



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Σύγκριση του περιβαλλοντικού κόστους των μονωτικών ελαίων  
μετασχηματιστών φυτικής και πετρελαϊκής προέλευσης με την  
μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής**



**Φοιτητής: Σδράλιας Στέφανος Κωνσταντίνος  
ΑΜ: 45779**

**Επιβλέπων Καθηγητής  
Κωνσταντίνος Στ. Ψωμόπουλος**

**ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2023**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING**

## **Diploma Thesis**

### **Comparison of the environmental cost of vegetable and petroleum transformer insulating oils using the Life Cycle Analysis method**



**Student: Sdralias Stefanos Konstantinos**  
**Registration Number: 45779**

**Supervisor**  
**Professor Konstantinos St. Psomopoulos**

**ATHENS-EGALEO, JULY 2023**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)	(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)	(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)
Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος Καθηγητής	Καλογεροπούλου Σοφία Καθηγήτρια	Καλκάνης Κωνσταντίνος Επίκουρος Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Στέφανος Κων/νος Σδράλιας ,  
Ιούλιος 2023**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Σδράλιας Στέφανος Κωνσταντίνος του Παναγιώτη, με αριθμό μητρώου 45779 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

**δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

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

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

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.

Ο/Η Δηλών

Στέφανος Κων/νος Σδράλιας

(Υπογραφή φοιτητή)



Οι φωτογραφίες του εξώφυλλου είναι από τις παρακάτω ιστοσελίδες

1)Capital.gr (2022). Πετρέλαιο: Ανοδικές τάσεις για τις τιμές του αργού. Διαθέσιμο στο:<https://www.capital.gr/agores/3635857/petrelaio-anodik-es-taseis-gia-tis-times-tou-argou> [Πρόσβαση 6 Σεπτεμβρίου 2022]

2)Energy Live News(2022). Biodiversity being destroyed at a rate unprecedented in history. Διαθέσιμο στο:<https://www.energylivenews.com/2020/09/11/biodiversity-being-destroyed-at-a-rate-unprecedented-in-history> [Πρόσβαση 6 Σεπτεμβρίου 2022]

3)Globecore(2022). Mixing different types of transformer oil. Διαθέσιμο στο:<https://globecore.com/oil-regeneration/mixing-different-types-transformer-oil> [Πρόσβαση 6 Σεπτεμβρίου 2022]

4)Natural oil. Διαθέσιμο στο:[https://elements.envato.com/de/enviro-environment-non-profit-psd-template-9HF2NQ?fbclid=IwAR1dYiTE5awsdw1rka\\_qlh1T-s1M76wNRuytIVU6nAXpShY72xqWzjfOnPO](https://elements.envato.com/de/enviro-environment-non-profit-psd-template-9HF2NQ?fbclid=IwAR1dYiTE5awsdw1rka_qlh1T-s1M76wNRuytIVU6nAXpShY72xqWzjfOnPO) [Πρόσβαση 6 Σεπτεμβρίου 2022]

### **Ευχαριστίες**

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, στο τμήμα Ηλεκτρολόγων & Ηλεκτρονικών Μηχανικών και συγκεκριμένα στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων και Ενεργειακών Συστημάτων, κατά το έτος 2022. Με την ολοκλήρωσή της θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνησή της.

Ευχαριστώ τον διευθυντή του εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων και Ηλεκτρικών Συστημάτων και επιβλέποντα της εργασίας μου καθηγητή μου κύριο Κωνσταντίνο Στ. Ψωμόπουλο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε εξ' αρχής αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα και στη συνέχεια για την προθυμία του, το αμείωτο ενδιαφέρον και τη συμπαράστασή του από την αρχή μέχρι το τέλος. Επίσης, ευχαριστώ τον Υποψήφιο Διδάκτορα του Υψηλών Τάσεων και Ηλεκτρικών Συστημάτων κ. Χρόνη Ιωάννη για τη βοήθεια και τη συμπαράστασή του στην εκπόνηση τη διπλωματικής μου εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου για όλη την στήριξη και συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι τόσο η ανάλυση του κύκλου ζωής όσο και η εκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους των μονωτικών ελαίων μετασχηματιστών φυτικής και πετρελαϊκής προέλευσης μέσω του λογισμικού Open LCA.

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο κάνουμε μια εισαγωγή στους μετασχηματιστές για να εξετάσουμε τον τρόπο λειτουργία τους. Στη συνέχεια, παρουσιάζουμε τα εξαρτήματα τους για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε ακόμα περισσότερα πράγματα για αυτούς. Καθώς αναλύουμε τα δεδομένα μας, η ανάγκη μόνωσης των μετασχηματιστών γίνεται αμέσως εμφανή. Παρουσιάζοντας είδη μονωτικών υλικών όπως για παράδειγμα στερεά, αέρια και υγρά καθίσταται αντιληπτό πως μπορούμε να επιλέξουμε τον κατάλληλο τρόπο μόνωσής τους. Για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μία επιλογή μόνωσης αποτελούν τα μονωτικά λάδια. Κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα μονωτικά λάδια για την μόνωση των μετασχηματιστών (πχ. λάδια συνθετικά, σιλικόνης, συνθετικοί εστέρες, ορυκτά και φυτικά). Ύστερα από αρκετές δοκιμές κάποια λάδια από αυτά αποσύρθηκαν από την αγορά διότι ήταν αρκετά τοξικά για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Έτσι, με γνώμονα όλα τα παραπάνω καταλήγουμε να αναλύουμε και να συγκρίνουμε δύο λάδια τα οποία χρησιμοποιούνται και είναι διαθέσιμα στην αγορά. Τα λάδια αυτά είναι τα φυτικά και τα ορυκτά. Ουσιαστικά, μελετούμε τις κατηγορίες τους και τα ηλεκτρικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, σε πρώτη φάση μελετούμε την γενικότερη έννοια της ανάλυσης του κύκλου ζωής και αμέσως μετά αναλύουμε τον κύκλο ζωής των μονωτικών ελαίων φυτικής και πετρελαϊκής προέλευσης. Η ανάλυση κύκλου ζωής προϊόντος είναι το πλέον διαδεδομένο εργαλείο για την ολιστική αποτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ενός προϊόντος. Η AKZ μπορεί να γίνει με την χρήση λογισμικών και βάσεων δεδομένων και χρησιμοποιείται κυρίως στη φάση του σχεδιασμού του προϊόντος αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε προϊόν έτοιμο ή και σε λειτουργία καθώς και ιδιαίτερα για την σύγκριση προϊόντων που καλύπτουν τις ίδιες ανάγκες, όπως είναι τα μονωτικά έλαια πετρελαϊκής προέλευσης και τα αντίστοιχα φυτικής προέλευσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε μερικά λογισμικά για την ανάλυση κύκλου ζωής ενός προϊόντος και εξετάζουμε την εφαρμογή ενός συγκεκριμένου λογισμικού, του Open LCA. Η σύγκριση που πραγματοποιείται είναι ανάμεσα στα ορυκτά και φυτικά λάδια.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο καταλήγουμε σε συμπεράσματα βάσει των δεδομένων που έχουν προκύψει. Από το πρόγραμμα Open LCA οι εκπομπές των φυτικών λαδιών κατά την παραγωγή τους είναι περισσότερες σε σχέση με αυτές των ορυκτών λαδιών, χωρίς ωστόσο να υπάρχουν μεγάλες διαφορές. Τα ορυκτά λάδια είναι κακώς βιοδιασπώμενα, ελαφρώς τοξικά, αρκετά εύφλεκτα και αποτελούν μη ανανεώσιμη πηγή. Απ' την άλλη, τα φυτικά λάδια είναι διαθέσιμα σε αφθονία (προέρχονται από ανανεώσιμη πηγή), έχουν μεγάλη βιοδιασπασιμότητα και είναι ελάχιστα τοξικά σε σχέση με τα ορυκτά λάδια.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Μονωτικά έλαια μετασχηματιστών, ορυκτά λάδια, φυτικά λάδια, Ανάλυση κύκλου ζωής

## Abstract

The main goal of this thesis is the life cycle assessment and the comparison between non-conducting oils, mineral and natural, as far as their environmental cost is concerned, through the implementation of the software called Open LCA.

To begin with, in the first chapter we mention the way transformers function and in addition to this, we present their fixtures in order to understand them further. Through analysis, the necessity of their insulation becomes obvious enough. Depending on the kind of non-conducting materials (solid, gas, liquid), it is noticeable how transformers can be insulated properly. This particular thesis is involved in non-conducting oils. On a case-by-case basis, various of these oils (for instance synthetic oils, silicone, synthetic esters, mineral and natural oils) have been used for the insulation of the transformers. After several tests, some of the above oils were considered as toxic enough for both human's health and environment. Consequently, they have been obliged to withdraw from the market. Taking all the above into consideration, we end up analyzing and comparing two oils which are available on the market according to their categories, their electrical and physicochemical features. These oils are the natural and the mineral.

In the second chapter, we study the general meaning of life cycle assessment and afterwards we analyze the life cycle of plant-based and petroleum non-conducting oils. LCA of product is the most world-wide known tool for the holistic valuation of product's environmental footprint. It could be held with the use of softwares and databases not only to a non-completed product (during design phase) but also to a completed one (or a product which is in function). Furthermore, LCA could be used to compare products that cover the same needs, such as petroleum non-conducting oils and the respective plant-based.

In the third chapter, we present a few softwares for the LCA and we examine the execution of a specific software, the Open LCA. The comparison that we make via Open LCA is between the mineral and the natural oil.

In the final chapter, we end up to conclusions through the data we received from Open LCA. To be more specific, the emissions of natural oils during the stage of their production are higher comparing to mineral oils emissions, without substantial differences though. The mineral oils are roughly biodegradable, they also are slightly toxic, intensely flammable and non renewable source. On the other hand, the natural oil are available in abundance (as they constitute a renewable source), are easily biodegradable and barely toxic than mineral oils.

## Keywords

Insulating transformer oils, mineral oil, natural oil, life cycle analysis.



## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	6
Abstract .....	8
1. Εισαγωγή .....	15
1.1 Στόχοι της διπλωματικής εργασίας.....	15
1.1.1 Μετασχηματιστής .....	16
1.1.2 Εξαρτήματα του μετασχηματιστή.....	17
1.2 Μονωτικά Υλικά .....	21
1.2.1 Μονωτικά λάδια.....	23
1.2.2 Μονωτικά λάδια σε μετασχηματιστές.....	25
1.2.3 Είδη μονωτικών λαδιών που έχουν χρησιμοποιηθεί σε μετασχηματιστές..	26
1.2.4 Παραγωγή ορυκτών μονωτικών λαδιών.....	31
1.2.5 Κριτήρια αξιολόγησης μονωτικών λαδιών.....	32
1.2.6 Ιδιότητες των μονωτικών λαδιών.....	34
2. Ανάλυση Κύκλου Ζωής.....	37
2.1 Μεθοδολογία.....	40
2.2 Περιγραφή του κύκλου ζωής των ορυκτών ελαίων και εκπομπές CO <sub>2</sub> .....	42
2.2.1 Εξόρυξη - Παραγωγή .....	43
2.2.2 Συσκευασία .....	45
2.3 Περιγραφή του Κύκλου Ζωής των Φυτικών Ελαίων .....	47
2.3.1 Συλλογή - Παραγωγή.....	48
2.3.2 Συσκευασία .....	50
2.3.3 Μεταφορά.....	51
2.3.4 Χρήση-Επαναχρησιμοποίηση .....	51
2.3.5 Ανακύκλωση/Ανάκτηση αποβλήτων/Τελική διάθεση.....	51
3. Ανάλυση Κύκλου Ζωής Μέσω Λογισμικού .....	54
3.1 Πρόγραμμα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής OPEN LCA.....	55
3.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής και εκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους μονωτικών ελαίων φυτικής και πετρελαϊκής προέλευσης με το λογισμικό OPEN LCA .....	57
3.2.1 Χερσαία Οικοτοξικότητα .....	61
3.2.2 Θαλάσσια Οικοτοξικότητα.....	63
3.2.3 Οικοτοξικότητα Γλυκού Νερού.....	65
3.2.4 Εξάντληση Ορυκτών Πόρων .....	67
3.2.5 Εξάντληση Στερεών Ορυκτών Πόρων .....	68
3.2.6 Χερσαία Όξυνση .....	70
3.2.7 Παγκόσμια Υπερθέρμανση .....	71
3.2.8 Σχηματισμός Μικροσωματιδίων Στα Χερσαία Οικοσυστήματα.....	73

3.2.9 Σχηματισμός Μικροσωματιδίων .....	75
3.2.10 Ιονίζουσα Ακτινοβολία .....	76
3.2.11 Κατανάλωση Νερού .....	77
3.2.12 Σχηματισμός Όζοντος, Ανθρώπινη Υγεία .....	81
3.2.13 Καρκινογόνος Τοξικότητα Στον Άνθρωπο .....	82
3.2.14 Καταστροφή Του Στρατοσφαιρικού Όζοντος.....	83
3.2.15 Ευτροφισμός Γλυκού Νερού .....	85
3.2.16 Χρήση Γης.....	86
3.2.17 Θαλάσσιος Ευτροφισμός .....	87
3.2.18 Μη Καρκινογόνο Τοξικότητα Στον Άνθρωπο.....	89
4. Συμπεράσματα .....	92
5. Αναφορές .....	94

## Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1.1 - Σύνθεση λιπαρού οξέος διαφόρων φυτικών λαδιών.....	30
Πίνακας 1.2 - Ιδιότητες φυτικών ελαίων.....	31
Πίνακας 1.3 – Συγκριτικός πίνακας ιδιοτήτων ελαίων.....	36
Πίνακας 2.1 – Ιδιότητες για ορυκτά και φυτικά έλαια.....	52
Πίνακας 2.2 – Επιπτώσεις στο περιβάλλον για ορυκτά και φυτικά έλαια.....	53

## Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1.1 - Αρχή λειτουργίας ιδανικού μετασχηματιστή.....	16
Εικόνα 1.2 - Πλάγια όψη μετασχηματιστή 20/25MVA.....	18
Εικόνα 1.3 - Κάτοψη μετασχηματιστή 20/25MVA.....	19
Εικόνα 1.4 - Μπροστινή όψη Μ/Σ 20/25MVA.....	20
Εικόνα 1.5 - Μετασχηματιστής Μέσης Τάσης.....	25
Εικόνα 1.6 - Η χημική δομή των τριών κατηγοριών υδρογονανθράκων στα ορυκτά έλαια.....	27
Εικόνα 1.7 - Χημική δομή φυσικού εστέρα.....	29
Εικόνα 1.8 - Δοχείο διαστολής με δείκτη στάθμης λαδιού.....	35
Εικόνα 2.1 - Κύκλος Ζωής προϊόντος.....	38
Εικόνα 2.2 - Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	40
Εικόνα 2.3 - Προσδιορισμός περιβαλλοντικών επιπτώσεων.....	42
Εικόνα 2.4 - Ανάλυση Κύκλου Ζωής για τα Ορυκτά Έλαια.....	43
Εικόνα 2.5 - Κλασματική απόσταξη πετρελαίου.....	44
Εικόνα 2.6 - Παραγόμενα αέρια από το φυτικό και ορυκτό λάδι μετασχηματιστή ....	47
Εικόνα 2.7 - Ανάλυση Κύκλου Ζωής για τα Φυτικά Έλαια.....	48
Εικόνα 2.8 - Στάδια παραγωγής φυτικών λαδιών.....	49
Εικόνα 3.1 - Αρχική σελίδα OPEN LCA.....	54
Εικόνα 3.2 - Αρχική σελίδα στο Open LCA Nexus.....	55
Εικόνα 3.3 – Εκτύπωση οθόνης στα Inputs-Outputs για τα ορυκτά λάδια.....	58
Εικόνα 3.4 – Εκτύπωση οθόνης στα Inputs-Outputs για τα φυτικά λάδια.....	59
Εικόνα 3.5 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την χερσαία οικοτοξικότητα.....	60
Εικόνα 3.6 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την χερσαία οικοτοξικότητα.....	60
Εικόνα 3.7 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την θαλάσσια οικοτοξικότητα.....	62
Εικόνα 3.8 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την θαλάσσια οικοτοξικότητα.....	62
Εικόνα 3.9 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την οικοτοξικότητα του γλυκού νερού.....	64
Εικόνα 3.10 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την οικοτοξικότητα του γλυκού νερού.....	64

Εικόνα 3.11 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την εξάντληση ορυκτών πόρων .....	66
Εικόνα 3.12 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την εξάντληση ορυκτών πόρων .....	66
Εικόνα 3.13 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την εξάντληση στερεών ορυκτών πόρων .....	67
Εικόνα 3.14 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την εξάντληση στερεών ορυκτών πόρων .....	68
Εικόνα 3.15 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την χερσαία όξυνση.....	69
Εικόνα 3.16 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την χερσαία όξυνση.....	69
Εικόνα 3.17 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την παγκόσμια υπερθέρμανση .....	70
Εικόνα 3.18 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την παγκόσμια υπερθέρμανση.....	71
Εικόνα 3.19 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για τον σχηματισμό μικροσωματιδίων στα χερσαία οικοσυστήματα .....	72
Εικόνα 3.20 – Εκπομπές φυτικών λαδιών για τον σχηματισμό μικροσωματιδίων στα χερσαία οικοσυστήματα.....	72
Εικόνα 3.21 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για τον σχηματισμό μικροσωματιδίων .....	74
Εικόνα 3.22 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για τον σχηματισμό μικροσωματιδίων .....	74
Εικόνα 3.23 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την ιονίζουσα ακτινοβολία.....	75
Εικόνα 3.24 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την ιονίζουσα ακτινοβολία.....	75
Εικόνα 3.25 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την κατανάλωση νερού.....	77
Εικόνα 3.26 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την κατανάλωση νερού.....	78
Εικόνα 3.27 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για τον σχηματισμό όζοντος και την ανθρώπινη υγεία .....	80
Εικόνα 3.28 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για τον σχηματισμό όζοντος και την ανθρώπινη υγεία .....	80
Εικόνα 3.29 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο .....	81
Εικόνα 3.30 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο .....	81
Εικόνα 3.31 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος .....	82
Εικόνα 3.32 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος .....	83

Εικόνα 3.33 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για τον ευτροφισμό του γλυκού νερού.....	84
Εικόνα 3.34 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για τον ευτροφισμό του γλυκού νερού.....	84
Εικόνα 3.35 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την χρήση γης .....	85
Εικόνα 3.36 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την χρήση γης .....	85
Εικόνα 3.37 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για τον θαλάσσιο ευτροφισμό.....	87
Εικόνα 3.38 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για τον θαλάσσιο ευτροφισμό.....	87
Εικόνα 3.39 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την μη καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο .....	88
Εικόνα 3.40 – Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την μη καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο .....	89
Εικόνα 3.41: Εκτύπωση οθόνης για την σύγκριση ορυκτών λαδιών και φυτικών λαδιών στο Open LCA .....	90

## Λίστα Γραφημάτων

Γράφημα 3.1 -Σύγκριση εκπομπών για την χερσαία οικοτοξικότητα .....	62
Γράφημα 3.2 -Σύγκριση εκπομπών για την θαλάσσια οικοτοξικότητα .....	64
Γράφημα 3.3 -Σύγκριση εκπομπών για την οικοτοξικότητα του γλυκού νερού .....	66
Γράφημα 3.4 -Σύγκριση εκπομπών για την εξάντληση ορυκτών πόρων .....	67
Γράφημα 3.5 -Σύγκριση εκπομπών για την εξάντληση στερεών ορυκτών πόρων....	69
Γράφημα 3.6 -Σύγκριση εκπομπών για την χερσαία όξυνση .....	71
Γράφημα 3.7 -Σύγκριση εκπομπών για την παγκόσμια υπερθέρμανση .....	72
Γράφημα 3.8 -Σύγκριση εκπομπών για τον σχηματισμό μικροσωματιδίων στα χερσαία οικοσυστήματα.....	74
Γράφημα 3.9 -Σύγκριση εκπομπών για τον σχηματισμό μικροσωματιδίων .....	75
Γράφημα 3.10 -Σύγκριση εκπομπών για την ιονίζουσα ακτινοβολία .....	77
Γράφημα 3.11 -Σύγκριση εκπομπών για την κατανάλωση νερού .....	80
Γράφημα 3.12 -Σύγκριση εκπομπών για σχηματισμό όζοντος και την ανθρώπινη υγεία.....	81
Γράφημα 3.13 -Σύγκριση εκπομπών για την καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο .....	83
Γράφημα 3.14 -Σύγκριση εκπομπών για την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος.....	84
Γράφημα 3.15 -Σύγκριση εκπομπών για τον ευτροφισμό του γλυκού νερού .....	85
Γράφημα 3.16 -Σύγκριση εκπομπών για την χρήση γης .....	87
Γράφημα 3.17 -Σύγκριση εκπομπών για τον θαλάσσιο ευτροφισμό.....	88
Γράφημα 3.18 -Σύγκριση εκπομπών για την μη καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο .....	90

## 1. Εισαγωγή

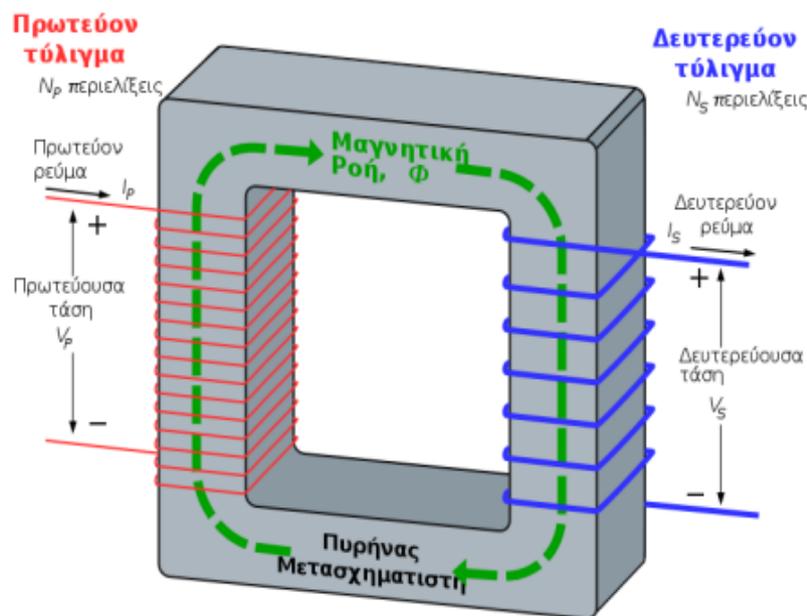
Τα μονωτικά λάδια μετασχηματιστών αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι για την σωστή λειτουργία του μετασχηματιστή. Ανάλογα με το είδος του μονωτικού λαδιού παρουσιάζουν διάφορα χαρακτηριστικά και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Εδώ και πολλά χρόνια έχει ξεκινήσει μια προσπάθεια αντικατάστασης των συμβατικών ορυκτών λαδιών με φυτικά λάδια. Η προσπάθεια αυτή δικαιολογείται από μια σειρά πλεονεκτημάτων και ιδιοτήτων που παρουσιάζουν τα φυτικά λάδια. Από τα πιο σημαντικά είναι η βελτίωση της απόδοσης των μετασχηματιστών, η μεγαλύτερη ασφάλεια έναντι πυρκαγιάς και κυρίως η φιλικότητα που έχουν τόσο στον άνθρωπο όσο και στο περιβάλλον. Με την ανάλυση του κύκλου ζωής των ορυκτών και φυτικών λαδιών μπορούμε να αξιολογήσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλα τα στάδια τους. Τα στάδια αυτά περιλαμβάνουν την εξόρυξη, την παραγωγή, τη συσκευασία, τη μεταφορά-διανομή, τη χρήση-επαναχρησιμοποίηση-συντήρηση, την ανακύκλωση-ανάκτηση αποβλήτων και την τελική διάθεση. Έτσι γίνεται φανερό ότι με την AKZ μπορούμε να συγκρίνουμε δυο προϊόντα καταλήγοντας σε σημαντικά συμπεράσματα για τις επιπτώσεις που προκαλούν.

### 1.1 Στόχοι της διπλωματικής εργασίας

- Η σύγκριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μεταξύ των μονωτικών ελαίων φυτικής προέλευσης και πετρελαϊκής προέλευσης.
- Η χρήση του λογισμικού Open LCA για την ανάλυση κύκλου ζωής των ορυκτών και φυτικών λαδιών και η εξαγωγή συμπερασμάτων βάσει αυτού.

### 1.1.1 Μετασχηματιστής

Η κίνηση κάθε φορτίου και κατ' επέκταση η διάχυση του ρεύματος σε κάθε αγωγό παράγει γύρω του μαγνητικό πεδίο. (Οι αναφορές από δω και πέρα θα αφορούν το ομογενές μαγνητικό πεδίο.) Με τη σειρά του το μαγνητικό πεδίο ασκεί μια δύναμη σε κάθε ρευματοφόρο αγωγό καθώς και σε κάθε κινούμενο φορτίο που βρίσκεται μέσα σε αυτό. Όσο πιο δυνατό είναι το μαγνητικό πεδίο σε μία συγκεκριμένη περιοχή, τόσο περισσότερο σχεδιάζουμε δυναμικές γραμμές στην περιοχή αυτή. Εάν μεταβληθεί με οποιοδήποτε τρόπο η ροή του μαγνητικού πεδίου σε έναν αγωγίμο βρόχο, τότε στον αγωγό αυτόν δημιουργείται ένα επαγωγικό ρεύμα άρα και επαγωγική τάση. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Ο νόμος που αναλύει τη διαδικασία αυτή είναι ο νόμος της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής ή διαφορετικά νόμος του Faraday (Henry). Αιτία αυτής της διαδικασίας αποτελεί το γεγονός ότι για κάθε χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο ασκείται μία δύναμη στα ηλεκτρόνια του αγωγού με αποτέλεσμα να δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα. [1],[2]



Εικόνα 1.1: Αρχή λειτουργίας ιδανικού μετασχηματιστή. [3]

Ο μετασχηματιστής στην ουσία είναι μια ηλεκτρική μηχανή με σταθερά μέρη. Αποτελείται από δύο πηνία, ένα για κάθε τύλιγμα, τα οποία είναι ηλεκτρικά ανεξάρτητα και μαγνητικά συζευγμένα μεταξύ τους. Το τύλιγμα που δέχεται την τροφοδοσία ονομάζεται πρωτεύον ενώ το τύλιγμα που προσφέρει ηλεκτρική ενέργεια ονομάζεται δευτερεύον. Τα πηνία βρίσκονται τυλιγμένα γύρω από ένα πυρήνα όπου αποτελεί το μαγνητικό κύκλωμα και είναι μονωμένα μεταξύ τους. Ο μετασχηματιστής μπορεί να μετασχηματίσει μία τάση είτε υποβιβάζοντας την είτε αναβαθμίζοντας την. Στο πρωτεύον τύλιγμα εφαρμόζεται μία εναλλασσόμενη τάση, η οποία προκαλεί με τη σειρά της μια εναλλασσόμενη ένταση ρεύματος. Αυτή η εναλλασσόμενη ένταση

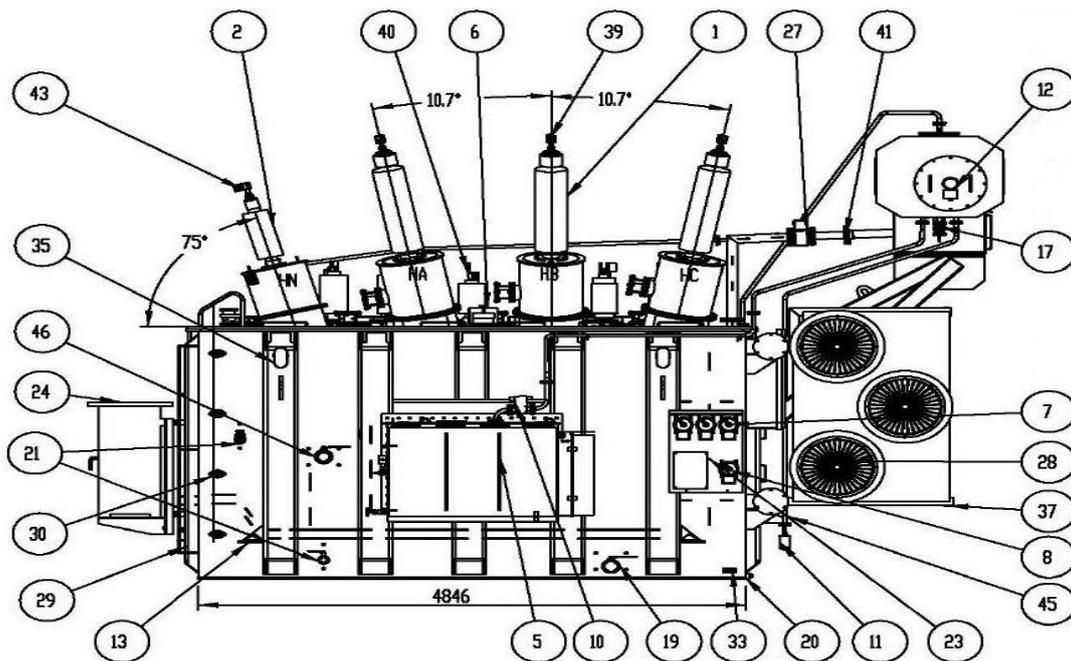


ρεύματος παράγει ένα μαγνητικό πεδίο με εναλλασσόμενη μαγνητική ροή. Κατά τη μεταβολή της ροής του μαγνητικού πεδίου παράγεται στο δευτερεύον τύλιγμα μια εναλλασσόμενη τάση. Λόγω της μεταβολής της ροής δημιουργείται στο πρωτεύον μια τάση επαγωγική ιδίου μέτρου και αντίστροφης φοράς με την εναλλασσόμενη τάση που αναπτύχθηκε στην αρχή. [1],[2]

Συνοψίζοντας οι μετασχηματιστές αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι στην ηλεκτρική ενέργεια. Επιτρέπουν τη διανομή και τη μεταφορά της ισχύς με αποδοτικό και οικονομικό τρόπο. Επίσης, μπορούν να μειώσουν τις απώλειες ισχύος που υπάρχουν στις γραμμές μεταφοράς ενέργειας. Ωστόσο, παρουσιάζονται απώλειες ενέργειας κατά τους μετασχηματισμούς καθώς και κατά τη μεταφορά. Αυτές οι απώλειες παρουσιάζονται με την μορφή θερμότητας, ανεβάζοντας με αυτόν τον τρόπο τη θερμοκρασία των στοιχείων δομής τους συστήματος. Συνεπώς, δημιουργείται η ανάγκη μόνωσης των στοιχείων δομής του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και ειδικότερα των μετασχηματιστών. [1],[2]

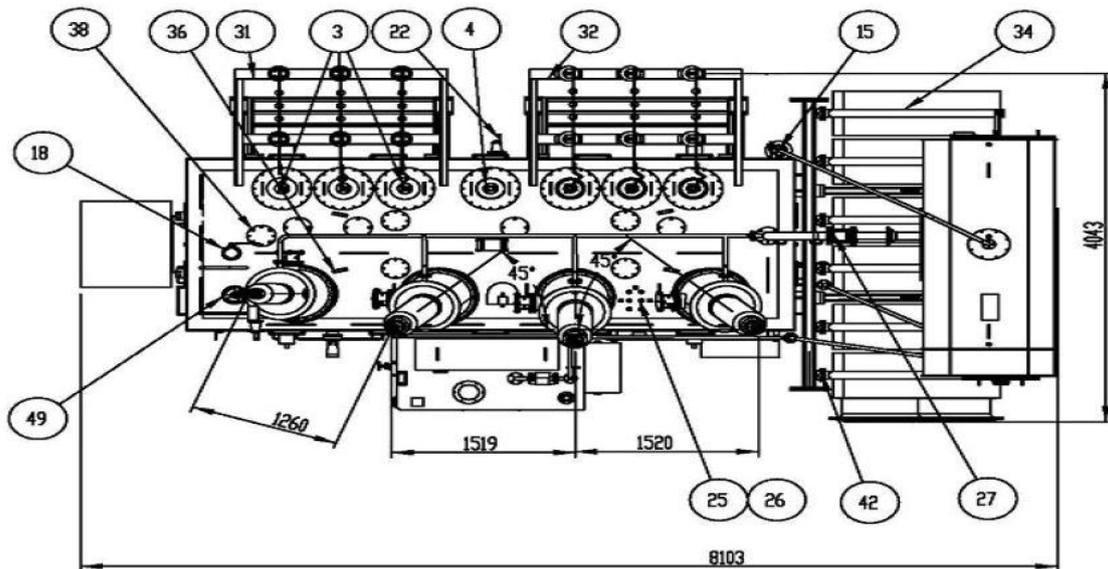
### 1.1.2 Εξαρτήματα του μετασχηματιστή

Τα σχήματα που ακολουθούν μας βοηθούν να κατανοήσουμε βασικά εξαρτήματα ενός μετασχηματιστή. Οι εικόνες είναι ενδεικτικές-τυπικές και ανάλογα με την εφαρμογή, την τεχνολογία κατασκευής, τον κατασκευαστή, κάποια από τα στοιχεία εξοπλισμού μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετικές θέσεις ή και να μην υπάρχουν. Οι διαστάσεις είναι επίσης ενδεικτικές. Οι αριθμοί που αναγράφονται παρουσιάζουν ένα στοιχείο του μετασχηματιστή. [4],[5]



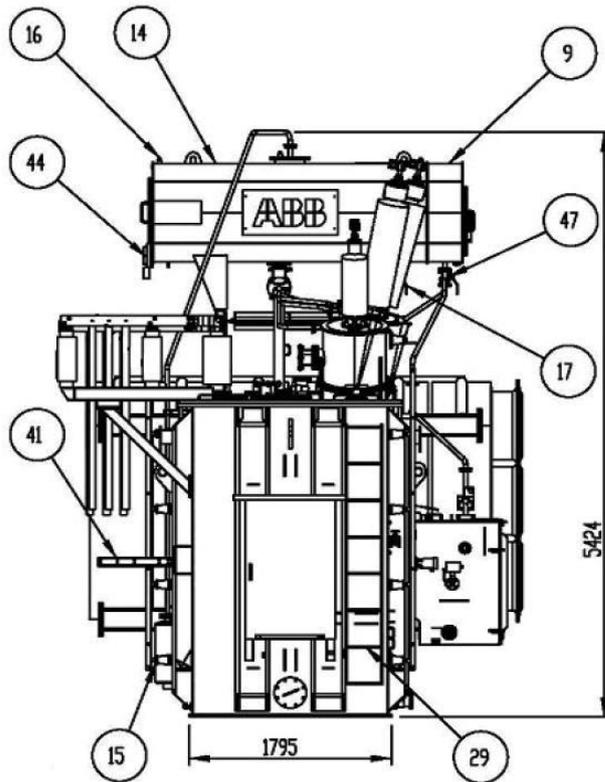
Εικόνα 1.2 : Πλάγια όψη μετασχηματιστή 20/25MVA. [4],[5]

- |   |  |
|---|--|
| 1)Μονωτήρας διέλευσης υψηλής τάσης        | 24)Πίνακας ελέγχου                       |
| 2)Μονωτήρας ουδετέρου κόμβου              | 27)Ηλεκτρονόμος ανίχνευσης αερίων        |
| 5)Μεταγωγέας λήψεων υπό φορτίο            | 28)Ανεμιστήρες ψύξης                     |
| 6)Συσκευή ανακούφισης πίεσης              | 29)Σκάλα                                 |
| 7)Θερμόμετρα τυλιγμάτων                   | 30)Γείωση τυλιγμάτων Υ.Τ.                |
| 8)Θερμόμετρο λαδιού                       | 33)Ακροδέκτης γείωσης κύριας δεξαμενής   |
| 10)Ηλεκτρονόμος ροής λαδιού από μεταγωγέα | 35)Λαβές ανύψωσης μετασχηματιστή         |
| 11)Αφυγραντής μεταγωγέα λήψεων            | 37)Βάνα αποστράγγισης ψυγείου            |
| 12)Ενδεικτικό στάθμης λαδιού μεταγωγέα    | 39)Ακροδέκτες μονωτήρα διέλευσης Υ.Τ.    |
| 13)Λαβές έλξης                            | 40)Ακροδέκτες μονωτήρα διέλευσης Μ.Τ,Χ.Τ |
| 17)Βάνα αποστράγγισης δοχείου διαστολής   | 41)Βάνα απομόνωσης .                     |
| 19)Βάνα πλήρωσης/αποστράγγισης λαδιού     | 43)Βαλβίδα εξαέρωσης δεξαμενής           |
| 20)Πώμα αποστράγγισης                     | 45)Βαλβίδα εξαέρωσης δεξαμενής           |



Εικόνα 1.3 : Κάτοψη μετασχηματιστή 20/25MVA. [4],[5]

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 3) Μονωτήρας διέλευσης μέσης τάσης       | 31) Ζυγοί μέσης τάσης               |
| 4) Μονωτήρας διέλευσης χαμηλής τάσης     | 32) Ζυγοί χαμηλής τάσης             |
| 15) Αφυγραντής δοχείου διαστολής         | 34) Ψυγείου                         |
| 18) Βάνα εκκένωσης                       | 36) Λαβές ανύψωσης πάνω καλύματος   |
| 22) Ακροδέκτης γειώσεως ουδετέρου κόμβου | 38) Κιβώτιο σύνδεσης γείωσης πυρήνα |
| 25) Αισθητήρας θερμοκρασίας ελαίου       | 42) Βάνες ψυγείου                   |
| 26) Αισθητήρας θερμοκρασίας τυλιγμάτων   | 49) Μεταγωγέας λήψεων εν κενό       |
| 27) Ηλεκτρονόμος ανάχνευσης αερίων       |                                     |



Εικόνα 1.4 : Μπροστινή όψη Μ/Σ 20/25ΜVΑ. [4],[5]

- 9) Δοχείο διαστολής μεταγωγέα λήψεων
- 14) Δοχείο διαστολής κύριας δεξαμενής
- 15) Αφυγραντής δοχείου διαστολής κύριας δεξαμενής
- 16) Εξαερωτήρας δοχείου διαστολής
- 17) Βάνα αποστράγγισης δοχείου διαστολής κύριας δεξαμενής
- 29) Σκάλα
- 41) Σχάρα όδευσης καλωδίων

## 1.2 Μονωτικά Υλικά

Τα μονωτικά υλικά χρησιμοποιούνται για διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες και συναντώνται σε τρεις μορφές: στερεά, υγρά και αέρια. Επιπλέον, διακρίνονται με βάση τη χρήση τους σε θερμομονωτικά, ηλεκτρομονωτικά και ηχομονωτικά. Με τον όρο μονωτές θα αναφερόμαστε παρακάτω αποκλειστικά στους ηλεκτρικούς μονωτές. [6]

Διηλεκτρικό ή ηλεκτρικός μονωτής ορίζεται εκείνο το υλικό που έχει ελάχιστες ή καθόλου απώλειες στην ισχύ. Δεν αποτελεί ιδανικό μονωτή, αλλά ένα θετικό του χαρακτηριστικό είναι ότι έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει ενέργεια κατά την ύπαρξη ενός ηλεκτρικού πεδίου στο εξωτερικό του. Όσο για τη χημική σύσταση των ηλεκτρικών μονωτών, δεν είναι πολυάριθμοι οι ευκίνητοι φορείς και συνεπώς δεν παρουσιάζουν σημαντική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Με αυτό τον τρόπο, στα διάφορα τμήματα των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων διατηρούνται οι διαφορές δυναμικού ενώ μέσα στο υλικό δεν δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα. [6]

Η λειτουργία κάποιας μόνωσης έχει χαρακτηριστικά όπως [6]:

- Πλήρως ανορθωμένη μόνωση, κατά την οποία μετά τις μεταβολές της ατμόσφαιρας τα χαρακτηριστικά του υλικού επανέρχονται (π.χ. ατμοσφαιρικός αέρας)
- Εσωτερική μόνωση, που προστατεύεται γενικά από τις διάφορες συνθήκες του περιβάλλοντος
- Εξωτερική μόνωση, στην οποία αντιμετωπίζονται όλες οι περιβαλλοντικές συνθήκες όπως υγρασία, βροχή, ρύπανση, υψηλή θερμοκρασία κτλ.
- Μερικά επανορθωμένη μόνωση, όπου μετά τις ατμοσφαιρικές μεταβολές τα χαρακτηριστικά του υλικού δεν ανακτώνται πλήρως (π.χ. μονωτικό λάδι)
- Μη επανορθωμένη μόνωση, η οποία αντιστοιχεί σε πλήρη καταστροφή της μόνωσης μετά από μεταβολές (π.χ. διάτρηση μονωτήρα).

Για την ορθή αξιολόγηση συμπεριφοράς και απόδοσης των μονωτικών υλικών έχουν τεθεί κάποια βασικά κριτήρια. Τα κύρια φυσικά μεγέθη που χαρακτηρίζουν τα μονωτικά υλικά είναι ο συντελεστής απωλειών, η ειδική αγωγιμότητα, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, η σχετική διηλεκτρική σταθερά, η διηλεκτρική αντοχή, η αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις και η επιφανειακή ειδική αγωγιμότητα. Γενικά, δεν είναι όλα όσα αναφέρθηκαν σημαντικά μεγέθη και ειδικά στην εργασία δεν αναλύονται. [6]

Παρόλο που η εργασία αναλύει κυρίως τα υγρά μονωτικά και συγκεκριμένα τα μονωτικά λάδια, παρακάτω γίνεται μια μικρή αναφορά στα στερεά και στα αέρια μονωτικά υλικά.

**Αέρια μονωτικά υλικά:** Το πιο σύνηθες παράδειγμα της κατηγορίας αποτελεί ο ατμοσφαιρικός αέρας. Τα υλικά αυτά έχουν ως θεμελιώδη χαρακτηριστικό τους την

χαμηλή διηλεκτρική τους σταθερά, η οποία πλησιάζει τη μονάδα και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απαιτούνται μεγάλα διάκενα μεταξύ αγωγών. Ένα αέριο μονωτικό υλικό το οποίο μειώνει τις αποστάσεις, περίπου κατά 10 φορές, είναι το εξαφθοριούχο θείο (SF<sub>6</sub>). Επιστήμονες το ερεύνησαν και κατέληξαν πως υπάρχουν πλεονεκτήματα στην αντοχή και στον τεχνικό-οικονομικό τομέα αν αναμειχθούν νέα αέρια. Ένα παράδειγμα τέτοιου μείγματος αποτελεί ο συνδυασμός SF<sub>6</sub> με αέρα, άζωτο και CO<sub>2</sub>.

**Στερεά μονωτικά υλικά:** Είναι συνήθως από γυαλί, πορσελάνη (άργίλο, χαλαζία, alumina κτλ.) ή άλλα συνθετικά πολυμερή. Πλεονέκτημά τους είναι η εύκολη μεταβολή του σχήματος τους για καλύτερο βαθμό ερπυσμού κατά τη μόνωση. Στις σύγχρονες τεχνολογίες συναντώνται σύνθετα πολυμερή υλικά, που κατασκευάζονται από ίνες ενισχυμένου πλαστικού με περίβλημα σιλικόνης ή ένωση προπυλενίου-αιθυλενίου. Βέβαια, τα περισσότερα στερεά μονωτικά υλικά αποτελούνται κυρίως από οργανικές ενώσεις και η διατήρησή τους σε υψηλά επίπεδα θερμοκρασίας προκαλεί την καταστροφή τους.

**Υγρά μονωτικά υλικά:** Αυτά παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα που σε σύγκριση με τα στερεά και τα αέρια καθίστανται πιο χρήσιμα σε διάφορες πρακτικές εφαρμογές. Τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν είναι:

- 1) Μεγάλη διηλεκτρική αντοχή. Το κύριο χαρακτηριστικό τους που τα κάνει να υπερτερούν καθώς η διηλεκτρική αντοχή του αέρα ανέρχεται στα 21kV/cm, ενώ αυτή του λαδιού που χρησιμοποιείται στους μετασχηματιστές είναι από 60 έως 200 kV/cm.
- 2) Μεγάλος συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Με αυτόν τον τρόπο, το υγρό διαρρέει μέσα σε ολόκληρο το μετασχηματιστή. Επειδή όμως αυτό συνεπάγεται σε αύξηση απωλειών, καταλήγει να παράγεται και να εκλύεται μεγάλο ποσοστό θερμότητας.
- 3) Προστασία των στερεών μονωτικών. Όταν χρησιμοποιούνται συνδυαστικά, τα υγρά μονωτικά καταβάλλουν όλον τον κενό χώρο ανάμεσα στα στερεά και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να τα προστατεύει από την οξείδωση που προκαλείται από τον αέρα.

Τα υγρά που χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα για μονωτικά ανήκουν σε μια ομάδα ηλεκτροτεχνικών υγρών. Για την επίτευξη των σκοπών, το ιδανικό υγρό πρέπει να πληροί τις παρακάτω ιδιότητες, οι οποίες αναφέρονται ονομαστικά και αναλύονται σε παρακάτω κεφάλαιο: [6],[7]

- 1) μεγάλη διηλεκτρική αντοχή και ειδική αντίσταση.
- 2) αναλόγως με την εφαρμογή μια διηλεκτρική σταθερά κατάλληλου μεγέθους.
- 3) μεγάλη ειδική θερμότητα και θερμική αγωγιμότητα.
- 4) ιδιότητες απορροφούμενου αερίου και χημική ευστάθεια.
- 5) χαμηλό ιξώδες και χαμηλή θερμοκρασία ροής.
- 6) υψηλό σημείο ανάφλεξης και χαμηλή πτητικότητα.

- 7) μεγάλη πυκνότητα και διαλυτική ικανότητα.
- 8) μηδαμινή ευφλεκτότητα και τοξικότητα και τέλος,
- 9) χαμηλό κόστος, για να είναι εύκολα διαθέσιμο στην αγορά.

**Σύγκριση μονωτικού λαδιού και αέριου.** Το μονωτικό λάδι θεωρείται ως το κατάλληλο μονωτικό για την ψύξη ενός μετασχηματιστή. Σε σύγκριση με ένα μονωτικό αέριο, το λάδι παρουσιάζει μεγαλύτερη ειδική θερμότητα καθώς και υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα, με συνέπεια να απορροφά τη θερμότητα των απωλειών χαλκού (λόγω ελιγμάτων) και σιδήρου (του πυρήνα). Επιπλέον, τα μονωτικά λάδια έχουν μεγαλύτερη διηλεκτρική σταθερά και αντοχή όπως επίσης και την ικανότητα αποθήκευσης μεγαλύτερης ποσότητας θερμότητας και ενέργειας. Ένα ακόμη πολύ σημαντικό κομμάτι είναι ότι αντέχει μεγαλύτερες τάσεις διότι η αντοχή διασπάσεως του είναι έξι φορές μεγαλύτερη απ' αυτή του αέριου. [8],[9]

### 1.2.1 Μονωτικά λάδια

Τα μονωτικά λάδια είναι ευρέως διαδεδομένο ότι χρησιμοποιούνται σε ηλεκτροτεχνικές εφαρμογές και κυρίως σε κυκλώματα υψηλών τάσεων. Έτσι γίνονται αναπόσπαστο κομμάτι για την σωστή λειτουργία των μετασχηματιστών υψηλής τάσης. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η ανθεκτικότητά τους να απάγουν τη θερμότητα των συσκευών, την υψηλή διηλεκτρική τους αντοχή καθώς και να γεμίζουν πλήρως (ομοίως και τα αέρια) τον προς μόνωση όγκο. Η χημική σύσταση των μονωτικών λαδιών αποτελείται από μίγμα διαφόρων ρευστών. Πιο συγκεκριμένα, τα μονωτικά έλαια μετασχηματιστών μπορούν να περιέχουν πάνω από 100 διαφορετικά χημικά συστατικά. Έτσι, παρά την εξέλιξη της τεχνολογίας πολλά είδη λαδιών παραμένουν τοξικά στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, ένα πρόβλημα που δημιουργείται με τη χρήση των μονωτικών λαδιών καθώς έρχονται σε επαφή με διάφορα υλικά, λόγω φυσιολογικής διάβρωσης ή λόγω φθοράς από συστηματική χρήση τους, συνήθως μπορεί να αφήσουν διάφορα υπολείμματα εντός του ρευστού. Το αποτέλεσμα αυτού είναι τα υπολείμματα αυτά να επηρεάζουν την διηλεκτρική αντοχή του ρευστού. [7],[8],[10]

Στην αρχή τα μονωτικά έλαια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα ορυκτέλαια, όμως εμφανίζουν τοξικά παράγωγα μετά από χρόνια χρήσης. Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια να αντικατασταθούν τόσο από άφλεκτα έλαια PCB, τα οποία όμως αποσύρθηκαν λόγω έντονης βιοσυσσωρεύσης, όσο και από λάδια σιλικόνης, τα οποία όμως έχουν περιορισμένη εφαρμογή κυρίως λόγω κόστους. Σειρά είχαν τα λάδια από συνθετικούς εστέρες, όμως είχαν μεγάλο κόστος με αποτέλεσμα να είναι λιγότερο προσιτοί. Τελικά, με κατάλληλες τροποποιήσεις στη χημική τους σύσταση, αποδείχθηκε πως τα φυτικά έλαια αποτελούν μια εφικτή και άκρως εφαρμόσιμη λύση για την αντικατάσταση των συμβατικών ορυκτέλαιων. Σημαντικά πλεονεκτήματα των φυτικών ελαίων έναντι των ορυκτών ελαίων είναι οι άριστες διηλεκτρικές και μονωτικές τους ιδιότητες, η υψηλή βιοδιάσπαση, το υψηλό σημείο ανάφλεξης κ.α. Όπως είναι κατανοητό, εστιάζουμε την προσοχή μας στα ορυκτά και τα φυτικά έλαια. [7],[8],[10]

Με την πάροδο του χρόνου τα μονωτικά λάδια παρουσιάζουν διάφορες αστάθειες στην αντοχή τους τα οποία οφείλονται σε αέρα, υγρασία και σε ξένα σωματίδια. Το λάδι επηρεάζεται από τις συνθήκες στις οποίες είναι αποθηκευμένο, επομένως ένας παράγοντας γήρανσης του είναι η υγρασία που περιέχεται σ' αυτό. Το μόριο του νερού περιέχει οξυγόνο το οποίο επιταχύνει τη γήρανση του λαδιού. Αυτή η πηγή οξυγόνου δεν είναι σημαντική σε σύγκριση με άλλες. Το λάδι επηρεάζεται σημαντικά από τη παρουσία ελεύθερου (ατμοσφαιρικού) οξυγόνου. Ο ρυθμός παραγωγής προϊόντων οξείδωσης είναι ανάλογος προς το περιεχόμενο οξυγόνο. Ο ρυθμός γήρανσης του λαδιού μπορεί να δεκαπλασιαστεί αν οι ποσότητες οξυγόνου αυξηθούν. Σημειώνεται ότι το λάδι μετασχηματιστή παραμένει σταθερό επί χρόνια, ακόμη και αν η θερμοκρασία λειτουργίας του είναι 120°C, εφόσον δεν υπάρχει οξυγόνο σ' αυτό. Αν στο μετασχηματιστή διεισδύσει οξυγόνο, το λάδι του γηράσκει γρήγορα και είναι δυνατόν να υποβαθμισθεί πολύ γρήγορα. Το λάδι συμπεριφέρεται ως σταθερό υλικό στη θερμοκρασία, μόνο αν το περιεχόμενο οξυγόνου έχει μηδενική ή πολύ μικρή παρουσία. Αν η παρουσία του οξυγόνου αυξηθεί, το λάδι επηρεάζεται πολύ από τη θερμοκρασία. Ως εκ τούτου, η θερμοκρασία λειτουργίας του λαδιού πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλή. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους ψύξης όπως είναι ONAN, καθώς οι περιελίξεις θερμαίνουν το μονωτικό λάδι η θερμοκρασία του αυξάνεται. Το αποτέλεσμα είναι να κινείται το λάδι προς τα πάνω και να ρέει στο ανώτερο τμήμα της δεξαμενής του μετασχηματιστή. Το λάδι το οποίο είναι καυτό διαχέει την θερμότητα του στον αέρα με την φυσική διεργασία μεταφοράς, έτσι η θερμότητα του απάγεται από την κυκλοφορία φυσικού αέρα. [7],[8],[10]

Οι μηχανισμοί διάσπασης των μονωτικών υγρών δεν είναι τόσο γνωστοί όσο οι μηχανισμοί διάσπασης για τα στερεά και τα αέρια, παρόλα αυτά υπάρχουν δύο βασικές απόψεις. Η μία ερμηνεύει τη διάσπαση των υγρών με ένα πρότυπο το οποίο βασίζεται στα αέρια στηριγμένη στον ιονισμό στοιβάδας των ατόμων που προκαλείται από κρούσεις ηλεκτρονίων μέσα στο εφαρμοζόμενο πεδίο. Έτσι εγχέονται τα ηλεκτρόνια από την κάθοδο στο υγρό είτε μέσω του θερμοϊονικού φαινομένου Schottky είτε μέσω εκπομπής πεδίου (δηλαδή με την βοήθεια του πεδίου μέσω της επιφάνειας). Ο τύπος μηχανισμού της θεωρείται ότι εφαρμόζεται σε ομογενή υγρά μεγάλης καθαρότητας και δεν εφαρμόζεται σε εμπορικά εκμεταλλεύσιμη υγρή μόνωση. Έρευνες αγωγής σε καθαρά υγρά έχουν δείξει ότι, σε χαμηλά πεδία κατά κύριο λόγο η αγωγή είναι ιονική. Η δεύτερη ερμηνεύει τη διάσπαση των υγρών ως αποτέλεσμα παρουσίας ξένων σωματιδίων θεωρώντας ότι τα αιωρούμενα σωματίδια πολώνονται και είναι υψηλότερης διαπερατότητας από το υγρό. Η όλη διαδικασία ξεκινάει από τις επιφανειακές ανωμαλίες των ηλεκτροδίων ενώ η συσσώρευση σωματιδίων οδηγεί σε έναρξη διάσπασης. Οι ρύποι μπορεί να είναι και αέρια φυσαλίδες, περίπτωση κατά την οποία η διάσπαση της φυσαλίδας μπορεί να πυροδοτήσει την πλήρη διάσπαση του υγρού. [7],[8],[10]



## 1.2.2 Μονωτικά λάδια σε μετασχηματιστές



Εικόνα 1.5 : Μετασχηματιστής Μέσης Τάσης.

Το μονωτικό λάδι είναι αναγκαίο για την ομαλή λειτουργία ενός μετασχηματιστή για τους εξής λόγους: [8],[9]

**1)Ψύξη Μετασχηματιστή:** Κατά τη λειτουργία ενός μετασχηματιστή τα τυλίγματα του διαρρέονται από ρεύμα, έχοντας σαν αποτέλεσμα να προκαλεί πάνω σε αυτά το φαινόμενο θερμότητας Joule. Το ίδιο φαινόμενο ισχύει και κατά τη κυκλοφορία των δυναμοευμάτων μέσα στον πυρήνα. Τότε το μονωτικό λάδι απάγει την θερμότητα από τα τυλίγματα του μετασχηματιστή και τη μεταφέρει στα τοιχώματα του δοχείου καθώς και στις ψυκτικές επιφάνειες των ψυγείων. Έτσι με τη σειρά τους οι ψυκτικές επιφάνειες με τη χρήση ανεμιστήρων αποβάλλουν τη θερμότητα στο περιβάλλον. Επίσης, η διάρκεια ζωής ενός μονωτικού λαδιού μπορεί να εξαρτηθεί από τις θερμοκρασίες τις οποίες λειτουργεί. Για παράδειγμα, η υπερθέρμανση μπορεί να οδηγήσει στην γρήγορη αλλοίωσή του. [8],[9]

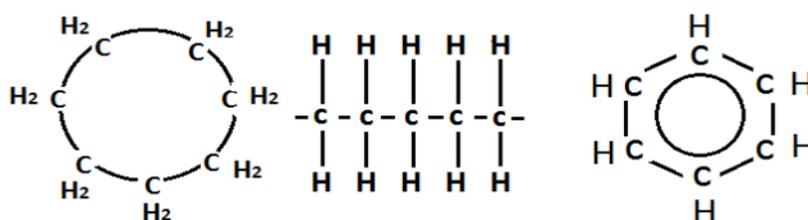
**2)Χρήση μονωτικού λαδιού:** Το μονωτικό λάδι μπορεί να κυκλοφορήσει ανάμεσα σε διάφορα στοιχεία ενός μετασχηματιστή τα οποία έχουν διαφορά δυναμικού. Μπορεί ακόμη να εμποδίσει την ηλεκτρική υπερπήδηση όπως και την είσοδο υγρασίας, ενισχύοντας τις μονωτικές ιδιότητες και κατ' επέκταση τις μονώσεις των τυλιγμάτων. Οι μονωτικές ιδιότητες στο βαμβάκι και στο χαρτί στηρίζονται κυρίως στην κυτταρίνη όπου απορροφά την υγρασία από τον αέρα όταν έρθει σε επαφή με αυτόν. Όμως πέρα από την απομάκρυνση της υγρασίας, ένας μετασχηματιστής μπορεί να περιέχει και διάφορα ίχνη ξένων σωμάτων. Το λάδι με την κυκλοφορία του μπορεί να απομακρύνει τα ίχνη αυτά κάνοντας τη διάταξη διηθήσεως (φίλτρο). Μολονότι οι μονώσεις από χαρτί γίνονται πάνω στους αγωγούς με ιδιαίτερη προσοχή, παραμένουν μικρά διάκενα μεταξύ των αγωγών και των μονώσεων. Έτσι στα διάκενα αυτά υπάρχει αέρας ο οποίος ιονίζεται με αποτέλεσμα να προκληθούν πιθανόν απώλειες και καταστροφές μονώσεων. Λόγω της υγρής μορφής του, το μονωτικό λάδι γεμίζει τα διάκενα αυτά με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται ο ιονισμός και ως εκ τούτου και η δημιουργία μικροσκοπικών φυσαλίδων αέρα. [8],[9]

### 1.2.3 Είδη μονωτικών λαδιών που έχουν χρησιμοποιηθεί σε μετασχηματιστές

#### Ορυκτέλαια

Εδώ και πολλές δεκαετίες χρησιμοποιούμε ορυκτέλαια στους μετασχηματιστές. Τα ορυκτά λάδια θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν πιο εύχρηστα διότι διατίθενται εύκολα και έχουν σχετικά χαμηλό κόστος σε σχέση με άλλα μονωτικά λάδια. Αποτελούν προϊόντα πετρελαίου και πιο συγκεκριμένα, προέρχονται από αργό πετρέλαιο που σχηματίζεται από διαδικασίες σήψης φυτικών υλών. Ο συγκεκριμένος τύπος λαδιού αποτελείται από άτομα υδρογόνου και άνθρακα. Μέσω των χημικών δεσμών, το υδρογόνο και ο άνθρακας συγκροτούν μόρια διαφορετικών ομάδων, με διαφορετικές χημικές δομές: παραφινικά  $C_nH_{2n+2}$ , ναφθενικά  $C_nH_{2n}$  και αρωματικά  $C_nH_{2n-6}$ . Οι υδρογονάνθρακες αποτελούνται από υδρογόνο και άνθρακα όπου ενώνονται μεταξύ τους με μονούς ή διπλούς δεσμούς. Οι ναφθενικοί υδρογονάνθρακες, περιέχουν ακόρεστους υδρογονάνθρακες (τύπου ναφθαλίνης). Οι παραφινικοί υδρογονάνθρακες περιέχουν κορεσμένους υδρογονάνθρακες (τύπου παραφίνης). Σε αυτή τη κατηγορία όπως και στη προηγούμενη τα άτομα του άνθρακα ενώνονται με διπλό ή τριπλό δεσμό σχηματίζοντας ανοιχτή αλυσίδα. Στους μικτής σύστασης υδρογονάνθρακες δεν κυριαρχεί τίποτα από τους παραπάνω τύπους υδρογονανθράκων (αρωματικοί υδρογονάνθρακες). Τα άτομα του άνθρακα ενώνονται με απλούς δεσμούς σχηματίζοντας ένα δακτύλιο. Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες ή αλλιώς κορεσμένοι είναι λιγότερο σταθεροί από αυτούς των δύο προηγούμενων κατηγοριών. Η κατανομή στους άνθρακες ναφθενικής και παραφινικής δομής καθορίζονται ανάλογα με τον τύπο του ορυκτέλαιου. Επίσης, αυτή η κατανομή ελέγχεται με ακατέργαστα ορυκτά έλαια καθώς και με τις διαδικασίες καθαρισμού που γίνονται. Με βάση τα στοιχεία από τη χρήση του ορυκτέλαιου για δεκάδες χρόνια, έχουμε συγκεντρώσει πληροφορίες και

δεδομένα με τα οποία μπορούμε να ερμηνεύσουμε τις αλλαγές των χαρακτηριστικών του καθώς και να προβλέψουμε μια πιθανή δυσλειτουργία του μετασχηματιστή. Τα μονωτικά λάδια πολλές φορές είναι βασισμένα στο πετρέλαιο, έχουν καλές διηλεκτρικές ιδιότητες δηλαδή χαμηλό ιξώδες, χαμηλές διηλεκτρικές απώλειες, μακροπρόθεσμη συμπεριφορά και συνδυάζονται καλά με την κυτταρίνη. Ένας άλλος παράγοντας που κάποιος μπορεί να προτιμήσει ένα ορυκτό λάδι είναι το χαμηλό κόστος του και η άριστη διηλεκτρική και ψυκτική του ικανότητα. Αρνητικό χαρακτηριστικό του αποτελεί το γεγονός ότι είναι ελαφρώς τοξικό και κακώς βιοδιασπώμενο, και δεν προσφέρει κανένα είδος προστασίας έναντι στη φωτιά. Είναι γεγονός ότι τα ορυκτά λάδια έχουν σχετικά χαμηλό σημείο ανάφλεξης και ο κίνδυνος να υπάρξει πυρκαγιά σε περίπτωση σφάλματος του μετασχηματιστή είναι ιδιαίτερος. Για την μείωση του κινδύνου αυτού παρουσιάστηκε επιτακτική ανάγκη δημιουργίας άλλων λαδιών με διαφορετική συμπεριφορά ανάφλεξης. [5],[13],[14]



Εικόνα 1.6: Η χημική δομή των τριών κατηγοριών υδρογονανθράκων στα ορυκτά έλαια. [9]

### Συνθετικά Υγρά

Μία από τις πρώτες γενιές μη εύφλεκτων εναλλακτικών λαδιών, είναι τα συνθετικά λάδια ( γνωστά και ως PCB), τα οποία σχηματίζονται με βάση τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια. Έχουν πάρα πολύ καλές διηλεκτρικές ιδιότητες καθώς και μη μετρήσιμο σημείο ανάφλεξης που ξεπερνά τους 300°C . Σε αιφνίδιες αυξήσεις ηλεκτρικού φορτίου μεταβάλλεται σε μεγάλο βαθμό το ιξώδες τους με παράλληλη αύξηση της θερμότητάς τους. Έτσι, αποδεικνύεται ως ένα πολύ καλό ψυκτικό μέσο. Για αρκετά χρόνια και μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 70', είχαν χρησιμοποιηθεί διάφορα άφλεκτα υγρά πολυχλωριωμένου διφαινύλιου (Askarel, Nopolin, Inerteen, Aroclors, Chlorextol, Pyranol κλπ.) για λόγους μόνωσης. Τα PCBs (πολυχλωριωμένα διφαινύλια) σχηματίζονται από τη προσθήκη χλωρίου στο διφαινύλιο, το οποίο είναι μια δομή διπλού δακτυλίου που περιλαμβάνει δύο δακτυλίους βενζολίου με 6 άτομα άνθρακα τα οποία ενώνονται με μονό δεσμό άνθρακα-άνθρακα. Τα συνθετικά αυτά υγρά υδρογονανθράκων βασίζονται στην άριστη θερμική σταθερότητα τους και την πολύ καλή τους πυρασφάλεια. Μετά τα μέσα της δεκαετίας του 70', καταλήξαμε ότι τα άφλεκτα λάδια (PCBs) παρόλη την κατοχή διαφόρων ευεργετικών ιδιοτήτων, αποτελούσαν κίνδυνο για το περιβάλλον και η συνέχεια της παραγωγής τους θα είχε αρνητικές επιπτώσεις σε αυτό (βιοσυσσώρευση). Από την έρευνα επίσης προέκυψε ότι

σε μία φωτιά τα άφλεκτα υγρά μπορούν να τροποποιηθούν χημικά και να παράγουν υψηλά επίπεδα φουρανίων και διοξίνων.

Επίσης, αποδείχθηκαν επιβλαβείς για το περιβάλλον και για τον άνθρωπο (καρκινογόνα). Επομένως τα υγρά αυτά είναι τοξικά και έχουν χαμηλά ποσοστά βιοαποικοδόμησης. Έτσι αποσύρθηκαν άμεσα από την αγορά και η αντικατάστασή τους σε παλαιότερους μετασχηματιστές έχει δοκιμαστεί από πολλούς συνδυασμούς χημικών ουσιών. [5]

### **Έλαια Σιλικόνης**

Στην αρχή τα συνθετικά λάδια αντικαταστάθηκαν από λάδια σιλικόνης. Το λάδι αυτό αποτελείται από ένα πολυμερές βασισμένο στην σιλικόνη. Περιέχει άτομα οξυγόνου, άνθρακα και υδρογόνου και γενικά είναι άχρωμο. Το κύριο πλεονέκτημα είναι η υψηλή θερμική σταθερότητα του. Όμως η μέτρια απόδοση μονωτικών και διηλεκτρικών ιδιοτήτων μαζί με τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον (ελάχιστη βιοαποικοδομησιμότητα) έχουν περιορίσει τη χρήση του. [5]

### **Συνθετικοί Εστέρες**

Οι συνθετικοί εστέρες κατασκευάζονται βιομηχανικά. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι ότι έχουν υψηλό σημείο ανάφλεξης και βιοαποικοδόμησης, με μονωτικές και διηλεκτρικές ιδιότητες σχεδόν ίδιες με αυτές των ορυκτών λαδιών. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μετασχηματιστές έλξης και γενικά σε κινητούς μετασχηματιστές. Έτσι το μεγάλο κόστος παραγωγής τους τα περιορίζει σε ειδικές εφαρμογές. Παρόλα αυτά, η τελική τιμή του προϊόντος, που είναι αρκετά υψηλή, δικαιολογείται από τις δυνατότητες που προσφέρει σε πιθανότητα φωτιάς και γενικά σε περιβαλλοντική ασφάλεια και υγεία. Έτσι, εδώ και δεκαετίες έχουν ένα μικρό αλλά σταθερό μερίδιο πελατών στην αγορά. [5]

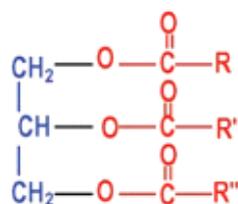
### **Φυτικά Λάδια**

Με δεδομένη την επιτυχία στη χρήση των συνθετικών εστέρων όχι τόσο στο κόστος αλλά στις ιδιότητές του, ήρθε στο προσκήνιο μια ακόμη πρακτικότερη και οικονομικότερη λύση, τα φυτικά λάδια ή αλλιώς φυσικοί εστέρες. Υπάρχουν διάφορα είδη φυτικών λαδιών όπως για παράδειγμα τα βρώσιμα λάδια, τα οποία αποτελούνται από σπόρους. Ακόμα, υπάρχουν φυσικοί εστέρες οι οποίοι έχουν καθαριστεί από φυτικούς ιστούς σε αντίθεση με τους συνθετικούς εστέρες που φτιάχνονται βιομηχανικά. Τα προϊόντα πλήρους καύσης των φυτικών λαδιών είναι το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό. Οι ιδιότητες των φυτικών ελαίων είναι παραπλήσιες με αυτές των συνθετικών και το κόστος είναι σαφώς χαμηλότερο. Αυτά τα λάδια κυκλοφορούν στην αγορά με τα ονόματα (ECO Fluid, Coconut oil, Biotemp, Envirotemp FR3). Έτσι γίνεται εμφανές ότι τα φυτικά λάδια υπερβαίνουν ή συναντούν όλα τα προβλεπόμενα για τους στόχους της ελάχιστης περιβαλλοντικής υγείας και ασφάλειας. Τα λάδια αυτά είναι φυσικά συντεθειμένα από διάφορους οργανισμούς διαβίωσης και μπορεί να

προέρχονται είτε από τον ηλιάνθο, είτε την σόγια, είτε τον σιναπόσπορο κλπ. Δηλαδή προέρχονται από ζωντανούς οργανισμούς και συγκεκριμένα δημιουργούνται από την αντίδραση μιας τρι-αλκοόλης με λιπαρά οξέα. [5]

Τα φυτικά έλαια αποτελούνται κυρίως από τριγλυκερίδια και στην ουσία είναι ένας τριεστέρας. Είναι επίσης γνωστά ως φυσικοί εστέρες γιατί όπως έχει ήδη αναφερθεί συντίθενται φυσικά από οποιονδήποτε ζωντανό οργανισμό. Εξάγονται μέσω της διαδικασίας της εστεροποίησης μιας απλής τρι-αλκοόλης, της γλυκερόλης, με τρία λιπαρά οξέα. Αυτά τα οξέα είναι μόνο καρβοξυλικά (R-COO-H) με αδέσμευτες γραμμικές αλυσίδες, περιέχοντας ζυγό αριθμό ατόμων άνθρακα. Μπορούν να είναι κορεσμένα (χωρίς διπλούς δεσμούς) ή ακόρεστα και ορισμένες φορές υδροξυλιωμένα (με δεσμό-OH). Τα τριγλυκερίδια εξάγονται μέσω της διαδικασίας της κονιορτοποίησης (άλεσμα και πίεση) σπόρων. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματά τους είναι η βιοδιασπασιμότητά τους, η οποία όμως τα καθιστά ευαίσθητα στην οξείδωση. Ανάλογα με το τύπο του φυτικού ελαίου η συμπεριφορά οξείδωσης μπορεί να είναι πολύ διαφορετική. Παραπροϊόντα της χημικής οξείδωσης των φυτικών ελαίων είναι οξέα, αλδεΐδες, κετόνες, νερό το οποίο παραμένει στο έλαιο και μειώνει τη διηλεκτρική αντοχή. Τα προϊόντα οξείδωσης των φυτικών ελαίων, σε αντίθεση με τα ορυκτά έλαια, δε σχηματίζουν ιζήματα λάσπης, αλλά το έλαιο αρχίζει να πυκνώνει και τελικά γίνεται πολυμερισμός. [16],[27],[28]

Οι φυσικοί εστέρες που είναι βασισμένοι σε σπόρους αποτελούνται από γλυκερίνη αλκοόλης, γνωστοί και ως τριγλυκερίδια. Επίσης τα ακατέργαστα φυτικά λάδια είναι σκουρόχρωμα και περιέχουν στερεά συστατικά όπως ίνες, πρωτεΐνες, λίπος και έλαια. (το λίπος και τα έλαια στην ουσία είναι εστέρες τριγλυκερίδιων λιπαρών οξέων). Τμήματα του λιπαρού οξέος δημιουργούνται από ευθείες αλυσίδες οι οποίες περιέχουν ένα χαμηλό αριθμό από άτομα άνθρακα. [5]



**R R' R'' = Fatty acid chain**

Εικόνα 1.7 : Χημική δομή φυσικού εστέρα. [11]

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των φυτικών λαδιών είναι η βελτίωση λειτουργίας του μετασχηματιστή, δηλαδή παρατείνει τη διάρκεια ζωής του και τη δυνατότητα υπερφορτίσεως. Επίσης έχουν ελάχιστη ή και καθόλου τοξικότητα, βρίσκονται σε αφθονία διότι προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές και έχουν υψηλό σημείο ανάφλεξης. Αντίθετα, στα μειονεκτήματα έχουμε το υψηλό κόστος παραγωγής

και το υψηλό ιξώδες. Τέλος, το φυτικό λάδι θα πρέπει να βρίσκεται σε μετασχηματιστές κλειστού τύπου ή σε μετασχηματιστές που έχουν δοχείο διαστολής με μεμβράνη, έτσι ώστε να εμποδίζει το λάδι να έρθει σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα (λόγω οξειδωσής του). [5]

Ανάλογα με το είδος των φυτικών λαδιών το οποίο μπορεί να αποτελείται από καλαμπόκια, φιστίκια, ελιές, σπόρους βαμβακιού, ηλιόσπορους κλπ. διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το ποσοστό των κορεσμένων λιπαρών οξέων. Στον παρακάτω πίνακα 1.1 παρουσιάζεται η σύνθεση λιπαρού οξέος διαφόρων φυτικών λαδιών.

Φυτικό Λάδι	Κορεσμένα λιπαρά οξέα (%)	Μη Κορεσμένα λιπαρά οξέα (%)		
		Μονο-	Δυ-	Τρι-
<b>Λάδι Κανόλα</b>	7,99	55,9	22,1	11,1
<b>Αραβοσιτέλαιο</b>	12,7	24,2	58	0,7
<b>Βαμβακέλαιο</b>	25	17,8	51,8	0,2
<b>Φυσιτέλαιο</b>	13,6	17,8	51,8	0,2
<b>Ελαιόλαδο</b>	13,2	73,3	7,9	0,6
<b>Σαφρανέλαιο</b>	8,5	12,1	74,1	0,4
<b>Σαφρανέλαιο (με υψηλή περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ)</b>	6,1	75,3	14,2	-
<b>Λάδι σόγιας</b>	14,2	22,5	51	6,8
<b>Ηλιέλαιο</b>	10,5	19,6	65,7	-
<b>Ηλιέλαιο (με υψηλή περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ)</b>	9,2	80,8	8,4	0,2
*Ποικιλία κραμβέλαιου με χαμηλή περιεκτικότητα σε ερουκικό οξύ: πρόσφατα αναπτύχθηκε το κραμβέλαιο με μονοακόρεστο περιεχόμενο πάνω από 75%				

Πίνακας 1.1: Σύνθεση λιπαρού οξέος διαφόρων φυτικών λαδιών. [10]

Μονωτικά λάδια	Σημείο ανάφλεξης (°C)	Πυκνότητα (kg/dm <sup>3</sup> )	Σχετική διαπερατότητα	Σχετικό πρότυπο
Ορυκτέλαια	145	0,88	2,2	IEC 60296
Συνθετικά υγρά	230	0,83	2,1	IEC 60867
Έλαια σιλικόνης	310	0,96	2,7	IEC 60836
Συνθετικοί εστέρες	975	0,97	3,2	IEC 61099
Φυτικά λάδια	330	0,91	3,2	-

Πίνακας 1.2: Κύριες ιδιότητες λαδιών και πρότυπα περιγραφής. [12]

#### 1.2.4 Παραγωγή ορυκτών μονωτικών λαδιών

Οι βασικές διαδικασίες παραγωγής ορυκτών ελαίων είναι κατ' αρχήν η κλασματική απόσταξη και στη συνέχεια η διύλιση. [9],[15]

Κατά τη διαδικασία της απόσταξης το πετρέλαιο θερμαίνεται και οι ατμοί του συμπυκνώνονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες σχηματίζοντας υγρά αποστάγματα. Το πετρέλαιο όταν αρχίζει να θερμαίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες αρχίζει να εξατμίζεται, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται υγρά αποστάγματα λόγω των ατμών που συμπυκνώνονται στις διάφορες θερμοκρασίες. Γενικά, η απόσταξη λαμβάνει χώρα σε συνθήκες κενού καθώς σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης οι θερμοκρασίες που θα απαιτούνταν θα ήταν τεράστιες κάτι που θα οδηγούσε σε αποσύνθεση του ελαίου. [9],[15]

Στη συνέχεια, κατά τη διαδικασία της διύλισης καθαρίζονται και επεξεργάζονται τα υγρά αποστάγματα που προήλθαν από την απόσταξη με χρήση οξέων. Με τη διύλιση πρέπει να εξαλειφθεί ένα ποσοστό αρωματικών ενώσεων για να μη δημιουργηθούν πολύ γρήγορα οξέα ώστε να διαβρώσει μεταλλικά μέρη που θα έρθουν σε επαφή με το έλαιο. Επιπροσθέτως, είναι αναγκαίο να αναφερθεί πως η διύλιση έχει ένα βέλτιστο σημείο για να μη διασπαστούν όλες οι αρωματικές ενώσεις από το μονωτικό λάδι. Αν στο μονωτικό έλαιο υπάρχει παντελής απουσία αρωματικών ενώσεων τότε δε θα δημιουργηθεί καθόλου λάσπη που προέρχεται από την οξείδωση αλλά θα σχηματιστούν οξέα, έχοντας ως αποτέλεσμα η οξύτητα να αυξηθεί και να διαβρώσει τα μεταλλικά μέρη ενός μετασχηματιστή. Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να πραγματοποιηθεί διύλιση στα μονωτικά λάδια περιορίζονται στην επεξεργασία τους με οξέα ή σε άλλες περιπτώσεις σε συνδυασμό με διαλύτες. Στην περίπτωση που η διύλιση γίνει σε ιδανικές συνθήκες χωρίς κάποια επιπλοκή, τότε το μονωτικό έλαιο αποσυντίθεται πολύ γρήγορα και μέσα του δημιουργούνται τεράστιες ποσότητες λάσπης. Όταν όμως ακολουθεί αυξημένη διύλιση, τότε το παραγόμενο έλαιο συνεχίζει

να αποσυντίθεται αρκετά γρήγορα, γίνεται ολοένα και πιο όξινο με αυξημένους ρυθμούς αλλά η λάσπη που τελικά θα σχηματιστεί θα είναι πιο περιορισμένη σε σύγκριση με την προηγούμενη διαδικασία που αναφέρθηκε. Στη σημερινή εποχή, οι διυλίσεις καθώς και οι βελτιωμένοι διαλύτες μπορούν να μας προσφέρουν λάδια υψηλής ποιότητας που είναι ικανά να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των μετασχηματιστών. Ένας σύγχρονος τρόπος διύλισης είναι αυτός με την χρήση  $H_2$ . Με αυτόν τον τρόπο διύλισης, το  $H_2$  μπορεί να έρθει σε επαφή με το μονωτικό λάδι κάτω από υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις. Η διαδικασία αυτή εκτελείται από διάφορα είδη καταλυτών. Συνεπώς, παραμένουν οι αντιοξειδωτικές ενώσεις όπου προστατεύουν το μονωτικό λάδι από την οξειδωση, απομακρύνοντας ενώσεις που μπορεί να σχηματίσουν λάσπη. Η παραγωγή ενός ικανοποιητικού μονωτικού λαδιού μπορεί να εξαρτηθεί είτε από την ποιότητα του εκλεγμένου αργού πετρελαίου είτε από την τεχνική με την οποία μπορούμε να κάνουμε διύλιση. [9],[15]

### 1.2.5 Κριτήρια αξιολόγησης μονωτικών λαδιών

Είναι αναγκαίο η συμπεριφορά των μονωτικών λαδιών να είναι τόσο αποδοτική όσο και αξιόπιστη και γι' αυτό έχουν οριστεί κάποια βασικά κριτήρια αξιολόγησής τους που αφορούν τις: [16],[17],[18]

#### • Ηλεκτρικές ιδιότητες:

α) Η ειδική αγωγιμότητα  $\sigma$  ( $\Omega m^{-1}$ ) είναι το μέτρο της ευκολίας ροής του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το υλικό. Εξαρτάται από τις συνθήκες κατά τις οποίες λειτουργεί το μέσο (για παράδειγμα με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται και αυτό) και αποτελεί έκφραση των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων.

β) Η ειδική αντίσταση  $\rho$  ( $\Omega m$ ) που είναι το αντίστροφο της ειδικής αγωγιμότητας. Με την ύπαρξη ακαθαρσιών στο λάδι και την αύξηση θερμοκρασίας η τιμή του μειώνεται.

γ) Ο συντελεστής απωλειών ( $\tan\delta$ ) αποτελεί αναπαράσταση των διηλεκτρικών απωλειών του λαδιού που προκαλούνται από το ρεύμα που τα διαρρέει. Το ρεύμα διαρροής παρουσιάζει το μέτρο μόλυνσης του λαδιού αυτού.

δ) Η σχετική διηλεκτρική σταθερά  $\epsilon_r$  ( $>1$ ) που είναι η διαφορά στην χωρητικότητα του συστήματος στον αέρα σε σχέση με το κενό και ορίζεται ως ο λόγος της ειδικής αγωγιμότητας του λαδιού προς την ειδική αγωγιμότητα του κενού.

ε) Η διηλεκτρική αντοχή  $k$  (V/m) η οποία αποτελεί δείκτη της ικανότητας μόνωσης του λαδιού και εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την υγρασία, την πίεση, τη γήρανση και ποιότητα του λαδιού, την παρουσία ξένων σωματιδίων και αερίων και την εφαρμοσμένη τάση.

#### • Φυσικές ιδιότητες:

α) Η πυκνότητα  $d$  (g/ml) που ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και κατά συνέπεια την αύξηση του όγκου του λαδιού.



β) Το ιξώδες  $r$  ( $\text{mm}^2/\text{S}$ ) το οποίο μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και εκφράζει την αντίσταση του υγρού κατά τη ροή του.

γ) Το σημείο ροής που παρουσιάζει τη θερμοκρασία κάτω από την οποία μπορεί να είναι πιο δύσκολη η κυκλοφορία του λαδιού.

δ) Το χρώμα των μονωτικών λαδιών το οποίο είναι απαραίτητο να είναι όσο πιο καθαρό και ανοιχτόχρωμο γίνεται (ανοιχτό πράσινο για τα φυτικά και κίτρινο για τα ορυκτά) και από αυτό αντιλαμβανόμαστε την ποιότητα του λαδιού αφού φαίνεται η ρύπανση ή η οξειδωση.

ε) Η καθαρότητα. Το μονωτικό έλαιο θα πρέπει να είναι διαυγές, να μην περιέχει σκόνη ίνες κλπ. Να μην περιέχει βλαβερές προσμίξεις (οξέα, αλκάλια, ελεύθερο θείο). Με την διηλεκτρική αντοχή μπορούμε να προσδιορίσουμε αν υπάρχει νερό στο λάδι, ή γενικά ξένα σωματίδια. Τα ξένα σωματίδια στο έλαιο ελαχιστοποιούν τις αποστάσεις μόνωσης, διότι σχηματίζουν αγωγίμες γέφυρες έχοντας σαν αποτέλεσμα την μείωση της τάσης διάσπασης.

στ) Η επιφανειακή τάση  $V$  ( $\text{N/m}$ ) η οποία σχετίζεται με τις δυνάμεις συνοχής που εφαρμόζονται μέσα στη μάζα του λαδιού και έτσι συμπεριφέρεται σαν ελαστική μεμβράνη.

#### • **Θερμικές ιδιότητες:**

α) Το σημείο ανάφλεξης ( $^{\circ}\text{C}$ ) παρουσιάζει την ιδανική θερμοκρασία με την οποία στο λάδι αρχίζουν να ανέρχονται ατμοί.

β) Ο συντελεστής θερμικής διαστολής  $C$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) δείχνει την αύξηση της μονάδας του όγκου (κατά ένα βαθμό θερμοκρασίας) και πρέπει να είναι απόλυτα ακριβείς.

γ) Η θερμική αγωγιμότητα  $Kt$  εκφράζει τη θερμότητα η οποία απάγεται στην μονάδα του χρόνου από μία μοναδιαία επιφάνεια. Μειώνεται γραμμικά με την άνοδο της θερμοκρασίας και η θερμική αγωγιμότητα του μονωτικού λαδιού θα πρέπει να είναι  $3 - 4 \times 10^{-4} \text{ cal}/(\text{cm} \times \text{s} \times ^{\circ}\text{C})$ .

δ) Η ειδική θερμότητα  $Cp$  ( $\text{cal/gr}$ ) δείχνει το ποσό της ενέργειας που είναι απαραίτητο για να αυξηθεί κατά ένα βαθμό θερμοκρασίας η μάζα (μοναδιαία) του λαδιού. Χαρακτηρίζει την ικανότητα του λαδιού όπου κατά την αύξηση της θερμοκρασίας, απορροφά θερμότητα.

#### • **Χημικές ιδιότητες:**

α) Η απορρόφηση και έκλυση αερίων που προκύπτει από τις χημικές μεταβολές λόγω των ηλεκτρικών και θερμικών καταπονήσεων. Τα αέρια δημιουργούν προβλήματα στη χρήση του λαδιού αλλάζοντας τις ηλεκτρικές του ιδιότητες, λόγω των φυσαλίδων που ιονίζουν και δημιουργούν δρόμους για τη διάσπαση της μόνωσης.

β) Η υγρασία που αποτελεί την περιεκτικότητα του υγρού σε διαλυμένο νερό σε σχέση με τη μέγιστη χωρητικότητα υγρασίας όπου είναι ικανό να κρατήσει σε μια ορισμένη θερμοκρασία.

γ) Ο βαθμός εξουδετέρωσης (mg KOH/g) που είναι το μέτρο οξύτητας του λαδιού.

δ) Η οξύτητα (mg KOH/g) –Τα οξέα που μπορεί να προκύψουν κατά την επεξεργασία των λαδιών ή τη λειτουργία τους.

Γενικά, δεν είναι επιθυμητά διότι προκαλούν διάβρωση και έχουν εξάρτηση από την γήρανση. Ένα καλό μονωτικό λάδι συνεπάγεται ένα χημικά ουδέτερο λάδι. Κάποια από τα προϊόντα χημικής αποσύνθεσης του λαδιού λόγω οξείδωσης είναι τα οξέα, οι κετόνες, το νερό, (από σχηματισμό ιζήματος λάσπης) που μένουν μέσα στο λάδι μειώνοντας τη διηλεκτρική αντοχή του κτλ.

### 1.2.6 Ιδιότητες των μονωτικών λαδιών

Οι ιδιότητες των μονωτικών ελαίων έχουν καθοριστικό ρόλο για τη χρήση των ηλεκτρικών εφαρμογών: [7]

1) Ευκολία κυκλοφορίας σε διάφορα μέρη του μετασχηματιστή.

Λόγω της υψηλής ρευστότητας των μονωτικών λαδιών (ελάχιστο ιξώδες), η κυκλοφορία τους μπορεί να γίνει πολύ εύκολα στα τυλίγματα του μετασχηματιστή για την καλύτερη ψύξη του.

2) Ρευστότητα μονωτικού λαδιού σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Ένας μετασχηματιστής βρίσκεται σε λειτουργία σε προστατευόμενους χώρους είτε εσωτερικούς είτε εξωτερικούς χωρίς κάποιο είδος θέρμανσης. Έτσι το μονωτικό λάδι θα πρέπει να διατηρήσει τη ρευστότητα του σε ψυχρές θερμοκρασίες, αποφεύγοντας τον κίνδυνο να πήξει (σταματώντας την κυκλοφορία του) και σαν αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του μετασχηματιστή.

3) Αποφυγή εύφλεκτων ατμών σε υψηλές θερμοκρασίες.

Κάποια σημεία των τυλιγμάτων ενός μετασχηματιστή μπορούν να φτάσουν σε υψηλές θερμοκρασίες (110 °C και πάνω). Για τον λόγο αυτό δεν πρέπει να υπάρχει κίνδυνος παραγωγής εύφλεκτων ατμών και κατ' επέκταση ανάφλεξη του μονωτικού λαδιού.

4) Η ελάχιστη διαλυτότητα νερού μέσα στο μονωτικό λάδι.

Σε περίπτωση που πέσει οποιαδήποτε ποσότητα νερού μέσα στο λάδι μειώνει σε αρκετό βαθμό τη διηλεκτρική του αντοχή. Για να αντιμετωπιστεί το γεγονός αυτό, το νερό που έχει πέσει τυχαία στο λάδι δε διαλύεται μέσα σε αυτό αλλά οδηγείται στον πάτο του δοχείου(όπου παραμένει εκεί μέχρι να αλλαχτεί).

5) Ελάχιστη εξάτμιση του μονωτικού λαδιού.

Με το πέρασμα των χρόνων ένα επιθυμητό ενδεχόμενο είναι η ελάχιστη εξάτμιση του λαδιού για τη σωστή λειτουργία του μετασχηματιστή.

6) Τα χαρακτηριστικά του λαδιού στο πέρασμα των χρόνων.

Τα μονωτικά λάδια με τα χρόνια αρχίζουν να χάνουν τις ιδιότητες και ικανότητες τους ως προς χημικής φύσεως και κανένα σύννηθες είδος καθαρισμού δεν μπορεί να τα αναγεννήσει. Μετά το πέρας των χρήσεων τους (λόγω γήρανσης) τα αντικαθιστούν με καινούργια λάδια και τα παλαιά χρησιμοποιούνται για διάφορες άλλες χρήσεις (μη ηλεκτρικές). Ο χρόνος αλλοίωσης του μονωτικού λαδιού, καθορίζεται από την επαφή του με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας καθώς και από τη θερμοκρασία την οποία λειτουργεί. Όταν στο μονωτικό λάδι επέλθει γήρανση, λίγο πριν τη δημιουργία ιζημάτων, εμφανίζονται εντός αυτού ανόργανα (μεταλλικά) και οργανικά οξέα, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση στα μεταλλικά μέρη του μετασχηματιστή. Το μονωτικό λάδι αλλοιώνεται όλο και περισσότερο με τη δημιουργία ιζήματος. Καθώς επέρχεται η γήρανση του λαδιού τόσο αυξάνεται η δημιουργία ιζήματος. Αποτέλεσμα αυτού από κάποιο σημείο και μετά η δημιουργία λασπωμένης μάζας που παρεμποδίζει την κυκλοφορία του μονωτικού λαδιού, όπως και την ψύξη του μετασχηματιστή. Επίσης η γήρανση κάνει το λάδι ευάλωτο στην υγρασία μειώνοντας σημαντικά τη διηλεκτρική του αντοχή. Έτσι το μονωτικό λάδι αντικαθιστάται πολύ πριν τη δημιουργία της λασπωμένης μάζας. Η διάρκεια ζωής ενός μονωτικού λαδιού χωρίς πρόσθετες χημικές ουσίες ξεπερνάει τα 20 χρόνια.

Για την επιβράδυνση της αλλοίωσης του στο χρόνο, κατά την κατασκευή των μετασχηματιστών λαμβάνονται κάποια μέτρα: [7]

Α) Για τη μείωση της επιφάνειας του μονωτικού λαδιού όπου έρχεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα τοποθετείται πάνω από το κύριο δοχείο λαδιού του μετασχηματιστή, ένα δεύτερο μικρό δοχείο. Το δοχείο αυτό ονομάζεται “δοχείο διαστολής” (Εικόνα 1.8) και επικοινωνεί με έναν σωλήνα με το κύριο δοχείο. Έτσι η επιφάνεια που βρίσκεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα είναι του δοχείου διαστολής και όχι του κύριου δοχείου.



Εικόνα 1.8: Δοχείο διαστολής με δείκτη στάθμης λαδιού.

Β) Τοποθέτηση αδρανούς αερίου (άζωτο) πάνω από την επιφάνεια του μονωτικού λαδιού.

Γ) Το μονωτικό λάδι πρέπει να παραμένει σε χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη λειτουργία του μετασχηματιστή. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ψυκτικών σωμάτων όπου είτε έχουμε φυσική ροή του ψυκτικού μέσου είτε μέσω αντλιών όπου κυκλοφορεί το λάδι στα ψυκτικά σώματα (π.χ. ανεμιστήρες).

Ιδιότητες	Φυτικό έλαιο	Ορυκτέλαια	Έλαιο σιλικόνης 561
Χρώμα	Ανοιχτό κίτρινο	Ανοιχτό κίτρινο	Άχρωμο
Ειδικό βάρος στους 25°C	0,91-0,92	0,89	0,96
Κινηματικό Ιξώδες, 0°C	170-250	2200	95
Κινηματικό Ιξώδες, 25°C	55-57	300	50
Κινηματικό Ιξώδες, 40°C	33-45	125	38
Κινηματικό Ιξώδες, 100°C	8-10	13	16
Ελάχιστη θερμοκρασία ροής, °C	-15 έως -25	-20 max	-50 max
Διεπιφανειακή τάση,	25	40-45	25
Σημείο ανάφλεξης, °C	310-325	275 min	300 min
Σημείο καύσης, °C	354-360	160-180	340
Περιεκτικότητα σε νερό ppm	50-100	10-25	50
Διαλυτότητα νερού στους 25°C	1200	60	200
Οξύτητα, mg KOH/g	0,06	0,01	0,01
Διηλεκτρική σταθερά στους 25°C	3,1	2,2	2,71
Αντίσταση όγκου στους 25°C, Ohm.cm	10 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup> – 10 <sup>15</sup>	10 <sup>14</sup>
Τάση διάσπασης (ASTM 1816, 2mm απόσταση ηλεκτροδίων)	74	60	-
Συντελεστής απωλειών στους 25°C	0,25	0,05	-0,01
Βιοδιασπασιμότητα CEC-L-33 (21 μέρες)	97-99	30	Πολύ χαμηλή

Πίνακας 1.3: Συγκριτικός πίνακας ιδιοτήτων ελαίων. [8]

## 2. Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Η περιβαλλοντική συνείδηση ολοένα και αυξάνεται με την πάροδο των χρόνων. Έτσι η περιβαλλοντική συμπεριφορά των προϊόντων έχει δημιουργήσει ένα ζήτημα υψίστης σημασίας από την πρώτη χρονική στιγμή όπου παράγεται ένα προϊόν. Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος αρχίζει με το σχεδιασμό και την ανάπτυξη του και καταλήγει σε δραστηριότητες όπως είναι η συλλογή, η παραγωγή, η μεταφορά, η χρήση-επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση και η τελική διάθεση του πίσω στο περιβάλλον. Η ανάλυση του κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment, LCA) αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης, το οποίο επιτρέπει την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδοσης ενός προϊόντος, μιας παραγωγικής δραστηριότητας ή μιας διεργασίας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Καθοριστικό ρόλο στην ολοκλήρωση του στόχου της αειφόρου ανάπτυξης παρέχει η Αειφορική ή Πράσινη χημεία (Sustainable or Green Chemistry). Η παραγωγή διαφόρων χημικών προϊόντων μπορεί να γίνει με αρκετούς εναλλακτικούς τρόπους. Έτσι ανάλογα με τον αντίκτυπο που έχει στο περιβάλλον και κατ' επέκταση στον άνθρωπο, επιλέγεται το προϊόν με την καταλληλότερη χημική διεργασία. Αυτή η διεργασία θα πρέπει να καθορίζεται από την απλότητα, την ασφάλεια, την υψηλή απόδοση και εκλεκτικότητα, τη μη ενεργοβόρα δραστηριότητα καθώς και να γίνεται όσο το δυνατόν περισσότερο εκτεταμένη χρήση των ανανεώσιμων πηγών και ανακυκλώσιμων πρώτων υλών και χημικών αντιδράσεων. Επομένως, για να βρεθεί η καταλληλότερη διεργασία θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τις αρχές της Αειφορικής ή Πράσινης Χημείας. [19]

Επιδιώκοντας στη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδρασης των προϊόντων, δημιουργήθηκαν διάφορα περιβαλλοντικά εργαλεία διαχείρισης, με κύριο στόχο την επίτευξη της αειφόρου ανάπτυξης. Εργαλεία περιβαλλοντικής διαχείρισης μεταξύ άλλων αποτελούν η «αξιολόγηση κύκλου ζωής» (Life Cycle Assessment), ο «καθαρός σχεδιασμός» (Clean Design), η «παρακολούθηση προϊόντων» (Product Stewardship) και η «βιομηχανική οικολογία» (Industrial Ecology) κτλ. Αρκετά από αυτά τα εργαλεία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και έχουν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό προσφέροντας οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη σε όσες επιχειρήσεις το εφάρμοσαν. [19]

Κάνοντας μια ιστορική αναδρομή η έννοια του κύκλου ζωής θεωρείται ότι δημιουργήθηκε το 1884 από έναν Σκωτσέζο οικονομολόγο με το όνομα Patrick Geddes. Αφορμή για τη δημιουργία αυτού του νέου όρου υπήρξε ο προβληματισμός για τη συνεχή ανοδική χρήση των γαιανθράκων (μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας), με άμεσο σκοπό να εφαρμόσει νέες βελτιωμένες τεχνικές για την επίδοση του κύκλου ζωής των γαιανθράκων. Παρόλα αυτά η εισαγωγή του όρου της «αξιολόγησης του κύκλου ζωής» (LCA) χρονολογείται τη δεκαετία του 1960, καθώς οι σχετικές έρευνες της LCA πραγματοποιήθηκαν σε θέματα που αφορούσαν την κατανάλωση των πρώτων υλών, την ενεργειακή αποδοτικότητα και σε λιγότερο βαθμό τη διάθεση και παραγωγή των αποβλήτων. Ο βασικός στόχος της LCA αφορά τη μείωση της χρήσης των πρώτων υλών και των εκπομπών ρύπων στο περιβάλλον με την ταυτόχρονη βελτίωση της κοινωνικής επίδοσης σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος. Με αυτόν τον

τρόπο οι παραγωγικές μονάδες-επιχειρήσεις θα δημιουργούν «καθαρότερα» προϊόντα, λειτουργώντας με σύγχρονες τεχνολογίες. Αποτέλεσμα αυτών των ενεργειών είναι να εκπληρώνουν σε μεγάλο βαθμό και να υιοθετούν τις αρχές της αειφόρου ανάπτυξης. [19],[23]

Το θεωρητικό κομμάτι της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στηρίζεται στην αρχή της προφύλαξης από ρυπογόνες εκπομπές, σύμφωνα με την οποία όλες οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις θα πρέπει να μειώνονται ήδη από την κεντρική μονάδα παραγωγής τους. Η συγκεκριμένη αρχή εκτελέστηκε στις παραγωγικές επιχειρήσεις δια μέσου της «καθαρότερης παραγωγής» και της ορθής περιβαλλοντικής διαχείρισης τους. Ένας σύντομος ορισμός της LCA, που ορίστηκε από τους Lindfors et al. (1995) είναι ο εξής: Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής είναι μια διαδικασία αποτίμησης όλων των περιβαλλοντικών υποχρεώσεων που αφορούν ένα προϊόν, μια δραστηριότητα ή ένα σύστημα: (i) αναγνωρίζοντας, (ii) αναλύοντας ποσοτικά τα εφαρμοσμένα προϊόντα, τις εκπομπές ρύπων στο περιβάλλον και την καταναλισκόμενη ενέργεια, (iii) προβλέποντας τις συνολικές επιδράσεις των προηγούμενων προς το περιβάλλον. Η πρόβλεψη περιλαμβάνει όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος ή μιας δραστηριότητας πχ τη συλλογή-εξόρυξη, την επεξεργασία των πρώτων υλών, τη διανομή, την κατασκευή, τη χρήση, τη συντήρηση, την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση, την τελική διάθεση πίσω στο περιβάλλον καθώς και όλες οι επιμέρους μεταφορές σε όλα τα στάδια που αναφέρθηκαν. Επίσης η πρόβλεψη των επιδράσεων ενός κύκλου ζωής προϋποθέτει τη μελέτη της ανθρώπινης υγείας, του οικοσυστήματος και του μελλοντικού κορεσμού των πηγών-πόρων. Ωστόσο, η πρόβλεψη του κύκλου ζωής δεν περιγράφει τις πιθανές κοινωνικές και οικονομικές επιδράσεις των προϊόντων ή γενικά των παραγωγικών ενεργειών, που εξετάζονται με αυτή την μεθοδολογία. Σύμφωνα όμως με το πρότυπο ISO/FDIS δίνεται ένας λίγο διαφορετικός ορισμός: Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος αποτελεί μια τεχνική όπου αφορά την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων και περιβαλλοντικών θεμάτων που σχετίζονται με αυτό: (i) Υπολογίζοντας τις εισροές και εκροές που παράγονται στο σύστημα. (ii) Προβλέποντας τις πιθανές επιπτώσεις στο περιβάλλον από αυτές τις εισροές και εκροές. (iii) Αναλύοντας τα αποτελέσματα των δύο προηγούμενων σταδίων όσον αφορά τους στόχους αυτής της μελέτης. [19],[23]



Εικόνα 2.1: Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής. [24]

Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής αναλύει τα περιβαλλοντικά θέματα και τις πιθανές επιπτώσεις σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, από την απόκτηση των πρώτων υλών έως και την παραγωγή, τη χρήση, τη διάθεση στην αγορά καθώς και την τελική διάθεση του πίσω στο περιβάλλον. Οι κατηγορίες που επηρεάζουν το περιβάλλον και θα πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι: η χρήση των πόρων-πηγών για την παραγωγή του προϊόντος, οι οικολογικές επιπτώσεις και η ανθρώπινη υγεία. [19],[23]

Με τον ορισμό που έχει θέσει η SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) το LCA αποτελεί ένα εργαλείο που επιτρέπει: [19]

- Την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με ένα προϊόν, δραστηριότητα ή διεργασία με την ποσοτικοποίηση και την αναγνώριση της ενέργειας, των πρώτων υλών που καταναλώνονται καθώς και των αποβλήτων (υγρών, στερεών και αερίων) που εκλύονται στο περιβάλλον
- Την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στη χρήση της ενέργειας και στη χρήση των πρώτων υλών σε συνδυασμό με τη δημιουργία αποβλήτων.
- Την αξιολόγηση και την αναγνώριση των δυνατοτήτων για νέες βελτιωμένες περιβαλλοντικές επιδόσεις σε σχέση με τα προαναφερόμενα.

Η αξιολόγηση περιέχει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του εν δυνάμει προϊόντος, δραστηριότητας ή διεργασίας.

Από τη χρήση της μεθόδου LCA, προκύπτουν αρκετά πλεονεκτήματα που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

#### 1. Πρόκληση αλλαγών με στόχο τη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης:

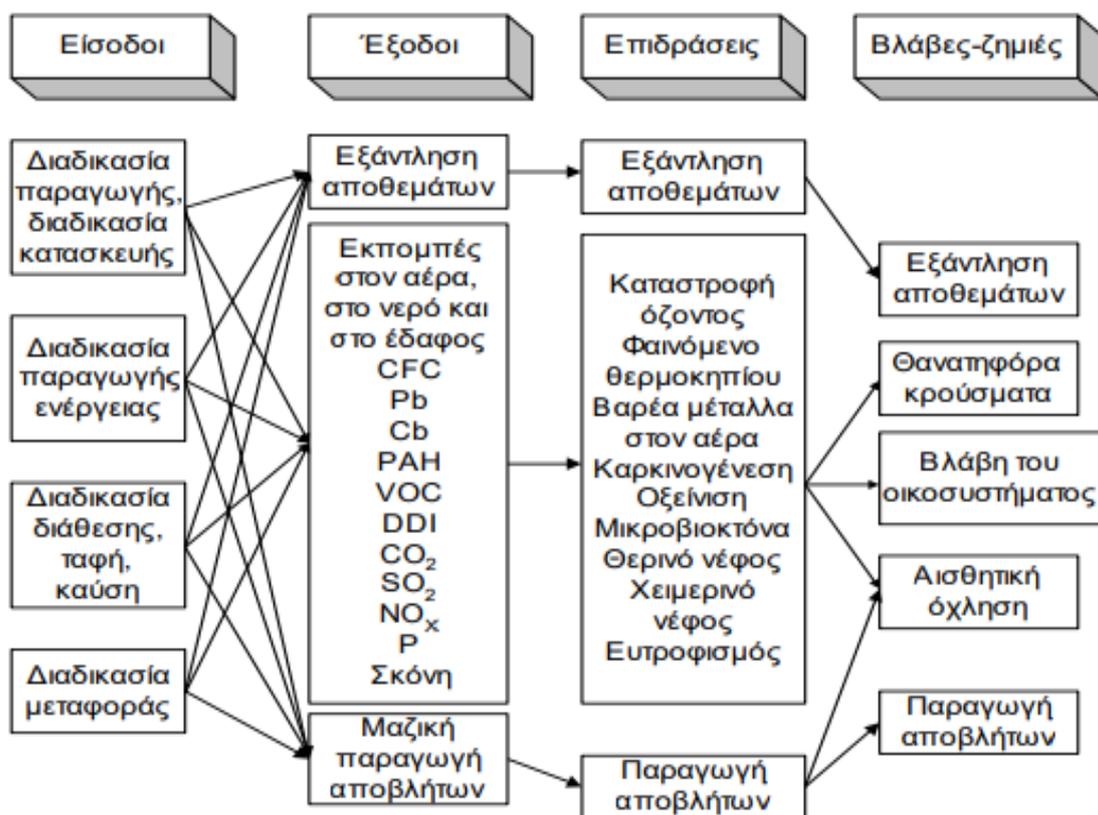
- Απογραφή σημαντικών δεδομένων όπου κατανέμονται μεταξύ αυτών.
- Δυνατότητα εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων συστηματικά.
- Αναγνώριση δυνατοτήτων για τη βελτίωση των προϊόντων και των διαδικασιών.
- Πραγματοποίηση καταγραφής και σύγκρισης της απόδοσης διαφορετικών διαδικασιών τεχνολογιών και προϊόντων.

#### 2. Αναβάθμιση της επικοινωνίας με τις ανάλογες ομάδες ενδιαφερόμενων (stakeholders):

- Σε ενδιαφερόμενες ομάδες παροχή πληθώρας πληροφοριών.
- Δημιουργία σχέσης εμπιστοσύνης και ανάπτυξης ενός δημιουργικού πλαισίου επικοινωνίας με την εκάστοτε κοινωνία.

Στην LCA οι περιορισμοί οφείλονται κυρίως από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Αδυναμία τροποποίησης ή αντικατάστασης μιας διαδικασίας όπου λαμβάνονται αποφάσεις .
- Αδυναμία κατανόησης των χρονικών και τοπικών αντιδράσεων.
- Αδυναμία υπολογισμού των δευτερογενών επακόλουθων της τεχνολογικής ανάπτυξης και γενικότερα του μηχανισμού αγοράς.
- Κατανόηση όλων των διεργασιών ως γραμμικών, αναφορικά με τον περιβαλλοντικό και οικονομικό τομέα.
- Ύπαρξη αμφισβήτησης της ποιότητας των δεδομένων που είναι απαραίτητα για τη διεξαγωγή της καθώς και την ανεπαρκή διαθεσιμότητά τους.
- Θεσμός μια σειράς υποκειμενικών επιλογών και τεχνικών θεωρήσεων.



Εικόνα 2.2: Προσδιορισμός περιβαλλοντικών επιπτώσεων. [24]

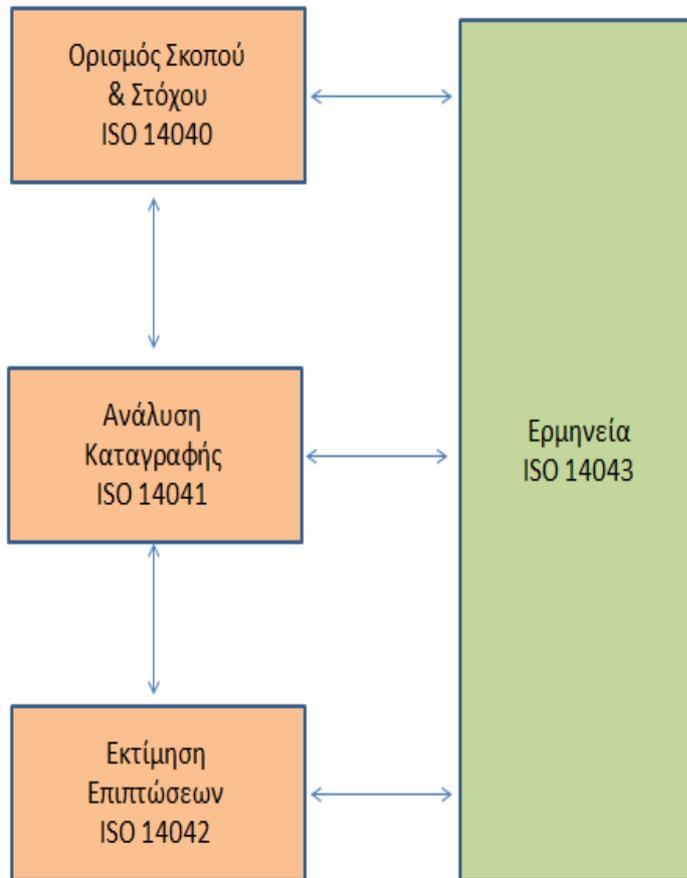
## 2.1 Μεθοδολογία

Με το πέρασ των χρόνων έχουν πραγματοποιηθεί πολυάριθμες προσπάθειες για τη δημιουργία μιας κοινώς αποδεκτής μεθοδολογίας LCA. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να



παραχθούν αρκετές κατευθυντήριες γραμμές που έχουν ως σκοπό να αναπτύξουν μια πιο αντικειμενική προσέγγιση. Η σχετική σειρά προτύπων του ISO (International Standardization Organization), αποτελείται συγκεκριμένα από τη σειρά ISO 14040 (περιορισμοί και κανονισμοί συστήματος, 14041 (ορισμός σκοπού και στόχου και καταγραφή δεδομένων, 14042 (εκτίμηση των αντίκτυπων του κύκλου ζωής, 14043 (ερμηνεία αποτελεσμάτων). Πρόκειται για μια προσπάθεια για την ανάπτυξη του αντίστοιχου μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο πληρείται στα τέσσερα στάδια που αναγράφονται παρακάτω: [22],[23]

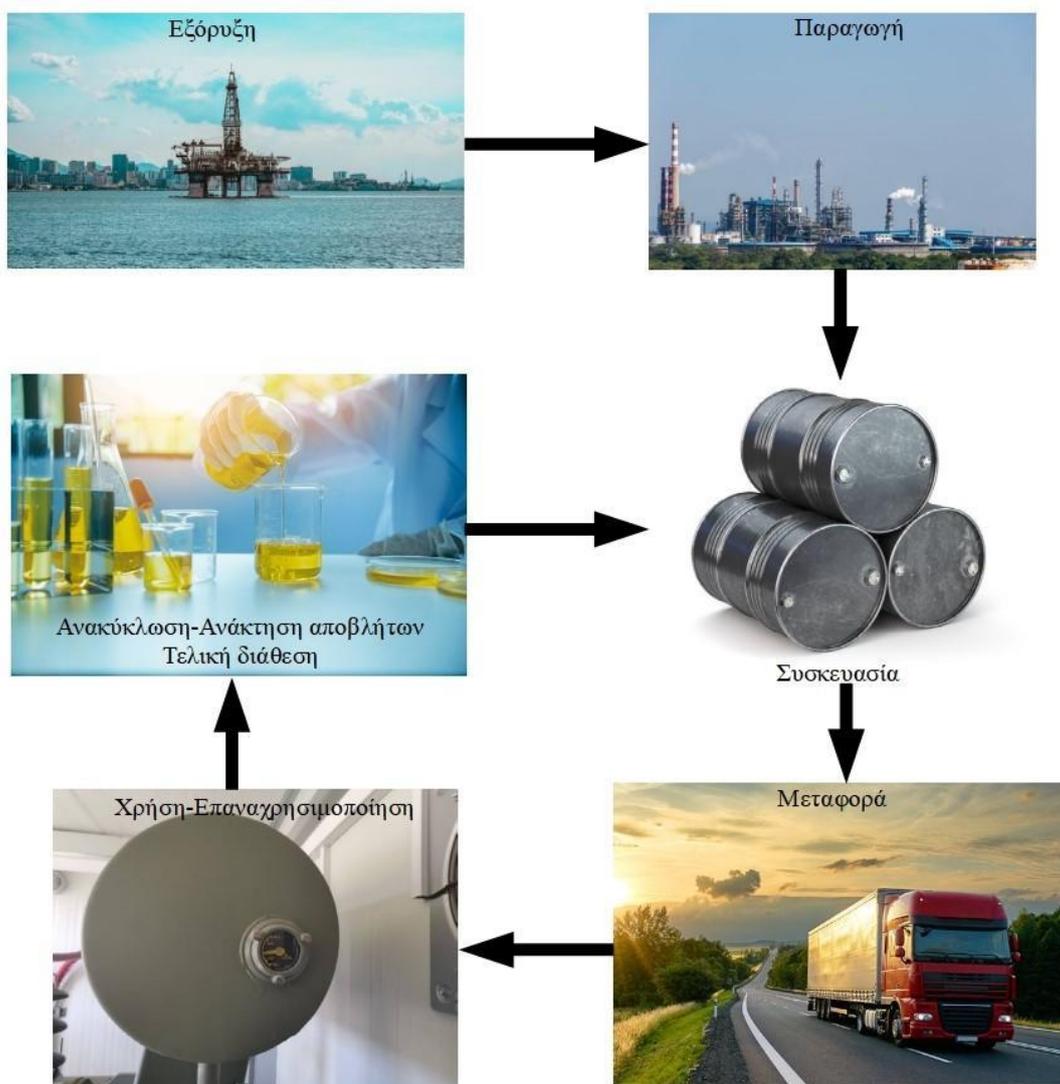
- Καθορισμός του σκοπού και του στόχου (scope and goal definition). Περιλαμβάνει την περιγραφή του συστήματος που αναλύεται και την οριοθέτηση του. Επίσης θέτετε μια μονάδα αναφοράς στην οποία εκχωρούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και γίνεται λειτουργική. Με αυτόν τον τρόπο, συγκρίνονται διάφορα προϊόντα και υπηρεσίες και η λειτουργική μονάδα δεν αποτελεί μόνο μια ποσότητα υλικού. Σχετικό παράδειγμα για τη σύγκριση διαφορετικών υλικών συσκευασίας είναι το  $1m^3$  προϊόντος σε συσκευασία έτοιμο να παραδοθεί. Σε αυτό το στάδιο τα βήματα που είναι αναγκαία να γίνουν είναι ο προσδιορισμός των αντικειμενικών σκοπών της μελέτης, ο ορισμός της λειτουργικής μονάδας, η οριοθέτηση του συστήματος και ο καθαρισμός της ποιότητας των δοθέντων στοιχείων.
- Ανάλυση των αποθεμάτων (inventory analysis). Στο συγκεκριμένο στάδιο καταγράφονται όλες οι εισροές (πρωτογενείς φυσικοί πόροι) και εκροές του συστήματος (εκπομπές που παράγονται προς το περιβάλλον) και συνοψίζονται με τη μορφή διαγράμματος. Μια δυσκολία που παρουσιάζεται σε αυτό το στάδιο είναι η σύγκριση διαφόρων τύπων περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτή η δυσκολία μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη μετατροπή των στοιχείων που αφορά τις επιπτώσεις της ίδιας της μονάδας ή τη μετατροπή τους σε ένα κοινό περιβαλλοντικό δείκτη.
- Εκτίμηση των επιπτώσεων (assessment impact). Το βασικό πρότυπο ISO 14042 έχει καθοριστικό ρόλο στο πλαίσιο αυτού του σταδίου. Περιλαμβάνει υποχρεωτικά στάδια (το χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση των δεδομένων) καθώς και προαιρετικά στάδια (τη στάθμιση και την κανονικοποίηση των δεδομένων). Οι κατηγορίες των επιπτώσεων διακρίνονται στις επιπτώσεις της ανθρώπινης υγείας, του οικοσυστήματος και των φυσικών πόρων.
- Ερμηνεία όλων των προηγούμενων (interpretation). Σε αυτό το στάδιο εξετάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα και οι παροχές όλων των προηγούμενων σταδίων από την άποψη της ευρωστίας και της πληρότητας. Οι ενέργειες αυτού του σταδίου είναι η ανάλυση των αποτελεσμάτων και η εξαγωγή συμπερασμάτων.



Εικόνα 2.3: Μεθοδολογία Ανάλυση Κύκλου Ζωής βάσει προτύπων ISO. [23]

## 2.2 Περιγραφή του κύκλου ζωής των ορυκτών ελαίων και εκπομπές CO<sub>2</sub>

Η ανάλυση του κύκλου ζωής των ορυκτών λαδιών ξεκινάει από την διαδικασία της εξόρυξης όπου με την χρήση ειδικών μηχανημάτων ανέρχεται το πετρέλαιο στην επιφάνεια. Κατά την εξόρυξη το πετρέλαιο συνήθως είναι αναμειγμένο με νερό, αέρια και με ελάχιστες ποσότητες άμμου. Το πετρέλαιο που αποτελείται κυρίως από υδρογονάνθρακες επεξεργάζεται μέσω της κλασματικής απόσταξης και της διύλισης για μπορέσει να πάρει την τελική του μορφή, όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το μονωτικό λάδι. Συσκευάζεται συνήθως σε μεταλλικά δοχεία για λόγους οικονομίας και προστασίας. Η μεταφορά του γίνεται κυρίως με δύο τρόπους (φορηγίδες, φορηγά). Σε όλα τα στάδια παραγωγής των ορυκτών λαδιών παράγονται διάφορα αέρια. Ακόμα και κατά την χρήση, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και τελική διάθεση του ορυκτού λαδιού παράγονται διάφορα αέρια. Ένα από τα αέρια που παράγονται σε κάθε στάδιο της ανάλυσης κύκλου των ορυκτών λαδιών είναι το διοξείδιο του άνθρακα.

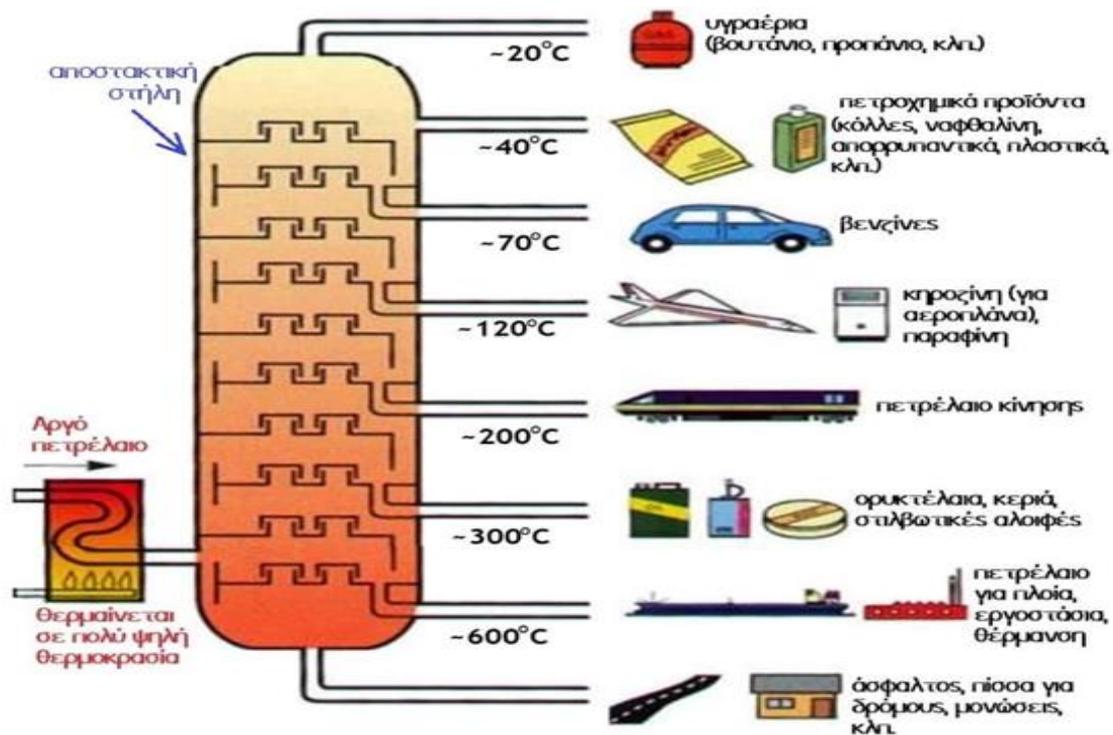


Εικόνα 2.4: Ανάλυση Κύκλου Ζωής για τα Ορυκτά Έλαια.

### 2.2.1 Εξόρυξη - Παραγωγή

Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή που προκαλείται από τη συσσώρευση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα με ανθρωπογενή παρέμβαση αποτελεί στην πραγματικότητα ένα από τα πιο έντονα προβλήματα στην καθημερινότητα. Η βιομηχανία πετρελαίου είναι ένας από τους μεγαλύτερους κλάδους εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Το αποτύπωμα άνθρακα είναι μια έννοια που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση και το χαρακτηρισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής των υδρογονανθράκων. Τα ορυκτά έλαια αποτελούν διαχρονικά ένα ποιοτικό μέσο για τη μόνωση ενός μετασχηματιστή. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο τα ορυκτά λαδιά προέρχονται από ειδική επεξεργασία αργού πετρελαίου, το οποίο αντλείται από τα έγκατα της γης. Με την εξόρυξη του πετρελαίου δημιουργούνται εκπομπές που επηρεάζουν το περιβάλλον. Σύμφωνα με μια έρευνα

του Πανεπιστημίου του Στάνφορντ, το 2015 σχεδόν 9000 πετρελαιοπηγές σε 90 χώρες παρήγαγαν αέρια, που συνέβαλαν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου όπου ισοδυναμούσαν με 1,7 δισεκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό αντιστοιχεί περίπου στο 5% όλων των εκπομπών από καύση εκείνο το έτος. [31],[32]



Εικόνα 2.5: Κλασματική απόσταξη πετρελαίου. [33]

Ένα ορυκτό λάδι για μετασχηματιστές αποτελείται κυρίως από αργό πετρέλαιο και συγκεκριμένα περιλαμβάνει την κλασματική απόσταξη και τη διύλιση. Στην κλασματική απόσταξη το πετρέλαιο θερμαίνεται και οι ατμοί που προέρχονται από την διαδικασία αυτή συμπυκνώνονται σε διάφορες θερμοκρασίες σχηματίζοντας υγρά αποστάγματα. Η διαδικασία αυτή γίνεται σε συνθήκες κενού και όχι σε ατμοσφαιρικής πίεσης διότι οι θερμοκρασίες που θα απαιτούνταν θα ήταν πολύ μεγάλες με αποτελέσματα που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην αποσύνθεση του λαδιού. [9],[15]

Η διύλιση γίνεται από μια διαδικασία αποπαραφινποίησης και έπειτα καθαρισμό των ανεπιθύμητων μορίων με χρήση διαλυμάτων και τέλος καταλυτική υδρογονοποίηση. Το αργό πετρέλαιο είναι μίγμα που αποτελείται κυρίως από υδρογονάνθρακες και περιέχει θείο, άζωτο, οξυγόνο και μέταλλα ως δευτερεύοντα συστατικά. Τα ορυκτά έλαια αποτελούνται από ευθείες και διακλαδισμένες αλυσίδες παραφινικών, ναφθενικών και αρωματικών υδρογονανθράκων με 15 ή περισσότερους άνθρακες στην αλυσίδα και καθορίζουν τις φυσικές ιδιότητες οι οποίες ορίζονται από τη πηγή του αργού πετρελαίου. Πρέπει να επισημανθεί ότι τα θερμομονωτικά ορυκτά έλαια

περιέχουν και πρόσθετα μεταξύ 10-25%. Μεταξύ άλλων τα πρόσθετα αυτά αποτρέπουν την επιφανειακή ζημιά από σοβαρή φόρτιση, αποτρέπουν τη φθορά από ελαφρά φορτία, αποτρέπουν τη διάβρωση από οξυγόνο και νερό, εμποδίζουν το σχηματισμό αφρού, μειώνουν την εξάρτηση του ιξώδους από τη θερμοκρασία, επιτρέπουν το διαχωρισμό λαδιού και νερού, αποτρέπουν ανεπιθύμητες εναποθέσεις κλπ. Γενικά όμως στα πρόσθετα η σύστασή τους είναι άγνωστη καθώς είναι φυλασσόμενα εμπορικά μυστικά. [16],[25],[26]

Κατά τη διαδικασία της διύλισης του αργού πετρελαίου επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των προϊόντων του, τα οποία έχουν διαφορετικό σημείο βρασμού και ταιριάζουν για τη χρήση του προϊόντος ως διηλεκτρικό. Η μέγιστη θερμοκρασία διύλισης είναι 350°C, που είναι η θερμοκρασία κατά την οποία αρχίζει η αποσύνθεση του ελαίου. Η αποπαραφινοποίηση περιλαμβάνει την ανάμειξη του λαδιού με ένα διαλύτη και στη συνέχεια τη ψύξη του διαλύματος και η παραφίνη εξάγεται με διήθηση. Μετά τη διήθηση ο διαλύτης εξάγεται με νέα διύλιση. Στο τελικό στάδιο παραγωγής τα προϊόντα διύλισης υποβάλλονται σε μια καταλυτική επεξεργασία με υδρογόνο σε υψηλές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, η οποία μεταμορφώνει τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες σε κορεσμένους. [16],[25],[26]

Τέλος, η αγορά για το έτος 2021 επήλθε στα 483 εκατομμύρια λίτρα ορυκτών λαδιών και αναμένεται μια άνοδος της τάξης 3,97% μέχρι το 2029. Σύμφωνα με έρευνες που αντιπροσωπεύουν το 98% του παγκόσμιου αργού πετρελαίου, εκτιμήθηκε ότι για κάθε χώρα οι εκπομπές κυμαίνονται από 3,3 έως 20,3 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα για κάθε MJ. Οι εκπομπές κατά την παραγωγή του ορυκτού λαδιού είναι 3,56 κιλά CO<sub>2</sub> ανά κιλό παραγωγής του (από την εξόρυξη έως και την τελική παραγωγή του).. Άρα για κάθε τόνο ορυκτού λαδιού παράγονται 3560 κιλά CO<sub>2</sub>. Αυτή η τιμή εκπομπών δεν αφορά συγκεκριμένα μόνο τα ορυκτά λάδια μετασχηματιστών αλλά γενικότερα τα ορυκτά λάδια. [34],[60]

### 2.2.2 Συσσκευασία

Τα περισσότερα έλαια με το πέρασ του χρόνου αλλοιώνονται. Μεγάλο ρόλο έχουν οι συνθήκες αποθήκευσης καθώς επηρεάζεται η διάρκεια ζωής τους. Μια ιδανική θερμοκρασία είναι ανάμεσα στους 0°C έως 25°C, επειδή με τις χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί να σχηματιστούν κεριά και άλλα ιζήματα ενώ με τις υψηλές αυξάνεται ο ρυθμός οξειδωσης. Επιπλέον, με τις συνεχόμενες εναλλαγές θερμοκρασίας μπορεί το προϊόν να τραβήξει αέρα στην συσκευασία και να μολυνθεί από την υγρασία αφού το νερό προωθεί την ανάπτυξη μικροβίων στην διεπιφάνεια του. Για αυτό το λόγο, συνίσταται η αποθήκευση σε ξηρό μέρος και κατά προτίμηση σε εσωτερικό χώρο. Μια άλλη σημαντική συνθήκη αποτελεί η έκθεση στο φως, η οποία μπορεί να αλλάξει το χρώμα και την εμφάνιση του ελαίου. Τέλος, τα δοχεία θα πρέπει να είναι καλά σφραγισμένα έως ότου χρησιμοποιηθεί τελικά το προϊόν γιατί τόσο το οξυγόνο όσο και το διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα είναι ικανά να επηρεάσουν το ιξώδες του. Με αυτές τις προϋποθέσεις τα ορυκτά έλαια μπορούν να έχουν μια διάρκεια ζωής έως και 10-15 χρόνων. Έχει παρατηρηθεί γενικά πως είναι προτιμότερο να συσκευάζονται

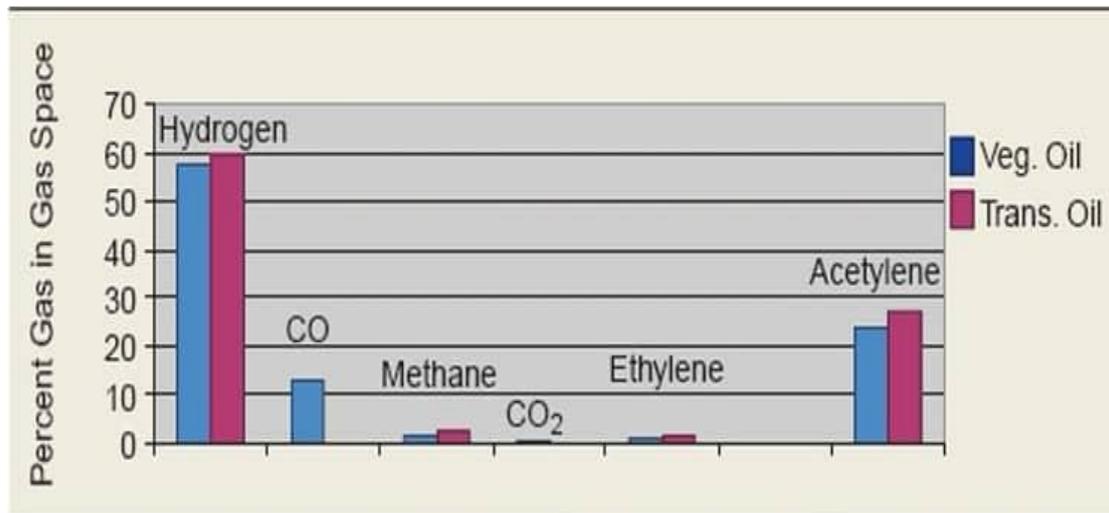
τα έλαια σε μεταλλικά δοχεία. Σύνηθες μέγεθος του βαρελιού είναι τα 200 λίτρα. Ένα κενό δοχείο που χωράει 200 λίτρα ζυγίζει από 19 έως 26 κιλά. Από την άλλη, μία ενδεικτική παραγωγή βαρελιών γίνεται με τη χρήση λευκοσιδήρου από την χαλυβουργία. Στις μέρες μας, η παραγωγή ενός κιλού λευκοσιδήρου εκπέμπει 2,33 κιλά CO<sub>2</sub>, άρα για ένα βαρέλι 200 λίτρων που ζυγίζει κατά μέσο 23 κιλά εκπέμπονται 53,59 κιλά CO<sub>2</sub>. Τα 1000 λίτρα ορυκτού λαδιού αντιστοιχούν σε 900 κιλά ορυκτού λαδιού. Για 1000 κιλά ορυκτού λαδιού οι εκπομπές που παράγονται για τη δημιουργία συσκευασίας λευκοσιδήρου είναι 297,4 κιλά CO<sub>2</sub>. Για τη μείωση εκπομπών των συσκευασιών συμβάλλει η ανακύκλωσή τους. [35],[36],[37]

### 2.2.3 Μεταφορά

Το αργό πετρέλαιο μετακινείται με φορτηγίδες, δεξαμενόπλοια, αγωγούς, φορτηγά και σιδηρόδρομους, στην προκειμένη περίπτωση δεν πρόκειται να αναλύσουμε όλες τις συγκεκριμένες μεταφορές. Ένα πιθανό σενάριο μεταφοράς τελικού προϊόντος είναι αυτό με φορτηγά. Γενικά, για τα φορτηγά Euro 6 οι εκπομπές CO<sub>2</sub> κυμαίνονται από 52 έως 64g/tkm. Όσον αφορά τη μεταφορά των τελικών συσκευασιών ορυκτών λαδιών για μία τυχαία απόσταση 1000 χιλιομέτρων, για ένα φορτηγό που μεταφέρει 20 τόνους ορυκτών λαδιών εκπέμπονται κατά μέσο όρο 1160 κιλά CO<sub>2</sub>. Η μεταφορά του τελικού προϊόντος τόσο του ορυκτού λαδιού όσο και του φυτικού δε διαφέρουν πολύ. [38]

### 2.2.4 Χρήση- Επαναχρησιμοποίηση

Το μονωτικό λάδι κατά τη λειτουργία του μετασχηματιστή υφίσταται χημικές μεταβολές, λόγω των ηλεκτρικών και θερμικών καταπονήσεων. Το αποτέλεσμα από αυτές τις μεταβολές είναι η έκλυση και απορρόφηση αερίων. Τα αέρια αυτά δημιουργούν δυσλειτουργίες στο λάδι μεταβάλλοντας τις ηλεκτρικές ιδιότητές του. Γενικά οι εκπομπές σε σχέση με άλλα στάδια της ΑΚΖ είναι πολύ μικρότερες. Με κάποια προνοητικότητα οι εταιρείες μπορούν να μειώσουν το κόστος ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης του ορυκτού ελαίου πριν αρχίσει η αποσύνθεση του. Η αναγέννηση του μονωτικού ορυκτού ελαίου είναι εφικτή και στη περίπτωση ιδιαίτερα κατεστραμμένων ελαίων. Στην παρακάτω εικόνα 2.6 μπορούμε να διακρίνουμε τις εκπομπές που παράγουν τα δύο λάδια σε διάφορες συνθήκες. [10]



Εικόνα 2.6: Παραγόμενα αέρια από το φυτικό και ορυκτό λάδι κατά την χρήση του μετασχηματιστή. [10]

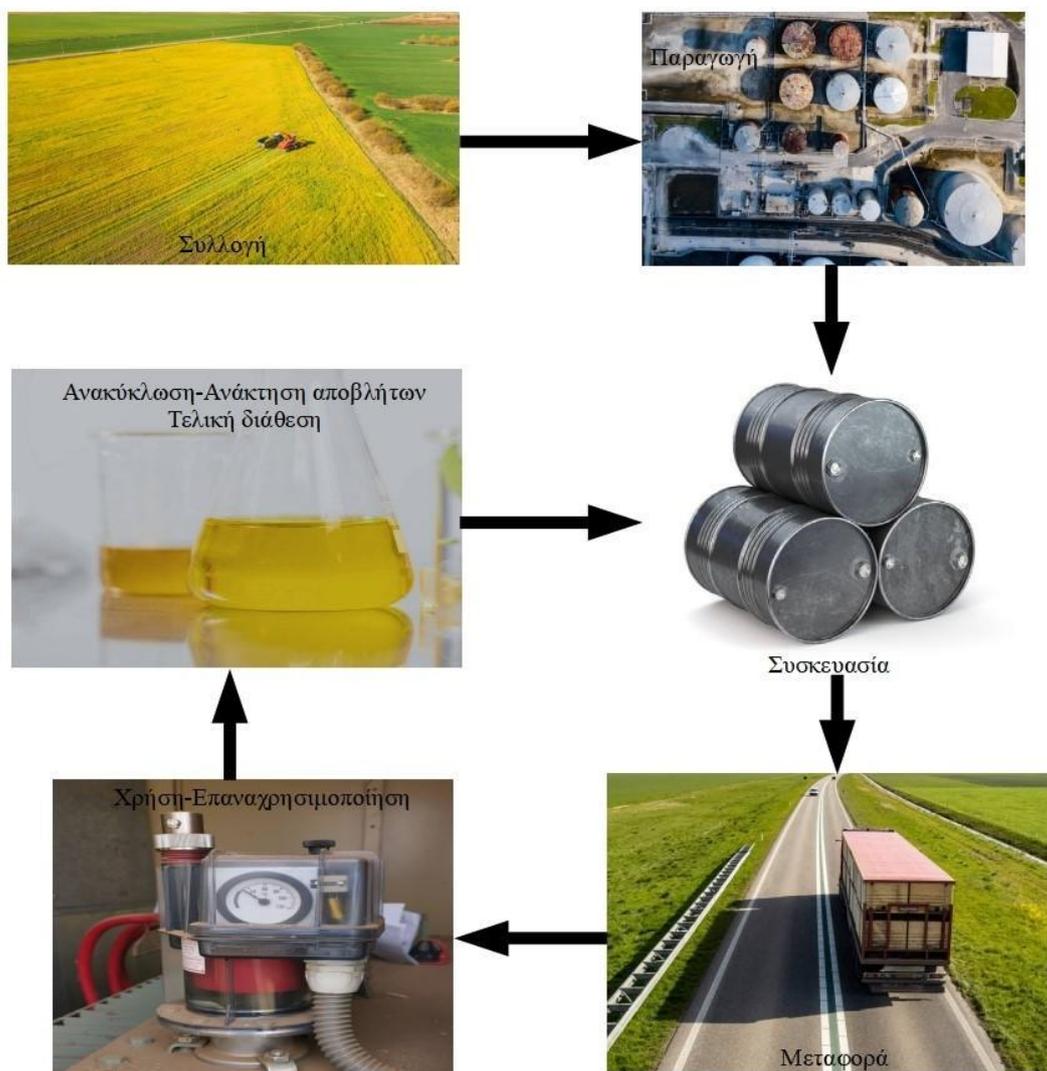
### 2.2.5 Ανακύκλωση/Ανάκτηση αποβλήτων/Τελική διάθεση

Τα χρησιμοποιημένα ορυκτά λάδια αποτελούν ένα σοβαρό πρόβλημα για την ανθρώπινη υγεία και κατ' επέκταση για το περιβάλλον, καθώς παράγουν επιβλαβείς ρίπους. Στο πλαίσιο αυτού του κύκλου ζωής, αξιολογείται η περιβαλλοντική και ενεργειακή απόδοση μιας νέας διύλισης όπου οδηγεί στην ανακύκλωση του λαδιού. Η διαδικασία αυτή της αναγέννησης βασίζεται κυρίως στην εκχύλιση οργανικών ρίπων με υγρό προπάνιο. Στη συνέχεια, ακολουθούν τρία διαδοχικά στάδια απόσταξης, δύο υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες και ένα υπό κενό. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αυτή η διαδικασία ανακύκλωσης παράγει έως και 363 κιλά CO<sub>2</sub> ανά τόνο λαδιού, καταναλώνοντας 6144MJ ανά τόνο λαδιού. Λαμβάνοντας υπ' όψη την AKZ με τη διαδικασία αυτή μειώνονται μεγάλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, η τοξικότητα κλπ. Μέσα από την τριπλή αυτή διύλιση επιτυγχάνεται μια πιο φιλική προς το περιβάλλον διαδικασία συγκριτικά με την αρχική διύλιση που αναφέρεται σε παραπάνω στάδιο. [60]

### 2.3 Περιγραφή του Κύκλου Ζωής των Φυτικών Ελαίων

Η ανάλυση του κύκλου ζωής των φυτικών λαδιών ξεκινάει από την διαδικασία της συλλογής όπου με την χρήση ειδικών μηχανημάτων μαζεύεται η εκάστοτε σοδιά. Κατά την συλλογή τα μηχανήματα παράγουν διοξείδιο του άνθρακα. Η διαδικασία της συλλογής διαφέρει ανάλογα με την σοδιά που έχει καλλιεργηθεί άρα και οι εκπομπές που παράγονται είναι διαφορετικές. Με την κατάλληλη επεξεργασία της καλλιέργειας παράγεται το φυτικό λάδι. Συσκευάζεται συνήθως σε μεταλλικά δοχεία για λόγους οικονομίας και προστασίας. Η μεταφορά του γίνεται κυρίως με φορτηγά. Σε όλα τα στάδια παραγωγής των φυτικών λαδιών παράγονται διάφορα αέρια. Ακόμα και κατά την χρήση, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και τελική διάθεση του φυτικού λαδιού παράγονται διάφορα αέρια. Ένα από τα αέρια που παράγουν σε κάθε στάδιο της

ανάλυσης κύκλου των φυτικών λαδιών όπως αναφέραμε είναι το διοξείδιο του άνθρακα.



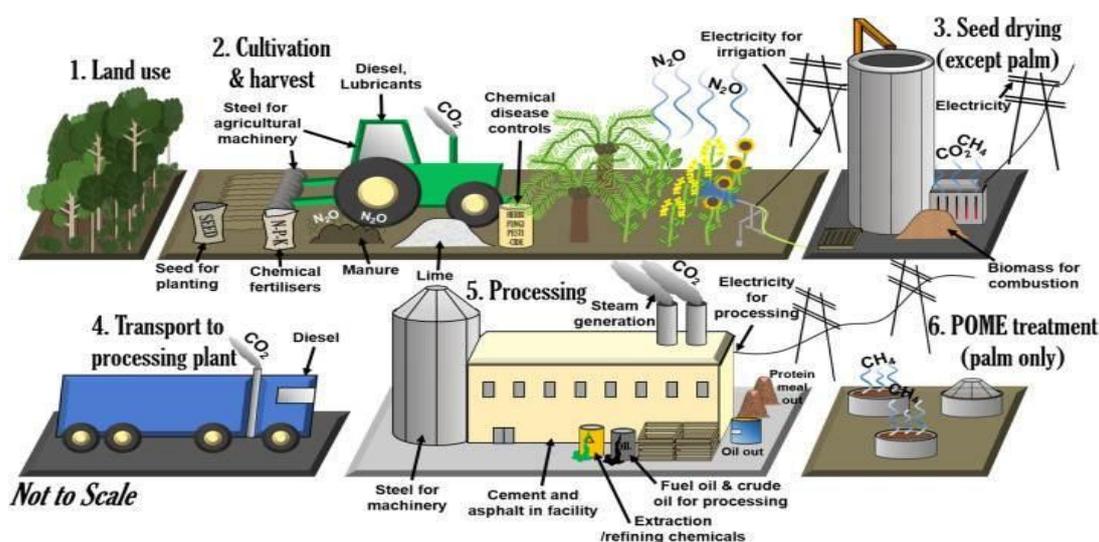
Εικόνα 2.7: Ανάλυση Κύκλου Ζωής για τα Φυτικά Έλαια.

### 2.3.1 Συλλογή – Παραγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει μεγάλη εξέλιξη στον τομέα των μονωτικών λαδιών καθώς έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό η παραγωγή φυτικών λαδιών. Σύμφωνα με έρευνες που αφορά 6000 παραγωγούς σε 38 χώρες και αντιπροσωπεύει το 71% της παγκόσμιας παραγωγής φυτικών λαδιών, ανάλογα με το είδος που καλλιεργείται διαφέρουν οι συνολικές εκπομπές, με τις μέσες εκπομπές να κυμαίνονται στα 2,49 κιλά CO<sub>2</sub> ανά λίτρο φυτικού λαδιού. Σε αυτή την ενότητα θα ασχοληθούμε με 4 είδη παραγωγής φυτικών λαδιών. Πιο αναλυτικά για το φοινικέλαιο εκπέμπονται μέχρι 3,73 κιλά CO<sub>2</sub> για κάθε κιλό λαδιού που παράγεται με τη χρήση γης να καλύπτει το 39,5% των συνολικών εκπομπών. Όσον αφορά το λάδι σόγιας εκπέμπονται έως και 4,24 κιλά



CO<sub>2</sub> για κάθε κιλό παραγωγής με τη χρήση γης να καλύπτει το 72,1% των συνολικών εκπομπών. Επιπλέον, για το κραμβέλαιο (rapeseed oil) εκπέμπονται έως 2,47 κιλά CO<sub>2</sub> ανά κιλό παραγωγής του με τη χρήση γης να καλύπτει το 58,9% των συνολικών εκπομπών. Ακόμη για τον ηλιάνθο εκπέμπονται μέχρι 2,94 κιλά CO<sub>2</sub> ανά κιλό παραγόμενου λαδιού με τη χρήση γης να καλύπτει το 61,6% των συνολικών εκπομπών. Κάθε φυτικό λάδι έχει μελετηθεί στα παρακάτω στάδια παραγωγής του 1) Χρήση γης, 2) Καλλιέργεια και συλλογή. 3) Ξήρανση και αποθήκευση σπόρων (όλες οι καλλιέργειες εκτός του φοίνικα) 4) Μεταφορά στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας 5) Επεξεργασία και εξευγενισμός 6) Επεξεργασία λυμάτων φοινικέλαιου. Τα στάδια μετά την παραγωγή όπως η συσκευασία, η διανομή και η χρήση παραλείπονται. Η παραγωγή λαδιού σόγιας, κραμβέλαιου και ηλιάνθου είναι ετήσιες παραγωγές σε σχέση με αυτές του φοίνικα καθώς τα πρώτα 20-25 χρόνια δεν περιλαμβάνει παραγωγή λαδιού. Γενικότερα οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση γης που γίνεται (δεσμεύει μεγάλες γόνιμες εκτάσεις όπου ευδοκίμει πιθανότητα μεγάλης βλάστησης). Έτσι η χρήση γης εξαρτάται από τη βλάστηση της εκάστοτε περιοχής-χωραφιού (κάθε χώρα και περιοχή μπορεί να έχει διαφορετική βλάστηση), το είδος καλλιέργειας, το πλήθος της σοδιάς που θα καλλιεργηθεί καθώς και οι καιρικές συνθήκες που θα επικρατήσουν. Οι υπόλοιπες εκπομπές αφορούν κυρίως τη χρήση ενέργειας, καυσίμων, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, συνθετικών ουσιών που οδηγούν στην κατάλληλη επεξεργασία για την τελική παραγωγή του φυτικού λαδιού. Με τη μέση τιμή των εκπομπών να είναι στα 2,49 κιλά CO<sub>2</sub> ανά κιλό παραγωγής φυτικού λαδιού, καταλήγουμε ότι στον ένα τόνο παραγωγής φυτικού λαδιού εκπέμπονται 2490 κιλά CO<sub>2</sub>. [39]



Εικόνα 2.8: Στάδια παραγωγής φυτικών λαδιών. [39]

Πιο αναλυτικά η διαδικασία παραγωγής ενός φυτικού λαδιού RBD (Refined, Bleached & Deodorized) που υπάρχει στην αγορά καθαρίζεται, αποσμήχεται και λευκαίνεται.

Τέτοιες διαδικασίες είναι γνωστές στο βιομηχανικό κλάδο παραγωγής φυτικών ελαίων. Η διαδικασία αυτή ξεκινά με τον χωρισμό του στερεού υλικού όπου στη συνέχεια το λάδι με τη χρήση πρόσθετων διαλυτών αφαιρεί πολλά ανεπιθύμητα συστατικά. Για την εξουδετέρωση της κακοσμίας γίνεται χρήση ατμού όπου αφαιρεί πτητικές ουσίες που δημιουργούν μυρωδιές. Στη διαδικασία της λεύκανσης συνήθως επιλέγονται φίλτρα πηλού, τα οποία καθαρίζουν περαιτέρω το λάδι. Το λάδι RBD έχει διάφορες τιμές πάνω από τα όρια με τις αγωγιμότητες να είναι 5 έως 50 pS/m. Για τη χρήση στους μετασχηματιστές η επιθυμητή αγωγιμότητα είναι 1 pS/m και κάτω. Για την επίτευξη αυτής της τιμής χρησιμοποιείται πρόσθετος πηλός με καλύτερη δύναμη προσφοράς. Έτσι μετά περνάει από ένα μετρητή ο οποίος ελέγχει την αγνότητα του. Το τελικό στάδιο είναι η αφυδάτωση του λαδιού. Τα φυτικά λάδια είναι υγροσκοπικά επομένως μπορούν να απορροφήσουν νερό περίπου 1200 PPM ή και παραπάνω, στον κορεσμό και στη θερμοκρασία δωματίου. Η επιθυμητή τιμή είναι να πέσει στα 100PPM. Η σταθεροποίηση του λαδιού επιτυγχάνεται προσθέτοντας τα κατάλληλα αντιοξειδωτικά. Συχνά χρησιμοποιούμενοι ανασταλτικοί παράγοντες (DBPC) και αντιοξειδωτικά βαθμού τροφίμων δεν είναι αρκετά δυνατά να δημιουργήσουν ένα λάδι που είναι αποδεκτό στις δοκιμές οξείδωσης ASTM. Ένα γνωστό ρευστό που χρησιμοποιείται, δηλαδή μια ειδική αντιοξειδωτική ρευστή ουσία που περιέχει σύνθετες φαινόλες και αμίνες προστίθεται στο φυτικό λάδι σε μικρές ποσότητες. Οι μεγάλες ποσότητες μπορεί να φτάσουν την αγωγιμότητα σε μη αποδεκτά επίπεδα. Ένα επιθυμητό επίπεδο που πρέπει να κρατηθεί στο φυτικό λάδι από πρόσθετες ουσίες είναι κάτω του 1%. Η σταθερότητα οξείδωσης ενός φυτικού λαδιού εξαρτάται αρκετά από το περιεχόμενο σε μονοακόρεστα, το οποίο θα πρέπει να είναι πάνω από το 80% για μακροπρόθεσμη χρήση σε ένα μετασχηματιστή. Η δοκιμή ροής αποτελεί ίσως την πιο σημαντική από τις τιμές οξύτητας για ένα φυτικό λάδι μετά από τη δοκιμή οξείδωσης. [5],[10],[29],[30]

### 2.3.2 Συσσκευασία

Τα φυτικά έλαια με το πέρασ του χρόνου αλλοιώνονται. Με την αποθήκευσή τους σε συσκευασία και πλήρως σφραγισμένη χωρίς να περνάει οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα διατηρούν την απόδοσή τους σε αρκετό χρονικό διάστημα. Ιδανικές θερμοκρασίες αποθήκευσης θεωρούνται οι θερμοκρασίες από τους 0°C έως 25°C, καθώς με τις χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να σχηματίσουν ιζήματα ενώ με τις υψηλές θερμοκρασίες αυξάνεται ο ρυθμός οξείδωσης. Επιπλέον όπως και ορυκτά λάδια, με τις συνεχόμενες εναλλαγές θερμοκρασίας μπορεί το προϊόν να τραβήξει αέρα στη συσκευασία και να μολυνθεί από την υγρασία αφού το νερό προωθεί την ανάπτυξη μικροβίων στην διεπιφάνεια του. Για αυτό το λόγο, συνίσταται η αποθήκευση σε ξηρό μέρος και κατά προτίμηση σε εσωτερικό χώρο. Με αυτές τις προϋποθέσεις τα φυτικά έλαια μπορούν να έχουν μια διάρκεια ζωής έως και 10-15 χρόνων. Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω συνθήκες έχει παρατηρηθεί γενικά πως είναι προτιμότερο να συσκευάζονται τα έλαια σε μεταλλικά δοχεία (τύπου κονσερβοκούτια ή γαλβανισμένα σιδερένια βαρέλια). Η διαδικασία της συσκευασίας δε διαφέρει και πολύ από αυτή των ορυκτών λαδιών. Επομένως ισχύει ότι η παραγωγή ενός κιλού λευκοσιδήρου εκτέμπει

2,33 κιλά CO<sub>2</sub>, άρα για ένα βαρέλι 200 λίτρων που ζυγίζει κατά μέσο 23 κιλά εκπέμπονται 53,59 κιλά CO<sub>2</sub>. Τα 1000 λίτρα φυτικού λαδιού αντιστοιχούν σε 900 κιλά φυτικού λαδιού. Για 1000 κιλά φυτικού λαδιού που αντιστοιχεί σε 1111 λίτρα φυτικού λαδιού οι εκπομπές που παράγονται για τη δημιουργία συσκευασίας λευκοσιδήρου είναι 297,4 κιλά CO<sub>2</sub>. Για τη μείωση εκπομπών των συσκευασιών συμβάλλει η ανακύκλωσή τους. [35], [36], [37]

### 2.3.3 Μεταφορά

Σε αυτό το στάδιο οι εκπομπές των φυτικών λαδιών είναι παρεμφερείς με αυτές των ορυκτών λαδιών καθώς δε διαφέρει σε μεγάλο βαθμό η μεταφορά του τελικού προϊόντος. Επομένως, σε ένα υποθετικό σενάριο για μία τυχαία απόσταση 1000 χιλιομέτρων, για ένα φορτηγό Euro 6 όπου οι εκπομπές CO<sub>2</sub> κυμαίνονται από 52 έως 64g/tkm και μεταφέρει 20 τόνους φυτικών λαδιών εκπέμπονται 1160 κιλά CO<sub>2</sub>. [38]

### 2.3.4 Χρήση-Επαναχρησιμοποίηση

Το φυτικό λάδι κατά τη λειτουργία του σε ένα μετασχηματιστή μπορεί να υποστεί χημικές μεταβολές λόγω των ηλεκτρικών και θερμικών καταπονήσεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι μεταβολές αυτές να εκλύουν και να απορροφούν αέρια, τα οποία δημιουργούν δυσλειτουργίες στο λάδι μεταβάλλοντας τις ηλεκτρικές του ιδιότητες. Οι εκπομπές σε αυτό το στάδιο AKZ είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με άλλα στάδια. Οι εκπομπές αερίων που μπορούν να προκύψουν κατά την χρήση του φυτικού λαδιού παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.6. [10]

### 2.3.5 Ανακύκλωση/Ανάκτηση αποβλήτων/Τελική διάθεση

Με την ανακύκλωση του φυτικού λαδιού οι εκπομπές που παράγονται δεν είναι πολύ μεγάλες. Χρησιμοποιώντας διάφορες ουσίες και διαδικασίες καθαρίζεται το γηρασμένο λάδι και επαναφέρεται στην αρχική του κατάσταση. Έτσι, μετά το τέλος της λειτουργικής τους ζωής μπορούν να ανακυκλωθούν και να διατεθούν ξανά στο εμπόριο. Επιπλέον, μια πολύ καλή επιλογή αποτελεί η παραγωγή πρώτης ύλης για τα βιοκαύσιμα. Η χρήση τους μας δίνει μια ελπιδοφόρα λύση για την αντιμετώπιση της μελλοντικής έλλειψης πετρελαίου, όπως επίσης και την αποδέσμευση σε μεγάλο βαθμό από την αγορά πετρελαίου καθώς υπάρχουν πολλές διακυμάνσεις. Τα φυτικά λάδια στην ουσία είναι φυσικά προϊόντα διαθέσιμα σε αφθονία (προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές) με υψηλό σημείο ανάφλεξης. [16]

Οι επιπτώσεις των φυτικών ελαίων στο περιβάλλον σε σύγκριση με αυτές των ορυκτών ελαίων συνοψίζονται στο παρακάτω πίνακα.

Properties	Standard	Mineral Oil	Natural Ester Liquid
Fire Safety Class	IEC	O1	K2
Flash Point(°C)	ASTM	Limit 145	Limit 275
	IEEE	-	Min. 275
	IEC	>=135	Min.250
Fire Point(°C)	ASTM	Limit 170	Limit 300
	IEEE	-	Min. 300
	IEC	-	Min.300
Calorific Value MJ/kg	Ref.[23]	46	37,5
Transformer separation distance requirement from other transformer or building or other substation equipment	FM GLOBAL STANDARD 3990	1/10th The distance required for mineral oil immersed transformers	
Requirement of Fire extinguishing system		Needed	Not required even for indoor application

Πίνακας 2.1 : Ιδιότητες για ορυκτά και φυτικά έλαια. [40]

Properties	Standard	Mineral Oil	Natural Ester Liquid
Biodegradability	Method OECD 301F	<10%	>94%
Soil Eco-toxicity	OECD Methods	Toxic/forms toxic products	Non-Toxic fresh as well as aged oil
Acute aquatic toxicity	OECD 203	Toxic	Non-Toxic
Acute Oral toxicity	OECD 420	Toxic	Non-Toxic
Contamination with ground water		To avoid contamination with ground water oil compartment in the foundation is needed	Due to fast biological degradation, on major leakage no need of oil compartment in the foundation
Total life cycle carbon footprint	Dept. Of Commerce NIST BEES V 4.0	Natural Ester has less than 2% of the carbon foot print than mineral oil	
Overall environmental impact	Dept. Of Commerce NIST BEES V 4.0	1/4 <sup>th</sup> Impact of mineral oil	
Greenhouse gases attributed to transformer liquid for its complete life cycle	TONS per 1000 Gallons	4.18	0.075
Carbon Neutral		Not Carbon Neutral	Carbon Neutral
Corrosive sulphur	ASTM D1275-06 Method	Non Corrosive	Not Detected

Πίνακας 2.2: Επιπτώσεις στο περιβάλλον για ορυκτά και φυτικά έλαια. [40]

### 3. Ανάλυση Κύκλου Ζωής Μέσω Λογισμικού

Στις μέρες μας υπάρχουν διάφορα εργαλεία για την αξιολόγηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (LCA). Το Open LCA, Sima Pro , GaBi και Umberto αποτελούν κορυφαία προγράμματα για την αξιολόγηση αυτή σε ολόκληρο τον κόσμο. Κάθε πρόγραμμα έχει σημαντικές διαφορές ως προς τα εργαλεία, τις αρχές μοντελοποίησης και τις βάσεις δεδομένων. Με την έννοια αυτή μπορούν να δημιουργηθούν αποτελέσματα που διαφέρουν ανάλογα με το λογισμικό που έχει επιλέξει ο χρήστης. Σε αρκετές περιπτώσεις οι αρχές μοντελοποίησης είναι ίδιες ή παρόμοιες αλλά τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι διαφορετικά (για την εκτίμηση των επιπτώσεων που μπορεί να προκαλέσει ένα προϊόν στον κύκλο ζωής του). Κάποιες φορές οι διαφορές αυτές μπορούν να επηρεάσουν τις αποφάσεις και τα συμπεράσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής του προϊόντος που διεξάγουμε. Έτσι η LCA απαιτεί χειρισμό μεγάλου αριθμού δεδομένων καθώς και χρήση συγκεκριμένων εργαλείων λογισμικού όπου μπορεί να διευκολύνει τη διαδικασία αυτή. Τα λογισμικά αυτά είναι διαθέσιμα στην αγορά και μπορούν να αγοραστούν ή να διατεθούν δωρεάν σε κάποιο ποσοστό τους.

#### **SIMA PRO**

Το Sima Pro είναι ένα πρόγραμμα που βοηθά να εφαρμόσουμε αποτελεσματικά την τεχνογνωσία μας στη βιωσιμότητα του προϊόντος, για να ενισχύσουμε την λήψη αποφάσεων (πληροφόρηση), να αλλάξουμε τους κύκλους ζωής των προϊόντων προς το καλύτερο και να αυξήσουμε τον θετικό αντίκτυπο της οποιαδήποτε εταιρίας. Το λογισμικό αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να αποκτήσουμε γνώσεις σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των προϊόντων και των υπηρεσιών τους. Συγκαταλέγεται στις κορυφαίες λύσεις λογισμικών LCA για πάνω από 30 χρόνια και χρησιμοποιείται από πανεπιστήμια, εταιρίες και συμβούλους σε περισσότερες από 81 χώρες. Αποτελεί λύση για την ανάλυση, τη συλλογή και την παρακολούθηση των δεδομένων απόδοσης βιωσιμότητας των προϊόντων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές όπως: (1) την αποτύπωση άνθρακα και νερού, (2) την αναφορά βιωσιμότητας, (3) τη δημιουργία περιβαλλοντικών δηλώσεων προϊόντων, (4) τον σχεδιασμό προϊόντων και (4) των καθορισμό βασικών δεικτών απόδοσης. Επομένως, με το πρόγραμμα Sima Pro μπορούμε να μοντελοποιήσουμε και να αναλύσουμε εύκολα σύνθετους κύκλους ζωής με διαφανή και συστηματικό τρόπο, να μετρήσουμε τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο των προϊόντων και των υπηρεσιών σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής. [42]

#### **GABI**

Το GaBi αποτελεί ένα από τα κορυφαία λογισμικά μοντελοποίησης και αναφοράς για τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος με διαισθητική καταγραφή δεδομένων και αναλύσεις αποτελεσμάτων. Επιτρέπουν στους επαγγελματίες τους είδους να επηρεάσουν τις επιχειρηματικές αποφάσεις τους συμβάλλοντας στη μείωση του κινδύνου, στην εξοικονόμηση χρημάτων, στην εύρεση των οφελών του προϊόντος καθώς και στην αύξηση των εσόδων. Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση κάθε πρώτης ύλης και διεργασίας σε κάθε φάση, από την εξόρυξη έως και το τέλος του κύκλου ζωής του.

Στην ουσία ενισχύει την ανάγκη για οικολογική δράση και εντοπίζει πιο αποτελεσματικά μέτρα προσαρμογής, ενθαρρύνει την περιβαλλοντική καινοτομία εφαρμόζοντας αξιολογήσεις για τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος και γενικά δημιουργεί κατανόηση στον τρόπο λειτουργίας του κύκλου ζωής. [42]

## UMBERTO

Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάλυση και βελτίωση της περιβαλλοντικής ισορροπίας. Με το πρόγραμμα Umberto μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα γραφικό μοντέλο συστήματος παραγωγής και κατ' επέκταση τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος όπου θα πραγματοποιεί μια πλήρη εκτίμηση των επιπτώσεων στον κύκλο ζωής του. Μπορούμε επίσης να το χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό της περιβαλλοντικής δήλωσης προϊόντος (EPD) καθώς και για το περιβαλλοντικό αποτύπωμα προϊόντος (PEF) εάν μια επιχείρηση προχωρήσει στην τήρηση αυτών των προτύπων. [42]

### 3.1 Πρόγραμμα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής OPEN LCA

The open source software for sustainability assessment.  
For modeling the life cycle of things.  
Licenced under the Mozilla Public Licence 2.0.  
Created and maintained since 2006 by GreenDelta, Berlin  
1.11.0 (Windows 64 bit)

You can make the calculation in openLCA faster. [Learn more.](#)

What is new in openLCA >

Getting started >

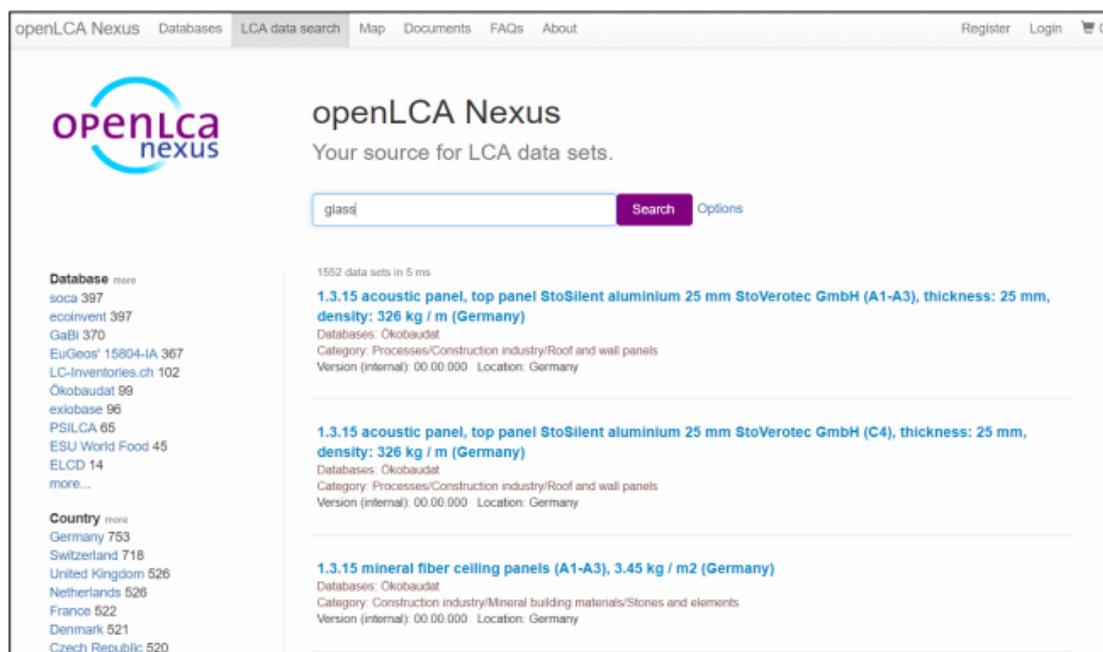
Manuals, case studies and data >

Εικόνα 3.1: Αρχική σελίδα OPEN LCA.

Για να μπορέσουμε να αναλύσουμε και να συγκρίνουμε τον κύκλο ζωής των ορυκτών και φυτικών λαδιών καταλήξαμε στην επιλογή του λογισμικού προγράμματος OPEN LCA. Το OPEN LCA είναι ευέλικτο και ικανό πρόγραμμα που μπορεί να καλύψει τις ανάγκες διαφόρων ομάδων χρηστών(πχ. Παροχή συμβουλών, βιομηχανία, έρευνα και εκπαίδευση.). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλές διαφορετικές εφαρμογές, για παράδειγμα:

- LCA, Κόστος Κύκλου Ζωής (LCC), Αξιολόγηση Κύκλου Κοινωνικής Ζωής (S-LCA)
- Αποτυπώματα άνθρακα και νερού
- Περιβαλλοντική Δήλωση Προϊόντος (EPD)
- Σχεδιασμός της Υπηρεσίας Περιβαλλοντικής Προστασίας των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA)
- Ολοκληρωμένη πολιτική προϊόντων (IPP)

Μέσω του Open LCA Nexus (<https://nexus.openlca.org>) όπου αποτελεί ένα διαδικτυακό χώρο αποθήκευσης δεδομένων LCA μπορούμε να κατεβάσουμε δωρεάν ή με πληρωμή δεδομένα τα οποία μας ενδιαφέρουν. Τα δεδομένα προσφέρονται από διάφορους κορυφαίους παρόχους όπως Ecoinvent ,Gabi, PE International , ELCDD.



Εικόνα 3.2: Αρχική σελίδα στο Open LCA Nexus.



Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξηγήσουμε το τρόπο λειτουργίας του και θα συγκρίνουμε το περιβαλλοντικό κόστος των μονωτικών λαδιών φυτικής και πετρελαϊκής προέλευσης που είναι και το αντικείμενο της διπλωματικής.. Η ανάλυση κύκλου ζωής (LCA) του προγράμματος είναι τυποποιημένη στα πρότυπα ISO 14040 και 14044. Στο OPEN LCA μπορούμε να υπολογίσουμε γρήγορα και αξιόπιστα την βιωσιμότητα ή τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος. Υπάρχουν πολύ λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τα αποτελέσματα υπολογισμού και ανάλυσης. Μπορούμε να προσδιορίσουμε τον κύριο στόχο καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής.(Όπως αναλύσαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος έχει διάφορα στάδια. Με το πρόγραμμα μπορούμε να εστιάσουμε σε ένα ή και περισσότερα από αυτά.). Επίσης μπορούμε να επιλέξουμε διάφορες χώρες και ηπείρους που θα εστιάσουμε την έρευνα. Η δυνατότητα να διαλέξουμε κατηγορίες επιπτώσεων επιλέγεται βάση αυτών που επιζητάμε (πχ. μπορούμε να εστιάσουμε στις εκπομπές που δημιουργούνται στα χερσαία οικοσυστήματα) Είναι φιλικό προς τον χρήστη, υπάρχει σε διάφορες γλώσσες και γενικότερα γίνονται συνεχείς βελτιώσεις και εφαρμογές νέων λειτουργιών.

Για να μπορέσουμε να λειτουργήσουμε σωστά το πρόγραμμα πρέπει να έχουμε και τα κατάλληλα δεδομένα (database) ή να τα δημιουργήσουμε. Υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα όπου προαναφέρθηκε και προκύπτουν βάσει ερευνών (Open LCA Nexus) όπου διαβάζοντας την περιγραφή τους μπορούμε να προσδιορίσουμε αν είναι κατάλληλα για εμάς. Κατά την δημιουργία δεδομένων θα πρέπει να γνωρίζουμε τις εισροές και εκροές από το αντίστοιχο προϊόν. Στην σύγκριση δύο προϊόντων θα πρέπει να γνωρίζουμε τα όρια μελέτης για να μπορέσουμε να την κάνουμε σωστά. Από κει και πέρα τα αποτελέσματα της σύγκρισης θα εξαρτηθούν από τις μεθόδους που θα επιλέξουμε να γίνει ο υπολογισμός της AKZ των προϊόντων .Με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσουμε και εμείς να εκτιμήσουμε το περιβαλλοντικό κόστος των μονωτικών λαδιών.

### 3.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής και εκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους μονωτικών ελαίων φυτικής και πετρελαϊκής προέλευσης με το λογισμικό OPEN LCA

Μετά από εκτεταμένη έρευνα και μελέτη τα δεδομένα που μας παρέχει το πρόγραμμα για ορυκτά και φυτικά λάδια δεν αφορούν κατά κύριο λόγο την χρήση τους για μετασχηματιστές. Συγκεκριμένα τα λάδια που ψύχουν και απάγουν την θερμότητα από μια μηχανή αυτοκινήτου δεν διαφέρουν και πολύ από αυτά των μετασχηματιστών. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν δεν χρειάστηκε να κατέβουν από την βάση δεδομένων Open LCA Nexus (τα δεδομένα που μας αφορούσαν σε αυτόν τον ιστότοπο ήταν επί πληρωμή) καθώς ήταν εγκατεστημένα με την αρχική εγκατάσταση του προγράμματος Open LCA. Με τα δεδομένα(database) που μας παρέχει πρόγραμμα καταλήξαμε να διαλέξουμε τα εξής :

1) market for lubricating oil

## 2) market for vegetable oil

Με τα συγκεκριμένα δεδομένα που μας παρέχει το πρόγραμμα οι έρευνες των λαδιών που θα συγκρίνουμε αφορά τις εκπομπές σε δύο κύρια στάδια της διάρκειας ζωής τους (κατά την συλλογή-εξαγωγή και την παραγωγή).

Τα δεδομένα για τα ορυκτά λάδια που έχουμε διαλέξει είναι τα εξής :

### **Market for lubricating oil – Glo**

Manufacture of refined petroleum products

Production volume : 41399837600 kg

Geography : The inventory is modelled for Global

Start date : 01/01/2012

End date : 31/12/2018

Version: 3.0.2.1

Τα δεδομένα για τα φυτικά λάδια που έχουμε διαλέξει είναι τα εξής

### **Market for vegetable oil -refined Glo**

Production volume : 52937483274 kg

Geography : The inventory is modelled for Global

Start date : 01/01/2012

End date : 31/12/2018

Version : 3.0.2.0

Όπως είναι λογικό η παραγωγή των δύο λαδιών δεν είναι ίση, αυτό όμως δεν παίζει κανένα ρόλο στην τελική ανάλυση του κύκλου ζωής. Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τα 2 λάδια θα πρέπει να βάλουμε τον αριθμό 1000 kg στο Target Amount στο Product System. Η σύγκριση που θα κάνουμε στα έλαια θα είναι εκπομπές ανά ένα τόνο παραγωγής τους. Μια σωστή ανάλυση κύκλου ζωής στο πρόγραμμα OPEN LCA δεν θα μπορούσε να γίνει χωρίς τα inputs-outputs. Τα inputs αφορούν τα στοιχεία που συντελούν για την παραγωγή των λαδιών και γενικά τα στοιχεία που υπάρχουν μέχρι την ολοκλήρωση της παραγωγής τους. Τα outputs αφορούν τις εκπομπές που παράγουν σε κάποια τα στάδια. (εξόρυξη-συλλογή και παραγωγή, δεν υπάρχει η μεταφορά, συσκευασία, χρήση, ανακύκλωση και γενικά την τελική τους διάθεση πίσω στο περιβάλλον.). Τα inputs και outputs προκύπτουν από έρευνες και τα παίρνουμε έτοιμα από τα δεδομένα που έχουμε κατεβάσει μαζί με το πρόγραμμα.

## P Inputs/Outputs: market for lubricating oil

### ▼ Inputs

Flow	Category	Amount	Unit
F Aluminium	Resource/in ground	0.00123	kg
F Anhydrite	Resource/in ground	5.46465E-7	kg
F Argon	Resource/in air	7.79839E-5	kg
F Barite	Resource/in ground	0.00424	kg
F Basalt	Resource/in ground	0.00023	kg
F Borax	Resource/in ground	3.04592E-7	kg
F Bromine	Resource/in water	3.68896E-9	kg
F Cadmium	Resource/in ground	2.02983E-5	kg
F Calcite	Resource/in ground	0.02559	kg
F Carbon dioxide, in air	Resource/in air	0.02810	kg
F Carbon, organic, in soil or biomass sto...	Resource/in ground	2.13096E-5	kg
F Carnallite	Resource/in water	1.21208E-7	kg
F Cerium	Resource/in ground	1.11926E-12	kg

### ▼ Outputs

Flow	Category	Amount	Unit
F Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	Emission to water/unspecified	1.17595E-18	kg
F Hydrocarbons, aromatic	Emission to air/high populatio...	4.76003E-6	kg
F Hydrocarbons, aromatic	Emission to air/low population...	1.04660E-7	kg
F Hydrocarbons, aromatic	Emission to air/unspecified	2.20659E-6	kg
F Hydrocarbons, aromatic	Emission to water/ocean	1.75170E-6	kg
F Hydrocarbons, aromatic	Emission to water/river	2.60503E-5	kg
F Hydrocarbons, chlorinated	Emission to air/high populatio...	5.43156E-9	kg
F Hydrocarbons, chlorinated	Emission to air/low population...	5.31902E-9	kg
F Hydrocarbons, chlorinated	Emission to air/unspecified	1.26781E-8	kg
F Hydrocarbons, unspecified	Emission to air/low population...	1.59960E-9	kg
F Hydrocarbons, unspecified	Emission to soil/unspecified	2.08433E-9	kg
F Hydrocarbons, unspecified	Emission to water/ocean	1.71560E-6	kg
F Hydrocarbons, unspecified	Emission to water/river	1.94507E-6	kg

Εικόνα 3.3: Εκτύπωση οθόνης στα Inputs-Outputs για τα ορυκτά λάδια (Τυχαίο σημείο από τα flows διότι είναι πάρα πολλά).

## P Inputs/Outputs: market for vegetable oil, refined

▼ Inputs			
Flow	Category	Amount	Unit
F Transformation, to urban/industrial fall...	Resource/land	1.53621E-9	m.
F Transformation, to water bodies, artific...	Resource/land	2.09803E-5	m.
F Transformation, to wetland, inland (no...	Resource/land	5.81182E-20	m.
F Ulexite	Resource/in ground	8.51367E-8	kg
F Uranium	Resource/in ground	1.53258E-6	kg
F Volume occupied, final repository for l...	Resource/in ground	1.68356E-8	m.
F Volume occupied, final repository for r...	Resource/in ground	5.93672E-10	m.
F Volume occupied, reservoir	Resource/in water	0.00503	m.
F Volume occupied, underground deposit	Resource/in ground	1.29869E-8	m.
F Water, cooling, unspecified natural ori...	Resource/in water	1.90565E-5	m.
F Water, cooling, unspecified natural ori...	Resource/in water	0.00020	m.
F Water, cooling, unspecified natural ori...	Resource/in water	2.02327E-5	m.
F Water, cooling, unspecified natural ori...	Resource/in water	0.00011	m.

▼ Outputs			
Flow	Category	Amount	Unit
F Carbon	Emission to water/ground water	2.13619E-9	kg
F Carbon dioxide, biogenic	Emission to air/high population ...	1.25519	kg
F Carbon dioxide, biogenic	Emission to air/low population ...	0.00177	kg
F Carbon dioxide, biogenic	Emission to air/unspecified	0.00034	kg
F Carbon dioxide, fossil	Emission to air/high population ...	0.15299	kg
F Carbon dioxide, fossil	Emission to air/low population ...	0.38059	kg
F Carbon dioxide, fossil	Emission to air/lower stratosphe...	6.25124E-6	kg
F Carbon dioxide, fossil	Emission to air/unspecified	0.16869	kg
F Carbon dioxide, land transformation	Emission to air/low population ...	0.00000	kg
F Carbon dioxide, land transformation	Emission to air/unspecified	0.44003	kg
F Carbon dioxide, to soil or biomass stock	Emission to soil/unspecified	0.01202	kg
F Carbon disulfide	Emission to air/high population ...	6.08676E-9	kg
F Carbon disulfide	Emission to air/low population ...	3.09624E-6	kg

Εικόνα 3.4: Εκτύπωση οθόνης στα Inputs-Outputs για τα φυτικά λάδια (Τυχαίο σημείο από τα flows διότι είναι πάρα πολλά).

Έχοντας έτοιμα τα inputs-outputs των ορυκτών και φυτικών λαδιών όπου έχουν προκύψει βάσει ερευνών θα πρέπει να καθορίσουμε τον κύριο στόχο μας, ο οποίος είναι η σύγκριση του περιβαλλοντικού κόστους των δύο λαδιών. Έχοντας σαν στόχο αυτό επιλέγουμε στο LCA Method την συγκεκριμένη μέθοδο( ReCiPe 2016 Midpoint H) που θα μας αποφέρει την σύγκριση των ορυκτών και φυτικών λαδιών σε 18 κατηγορίες περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

### 3.2.1 Χερσαία Οικοτοξικότητα

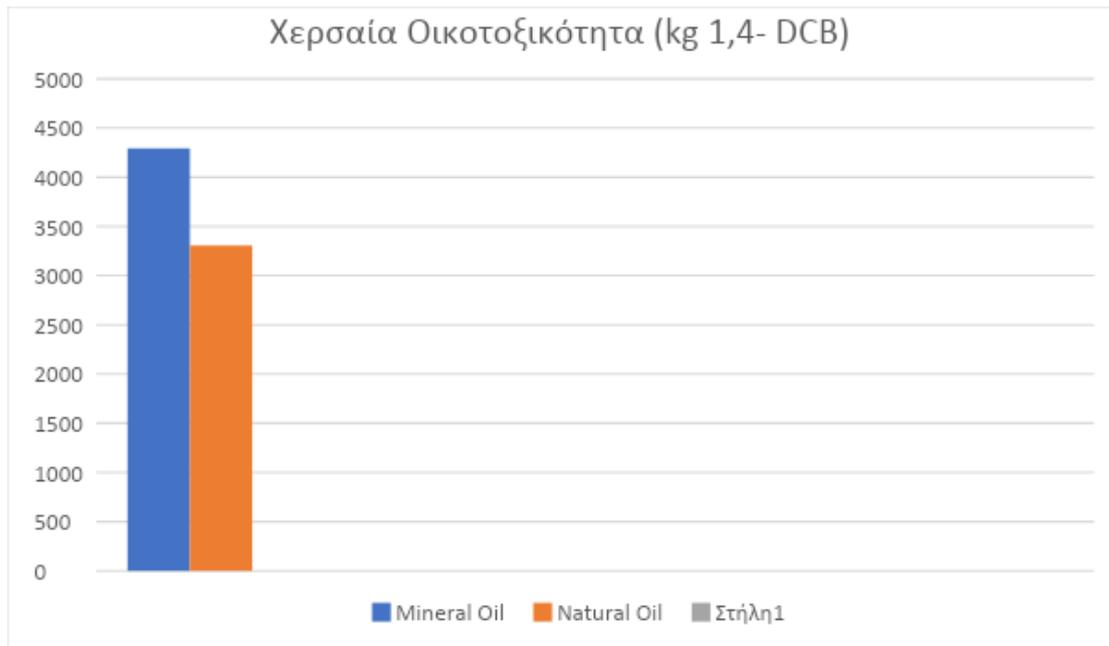
Τα αποτελέσματα των υπολογισμών του OPEN LCA για τη χερσαία οικοτοξικότητα:

Name	Category	Inventory re...	Impact factor	Impact result	Unit
▼  Terrestrial ecotoxicity				4291.82647	kg 1,4-DCB
▼ <b>P</b> market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			■ 4291.82647	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Copper	Emission to air / low population density	0.00113 kg	1.75000E6 kg 1,4-DCB/kg	■ 1983.42673	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Copper	Emission to air / unspecified	0.00036 kg	1.21000E6 kg 1,4-DCB/kg	■ 434.77082	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Nickel	Emission to air / low population density	0.00095 kg	2.71000E5 kg 1,4-DCB/kg	■ 257.72627	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Zinc	Emission to air / high population density	0.00171 kg	1.36000E5 kg 1,4-DCB/kg	■ 232.26847	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Zinc	Emission to air / low population density	0.00110 kg	1.96000E5 kg 1,4-DCB/kg	■ 216.44509	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Vanadium	Emission to air / high population density	0.00110 kg	1.87000E5 kg 1,4-DCB/kg	■ 206.32740	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Copper	Emission to air / high population density	0.00017 kg	1.21000E6 kg 1,4-DCB/kg	■ 204.36372	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Antimony	Emission to air / unspecified	0.00065 kg	2.25000E5 kg 1,4-DCB/kg	■ 145.86161	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Chromium	Emission to air / low population density	0.00198 kg	6.06000E4 kg 1,4-DCB/kg	■ 119.83979	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Nickel	Emission to air / high population density	0.00053 kg	1.87000E5 kg 1,4-DCB/kg	■ 100.04269	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Lead	Emission to air / low population density	0.00115 kg	6.24000E4 kg 1,4-DCB/kg	■ 71.58672	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Zinc	Emission to air / unspecified	0.00041 kg	1.36000E5 kg 1,4-DCB/kg	■ 55.99108	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Mercury	Emission to air / low population density	2.22638E-5 kg	2.02000E6 kg 1,4-DCB/kg	■ 44.97295	kg 1,4-DCB

Εικόνα 3.5: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την χερσαία οικοτοξικότητα.

Name	Category	Inventory res...	Impact factor	Impact result	Unit
▼  Terrestrial ecotoxicity				3308.59614	kg 1,4-DCB
▼ <b>P</b> market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			■ 3308.59614	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Copper	Emission to air / low population density	0.00047 kg	1.75000E6 kg 1,4-DCB/kg	■ 829.02717	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Antimony	Emission to air / unspecified	0.00249 kg	2.25000E5 kg 1,4-DCB/kg	■ 560.41069	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Zinc	Emission to air / high population density	0.00230 kg	1.36000E5 kg 1,4-DCB/kg	■ 313.04655	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Copper	Emission to air / high population density	0.00019 kg	1.21000E6 kg 1,4-DCB/kg	■ 226.00263	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Copper	Emission to air / unspecified	0.00014 kg	1.21000E6 kg 1,4-DCB/kg	■ 164.42213	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Zinc	Emission to air / low population density	0.00068 kg	1.96000E5 kg 1,4-DCB/kg	■ 133.86489	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Zinc	Emission to air / unspecified	0.00096 kg	1.36000E5 kg 1,4-DCB/kg	■ 130.17915	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Nickel	Emission to air / low population density	0.00045 kg	2.71000E5 kg 1,4-DCB/kg	■ 123.19009	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Vanadium	Emission to air / high population density	0.00057 kg	1.87000E5 kg 1,4-DCB/kg	■ 105.77109	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Glyphosate	Emission to air / low population density	0.05255 kg	1510.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 79.34702	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Chromium	Emission to air / low population density	0.00129 kg	6.06000E4 kg 1,4-DCB/kg	■ 78.30171	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Diflubenzuron	Emission to soil / agricultural	0.05912 kg	1240.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 73.31184	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Acetic acid	Emission to air / low population density	0.49999 kg	125.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 62.49916	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Nickel	Emission to air / high population density	0.00024 kg	1.87000E5 kg 1,4-DCB/kg	■ 44.46058	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Mercury	Emission to air / unspecified	2.82360E-5 kg	1.38000E6 kg 1,4-DCB/kg	■ 38.96562	kg 1,4-DCB
<b>F</b> Esfenvalerate	Emission to air / low population density	2.47882E-5 kg	1.46000E6 kg 1,4-DCB/kg	■ 36.19083	kg 1,4-DCB

Εικόνα 3.6: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την χερσαία οικοτοξικότητα.



Γράφημα 3.1: Σύγκριση εκπομπών για την χερσαία οικοτοξικότητα.

Η αξιολόγηση επιπτώσεων του κύκλου ζωής των μονωτικών λαδιών επιτυγχάνεται με την μετατροπή των ουσιών που εκπέμπονται κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής τους (outputs). Η μετατροπή αυτή αποτυπώνεται σε πιθανές επιπτώσεις στο περιβάλλον, το οποίο περιλαμβάνει και τα χερσαία οικοσυστήματα. Το 1,4 DCB στην ουσία είναι μια οργανική ένωση με τον τύπο  $C_6H_4CL_2$  (Διχλωροβενζόλιο) έχοντας έντονη οσμή ενώ το 1,4 περιγράφει την μοριακή της μάζα.

Οικοτοξικότητα ονομάζουμε τα απόβλητα που παρουσιάζουν ή που είναι δυνατόν να παρουσιάσουν άμεσο ή μελλοντικό κίνδυνο για ένα ή περισσότερους τομείς του περιβάλλοντος. Επομένως χερσαία οικοτοξικότητα αφορά τον τρόπο με τον οποίο οι περιβαλλοντικοί ρύποι επηρεάζουν τους εξαρτώμενους από τη γη οργανισμούς (ζωικούς και φυτικούς) καθώς και το περιβάλλον τους. [43]

Τα διαθέσιμα δεδομένα που έχουμε για την οικοτοξικότητα του εδάφους επιτρέπουν στον υπολογισμό εννέα μετάλλων και μεταλλοειδών As (αρσενικό), Be (βηρύλλιο), Cr (Χρώμιο), Sb (Αντιμόνιο), V (Βανάδιο), Pb (Μόλυβδος), Cu (Χαλκός), Zn (Ψευδάργυρος), Ni (Νικέλιο). Η μέθοδος USES-LCA (Υπολογισμός 181 ουσιών για 6 κατηγορίες επιπτώσεων), περιγράφει τρεις διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού μιας PNEC (Predicted no-effect concentration), η οποία στη συνέχεια συγκρίνεται με την προβλεπόμενη περιβαλλοντική συγκέντρωση PEC (Predicted environmental concentration). Στην πρώτη, το PNEC soil ορίζεται ως το όριο εμπιστοσύνης 50% της συγκέντρωσης που προστατεύει το 95% των χερσαίων ειδών, όποτε είναι διαθέσιμα NOEC (No observed effect concentration). Στη δεύτερη, ένας συντελεστής αξιολόγησης (AF) εφαρμόζεται στην πιο τοξική τιμή, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή επιτροπή. Στην τρίτη, γίνεται παρέκταση από την αντίστοιχη υδρόβια PNEC, όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για την επίγεια οικοτοξικότητα. Απαιτείται ο συντελεστής προσρόφησης στερεό-νερό ( $K_d$ ) και η πυκνότητα του εδάφους. Οι εκπομπές των μετάλλων είναι αρκετά ανθεκτικές και δεν υπόκεινται σε υποβάθμιση αλλά σε διαφορετικούς (γενικά αναστρέψιμους) μετασχηματισμούς. [43]

Όπως μπορούμε να δούμε στις εκπομπές που παράγουν τα δύο λάδια ανά τόνο, τα ορυκτά λάδια παράγουν περισσότερες εκπομπές απ' ό,τι τα φυτικά λάδια. Η διαφορά αυτή δικαιολογείται από την εκτεταμένη χρήση χημικών ουσιών κατά την επεξεργασία των ορυκτών λαδιών στα διυλιστήρια.

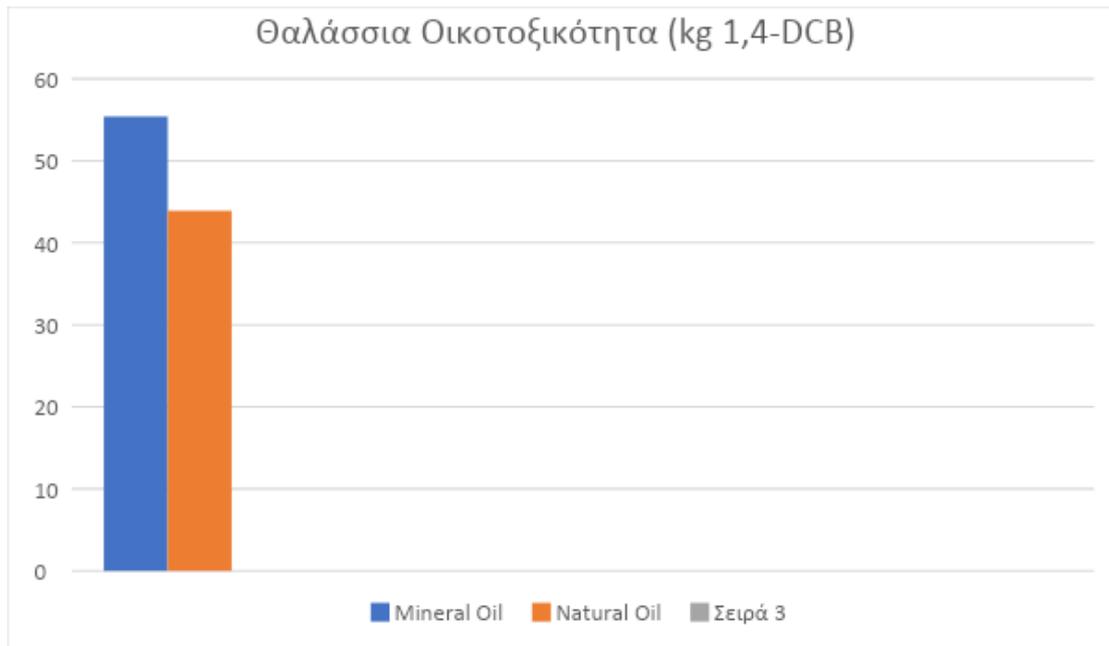
### 3.2.2 Θαλάσσια Οικοτοξικότητα

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
▼ 🌿 Marine ecotoxicity				55.40385	kg 1,4-DCB
▼ P market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			■ 55.40385	kg 1,4-DCB
F Zinc	Emission to water / ground water, long-term	0.12153 kg	299.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 36.33839	kg 1,4-DCB
F Copper	Emission to water / ground water, long-term	0.03968 kg	193.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 7.65770	kg 1,4-DCB
F Nickel	Emission to water / ground water, long-term	0.03776 kg	57.10000 kg 1,4-DCB/kg	■ 2.15637	kg 1,4-DCB
F Vanadium	Emission to water / ground water, long-term	0.00674 kg	252.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 1.69740	kg 1,4-DCB
F Zinc	Emission to water / ocean	0.00455 kg	342.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 1.55608	kg 1,4-DCB
F Zinc	Emission to water / river	0.00397 kg	299.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 1.18602	kg 1,4-DCB
F Copper	Emission to air / low population density	0.00113 kg	732.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 0.82964	kg 1,4-DCB
F Chromium VI	Emission to water / ground water, long-term	0.00514 kg	130.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 0.66826	kg 1,4-DCB

Εικόνα 3.7: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την θαλάσσια οικοτοξικότητα.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
▼ 🌿 Marine ecotoxicity				43.89846	kg 1,4-DCB
▼ P market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			■ 43.89846	kg 1,4-DCB
F Zinc	Emission to water / ground water, long-term	0.06320 kg	299.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 18.89560	kg 1,4-DCB
F Copper	Emission to water / ground water, long-term	0.04228 kg	193.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 8.15977	kg 1,4-DCB
F Difluzenuron	Emission to soil / agricultural	0.05912 kg	58.60000 kg 1,4-DCB/kg	■ 3.46458	kg 1,4-DCB
F Endosulfan	Emission to soil / agricultural	0.01792 kg	193.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 3.45826	kg 1,4-DCB
F Nickel	Emission to water / ground water, long-term	0.02468 kg	57.10000 kg 1,4-DCB/kg	■ 1.40929	kg 1,4-DCB
F Vanadium	Emission to water / ground water, long-term	0.00541 kg	252.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 1.36414	kg 1,4-DCB
F Cypermethrin	Emission to soil / agricultural	0.01033 kg	88.70000 kg 1,4-DCB/kg	■ 0.91646	kg 1,4-DCB
F Chlorpyrifos	Emission to soil / agricultural	0.00679 kg	104.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 0.70663	kg 1,4-DCB
F Chromium VI	Emission to water / ground water, long-term	0.00504 kg	130.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 0.65493	kg 1,4-DCB
F Zinc	Emission to water / ground water	0.00213 kg	299.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 0.63830	kg 1,4-DCB
F Zinc	Emission to water / river	0.00160 kg	299.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 0.47760	kg 1,4-DCB
F Antimony	Emission to air / unspecified	0.00249 kg	189.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 0.47074	kg 1,4-DCB

Εικόνα 3.8: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την θαλάσσια οικοτοξικότητα.



Γράφημα 3.2: Σύγκριση εκπομπών για την θαλάσσια οικοτοξικότητα.

Η θαλάσσια οικοτοξικότητα αφορά τις τοξικές ουσίες που επηρεάζουν το θαλάσσιο οικοσύστημα. Τα λιπαντικά λάδια φυτικής προέλευσης είναι πιο βιοδιασπώμενα απ' ό,τι τα λιπαντικά ορυκτά λάδια, λόγω της απουσίας αρωματικών υψηλού μοριακού βάρους. Τα ορυκτά λάδια αποτελούνται σε μεγάλο βαθμό από αδιάλυτους κορεσμένους και ορισμένους αρωματικούς υδρογονάνθρακες ενώ τα αντίστοιχα φυτικά λάδια περιέχουν δυνητικά πιο αποικοδομήσιμους μεθυλεστέρες(ένωση) λιπαρών οξέων. [44]

Στο διάγραμμα φαίνεται ότι τα ορυκτά λάδια έχουν μεγαλύτερη τοξικότητα απ' ό,τι τα φυτικά λάδια. Στις εκπομπές που παράγουν μπορούμε να δούμε ότι τα στοιχεία των ορυκτών λαδιών είναι σε υψηλότερες τιμές από ότι των φυτικών λαδιών. Σύμφωνα με ένα επιστημονικό πείραμα για την θαλάσσια οικοτοξικότητα μεταξύ ορυκτών και φυτικών λαδιών η διάρκεια αποικοδόμησης με μία συγκεκριμένη μέθοδο από θαλάσσια μικρόβια, έδειξε ότι το ορυκτό λάδι έκανε διπλάσιο χρόνο αποικοδόμησης από αυτήν του φυτικού λαδιού. [44]



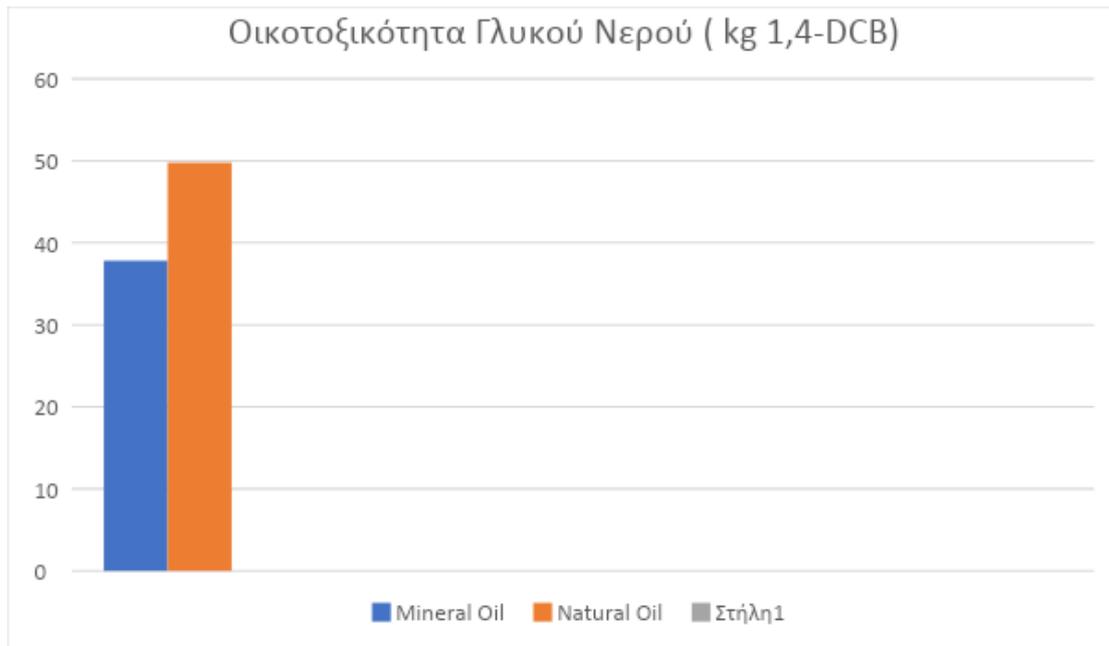
### 3.2.3 Οικοτοξικότητα Γλυκού Νερού

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
∨ Freshwater ecotoxicity				37.79661	kg 1,4-DCB
∨ P market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			■ 37.79661	kg 1,4-DCB
F Zinc	Emission to water / ground water, long-term	0.12153 kg	211.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 25.64348	kg 1,4-DCB
F Copper	Emission to water / ground water, long-term	0.03968 kg	162.00000 kg 1,4-DCB/kg	∣ 6.42771	kg 1,4-DCB
F Nickel	Emission to water / ground water, long-term	0.03776 kg	46.00000 kg 1,4-DCB/kg	∣ 1.73718	kg 1,4-DCB
F Vanadium	Emission to water / ground water, long-term	0.00674 kg	178.00000 kg 1,4-DCB/kg	∣ 1.19896	kg 1,4-DCB
F Zinc	Emission to water / river	0.00397 kg	211.00000 kg 1,4-DCB/kg	∣ 0.83696	kg 1,4-DCB
F Chromium VI	Emission to water / ground water, long-term	0.00514 kg	86.60000 kg 1,4-DCB/kg	∣ 0.44516	kg 1,4-DCB

Εικόνα 3.9: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την οικοτοξικότητα του γλυκού νερού.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
∨ Freshwater ecotoxicity				49.76529	kg 1,4-DCB
∨ P market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			■ 49.76529	kg 1,4-DCB
F Diflubenzuron	Emission to soil / agricultural	0.05912 kg	299.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 17.67761	kg 1,4-DCB
F Zinc	Emission to water / ground water, long-term	0.06320 kg	211.00000 kg 1,4-DCB/kg	■ 13.33435	kg 1,4-DCB
F Copper	Emission to water / ground water, long-term	0.04228 kg	162.00000 kg 1,4-DCB/kg	∣ 6.84913	kg 1,4-DCB
F Chlorpyrifos	Emission to soil / agricultural	0.00679 kg	329.00000 kg 1,4-DCB/kg	∣ 2.23539	kg 1,4-DCB
F Carbofuran	Emission to soil / agricultural	0.03595 kg	40.70000 kg 1,4-DCB/kg	∣ 1.46335	kg 1,4-DCB
F Chlorpyrifos methyl	Emission to soil / agricultural	0.03497 kg	33.80000 kg 1,4-DCB/kg	∣ 1.18186	kg 1,4-DCB
F Cypermethrin	Emission to soil / agricultural	0.01033 kg	112.00000 kg 1,4-DCB/kg	∣ 1.15720	kg 1,4-DCB
F Nickel	Emission to water / ground water, long-term	0.02468 kg	46.00000 kg 1,4-DCB/kg	∣ 1.13533	kg 1,4-DCB
F Vanadium	Emission to water / ground water, long-term	0.00541 kg	178.00000 kg 1,4-DCB/kg	∣ 0.96356	kg 1,4-DCB
F Metolachlor	Emission to soil / agricultural	0.05721 kg	9.37000 kg 1,4-DCB/kg	∣ 0.53607	kg 1,4-DCB

Εικόνα 3.10: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την οικοτοξικότητα του γλυκού νερού.



Γράφημα 3.3: Σύγκριση εκπομπών για την οικοτοξικότητα του γλυκού νερού.

Το γλυκό νερό είναι ζωτικής σημασίας για το παγκόσμιο οικοσύστημα, απαραίτητο για τον άνθρωπο και γενικά είναι ένας μοναδικός περιβαλλοντικός βιότοπος. Η ρύπανση των γλυκών υδάτων δεν αποτελεί μόνο κίνδυνο για το περιβάλλον αλλά μπορεί να επηρεάσει και την ανθρώπινη υγεία. Ως εκ τούτου είναι σημαντικό να διατηρηθεί αυτή η ανθρωπογενής ρύπανση χαμηλά σε ένα όριο που δεν χαρακτηρίζεται επικίνδυνο. [45]

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε οι εκπομπές των φυτικών λαδιών είναι λίγο παραπάνω σε σχέση με αυτές των ορυκτών λαδιών. Οι εκπομπές των φυτικών λαδιών περιλαμβάνουν και τις γεωργικές διαδικασίες δικαιολογώντας την διαφορά που έχουν με τα ορυκτά λάδια.

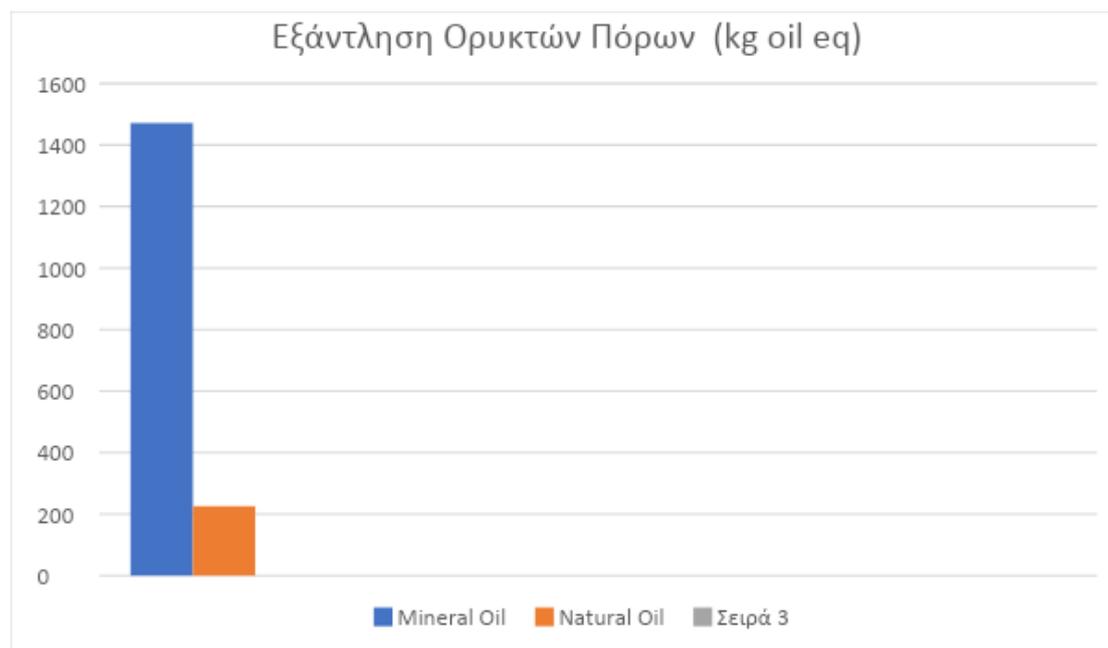
### 3.2.4 Εξάντληση Ορυκτών Πόρων

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
▼ Fossil resource scarcity				1471.39151	kg oil eq
▼ P market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			1471.39151	kg oil eq
F Oil, crude	Resource / in ground	1176.55320 kg	1.00000 kg oil eq/kg	1176.55320	kg oil eq
F Gas, natural/m3	Resource / in ground	216.98453 m3	0.84000 kg oil eq/m3	182.26701	kg oil eq
F Coal, hard	Resource / in ground	226.58360 kg	0.42000 kg oil eq/kg	95.16511	kg oil eq
F Coal, brown	Resource / in ground	78.66587 kg	0.22000 kg oil eq/kg	17.30649	kg oil eq

Εικόνα 3.11: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την εξάντληση ορυκτών πόρων.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
▼ Fossil resource scarcity				225.06594	kg oil eq
▼ P market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			225.06594	kg oil eq
F Oil, crude	Resource / in ground	105.04304 kg	1.00000 kg oil eq/kg	105.04304	kg oil eq
F Gas, natural/m3	Resource / in ground	65.92807 m3	0.84000 kg oil eq/m3	55.37958	kg oil eq
F Coal, hard	Resource / in ground	128.96895 kg	0.42000 kg oil eq/kg	54.16696	kg oil eq
F Coal, brown	Resource / in ground	47.38893 kg	0.22000 kg oil eq/kg	10.42556	kg oil eq

Εικόνα 3.12: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την εξάντληση ορυκτών πόρων.



Γράφημα 3.4: Σύγκριση εκπομπών για την εξάντληση ορυκτών πόρων.

Στην ουσία είναι μια υποκατηγορία που αφορά τους ενεργειακούς πόρους τύπου αποθέματος (φυσικό αέριο, άνθρακας, αργό πετρέλαιο και ουράνιο). Η άλλη κατηγορία που δεν αναλύεται στο πρόγραμμα είναι οι ενεργειακοί πόροι τύπου ροής (ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική, γεωθερμία και τη ροή που παράγεται από κεφάλαια βιομάζας). Οι δύο υποκατηγορίες μας κάνουν την κατηγορία ενεργειακών πόρων.

Όπως είναι φυσικό η παραγωγή ορυκτών λαδιών οδηγεί στην μείωση των ενεργειακών πόρων, καθώς αποτελούνται κυρίως από πετρέλαιο (Έχει αναλυθεί στο πρώτο κεφάλαιο). Η μεταφορά του προϊόντος καθώς και τα μηχανήματα που θα συνδράμουν για την παραγωγή του χρειάζονται τέτοιου είδους ορυκτών πόρων. Οι συγκεκριμένες ενέργειες αφορούν και τα δύο λάδια, γι' αυτό βλέπουμε τα φυτικά λάδια σε αυτό το μικρό ποσοστό. [46]

Το ποσοστό ορυκτού λαδιού είναι αρκετά υψηλό καθώς αποτελείται από τέτοιου είδους ορυκτών πόρων, δηλαδή είναι βασισμένο στο πετρέλαιο όπου αποτελείται όπως είπαμε από άτομα υδρογόνου και άνθρακα. Το ποσοστό των φυτικών λαδιών περιέχει καύσιμα για τα γεωργικά μηχανήματα [5] .

### 3.2.5 Εξάντληση Στερεών Ορυκτών Πόρων

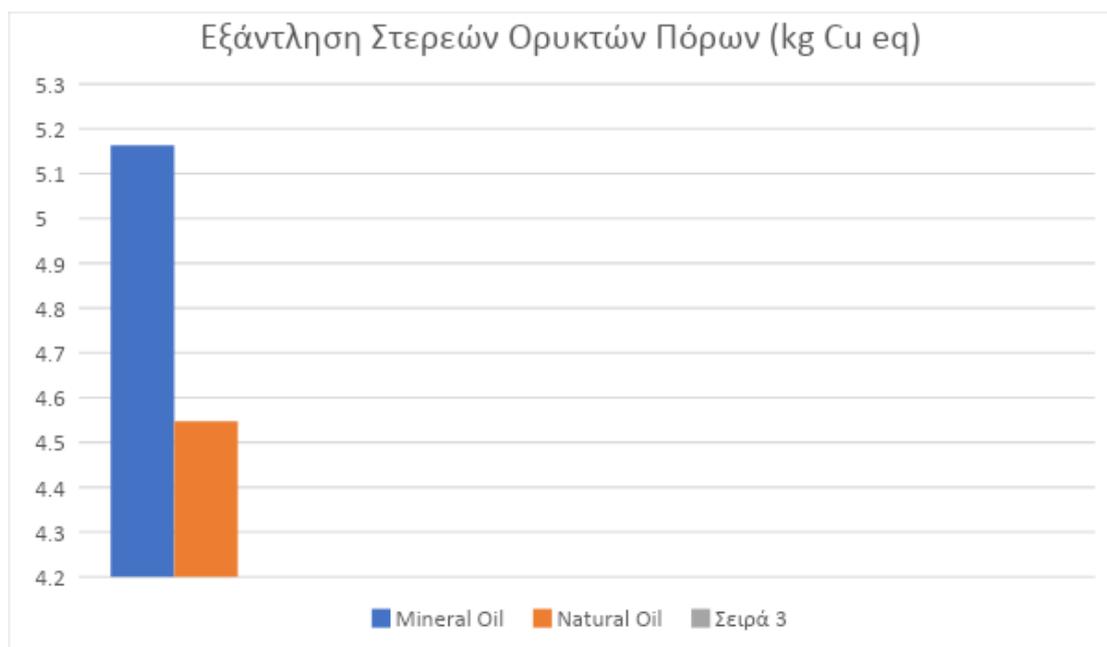
Το πρόγραμμα μας έβγαλε τα εξής αποτελέσματα για την εξάντληση στερεών ορυκτών πόρων:

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Mineral resource scarcity				5.16339	kg Cu eq
market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			5.16339	kg Cu eq
F Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore	Resource / in ground	0.34941 kg	2.89000 kg Cu eq/kg	1.00980	kg Cu eq
F Iron	Resource / in ground	15.23752 kg	0.06190 kg Cu eq/kg	0.94320	kg Cu eq
F Phosphorus, 18% in apatite, 4% in crude ore	Resource / in ground	2.05460 kg	0.16700 kg Cu eq/kg	0.34312	kg Cu eq
F Clay, unspecified	Resource / in ground	25.48961 kg	0.01040 kg Cu eq/kg	0.26509	kg Cu eq
F Phosphorus	Resource / in ground	1.53595 kg	0.16700 kg Cu eq/kg	0.25650	kg Cu eq
F Aluminium	Resource / in ground	1.23157 kg	0.16900 kg Cu eq/kg	0.20814	kg Cu eq
F Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude ore	Resource / in ground	0.18306 kg	1.00000 kg Cu eq/kg	0.18306	kg Cu eq
F Copper, Cu 0.38%, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Pb 0.014%, in ore	Resource / in ground	0.17396 kg	1.00000 kg Cu eq/kg	0.17396	kg Cu eq
F Lead	Resource / in ground	0.33832 kg	0.49100 kg Cu eq/kg	0.16612	kg Cu eq
F Copper, 0.52% in sulfide, Cu 0.27% and Mo 8.2E-3% in crude ore	Resource / in ground	0.13096 kg	1.00000 kg Cu eq/kg	0.13096	kg Cu eq
F Copper, 1.18% in sulfide, Cu 0.39% and Mo 8.2E-3% in crude ore	Resource / in ground	0.10979 kg	1.00000 kg Cu eq/kg	0.10979	kg Cu eq
F Barite	Resource / in ground	4.23680 kg	0.02280 kg Cu eq/kg	0.09660	kg Cu eq
F Zinc	Resource / in ground	0.60948 kg	0.15300 kg Cu eq/kg	0.09325	kg Cu eq
F Molybdenum, 0.016% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.27% in crude ore	Resource / in ground	0.00314 kg	29.20000 kg Cu eq...	0.09169	kg Cu eq
F Copper, 0.59% in sulfide, Cu 0.22% and Mo 8.2E-3% in crude ore	Resource / in ground	0.07905 kg	1.00000 kg Cu eq/kg	0.07905	kg Cu eq
F Silver, 0.007% in sulfide, Ag 0.004%, Pb, Zn, Cd, In	Resource / in ground	0.00049 kg	153.00000 kg Cu e...	0.07549	kg Cu eq
F Uranium	Resource / in ground	0.00293 kg	25.20000 kg Cu eq...	0.07389	kg Cu eq
F Molybdenum, 0.022% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.36% in crude ore	Resource / in ground	0.00248 kg	29.20000 kg Cu eq...	0.07251	kg Cu eq
F Molybdenum, 0.025% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.39% in crude ore	Resource / in ground	0.00219 kg	29.20000 kg Cu eq...	0.06396	kg Cu eq
F Chromium	Resource / in ground	0.56799 kg	0.09510 kg Cu eq/kg	0.05402	kg Cu eq
F Copper, 2.19% in sulfide, Cu 1.83% and Mo 8.2E-3% in crude ore	Resource / in ground	0.05222 kg	1.00000 kg Cu eq/kg	0.05222	kg Cu eq

Εικόνα 3.13: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την εξάντληση στερεών ορυκτών πόρων.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Mineral resource scarcity				4.54714	kg Cu eq
market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			4.54714	kg Cu eq
Iron	Resource / in ground	27.38318 kg	0.06190 kg Cu eq/kg	1.69502	kg Cu eq
Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore	Resource / in ground	0.24806 kg	2.89000 kg Cu eq/kg	0.71690	kg Cu eq
Phosphorus	Resource / in ground	3.10565 kg	0.16700 kg Cu eq/kg	0.51864	kg Cu eq
Phosphorus, 18% in apatite, 4% in crude ore	Resource / in ground	1.77084 kg	0.16700 kg Cu eq/kg	0.29573	kg Cu eq
Iodine	Resource / in water	0.01976 kg	7.09000 kg Cu eq/kg	0.14008	kg Cu eq
Clay, unspecified	Resource / in ground	12.50196 kg	0.01040 kg Cu eq/kg	0.13002	kg Cu eq
Aluminium	Resource / in ground	0.71577 kg	0.16900 kg Cu eq/kg	0.12097	kg Cu eq
Nickel, 1.13% in sulfide, Ni 0.76% and Cu 0.76% in crude ore	Resource / in ground	0.02845 kg	2.89000 kg Cu eq/kg	0.08223	kg Cu eq
Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude ore	Resource / in ground	0.07354 kg	1.00000 kg Cu eq/kg	0.07354	kg Cu eq
Copper, Cu 0.38%, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Pb 0.014%, in ore	Resource / in ground	0.06257 kg	1.00000 kg Cu eq/kg	0.06257	kg Cu eq
Copper, 0.52% in sulfide, Cu 0.27% and Mo 8.2E-3% in crude ore	Resource / in ground	0.04936 kg	1.00000 kg Cu eq/kg	0.04936	kg Cu eq
Lead	Resource / in ground	0.09698 kg	0.49100 kg Cu eq/kg	0.04762	kg Cu eq

Εικόνα 3.14: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την εξάντληση στερεών ορυκτών πόρων.



Γράφημα 3.5: Σύγκριση εκπομπών για την εξάντληση στερεών ορυκτών πόρων.

Με την λέξη "mineral" εννοούμε τα ορυκτά που σχηματίστηκαν ύστερα από πίεσης της Γης, συμπίεζοντας μεταξύ τους διαφορές ανόργανες ενώσεις για να σχηματίσουν ένα στερεό στοιχείο. Τα ορυκτά ορίζονται από την μοναδική χημική τους σύσταση και την εύρυθμη εσωτερική τους ατομική δομή. Το πυρίτιο είναι το πιο άφθονο ορυκτό δομικό στοιχείο. Γενικά χαρακτηρίζονται από την μεγάλη ποικιλία σχημάτων και μεγεθών που διατίθενται. Όλα τα ορυκτά έχουν μερικές από αυτές τις ιδιότητες, οι οποίες περιλαμβάνουν τη θραύση, το χρώμα, τον κρύσταλλο, την λάμψη, την σκληρότητα, την αντοχή και το ειδικό βάρος. Οι ορυκτοί πόροι και τα μέταλλα αποτελούν βασικές πρώτες ύλες σε πολλούς βιομηχανικούς τομείς (κατασκευής, μεταφοράς και γενικά η

ενέργειας). Αν και η ανάκτηση αρκετών μετάλλων γίνεται μέσω της ανακύκλωσης , δυστυχώς δεν μπορούν να ανταποκριθούν στην μεγάλη ζήτηση που υπάρχει, επομένως εξακολουθεί να απαιτείται η εξόρυξη πρωτογενών πόρων. [46]

Αυτά τα στοιχεία αποτελούν τα inputs (πρώτες ύλες) των βιομηχανικών εγκαταστάσεων που συνδράμουν για την τελική διάθεση του προϊόντος. Η κατεργασία των ορυκτών λαδιών απαιτεί περισσότερες χημικές επεξεργασίες απ’ ότι τα φυτικά λάδια. Σε αυτό το γράφημα παρατηρούμε ότι αποτελούν αναγκαίοι οι ορυκτοί πόροι τόσο για την βιομηχανία ορυκτών λαδιών όσο και γι’ αυτήν των φυτικών λαδιών.

### 3.2.6 Χερσαία Όξυνση

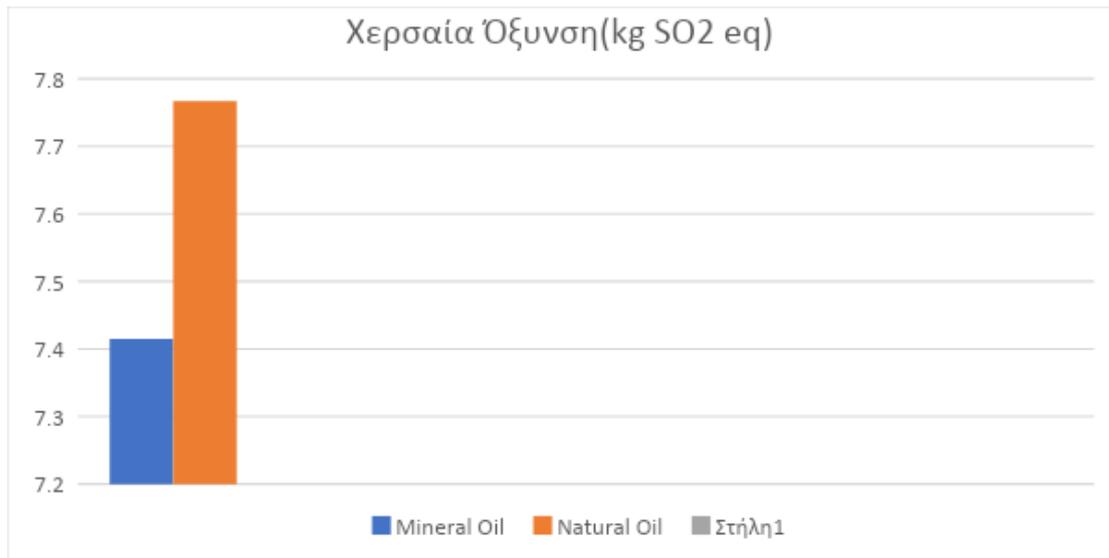
Το πρόγραμμα μας έβγαλε τα εξής αποτελέσματα για την χερσαία όξυνση:

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Terrestrial acidification				7.41518	kg SO2 eq
market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			7.41518	kg SO2 eq
F Sulfur dioxide	Emission to air / low population density	3.90503 kg	1.00000 kg SO2 eq/kg	3.90503	kg SO2 eq
F Sulfur dioxide	Emission to air / high population density	2.06868 kg	1.00000 kg SO2 eq/kg	2.06868	kg SO2 eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / low population density	2.03586 kg	0.36000 kg SO2 eq/kg	0.73291	kg SO2 eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / high population density	0.92548 kg	0.36000 kg SO2 eq/kg	0.33317	kg SO2 eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / unspecified	0.43312 kg	0.36000 kg SO2 eq/kg	0.15592	kg SO2 eq
F Sulfur dioxide	Emission to air / unspecified	0.08414 kg	1.00000 kg SO2 eq/kg	0.08414	kg SO2 eq
F Ammonia	Emission to air / low population density	0.04142 kg	1.96000 kg SO2 eq/kg	0.08117	kg SO2 eq

Εικόνα 3.15: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την χερσαία όξυνση

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Terrestrial acidification				7.76659	kg SO2 ...
market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			7.76659	kg SO2 ...
F Ammonia	Emission to air / low populatio...	1.90954 kg	1.96000 kg SO2 eq...	3.74270	kg SO2 ...
F Sulfur dioxide	Emission to air / low populatio...	1.45793 kg	1.00000 kg SO2 eq...	1.45793	kg SO2 ...
F Nitrogen oxides	Emission to air / low populatio...	2.49467 kg	0.36000 kg SO2 eq...	0.89808	kg SO2 ...
F Sulfur dioxide	Emission to air / high populatio...	0.67442 kg	1.00000 kg SO2 eq...	0.67442	kg SO2 ...
F Nitrogen oxides	Emission to air / unspecified	1.08481 kg	0.36000 kg SO2 eq...	0.39053	kg SO2 ...
F Nitrogen oxides	Emission to air / high populatio...	0.92280 kg	0.36000 kg SO2 eq...	0.33221	kg SO2 ...
F Ammonia	Emission to air / high populatio...	0.06679 kg	1.96000 kg SO2 eq...	0.13091	kg SO2 ...
F Sulfur dioxide	Emission to air / unspecified	0.10550 kg	1.00000 kg SO2 eq...	0.10550	kg SO2 ...

Εικόνα 3.16: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την χερσαία όξυνση.



Γράφημα 3.6: Σύγκριση εκπομπών για την χερσαία όξυνση.

Η χερσαία όξυνση χαρακτηρίζεται από τις αλλαγές των χημικών ιδιοτήτων του εδάφους ακολουθώντας την εναπόθεση των θρεπτικών ουσών (nitrogen=άζωτο και sulfur=θειό) σε μορφές όξυνσης. Με αυτό το πρόγραμμα αξιολογούμε κυρίως τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των οξειδίων του αζώτου, της αμμωνίας και του διοξειδίου του θείου. Αυτά τα δεδομένα του προγράμματος προκύπτουν μέσα από έρευνες που έχουν γίνει για την παραγωγή των αντίστοιχων ορυκτών και φυτικών λαδιών. Η παραγωγή των δύο λαδιών εκπέμπει αυτούς τους ρύπους. [47]

Σε αυτό το γράφημα βλέπουμε ότι οι εκπομπές των στοιχείων των φυτικών λαδιών είναι σχεδόν ίσες από αυτές των ορυκτών λαδιών. Το υψηλό ποσοστό των φυτικών λαδιών βασίζεται κυρίως από τα λιπάσματα που περιέχουν τέτοιου είδους θρεπτικών ουσιών.

### 3.2.7 Παγκόσμια Υπερθέρμανση

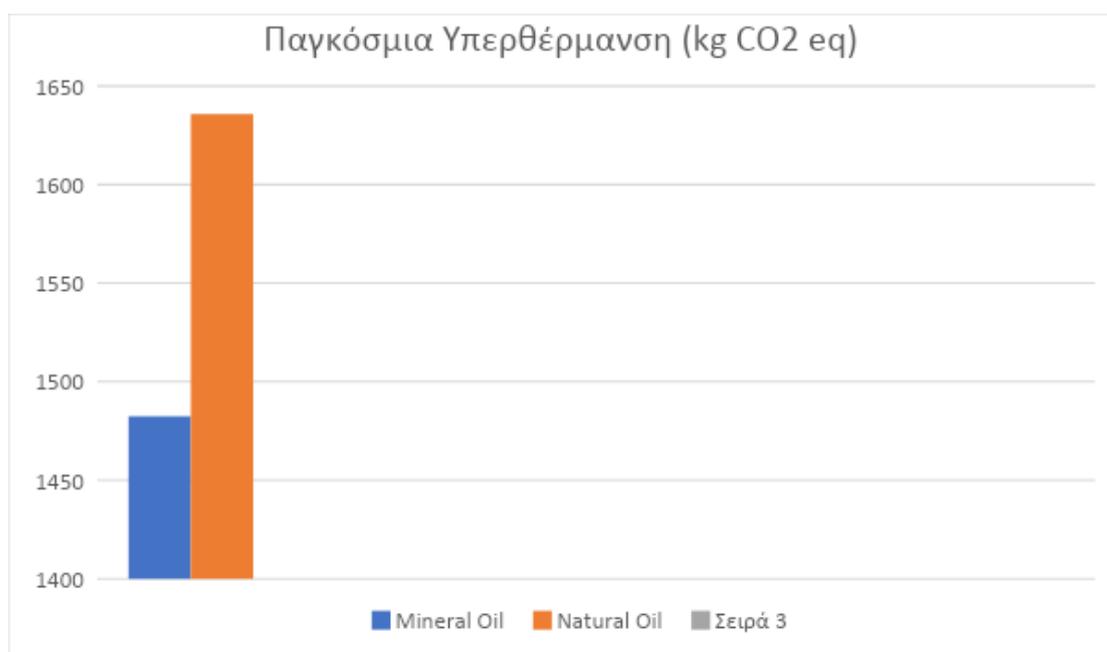
Το πρόγραμμα μας έβγαλε τα εξής αποτελέσματα για την παγκόσμια υπερθέρμανση:

Name	Category	Inventory re...	Impact factor	Impact result	Unit
Global warming				1482.37912	kg CO2 eq
market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			1482.37912	kg CO2 eq
Carbon dioxide, fossil	Emission to air / low population density	690.18221 kg	1.00000 kg CO2 eq/kg	690.18221	kg CO2 eq
Carbon dioxide, fossil	Emission to air / high population density	526.31426 kg	1.00000 kg CO2 eq/kg	526.31426	kg CO2 eq
Methane, fossil	Emission to air / low population density	3.71824 kg	36.00000 kg CO2 eq/kg	133.85657	kg CO2 eq
Carbon dioxide, fossil	Emission to air / unspecified	63.12577 kg	1.00000 kg CO2 eq/kg	63.12577	kg CO2 eq
Methane, fossil	Emission to air / high population density	1.24770 kg	36.00000 kg CO2 eq/kg	44.91717	kg CO2 eq

Εικόνα 3.17 Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την παγκόσμια υπερθέρμανση.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Global warming				1635.70266	kg CO2 eq
market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			1635.70266	kg CO2 eq
Carbon dioxide, land transformation	Emission to air / unspecified	440.03400 kg	1.00000 kg CO2 eq/kg	440.03400	kg CO2 eq
Carbon dioxide, fossil	Emission to air / low population density	380.58966 kg	1.00000 kg CO2 eq/kg	380.58966	kg CO2 eq
Dinitrogen monoxide	Emission to air / low population density	1.12669 kg	298.00000 kg CO2 eq/kg	335.75371	kg CO2 eq
Carbon dioxide, fossil	Emission to air / unspecified	168.68614 kg	1.00000 kg CO2 eq/kg	168.68614	kg CO2 eq
Carbon dioxide, fossil	Emission to air / high population density	152.99357 kg	1.00000 kg CO2 eq/kg	152.99357	kg CO2 eq
Methane, land transformation	Emission to air / low population density	1.77809 kg	34.00000 kg CO2 eq/kg	60.45503	kg CO2 eq
Methane, fossil	Emission to air / low population density	1.23800 kg	36.00000 kg CO2 eq/kg	44.56783	kg CO2 eq
Methane, biogenic	Emission to air / high population density	0.72649 kg	34.00000 kg CO2 eq/kg	24.70050	kg CO2 eq
Dinitrogen monoxide	Emission to air / high population density	0.07541 kg	298.00000 kg CO2 eq/kg	22.47356	kg CO2 eq

Εικόνα 3.18: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την παγκόσμια υπερθέρμανση.



Γράφημα 3.7: Σύγκριση εκπομπών για την παγκόσμια υπερθέρμανση.

Η παγκόσμια υπερθέρμανση του πλανήτη αποτελεί την μακροχρόνια θέρμανση του κλιματικού συστήματος της Γης. Το φαινόμενο αυτό είχε αρχίσει να παρατηρείται από την προβιομηχανική περίοδο (κάπου το 1850-1900) λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων, κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η καύση αυτή αυξάνει τα επίπεδα αερίων του θερμοκηπίου όπου παγιδεύουν την θερμότητα στην ατμόσφαιρα της Γης. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες εκτιμάται ότι μπορούν να αυξήσουν την παγκόσμια μέση θερμοκρασία της Γης περίπου ένα 0,2 βαθμούς Κελσίου ανά δεκαετία. [48]



Όπως μπορούμε να δούμε οι εκπομπές των στοιχείων είναι κυρίως διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο. Τα επίπεδα εκπομπών για τα φυτικά λάδια είναι περισσότερα από αυτών των ορυκτών λαδιών. Στο κεφάλαιο της ανάλυσης κύκλου ζωής που συγκρίναμε τις εκπομπές CO<sub>2</sub> των δύο λαδιών (στάδιο εξόρυξης- συλλογής και παραγωγής) καταλήξαμε, ότι τα φυτικά λάδια παράγουν περισσότερα κιλά CO<sub>2</sub>. Ο κύριος λόγος που τα φυτικά λάδια έχουν παραπάνω εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι η χρήση γης που δεσμεύουν για διάφορες καλλιέργειες. Επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι εκπομπές CO<sub>2</sub> για το θεωρητικό μέρος είναι διπλάσιες από αυτές του προγράμματος.

### 3.2.8 Σχηματισμός Μικροσωματιδίων Στα Χερσαία Οικοσυστήματα

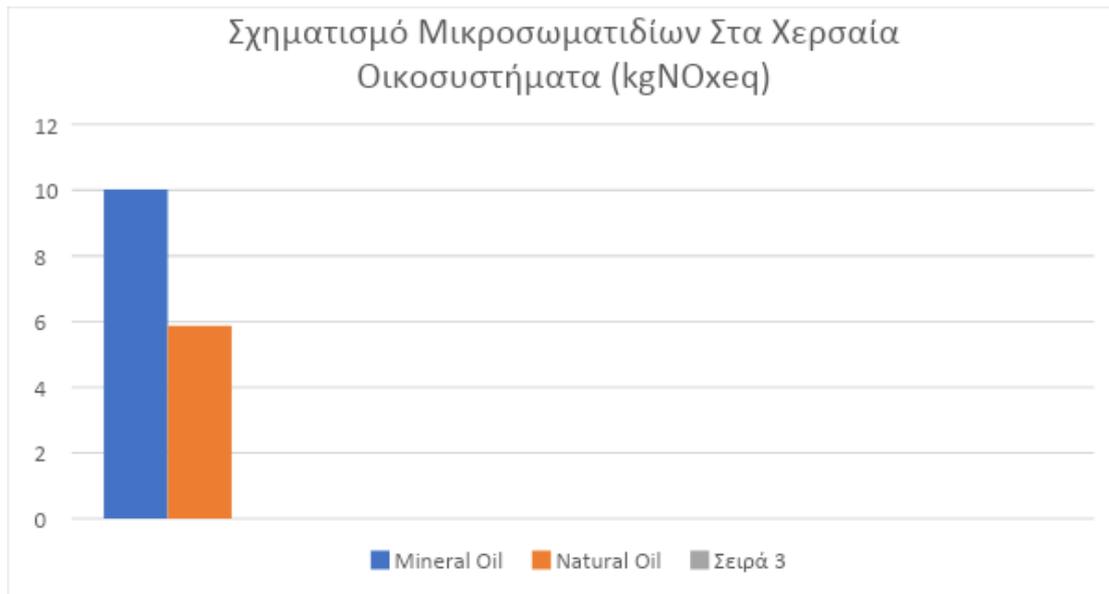
Το πρόγραμμα μας έβγαλε τα εξής αποτελέσματα για τον σχηματισμό μικροσωματιδίων στα χερσαία οικοσυστήματα :

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
▼ Ozone formation, Terrestrial ecosystems				10.01985	kg NOx eq
▼ P market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			10.01985	kg NOx eq
F NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	Emission to air / high population density	21.59619 kg	0.29000 kg NOx eq/kg	6.26290	kg NOx eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / low population density	2.03586 kg	1.00000 kg NOx eq/kg	2.03586	kg NOx eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / high population density	0.92548 kg	1.00000 kg NOx eq/kg	0.92548	kg NOx eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / unspecified	0.43312 kg	1.00000 kg NOx eq/kg	0.43312	kg NOx eq
F NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	Emission to air / low population density	0.90289 kg	0.29000 kg NOx eq/kg	0.26184	kg NOx eq

Εικόνα 3.19: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για τον σχηματισμό μικροσωματιδίων στα χερσαία οικοσυστήματα.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
▼ Ozone formation, Terrestrial ecosystems				5.87592	kg NOx eq
▼ P market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			5.87592	kg NOx eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / low population density	2.49467 kg	1.00000 kg NOx eq/kg	2.49467	kg NOx eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / unspecified	1.08481 kg	1.00000 kg NOx eq/kg	1.08481	kg NOx eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / high population density	0.92280 kg	1.00000 kg NOx eq/kg	0.92280	kg NOx eq
F Hexane	Emission to air / high population density	1.98245 kg	0.23400 kg NOx eq/kg	0.46389	kg NOx eq
F Ethene	Emission to air / low population density	0.46431 kg	0.58500 kg NOx eq/kg	0.27162	kg NOx eq
F NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	Emission to air / low population density	0.36093 kg	0.29000 kg NOx eq/kg	0.10467	kg NOx eq
F Formaldehyde	Emission to air / low population density	0.34604 kg	0.26900 kg NOx eq/kg	0.09308	kg NOx eq
F Propene	Emission to air / low population density	0.13094 kg	0.68400 kg NOx eq/kg	0.08956	kg NOx eq
F Hexane	Emission to air / low population density	0.36298 kg	0.23400 kg NOx eq/kg	0.08494	kg NOx eq

Εικόνα 3.20: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για τον σχηματισμό μικροσωματιδίων στα χερσαία οικοσυστήματα.



Γράφημα 3.8: Σύγκριση εκπομπών για τον σχηματισμό μικροσωματιδίων στα χερσαία οικοσυστήματα.

Ο σχηματισμός όζοντος ξεκινά με την εκπομπή NOx (Nitrogen oxide) και NMVOC (Non Methane Volatile Organic Compound) στην ατμόσφαιρα. Τα χημικά αυτά στοιχεία μετατρέπονται στον αέρα σε όζον. Έπειτα αυτό το τροποσφαιρικό όζον μπορεί να εισπνευστεί από τον άνθρωπο, οδηγώντας σε μεγαλύτερο αριθμό περιπτώσεων θνησιμότητας και γενικά να βλάψει την ανθρώπινη υγεία. Επίσης μπορεί να προσληφθεί από φυτά και να οδηγήσει στην εξαφάνιση φυτικών ειδών και γενικά ολοκληρωτική καταστροφή σε χερσαία οικοσυστήματα. [49]

Ένα χερσαίο οικοσύστημα μπορεί να είναι μια επίγεια κοινότητα οργανισμών και οι αλληλεπιδράσεις αβιοτικών ή βιοτικών συστατικών σε μία δεδομένη περιοχή. Το είδος ενός χερσαίου οικοσυστήματος όπου μπορεί να βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο μέρος και να εξαρτάται από το εύρος της θερμοκρασίας, τον τύπο του εδάφους, την ποσότητα φωτός που λαμβάνει και την μέση ποσότητα κατακρήμνισης που δέχεται. [50]

Σε αυτό διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι εκπομπές των ορυκτών λαδιών είναι σχεδόν διπλάσιες από αυτές των φυτικών λαδιών. Τα αποτελέσματα αυτά προκύπτουν κυρίως από τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου και NMVOC.

### 3.2.9 Σχηματισμός Μικροσωματιδίων

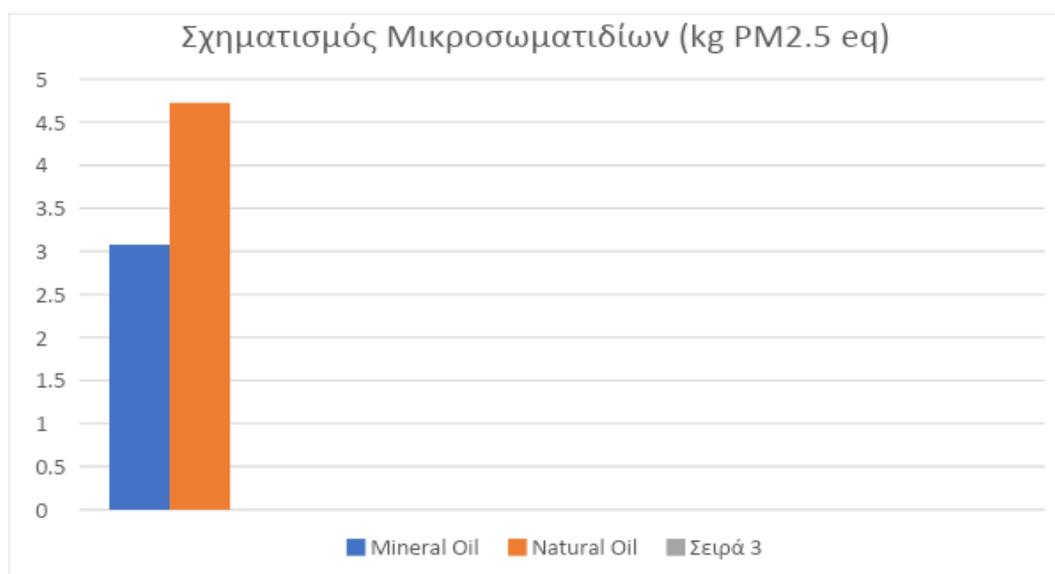
Το πρόγραμμα μας έβγαλε τα εξής αποτελέσματα για το σχηματισμό μικροσωματιδίων:

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
∨ Fine particulate matter formation				3.07687	kg PM2.5 eq
∨ P market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			3.07687	kg PM2.5 eq
F Sulfur dioxide	Emission to air / low population density	3.90503 kg	0.29000 kg PM2.5 eq/kg	1.13246	kg PM2.5 eq
F Particulates, < 2.5 um	Emission to air / low population density	0.74318 kg	1.00000 kg PM2.5 eq/kg	0.74318	kg PM2.5 eq
F Sulfur dioxide	Emission to air / high population density	2.06868 kg	0.29000 kg PM2.5 eq/kg	0.59992	kg PM2.5 eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / low population density	2.03586 kg	0.11000 kg PM2.5 eq/kg	0.22394	kg PM2.5 eq
F Particulates, < 2.5 um	Emission to air / high population density	0.15660 kg	1.00000 kg PM2.5 eq/kg	0.15660	kg PM2.5 eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / high population density	0.92548 kg	0.11000 kg PM2.5 eq/kg	0.10180	kg PM2.5 eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / unspecified	0.43312 kg	0.11000 kg PM2.5 eq/kg	0.04764	kg PM2.5 eq

Εικόνα 3.21: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για τον σχηματισμό μικροσωματιδίων.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
∨ Fine particulate matter formation				4.72398	kg PM2.5 eq
∨ P market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			4.72398	kg PM2.5 eq
F Particulates, < 2.5 um	Emission to air / low population density	2.65640 kg	1.00000 kg PM2.5 eq/kg	2.65640	kg PM2.5 eq
F Ammonia	Emission to air / low population density	1.90954 kg	0.24000 kg PM2.5 eq/kg	0.45829	kg PM2.5 eq
F Sulfur dioxide	Emission to air / low population density	1.45793 kg	0.29000 kg PM2.5 eq/kg	0.42280	kg PM2.5 eq
F Particulates, < 2.5 um	Emission to air / high population density	0.35842 kg	1.00000 kg PM2.5 eq/kg	0.35842	kg PM2.5 eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / low population density	2.49467 kg	0.11000 kg PM2.5 eq/kg	0.27441	kg PM2.5 eq
F Sulfur dioxide	Emission to air / high population density	0.67442 kg	0.29000 kg PM2.5 eq/kg	0.19558	kg PM2.5 eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / unspecified	1.08481 kg	0.11000 kg PM2.5 eq/kg	0.11933	kg PM2.5 eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / high population density	0.92280 kg	0.11000 kg PM2.5 eq/kg	0.10151	kg PM2.5 eq
F Particulates, < 2.5 um	Emission to air / unspecified	0.07712 kg	1.00000 kg PM2.5 eq/kg	0.07712	kg PM2.5 eq

Εικόνα 3.22: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για τον σχηματισμό μικροσωματιδίων.



Γράφημα 3.9: Σύγκριση εκπομπών για τον σχηματισμό μικροσωματιδίων.

Ο σχηματισμός μικροσωματιδίων (fine particulate matter formation) γίνεται από τα «αιωρούμενα σωματίδια», τα οποία είναι γνωστά και ως σωματιδιακή ρύπανση (PM), αποτελεί τον κυριότερο ατμοσφαιρικό ρύπο στις μέρες μας. Είναι ένα σύνθετο μείγμα εξαιρετικά μικρών σωματιδίων και υγρών σταγονιδίων, που αποτελείται από διάφορα οξέα (πχ νιτρικά και θειικά άλατα), οργανικές χημικές ουσίες, μέταλλα και σωματίδια εδάφους και σκόνης. Το μέγεθος τους συνδέεται άμεσα με την δυνατότητά τους να προκαλέσουν ορισμένα προβλήματα υγείας, καθώς έχουν μια διάμετρο των 10μm και κάτω. Μπορούν εύκολα να διεισδύσουν βαθιά στους πνεύμονες ή τα μικρότερα να φτάσουν στην κυκλοφορία του αίματος και να επηρεάσουν και άλλα όργανα. [51]

Σε αυτό το γράφημα παρατηρούμε ότι οι τιμές των εκπομπών των δύο λαδιών είναι σχετικά κοντά. Τα στοιχεία που εκπέμπουν κυρίως είναι διοξείδιο του θείου και διοξείδιο του αζώτου.

### 3.2.10 Ιονίζουσα Ακτινοβολία

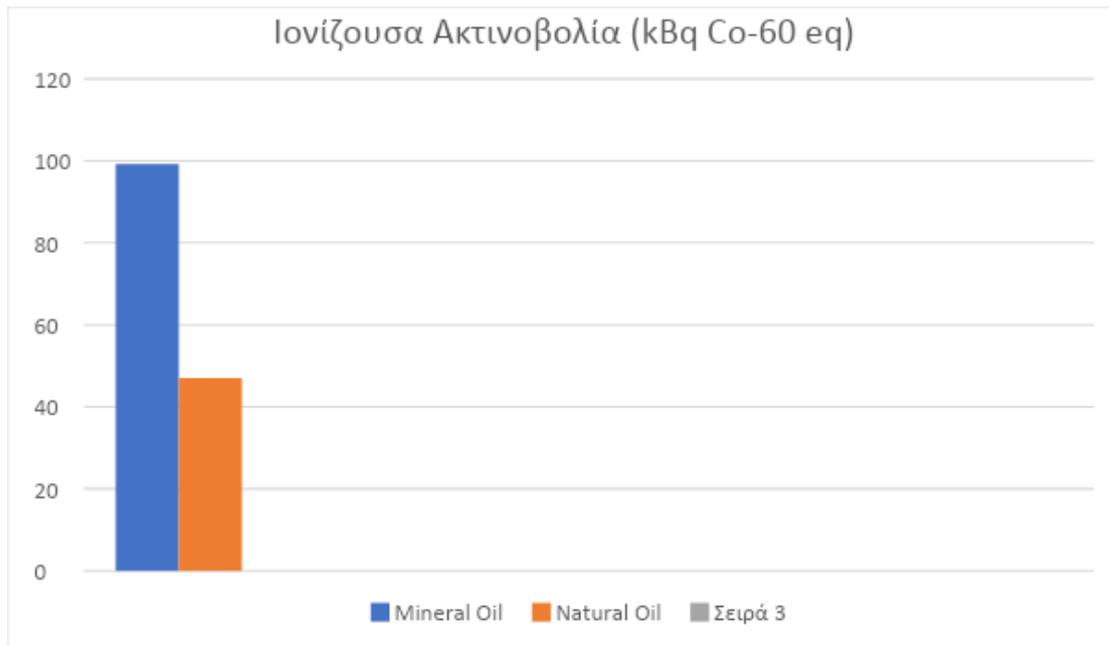
Το πρόγραμμα μας έβγαλε τα εξής αποτελέσματα για την ιονίζουσα ακτινοβολία:

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Ionizing radiation				99.23960	kBq Co-60 eq
market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			99.23960	kBq Co-60 eq
Radon-222	Emission to air / low population density, long-term	4.82597E4 kBq	0.00145 kBq Co-60 eq/kBq	69.97650	kBq Co-60 eq
Carbon-14	Emission to air / low population density	23.16025 kBq	1.15000 kBq Co-60 eq/kBq	26.63429	kBq Co-60 eq
Radon-222	Emission to air / low population density	1376.70170 kBq	0.00145 kBq Co-60 eq/kBq	1.99622	kBq Co-60 eq

Εικόνα 3.23: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την ιονίζουσα ακτινοβολία.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Ionizing radiation				46.99406	kBq Co-60 eq
market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			46.99406	kBq Co-60 eq
Radon-222	Emission to air / low population density, long-term	2.84025E4 kBq	0.00145 kBq Co-60 eq/kBq	41.18362	kBq Co-60 eq
Carbon-14	Emission to air / low population density	3.72168 kBq	1.15000 kBq Co-60 eq/kBq	4.27993	kBq Co-60 eq
Radon-222	Emission to air / low population density	808.30542 kBq	0.00145 kBq Co-60 eq/kBq	1.17204	kBq Co-60 eq

Εικόνα 3.24: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την ιονίζουσα ακτινοβολία.



Γράφημα 3.10: Σύγκριση εκπομπών για την ιονίζουσα ακτινοβολία.

Η ιονίζουσα ακτινοβολία (Ionizing Radiation) είναι μια μορφή ενέργειας που προκύπτει αφαιρώντας τα ηλεκτρόνια από τα άτομα και τα μόρια των υλικών στον αέρα, το νερό και τους ζωντανούς ιστούς γενικά. Η ιονίζουσα ακτινοβολία έχει την ικανότητα να ταξιδεύει χωρίς να φαίνεται και να περνάει μέσα από την ύλη και τα κύτταρα του ανθρώπινου σώματος, προκαλώντας ενδεχόμενα κάποια βλάβη στους ιστούς σε περίπτωση έντονης έκθεσης. Στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ανήκει στο κομμάτι με τις πιο υψηλές ενέργειες, το συνίσταται από υπεριώδεις, Χ και Γάμα ακτίνες. [52]

Παρατηρούμε ότι η διάφορα μεταξύ των ορυκτών λαδιών και φυτικών λαδιών είναι αρκετά αισθητή, σχεδόν διπλάσια. Αυτό δικαιολογείται καθώς τα ορυκτά λάδια που αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες περνάνε από τέτοιες είδους διαδικασίες-επεξεργασίες.

### 3.2.11 Κατανάλωση Νερού

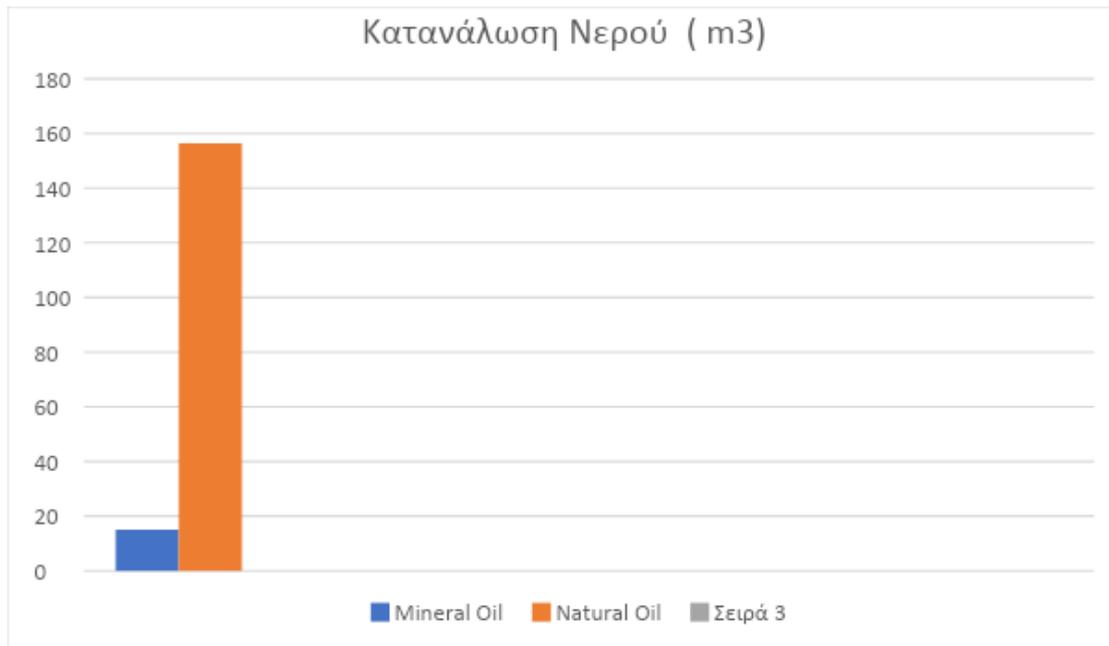
Το πρόγραμμα μας έβγαλε τα εξής αποτελέσματα για την κατανάλωση νερού:

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Water consumption				15.09659	m3
market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			15.09659	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, CN	Resource / in water	1645.58540 m3	1.00000 m3/m3	1645.58540	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, RoW	Resource / in water	1298.62590 m3	1.00000 m3/m3	1298.62590	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, US	Resource / in water	320.21919 m3	1.00000 m3/m3	320.21919	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, RU	Resource / in water	264.60230 m3	1.00000 m3/m3	264.60230	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, FR	Resource / in water	177.82933 m3	1.00000 m3/m3	177.82933	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, SE	Resource / in water	144.92987 m3	1.00000 m3/m3	144.92987	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, CH	Resource / in water	120.87556 m3	1.00000 m3/m3	120.87556	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, CA	Resource / in water	115.75644 m3	1.00000 m3/m3	115.75644	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, IN	Resource / in water	115.18697 m3	1.00000 m3/m3	115.18697	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, BR	Resource / in water	102.33473 m3	1.00000 m3/m3	102.33473	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, AT	Resource / in water	102.30292 m3	1.00000 m3/m3	102.30292	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, JP	Resource / in water	85.77842 m3	1.00000 m3/m3	85.77842	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, ES	Resource / in water	66.36985 m3	1.00000 m3/m3	66.36985	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, MX	Resource / in water	57.80958 m3	1.00000 m3/m3	57.80958	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, DE	Resource / in water	50.32223 m3	1.00000 m3/m3	50.32223	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, IT	Resource / in water	48.62655 m3	1.00000 m3/m3	48.62655	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, RO	Resource / in water	48.62507 m3	1.00000 m3/m3	48.62507	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, TR	Resource / in water	37.54093 m3	1.00000 m3/m3	37.54093	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, CL	Resource / in water	34.63722 m3	1.00000 m3/m3	34.63722	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, AU	Resource / in water	31.82916 m3	1.00000 m3/m3	31.82916	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, PT	Resource / in water	28.25797 m3	1.00000 m3/m3	28.25797	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, RS	Resource / in water	23.57337 m3	1.00000 m3/m3	23.57337	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, FI	Resource / in water	23.04833 m3	1.00000 m3/m3	23.04833	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, IR	Resource / in water	22.49509 m3	1.00000 m3/m3	22.49509	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, UA	Resource / in water	19.53504 m3	1.00000 m3/m3	19.53504	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, RoW	Resource / in water	17.93873 m3	1.00000 m3/m3	17.93873	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, BA	Resource / in water	13.39268 m3	1.00000 m3/m3	13.39268	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, BG	Resource / in water	12.61019 m3	1.00000 m3/m3	12.61019	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, SK	Resource / in water	10.36313 m3	1.00000 m3/m3	10.36313	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, GR	Resource / in water	9.95268 m3	1.00000 m3/m3	9.95268	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, RU	Resource / in water	7.86578 m3	1.00000 m3/m3	7.86578	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, CN	Resource / in water	7.64276 m3	1.00000 m3/m3	7.64276	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, NO	Resource / in water	6.90481 m3	1.00000 m3/m3	6.90481	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, PL	Resource / in water	5.71947 m3	1.00000 m3/m3	5.71947	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, US	Resource / in water	5.67931 m3	1.00000 m3/m3	5.67931	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, NP	Resource / in water	5.55435 m3	1.00000 m3/m3	5.55435	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, RER	Resource / in water	4.26986 m3	1.00000 m3/m3	4.26986	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, CZ	Resource / in water	4.15574 m3	1.00000 m3/m3	4.15574	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, KR	Resource / in water	3.72018 m3	1.00000 m3/m3	3.72018	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, MY	Resource / in water	3.68499 m3	1.00000 m3/m3	3.68499	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, ID	Resource / in water	3.10032 m3	1.00000 m3/m3	3.10032	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, IS	Resource / in water	2.58804 m3	1.00000 m3/m3	2.58804	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, IN	Resource / in water	2.40127 m3	1.00000 m3/m3	2.40127	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, FR	Resource / in water	1.97045 m3	1.00000 m3/m3	1.97045	m3
F Water, river, RoW	Resource / in water	1.95505 m3	1.00000 m3/m3	1.95505	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, PL	Resource / in water	1.85412 m3	1.00000 m3/m3	1.85412	m3
F Water, unspecified natural origin, RoW	Resource / in water	1.79383 m3	1.00000 m3/m3	1.79383	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, DE	Resource / in water	1.75962 m3	1.00000 m3/m3	1.75962	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, IE	Resource / in water	1.67242 m3	1.00000 m3/m3	1.67242	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, TH	Resource / in water	1.51368 m3	1.00000 m3/m3	1.51368	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, CZ	Resource / in water	1.48098 m3	1.00000 m3/m3	1.48098	m3
F Water, unspecified natural origin, RME	Resource / in water	1.24268 m3	1.00000 m3/m3	1.24268	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, BE	Resource / in water	1.22085 m3	1.00000 m3/m3	1.22085	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, JP	Resource / in water	1.18481 m3	1.00000 m3/m3	1.18481	m3

Εικόνα 3.25: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την κατανάλωση νερού.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Water consumption				156.41093	m3
market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			156.41093	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, CN	Resource / in water	700.12136 m3	1.00000 m3/m3	700.12136	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, RoW	Resource / in water	696.95306 m3	1.00000 m3/m3	696.95306	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, US	Resource / in water	214.37910 m3	1.00000 m3/m3	214.37910	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, RU	Resource / in water	118.65974 m3	1.00000 m3/m3	118.65974	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, FR	Resource / in water	91.12810 m3	1.00000 m3/m3	91.12810	m3
F Water, river, Europe without Switzerland	Resource / in water	86.83364 m3	1.00000 m3/m3	86.83364	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, SE	Resource / in water	86.32650 m3	1.00000 m3/m3	86.32650	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, BR	Resource / in water	84.62096 m3	1.00000 m3/m3	84.62096	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, IN	Resource / in water	69.06061 m3	1.00000 m3/m3	69.06061	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, CA	Resource / in water	65.18278 m3	1.00000 m3/m3	65.18278	m3
F Water, river, RoW	Resource / in water	64.10470 m3	1.00000 m3/m3	64.10470	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, AT	Resource / in water	54.43139 m3	1.00000 m3/m3	54.43139	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, ES	Resource / in water	39.41081 m3	1.00000 m3/m3	39.41081	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, JP	Resource / in water	38.41671 m3	1.00000 m3/m3	38.41671	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, CH	Resource / in water	36.45202 m3	1.00000 m3/m3	36.45202	m3
F Water, well, RoW	Resource / in water	33.50177 m3	1.00000 m3/m3	33.50177	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, RO	Resource / in water	29.60741 m3	1.00000 m3/m3	29.60741	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, IT	Resource / in water	28.40127 m3	1.00000 m3/m3	28.40127	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, DE	Resource / in water	27.85882 m3	1.00000 m3/m3	27.85882	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, MX	Resource / in water	26.51963 m3	1.00000 m3/m3	26.51963	m3
F Water, well, Europe without Switzerland	Resource / in water	20.38518 m3	1.00000 m3/m3	20.38518	m3
F Water, well, US	Resource / in water	20.06073 m3	1.00000 m3/m3	20.06073	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, PT	Resource / in water	17.13798 m3	1.00000 m3/m3	17.13798	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, TR	Resource / in water	17.08231 m3	1.00000 m3/m3	17.08231	m3
F Water, river, CN	Resource / in water	16.07729 m3	1.00000 m3/m3	16.07729	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, CL	Resource / in water	15.71364 m3	1.00000 m3/m3	15.71364	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, AU	Resource / in water	14.74962 m3	1.00000 m3/m3	14.74962	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, RS	Resource / in water	14.45048 m3	1.00000 m3/m3	14.45048	m3
F Water, well, IN	Resource / in water	14.05446 m3	1.00000 m3/m3	14.05446	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, FI	Resource / in water	13.65986 m3	1.00000 m3/m3	13.65986	m3
F Water, river, MY	Resource / in water	13.50756 m3	1.00000 m3/m3	13.50756	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, UA	Resource / in water	12.12214 m3	1.00000 m3/m3	12.12214	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, SI	Resource / in water	12.04917 m3	1.00000 m3/m3	12.04917	m3
F Water, river, US	Resource / in water	10.86501 m3	1.00000 m3/m3	10.86501	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, IR	Resource / in water	10.27182 m3	1.00000 m3/m3	10.27182	m3
F Water, river, IN	Resource / in water	8.08914 m3	1.00000 m3/m3	8.08914	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, BG	Resource / in water	7.53456 m3	1.00000 m3/m3	7.53456	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, BA	Resource / in water	7.48207 m3	1.00000 m3/m3	7.48207	m3
F Water, lake, RoW	Resource / in water	7.04642 m3	1.00000 m3/m3	7.04642	m3
F Water, well, CN	Resource / in water	6.93801 m3	1.00000 m3/m3	6.93801	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, GB	Resource / in water	6.81442 m3	1.00000 m3/m3	6.81442	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, SK	Resource / in water	6.29920 m3	1.00000 m3/m3	6.29920	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, GR	Resource / in water	6.02969 m3	1.00000 m3/m3	6.02969	m3
F Water, lake, Europe without Switzerland	Resource / in water	5.65813 m3	1.00000 m3/m3	5.65813	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, RoW	Resource / in water	5.11210 m3	1.00000 m3/m3	5.11210	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, MY	Resource / in water	4.66098 m3	1.00000 m3/m3	4.66098	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, IS	Resource / in water	4.59731 m3	1.00000 m3/m3	4.59731	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, NO	Resource / in water	4.22423 m3	1.00000 m3/m3	4.22423	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, CN	Resource / in water	3.91902 m3	1.00000 m3/m3	3.91902	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, US	Resource / in water	3.82947 m3	1.00000 m3/m3	3.82947	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, LV	Resource / in water	3.53952 m3	1.00000 m3/m3	3.53952	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, PL	Resource / in water	3.32923 m3	1.00000 m3/m3	3.32923	m3
F Water, turbine use, unspecified natural origin, TW	Resource / in water	3.01495 m3	1.00000 m3/m3	3.01495	m3
F Water, cooling, unspecified natural origin, RU	Resource / in water	2.69461 m3	1.00000 m3/m3	2.69461	m3

Εικόνα 3.26: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την κατανάλωση νερού.



Γράφημα 3.11: Σύγκριση εκπομπών για την κατανάλωση νερού.

Ως κατανάλωση νερού (water consumption) ορίζουμε το μέρος του νερού που χρησιμοποιείται και δεν επιστρέφεται στην αρχική πηγή νερού μετά την άντληση του. Η κατανάλωση λαμβάνει χώρα όταν το νερό χάνεται στην ατμόσφαιρα μέσω εξάτμισης ή ενσωματώνεται σε ένα προϊόν και δεν είναι πλέον διαθέσιμο για επαναχρησιμοποίηση. Είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ανάλυση της λειψυδρίας και τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην διαθεσιμότητα του νερού. Η διαφορά αυτής της έννοιας με την χρήση του νερού (water use) είναι ότι η χρήση περιγράφει απλώς την συνολική ποσότητα νερού που αποσύρεται από την πηγή. [53]

Όπως μπορούμε να δούμε στο γράφημα και στις πηγές τις οποίες αντλούν τα λάδια κατά την παραγωγή τους, το ποσοστό των φυτικών λαδιών είναι δεκαπλάσιο από αυτό των ορυκτών λαδιών. Το ποσοστό αυτό δικαιολογείται καθώς η παραγωγή φυτικών λαδιών χρειάζεται αρκετό νερό για τα ποτίσματα κυρίως πριν την συλλογή τους. Επομένως στην κατηγορία άντλησης του νερού τα φυτικά λάδια χρειάζονται πολύ περισσότερο νερό απ' ότι τα ορυκτά λάδια. Το μικρό ποσοστό νερού για ορυκτά λάδια οφείλεται κυρίως από τον καθορισμό τους κατά την επεξεργασία τους.



### 3.2.12 Σχηματισμός Όζοντος, Ανθρώπινη Υγεία

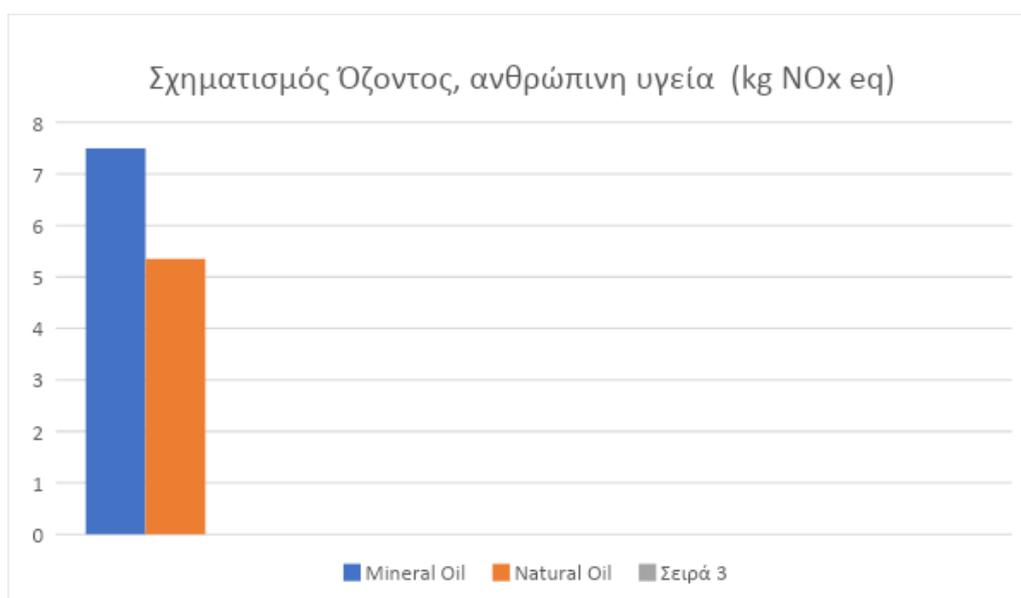
Το πρόγραμμα μας έβγαλε τα εξής αποτελέσματα για τον σχηματισμό όζοντος, ανθρώπινη υγεία:

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
▼ Ozone formation, Human health				7.50675	kg NOx eq
▼ P market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			7.50675	kg NOx eq
F NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	Emission to air / high population density	21.59619 kg	0.18000 kg NOx eq/kg	3.88731	kg NOx eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / low population density	2.03586 kg	1.00000 kg NOx eq/kg	2.03586	kg NOx eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / high population density	0.92548 kg	1.00000 kg NOx eq/kg	0.92548	kg NOx eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / unspecified	0.43312 kg	1.00000 kg NOx eq/kg	0.43312	kg NOx eq
F NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	Emission to air / low population density	0.90289 kg	0.18000 kg NOx eq/kg	0.16252	kg NOx eq

Εικόνα 3.27: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για τον σχηματισμό όζοντος και την ανθρώπινη υγεία.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
▼ Ozone formation, Human health				5.35432	kg NOx eq
▼ P market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			5.35432	kg NOx eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / low population density	2.49467 kg	1.00000 kg NOx eq...	2.49467	kg NOx eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / unspecified	1.08481 kg	1.00000 kg NOx eq...	1.08481	kg NOx eq
F Nitrogen oxides	Emission to air / high population density	0.92280 kg	1.00000 kg NOx eq...	0.92280	kg NOx eq
F Hexane	Emission to air / high population density	1.98245 kg	0.14500 kg NOx eq...	0.28746	kg NOx eq
F Ethene	Emission to air / low population density	0.46431 kg	0.36300 kg NOx eq...	0.16854	kg NOx eq
F NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	Emission to air / low population density	0.36093 kg	0.18000 kg NOx eq...	0.06497	kg NOx eq
F Formaldehyde	Emission to air / low population density	0.34604 kg	0.16700 kg NOx eq...	0.05779	kg NOx eq
F Propene	Emission to air / low population density	0.13094 kg	0.42400 kg NOx eq...	0.05552	kg NOx eq

Εικόνα 3.28: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για τον σχηματισμό όζοντος και την ανθρώπινη υγεία.



Γράφημα 3.12: Σύγκριση εκπομπών για τον σχηματισμό όζοντος και την ανθρώπινη υγεία.

Ο σχηματισμός όζοντος ξεκινά με την εκπομπή NOx (Nitrogen oxide) και NMVOC (Non Methane Volatile Organic Compound) στην ατμόσφαιρα. Τα χημικά αυτά στοιχεία μετατρέπονται στον αέρα σε όζον. Έπειτα αυτό το τροποσφαιρικό όζον μπορεί να εισπνευστεί από τον άνθρωπο, οδηγώντας σε μεγαλύτερο αριθμό περιπτώσεων θνησιμότητας και γενικά να βλάψει την ανθρώπινη υγεία. Τον όζον μπορεί να βλάψει την υγεία μας ειδικά τις μέρες που είναι ηλιόλουστες με υψηλές θερμοκρασίες, όπου φτάνει σε ανθυγιεινά επίπεδα. Ακόμη και τα σχετικά χαμηλά επίπεδα όζοντος μπορούν να μας προκαλέσουν επιπτώσεις στην υγείας μας. [53]

Σε αυτήν κατηγορία βλέπουμε ότι τα ορυκτά λάδια προκαλούν περισσότερα προβλήματα από τις εκπομπές τους, παράγοντας μεγαλύτερο σχηματισμό όζοντος και γενικότερα προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία απ' ό τι τα φυτικά λάδια.

### 3.2.13 Καρκινογόνος Τοξικότητα Στον Άνθρωπο

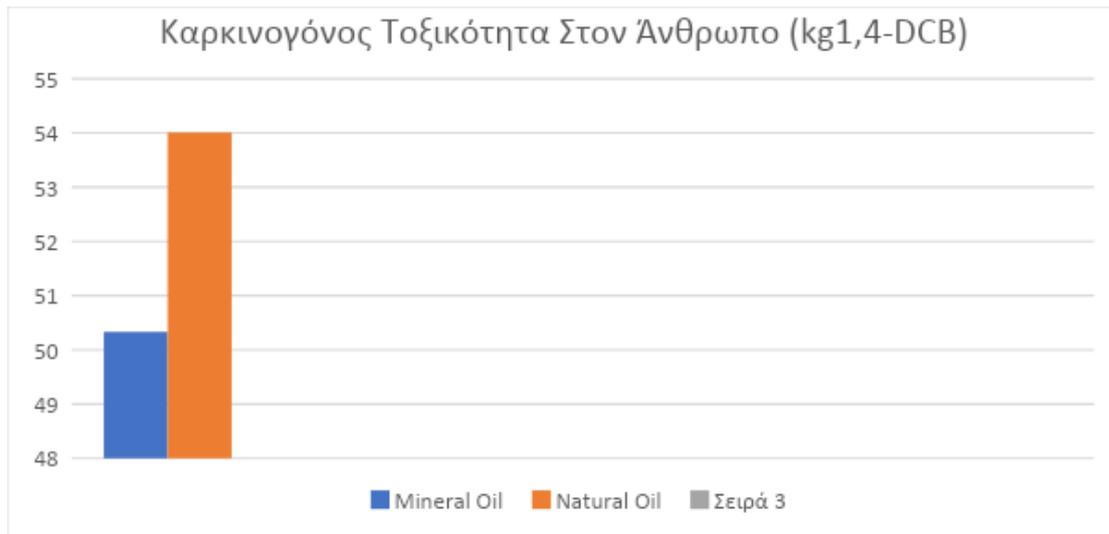
Το πρόγραμμα μας έβγαλε τα εξής αποτελέσματα για την καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο:

Name	Category	Inventory res...	Impact factor	Impact result	Unit
Human carcinogenic toxicity				50.33139	kg 1,4-DCB
market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			50.33139	kg 1,4-DCB
Chromium VI	Emission to water / ground water, long-term	0.00514 kg	7440.00000 kg 1,4-DCB/kg	38.24490	kg 1,4-DCB
Chromium VI	Emission to water / river	0.00080 kg	7440.00000 kg 1,4-DCB/kg	5.96940	kg 1,4-DCB
Chromium VI	Emission to air / low population density	5.28810E-5 kg	2.57000E4 kg 1,4-DCB/kg	1.35904	kg 1,4-DCB
Arsenic	Emission to water / ground water, long-term	0.00370 kg	345.00000 kg 1,4-DCB/kg	1.27562	kg 1,4-DCB
Nickel	Emission to water / ground water, long-term	0.03776 kg	22.80000 kg 1,4-DCB/kg	0.86104	kg 1,4-DCB
Chromium VI	Emission to water / ground water	6.82664E-5 kg	7440.00000 kg 1,4-DCB/kg	0.50790	kg 1,4-DCB

Εικόνα 3.29: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Human carcinogenic toxicity				54.01677	kg 1,4-DCB
market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			54.01677	kg 1,4-DCB
Chromium VI	Emission to water / ground water, long-term	0.00504 kg	7440.00000 kg 1,4-DCB/kg	37.48228	kg 1,4-DCB
Chromium VI	Emission to water / river	0.00113 kg	7440.00000 kg 1,4-DCB/kg	8.43520	kg 1,4-DCB
Furan	Emission to air / low population density	1.14253 kg	2.60000 kg 1,4-DCB/kg	2.97059	kg 1,4-DCB
Chromium VI	Emission to air / low population density	3.41868E-5 kg	2.57000E4 kg 1,4-DCB/kg	0.87860	kg 1,4-DCB
Formaldehyde	Emission to air / low population density	0.34604 kg	1.87000 kg 1,4-DCB/kg	0.64710	kg 1,4-DCB
Arsenic	Emission to water / ground water, long-term	0.00178 kg	345.00000 kg 1,4-DCB/kg	0.61395	kg 1,4-DCB
Nickel	Emission to water / ground water, long-term	0.02468 kg	22.80000 kg 1,4-DCB/kg	0.56273	kg 1,4-DCB
Chromium VI	Emission to soil / unspecified	9.73636E-5 kg	5720.00000 kg 1,4-DCB/kg	0.55692	kg 1,4-DCB

Εικόνα 3.30: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο.



Γράφημα 3.13: Σύγκριση εκπομπών για την καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο.

Οι χημικές ουσίες που εκπέμπονται (στο νερό, στον αέρα, στο έδαφος κλπ.) στο περιβάλλον σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, των συστημάτων και των υπηρεσιών μπορούν να βλάψουν την υγεία του ανθρώπου. Οι απογραφές εκπομπών διαφόρων προϊόντων ενδέχεται να εμπεριέχουν εκατοντάδες χημικές ουσίες, όπου πολλές από αυτές έχουν την δυνατότητα να προκαλέσουν τοξικές επιπτώσεις για τον άνθρωπο. Ένας καρκινογόνος παράγοντας για τον άνθρωπο μέσω εισπνοής είναι το χρώμιο. [54]

Σε αυτό το διάγραμμα καθώς και στα αποτελέσματα που μας έχει βγάλει το πρόγραμμα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η παραγωγή των δύο λαδιών εκπέμπει καρκινογόνες ουσίες για τον άνθρωπο. Οι διαφορές των δύο λαδιών δεν είναι αρκετά μεγάλη. Οι χημικές ουσίες για την επεξεργασία των ορυκτών λαδιών και το γεγονός ότι υπάρχει άμεση επαφή των ανθρώπων με φυτοφάρμακα για την παραγωγή των φυτικών λαδιών δικαιολογεί αυτά τα ποσοστά.

### 3.2.14 Καταστροφή Του Στρατοσφαιρικού Όζοντος

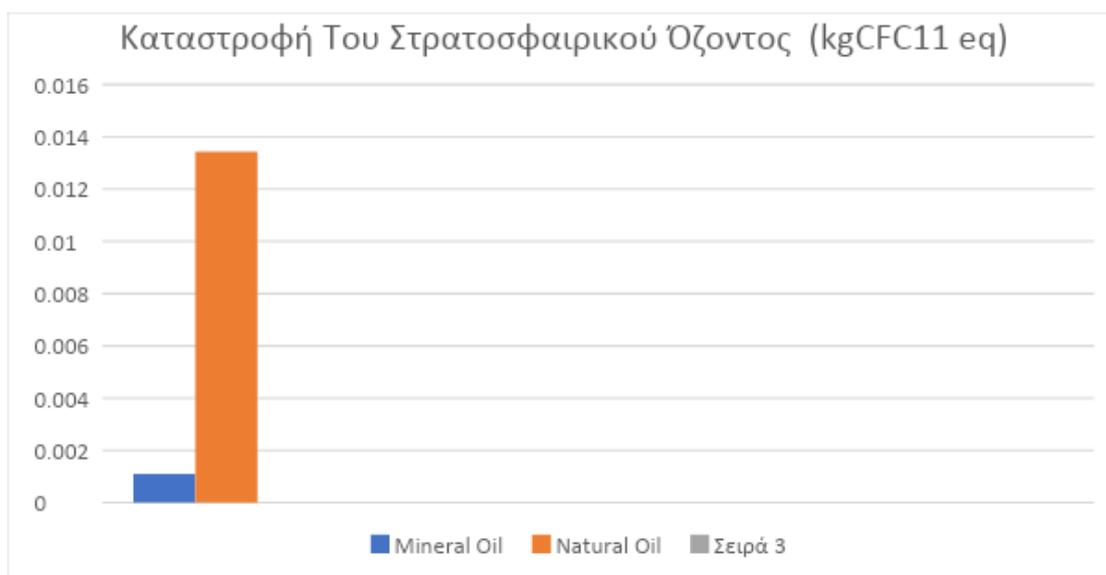
Το πρόγραμμα μας έβγαλε τα εξής αποτελέσματα για την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος:

Name	Category	Inventory res...	Impact factor	Impact result	Unit
Stratospheric ozone depletion				0.00110	kg CFC11 eq
market for lubricating oil - GLO Others / Ecoinvent cut-off S copy				0.00110	kg CFC11 eq
Methane, bromotrifluoro-, H	Emission to air / low population density	5.05483E-5 kg	14.10000 kg CFC11 eq/kg	0.00071	kg CFC11 eq
Dinitrogen monoxide	Emission to air / low population density	0.01187 kg	0.01100 kg CFC11 eq/kg	0.00013	kg CFC11 eq
Dinitrogen monoxide	Emission to air / high population density	0.01120 kg	0.01100 kg CFC11 eq/kg	0.00012	kg CFC11 eq
Dinitrogen monoxide	Emission to air / unspecified	0.00889 kg	0.01100 kg CFC11 eq/kg	9.78053E-5	kg CFC11 eq
Methane, bromochlorodifluor	Emission to air / low population density	3.24773E-6 kg	8.78000 kg CFC11 eq/kg	2.85151E-5	kg CFC11 eq

Εικόνα 3.31: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος.

Name	Category	Inventor...	Impact factor	Impact result	Unit
Stratospheric ozone depletion				0.01343	kg CFC11 eq
market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			0.01343	kg CFC11 eq
Dinitrogen monoxide	Emission to air / low population density	1.12669 kg	0.01100 kg CFC11 eq/kg	0.01239	kg CFC11 eq
Dinitrogen monoxide	Emission to air / high population density	0.07541 kg	0.01100 kg CFC11 eq/kg	0.00083	kg CFC11 eq

Εικόνα 3.32: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος.



Γράφημα 3.14: Σύγκριση εκπομπών για την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος.

Όταν τα άτομα αζώτου, χλωρίου, μεθανίου και βρωμίου έρχονται σε επαφή με το όζον στην στρατόσφαιρα καταστρέφουν τα μόρια του όζοντος. Το όζον μπορεί να καταστραφεί πολύ πιο γρήγορα απ' όση δημιουργείται. Ένα άτομο χλωρίου είναι ικανό να καταστρέψει 100.000 μόρια όζοντος προτού απομακρυνθεί από την στρατόσφαιρα. Ορισμένες ενώσεις όταν έρθουν σε επαφή με έντονο υπεριώδες φως στην στρατόσφαιρα απελευθερώνουν βρώμιο ή χλώριο. Οι ενώσεις αυτές συμβάλλουν στην καταστροφή του όζοντος και ονομάζονται αλλιώς ODS. Αν οι ενώσεις αυτές (ODS) εκπέμπονται από την επιφάνεια της Γης η τελική τους μεταφορά στην στρατόσφαιρα μπορεί να διαρκέσει από δύο έως και πέντε χρόνια. [55]

Η παραγωγή και των δύο λαδιών μπορεί να επηρεάσει το όζον της στρατόσφαιρας. Στις εκπομπές του προγράμματος και στο γράφημα μπορούμε να δούμε ότι τα φυτικά λάδια παράγουν περισσότερες εκπομπές απ' όση τα ορυκτά λάδια και αυτό δικαιολογείται από χρήση φυτοφαρμάκων που εκλύουν αυτά τα αέρια.

### 3.2.15 Ευτροφισμός Γλυκού Νερού

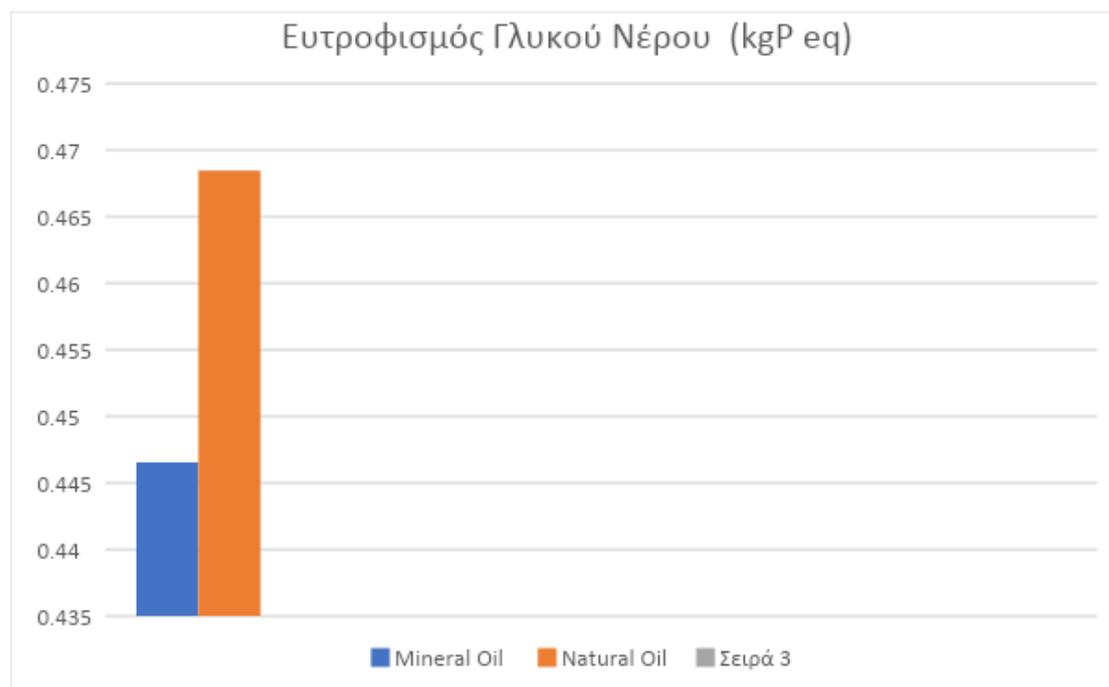
Το πρόγραμμα μας έβγαλε τα εξής αποτελέσματα για τον ευτροφισμό του γλυκού νερού:

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
∨ Freshwater eutrophication				0.44656	kg P eq
∨ P market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			0.44656	kg P eq
F Phosphate	Emission to water / ground water, long-term	1.10016 kg	0.33000 kg P eq/kg	0.36305	kg P eq
F Phosphate	Emission to water / ground water	0.24829 kg	0.33000 kg P eq/kg	0.08194	kg P eq

Εικόνα 3.33: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για τον ευτροφισμό του γλυκού νερού.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
∨ Freshwater eutrophication				0.46846	kg P eq
∨ P market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			0.46846	kg P eq
F Phosphate	Emission to water / ground water, long-term	0.64695 kg	0.33000 kg P eq/kg	0.21349	kg P eq
F Phosphorus	Emission to water / river	0.15385 kg	1.00000 kg P eq/kg	0.15385	kg P eq
F Phosphate	Emission to water / ground water	0.17491 kg	0.33000 kg P eq/kg	0.05772	kg P eq
F Phosphate	Emission to water / river	0.08376 kg	0.33000 kg P eq/kg	0.02764	kg P eq
F Phosphorus	Emission to water / ground water	0.01434 kg	1.00000 kg P eq/kg	0.01434	kg P eq

Εικόνα 3.34: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για τον ευτροφισμό του γλυκού νερού.



Γράφημα 3.15: Σύγκριση εκπομπών για τον ευτροφισμό του γλυκού νερού.

Ο ευτροφισμός του γλυκού νερού αναφέρεται στην υπερβολική ανάπτυξη των υδρόβιων φυτών και φυκών, εξαιτίας του υψηλού επιπέδου των θρεπτικών ουσιών στα οικοσυστήματα γλυκών νερών, όπως είναι οι λίμνες (τεχνητές και φυσικές) και τα ποτάμια. Πέρα από ένα ορισμένο όριο συσσώρευσης φωσφόρου, ενεργοποιείται ένας

μηχανισμός ανακύκλωσης που μπορεί να κρατήσει το σύστημα κλειδωμένο σε μια ευτροφική κατάσταση ακόμη και όταν οι εισροές θρεπτικών ουσιών μειώνονται σημαντικά. Ο ευτροφισμός γλυκού νερού μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στις λειτουργίες του οικοσυστήματος, επηρεάζοντας την αλιεία, την αναψυχή, της αισθητική και γενικά την υγεία. [56]

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που έχουμε από το πρόγραμμα τις περισσότερες εκπομπές φωσφόρου τις παράγουν τα φυτικά λάδια, η διαφορά με τα ορυκτά λάδια δεν είναι πολύ μεγάλη. Ο κύριος μοχλός του ευτροφισμού του γλυκού νερού είναι η μόλυνση των θρεπτικών ουσιών στην μορφή του φωσφόρου από γεωργικά λιπάσματα, εκροή λυμάτων και αστική απορροή όμβριων υδάτων (δηλαδή βρόχινων νερών).

### 3.2.16 Χρήση Γης

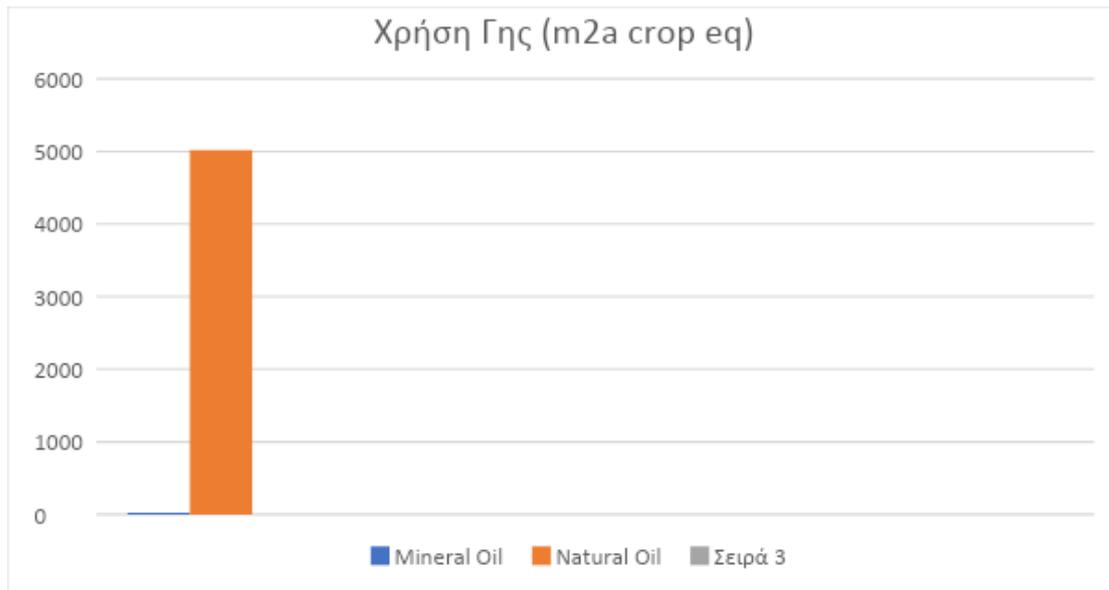
Το πρόγραμμα μας έβγαλε τα εξής αποτελέσματα για την χρήση Γης:

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Land use				21.42318	m2a crop eq
market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			21.42318	m2a crop eq
Occupation, forest, intensive	Resource / land	50.54068 m2*a	0.30000 m2a crop eq/m2*a	15.16220	m2a crop eq
Occupation, industrial area, built up	Resource / land	4.94351 m2*a	0.73000 m2a crop eq/m2*a	3.60876	m2a crop eq
Occupation, traffic area, road network	Resource / land	3.45261 m2*a	0.73000 m2a crop eq/m2*a	2.52041	m2a crop eq
Occupation, traffic area, road embankment	Resource / land	1.24902 m2*a	0.73000 m2a crop eq/m2*a	0.91179	m2a crop eq
Occupation, mineral extraction site	Resource / land	1.01672 m2*a	0.73000 m2a crop eq/m2*a	0.74221	m2a crop eq
Occupation, dump site	Resource / land	3.08177 m2*a	-0.73000 m2a crop eq/m2*a	-2.24970	m2a crop eq

Εικόνα 3.35: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την χρήση Γης.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Land use				5017.64339	m2a crop eq
market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			5017.64339	m2a crop eq
Occupation, annual crop	Resource / land	1822.22630 m2*a	1.00000 m2a crop eq/m2*a	1822.22630	m2a crop eq
Transformation, from forest, secondary (non-use)	Resource / land	25.76080 m2	36.80000 m2a crop eq/m2	947.99744	m2a crop eq
Occupation, annual crop, non-irrigated, intensive	Resource / land	930.00501 m2*a	1.00000 m2a crop eq/m2*a	930.00501	m2a crop eq
Transformation, from forest, primary (non-use)	Resource / land	17.68718 m2	36.80000 m2a crop eq/m2	650.88811	m2a crop eq
Occupation, permanent crop	Resource / land	705.18076 m2*a	0.70000 m2a crop eq/m2*a	493.62653	m2a crop eq
Occupation, annual crop, irrigated	Resource / land	114.07161 m2*a	1.00000 m2a crop eq/m2*a	114.07161	m2a crop eq

Εικόνα 3.36: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την χρήση Γης.



Γράφημα 3.16: Σύγκριση εκπομπών για την χρήση Γης.

Η κατηγορία επιπτώσεων για την χρήση της γης περιγράφει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αναδιαμόρφωσης, της κατάληψης και της διαχείρισης της γης για ανθρώπινους σκοπούς. Η χρήση της γης μπορεί να είναι για αρκετό διάστημα (π.χ. για διάφορες καλλιέργειες) ή για άλλο τύπο χρήσης (π.χ. από φυσική σε αστική περιοχή). Περιλαμβάνει τις περιβαλλοντικές συνέπειες που επηρεάζουν το περιβάλλον λόγω χρήσης της ίδιας της γης (π.χ. μέσω της μείωσης φύτευσης μονοκαλλιεργειών ή τεχνητής βλάστησης). Σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες για την χρήση της γης είναι η μείωση της ποικιλότητας από διάφορα είδη άγριας ζωής καθώς και η μείωση της διαθεσιμότητας οικοτόπων (χερσαίων περιοχές). Η χρήση γης μας οδηγεί σε υποβάθμιση της φυσικότητας της χρησιμοποιούμενης περιοχής. [57]

Σε αυτήν την κατηγορία τα φυτικά λάδια έχουν συντριπτική διαφορά με τα ορυκτά λάδια. Τα φυτικά λάδια όπως είπαμε στο πρώτο κεφάλαιο αποτελούνται κυρίως από φυτικούς οργανισμούς, οι οποίοι προέρχονται από καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Όλες αυτές οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις γης μαζί με διάφορες άλλες (που είναι αναγκαίες για την τελική διάθεση του προϊόντος) αποτυπώνονται μέσα στο πρόγραμμα. Τα ορυκτά λάδια αποτελούνται κυρίως υδρογονάνθρακες (αργό πετρέλαιο) και οι άντληση τους γίνεται από την διάτρηση του εδάφους, όπου βρίσκονται υπόγεια. Επομένως η χρήση γης που γίνεται για την παραγωγή των φυτικών λαδιών είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή με των ορυκτών λαδιών.

### 3.2.17 Θαλάσσιος Ευτροφισμός

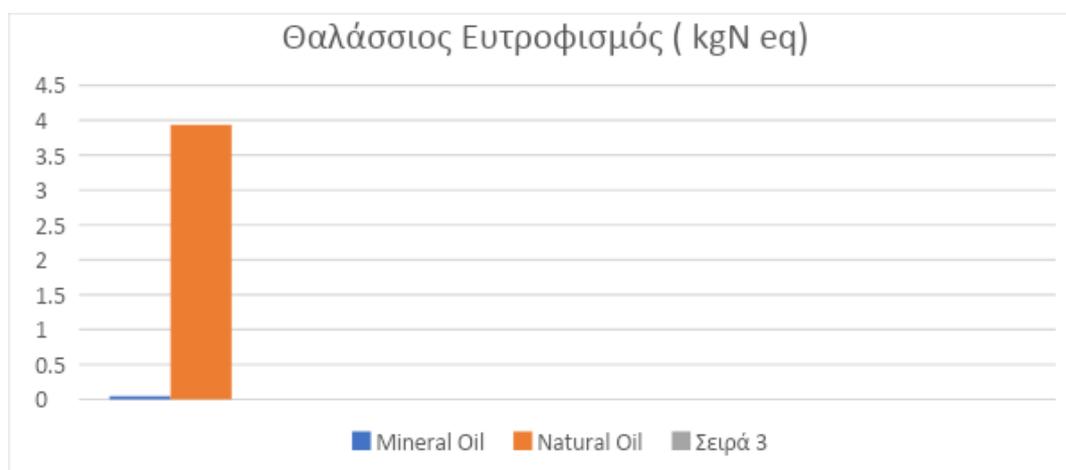
Το πρόγραμμα έβγαλε τα εξής αποτελέσματα για τον θαλάσσιο ευτροφισμό:

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Marine eutrophication				0.04200	kg N ...
market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			0.04200	kg N ...
Nitrate	Emission to water / ground water, long-term	0.36499 kg	0.06710 kg N eq/kg	0.02449	kg N ...
Nitrogen, organic bound	Emission to water / ocean	0.00666 kg	1.00000 kg N eq/kg	0.00666	kg N ...
Ammonium, ion	Emission to water / ocean	0.00292 kg	0.77600 kg N eq/kg	0.00226	kg N ...
Nitrogen, organic bound	Emission to water / river	0.00610 kg	0.29700 kg N eq/kg	0.00181	kg N ...
Nitrogen, atmospheric	Emission to water / river	0.00532 kg	0.29700 kg N eq/kg	0.00158	kg N ...
Nitrate	Emission to water / river	0.02203 kg	0.06710 kg N eq/kg	0.00148	kg N ...
Ammonium, ion	Emission to water / river	0.00431 kg	0.23000 kg N eq/kg	0.00099	kg N ...
Nitrate	Emission to water / ground water	0.01450 kg	0.06710 kg N eq/kg	0.00097	kg N ...
Nitrate	Emission to water / ocean	0.00378 kg	0.22600 kg N eq/kg	0.00085	kg N ...
Nitrogen, organic bound	Emission to water / ground water, long-term	0.00154 kg	0.29700 kg N eq/kg	0.00046	kg N ...

Εικόνα 3.37: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για τον θαλάσσιο ευτροφισμό.

Name	Category	Inventory r...	Impact factor	Impact result	Unit
Marine eutrophication				3.93111	kg N eq
market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			3.93111	kg N eq
Nitrate	Emission to water / ground water	55.42611 kg	0.06710 kg N eq/kg	3.71909	kg N eq
Nitrate	Emission to water / river	1.12243 kg	0.06710 kg N eq/kg	0.07531	kg N eq
Ammonium, ion	Emission to water / river	0.26208 kg	0.23000 kg N eq/kg	0.06028	kg N eq
Nitrogen, organic bound	Emission to water / ground water	0.16406 kg	0.29700 kg N eq/kg	0.04873	kg N eq

Εικόνα 3.38: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για τον θαλάσσιο ευτροφισμό.



Γράφημα 3.17: Σύγκριση εκπομπών για τον θαλάσσιο ευτροφισμό.

Ως θαλάσσιος ευτροφισμός ορίζεται η αντίδραση ενός θαλάσσιου οικοσυστήματος στην υπερβολική διαθεσιμότητα ενός περιοριστικού θρεπτικού στοιχείου. Με την έννοια «περιοριστικό θρεπτικό στοιχείο» εννοούμε ότι η ύπαρξη κάποιου συστατικού συμβάλλει αρνητικά στην έκταση της πρωτογενούς παραγωγής στο οικοσύστημα. Συγκεκριμένα, στα θαλάσσια ύδατα πρόκειται για ενώσεις αζώτου ή και φωσφόρου, οι οποίες μεταφέρονται από την βροχή, με αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή φυκών



και συνεπώς την αλλαγή στην ισορροπία της βιοποικιλότητας και της βιώσιμης παροχής αγαθών και υπηρεσιών. [58]

Στην συγκεκριμένη κατηγορία παρατηρούμε ότι η παραγωγή φυτικών λαδιών παράγει εκπομπές που οδηγούν στο φαινόμενο του θαλάσσιου ευτροφισμού σε σχέση με τα ορυκτά λάδια που έχουν σχεδόν μηδενικό αντίκτυπο. Το γεγονός αυτό βασίζεται κυρίως από την εκτεταμένη χρήση λιπασμάτων για τις γεωργικές καλλιέργειες ..

### 3.2.18 Μη Καρκινογόνο Τοξικότητα Στον Άνθρωπο

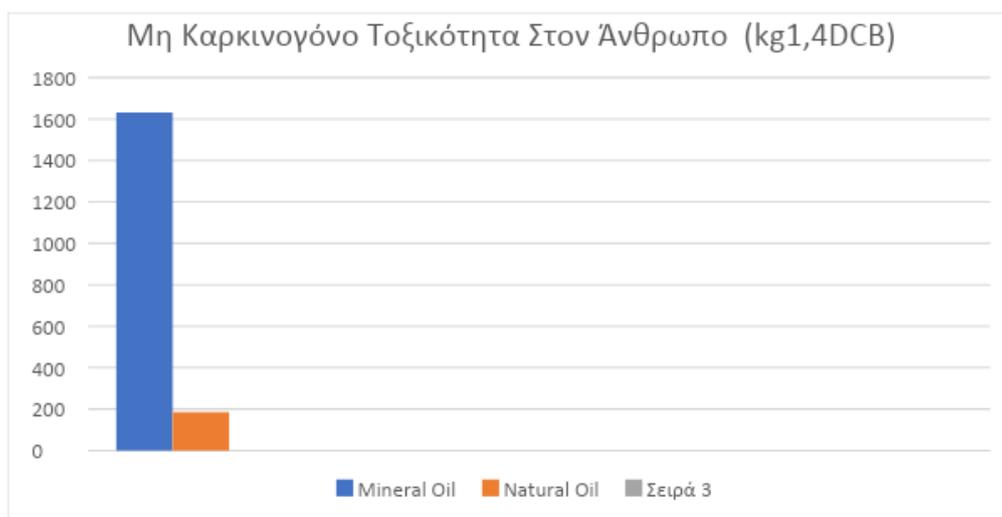
Το πρόγραμμα μας έβγαλε τα εξής αποτελέσματα για την μη καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο:

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Human non-carcinogenic toxicity				1632.66532	kg 1,4...
market for lubricating oil - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			1632.66532	kg 1,4...
Zinc	Emission to water / ground water, long-term	0.12153 kg	8240.00000 kg 1,4-DCB/kg	1001.43258	kg 1,4...
Arsenic	Emission to water / ground water, long-term	0.00370 kg	8.74000E4 kg 1,4-DCB/kg	323.15741	kg 1,4...
Arsenic	Emission to water / river	0.00075 kg	8.74000E4 kg 1,4-DCB/kg	65.70718	kg 1,4...
Arsenic	Emission to air / low population density	0.00040 kg	1.41000E5 kg 1,4-DCB/kg	56.87063	kg 1,4...
Lead	Emission to air / low population density	0.00115 kg	2.98000E4 kg 1,4-DCB/kg	34.18725	kg 1,4...
Zinc	Emission to water / river	0.00397 kg	8240.00000 kg 1,4-DCB/kg	32.68506	kg 1,4...

Εικόνα 3.39: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές ορυκτών λαδιών για την μη καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο.

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Human non-carcinogenic toxicity				185.61945	kg 1,4-DCB
market for vegetable oil, refined - GLO	Others / Ecoinvent cut-off S copy			185.61945	kg 1,4-DCB
Zinc	Emission to water / ground water, long-term	0.06320 kg	8240.00000 kg 1,4-DCB/kg	520.73497	kg 1,4-DCB
Arsenic	Emission to water / ground water, long-term	0.00178 kg	8.74000E4 kg 1,4-DCB/kg	155.53444	kg 1,4-DCB
Arsenic	Emission to water / river	0.00055 kg	8.74000E4 kg 1,4-DCB/kg	47.73416	kg 1,4-DCB
Acephate	Emission to soil / agricultural	0.00256 kg	1.65000E4 kg 1,4-DCB/kg	42.29162	kg 1,4-DCB
Cadmium	Emission to soil / agricultural	0.00027 kg	1.00000E5 kg 1,4-DCB/kg	26.97993	kg 1,4-DCB
Arsenic	Emission to air / low population density	0.00016 kg	1.41000E5 kg 1,4-DCB/kg	22.05069	kg 1,4-DCB
Zinc	Emission to air / high population density	0.00230 kg	8250.00000 kg 1,4-DCB/kg	18.98996	kg 1,4-DCB
Arsenic	Emission to water / ground water	0.00020 kg	8.74000E4 kg 1,4-DCB/kg	17.90706	kg 1,4-DCB
Zinc	Emission to water / ground water	0.00213 kg	8240.00000 kg 1,4-DCB/kg	17.59066	kg 1,4-DCB
Lead	Emission to air / low population density	0.00048 kg	2.98000E4 kg 1,4-DCB/kg	14.24986	kg 1,4-DCB
Zinc	Emission to water / river	0.00160 kg	8240.00000 kg 1,4-DCB/kg	13.16207	kg 1,4-DCB
Antimony	Emission to air / unspecified	0.00249 kg	3860.00000 kg 1,4-DCB/kg	9.61416	kg 1,4-DCB
Zinc	Emission to air / low population density	0.00068 kg	1.18000E4 kg 1,4-DCB/kg	8.05921	kg 1,4-DCB
Zinc	Emission to air / unspecified	0.00096 kg	8250.00000 kg 1,4-DCB/kg	7.89690	kg 1,4-DCB
Lead	Emission to air / unspecified	0.00026 kg	2.23000E4 kg 1,4-DCB/kg	5.90327	kg 1,4-DCB
Lead	Emission to air / high population density	0.00025 kg	2.23000E4 kg 1,4-DCB/kg	5.48143	kg 1,4-DCB
Carbofuran	Emission to soil / agricultural	0.03595 kg	140.00000 kg 1,4-DCB/kg	5.03364	kg 1,4-DCB
Hexane	Emission to air / high population density	1.98245 kg	2.20000 kg 1,4-DCB/kg	4.36139	kg 1,4-DCB
Acephate	Emission to air / low population density	0.00017 kg	1.93000E4 kg 1,4-DCB/kg	3.34188	kg 1,4-DCB
Vanadium	Emission to water / ground water, long-term	0.00541 kg	605.00000 kg 1,4-DCB/kg	3.27503	kg 1,4-DCB
Mercury	Emission to water / ground water, long-term	5.72510E-5 kg	5.62000E4 kg 1,4-DCB/kg	3.21751	kg 1,4-DCB
Arsenic	Emission to air / high population density	2.99772E-5 kg	1.06000E5 kg 1,4-DCB/kg	3.17758	kg 1,4-DCB
Chlorpyrifos methyl	Emission to soil / agricultural	0.03497 kg	88.80000 kg 1,4-DCB/kg	3.10502	kg 1,4-DCB
Cadmium	Emission to air / low population density	4.69043E-5 kg	5.00000E4 kg 1,4-DCB/kg	2.34521	kg 1,4-DCB
Carbon disulfide	Emission to air / low population density	0.00310 kg	752.00000 kg 1,4-DCB/kg	2.32837	kg 1,4-DCB
Acrolein	Emission to air / unspecified	0.00024 kg	9490.00000 kg 1,4-DCB/kg	2.28190	kg 1,4-DCB

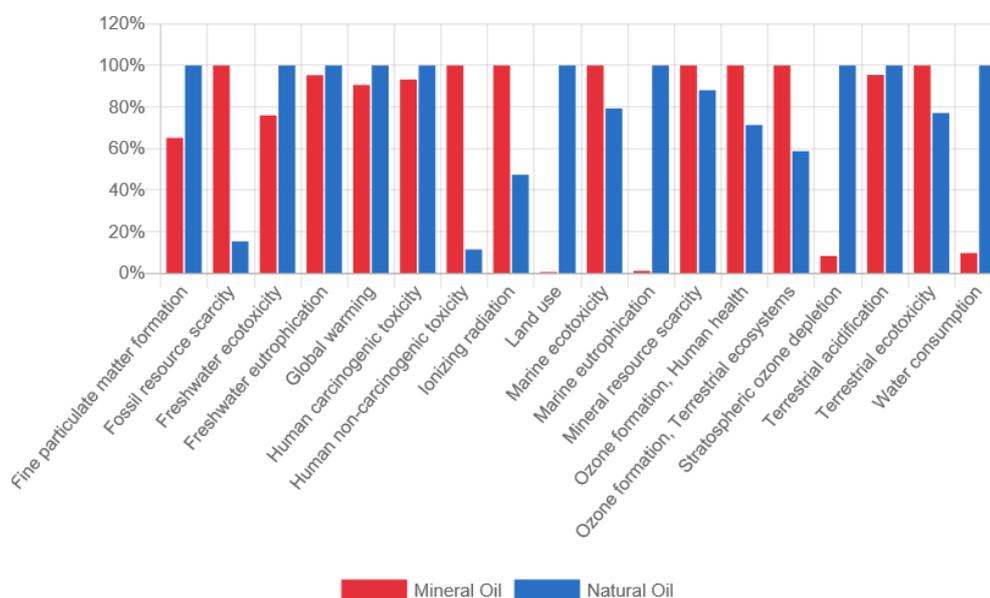
Εικόνα 3.40: Εκτύπωση οθόνης με τις εκπομπές φυτικών λαδιών για την μη καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο.



Γράφημα 3.18: Σύγκριση εκπομπών για την μη καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο.

Η κατηγορία αυτή αφορά τις δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου όπου προκαλούνται από την πρόσληψη τοξικών ουσιών μέσω εισπνοής αέρα, κατάποσης τροφής ή νερού, διείσδυσης μέσω δέρματος. Εφόσον δεν σχετίζονται με μη καρκινικές επιδράσεις, δεν προκαλούνται από σωματίδια και αναπνευστικά ανόργανα ή ιονίζουσα ακτινοβολία. [59]

Στην κατηγορία αυτή παρατηρούμε ότι η παραγωγή τοξικών ουσιών μη καρκινογόνων για τα ορυκτά λάδια είναι πολύ περισσότερη από αυτή των φυτικών λαδιών.



Εικόνα 3.41: Εκτύπωση οθόνης για την σύγκριση ορυκτών λαδιών και φυτικών λαδιών στο Open LCA.

Στην ουσία μας δείχνει μια γενική εικόνα στην σύγκριση 18 κατηγοριών μεταξύ των ορυκτών και φυτικών λαδιών.

## 4. Συμπεράσματα

Αρχικά, διαπιστώσαμε πως η ανάλυση κύκλου ζωής είναι μια μέθοδος, η οποία έχει αναπτυχθεί γενικά για να αξιολογήσει την περιβαλλοντική επίπτωση της παραγωγής προϊόντων καθώς και τα στάδια που την συνοδεύουν. Η AKZ καταγράφει όλες τις πρώτες ύλες και διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την τελική παραγωγή του προϊόντος. Οι διαδικασίες μπορεί να αφορούν μηχανουργικές κατεργασίες, μεταφορά πρώτων υλών, συσκευασία τελικού προϊόντος κλπ. Για κάθε διαδικασία υπολογίζεται η ενεργειακή κατανάλωση, η χρήση άλλων πόρων καθώς και οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις που προξενεί. Είναι ένας τρόπος με τον οποίο εκτιμάται το γενικό σύνολο της κατανάλωσης πόρων, ενέργειας και περιβαλλοντικής επιβάρυνσης όπου σχετίζεται με την παραγωγή προϊόντος. Η AKZ στην συνέχεια επεκτείνεται στην κατανάλωση ενέργειας και την περιβαλλοντική επιβάρυνση που αποτυπώνεται με την χρήση προϊόντος καθώς και την ανακύκλωση ή αποσυναρμολόγηση του κατά το τέλος της ωφέλιμης ζωής του. Είναι ξεκάθαρο ότι η μέθοδος αυτή αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο αξιολόγησης για την αειφόρο ανάπτυξη μιας διαδικασίας ή επένδυσης. Η μελέτη μιας AKZ εστιάζει στην συλλογή και γενικά στη διεξοδική ανάλυση των στοιχείων εισόδου (inputs) και εξόδου (outputs), στην διαμόρφωση ισοζυγίων μάζας, ενεργειακών ισοζυγίων και περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνεπάγονται με αυτά.

Η χρήση του λογισμικού Open LCA μας παραθέτει δεδομένα από αξιόπιστες πηγές βοηθώντας μας να αναλύσουμε τον κύκλο ζωής των ορυκτών και φυτικών λαδιών. Ανάλογα με τους στόχους που έχουμε θέσει (AKZ) καθώς και τα δεδομένα που μας παρέχει το πρόγραμμα (συλλογή-εξόρυξη και παραγωγή) μπορούμε να επιλέξουμε τις κατάλληλες συγκρίσεις που θέλουμε. Έτσι θέλοντας να έχουμε μία γενική εικόνα για τα δύο αυτά λάδια πραγματοποιήσαμε συγκρίσεις ανάμεσα σε 18 κατηγορίες επιπτώσεων στο περιβάλλον. Στις 10 κατηγορίες τα φυτικά λάδια έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο σε αυτό (και μάλιστα σε 3 κατηγορίες όπως η χερσαία όξυνση, η καρκινογόνος τοξικότητα στον άνθρωπο και ο ευτροφισμός γλυκού νερού να έχουν σχεδόν ίσες εκπομπές με τα ορυκτά λάδια,). Αυτές οι 10 κατηγορίες είναι οι εξής:

- Οικοτοξικότητα γλυκού νερού
- Χερσαία όξυνση
- Παγκόσμια Υπερθέρμανση
- Σχηματισμός μικροσωματιδίων
- Κατανάλωση νερού
- Καρκινογόνος τοξικότητα στον άνθρωπο
- Καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος
- Ευτροφισμός γλυκού νερού
- Χρήση γης
- Θαλάσσιος ευτροφισμός

Οι υπόλοιπες 8 κατηγορίες στις οποίες τώρα τα ορυκτά λάδια έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο είναι οι εξής:

- Χερσαία οικοτοξικότητα
- Θαλάσσια οικοτοξικότητα
- Εξάντληση ορυκτών πόρων
- Εξάντληση στερεών ορυκτών πόρων
- Σχηματισμός μικροσωματιδίων στα χερσαία οικοσυστήματα
- Ιονίζουσα ακτινοβολία
- Σχηματισμός όζοντος, ανθρώπινη υγεία
- Μη καρκινογόνος τοξικότητα στον άνθρωπο

Επομένως, η παραγωγή εκπομπών των δύο λαδιών σε αρκετές κατηγορίες είναι μεγάλη χωρίς ωστόσο να ξεχωρίζουμε ξεκάθαρα ποιο είναι πιο ρυπογόνο καθώς δεν υπάρχει τεράστια διαφορά μεταξύ τους. Το αποτέλεσμα στην σύγκριση των δύο λαδιών καθορίζεται από την παρακάτω παράγραφο.

Ο ρόλος ενός μονωτικού λαδιού σε οποιοδήποτε μετασχηματιστή είναι πολύ σημαντικός καθώς το μονωτικό λάδι είναι υπεύθυνο για την ηλεκτρική μόνωση μεταξύ τυλιγμάτων και τυλιγμάτων γης όπως επίσης και για την μεταφορά θερμότητας από τα τυλίγματα και τον πυρήνα προς το εξωτερικό σύστημα ψύξης. Βάσει δεδομένων καταλήγουμε ότι τα ορυκτά λάδια είναι ελαφρώς τοξικά, κακώς βιοδιασπώμενα, αρκετά εύφλεκτα (σε μεγάλες θερμοκρασίες υπάρχει κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς) και αποτελούνται από μη ανανεώσιμη πηγή. Από την άλλη τα φυτικά λάδια στην ουσία είναι φυτικά προϊόντα διαθέσιμα σε αφθονία (προέρχονται από ανανεώσιμη πηγή), έχουν μεγάλη βιοδιασπασιμότητα και είναι ελάχιστα τοξικά σε σχέση με τα ορυκτά. Αντιθέτως, το μονωτικό λάδι που χρησιμοποιείται περισσότερο στους μετασχηματιστές είναι το ορυκτέλαιο. Συνήθως είναι το μονωτικό υγρό αναφοράς καθώς συγκρίνεται με τα υπόλοιπα μονωτικά λάδια, διότι έχει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα και τον καλύτερο συνδυασμό χαμηλού κόστους και τεχνικών χαρακτηριστικών, αδιαφορώντας για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προξενεί σε σχέση με τα φυτικά λάδια. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω η ανάλυση κύκλου ζωής και η εκτίμηση περιβαλλοντικού κόστους των μονωτικών ελαίων μετασχηματιστών φυτικής και πετρελαϊκής προέλευσης μας οδηγούν στην τελική και πιο φιλική επιλογή για το περιβάλλον, η οποία είναι τα φυτικά λάδια.

## 5. Αναφορές

- [1] J. C. Da Silva, “Analysis of the application of Insulating Vegetable Oil in electric power distribution transformers,” *Acad. J. Comput. Eng. Appl. Math.*, vol. 1, no. 3, pp. 1–10, 2020
- [2] R. Actis, M. Riccardo, and T. Vander, “Diagnostics of HV bushings through oil sampling and analysis,” *Transform. Mag.*, pp. 142–147, 2017.
- [3] Στρατάκης Γ. , “Ηλεκτρικές μηχανές-Βιομηχανική αυτοματισμοί” Σημειώσεις
- [4] ABB, Data Sheets Transformer, Transformer 25MVA (1ZVN460100-E), 2007
- [5] Δημακοπούλου Παναγιώτα, “Διηλεκτρικές δοκιμές μονωτικών ελαίων φυτικής προέλευσης” Διπλωματική Εργασία
- [6] C. T. Dervos, C. D. Paraskevas, P. Skafidas, and P. Vassiliou, “Dielectric characterization of power transformer oils as a diagnostic life prediction method,” *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 21, no. 1, pp. 11–19, 2005.
- [7] Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος, Σημειώσεις “Υψηλών Τάσεων”, Αιγάλεω 2018
- [8] Σαμοίλης Β.Γ., “Μονωτικά λάδια” Αθήνα 1979
- [9] Ανδρικόπουλος Αθανάσιος, “Διηλεκτρικές δοκιμές σε μονωτικά λάδια”, Διπλωματική εργασία, Αθήνα
- [10] “Vegetable Oils for Liquid – Filled Transformers” , IEEE Electrical Insulation Magazine, January/ February 2002 – Vol.18, No 1 , pages: 6- 11.
- [11] M. Rycroft, “Vegetable oil as insulating fluid for transformers,” *Energize*, no. April, pp. 37–40, 2014.
- [12] Safety Engineer (2022), Λάδια Μετασχηματιστή. Διαθέσιμο στο: <https://www.safetyengineer.gr/ladia-metaximatisti.html> [Πρόσβαση 16 Φεβρουαρίου 2023]
- [13] H. Moulai *et al.*, “Physico-chemical properties of power transformer oil mixtures,” in *Proceedings of the Mediterranean Electrotechnical Conference - MELECON*, 2010, pp. 1105–1110.
- [14] D. K. Mahanta and S. Laskar, “Electrical insulating liquid: A review,” *J. Adv. Dielectr.*, vol. 7, no. 4, pp. 1–9, 2017.
- [15] Τσιακτήρα Δ.Ι. , “Διηλεκτρικές ιδιότητες ηλεκτρομονωτικών ελαίων. Επίδραση νανοσωματιδιακής ρύπανσης”, Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2011

- [16] M. Rafiq, M. Shafique, A. Azam, M. Ateeq, I. A. Khan, and A. Hussain, “Sustainable, Renewable and Environmental-Friendly Insulation Systems for High Voltages Applications,” *Molecules*, vol. 25, no. 3901, pp. 1–43, 2020.
- [17] D. M. Mehta, P. Kundu, A. Chowdhury, V. K. Lakhiani, and A. S. Jhala, “A review on critical evaluation of natural ester vis-a-vis mineral oil insulating liquid for use in transformers: Part 1,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 23, no. 2, pp. 873–880, 2016.
- [18] I. Fernández, A. Ortiz, F. Delgado, C. Renedo, and S. Pérez, “Comparative evaluation of alternative fluids for power transformers,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 98, pp. 58–69, 2013.
- [19] M. Carlen *et al.*, “Life Cycle Assessment of Dry-Type and Oil-Immersed Distribution Transformers With Amorphous Metal Core,” in *21st International Conference on Electricity Distribution*, 2011, pp. 1–4.
- [20] L. Karlson, “LCA study of current transformers,” no. May. 2004.
- [21] S. Bengtsson, “Life Cycle Assessment of Present and Future Marine Fuels Department of Shipping and Marine Technology,” 2011.
- [22] A. A. J. L. H. B. T. M. A. K. C. Schmidt and Sophus, “Life Cycle Assessment (LCA) A guide to approaches, experiences and information sources,” *European Environment Agency*, no. 6. pp. 1–116, 2018.
- [23] C. Watkins, “The whys and wherefores of life-cycle assessment,” *International News on Fats, Oils, and Related Materials (INFORM)*, vol. 28, no. 5, pp. 6–11, 2017.
- [24] Μουσιόπουλος, Ν. μ Ντζιαχρήστος, Λ., & Σλίνη, Θ. (2015). Ανάλυση κύκλου ζωής [Κεφάλαιο 11] 2015. <http://hdl.handle.net/11419>
- [25] E. O. Aluyor and M. Ori-jesu, “Biodegradation of mineral oils - A review,” *African J. Biotechnol.*, vol. 8, no. 6, pp. 915–920, 2009.
- [26] P. Nowak, K. Kucharska, and M. Kamiński, “Ecological and health effects of lubricant oils emitted into the environment,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, no. 16, pp. 1–13, 2019.
- [27] R. Asano, G. K. Frimpong, and S. A. Page, “Improving transformer safety with natural ester fluids,” in *Society of Petroleum Engineers - Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference 2012, ADIPEC 2012 - Sustainable Energy Growth: People, Responsibility, and Innovation*, 2012, vol. 5, no. November, pp. 3881–3890.
- [28] N. Zimmerman and R. Bass, “Consideration of Ester-Based Oils as Replacements for Transformer Mineral Oil Portland General Electric,” 2014.

- [29] K. Bandara, C. Ekanayake, T. Saha, and H. Ma, “Performance of natural ester as a transformer oil in moisture-rich environments,” *Energies*, vol. 9, no. 4, pp. 1–13, 2016.
- [30] H. Hernandez-Herrera, J. I. Silva-Ortega, M. Mejia-Taboada, A. Diaz Jacome, and M. Torregroza-Rosas, “Natural ester fluids applications in transformers as a sustainable dielectric and coolant,” in *AIP Conference Proceedings*, 2019, vol. 2123, no. July
- [31] Theicct (2010). Carbon Intensity of Crude Oil in Europe. Διαθέσιμο στο: [https://theicct.org/sites/default/files/ICCT\\_crudeoil\\_Eur\\_Dec2010\\_sum.pdf?fbclid=IwAR3cIZwsGIMCXAYzOS0QlapByskLAhLKvfwXtMdsBbJ7mEBqTupWg0A26zE](https://theicct.org/sites/default/files/ICCT_crudeoil_Eur_Dec2010_sum.pdf?fbclid=IwAR3cIZwsGIMCXAYzOS0QlapByskLAhLKvfwXtMdsBbJ7mEBqTupWg0A26zE) [Πρόσβαση 2 Σεπτεμβρίου 2022]
- [32] Stanford News. Stanford study finds stark differences in the carbon-intensity of global oil fields. Διαθέσιμο στο: <https://news.stanford.edu/2018/08/30/measuring-crude-oils-carbon-footprint/?fbclid=IwAR2m550hy57GtAhYrYcjynRYtHVL1jUX9A7zcKFLyf5TngF5tX2Dw7ZPIOE> [Πρόσβαση 2 Σεπτεμβρίου 2022]
- [33] Digital zoot. Πως ξεχωρίζουμε τα διάφορα συστατικά του πετρελαίου. Διαθεσιμο στο: [https://digitalzoot.weebly.com/phiepsilon4-epsilonpiepsilonxiepsilonrhogammaalphasigma943alpha-tauomicronupsilon-alpha-rhogammaomicron973-piepsilontaurhoepsilonlambdaalpha943omicronupsilon.html?fbclid=IwAR2zH8-oT3CfYG61OokmllhUQtcONv15bRnsc77bUTq\\_rpSCdykOjmxmJkU](https://digitalzoot.weebly.com/phiepsilon4-epsilonpiepsilonxiepsilonrhogammaalphasigma943alpha-tauomicronupsilon-alpha-rhogammaomicron973-piepsilontaurhoepsilonlambdaalpha943omicronupsilon.html?fbclid=IwAR2zH8-oT3CfYG61OokmllhUQtcONv15bRnsc77bUTq_rpSCdykOjmxmJkU) [Πρόσβαση 2 Σεπτεμβρίου 2022]
- [34] Databridge. Global Mineral Oil Market – Industry Trends and Forecast to 2029. Διαθέσιμο στο: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-mineral-oil-market/amp?fbclid=IwAR1XcijbHUWRAIHTwkxRQsX70nRSKQ3R0sVzjJdXLn9D9MQ0EF608YW4yHc> [Πρόσβαση 17 Σεπτεμβρίου 2022]
- [35] Chevron(2019).lubricant storage, stability, and estimated shelf life. Διαθέσιμο στο: [https://www.chevronmarineproducts.com/content/dam/chevron-marine/technical-bulletins-2020/01%20Shelf%20Life%20Technical%20Bulletin.pdf?fbclid=IwAR1XVhr3g94a7bx4pnEb\\_qfp1yRlwE0LDIFDLQT5Hc5eIOSrxqSZo6Z63tA](https://www.chevronmarineproducts.com/content/dam/chevron-marine/technical-bulletins-2020/01%20Shelf%20Life%20Technical%20Bulletin.pdf?fbclid=IwAR1XVhr3g94a7bx4pnEb_qfp1yRlwE0LDIFDLQT5Hc5eIOSrxqSZo6Z63tA) [Πρόσβαση 17 Σεπτεμβρίου 2022]
- [36] Apeal(2015). LIFE CYCLE ASSESSMENT ON TINPLATE REVEALS 9% LESS CARBON EMISSIONS OVER 2 YEARS. Διαθέσιμο στο: <https://www.apeal.org/news/life-cycle-assessment-on-tinplate-reveals-9-less-carbon-emissions-over-2-years-2/> [Πρόσβαση 15 Σεπτεμβρίου 2022]



- [37] IBuilder. Διαστάσεις, βάρος και όγκος μεταλλικών τυμπάνων. Διαθέσιμο στο: [https://ibuilder-el.techinfus.com/bochka/razmery-metallicheskih/?fbclid=IwAR2\\_zsn8Jz-hYEiJlvmufa0QiNrabGkMo9aTruLUNxVIGDcDXRGTEObnQ-g](https://ibuilder-el.techinfus.com/bochka/razmery-metallicheskih/?fbclid=IwAR2_zsn8Jz-hYEiJlvmufa0QiNrabGkMo9aTruLUNxVIGDcDXRGTEObnQ-g) [Πρόσβαση 17 Σεπτεμβρίου 2022]
- [38] EDF (2015) Green Freight Math: How to Calculate Emissions for a Truck Move. Διαθέσιμο στο: <https://business.edf.org/insights/green-freight-math-how-to-calculate-emissions-for-a-truck-move/?fbclid=IwAR2saONXiFIBccfRfQlxYBsNDQP64XIdxd32xlbwQWcjinJVhZnUmGc0ThiU> [Πρόσβαση 17 Σεπτεμβρίου 2022]
- [39] Biorxiv (2021. ) More sustainable vegetable oil: balancing productivity with carbon storage opportunities. Διαθέσιμο στο: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2021.05.14.444195v1?fbclid=IwAR0cHv17A-43tYklG6EbCgLWKvModHnZbQPTBKkcdprjCIEsSNDQaFz7h2U> [Πρόσβαση 17 Σεπτεμβρίου 2022]
- [40] Research. Διαθέσιμο στο: [https://www.researchgate.net/figure/Fire-and-flash-point-details-of-insulating-liquids-13-14-16-25\\_tbl1\\_304367093](https://www.researchgate.net/figure/Fire-and-flash-point-details-of-insulating-liquids-13-14-16-25_tbl1_304367093) [Πρόσβαση 22 Οκτώβρη 2022]
- [41] GrandViewResearch [https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/transformer-oil-market?fbclid=IwAR0B9tolFdeYwc03wvJR01jcGKVYFv\\_ykdYUaPx3u6YK7MZLlL-Kd7U5nAg](https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/transformer-oil-market?fbclid=IwAR0B9tolFdeYwc03wvJR01jcGKVYFv_ykdYUaPx3u6YK7MZLlL-Kd7U5nAg) [Πρόσβαση 22 Οκτωβρίου 2022]
- [42] Ecochain(2021). Life Cycle Assessment Software Tools – Overview Διαθέσιμο στο: [https://ecochain.com/knowledge/life-cycle-assessment-software-overview-comparison/?fbclid=IwAR29SGXhF0ycH-68T5R3Mg\\_u5oiHMi1CKNutAwYL6QPsven-5gcJUqV8F9k](https://ecochain.com/knowledge/life-cycle-assessment-software-overview-comparison/?fbclid=IwAR29SGXhF0ycH-68T5R3Mg_u5oiHMi1CKNutAwYL6QPsven-5gcJUqV8F9k) [Πρόσβαση 22 Οκτωβρίου 2022]
- [43] Wikipedia, Ecotoxicity. Διαθέσιμο στο: <https://www.wikipedia.org/wiki/Ecotoxicity> [Πρόσβαση 4 Νοεμβρίου 2022]
- [44] ScienceDirect (2018), testing the Ecotoxicology of Vegetable Versus Mineral Based Lubricating Oils 1. Degradation Rates Using Tropical Marine Microbes. Διαθέσιμο στο: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749103004445> [Πρόσβαση 4 Νοεμβρίου 2022]
- [45] Ecetoc (2016), Freshwater Ecotoxicity as an environmental impact category to guide the selection of chemical-based products. Διαθέσιμο στο: <https://www.ecetoc.org/task-force/freshwater-ecotoxicity-as-an-environmental-impact-category-to-guide-the-selection-of-chemical-based-products> [Πρόσβαση 4 Νοεμβρίου 2022]

- [46] Sciencing (2018) ,What Are the Differences Between the Minerals Calcite and Quartz. Διαθέσιμο στο: <https://sciencing.com/differences-between-minerals-calcite-quartz-8447374.html> [Πρόσβαση 4 Νοεμβρίου 2022]
- [47] Ligia B. Azevedo, Rosalie van Zelm and Mark A.J. Huijbregts, Terrestrial acidification, Radboud University Nijmegen 2013
- [48] Nasa, Overview Weather, Global Warming, and Climate Change. Διαθέσιμο στο: <https://climate.nasa.gov/resources/global-warming-vs-climate-change.amp> [Πρόσβαση 4 Νοεμβρίου 2022]
- [49] Dhec (2019), How is Ozone Formed. Διαθέσιμο στο: <https://scdhec.gov/environment/your-air-pollutants/about-ozone/how-ozone-formed> [Πρόσβαση 11 Νοεμβρίου 2022]
- [50] National Geographic, Terrestrial Ecosystem. Διαθέσιμο στο: <https://education.nationalgeographic.org/resource/resource-library-terrestrial-Ecosystem> [Πρόσβαση 28 Νοεμβρίου 2022]
- [51] ScienceDirect (2020), Fine Particulate Matter. Διαθέσιμο στο: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fine-particulate-matter> [Πρόσβαση 28 Νοεμβρίου 2022]
- [52] CDC (2021), The Electromagnetic Spectrum: Ionizing Radiation. Διαθέσιμο στο: [https://www.cdc.gov/nceh/radiation/ionizing\\_radiation.html](https://www.cdc.gov/nceh/radiation/ionizing_radiation.html) [Πρόσβαση 7 Δεκεμβρίου 2022]
- [53] World Resources Institute(2013), What's the difference between water use and water consumption. Διαθέσιμο στο: [https://www.wri.org/insights/whats-difference-between-water-use-and-water-consumption?fbclid=IwAR0t9\\_jmeyddgzd-2zR-fPb0STC9hykDvQ8NebXOerqZFr7BeMVEw4roSNQ](https://www.wri.org/insights/whats-difference-between-water-use-and-water-consumption?fbclid=IwAR0t9_jmeyddgzd-2zR-fPb0STC9hykDvQ8NebXOerqZFr7BeMVEw4roSNQ) [Πρόσβαση 7 Δεκεμβρίου 2022]
- [54] LC-Impact (2019), Human Health, Human Toxicity. Διαθέσιμο στο: [https://lc-impact.eu/HHHuman\\_toxicity.html](https://lc-impact.eu/HHHuman_toxicity.html) [Πρόσβαση 7 Δεκεμβρίου 2022]
- [55] EPA (2021), Basic Ozone Layer Science. Διαθέσιμο στο: <https://www.epa.gov/ozone-layer-protection/basic-ozone-layer-science> [Πρόσβαση 7 Δεκεμβρίου 2022]
- [56] Regime Shifts DataBase (2017),Freshwater Eutrophication. Διαθέσιμο στο: <https://www.regimeshifts.org/item/55-freshwater-eutrophication> [Πρόσβαση 23 Δεκεμβρίου 2022]
- [57] SpringerLink(2002), Life Cycle Impact assessment of land use based on the hemeroby concept. Διαθέσιμο στο: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02978681> [Πρόσβαση 23 Δεκεμβρίου 2022]

- [58] LC-Impact, Ecosystem Quality. Διαθέσιμο στο: [https://lc-impact.eu/EQmarine\\_eutrophication.html](https://lc-impact.eu/EQmarine_eutrophication.html) [Πρόσβαση 5 Ιανουαρίου 2023]
- [59] European Commission, Human toxicity-non cancer. Διαθέσιμο στο: [https://knowledge4policy.ec.europa.eu/glossary-item/human-toxicity-non-cancer\\_en](https://knowledge4policy.ec.europa.eu/glossary-item/human-toxicity-non-cancer_en) [Πρόσβαση 5 Ιανουαρίου 2023]
- [60] Life-Cycle Assessment of Mineral and Rapeseed Oil in Mobile Hydraulic Systems  
[https://www.researchgate.net/publication/227508819\\_Life-Cycle\\_Assessment\\_of\\_Mineral\\_and\\_Rapeseed\\_Oil\\_in\\_Mobile\\_Hydraulic\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/227508819_Life-Cycle_Assessment_of_Mineral_and_Rapeseed_Oil_in_Mobile_Hydraulic_Systems) [Πρόσβαση 5 Ιανουαρίου 2023]