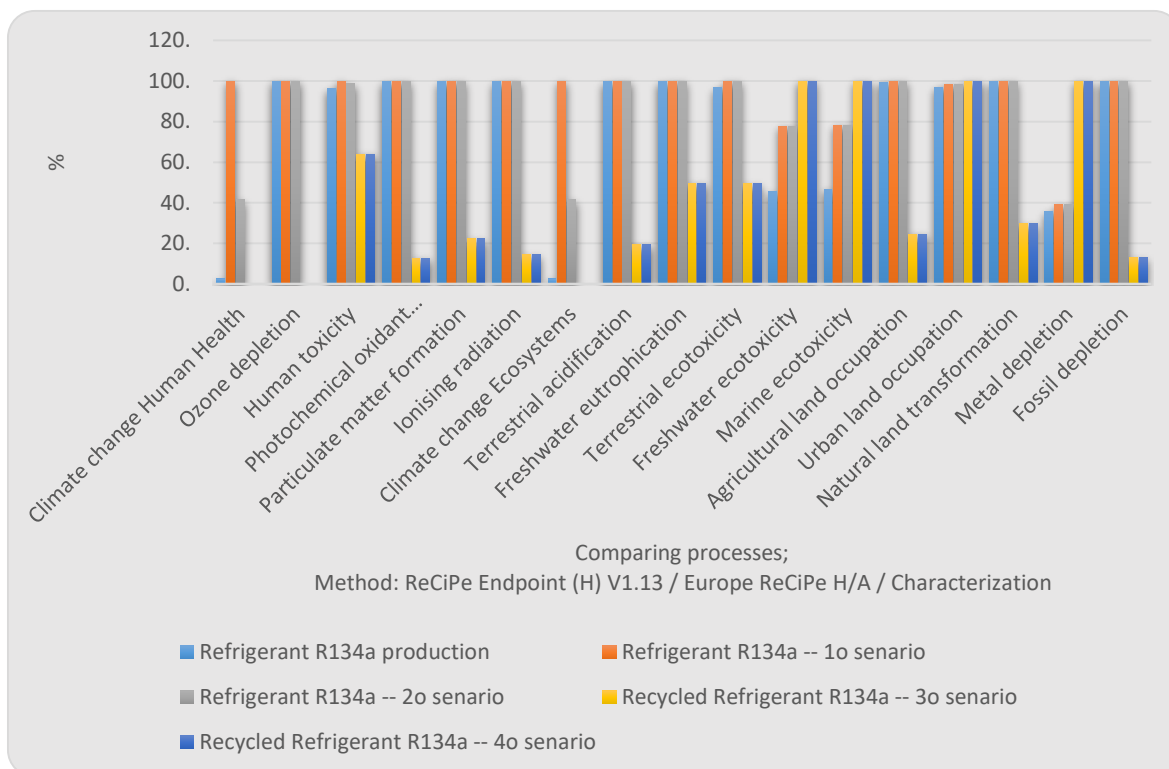
Στο δεύτερο σενάριο μειώνοντας το ποσοστό της διαρροή στο 20% είχαμε μια κατακόρυφη πτώση τις περιβαλλοντικής επιβάρυνση στα 278 kg CO₂ eq. Εκεί όμως που είχαμε τα καλύτερα αποτελέσματα ήταν στα σενάρια 3 και 4 όπου χρησιμοποιήσαμε R134A από ανάκτηση. Στις δύο αυτές περιπτώσεις το περιβαλλοντικό φορτίο έρχεται από την μονάδα ανακύκλωσης και από διάφορα υλικά που απαιτούνται για την ανάκτηση του ψυκτικού. Στον πίνακα 8 έχουμε τα ποσά CO₂ που εκλύονται στα διάφορα σενάρια.

Σενάρια	Παραγωγή	1 ^ο σενάριο	2 ^ο σενάριο	3 ^ο σενάριο	4 ^ο σενάριο
R134A (kg CO ₂ eq)	17,7	668	278	2,29	1,33

Πίνακας 8: Ποσά CO₂ για το R134A σε όλα τα σενάρια

Στη συνέχεια συγκρίναμε μεταξύ τους τα σενάρια με τη μέθοδο ReCiPe Endpoint και μας έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα.

Στο διάγραμμα 17 του χαρακτηρισμού των δεδομένων παρατηρούμε τη σχετική συμβολή των ουσιών που εκλύονται, στις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων. Κατά την παραγωγή του R134A ή την κατασκευή και εξόρυξη των πρώτων υλών που απαιτούνται, διάφορες ουσίες όπως το CO₂ για παράδειγμα εκλύονται προς το περιβάλλον με την κάθε μια να έχει διαφορετική επίπτωση στην κάθε κατηγορία. Για κάθε ουσία το SimaPro έχει ένα συντελεστή που εκφράζει τη σχετική συμβολή της ουσίας στην εκάστοτε κατηγορία και έτσι παίρνουμε το διάγραμμα του χαρακτηρισμού.

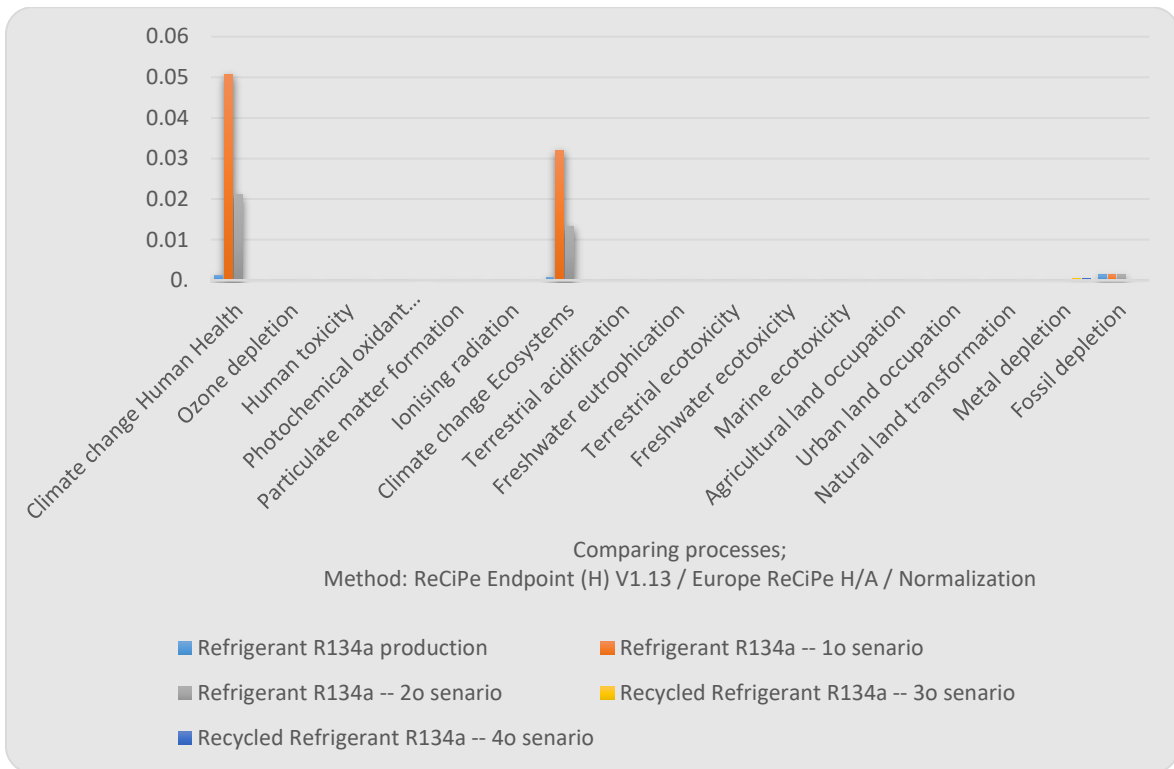


Διάγραμμα 17: Γράφημα χαρακτηρισμού για το R134A

Ακολουθεί το διάγραμμα 18 της κανονικοποίησης αποτελεσμάτων ανά κατηγορία επίδρασης όπου δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης αυτών με καθορισμένο σημείο αναφοράς. Συνηθέστερο είναι αυτό της μέσης ετήσιας επιβάρυνσης του περιβάλλοντος σε μια χώρα ή ήπειρο διαιρώντας κάθε φορά με το αντίστοιχο αριθμό κατοίκων, ώστε όλοι οι δείκτες να έχουν κοινή μονάδα μέτρησης.

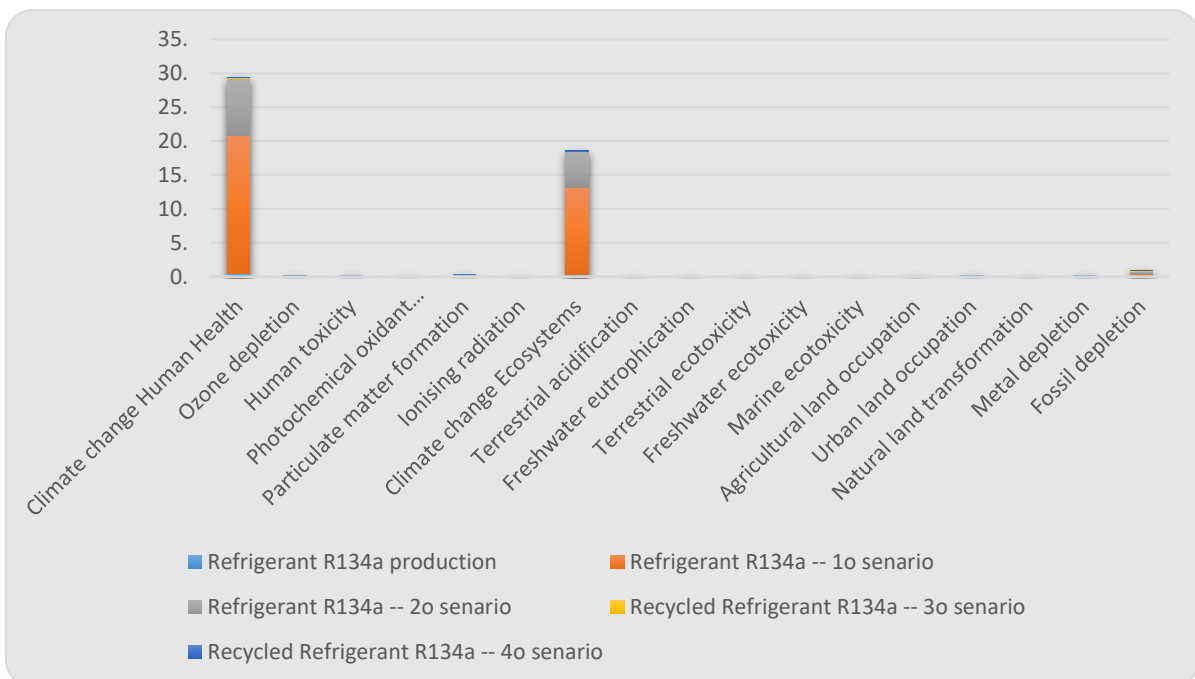
Με τη βοήθεια των διαγραμμάτων 17 και 18 του χαρακτηρισμού και της κανονικοποίησης αντίστοιχα παρατηρείται ότι οι κατηγορίες που επηρεάζονται περισσότερο από το R134A στο 1^ο και 2^ο σενάριο είναι:

- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία (Climate change Human Health)
- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με τα οικοσυστήματα (Climate change ecosystems)



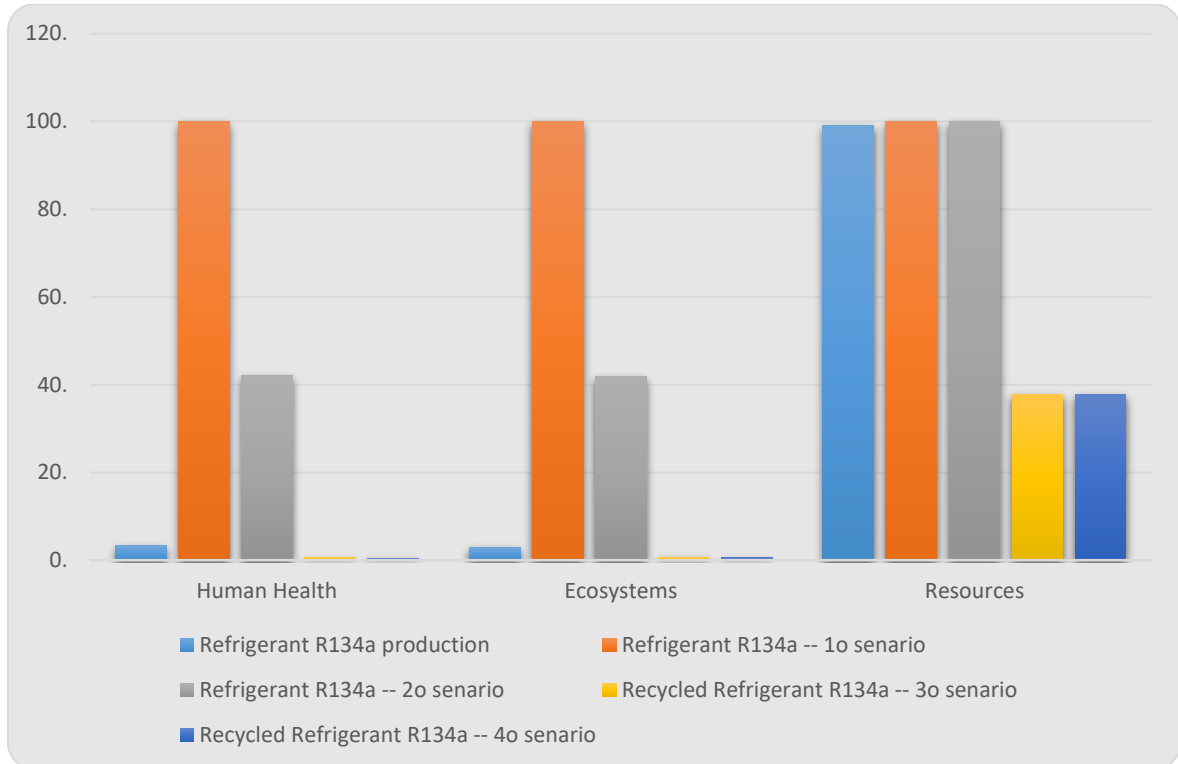
Διάγραμμα 18: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

Ακόμα παραθέτουμε το διάγραμμα 19 των συνολικών επιπτώσεων ανά κατηγορία επίδρασης από το SimaPro για όλα τα σενάρια. Και εκεί μπορούμε να δούμε ότι οι κατηγορίες που επηρεάζονται είναι α) η κλιματική αλλαγή σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία και β) η κλιματική αλλαγή σε σχέση με τα οικοσυστήματα για τα σενάρια 1^ο και 2^ο. Το 3^ο και 4^ο σενάριο έχουν πολύ μικρές επιρροές στις συνολικές επιπτώσεις.

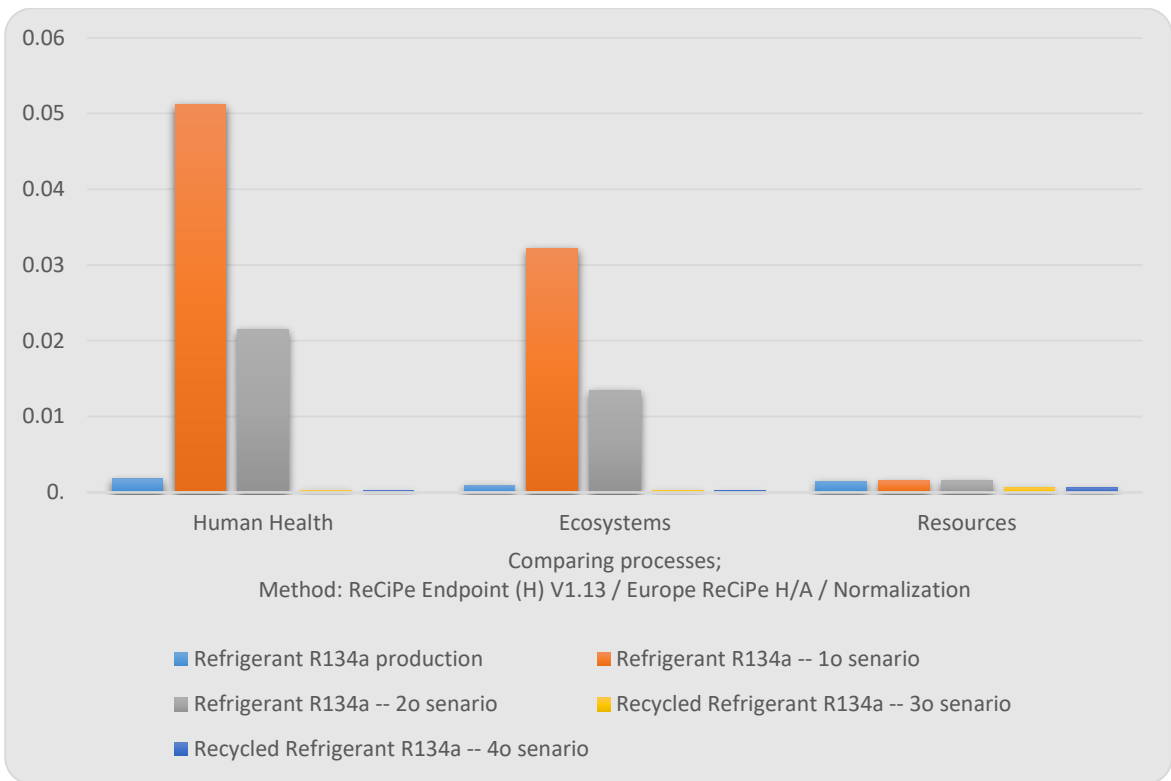


Διάγραμμα 19: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

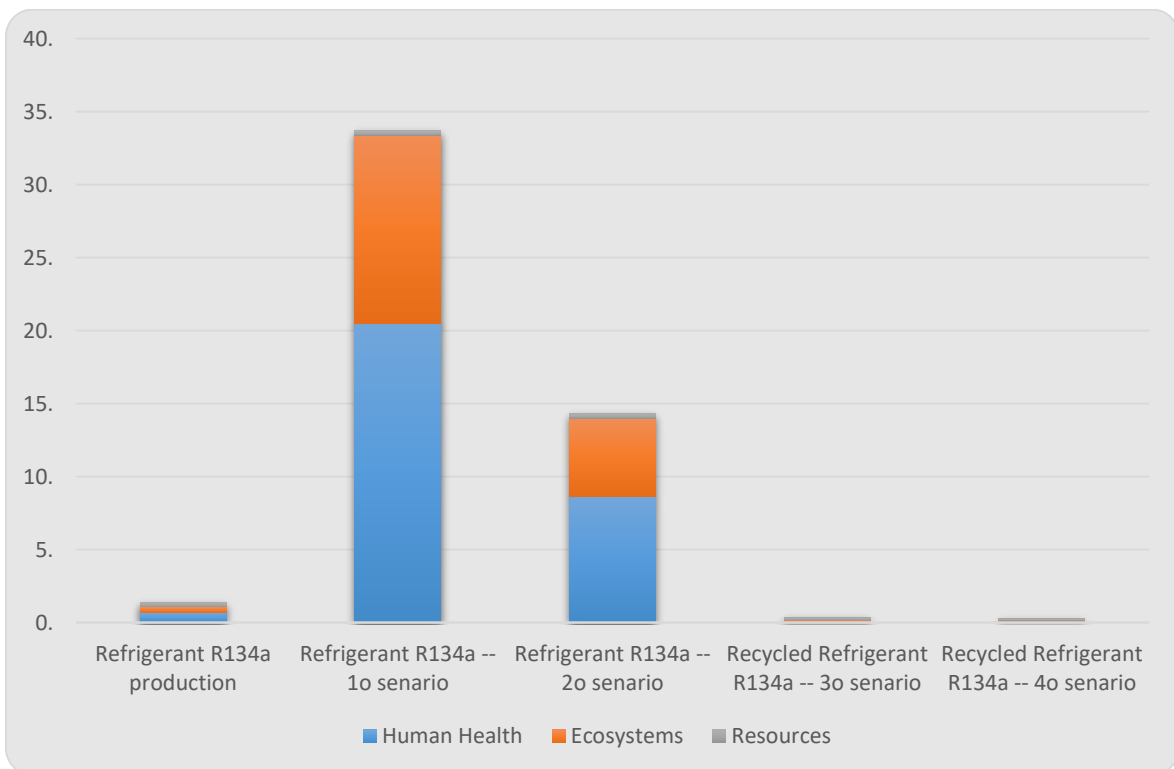
Στα διαγράμματα 20 και 21 της αξιολόγησης των βλαβών ανά κατηγορία και του συνολικού αποτελέσματος ανά κατηγορία βλάβης αντίστοιχα βλέπουμε ότι το 1^ο σενάριο έχει τις υψηλότερες τιμές σε όλες τις κατηγορίες. Όσο αφορά για την κατηγορία των πόρων παρότι στο διάγραμμα 20 βλέπουμε υψηλές τιμές σε όλα τα σενάρια, στις συνολικές επιπτώσεις δεν έχουν ιδιαίτερη επίδραση.



Διάγραμμα 20: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλάβης



Διάγραμμα 21: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών



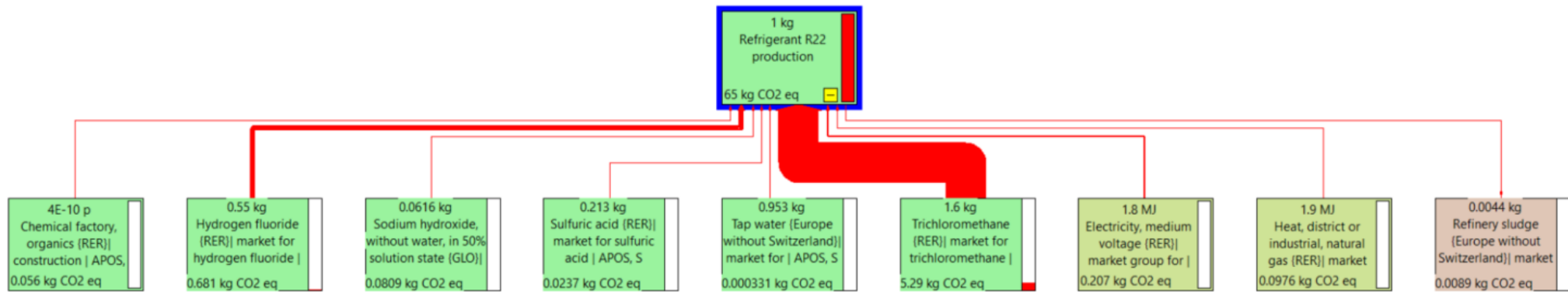
Διάγραμμα 22: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

Τέλος παραθέτουμε το διάγραμμα 22 των συνολικών επιπτώσεων ανά κατηγορία επίδρασης από το SimaPro για όλα τα σενάρια. Το 1^ο σενάριο φτάνει την τιμή των 33,6 Pt, το 2^ο τα 14,3 Pt ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις οι τιμές είναι αρκετά χαμηλά.

4.3.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το ψυκτικό R22

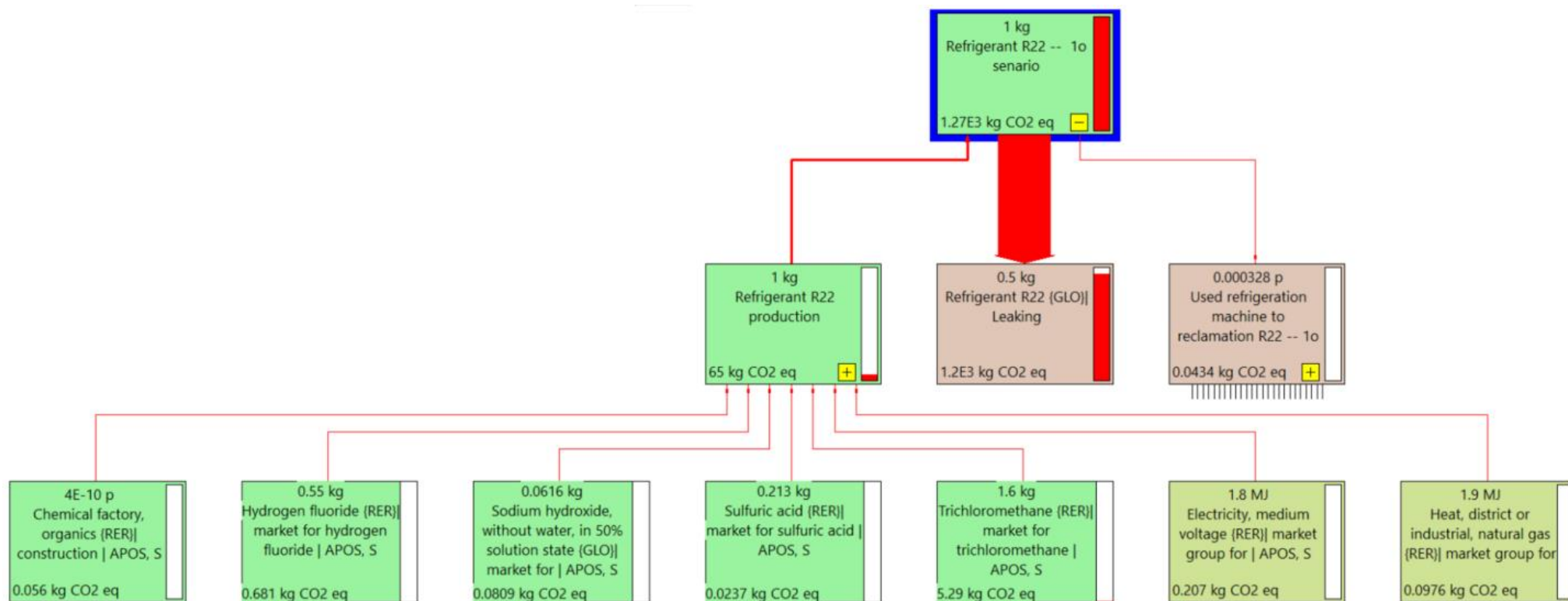
Το επόμενο ψυκτικό μέσω που μελετήθηκε ήταν το R22. Για την παραγωγή του R22 θεωρήσαμε την παραγωγή 1kg από το Chlorodifluoromethane βάση του πίνακα της ASRAE (παράρτημα 1) το οποίο υπήρχε στη βάση δεδομένων του SimaPro. Στη συνέχεια δημιουργήσαμε στην πλατφόρμα του SimaPro το ανακυκλώσιμο R22 το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα σενάρια 3 και 4. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης μέσω του SimaPro, με τα διαγράμματα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για το ψυκτικό R22 για τα διάφορα σενάρια που επιλέχθηκαν. Όπως και για στην προηγούμενη περίπτωση στα παρακάτω διαγράμματα ροής εμφανίζονται οι εισροές που έχουν επίδραση στο συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο.

Επιπτώσεις από την παραγωγή του R22



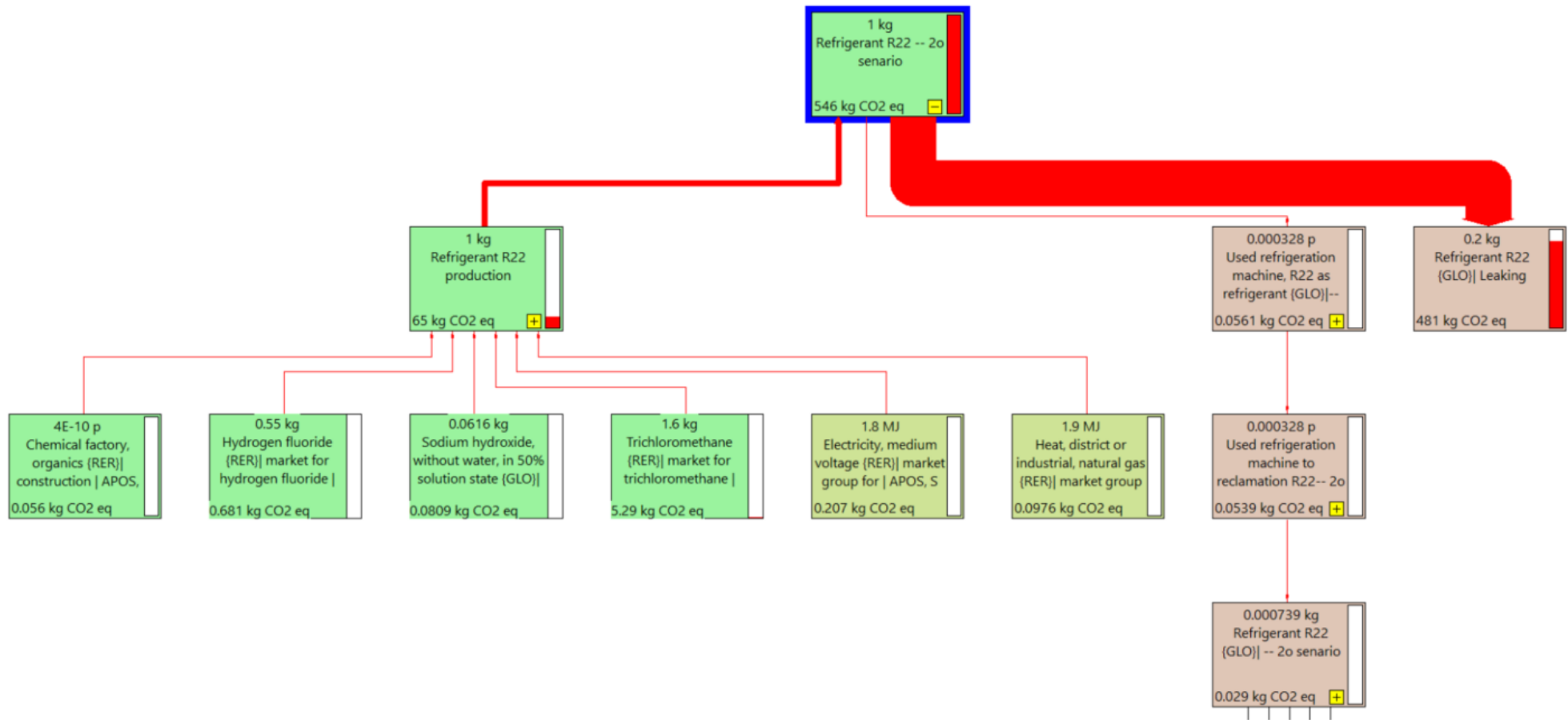
Διάγραμμα 23: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για την παραγωγή του R22

Σενάριο 1° → 50% διαρροές, 30% ανάκτηση και 20% διάθεση



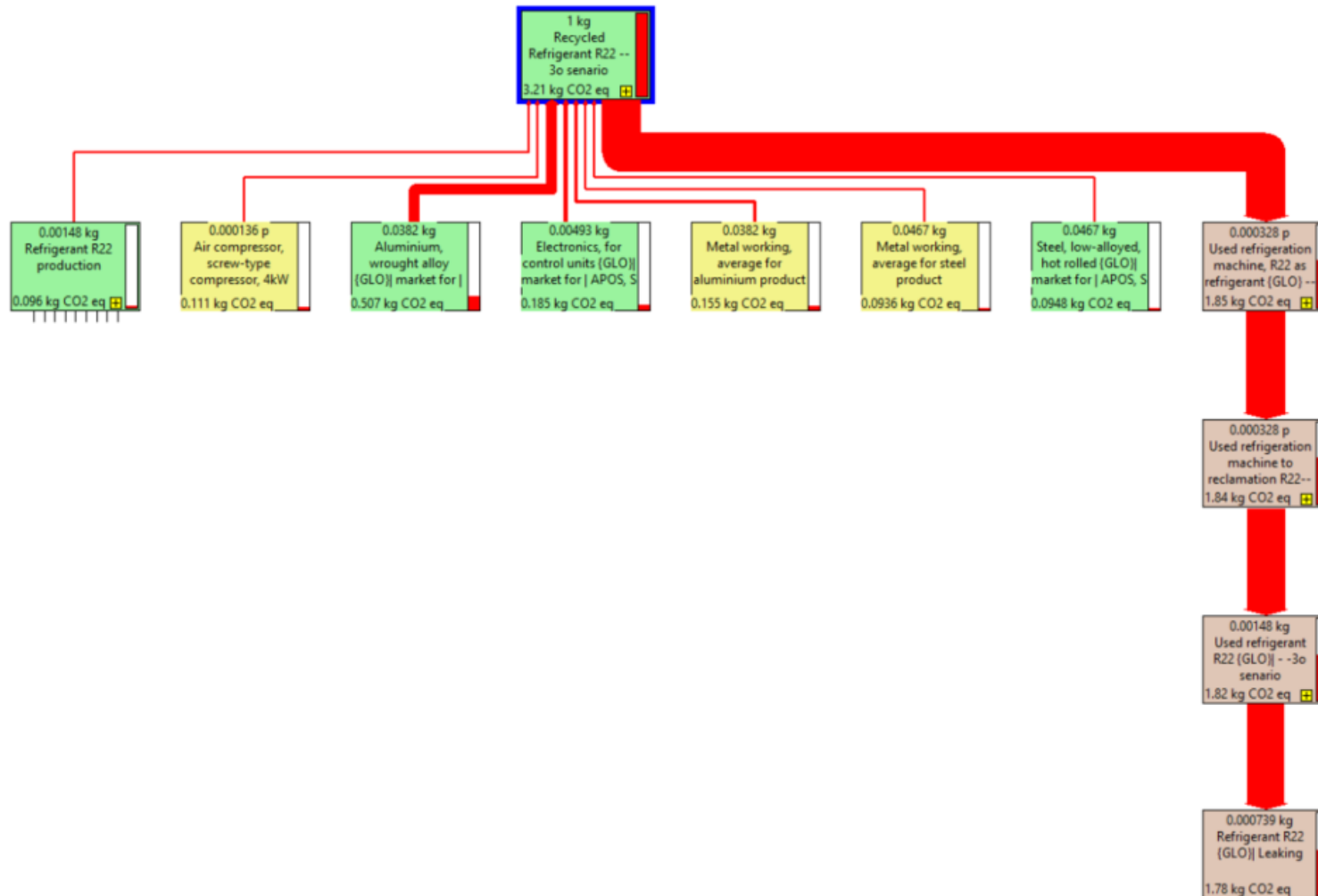
Διάγραμμα 24: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων μέχρι το τέλος ζωής του R22 για το 1° σενάριο

Σενάριο 2° → 20% διαρροές, 80% ανάκτηση



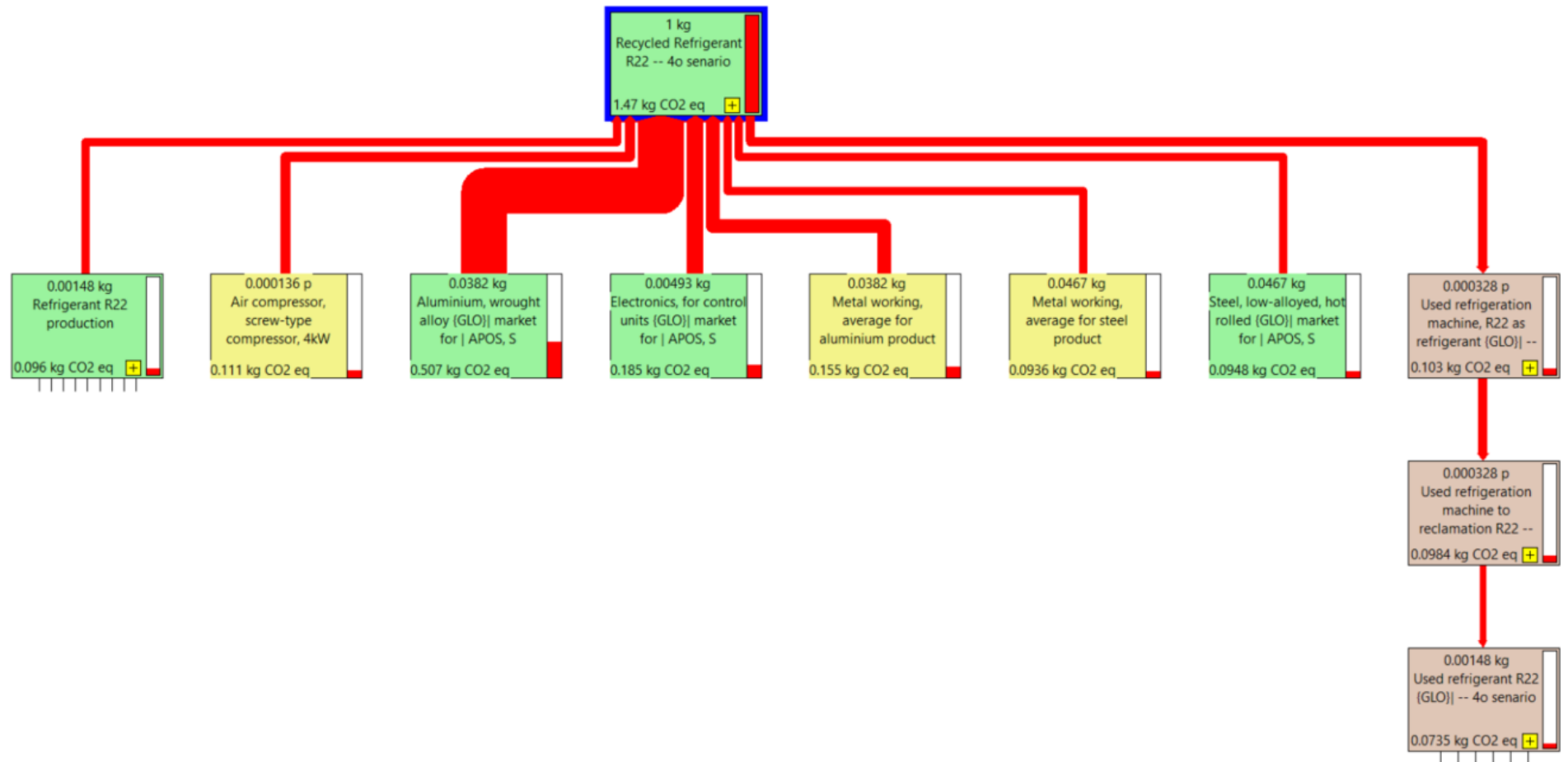
Διάγραμμα 25: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτιών μέχρι το τέλος ζωής του R22 για το 2° σενάριο

Σενάριο 3° → ανακυκλώσιμο R22 και 50% διαρροές, 30% ανάκτηση και 20% διάθεση



Διάγραμμα 26: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτιών μέχρι το τέλος ζωής του R22 για το 3° σενάριο

Σενάριο 4° → ανακυκλώσιμο R22 και 0% διαρροές, 70% ανάκτηση και 30% διάθεση



Διάγραμμα 27: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτιών μέχρι το τέλος ζωής του R22 για το 4° σενάριο

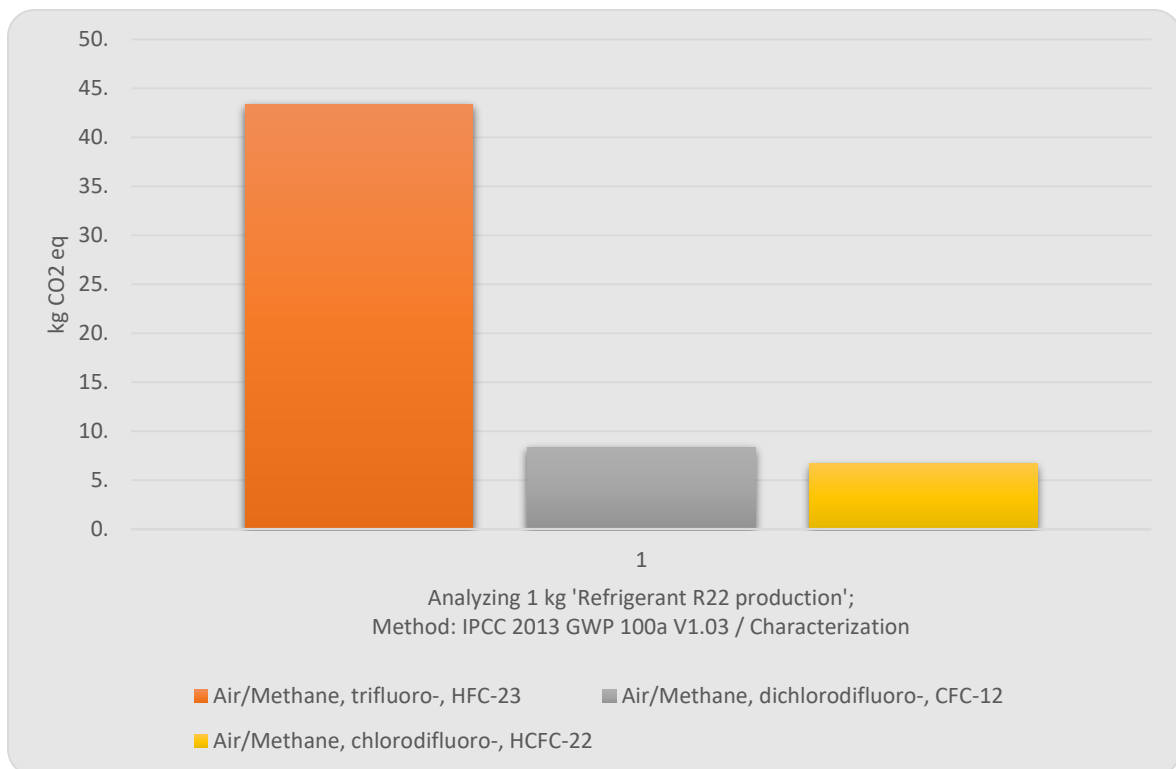
Σε αυτήν την περίπτωση η ποσότητα CO₂ eq που εκλύεται από την παραγωγή του R22 είναι 65 kg CO₂ eq. Η περιβαλλοντική επιβάρυνση από τις ροές υλικών και προϊόντων που απαιτούνται φτάνουν τα 6,5 kg CO₂ eq.

Οι κύριες ροές υλικών που εμφανίζονται είναι οι παρακάτω:

- 1) Τριχλωρομεθάνιο ή χλωροφόρμιο (trichloromethane) → 5,29 kg CO₂ eq
- 2) Υδροφθόριο (Hydrogen fluoride) → 0,681 kg CO₂ eq

Τα υπόλοιπα 58,5 kg CO₂ eq προέρχονται από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υποπροϊόντων που δημιουργούνται κατά την παραγωγή του R22. Πιο αναλυτικά:

- 4) Air/Methane, trifluoro-, HFC-23 → 43,3 kg CO₂ eq
- 5) Air/Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12 → 8,364 kg CO₂ eq
- 6) Air/Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22 → 6,688 kg CO₂ eq



Διάγραμμα 28: Περιβαλλοντικό φορτίο παραπροϊόντων του R22

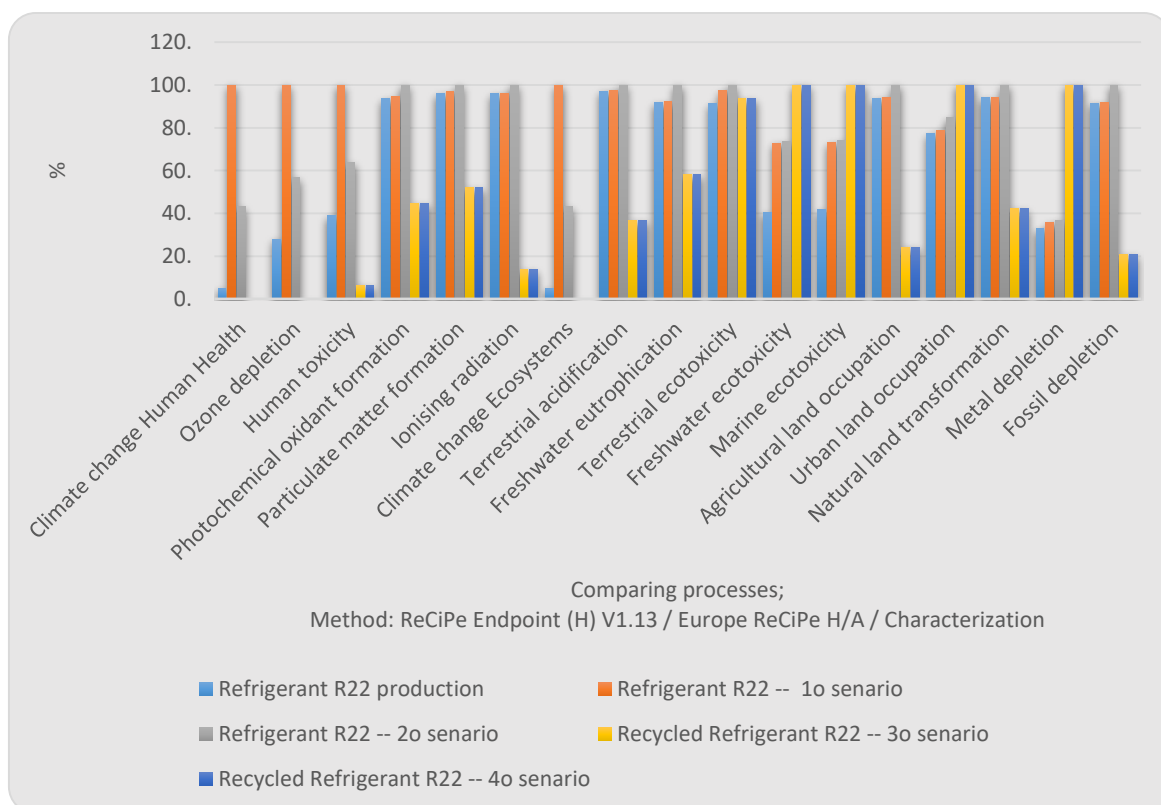
Από τον πίνακα 9 όπου περιλαμβάνει τα ποσά CO₂ σε όλες τις περιπτώσεις που μελετήσαμε, παρατηρείται πολύ μεγάλη διαφορά μεταξύ των σεναρίων. Στο 1^ο σενάριο τα ποσά CO₂ φτάνουν τα 1270 kg CO₂ eq, στο 2^ο τα 546 kg CO₂ eq ενώ στο 3^ο και 4^ο έχουμε κατακόρυφη πτώση με τις τιμές να πέφτουν στα 3,21 και 1,47 kg CO₂ eq αντίστοιχα.

Σενάρια	Παραγωγή	1° σενάριο	2° σενάριο	3° σενάριο	4° σενάριο
R22 (kg CO ₂ eq)	65	1270	546	3,21	1,47

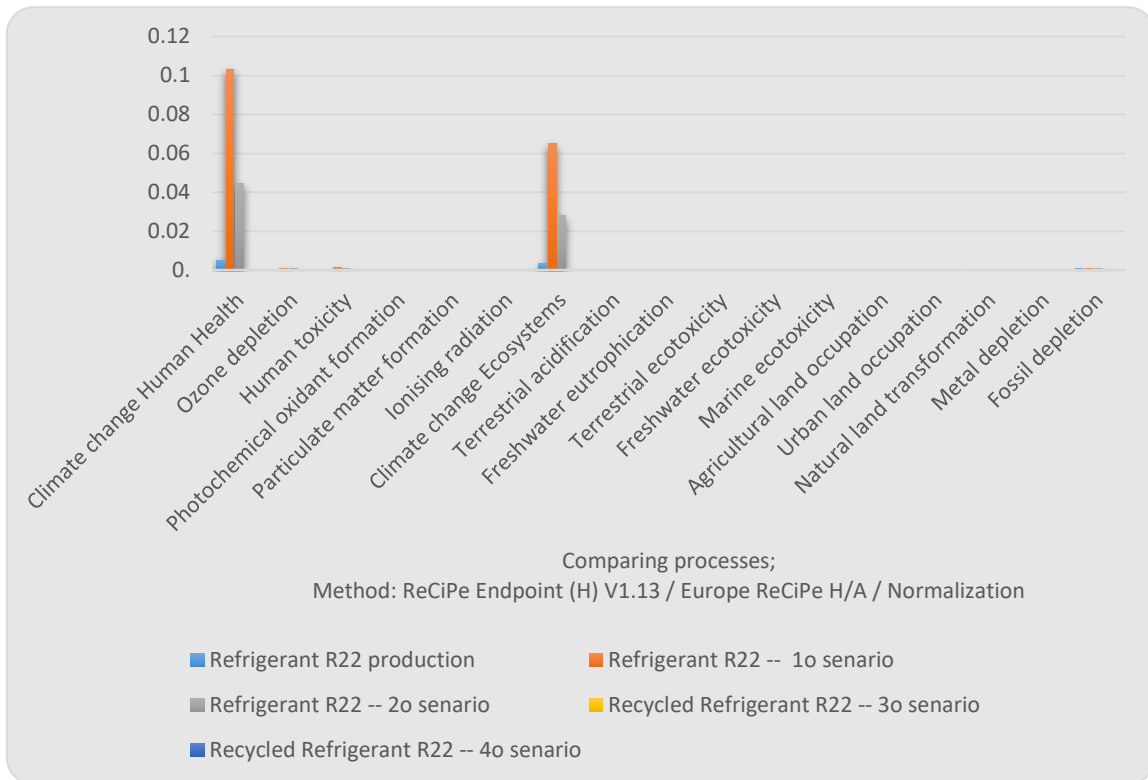
Πίνακας 9: Ποσά CO₂ για το R22 σε όλα τα σενάρια

Στο διάγραμμα 29 του χαρακτηρισμού του R22 παρατηρείται ότι στις περισσότερες κατηγορίες εμφανίζονται όλα τα σενάρια, παρόλο τις μεγάλες διαφορές στις τιμές. Στα διαγράμματα 30 και 31 της κανονικοποίησης και των συνολικών επιπτώσεων ανά κατηγορία βλέπουμε ότι οι επηρεαζόμενες κατηγορίες είναι:

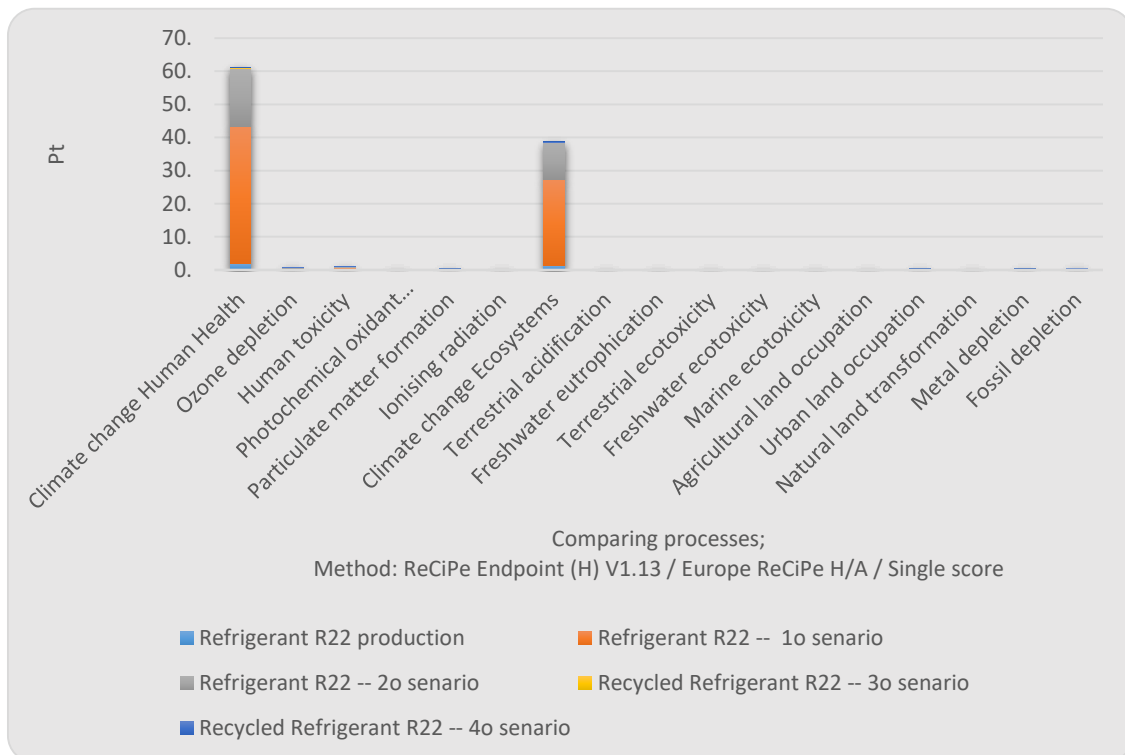
- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία (Climate change Human Health)
- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με τα οικοσυστήματα (Climate change ecosystems)



Διάγραμμα 29: Γράφημα χαρακτηρισμού για το R22

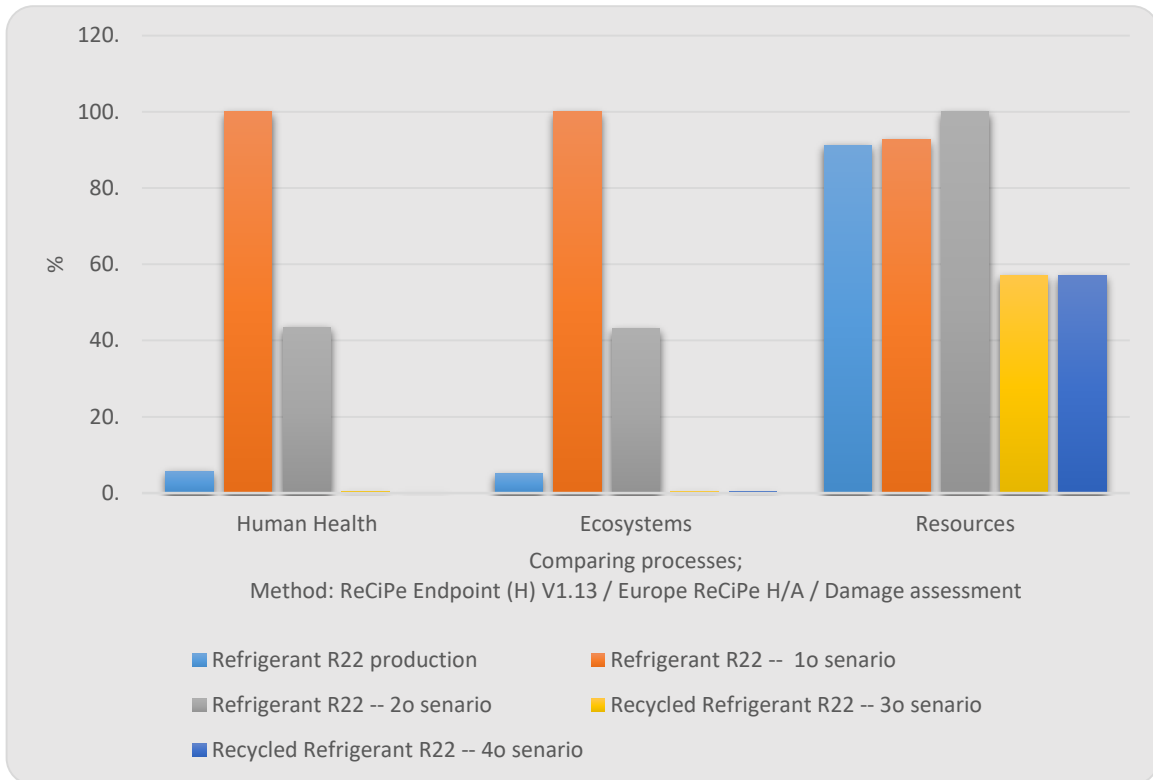


Διάγραμμα 30: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

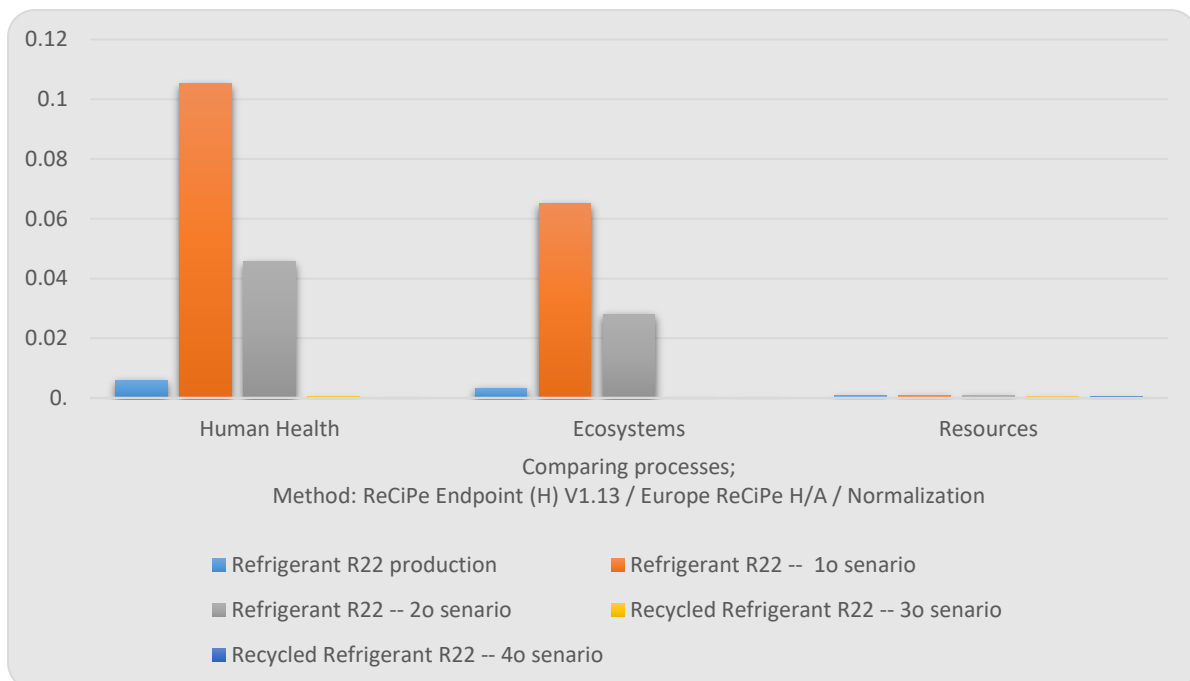


Διάγραμμα 31: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

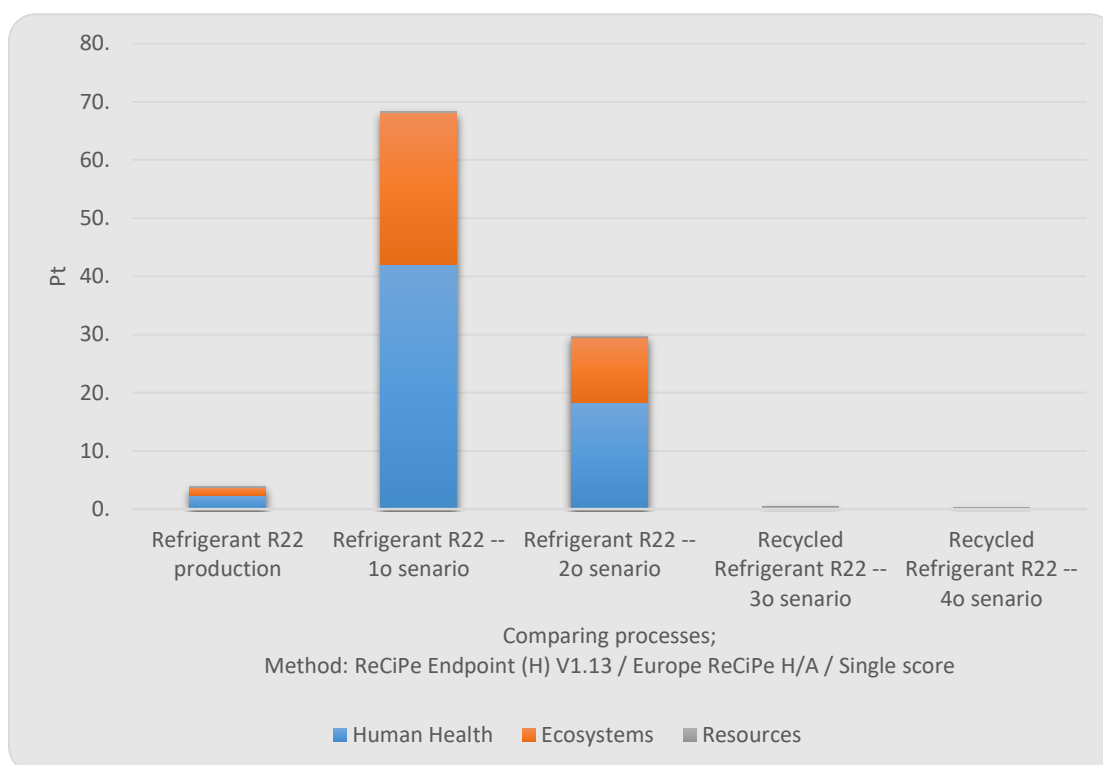
Στο διάγραμμα 32 της αξιολόγησης της βλάβης παρατηρείται ότι το 1^ο σενάριο έχει την μεγαλύτερη επίδραση στις κατηγορίες της ανθρώπινης υγείας και των οικοσυστημάτων ενώ στην κατηγορία των πρώτων υλών το 2^ο σενάριο έχει υψηλότερη τιμή. Μέσω των διαγραμμάτων 33 και 34 είναι εμφανές ότι το 1^ο και 2^ο σενάριο είναι αυτά που έχουν την μεγαλύτερη επίδραση. Οι επηρεαζόμενες κατηγορίες είναι της ανθρώπινης υγείας και των οικοσυστημάτων.



Διάγραμμα 30: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλάβης



Διάγραμμα 31: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών

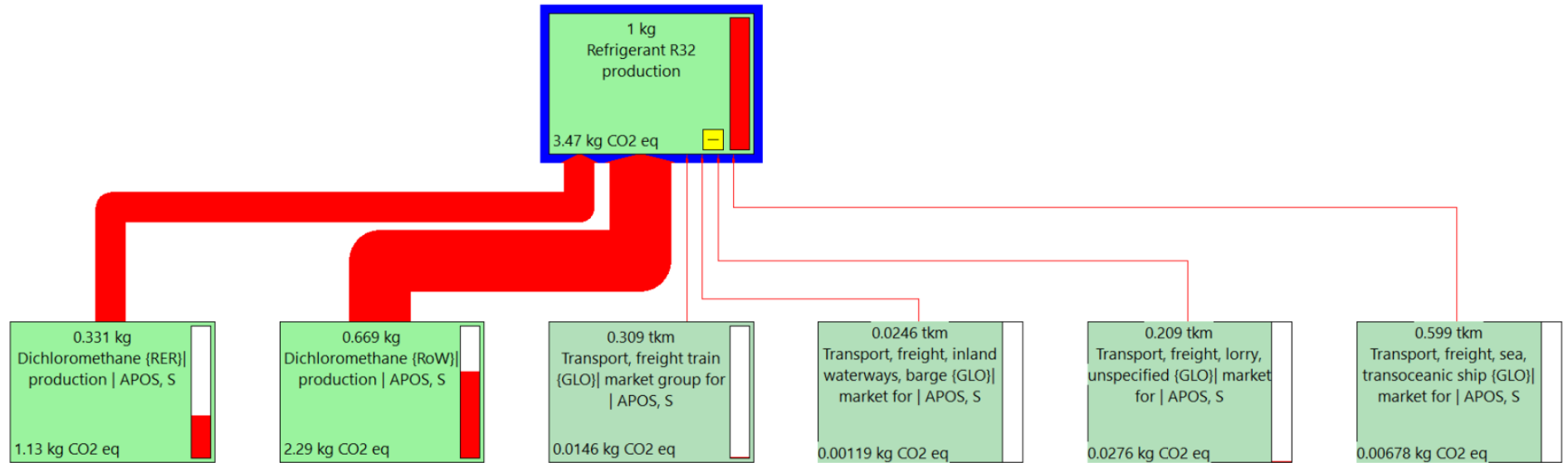


Διάγραμμα 32: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

4.3.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το ψυκτικό R32

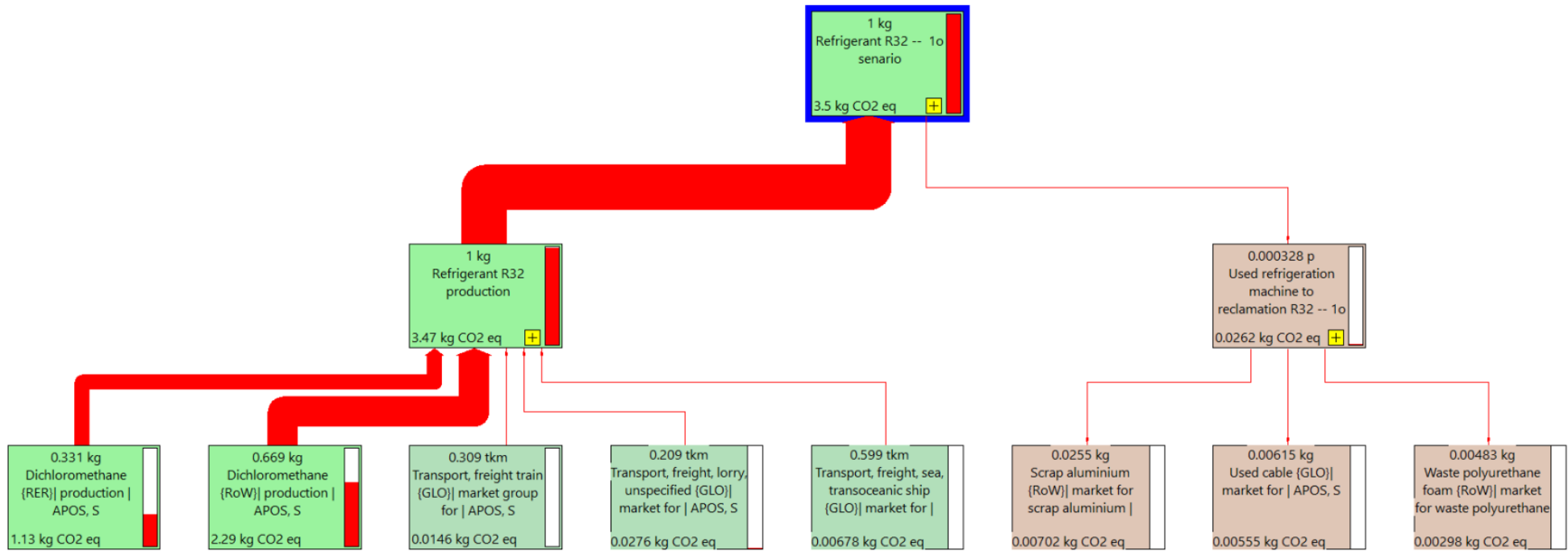
Το τελευταίο ψυκτικό μέσω που μελετήθηκε ήταν το R32 το οποίο θεωρείτε ένα από τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον. Για την παραγωγή του R32 θεωρήσαμε την παραγωγή 1kg από το Dichloromethane βάση του πίνακα της ASRAE (παράρτημα 1) το οποίο υπήρχε στη βάση δεδομένων του SimaPro. Όπως και για το R22 με τη βοήθεια της βάσης δεδομένων δημιουργήσαμε το R32 μετά από ανάκτηση το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα σενάρια 3 και 4. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης μέσω του SimaPro, με τα διαγράμματα ροής περιβαλλοντικών φορτίων για το ψυκτικό R32 για τα διάφορα σενάρια που επιλέχθηκαν.

Επιπτώσεις από την παραγωγή του R32



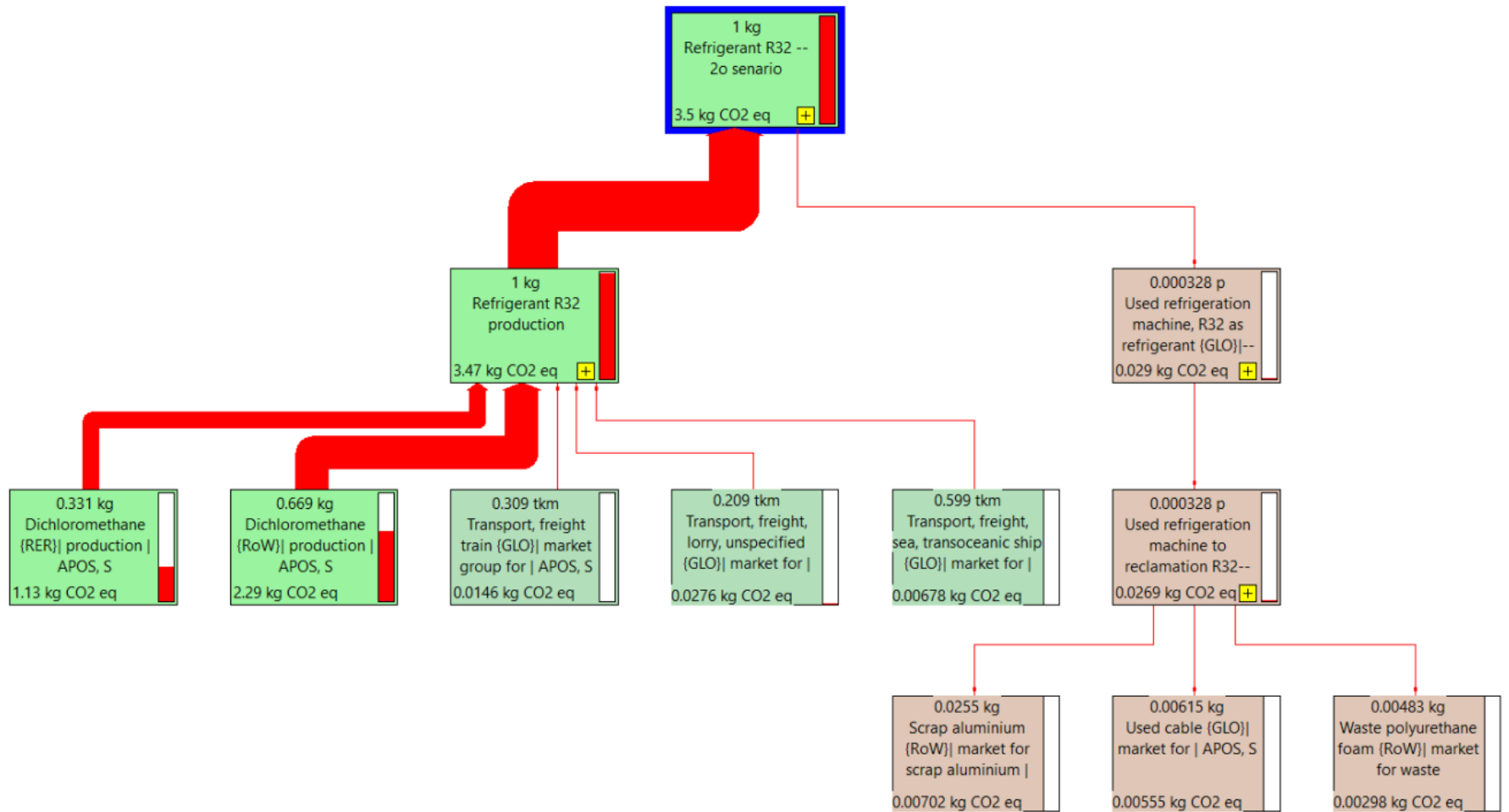
Διάγραμμα 33: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων κατά την παραγωγή του R32

Σενάριο 1° → 50% διαρροές, 30% ανάκτηση και 20% διάθεση



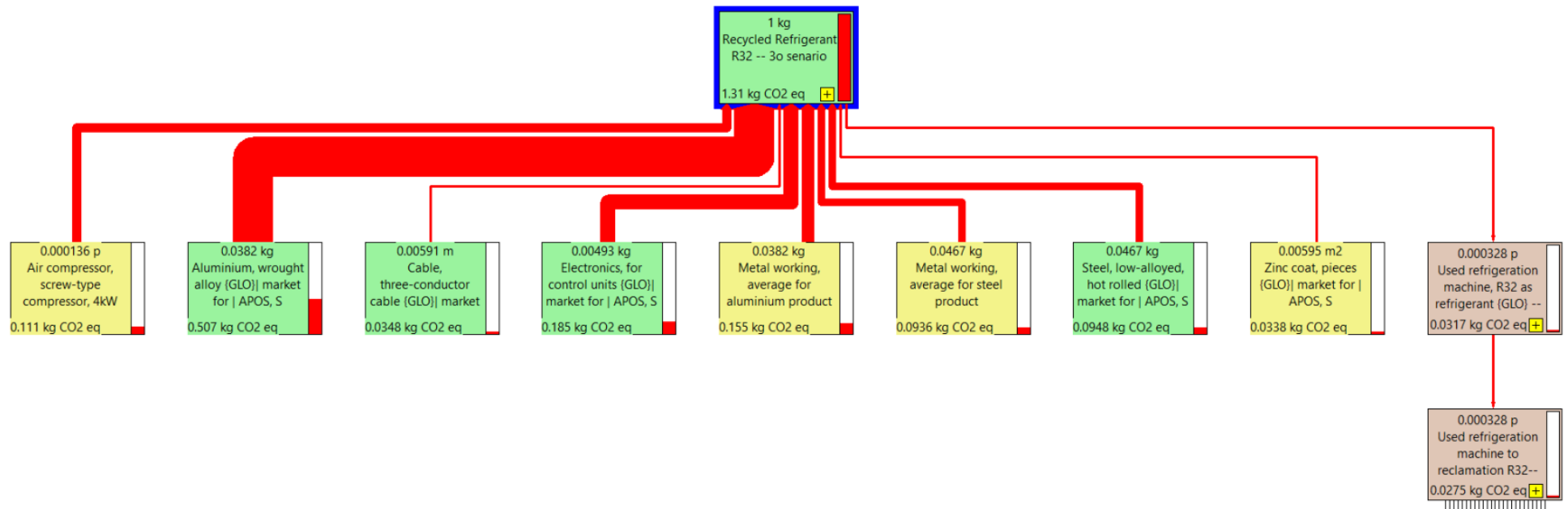
Διάγραμμα 34: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων μέχρι το τέλος ζωής του R134A για το 1° σενάριο

Σενάριο 2° → 20% διαρροές, 80% ανάκτηση



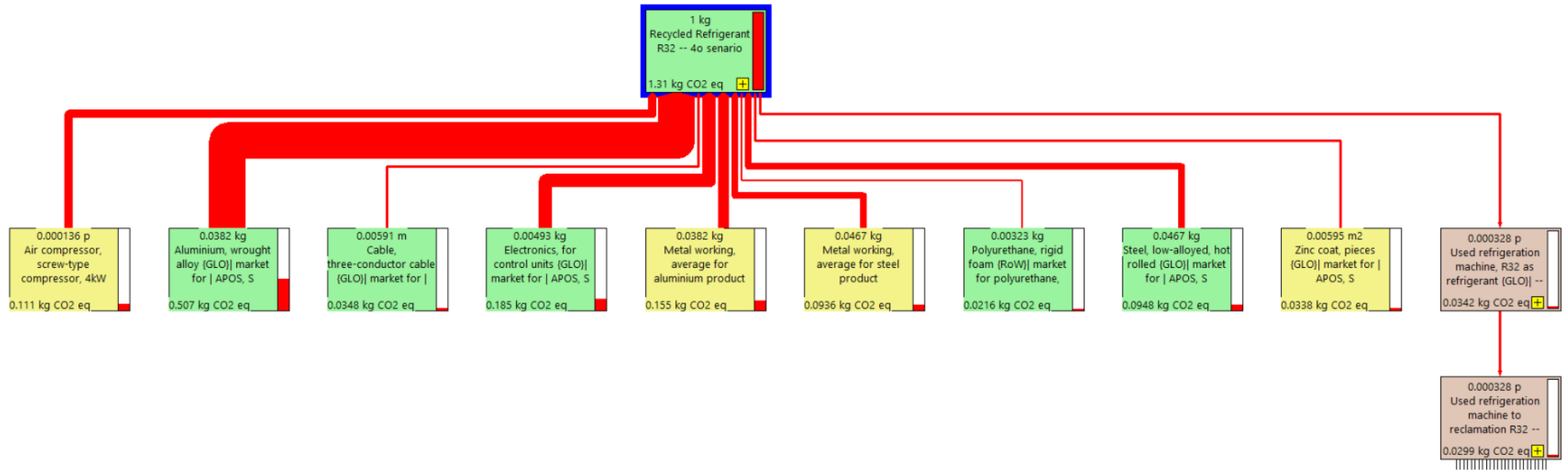
Διάγραμμα 35: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτιών μέχρι το τέλος ζωής του R134A για το 2° σενάριο

Σενάριο 3° → ανακυκλώσιμο R32 και 50% διαρροές, 30% ανάκτηση και 20% διάθεση



Διάγραμμα 36: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτιών μέχρι το τέλος ζωής του R32 για το 3° σενάριο

Σενάριο 4° → ανακυκλώσιμο R32 και 0% διαρροές, 70% ανάκτηση και 30% διάθεση



Διάγραμμα 37: Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτιών μέχρι το τέλος ζωής του R32 για το 4° σενάριο

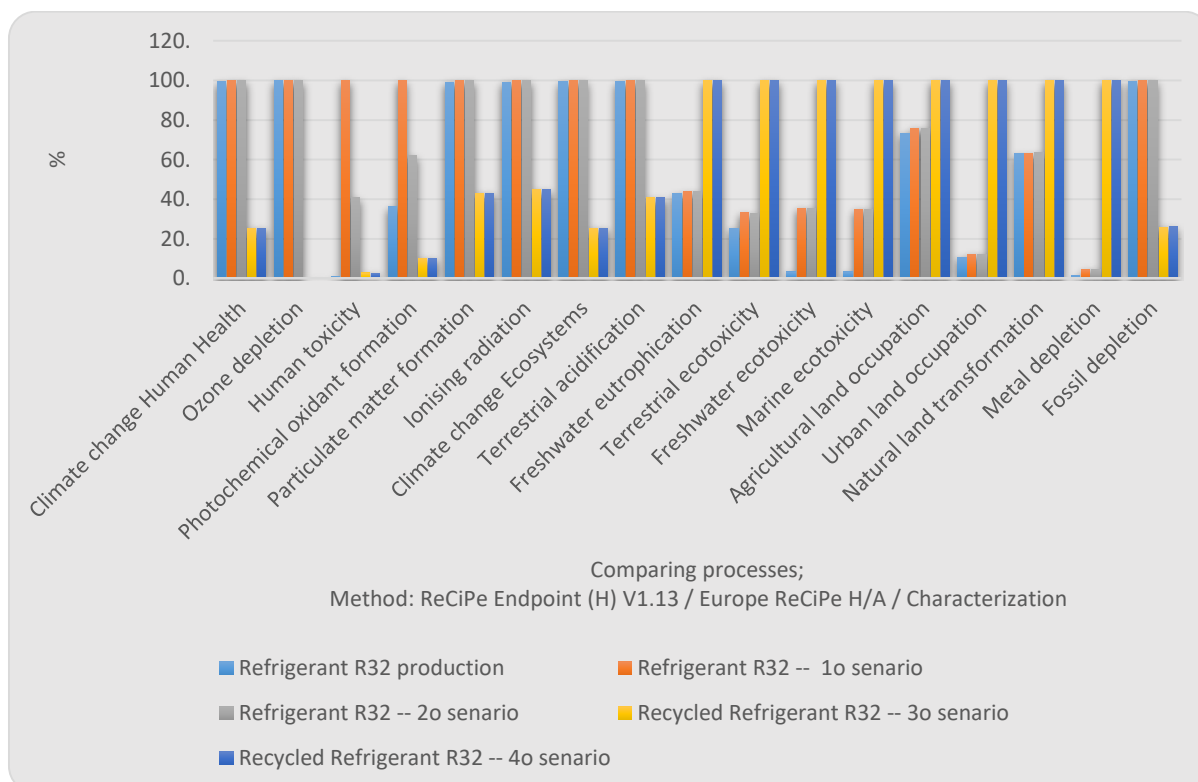
Σε αυτήν την τελευταία περίπτωση η ποσότητα CO₂ eq που εκλύεται από την παραγωγή του R32 είναι 3,47 kg CO₂ eq. Η κύρια ροή που εμφανίζονται είναι από το Διχλωρομεθάνιο (dichloromethane) με φορτίο 3,42 kg CO₂ eq.

Από τον πίνακα 10 όπου περιλαμβάνει τα ποσά CO₂ σε όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, παρατηρείται ότι στα σενάρια 1 & 2 όπως και στα 3 & 4, τα ποσά CO₂ δεν αλλάζουν. Αυτό οφείλετε στο ότι η διαρροές δεν επηρεάζουν σε τόσο σημαντικό βαθμό όπως στα προηγούμενα ψυκτικά που είχαμε πολύ μεγάλες αποκλίσεις.

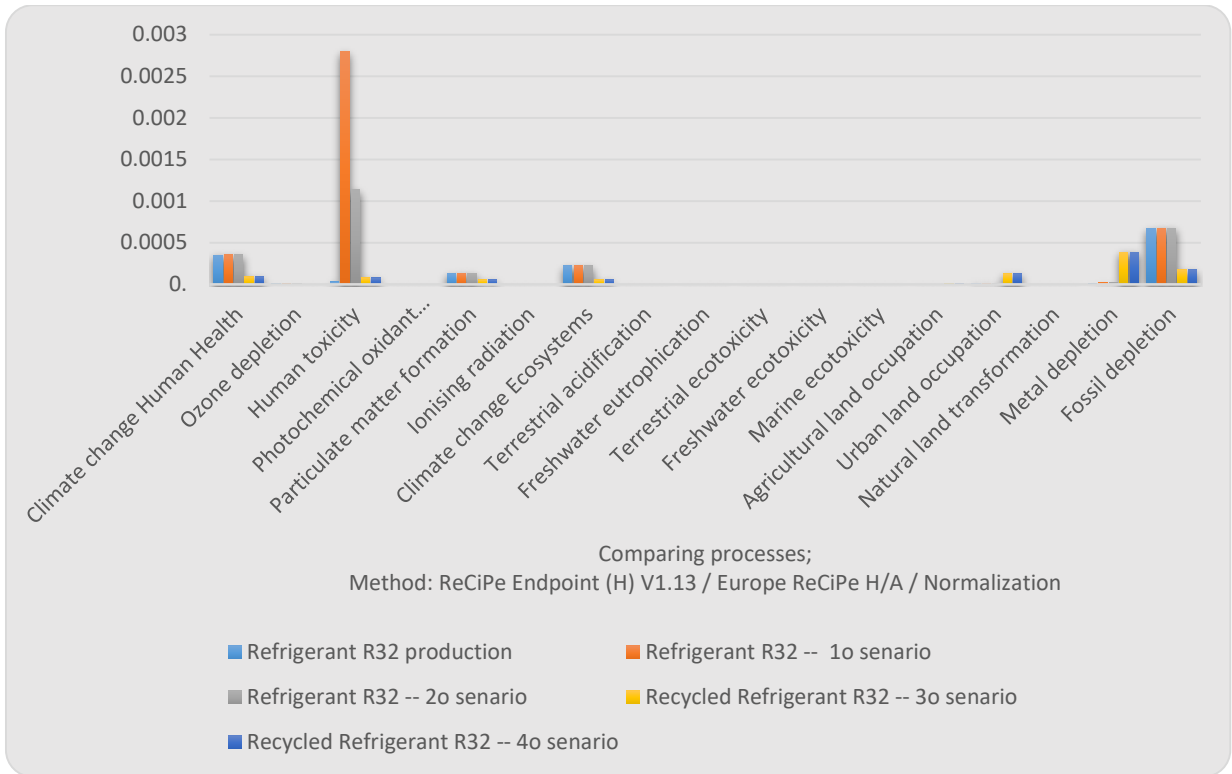
Σενάρια	Παραγωγή	1 ^ο σενάριο	2 ^ο σενάριο	3 ^ο σενάριο	4 ^ο σενάριο
R32 (kg CO ₂ eq)	3,47	3,5	3,5	1,31	1,31

Πίνακας 9: Ποσά CO₂ για το R134A σε όλα τα σενάρια

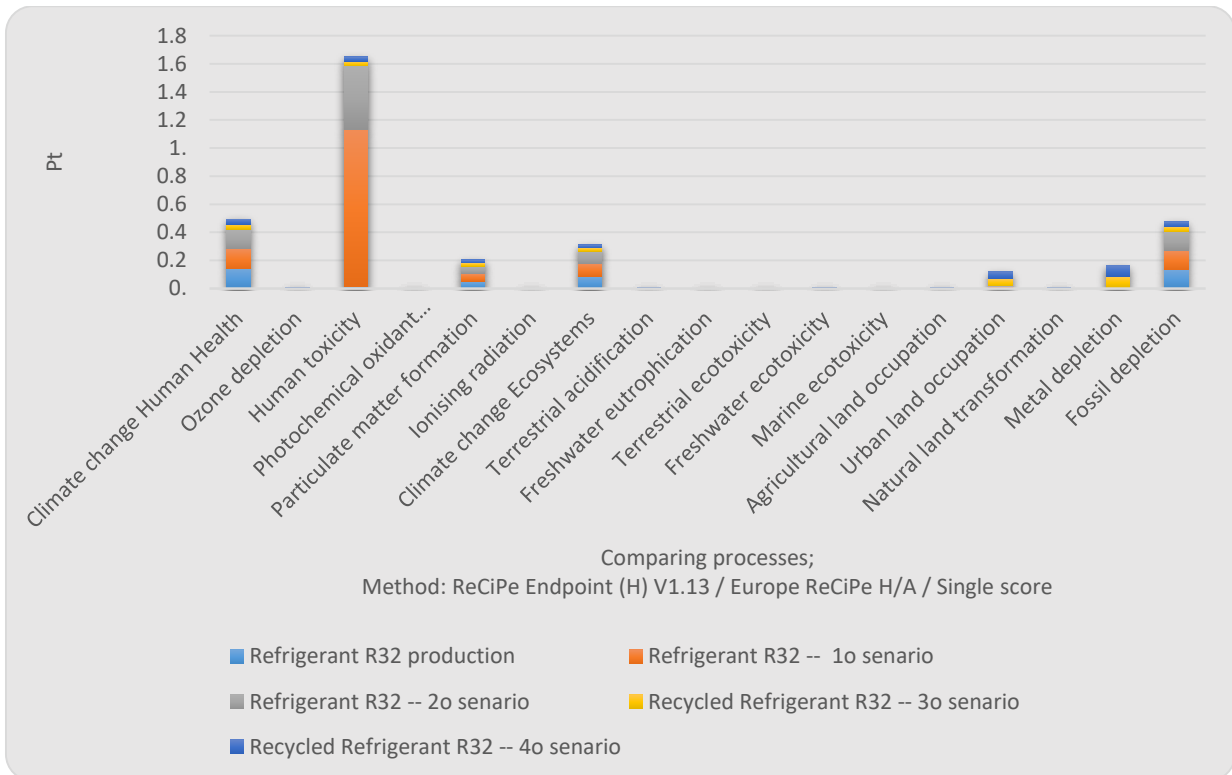
Από τα διαγράμματα 40, 41 και 42 του χαρακτηρισμού, της κανονικοποίησης και των συνολικών επιπτώσεων ανά κατηγορία αντίστοιχα, παρατηρείται ότι η κατηγορία με την μεγαλύτερη επίδραση είναι αυτή της ανθρώπινης τοξικότητας (Human Toxicity). Επίσης στο διάγραμμα συνολικών επιπτώσεων του R32 οι τιμές στο διάγραμμα κυμαίνονται σε πολύ χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τα 2 προηγούμενα ψυκτικά, για αυτό το λόγο στο διάγραμμα της κανονικοποίησης έχουμε και άλλες κατηγορίες που εμφανίζονται στο διάγραμμα.



Διάγραμμα 38: Γράφημα χαρακτηρισμού για το R32

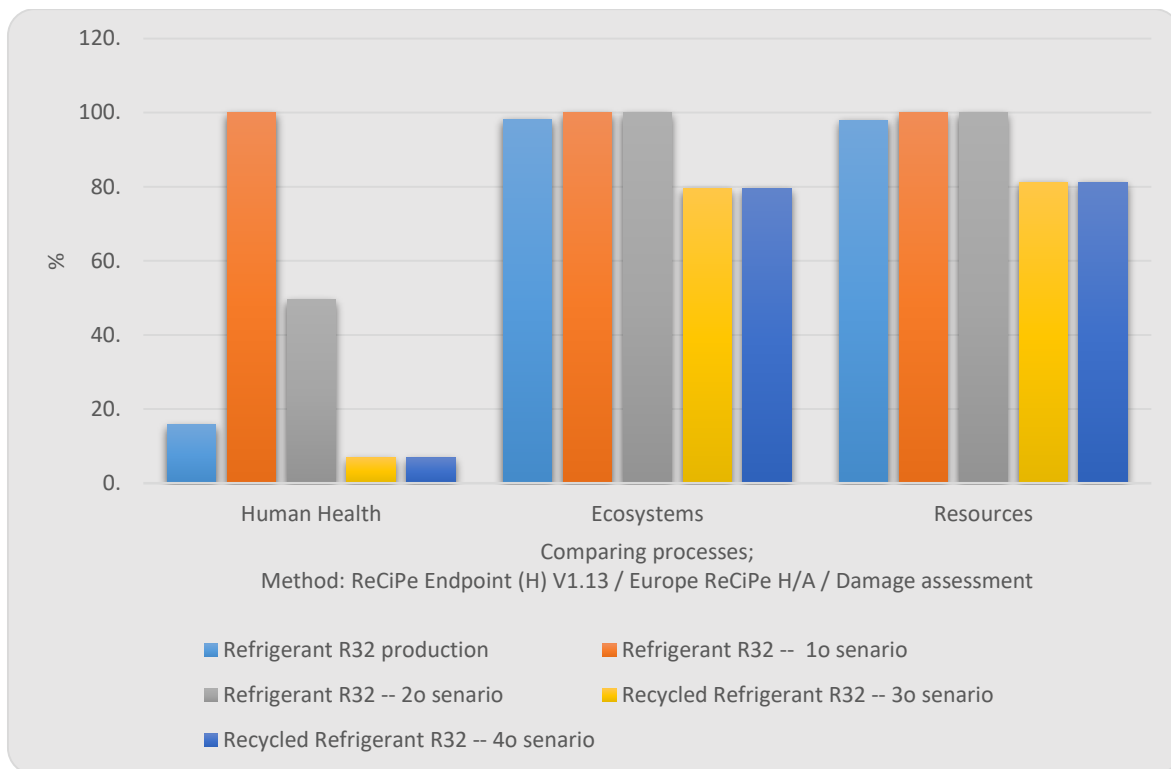


Διάγραμμα 39: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

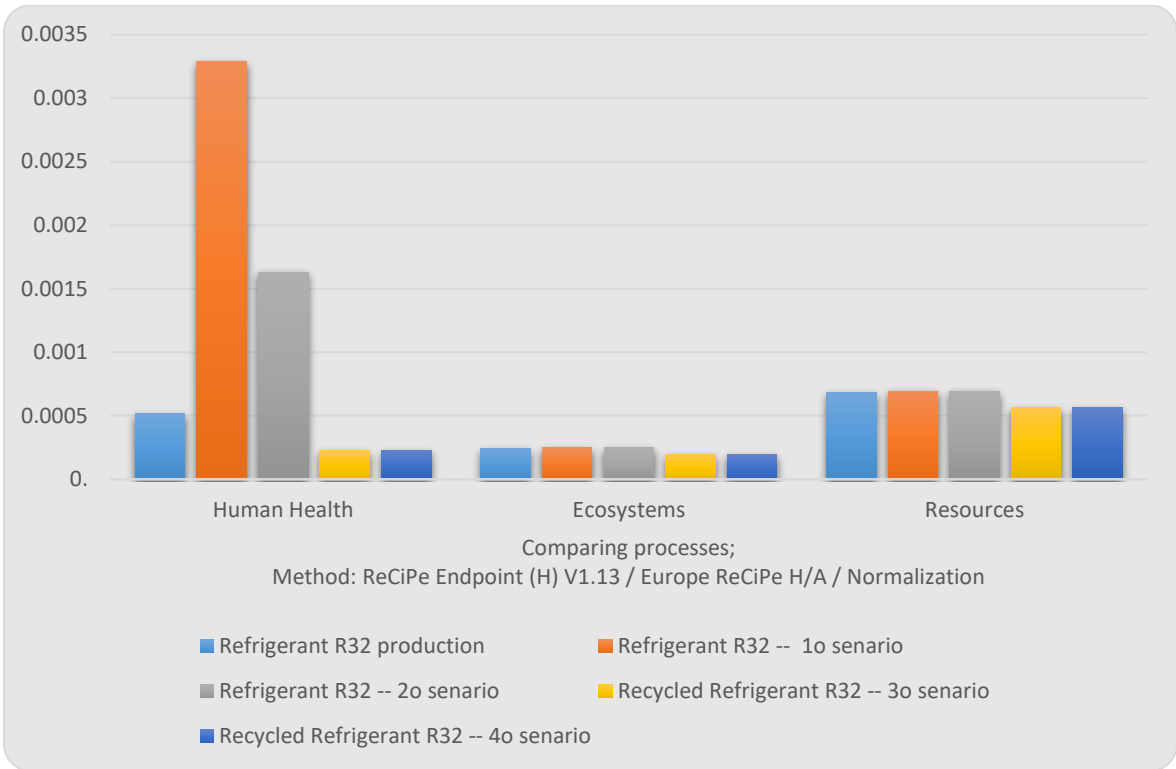


Διάγραμμα 40: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

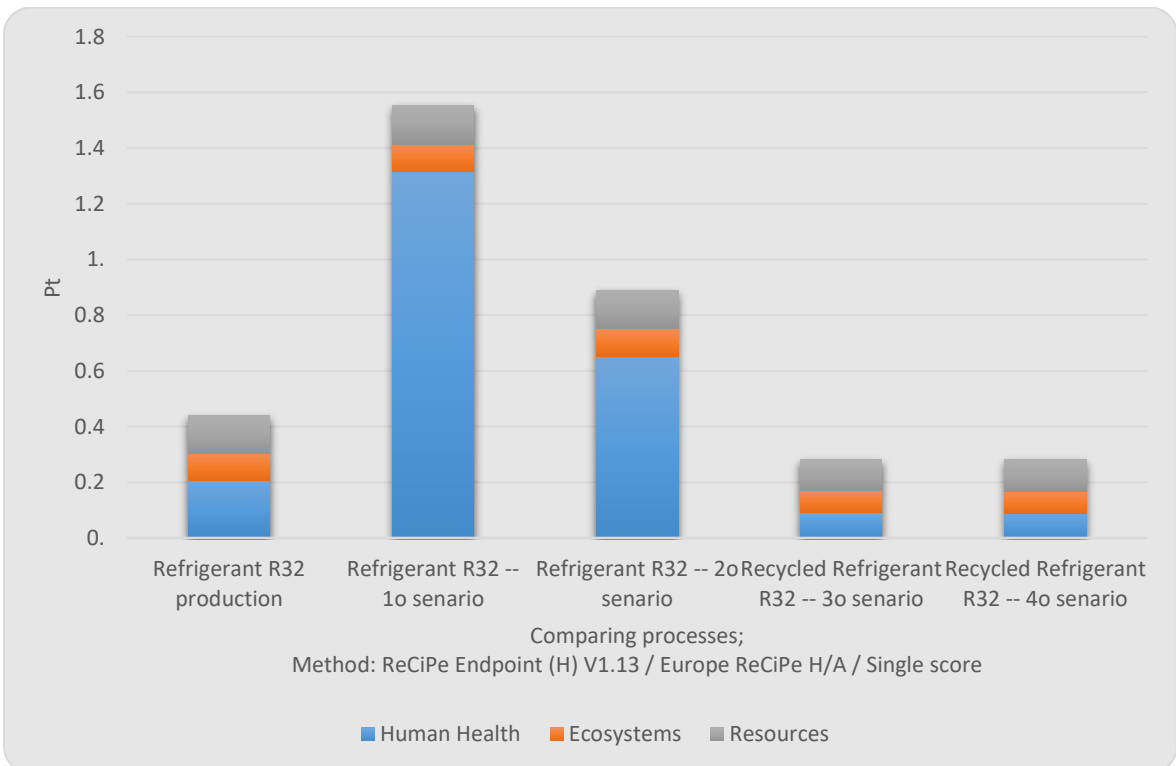
Στο διάγραμμα 43 της αξιολόγησης της βλάβης παρατηρείται υψηλό ποσοστό στις κατηγορίες των οικοσυστημάτων και των πρώτων υλών ενώ το 1^ο σενάριο έχει τιμή 100% και στις 3 κατηγορίες. Παρατηρώντας τα παρακάτω διαγράμματα είναι εμφανές ότι το 1^ο σενάριο έχει τις υψηλότερες τιμές στην κατηγορία την ανθρώπινης υγείας. Τέλος, στο διάγραμμα 45 των συνολικών αποτελεσμάτων η σύγκριση γίνεται σε πολύ χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τα προηγούμενα ψυκτικά μέσα.



Διάγραμμα 41: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλάβης



Διάγραμμα 42: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών



Διάγραμμα 43: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

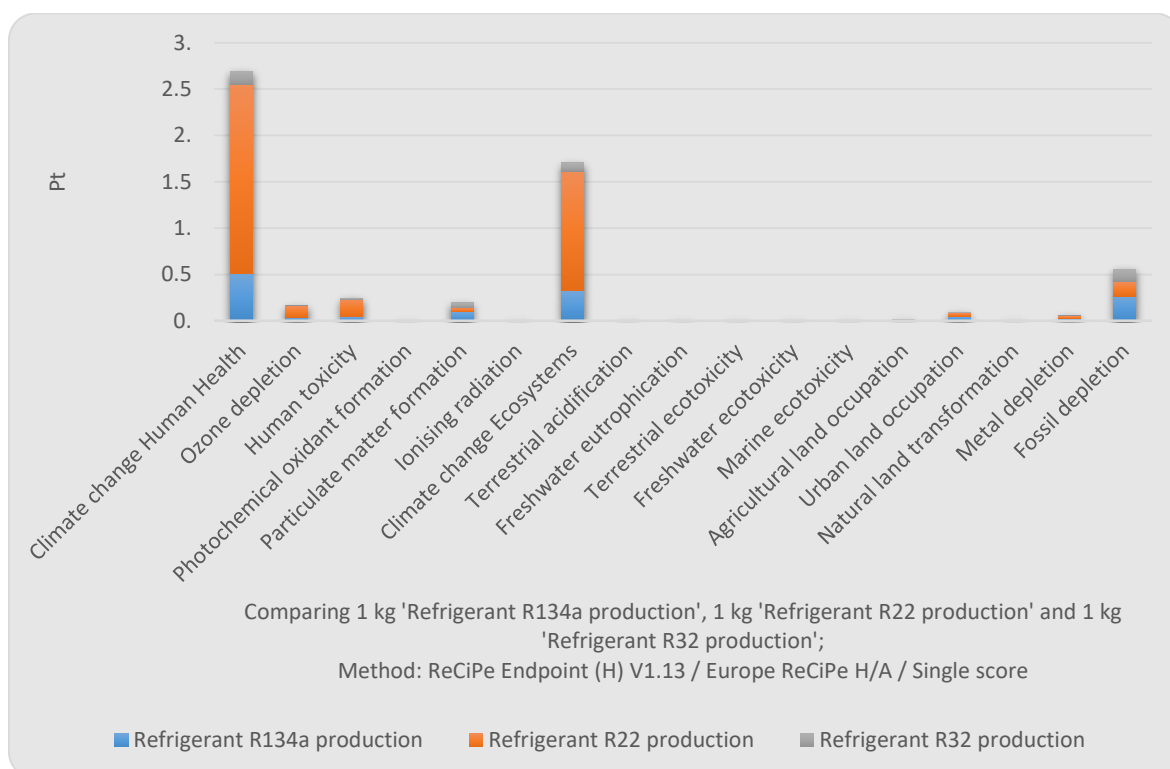
4.3.4 Σύγκριση ψυκτικών μέσων

Ακόμα μέσω του λογισμικού SimaPro πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ των ψυκτικών στις περιπτώσεις:

- 1) Παραγωγής
- 2) Στο 1^ο σενάριο
- 3) Στο 3^ο σενάριο

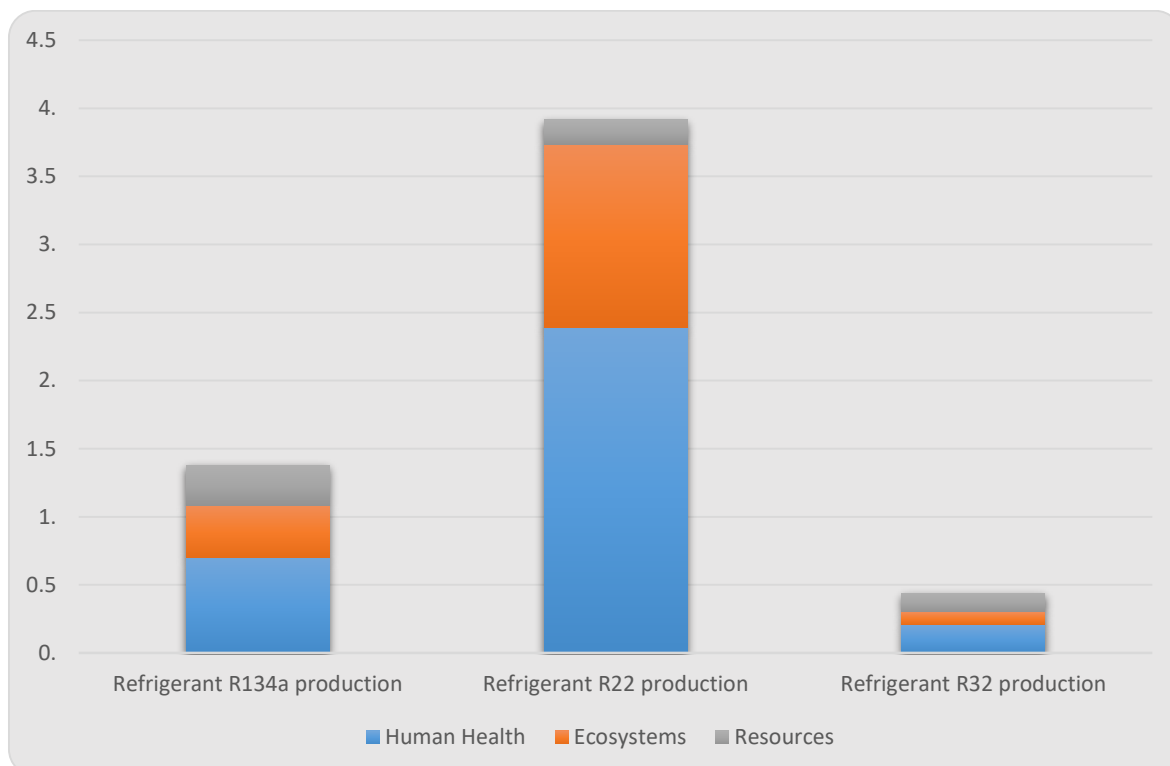
Αρχικά συγκρίθηκαν τα ψυκτικά R134A, R22 και R32 κατά την παραγωγή τους. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι κατηγορίες που επηρεάζονται περισσότερο είναι:

- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία (Climate change Human Health)
- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με τα οικοσυστήματα (Climate change ecosystems)
- και η μείωση των καυσίμων (Fossil depletion)



Διάγραμμα 44: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Και στα αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης το R22 δίνει τις υψηλότερες τιμές που φτάνουν τα 3,9 Pt, σε αντίθεση με τα 1,37 Pt και 0,4 Pt περίπου των R134A και R32 αντίστοιχα.

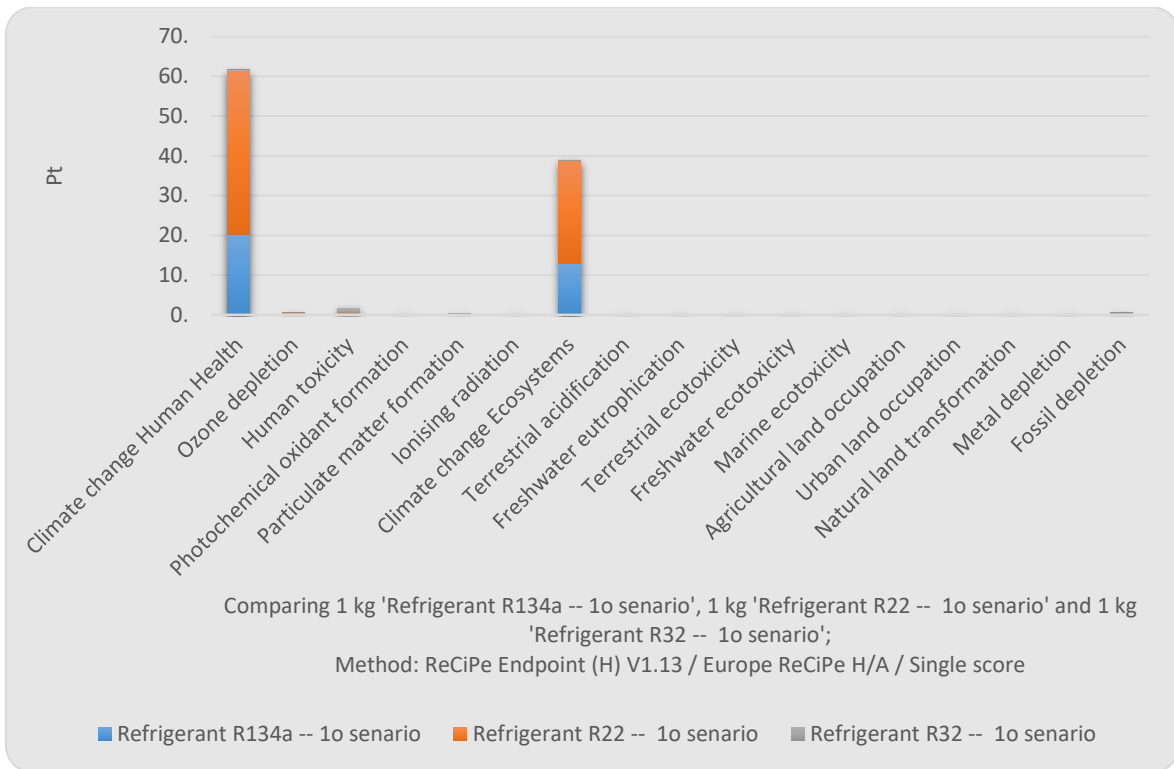


Διάγραμμα 45: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

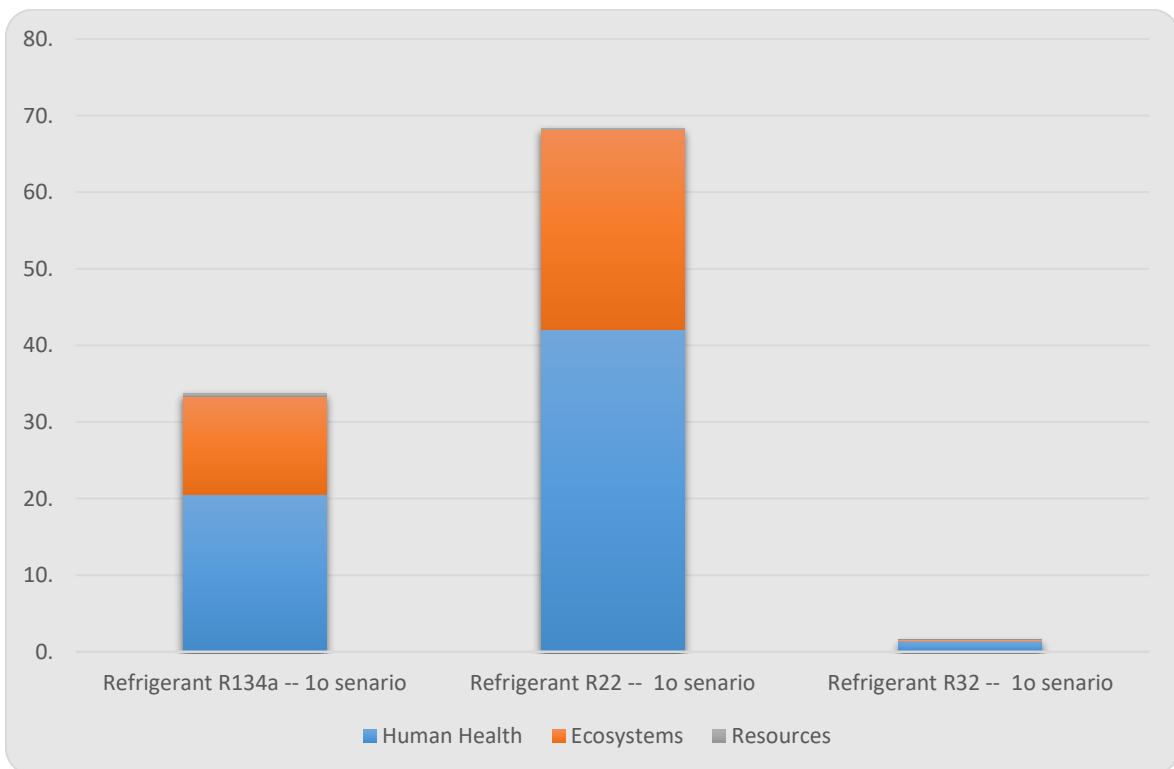
Στη συνέχεια συγκρίθηκε το 1^ο σενάριο για τα τρία ψυκτικά. Εδώ οι κατηγορίες που επηρεάζονται περισσότερο και εμφανίζονται στο διάγραμμα 48 είναι:

- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία (Climate change Human Health)
- η κλιματική αλλαγή σε σχέση με τα οικοσυστήματα (Climate change ecosystems)

Επίσης στο διάγραμμα 49 στα αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης το R22 δίνει πάλι τις υψηλότερες τιμές που φτάνουν τα 68,3 Pt, σε αντίθεση με τα 33,6 Pt και 1,5 Pt περίπου των R134A και R32 αντίστοιχα.

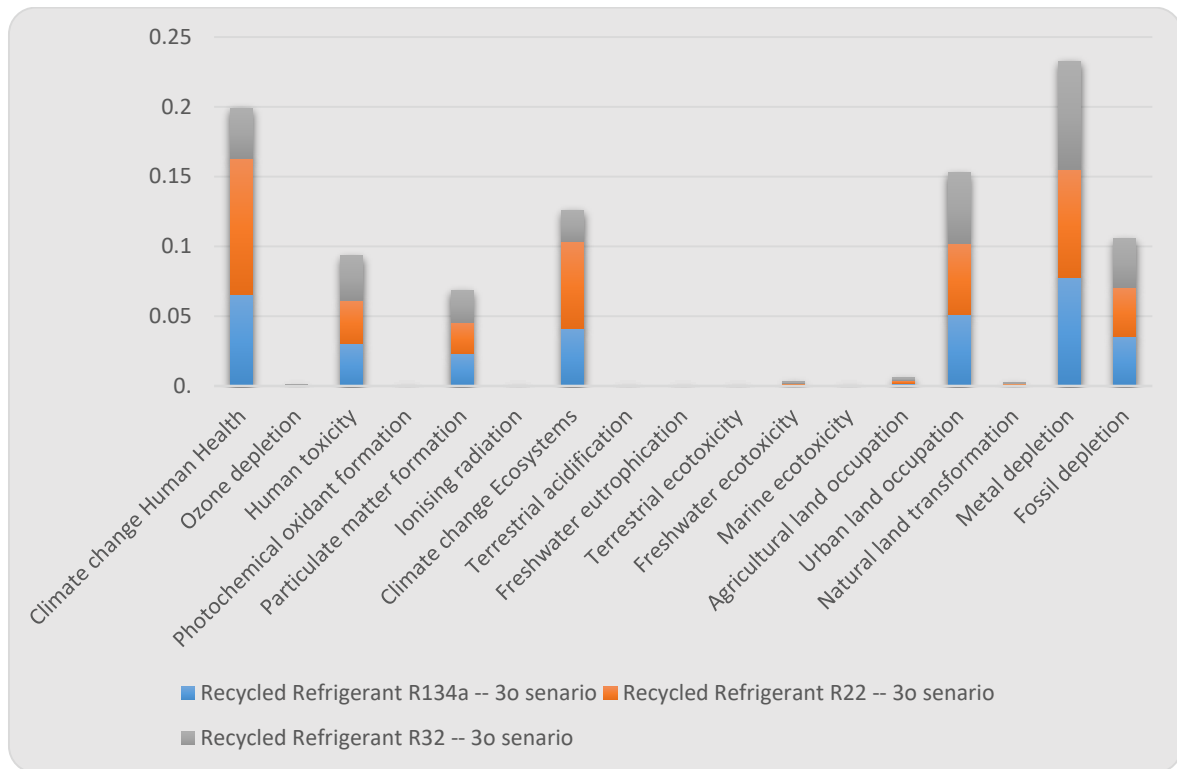


Διάγραμμα 46: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης



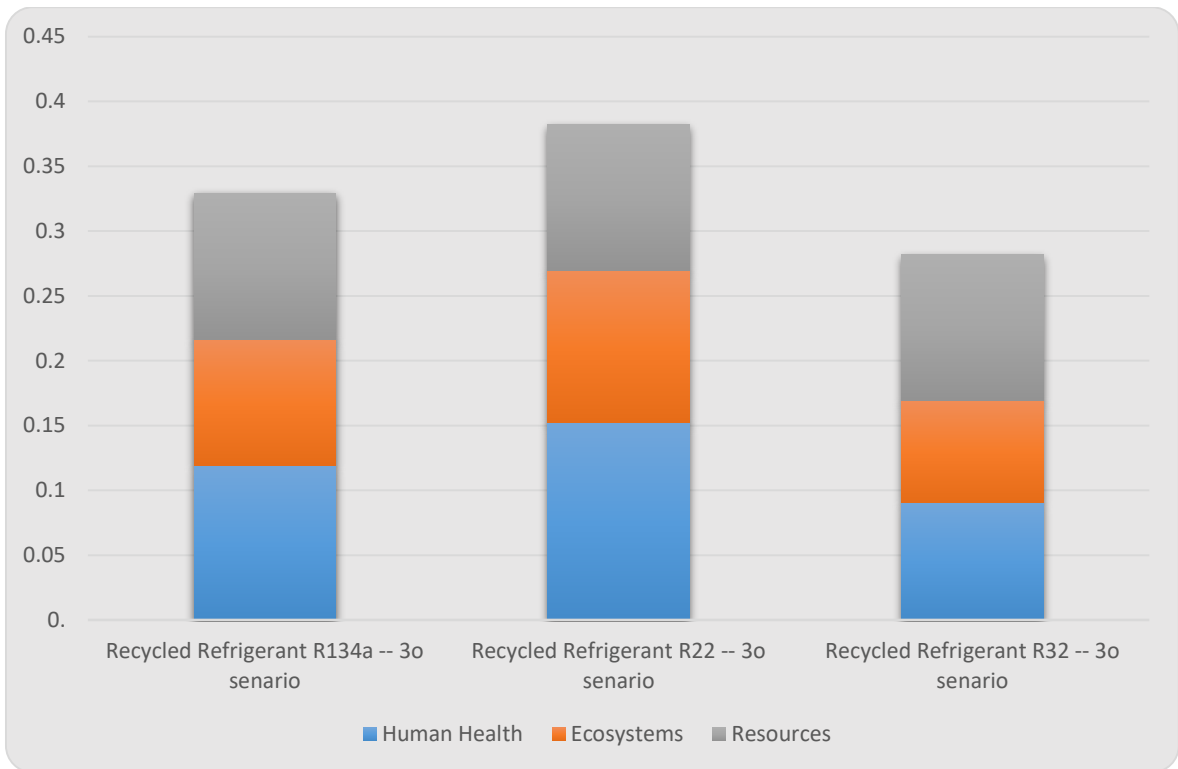
Διάγραμμα 47: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

Στην τελευταία σύγκριση που πραγματοποιήθηκε για το 3^ο σενάριο, παρατηρήθηκε ότι επειδή οι επιπτώσεις είναι εμφανώς μειωμένες στο διάγραμμα 50 φαίνονται και οι υπόλοιπες κατηγορίες που επιβαρύνονται αλλά λόγω της μικρής επιρροής στα προηγούμενα διαγράμματα ήταν σχεδόν αμελητέα.



Διάγραμμα 48: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Τέλος στο διάγραμμα 51 των συνολικών επιπτώσεων τα 3 ψυκτικά φαίνονται να είναι αρκετά κοντά στις επιπτώσεις παρόλο την χασοτική διαφορά του προηγούμενου σεναρίου. Το R22 έχει τιμή 0,38 Pt, το R134A 0,32 Pt και 0,28 Pt το R32.



Διάγραμμα 49: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

Κεφάλαιο 5 : Συζήτηση- Συμπεράσματα

Μετά την καταγραφή των αποτελεσμάτων, το βασικό συμπέρασμα είναι ότι το ψυκτικό μέσο με τη μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση από αυτά που μελετήθηκαν είναι το R32. Αυτό παρατηρείται εύκολα από τα διαγράμματα αλλά και από τους συνολικούς πίνακες παρακάτω (πίνακας 10, πίνακας 11).

Ψυκτικό μέσο	Παραγωγή	Σενάριο 1ο	Σενάριο 2ο	Σενάριο 3ο	Σενάριο 4ο
R134A	1,38 Pt	33,7 Pt	14,3 Pt	0,329 Pt	0,282 Pt
R22	3,92 Pt	68,3 Pt	29,7 Pt	0,382 Pt	0,289 Pt
R32	0,44 Pt	1,55 Pt	0,899 Pt	0,282 Pt	0,28 Pt

Πίνακας 10: Συνολικών πίνακας επιπτώσεων σε Pt

Ψυκτικό μέσο	Παραγωγή	Σενάριο 1ο	Σενάριο 2ο	Σενάριο 3ο	Σενάριο 4ο
R134A (kg CO ₂ eq)	8,91	659	269	2,28	1,33
R22 (kg CO ₂ eq)	65	1270	546	3,21	1,47
R32 (kg CO ₂ eq)	3,47	3,5	3,5	1,31	1,31

Πίνακας 11: Συνολικών πίνακας επιπτώσεων σε kg CO₂ eq

Ένα ακόμα πολύ σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι αυτή η μεγάλη διαφορά μεταξύ των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από την παραγωγή των ψυκτικών μέσων που μελετήθηκαν οφείλεται στα παραπροϊόντα που δημιουργούνται κατά την παραγωγή τους. Από την παραγωγή του R134A εκλύονται 17,7 kg CO₂ eq εκ των οποίων τα 8,8 kg CO₂ eq οφείλονται στις ουσίες που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία της παραγωγής ενώ τα υπόλοιπα 8,9 kg CO₂ eq προέρχονται από τα υλικά και την ενέργεια που απαιτείται.

Στην περίπτωση του R22 παρόλο που τα υλικά και η ροή ενέργειας έχουν μικρότερη φορτία από το R134A (6,49 kg CO₂ eq) το συνολικό φορτίο είναι 65 kg CO₂ eq. Αυτό οφείλεται στην επιβάρυνση των παραπροϊόντων η οποία για το R22 είναι περίπου 10 φορές πάνω από το φορτίο των πρώτων υλών και της ενέργειας που απαιτείται. Τέλος για την παραγωγή του R32 δεν παρατηρήθηκε το ίδιο φαινόμενο.

Ψυκτικό μέσο	Πρώτων υλών και ενέργειας	Παραπροϊόντα
R134A (kg CO₂ eq)	8,9	8,8
R22 (kg CO₂ eq)	6,49	58,51
R32 (kg CO₂ eq)	3,47	-

Πίνακας 12: Πίνακας επιπτώσεων από πρώτες ύλες, ροή ενέργειας και παραπροϊόντα

Ακόμα ένα πολύ σημαντικό ζήτημα των ψυκτικών μέσων είναι οι διαρροές που προκαλούνται στα διάφορα συστήματα που χρησιμοποιούνται. Στο παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε τα περιβαλλοντικά φορτία στην κάθε περίπτωση διαρροής.

Από τα αποτελέσματα βλέπουμε ότι το R22 έχει την μεγαλύτερη επίδραση στο περιβάλλον με τις υψηλότερες τιμές, ακολουθεί το R134A ενώ η διαρροή του R32 έχει αμελητέα περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Ψυκτικό μέσο	Περιβαλλοντικό φορτίο διαρροών	
	1 ^ο σενάριο	2 ^ο σενάριο
R134A (kg CO₂ eq)	650	260
R22 (kg CO₂ eq)	1200	481
R32 (kg CO₂ eq)	-	-

Τέλος για περαιτέρω έρευνα θα πρότεινα να μελετηθεί ο κύκλος ζωής ενός συστήματος (π.χ. ψυγείου) διότι είναι πολύ σημαντική η φάση λειτουργίας ενός συστήματος όπως είδαμε και στο κεφάλαιο 2. Οι όποιες διαρροές υπάρχουν επιβαρύνουν το περιβάλλον άμεσα αλλά και τη λειτουργία του συστήματος έμμεσα, όπου πολλές φορές απαιτούνται μεγαλύτερα ποσά ενέργειας για τη λειτουργίας του.

Ακόμα ένα σημαντικό μέρος στον κύκλο ζωής των ψυγείων είναι η ανακύκλωση και των υπόλοιπων κομματιών εκτός του ψυκτικού υγρού. Μετά την επίσκεψη στο Ελληνικό Κέντρο Ανακύκλωσης ψυγείων, παρατηρήθηκε ότι ένα σημαντικό κομμάτι της ανακύκλωσης των ψυγείων είναι και η ανάκτηση των ψυκτικών μέσων που χρησιμοποιούνται στο υλικό μονώσεων των ψυγείων.

Βιβλιογραφία

- Animesh, P., Kutub, U., Kyaw Thu Saha, S. & Bidyut Baran, B., 2018. Environmental Assessment and Characteristics of Next Generation Refrigerants.
- ASHRAE, 2018. *ASHRAE Position Document on Refrigerants and Their Responsible Use*.
- ASHRAE, 2018. *Designation and Safety Classification of Refrigerants*
- Cascini, A., Gamberi, M., Mora, C., Rosano, M., Bortolini, M., Comparative Carbon Footprint Assessment of commercial walk-in refrigeration systems under different use configurations. *Cleaner Production*, pp. 3998-4011.
- Christina, F., Graeme, M. & Gareth, D., 2017. An investigation of refrigerant leakage in commercial refrigeration. *International Journal of Refrigeration*, pp. 12-21.
- Daikin, 2021. https://www.daikin.com/corporate/why_daikin/benefits/r-32/. [Ηλεκτρονικό].
- EPA, 2020. <https://www.epa.gov/section608/summary-refrigerant-reclamation-trends>. [Ηλεκτρονικό]
[Πρόσβαση 2021].
- Fthenakis & Kim, 2011. Photovoltaics: Life- cycle analyses. *Solar Energy* .
- Harmot, L., Dugdale, H. & Boennec, O., 2020. Refrigerants & Environmental Impacts.
- Hundy, G., Trott, A. & Welch, T., 2016. *Refrigeration, air conditioning and heat pumps*. Fifth edition
- International Institute of Refrigeration, 2015. Guideline for Life Cycle Climate Performance.
- I.P.Koronaki, D.Cowan, G.Maidment, K.Beerman, M.Schreurs, K.Kaar, I.Chaer, G.Gontarz, R.I.Christodoulaki, X.Cazauran , 2012. Refrigerant emissions and leakage prevention across Europe e Results from the RealSkillsEurope project. *Energy*, pp. 71-80.
- María D. Bovea, Ramón Cabello & Daría Querol, 2007. Comparative Life Cycle Assessment of Commonly Used Refrigerants in Commercial Refrigeration Systems, *The International Journal of Life Cycle Assessment*,
- Mianqiang Xue, Naoya Kojima, Liang Zhou, Takashi Machimura, Akihiro Tokai, 2019. Trade-off analysis between global impact potential and local risk: A case study of refrigerants., *Journal of Cleaner Production*, pp. 627-632
- Naeem Abas, Ali Raza Kalair, Nasrullah Khan, Aun Haider, Zahid Saleem, Muhammad Shoaib Saleem, 2018. Natural and synthetic refrigerants, global warming: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 557-569

PRé & authors, 2014. SimaPro Database Manual Methods library.

SAIC, 2006.

Samira Benhadid-Dib & Ahmed Benzaoui, 2012. Refrigerants and their environmental impact Substitution of hydro chlorofluorocarbon HCFC and HFC hydro fluorocarbon. Search for an adequate refrigerant.

Swep, 2020. <https://www.swep.net/>. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/5.-refrigerants/sd5/>
[Πρόσβαση 02 2021].

Tradebe UK, 2021. Site & Process Overview for processing refrigerants via Direct Injection.

UNEP, 2011. Global Guidance Principles for life cycle assessment databases.

William, N. I. & Marvin, B., 2001. HFC-23 emissions from HCFC-22 production. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*.

Anil, B., Pay, M. & Pobert, A. U., 2013. Upstream climate impacts from production of r-134a and r-1234yf refrigerants Used in mobile air conditioning systems.

Γιδαράκος, Ε., 2005. *Επικίνδυνα απόβλητα διαχείριση και Διάθεση*.: Ζηγός.

Καρατζάς, Σ., 2017. *Ανασκόπηση στη γενιά ψυκτικών μέσων βάσει του F-GAS Regulation*, Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Κατσαπρακάκης Δημήτριος, Μ. Μ., 2015. *Ψύξη και συστήματα διανομής ψύξης*, Εκδόσεις Κάλλιπος.

Κορνελάκη, Ε., 2009. *Ανάλυση κύκλου ζωής φωτοβολταϊκού συστήματος στην περιοχή της Κρήτης*, Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.

Πανταζή, Ε., 2014. *Συγκριτική μελέτη μεθόδων εκτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής*, Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.

Ραγκούσης, Μ., 2016. *Περιβαλλοντική αξιολόγηση φωτοβολταϊκού λεπτού υμένα στις μεσογειακές συνθήκες*, Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παράρτημα 1: Πίνακας ψυκτικών μέσων Refrigerants

Number	Chemical Name	Chemical Formula
Methane Series		
11	trichlorofluoromethane	CCl_3F
12	dichlorodifluoromethane	CCl_2F_2
12B1	bromochlorodifluoromethane	CBrClF_2
13	chlorotrifluoromethane	CClF_3
13B1	bromotrifluoromethane	CBrF_3
14e	tetrafluoromethane (carbon tetrafluoride)	CF_4
21	dichlorofluoromethane	CHCl_2F
22	chlorodifluoromethane	CHClF_2
23	trifluoromethane	CHF_3
30	dichloromethane (methylene chloride)	CH_2Cl_2
31	chlorofluoromethane	CH_2ClF
32	difluoromethane (methylene fluoride)	CH_2F_2
40	chloromethane (methyl chloride)	CH_3Cl
41	fluoromethane (methyl fluoride)	CH_3F
50	methane	CH_4
Number	Chemical Name	Chemical Formula
Ethane Series		
113	1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroethane	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$

114	1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoromethane	CClF ₂ CClF ₂
115	chloropentafluoroethane	CClF ₂ CF ₃
116	hexafluoroethane	CF ₃ CF ₃
123	2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroethane	CHCl ₂ CF ₃
124	2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoroethane	CHClCF ₃
125	pentafluoroethane	CHF ₂ CF ₃
134a	1,1,1,2-tetrafluoroethane	CH ₂ FCF ₃
141b	1,1-dichloro-1-fluoroethane	CH ₃ CCl ₂ F
142b	1-chloro-1,1-difluoroethane	CH ₃ CClF ₂
143a	1,1,1-trifluoroethane	CH ₃ CF ₃
152a	1,1-difluoroethane	CH ₃ CHF ₂
170	ethane	CH ₃ CH ₃

Number	Chemical Name	Chemical Formula
Ethers		
E170	Dimethyl Ether	CH ₃ OCH ₃

Number	Chemical Name	Chemical Formula
Propane		
218	octafluoropropane	CF ₃ CF ₂ CF ₃
227ea	1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane	CF ₃ CHFCF ₃
236fa	1,1,1,3,3,3-hexafluoropropane	CF ₃ CH ₂ CF ₃
245fa	1,1,1,3,3-pentafluoropropane	CHF ₂ CH ₂ CF ₃
290	propane	CH ₃ CH ₂ CH ₃

Number	Chemical Name	Chemical Formula
Cyclic Organic Compounds		
C318	octafluorocyclobutane	-(CF ₂) ₄ -

Miscellaneous Organic Compounds		
Number	Chemical Name	Chemical Formula

hydrocarbons		
600	butane	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ A3
600a	isobutane	$\text{CH}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_3$ A3
601	Pentane	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
601a	Isopentane	$\text{CH}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
oxygen compounds		
610	ethyl ether	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$
611	methyl formate	HCOOCH_3
sulfur compounds		
620	(Reserved for future assignment)	

Number	Chemical Name	Chemical Formula
Nitrogen Compounds		
630	methyl amine	CH_3NH_2
631	ethyl amine	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{NH}_2)$

Number	Chemical Name	Chemical Formula
Inorganic Compounds		
702	hydrogen	H_2
704	helium	He
717	ammonia	NH_3
718	water	H_2O
720	neon	Ne
728	nitrogen	N_2
732	oxygen	O_2
740	argon	Ar
744	carbon dioxide	CO_2
744A	nitrous oxide	N_2O
764	sulfur dioxide	SO_2

Number	Chemical Name	Chemical Formula
Unsaturated Organic Compounds		
1130(E)	trans-1,2-dichloroethene	$\text{CHCl}=\text{CHCl}$
R-1132a	1,1-difluoroethylene	$\text{CF}_2=\text{CH}_2$

1150	ethene (ethylene)	CH ₂ =CH ₂
1233zd(E)	trans-1-chloro-3,3,3-trifluoro-1-propene	CF ₃ CH=CHCl
R-1224yd(Z)	(Z)-1-chloro-2,3,3,3-tetrafluoropropene	CF ₃ CF=CHCl
1234yf	2,3,3,3-tetrafluoro-1-propene	CF ₃ CF=CH ₂
1234ze(E)	trans-1,3,3,3-tetrafluoro-1-propene	CF ₃ CH=CHF
1270	propene (propylene)	CH ₃ CH=CH ₂
1336mzz(E)	trans-1,1,1,4,4,4-hexafluoro-2-butene	CF ₃ CH=CHCF ₃
1336mzz(Z)	cis-1,1,1,4,4,4-hexafluoro-2-butene	CF ₃ CHCHCF ₃

Refrigerant Blends

Number	Refrigerant Composition (Mass %)
Zeotropes	
400	R-12/114 (must be specified) (50.0/50.0) (60.0/40.0)
401A	R-22/152a/124 (53.0/13.0/34.0)
401B	R-22/152a/124 (61.0/11.0/28.0)
401C	R-22/152a/124 (33.0/15.0/52.0)
402A	R-125/290/22 (60.0/2.0/38.0)
402B	R-125/290/22 (38.0/2.0/60.0)
403A	R-290/22/218 (5.0/75.0/20.0)
403B	R-290/22/218 (5.0/56.0/39.0)
404A	R-125/143a/134a (44.0/52.0/4.0)
405A	R-22/152a/142b/C318 (45.0/7.0/5.5/42.5)
406A	R-22/600a/142b (55.0/4.0/41.0)
407A	R-32/125/134a (20.0/40.0/40.0)
407B	R-32/125/134a (10.0/70.0/20.0)

407C	R-32/125/134a (23.0/25.0/52.0)	
407D	R-32/125/134a (15.0/15.0/70.0)	
407E	R-32/125/134a (25.0/15.0/60.0)	
407F	R-32/125/134a (30.0/30.0/40.0)	
407G	R-32/125/134a (2.5/2.5/95.0)	
407H	R-32/125/134a (32.5/15.0/52.5)	
407I	R-32/125/134a (19.5/8.5/72.0)	
408A	R-125/143a/22 (7.0/46.0/47.0)	
409A	R-22/124/142b (60.0/25.0/15.0)	
409B	R-22/124/142b (65.0/25.0/10.0)	
410A	R-32/125 (50.0/50.0)	
410B	R-32/125 (45.0/55.0)	
411A	R-1270/22/152a) (1.5/87.5/11.0)	
411B	R-1270/22/152a (3.0/94.0/3.0)	
412A	R-22/218/143b (70.0/5.0/25.0 _k)	
413A	R-218/134a/600a (9.0/88.0/3.0)	
414A	R-22/124/600a/142b (51.0/28.5/4.0/16.5)	
414B	R-22/124/600a/142b (50.0/39.0/1.5/9.5)	
415A	R-22/152a (82.0/18.0)	
415B	R-22/152a (25.0/75.0)	
416A	R-134a/124/600 (59.0/39.5/1.5)	
417A	R-125/134a/600 (46.6/50.0/3.4)	
417B	R-125/134a/600 (79.0/18.3/2.7)	
417C	R-125/134a/600 (19.5/78.8/1.7)	
418A	R-290/22/152a (1.5/96.0/2.5)	

419A	R-125/134a/E170 (77.0/19.0/4.0)	
419B	R-125/134a/E170 (48.5/48.0/3.5)	
420A	R-134a/142b (88.0/12.0)	
421A	R-125/134a (58.0/42.0)	
421B	R-125/134a (85.0/15.0)	
422A	R-125/134a/600a (85.1/11.5/3.4)	
422B	R-125/134a/600a (55.0/42.0/3.0)	
422C	R-125/134a/600a (82.0/15.0/3.0)	
422D	R-125/134a/600a (65.1/31.5/3.4)	
422E	R-125/134a/600a (58.0/39.3/2.7)	
423A	134a/227ea (52.5/47.5)	
424A	R-125/134a/600a/600/601a (50.5/47.0/0.9/1.0/0.6)	
425A	R-32/134a/227ea (18.5/69.5/12)	
426A	R-125/134a/600/601a (5.1/93.0/1.3/0.6)	
427A	R-32/125/143a/134a (15.0/25.0/10.0/50.0)	
428A	R-125/143a/290/600a (77.5/20.0/0.6/1.9)	
429A	R-E170/152a/600a (60.0/10.0/30.0)	
430A	R-152a/600a (76.0/24.0)	
431A	R-290/152a (71.0/29.0)	
432A	R-1270/E170 (80.0/20.0)	
433A	R-1270/290 (30.0/70.0)	
433B	R-1270/290 (5.0/95.0)	
433C	R-1270/290 (25.0/75.0)	
434A	R-125/143a/134a/600a (63.2/18.0/16.0/2.8)	
435A	R-E170/152a (80.0/20.0)	
436A	R-290/600a (56.0/44.0)	
436B	R-290/600a (52.0/48.0)	
436C	R-290/600a (95.0/5.0)	

437A	R-125/134a/600/601 (19.5/78.5/1.4/0.6)	
438A	R-32/125/134a/600/601a (8.5/45.0/44.2/1.7/0.6)	
439A	R-32/125/600a (50.0/47.0/3.0)	
440A	R-290/134a/152a (0.6/1.6/97.8)	
441A	R-170/290/600a/600 (3.1/54.8/6.0/36.1)	
442A	R-32/125/134a/152a/227ea (31.0/31.0/30.0/3.0/5.0)	
443A	R-1270/290/600a (55.0/40.0/5.0)	
444A	R-32/152a/1234ze(E) (12.0/5.0/83.0)	
444B	R- 32/152a/1234ze(E) (41.5/10.0/48.5)	
445A	R-744/134a/1234ze(E) (6.0/9.0/85.0)	
446A	R-32/1234ze(E)/600 (68.0/29.0/3.0)	
446B	R-32/125/1234ze(E) (68.0/3.5/28.5)	
447B	R-32/125/1234ze (E) (68.0/8.0/24.0)	
448A	R-32/125/1234yf/134a/1234ze(E) (26.0/26.0/20.0/21.0/7.0)	
449A	R-32 /125 /1234yf /134a (24.3/24.7/25.3/25.7)	
449B	R-32/125/1234yf/134a (25.2/24.3/23.2/27.3)	
449C	R-32/125/1234yf/134a (20.0/20.0/31.0/29.0)	
450A	R-134a/1234ze(E) (42.0/58.0)	
451A	R-1234yf/134a (89.8/10.2)	
451B	R-1234yf/134a (88.8/11.2)	

452A	R-32/125/1234yf (11.0/59.0/30.0)	
452B	R-32/125/1234yf (67.0/7.0/26.0)	
452C	R-32/125/1234yf (12.5/61.0/26.5)	
453A	R-32/125/134a/227ea/600/601a (20.0/20.0/53.8/5.0/0.6/0.6)	
454A	R-32/1234yf (35.0/65.0)	
454B	R-32/1234yf (68.9/31.1)	
454C	R-32/1234yf (21.5/78.5)	
455A	R-744/32/1234yf (3.0/21.5/75.5)	
456A	R-32/134a/1234ze(E) (6.0/45.0/49.0)	
457A	R-32/1234yf/152a (18.0/70.0/12.0)	
458A	R-32/125/134a/227ea/236fa (20.5/4.0/61.4/13.5/0.6)	
459A	R-32/1234yf/1234ze(E) (68.0/26.0/6.0)	
459B	LTR 11: R-32/1234yf/1234ze(E) (21.0/69.0/10.0)	
460A	LTR 10: R- 32/125/134a/1234ze(E) (12.0/52.0/14.0/22.0)	
460B	LTR4X10: R- 32/125/134a/1234ze(E) (28.0/25.0/20.0/27.0)	
460C	R-32/125/134a/1234ze(E) (2.5/2.5/46.0/49.0)	
461A	R-125/143a/134a/227ea/600a (55.0/5.0/32.0/5.0/3.0)	
462A	R-32/125/143a/134a/600 (9.0/42.0/2.0/44.0/3.0)	

463A	R-744/32/125/1234yf/134a (6.0/36.0/30.0/14.0/14.0)	
464A	R-32/125/1234ze(E)/227ea (27.0/27.0/40.0/6.0)	
465A	R-32/290/1234yf (21.0/7.9/71.1)	
Refrigerant Composition (Mass %)		
Number	Azeotropes	
500	R-12/152a (73.8/26.2)	
501	R-22/12 (75.0/25.0)	
502	R-22/115 (48.8/51.2)	
503	R-23/13 (40.1/59.9)	
504	R-32/115 (48.2/51.8)	
505	R-12/31 (78.0/22.0)	
506	R-31/114 (55.1/44.9)	
507A	R-125/143a (50.0/50.0)	
508A	R-23/116 (39.0/61.0)	
508B	R-23/116 (46.0/54.0)	
509A	R-22/218 (44.0/56.0)	
510A	R-E170/600a (88.0/12.0)	
511A	R-290/E170 (95.0/5.0)	
512A	R-134a/152a (5.0/95.0)	
513A	R-1234yf/134a (56.0/44.0)	
513B	R-1234yf/134a (58.5/41.5)	
514A	R-1336mzz(Z)/1130(E) (74.7/25.3)	
515A	R-1234ze (E)/227ea (88.0/12.0)	
516A	R-1234yf/134a/152a (77.5/8.5/14.0)	

Παράρτημα 2: Πίνακας συντελεστών χαρακτηρισμού για τις κατηγορίες επίδρασης

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon	
		Second Assessment Report (SAR)	Fifth Assessment Report (AR5)
Carbon dioxide	CO ₂	1	1
Methane	CH ₄	21	28
Nitrous oxide	N ₂ O	310	265
Substances controlled by the Montreal Protocol			
CFC-11	CCl ₃ F	3,800	4,660
CFC-12	CCl ₂ F ₂	8,100	10,200
CFC-13	CClF ₃		13,900
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	4,800	5,820
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂		8,590
CFC-115	CClF ₂ CF ₃		7,670
Halon-1301	CBrF ₃	5,400	6,290
Halon-1211	CBrClF ₂		1,750
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂		1,470
Carbon tetrachloride	CCl ₄	1,400	1,730
Methyl bromide	CH ₃ Br		2
Methyl chloroform	CH ₃ CCl ₃	100	160

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon	
		Second assessment report (SAR)	4 th assessment report (AR4)
HFCF-21	CHCl ₂ F		148
HCFC-22	CHClF ₂	1,500	1,760
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	90	79
HCFC-124	CHClFCF ₃	470	527
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	600	782
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	1,800	1,980
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃		127
HCFC-225cb	CHClFCF ₂ CClF ₂		525
Hydrofluorocarbons			
HFC-23	CHF ₃	11,700	12,400
HFC-32	CH ₂ F ₂	650	677
HFC-41	CH ₃ F ₂	150	116
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	2,800	3,170
HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	1000	1,120
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1,300	1,300
HFC-143	CH ₂ FCHF ₂	300	328
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	3,800	4,800
HFC-152	CH ₂ FCH ₂ F		16
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	140	138
HFC-161	CH ₃ CH ₂ F		4
HFC-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	2,900	3,350
HFC-236cb	CH ₂ FCF ₂ CF ₃		1,210
HFC-236ea	CHF ₂ CHFCF ₃		1,330
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	6,300	8,060
HFC-245ca	CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	560	716
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃		858
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃		804
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCF ₂ CF ₃	1,300	1,650

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon	
		Second assessment report (SAR)	4 th assessment report (AR4)
Perfluorinated compounds			
Sulfur hexafluoride	SF ₆	23,900	23,500
Nitrogen trifluoride	NF ₃		16,100
PFC-14	CF ₄	6,500	6,630
PFC-116	C ₂ F ₆	9,200	11,100
PFC-218	C ₃ F ₈	7,000	8,900
PFC-318	c-C ₄ F ₈	8,700	9,540
PFC-31-10	C ₄ F ₁₀	7,000	9,200
PFC-41-12	C ₅ F ₁₂	7,500	8,550
PFC-51-14	C ₆ F ₁₄	7,400	7,910
PCF-91-18	C ₁₀ F ₁₈		7,190
Trifluoromethyl sulfur pentafluoride	SF ₅ CF ₃		17,400
Perfluorocyclopropane	c-C ₃ F ₆		9,200

Fluorinated ethers			
HFE-125	CHF ₂ OCF ₃		12,400
HFE-134	CHF ₂ OCHF ₂		5,560
HFE-143a	CH ₃ OCF ₃		523
HCFE-235da2	CHF ₂ OCHClCF ₃		491
HFE-245cb2	CH ₃ OCF ₂ CF ₃		654
HFE-245fa2	CHF ₂ OCH ₂ CF ₃		812
HFE-347mcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CF ₃		530
HFE-347pcf2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CF ₃		889
HFE-356pcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CHF ₂		413
HFE-449sl (HFE-7100)	C ₄ F ₉ OCH ₃		421
HFE-569sf2 (HFE-7200)	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅		57
HFE-43-10pccc124 (H-Galden 1040x)	CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ OCHF ₂		2,820
HFE-236ca12 (HG-10)	CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂		5,350

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon	
		Second assessment report (SAR)	4 th assessment report (AR4)
HFE-338pcc13 (HG-01)	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂		2,910
HFE-227ea	CF ₃ CHFOCF ₃		6,450
HFE-236ea2	CHF ₂ OCHF ₂ CF ₃		1,790
HFE-236fa	CF ₃ CH ₂ OCF ₃		979
HFE-245fa1	CHF ₂ CH ₂ OCF ₃		828
HFE 263fb2	CF ₃ CH ₂ OCH ₃		1
HFE-329mcc2	CHF ₂ CF ₂ OCF ₂ CF ₃		3,070
HFE-338mcf2	CF ₃ CH ₂ OCF ₂ CF ₃		929
HFE-347mcf2	CHF ₂ CH ₂ OCF ₂ CF ₃		854
HFE-356mec3	CH ₃ OCF ₂ CHFCF ₃		387
HFE-356pcf2	CHF ₂ CH ₂ OCF ₂ CHF ₂		719
HFE-356pcf3	CHF ₂ OCH ₂ CF ₂ CHF ₂		446
HFE 365mcf3	CF ₃ CF ₂ CH ₂ OCH ₃		<1
HFE-374pc2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CH ₃		627

Perfluoropolyethers

PFPPIE	CF ₃ OCF(CF ₃)CF ₂ OCF ₂ OCF ₃		9,710
--------	--	--	-------

Hydrocarbons and other compounds-direct effects

Chloroform	CHCl ₃	4	16
Methylene chloride	CH ₂ Cl ₂	9	9
Methyl chloride	CH ₃ Cl		12
Halon-1201	CHBrF ₂		376

Παράρτημα 3: Πίνακες αποτελεσμάτων από SimaPro

R134A

Impact category	Unit	Refrigerant R134a production	Refrigerant R134a -- 1o senario	Refrigerant R134a -- 2o senario	Recycled Refrigerant R134a -- 3o senario	Recycled Refrigerant R134a -- 4o senario
Climate change Human Health	DALY	2.57E-5	0.00103	0.000426	3.32E-6	1.84E-6
Ozone depletion	DALY	2.08E-6	2.08E-6	2.08E-6	3.31E-9	3.31E-9
Human toxicity	DALY	2.3E-6	2.4E-6	2.37E-6	1.53E-6	1.53E-6
Photochemical oxidant formation	DALY	1.66E-9	1.67E-9	1.67E-9	2.12E-10	2.12E-10
Particulate matter formation	DALY	5.18E-6	5.2E-6	5.2E-6	1.16E-6	1.16E-6
Ionising radiation	DALY	1.31E-8	1.31E-8	1.31E-8	1.9E-9	1.9E-9
Climate change Ecosystems	species.yr	1.46E-7	5.8E-6	2.41E-6	1.88E-8	1.04E-8
Terrestrial acidification	species.yr	2.93E-10	2.93E-10	2.93E-10	5.69E-11	5.69E-11
Freshwater eutrophication	species.yr	1.09E-10	1.1E-10	1.1E-10	5.44E-11	5.44E-11
Terrestrial ecotoxicity	species.yr	1.46E-10	1.51E-10	1.51E-10	7.48E-11	7.48E-11
Freshwater ecotoxicity	species.yr	2.23E-10	3.81E-10	3.81E-10	4.9E-10	4.9E-10
Marine ecotoxicity	species.yr	4.13E-11	6.91E-11	6.91E-11	8.84E-11	8.84E-11
Agricultural land occupation	species.yr	3.73E-9	3.76E-9	3.76E-9	9.27E-10	9.27E-10
Urban land occupation	species.yr	2.24E-8	2.27E-8	2.27E-8	2.31E-8	2.31E-8
Natural land transformation	species.yr	1.35E-9	1.35E-9	1.35E-9	4.02E-10	4.02E-10
Metal depletion	\$	0.043	0.0466	0.0466	0.12	0.12
Fossil depletion	\$	0.415	0.415	0.415	0.0545	0.0546

Πίνακας 13: Χαρακτηρισμός δεδομένων

Impact category /	Unit	Refrigerant R134a production	Refrigerant R134a -- 1o senario	Refrigerant R134a -- 2o senario	Recycled Refrigerant R134a -- 3o senario	Recycled Refrigerant R134a -- 4o senario
Climate change Human Health		0.00127	0.0508	0.0211	0.000164	9.11E-5
Ozone depletion		0.000103	0.000103	0.000103	1.64E-7	1.64E-7
Human toxicity		0.000114	0.000119	0.000117	7.6E-5	7.6E-5
Photochemical oxidant formation		8.23E-8	8.25E-8	8.25E-8	1.05E-8	1.05E-8
Particulate matter formation		0.000256	0.000257	0.000257	5.73E-5	5.73E-5
Ionising radiation		6.48E-7	6.5E-7	6.5E-7	9.41E-8	9.41E-8
Climate change Ecosystems		0.000805	0.0321	0.0133	0.000104	5.76E-5
Terrestrial acidification		1.62E-6	1.62E-6	1.62E-6	3.15E-7	3.15E-7
Freshwater eutrophication		6.03E-7	6.06E-7	6.06E-7	3.01E-7	3.01E-7
Terrestrial ecotoxicity		8.09E-7	8.36E-7	8.36E-7	4.14E-7	4.14E-7
Freshwater ecotoxicity		1.23E-6	2.11E-6	2.11E-6	2.71E-6	2.71E-6
Marine ecotoxicity		2.29E-7	3.82E-7	3.82E-7	4.89E-7	4.89E-7
Agricultural land occupation		2.06E-5	2.08E-5	2.08E-5	5.12E-6	5.13E-6
Urban land occupation		0.000124	0.000126	0.000126	0.000128	0.000128
Natural land transformation		7.44E-6	7.45E-6	7.45E-6	2.22E-6	2.22E-6
Metal depletion		0.000139	0.000151	0.000151	0.000388	0.000388
Fossil depletion		0.00134	0.00135	0.00135	0.000177	0.000177

Πίνακας 14: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

Impact category /	Unit	Refrigerant R134a production	Refrigerant R134a -- 1o senario	Refrigerant R134a -- 2o senario	Recycled Refrigerant R134a -- 3o senario	Recycled Refrigerant R134a -- 4o senario
Total	Pt	1.38	33.7	14.3	0.329	0.282
Climate change Human Health	Pt	0.509	20.3	8.43	0.0657	0.0364
Ozone depletion	Pt	0.0411	0.0411	0.0411	6.56E-5	6.56E-5
Human toxicity	Pt	0.0456	0.0474	0.0469	0.0304	0.0304
Photochemical oxidant formation	Pt	3.29E-5	3.3E-5	3.3E-5	4.2E-6	4.21E-6
Particulate matter formation	Pt	0.103	0.103	0.103	0.0229	0.0229
Ionising radiation	Pt	0.000259	0.00026	0.00026	3.76E-5	3.77E-5
Climate change Ecosystems	Pt	0.322	12.8	5.32	0.0415	0.0231
Terrestrial acidification	Pt	0.000648	0.000649	0.000649	0.000126	0.000126
Freshwater eutrophication	Pt	0.000241	0.000242	0.000242	0.00012	0.00012
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0.000323	0.000334	0.000334	0.000166	0.000166
Freshwater ecotoxicity	Pt	0.000494	0.000842	0.000842	0.00108	0.00108
Marine ecotoxicity	Pt	9.14E-5	0.000153	0.000153	0.000196	0.000196
Agricultural land occupation	Pt	0.00826	0.00831	0.00831	0.00205	0.00205
Urban land occupation	Pt	0.0495	0.0502	0.0502	0.051	0.051
Natural land transformation	Pt	0.00298	0.00298	0.00298	0.000889	0.000889
Metal depletion	Pt	0.0278	0.0302	0.0302	0.0776	0.0776
Fossil depletion	Pt	0.269	0.269	0.269	0.0353	0.0354

Πίνακας 15: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Damage category /	Unit	Refrigerant R134a production	Refrigerant R134a -- 1o senario	Refrigerant R134a -- 2o senario	Recycled Refrigerant R134a -- 3o senario	Recycled Refrigerant R134a -- 4o senario
Human Health	DALY	3.53E-5	0.00104	0.000435	6.01E-6	4.54E-6
Ecosystems	species.yr	1.74E-7	5.82E-6	2.43E-6	4.39E-8	3.56E-8
Resources	\$	0.458	0.462	0.462	0.174	0.174

Πίνακας 16: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία

Damage category /	Unit	Refrigerant R134a production	Refrigerant R134a -- 1o senario	Refrigerant R134a -- 2o senario	Recycled Refrigerant R134a -- 3o senario	Recycled Refrigerant R134a -- 4o senario
Human Health		0.00175	0.0513	0.0216	0.000298	0.000225
Ecosystems		0.000961	0.0322	0.0135	0.000243	0.000197
Resources		0.00148	0.0015	0.0015	0.000565	0.000565

Πίνακας 17: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών

Damage category /	Unit	Refrigerant R134a production	Refrigerant R134a -- 1o senario	Refrigerant R134a -- 2o senario	Recycled Refrigerant R134a -- 3o senario	Recycled Refrigerant R134a -- 4o senario
Total	Pt	1.38	33.7	14.3	0.329	0.282
Human Health	Pt	0.699	20.5	8.62	0.119	0.0899
Ecosystems	Pt	0.385	12.9	5.39	0.0972	0.0787
Resources	Pt	0.297	0.299	0.299	0.113	0.113

Πίνακας 18: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

R22

Impact category /	Unit	Refrigerant R22 production	Refrigerant R22 -- 1o senario	Refrigerant R22 -- 2o senario	Recycled Refrigerant R22 -- 3o senario	Recycled Refrigerant R22 -- 4o senario
Climate change Human Health	DALY	0.000103	0.00208	0.000894	4.93E-6	2.07E-6
Ozone depletion	DALY	6.01E-6	2.15E-5	1.22E-5	3.24E-8	9.94E-9
Human toxicity	DALY	9.46E-6	2.44E-5	1.55E-5	1.57E-6	1.55E-6
Photochemical oxidant formation	DALY	4.42E-10	4.46E-10	4.71E-10	2.11E-10	2.11E-10
Particulate matter formation	DALY	2.13E-6	2.15E-6	2.22E-6	1.15E-6	1.15E-6
Ionising radiation	DALY	1.32E-8	1.32E-8	1.37E-8	1.9E-9	1.9E-9
Climate change Ecosystems	species.yr	5.84E-7	1.18E-5	5.06E-6	2.79E-8	1.17E-8
Terrestrial acidification	species.yr	1.5E-10	1.51E-10	1.55E-10	5.67E-11	5.67E-11
Freshwater eutrophication	species.yr	8.56E-11	8.61E-11	9.33E-11	5.43E-11	5.44E-11
Terrestrial ecotoxicity	species.yr	7.29E-11	7.77E-11	7.98E-11	7.47E-11	7.47E-11
Freshwater ecotoxicity	species.yr	1.98E-10	3.56E-10	3.61E-10	4.9E-10	4.9E-10
Marine ecotoxicity	species.yr	3.68E-11	6.47E-11	6.56E-11	8.84E-11	8.84E-11
Agricultural land occupation	species.yr	3.58E-9	3.6E-9	3.82E-9	9.26E-10	9.27E-10
Urban land occupation	species.yr	1.79E-8	1.82E-8	1.95E-8	2.31E-8	2.31E-8
Natural land transformation	species.yr	8.98E-10	8.98E-10	9.54E-10	4.01E-10	4.01E-10
Metal depletion	\$	0.0394	0.0429	0.0438	0.12	0.12
Fossil depletion	\$	0.239	0.239	0.261	0.0543	0.0543

Πίνακας 19: Χαρακτηρισμός δεδομένων

Impact category /	Unit	Refrigerant R22 production	Refrigerant R22 -- 1o senario	Refrigerant R22 -- 2o senario	Recycled Refrigerant R22 -- 3o senario	Recycled Refrigerant R22 -- 4o senario
Climate change Human Health		0.00511	0.103	0.0442	0.000244	0.000102
Ozone depletion		0.000298	0.00106	0.000604	1.6E-6	4.92E-7
Human toxicity		0.000469	0.00121	0.000769	7.76E-5	7.65E-5
Photochemical oxidant formation		2.19E-8	2.21E-8	2.33E-8	1.04E-8	1.04E-8
Particulate matter formation		0.000106	0.000107	0.00011	5.71E-5	5.71E-5
Ionising radiation		6.52E-7	6.54E-7	6.79E-7	9.41E-8	9.41E-8
Climate change Ecosystems		0.00323	0.065	0.028	0.000154	6.48E-5
Terrestrial acidification		8.32E-7	8.36E-7	8.56E-7	3.13E-7	3.13E-7
Freshwater eutrophication		4.73E-7	4.76E-7	5.16E-7	3.01E-7	3.01E-7
Terrestrial ecotoxicity		4.03E-7	4.3E-7	4.41E-7	4.13E-7	4.13E-7
Freshwater ecotoxicity		1.1E-6	1.97E-6	2E-6	2.71E-6	2.71E-6
Marine ecotoxicity		2.04E-7	3.58E-7	3.63E-7	4.89E-7	4.89E-7
Agricultural land occupation		1.98E-5	1.99E-5	2.11E-5	5.12E-6	5.12E-6
Urban land occupation		9.88E-5	0.000101	0.000108	0.000128	0.000128
Natural land transformation		4.97E-6	4.97E-6	5.28E-6	2.22E-6	2.22E-6
Metal depletion		0.000128	0.000139	0.000142	0.000388	0.000388
Fossil depletion		0.000773	0.000775	0.000845	0.000176	0.000176

Πίνακας 20: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

Impact category /	Unit	Refrigerant R22 production	Refrigerant R22 -- 1o senario	Refrigerant R22 -- 2o senario	Recycled Refrigerant R22 -- 3o senario	Recycled Refrigerant R22 -- 4o senario
Total	Pt	3.92	68.3	29.7	0.382	0.289
Climate change Human Health	Pt	2.04	41.1	17.7	0.0976	0.041
Ozone depletion	Pt	0.119	0.425	0.242	0.000642	0.000197
Human toxicity	Pt	0.187	0.483	0.308	0.031	0.0306
Photochemical oxidant formation	Pt	8.75E-6	8.82E-6	9.33E-6	4.17E-6	4.17E-6
Particulate matter formation	Pt	0.0423	0.0427	0.0439	0.0228	0.0228
Ionising radiation	Pt	0.000261	0.000261	0.000271	3.76E-5	3.77E-5
Climate change Ecosystems	Pt	1.29	26	11.2	0.0617	0.0259
Terrestrial acidification	Pt	0.000333	0.000334	0.000343	0.000125	0.000125
Freshwater eutrophication	Pt	0.000189	0.00019	0.000206	0.00012	0.00012
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0.000161	0.000172	0.000177	0.000165	0.000165
Freshwater ecotoxicity	Pt	0.000439	0.000788	0.000799	0.00108	0.00108
Marine ecotoxicity	Pt	8.15E-5	0.000143	0.000145	0.000196	0.000196
Agricultural land occupation	Pt	0.00792	0.00797	0.00845	0.00205	0.00205
Urban land occupation	Pt	0.0395	0.0403	0.0432	0.051	0.051
Natural land transformation	Pt	0.00199	0.00199	0.00211	0.000888	0.000888
Metal depletion	Pt	0.0255	0.0278	0.0284	0.0776	0.0776
Fossil depletion	Pt	0.155	0.155	0.169	0.0352	0.0352

Πίνακας 21: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Damage category /	Unit	Refrigerant R22 production	Refrigerant R22 -- 1o senario	Refrigerant R22 -- 2o senario	Recycled Refrigerant R22 -- 3o senario	Recycled Refrigerant R22 -- 4o senario
Human Health	DALY	0.000121	0.00213	0.000924	7.68E-6	4.78E-6
Ecosystems	species.yr	6.07E-7	1.18E-5	5.08E-6	5.3E-8	3.69E-8
Resources	\$	0.278	0.282	0.305	0.174	0.174

Πίνακας 22: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία

Damage category /	Unit	Refrigerant R22 production	Refrigerant R22 -- 1o senario	Refrigerant R22 -- 2o senario	Recycled Refrigerant R22 -- 3o senario	Recycled Refrigerant R22 -- 4o senario
Human Health		0.00598	0.105	0.0457	0.00038	0.000237
Ecosystems		0.00336	0.0651	0.0281	0.000293	0.000204
Resources		0.000901	0.000914	0.000987	0.000564	0.000564

Πίνακας 23: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών

Damage category /	Unit	Refrigerant R22 production	Refrigerant R22 -- 1o senario	Refrigerant R22 -- 2o senario	Recycled Refrigerant R22 -- 3o senario	Recycled Refrigerant R22 -- 4o senario
Total	Pt	3.92	68.3	29.7	0.382	0.289
Human Health	Pt	2.39	42.1	18.3	0.152	0.0947
Ecosystems	Pt	1.34	26.1	11.2	0.117	0.0816
Resources	Pt	0.18	0.183	0.197	0.113	0.113

Πίνακας 24: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

R32

Impact category /	Unit	Refrigerant R32 production	Refrigerant R32 -- 1o senario	Refrigerant R32 -- 2o senario	Recycled Refrigerant R32 -- 3o senario	Recycled Refrigerant R32 -- 4o senario
Climate change Human Health	DALY	7.09E-6	7.12E-6	7.13E-6	1.81E-6	1.81E-6
Ozone depletion	DALY	1.18E-7	1.19E-7	1.19E-7	5.06E-10	5.93E-10
Human toxicity	DALY	6E-7	5.65E-5	2.3E-5	1.62E-6	1.53E-6
Photochemical oxidant formation	DALY	7.54E-10	2.08E-9	1.29E-9	2.13E-10	2.11E-10
Particulate matter formation	DALY	2.66E-6	2.68E-6	2.68E-6	1.15E-6	1.16E-6
Ionising radiation	DALY	4.18E-9	4.21E-9	4.21E-9	1.89E-9	1.89E-9
Climate change Ecosystems	species,yr	4.01E-8	4.03E-8	4.03E-8	1.03E-8	1.03E-8
Terrestrial acidification	species,yr	1.38E-10	1.39E-10	1.39E-10	5.67E-11	5.67E-11
Freshwater eutrophication	species,yr	2.32E-11	2.37E-11	2.37E-11	5.42E-11	5.43E-11
Terrestrial ecotoxicity	species,yr	1.89E-11	2.49E-11	2.43E-11	7.46E-11	7.46E-11
Freshwater ecotoxicity	species,yr	1.58E-11	1.74E-10	1.74E-10	4.89E-10	4.89E-10
Marine ecotoxicity	species,yr	3.07E-12	3.09E-11	3.09E-11	8.84E-11	8.84E-11
Agricultural land occupation	species,yr	6.76E-10	6.99E-10	7E-10	9.22E-10	9.22E-10
Urban land occupation	species,yr	2.47E-9	2.81E-9	2.81E-9	2.3E-8	2.3E-8
Natural land transformation	species,yr	2.53E-10	2.53E-10	2.54E-10	4E-10	4E-10
Metal depletion	\$	0.00184	0.00543	0.00544	0.12	0.12
Fossil depletion	\$	0.208	0.208	0.209	0.0542	0.0542

Πίνακας 25: Χαρακτηρισμός δεδομένων

Impact category /	Unit	Refrigerant R32 production	Refrigerant R32 -- 1o senario	Refrigerant R32 -- 2o senario	Recycled Refrigerant R32 -- 3o senario	Recycled Refrigerant R32 -- 4o senario
Climate change Human Health		0.000351	0.000353	0.000353	8.97E-5	8.98E-5
Ozone depletion		5.86E-6	5.87E-6	5.87E-6	2.5E-8	2.94E-8
Human toxicity		2.97E-5	0.0028	0.00114	7.99E-5	7.59E-5
Photochemical oxidant formation		3.73E-8	1.03E-7	6.36E-8	1.05E-8	1.04E-8
Particulate matter formation		0.000132	0.000133	0.000133	5.72E-5	5.72E-5
Ionising radiation		2.07E-7	2.08E-7	2.08E-7	9.35E-8	9.35E-8
Climate change Ecosystems		0.000222	0.000223	0.000223	5.67E-5	5.68E-5
Terrestrial acidification		7.66E-7	7.69E-7	7.7E-7	3.13E-7	3.14E-7
Freshwater eutrophication		1.28E-7	1.31E-7	1.31E-7	3E-7	3E-7
Terrestrial ecotoxicity		1.05E-7	1.38E-7	1.35E-7	4.13E-7	4.13E-7
Freshwater ecotoxicity		8.75E-8	9.6E-7	9.6E-7	2.71E-6	2.71E-6
Marine ecotoxicity		1.7E-8	1.71E-7	1.71E-7	4.89E-7	4.89E-7
Agricultural land occupation		3.74E-6	3.87E-6	3.87E-6	5.1E-6	5.1E-6
Urban land occupation		1.37E-5	1.55E-5	1.56E-5	0.000127	0.000127
Natural land transformation		1.4E-6	1.4E-6	1.41E-6	2.21E-6	2.21E-6
Metal depletion		5.96E-6	1.76E-5	1.76E-5	0.000388	0.000388
Fossil depletion		0.000673	0.000675	0.000676	0.000176	0.000176

Πίνακας 26: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

Impact category /	Unit	Refrigerant R32 production	Refrigerant R32 -- 1o senario	Refrigerant R32 -- 2o senario	Recycled Refrigerant R32 -- 3o senario	Recycled Refrigerant R32 -- 4o senario
Total	Pt	0.44	1.55	0.889	0.282	0.28
Climate change Human Health	Pt	0.14	0.141	0.141	0.0359	0.0359
Ozone depletion	Pt	0.00235	0.00235	0.00235	1E-5	1.17E-5
Human toxicity	Pt	0.0119	1.12	0.455	0.032	0.0304
Photochemical oxidant formation	Pt	1.49E-5	4.11E-5	2.55E-5	4.22E-6	4.18E-6
Particulate matter formation	Pt	0.0526	0.053	0.0531	0.0229	0.0229
Ionising radiation	Pt	8.27E-5	8.33E-5	8.33E-5	3.74E-5	3.74E-5
Climate change Ecosystems	Pt	0.0887	0.0892	0.0892	0.0227	0.0227
Terrestrial acidification	Pt	0.000306	0.000308	0.000308	0.000125	0.000126
Freshwater eutrophication	Pt	5.14E-5	5.25E-5	5.25E-5	0.00012	0.00012
Terrestrial ecotoxicity	Pt	4.19E-5	5.51E-5	5.38E-5	0.000165	0.000165
Freshwater ecotoxicity	Pt	3.5E-5	0.000384	0.000384	0.00108	0.00108
Marine ecotoxicity	Pt	6.79E-6	6.84E-5	6.84E-5	0.000195	0.000195
Agricultural land occupation	Pt	0.00149	0.00155	0.00155	0.00204	0.00204
Urban land occupation	Pt	0.00547	0.00621	0.00622	0.051	0.051
Natural land transformation	Pt	0.000559	0.000559	0.000562	0.000886	0.000886
Metal depletion	Pt	0.00119	0.00352	0.00353	0.0776	0.0776
Fossil depletion	Pt	0.135	0.135	0.135	0.0351	0.0352

Πίνακας 27: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Damage category /	Unit	Refrigerant R32 production	Refrigerant R32 -- 1o senario	Refrigerant R32 -- 2o senario	Recycled Refrigerant R32 -- 3o senario	Recycled Refrigerant R32 -- 4o senario
Human Health	DALY	1.05E-5	6.64E-5	3.29E-5	4.58E-6	4.51E-6
Ecosystems	species.yr	4.37E-8	4.45E-8	4.45E-8	3.54E-8	3.54E-8
Resources	\$	0.21	0.214	0.214	0.174	0.174

Πίνακας 28: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία

Damage category /	Unit	Refrigerant R32 production	Refrigerant R32 -- 1o senario	Refrigerant R32 -- 2o senario	Recycled Refrigerant R32 -- 3o senario	Recycled Refrigerant R32 -- 4o senario
Human Health		0.000518	0.00329	0.00163	0.000227	0.000223
Ecosystems		0.000242	0.000246	0.000246	0.000196	0.000196
Resources		0.000679	0.000693	0.000693	0.000564	0.000564

Πίνακας 29: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών

Damage category /	Unit	Refrigerant R32 production	Refrigerant R32 -- 1o senario	Refrigerant R32 -- 2o senario	Recycled Refrigerant R32 -- 3o senario	Recycled Refrigerant R32 -- 4o senario
Total	Pt	0.44	1.55	0.889	0.282	0.28
Human Health	Pt	0.207	1.32	0.652	0.0908	0.0892
Ecosystems	Pt	0.0967	0.0984	0.0984	0.0783	0.0783
Resources	Pt	0.136	0.139	0.139	0.113	0.113

Πίνακας 30: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

Σύγκριση παραγωγής ψυκτικών

Impact category /	Unit	Refrigerant R134a production	Refrigerant R22 production	Refrigerant R32 production
Total	Pt	1.38	3.92	0.44
Climate change Human Health	Pt	0.509	2.04	0.14
Ozone depletion	Pt	0.0411	0.119	0.00235
Human toxicity	Pt	0.0456	0.187	0.0119
Photochemical oxidant formation	Pt	3.29E-5	8.75E-6	1.49E-5
Particulate matter formation	Pt	0.103	0.0423	0.0526
Ionising radiation	Pt	0.000259	0.000261	8.27E-5
Climate change Ecosystems	Pt	0.322	1.29	0.0887
Terrestrial acidification	Pt	0.000648	0.000333	0.000306
Freshwater eutrophication	Pt	0.000241	0.000189	5.14E-5
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0.000323	0.000161	4.19E-5
Freshwater ecotoxicity	Pt	0.000494	0.000439	3.5E-5
Marine ecotoxicity	Pt	9.14E-5	8.15E-5	6.79E-6
Agricultural land occupation	Pt	0.00826	0.00792	0.00149
Urban land occupation	Pt	0.0495	0.0395	0.00547
Natural land transformation	Pt	0.00298	0.00199	0.000559
Metal depletion	Pt	0.0278	0.0255	0.00119
Fossil depletion	Pt	0.269	0.155	0.135

Πίνακας 31: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Damage category /	Unit	Refrigerant R134a production	Refrigerant R22 production	Refrigerant R32 production
Total	Pt	1.38	3.92	0.44
Human Health	Pt	0.699	2.39	0.207
Ecosystems	Pt	0.385	1.34	0.0967
Resources	Pt	0.297	0.18	0.136

Πίνακας 32: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

Σύγκριση 1^{ου} σεναρίου ψυκτικών

Impact category /	Unit	Refrigerant R134a -- 1o senario	Refrigerant R22 -- 1o senario	Refrigerant R32 -- 1o senario
Total	Pt	33.7	68.3	1.55
Climate change Human Health	Pt	20.3	41.1	0.141
Ozone depletion	Pt	0.0411	0.425	0.00235
Human toxicity	Pt	0.0474	0.483	1.12
Photochemical oxidant formation	Pt	3.3E-5	8.82E-6	4.11E-5
Particulate matter formation	Pt	0.103	0.0427	0.053
Ionising radiation	Pt	0.00026	0.000261	8.33E-5
Climate change Ecosystems	Pt	12.8	26	0.0892
Terrestrial acidification	Pt	0.000649	0.000334	0.000308
Freshwater eutrophication	Pt	0.000242	0.00019	5.25E-5
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0.000334	0.000172	5.51E-5
Freshwater ecotoxicity	Pt	0.000842	0.000788	0.000384
Marine ecotoxicity	Pt	0.000153	0.000143	6.84E-5
Agricultural land occupation	Pt	0.00831	0.00797	0.00155
Urban land occupation	Pt	0.0502	0.0403	0.00621
Natural land transformation	Pt	0.00298	0.00199	0.000559
Metal depletion	Pt	0.0302	0.0278	0.00352
Fossil depletion	Pt	0.269	0.155	0.135

Πίνακας 33: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Damage category /	Unit	Refrigerant R134a -- 1o senario	Refrigerant R22 -- 1o senario	Refrigerant R32 -- 1o senario
Total	Pt	33.7	68.3	1.55
Human Health	Pt	20.5	42.1	1.32
Ecosystems	Pt	12.9	26.1	0.0984
Resources	Pt	0.299	0.183	0.139

Πίνακας 34: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης

Σύγκριση 3^{ου} σεναρίου ψυκτικών

Impact category /	Unit	Recycled Refrigerant R134a -- 3o senario	Recycled Refrigerant R22 -- 3o senario	Recycled Refrigerant R32 -- 3o senario
Total	Pt	0.329	0.382	0.282
Climate change Human Health	Pt	0.0657	0.0976	0.0359
Ozone depletion	Pt	6.56E-5	0.000642	1E-5
Human toxicity	Pt	0.0304	0.031	0.032
Photochemical oxidant formation	Pt	4.2E-6	4.17E-6	4.22E-6
Particulate matter formation	Pt	0.0229	0.0228	0.0229
Ionising radiation	Pt	3.76E-5	3.76E-5	3.74E-5
Climate change Ecosystems	Pt	0.0415	0.0617	0.0227
Terrestrial acidification	Pt	0.000126	0.000125	0.000125
Freshwater eutrophication	Pt	0.00012	0.00012	0.00012
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0.000166	0.000165	0.000165
Freshwater ecotoxicity	Pt	0.00108	0.00108	0.00108
Marine ecotoxicity	Pt	0.000196	0.000196	0.000195
Agricultural land occupation	Pt	0.00205	0.00205	0.00204
Urban land occupation	Pt	0.051	0.051	0.051
Natural land transformation	Pt	0.000889	0.000888	0.000886
Metal depletion	Pt	0.0776	0.0776	0.0776
Fossil depletion	Pt	0.0353	0.0352	0.0351

Πίνακας 35: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επίδρασης

Damage category /	Unit	Recycled Refrigerant R134a -- 3o senario	Recycled Refrigerant R22 -- 3o senario	Recycled Refrigerant R32 -- 3o senario
Total	Pt	0.329	0.382	0.282
Human Health	Pt	0.119	0.152	0.0908
Ecosystems	Pt	0.0972	0.117	0.0783
Resources	Pt	0.113	0.113	0.113

Πίνακας 36: Συνολικά αποτελέσματα ανά κατηγορία βλάβης