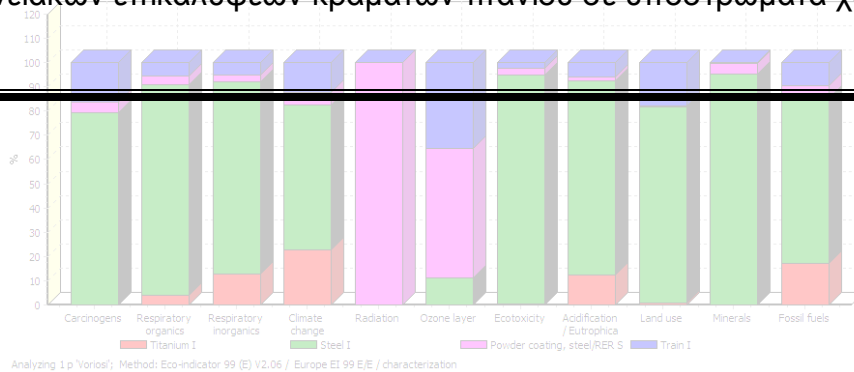


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάλυση κύκλου ζωής και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των επιφανειακών επικαλύψεων κραμάτων τιτανίου σε υποστρώματα χάλυβα



ΕΚΠΟΝΗΤΗΣ: **ΣΩΤΗΡΙΑ ΚΥΡΙΑΖΙΔΟΥ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: **ΣΑΓΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ (Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός)**

ΣΕΡΡΕΣ  
ΜΑΙΟΣ 2016

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ...**

*Με την ολοκλήρωση της παρούσας Πτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωσή της.*

*Ευχαριστώ ιδιαίτερω τον καθηγητή, κ. Δημήτρη Σαγρή, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών για την ανάθεση της παρούσας Πτυχιακής εργασίας, καθώς και για τις σημαντικές γνώσεις που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.*

*Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον Διευθυντή του Εργαστηρίου Δαυΐδ Κωνσταντίνο του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών.*

*Τέλος, όλους τους φίλους μου για τη στήριξη τους σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της Πτυχιακής Εργασίας και της ακαδημαϊκής μου πορείας και ιδιαίτερα τη συμφοιτήτρια μου Κωνσταντίνα Τζιβλερη που με βοήθησε στην εκμάθηση του λογισμικού Simapro 7.1.*

*Σέρρες, Μάιος 2016*

**ΣΩΤΗΡΙΑ ΚΥΡΙΑΖΙΔΟΥ**

## **English Summary**

**Thesis Title:** Life cycle analysis and environmental impact assessment of surface coatings titanium alloys to steel substrates

### **Abstract**

*The purpose of this thesis is to analyze the life cycle of various surface coatings titanium alloys to steel substrates. Moreover, the evaluation method will be described and the environmental impact assessment will be made of titanium alloy surface coating treatments according to ISO 1404x for the processes of life cycle analysis.*

*Furthermore, a numerical analysis of the life cycle with SimaPro software will take place for evaluating the environmental impact of various types of surface treatments.*

*The thesis will show the environmental burden by comparing two or more systems in order to improve an existing one. It will accomplish that by giving the causes and the results.*



## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b>1. Εισαγωγή</b> .....	<b>9</b>
<b>1.1 Μεταλλικά υλικά - Μέταλλα</b> .....	<b>9</b>
<b>1.2 Κράματα</b> .....	<b>10</b>
<b>1.3 Το τιτάνιο (Ti) και τα κράματα του</b> .....	<b>11</b>
<b>1.4 Χάλυβας</b> .....	<b>12</b>
<b>1.5 Επιφανειακές κατεργασίες</b> .....	<b>14</b>
<b>2. Σκοπός της εργασίας</b> .....	<b>16</b>
<b>3. Μέθοδοι επικάλυψης εργαλείων</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 Θερμοχημική τροποποίηση επιφανειακών στρωμάτων</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2 Βορίωση</b> .....	<b>18</b>
3.2.1 Βορίωση σε ρευστοποιημένη κλίνη .....	19
<b>3.3 Εναζώτωση</b> .....	<b>21</b>
3.3.1 Εναζώτωση σε λουτρά αλάτων .....	25
<b>4. Ανάλυση Κύκλου Ζωής</b> .....	<b>27</b>
<b>4.1. Εισαγωγή</b> .....	<b>27</b>
<b>4.2. Αρχές και σκοπός της ανάλυσης κύκλου ζωής</b> .....	<b>28</b>
<b>4.3 Ιστορική αναδρομή και εξέλιξη</b> .....	<b>39</b>
<b>4.4 Η Μεθοδολογία της ΑΚΖ</b> .....	<b>43</b>
4.4.1 Καθορισμός σκοπού και αντικειμένου της μελέτης .....	44
4.4.1.1 Η λειτουργική μονάδα .....	44
4.4.1.2 Τα όρια του συστήματος .....	45
4.4.1.3 Ποιότητα δεδομένων .....	46
4.4.1.4 Καταγραφή Κύκλου Ζωής .....	46
4.4.1.5 Το διάγραμμα ροής.....	48
4.4.2 Απογραφή δεδομένων .....	48
4.4.3 Εκτίμηση επιπτώσεων .....	49
4.4.3.1 Ταξινόμηση.....	50
4.4.3.2 Χαρακτηρισμός .....	51

4.4.3.3 Κανονικοποίηση.....	52
4.4.3.4 Ομαδοποίηση .....	53
4.4.3.5 Στάθμιση.....	53
4.4.4 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Interpretation).....	54
<b>4.5. Ανάλυση επιπτώσεων και βελτιώσεων στον κύκλου ζωής.....</b>	<b>57</b>
4.5.1. Ανάλυση Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής .....	57
4.5.2 Ανάλυση Βελτιώσεων του Κύκλου Ζωής.....	60
<b>4.6. Αξιολόγηση - Αξιοποίηση συμπερασμάτων.....</b>	<b>61</b>
<b>5. Καθορισμός του στόχου και του πεδίου δράσης της μελέτης.....</b>	<b>63</b>
5.1 Καθορισμός του σκοπού και του πεδίου δράσης της μελέτης .....	63
5.2 Καθορισμός του πεδίου δράσης και των οριακών συνθηκών .....	63
5.3 Λειτουργική μονάδα .....	64
5.4 Όρια του συστήματος.....	64
<b>6. Το λογισμικό Simapro.....</b>	<b>67</b>
6.1 Εισαγωγή .....	67
6.2 Βιβλιοθήκες και βάσεις δεδομένων Simapro.....	68
6.3 Στόχος και σκοπός.....	68
6.4 Ανάλυση απογραφής στο Simapro.....	69
6.5 Κατασκευή νέας συναρμολόγησης .....	69
6.6 Κατασκευή νέου κύκλου ζωής.....	70
6.7 Κατασκευή νέας διαδικασίας.....	70
6.8 Αξιολόγηση των επιπτώσεων κύκλου ζωής στο Simapro .....	71
6.8.1 Μέθοδος Eco-indicator 99.....	73
6.9 Απεικόνιση αποτελεσμάτων περιβαλλοντικής συνεισφοράς διαδικασιών και προϊόντων που απεικονίζονται στο Simapro .....	78
6.10 Ανάλυση συνεισφοράς στην οθόνη προβολής αποτελεσμάτων.....	78
6.11 Γραφικές παραστάσεις δέντρου διαδικασιών και δικτύου απεικόνισης .....	80
6.12 Ερμηνεία αποτελεσμάτων στο SimaPro.....	81
<b>7. Ανάλυση κύκλου ζωής επικαλυμμένων εργαλείων στο Simapro .....</b>	<b>82</b>
7.1 Ανάλυση Κύκλου Ζωής στο SimaPro: Βορίωση - Εναζώτωση.....	82
7.2. Υπολογισμός AKZ για την Εναζώτωση .....	82
7.2.1 Product system - εναζώτωση σε λουτρά αλάτων. ....	82

7.2.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων .....	83
<b>7.3. Υπολογισμός ΑΚΖ για την Βορίωση .....</b>	<b>87</b>
7.3.1 Product system - Βορίωση σε ρευστοποιημένη κλίση.....	87
7.3.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων .....	87
<b>8. Συμπεράσματα.....</b>	<b>90</b>
8.1 Συμπεράσματα βορίωσης.....	90
8.2 Συμπεράσματα εναζωτωσης .....	90
8.3 Σύγκριση μεθόδων επικάλυψης .....	91
<b>9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>94</b>





# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Μεταλλικά υλικά - Μέταλλα

Τα χημικά στοιχεία διακρίνονται σε μέταλλα (περίπου 70 τον αριθμό) και σε αμέταλλα (περίπου 30 τον αριθμό). Αυτή η διάκριση οφείλεται στη διαφοροποίηση των ανωτέρω στοιχείων από άποψης χημικών και φυσικών ιδιοτήτων.

Τα μεταλλικά υλικά είναι ανόργανες ουσίες, αποτελούμενες από ένα ή περισσότερα μεταλλικά στοιχεία, που είναι δυνατόν να περιέχουν και προσμίξεις αμέταλλων. Τα μεταλλικά στοιχεία, τα οποία συναντάμε συχνότερα στις εφαρμογές, είναι τα Fe, Cu, Al, Ni, Ti, κ.λπ. Τα συνηθέστερα μη μεταλλικά στοιχεία πρόσμιξης είναι τα C, N, O και S.

Ο κύριος ορισμός των μετάλλων σχετίζεται με τις φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες των "μεταλλικών σωμάτων" σε στερεά κατάσταση. Έτσι, τα "μεταλλικά σώματα", ή τα σώματα που έχουν "μεταλλικό χαρακτήρα", παρουσιάζουν ομοιότητα επί τη βάση των περισσότερων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων τους, όπως είναι το υψηλό ειδικό βάρος, η αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης με τη θερμοκρασία, η μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα, η μεταλλική λάμψη, η υψηλή μηχανική αντοχή και η πλαστικότητα κ.λπ. Οι ιδιότητες αυτές, οι οποίες προσδίδουν στα υλικά μεταλλικό χαρακτήρα, οφείλονται στην ηλεκτρονική διαμόρφωση των ατόμων τους και στην ιδιαιτερότητα των δεσμών, που αναπτύσσονται μεταξύ τους.

Τα μέταλλα εμφανίζουν ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες οι οποίες διαχωρίζονται σε φυσικές και χημικές και μας βοηθούν να τα ξεχωρίζουμε. Οι ιδιότητες αυτές, οι οποίες εμφανίζονται σε όλα περίπου τα μέταλλα με κάποιες εξαιρέσεις, οφείλονται στην ηλεκτροθετικότητα που εμφανίζουν τα στοιχεία αυτά.

Οι σπουδαιότερες ιδιότητες των μετάλλων, που ισχύουν κατά κανόνα, είναι οι παρακάτω :

- ❖ Όλα τα μέταλλα βρίσκονται σε στέρεα κατάσταση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, εκτός από τον Υδράργυρο (Hg) ο οποίος βρίσκεται σε υγρή κατάσταση.
- ❖ Έχουν υψηλή πυκνότητα.
- ❖ Χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη.
- ❖ Είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού.

- ❖ Παρουσιάζουν αργυρόλευκο χρωματισμό, με εξαιρέσεις τον χρυσό (Au) που είναι κίτρινος και το χαλκό (Cu) που είναι ερυθρός.
- ❖ Τα περισσότερα είναι μαγνητικά ως ένα βαθμό ( Fe, Ni, Co παρουσιάζουν εκμεταλλεύσιμο μαγνητισμό).
- ❖ Έχουν καλή κατεργασιμότητα.
- ❖ Διαπερνώνται δύσκολα από τις ακτίνες X.
- ❖ Συνδυάζουν σχετικά μεγάλη μηχανική αντοχή και συνεκτικότητα.
- ❖ Είναι σώματα κρυσταλλικά.
- ❖ Παρουσιάζουν ευκολία στο να σχηματίζουν κράματα.
- ❖ Πλαστικότητα, η οποία επιτρέπει τη μηχανική τους μορφοποίηση εν θερμώ ή εν ψυχρώ. Το κάθε ένα δηλαδή από τα μέταλλα είναι σε διαφορετικό βαθμό ελατό. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατόν με σφυρηλασία ή σε έλαστρα να παίρνουν τη μορφή φύλλων ή ελασμάτων. Είναι επίσης, σε διαφορετικό πάλι βαθμό το καθένα, όλκιμα. Μπορούν δηλαδή σε συρματοποιητικές π.χ. μηχανές να τραβηχτούν (ελκυσθούν) και να πάρουν τη μορφή σύρματος.

## 1.2 Κράματα

Κράμα καλείται κάθε μεταλλικό σχήμα, που σχηματίζεται από την ανάμιξη δύο ή περισσότερων χημικών στοιχείων, κατά κανόνα σε κατάσταση τήξεως, από τα οποία το ένα τουλάχιστον είναι μέταλλο (κύριο στοιχείο του κράματος).

Οι κυριότερες προσμίξεις κατά το σχηματισμό του κράματος είναι άλλα μέταλλα, πολλές φορές όμως και αμέταλλα ή μεταλλοειδή, κυρίως δε ο άνθρακας. Τα περισσότερα κράματα που χρησιμοποιούνται παράγονται από την ανάμιξη των στοιχείων που τα απαρτίζουν σε κατάσταση τήξεως. Υπάρχουν όμως και κράματα που παράγονται με άλλο τρόπο, όπως π.χ. τα κεραμεικά κράματα της κονιομεταλλουργίας. Τα κράματα αποτελούν την κύρια ύλη των μεταλλικών κατασκευών, γιατί με την κραματοποίηση βελτιώνονται οι μηχανικές ιδιότητες του κύριου μετάλλου, όπως είναι η αντοχή σε εφελκυσμό, το όριο ελαστικότητας, η δυσθραυστότητα και η σκληρότητα. Επίσης βελτιώνεται και η αντοχή σε κόπωση, φθορά και διάβρωση. Τα καθαρά μέταλλα τα χρησιμοποιούμε μόνο σε περιπτώσεις που μας ενδιαφέρουν οι ιδιαίτερες ιδιότητες τους, όπως είναι π.χ. η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα του χαλκού και του αργιλίου, τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ηλεκτρικών αγωγών. Τα κράματα ανάλογα με τον αριθμό των στοιχείων που περιλαμβάνουν, διακρίνονται σε διμερή (δύο στοιχεία), τριμερή (τρία στοιχεία) κτλ. Τα διμερή κράματα, διακρίνονται σε κράματα μετάλλου-

μετάλλου, σε κράματα μετάλλου-μεταλλοειδούς και σε κράματα μετάλλου-αμέταλλου.

### 1.3 Το τιτάνιο (Ti) και τα κράματα του

Τα κράματα του τιτάνιου άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως από τον Β' παγκόσμιο πόλεμο, λόγω του ότι δεν υπήρχε ακόμα μέθοδος για την παράγωγή του τιτάνιου από τις ενώσεις του, από τις οποίες σήμερα εξάγεται δύσκολα. Σε υψηλές θερμοκρασίες το τιτάνιο αντιδρά με το οξυγόνο, άζωτο, υδρογόνο άνθρακα και σίδηρο και γι' αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές τεχνικές για την παράγωγή του μετάλλου που το καθιστούν το μέταλλο ακριβό.

Το τιτάνιο είναι σχετικά ελαφρύ μέταλλο και έχει υψηλό λόγο αντοχής προς πυκνότητα. Στην επιφάνεια του σχηματίζεται αυθόρμητα προστατευτικό λεπτό στρώμα οξειδίου του τιτάνιου (TiO<sub>2</sub>) που παρέχει στο μέταλλο εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση και στην προσβολή μέχρι τους 535°C. Πάνω από τους 535°C το στρώμα του οξυγόνου αρχίζει να χάνει τη συνεχεία του και τα μικρά άτομα, όπως οξυγόνου, αζώτου, υδρογόνου άνθρακα προσβάλλουν το μέταλλο.

Τα κράματα του τιτάνιου παρουσιάζουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες και σε μεγάλες θερμοκρασίες (όπως καλή μηχανική αντοχή μέχρι τους 700°C και υψηλή αντοχή στην κόπωση) και καλή αντοχή σε θραύση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (μέχρι και -240°C). Επίσης τα κράματα του τιτάνιου έχουν το χαρακτηριστικό πλεονέκτημα της διατήρησης της αντοχής τους σε ορισμένες θερμοκρασίες εφαρμογών (π.χ. επιφανειακές θερμοκρασίες υψηλής ταχύτητας αεροσκαφών). Για τους παραπάνω λόγους τα κράματα του τιτάνιου βρίσκουν εφαρμογές στην αεροδιαστημική, στην κατασκευή δοχείων αποθήκευσης υγροποιημένων αέριων (ηλίου, υδρογόνου) υπό πίεση, στην αεροναυπηγική, στην ιατρική και στην χημική βιομηχανία, στην αυτοκινητοβιομηχανία και στην παραγωγή ενέργειας. Εξαιτίας του ιδανικού συνδυασμού των μηχανικών ιδιοτήτων, της χαμηλής πυκνότητας και της αντίστασης σε διάβρωση τα κράματα του τιτάνιου χρησιμοποιούνται και στην βιοιατρική και στην αθλητική βιομηχανία. Ο περιορισμός για την ευρύτερη χρήση των κραμάτων τιτάνιου σε τεχνικές εφαρμογές είναι η κακή τριβολογική τους συμπεριφορά. Η τροποποίηση της επιφάνειας φαίνεται να είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη βελτίωση των τριβολογικών ιδιοτήτων των κραμάτων τιτάνιου με διάφορες μεθόδους, συμπεριλαμβανομένου των μεθόδων PVD (Φυσική εναπόθεση ατμών), CVD (Χημική εναπόθεση ατμών), laser, επιφανειακές επεξεργασίες πλάσματος, ιόντων αζώτου και η διάχυση στερεάς κατάστασης.

## 1.4 Χάλυβας

Ο χάλυβας (κοινώς ασάλι) είναι κράμα σιδήρου–άνθρακα που περιέχει λιγότερο από 2,06% κ.β. άνθρακα, λιγότερο από 1,0% μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Οι κραματωμένοι χάλυβες, όπως π.χ. οι ανοξειδωτοι χάλυβες, οι εργαλειοχάλυβες, κ.λπ., αποτελούν ειδική κατηγορία χαλύβων που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά άλλων μετάλλων.

Είναι το πιο διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό μετά το σκυρόδεμα και το ξύλο. Χρησιμοποιείται παντού, από την αρχιτεκτονική και την ναυπηγική μέχρι την κατασκευή χειρουργικών εργαλείων.

Το ασάλι είναι ένα από τα σημαντικότερα βιομηχανικά υλικά και οι χαλυβουργίες (εργοστάσια παραγωγής χάλυβα) ανήκουν στις βαριές βιομηχανίες. Σε παλαιότερες εποχές, η βιομηχανική παραγωγή μιας χώρας αξιολογούνταν από την παραγωγή της σε χάλυβα. Μια από τις τρεις Ευρωπαϊκές Κοινότητες που ιδρύθηκαν το 1957 ήταν και η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα.

Ο χάλυβας δεν είναι ένα μοναδικό προϊόν. Σήμερα υπάρχουν περισσότερα από 3.500 διαφορετικά είδη χαλύβων με πολύ διαφορετικές φυσικές, χημικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες. Περίπου τα τρία τέταρτα των ειδών των χαλύβων δημιουργήθηκαν μόλις τα τελευταία είκοσι χρόνια. Οι σύγχρονοι χάλυβες είναι πολύ πιο ανθεκτικοί σε σύγκριση με παλιότερες ποιότητες χαλύβων.

Οι χάλυβες διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με την χημική τους σύσταση, την περαιτέρω κατεργασία τους, την κρυσταλλική τους δομή ή και την τελική τους χρήση.

Ανάλογα με τη χημική σύστασή τους οι χάλυβες μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες :

### 1) Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες.

Περιέχουν έως 1,0% Mn και ελάχιστα ποσοστά προσμείξεων θείου (S) και φωσφόρου (P) έως 0,05%. Πρόκειται για μαλακούς χάλυβες (για μικρή περιεκτικότητα C), οι οποίοι παρουσιάζουν αυξημένη συγκολλησιμότητα.

### 2) Κραματωμένοι χάλυβες.

- Ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες. Περιέχουν προσμείξεις έως 2%. Τέτοιοι είναι οι δομικοί ή κατασκευαστικοί χάλυβες.
- Μέτρια κραματωμένοι χάλυβες. Περιέχουν προσμείξεις από 2% έως 10%.

- Ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες. Περιέχουν προσμείξεις πάνω από 10%. Τέτοιοι είναι οι ανοξειδωτοί χάλυβες, οι εργαλειοχάλυβες, οι ταχυχάλυβες, οι ανοξειδωτοί χάλυβες και οι χάλυβες μαρτενγήρανσης (Martensing) με μεγάλα ποσοστά βολφράμιου (W), βανάδιου (V), μολυβδαίνιου (Mo), χρώμιου (Cr), νικέλιου (Ni) και κοβάλτιου (Co).

Όσον αφορά τον προορισμό τους οι χάλυβες διακρίνονται σε :

- 1) Χάλυβες διαμόρφωσης. Αυτοί υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, δέλαση).
- 2) Χυτοχάλυβες. Παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή «χελωνών».

Όσον αφορά τη χρήση οι χάλυβες διακρίνονται σε :

- Χάλυβες κατασκευών. Είναι χάλυβες με μικρά, σχετικά ποσοστά κραματικών στοιχείων (συνήθως Mn, Cr) και χρησιμοποιούνται σε πλήθος κατασκευών, όπως π.χ. λέβητες, μεταλλικοί σκελετοί, κ.λπ., αλλά και σε στοιχεία μηχανών, όπως π.χ. άξονες, διωστήρες, βαλβίδες, ελατήρια, κ.λπ.
- Ανοξειδωτοί χάλυβες. Είναι χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε Cr (>13%) και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, που απαιτείται υψηλή αντοχή σε διάβρωση, όπως π.χ. στη χημική βιομηχανία. Κατασκευές από ανοξειδωτο χάλυβα είναι σωλήνες, πτερωτές, δοχεία, εναλλάκτες θερμότητας, αντιδραστήρες και οτιδήποτε έρχεται σε επαφή με διαβρωτικό υγρό, καθώς επίσης σε ιατρικά εργαλεία (π.χ. χειρουργικά νυστέρια) και είδη οικιακής χρήσεως, όπως π.χ. είδη κουζίνας, μαχαιροπήρουνα, κ.λπ.
- Εργαλειοχάλυβες. Περιέχουν συνήθως μεγάλα ποσοστά κραματικών στοιχείων (W, Mo, Cr, V), τα οποία ευνοούν την αύξηση της σκληρότητας και της αντίστασης σε φθορά-τριβή. Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εργαλείων κοπής (κοπτικά τόρνου, φρέζας, πλάνης, κ.λπ.) ή διαμόρφωσης (μήτρες, έμβολα, καλούπια χύτευσης και διαμόρφωσης).
- Χάλυβες ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών. Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πυρήνων μετασχηματιστών ηλεκτρικών γεννητριών, μονίμων μαγνητών, κ.λπ..

Ο χάλυβας αντλεί της μηχανικές του ιδιότητες από το συνδυασμό της χημικής του σύνθεσης, της θερμική του επεξεργασία καθώς και από διαδικασία παραγωγής. Ενώ το κύριο συστατικό του χάλυβα είναι ο σίδηρος, η προσθήκη πολύ μικρών ποσοτήτων άλλων στοιχείων μπορεί να έχει σημαντική επίδραση επί των ιδιοτήτων του χάλυβα. Η αντοχή του χάλυβα μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη των κραμάτων όπως μαγγάνιο, νιόβιο και βανάδιο. Ωστόσο, αυτές οι προσθήκες των κραμάτων μπορεί επίσης να επηρεάσει αρνητικά άλλες ιδιότητες, όπως ολκιμότητα, σκληρότητα και συγκολλησιμότητα.

### **1.5 Επιφανειακές κατεργασίες**

Ο όρος Επιφανειακή Κατεργασία (Surface Engineering) χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα ευρύ φάσμα διεργασιών τροποποίησης των εξωτερικών στρωμάτων ενός υλικού που στόχο έχει είτε την μικροδομική και μηχανική τους ενίσχυση είτε την μεταβολή της μικρόγεωμετρίας τους. Οποιοδήποτε από τους δύο στόχους κι αν καλείται να ικανοποιήσει μια επιφανειακή κατεργασία, αυτή αποτελεί το τελευταίο στάδιο κατεργασίας ενός τελικού αντικειμένου πριν αυτό τεθεί σε λειτουργία. Περαιτέρω κατεργασία ενός αντικειμένου μετά την επιφανειακή του κατεργασία είναι επιτρεπτή μόνο για λόγους διόρθωσης ή συντήρησης του αντικειμένου.

Οι επιφανειακές κατεργασίες των υλικών αποβλέπουν στην ενίσχυση της αντοχής ενός μεταλλικού εξαρτήματος σε μηχανικές καταπονήσεις (κόπωση, φθορά) και σε χημικές δράσεις (διάβρωση, οξειδωση). Επιτρέπουν, επίσης την τροποποίηση κάποιων άλλων χαρακτηριστικών της επιφάνειας, όπως είναι η τραχύτητα και ο χρωματισμός. Οι επιφανειακές κατεργασίες, λοιπόν, αφορούν την επιφανειακή σκλήρυνση μετάλλων και κραμάτων, την προστασία τους από διάβρωση, και την τροποποίηση του ανάγλυφου της επιφάνειας ή του χρωματισμού της.

Σε αντίθεση με τις θερμικές κατεργασίες που επηρεάζουν το συνολικό όγκο του υλικού, οι επιφανειακές περιορίζονται σε μια εξωτερική στοιβάδα του, πάχους μερικών μm έως μερικών δεκάτων του χιλιοστού. Η σημασία τους για την καλή απόκριση του μεταλλικού αντικειμένου σε συνθήκες λειτουργίας είναι τεράστια, αφού το μεγαλύτερο μέρος των αστοχιών που καταγράφονται καθημερινά έχουν ως σημεία έναρξης επιφανειακές περιοχές του υλικού.

Οι επιφανειακές κατεργασίες διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

1. Κατεργασίες τροποποίησης της επιφάνειας, με τις οποίες επιτυγχάνεται μεταβολή της κρυσταλλικής δομής και της χημικής σύστασης της επιφάνειας, χωρίς εναπόθεση πρόσθετου υλικού σ' αυτή.
2. Κατεργασίες με απόθεση υλικού, κατά τις οποίες εναποτίθεται πάνω στην υπό προστασία επιφάνεια στρώμα άλλου υλικού (επίστρωση ή επικάλυψη).

Υποκατηγορία	Χαρακτηριστικά	Είδος κατεργασίας
Μηχανικές επιφανειακές κατεργασίες	Εισαγωγή «επωφελών» πεδίων παραμενουσών τάσεων στην επιφάνεια του υλικού. Κρυσταλλική δομή και χημική σύσταση της επιφάνειας παραμένουν αμετάβλητες.	1. Σφαιροβολή 2. Επιφανειακή έλαση
Θερμικές επιφανειακές κατεργασίες	Επιβολή συνδυασμένων κύκλων θέρμανσης/ψύξης. Μεταβάλλεται μόνο η κρυσταλλική δομή της επιφάνειας, ενώ η χημική της σύσταση δεν αλλάζει.	1. Φλογοβαφή 2. Επαγωγική βαφή 3. Βαφή με δέσμη laser 4. Βαφή με δέσμη ηλεκτρονίων
Θερμοχημικές επιφανειακές κατεργασίες ή εμποτισμοί	Η επιφάνεια εμπλουτίζεται με άτομα άλλου στοιχείου μέσω μηχανισμών διάχυσης, με αποτέλεσμα την αλλαγή της χημικής της σύστασης.	1. Ενανθράκωση 2. Εναζώτωση 3. Ενανθρακαζώτωση 4. Ενδοκάνωση 5. Εγχρωμίωση 6. Εναργιλίωση 7. Ενσιλίκωση 8. Βορίωση 9. Σεραρδίωση 10. Βαναδίωση 11. Εμφύτευση ιόντων

Σχήμα 1: Υποκατηγορίες κατεργασιών τροποποίησης της επιφάνειας.

Συγκρίνοντας τους διάφορους τρόπους επιφανειακής κατεργασίας, υπάρχουν περιορισμοί σε σχέση με το πάχος της επικάλυψης, το κόστος, την πολυπλοκότητα της κατεργασίας, την γεωμετρία του εξαρτήματος την ποιότητα και τις ιδιότητες της τελικής επικάλυψης. Οι επικαλύψεις με διάχυση με τις οποίες θα μελετήσουμε παρακάτω είναι αποτελεσματικές και χαμηλού κόστους εφαρμογές για την κατάλληλη διαμόρφωση των επιφανειών των μετάλλων και των κραμάτων τους και χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της αντοχής σε φθορά, σε διάβρωση και σε οξείδωση.

## 2. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση του κύκλου ζωής διαφόρων επιφανειακών επικαλύψεων κραμάτων τιτανίου σε υποστρώματα χάλυβα. Στα πλαίσια της εργασίας θα περιγραφεί ο τρόπος αξιολόγησης και θα πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των επιφανειακών κατεργασιών επικάλυψης κραμάτων τιτανίου σύμφωνα με τα ISO 1404x για την ανάλυση κύκλου ζωής διεργασιών.

Παράλληλα θα διεξαχθεί και αριθμητική ανάλυση του κύκλου ζωής με το λογισμικό SimaPro για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαφόρων τύπων επιφανειακών κατεργασιών.

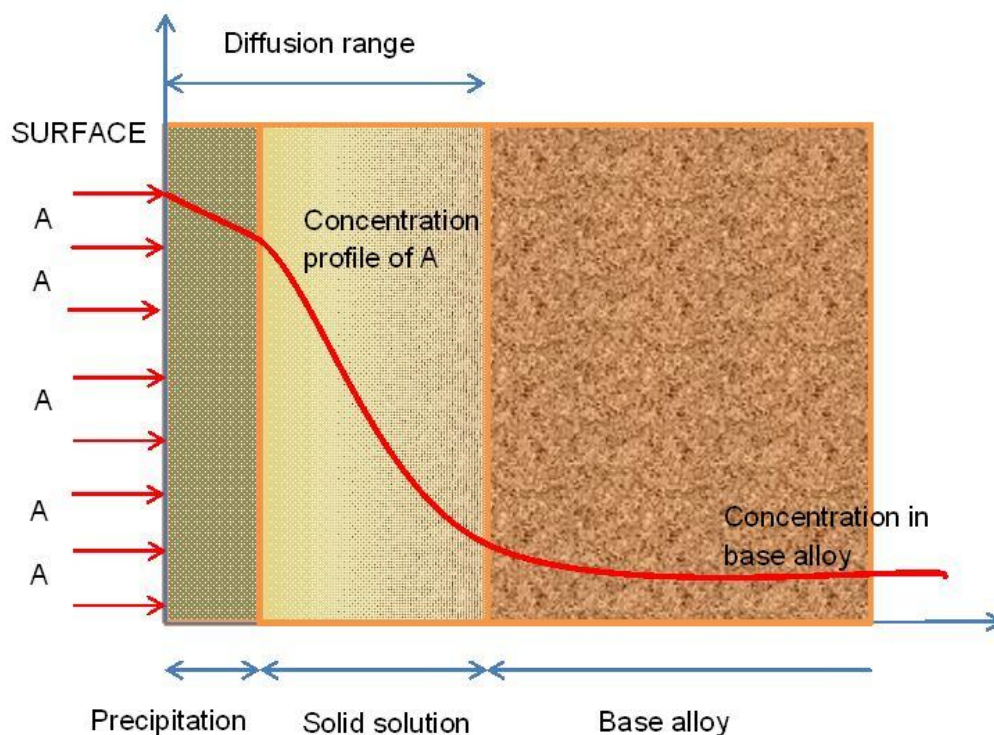
Ζητείται να γίνει όσο το δυνατόν απλούστερη και κατανοητή η περιβαλλοντική επιβάρυνση δίνοντας παράλληλα την δυνατότητα να συγκριθούν δύο ή περισσότερα συστήματα και να γίνει δυνατή η βελτίωση ενός υπάρχοντος, έχοντας σε άμεση αντιπαράθεση τόσο τις «αιτίες» όσο και τα αποτελέσματα.



### 3. Μέθοδοι επικάλυψης εργαλείων

#### 3.1 Θερμοχημική τροποποίηση επιφανειακών στρωμάτων

Ο όρος θερμοχημική κατεργασία (thermochemical surface treatment) χρησιμοποιείται για την περιγραφή μιας ομάδας επιφανειακών κατεργασιών που συνίστανται στον εμπλουτισμό επιφανειακού στρώματος μετάλλου με διάχυση εντός αυτού ατόμων άλλου στοιχείου, μετάλλου ή αμέταλλου. Ο εμπλουτισμός γίνεται με μηχανισμούς διάχυσης σε στερεή κατάσταση, οι οποίοι επιταχύνονται σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. Το φαινόμενο υπακούει στο δεύτερο νόμο του Fick, για διάχυση σε μη μόνιμη κατάσταση. Το προς κατεργασία αντικείμενο τοποθετείται στον αντιδραστήρα υψηλής θερμοκρασίας, όπου βρίσκεται σε άμεση επαφή με το φορέα του στοιχείου διάχυσης που εισάγεται υπό τη μορφή σκόνης (pack cementation), αερίου ή τηγμένου άλατος.



Σχήμα 2: Αρχές της θερμοχημική κατεργασία που δείχνει μια κατανομή του χημικού στοιχείου A μέσα σε ένα κράμα μαζί με τυπικά τροποποιημένες περιοχές κάτω από την επιφάνεια.

Οι πιο συχνά εφαρμοζόμενες θερμοχημικές κατεργασίες σε βιομηχανική κλίμακα είναι:

- Ενανθράκωση (carburising)
- Εναζώτωση (nitriding)
- Ενανθρακαζώτωση (nitrocarburising)
- Βορίωση (boronizing)

### 3.2 Βορίωση

Η Βορίωση είναι μια θερμοχημική επιφανειακή μέθοδος σκλήρυνσης μεταλλικών ή μεταλλικών υλικών. Η διαδικασία περιλαμβάνει θέρμανση του προετοιμασμένου δοκιμίου σε θερμοκρασία 700°C με 1000°C για χρονική διάρκεια 1 έως 12 ωρών, σε επαφή με κατάλληλη στέρεα σκόνη, πολτό, υγρό ή αέριο μέσο. Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί για την επιφανειακή κατεργασία χαλύβων, κραμάτων κοβαλτίου, νικελίου και τιτανίου. Στα κράματα τόσο του καθαρού Ti όσο και του κράματος Ti χρησιμοποιούμε αυτήν την μέθοδο προκειμένου να βελτιωθεί η οξειδωση τους και η αντίσταση στη φθορά. Εκτός από την υψηλή σκληρότητα, στα πλεονεκτήματα της τεχνικής συγκαταλέγεται η πολύ καλή πρόσφυση του στρώματος των βοριδίων λόγω της ιδιαίτερης «οδοντωτής» δομής που λαμβάνεται και η πολύ υψηλή προστασία που προσφέρει στο υποκείμενο μέταλλο έναντι της διάβρωσης από τηγμένα μέταλλα. Τα μειονεκτήματα της τεχνικής είναι η πολύ υψηλή θερμοκρασία κατεργασίας που πιθανά να εισάγει διαστασιακές στρεβλώσεις, η ευθραυστότητα του επιφανειακού στρώματος και η χαμηλή αντοχή σε ατμοσφαιρική διάβρωση.

Τέλος για την αύξηση της αντοχής σε διάβρωση και σε φθορά προτείνονται επικαλύψεις βορίωσης με χρήση διαφόρων κραματικών στοιχείων. Είναι αποδεκτό από τη βιβλιογραφία, ότι η βορίωση είναι μια τεχνική η οποία παρέχει επικαλύψεις ιδιαίτερα ικανοποιητικές σε περίπτωση που χρησιμοποιείται σε υποστρώματα σχετικά μικρού βαθμού κραματοποίησης. Επίσης οι επικαλύψεις που παρέχονται από την τεχνική της βορίωσης είναι κατάλληλες για την προστασία του μεταλλικού υποστρώματος τόσο από μηχανικές φθορές, όπως είναι η φθορά με τριβή και απόξεση και η φθορά λόγω σπηλαίωσης, όσο και από χημικές φθορές, όπως είναι η χημική διάβρωση. Ένας αποτελεσματικός τρόπος για να βελτιωθεί η αντίσταση σε τριβή/φθορά των κραμάτων Ti είναι μέσω της επεξεργασίας της επιφάνειας. Η βορίωση είναι μια επιφανειακή επεξεργασία στην οποία το βόριο διαχέεται εντός της επιφάνειας του Ti που οδηγεί στο σχηματισμό σκληρού και ανθεκτικών στη τριβή βοριδίων του Ti.

Νέες εξελίξεις στη θερμοχημική μέθοδο της βορίωσης περιλαμβάνουν τεχνικές βορίωσης με αέριο μέσο, οι οποίες χωρίζονται σε 2 κατηγορίες:

- 1) Βορίωση με πλάσμα.
- 2) Βορίωση με ρευστοποιημένη κλίνη.

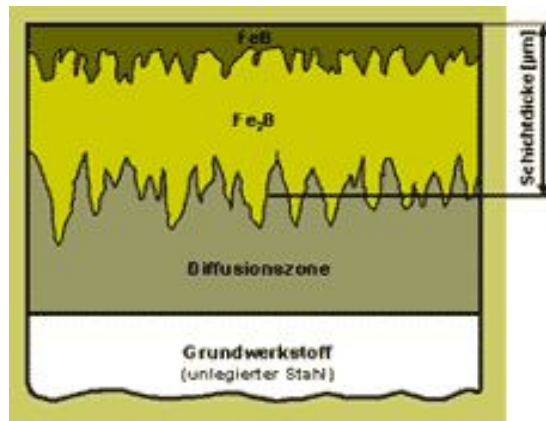
### 3.2.1 Βορίωση σε ρευστοποιημένη κλίνη

Μια πρόσφατη καινοτομία στον τομέα της βορίωσης, είναι η βορίωση με ρευστοποιημένη κλίνη που περιλαμβάνει τραχείας επιφάνειας υλικό (καρβίδιο του πυριτίου) μια ειδική σκόνη βορίωσης όπως η Ekabor WB, και μη οξυγονούχο αέριο όπως μείγμα  $N_2 - H_2$ . Καθώς η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας, η κλίνη εξυπηρετεί ως ένα γρηγορότερο μέσο μετάδοσης θερμότητας. Ο εξοπλισμός για τη διαδικασία της συγκεκριμένης διεργασίας βορίωσης περιλαμβάνει κάμινο υψηλής θερμοκρασίας.

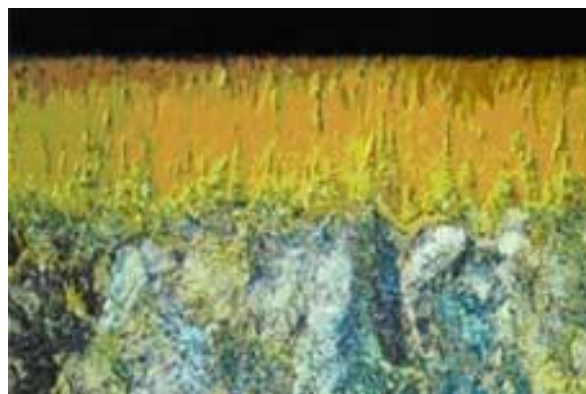
Η μέθοδος αυτή μας προσφέρει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Υψηλούς ρυθμούς θερμοκρασιακής ροής και απ' ευθείας σύμπτυξη των τεμαχίων, παρέχοντας μικρότερο χρονικό κύκλο της διεργασίας.
- Η μέθοδος παρέχει ικανότητα αναπαραγωγής μικρών ανοχών και μεγάλης ομοιομορφίας των τελικών τεμαχίων μαζικής παραγωγής.
- Η μέθοδος είναι ευπροσάρμοστη για συνεχή παραγωγή και μπορεί να προσδώσει αυτοματισμό καθώς τα τεμάχια επεξεργάζονται διακοπτόμενα.
- Την άμεση μείωση της θερμοκρασίας των τεμαχίων μετά την επεξεργασία.
- Χαμηλό κόστος διαχείρισης (χάρη στο μειωμένο χρόνο παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας) για μαζική παραγωγή βοριωμένων τεμαχίων.
- Σε κλίβανο ρευστοποίησης παρατηρούνται υψηλές πιέσεις λόγω της ανοδικής πίεσης των αέριων.

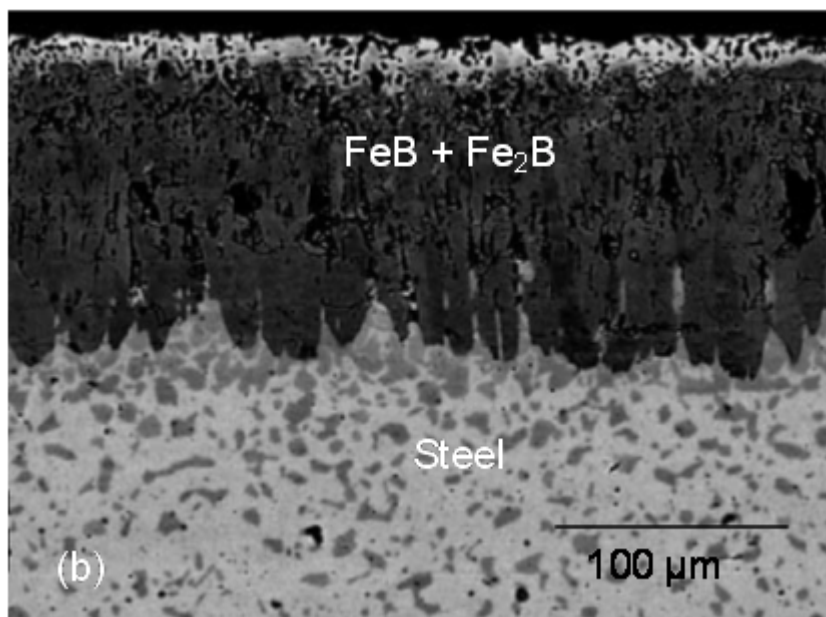
Το σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου εναπόκειται στο γεγονός της συνεχούς κατάκλισης του βοριωμένου μέσου σε σχέση με την αντεπιστροφή του αδρανούς αερίου. Τα καυσαέρια που περιέχουν μείγμα εμπλουτισμένο σε φθόριο πρέπει να καθαριστούν εξ' ολόκληρου, πχ σ' έναν απορροφητήρα γεμάτο με κομμάτια ξηρού  $CaCO_3$  ώστε να αποφύγουμε περιβαλλοντικά προβλήματα. Εναλλακτική παλλόμενη ρευστοποιημένη μέθοδος μπορεί αισθητά να μειώσει την ποσότητα των καυσαερίων.



Σχήμα 3: Σχηματική δομή σε μικρογραφία ενός στρώματος βορίωσης.

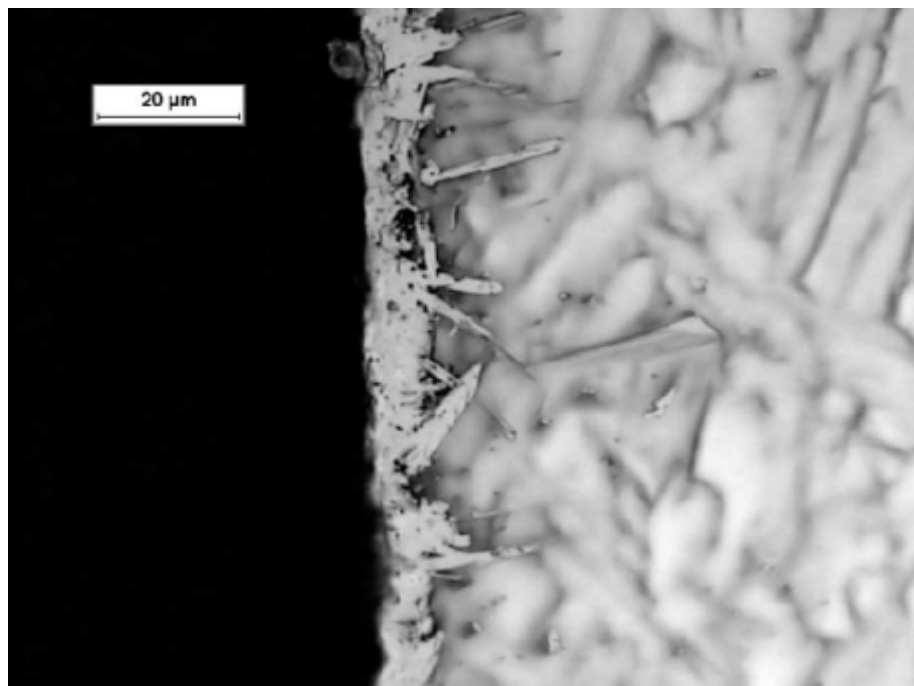


Σχήμα 4: Ένα διφασικό στρώμα βορίωσης.



Σχήμα 5: Μικροδομές του χάλυβα μετά από την κατεργασία της βορίωσης.

Το πάχος των στρωμάτων βοριδίου ποικίλλει σε σχέση με τη θερμοκρασία, το χρόνο κατεργασίας, και το υλικό. Τα στρώματα  $FeB$  και  $Fe_2B$  έχουν συνήθως σκληρότητα 1700-1900 HV και 1400-1600 HV αντίστοιχα, με συνολικό βάθος 0,0005" - 0.020". Το στρώμα  $FeB$ , ενώ πιο δύσκολο, είναι πιο εύθραυστα και περισσότερο επιρρεπής σε θραύση κατά την κρούση.



Σχήμα 6: Τυπική μορφολογία του βοριδίου στην επίστρωση κράματος τιτανίου που λαμβάνεται σε έναν αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης.

### 3.3 Εναζώτωση

Η εναζώτωση περιλαμβάνει διάχυση αζώτου σε ένα επιφανειακό στρώμα χάλυβα. Το άζωτο αλληλεπιδρά τόσο με τον σίδηρο όσο και με άλλα κραματικά στοιχεία που περιέχει ο χάλυβας (π.χ. Al, Cr, Ti) και σχηματίζει νιτρίδια, τα οποία αυξάνουν την σκληρότητα του επιφανειακού στρώματος. Η διάχυση του αζώτου στο πλέγμα της αφάσης του σιδηρού οδηγεί στο σχηματισμό κατακρημνισμάτων ή συνεχούς στρωμάτων νιτρίδιων ( $Fe_2N$ ,  $Fe_3N$ ,  $Fe_4N$ ), ή καρβονιτρίδιων ( $Fe_xNyC_z$ ), αυξάνοντας την επιφανειακή σκληρότητα του χάλυβα σε 400 έως 1000 HV. Συνήθως το απαιτούμενο για την κατεργασία άζωτο προέρχεται είτε από την διάσπαση αμμωνίας, σε αεροστεγές δοχείο, όπου τοποθετείται το προς κατεργασία υλικό, είτε σε υγρό περιβάλλον (τηγμένα άλατα KCl, KCN).

Σε εναζώτωση μπορεί να υποβληθούν όλα τα είδη των χαλύβων και χυτοσιδήρων, ανεξάρτητα από τη χημική τους σύσταση, το τιτάνιο, το αλουμίνιο και το μολυβδαίνιο. Ωστόσο, η παρουσία κραματικών στοιχείων όπως Al, Cr, Mo και Ti, τα οποία σχηματίζουν επιπλέον νιτρίδια, προκαλεί επιπρόσθετη αύξηση της σκληρότητας και του βάθους εναζώτωσης. Η αποκτηθείσα επιφανειακή σκληρότητα, διατηρείται αμείωτη περίπου μέχρι και τους 500°C. Λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας στην οποία πραγματοποιείται η κατεργασία, η ταχύτητα διάχυσης του αζώτου είναι σχετικά μικρή, η ζώνη εναζώτωση μικρότερη και ο χρόνος κατεργασίας μεγαλύτερος, από τα αντίστοιχα μεγέθη της ενανθράκωσης.

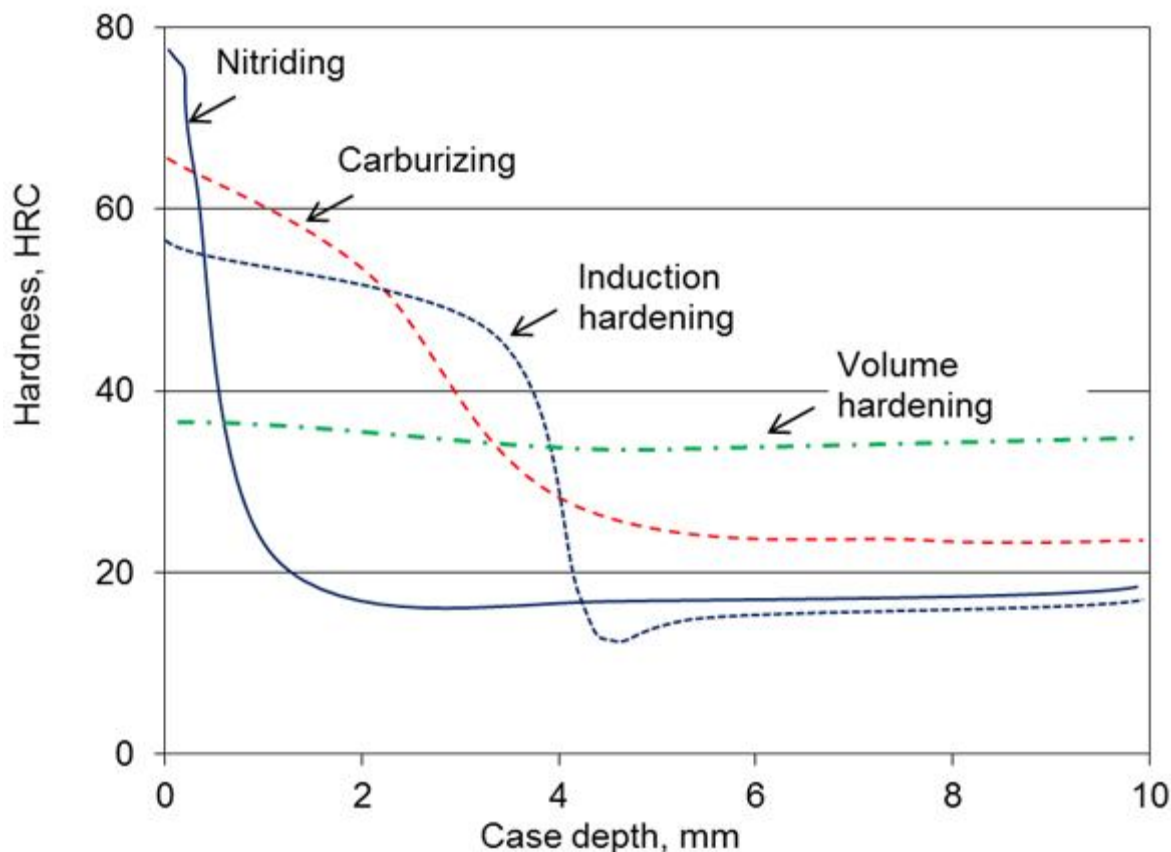
Η εναζωτωμένη ζώνη αποτελείται από δυο επιμέρους περιοχές, την περιοχή ενώσεων και την περιοχή διάχυσης. Η περιοχή ενώσεων αποτελείται από τις σχηματιζόμενες ενώσεις του αζώτου και εκτείνεται σε βάθος 30 μm, ενώ η σκληρότητά της μπορεί να φθάσει έως και 2000HV. Στη συνέχεια της περιοχής ενώσεων εκτείνεται η περιοχή διάχυσης, στην οποία τα άτομα του αζώτου διαχέονται στο πλέγμα του φερρίτη, σχηματίζοντας στερεό διάλυμα καθώς και μικρό ποσοστό νιτρίδιων. Το πάχος της φθάνει έως 1.0 mm, ενώ η σκληρότητά της μπορεί να φθάσει έως 500HV. Η επιφανειακή σκληρότητα του χάλυβα προέρχεται από το συνδυασμό των σκληροτήτων των δυο περιοχών.

Η εναζώτωση εκτελείται ως εξής: Τα τεμάχια παραμένουν σε θερμοκρασία 500°C ως 540°C (θερμοκρασία εναζωτώσεως) για μεγάλο χρόνο, συνήθως για 40 ως 100 ώρες, μέσα σε αεροστεγή θάλαμο κατάλληλου κλιβάνου, στον οποίο διοχετεύεται αμμωνία (NH<sub>3</sub>, αέριο). Ο χρόνος παραμονής των τεμαχίων στη θερμοκρασία εναζωτώσεως εξαρτάται από το επιθυμητό βάθος εναζωτώσεως. Το άζωτο που απαιτείται για την εναζώτωση λαμβάνεται από την αμμωνία. Γενικά παρατηρούμε ότι η εναζώτωση είναι πολύ αργό φαινόμενο. Κατά προσέγγιση πρέπει να θεωρηθεί ότι χρειάζονται 10 ώρες ανά 0,01mm βάθους εναζωτώσεως. Συνήθως το βάθος εναζωτώσεως δεν υπερβαίνει το 0,05mm. Η εναζώτωση αποτελεί τελική κατεργασία και επομένως η απαιτούμενη θερμική κατεργασία (βαφή και επαναφορά) για την διαμόρφωση των μηχανικών ιδιοτήτων του μηχανολογικού στοιχείου πρέπει να πραγματοποιηθεί πριν από την εναζώτωση.

## Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εναζωτώσεως :

- Αποφεύγονται οι ρωγμές και οι στρεβλώσεις των τεμαχίων, γιατί δεν χρειάζεται βαφή μετά την εναζώτωση. Τα τεμάχια μπορούν να υποστούν τελική κατεργασία κοπής πριν από την εναζώτωση.  
Η αντοχή των τεμαχίων σε διάβρωση είναι αρκετά καλή όταν η εναζωτωμένη επιφάνεια αφήνεται όπως είναι, π.χ. χωρίς να στιλβωθεί. Επίσης και η αντοχή τους σε κόπωση είναι αρκετά καλή. Τα εναζωτωμένα εξαρτήματα αρκετές φορές υποβάλλονται σε επαναλαμβανόμενες καταπονήσεις. Έχει αποδειχθεί όμως ότι η αδυναμία της κόπωσης δεν ξεκινά από την εναζωτομένη επιφάνεια του μετάλλου (εξωτερική επιφάνεια), αλλά από το σημείο επαφής εναζωτομένης στιβάδας και μη εναζωτομένης μάζας του υλικού. Τα επιφανειακά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που οδηγούν σε συγκεντρώσεις τάσεων, όπως εγκοπές σπειρώματα και χαράγματα από κατεργασία τόννου, ρεκτιφιέ κ.α. έχουν μικρότερη επίδραση στα εναζωτωμένα υλικά παρά σ' αυτά που δεν έχουν εναζωτωθεί.
- Έχουν καλή αντίσταση στις φθορές από τριβές. Έχει αποδειχθεί ότι ένα πλήθος εξαρτημάτων με εναζωτομένη επιφάνεια και κάτω από συνθήκες ελαττωματικής λίπανσης και με σοβαρή αύξηση θερμοκρασίας σημείωσε μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Η σκληρότητα των εναζωτωμένων τεμαχίων διατηρείται σε υψηλές σχετικά θερμοκρασίες (μέχρι περίπου 500°C), ενώ των ενανθρακωμένων τεμαχίων αρχίζει να πέφτει από τους 200°C .
- Το κόστος της εναζωτώσεως είναι χαμηλό, αν ο αριθμός των τεμαχίων για εναζώτωση είναι πολύ μεγάλος. Και αυτό, γιατί οι δαπάνες των εγκαταστάσεων εναζωτώσεως είναι μεγαλύτερες από τις δαπάνες για ενανθράκωση. Για το λόγο αυτό η εναζώτωση συμφέρει μόνο αν γίνεται για πολλά τεμάχια.
- Υπερθέρμανση εναζωτωμένου τεμαχίου έχει σαν συνέπεια την καταστροφή της σκληρής επιφανειακής του στιβάδας τελείως.

Τυπικές εφαρμογές εναζωτωμένων τεμαχίων περιλαμβάνουν γρανάζια, εκκεντροφόρους άξονες, στοφαλοφόρους άξονες, τμήματα βαλβίδων, κοχλίες εκβολέων (extruders), εργαλεία χύτευσης υπό πίεση, μήτρες σφυρηλάτησης, μήτρες εκβολής (extrusion), εργαλεία καλουπιών μορφοποίησης πλαστικών και καλούπια έγχυσης πλαστικών (injection).



Σχήμα 7: Σκληρότητα προφίλ βάθος για επιλεγμένες θερμικές και θερμοχημικές επεξεργασίες, τονίζοντας τις διαφορές στη μέγιστη σκληρότητα και βάθος διείσδυσης. Ενανθράκωση (carburising), Εναζώτωση (nitriding).

Σύμφωνα με την κατάσταση του αζωτούχου μέσου που χρησιμοποιείται, η κατεργασία της εναζώτωσης διακρίνεται σε αέρια (500°C), σε εναζώτωση τετηγμένων αλάτων (580°C) και εναζώτωση πλάσματος (450°C). Στην αέρια εναζώτωση συνήθως χρησιμοποιείται NH<sub>3</sub>, στη υγρή αζωτούχα άλατα, όπως τα κυανιούχα, ενώ στη εναζώτωση πλάσματος, N<sub>2</sub>. Κατά την υγρή εναζώτωση, τα άλατα προσφέρουν επίσης άνθρακα μετατρέποντας τη διεργασία τετηγμένων αλάτων σε διεργασία ενανθρακαζώτωσης. Η υγρή και η αέρια εναζώτωση παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των αντίστοιχων διεργασιών ενανθράκωσης, ενώ η εναζώτωση πλάσματος, αν και δαπανηρότερη τελευταία κερδίζει έδαφος, λόγω της πολύ καλύτερης



ποιότητας της κατεργαζόμενης επιφάνειας και ακριβούς ρύθμισης του βάθους και του βαθμού σκλήρυνσης.

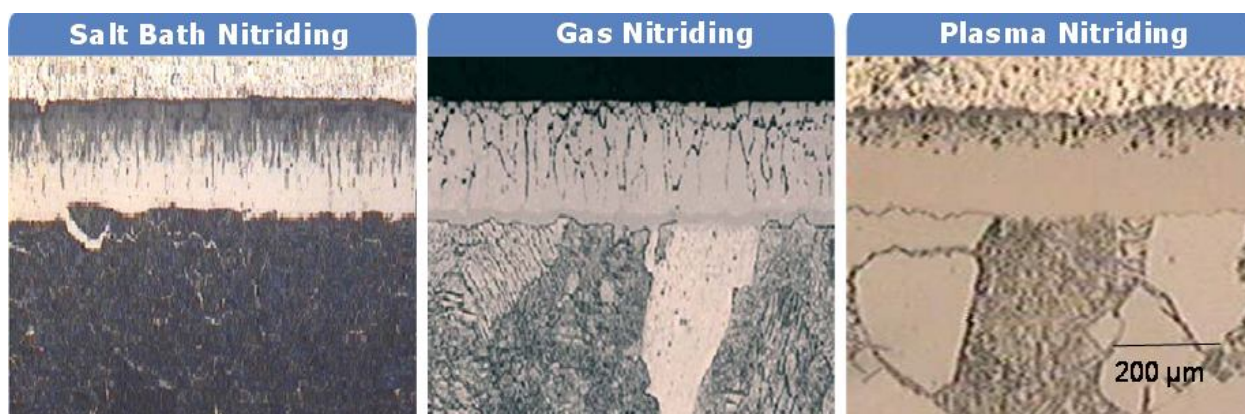


Σχήμα 8: Εμπορικές τεχνολογίες για την διαδικασία της εναζωτωσης, εναζώτωση σε λουτρά αλάτων, σε φυσικό αέριο και εναζώτωση πλάσματος.

### 3.3.1 Εναζώτωση σε λουτρά αλάτων

Συγκρινόμενη με τη συμβατική μέθοδο αέριας εναζώτωσης, η εναζωτωση σε λουτρά τηγμένων αλάτων (Tufftriding) πραγματοποιείται σε υψηλότερες θερμοκρασίες (κατά  $50^{\circ}\text{C}$ ) και η χρονική διάρκεια της διεργασίας είναι δυο φορές μικρότερη για την ίδια περίπτωση βάθους. Επίσης προτιμάται για την επιφανειακή κατεργασία πολύπλοκων μορφών λόγω της έλλειψης παραμορφώσεων του κατεργασμένου τεμαχίου μετά τη διεργασία. Παράλληλα η εναζωτωση σε λουτρά αλάτων παράγει νιτρικά στρωματά υψηλότερης αντοχής σε διάβρωση και κόπωση όπως επίσης και αυξημένη σκληρότητα και επιπλέον είναι λιγότερο δαπανηρή και πιο απλή από άλλες μη συμβατικές τεχνικές εναζώτωση όπως η εναζωτωση με πλάσμα, με ιονισμό ή με ρευστοποιημένες κλίνες. Γι' αυτούς τους λόγους προτιμάται σε εφαρμογές βιομηχανικού επιπέδου. Κατά τη διεργασία της εναζώτωση σε λουτρά αλάτων η θερμοκρασία διατηρείται κάτω από το ευθηκτοειδές σημείο ( $590^{\circ}\text{C}$ ) του διαγράμματος της φάσης Fe – N, επιτρέποντας την

ταυτόχρονη διάχυση ατόμων άνθρακα και αζώτου στη φερριτική κρυσταλλική δομή, κάτι που έχει ως αντίκτυπο στο σχηματισμό της γνωστής μορφής ζεύγους άνθρακα – αζώτου. Αυτή η μορφή αποτελείται από δυο ευδιάκριτα στρώματα. Το πρώτο στρώμα στο πάνω μέρος της κατεργασμένης επιφάνειας καλείται «άσπρο στρώμα» αποτελούμενο κυρίως από  $\epsilon$  – ανθρακονιτρίδια  $Fe_{2-3}(C, N)$ . Αυτό επιδεικνύει αυξημένη σκληρότητα σε σχέση με τη συμβατική  $\epsilon$  – νιτρική φάση που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της αέριας εναζώτωσης και επίσης κατέχει υψηλότερη αντοχή σε ξηρή υγρή τριβή εξαιτίας της εξαγωνικής δομής του και του μικροπορώδες του. Το δεύτερο στρώμα αποτελεί τη ζώνη διάχυσης και αποτελείται κυρίως από  $\alpha$  –  $(Fe, N)$  στέρεο διάλυμα στο οποίο τα άτομα N και C διαλύονται στο διάκενο του φερριτικού πλέγματος οδηγώντας στο σε αυξημένη αντοχή σε κόπωση.



Σχήμα 9: Μικροδομές του χάλυβα μετά από την κατεργασία της εναζώτωσης, εναζώτωση σε λουτρά αλάτων, σε φυσικό αέριο και εναζώτωση πλάσματος.

Συνοψίζοντας, η εναζώτωση σε λουτρά αλάτων ενδείκνυται ευρέως ως μια τελική θερμοχημική διεργασία με σκοπό την τριβολογική επίδοση ποικίλων μηχανολογικών εξαρτημάτων και τριβικών μηχανισμών όπως, εργαλεία κοπής, γρανάζια, άξονες, σφιγκτήρες και πολλά άλλα.

## 4. Ανάλυση Κύκλου Ζωής

### 4.1. Εισαγωγή

Η βιομηχανική παραγωγή αγαθών σχετίζεται με την κατεργασία και μεταποίηση διαφόρων υλικών. Οι δραστηριότητες αυτές πραγματοποιούνται σύμφωνα με τους νόμους και τους κανόνες της φυσικής, της χημείας και άλλων επιστημών. Το γεγονός αυτό έχει τα εξής δύο αποτελέσματα :

- (1) Είναι απαραίτητη η κατανάλωση ενέργειας για την πραγματοποίηση των διαφόρων διεργασιών, και
- (2) Παράλληλα με την παραγωγή των αγαθών παράγονται και απόβλητα σε διάφορες μορφές.

Η αντίληψη ότι είναι δυνατή η πραγματοποίηση μιας διεργασίας ή δραστηριότητας η οποία δεν θα καταναλώνει ενέργεια και δεν θα επιβαρύνει το περιβάλλον αποδεσμεύοντας διαφόρων ειδών απόβλητα είναι μύθος. Έτσι, το καλύτερο στο οποίο μπορεί να προσδοκά κανείς είναι η ελαχιστοποίηση τόσο της χρήσης της ενέργειας όσο και της αποδέσμευσης αποβλήτων. Το πρώτο βήμα προς το σκοπό αυτό είναι η ορθή καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης ώστε να αποτελέσει το υπόβαθρο με βάση το οποίο θα κριθεί και θα συγκριθεί κάθε μελλοντική προσπάθεια βελτίωσης.

Η σύγκριση υλικών και διεργασιών προκειμένου να προσδιοριστεί το βέλτιστο από περιβαλλοντικής άποψης δεν είναι καθόλου εύκολη. Πώς μπορεί κανείς να αποφασίσει για το κατά πόσο ένα προϊόν είναι φιλικό προς το περιβάλλον αν δεν λάβει υπόψη του τη διαδικασία παραγωγής του προϊόντος αυτού, τη διανομή και μεταφορά του, τη χρήση του, την απόρριψη του κλπ. Εάν, δηλαδή, δεν καταγράψει και ελέγξει όλα τα στάδια της ζωής του και όχι μόνο μερικά από αυτά. Απαραίτητο εργαλείο για μια τέτοια ολιστική προσέγγιση του ζητήματος αυτού είναι η ανάλυση κύκλου ζωής (life cycle analysis - LCA) χωρίς την οποία δεν μπορούμε παρά μόνο υποθέσεις να κάνουμε σχετικά.

Όπως θα αναλυθεί και στη συνέχεια του κεφαλαίου, σκοπός της ανάλυσης κύκλου ζωής είναι να εκτιμήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι οποίες συνδέονται με μια δεδομένη δραστηριότητα που εξετάζεται (π.χ. προϊόν, διεργασία κλπ) καθ'όλο το κύκλο που διαγράφει από την παραγωγή ως την απόρριψη της (από την γέννηση έως το θάνατο της). Αν πρόκειται, για παράδειγμα, για κάποιο προϊόν, μελετώνται οι επιπτώσεις στο

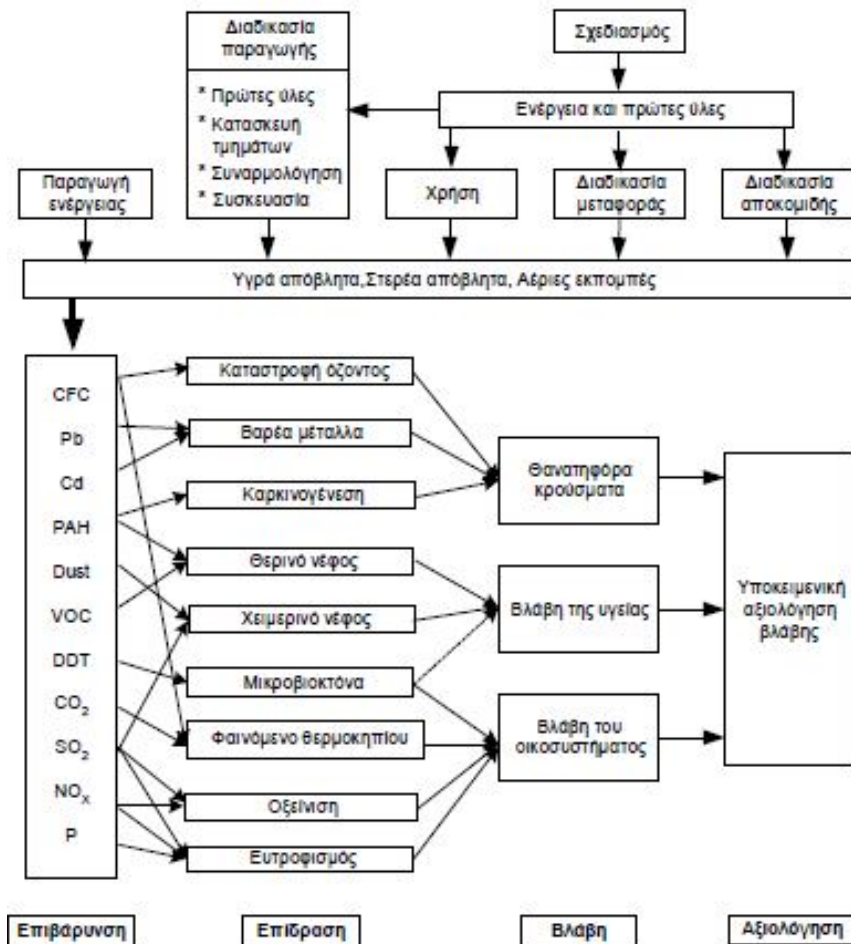
περιβάλλον από το πρώτο στάδιο απόκτησης των απαραίτητων πρώτων υλών μέχρι το τελικό της διάθεσης του προϊόντος στα απορρίμματα.

#### **4.2. Αρχές και σκοπός της ανάλυσης κύκλου ζωής**

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής - A.K.Z. (Life Cycle Analysis) ή LCA όπως επικράτησε στη διεθνή βιβλιογραφία είναι μία σχετικά νέα επιστημονική μέθοδος η οποία αναπτύχθηκε για να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των οξυμένων, τα τελευταία χρόνια, περιβαλλοντικών προβλημάτων. Όπως συνήθως συμβαίνει με κάθε νέα προσπάθεια της επιστήμης, έχει κάνει μέχρι σήμερα την εμφάνιση της στη διεθνή βιβλιογραφία με διάφορα ονόματα και παραλλαγές. Η ύπαρξη όλων αυτών των παραλλαγών οφείλεται είτε σε μικροδιαφορές στην μεθοδολογία είτε απλώς σε διαφορετική ονομασία του ίδιου πράγματος, δεδομένου ότι η μέθοδος αυτή αναπτύσσεται παράλληλα από διαφορετικές πρωτοπόρες ερευνητικές ομάδες ανεξάρτητες μεταξύ τους.

Η ανάλυση κύκλου ζωής είναι μια διαδικασία η οποία έχει ως στόχο να υπολογίσει με αντικειμενικό τρόπο τις περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις οι οποίες σχετίζονται με προϊόντα, διεργασίες ή δραστηριότητες. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται προσδιορίζοντας και καταγράφοντας την χρήση ενέργειας και πρώτων υλών καθώς και την κάθε είδους ρύπανση του περιβάλλοντος η οποία συντελείται καθ' όλη την διάρκεια της ζωής του προϊόντος ή της δραστηριότητας που μελετάται. Αποτέλεσμα της καταγραφής αυτής είναι να καθίσταται δυνατή τόσο η εκτίμηση των συνολικών επιπτώσεων του προϊόντος ή της δραστηριότητας στο περιβάλλον όσο και η βελτίωση της κατάστασης ύστερα από σχετικές προτάσεις και αλλαγές.

Η AKZ απαιτεί ένα μεγάλο αριθμό δεδομένων για υλικά, συστατικά, προϊόντα, διαδικασίες κατασκευής, χρήση ενέργειας, όπως επίσης και για την επιβάρυνση του περιβάλλοντος, σε κάθε επιμέρους διαδικασία παραγωγής. Το πλήθος των απαιτούμενων δεδομένων για κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας αλλά και για την χρήση ενός προϊόντος περιγράφεται σχηματικά στο Σχήμα 10. Το γεγονός αυτό καθιστά την διαδικασία συλλογής και οργάνωσης των πληροφοριών και των δεδομένων εξαιρετικά χρονοβόρα και με υψηλό κόστος.

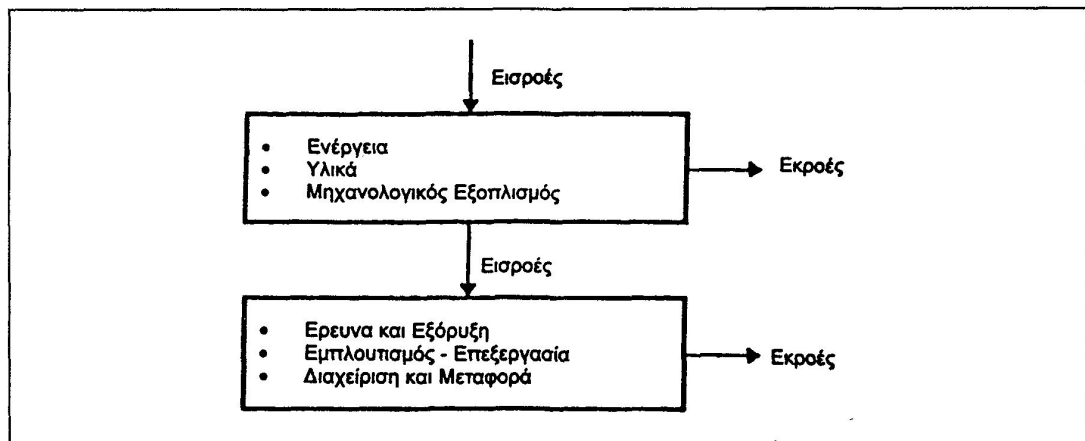


Σχήμα 10: Διάγραμμα ροής ενός προϊόντος και των επιπτώσεων της παραγωγικής του διαδικασίας στο περιβάλλον κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του.

Με άλλα λόγια θα μπορούσαμε να πούμε ότι η ανάλυση κύκλου ζωής είναι μια σειρά από φωτογραφίες οι οποίες απθανατίζουν το "τι εισρέει" σε ένα κλειστό σύστημα και το "τι εκρέει" από αυτό κατά την διάρκεια της ζωής ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας. Ο σκοπός της ΑΚΖ είναι αφενός να καταγράψει κάθε εισροή και εκροή από το σύστημα και αφετέρου να διερευνήσει εάν υπάρχουν ευκαιρίες για ελάττωση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων. Η μέθοδος αυτή ακολουθεί μια συνολική προσέγγιση εξετάζοντας ολόκληρο τον κύκλο που διαγράφει ένα συγκεκριμένο προϊόν κατά την διάρκεια της ζωής του και ο οποίος σε γενικές γραμμές αποτελείται από τα εξής στάδια :

- Απόκτηση Πρώτων Υλών και Ενέργειας.  
Κατά την καταγραφή του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, το στάδιο της απόκτησης των πρώτων υλών και της ενέργειας αρχίζει περιλαμβάνοντας κάθε αναγκαία σχετική δραστηριότητα και εργασία και τελειώνει πριν από την πρώτη δραστηριότητα επεξεργασίας αυτών των πρώτων υλών. Στο σημείο αυτό αρχίζει

το στάδιο της κατασκευής που ακολουθεί. Στο Σχήμα 11 φαίνεται ένα αντιπροσωπευτικό υποσύστημα απόκτησης πρώτων υλών και ενέργειας.



Σχήμα 11: Υποσύστημα απόκτησης πρώτων υλών και ενέργειας.

Γενικά, οι πρώτες ύλες διακρίνονται σε πρωτογενείς και σε δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς είτε παράγονται με καλλιέργεια όπως τα αγροτικά προϊόντα και το ξύλο, είτε αντλούνται ή εξορύσσονται από το φυσικό περιβάλλον όπως τα ορυκτά, τα στερεά καύσιμα, ο αέρας και το νερό. Αντιθέτως οι δευτερογενείς πρώτες ύλες προέρχονται είτε από ανάκτηση είτε από ανακύκλωση.

Στις εισροές ενός υποσυστήματος απόκτησης πρώτων υλών συμπεριλαμβάνονται συνήθως και κάποια υλικά τα οποία είναι απαραίτητα για την δραστηριότητα αυτή. Τέτοια υλικά είναι, για παράδειγμα, τα λιπάσματα σε μια αγροτική καλλιέργεια ή οι χημικές ουσίες για τον έλεγχο των εκπομπών σκόνης σε ένα ορυχείο. Αντιθέτως, η μέχρι τώρα πρακτική των μελετών ΑΚΖ δείχνει ότι οι εκροές από τα υποσυστήματα αυτά δεν λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση αν και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον είναι, συνήθως, πολύ χειρότερες από εκείνες στα υπόλοιπα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην έλλειψη επαρκών διαθέσιμων στοιχείων αλλά και στη δυσκολία ποσοτικής έκφρασης των σχετικών μεγεθών.

Σε ότι αφορά στην ενέργεια, είναι απαραίτητες λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τα είδη και το μίγμα των χρησιμοποιούμενων ενεργειακών πηγών (ανανεώσιμες ή μη). Η ηλεκτρική ενέργεια συνήθως εκφράζεται σε κιλοβατώρες (kWh) ενώ για τα άλλα είδη χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες μονάδες μέτρησης όπως για παράδειγμα τα λίτρα για τα υγρά καύσιμα και τα κυβικά μέτρα για τα αέρια. Στην περίπτωση που η κατανάλωση ενέργειας μετατρέπεται σε ισοδύναμα

megajoules (MJ), τότε πρέπει απαραίτητως να σημειώνεται και ο συντελεστής μετατροπής.

Το μίγμα των καυσίμων το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρει σημαντικά από χώρα σε χώρα και καμιά φορά, από περιοχή σε περιοχή. Για το λόγο αυτό η ενέργεια που καταναλώνεται στις διάφορες φάσεις της ζωής του προϊόντος πρέπει να αθροίζεται κατά είδος καυσίμου και στην συνέχεια να μετατρέπεται σε MJ βάσει των αντίστοιχων εθνικών μέσων τιμών. Εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η ενέργεια που απαιτείται για την άντληση και απόκτηση των ενεργειακών πρώτων υλών (καυσίμων κλπ). Για τις εκροές από τις μονάδες παραγωγής ενέργειας (ρυπαντές κλπ), συνήθως χρησιμοποιούνται τα, έστω και περιορισμένα, στατιστικά στοιχεία από τους αρμόδιους φορείς.

Οι ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνήθως καταγράφονται ξεχωριστά προκειμένου να μπορούν να αξιολογηθούν διαφορετικά. Βέβαια, ο τρόπος με τον οποίο αξιολογείται περιβαλλοντικά η ενέργεια η οποία προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (δηλαδή πηγές οι οποίες ανανεώνονται με ρυθμό ίσο ή μεγαλύτερο από αυτόν της εξάντλησης τους) είναι ζήτημα που δεν έχει, ακόμα, αποσαφηνιστεί πλήρως. Ένα άλλο πρόβλημα το οποίο είναι πιθανόν να προκαλέσει αμφισβητήσεις προκύπτει όταν ένα υλικό χρησιμοποιείται τόσο ως πηγή ενέργειας όσο και ως πρώτη ύλη. Τυπικό παράδειγμα το πετρέλαιο το οποίο στην βιομηχανία πετροχημικών χρησιμοποιείται και με τις δύο αυτές ιδιότητες. Στις περιπτώσεις αυτές και προκειμένου να μην υπάρχουν περιθώρια για αμφισβητήσεις, αναφέρεται ξεχωριστά η ποσότητα του υλικού που δεν χρησιμοποιείται ως καύσιμο και συνήθως εκφράζεται και σε μονάδες ενέργειας και σε μονάδες μάζας ή όγκου.

- Κατασκευή.

Το στάδιο της κατασκευής είναι αυτό όπου οι πρώτες ύλες μετατρέπονται σε έτοιμα προϊόντα. Στο στάδιο αυτό περιλαμβάνονται όλες οι δραστηριότητες από την παραλαβή των πρώτων υλών έως την παράδοση των έτοιμων προϊόντων για αποθήκευση, καθώς επίσης και οι δραστηριότητες της πρωτογενούς και δευτερογενούς συσκευασίας του προϊόντος. Το στάδιο της παραγωγής θεωρείται πλήρες όταν το παραγόμενο προϊόν είναι στην τελική του μορφή έτοιμο για διανομή.

Οι εισροές στο στάδιο αυτό είναι εκτός από την ενέργεια και τις πρώτες ύλες, τα βοηθητικά υλικά καθώς και ανακυκλωμένα υλικά και προϊόντα. Οι εκροές αποτελούνται από τα προϊόντα, τα παραπροϊόντα και τα απόβλητα. Σε ότι αφορά στα τελευταία, όταν υπάρχουν συστήματα επεξεργασίας ή ελέγχου των αποβλήτων αυτών, πρέπει να αναφέρονται οι πραγματικά αποδεδειγμένες ποσότητες στο περιβάλλον, καθώς επίσης να εκτιμώνται και οι ποσότητες εκείνες των αποβλήτων οι οποίες τελικά διαφεύγουν από τα συστήματα αυτά.

- **Μεταφορά και Διανομή.**

Στην ανάλυση κύκλου ζωής με τον όρο μεταφορά εννοούμε κάθε κίνηση υλικού ή ενέργειας μεταξύ δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα σε διαφορετική τοποθεσία, ενώ με το όρο διανομή εννοούμε κάθε δραστηριότητα η οποία έχει ως στόχο να διευκολύνει την μετακίνηση των προϊόντων προς τον τελικό καταναλωτή.

Το ιδιαίτερο στοιχείο της μεταφοράς και της διανομής είναι ότι συνήθως εμφανίζονται στην ανάλυση του κύκλου ζωής του προϊόντος πολύ στενά συνδεδεμένες με διάφορες άλλες δραστηριότητες. Έτσι, τα όρια των δραστηριοτήτων μεταφοράς καθορίζονται κάθε φορά ανάλογα με τις συγκεκριμένες δραστηριότητες με τις οποίες συνδέονται. Πάντως, η επιλογή των δραστηριοτήτων μεταφοράς και διανομής οι οποίες τελικά εξετάζονται και αναλύονται, εξαρτάται από την ακρίβεια και τους σκοπούς της ανάλυσης. Το μέσο μεταφοράς μπορεί να είναι σιδηρόδρομος, αεροπλάνο, φορτηγό αυτοκίνητο, φορτηγό πλοίο, αγωγός, ηλεκτρικά καλώδια κλπ. Γενικά, πάντως, η δραστηριότητα της μεταφοράς διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες :

1. Μεταφορά στην οποία ο φορέας είναι κινητός (αυτοκίνητο, πλοίο, αεροπλάνο κλπ).
2. Ο Μεταφορά στα οποία ο φορέας είναι σταθερός (δίκτυο σωληνώσεων, ηλεκτρικά καλώδια κλπ).
3. Ο Συνδυασμός των δύο παραπάνω περιπτώσεων.

Για την ορθή ανάλυση της δραστηριότητας της μεταφοράς χρειάζεται, όπως άλλωστε και σε κάθε στάδιο της ανάλυσης κύκλου ζωής, ακριβής καθορισμός του συστήματος και άρα των ορίων. Στην προκειμένη περίπτωση το σύστημα



καθορίζεται με βάση το έργο που επιτελείται. Για παράδειγμα, στο σύστημα ενός φορτηγού αυτοκινήτου συνήθως λαμβάνονται υπόψη μόνο οι εισροές και εκροές που σχετίζονται με την φάση της λειτουργίας του φορτηγού (καύσιμα, καυσαέρια κλπ) ενώ εξαιρούνται ζητήματα που σχετίζονται με την κατασκευή ή την συντήρηση του φορτηγού αυτού (ανταλλακτικά κλπ).

Τα στοιχεία που χρειάζονται για την ανάλυση του σταδίου της μεταφοράς και διανομής είναι, συνήθως, τα εξής :

- ❖ Κατανάλωση ενέργειας ανά είδος καυσίμου (π.χ. MJ/kg-km πετρελαίου κίνησης).
  - ❖ Απαιτούμενα Υλικά (π.χ. kg ξύλινων παλετών / kg μεταφερόμενου προϊόντος).
  - ❖ Συντελεστές αποδέσμευσης αερίων και λοιπών ρυπαντών (π.χ. kg εκπεμπόμενου NO<sub>x</sub> / kg-km για μηχανές diesel).
  - ❖ Ρυθμός απωλειών προϊόντων και λοιπών υλικών (π.χ. kg προϊόντος που χάνεται λόγω της μεταφοράς / kg μεταφερόμενου προϊόντος).
  - ❖ Απαιτούμενα υλικά συσκευασίας για την μεταφορά (π.χ. βάρος και όγκος ανά kg μεταφερόμενου προϊόντος).
- Χρήση - Επαναχρησιμοποίηση - Συντήρηση.  
Το στάδιο αυτό της ανάλυσης κύκλου ζωής συνίσταται από μια ομάδα δραστηριοτήτων οι οποίες ξεκινούν αμέσως μετά την διανομή του έτοιμου προϊόντος στον τελικό καταναλωτή και καταλήγουν στην απόρριψη του προϊόντος και την μετατροπή του σε απόβλητο. Σε συντομία μπορεί να αναφερθεί ότι η χρησιμοποίηση περιλαμβάνει δραστηριότητες όπως την κατανάλωση ενός προϊόντος, την λειτουργία μίας συσκευής, την αποθήκευση του προϊόντος για μελλοντική χρήση (π.χ. κατάψυξη), την προετοιμασία του προϊόντος για χρήση (π.χ. μαγείρεμα) κλπ. Η συντήρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε στον τόπο χρήσης είτε αλλού. Στην πρώτη περίπτωση περιλαμβάνεται κάθε δραστηριότητα συλλογής των απαραίτητων ανταλλακτικών, εξοπλισμού κλπ, ενώ στην δεύτερη η μεταφορά του προϊόντος στον τόπο συντήρησης. Ομοίως, η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να λάβει χώρα στον τόπο χρήσης ή όχι και μπορεί να είναι ευκαιριακή και τυχαία (π.χ.

επαναχρησιμοποίηση παλαιών πινέλων χρωματισμού) ή συστηματική και οργανωμένη.

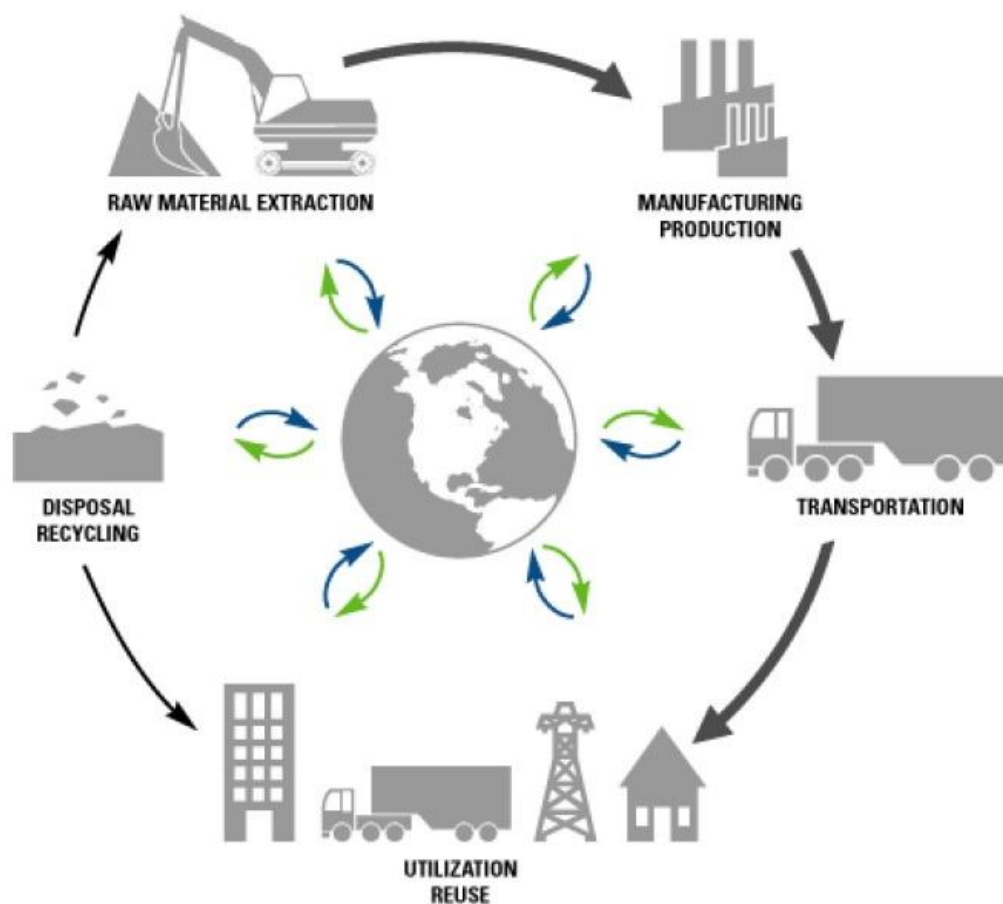
- Ανακύκλωση - Διαχείριση αποβλήτων.

Η ανακύκλωση περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες συλλογής του υλικού καθώς και προετοιμασίας του (π.χ. πλύσιμο) προκειμένου να εισαχθεί ξανά στην παραγωγική διαδικασία ως πρώτη ύλη. Οι δυνατότητες ανακύκλωσης διακρίνονται σε δύο είδη : Στα συστήματα κλειστού κυκλώματος και στα συστήματα ανοικτού κυκλώματος. Στην πρώτη περίπτωση το προϊόν ανακυκλώνεται σε ένα όμοιο προϊόν. Σε αυτή την περίπτωση, το προϊόν είναι απαλλαγμένο από τα περιβαλλοντικά φορτία τα οποία προέρχονται τόσο από την τελική φάση της απόρριψης του προϊόντος όσο και από την αρχική φάση παραγωγής των πρωτογενών πρώτων υλών. Ωστόσο, επιβαρύνεται αφενός με τα περιβαλλοντικά φορτία των δραστηριοτήτων της ανακύκλωσης (συλλογή, μεταφορά, πλύσιμο κλπ) και αφετέρου με εκείνα τα οποία ενδεχομένως να προκύψουν εξαιτίας της χρήσης ανακυκλωμένων πρώτων υλών στην θέση πρωτογενών.

Στη δυνατότητα ανακύκλωσης ανοικτού κυκλώματος το προϊόν ανακυκλώνεται σε κάποιο εναλλακτικό του. Στην περίπτωση αυτή το σύστημα περιλαμβάνει δύο ξεχωριστά προϊόντα και το "περιβαλλοντικό κέρδος" συνίσταται στο ότι για μεν το προϊόν 1 έχουμε μείωση των περιβαλλοντικών φορτίων λόγω αποφυγής της φάσης της τελικής απόρριψης του προϊόντος, για δε το προϊόν 2 έχουμε μείωση των περιβαλλοντικών φορτίων λόγω αποφυγής της φάσης παραγωγής των πρωτογενών πρώτων υλών. Βέβαια, όπως και στην ανακύκλωση κλειστού κυκλώματος έχουμε πρόσθετες επιβαρύνσεις λόγω των δραστηριοτήτων ανακύκλωσης καθώς και της χρήσης ανακυκλωμένων πρώτων υλών στην θέση πρωτογενών.

Βέβαια, στην πράξη τα πράγματα συνήθως δεν είναι τόσο απλά καθώς μπορεί να έχουμε συνδυασμό ανακύκλωσης ανοικτού και κλειστού κυκλώματος, ανακύκλωση ανοικτού κυκλώματος η οποία να οδηγεί σε περισσότερα του ενός εναλλακτικά προϊόντα, προϊόντα τα οποία χρησιμοποιούν πρώτες ύλες που προέρχονται από την ανακύκλωση διαφορετικών προϊόντων κλπ.

Με τον όρο απόβλητα ορίζονται τα υλικά εκείνα τα οποία δεν έχουν κάποια εμπορική αξία (πολλές φορές για τεχνικούς λόγους) και για τον λόγο αυτό απορρίπτονται στο περιβάλλον. Αυτή η αποδέσμευση των αποβλήτων συνήθως συντελείται υπό έλεγχο αν και δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις δημιουργίας αποβλήτων εξαιτίας ατυχημάτων. Επειδή απόβλητα συνήθως παράγονται και αποδεσμεύονται σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα ελέγχου τους τα οποία ονομάζονται συστήματα διαχείρισης αποβλήτων (ΣΔΑ). Οι σημαντικότεροι, κατά σειρά, τρόποι για την αντιμετώπιση του προβλήματος των αποβλήτων θεωρούνται σήμερα η μείωση τους, η επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, ανάκτηση των υλικών, η βιοσταθεροποίηση (λιπασματοποίηση), η θερμική, χημική και βιολογική κατεργασία και τέλος η ελεγχόμενη απόρριψη τους σε υπέδαφος, ωκεανούς, υπόγεια ύδατα κλπ..



Σχήμα 12: Τα στάδια του κύκλου ζωής.

Η βασική αρχή της μεθόδου, όπως περιγράφηκε πιο πάνω, είναι ότι, ρύπανση του περιβάλλοντος μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε στάδιο της ζωής ενός προϊόντος και ότι, αλλαγές σε κάποιο από τα στάδια αυτά είναι πιθανόν να έχει θετικές ή αρνητικές συνέπειες στα υπόλοιπα στάδια στον τομέα τόσο της δημιουργίας οποιασδήποτε μορφής ρύπανσης, όσο και της κατανάλωσης ενέργειας και πρώτων υλών. Τα διάφορα περιβαλλοντικά, κρατικά ή μη προγράμματα εστιάζονται συνήθως στην ρύπανση ενός μόνο μέσου (αέρα, υδάτων ή γης) με αποτέλεσμα οι προσπάθειες για μείωση της ρύπανσης του μέσου αυτού να έχουν ως συνέπεια την αύξηση της ρύπανσης κάποιου άλλου μέσου. Και, πολλές φορές, το γεγονός αυτό μπορεί να εμφανίζει την μορφή αλυσίδας.

Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι για την διαχείριση των στερεών αστικών και λοιπών απορριμμάτων επιλέγεται συχνά η λύση της αποτέφρωσης. Η λύση αυτή, όμως, απαιτεί μεγάλες μονάδες καύσης των απορριμμάτων οι οποίες με τη σειρά τους επιβαρύνουν το περιβάλλον με την εκπομπή στον ατμοσφαιρικό αέρα μεγάλων ποσοτήτων αέριων ρυπαντών και μάλιστα πολλές φορές εξαιρετικά επικίνδυνων. Προκειμένου να αποφευχθεί αυτή η αέρια ρύπανση αναπτύχθηκε ειδική τεχνολογία ελέγχου και περιορισμού των ρυπαντών αυτών η οποία με την σειρά της έχει ως επακόλουθο την δημιουργία υγρών ρυπαντών οι οποίοι μολύνουν τα ύδατα.

Η ανάλυση κύκλου ζωής μπορεί να συντελέσει στο να εξακριβωθεί εάν κάποια προτεινόμενη αλλαγή σε προϊόν ή διεργασία έχει ενδεχομένως παρενέργειες. Για παράδειγμα, μία προφανής βελτίωση σε ένα προϊόν η οποία μειώνει τους αέριους ρύπους αλλά ταυτοχρόνως συνεπάγεται αύξηση των υδάτινων ρύπων, μπορεί να προβλεφθεί με την βοήθεια της AKZ και μάλιστα να καταγραφεί ποσοτικά.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, η ανάλυση κύκλου ζωής αναπτύχθηκε στην προσπάθεια των ερευνητών να έχουν πιο αντικειμενική και ορθή γνώμη για τα προβλήματα του περιβάλλοντος, για τις αιτίες που τα προκαλούν καθώς και για τις προτεινόμενες λύσεις για αυτά τα προβλήματα. Πέρα όμως από την γενική αυτή αρχή, υπάρχει και μια σειρά από συγκεκριμένους στόχους οι οποίοι τίθενται κάθε φορά. Συγκεκριμένα, η ανάλυση κύκλου ζωής επιδιώκει, ανάλογα με την περίπτωση, ένα ή περισσότερους από τους επόμενους στόχους :

1. Να διερευνηθούν οι δυνατότητες για καλύτερη περιβαλλοντική απόδοση με καλύτερο σχεδιασμό.
2. Να τεθούν προτεραιότητες στη σχεδίαση και παραγωγή διαφόρων προϊόντων.
3. Να υποδειχθεί ο ρόλος διαφόρων υλικών στις σύγχρονες στρατηγικές διαχείρισης αποβλήτων.
4. Να καταγραφούν οι επιπτώσεις της ζωής των προϊόντων και δραστηριοτήτων στο περιβάλλον και η καταγραφή αυτή μάλιστα να χρησιμοποιηθεί ως διαχειριστικό εργαλείο μείωσης των επιπτώσεων αυτών.
5. Να καταδειχθεί η σχετική ανωτερότητα ενός υλικού σε σχέση με ένα άλλο σε διάφορες εφαρμογές (π.χ. στη συσκευασία).
6. Να αποτελέσει το επιστημονικό υπόβαθρο με βάση το οποίο θα αποδεικνύεται η αναγκαιότητα υιοθέτησης οικονομικών μέτρων, εφόσον υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον από προϊόντα ή δραστηριότητες (π.χ. φορολόγηση ορισμένων απορριμμάτων ή αέριων ρυπαντών όπως το CO<sub>2</sub>).
7. Να επιλεγεί η καλύτερη μέθοδος ανάκτησης των υλικών σε σχέση με όλες τις δυνατές εναλλακτικές λύσεις.
8. Να εξεταστεί η δυνατότητα βελτίωσης των μεθόδων παραγωγής των υλικών καθώς και των προϊόντων (π.χ. υλικών συσκευασίας).
9. Να ενημερωθεί κάθε πολίτης σχετικά με τις επιπτώσεις στο περιβάλλον από προϊόντα που χρησιμοποιεί και δραστηριότητες που ασκεί. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με την κοινοποίηση των αποτελεσμάτων μελετών ανάλυσης κύκλου ζωής σε κάθε ενδιαφερόμενο φορέα (κρατικές αρχές, οικολογικές ομάδες κλπ), είτε με την εφαρμογή της λεγόμενης οικολογικής επισήμανσης (οικολογική ετικέτα ή οικολογικό σήμα) στα προϊόντα (ecolabeling) είτε, τέλος, με την πιστοποίηση αυτών για την περιβαλλοντική ποιότητα (certification).
10. Να αποδειχθεί επιστημονικά, ο τρόπος με τον οποίο διάφορα υλικά όπως για παράδειγμα τα πλαστικά, το αλουμίνιο κλπ μπορούν ενδεχομένως να εναρμονιστούν με τις πολιτικές διατήρησης των πηγών πρώτων υλών.
11. Να "οδηγήσει" πελάτες και προμηθευτές της βιομηχανίας και κυρίως της βιομηχανίας χημικών διεργασιών να συνεργαστούν με σκοπό περιβαλλοντικά

οφέλη. Η ανάλυση κύκλου ζωής διευκολύνει κάτι τέτοιο αποτελώντας τη βάση ανταλλαγής πληροφοριών στον τομέα της διαχείρισης των αποβλήτων.

12. Να εφοδιάσει τις επιχειρήσεις με επιχειρήματα που θα τις διευκολύνουν στο πεδίο του οικολογικού μάρκετινγκ (eco-marketing ή green marketing). Εννοείται, πάντως, ότι απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρήση της AKZ για διαφημιστικούς σκοπούς είναι η ανάπτυξη ομοιόμορφης και τυποποιημένης μεθοδολογίας προκειμένου να μην γίνεται καταστρατήγηση και αντιδεοντολογική χρήση των διαφόρων στοιχείων.
13. Να αναστρέψει υφιστάμενες δυσμενείς περιβαλλοντικές απόψεις της κοινής γνώμης για διάφορα προϊόντα ή δραστηριότητες που ενδεχομένως να είναι λανθασμένες (π.χ. η αντίληψη πολλών για τη βιομηχανία πλαστικών).
14. Να κατευθύνει στη λήψη αποφάσεων για το περιβάλλον με βάση επιστημονικές μεθοδολογίες και όχι με αυθαίρετες εκτιμήσεις.
15. Να συντελέσει στην εκπόνηση σωστής περιβαλλοντικής στρατηγικής και πολιτικής καθώς και στην θέσπιση και λειτουργία οργάνων περιβαλλοντικού προσανατολισμού.
16. Να δημιουργήσει ολοκληρωμένες βάσεις δεδομένων σχετικά με τις ανάγκες σε ενέργεια και πρώτες ύλες οι οποίες θα χρησιμεύσουν για περαιτέρω αναλύσεις και σχεδιασμούς.
17. Να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την εφαρμογή προγραμμάτων ολικής ποιότητας περιβάλλοντος (Environmental Total Quality Programs).
18. Να θέσει τα επιστημονικά κριτήρια με βάση τα οποία θα απονέμονται τα οικολογικά σήματα (eco-labels) στα διάφορα προϊόντα.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω μπορεί να υποστηριχθεί ότι στόχος της ανάλυσης κύκλου ζωής είναι η μέτρηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ενός οικονομικού συστήματος κατά την διάρκεια της ζωής του, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσοτική προσέγγιση. Παρόλο που αυτό μέχρι σήμερα είχε να κάνει κυρίως με προϊόντα, η AKZ σχετίζεται και με οποιοδήποτε άλλο οικονομικό σύστημα, όπως για παράδειγμα πρώτες ύλες, υπηρεσίες, επιχειρησιακές στρατηγικές και κυβερνητικές πολιτικές.

### 4.3 Ιστορική αναδρομή και εξέλιξη

Κατά τις δεκαετίες του 1960 και 1970, οι προσεγγίσεις του κύκλου ζωής χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της σωρευτικής ενεργειακής χρήσης και για να προβλεφθούν οι μελλοντικές προμήθειες σε πρώτες ύλες και ενέργεια. Είχαν επίσης συνδυαστεί με οικονομικά μοντέλα εισόδου-εξόδου για τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών εκπομπών και των οικονομικών μεγεθών που σχετίζονται με τις διάφορες ενεργειακές τεχνολογίες στον κύκλο ζωής τους. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, το ενδιαφέρον σε τέτοιες προσεγγίσεις μειώθηκε καθώς η πετρελαϊκή κρίση έφθινε, και το ενδιαφέρον στράφηκε στα επικίνδυνα απόβλητα. Η θεώρηση κύκλου ζωής προχώρησε στην Ευρώπη, όπου η ανάλυση απογραφών (inventory analysis) συνεχίστηκε, και οι αρμόδιοι ενδιαφέρθηκαν για το αντικείμενο. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980 και τις αρχές του 1990, η AKZ αποτελείτο κυρίως από εκτιμήσεις εκπομπών και η εφαρμογή της περιοριζόταν στην αξιολόγηση εναλλακτικών συσκευασιών. Αλλά η ανάγκη να διερευνηθούν από εκτιμήσεις εκπομπών και οι γενικότερες επιπτώσεις οδήγησε στην εισαγωγή της αποτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής (life cycle impact assessment) δηλαδή στο να «μεταφραστούν» οι ποσότητες των εκπομπών σε περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτό ήταν σημαντικό, καθώς η πληροφορία σχετικά με την απελευθέρωση εκπομπών παρέχει μικρή ένδειξη σχετικά με το βαθμό της πραγματικής βλάβης στο περιβάλλον.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, η AKZ χρησιμοποιήθηκε και για λόγους μάρκετινγκ. Παρόλα αυτά, η έλλειψη διαφάνειας σε κρίσιμα ζητήματα, η ανάγκη για υποθέσεις, τα αμφισβητούμενα δεδομένα και οι υποκειμενικές εκτιμήσεις σε πολλές από αυτές τις Αναλύσεις Κύκλου Ζωής προκάλεσαν απaráδεκτες καταστάσεις μάρκετινγκ, με αποτέλεσμα να μειωθεί η εμπιστοσύνη στην AKZ.

Σύντομα, το ενδιαφέρον για τις προσεγγίσεις AKZ αναζωπυρώθηκε καθώς το ενδιαφέρον των ρυθμιστικών αρχών πέρασε από το τέλος της παραγωγικής διαδικασίας επεξεργασίας στην πρόληψη της ρύπανσης και την περιβαλλοντική βελτιστοποίηση. Η AKZ επέτρεψε την ποσοτικοποιημένη, δομημένη σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων και την αναγνώριση των περιβαλλοντικά προτιμώμενων επιλογών, με την ταυτόχρονη αναφορά σε πολλαπλά περιβαλλοντικά κριτήρια. Η εφαρμογή της AKZ διευρύνθηκε από την αρχική της εστίαση στη συσκευασία, σε εφαρμογές στα δομικά υλικά, την κατασκευή, τα χημικά προϊόντα, τα αυτοκίνητα και τις βιομηχανίες ηλεκτρονικών.

Με το διευρυνόμενο πεδίο των εφαρμογών, προέκυψε η ανάγκη για τυποποίηση των προσεγγίσεων ΑΚΖ, πράγμα το οποίο ώθησε τις σχετικές προσπάθειες. Σημαντικοί παίκτες σε αυτό το πεδίο ήταν και ακόμη είναι:

- Η Society for Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC).
- Το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environmental Program - UNEP).
- Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Organization of Standardization - ISO).

Η SETAC είναι μία ακαδημαϊκή κοινότητα η οποία διοργανώνει συχνά διασκέψεις για την ΑΚΖ, ειδικά σχετικά με τη μεθοδολογία ΑΚΖ. Παρέχει ένα φόρουμ όπου οι ερευνητές και οι εκπρόσωποι της βιομηχανίας συζητούν και ανταλλάσσουν ιδέες για την ανάπτυξη και την τυποποίηση των μεθόδων. Το 1993, η SETAC δημοσίευσε το Κώδικα Πρακτικής (Code of Practice), ο οποίος περιέγραφε τα συστατικά της «παραδοσιακής» ΑΚΖ, π.χ. καθορισμός σκοπού και πεδίου δράσης, απογραφική ανάλυση κτλ. Ένας αριθμός από άλλες κατευθυντήριες γραμμές και εγχειρίδια προετοιμάστηκαν, αλλά δεν ήταν ιδιαίτερα ωφέλιμες για όσους δεν ήταν εξοικειωμένοι με την ΑΚΖ, επειδή προορίζονταν για συγκεκριμένους σκοπούς και ήταν αρκετά ανελαστικές στις απαιτήσεις τους. Η ανάγκη για πρότυπα μεγάλωσε, και στα τέλη της δεκαετίας του 1990, ο ISO ξεκίνησε να αναπτύσσει αυτά τα πρότυπα.

Ο ISO είναι ένας παγκόσμιος οργανισμός τυποποίησης, ο οποίος, μέσω ποικίλων τεχνικών επιτροπών, προετοιμάζει διεθνή πρότυπα σε διάφορα θέματα. Τα πρότυπα ISO συντάσσονται με βάση ένα προδιαγεγραμμένο πλαίσιο κανόνων, τα προσχέδια των προτύπων αναθεωρούνται, και τουλάχιστον 75% των εθνικών οργανισμών τυποποίησης που ψηφίζουν πρέπει να εγκρίνει ένα πρότυπο για να δημοσιευθεί. Ο ISO εξέδωσε μία σειρά προτύπων για την ΑΚΖ μεταξύ 1997 και 2000.

Μετά τη έκδοση των προτύπων ISO, η SETAC και το UNEP αναγνώρισαν την ανάγκη για τη διάδοση των πληροφοριών και την εκτέλεση προσεγγίσεων κύκλου ζωής στις βιομηχανοποιημένες και μη βιομηχανοποιημένες χώρες. Το 2002 ξεκίνησαν μια συντονισμένη διεθνής συνεργασία για να μπει σε παγκόσμια εφαρμογή η θεώρηση κύκλου ζωής και για να βελτιώσουν τα υποστηρικτικά εργαλεία μέσω καλύτερων δεδομένων και δεικτών επιπτώσεων. Με αυτή τη συνεργασία, γνωστή και ως



Πρωτοβουλία Κύκλου Ζωής (Life Cycle Initiative - LCI), η SETAC παρέχει τεχνικές γνώσεις και συμβουλές, και το UNEP διευκολύνει τη διαδικασία εμπλέκοντας τα ενδιαφερόμενα μέρη από διαφορετικές περιοχές.

Οι δύο οργανισμοί εργάζονται για να ενισχύσουν την εφαρμογή βέλτιστων πρακτικών και ορθών εργαλείων κύκλου ζωής, για να μεταδώσουν τα επιτεύγματα και για να εγκαθιδρύνουν εκπαιδευτικές δραστηριότητες.

Έτσι, το 2007, ο ISO δημοσίευσε μια δεύτερη έκδοση των προτύπων ΑΚΖ:

- Το ISO 14040, Περιβαλλοντική Διαχείριση - Ανάλυση Κύκλου Ζωής - Αρχές και Πλαίσιο, μαζί με
- Το ISO 14044, Περιβαλλοντική Διαχείριση-Ανάλυση Κύκλου Ζωής - Απαιτήσεις και Κατευθυντήριες Γραμμές, που αντικαθιστούν τα προηγούμενα πρότυπα ΑΚΖ.

Οι αναθεωρήσεις στο ISO 14040 και 14044 επικεντρώνονται στη βελτιωμένη αναγνωσιμότητα και στην διόρθωση λαθών και ασυνεπειών. Τα κύρια τεχνικά περιεχόμενα παραμένουν κατά κύριο λόγο αμετάβλητα.

Το 2006, η Φάση I της Πρωτοβουλίας Κύκλου Ζωής SETAC-UNEP ολοκληρώθηκε. Μετά την προσπάθεια τεσσάρων ετών, ανεξάρτητες ομάδες εργασίας δούλεψαν για να βελτιώσουν τη θεώρηση κύκλου ζωής στις ακόλουθες τρεις περιοχές:

1. Διαχείριση Κύκλου Ζωής: Ενημέρωσαν και αύξησαν τις ικανότητες των υπευθύνων παρέχοντας πληροφοριακό υλικό, εγκαθιδρύοντας φόρουμ για κοινοποίηση των βέλτιστων πρακτικών και σε όλον τον κόσμο.
2. Ανάλυση Απογραφών Κύκλου Ζωής: Βελτίωσαν την παγκόσμια πρόσβαση σε υψηλής ποιότητας δεδομένα κύκλου ζωής, διευκολύνοντας τις ομάδες ειδικών να αναπτύξουν διαδικτυακά συστήματα πληροφοριών.
3. Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής: Αύξησαν την ποιότητα και την παγκόσμια πρόσβαση σε δείκτες κύκλου ζωής προωθώντας το μοίρασμα των ιδεών μεταξύ των ειδικών.

Στο τέλος της Φάσης I, η πρωτοβουλία κατέληξε στο συμπέρασμα ότι, παρόλο που είχε γίνει σημαντική πρόοδος στη μεθοδολογία της ΑΚΖ, στην κατανόηση της διαχείρισης κύκλου ζωής και στις βάσεις δεδομένων για την δημιουργία ικανοτήτων και γνώσης για την εφαρμογή προσεγγίσεων κύκλου ζωής παγκοσμίως, απαιτούνταν περισσότερα. Η συνεργασία βρήκε, για παράδειγμα, ότι οι βάσεις δεδομένων απογραφικής ανάλυσης κύκλου ζωής και οι μέθοδοι ανάλυσης επιπτώσεων βασίζονται γενικά σε ευρωπαϊκές ή βορειοαμερικανικές πληροφορίες και εμπειρίες, και ότι χρειάζονται τοπικές βάσεις δεδομένων και κατάλληλες, ανάλογα με κάθε περίπτωση, μέθοδοι αποτίμησης επιπτώσεων. Η Πρωτοβουλία επίσης διαπίστωσε ότι η ακαδημαϊκή έρευνα και οι βιομηχανικές εφαρμογές πρέπει να είναι περισσότερο εναρμονισμένες. Το φθινόπωρο του 2007 η συνεργασία ανακοίνωσε τη Φάση II, η οποία θα διαρκέσει μέχρι το 2012. Με βάση την ανατροφοδότηση της Φάσης I, η αποστολή της Φάσης II είναι να εφαρμόσει στην πράξη επιστημονικά κατοχυρωμένες προσεγγίσεις κύκλου ζωής παγκοσμίως.

Στους στόχους της Φάσης II εμπεριέχονται και τα ακόλουθα:

- Να ενισχυθεί το παγκόσμιο πεδίο δράσης των προσεγγίσεων κύκλου ζωής.
- Να συλλεχθούν, αναπτυχθούν, διατηρηθούν και να διαδοθούν πληροφορίες σε επιτυχείς εφαρμογές των προσεγγίσεων κύκλου ζωής παγκοσμίως για πόρους (π.χ. φυσικούς πόρους, χημικές ουσίες, ενέργεια, νερό).
- Να διευκολυνθεί η χρήση των προσεγγίσεων κύκλου ζωής παγκοσμίως μέσω του επηρεασμού αποφάσεων διαχείρισης σε επιχειρήσεις και διοικήσεις.
- Να δημιουργηθεί η δυνατότητα στη χρήση των προσεγγίσεων κύκλου ζωής σε ενδιαφερόμενα μέρη κλειδιά δημόσιας πολιτικής και επιχειρήσεων παγκοσμίως, σε συνεργασία με τοπικά δίκτυα κύκλου ζωής και άλλους οργανισμούς.

Η Φάση II της πρωτοβουλίας προτίθεται να προχωρήσει πέρα από τις μεθοδολογίες και σε πρακτικές εφαρμογές και με αυτόν τον τρόπο, να συμβάλει πιο αποτελεσματικά στις διεθνείς προσπάθειες για αλλαγή των μη βιώσιμων πρακτικών κατανάλωσης και παραγωγής.

Οι βιομηχανίες υιοθετούν με αυξανόμενο ρυθμό την ΑΚΖ και κάποιες μεγαλύτερες εταιρείες με τους δικούς τους ειδικούς χρησιμοποιούν την ΑΚΖ σε σταθερή βάση. Τα άρθρα σε περιοδικά σχετικά με την ΑΚΖ αυξάνονται και τουλάχιστον ένα περιοδικό (International Journal of Life Cycle Assessment) είναι αφιερωμένο στην ΑΚΖ.

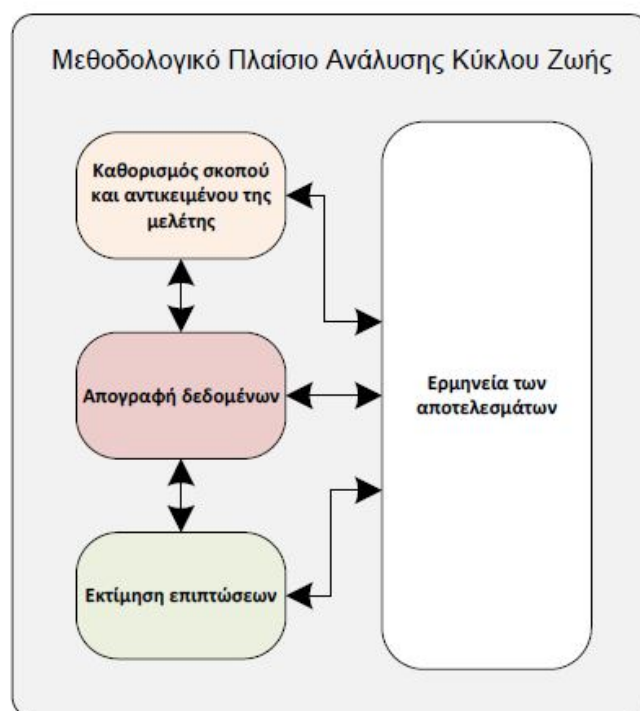
Αυτό το περιοδικό δημοσιεύει άρθρα και έρευνες στη μεθοδολογία ΑΚΖ και μελέτες περιπτώσεων. Με την αυξανόμενη εμπειρία στην ΑΚΖ, οι χρήστες αναγνωρίζουν ότι η οι εφαρμογές ΑΚΖ ποικίλουν και ότι η εφαρμογή της θεώρησης κύκλου ζωής, ακόμη και χωρίς την πλήρη Ανάλυση Κύκλου Ζωής που να ακολουθεί αυστηρά πρότυπα, μπορεί να παρέχει ένα χρήσιμο εργαλείο απόφασης για τους μάνατζερ.

#### 4.4 Η Μεθοδολογία της ΑΚΖ

Η εφαρμογή της ανάλυσης κύκλου ζωής για την αξιολόγηση των διεργασιών επιφανειακών επικαλύψεων θα ακολουθήσει τέσσερις φάσεις σύμφωνα με το πλαίσιο εργασίας της μεθοδολογίας κατά ISO 14040. Για την καλύτερη κατανόηση και εφαρμογή των φάσεων έχουν εκδοθεί τα πρότυπα ISO 14041-14043. Κάθε φάση περιέχει διάφορα στάδια τα οποία έχουν γίνει αντικείμενο έρευνας και μελέτης από μία μεγάλη επιστημονική κοινότητα προκειμένου να βρεθεί η καλύτερη χρησιμοποιούμενη πρακτική.

Αυτά είναι:

1. Καθορισμός σκοπού και αντικείμενου της μελέτης (Goal and scope definition).
2. Απογραφή δεδομένων (Inventory analysis).
3. Εκτίμηση επιπτώσεων (Impact assessment).
4. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Interpretation).



Σχήμα 13: Στάδια της μεθοδολογίας για την ΑΚΖ.

#### 4.4.1 Καθορισμός σκοπού και αντικειμένου της μελέτης

Ο καθορισμός του σκοπού και πλαισίου της ανάλυσης (Goal & Scope Definition) είναι το πρώτο και ιδιαίτερα σημαντικό στάδιο στην εφαρμογή της AKZ γιατί από αυτό θα εξαρτηθεί το γιατί γίνεται η μελέτη αυτή, το τι θέλει να υπολογίσει αλλά και η έκταση που θα καλύψει. Επιπρόσθετα όπως και κάθε άλλη μεθοδολογία, το μοντέλο που χρησιμοποιείται για την AKZ αναπόφευκτα περιέχει απλοποιήσεις και παραδοχές. Τα σημαντικότερα ζητήματα που συνδέονται με το σκοπό και το πλαίσιο της AKZ, είναι :

- Η ακριβής αποτύπωση του σκοπού για τον οποίο γίνεται η AKZ.
- Ο λεπτομερής καθορισμός του κύκλου ζωής και της χρήσης του προϊόντος.
- Ο καθορισμός της λειτουργικής μονάδας.
- Ο ορισμός και περιγραφή των ορίων του συστήματος.
- Ο καθορισμός των ποιοτικών προδιαγραφών για τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν.
- Οι υποθέσεις, περιορισμοί και απαιτήσεις για την επακόλουθη ερμηνεία.

Ο καθορισμός του σκοπού και του πλαισίου προκύπτει από την ανάγκη για συνέπεια κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της AKZ. Στην πράξη, το πλαίσιο της μελέτης είναι ο προσδιορισμός του επιπέδου λεπτομέρειας που απαιτείται για την εφαρμογή των αποτελεσμάτων. Το αποτέλεσμα της μελέτης εξαρτάται κυρίως από την ακρίβεια των στοιχείων που εισάγονται.

##### 4.4.1.1 Η λειτουργική μονάδα

Η λειτουργική μονάδα (functional unit) είναι ένα βασικό στοιχείο της AKZ που πρέπει να καθοριστεί. Η λειτουργική μονάδα είναι ένα μέτρο της λειτουργίας του συστήματος υπό μελέτη και παρέχει μια αναφορά τόσο για τα εισαγόμενα στοιχεία όσο και για τα αποτελέσματα, επιτρέποντας τη σύγκριση δύο διαφορετικών συστημάτων. Ο καθορισμός μιας λειτουργικής μονάδας πιθανό να είναι δύσκολος, καθώς αυτή πρέπει να είναι ακριβής και συγκρίσιμη έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ολόκληρη τη μελέτη.

#### 4.4.1.2 Τα όρια του συστήματος

Τα όρια του συστήματος καθορίζουν ποιες διεργασίες θα συμπεριληφθούν στον κύκλο ζωής που εξετάζεται και ποιες όχι. Οι πιο συνηθισμένοι περιορισμοί είναι οι εξής:

- Όρια μεταξύ της παραγωγικής μονάδας και του περιβάλλοντος: Ένας κύκλος ζωής συνήθως αρχίζει από το στάδιο συλλογής των πρώτων υλών και τελειώνει με το στάδιο της παραγωγής αποβλήτων.
- Γεωγραφικοί περιορισμοί : Αποτελεί σημαντικό περιορισμό δεδομένου ότι παρατηρείται χωρική διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών που υπεισέρχονται στην ανάπτυξη του μοντέλου π.χ. α) διαφοροποίηση στις υποδομές όπως συστήματα παραγωγής και μεταφοράς της απαιτούμενης ενέργειας, συστήματα μεταφοράς πρώτων υλών και τελικών προϊόντων, συστήματα διαχείρισης των παραγόμενων αποβλήτων κ.λπ. β) ύπαρξη περιβαλλοντικά ευαίσθητων οικοσυστημάτων, περιοχές περιβαλλοντικά υποβαθμισμένες κ.λπ.
- Χρονικοί περιορισμοί : Το υπολογιστικό μοντέλο αναπτύσσεται, εξάγει και αξιολογεί αποτελέσματα για τις δεδομένες χρονικές περιόδους όπως επίσης και προβλέψεις με βάση μελλοντικά σενάρια. Με βάση το γεγονός αυτό, ενδέχεται να υπάρξουν περιορισμοί αναφορικά με την εξέλιξη και βελτίωση της εφαρμοζόμενης τεχνολογίας παραγωγής του προϊόντος, των αντιρρυπαντικών τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται, τη δυνατότητα αφομοίωσης ενός ρύπου από το περιβάλλον κ.λπ.
- Περιορισμοί ανάμεσα στον κύκλο ζωής και τους κύκλους ζωής άλλων σχετικών τεχνικών συστημάτων : Οι περισσότερες διεργασίες στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος είναι αλληλένδετες και πρέπει να διαχωριστούν για την εφαρμογή της ΑΚΖ. Για παράδειγμα, η παραγωγή καταναλωτικών αγαθών και η οικονομική βιωσιμότητα νέων και περιβαλλοντικά φιλικών προϊόντων μπορεί να αξιολογηθεί μόνο με βάση την υπάρχουσα τεχνολογία. Η αλληλεπίδραση των διαφόρων διεργασιών είναι πολύπλοκη. Η ιδανική εφαρμογή μιας ΑΚΖ θα ανέλυε εξίσου τον κύκλο ζωής των ίδιων των πρώτων υλών. Αυτό όμως θα οδηγούσε σε μία αέναη διαδικασία. Για το λόγο αυτό, τίθενται περιορισμοί για την αποκλεισμό από τη μελέτη κάποιων διεργασιών, οι οποίες παρόλα αυτά μπορούν να έχουν σημαντικές επιδράσεις στο τελικό προϊόν.

#### 4.4.1.3 Ποιότητα δεδομένων

Η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων από την Ανάλυση Κύκλου Ζωής ενός προϊόντος εξαρτάται από την αξιοπιστία των στοιχείων που συλλέγονται και χρησιμοποιούνται κατά την ανάπτυξη του αντίστοιχου υπολογιστικού μοντέλου. Για την επίτευξη του στόχου αυτού πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράμετροι:

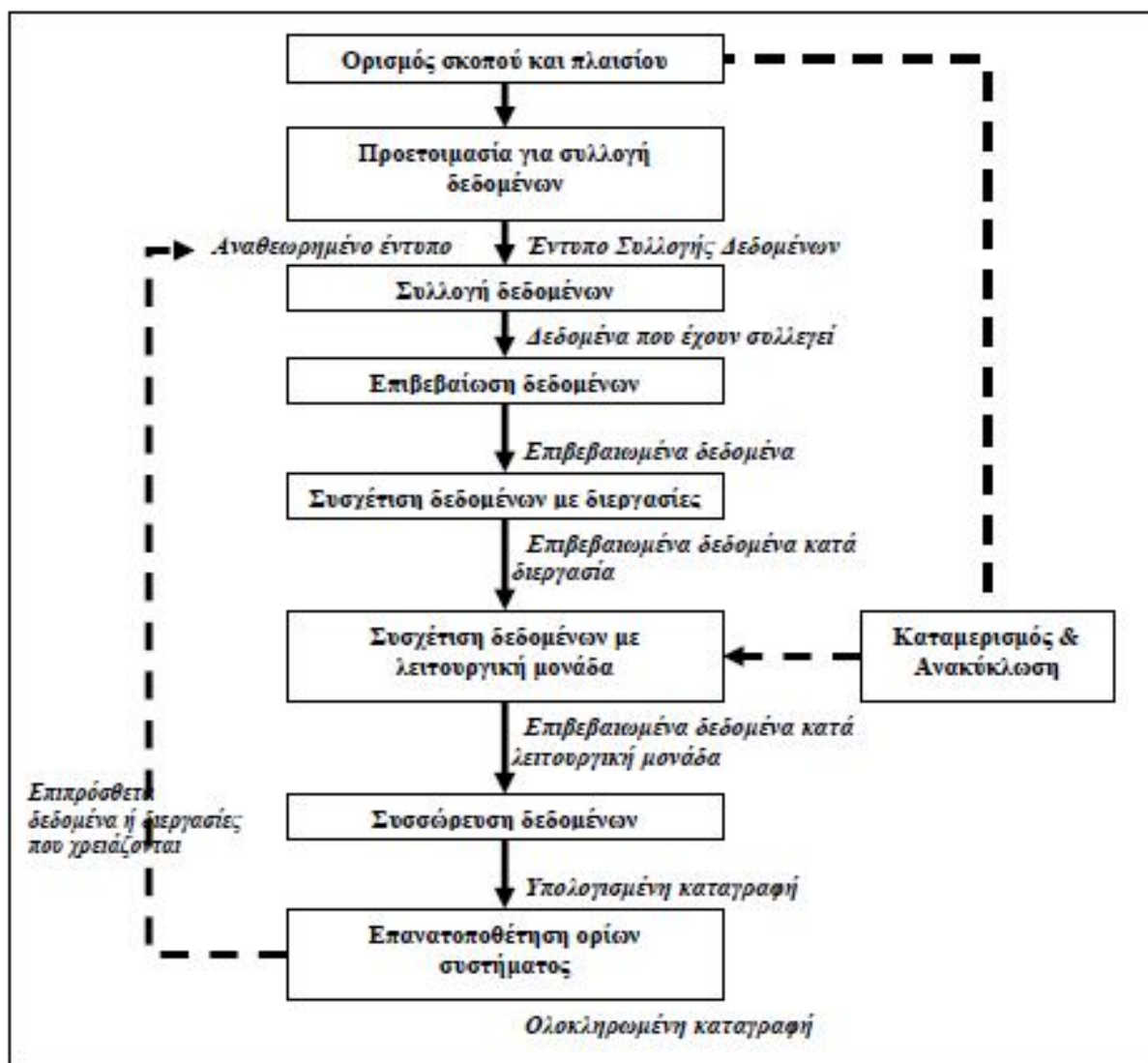
- Κάλυψη όλων των θεμάτων που σχετίζονται με χρονικές διαφοροποιήσεις.
- Κάλυψη όλων των θεμάτων που αφορούν σε χωρικές διαφοροποιήσεις.
- Κάλυψη όλου του φάσματος των τεχνολογιών που εφαρμόζονται.
- Ακρίβεια, πληρότητα και αντιπροσωπευτικότητα των συλλεχθέντων στοιχείων.
- Σαφήνεια και ικανότητα αναπαραγωγής των μεθόδων και πρακτικών που εφαρμόζονται για τη συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων.

#### 4.4.1.4 Καταγραφή Κύκλου Ζωής

Για την ολοκλήρωση του μοντέλου είναι αναγκαία η συλλογή δεδομένων για κάθε διεργασία που βρίσκεται εντός των ορίων του συστήματος. Τα δεδομένα που χρειάζονται είναι συνδυασμός εισροών και εκροών σε κάθε διεργασία που περιλαμβάνεται στα όρια του συστήματος. Για τη συλλογή δεδομένων πρέπει, μεταξύ άλλων, να σχεδιάζονται κατάλληλα έντυπα συλλογής δεδομένων. Στη συνέχεια τα δεδομένα επαληθεύονται και σχετίζονται με τη λειτουργική μονάδα προκειμένου να επιτραπεί η συνάθροιση των αποτελεσμάτων. Ένα πολύ ευαίσθητο βήμα σε αυτήν τη διαδικασία υπολογισμού είναι η κατανομή των ροών στο περιβάλλον π.χ. εκπομπές στον αέρα, νερό και έδαφος. Επίσης, ένα άλλο πρόβλημα προκύπτει από το γεγονός ότι αρκετές διεργασίες παράγουν περισσότερα από ένα προϊόντα, που πιθανόν να μην βρίσκονται εντός των ορίων του συστήματος. Επομένως, τόσο οι εξαγωγές πρώτων υλών όσο και οι περιβαλλοντικές εκπομπές που σχετίζονται με τη συνολική διεργασία, θα πρέπει να καταμερίζονται στα διαφορετικά προϊόντα της διεργασίας.

Η συλλογή δεδομένων είναι το στάδιο με τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε πόρους και χρόνο σε μία ΑΚΖ. Το Σχήμα 14 δείχνει τις απαιτήσεις σε στοιχεία κατά τη διάρκεια μίας ΑΚΖ, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14041. Τα συστήματα παραγωγής προϊόντων συνήθως περιλαμβάνουν ορισμένες διεργασίες οι οποίες είναι οι ίδιες σχεδόν για όλες τις μελέτες, όπως, η προμήθεια ενέργειας, οι μεταφορές, οι υπηρεσίες επεξεργασίας

αποβλήτων και η παραγωγή χημικών ουσιών. Οι διεργασίες αυτές ονομάζονται διεργασίες παρασκήνιου. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και είναι διαθέσιμες βάσεις δεδομένων με στοιχεία για πολλές από αυτές. Η επαναχρησιμοποίηση στοιχείων από προηγούμενες μελέτες μπορεί να απλοποιήσει την εργασία συλλογής δεδομένων, εντούτοις αυτό πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή έτσι ώστε τα δεδομένα να είναι αντιπροσωπευτικά.



Σχήμα 14: Σχηματική επεξήγηση των αναγκών σε στοιχεία για το στάδιο καταγραφής κατά την Ανάλυση Κύκλου Ζωής.

Ωστόσο για αρκετές από τις διεργασίες του συστήματος είτε δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα είτε τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα δεν είναι αντιπροσωπευτικά της διεργασίας που περιλαμβάνεται στον κύκλο ζωής υπό εξέταση. Οι διεργασίες αυτές είναι γνωστές ως διεργασίες προσκηνίου και για αυτές απαιτείται η συλλογή πρωτογενών στοιχείων από το υπό μελέτη σύστημα.

#### **4.4.1.5 Το διάγραμμα ροής**

Το διάγραμμα ροής (Flow Diagram) των διαδικασιών διαμορφώνει μια ποιοτική γραφική απεικόνιση όλων των σχετικών διεργασιών που περιλαμβάνονται στον κύκλο ζωής του συστήματος που μελετάται. Αποτελείται από μια ακολουθία διαδικασιών που συνδέονται από τις ροές υλικών και ενέργειας. Στόχος του είναι η επικέντρωση του ενδιαφέροντος στις πιο σχετικές διεργασίες παρά η πλήρης αποτύπωση του συστήματος. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις διεργασίες που πιθανότατα παράγουν τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επεμβάσεις.

#### **4.4.2 Απογραφή δεδομένων**

Το δεύτερο στάδιο της μεθοδολογίας της AKZ είναι το στάδιο της απογραφής και εκτίμησης των δεδομένων (Inventory analysis). Στο στάδιο αυτό κάθε υποπροϊόν θα πρέπει να παρουσιάζεται ως ένα σύστημα. Ως σύστημα ορίζεται το σύνολο των διεργασιών που συνδέονται με ροή μάζας ή ενέργειας.

Η απογραφή δεδομένων, είναι μια ποσοτική περιγραφή της συνολικής ροής μάζας και ενέργειας μέσα στα όρια του συστήματος ή υποσυστημάτων. Κάθε ένα από αυτά έχει ως είσοδο την έξοδο μιας διεργασίας που προηγείται, ενώ η έξοδος του υποσυστήματος υπολογίζεται ως είσοδος για την επόμενη διεργασία που ακολουθεί. Έτσι κατά την απογραφή δεδομένων προσδιορίζονται όλα τα εισερχόμενα και εξερχόμενα του συστήματος (εισροές και εκροές).

Στο σημείο αυτό βέβαια πρέπει να τονιστεί ότι στο στάδιο της απογραφής των δεδομένων κάθε AKZ παρουσιάζει διακυμάνσεις, αβεβαιότητες και πιθανά κενά.



#### 4.4.3 Εκτίμηση επιπτώσεων

Η εκτίμηση των επιπτώσεων (Impact assessment), το τρίτο στάδιο της μεθοδολογίας, είναι μια ποιοτική και ποσοτική διεργασία η οποία χρησιμοποιείται για να εκτιμήσει τις πιθανές (αρνητικές ή συγκριτικά θετικές) περιβαλλοντικές συνέπειες που προσδιορίζονται στο στάδιο της απογραφής δεδομένων.

Η περιβαλλοντική επίπτωση ενός προϊόντος μπορεί να περιγραφεί με διάφορους τρόπους, αλλά συνήθως καταλήγει στον υπολογισμό της επίπτωσης του προϊόντος εξετάζοντας στις εξόδους, τις επιπτώσεις ή καταστροφές που προκαλούνται σε μια ή περισσότερες φάσεις του κύκλου ζωής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εντοπίζονται τα σημαντικότερα προβλήματα και σε ποιο στάδιο της ζωής του προϊόντος συμβαίνουν.

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14040 και 14044, η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών των προϊόντων μπορεί να αφορά επιπτώσεις ενδιάμεσου (midpoint) ή και τελικού αποδέκτη. Η προσέγγιση «ενδιάμεσου σημείου», περιλαμβάνει κατηγορίες επιπτώσεων όπως η αλλαγή κλίματος, η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος, η δημιουργία τροποσφαιρικού όζοντος (αιθαλομίχλη), ο ευτροφισμός, οι τοξικολογικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και τα οικοσυστήματα, η μείωση των μη ανανεώσιμων ορυκτών πόρων, η χρήση ύδατος, η χρήση εδάφους, η δημιουργία θορύβου κ.α. Στη προσέγγιση «τελικού σημείου», οι επιπτώσεις ταξινομούνται γενικά σε τρία γενικά επίπεδα προστασίας :

1. Της εξάντλησης των φυσικών πόρων. Οι φυσικοί πόροι διακρίνονται σε μη ανανεώσιμους (πόροι που μόνο ένα πεπερασμένο απόθεμά τους είναι διαθέσιμο), σε ανανεώσιμους (π.χ. ήλιος, ανακυκλωμένα υλικά κ.λπ.) και βιοτικούς (πόροι που συνδέονται με τη χλωρίδα και την πανίδα).
2. Της ανθρώπινης υγείας σε δύο επίπεδα, άμεσο που προκαλεί οξείες επιπτώσεις (π.χ. από πυρκαγιές, εκρήξεις, κ.λπ.) και έμμεσο, δηλαδή μακροπρόθεσμες επιπτώσεις που προκαλούνται από τη χρόνια έκθεση των ανθρώπων σε τοξικές ουσίες (π.χ. βενζόλιο, εντομοκτόνα).
3. Της «υγείας» του οικοσυστήματος. Εδώ εξετάζονται πιθανές επιπτώσεις στη δομή (πληθυσμός, επίπεδα διατροφής, φυσικό περιβάλλον), στη λειτουργία (παραγωγικότητα, διεργασία) κ.λπ.

#### 4.4.3.1 Ταξινόμηση

Ο σκοπός της ταξινόμησης (Classification) είναι να οργανωθούν και ενδεχομένως να συνδυαστούν τα αποτελέσματα της απογραφής του κύκλου ζωής σε κατηγορίες επιπτώσεων. Για τα στοιχεία της απογραφής του κύκλου ζωής που συμβάλλουν μόνο σε μια κατηγορία επιπτώσεων, η διαδικασία είναι απλή. Παραδείγματος χάριν, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> μπορούν να ταξινομηθούν στην κατηγορία της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Για τα στοιχεία της απογραφής του κύκλου ζωής που συμβάλλουν σε δύο ή περισσότερες, διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων πρέπει να θεσπιστεί ένας κανόνας για την ταξινόμηση.

Υπάρχουν δύο τρόποι τα αποτελέσματα της απογραφής του κύκλου ζωής να τοποθετηθούν στις πολλαπλές κατηγορίες φορτίου ( ISO 1998).

1. Διάθεση μια αντιπροσωπευτικής μερίδας των αποτελεσμάτων της απογραφής του κύκλου ζωής στις κατηγορίες των επιπτώσεων στις οποίες συμβάλλουν. Αυτό επιτρέπεται χαρακτηριστικά στις περιπτώσεις όπου τα αποτελέσματα εξαρτώνται το ένα από το άλλο.
2. Ταξινόμηση των αποτελέσματα της απογραφής του κύκλου ζωής σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων στις οποίες συμβάλλουν. Αυτό επιτρέπεται χαρακτηριστικά όταν τα αποτελέσματα είναι ανεξάρτητα το ένα από τα άλλο.

Για παράδειγμα, δεδομένου ότι ένα μόριο SO<sub>2</sub> μπορεί να μείνει στο επίπεδο της γης ή να ταξιδέψει επάνω στην ατμόσφαιρα, μπορεί να επηρεάσει την ανθρώπινη υγεία είτε να προκαλέσει όξινη βροχή (αλλά όχι και τα δύο).

Επομένως, οι εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) θα διαιρούνται μεταξύ εκείνων των δύο κατηγοριών επιπτώσεων (π.χ. 50% που διατίθενται στην ανθρώπινη υγεία και 50% που διατίθενται στην όξινη βροχή). Από την άλλη πλευρά δεδομένου ότι το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), μπορεί ενδεχομένως να έχει συγχρόνως επιπτώσεις και στον σχηματισμό των επίγειων επιπέδων όζοντός και στην όξινη βροχή, ολόκληρη η ποσότητα του NO<sub>2</sub> θα διατίθενται και στις δύο κατηγορίες επιπτώσεων (π.χ. 100% στα επίγεια επίπεδα όζοντός και 100% στην όξινη βροχή). Η διαδικασία κατανομής πρέπει να τεκμηριωθεί σαφώς.

#### 4.4.3.2 Χαρακτηρισμός

Ο χαρακτηρισμός (Characterization) επιπτώσεων χρησιμοποιεί παράγοντες μετατροπής βασισμένους σε επιστημονικά δεδομένα, που τους αποκαλεί παράγοντες χαρακτηρισμού, για να μετατρέψει και να συνδυάσει τα αποτελέσματα της απογραφής του κύκλου ζωής σε αντιπροσωπευτικούς δείκτες επιπτώσεων στην ανθρώπινη και οικολογική υγεία. Οι παράγοντες χαρακτηρισμού συνήθως αναφέρονται ως παράγοντες ισοδυναμίας. Ο χαρακτηρισμός παρέχει έναν τρόπο να συγκριθούν άμεσα τα αποτελέσματα της απογραφής του κύκλου ζωής μέσα σε κάθε κατηγορία επιπτώσεων. Με άλλα λόγια οι παράγοντες χαρακτηρισμού εκφράζουν διαφορετική απογραφή εισροών στους άμεσα συγκρίσιμους δείκτες επιπτώσεων. Παραδείγματος χάριν, ο χαρακτηρισμός θα περιέχει μια εκτίμηση της σχετικής επίγειας τοξικότητας μεταξύ μόλυβδου, χρωμίου και ψευδάργυρο.

Παρακάτω είναι ένας κατάλογος των διαφόρων κατηγοριών επιπτώσεων και των τελικών σημείων που εντοπίζονται οι επιδράσεις.

##### Παγκόσμιες επιδράσεις :

- 1) Παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου (λιώσιμο των πάγων, απώλεια εδαφολογικής υγρασίας, μακρύτερες εποχές, απώλεια/αλλαγή δασών, αλλαγή αέρα, αλλαγή ωκεανού).
- 2) Μείωση επιπέδων όζοντος (αυξανόμενη υπεριώδης ακτινοβολία).
- 3) Μείωση φυσικών πόρων (μείωση πηγών για τις μελλοντικές γενιές).

##### Περιφερειακές επιδράσεις :

- 1) Φωτοχημική αιθαλομίχλη (αιθαλομίχλη, μείωση ορατότητας, ενόχληση ματιών, ενόχληση αναπνευστικού και πνευμόνων, καταστροφή βλάστησης).
- 2) Όξινη βροχή (διάβρωση οικοδόμησης, μείωση του pH των υδάτινων σωμάτων).

##### Τοπικές επιδράσεις :

- 1) Ανθρώπινη υγεία (αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα).
- 2) Επίγεια τοξικότητα (μείωση αναπαραγωγής και βιοποικιλότητας, μείωση άγριας ζωής).
- 3) Υδρόβια τοξικότητα (μειωμένη υδατική βλάστηση, παραγωγή εντόμων, μείωση βιοποικιλότητας, μείωση εμπορικού ή δημιουργικού ψαρέματος).
- 4) Χρήση εδάφους (απώλεια επίγειου βιοτόπου, μείωση χώρου).

Ο καθορισμός των μεθόδων χαρακτηρισμού με κατάλληλους παράγοντες εξισορρόπησης βασίζεται κατά κανόνα στους μηχανισμούς με τους οποίους διαφορετικές ουσίες συνεισφέρουν σε διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων. Με τη βοήθεια παραγόντων εξισορρόπησης, οι οποίοι είναι βασισμένοι σε φυσικοχημικούς μηχανισμούς, αγνοούνται οι επιδράσεις από την απόθεση σε γεωγραφικές περιοχές με διαφορετική ευαισθησία στους ρύπους. Εν ολίγοις, οι πιθανές επιπτώσεις αντιπροσωπεύουν τις μέγιστες επιπτώσεις. Στην πράξη, ικανοποιητικές μέθοδοι χαρακτηρισμού υπάρχουν για επιπτώσεις με απλούς και κατανοητούς χαρακτηρισμούς, όπως είναι η όξινη απόθεση, ενώ αντίθετα δεν είναι ανεπτυγμένες για πιο πολύπλοκες επιπτώσεις, όπως ο ευτροφισμός.

#### **4.4.3.3 Κανονικοποίηση**

Στο στάδιο της κανονικοποίησης (Normalization) ο στόχος είναι να επιτευχθεί μια καλύτερη κατανόηση του μεγέθους των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Επιπλέον, μπορεί να τεθεί η ανάγκη σύγκρισης αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφόρων επιπτώσεων, ή ακόμα και μεταξύ των Περιοχών Προστασίας, για να δώσει προτεραιότητα ή για να επιλύσει αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εναλλακτικών προϊόντων (π.χ. χαμηλότεροι δείκτες αλλαγής κλίματος για μια επιλογή, αλλά υψηλότερα τοξικολογικά αποτελέσματα δεικτών για μια άλλη). Η σύγκριση μεταξύ δεικτών κατηγορίας επιπτώσεων είναι ένα προαιρετικό βήμα σε μερικές εφαρμογές ΑΚΖ όπως αναφέρεται στον ISO 14040 και μπορεί να επιτευχθεί στο στάδιο της κανονικοποίησης.

Ο στόχος της κανονικοποίησης είναι διπλός :

1. Να τοποθετήσει τα αποτελέσματα της εκτίμησης επιπτώσεων σε ένα ευρύτερο πλαίσιο.
2. Να ρυθμίσει τα αποτελέσματα ώστε να έχουν κοινές διαστάσεις.

Τα αποτελέσματα της κανονικοποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για την ανάδειξη της σχετικής σπουδαιότητας των διαφόρων κατηγοριών επιπτώσεων. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η φάση της κανονικοποίησης την παραδοχή ότι όλες οι κατηγορίες είναι ισοδύναμες, για παράδειγμα δηλαδή η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου και οι οικοτοξικολογικές επιπτώσεις στην Ευρώπη είναι ισοδύναμης σπουδαιότητας.

#### 4.4.3.4 Ομαδοποίηση

Η ομαδοποίηση (grouping) ορίζει τις κατηγορίες επιπτώσεων σε μια ή περισσότερες θέσεις για να διευκολύνει την ερμηνεία των αποτελεσμάτων στους συγκεκριμένους τομείς που μας απασχολούν. Χαρακτηριστικά, η ομαδοποίηση περιλαμβάνει την ταξινόμηση ή την ταξινόμηση των δεικτών. Τα παρακάτω είναι δυο πιθανοί τρόποι για να ομαδοποιηθούν τα στοιχεία της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (ISO 1998).

1. Ταξινόμηση των δεικτών ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, όπως οι εκπομπές (π.χ. εκπομπές στον αέρα και στο νερό) ή ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση (π.χ. τοπικοί, περιφερειακοί και παγκόσμιοι).
2. Ταξινόμηση των δεικτών, βάση ενός συστήματος ταξινόμησης όπως υψηλής, χαμηλής ή μεσαίας προτεραιότητας. Ταξινόμηση με βάση την αξία επιλογής.

#### 4.4.3.5 Στάθμιση

Το βήμα στάθμισης (weighting) της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, ορίζει τα βάρη και τις σχετικές αξίες στις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων, βασισμένο στην σημαντικότητα ή στην σχετικότητα τους. Η στάθμιση είναι σημαντική, επειδή οι κατηγορίες επιπτώσεων πρέπει επίσης να αντανακλούν τους στόχους μελέτης και τις αξίες συμμετοχής. Επειδή η στάθμιση δεν είναι μια επιστημονική διαδικασία αλλά είναι ζωτικής σημασίας πρέπει η μεθοδολογία της στάθμισης να εξηγείται σαφώς και να τεκμηριώνεται. Αν και η στάθμιση χρησιμοποιείται ευρέως στην εκτίμηση του κύκλου ζωής, το στάδιο της στάθμισης είναι το λιγότερο ανεπτυγμένο στην διαδικασία των βημάτων αξιολόγησης των επιπτώσεων.

Γενικά η στάθμιση περιλαμβάνει τις ακόλουθες δραστηριότητες:

- Προσδιορισμός των τιμών συμμετοχής.
- Καθοριστικά βάρη που τοποθετούνται στις επιπτώσεις.
- Εφαρμογή των βαρών στους δείκτες επιπτώσεων.

Τα σταθμισμένα δεδομένα θα μπορούσαν ενδεχομένως να συνδυαστούν στις κατηγορίες επιπτώσεων, αλλά η διαδικασία στάθμισης πρέπει να τεκμηριωθεί ρητά. Τα σταθμισμένα στοιχεία πρέπει να προβάλλονται μαζί με τα σταθμισμένα αποτελέσματα για να εξασφαλίσουν μια σαφή κατανόηση των υπογραμμισμένων βαρών.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι σε αρκετές περιπτώσεις η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης των επιπτώσεων παρέχει συνήθως ικανοποιητικές πληροφορίες για την λήψη αποφάσεων, ιδιαίτερα όταν τα αποτελέσματα είναι απλά ή προφανή, παραδείγματος χάρις, όταν η καλύτερη εναλλακτική λύση είναι περισσότερο σημαντική και ουσιώδης από άλλες, τουλάχιστον σε μια κατηγορία επιπτώσεων και ισοδύναμη με τις εναλλακτικές και τις υπόλοιπες κατηγορίες επιπτώσεων, τότε η μια η εναλλακτική είναι η καλύτερη λύση. Επομένως, οποιαδήποτε σχετική στάθμιση των αποτελεσμάτων εκτίμησης των επιπτώσεων δεν θα άλλαζε την τάξη ως πρώτη προτίμηση. Η απόφαση μπορεί να ληφθεί χωρίς το βήμα της στάθμισης.

Υπάρχουν διάφορα ζητήματά που κάνουν την στάθμιση μια πρόκληση. Το πρώτο ζήτημα είναι η υποκειμενικότητα. Σύμφωνα με το ISO 14042, κάθε απόφαση που παίρνουμε είναι ουσιαστική με βάση την σχετική σπουδαιότητα μιας κατηγορίας επιπτώσεων σε σχέση με μια άλλη. Επιπλέον, αυτές οι κρίσεις αξιών μπορούν να αλλάξουν με την τοποθεσία ή την περίοδο του χρόνου.

#### **4.4.4 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Interpretation)**

Η Ανάλυση Απογραφών Κύκλου Ζωής και η Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής παρέχουν στοιχεία σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και εκπομπές. Για να χρησιμοποιηθούν αυτά τα αποτελέσματα για αλλαγές στη διαδικασία, στο προϊόν, ή στο σχεδιασμό, ή για άλλους σκοπούς, από τους φορείς λήψης αποφάσεων, χρειάζεται η κατανόηση της αξιοπιστίας και της εγκυρότητας των πληροφοριών. Αναλύσεις για την αξιολόγηση της ποιότητας των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων περιλαμβάνουν τις εξής:

- Οι **Αναλύσεις Ευαισθησίας** προσδιορίζουν και ελέγχουν την επίδραση των κρίσιμων δεδομένων για τα αποτελέσματα. Μπορούν να διεξάγονται με τη συστηματική αλλαγή των παραμέτρων εισαγωγής. Οι παράμετροι εισόδου για τις οποίες μόνο μια μικρή αλλαγή οδηγεί σε μια σημαντική αλλαγή στα αποτελέσματα θα προσδιορίζονται ως η πιο κρίσιμη - και αυτές για τις οποίες τα ακριβή στοιχεία είναι τα πιο σημαντικά.

- Οι **Αναλύσεις Αβεβαιότητας** ελέγχουν την επίδραση της αβεβαιότητας των δεδομένων (π.χ., στοιχεία που εκτιμώνται ή κατά προσέγγιση). Αβέβαια στοιχεία προκύπτει όταν, για παράδειγμα, οι περιβαλλοντικές επιδόσεις των διαφόρων προμηθευτών ποικίλουν ή η παραγωγική διαδικασία κάτω από διαφορετικές συνθήκες παράγει διαφορετικές εκπομπές. Για να προσδιοριστεί η επίδραση της αβεβαιότητας των δεδομένων, τα ποικίλα δεδομένα πρέπει να συλλέγονται και να αξιολογούνται προκειμένου να εξετάσει το εύρος και τη διανομή τους.
- Οι **Αναλύσεις Διακύμανσης** αξιολογούν τις επιπτώσεις των εναλλακτικών σεναρίων και μοντέλων κύκλου ζωής. Για παράδειγμα, αν οι ίδιες διαδικασίες χρησιμοποιούνται σε δύο διαφορετικές χώρες με διαφορετικές πηγές ενέργειας, ο κύκλος ζωής των αποτελεσμάτων θα μπορούσε να είναι διαφορετικός. Επίσης, αλλάζοντας τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται σε μια διαδικασία ή τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε διάφορους τύπους εξοπλισμού, οι χρήστες μπορούν να προσδιορίσουν και να αξιολογήσουν ποιες αλλαγές έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα αποτελέσματα και ποιες παράγουν μόνο μικρές αλλαγές

Άλλες αναλύσεις που διεξάγονται κατά τη φάση της ερμηνείας για να βοηθήσουν στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Η **Ανάλυση Συμβολής** προσδιορίζει τα περιβαλλοντικά φορτία που συμβάλλουν περισσότερο στη συνολική περιβαλλοντική επίπτωση. Μόλις οι επιπτώσεις αναχθούν στην Εκτίμηση Επιπτώσεων, η συμβολή των διαφόρων εκπομπών μπορούν να προσδιοριστούν και να συγκριθούν. Έτσι, ένα συγκεκριμένο είδος απογραφών ανάγεται στο ποσοστό για το οποίο οι διάφορες διεργασίες είναι υπεύθυνες. Συνήθως, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ποσοστά του συνολικού για κάθε εκπομπή στο περιβαλλοντικό προφίλ της διαδικασίας.
- Η **Ανάλυση Βαρύτητας** προσδιορίζει τα τμήματα του κύκλου ζωής που προκαλούν τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Σε μια ανάλυση βαρύτητας εξετάζονται οι εκπομπές ή οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κάθε δραστηριότητας στον κύκλο ζωής. Μια ανάλυση βαρύτητας μπορεί να δείξει περιοχές ή διαδικασίες, στις οποίες οι βελτιώσεις είναι περισσότερο αναγκαίες ή επιθυμητές. Η ανάλυση βαρύτητας μπορεί επίσης να βοηθήσει στον εντοπισμό

σχετικά ήπιων δραστηριοτήτων, οι οποίες μπορεί να είναι σημαντικές σε συζητήσεις για το τι παραγωγικές διεργασίες προκαλούν τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές ανησυχίες. Οι δραστηριότητες μπορούν να ομαδοποιηθούν, έτσι ώστε μια ανάλυση βαρύτητας να μπορεί να συγκρίνει τις επιπτώσεις (ή τα αποτελέσματα απογραφής) για τις συγκεντρωτικές φάσεις, όπως η παραγωγή, μεταφορά, χρήση και διαχείριση των αποβλήτων.

- Η **Ανάλυση Νεκρού Σημείου** χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση συμβιβασμών που αφορούν τη χρήση των προϊόντων. Για παράδειγμα, μπορεί να συγκριθεί η χρήση ενέργειας που συνδέεται με διάφορα μέσα συσκευασίας (π.χ., μιας χρήσης σε σχέση με πολλαπλής χρήσης συσκευασία). Εδώ, η πρόθεση θα ήταν να προσδιοριστεί ο αριθμός των επαναλήψεων που μία πολλαπλών χρήσεων συσκευασία πρέπει να χρησιμοποιηθεί πριν η ενέργεια που καταναλώνεται στην πιο περίπλοκη διαδικασία παραγωγής της (και στο πλύσιμό της μεταξύ των χρήσεων, εάν είναι απαραίτητο), ισοδυναμεί με εκείνη της απλούστερης στο να παραχθεί (και επομένως πιθανώς λιγότερο επιβλαβή για το περιβάλλον), συσκευασίας, η οποία χρησιμοποιείται μόνο μία φορά. Οι αναλύσεις νεκρού σημείου μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να συγκρίνουν τον κύκλο ζωής των υλικών. Για παράδειγμα, βυτία από αλουμίνιο, χάλυβα και πλαστικό θα μπορούσαν να συγκριθούν στον κύκλο ζωής τους για να προσδιοριστεί το νεκρό σημείο. Σε αυτές τις συγκρίσεις, οι διαδικασίες παραγωγής, οι επιλογές ανακύκλωσης και η κατανάλωση ενέργειας κατά τη φάση της χρήσης θα πρέπει να συγκριθούν με το βάρος του κάθε βυτίου και οι επιλογές ανακύκλωσης να εξετάζεται για κάθε υλικό.
- Η **Ανάλυση Διαταραχής** προσδιορίζει τις παραμέτρους για τις οποίες μια μικρή αλλαγή προκαλεί μια μεγάλη αλλαγή σε ένα επιλεγμένο αποτέλεσμα. Ο παράγοντας που συσχετίζει μια μικρή αλλαγή στην είσοδο με μια αλλαγή της παραγωγής που είναι γνωστό ως ο πολλαπλασιαστής. Πολλαπλασιαστές μεγαλύτεροι από 1 ή μικρότεροι από -1 δείχνουν ευαίσθητες παραμέτρους. Πολλαπλασιαστές κοντά στο 0 δείχνουν μη ευαίσθητες παραμέτρους.



- Η **Συγκριτική Ανάλυση** είναι μια συστηματική, ταυτόχρονη εισαγωγή των αποτελεσμάτων της ΑΚΖ για διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις. Η συγκριτική ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα, να συγκρίνουν τις εκπομπές CO<sub>2</sub> που αντιστοιχούν σε μια λειτουργική μονάδα του 1 terajoule της ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορες χώρες, όπου το καθένα έχει το δικό του εναλλακτικό εθνικό σενάριο ηλεκτρικής ενέργειας.

#### **4.5. Ανάλυση επιπτώσεων και βελτιώσεων στον κύκλο ζωής**

Μια μελέτη ανάλυσης κύκλου ζωής δεν είναι πλήρης αν δεν περιλαμβάνει και τα τρία στοιχεία της. Εκτός, δηλαδή, από την καταγραφή κύκλου ζωής (life cycle inventory), είναι απαραίτητα και τα στοιχεία της ανάλυσης επιπτώσεων κύκλου ζωής (life cycle impact analysis) και ανάλυσης βελτιώσεων κύκλου ζωής (life cycle improvement analysis). Μάλιστα, είναι κοινή διαπίστωση ότι το μεγαλύτερο μέρος της ερευνητικής προσπάθειας που χρειάζεται σχετικά με την ανάλυση κύκλου ζωής, αφορά στην ανάπτυξη αποδεκτών μεθοδολογιών για τα δύο αυτά στοιχεία της.

##### **4.5.1. Ανάλυση Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής**

Δεδομένου ότι μία μελέτη ανάλυσης κύκλου ζωής σπάνια καταλήγει σε ένα απλό αποτέλεσμα αλλά συνήθως σε μια σειρά από πίνακες και διαγράμματα τα οποία μας δείχνουν αφενός τις ποσότητες πρώτων υλών και ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν και αφετέρου την ρύπανση που προκλήθηκε, πρέπει κάθε εκτίμηση της κατάστασης που έχει καταγραφεί καθώς και κάθε σύγκριση μεταξύ ομοειδών διεργασιών ή προϊόντων να βασίζεται στην αντικειμενική αξιολόγηση των πινάκων και των διαγραμμάτων αυτών. Πρέπει, δηλαδή, τα αριθμητικά αποτελέσματα να συνδεθούν με τα αντίστοιχα συγκεκριμένα περιβαλλοντικά προβλήματα. Η αξιολόγηση αυτή γίνεται στο στάδιο της ανάλυσης κύκλου ζωής με το όνομα ανάλυση επιπτώσεων κύκλου ζωής στο οποίο, όπως αναφέρθηκε, εμπεριέχεται συχνά και η διαδικασία της συγκέντρωσης των αποτελεσμάτων που αναπτύχθηκε προηγουμένως.

Η ανάλυση επιπτώσεων του κύκλου ζωής είναι το στάδιο εκείνο της ΑΚΖ το οποίο περιλαμβάνει ποσοτικές ή και ποιοτικές διαδικασίες και τεχνικές οι οποίες στοχεύουν στο να χαρακτηρίσουν και να αξιολογήσουν τα αποτελέσματα των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που προέκυψαν από το στάδιο της καταγραφής. Μερικά από τα στοιχεία

τα οποία λαμβάνονται υπόψη και μελετώνται για την πραγματοποίηση αυτής της αξιολόγησης είναι τα παρακάτω :

- Επιπτώσεις στο οικοσύστημα.
- Ο πρακτικές διαχείρισης.
- Οι παραγωγή και χρήση των παραγόμενων προϊόντων.

Το ζήτημα, συνεπώς, που προκύπτουν είναι πώς θα γίνει η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με όσο το δυνατόν πιο αντικειμενικό τρόπο. Με άλλα λόγια, με ποιο τρόπο θα μεταβεί ο μελετητής από το στάδιο της απλής καταγραφής των προβλημάτων στο στάδιο της επεξήγησης και της αξιολόγησης τους, έχοντας, ωστόσο, πάντα υπόψη το γεγονός ότι αναζητούνται οι συνολικές επιπτώσεις του προϊόντος ή της διεργασίας στο περιβάλλον και μάλιστα για ολόκληρη την ζωή του. Έτσι, δεν πρέπει να παρασύρεται σε τοπικούς ή χρονικούς περιορισμούς κατά την εξέταση των διαφόρων περιβαλλοντικών επιδράσεων. Επίσης, αν γίνεται χρήση των αρχών της τοξικολογίας και της εκτίμησης κινδύνου για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ΑΚΖ, αυτό πρέπει να γίνεται με σύνεση επειδή είναι αρκετοί εκείνοι οι οποίοι αμφιβάλλουν για το κατά πόσο κάτι τέτοιο είναι, για κάθε περίπτωση, απόλυτα αναγκαίο και οδηγεί σε σωστά συμπεράσματα.

Ο πιο απλός τρόπος αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της ΑΚΖ είναι η άμεση σύγκριση αυτών και βασίζεται στην αρχή "όσο λιγότερο τόσο καλύτερο". Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση του ζητήματος, επιχειρείται να εξακριβωθεί σε ποια προϊόντα ή διεργασίες έχουμε μικρότερη κατανάλωση πρώτων υλών και ενέργειας και λιγότερες εκπομπές ρύπων.

Η παραπάνω προσέγγιση αξιολόγησης των αποτελεσμάτων μιας μελέτης ανάλυσης κύκλου ζωής παρουσιάζει ένα σημαντικό πλεονέκτημα και δύο σημαντικά μειονεκτήματα. Το πλεονέκτημα είναι ότι, είναι απλή, εύκολη και αρκετά αντικειμενική. Το πρώτο μειονέκτημα είναι ότι, η περίπτωση να έχει μια μελέτη ΑΚΖ καλύτερα αποτελέσματα από μια άλλη σε όλες τις κατηγορίες (πρώτες ύλες, ενέργεια, εκπομπές ρύπων κλπ.), είναι συνήθως απίθανη. Έτσι για παράδειγμα, είναι πραγματικά πολύ δύσκολη η σύγκριση ανάμεσα σε ένα κιλό λάσπης βαρέων μετάλλων που παράγεται, σε 1 MJ ενέργειας που καταναλώνεται και σε ένα κιλό νερού που χρησιμοποιείται. Το δεύτερο μειονέκτημα είναι ότι η σύγκριση αυτού του είδους βοηθάει μόνο στο να συγκρίνουμε μεταξύ τους διάφορα προϊόντα και όχι να δούμε ποιο είναι ακριβώς το

μέγεθος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αφού, για παράδειγμα, αν δύο διεργασίες εκπέμπουν ίσες ποσότητες του ρύπου A, γίνεται αντιληπτό ότι και οι δύο διεργασίες στο συγκεκριμένο ρύπο είναι το ίδιο βλαβερές, χωρίς όμως να ξέρουμε και πόσο βλαβερές είναι.

Η σύγκριση αυτή, ωστόσο, γίνεται πιο αντικειμενική εάν μετατραπούν οι ποσότητες που προσδιορίστηκαν στο στάδιο της καταγραφής σε θετικές και αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Αυτό επιτυγχάνεται συνδέοντας τα αριθμητικά αποτελέσματα με προβλήματα κλπ. Δηλαδή, δεν συγκρίνουμε μόνο αριθμητικά αποτελέσματα μεταξύ τους αλλά προχωρούμε σε εκτίμηση των σχετικών συνεπειών στο περιβάλλον.

Ένας άλλος τρόπος αξιολόγησης των αποτελεσμάτων και άρα εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι το να λαμβάνονται υπόψη για κάθε ουσία που αποδεσμεύεται, εκτός της ποσότητας, και οι ιδιότητες της όπως η τοξικότητα, ο χρόνος ζωής της, η ευκολία διάχυσης και μετανάστευσης της κλπ.. Με βάση αυτά τα στοιχεία κατασκευάζονται δείκτες οι οποίοι είτε καταδεικνύουν τη δυναμική ενός περιβαλλοντικού φορτίου είτε επισημαίνουν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σχετικά. Έτσι, εάν κριθεί σκόπιμο, μια μελέτη ΑΚΖ μπορεί να περιλαμβάνει και στοιχεία εκτίμησης κινδύνου ή άλλων τεχνικών εκτίμησης και αξιολόγησης.

Στην εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής προϊόντος με βάση ποιοτικά κριτήρια στοχεύει και σχετική πρόταση σύμφωνα με την οποία κατασκευάζεται πίνακας ο οποίος στο κατακόρυφο άξονα περιέχει τα πέντε κυριότερα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος που εξετάζεται και στον οριζόντιο τις πέντε σημαντικότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Για παράδειγμα ο πίνακας αυτός θα μπορούσε να έχει την εξής μορφή

Κριτήρια	Κατανάλωση		Απελευθέρωση Αποβλήτων		
	Πρώτων υλών	Ενέργειας	Αέριων	Υδάτινων	Στερεών
Στάδια Κύκλου Ζωής					
Απόκτηση πρώτων υλών					
Παραγωγή προϊόντος					
Διανομή προϊόντος					
Χρήση προϊόντος					
Τελική απόρριψη					

Σχήμα 15: Τεχνική εκτίμησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής προϊόντος.

Σε κάθε μία από τις 25 θέσεις του παραπάνω πίνακα καταγράφεται η αξιολόγηση της απόδοσης του συγκεκριμένου σταδίου του κύκλου ζωής σε σχέση με την αντίστοιχη επίπτωση στο περιβάλλον. Η αξιολόγηση αυτή πραγματοποιείται βαθμολογώντας με έναν ακέραιο αριθμό από 0 (η χειρότερη απόδοση) έως 4 (η καλύτερη απόδοση). Η βαθμολόγηση αυτή βασίζεται στη σύγκριση αφενός των αποτελεσμάτων της καταγραφής κύκλου ζωής και αφετέρου σχετικών δεικτών, κανόνων, ορίων, πρωτοκόλλων κλπ.. Το συνολικό άθροισμα όλων των θέσεων του πίνακα δίνει την συνολική απόδοση του προϊόντος με άριστα το 100.

#### **4.5.2 Ανάλυση Βελτιώσεων του Κύκλου Ζωής**

Το τελευταίο στοιχείο της ανάλυσης κύκλου ζωής προϊόντος ή διεργασίας είναι η ανάλυση βελτιώσεων του κύκλου ζωής. Για την ανάλυση βελτιώσεων δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη μεθοδολογία που να ακολουθείται δεδομένου ότι μέχρι σήμερα πολύ σπάνια συμπεριλαμβάνεται στις μελέτες ΑΚΖ. Η ανάλυση βελτιώσεων αποβλέπει σε μια συστηματική εκτίμηση των σημείων εκείνων του κύκλου ζωής τα οποία είτε χρειάζονται είτε προσφέρουν την ευκαιρία για μια μείωση (βελτίωση) των περιβαλλοντικών φορτίων που προέρχονται από την κατανάλωση πρώτων υλών και ενέργειας καθώς και από την αποδέσμευση αποβλήτων. Η διαδικασία αυτή μπορεί να βασίζεται τόσο σε ποσοτική όσο και σε ποιοτική ανάλυση.

Οι λόγοι για τους οποίους η ανάλυση βελτιώσεων ενσωματώθηκε στις μελέτες ανάλυσης κύκλου ζωής, είναι οι ακόλουθοι:

1. Προκειμένου να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στη χρήση των αναλύσεων κύκλου ζωής για την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
2. Για να εξασφαλιστεί ότι ο σκοπός της ανάλυσης κύκλου ζωής δεν είναι απλά μία κριτική στη υφιστάμενη κατάσταση.
3. Για να γίνει γενικά αποδεκτό ότι όλα τα συστήματα έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον. Επιπτώσεις οι οποίες μπορούν, με την κατάλληλη διαχείριση, να μειωθούν.

Έτσι, στο τμήμα αυτό της μελέτης AKZ, χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα τα οποία προήλθαν από τα δύο προηγούμενα μέρη της ανάλυσης, έτσι ώστε να βελτιωθεί το προϊόν που μελετάται και να γίνει φιλικότερο προς το περιβάλλον. Συγκεκριμένα, με βάση τα αποτελέσματα αυτά, γίνονται υποδείξεις για ενδεχόμενες αλλαγές. Οι αλλαγές αυτές μπορεί να είναι:

- Απλοποίηση του προϊόντος.
- Μείωση της κατανάλωσης πρώτων υλών και ενέργειας.
- Μείωση της αποδέσμευσης κάθε είδους αποβλήτων.
- Χρήση των ανακυκλωμένων υλικών στη θέση των πρωτογενών.
- Αντικατάσταση ενός υλικού από ένα άλλο.
- Εφαρμογή ανακύκλωσης κλειστού συστήματος για επικίνδυνες χημικές ουσίες
- Επανασχεδιασμός του προϊόντος.
- Χρήση νέων τεχνικών ή τεχνολογίας, κλπ.

Όλες αυτές οι αλλαγές εντάσσονται σε μια προσπάθεια για συνολική βελτίωση του προϊόντος και όχι μόνο σε μια πτυχή του προβλήματος, σύμφωνα πάντα με την αρχή και την φιλοσοφία της ανάλυσης κύκλου ζωής.

Αυτό το οποίο πρέπει να τονιστεί είναι το ότι η ανάλυση βελτιώσεων, καθώς αποτελεί το τελικό στάδιο των αναλύσεων κύκλου ζωής, δεν επιδιώκει βελτιώσεις με περιβαλλοντικά μόνο οφέλη. Στόχος της είναι, δια μέσου αυτών, να επιτύχει και οικονομικά οφέλη (για παράδειγμα μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και πρώτων υλών, ελαττώνοντας τα απόβλητα και άρα το κόστος των συστημάτων διαχείρισης τους κλπ) τα οποία, με βάση τους νόμους της αγοράς, θα κατανεμηθούν σε παραγωγούς και καταναλωτές.

#### **4.6. Αξιολόγηση - Αξιοποίηση συμπερασμάτων**

Οι μελέτες ανάλυσης κύκλου ζωής μπορούν, αναμφίβολα, να παίξουν πολύ σημαντικό ρόλο στην βιομηχανία και γενικά στην προσπάθεια του ανθρώπου για μια πιο ορθολογιστική και σωστή διαχείριση του περιβάλλοντος. Η AKZ είναι ένα πολύ αποτελεσματικό όργανο ανάπτυξης περιβαλλοντικής πολιτικής, εφόσον, βέβαια, χρησιμοποιηθεί σωστά. Είναι ένα αντικειμενικό εργαλείο που βασίζεται στην επιστήμη και το οποίο παίζει το ρόλο του συνδέσμου μεταξύ επιχειρήσεων, αρχών, πολιτών και οποιοδήποτε άλλου φορέα ο οποίος εμπλέκεται στη διαχείριση του περιβάλλοντος.

Προκειμένου, όμως, να αξιοποιηθεί όσο το δυνατόν καλύτερα το εργαλείο αυτό, απαιτείται η σωστή χρησιμοποίησή του. Ένα από τα πιο συχνά προβλήματα είναι η κακή ερμηνεία των αποτελεσμάτων της φάσης της καταγραφής κύκλου ζωής. Οι συνηθέστερες αιτίες αυτού του προβλήματος είναι οι ακόλουθες :

- Τα αποτελέσματα ερμηνεύονται και αξιολογούνται από πρόσωπα και φορείς μη ενδεδειγμένους και εξοικειωμένους με το αντικείμενο.
- Συχνά χρησιμοποιούνται μεμονωμένα τμήματα των αποτελεσμάτων και όχι τα πλήρη αποτελέσματα.
- Οι χρήστες των αποτελεσμάτων δέχονται σε αυτά ακρίβεια πολύ μεγαλύτερη από αυτή που επιτρέπει η ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.
- Αποτελέσματα με βάση εθνικά και διεθνή δεδομένα χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή τοπικών και εξειδικευμένων συμπερασμάτων.

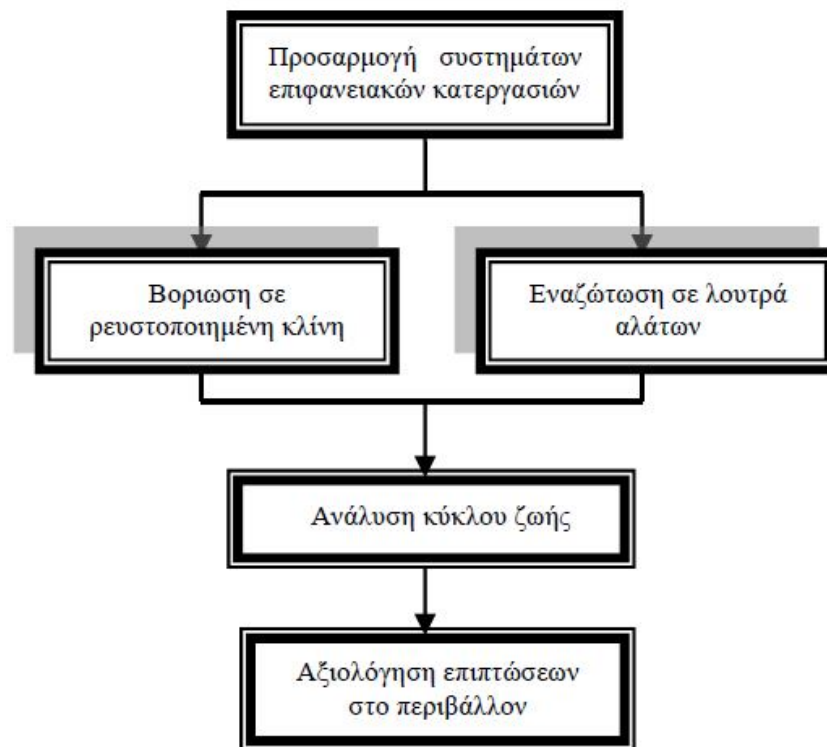
Μεγάλη σημασία στην ορθή χρήση των αποτελεσμάτων ΑΚΖ έχει επίσης και ο τρόπος με τον οποίο κοινοποιούνται τα αποτελέσματα αυτά. Συνήθως η πράξη αυτή αποτελεί ευθύνη του φορέα που ανέπτυξε την μελέτη, ο οποίος, για το λόγο αυτό, πρέπει να φροντίζει ιδιαίτερα για τα παρακάτω :

- Κάθε υπόθεση και παραδοχή η οποία έγινε κατά την ανάπτυξη της ανάλυσης καθώς επίσης και κάθε περιορισμός ή όριο που ετέθη για οποιονδήποτε λόγο, πρέπει να αναφέρεται σαφώς.
- Εφόσον η ανάλυση περιλαμβάνει μόνο το στάδιο της καταγραφής, όπως συνήθως γίνεται, πρέπει αυτό να τονίζεται. Επίσης, πρέπει να αναφέρεται ότι για να είναι πλήρης η μελέτη χρειάζονται επιπλέον τα στάδια της ανάλυσης επιπτώσεων και της ανάλυσης βελτιώσεων κύκλου ζωής. Η παράλειψη των σταδίων αυτών, όμως, αφήνει μεγαλύτερα περιθώρια για παρερμηνείες των αποτελεσμάτων και για αυθαίρετα συμπεράσματα.
- Μαζί με τα αποτελέσματα πρέπει να δίνονται και όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την ανάλυση κύκλου ζωής προκειμένου να επιτυγχάνεται έτσι μια έμμεση εξοικείωση της κοινής γνώμης στο αντικείμενο αυτό.
- Η δυνατότητα παρακολούθησης και καταγραφής της αντίδρασης μέρους της κοινής γνώμης στις μελέτες ΑΚΖ ενδεχομένως να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα για τον τρόπο με τον οποίο ερμηνεύονται οι μελέτες αυτές και για τις παρεξηγήσεις που συνήθως γίνονται.

## 5. Καθορισμός του στόχου και του πεδίου δράσης της μελέτης

### 5.1 Καθορισμός του σκοπού και του πεδίου δράσης της μελέτης

Στόχος της μελέτης είναι η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των επιφανειακών επικαλύψεων κραμάτων τιτανίου σε υποστρώματα χάλυβα. Η ενότητα αυτή αποτελεί μια από τις σημαντικότερες φάσεις του έργου καθότι αξιολογεί τις περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις των διαφορετικών τύπων επιφανειακών κατεργασιών. Θα χρησιμοποιηθεί η μεθοδολογία σύμφωνα με τα ISO 1404x για την ανάλυση κύκλου ζωής διεργασιών και το λογισμικό SimaPro 7 για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των δυο τύπων επιφανειακών κατεργασιών.



Σχήμα 16: Διάγραμμα των σταδίων της μελέτης.

### 5.2 Καθορισμός του πεδίου δράσης και των οριακών συνθηκών

Το σύστημα που θα αξιολογήσουμε αναφέρεται σε δυο προϊόντα, δυο διαφορετικών θερμοχημικών επιφανειακών κατεργασιών. Το χρονικό διάστημα αναφέρεται σε διάρκεια λίγων ωρών (1- 8h) που απαιτούνται για την επίτευξη των διεργασιών. Τα συστατικά των δύο προϊόντων αναφέρονται λεπτομερώς στον επόμενο πίνακα.

Διεργασία	Βορίωση σε ρευστοποιημένη κλίνη	Εναζωτωση σε λουτρά αλάτων
Υλικό	AISI H13 ORVAR	AISI H13 ORVAR
Μέσο διεργασίας	Σκόνη Ekabor WB	Κυανίδιο λουτρό αλάτων
Πρόσθετα	Μείγμα N <sub>2</sub> -H <sub>2</sub>	Μείγμα C-N

Σχήμα 17: Πίνακας συστατικών των διεργασιών.

### 5.3 Λειτουργική μονάδα

Ο καθορισμός της λειτουργικής μονάδας είναι ένα μέρος της φάσης «καθορισμός του στόχου και του πεδίου δράσης της μελέτης». Η σύγκριση των συστημάτων τα οποία μελετάμε θα γίνει με βάση την αντοχή των προϊόντων σε συνθήκες τριβής. Με τον ορισμό της συγκεκριμένης λειτουργικής μονάδας, θα μπορέσουμε να αξιολογήσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διεργασιών, έχοντας ως κριτήριο μια συγκεκριμένη τιμή αντοχής σε συνθήκες τριβής των δυο προϊόντων.

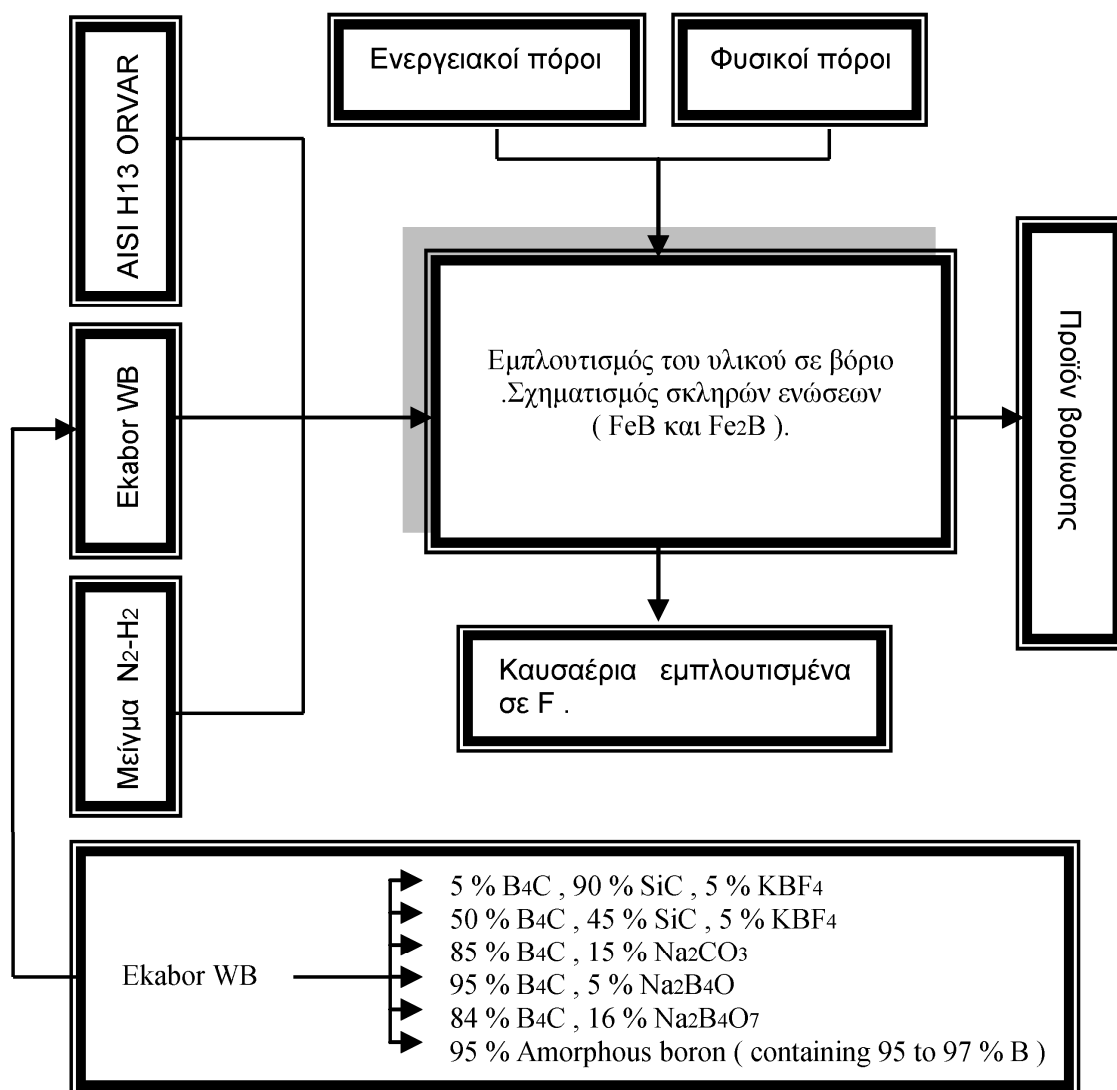
### 5.4 Όρια του συστήματος

Τα όρια του συστήματος που θα περιγράψουμε με το παρακάτω διάγραμμα ροής, βασίζονται στα επόμενα τέσσερα κριτήρια :

1. Δεδομένα εισόδου και εξόδου του συστήματος καθώς και στοιχειώδεις εκπομπές.
2. Παραλείψεις των σταδίων κύκλου ζωής, της μεθόδου και των δεδομένων των διεργασιών.
3. Αρχική περιγραφή των μεθόδων.
4. Απόφαση για την κατανομή των διεργασιών.

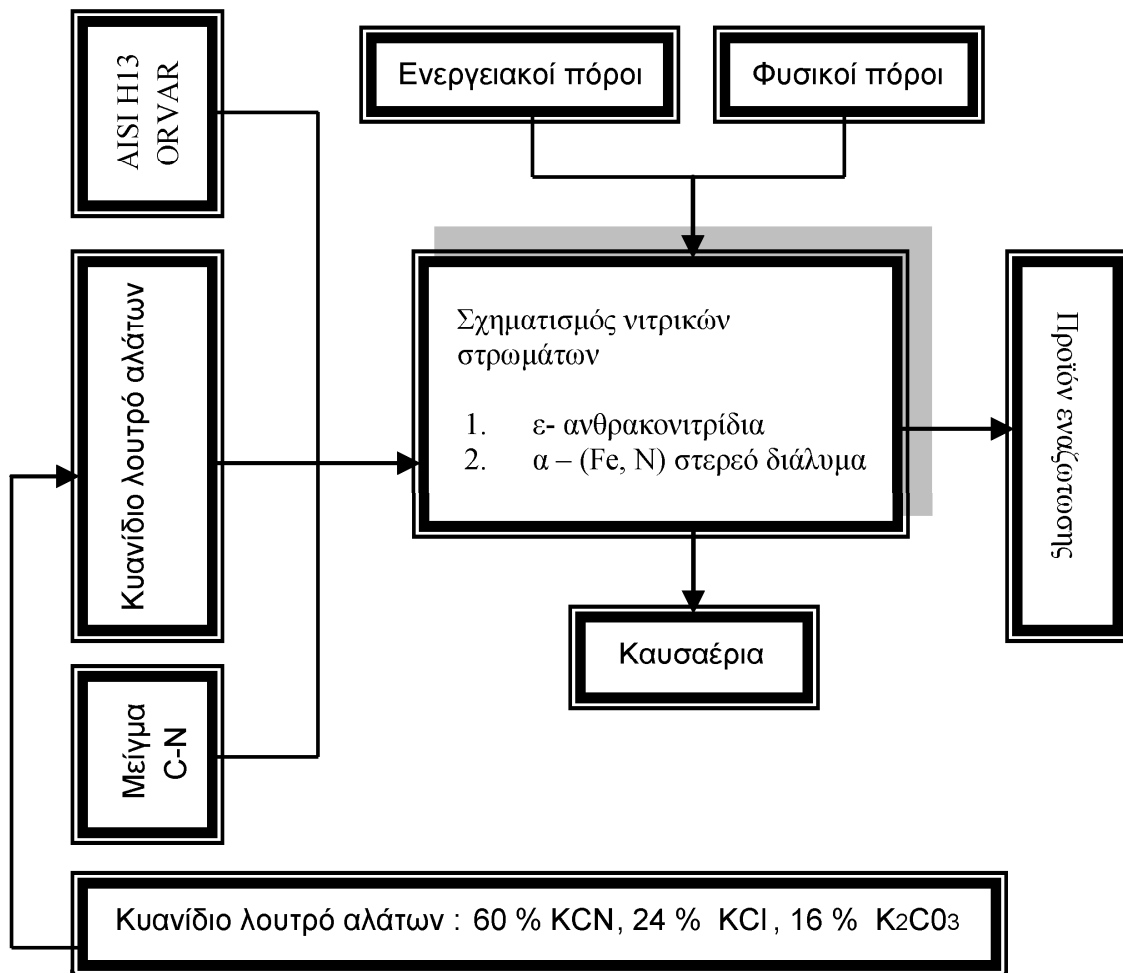
Βάσει των παραπάνω κριτηρίων, παρατηρούμε ότι πρέπει να περιλάβουμε όλες τις εργασίες που αναφέρονται στον κύκλο ζωής των δυο διεργασιών.





Σχήμα 18: Όρια του συστήματος για τη διεργασία της βορίωσης.

Με την ίδια διαδικασία θα δημιουργήσουμε το διάγραμμα ροής, που θα υποδεικνύει τα όρια του συστήματος για την διεργασία της εναζώτωσης. Όπως παρατηρούμε και από το διάγραμμα ροής της διεργασίας της βορίωσης, το σύστημα που εξετάζουμε δεν αντιστοιχεί σε ένα σύστημα της μορφής «από την κούνια ως τον τάφο». Το σύστημα μας βασίζεται στη μελέτη της διεργασίας «από πύλη σε πύλη».



Σχήμα 19: Όρια του συστήματος για την διεργασία της εναζώτωσης.

Το υλικό προς κατεργασία είναι το ίδιο και για τις δυο διεργασίες, έτσι αποτελεί κοινό σημείο αναφοράς και δεν θα χρειαστεί να εξεταστεί διεξοδικά στη συλλογή δεδομένων. Θα παραθέσουμε παρακάτω απλώς τη σύστασή του.

AISI	Commercial name	Fe	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V
H13	ORVAR	Bal	8,63%	5,03%	11,51%	64,74%	-	7,19%	0,03%

Σχήμα 20: Σύσταση του υλικού AISI H13 ORVAR.

## 6. Το λογισμικό Simapro

### 6.1 Εισαγωγή

Τα περιβαλλοντικά και τεχνικά δεδομένα, παρέχουν τη βάση, στην οποία στηρίζονται όλοι οι υπολογισμοί της ανάλυσης κύκλου ζωής. Υπάρχουν πολλών ειδών πηγές δεδομένων όπως π.χ. αναφορές μεθόδων και εκπομπών βιομηχανικών διεργασιών, τεχνικές προδιαγραφές, αποτιμήσεις ειδικών, τεχνικά εγχειρίδια, αναφορές και βάσεις δεδομένων της AKZ. Τα πλεονεκτήματα των καλά τεκμηριωμένων καταλογών απογραφής, επιτρέπουν μια αναφορά η οποία μπορεί να αποτελέσει βάση και να χρησιμοποιηθεί για άλλες μελέτες της ανάλυσης κύκλου ζωής.

Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη και τυποποίηση των μεθόδων Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, έχουν αναπτυχθεί πλήθος λογισμικών υπολογισμού του κύκλου ζωής και αποτίμησης του αποτυπώματος επί του περιβάλλοντος ανάλογα με τα υλικά, τις μεθόδους παραγωγής, συναρμολόγησης, καταστροφής και ανακύκλωσης που επιλέγονται. Ένα ευρέως διαδεδομένο και αναγνωρισμένο τέτοιο λογισμικό είναι το SimaPro με το οποίο και διεξάγεται η υπολογιστική ανάλυση κύκλου ζωής της παρούσας μελέτης.

Το λογισμικό SimaPro έχει αναπτυχθεί στην Ολλανδία από την PRe Consultants και προσφέρει ένα πρακτικό διαδραστικό περιβάλλον για τη σύνταξη μιας μελέτης AKZ. Για την αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων με τη βοήθεια της απεικόνισης των αποτελεσμάτων της απογραφής, απαραίτητη είναι η κατασκευή του κύκλου ζωής του προς μελέτη προϊόντος/υπηρεσίας σύμφωνα με τα όρια του συστήματος που έχουν οριστεί. Το SimaPro προσφέρει βοήθεια για την κατασκευή ενός απλού κύκλου ζωής μέσω ενός οδηγού (wizard), ο οποίος με απλά βήματα και ερωτήσεις καθοδηγεί το χρήστη, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένας ολοκληρωμένος κύκλος ζωής προϊόντος. Ωστόσο, για πιο ανεπτυγμένες εφαρμογές, η χρήση του οδηγού δεν συνιστάται, καθώς είναι αρκετά απλοποιημένη και έτσι ο χρήστης πρέπει να δημιουργήσει τον κύκλο ζωής με το συμβατικό τρόπο στο περιβάλλον του λογισμικού.

## 6.2 Βιβλιοθήκες και βάσεις δεδομένων Simapro

Η βιβλιοθήκη που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα στην πλειονότητα των περιπτώσεων βασίζεται στη βάση δεδομένων Ecoinvent, η οποία περιέχει περίπου 6.000 διεργασίες. Αυτή η βάση δεδομένων είναι το αποτέλεσμα μίας ολοκληρωμένης προσπάθειας από διάφορους ελβετικούς φορείς και ενσωματώνει τις βιβλιοθήκες BUWAL250 (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), ETH-ESU 96 και άλλες βάσεις δεδομένων. Ακόμη, το λογισμικό SimaPro περιέχει μια λεπτομερή βάση δεδομένων εισόδου και εξόδου με πάνω από 500 εγγραφές, οι οποίες αναπαριστούν το σύνολο της οικονομίας των ΗΠΑ (USA Input Output Database). Η βάση δεδομένων αυτή έχει το χαρακτηριστικό ότι περιέχει δεδομένα για εκπομπές διάχυσης και πληροφορία για μικρού και μεσαίου μεγέθους επιχειρήσεις .

## 6.3 Στόχος και σκοπός

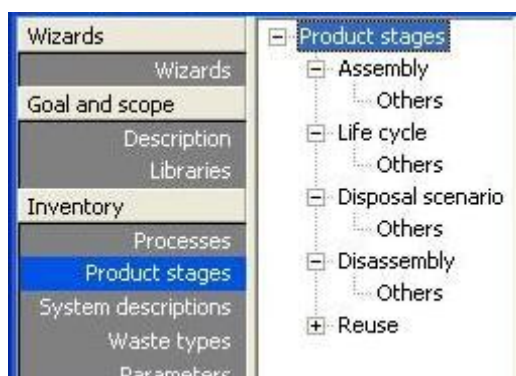
Στη φάση του καθορισμού του στόχου και του πεδίου της μελέτης (Goal and scope), ο μελετητής έχει τη δυνατότητα να καθορίσει τις παραδοχές, τις υποθέσεις, καθώς και την ποιότητα των δεδομένων που εκτιμά και απαιτεί από το αποτέλεσμα της μελέτης (Σχήμα 21). Ακόμη, μπορεί να ορίσει και την κατάλληλη βιβλιοθήκη ανάλογα με τα γεωγραφικά όρια και χαρακτηριστικά της μελέτης.

Wizards	Name
Wizards	
Goal and scope	Date
Description	
Libraries	
Inventory	Author
Processes	
Product stages	Comment
System descriptions	
Waste types	LCA type
Parameters	Unspecified
Impact assessment	Goal
Methods	
Calculation setups	Reason
Interpretation	Commissioner
Interpretation	
Document Links	Interested party
General data	Practitioner
Literature references	Functional unit
Substances	
Units	
Quantities	
Images	

Σχήμα 21: Καρτέλα περιγραφής στόχου και πεδίου μελέτης.

## 6.4 Ανάλυση απογραφής στο Simapro

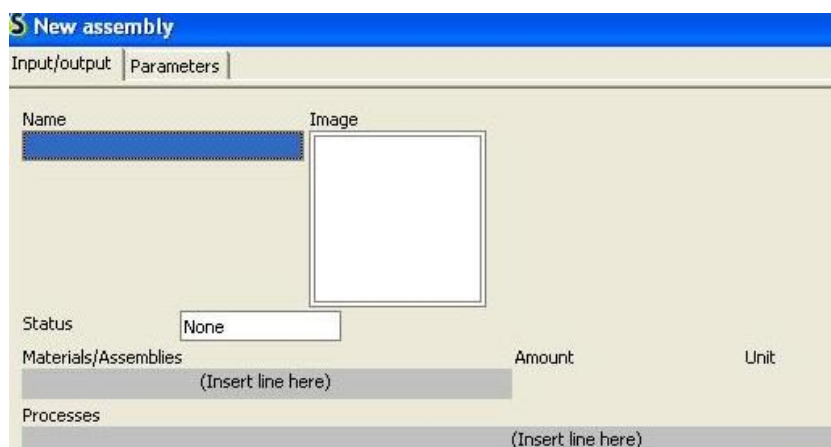
Στη φάση της απογραφής, ο μελετητής είναι δυνατόν να διαλέξει ανάμεσα σε ένα πλήθος επιλογών που προσφέρει η βάση δεδομένων Ecoinvent και να τις επεξεργαστεί κατάλληλα (Σχήμα 22). Υπάρχει η δυνατότητα μέσω της επιλογής της καρτέλας σταδίων παραγωγής να κατασκευαστεί μία νέα συναρμολόγηση ή ένας νέος κύκλος ζωής. Ακόμη, μέσω της καρτέλας διαδικασιών μπορούν να επεξεργαστούν ή να κατασκευαστούν εκ νέου διαδικασίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια κατασκευής του κύκλου ζωής και αφορούν στην απαιτούμενη ενέργεια.



Σχήμα 22: Καρτέλα σταδίων παραγωγής.

## 6.5 Κατασκευή νέας συναρμολόγησης

Συγκεκριμένα, μέσω της επιλογής στάδια παραγωγής (Product stages), είναι δυνατόν να δημιουργηθεί η βασική συναρμολόγηση (Assembly) και να επιλεγθούν κατάλληλα μέσα από μια πληθώρα δεδομένων από τις βιβλιοθήκες τα υλικά/υπό-συναρμολογήσεις (Materials/Subassemblies) και οι διαδικασίες (Processes) από τα οποία αυτή αποτελείται, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 23.



Σχήμα 23: Καρτέλα νέας συναρμολόγησης.

## 6.6 Κατασκευή νέου κύκλου ζωής

Στη συνέχεια μέσω της επιλογής κύκλου ζωής (Life cycle) μπορεί να δημιουργηθεί ένας ολοκληρωμένος κύκλος ζωής της βασικής συναρμολόγησης, ο οποίος μπορεί να συνδεθεί και με άλλους κύκλους ζωής που θα δημιουργηθούν στη συνέχεια. Ακόμη, δίνεται η δυνατότητα να συμπεριληφθεί ένα συνολικό σενάριο αποβλήτων ή σενάριο διάθεσης, που θα αναφέρεται στη βασική συναρμολόγηση, έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη το τέλος του κύκλου ζωής της υπηρεσίας/προϊόντος. Στο Σχήμα 24 παρουσιάζεται η καρτέλα δημιουργίας νέου κύκλου ζωής.

Assembly	Amount	Unit
	0	

Additional life cycles	Number
(Insert line here)	

Σχήμα 24: Καρτέλα νέου κύκλου ζωής.

## 6.7 Κατασκευή νέας διαδικασίας

Όπως αναφέρθηκε, μέσω της καρτέλας διαδικασιών μπορούν να επεξεργαστούν ή να κατασκευαστούν εκ νέου διαδικασίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια κατασκευής του κύκλου ζωής και αφορούν στην απαιτούμενη ενέργεια. Δίνεται η δυνατότητα κατασκευής διαδικασίας που αφορά στα υλικά, στην ενέργεια, στη μετακίνηση, σε σενάρια διαχείρισης αποβλήτων κ.λπ. Στο Σχήμα 25 παρουσιάζεται η καρτέλα δημιουργίας νέας διαδικασίας.

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Category
Name of the output	0	kg	Mass	100 %	Others
(Insert line here)					

Σχήμα 25: Καρτέλα δημιουργίας νέας διαδικασίας ενέργειας.

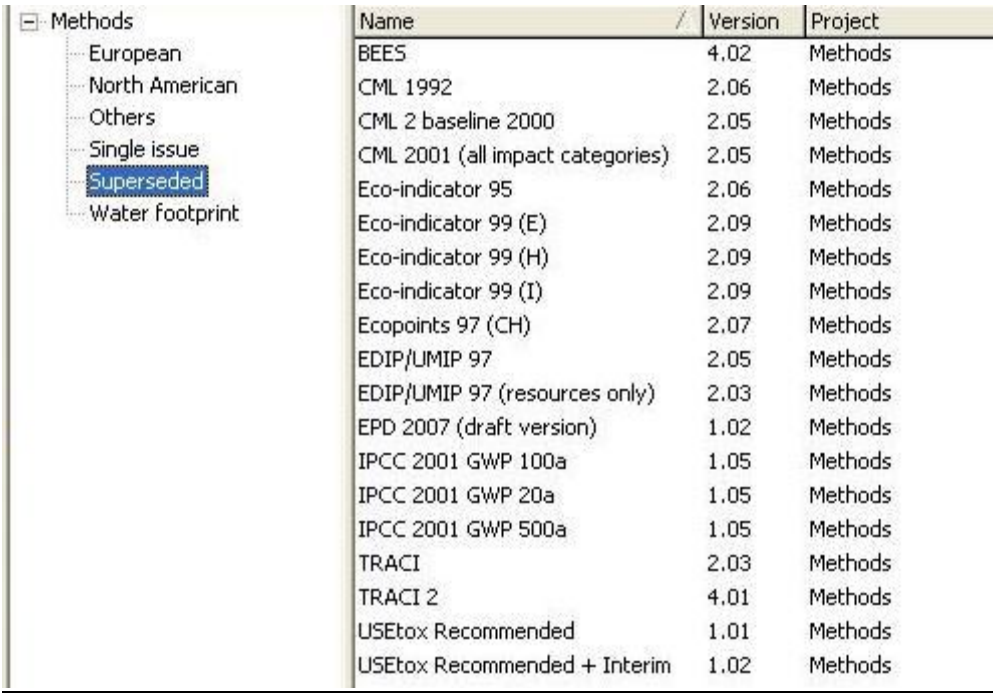
## 6.8 Αξιολόγηση των επιπτώσεων κύκλου ζωής στο Simapro

Οι περισσότεροι χρήστες ΑΚΖ προτιμούν να επιλέξουν μία έτοιμη μέθοδο από τις βιβλιοθήκες Ecoinvent, παρά να αναπτύξουν μία καινούρια, μιας και είναι μία διαδικασία εξαιρετικά πολύπλοκη.

Στο λογισμικό υποστηρίζονται μια σειρά από μέθοδοι για το στάδιο της Αξιολόγησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Σχήμα 26). Ο καθορισμός στόχου και πεδίου μελέτης αποτελεί την πιο σημαντική καθοδηγητική πηγή για τη σωστή επιλογή μεθόδου και κατηγοριών επιπτώσεων. Υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγεί μία ολοκληρωμένη

μέθοδος, αντί μεμονωμένων κατηγοριών επιπτώσεων, αλλά και να αφαιρεθούν ή να προστεθούν κάποιες κατηγορίες στην ήδη υπάρχουσα μέθοδο (Ecoinvent, 2006).

Το πιο σημαντικό βήμα είναι η προσεκτική επιλογή και ερμηνεία των αποκαλούμενων τελικών σημείων (Endpoints), τα οποία ουσιαστικά είναι ζητήματα περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος, όπως είναι η διαθεσιμότητα των πηγών για τις μελλοντικές γενιές, η ανθρώπινη υγεία κ.α. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν εύκολα να επιλεγθούν οι κατηγορίες επιπτώσεων που συνδέονται άμεσα με αυτά τα τελικά σημεία και μπορούν να απεικονιστούν στα διάφορα στάδια που αναφέρθηκαν στην προηγούμενες ενότητες, όπως η ταξινόμηση, ο χαρακτηρισμός, η ομαλοποίηση, η εκτίμηση ζημιάς και η στάθμιση. Στο λογισμικό SimaPro η στάθμιση σε μια μέθοδο αξιολόγησης επιπτώσεων, φαίνεται μόνο για τη μετάβαση από τις κατηγορίες ζημιάς, σε μια τελική κατηγορία.



Name	Version	Project
BEES	4.02	Methods
CML 1992	2.06	Methods
CML 2 baseline 2000	2.05	Methods
CML 2001 (all impact categories)	2.05	Methods
Eco-indicator 95	2.06	Methods
Eco-indicator 99 (E)	2.09	Methods
Eco-indicator 99 (H)	2.09	Methods
Eco-indicator 99 (I)	2.09	Methods
Ecopoints 97 (CH)	2.07	Methods
EDIP/UMIP 97	2.05	Methods
EDIP/UMIP 97 (resources only)	2.03	Methods
EPD 2007 (draft version)	1.02	Methods
IPCC 2001 GWP 100a	1.05	Methods
IPCC 2001 GWP 20a	1.05	Methods
IPCC 2001 GWP 500a	1.05	Methods
TRACI	2.03	Methods
TRACI 2	4.01	Methods
USEtox Recommended	1.01	Methods
USEtox Recommended + Interim	1.02	Methods

Σχήμα 26: Καρτέλα επιλογής μεθόδου.

Στα πλαίσια της μελέτης περίπτωσης που θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι Eco-indicator 99. Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως.



### 6.8.1 Μέθοδος Eco-indicator 99

Η Μέθοδος Eco-indicator 99 είναι ο διάδοχος της Eco-indicator 95 που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του ολλανδικού προγράμματος NOH σε ένα έργο με συμμετοχή των εταιρειών Philips, Nedcar (Volvo, Mitsubishi), Schuurink και των ερευνητικών κέντρων των πανεπιστημίων CML LEIDEN, TU-DELFT, IVAN-ER και CE Delft (Goedkoop, 1995). Οι δύο μέθοδοι στοχεύουν στην αποτύπωση των τελικών απωλειών (damage-oriented), που επιφέρουν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, και όχι στις κατηγορίες επιπτώσεων. Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας της Eco-indicator 99 ξεκίνησε με το σχεδιασμό της διαδικασίας στάθμισης. Παραδοσιακά, στην AKZ οι εκπομπές ρύπων και η εξόρυξη πόρων αποτυπώνονται μέσω 10 ή περισσότερων διαφορετικών κατηγοριών επιπτώσεων, όπως η οξίνιση, η καταστροφή της στιβάδας του όζοντος, η οικοτοξικότητα και η εξάντληση πόρων. Ακόμα και για μια ομάδα εμπειρογνομώνων είναι πολύ δύσκολο να αποδοθούν κοινά αποδεκτοί συντελεστές βαρύτητας για έναν τόσο μεγάλο αριθμό κατηγοριών επιπτώσεων. Συμπερασματικά δεν απαιτείται να σταθμιστούν οι κατηγορίες επιπτώσεων, αλλά τα διάφορα είδη των ζημιών που προκαλούνται από αυτές τις κατηγορίες. Η άλλη βελτίωση ήταν να περιοριστεί ο αριθμός των αντικειμένων που πρόκειται να εκτιμηθούν. Ως αποτέλεσμα, ζητήθηκε από ένα πάνελ που αποτελείται από 365 Ελβετούς ειδικούς σε θέματα AKZ, να αποδώσει συντελεστές βαρύτητας σε τρεις κατηγορίες (τελικών) απωλειών/ζημιών και όχι στις κατηγορίες επιπτώσεων.

1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, που εκφράζεται ως ο αριθμός των χρόνων ζωής που χάνονται και ο αριθμός των ετών ζωής με αναπηρία. Αυτά εκφράζονται ως Disability Adjusted Life Years (DALYs), ένα δείκτη που χρησιμοποιείται επίσης από την Παγκόσμια Τράπεζα και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας .
2. Επιπτώσεις στην ποιότητα του οικοσυστήματος, που εκφράζεται ως η απώλεια των ειδών σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρόνου.
3. Επιπτώσεις στους φυσικούς πόρους, που εκφράζεται ως το πλεόνασμα ενέργειας που απαιτείται για τις μελλοντικές εξαγωγές των μετάλλων και των ορυκτών καυσίμων. Προκειμένου να είναι σε θέση να χρησιμοποιηθούν οι συντελεστές βαρύτητας για τις τρεις αυτές κατηγορίες, αναπτύχθηκε μια σειρά από σύνθετα μοντέλα επιπτώσεων.

## Χαρακτηρισμός στη μέθοδο Eco-indicator 99

Οι συντελεστές χαρακτηρισμού για τις εκπομπές προς την ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και το έδαφος υπολογίζονται στο τελικό επίπεδο επιπτώσεων, δηλαδή στο επίπεδο των επιπτώσεων. Το μοντέλο που εκτιμά τις επιπτώσεις είναι συνάρτηση της έκθεσης (exposure), της μεταφοράς και του χημικού μετασχηματισμού των ρύπων (fate analysis) και της ανάλυσης των ζημιών (effect analysis).

Η Eco-indicator 99 έχει ένα στάδιο εκτίμησης των ζημιών. Αυτό σημαίνει ότι τα αποτελέσματα από τους δείκτες στην κατηγορία επιπτώσεων που υπολογίζονται στο στάδιο του χαρακτηρισμού, προστίθενται για να σχηματίσουν τις κατηγορίες ζημιών. Οι δείκτες υπολογίζονται στο στάδιο του χαρακτηρισμού στο τέλος του επιπέδου end-point (ζημία). Το μοντέλο ζημιών για τις εκπομπές περιλαμβάνει την εκτίμηση μεταφοράς και χημικού μετασχηματισμού των ρύπων, την έκθεση, την ανάλυση επιπτώσεων και την ανάλυση ζημιών. Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο εφαρμόζεται στις ακόλουθες κατηγορίες επιπτώσεων:

1. Καρκινογένεση : Εξετάζονται οι επιπτώσεις στην καρκινογένεση λόγω των εκπομπών των καρκινογόνων ουσιών στην ατμόσφαιρα, στην υδρόσφαιρα και το έδαφος. Η ζημία/απώλειες μετρούνται σε DALY/kg εκπομπής.
2. Αναπνευστικά προβλήματα από οργανικές ουσίες : Εξετάζονται τα αναπνευστικά προβλήματα που προκύπτουν από τη θερινή αιθαλομίχλη λόγω της εκπομπής οργανικών ουσιών στην ατμόσφαιρα, προκαλώντας αναπνευστικές επιδράσεις. Η ζημία/απώλειες μετρούνται σε DALY/kg εκπομπής.
3. Αναπνευστικά προβλήματα από ανόργανες ουσίες : Εξετάζονται τα αναπνευστικά προβλήματα που δημιουργούνται από το χειμερινό νέφος λόγω της εκπομπής σκόνης, θείου και οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα. Η ζημία/απώλειες μετρούνται σε DALY/kg εκπομπής.
4. Κλιματική αλλαγή : Εξετάζεται η αύξηση των ασθενειών και θανάτων λόγω της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Η ζημία/απώλειες μετρούνται σε DALY/kg εκπομπής.
5. Ακτινοβολία : Εξετάζεται η επίδραση της ραδιενεργούς ακτινοβολίας. Η ζημία/απώλειες μετρούνται σε DALY/kg εκπομπής.

6. Στιβάδα του όζοντος : Εξετάζεται η αύξηση των ασθενειών και των θανάτων λόγω της αυξημένης υπεριώδους ακτινοβολίας που προκύπτει ως αποτέλεσμα της εκπομπής ουσιών που καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό  $O_3$ . Η ζημία/απώλειες μετρούνται σε DALY/kg εκπομπής.
7. Οικοτοξικότητα : Εξετάζεται η επίδραση στην ποιότητα του οικοσυστήματος, ως αποτέλεσμα της εκπομπής οικοτοξικών ουσιών στην ατμόσφαιρα, στην υδρόσφαιρα και το έδαφος. Η ζημία/απώλειες μετρούνται σε Potentially Affected Fraction (PAF)·m<sup>2</sup>·έτος/kg εκπομπής.
8. Οξίνιση/Ευτροφισμός : Εξετάζεται η επίδραση στην ποιότητα του οικοσυστήματος, ως αποτέλεσμα της εκπομπής όξινων ουσιών στην ατμόσφαιρα. Η ζημία/απώλειες μετρούνται σε Potentially Disappeared Fraction (PDF)·m<sup>2</sup>·έτος/kg εκπομπής.
9. Χρήση της γης : Η χρήση γης, στα ανθρωπογενή συστήματα, έχει επιπτώσεις στην βιοποικιλότητα των ειδών. Με βάση παρατηρήσεων πεδίου, μια κλίμακα αναπτύχθηκε εκφράζοντας την ποικιλομορφία των ειδών ανά τύπο χρήσης της γης. Η ποικιλότητα των ειδών εξαρτάται από το είδος της χρήσης γης και την έκταση της περιοχής. Σε αυτή την κατηγορία επιπτώσεων λαμβάνονται υπόψη τόσο τα τοπικά όσο και τα περιφερειακά αποτελέσματα. Η ζημία/απώλειες προκαλείται ως αποτέλεσμα είτε της μετατροπής της γης είτε της κατοχής της. Η ζημία/απώλειες μετρούνται σε (PDF)·m<sup>2</sup>·έτος/m<sup>2</sup>.

Σε σχέση με την εξόρυξη των πόρων, η βασική παραδοχή που γίνεται είναι ότι η ανθρωπότητα θα αντλεί πρώτα τους ποιοτικότερους πόρους, αφήνοντας τους υποδεέστερους για αργότερα. Για τις μελλοντικές γενιές, θα απαιτείται επιπλέον προσπάθεια για την εξόρυξη των πόρων του πλανήτη. Αυτή η επιπλέον προσπάθεια εκφράζεται ως «επιπλέον ενέργεια» (surplus energy).

10. Ορυκτοί πόροι: Η ζημία/απώλειες μετρούνται σε επιπλέον ενέργεια ανά kg ορυκτού ή μεταλλεύματος, ως αποτέλεσμα της χαμηλότερης ποιότητας των ορυκτών
11. Ορυκτά καύσιμα: Η ζημία/απώλειες μετρούνται σε επιπλέον ενέργεια ανά MJ, kg ή m<sup>3</sup> ορυκτού καυσίμου, ως αποτέλεσμα χαμηλότερης ποιότητας καυσίμων.

## Αβεβαιότητες

Είναι πολύ σημαντικό να δοθεί προσοχή στις αβεβαιότητες της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των δεικτών. Δύο τύποι διακρίνονται:

1. Οι αβεβαιότητες σχετικά με την ορθότητα των μοντέλων που χρησιμοποιούνται.
2. Αβεβαιότητες δεδομένων.

Οι αβεβαιότητες των δεδομένων καθορίζονται για τους περισσότερους ζημιογόνους παράγοντες, ως τετραγωνισμένες γεωμετρικές τυπικές αποκλίσεις στις αρχικές εκθέσεις, αλλά όχι στη μέθοδο στο SimaPro. Οι αβεβαιότητες του μοντέλου στη μεθοδολογία Ecoindicator 99 δεν εκφράζονται ως κατανομές. Αντιθέτως, είναι συνδεδεμένες με υποκειμενικές επιλογές στο μοντέλο. Για την αντιμετώπισή τους έχουν αναπτυχθεί τρεις διαφορετικές εκδόσεις της μεθοδολογίας, χρησιμοποιώντας τα αρχέτυπα που ορίζονται στην Κοινωνική Θεωρία. Οι τρεις εκδόσεις του Eco-indicator 99 είναι:

1. Η ισότιμη προοπτική
2. Η ιεραρχική προοπτική
3. Η ατομικιστική προοπτική

Τα χαρακτηριστικά της κάθε προοπτικής παρουσιάζονται στη συνέχεια:

### Ισότιμη προοπτική

Στην ισότιμη προοπτική η επιλεγείσα χρονική περίοδος είναι εξαιρετικά μακροπρόθεσμη. Οι ουσίες περιλαμβάνονται αν υπάρχει έστω και μια ένδειξη όσον αφορά στον αντίκτυπό τους. Για παράδειγμα, όλες οι καρκινογόνες ουσίες της IARC: 1, 2α, 2β και 3 περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς, στο βαθμό που ήταν διαθέσιμες πληροφορίες. Στην ισότιμη προοπτική, οι ζημίες δεν είναι δυνατόν να αποφευχθούν και πιθανώς να οδηγήσουν σε καταστροφικά γεγονότα. Τα ορυκτά καύσιμα δεν αντικαθίστανται, συνεπώς το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο απαιτείται να αντικατασταθούν από ένα μείγμα λιγνίτη και σχιστόλιθου. Στους υπολογισμούς DALY η στάθμιση ηλικίας δεν συμπεριλαμβάνεται.

### Ιεραρχική προοπτική

Στην ιεραρχική προοπτική η επιλεγείσα χρονική περίοδος είναι μακροχρόνια. Οι ουσίες περιλαμβάνονται εφόσον υπάρχει επιστημονική συναίνεση όσον αφορά στον αντίκτυπο τους. Έτσι, όλες οι καρκινογόνες ουσίες στην κατηγορία IARC: 1, 2α και 2β συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς, ενώ η κατηγορία 3 έχει σκόπιμα αποκλειστεί. Στην ιεραρχική προοπτική οι ζημιές/απώλειες είναι δυνατόν να αποφευχθούν με καλή διαχείριση λαμβάνοντας τα κατάλληλα διαχειριστικά μέτρα. Τα ορυκτά καύσιμα δεν είναι δυνατόν εύκολα να αντικατασταθούν. Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αντικαθίστανται από σχιστόλιθους, ενώ ο άνθρακας αντικαθίσταται από λιγνίτη. Στους υπολογισμούς DALY η στάθμιση ηλικίας δεν συμπεριλαμβάνεται.

### Ατομικιστική προοπτική

Στην ατομικιστική προοπτική η επιλεγείσα χρονική περίοδος είναι βραχυπρόθεσμη (100 χρόνια ή και λιγότερο). Οι ουσίες περιλαμβάνονται εφόσον υπάρχει πλήρης απόδειξη όσον αφορά στον αντίκτυπό τους. Ως εκ τούτου, μόνο καρκινογόνες ουσίες της κατηγορίας 1 της IARC συμπεριλαμβάνονται, ενώ η κατηγορία 2α, 2β και 3 έχουν εσκεμμένα αποκλεισθεί. Στην ατομικιστική προοπτική οι ζημιές είναι δυνατόν να περιοριστούν από την τεχνολογική και οικονομική ανάπτυξη. Στην περίπτωση των ορυκτών καυσίμων γίνεται η παραδοχή ότι δεν είναι δυνατόν να εξαντληθούν. Ως εκ τούτου, έχουν μείνει έξω. Στους υπολογισμούς DALY η στάθμιση ηλικίας συμπεριλαμβάνεται.

### Εκτίμηση ζημιών στη μέθοδο Eco-indicator 99

Οι ζημιές από τις κατηγορίες επιπτώσεων έχουν ως αποτέλεσμα τρεις τύπους επιπτώσεων:

- Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, εκφραζόμενες ως ο αριθμός των χρόνων ζωής που χάνονται και ο αριθμός των ετών ζωής με αναπηρία. Αυτά ονομάζονται ως Disability Adjusted Life Years (DALYs), ένα δείκτη που χρησιμοποιείται, επίσης, από την Παγκόσμια Τράπεζα και τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας.
- Επιπτώσεις στην ποιότητα του οικοσυστήματος, εκφραζόμενη ως η απώλεια των ειδών σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρόνου.

- Επιπτώσεις στους φυσικούς πόρους, εκφραζόμενη ως το πλεόνασμα ενέργειας που απαιτείται για τις μελλοντικές εξαγωγές ορυκτών και ορυκτών καυσίμων.

Κανονικοποίηση στη μέθοδο Eco-indicator 99

Η κανονικοποίηση γίνεται στο επίπεδο των 3 κατηγοριών ζημιών. Η κανονικοποίηση των δεδομένων γίνεται με σημείο αναφοράς Ευρωπαϊκά δεδομένα, ως επί το πλείστον του 1993 ως έτος βάσης (ή μεταγενέστερα όταν υπάρχουν).

Στάθμιση στη μέθοδο Eco-indicator 99

Σε αυτή τη μέθοδο η στάθμιση των δεδομένων γίνεται επίσης στο επίπεδο των 3 κατηγοριών ζημιών. Ένας πίνακας στάθμισης εκτελείται στις τρεις κατηγορίες απωλειών. Για κάθε αρχέτυπο, ένα συγκεκριμένο σύνολο στάθμισης είναι διαθέσιμο. Το μέσο αποτέλεσμα της εκτίμησης του πίνακα είναι διαθέσιμο ως ένα σύνολο στάθμισης. Η ιεραρχική έκδοση του Eco-indicator 99 με μέση στάθμιση επιλέγεται ως προεπιλογή. Σε γενικές γραμμές, οι επιλογές που πραγματοποιούνται στην ιεραρχική έκδοση είναι επιστημονικά και πολιτικά αποδεκτές.

## **6.9 Απεικόνιση αποτελεσμάτων περιβαλλοντικής συνεισφοράς διαδικασιών και προϊόντων που απεικονίζονται στο Simapro**

Στο λογισμικό SimaPro υπάρχουν δύο λειτουργίες για την εξεύρεση της συνεισφοράς από μια διαδικασία (Simapro UK, 2012):

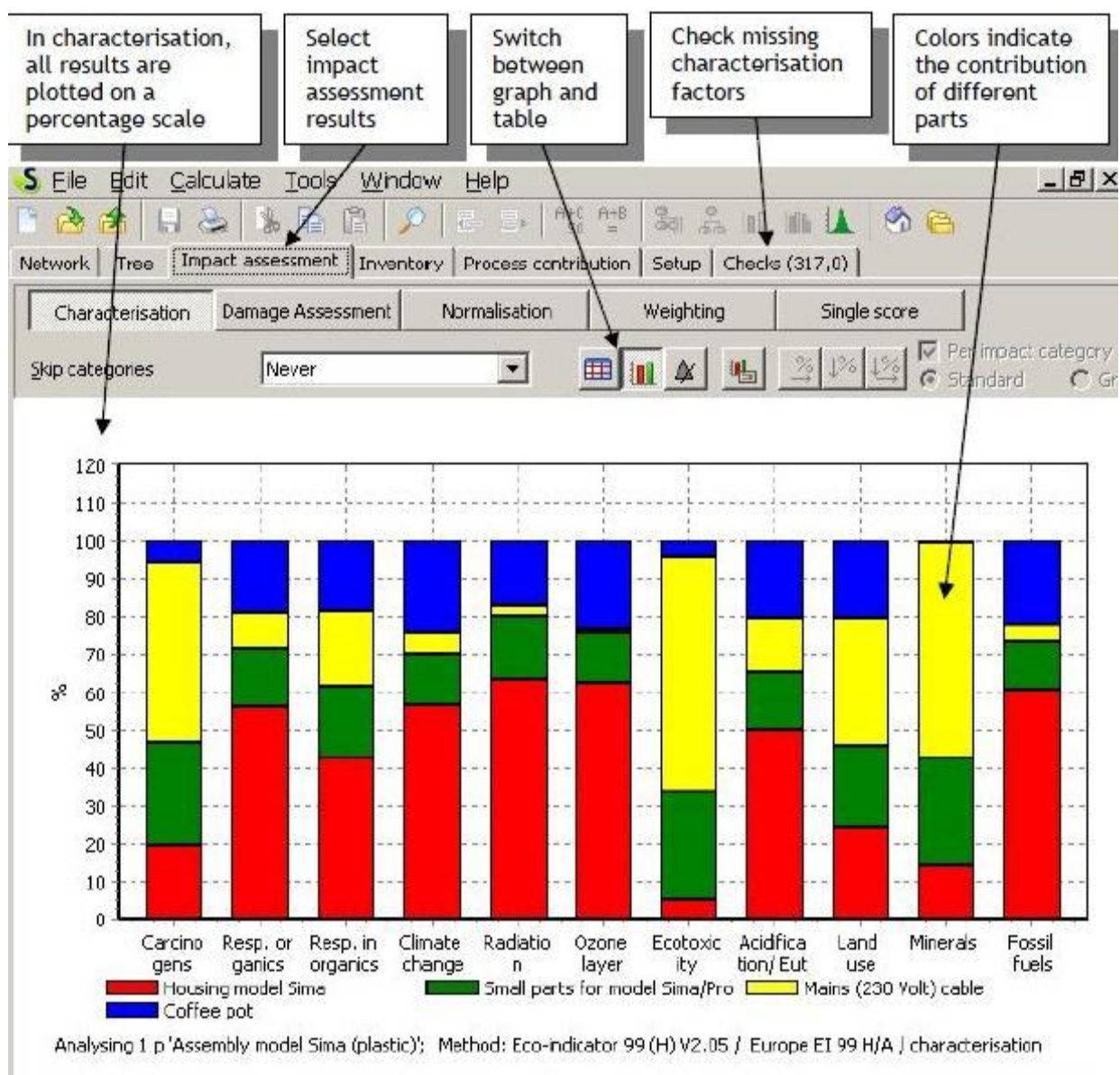
1. Τμήμα ανάλυσης συνεισφοράς στην οθόνη προβολής αποτελεσμάτων (Inventory).
2. Οι γραφικές παραστάσεις του δέντρου διαδικασιών (Process tree) ή του δικτύου απεικόνισης (Network structure).

## **6.10 Ανάλυση συνεισφοράς στην οθόνη προβολής αποτελεσμάτων**

Επιλέγοντας τη συναρμολόγηση ή ακόμα και ολόκληρο τον κύκλο ζωής και πατώντας Ανάλυση (Analyze) από την εργαλειοθήκη, δημιουργούνται τα αποτελέσματα της απογραφής και της αξιολόγησης επιπτώσεων μέσω της εκάστοτε μεθόδου που έχει επιλεγεί ως προεπιλεγμένη (default method). Το παράθυρο που ανοίγει, οδηγεί στο στάδιο του χαρακτηρισμού των αποτελεσμάτων, αλλά μπορεί να γίνει εναλλαγή και για

τα υπόλοιπα στάδια, όπως είναι η αξιολόγηση επιπτώσεων, η κανονικοποίηση και η στάθμιση. Καθώς όλες οι κατηγορίες επιπτώσεων έχουν διαφορετική μονάδα μέτρησης, αυτόματα η κλίμακα του γραφήματος παρουσιάζεται σε ποσοστό. Τα διάφορα χρώματα αντιπροσωπεύουν τα διάφορα μέρη της συναρμολόγησης, εφόσον υπάρχουν και το ποσοστό συνεισφοράς τους (Σχήμα 27).

Πέρα από τη γραφική απεικόνιση των δεδομένων, τα αποτελέσματα της απογραφής είναι μία μεγάλη λίστα από εκπομπές και πηγές, και μπορούν να παρουσιαστούν σε μορφή πίνακα, πατώντας το αντίστοιχο κουμπί από την εργαλειοθήκη.



Σχήμα 27: Γραφική ανάλυση συνεισφοράς στην οθόνη προβολής αποτελεσμάτων.

## 6.11 Γραφικές παραστάσεις δέντρου διαδικασιών και δικτύου απεικόνισης

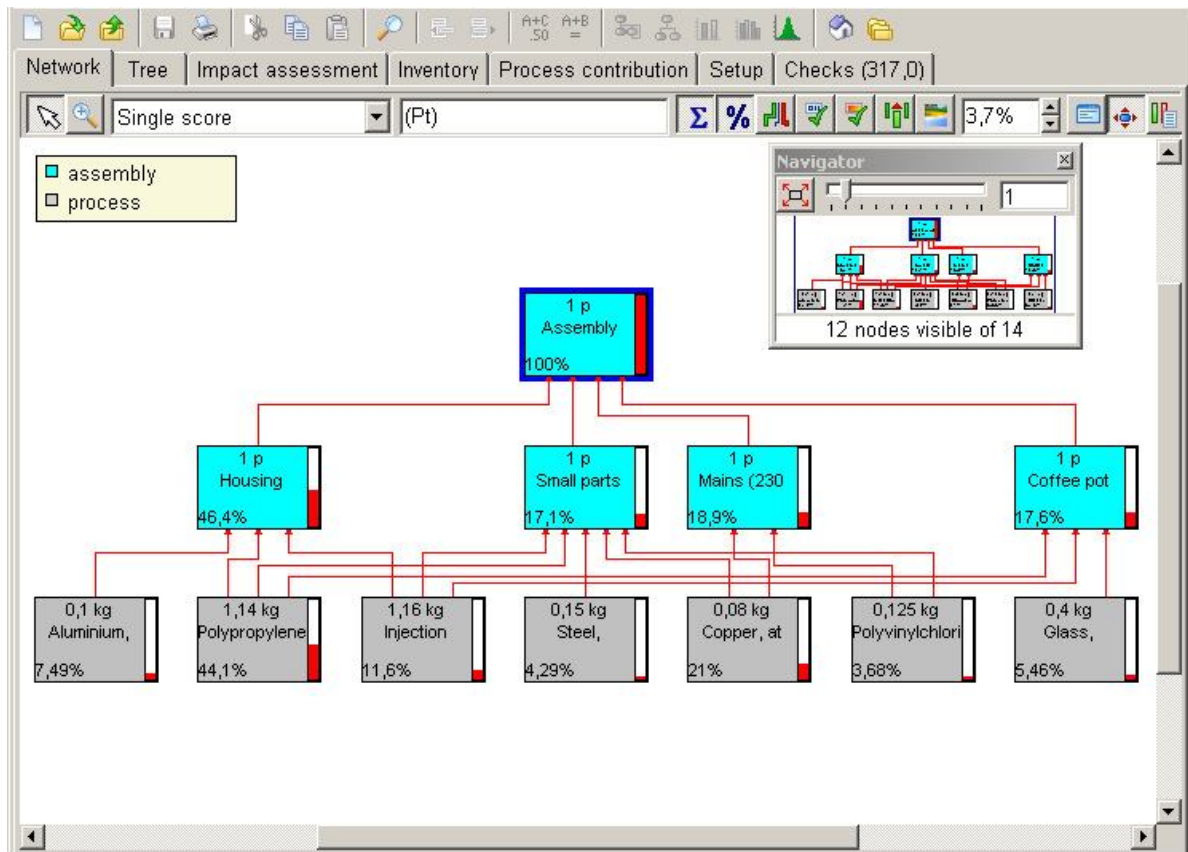
Το SimaPro παρουσιάζει τα δεδομένα με δύο απεικονιστικούς τρόπους:

1. Δέντρο διαδικασιών.
2. Δίκτυο απεικόνισης.

Η ουσιαστική διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι το δέντρο διαδικασιών δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν υπάρχουν δεδομένα που επαναλαμβάνονται (looped data) και συνεισφέρουν σε περισσότερες από μία διαδικασίες. Αυτό γίνεται διότι το δέντρο διαδικασιών έχει την ιδιότητα να εμφανίζει όλες τις διαδικασίες με τις εκάστοτε εισροές τους, ακόμα και αν εμφανίζονται στον κύκλο ζωής περισσότερες από μία φορές, γεγονός που θα οδηγούσε σε άπειρο βρόχο. Το SimaPro αναγνωρίζει αν υπάρχουν επαναληπτικά σύνολα δεδομένων από τις βιβλιοθήκες και αυτόματα μετατρέπει το δέντρο διαδικασιών σε δίκτυο. Είναι στην ευχέρεια του χρήστη να επιλέξει με ποιον τρόπο θα απεικονίσει τα αποτελέσματα.

Στη γραφική παράσταση του δέντρου ή δικτύου, κάθε κουτί αντιπροσωπεύει μια διαδικασία. Τα βέλη δείχνουν τις ροές ανάμεσα στις διαδικασίες, οι οποίες διαχωρίζονται σε εισροές και εκροές. Το πράσινο χρώμα τους δείχνει μία θετική περιβαλλοντική συνεισφορά, σε αντίθεση με το κόκκινο χρώμα. Μία πλευρική κόκκινη μπάρα δείχνει τη σχετική συμβολή της κάθε διαδικασίας. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι μπορεί να φανεί επακριβώς ποιος είναι ο ρόλος της διαδικασίας στον κύκλο ζωής. Επίσης, το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα αποκλεισμού ενός αριθμού διεργασιών που συμμετέχουν στον κύκλο ζωής, αλλά η συνεισφορά τους στα περιβαλλοντικά φορτία είναι αμελητέα. Ο αποκλεισμός επιτυγχάνεται καθώς ο χρήστης ορίζει το ποσοστό της συνεισφοράς κάτω από το οποίο η συνεισφορά θα αγνοηθεί (cut-off). Τέλος, με την επιλογή δείκτη, ορίζεται ποιος δείκτης ή αποτέλεσμα της απογραφής του κύκλου ζωής αντιπροσωπεύεται από τις πλευρικές κόκκινες μπάρες σε κάθε διαδικασία. Στο Σχήμα 28 απεικονίζεται ένα χαρακτηριστικό δίκτυο απεικόνισης μιας συναρμολόγησης.





Σχήμα 28: Γραφική παράσταση δικτύου απεικόνισης.

## 6.12 Ερμηνεία αποτελεσμάτων στο SimaPro

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων αποτελεί το τελευταίο και περισσότερο ουσιαστικό στάδιο μιας AKZ και περιέχει στην πραγματικότητα μία σειρά από ελέγχους που είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθούν, έτσι ώστε τα συμπεράσματα που προκύπτουν να υποστηρίζονται πλήρως από τα δεδομένα και τις διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και από τις παραδοχές και υποθέσεις που έγιναν. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, οι διάφορες αβεβαιότητες που μπορούν να προκύψουν αφορούν κυρίως στα δεδομένα και στην ορθότητα του μοντέλου (Baumann 2004).

Το λογισμικό SimaPro προσφέρει τη δυνατότητα ελέγχου της αβεβαιότητας των δεδομένων μέσω της στατιστικής μεθόδου Ανάλυση Monte Carlo και υπολογισμό της στα αποτελέσματα της AKZ. Όσον αφορά στην αβεβαιότητα του μοντέλου, η οποία προκύπτει από την επιλογή της λειτουργικής μονάδας, τη βάση κατανομής αλλά και της συνεχόμενης τεχνολογικής ανάπτυξης, η λύση που προσφέρει το λογισμικό είναι η ανάλυση ευαισθησίας στο τέλος της AKZ, αλλά και κατά τη διάρκεια της. Η διεξαγωγή της ανάλυσης ευαισθησίας στηρίζεται σε αλλαγές των βασικών παραδοχών και υποθέσεων και σε επανυπολογισμό των δεδομένων. Ακόμη, η ανάλυση συνεισφοράς

μέσω της γραφικής απεικόνισης των αποτελεσμάτων ή του πίνακα απογραφής παίζει καθοριστικό ρόλο στην απόφαση για το ποιες διαδικασίες είναι πιο σημαντικές και συνεισφέρουν περισσότερο στα αποτελέσματα. Με αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης μπορεί να επιστήσει την προσοχή του σε πολύ λιγότερες διαδικασίες, σε σχέση με το πλήθος του συνόλου που εμφανίζονται (SimaPro UK, 2012).

## **7. Ανάλυση κύκλου ζωής επικαλυμμένων εργαλείων στο Simapro**

### **7.1 Ανάλυση Κύκλου Ζωής στο SimaPro: Βορίωση - Εναζώτωση**

Σύμφωνα με όσα αναλύθηκαν κατά την εισαγωγή αυτής της μελέτης, αλλά και από τις υπόλοιπες ενότητες του έργου, υπάρχει ανάγκη αξιολόγησης των δύο διαδικασιών παραγωγής επικαλύψεων που αναλύθηκαν, αναφορικά με τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Η μελέτη επικεντρώνεται στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούν οι επιφανειακές επικαλύψεις κραμάτων τιτανίου, με διεργασίες βορίωσης και εναζώτωσης, πάνω σε πλακίδια χάλυβα.

Ειδικότερα το πλακίδιο που θα να αναλυθεί έχει διαστάσεις 10 X 10 X 5 και βάρος 5,045 gr , οπού τα 5 gr είναι χάλυβας (υπόστρωμα) και τα 0,045 gr είναι τιτάνιο (επικάλυψη).

Τα συστατικά των δύο προϊόντων αναφέρονται λεπτομερώς στον επόμενο πίνακα.

### **7.2. Υπολογισμός AKZ για την Εναζώτωση**

#### **7.2.1 Product system - εναζώτωση σε λουτρά αλάτων.**

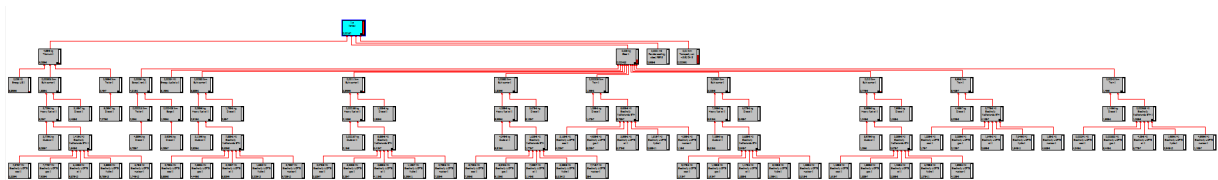
Αναπτύσσεται ένα νέο project και με την βοήθεια του LCA Wizard, ώστε να δημιουργηθεί ένα καινούργιο assembly για να περιγράψουμε την κατεργασία της εναζώτωσης, το οποίο συνδέεται με τον κύκλο ζωής και με τα ακόλουθα υλικά και διεργασίες που απαιτούνται

- ✓ Υλικά: Materials / Assemblies
- 1) Steel I                    5 gr
- 2) Titanium I                0.045 gr
- 3) N<sub>2</sub> (gas)                0.01 gr

✓ Διαδικασίες:

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1) Επικάλυψης: Selective coating: | 100 mm <sup>2</sup> (επιφάνεια πλακιδίου) |
| 2) Μεταφοράς: Train I             | 10 kgkm (5g * 2000 km)                    |

Λόγω του μεγάλου όγκου των πληροφοριών που ανακτώνται από τις βιβλιοθήκες του SimaPro σχετικά με τα υλικά και τις διεργασίες (βλ Σχήμα 29 για την βορίωση), αλλά κυρίως λόγω του βάθους των διαδικασιών που εμπεριέχουν οι βιβλιοθήκες (επί παραδείγματι, η παραγωγή του χάλυβα απαιτεί πρώτη ύλη, που απαιτεί εξόρυξη, που απαιτεί ενέργεια, που απαιτεί βωξίτη, αέριο, πετρέλαιο, για να εξορυχτεί, κοκ) σύμφωνα με τα πρότυπα υπολογισμού των επιπτώσεων και της ανάλυσης κύκλου ζωής, για τον λόγο αυτό τα δικτυακά διαγράμματα που εμφανίζονται παρακάτω παρουσιάζουν μόνο τα πρώτα επίπεδα επίδρασης.

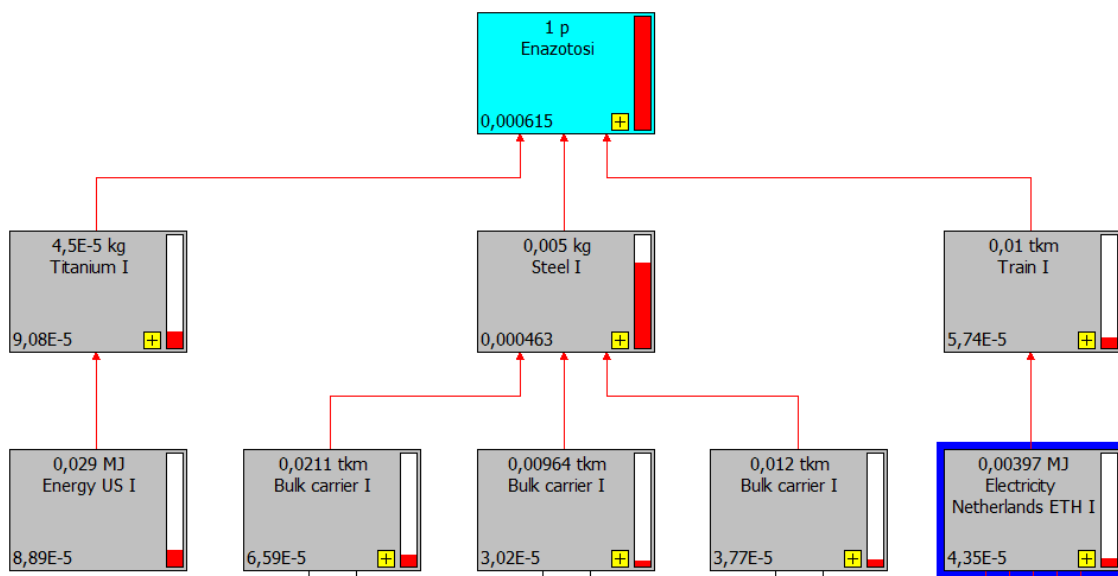


Σχήμα 29: Πλήρες δικτυακό διάγραμμα μοντέλου για την βορίωση.

### 7.2.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Το πρώτο χρήσιμο διάγραμμα (Σχήμα 30) που προσφέρει το SimaPro είναι ένα δέντρο με βάση το οποίο αναλύεται η βαρύτητα που έχει κάθε παράγοντας στο assembly ή στην ανάλυση κύκλου ζωής.

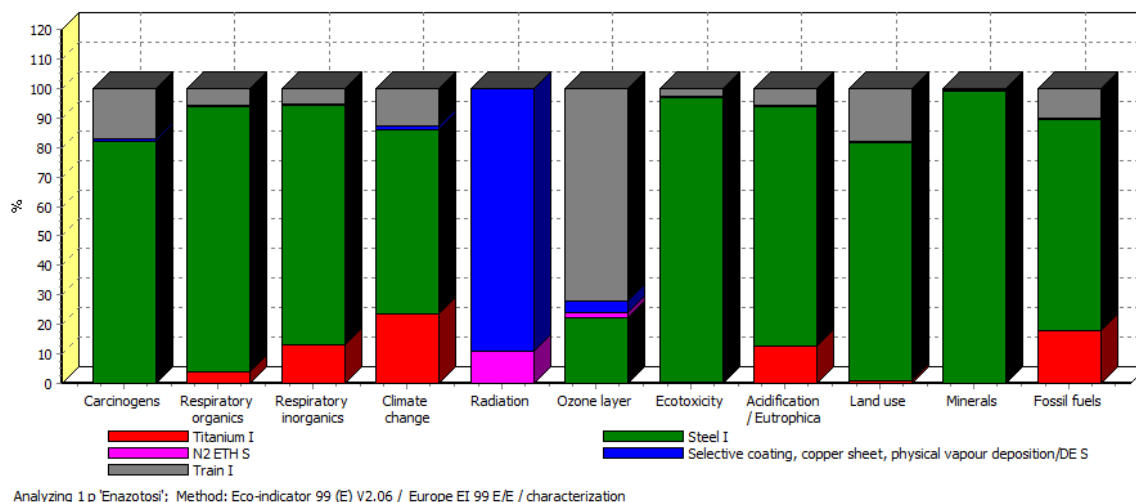
Κάθε παραλληλόγραμμο αντιπροσωπεύει μια διαδικασία. Τα βέλη παρουσιάζουν τις ροές μεταξύ των διεργασιών. Τα κόκκινα ραβδογράμματα (ή θερμόμετρα) υποδηλώνουν το περιβαλλοντικό φορτίο που παράγεται σε κάθε διαδικασία και σε προηγούμενες διεργασίες της. Αυτό είναι χρήσιμο χαρακτηριστικό και μας επιτρέπει να διακρίνουμε μεταξύ των σημαντικών και λιγότερο σημαντικών διεργασιών (identify hotspots).



Σχήμα 30: Δικτυακό διάγραμμα μοντέλου LCA για την εναζώτωση.

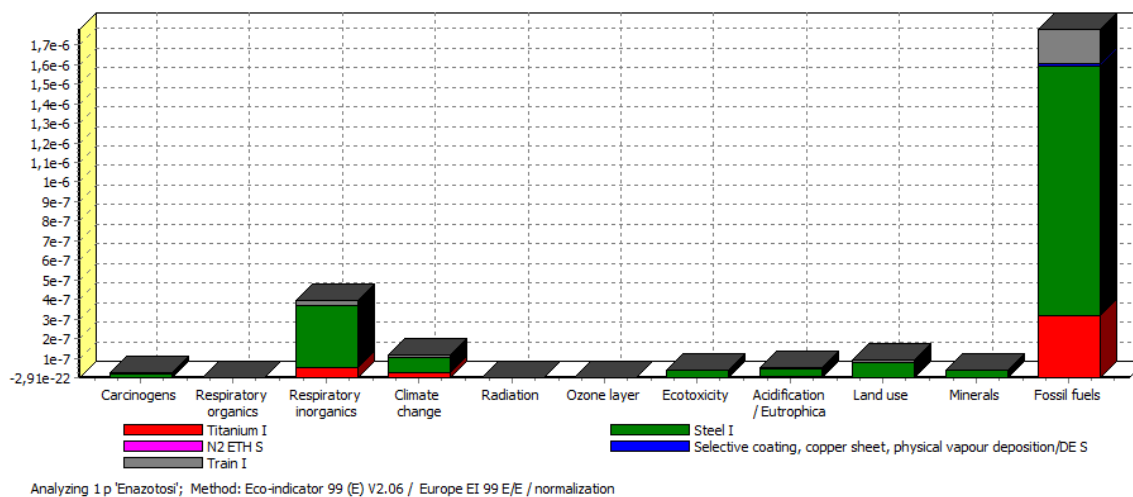
Το επόμενο βήμα είναι να προσδιορίσουμε την ταυτότητα και να εκτιμήσουμε το μέγεθος και την σπουδαιότητα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα γραφικά. Σε κάθε περίπτωση η ανάλυση διεξάγεται βάσει προτύπων και στην παρούσα μελέτη εφαρμόζεται το πρότυπο "Europe EI 99 E/E".

Κατά το στάδιο χαρακτηρισμού (Σχήμα 31 - characterization) οι ποσότητες των εκπομπών κάθε κατηγορίας πολλαπλασιάζονται με τους αντίστοιχους συντελεστές χαρακτηρισμού (που καθορίζονται από το μοντέλο χαρακτηρισμού), ώστε να αναχθούν σε ισοδύναμες ποσότητες της ένωσης που αντιστοιχεί στον δείκτη της επίπτωσης. Ως αποτέλεσμα προκύπτει η ποσοστιαία συμμετοχή υλικών και διεργασιών στις επιπτώσεις επί του περιβάλλοντος και των οργανισμών. Γίνεται εμφανές ότι αναφορικά με τα υλικά ο χάλυβας έχει πολύ μεγάλη βαρύτητα στις προκύπτουσες επιπτώσεις επί του περιβάλλοντος σε σχέση με το τιτάνιο. Επίσης φαίνεται καθαρά η υψηλή ποσοστιαία συμμετοχή της διαδικασίας μεταφοράς, ακόμη και σε σχέση με τα ίδια τα υλικά.



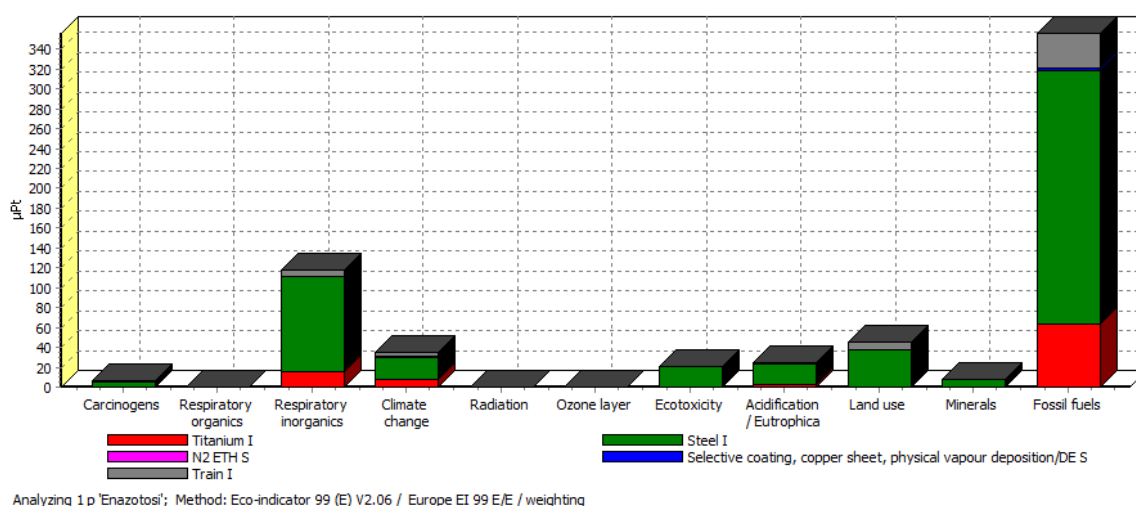
Σχήμα 31: Εκτίμηση ποσοστιαίας επίπτωσης / παράγοντα.

Η κανονικοποίηση (Σχήμα 32 - Normalization) χρησιμοποιείται ως υπολογισμός της σημασίας των αποτελεσμάτων των δεικτών ως προς μια πληροφορία αναφοράς, η οποία μπορεί να σχετίζεται με κάποια κοινωνικά στοιχεία, ένα άτομο ή κάποιο άλλο σύστημα, όπως η ικανοποίηση συνθηκών συμφωνημένου στόχου, βάσει πάντα του εφαρμοζόμενου προτύπου. Ο κύριος σκοπός της κανονικοποίησης των αποτελεσμάτων των δεικτών είναι να γίνει κατανοητή η σημασία και το μέγεθος των αποτελεσμάτων για κάθε σύστημα προϊόντος που εξετάζεται και όχι ως ποσοστό συμμετοχής που παρουσιάσθηκε στο Σχήμα 31.



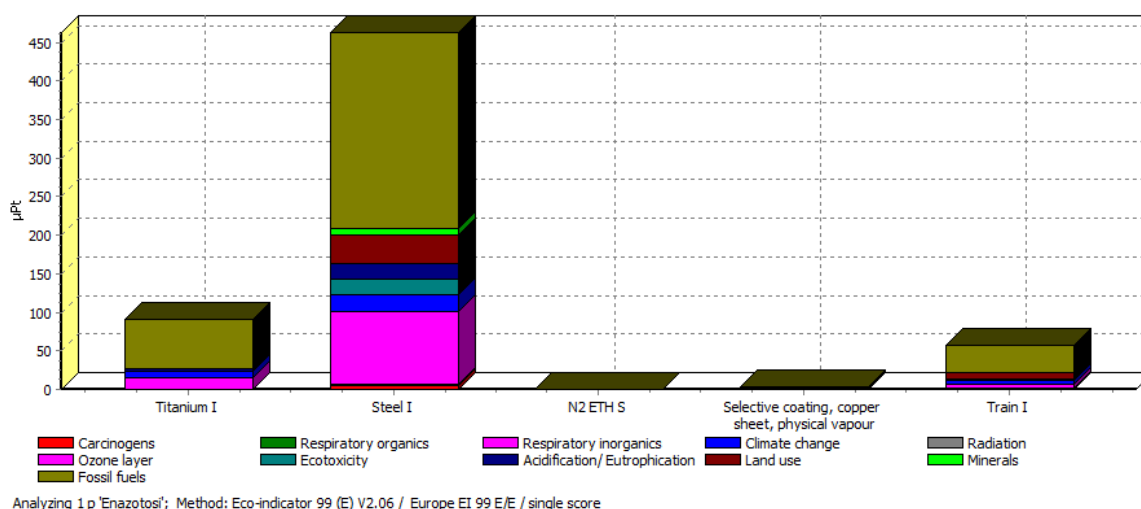
Σχήμα 32: Εκτίμηση κανονικοποιημένης επίπτωσης / παράγοντα.

Η στάθμιση (weighting) αναφέρετε στην χρήση αριθμητικών συντελεστών που βασίζονται σε αξιακές επιλογές, βάσει εφαρμοζόμενου προτύπου. Η στάθμιση εξυπηρετεί την σύγκριση ανάμεσα στις διάφορες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Είναι το στάδιο όπου τα αποτελέσματα των δεικτών κατηγορίας επιπτώσεων πολλαπλασιάζονται με τους παράγοντες στάθμης και προστίθενται για να διαμορφώσουν ένα συνολικό αποτέλεσμα.



Σχήμα 33: Εκτίμηση αξιακής επίπτωσης / παράγοντα.

Στην στάθμιση ανά παράγοντα, τα αποτελέσματα των δεικτών κατηγορίας επιπτώσεων πολλαπλασιάζονται με τους παράγοντες στάθμισης και προστίθενται για να διαμορφώσουν ένα συνολικό αποτέλεσμα για κάθε παράγοντα που επιδρά, είτε είναι υλικό είτε διαδικασία. Εξυπηρετεί τη σύγκριση ανά εμπλεκόμενο παράγοντα, σε διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων.



Σχήμα 34: Εκτίμηση ποσοτικών επιπτώσεων ανά παράγοντα.

Στα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 31 - Σχήμα 34) γίνεται εμφανές ότι κατά τη διαδικασία της εναζώτωσης ο παράγοντας που ουσιαστικά δημιουργεί επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι το υλικό του χάλυβα που αποτελεί το υπόστρωμα και το κύριο στοιχείο ανά μονάδα προϊόντος. Οι επιπτώσεις της επικάλυψης τιτανίου είναι σαφώς μικρότερες, αλλά όχι μηδαμινές αν και η αναλογία βάρους στο τελικό προϊόν είναι περίπου το 1/100. Αυτό οφείλεται στην φύση του τιτανίου ως υλικό (μεγάλη σκληρότητα και αντοχή σε φθορά) γεγονός που οδηγεί στην απαίτηση διαδικασιών επεξεργασίας του, άρα και στην παραγωγή αποτυπώματος προς το περιβάλλον. Σημαντική επίσης είναι η επίδραση του μεταφορικού μέσου για την διανομή των προϊόντων, αν και το τρένο (Train I) σε σχέση με πολλά άλλα μέσα μεταφοράς αποδείχθηκε μικρής επίπτωσης προς το περιβάλλον.

### 7.3. Υπολογισμός ΑΚΖ για την Βορίωση

#### 7.3.1 Product system - Βορίωση σε ρευστοποιημένη κλίνη

Αναπτύσσεται νέο project με την βοήθεια του LCA Wizard, ώστε να δημιουργηθεί ένα καινούργιο assembly για να περιγράψουμε την κατεργασία της βορίωσης, το οποίο συνδέεται με τον κύκλο ζωής και με τα ακόλουθα υλικά και διεργασίες που απαιτούνται:

✓ Υλικά: Materials / Assemblies

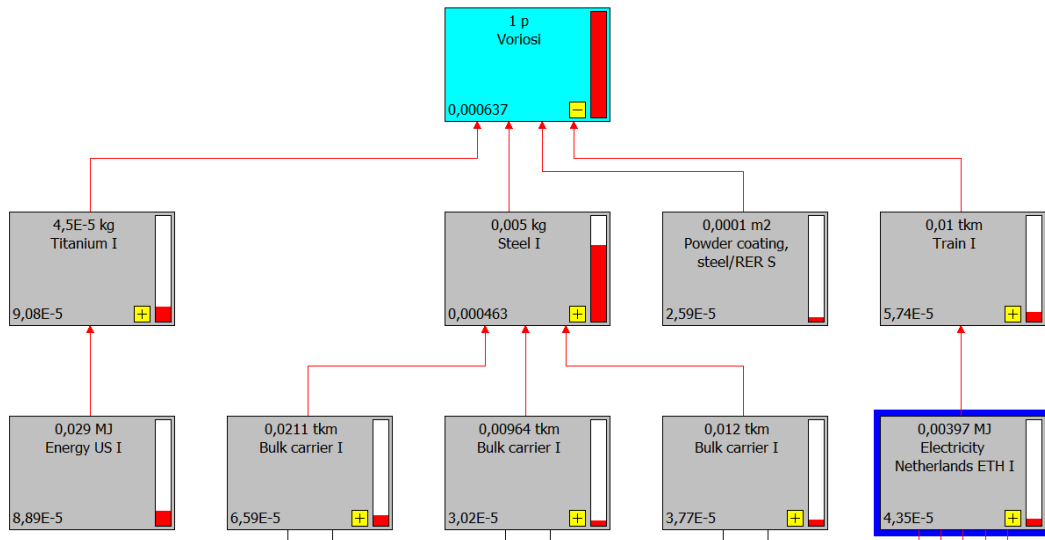
- |               |          |
|---------------|----------|
| 1) Steel I    | 5 gr     |
| 2) Titanium I | 0.045 gr |

✓ Διαδικασίες:

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| 1) Επικάλυψης: Powder coating: | 100 mm <sup>2</sup> (επιφάνεια πλακιδίου) |
| 2) Μεταφοράς: Train I          | 10 kgkm (5g * 2000 km)                    |

#### 7.3.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Ανάλογα με την εναζώτωση που προηγήθηκε, το δικτυακό διάγραμμα της διαδικασίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 35, με βάση το οποίο αναλύεται η βαρύτητα που έχει κάθε παράγοντας στο assembly.



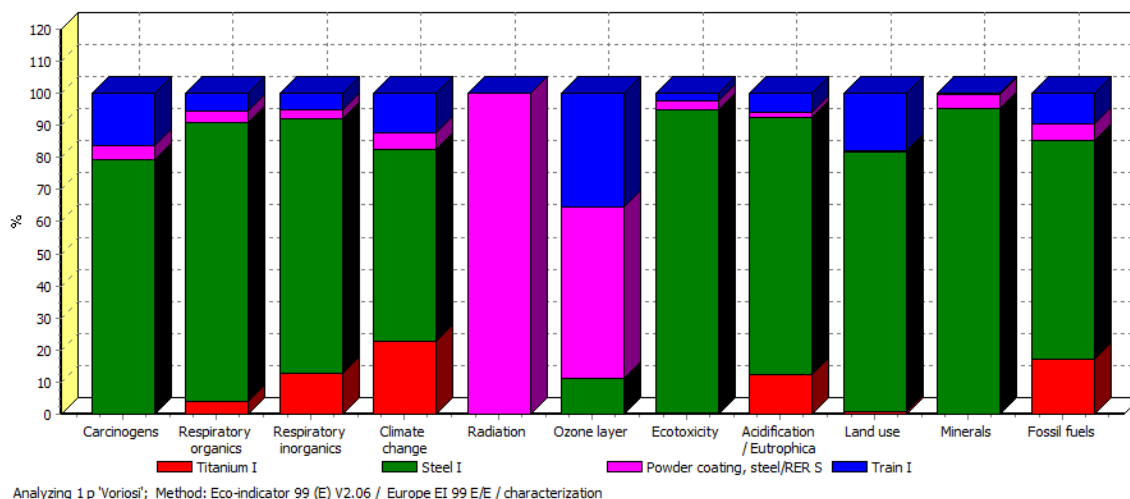
Σχήμα 35: Δικτυακό διάγραμμα μοντέλου LCA για την βορίωση.

Το επόμενο βήμα είναι να προσδιορίσουμε την ταυτότητα και να εκτιμήσουμε το μέγεθος και την σπουδαιότητα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα γραφικά. Επισημαίνεται ότι η ανάλυση διεξάγεται βάσει προτύπων και στην παρούσα μελέτη εφαρμόζεται το πρότυπο "Europe EI 99 E/E".

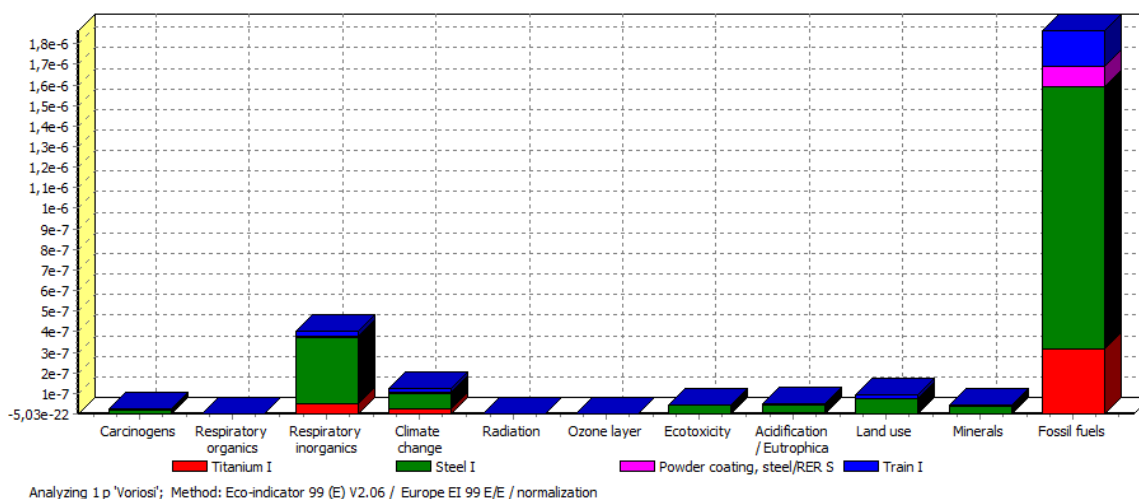
Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 36 - Σχήμα 39) γίνεται εμφανές ότι και κατά τη διαδικασία της βορίωσης ο παράγοντας που ουσιαστικά δημιουργεί επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι ο χάλυβας. Οι επιπτώσεις της επικάλυψης τιτανίου είναι σαφώς μικρότερες, αλλά όχι μηδαμινές. Σημαντική επίσης είναι η επίδραση του μεταφορικού μέσου (Train I) για την διανομή των προϊόντων.

Υπάρχει μια μικρή διαφοροποίηση στην επίδραση στο περιβάλλον και ιδιαίτερα στα καυσαέρια που προκύπτουν προς το περιβάλλον λόγω της χρήσης πούδρας (powder) για την διαδικασία της βορίωση σε ρευστοποιημένη κλίνη, όπου η πούδρα τιτανίου εναποτίθεται επί του προετοιμασμένου χάλυβα. Το γεγονός αυτό εντοπίζεται τόσο μέσω του διαγράμματος ποσοστιαίας επίπτωσης ανά παράγοντα (Σχήμα 36) όσο και μέσω των διαγραμμάτων κανονικοποιημένης και αξιακής επίπτωσης ανά παράγοντα (Σχήμα 37 και Σχήμα 38).

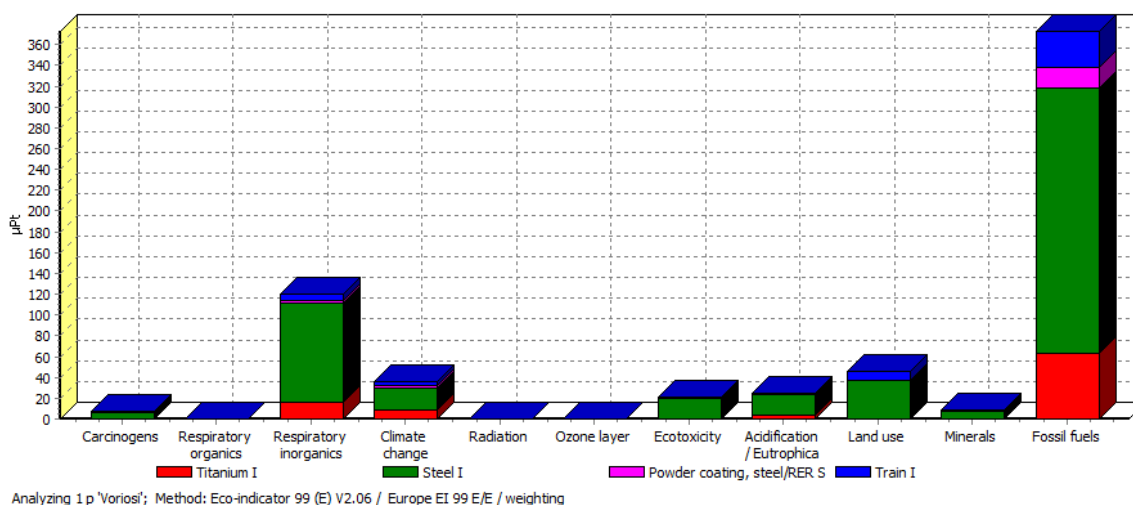




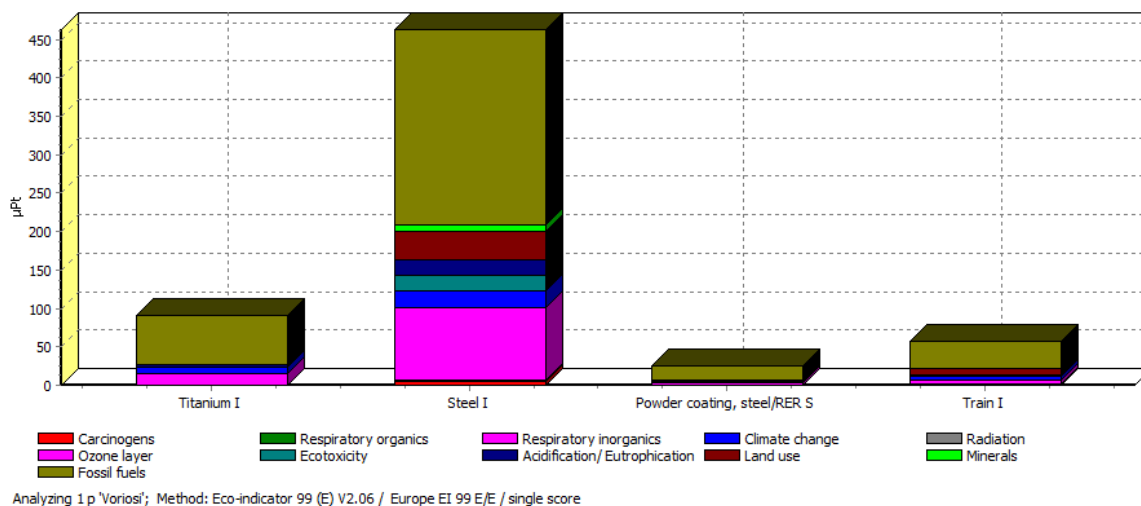
Σχήμα 36: Εκτίμηση ποσοστιαίας επίπτωσης / παράγοντα.



Σχήμα 37: Εκτίμηση κανονικοποιημένης επίπτωσης / παράγοντα.



Σχήμα 38: Εκτίμηση αξιακής επίπτωσης / παράγοντα.



Σχήμα 39: Εκτίμηση ποσοτικών επιπτώσεων ανά παράγοντα.

## 8. Συμπεράσματα

### 8.1 Συμπεράσματα βορίωσης

Σύμφωνα με το Σχήμα 38 που εξετάζει τις ποσοστιαίες επιπτώσεις ανά παράγοντα αντιλαμβανόμαστε ότι πάλι ο χάλυβας κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος σε σύγκριση με τους άλλους παράγοντες που χρησιμοποιήσαμε. Οι επιπτώσεις της επικάλυψης τιτανίου είναι σαφώς μικρότερες, αλλά όχι αμελητέες. Το μεταφορικό μέσο επηρεάζει το περιβάλλον εξαιτίας της κατανάλωσης των καυσίμων που χρησιμοποιεί κατά την διάρκεια της μεταφοράς, με ποσοστό που δεν διαφοροποιείται ουσιαστικά ως προς την μέθοδο εναζώτωσης.

Για την διαδικασία της βορίωση σε ρευστοποιημένη κλίση χρησιμοποιείται ένα μεγάλο ποσοστό καυσίμων, εξαιτίας της μεγάλης απαίτησης σε θερμότητα που χρειαζόμαστε για την ολοκλήρωση της διαδικασίας με αυτό να έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη ποσοστιαία αύξηση των καυσαερίων.

### 8.2 Συμπεράσματα εναζώτωσης

Η εφαρμογή της μεθόδου της ανάλυσης κύκλου ζωής για την ανάδειξη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλεί η επιφανειακή επικάλυψη κραμάτων τιτανίου επί υποστρώματος χάλυβα με την διεργασία της εναζώτωσης έδειξε ότι το υλικό το οποίο έχει το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος είναι ο χάλυβας. Πιο συγκεκριμένα ο χάλυβας ανά παραγόμενο τεμάχιο επηρεάζει την κλιματική αλλαγή σε ποσοστό 40% σε σύγκριση με το τιτάνιο το οποίο επηρεάζει

λιγότερο από 20%. Ένα ακόμα παράδειγμα αποτελεί η επίδραση του χάλυβα στους ανθρώπους καθώς προκαλεί σε ποσοστό 80% επί του παραγόμενου προϊόντος καρκινογενέσεις, σε αντίθεση με την διεργασία της επικάλυψης που καταλαμβάνει μονό 5%.

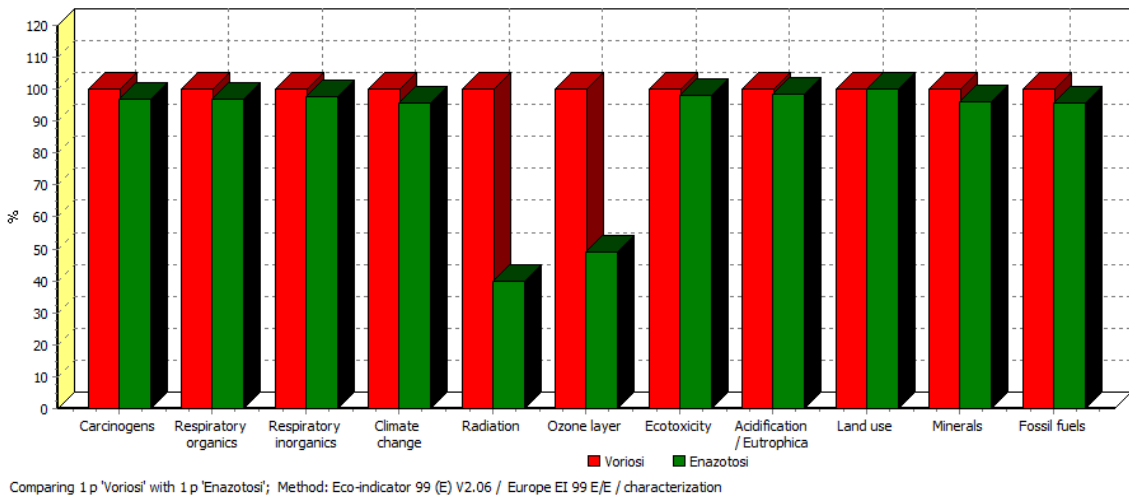
Η επιφανειακή επικάλυψη που χρησιμοποιήθηκε συνεισφέρει και αυτή μερίδιο στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος, με σημαντικότερο ποσοστό συμμετοχής να εμφανίζεται στην εκπεμπόμενη ακτινοβολία, με ποσοστό της τάξεως του 90%.

### **8.3 Σύγκριση μεθόδων επικάλυψης**

Λόγω των μικρών αποκλίσεων στα ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα που προκύπτουν, κατά την μελέτη των επιπτώσεων στο περιβάλλον, μεταξύ των μεθόδων παραγωγής επικαλύψεων που μελετώνται, κρίνεται απαραίτητη η διεξαγωγή συγκριτικής ανάλυσης τους.

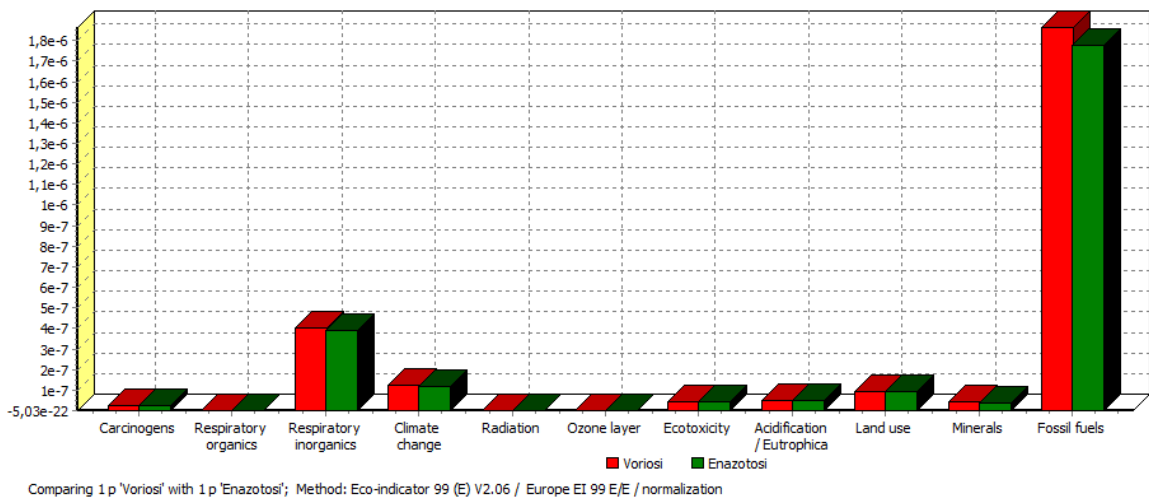
Έτσι διεξάγεται ανάλυση η οποία συγκρίνει τις δύο μεθόδους μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας τους ίδιους δείκτες αξιολόγησης που μελετήθηκαν και στις μεμονωμένες αναλύσεις, ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους. Η συγκριτική ανάλυση διεξάγεται βάσει του προτύπου "Eco-indicator 99, Europe EI 99 E/E".

Αρχικά διεξάγεται η σύγκριση των επιπτώσεων στο περιβάλλον ανά μέθοδο, σε ποσοστιαία βάση (Σχήμα 40). Σε όλους τους δείκτες η μέθοδος της εναζώτωσης εμφανίζει ένα μικρό πλεονέκτημα σε σχέση με τη βορίωση, ενώ στους δείκτες της παραγόμενης ακτινοβολίας και της καταστροφής του όζοντος η μέθοδος της εναζώτωσης εμφανίζει ουσιαστικό πλεονέκτημα με τιμές που κυμαίνονται περίπου στο ήμισυ.



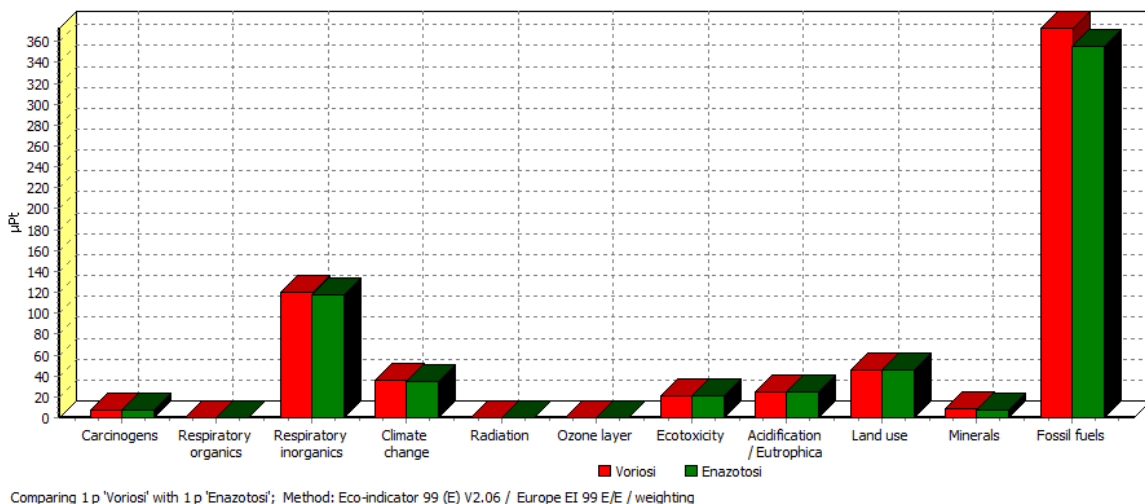
Σχήμα 40: Σύγκριση ποσοστιαίας επίπτωσης / μέθοδο.

Ανάλογα επί του διαγράμματος των κανονικοποιημένων αποτελεσμάτων (Σχήμα 41) οι δύο μέθοδοι αξιολογούνται ως ίσης επιβάρυνσης επί του περιβάλλοντος, με την εναζώτωση να εμφανίζει ένα μικρό πλεονέκτημα, στον ισχυρότερο όμως παράγοντα επιβάρυνσης που είναι με διαφορά τα ορυκτά καύσιμα.



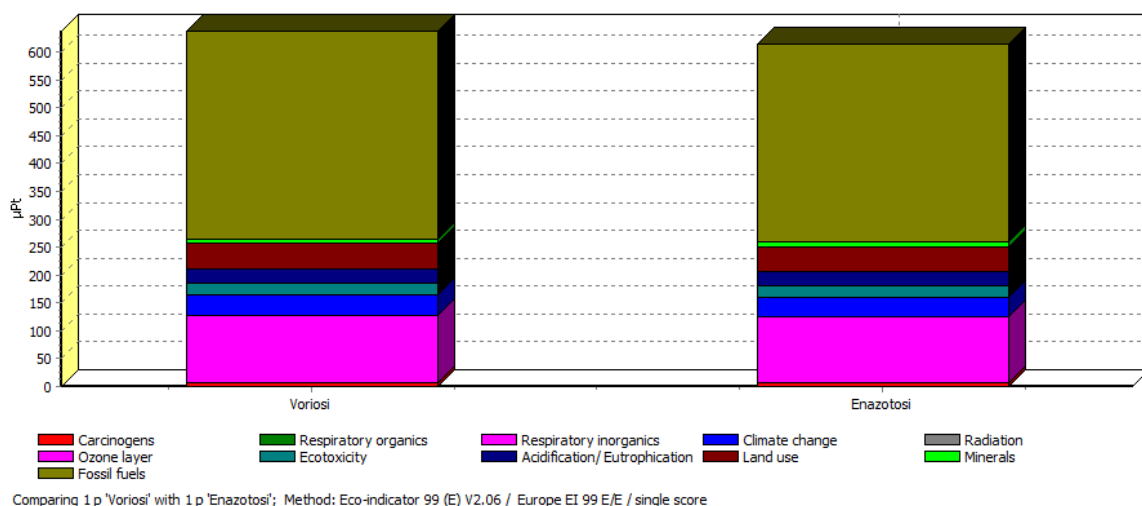
Σχήμα 41: Σύγκριση κανονικοποιημένης επίπτωσης / μέθοδο.

Ανάλογα επί του διαγράμματος των αποτελεσμάτων βάσει αξιακής βαρύτητας (Σχήμα 42) οι δύο μέθοδοι αξιολογούνται επίσης ως ίσης επιβάρυνσης, με την εναζώτωση να εμφανίζει ένα μικρό πλεονέκτημα στον παράγοντα των ορυκτών καυσίμων.



Σχήμα 42: Σύγκριση αξιακής επίπτωσης / μέθοδο.

Στο Σχήμα 43 που παρουσιάζονται τα ποσοτικά αποτελέσματα επιπτώσεων ανά μέθοδο, η σύγκριση οδηγεί σε ανάλογα συμπεράσματα με τα προηγούμενα διαγράμματα, όπου οι δύο μέθοδοι θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι επιφέρουν την ίδια επιβάρυνση στο περιβάλλον, με ένα μικρό πλεονέκτημα της μεθόδου της εναζώτωσης. Αυτό το πλεονέκτημα οφείλεται κυρίως στα λιγότερα παραγόμενα καυσαέρια από ορυκτά καύσιμα που απαιτούνται για την μέθοδο της εναζώτωσης.



Σχήμα 43: Σύγκριση ποσοτικών επιπτώσεων ανά μέθοδο.

## 9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γιάννης Δ. Χρυσουλάκης, Δημήτρης Ι. Παντελή, Επιστήμη και τεχνολογία των μεταλλικών υλικών, (2008)
2. Αργύρης Σ. Βατάλης, Επιστήμη και τεχνολογία υλικών, (2009)
3. Winfried Gräfen, Bernd Edenhofer, Surface and coatings technology, vol. 200, pp.1830-1836, (2005)
4. Terrie K.Boguski, Robert G.Hunt, James M. Cholakis, Ph.D, and William E. Franklin, "LCA Methodology".
5. ISO 14040, Environmental management-Life-cycle assessment, Principles and framework.
6. ISO/EN 14041: Environmental management – life cycle assessment- goal and scope definition and Inventory analysis, (1998).
7. Μακρίδης Α., Διπλωματική εργασία, «Περιβαλλοντική αξιολόγηση στην παραγωγική διαδικασία του πετροβάμβακα με χρήση AKZ», Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος, 2004.
8. Tan R., Culaba B.A., Environmental Life-Cycle Assessment: A tool for Public and Corporate Policy Development, De La Salle University, (2004)
9. Udo de Haes et al., The conceptual structure of life-cycle impact assessment, Pensacola, FL, USA: SETAC Press, (2002).
10. Mark Goedkoop, Michiel Oele, Jorrit Leijting, Tommie Ponsioen, Ellen Meijer, Introduction to LCA with SimaPro, (2013).
11. K. G. Anthymidis, D. N. Tsipas, E. Stergioudis, «Boriding of titanium alloys in a fluidized bed reactor», Journal of materials science letters 20, (2001), 2067 – 2069.
12. Frank Czerwinski, Chapter 5 Thermochemical Treatment of Metals, September 26, (2012).
13. Ν. Μουσιόπουλος, Α. Μπούρα, Ανάλυση κύκλου ζωής, Β΄ Έκδοση Θεσσαλονίκη (1999).
14. Δήμος Παπάγου-Χολαργού, Μελέτη Ανάλυσης Κύκλου Ζωής του Συστήματος Οικιακής Ξήρανσης Οργανικών Απορριμμάτων.
15. Πέτρου Αργύρης, διπλωματική εργασία, η ανάλυση κύκλου ζωής ως εργαλείο εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων τουριστικής δραστηριότητας : επισκόπηση

εξελίξεων και μελέτη περίπτωσης καταλυμάτων μικρού μεγέθους, Θεσσαλονίκη Ιούλιος 2014 .

16. Σταυρός Αυγερινόπουλος, Διπλωματική εργασία, Ανάλυση κύκλου ζωής και περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις κτιριακές κατασκευές, Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2008.
17. Ζώσης Γεώργιος , διπλωματική εργασία, θεώρηση του κύκλου ζωής για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων στην περίπτωση οικοδομικών υλικών και έργων, Αθήνα, Μάρτιος 2012.
18. Δημήτρης Α. Γεωργακέλλου, διδακτορική διατριβή, Ανάλυση του κύκλου ζωής διαφόρων συσκευασιών στην Ελλάδα και η επίπτωση αυτού στην ποιότητα του περιβάλλοντος, Πειραιάς 1997.

## Σύντομο Βιογραφικό Σημείωμα

Προσωπικά στοιχεία:	ΣΩΤΗΡΙΑ ΚΥΡΙΑΖΙΔΟΥ
Βασική εκπαίδευση:	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΕΝΙΑΙΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ
Σπουδές:	ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΤΕΙ ΣΕΡΡΩΝ
Επαγγελματική δραστηριότητα:	Επίβλεψη και συντήρηση του δημοτικού κολυμβητηρίου Συκεών- Παύλου Μελά





**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ**  
**ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ &**  
**ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**  
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ**  
**ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**Διευθυντής: Καθηγητής Dr.-Ing. Κ. Δαυίδ**  
**ΤΕΡΜΑ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ, 62124, ΣΕΡΡΕΣ**  
**Τηλ. +30 23210 49157**