



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ - ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε. – Π.Μ.Σ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ  
ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2019

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ  
ΒΑΣΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ  
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥΣ



Εκπόνηση: ΜΠΑΡΚΑΓΙΑΝΝΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

Επίβλεψη: Δρ. ΜΑΡΙΑ ΠΑΡΑΛΙΚΑ

ΑΘΗΝΑ

## Περιεχόμενα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ – ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	3
Εισαγωγή .....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	7
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ .....	7
1.1 Βασικά χαρακτηριστικά εκτίμησης του κύκλου ζωής .....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	12
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΥΛΙΚΑ .....	12
2.1 Κύκλος ζωής μεταλλικών υλικών.....	13
2.2 Αξιολόγηση των μετάλλων και των επιδράσεων τους στο περιβάλλον .....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	22
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ .....	22
3.1. Εκτίμηση του κύκλου ζωής για πολυμερή υλικά .....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	32
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΝΑΝΟΥΛΙΚΑ.....	32
4.1 Ο ρόλος της εκτίμησης του κύκλου ζωής στη νανοτεχνολογία .....	33
4.2 Εκτίμηση κύκλου ζωής των νανοϋλικών.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	47
ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	47
5.1 Ανάλυση κύκλου ζωής του σκυροδέματος.....	48
5.2 Ανάλυση του κύκλου ζωής του χάλυβα .....	51
5.3 Ανάλυση του κύκλου ζωής του ξύλου.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	53
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	53

Βιβλιογραφία ..... 55

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ – ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Πίνακας 1.1: Σύγκριση LCA και Consequential LCA (Brander 2008).....	10
Σχήμα 2.1: Η ανάλυση της ροής του υλικού για το νικέλιο στην Κίνα το 2005 (Reck and Rotter, 2012). .....	15
Σχήμα 2.2: Διάγραμμα παραγωγής των ορυκτών και μετάλλων που αναλύονται από τους Nuss and Eckelman, (2014). .....	16
Σχήμα 2.3: Σχετικές περιβαλλοντικές επιδράσεις ανά στάδιο του κύκλου ζωής όπως προσδιορίστηκαν από τους Nuss και Eckelmann (2014) .....	18
Σχήμα 2.4: Παγκόσμιες απώλειες διοξειδίου του άνθρακα και ενεργειακή ζήτηση ανά μέταλλο όπως προσδιορίστηκαν από τους Nuss και Eckelman, (2014).....	18
Σχήμα 2.5: Η μεθοδολογία της κρισιμότητας σε εθνικό επίπεδο από τους Graedel I (2012). .....	211
Σχήμα 3.1: Τα βασικά σενάρια για την εκτίμηση του κύκλου ζωής των πλαστικών αποβλήτων από τους Penugini 2005. ....	26
Σχήμα 3.2: Η συνεισφορά των υποστοιχείων στο περιβαλλοντικό προφίλ του υπάρχοντος πλαισίου όπως προσδιορίστηκε από τους Munoz (2006). ....	27
Σχήμα 3.3: Αποτελέσματα εκτίμησης του κύκλου ζωής για κάθε ένα από τα πολυμερή που μελετήθηκαν από τους Tabonne (2010).....	28
Σχήμα 3.4: Παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου από την παραγωγή PLLA και άλλων πολυμερών (Groot and Boren 2010). ....	29
Σχήμα 3.5: Εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του PLA και του TPS συγκριτικά με τα συνηθέστερα κοινά πολυμερή (Hottle 2013). ....	31
Σχήμα 4.1: Πιθανοί τρόποι έκθεσης του περιβάλλοντος σε νανοσωματίδια (The Royal Society, 2004). ....	34
Σχήμα 4.2: Η μεταβολή των επιδράσεων του κύκλου ζωής από τη μείωση του λευκόχρυσου στους καταλύτες αυτοκινήτων όπως προσδιορίστηκε από τους Lloyd (2005).....	36
Σχήμα 4.3: Τα όρια του συστήματος για την εκτίμηση του κύκλου ζωής νανοϊνών άνθρακα όπως προσδιορίστηκαν από τους Khalla (2008).....	38
Σχήμα 4.4: Αποτελέσματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων νανοϊνών άνθρακα συγκριτικά με άλλα υλικά. ....	38

Σχήμα 4.5: Ανάλυση της εκτίμησης του κύκλου ζωής για διάφορα θερμοπλαστικά συγκριτικά με το χάλυβα (Khanna 2008). .....	39
Σχήμα 4.6: Γραφική απεικόνιση του κύκλου ζωής των νανοσύνθετων υλικών πολυπροπυλενίου (Roes 2007). .....	41
Σχήμα 4.7: Αποτελέσματα της περιβαλλοντικής βελτίωσης των α)φιλμ συσκευασίας, β) των αγροτικών δραστηριοτήτων γ) των πλαισίων αυτοκινήτων (Roes 2007).....	41
Σχήμα 4.8: Σύγκριση της επίδρασης για ζευγάρια καλτσών και καλτσών που περιέχουν νανοσωματίδια αργύρου όπως προσδιορίστηκαν από τους Meyer (2010). .....	433
Σχήμα 4.9: Όρια συστήματος κύκλου ζωής για την Παρασκευή των νανοσωματιδίων διοξειδίου του τιτανίου που χρησιμοποιήθηκε από τους Grubb and Bakshi, (2012)....	434
Σχήμα 4.10: Εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων στην παραγωγή διοξειδίου του τιτανίου (Grubb and Bakshi 2012). .....	44
Σχήμα 4.11: Σύγκριση των απαιτήσεων ενέργειας για διάφορα υλικά (Gross and Baskhi 2012) .....	455
Σχήμα 4.12: Αποτελέσματα περιβαλλοντικών επιδράσεων για το γυαλί και το διοξείδιο του τιτανίου όπως προσδιορίστηκαν από τους Babaizadeh και Hassan (2013).....	466
Σχήμα 5.1: Τα όρια της ανάλυσης του κύκλου ζωής του σκυροδέματος όπως προσδιορίστηκαν από τους Gursel (2014). .....	500

## Εισαγωγή

Τα υλικά είναι το κύριο υλικό δημιουργίας αντικειμένων και στοιχείων με αποτέλεσμα να είναι συνυφασμένα με όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα υλικά αποτελούν το βασικό συστατικό όλων των αντικειμένων και για αυτό θεωρούνται ως κύριο κομμάτι όλων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Στη μηχανική εντοπίζονται εκατοντάδες είδη υλικών που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε ποικίλες εφαρμογές και τα οποία ανάλογα με το δεσμό των ατόμων στο μόριο τους διακρίνονται σε μεταλλικά, πολυμερή και κεραμικά υλικά. Επιπλέον ο συνδυασμός αυτών των πρωτογενών υλικών οδηγεί στη δημιουργία των σύνθετων υλικών.

Τις τελευταίες δεκαετίες η νανοτεχνολογία αποτελεί μια αναπτυσσόμενη τεχνολογία η οποία σχεδιάζει και κατασκευάζει πλήθος δομών σε μικροκλίμακες της τάξης των 100nm ή μικρότερες.

Στην παρούσα εργασία θα αναφερθούν οι βασικές κατηγορίες των υλικών αυτών, θα παρουσιαστούν οι βασικές τους ιδιότητες και ο κύκλος ζωής τους καθώς και οι περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις και αξιοποίηση τους.

Στο κεφάλαιο 1 θα αναφερθούν γενικά στοιχεία για τον κύκλο ζωής υλικών, όπως ορίζονται από τα πρότυπα ISO και θα αναφερθούν οι βασικές παράμετροι εκτίμησης του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στην κατηγορία των μεταλλικών υλικών, που η χρήση τους αυξάνεται στο πέρασμα του χρόνου, εστιάζοντας στις μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής τους και τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτά.

Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας θα γίνει αναφορά στα πολυμερή υλικά που είναι ευρέως γνωστά ως πλαστικά και χρησιμοποιούνται ως ακατέργαστα υλικά αλλά αποτελούν και πολύ συνηθισμένα απόβλητα. Ο κύκλος ζωής τους και οι περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις θα αποτελέσουν το βασικό αντικείμενο της εργασίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα νανοϋλικά και όπως και για τις υπόλοιπες κατηγορίες υλικών θα παρουσιαστεί η διάρκεια του κύκλου ζωής τους, οι εφαρμογές και η δυνατότητα περιβαλλοντικής τους αξιοποίηση και τα αποτελέσματα τους.

Στο κεφάλαιο 5 θα αναφερθούμε σχετικά με την ανάλυση του κύκλου ζωής των δομικών υλικών, τα οποία όχι μόνο απαιτούν ενέργεια αλλά παράλληλα παράγουν και απόβλητα. Βασικά δομικά υλικά όπως το σκυρόδεμα, ο χάλυβας και το ξύλο.

Τα βασικότερα συμπεράσματα της εργασίας θα παρουσιαστούν στο κεφάλαιο 6.

Η συγκεκριμένη εργασία είναι καθαρά βιβλιογραφική και στηρίζεται στις διεθνείς βάσεις επιστημονικών εργασιών sciencedirect και scopus καθώς και σε βιβλία σχετικά με τα υλικά. Οι πληροφορίες αντλήθηκαν από εργασίες κατά κύριο λόγο της τελευταίας δεκαετίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η παγκόσμια ανησυχία για το περιβάλλον αυξάνεται τις τελευταίες δεκαετίες δεδομένου ότι οι κατασκευαστικές δραστηριότητες αυξάνονται και γνωρίζουν ευρεία κατανομή τόσο από τεχνολογικής όσο και από γεωγραφική άποψη και περιλαμβάνουν διάφορα στάδια όπως την ανεύρεση πηγών, την κατασκευή, την χρήση και την τελική εναπόθεση. Αυτή η εκτεταμένη άποψη ενισχύει την παγκόσμια ανησυχία για την βιωσιμότητα και ωθεί τους περιβαλλοντικούς διαχειριστές και τους λήπτες αποφάσεων να αναζητούν ολοένα και πιο βιώσιμα προϊόντα και υπηρεσίες. Μέσα από αυτήν την αναγκαιότητα δημιουργήθηκε το εργαλείο της εκτίμησης ζωής των υλικών (<https://lca-net.com/spold/index.html>).

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής ξεκίνησε ως εργαλείο σύγκρισης των περιβαλλοντικών επιδράσεων των διαφόρων προϊόντων, προκειμένου σε επιστημονική βάση να εκτιμηθεί η περιβαλλοντική βιωσιμότητα στην βιομηχανία. Η εκτίμηση του κύκλου ζωής παρέχει μια ολοκληρωμένη άποψη των περιβαλλοντικών επιδράσεων των προϊόντων και είναι χρήσιμο εργαλείο για την καθοδήγηση ως προς την επίλυση των προβλημάτων που προκύπτουν στα διάφορα στάδια παραγωγής ενός προϊόντος. Οι διαδικασίες της εκτίμησης του κύκλου ζωής των προϊόντων καθορίζονται από τα πρότυπα ISO και περιλαμβάνουν (ISO 2006): τον ξεκάθαρο καθορισμό του στόχου και του σκοπού της μελέτης, την απογραφή της σχετικής εισροής ενέργειας και υλικών και τις εκκλύσεις προς το περιβάλλον (Απογραφή κύκλου ζωής, LCI), την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων που σχετίζονται με τις καθορισμένες εισροές και εκκλύσεις (Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων κύκλου ζωής LCIA) και τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων που βοηθούν τους λήπτες αποφάσεων να λαμβάνουν πιο αξιόπιστες αποφάσεις.

Παρά το γεγονός πως τα πρότυπα ISO ορίζουν επακριβώς τα στάδια της εκτίμησης του κύκλου ζωής και δίνουν το γενικό πλαίσιο υλοποίησης των εκτιμήσεων, αφήνουν το περιθώριο στους ενδιαφερόμενους να λειτουργήσουν ανάλογα με την ανάλυση που θέλουν να κάνουν. Κατά συνέπεια είναι δυνατό να πραγματοποιούνται διάφορες εκτιμήσεις του κύκλου ζωής για το ίδιο προϊόν και να εξάγονται διαφορετικά



αποτελέσματα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να καλύπτονται στην εκτίμηση ενός κύκλου ζωής ενός προϊόντος, υλικού ή υπηρεσίας.

### **1.1 Βασικά χαρακτηριστικά εκτίμησης του κύκλου ζωής**

Ένας ξεκάθαρα ορισμένος στόχος οριοθετείται από τα όρια της μελέτης και την προσπάθεια συλλογής των δεδομένων. Η σύνδεση με τους στόχους της μελέτης γίνεται μέσω του καθορισμού των λειτουργικών μονάδων που αποτελούν το βασικό χαρακτηριστικό της εκτίμησης του κύκλου ζωής. Με τον όρο λειτουργική μονάδα εννοείται κάθε υπηρεσία που σχηματίζεται από το σύστημα που μελετάται και καθορίζει τους στόχους της μελέτης. Η κατάλληλη κλίμακα της λειτουργικής μονάδας είναι σημαντική δεδομένου ότι αν είναι πολύ μικρή εμποδίζει την αντικειμενική εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Finveden, 2009).

Το πρότυπο ISO 14040 (2006) παρέχει έναν οδηγό για τη δημιουργία μιας ιεραρχίας έτσι ώστε αυτοί που χρησιμοποιούν την εκτίμηση του κύκλου ζωής να αποφεύγουν την κατανομή όπου αυτό είναι εφικτό. Η αποφυγή της κατανομής μπορεί να επιτευχθεί είτε μοντελοποιώντας τις επιμέρους διεργασίες που συνιστούν τη συνολική διαδικασία παραγωγής, είτε επεκτείνοντας τα όρια του συστήματος για να περιλάβουν τις επιμέρους διεργασίες που σχετίζονται με τα παραπροϊόντα.

Γενικά η αποφυγή της κατανομής μέσω της μοντελοποίησης των επιμέρους διαδικασιών και η προέκταση του συστήματος αποτελεί έναν ελκυστικό τρόπο αποφυγής των προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν. Παρόλα αυτά αυτό οδηγεί σε σύνθετα και περίπλοκα μοντέλα με αποτέλεσμα να απαιτούνται περισσότερα δεδομένα να συλλεχθούν και κατά συνέπεια απαιτείται περισσότερος χρόνος συλλογής και προσπάθειας προκειμένου να ολοκληρωθεί η ανάλυση. Επιπλέον η συλλογή μεγαλύτερου όγκου δεδομένων μπορεί να σημαίνει και λιγότερη αξιοπιστία τους αφού δεν είναι πάντοτε σαφές το πώς προκύπτουν. Κατά συνέπεια δεν είναι πάντα εφικτή η αποφυγή της κατανομής (Anex and Lifset, 2016).

Για τις προσεγγίσεις της επέκτασης του συστήματος που μελετάται τα όρια επεκτείνονται για να συμπεριλάβουν τους εναλλακτικούς τρόπους παραγωγής των λειτουργιών που εξάγονται. Η επέκταση ενός συστήματος δεν είναι πάντοτε ιδανική λύση αφού δεν απαιτεί

μόνο τον καθορισμό του τρόπου παραγωγής ενός εναλλακτικού προϊόντος, αλλά μπορεί ταυτόχρονα να οδηγήσει και σε αρνητικές απώλειες όταν το σύστημα είναι πιστοποιημένο για την αποφυγή της επιβάρυνσης σε άλλους τομείς (JRC 2010).

Η μελέτη της επέκτασης των ορίων ενός συστήματος για την κάλυψη και τον προσδιορισμό των συνεπειών των σχετικών αποφάσεων αποτελεί την εκτίμηση των συνεπειών της εκτίμησης του κύκλου ζωής (Consequential LCA). Η εκτίμηση των συνεπειών σε σχέση με τον κλασικό τρόπο εκτίμησης του κύκλου ζωής παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα (Brander 2008).

**Πίνακας 1.1: Σύγκριση LCA και Consequential LCA (Brander 2008).**

	<b>LCA (εκτίμηση του κύκλου ζωής)</b>	<b>Consequential LCA (εκτίμηση των συνεπειών της εκτίμησης του κύκλου ζωής)</b>
<b>Στόχος της βασικής ερώτησης που πρέπει να απαντηθεί</b>	Ποιες είναι οι συνολικές απώλειες από τη ροή διαδικασιών και υλικών που χρησιμοποιούνται στον κύκλο ζωής των προϊόντων;	Ποια είναι η μεταβολή των συνολικών απωλειών μιας αλλαγής στην παραγωγή ενός προϊόντος;
<b>Εφαρμογή</b>	Η εκτίμηση του κύκλου ζωής εφαρμόζεται για την κατανόηση των εκπομπών που σχετίζονται άμεσα με τον κύκλο ζωής των προϊόντων. Επιπλέον η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι κατάλληλη για την εκτίμηση των απωλειών, λόγω της κατανάλωσης ενώ δεν είναι κατάλληλη για την ποσοτικοποίηση της μεταβολής των συνολικών απωλειών που προέρχονται από τις μεταβολές των προϊόντων.	Η εκτίμηση των συνεπειών του κύκλου ζωής είναι κατάλληλη για την πληροφόρηση των καταναλωτών και των διαμορφωτών πολιτικής για την μεταβολή των συνολικών απωλειών από μια απόφαση αγοράς ή πολιτικής. Η συγκεκριμένη μέθοδος όμως δεν είναι κατάλληλη για τον υπολογισμό των απωλειών με βάση την κατανάλωση.
<b>Όρια συστήματος</b>	Οι ροές των διαδικασιών και των υλικών χρησιμοποιούνται άμεσα στην	Όλες οι ροές διαδικασιών και υλικών επηρεάζονται άμεσα από

	παραγωγή, στην κατανάλωση και την εναπόθεση των προϊόντων.	την αλλαγή του περιθωρίου στην έξοδο των προϊόντων.
<b>Διπλός υπολογισμός απόλυτων απωλειών</b>	Δεν υπάρχει διπλός υπολογισμός απωλειών. Οι απώλειες που κατανέμονται σε ένα προϊόν δεν κατανέμονται σε άλλο. Θεωρητικά αν η εκτίμηση του κύκλου ζωής πραγματοποιηθεί για όλα τα προϊόντα το άθροισμα των αποτελεσμάτων ισοδυναμεί με τις συνολικές απώλειες κατανάλωσης.	Υπάρχει διπλός υπολογισμός απωλειών. Ο σκοπός των διαφόρων εκτιμήσεων μπορεί να αλληλοεπικαλύπτεται και οι ίδιες απώλειες να περιλαμβάνονται σε διαφορετικές εκτιμήσεις. Αν οι εκτιμήσεις συνεπειών του κύκλου ζωής πραγματοποιηθούν για όλα τα προϊόντα, το άθροισμα των αποτελεσμάτων είναι πολλαπλάσιο των συνολικών απωλειών κατανάλωσης.
<b>Δεδομένα περιθωρίου ή μέσης τιμής</b>	Χρησιμοποιούνται δεδομένα μέσης τιμής.	Χρησιμοποιούνται δεδομένα περιθωρίου.
<b>Επίδραση στις αγορές</b>	Δεν λαμβάνονται υπόψη οι επιδράσεις στις αγορές από την παραγωγή και την κατανάλωση του προϊόντος.	Λαμβάνονται υπόψη οι επιδράσεις στις αγορές από την παραγωγή και την κατανάλωση του προϊόντος.
<b>Μέθοδοι κατανομής</b>	Οι απώλειες κατανέμονται στα παραπροϊόντα με βάση την οικονομική τους τιμή, το ενεργειακό περιεχόμενο ή τη μάζα.	Χρησιμοποιείται η επέκταση του συστήματος για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης των παραπροϊόντων στο προϊόν.
<b>Έμμεσες επιπτώσεις εκτός της αγοράς</b>	Δεν υπάρχουν έμμεσες επιπτώσεις.	Περιλαμβάνει τις έμμεσες επιπτώσεις όπως οι αλληλεπιδράσεις με τις υπάρχουσες πολιτικές, η επίδραση στην έρευνα και

		ανάπτυξη στην απόδοση της παραγωγής άλλων προϊόντων.
<b>Χρονικές κλίμακες, μέσοι χρόνοι προώθησης των μεταβολών και του περιθωρίου τους</b>	Αποσκοπεί στην ποσοτικοποίηση των απωλειών που σχετίζονται με ένα προϊόν σε δεδομένο επίπεδο παραγωγής για δεδομένο χρόνο.	Αποσκοπεί στην ποσοτικοποίηση της μεταβολής των απωλειών που προκαλούνται από τη μεταβολή στην παραγωγή. Είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της χρονικής κλίμακας της μεταβολής και του περιθωρίου της.
<b>Αβεβαιότητα</b>	Μικρός βαθμός αβεβαιότητας που οφείλεται στις σχέσεις εισροών και εκροών.	Μεγάλος βαθμός αβεβαιότητας επειδή βασίζεται σε μοντέλα που αναπαριστούν σύνθετα κοινωνικοοικονομικά συστήματα.

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι διαφορετική από την εκτίμηση του κινδύνου που είναι μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί την ολοκλήρωση των δεδομένων και των πληροφοριών σε ένα μεγάλο εύρος δραστηριοτήτων και αποκλίσεων που περιλαμβάνουν τον χαρακτηρισμό των πηγών, την μεταφορά των προϊόντων, την μοντελοποίηση των διαδικασιών και την εκτίμηση της απόκρισης, ενώ η εκτίμηση του κύκλου ζωής από την άλλη μεριά προεκτείνει το σύστημα του προϊόντος στο χώρο και στο χρόνο (Mundht, 2006).

Στα επόμενα κεφάλαια της συγκεκριμένης εργασίας θα γίνει προσπάθεια να συνοψιστούν τα αποτελέσματα της εκτίμησης του κύκλου ζωής για τα διάφορα υλικά, που χρησιμοποιούνται σήμερα σε τεχνολογικές κυρίως εφαρμογές, όπως αυτά αποτυπώνονται στη βιβλιογραφία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Η χρήση των μεταλλικών υλικών από τον 20<sup>ο</sup> αιώνα άρχισε να αυξάνεται ραγδαία με αποτέλεσμα να υπάρχουν τουλάχιστον 60 υλικά που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα, τα οποία είναι τα ορυκτά μέταλλα που θεωρούνται πως προέρχονται από φυσικές πηγές. Στις σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές παρόλα αυτά τέσσερα μόνο αποτελούν την βάση για την ανάπτυξη κάθε τεχνολογίας. Το σίδηρο και το μαγνήσιο αποτελούν δύο από τα βασικά μεταλλικά υλικά που με ελάχιστες προσθήκες άλλων μεταλλικών υλικών σχηματίζουν κατασκευαστικούς χάλυβες, ενώ το αλουμίνιο χρησιμοποιείται ευρέως στις μεταφορές και ο μόλυβδος στις μπαταρίες αποθήκευσης και ο χαλκός χρησιμοποιείται για τη μετάδοση ισχύος από τη γεννήτρια στους χρήστες. Άλλα μέταλλα τα οποία χρησιμοποιούνται συχνά είναι το χρώμιο και το νικέλιο που αποτελούν στοιχεία του ενισχυμένου χάλυβα, ο ψευδάργυρος που παρεμποδίζει τη μεταλλική διάβρωση και ο κασσίτερος που χρησιμοποιείται στις ηλεκτρονικές εφαρμογές (UNEP 2010).

Η προέλευση των μετάλλων αυτών αποτελεί το βασικότερο ζήτημα πριν το στάδιο χρήσης τους και καθορίζει το χρόνο ζωής τους. Ο καθορισμός των αποθεμάτων των μετάλλων πραγματοποιείται μέσα από την ροή ανάλυσης των υλικών. Με τον όρο ροή ανάλυσης υλικών θεωρείται ο προσδιορισμός των αποθεμάτων των μετάλλων μέσα από τον κύκλο ζωής τους και προσδιορίζεται ο χαρακτηρισμός και ο ποσοτικός προσδιορισμός των υλικών στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον του συστήματος που εξετάζεται (Kowalski 1999).

Η μελλοντική παγκόσμια ζήτηση των μετάλλων αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω ως αποτέλεσμα της αστικοποίησης και της κατασκευής νέων υποδομών στις αναπτυσσόμενες χώρες της ευρείας χρήσης ηλεκτρονικών συσκευών και της μετάβασης στις καθαρές ενεργειακές τεχνολογίες (UNEP 2013).

Η χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας όπως τα φωτοβολταϊκά ή η αιολική ενέργεια αναμένεται να αυξήσει τη ζήτηση για τα μεταλλικά υλικά όπως το σίδηρο ή το χαλκό και τις σπάνιες γαίες σε σχέση με τα σημερινά επίπεδα ζήτησης, ενώ αναμένεται η μείωση της ζήτησης πρωτογενών μετάλλων (Kleijn 2013).

Το σύστημα παραγωγής των μετάλλων περιλαμβάνει πολλές διαδικασίες στις οποίες η παραγωγή ή η ανάκτηση των πολλαπλών μετάλλων πραγματοποιούνται ταυτόχρονα (Verhoef 2004).

Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις των βασικότερων μετάλλων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία είναι γενικά γνωστές, ενώ για τα πιο σπάνια μέταλλα είναι σχεδόν άγνωστες. Σήμερα υπάρχουν διάφορα εργαλεία διαθέσιμα για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των υλικών αλλά παρόλα αυτά τα εργαλεία αυτά συνήθως απαιτούν μεγάλο πλήθος δεδομένων. Με δεδομένη την αναμενόμενη αύξηση της ζήτησης των μετάλλων γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική η ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων ανά στάδιο του κύκλου ζωής τους, καθώς και η διασύνδεση της παραγωγής των μετάλλων της πιθανής αντικατάστασης των μετάλλων και η αξιολόγηση τους ως προς την αλυσίδα τροφοδοσίας τους και τον ενδεχόμενο κίνδυνο χρησιμοποίησής τους (Graedel 2012).

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment, LCA) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την ποσοτικοποίηση των επιδράσεων πλήθους προϊόντων υπηρεσιών και τεχνολογιών στο περιβάλλον. Στη βιβλιογραφία όπως θα φανεί στην συνέχεια του κεφαλαίου υπάρχουν διάφορες εργασίες που χρησιμοποιούν την εκτίμηση του κύκλου ζωής για την πρόβλεψη της επίδρασης των μετάλλων στο περιβάλλον.

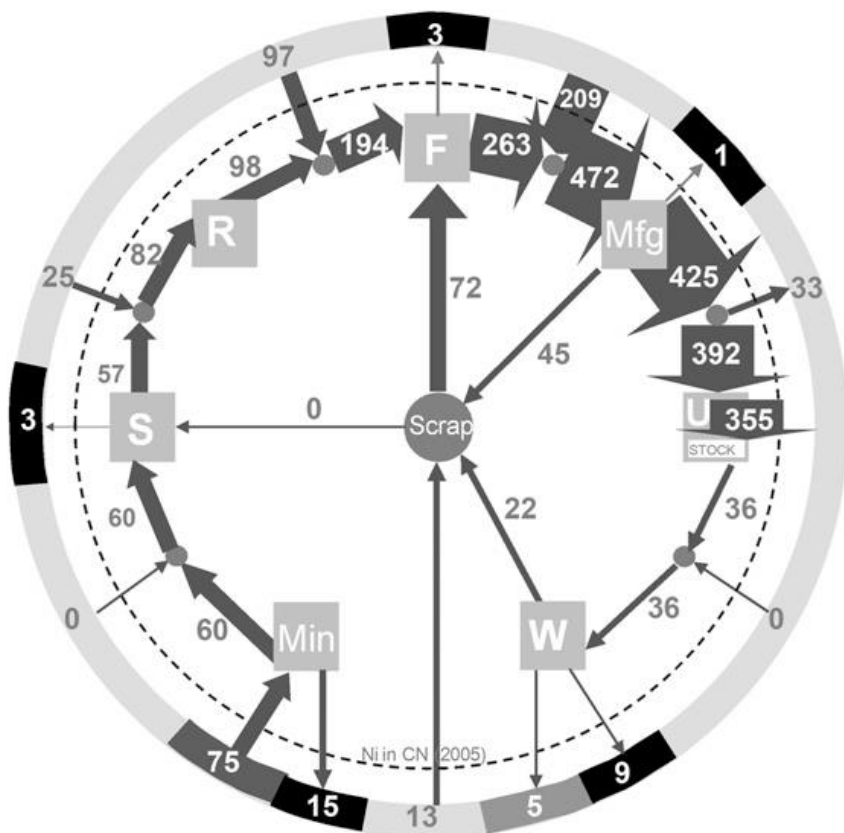
## **2.1 Κύκλος ζωής μεταλλικών υλικών**

Η ζήτηση και η προμήθεια των μετάλλων σε διεθνές αλλά και παγκόσμιο επίπεδο καθορίζεται από τον ορισμό των διαδικασιών που συνθέτουν τον κύκλο ζωής των μετάλλων, καθώς και από την ποσοτικοποίηση των ροών από το ένα στάδιο του κύκλου ζωής στο άλλο (Socolow and Thomas, 1997).

Οι Norgate (2007) πραγματοποίησαν την μελέτη της εκτίμησης του κύκλου ζωής για το στάδιο της παραγωγής διαφόρων μετάλλων στην Αυστραλία. Τα μέταλλα που μελετήθηκαν ήταν ο χαλκός, το νικέλιο, το αλουμίνιο, ο ψευδάργυρος, ο χάλυβας, ο ανοξείδωτος χάλυβας και το τιτάνιο, ενώ η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων τους έγινε με βάση την εκτίμηση των εκπομπών της διεργασίας παραγωγής τους σε αέρια του θερμοκηπίου και όξινη βροχή, καθώς και με βάση τις απώλειες στερεών αποβλήτων

από τις διεργασίες παραγωγής και την ζήτηση της κατανάλωσης ενέργειας. Στη συγκεκριμένη εργασία αποδείχτηκε πως υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής των συγκεκριμένων μετάλλων, με κυριότερους τις πηγές των ορυκτών, της ηλεκτρικής ενέργειας και την τεχνολογία επεξεργασίας. Συμπεράναν πως καθώς τα αποθέματα των ορυκτών μειώνονται η ποιότητα των μεταλλευμάτων μειώνεται, με αποτέλεσμα να υπάρχει σημαντική επίδραση στην κατανάλωση ενέργειας που συνοδεύεται από αύξηση των απωλειών σε αέρια του θερμοκηπίου και όξινης βροχής κατά τη διαδικασία παραγωγής των μετάλλων.

Στο σχήμα 2.1 απεικονίζεται ο κύκλος ζωής του νικελίου στην Κίνα όπως αποτυπώνεται από τους Reck and Rotter (2012). Στον κύκλο αυτό περιλαμβάνονται διαδικασίες που συνδέονται μέσω αγορών όπου η καθεμία δείχνει την εμπορική τάση με άλλες περιοχές που έχουν το αντίστοιχο επίπεδο διαβίωσης. Η αγορά απορριμάτων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο καθώς συνδέει τη διαχείριση των αποβλήτων με την παραγωγή και την μαζική παραγωγή προϊόντων. Ο κύκλος, όπως φαίνεται στο σχήμα, περιβάλλεται από οντότητες που δεν αποτελούν εμπορικούς εταίρους και οι οποίοι βρίσκονται έξω από τα όρια του συστήματος. Σε αυτά τα περιβάλλοντα στοιχεία ανήκουν η λιθόσφαιρα, από την οποία πραγματοποιείται η εξαγωγή, τα αποθέματα για την αντικατάσταση των απωλειών του νικελίου κατά τις διάφορες διεργασίες, η παραγωγή και η εναπόθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής.



**Σχήμα 2.1: Η ανάλυση της ροής του υλικού για το νικέλιο στην Κίνα το 2005 (Reck and Rotter, 2012).**

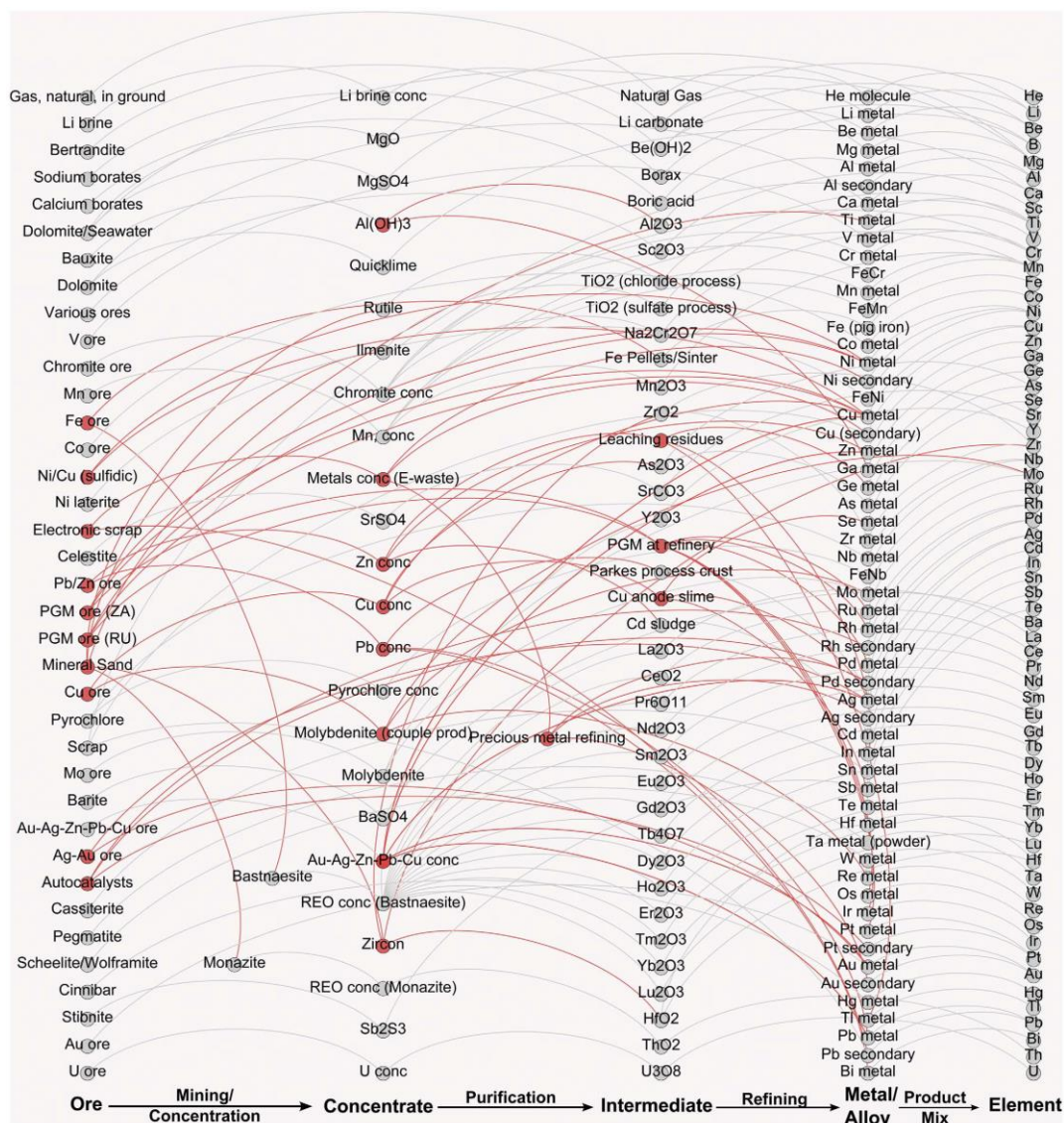
Η παραγωγή του νικελίου περιλαμβάνει την εξόρυξη, την τήξη και τον εξευγενισμό. Το αναμειγμένο ή συμπυκνωμένο μέταλλευμα τήκεται σε νικέλιο και κατόπιν εξευγενίζεται παράγοντας διάφορα προϊόντα νικελίου. Τα ενδιάμεσα προϊόντα νικελίου μπορούν να ληφθούν κατά την επεξεργασία ακατέργαστου ή ανακυκλωμένου νικελίου και στη συνέχεια αυτά τα ενδιάμεσα προϊόντα χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τελικών προϊόντων. Στο στάδιο της χρήσης στον κύκλο ζωής η ροή εισόδου ισούται με τη ροή εξόδου από το στάδιο της παρασκευής και ρυθμίζεται από τις εμπορικές ροές. Η διαφορά ανάμεσα στη ροή εισόδου και στη ροή εξόδου αποτελεί την καθαρή προσθήκη των προϊόντων του νικελίου στα αποθέματα που μπορεί να χρησιμοποιηθούν (Reck and Rotter, 2012).

Το τελικό στάδιο του κύκλου είναι η διαχείριση των αποβλήτων που περιλαμβάνει τη συλλογή, το διαχωρισμό, την επεξεργασία, την ανακύκλωση και την εναπόθεση των αποβλήτων. Η ποσοτικοποίηση ενός τέτοιου κύκλου ζωής μεταλλικών υλικών απαιτεί τη



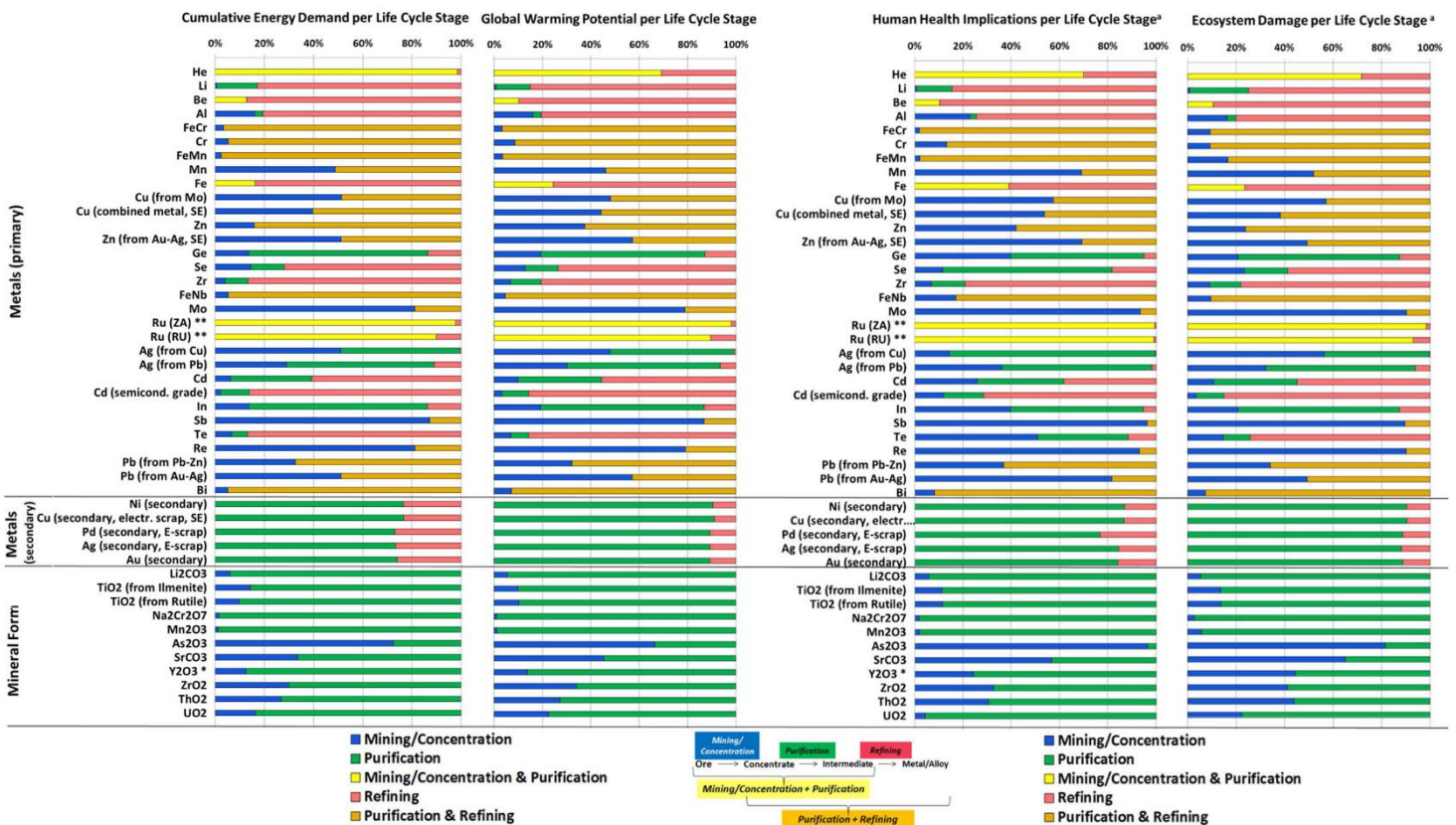
συλλογή στατιστικών δεδομένων από διεθνείς και παγκόσμιες βάσεις δεδομένων, βιομηχανικά δεδομένα και τεχνολογικά στοιχεία (Reck and Rotter, 2012).

Οι Nuss και Eckelmann (2014) χρησιμοποίησαν τον κύκλο ζωής των μετάλλων για 63 μεταλλικά στοιχεία προκειμένου να εκτιμήσουν τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Συγκεκριμένα χρησιμοποίησαν την ανάλυση του κύκλου ζωής ως εργαλείο για την ποσοτικοποίηση και τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κάθε στοιχείου στη βάση θεώρησης πως 1 kg στοιχείου χρησιμοποιείται στο στάδιο της επεξεργασίας.



**Σχήμα 2.2: Διάγραμμα παραγωγής των ορυκτών και μετάλλων που αναλύονται από τους Nuss and Eckelman, (2014).**

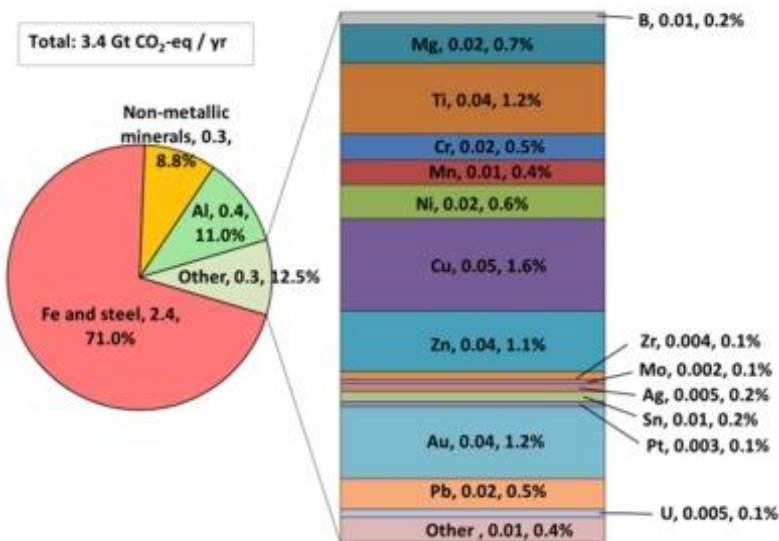
Η εκτίμηση τους περιλαμβάνει το φυσικό μετασχηματισμό των μεταλλευμάτων σε συγκεντρώσεις ορυκτών και τον περαιτέρω μετασχηματισμό τους σε ορυκτά προϊόντα και ενδιάμεσα καθώς και την κατάλληλη μετατροπή σε τελικό μέταλλο ή κράμα. Δημιούργησαν ένα δίκτυο βιομηχανικών διαδικασιών για κάθε ένα από τα 64 στοιχεία που εξέτασαν και εκτίμησαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε κάθε στάδιο. Απέδειξαν στη συγκεκριμένη εργασία πως τα σύγχρονα συστήματα παραγωγής μετάλλων είναι σε μεγάλο βαθμό διασυνδεδεμένα με τα μέταλλα που παράγονται από εξόρυξη απορρόφηση και refining. Αυτό καθιστά δύσκολη την επεξεργασία κάθε μετάλλου ως ανεξάρτητο προϊόν, καθώς και την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων για κάθε μέταλλο μεμονωμένα. Επιπλέον απέδειξαν πως για τα περισσότερα μέταλλα οι μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι αποτέλεσμα των σταδίων προσρόφησης και refining, ενώ διατύπωσαν την άποψη πως αυτό μπορεί μελλοντικά να αλλάξει με την βαθμιαία μετατόπιση των εξορυγμένων μετάλλων σε ορυκτά μικρότερου βαθμού που θα αυξάνουν την ενεργειακή πυκνότητα των ορυκτών (Norgate and Jahanshahi, 2011).



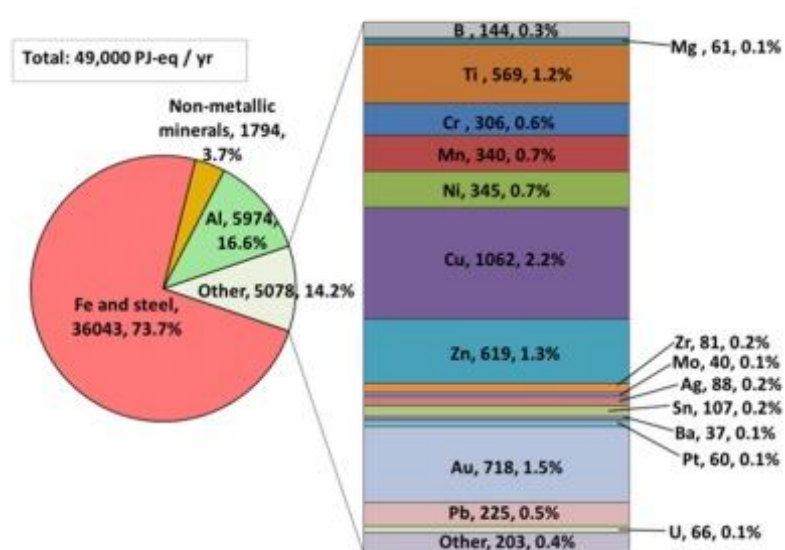
## Σχήμα 2.3: Σχετικές περιβαλλοντικές επιδράσεις ανά στάδιο του κύκλου ζωής όπως προσδιορίστηκαν από τους Nuss και Eckelmann (2014)

Σύμφωνα με τους Nuss και Eckelmann (2014) για το Γερμάνιο, το Ίνδιο και τον Άργυρο το στάδιο απορρόφησης συνεισφέρει περισσότερο στις συνολικές περιβαλλοντικές επιδράσεις. Επιπλέον συμπεράναν πως για διάφορα μέταλλα το στάδιο της εξόρυξης και της συγκέντρωσης επιδρά στην ανθρώπινη υγεία, αφού αυξάνει τα επίπεδα τοξικότητας των μετάλλων. Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη την ετήσια παγκόσμια παραγωγή, προσδιόρισαν τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τα βιομηχανικά μέταλλα σίδηρο, αλουμίνιο και χαλκό.

(A) Breakdown of Global CO<sub>2</sub> Per Metal in 2008 (Gt CO<sub>2</sub>-eq/yr)



(B) Breakdown of Global Cumulative Energy Demand per Metal in 2008 (PJ/yr)



Σχήμα 2.4: Παγκόσμιες απώλειες διοξειδίου του άνθρακα και ενεργειακή ζήτηση ανά μέταλλο όπως προσδιορίστηκαν από τους Nuss και Eckelman, (2014).

Οι Santero and Hendry (2016) λαμβάνοντας υπόψη πως οι μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής μεμονωμένων μετάλλων και ανόργανων ενώσεων δημιούργησαν την ανάγκη μιας εναρμονισμένης προσέγγισης για την απογραφή του κύκλου ζωής και την εκτίμηση των

μεθοδολογιών αξιολόγησης τους στη βιομηχανία, δημιούργησαν έναν οδηγό εναρμόνισης των μεθοδολογιών εκτίμησης του κύκλου ζωής όπου είναι απαραίτητο και θεωρώντας πως αυτό δεν είναι εφικτό για όλα τα στοιχεία λόγω του μεγάλου εύρους τους. Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας ήταν να δημιουργηθεί ένας οδηγός τέτοιος ώστε να υπάρχει κοινή μεθοδολογία εκτίμησης του κύκλου ζωής που θα είναι σε αρμονία με νομοθεσίες και επιπλέον να μπορούν οι βιομηχανίες να εφαρμόζουν κοινές μεθοδολογίες και να καθορίζουν τη στρατηγική τους. Για τους σκοπούς της εναρμόνισης εξέτασαν τις ήδη υπάρχουσες μεθοδολογίες που εφαρμόζαν οι συμμετέχοντες οργανισμοί, προκειμένου να προσδιορίσουν τις περιοχές ευθυγράμμισης και τις περιοχές που πρόκειται να ωφεληθούν. Για την πραγματοποίηση της ευθυγράμμισης χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις μεθοδολογίες και συγκεκριμένα: τα όρια του συστήματος, η ανακύκλωση, η ευθυγράμμιση της συμπαραγωγής και οι κατηγορίες της περιβαλλοντικής επίδρασης.

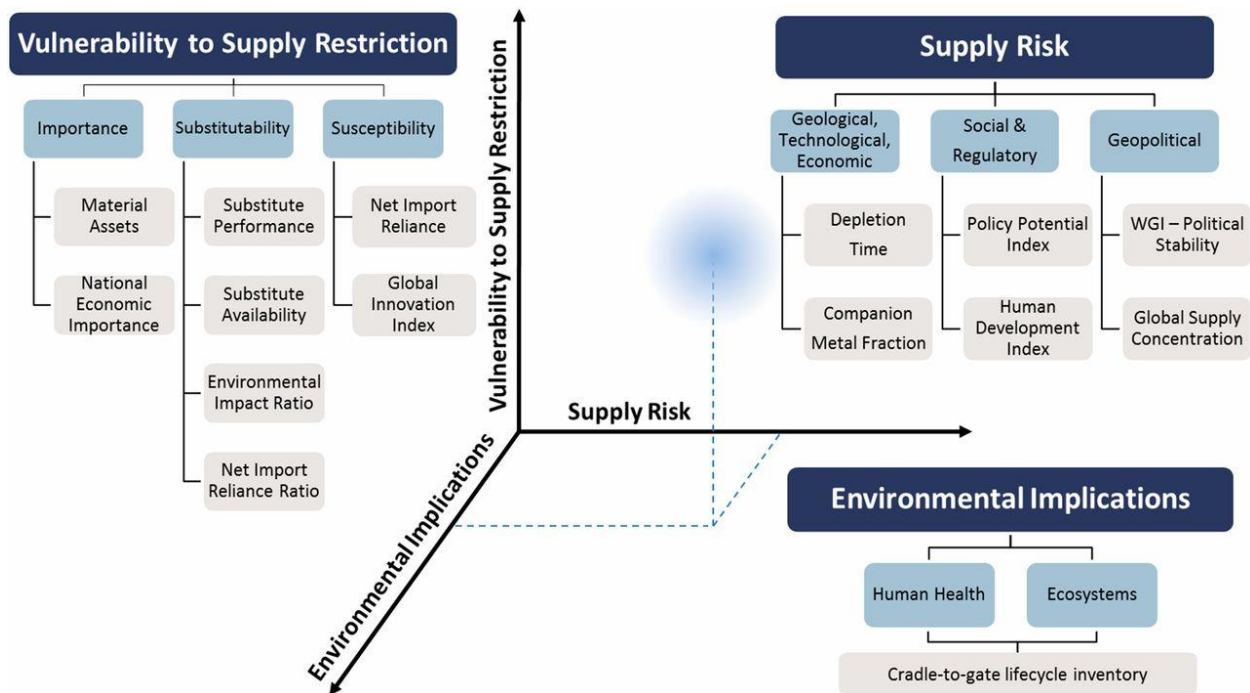
Οι Santero και Hendry (2016) κατέληξαν στο συμπέρασμα πως τα όρια θα πρέπει να περιλαμβάνουν την τελική διάθεση και ανακύκλωση και όπου αυτό είναι εφικτό τη χρήση του προϊόντος, ιδιαίτερα για τη σύγκριση μεταξύ υλικού και προϊόντος. Για τις μεθόδους συμπαραγωγής βασίστηκαν στο είδος των συμπαραγόμενων προϊόντων, ενώ για την ευθυγράμμιση της ανακύκλωσης προτείνεται η χρήση της μεθόδου αποφυγής των βαρών. Τέλος, για το στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων μέσω της εκτίμησης του κύκλου ζωής προτείνεται πως η χρήση της εκτίμησης του κύκλου ζωής των μετάλλων και των προϊόντων εξόρυξης θα πρέπει να οδηγεί σε συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, την οξύτητα, την επίδραση στον ευτροφισμό και στην τρύπα του όζοντος. Προτείνεται επίσης πως η ενσωμάτωση και άλλων κατηγοριών επίδρασης θα πρέπει να εκτιμάται από τη βιομηχανία των μετάλλων σε τακτά διαστήματα.

Οι Davinson (2016) παρουσίασαν τα αποτελέσματα της εκτίμησης του κύκλου ζωής για το μόλυβδο, όπως αυτά εξήχθησαν από την αντίστοιχη ανάλυση του Διεθνούς Οργανισμού Μόλυβδου (International Lead Association, ILA). Στα συμπεράσματα τους αναφέρουν πως η εξόρυξη και η τήξη έχουν τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις ως προς την παραγωγή του μόλυβδου, ενώ οι κύριοι παράγοντες που συνεισφέρουν στην εξόρυξη και τη συγκέντρωση του μόλυβδου είναι η καύση των καυσίμων και η παραγωγή ισχύος. Στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του μόλυβδου συνεισφέρει κυρίως η παραγωγή

του που σχετίζεται με την παραγωγή των αντίστοιχων μπαταριών. Ο τρόπος παραγωγής των μπαταριών μόλυβδου που συνεχώς εξελίσσεται, καθώς και η δυνατότητα ανακύκλωσης τους μειώνει σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιδράσεις σε όρους εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

## **2.2 Αξιολόγηση των μετάλλων και των επιδράσεων τους στο περιβάλλον**

Ο κύκλος ζωής των μετάλλων δίνει πολλές πληροφορίες σχετικά με την υπάρχουσα κατάσταση των υλικών, αλλά δεν προσδιορίζει τις πιθανές μεταβολές στην ζήτηση και στην προμήθεια τους σε οποιοδήποτε σημείο του κύκλου. Οι μεταβολές αυτές λαμβάνονται υπόψη σε μελέτες που παρουσιάζονται στη διεθνή βιβλιογραφία και αφορούν στην κρισιμότητα των μετάλλων (metal's criticality). Η κρισιμότητα των μετάλλων θεωρείται συνάρτηση της χρήσης τους και της διαθεσιμότητας τους. Στην διεθνή βιβλιογραφία ως κρίσιμα μέταλλα έχουν καταδειχθεί το ρόδιο, ο λευκόχρυσος, το μαγγάνιο, το νιόβιο, το ίνδιο και οι σπάνιες γαίες (NRC, 2008). Ο χαλκός που είναι ένα από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα μέταλλα δεν θεωρείται κρίσιμος, όχι εξαιτίας της σπουδαιότητάς του, αλλά επειδή ο κίνδυνος προμήθειας του είναι μικρός.



**Σχήμα 2.5: Η μεθοδολογία της κρισιμότητας σε εθνικό επίπεδο από τους Graedel (2012).**

Οι Graedel (2012) δημιούργησαν μια μεθοδολογία για την ποσοτικοποίηση της κρισιμότητας των μετάλλων του περιοδικού πίνακα η οποία βασίζονταν σε τρεις παραμέτρους: τον κίνδυνο προμήθειας, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την ευπάθεια στους περιορισμούς της προμήθειας. Ο κίνδυνος της προμήθειας εξαρτάται από το χρόνο στον οποίο πραγματοποιείται η προμήθεια και περιλαμβάνει πολλές παραμέτρους που διαμορφώνονται από τους δείκτες που οι ίδιοι οι προμηθευτές καθορίζουν καθώς και από τις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες. Η ευπάθεια στους περιορισμούς εξαρτάται από το οργανωτικό επίπεδο αν δηλαδή η αναφορά γίνεται σε τοπικό, διεθνές, ή παγκόσμιο επίπεδο. Η συγκεκριμένη εκτίμηση της κρισιμότητας γίνεται με βάση τον τρισδιάστατο χώρο της κρίσιμότητας και προσδιόρισαν ως κρίσιμα μέταλλα αυτά που έχουν περιορισμούς που προέρχονται από το βαθμό εξόρυξης τους τις υψηλές γεωπολιτικές συγκεντρώσεις αποβλήτων ορυκτών, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της μεταποίησης του μεταλλεύματος και την έλλειψη υποκατάστατων τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ

Με τον όρο πολυμερή υλικά εννοούνται τα υλικά που αποτελούνται από διατεταγμένες ομάδες μονομερών στοιχείων, που επαναλαμβάνονται στο μόριο τους και το μοριακό τους βάρος είναι μερικές εκατοντάδες ή μεγαλύτερο. Τα πολυμερή υλικά είναι ευρέως γνωστά ως πλαστικά ή συνθετικά υλικά.

Τα πλαστικά υλικά είναι συστατικά που αποτελούνται από πολυμερή και διάφορα άλλα χημικά όπως σταθεροποιητές, πρόσθετα και χρωστικά των οποίων η ποσότητα και το είδος μεταβάλλονται από πολυμερές σε πολυμερές και τα τελικά προϊόντα πρέπει να βελτιστοποιούνται ανάλογα με την διεργασία και τις εφαρμογές τους (Petersen et al 1999).

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει αυξηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο η κατανάλωση πλαστικών με αποτέλεσμα να αυξάνονται και τα πλαστικά απόβλητα. Είναι χαρακτηριστικό πως το 50% των πλαστικών χρησιμοποιούνται για μεμονωμένες εφαρμογές εναπόθεσης, όπως η συσκευασία και οι αγροτικές εργασίες. Σε πολύ μικρότερο ποσοστό της τάξης του 20-25% των πλαστικών χρησιμοποιούνται για κατασκευαστικά στοιχεία, όπως σωλήνες, καλύμματα καλωδίων και δομικά υλικά. Το υπόλοιπο ποσοστό χρησιμοποιείται για ενδιάμεσες καταναλωτικές εφαρμογές όπως ηλεκτρονικά, έπιπλα και στοιχεία οχημάτων (Hopewell 2009).

Η εναπόθεση των πλαστικών αποβλήτων παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες, κυρίως εξαιτίας του γεγονότος πως τα πλαστικά προϊόντα έχουν μικρή διάρκεια ζωής. Είναι χαρακτηριστικό πως σε ορισμένες εφαρμογές όπως η συσκευασία των πλαστικών η διάρκεια ζωής είναι μικρότερη από ένα μήνα (Achillas 2007).

Το πρόβλημα γίνεται εντονότερο λαμβάνοντας υπόψη πως τα πλαστικά είναι υλικά με χαμηλή πυκνότητα και χρησιμοποιούνται συχνά σε σφαιρικά προϊόντα, που κατά κύριο λόγο έχουν μικρή φαινόμενη πυκνότητα και κατά συνέπεια, είναι ορατά στα ρεύματα αποβλήτων. Στην πραγματικότητα παρά το γεγονός πως το κλάσμα όγκου βάρους των πλαστικών στα αστικά απόβλητα μπορεί να αντιπροσωπεύει το 20-30% των αποβλήτων, η μάζα τους αντιπροσωπεύει μόλις το 9% της συνολικής μάζας των αποβλήτων. Στα απόβλητα όμως των βιομηχανιών και των κατασκευών, τα πλαστικά απόβλητα μπορεί να

εμφανίζονται σε μεγαλύτερα ποσοστά. Επιπλέον βασικός παράγοντας είναι πως τα πλαστικά είναι συνήθως μη βιοδιασπώμενα και κατά συνέπεια παραμένουν στη φύση για μεγάλα χρονικά διαστήματα (Panda 2010).

Η σημαντικότερη αρνητική συνέπεια που σχετίζεται με την ολοένα αυξανόμενη χρήση των πλαστικών και αντισταθμίζει τις μεταβολές στην παραγωγή και κατανάλωση των πλαστικών υλικών είναι η διαχείριση των αποβλήτων τους. Η κύρια πηγή παραγωγής πλαστικών αποβλήτων είναι τα αστικά οικιακά απόβλητα που αποτελούν τα 2/3 των συνολικά παραγόμενων αποβλήτων, ενώ η δεύτερη πηγή πλαστικών αποβλήτων είναι ο βιομηχανικός τομέας. Η επίλυση του προβλήματος διαχείρισης των πλαστικών αποβλήτων περιλαμβάνει τη χρήση διαφόρων τεχνικών ανακύκλωσης και ανάκτησης ενέργειας (APME 2004).

Σήμερα η κατανάλωση των πλαστικών είναι μεγαλύτερη από 200 εκατομμύρια τόνους με μια ετήσια αύξηση να παρατηρείται πως ανέρχεται στο 5% ([www.european-bioplastics.org](http://www.european-bioplastics.org)). Τα πολυμερή υλικά όπως το πολυαιθυλένιο (PET), το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), το πολυπροπυλένιο (PP) και το πολυστυρένιο (PS) χρησιμοποιούνται κυρίως ως υλικά συσκευασίας εξαιτίας της μεγάλης τους διαθεσιμότητας, του σχετικά μικρού τους κόστους και εξαιτίας της ικανοποιητικής τους μηχανικής απόδοσης αφού είναι ανθεκτικά υλικά, καλοί φορείς του οξυγόνου, του διοξειδίου του άνθρακα των ανυδριτών και των αρωματικών συστατικών. Παρόλα αυτά, η χρήση τους περιορίζεται επειδή δεν είναι εντελώς ανακυκλώσιμα και βιοδιασπώμενα με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν σημαντικά οικολογικά προβλήματα (Sorrentino 2007).

Τα βιοπολυμερή μπορεί να εμφανιστούν σε διαφορετικές μορφές και μπορεί να προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές και να διαφοροποιούνται από τα συνήθη πλαστικά, ενώ μπορεί να παράγονται μερικώς από ανανεώσιμες πηγές και να συνθέτονται με παρόμοιες διαδικασίες, όπως τα πλαστικά (Tabonne 2010). Τα βιοπολυμερή θεωρείται πως είναι ελκυστικές εναλλακτικές των παραδοσιακών πλαστικών που παράγονται από το πετρέλαιο και μπορεί να παραχθούν από διάφορες πρώτες ύλες όπως υπολείμματα τροφών και φυτικά είδη (Landis 2007),

Τα συνήθη βιοπολυμερή που μελετώνται στη βιβλιογραφία ως προς την επίδραση τους στο περιβάλλον είναι τα PLA, PHA και TPS ενώ στην αγορά υπάρχουν και άλλα



βιοπολυμερή όπως το 1,3 προπανοδιόλη (PDO) και το βιο-PET, για τα οποία όμως δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα.

Το PLA χρησιμοποιείται ως πλαστικό στις συσκευασίες, ως υλικό εναπόθεσης και ως υλικό στα μπουκάλια, όπως επίσης και σε φιλμ και ίνες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές (Vink et al 2010).

Το PLA παράγεται από το γαλακτικό οξύ που παράγεται μέσω της ζύμωσης της ντεκτρόζης που τυπικά προέρχεται από το καλαμπόκι. Το γαλακτικό οξύ μπορεί να πολυμεριστεί με διαφορετικούς τρόπους για να παράγει σωματίδια που χρησιμοποιούνται σε εμπορικά προϊόντα, ενώ μπορεί παράλληλα το PLA να αναμιχθεί με πολυμερή πετρελαίου ή ίνες για να βελτιώσει τη θερμική του αντίσταση ή τη διάρκεια ζωής του. Τα πλαστικά από PLA είναι βιοδιασπώμενα και μπορούν να κομποστοποιηθούν δίνοντας τους έτσι τη δυνατότητα να εναποτεθούν με διάφορους τρόπους (Gengross 2000).

Το PHA χρησιμοποιείται ευρέως για την παρασκευή συσκευασιών και μπουκαλιών, ενώ σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως στη φαρμακοβιομηχανία και τις αγροτικές δραστηριότητες. Το PHA παράγεται από τη ζύμωση βακτηρίων των ανανεώσιμων πρώτων υλών που περιέχουν μονομερή όπως γλυκόζη και φυτικό έλαιο που οδηγεί στο σχηματισμό των πολυμερών (Philip et al 2007).

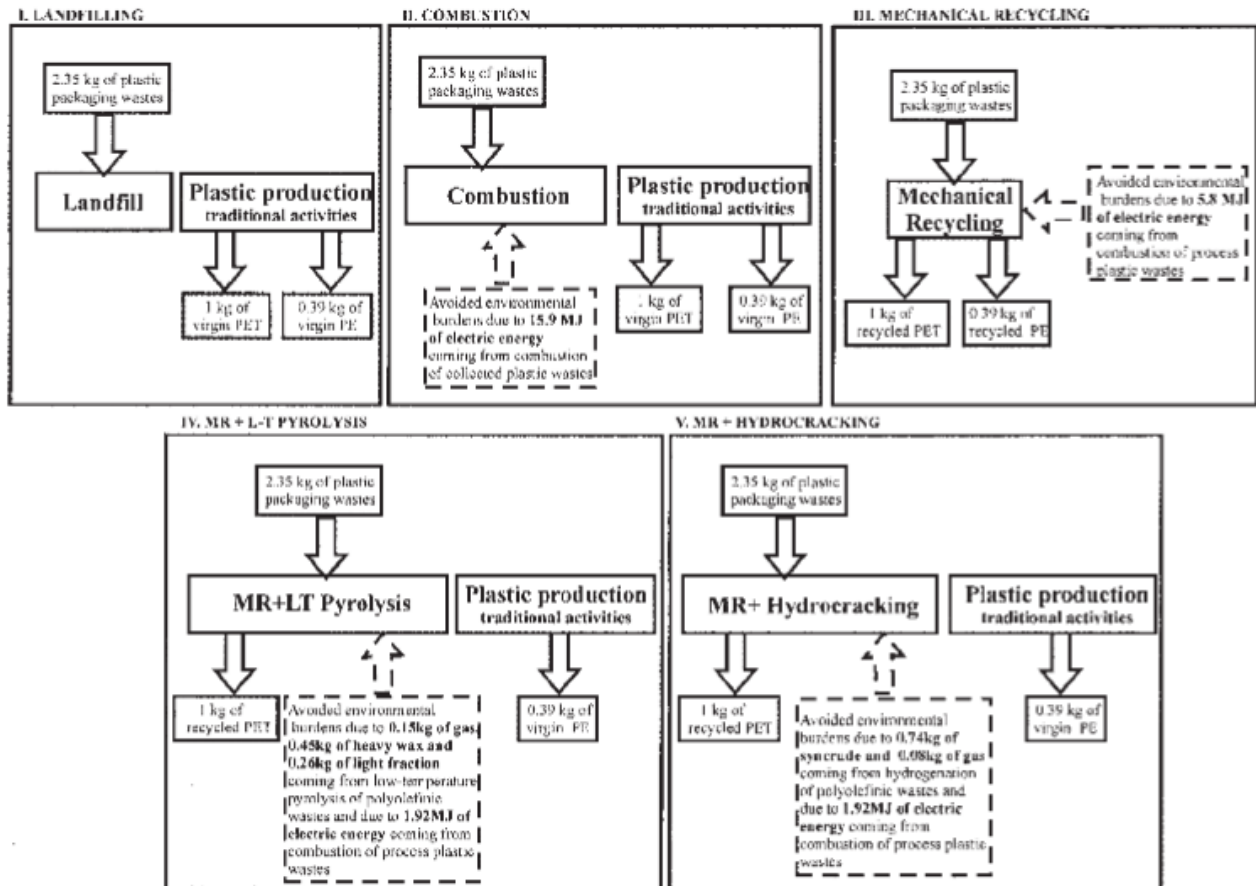
Το TPS παράγεται από φυτικές καλλιέργειες, κυρίως από καλαμπόκι και στη συνέχεια συνδυάζεται με πρόσθετα και λαμβάνει σχήμα. Γενικά το TPS περιέχεται σε συνθετικά πολυμερή και δημιουργεί εμπορικά προϊόντα. Το συγκεκριμένο υλικό χρησιμοποιείται για τη δημιουργία φιλμ συσκευασιών και αφρών και ανάλογα με τα συστατικά του είναι βιοδιασπώμενο και μπορεί να κομποστοποιηθεί. (Cyras et al 2008).

### **3.1. Εκτίμηση του κύκλου ζωής για πολυμερή υλικά**

Οι Patel (1999) συνέκριναν τις διάφορες μεθόδους εναπόθεσης των πλαστικών αποβλήτων στην Γερμανία συμπεριλαμβανομένων της εναπόθεσης σε χώρους υγειονομικής ταφής, της καύσης και της χημικής και της μηχανικής ανακύκλωσης σε όρους περιβαλλοντικής επίδρασης. Απέδειξαν πως η ανακύκλωση συνεισφέρει στην μείωση της ενέργειας και στη μείωση των απωλειών διοξειδίου του άνθρακα.

Οι Ross και Evans (2003) πραγματοποίησαν την εκτίμηση του κύκλου ζωής των υλικών συσκευασίας πολυαιθυλενίου/ πολυστυρενίου και απέδειξαν πως η ανακύκλωση μειώνει σημαντικά την περιβαλλοντική επιβάρυνση από τις συσκευασίες, ενώ η κατανάλωση ενέργειας κατά τη μεταφορά είναι αμελητέα σε σχέση με την συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Οι Perugini (2005) χρησιμοποίησαν την εκτίμηση του κύκλου ζωής προκειμένου να συγκρίνουν πέντε διαφορετικά σενάρια διαχείρισης των πλαστικών αποβλήτων και συγκεκριμένα την υγειονομική ταφή, την καύση με ανάκτηση ενέργειας, την μηχανική ανακύκλωση, την μηχανική ανακύκλωση και την πυρόλυση χαμηλής θερμοκρασίας και την μηχανική ανακύκλωση και υδροδιάσπαση. Στην εναπόθεση των πλαστικών σε χώρους υγειονομικής ταφής δεν υπάρχει ανακύκλωση αλλά όλα τα απόβλητα εναποτίθενται σε ΧΥΤΑ, ενώ στο σενάριο της καύσης με ανάκτηση ενέργειας πάλι δεν υπάρχει ανακύκλωση αλλά όλα τα απόβλητα διοχετεύονται προς καύση. Στο σενάριο της μηχανικής ανακύκλωσης θεωρείται πως υπάρχει μηχανική ανακύκλωση για όλα τα συλλεγόμενα πλαστικά απόβλητα και μετά την επεξεργασία τους οδηγούνται προς καύση. Στο σενάριο της μηχανικής ανακύκλωσης και χαμηλής θερμοκρασίας πυρόλυση θεωρείται πως το κλάσμα του PET υφίσταται μηχανική ανακύκλωση και το κλάσμα των πολυολεφίνων πυρόλυση σε χαμηλή θερμοκρασία. Τέλος για το σενάριο της μηχανικής ανακύκλωσης και της υδροδιάσπασης θεωρείται πως το κλάσμα του PET υφίσταται μηχανική ανακύκλωση ενώ το κλάσμα των πολυολεφίνων υφίσταται υδροδιάσπαση.

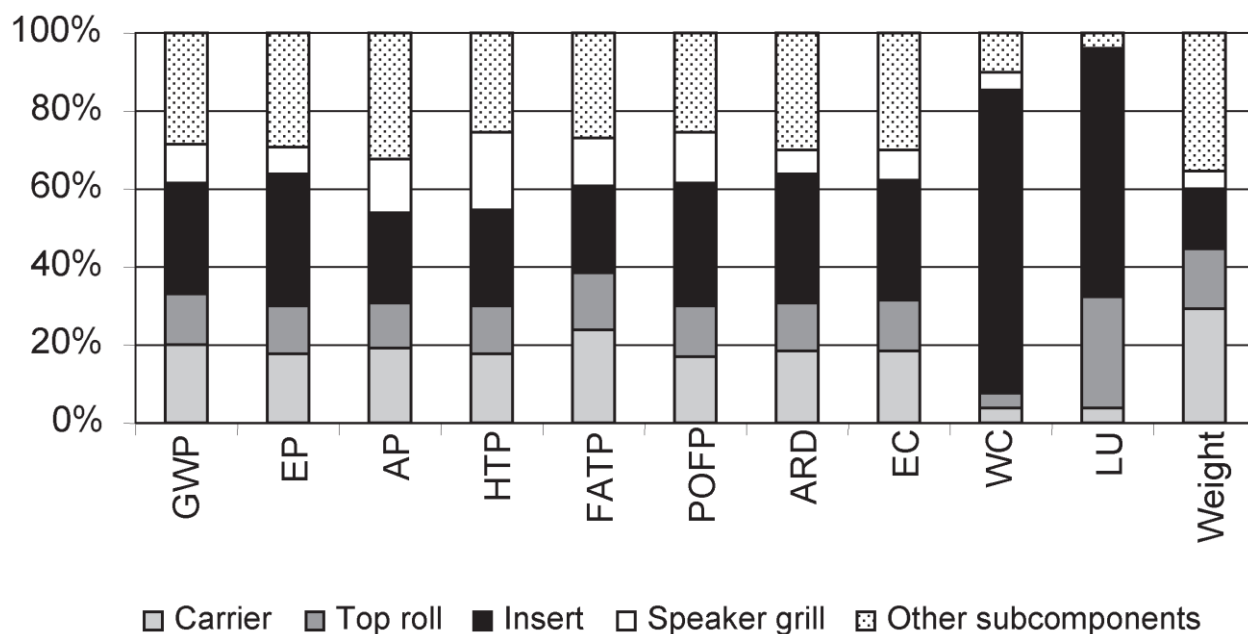


**Σχήμα 3.1: Τα βασικά σενάρια για την εκτίμηση του κύκλου ζωής των πλαστικών αποβλήτων από τους Perugini 2005.**

Τα αποτελέσματα από την εκτίμηση ζωής των πέντε σεναρίων των Perugini (2005) αποδεικνύουν πως για τη διαχείριση των πλαστικών αποβλήτων η εναπόθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής παρουσιάζει πολύ μικρή απόδοση, ενώ παράλληλα η επιλογή της μηχανικής ανακύκλωσης είναι περιβαλλοντικά προτιμότερη, ενώ παράλληλα απέδειξαν πως η ανακύκλωση των πρώτων υλών επηρεάζει θετικά τους περιβαλλοντικούς δείκτες.

Οι Munoz (2006) χρησιμοποίησαν την εκτίμηση του κύκλου ζωής για ένα πλαστικό πλαίσιο πόρτας αυτοκινήτου και τη συνέκριναν με την αντίστοιχη ανάλυση για ένα πρότυπο αχρησιμοποίητο κάλυμμα, ενώ ανέλυσαν για τα πλαστικά απόβλητα το σενάριο της εναπόθεσης σε ΧΥΤΑ και την ανάκτηση ενέργειας μέσω της καύσης. Απέδειξαν πως οι φάσεις παραγωγής και χρήσης συνεισφέρουν περισσότερο από το 95% στους

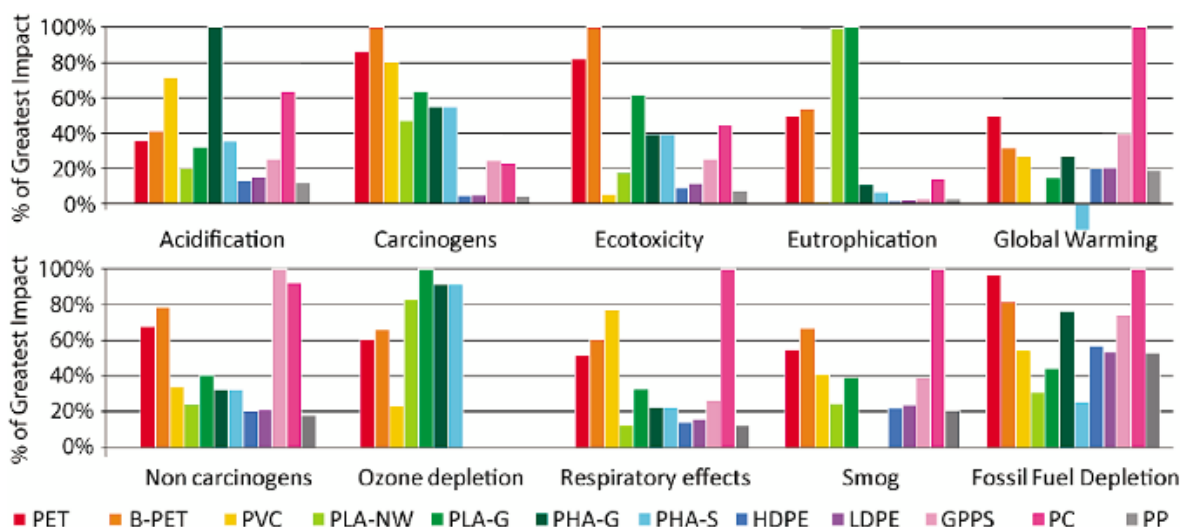
περισσότερους περιβαλλοντικούς δείκτες. Η σύγκριση μεταξύ χρησιμοποιημένων και καινούριων προϊόντων δείχνει μια βελτίωση στην περιβαλλοντική επίδραση για τα καινούρια στην φάση της παραγωγής καθώς και στην τελική φάση της ανακύκλωσης. Η συνολική επίδραση συνίσταται σε μείωση κατά 18% στους δείκτες τοξικότητας και κατά 80% της χρήσης του χώρου υγειονομικής ταφής. Για την υγειονομική ταφή ή για την εξάντληση των πόρων αποδεικνύεται πως η ανάκτηση ενέργειας στους κλιβάνους εμφανίζεται ως μια ικανοποιητική εναλλακτική λύση.



**Σχήμα 3.2: Η συνεισφορά των υποστοιχείων στο περιβαλλοντικό προφίλ του υπάρχοντος πλαισίου όπως προσδιορίστηκε από τους Munoz et al (2006).**

Οι Tabonne (2010) εκτίμησαν την περιβαλλοντική επίδραση 12 πολυμερών, τα επτά από τα οποία προέρχονταν από το πετρέλαιο, τα τέσσερα από βιολογικές πηγές και ένα και από τις δύο πηγές. Η εκτίμηση του κύκλου ζωής χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από το στάδιο παραγωγής κάθε πολυμερούς και κάθε πολυμερές εκτιμήθηκε για την προσαρμογή του στις πράσινες σχεδιαστικές αρχές χρησιμοποιώντας διάφορους δείκτες. Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία περιλάμβαναν την ατομική οικονομία, τη μάζα των πολυμερών

από ανανεώσιμες πηγές, τη βιοδιασπασιμότητα, το ποσοστό ανακύκλωσης τους, τα αποθέματα τους, τον κύκλο ζωής των επιδράσεων στην υγεία και την ενεργειακή χρήση.

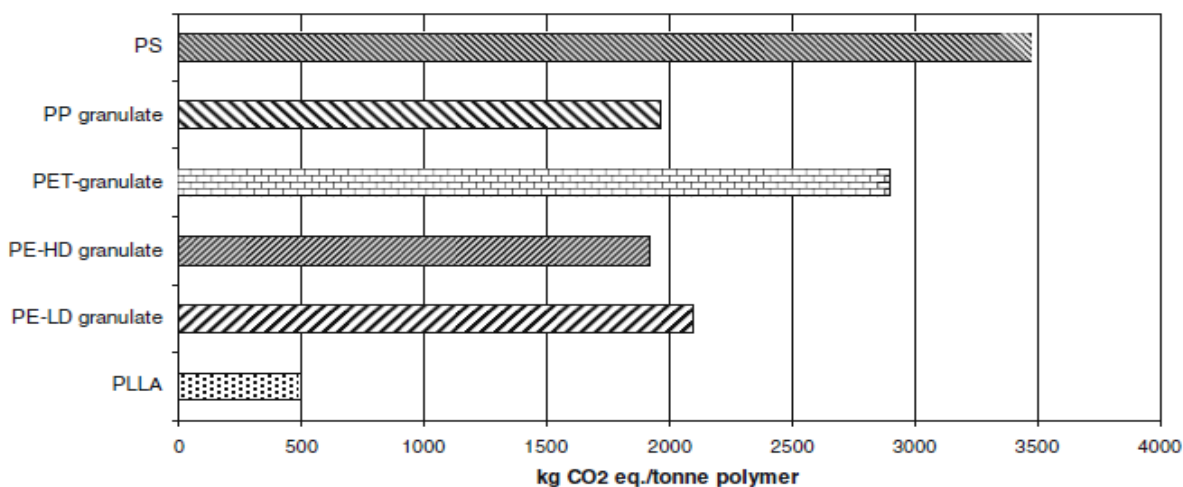


**Σχήμα 3.3: Αποτελέσματα εκτίμησης του κύκλου ζωής για κάθε ένα από τα πολυμερή που μελετήθηκαν από τους Tabonne (2010)**

Αποδείχθηκε πως η παραγωγή βιοπολυμερών έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στο όζον, στην οξύνιση, στον ευτροφισμό, στα καρκινογενή και στην οικοτοξικότητα. Μεγαλύτερη επίδραση στον ευτροφισμό παρουσιάζει το PLA-G, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως ως λίπασμα, ενώ το B-PET επιδρά σημαντικά στην οικοτοξικότητα και στην ανθρώπινη υγεία, ενώ η παραγωγή του PET έχει επίσης σημαντική επίδραση στον ευτροφισμό. Η παραγωγή πολυολεφινών πολυμερών δεν επιδρούν σε καμιά περιβαλλοντική κατηγορία γεγονός που αποδίδεται στην ελάχιστη χημική κατεργασία που απαιτείται για την παραγωγή τους (Tabonne 2010).

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής χρησιμοποιήθηκε για την αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του PLLA, παράγωγο βιοπολυμερές του PLA που παράγεται από σακχαροκάλαμα στην Ταυλάνδη και συγκρίθηκαν με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συμβατικών πολυμερών (Groot and Boren 2010). Αποδείχθηκε ότι το PLLA παρουσιάζει σημαντικά μικρότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ενώ απαιτεί λιγότερη χρήση μη συμβατικών πηγών ενέργειας από τα συμβατικά πολυμερή. Από τα συγκεκριμένα

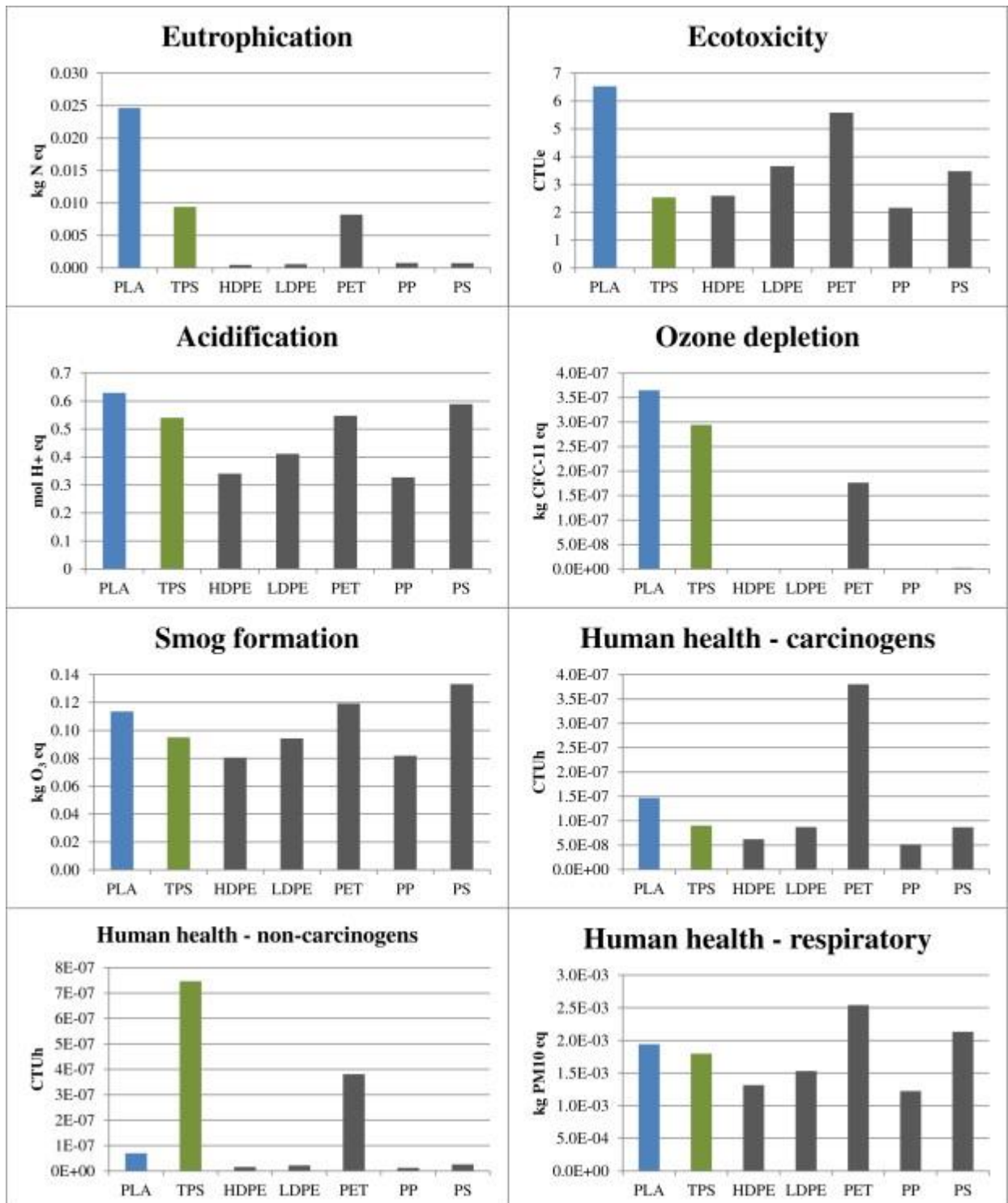
αποτελέσματα προκύπτει ότι τα μίγματα PLLA/PDLA που έχουν μεγάλη θερμική αντίσταση εκπέμπουν επίσης μικρότερες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα συμβατικά πολυμερή που έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά. Το βιοπολυμερές PLA έχει μεγαλύτερη επίδραση στην οξίνιση στη δημιουργία φωτοχημικού όζοντος στον ευτροφισμό και στη χρήση αγροτικής γης συγκριτικά με τα συμβατικά πολυμερή.

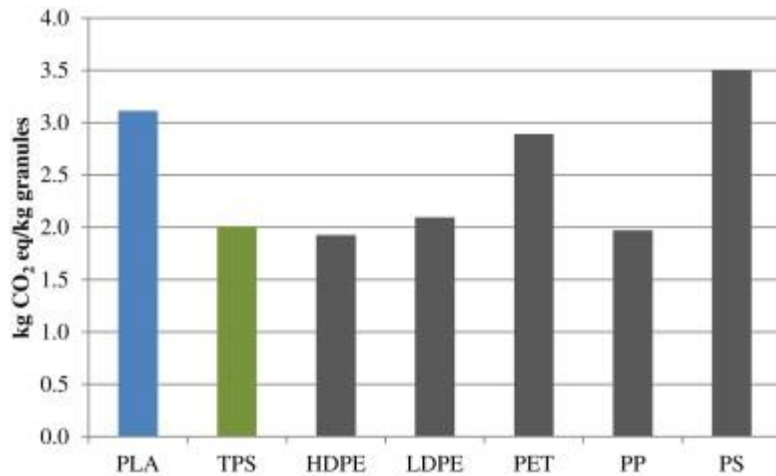


**Σχήμα 3.4: Παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου από την παραγωγή PLLA και άλλων πολυμερών (Groot and Boren 2010).**

Σε πρόσφατη εργασία (Hottle 2013) συγκεντρώθηκαν τα στοιχεία των βάσεων δεδομένων για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των πολυμερών και βιοπολυμερών TRACI 2 και encoivent v.2.2 και απέδωσαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συνηθέστερων από

αυτά.





**Σχήμα 3.5: Εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του PLA και του TPS συγκριτικά με τα συνηθέστερα κοινά πολυμερή (Hottle 2013).**

Από το σχήμα 3.5 είναι εμφανές πως υπάρχουν μικρές διαφορές ανάμεσα στα κοινά πολυμερή και στα βιοπολυμερή ως προς τα αέρια του θερμοκηπίου, ενώ υπάρχουν διαφορές ως προς τις υπόλοιπες περιβαλλοντικές επιδράσεις. Παρατηρείται πως η περιβαλλοντική επίδραση των βιοπολυμερών είναι μεγαλύτερη στον ευτροφισμό, στη μείωση του όζοντος και στην ανθρώπινη υγεία (Hottle 2013).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΝΑΝΟΥΛΙΚΑ

Τις τελευταίες δεκαετίες η νανοτεχνολογία αναπτύχθηκε σε σημαντικό βαθμό έτσι ώστε να θεωρείται η τεχνολογία του μέλλοντος, ενώ αναμένεται η εφαρμογή των νανοϋλικών να αυξηθεί ακόμα περισσότερο σε διάφορους οικονομικούς φορείς (Arnal and Pan 2005).

Ο πιο κοινός ορισμός της νανοτεχνολογίας είναι η ικανότητα να κατασκευάζονται πράγματα στην κλίμακα των ατόμων και των μορίων και να επεκταθούν οι καινοτόμες ιδιότητες αυτής (DTI 2002). Συνήθως η νανοκλίμακα θεωρείται ανάμεσα στα 0.1 και 100 μm. Η νανοτεχνολογία αναμένεται να έχει σημαντικό ρόλο σε πολλούς τομείς εξαιτίας της φύσης της και της διεπιστημονικότητάς της.

Τα νανοϋλικά συνήθως εμφανίζουν διαφορετικές χημικές φυσικές ιδιότητες και βιολογικά χαρακτηριστικά και για αυτό συμπεριφέρονται διαφορετικά σε σχέση με τα υλικά μεγαλύτερων διαστάσεων ακόμα και όταν έχουν την ίδια χημική σύσταση. Τα νανοϋλικά χαρακτηρίζονται από μεγάλη ειδική επιφάνεια ή διεπιφάνεια. Για τα σφαιρικά νανοσωματίδια η ειδική επιφάνεια αυξάνεται αντίστροφα ανάλογα προς την διάμετρο του σωματιδίου. Επιπλέον τα νανοϋλικά παρουσιάζουν εγγενείς ιδιότητες νανοκλίμακας που προκύπτουν από τον περιορισμό των ατόμων και των ηλεκτρονίων εντός ορίων μερικών νανομέτρων. Οι επιδράσεις αυτές εμφανίζονται κυρίως για μεγέθη μερικών δεκάδων νανομέτρων και μπορεί να αλλάξουν τα θεμελιώδη φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του υλικού όπως τις οπτικές τις ηλεκτρικές και τις μαγνητικές του ιδιότητες (Lovestam 2010).

Τα νανοϋλικά που χρησιμοποιούνται ευρέως ως υλικά σε μηχανολογικές εφαρμογές έχουν ευρέως μελετηθεί ως προς την επίδραση τους στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Υπάρχουν διάφορα είδη νανοσωματιδίων τα οποία έχουν μελετηθεί ως προς την οικολογική τοξικότητα τους και έχουν καθοριστεί οι κίνδυνοι και τα πλεονεκτήματά τους. Τα φυσικά νανοσωματίδια που υπάρχουν στο περιβάλλον από την εμφάνιση της γης και οι φυσικές πηγές που μπορεί να εντοπιστούν σε ηφαίστεια, στο νερό, στο έδαφος, και στα ιζήματα παράγονται με διάφορες γεωχημικές και βιολογικές διεργασίες και αποδεικνύεται πως κάποια από αυτά μπορεί να είναι τοξικά (Handry 2008). Γενικά, υπάρχει η άποψη πως οι φυσικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε νανοκλίμακα

επηρεάζονται σημαντικά από την ρύπανση του περιβάλλοντος. Τα τεχνητά παρασκευασμένα νανοσωματίδια παρουσιάζουν παρόμοιες χημικές ιδιότητες με τα συσσωματώματα και τα κολλοειδή που επηρεάζονται από το σχήμα των νανοσωματιδίων το μέγεθος και την επιφάνεια τους.

Η ανυσηχία για τις αρνητικές επιδράσεις των νανοϋλικών στο περιβάλλον είναι εμφανής τις τελευταίες δεκαετίες, δεδομένου ότι η κατανομή των νανουλικών στα διάφορα προϊόντα εγκυμονεί τον κίνδυνο της διασποράς τους στο περιβάλλον σε σημαντικές ποσότητες με απρόβλεπτες συνέπειες. Για την εκτίμηση του κινδύνου της διασποράς νανοσωματιδίων στο περιβάλλον είναι απαραίτητη η θεώρηση τόσο της έκθεσης σε αυτά όσο και των συνεπειών της. Για τα συστατικά που σκόπιμα απελευθερώνονται στο περιβάλλον είναι εφικτή η εκτίμηση της επίδρασης τους στους διάφορους οργανισμούς, ενώ όταν η απελευθέρωση των νανοσωματιδίων στο περιβάλλον γίνεται εκούσια οι επιδράσεις από την έκθεση σε αυτά είναι δύσκολο να προσδιοριστούν (Oberdörster 2007).

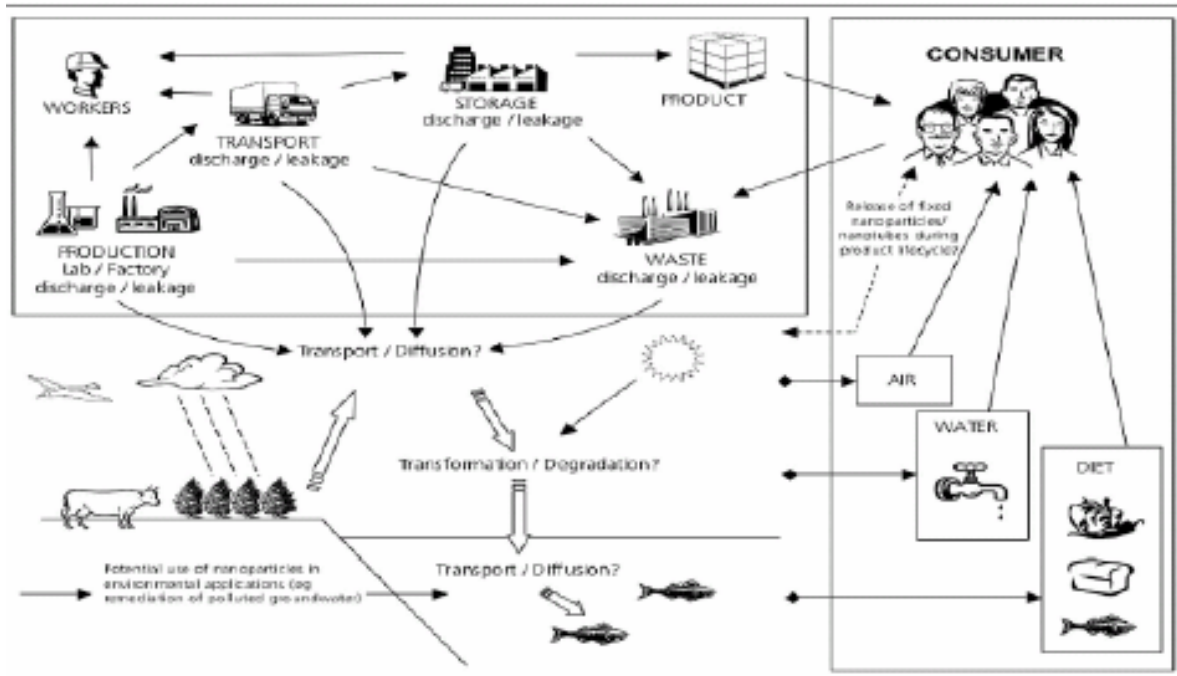
Η εκτίμηση του κύκλου ζωής για τα νανοϋλικά έχει παρουσιαστεί σε διάφορες μελέτες στη διεθνή βιβλιογραφία προκειμένου να εκτιμηθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους και η βιωσιμότητά τους. Μερικά από τα αποτελέσματα που δίνονται στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

#### **4.1 Ο ρόλος της εκτίμησης του κύκλου ζωής στη νανοτεχνολογία**

Το εργαλείο της εκτίμησης του κύκλου ζωής στην νανοτεχνολογία είναι βασικό προκειμένου να είναι εφικτή η εκτίμηση, η ανάλυση, η κατανόηση και η διαχείριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των νανοϋλικών. Επιπλέον το συγκεκριμένο εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση των νανοπροϊόντων με τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής σε όρους περιβαλλοντικής απόδοσης (Klöpffer 2006).

Η νανοτεχνολογία περιλαμβάνει το δυναμικό σχεδιασμό τον χαρακτηρισμό την παραγωγή και την εφαρμογή των κατασκευών, των συσκευών και των συστημάτων που ελέγχουν το μέγεθος και το σχήμα τους σε επίπεδο νανοκλίμακας (The Royal Society 2004). Τα νανοϋλικά μπορεί να αποτελούνται από συσσωματώματα νανοσωματιδίων όπως επίσης και από σύνθετα νανοσωματίδια. Εξαιτίας του μικρού μεγέθους τους και των ιδιοτήτων

τους τα νανοϋλικά χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές στον βιομηχανικό τομέα. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την διάγνωση και την θεραπεία του καρκίνου στην ιατρική αλλά και για υψηλής απόδοσης μπαταρίες με βάση νανοηλεκτρόδια. Στις τηλεπικοινωνίες και στην κατασκευή ενδυμάτων. Εξαιτίας του μεγάλου εύρους εφαρμογών τους έχουν και μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών επιδράσεων αφού εκπέμπονται με διάφορους τρόπους στο περιβάλλον.



**Σχήμα 4.1: Πιθανοί τρόποι έκθεσης του περιβάλλοντος σε νανοσωματίδια (The Royal Society, 2004).**

Γενικά οι νεοαναπτυσσόμενες τεχνολογίες δεν είναι αποτελεσματικές ως προς την εκτίμηση του κύκλου ζωής τους, εξαιτίας της έλλειψης δεδομένων σχετικά με τις εισροές και εκροές του συστήματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η εκτίμηση του κύκλου ζωής να εφαρμόζεται όταν η τεχνολογία έχει ωριμάσει. Η εκτίμηση του κύκλου ζωής όταν εφαρμόζεται στην νανοτεχνολογία και στα νανοϋλικά δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιδράσεων και την αντιμετώπιση των αρνητικών συνεπειών της έκθεσης του περιβάλλοντος σε νανοσωματίδια. Στην περίπτωση της τοξικολογικής επίδρασης η εκτίμηση του κύκλου ζωής μπορεί να προσφέρει επιπρόσθετες

περιβαλλοντικές πληροφορίες που μπορεί να υποστηρίξουν τις αποφάσεις ανάπτυξης συγκεκριμένων νανοϋλικών και νανοπροϊόντων (Klöpffer et al 2006).

Τα νανοϋλικά έχουν πολλά ειδικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο σε πρόσθετα πλεονεκτήματα συγκριτικά με τα παραδοσιακά υλικά όταν χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα τους. Κατά συνέπεια η εκτίμηση των περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά των νανοϋλικών και να τα ενσωματώνει στο σκοπό της διεξαγωγής της εκτίμησης του κύκλου ζωής (Bauer 2007).

Όσον αφορά στα δεδομένα των νανοϋλικών η επιστημονική κοινότητα δεν μπορεί να περιμένει την τέλεια λύση προκειμένου να καθορίσει την εκτίμηση του κύκλου ζωής τους. Για αυτό χρησιμοποιούνται οι μελέτες περιπτώσεων, προκειμένου να μπορέσουν να εξαχθούν τα απαραίτητα δεδομένα που θα βοηθήσουν στην εκτίμηση του κύκλου ζωής τους (Klöpffer 2006).

Στις μεθόδους εκτίμησης των επιδράσεων που συνήθως χρησιμοποιούνται, εκτιμώνται οι εκπομπές νανοσωματιδίων μεγέθους 2.5-10μm, με βάση τη συγκέντρωση μάζας. Η συνεισφορά τους στις διάφορες περιβαλλοντικές επιδράσεις και στην ανθρώπινη υγεία έχουν ποσοτικοποιηθεί αλλά ακόμα δεν έχουν προσδιοριστεί επακριβώς οι παράγοντες που τις επηρεάζουν. Προκειμένου να εκτιμηθούν οι συγκεκριμένοι παράγοντες θα πρέπει να προσδιοριστεί επακριβώς ποια στοιχεία του περιβάλλοντος και ποιοι οργανισμοί επηρεάζονται από τα νανοϋλικά και οι τρόποι προσδιορισμού των απωλειών τους (Klöpffer 2006).

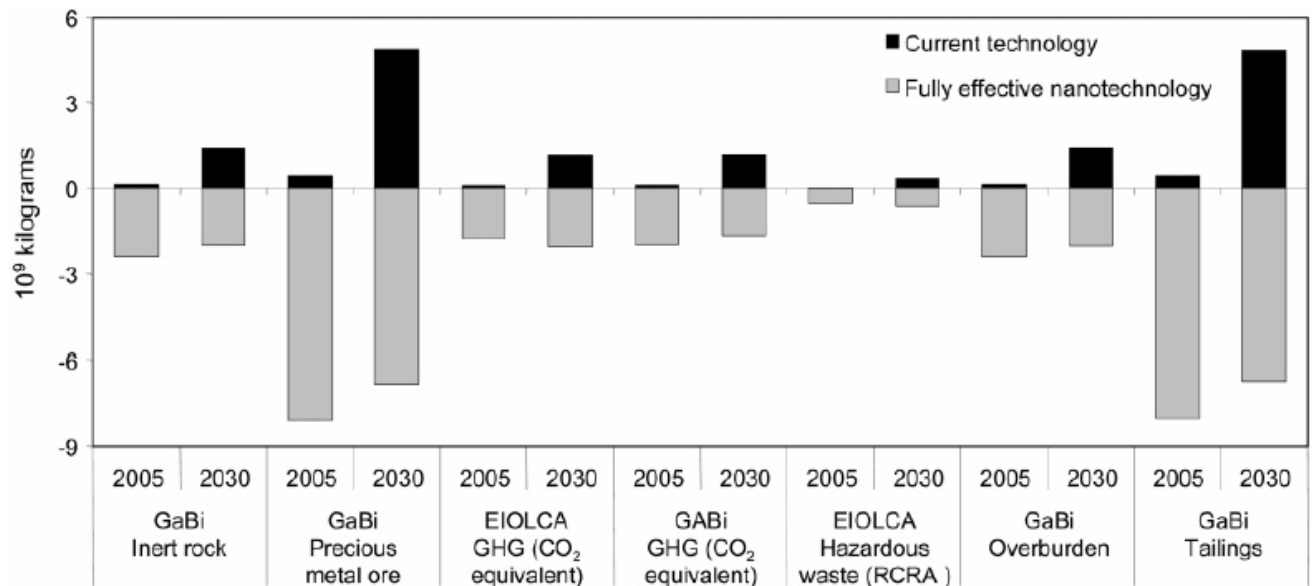
#### **4.2 Εκτίμηση κύκλου ζωής των νανοϋλικών**

Όπως ήδη έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια (ISO 2006), ο κύκλος ζωής καλύπτει την εξαγωγή των ακατέργαστων υλικών την κατασκευή και τη χρήση τους και την φάση του τέλους ζωής τους. Στη βιβλιογραφία όσες αναφορές υπάρχουν για την εκτίμηση του κύκλου ζωής των νανοϋλικών δεν καλύπτονται πλήρως όλα τα στάδια του κύκλου ζωής τους.

Αρκετές από τις αναφορές της βιβλιογραφίας εστιάζουν την μελέτη εκτίμησης του κύκλου ζωής των νανοϋλικών στην ροή ενέργειας και υλικών, ενώ δεν αναφέρονται στην

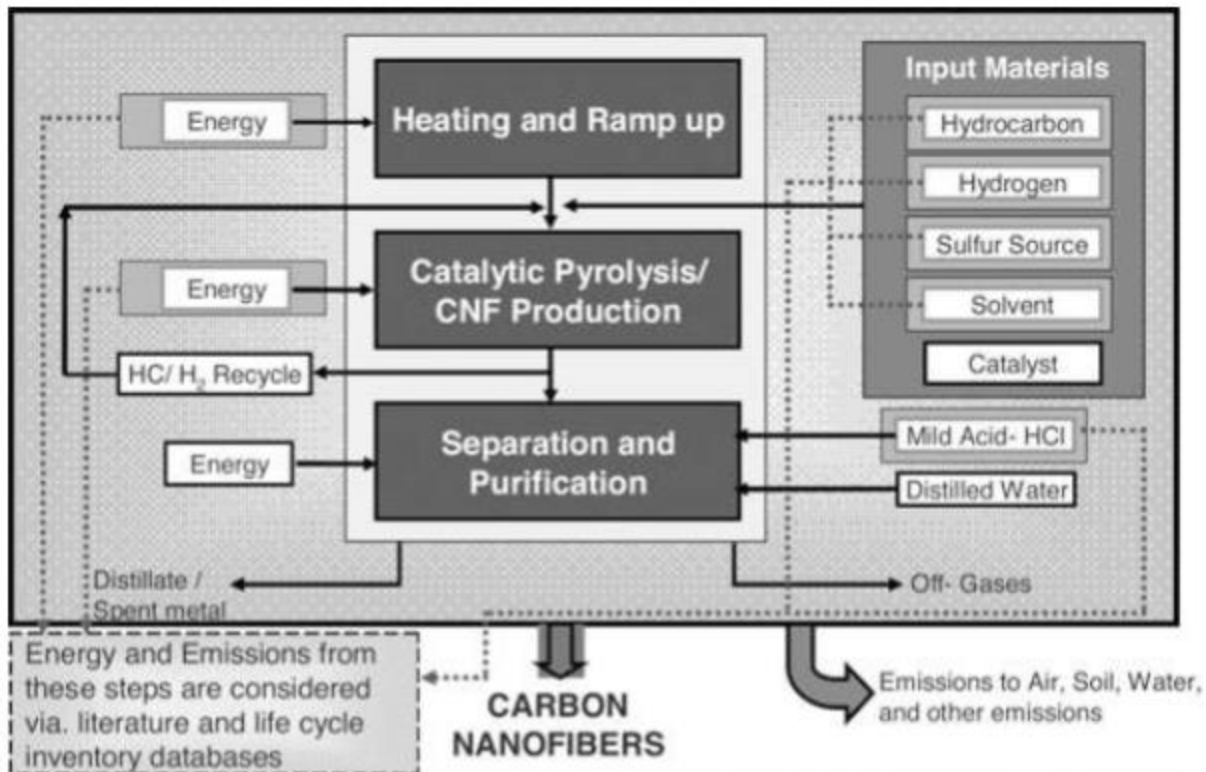
εναπόθεση τους μετά το τέλος ζωής τους, στην μεταφορά τους και στην τοξικότητα τους. Οι περισσότερες καλύπτουν τη φάση κατασκευής και λίγες αναφέρονται στη φάση χρήσης των νανοϋλικών, ενώ αρκετές είναι και οι εργασίες που δεν λαμβάνουν υπόψη το τέλος ζωής τους.

Οι Lloyd (2005) εστιάζουν στην νανοτεχνολογία και στις εφαρμογές της, στην αυτοκινητοβιομηχανία χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους τις φάσεις χρήσης της και του τέλους ζωής των χρησιμοποιούμενων νανοϋλικών. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα τους η χρήση της νανοτεχνολογίας επιτρέπει τη μείωση των ακριβών μετάλλων, όπως ο λευκόχρυσος στο ρολόι του καταλύτη οδηγώντας στο ίδιο τελικό προϊόν.



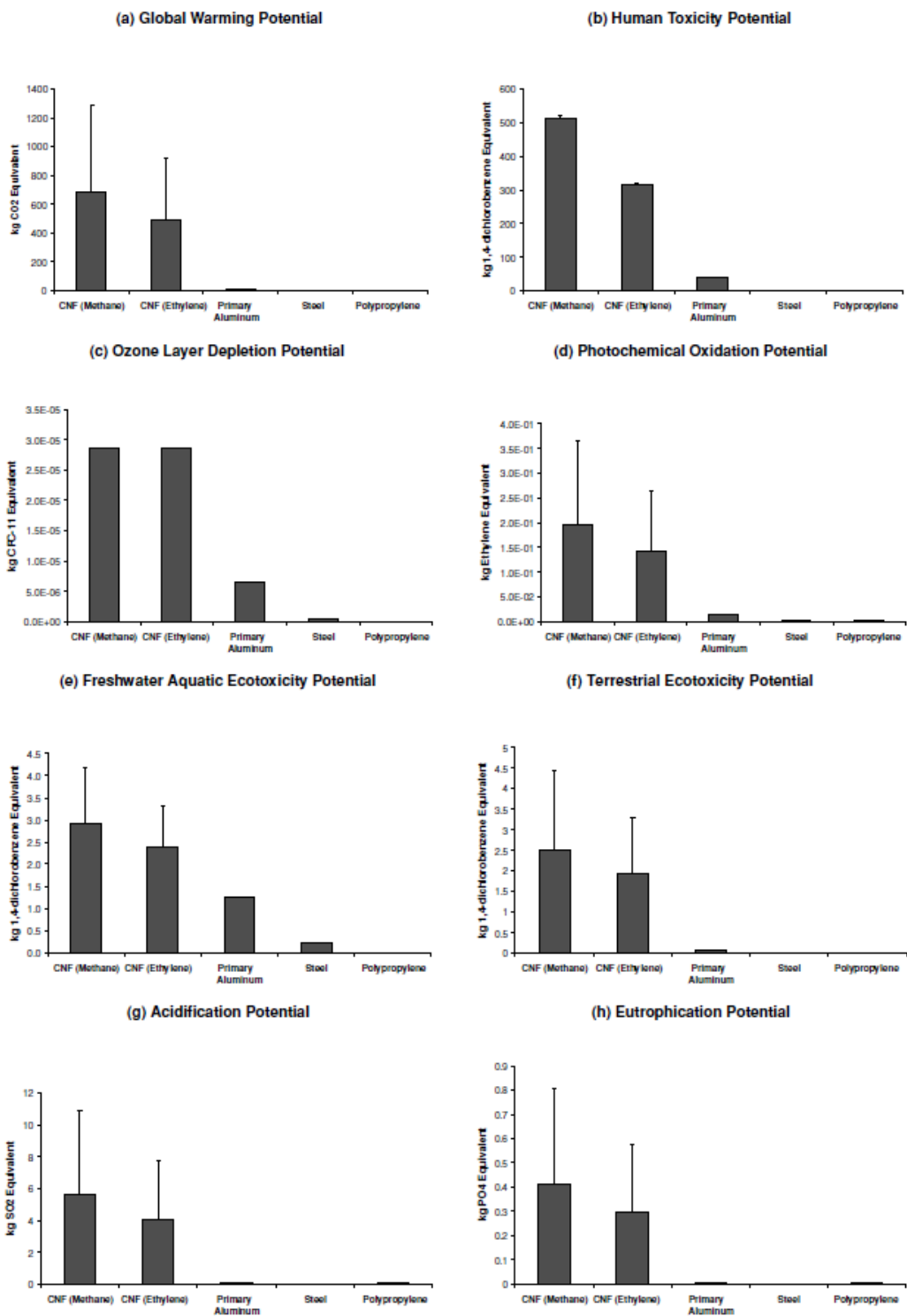
**Σχήμα 4.2: Η μεταβολή των επιδράσεων του κύκλου ζωής από τη μείωση του λευκόχρυσου στους καταλύτες αυτοκινήτων όπως προσδιορίστηκε από τους Lloyd (2005).**

Οι Khana (2008) πραγματοποίησαν την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την χρήση ενέργειας μέσω της εκτίμησης του κύκλου ζωής για την παραγωγή νανοϊνών άνθρακα.



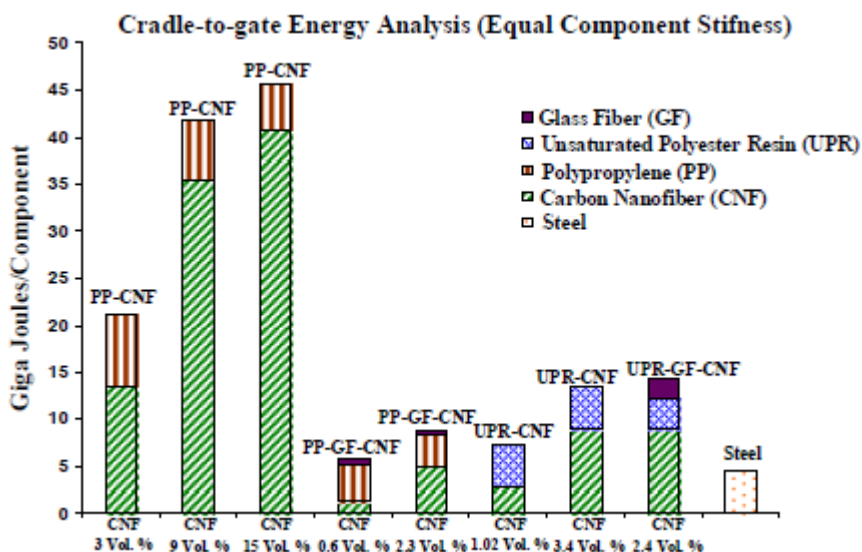
**Σχήμα 4.3:** Τα όρια του συστήματος για την εκτίμηση του κύκλου ζωής νανοϊνών άνθρακα όπως προσδιορίστηκαν από τους Khalla (2008).

Η σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των νανοϊνών άνθρακα με συμβατικά υλικά όπως το αλουμίνιο, το χάλυβα και το πολυπροπυλένιο έδειξε πως οι νανοϊνες άνθρακα παρουσιάζουν μεγαλύτερη περιβαλλοντική επίδραση, ενώ παράλληλα έδειξε και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής για τις νανοϊνες άνθρακα. Οι μεγαλύτεροι χρόνοι ζωής σχετίζονται με μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, που αυξάνει με τη σειρά της την επίδραση του κύκλου ζωής. Επιπλέον αποδείχθηκε πως η επίδραση των νανοϊνών άνθρακα σε διάφορους δείκτες είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά (Khalla 2008).



**Σχήμα 4.4: Αποτελέσματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων νανοϊνών άνθρακα συγκριτικά με άλλα υλικά.**

Σε άλλη εργασία τους οι Khanna (2008) παρουσιάζουν την εκτίμηση του κύκλου ζωής από την σκοπιά της ενέργειας για νανοσύνθετα πολυμερή υλικά που χρησιμοποιούνται ως θερμοπλαστικά και θερμοηλεκτρικές ρητίνες. Επιπλέον, εκτιμήθηκαν οι νανοϊνες άνθρακα και οι συνθετικές νανοϊνες άνθρακα με γυαλί και συγκρίθηκαν με το χάλυβα. Η σύγκριση της εκτίμησης του κύκλου ζωής έδειξε πως τα νανοσύνθετα πολυμερή ενισχυμένα με νανοϊνες άνθρακα είναι σχεδόν δέκα φορές πιο ενεργειακά απαιτητικά σε σχέση με το χάλυβα, με αποτέλεσμα η φάση χρήσης του προϊόντος να είναι πιο απαιτητική αν θεωρηθεί ο κύκλος ζωής του προϊόντος για τα πολυμερή ενισχυμένα προϊόντα. Επιπλέον, αποδείχθηκε πως ο κύκλος ζωής των ενεργειακών απαιτήσεων αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο λόγος φόρτισης των νανοϊνών άνθρακα στο πλέγμα του πολυμερούς.



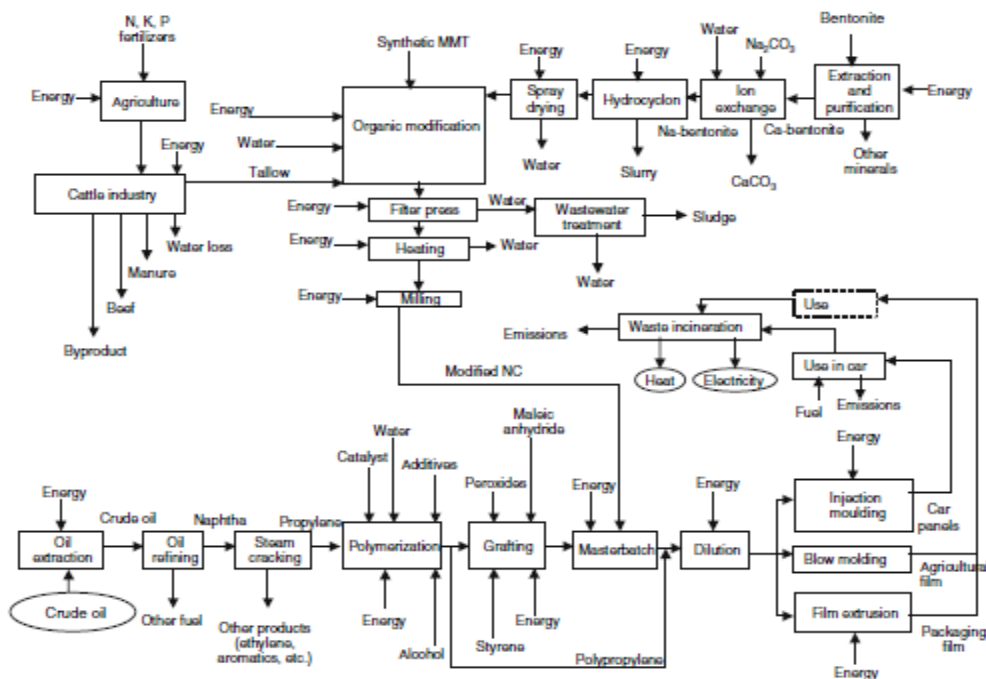
**Σχήμα 4.5: Ανάλυση της εκτίμησης του κύκλου ζωής για διάφορα θερμοπλαστικά συγκριτικά με το χάλυβα (Khanna 2008).**

Η χρήση του πολυπροπυλενίου διαστρωμένου με νανοσύνθετα πυριτίου σε φιλμ συσκευασίας, αγροτικές δραστηριότητες και πλαίσια αυτοκινήτου μελετήθηκε μέσω της εκτίμησης του κόστους και του κύκλου ζωής προσπαθώντας να απαντηθεί το ερώτημα αν οι περιβαλλοντικές επιδράσεις και το κόστος του κύκλου ζωής των νανοσύνθετων προϊόντων είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα των συμβατικών υλικών (Roes 2007). Για



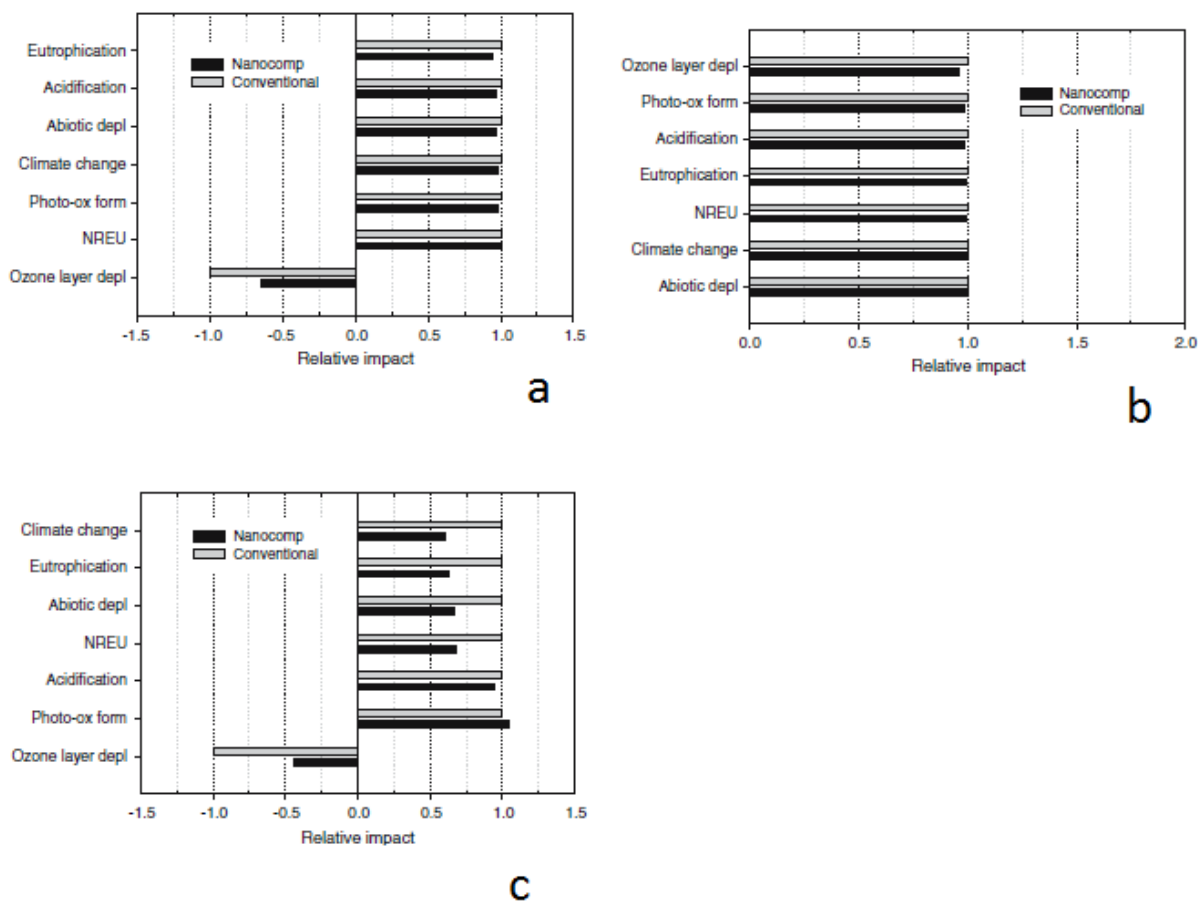
το σκοπό αυτό, μελετήθηκε το πολυπροπυλένιο ως φιλμ συσκευασίας, το καθαρό πολυαιθυλένιο για αγροτικές δραστηριότητες και το ενισχυμένο πολυπροπυλένιο με ίνες γυαλιού στα πλαίσια αυτοκινήτων. Και στις τρεις περιπτώσεις αποδείχθηκε πως η χρήση νανοςύνθετων υλικών πολυπροπυλενίου οδηγεί σε μείωση της ποσότητας του χρησιμοποιούμενου υλικού ενώ διασφαλίζεται η ίδια λειτουργικότητα του.

Ο κύκλος ζωής των νανοςύνθετων υλικών αποτελείται από πέντε βασικά βήματα (Roes 2007): την παρασκευή του νανοορυκτού, την παρασκευή του πολυπροπυλενίου, το στάδιο ανάμιξης/ διύλισης, τη φάση χρήσης και τη φάση επεξεργασίας των αποβλήτων. Στη φάση παρασκευής του νανοορυκτού, το ακατέργαστο ορυκτό εξορύσσεται και υπόκειται σε ιοντική ανταλλαγή για να αντικαταστήσει τα δισθενή ιόντα ασβεστίου με μονοθενή ιόντα νατρίου δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο απόσταση μεταξύ των ορυκτών τμημάτων. Μετά το διαχωρισμό και την ξήρανση πραγματοποιείται ξανά ιοντική ανταλλαγή στην οποία τα ιόντα νατρίου αντικαθίστανται από τετραθενή αλκαλιούχα άλατα αμμωνίου που αυξάνουν την απόσταση μεταξύ των διεπιφανειών περισσότερο. Η αύξηση της απόστασης έχει σημαντικό ρόλο στην σύνθεση των νανοςύνθετων υλικών, αφού διευκολύνει τη διασπορά των νανοορυκτών στο πλέγμα του πολυπροπυλενίου.



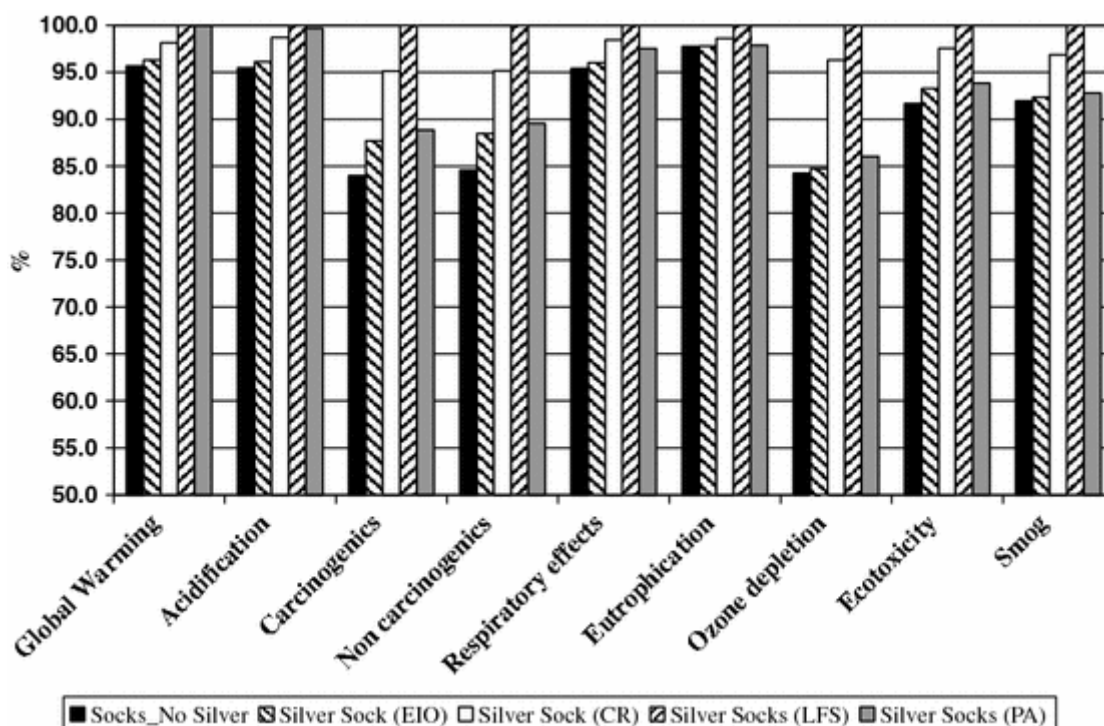
### Σχήμα 4.6: Γραφική απεικόνιση του κύκλου ζωής των νανοσύνθετων υλικών πολυπροπυλενίου (Roes 2007).

Η ανάλυση του κύκλου ζωής των νανοσύνθετων υλικών πολυπροπυλενίου που πραγματοποιήθηκε από τους Roes (2007) έδειξε πως επιδρούν περιβαλλοντικά σε όλους τους δείκτες εκτός από τη μείωση του όζοντος όπου εκεί η επίδραση είναι αρνητική. Ως προς την επίδραση στη μείωση του όζοντος τα συμβατικά προϊόντα είναι περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον.



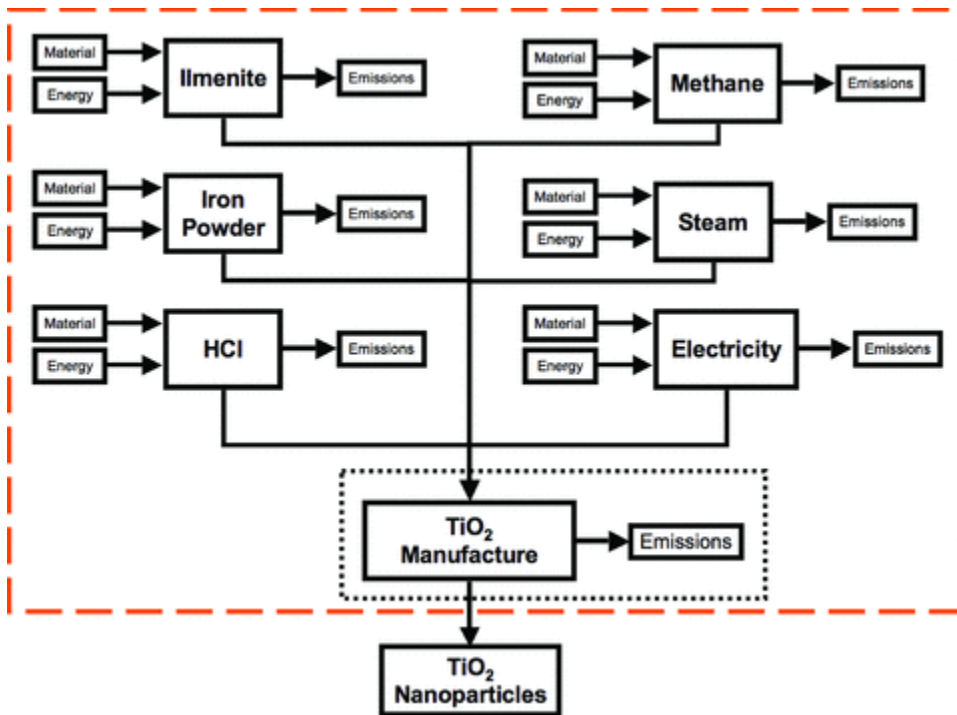
### Σχήμα 4.7: Αποτελέσματα της περιβαλλοντικής βελτίωσης των α)φιλμ συσκευασίας, β) των αγροτικών δραστηριοτήτων γ) των πλαισίων αυτοκινήτων (Roes 2007).

Οι Meyer (2010) πραγματοποίησαν την ανάλυση του κύκλου ζωής σε νανοϋλικά που περιέχουν νανοσωματίδια αργύρου και τη σύγκριναν με παραδοσιακά υλικά που δεν περιέχουν άργυρο προκειμένου να καθορίσουν τα δυνατά θερμά σημεία του κύκλου ζωής τους. Η συγκεκριμένη εκτίμηση του κύκλου ζωής αναφέρεται στον προσδιορισμό των επιπτώσεων από την κατασκευή και τη χρήση ενός ζεύγους βαμβακερών κάλτσων που περιέχουν νανοσωματίδια αργύρου και συγκρίνονται με τις ίδιες κάλτσες που κατασκευάζονται χωρίς να περιέχονται νανοσωματίδια αργύρου. Αποδείχθηκε πως παρά το γεγονός πως έναν νανοσυστατικό περιέχεται σε μικρό ποσοστό στο προϊόν, η επίδραση στον κύκλο ζωής του προϊόντος εξαρτάται από τον τρόπο κατασκευής του νανοσυστατικού. Στη συγκεκριμένη εργασία μελετήθηκαν οι διαδικασίες αέριας και υγρής φάσης για την παρασκευή νανοσωματιδίων αργύρου και αποδείχθηκε ότι οι διαδικασίες αέριας φάσης οδηγούν σε μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιδράσεις. Παρόλα αυτά, η ανάκτηση και η επεξεργασία των υγρών λυμάτων δεν λήφθηκε υπόψη, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τον τρόπο που η υγρή φάση επηρεάζει τον κύκλο ζωής του νανοπροϊόντος.



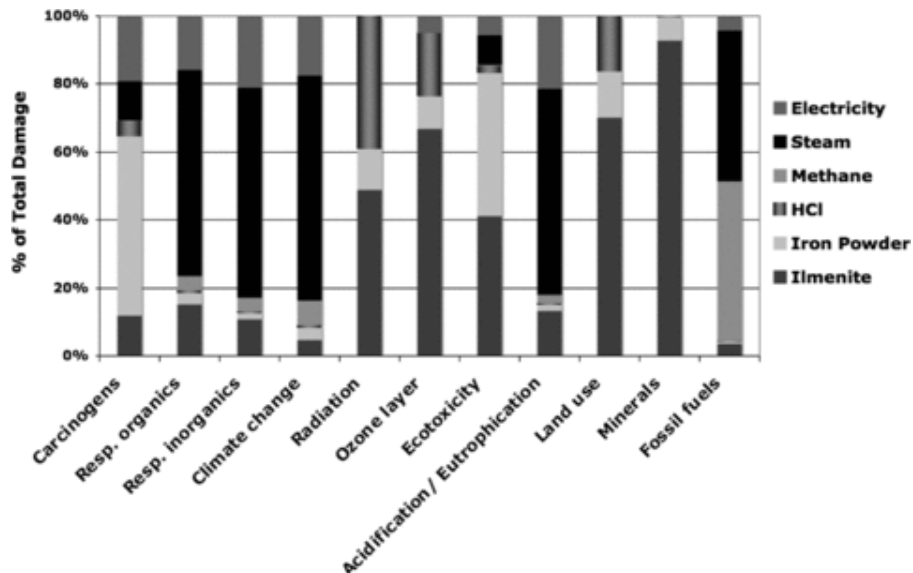
**Σχήμα 4.8 Σύγκριση της επίδρασης για ζευγάρια καλτσών και καλτσών που περιέχουν νανοσωματίδια αργύρου όπως προσδιορίστηκαν από τους Meyer (2010).**

Η επίδραση του κύκλου ζωής στις απώλειες, στις ενεργειακές απαιτήσεις και τις απώλειες ενέργειας υπολογίστηκαν για καινοτόμες διεργασίες παραγωγής νανοσωματιδίων διοξειδίου του τιτανίου από αποθέματα λαμινίτη. Ο κύκλος ζωής των ενεργειακών απαιτήσεων για την παραγωγή αυτών των νανοϋλικών συγκρίθηκαν με τα παραδοσιακά υλικά κατασκευής (Grubb and Bakshi 2012).



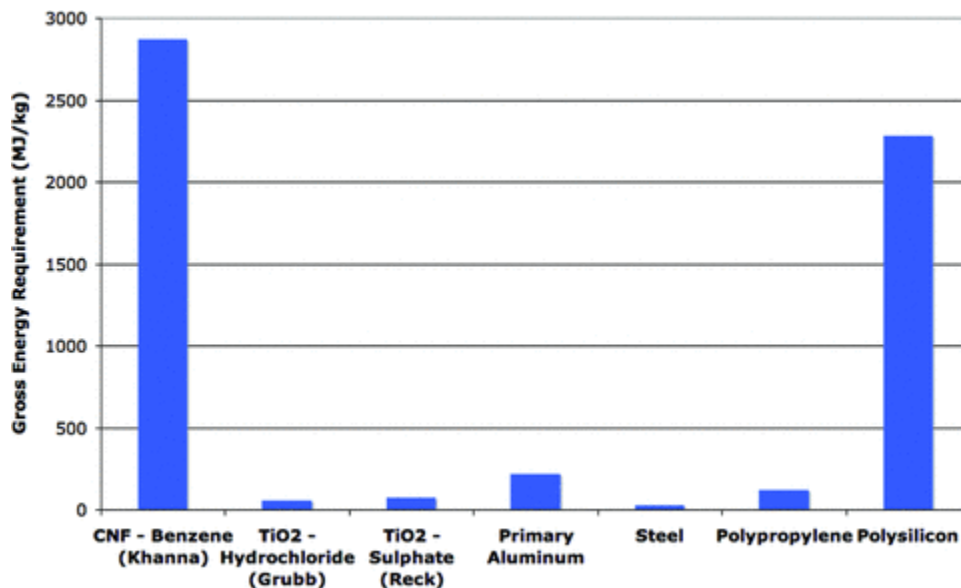
**Σχήμα 4.9: Όρια συστήματος κύκλου ζωής για την Παρασκευή των νανοσωματιδίων διοξειδίου του τιτανίου που χρησιμοποιήθηκε από τους Grubb and Bakshi, (2012).**

Τα αποτελέσματα των Grubb και Bakshi (2012) δείχνουν πως η εξόρυξη του λαμανίτη και η παραγωγή υδρατμών είναι τα στάδια παραγωγής του διοξειδίου του τιτανίου με τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιδράσεις.



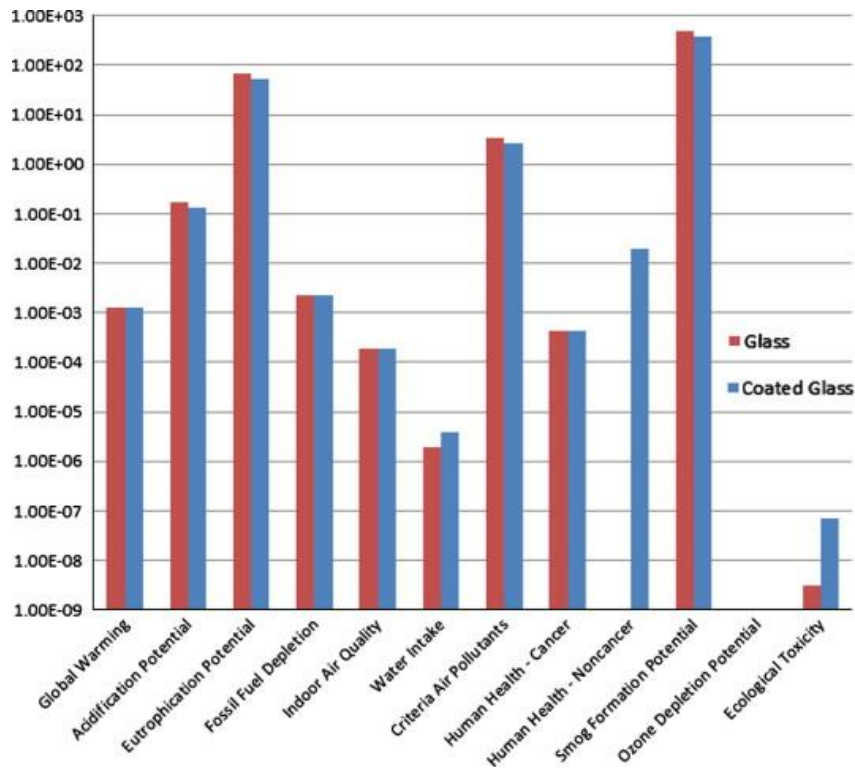
**Σχήμα 4.10: Εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων στην παραγωγή διοξειδίου του τιτανίου (Grubb and Bakshi 2012).**

Η σύγκριση διαφορετικών υλικών ως προς τις ενεργειακές απαιτήσεις της παραγωγής τους, έδειξαν πως το διοξείδιο του τιτανίου απαιτεί μεγαλύτερα ποσά ενέργειας σε σχέση με τα παραδοσιακά κατασκευαστικά υλικά, όπως είναι ο χάλυβας, αλλά μικρότερα από τα συνήθη ναοϋλικά, όπως οι ναοΐνες άνθρακα.



**Σχήμα 4.11 Σύγκριση των απαιτήσεων ενέργειας για διάφορα υλικά  
(Gross and Baskhi 2012)**

Με δεδομένο πως η χρήση του διοξειδίου του τιτανίου ως σκέπαστρο στα κτήρια γνωρίζει ολοένα και μεγαλύτερη απήχηση τις τελευταίες δεκαετίες, οι Babaizadeh και Hassan (2013) πραγματοποίησαν την εκτίμηση του κύκλου ζωής για να εκτιμήσουν το νανομέγεθος του διοξειδίου του τιτανίου όταν αυτό χρησιμοποιείται ως σκέπαστρο στα οικιακά γυάλινα παράθυρα. Η εργασία τους βασίστηκε στην εκτίμηση της ποσοτικοποίησης της ενέργειας και των απωλειών από το σκέπαστρο κατά τη διαδικασία παραγωγής του.



**Σχήμα 4.12 Αποτελέσματα περιβαλλοντικών επιδράσεων για το γυαλί και το διοξείδιο του τιτανίου όπως προσδιορίστηκαν από τους Babaizadeh και Hassan (2013).**

Στην συγκεκριμένη εργασία αποδείχθηκε πως η χρήση του διοξειδίου του τιτανίου στα παράθυρα βελτιώνει την όξυνση, τον ευτροφισμό, τα κριτήρια μόλυνσης του αέρα και το σχηματισμό καπνού. Παρόλα αυτά, επιβαρύνει σημαντικά το περιβάλλον ως προς τα αέρια του θερμοκηπίου, την μείωση των ορυκτών καυσίμων, το εισερχόμενο νερό, την ανθρώπινη υγεία και την οικολογική τοξικότητα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας σχετικά με την ανάλυση του κύκλου ζωής των δομικών υλικών, που χαρακτηρίζονται από το γεγονός πως όχι μόνο απαιτούν ενέργεια, αλλά παράλληλα να παράγουν και απόβλητα (Asif 2007).

Τα βασικά δομικά υλικά όπως το τσιμέντο, ο ασβέστης, ο χάλυβας, το αλουμίνιο και το γυαλί κατά την παρασκευή τους καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας. Η διατήρηση της ενέργειας αυτής σε σταθερά επίπεδα σχετίζεται άμεσα με τον περιορισμό των απωλειών του φαινομένου του θερμοκηπίου και τη μείωση του κόστους των υλικών. Οι Reddy and Jagadish (2003) μελέτησαν την ενσωματωμένη ενέργεια των βασικών δομικών υλικών που χρησιμοποιούνται ως υλικά τοιχοποιίας, κονιάματα και συστήματα δαπέδων / στέγης, καθώς και την καταναλισκόμενη ενέργεια για τη μεταφορά των οικοδομικών υλικών.

Η βασική επιλογή των δομικών υλικών εξαρτάται από τη χρήση του κτηρίου στο οποίο θα χρησιμοποιηθούν το κόστος και τη διαθεσιμότητα τους. Τα δομικά υλικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορες κατηγορίες, όπως πέτρες, σκυρόδεμα, μέταλλα, ξύλο, πλαστικά και κεραμικά υλικά και μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε ένα μεγάλο πλήθος αρχιτεκτονικών εφαρμογών, όπως η διανομή ηλεκτρικών υπηρεσιών, στο φωτισμό, στις τσιμεντόπλακες, στα κεραμίδια, στα δάπεδα, στην τοιχοποιία και στις στέγες, την μηχανική, υδραυλική, ψύξη, τη διανομή αέρα, τη θέρμανση, ψύξη, τις μεταλλικές κατασκευές, τα δομικά μεταλλικά πλαίσια και τις εκσκαφές θεμελιώσεις (Asif 2007).

Το ξύλο το αλουμίνιο, το γυαλί και τα κεραμικά τούβλα συγκρίθηκαν από τους Asif (2007) ως προς το ενεργειακό τους περιεχόμενο και την περιβαλλοντική τους επίδραση και αποδείχθηκε πως όταν χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά ενός σπιτιού το σκυρόδεμα, είναι αυτό που έχει το μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο. Επιπλέον, αποδείχθηκε πως το σκυρόδεμα είναι υπεύθυνο για το 99% του CO<sub>2</sub> που μπορεί να απελευθερωθεί από την κατασκευή ενός κτηρίου.



## 5.1 Ανάλυση κύκλου ζωής του σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα, ως το πλέον χρησιμοποιούμενο δομικό υλικό, θεωρείται πως συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια η εκτίμηση των περιβαλλοντικών του συνεπειών θεωρείται ιδιαίτερης σημασίας (Hutzinger and Eatmon, 2009).

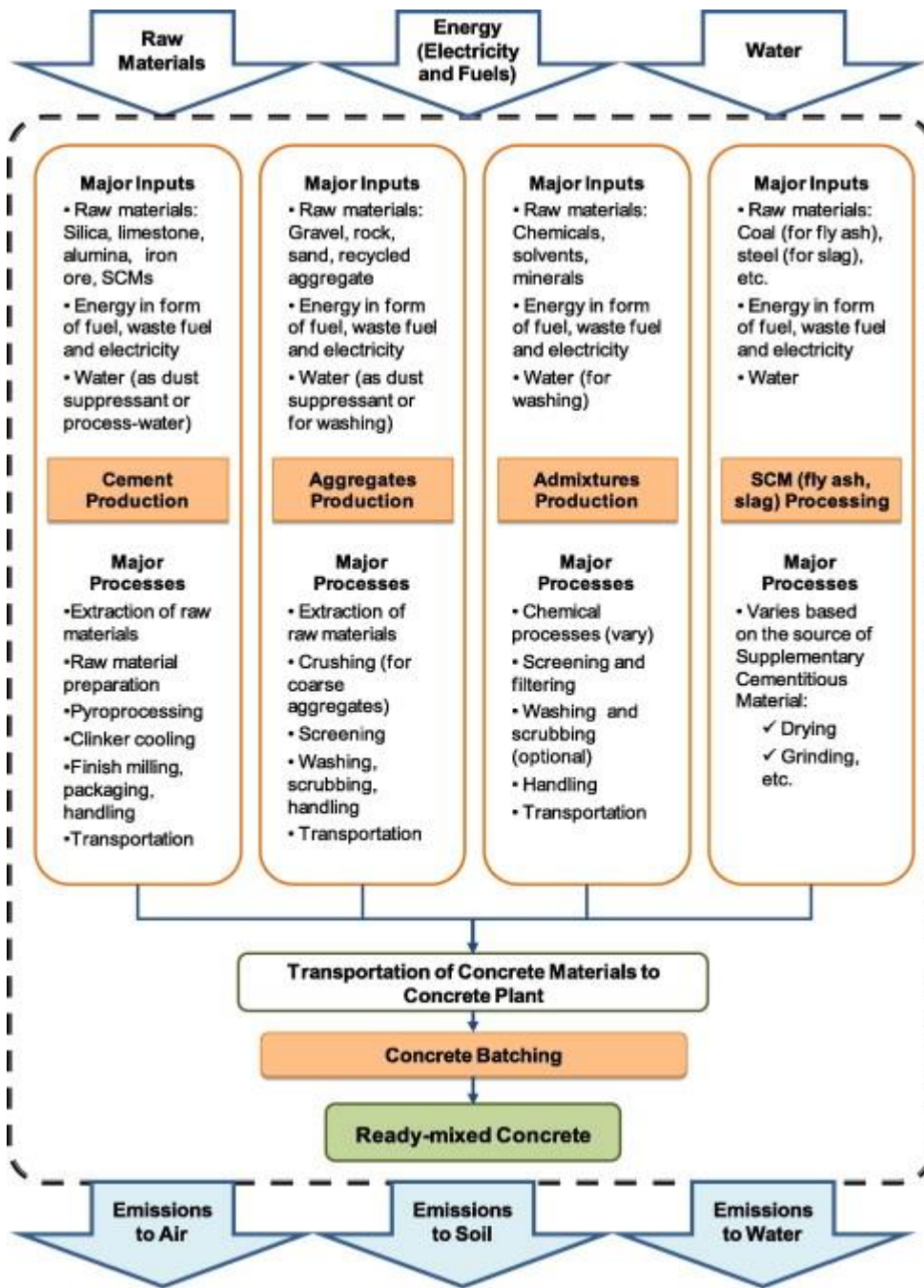
Το σκυρόδεμα, παρά τη συχνή χρήση του, αποτελεί ένα από τα υλικά που επιβαρύνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και για αυτό τις τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιούνται σύνθετα εναλλακτικά υλικά που είναι πιο φιλικά για το περιβάλλον. (Meyer 2009).

Οι Heede and Belie, (2012) πραγματοποίησαν την ανάλυση κύκλου ζωής του σκυροδέματος με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα. Απέδειξαν ότι ο ορισμός του σκοπού και του στόχου η ανάλυση του κύκλου ζωής δίνει χρήσιμα αποτελέσματα. Η διάρκεια ζωής του σκυροδέματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με τα μοντέλα πρόβλεψης. Η επιλογή του σκυροδέματος ως δομικό υλικό βασίζεται στις ιδιότητες της αντοχής του και στη διάρκεια ζωής του. Διαπίστωσαν επιπλέον, πως η ανάλυση του κύκλου ζωής τους έδειξε ότι συγκριτικά με τα υπόλοιπα υλικά το σκυρόδεμα με το μικρότερο ποσοστό σε τσιμέντο είναι προτιμότερο και περισσότερο φιλικό προς το περιβάλλον.

Οι Bribian (2011) πραγματοποίησαν την ανάλυση του κύκλου ζωής του σκυροδέματος προκειμένου να συγκρίνουν τα συνηθέστερα δομικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις κατασκευές με συνηθισμένα οικολογικά υλικά, χρησιμοποιώντας ως μέτρο σύγκρισης τρεις κατηγορίες βελτίωσης, με απώτερο στόχο να καθορίσουν τις ενεργειακές απαιτήσεις των υλικών και να προτείνουν βελτιώσεις και οδηγίες για τη χρήση τους στον οικολογικό σχεδιασμό των κτηρίων. Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε αποδείχτηκε μεγαλύτερη επίδραση της τάξης του 20-30% συγκριτικά με άλλες μελέτες. Στη συγκεκριμένη μελέτη επισημαίνεται η ανάγκη χρήσης των προτύπων για τα διάφορα υλικά στην εκτίμηση του κύκλου ζωής τους προκειμένου να διασφαλίζεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

Οι Gursel (2014) συνόψισαν τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας σχετικά με το σκυρόδεμα και το τσιμέντο ως δομικά υλικά προσπαθώντας να σκιαγραφήσουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της ανάλυσης του κύκλου ζωής για την επιλογή των συγκεκριμένων υλικών. Η συγκεκριμένη εργασία περιορίστηκε στην παραγωγή του τσιμέντου και του σκυροδέματος, άρα χαρακτηρίζεται ως αρχική ανάλυση. Προκειμένου

να πραγματοποιηθεί η περιβαλλοντική εκτίμηση της παραγωγής του σκυροδέματος, λήφθηκαν υπόψη οι κύριες διαδικασίες που πραγματοποιούνται συμπεριλαμβανομένου των ορίων της ανάλυσης των ορίων μεταξύ των διαδικασιών και των απωλειών που σχετίζονται με τη διαδικασία παραγωγής. Οι βασικές υποθέσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία ήταν τρεις. Αρχικά, θεωρήθηκε η έλλειψη της ολιστικής εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που υπάρχει στις αναλύσεις του κύκλου ζωής του σκυροδέματος, που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία γεγονός που καθιστά αδύνατη την συνολική περιβαλλοντική εκτίμηση και την επίδραση στην ανθρώπινη υγεία του σκυροδέματος και των ακατέργαστων υλικών. Κατά δεύτερον, θεωρήθηκε πως δεν υπάρχουν τεχνολογικοί και εθνικοί περιορισμοί στην ανάλυση του κύκλου ζωής θεωρώντας κατά βάση πως το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των δομικών υλικών γενικά, και του σκυροδέματος ειδικότερα, περιορίζεται στην εκάστοτε κατασκευή χωρίς να μπορεί να γενικευτεί. Τέλος, αγνοώντας τα τμήματα της ανάλυσης του κύκλου ζωής των προηγούμενων μελετών, προσδιόρισαν ένα σημαντικό ποσοστό επίδρασης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θεωρείται σταθερό σε οποιαδήποτε ανάλυση.



**Σχήμα 5.1: Τα όρια της ανάλυσης του κύκλου ζωής του σκυροδέματος όπως προσδιορίστηκαν από τους Gursel (2014).**

Σε πρόσφατη εργασία τους οι Turk (2015) χρησιμοποίησαν την μέθοδο ανάλυσης του κύκλου ζωής για την ανάλυση των βασικών ιδιοτήτων μιγμάτων σκυροδέματος και τη σύγκριση τους με το συμβατικό σκυρόδεμα. Τα εναλλακτικά μίγματα σκυροδέματος

κατασκευάστηκαν από τρία διαφορετικά είδη βιομηχανικών παραπροϊόντων ή από συσσωματώματα που έχουν ανακυκλωθεί και προκύπτουν ως απόβλητα του ανακυκλωμένου σκυροδέματος. Τα μίγματα που εξετάστηκαν θεωρούνται ιδανικά υποκατάστατα του τσιμέντου και θεωρείται πως είναι περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εργασίας βρίσκονται σε συμφωνία με τα περισσότερα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας, σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιδράσεις των εναλλακτικών σκυροδεμάτων. Η περιβαλλοντική επίδραση του ανακυκλωμένου σκυροδέματος αποδείχθηκε ότι μειώνεται σημαντικά σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα και παρατηρείται ότι τα φυσικά συσσωματώματα αντικαθίστανται σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με το τι συμβαίνει όταν χρησιμοποιείται το συμβατικό σκυρόδεμα.

## **5.2 Ανάλυση του κύκλου ζωής του χάλυβα**

Ο χάλυβας επίσης αποτελεί σημαντικό δομικό υλικό για τα κτήρια. Τα χαλύβδινα πλαίσια σε σχέση με τις περιβαλλοντικές τους επιδράσεις μελετήθηκαν επίσης από τους Johnsonn (1997) μέσω της ανάλυσης του κύκλου ζωής και συγκρίθηκαν με τις επιπτώσεις των πλαισίων από σκυρόδεμα.

Η ανάλυση του κύκλου ζωής του χάλυβα ως δομικού υλικού στην Πολωνία κατά τη φάση της παραγωγής μελετήθηκε από τον Bouchart-Korol (2013). Στη συγκεκριμένη εργασία καθορίστηκαν οι βασικές πηγές περιβαλλοντικών επιδράσεων και προτάθηκαν τρόποι αντιμετώπισης της ρύπανσης που προκαλείται από την παραγωγή του χάλυβα. Η ανάλυση του κύκλου ζωής πραγματοποιήθηκε σε επίπεδο Πολωνίας και η περιβαλλοντική επίδραση μελετήθηκε σε επίπεδο παραγωγής του. Αποδείχθηκε ότι η πιο σοβαρή περιβαλλοντική επίδραση αφορά στην ανθρώπινη υγεία και σχετίζεται με την παραγωγή του χάλυβα και την κατανάλωση του άνθρακα στο φούρνο και την κατανάλωση του ορυκτού σιδήρου σε μονάδα σύντηξης. Κατά την παραγωγή του χάλυβα ο φούρνος είναι ο πιο ενεργειακά απαιτητικός, ενώ επειδή για τη λειτουργία του απαιτεί ορυκτά καύσιμα έχει και τη μεγαλύτερη επίδραση στο περιβάλλον. Οι πηγές καύσης κατά το στάδιο παραγωγής του χάλυβα είναι αυτές που ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ σημαντική επίδραση παρουσιάζει και η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά την παραγωγή του χάλυβα.

### 5.3 Ανάλυση του κύκλου ζωής του ξύλου

Το ξύλο είναι ένα δομικό υλικό δοκιμασμένο από αιώνες. Το συμπαγές ξύλο είναι το δομικό υλικό που προτιμάται περισσότερο για κατασκευή κατοικιών και αγροτικών κτηρίων, ως επίσης για ικριώματα και ξυλότυπους.

Σύμφωνα με τον Gerhard Werner (1991), σήμερα οι ξύλινες κατασκευές είναι μια τεχνολογική εξέλιξη που απαντάται από την άμεση χρήση των ορθογωνικών διατομών στις πολλαπλές μορφές φερόντων οργανισμών από πλήρεις τοίχους, πλαίσια και ειδικές κατασκευές.

Η αξιότητα των ξύλινων κατασκευών οφείλεται στην εντατική έρευνα και εξελικτική εργασία. Έχει δε με τη σύγχρονη κοπή ανοίξει ξύλινες κατασκευές ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής στην περιοχή των φερόντων οργανισμών υπόστεγων και στεγών για βιομηχανικά συγκροτήματα, αθλητικές εγκαταστάσεις, χώρους συγκεντρώσεως, εκθεσιακά κέντρα, εμπορικά κέντρα, εκκλησίες, σχολεία, πύργους καθώς και γέφυρες.

Το συγκολλητά συνδεδεμένο ξύλο διακρίνεται από υψηλή αντοχή σε ανάλογα λιγοστό βάρος. Σε σύγκριση με άλλα δομικά υλικά, προ πάντων του χάλυβα, το ξύλο διαθέτει μια αξιοσημείωτη ικανότητα σε οξέα και άλατα. Γι' αυτό φέροντες οργανισμοί από ξύλο χρησιμοποιούνται συχνά στη χημική βιομηχανία.

Για τα μέρη της κατασκευής από BSH πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα η μεγάλη διάρκεια πυραντίστασης, η οποία παρά την ικανότητα καύσης του υλικού, είναι μεγαλύτερη από αυτή των απροστάτευτων σιδηρών κατασκευών.

Οι Jonsson (1997) χρησιμοποίησαν την ανάλυση του κύκλου ζωής για τη σύγκριση τριών διαφορετικών δομικών υλικών δαπέδων και συγκεκριμένα το λινέλαιο, το βινύλιο, και το μασίφ ξύλο και τα σύγκριναν μεταξύ τους προσπαθώντας να διαμορφώσουν ένα ευρύτερο πλαίσιο για την ανάλυση του κύκλου ζωής των δομικών υλικών. Στη συγκεκριμένη εργασία αποδείχθηκε ότι το μασίφ ξύλο αποτελεί περιβαλλοντικά την πιο προσιτή λύση για χρήση στα δάπεδα των κτηρίων. Η ανάλυση του κύκλου ζωής απέδειξε πως η περιβαλλοντική αξία των υλικών που επιλέγονται για δάπεδα εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη διάρκεια ζωής του υλικού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής των υλικών αποτελεί ένα εργαλείο που προσδιορίζει τις συνολικές επιδράσεις ενός προϊόντος μιας διαδικασίας ή μιας ανθρώπινης δραστηριότητας σε όλο το εύρος της παραγωγής ενός προϊόντος, από τη λήψη του ακατέργαστου υλικού έως την παραγωγή και τη χρήση του. Αυτός είναι και ο λόγος που η εκτίμηση του κύκλου ζωής θεωρείται ως μοναδικό εργαλείο για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και δίνει τη δυνατότητα λήψης αποφάσεων στους αρμόδιους διευθυντές των επιχειρήσεων. Αν δεν χρησιμοποιηθεί η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι πιθανή η εστίαση σε περιβαλλοντικά ζητήματα μικρής σημασίας και ο αποπροσανατολισμός από ζητήματα σημαντικά.

Όπως όλα τα συστήματα διαχείρισης αποφάσεων, η εκτίμηση του κύκλου ζωής έχει και περιορισμούς εκτός από πλεονεκτήματα. Παρά το γεγονός πως η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι μια πιστοποιημένη κατά ISO διαδικασία και κατά συνέπεια είναι προκαθορισμένες οι γενικές αρχές εκτίμησης, δεν μπορεί πάντα να χρησιμοποιηθεί μεμονωμένα. Για αυτό και πολλές φορές χρησιμοποιείται συνδυαστικά με άλλα εργαλεία όπως την εκτίμηση κινδύνων και την εκτίμηση κόστους.

Στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης του κύκλου ζωής και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διαφόρων κατηγοριών υλικών.

Τα μέταλλα αποτελούν μια μεγάλη κατηγορία υλικών που η εκτίμηση του κύκλου ζωής τους έχει ευρέως μελετηθεί λόγω του πλήθους των εφαρμογών στις οποίες χρησιμοποιούνται. Η παραγωγή των μετάλλων είναι αυτή που έχει τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική επίδραση και επηρεάζεται κυρίως από τα αποθέματα μεταλλευμάτων.

Τα ζητήματα της εκτίμησης του κύκλου ζωής καθορίζουν τις προτεραιότητες ως προς την εκτίμηση του κινδύνου των χρησιμοποιούμενων υλικών και την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιδράσεων που προκύπτουν από τη χρήση τους. Επιπλέον ο προσδιορισμός του κύκλου ζωής αναδεικνύει τα σημεία εκείνα που μπορεί να θεωρηθούν από τους ειδικούς για την ανάλυση των τοξικών επιδράσεων των νανοϋλικών. Στα περισσότερα νανοπροϊόντα τα νανοϋλικά που χρησιμοποιούνται εξετάζονται ως προς την

αποφυγή των συσσωματώσεων και την σταθεροποίηση τους στο πλέγμα των προϊόντων. Επιπλέον συνήθως τα νανοπροϊόντα δεν περιέχουν μια ομοιόμορφη ομάδα νανοϋλικών. Συχνά τα χρησιμοποιούμενα νανοϋλικά που χρησιμοποιούνται διαφέρουν ως προς το μέγεθος το σχήμα και τις ιδιότητες τους με αποτέλεσμα να έχουν και διαφορετικές επιδράσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία.

Θεωρώντας τον κύκλο ζωής των διαφόρων υλικών μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τις εκπομπές σε διάφορα σημεία του κύκλου παραγωγής τους. Η εφαρμογή της εκτίμησης του κύκλου ζωής μπορεί να αποδώσει πλεονεκτήματα ως προς την βιωσιμότητα των υλικών τις ενεργειακές απαιτήσεις τους την παραγωγή παραπροϊόντων και κατά συνέπεια η περιβαλλοντική τους βιωσιμότητα.

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι διαφορετική από την εκτίμηση κινδύνων και σχετίζονται και οι δύο με την εκτίμηση της αβεβαιότητας της περιβαλλοντικής επίδρασης των υλικών και της επίδρασης τους στην ανθρώπινη υγεία. Η αλληλοσυμπλήρωση των δύο εκτιμήσεων μπορεί συνδυαστικά να λειτουργήσει για την αποτελεσματικότερη εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των υλικών.

## Βιβλιογραφία

Achillas D.S., Roupakias C., Megalokonomos P., Lappas A.A., Antonakou E.V., Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP) J. Hazard. Mater. 149 (2007) 536

Anex, R., Lifset, R., 2016. Life Cycle Assessment Different Models for Different Purposes, Editorial in Journal of Industrial Ecology, 18, 321-323.

APME. 2004. Good practices guide on waste plastics recycling: A guide by and for local and regional authorities. Brussels, Belgium: APME. <http://www.ampe.org>

Arnall A., Parr D. 2005. Moving the nanoscience and technology (NST) debate forwards: short-term impacts, long-term uncertainty and the social constitution Tech Soc, 27 23-38

Asif, M.; Muneer, T.; Kelley, R. 2007. Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. Build Environ., 42, 1391-1394.

Brander M., Tipper, R., Hutchison, C., Davis, G., 2008. Technical Paper | Consequential and Attributional Approaches to LCA: a Guide to Policy Makers with Specific Reference to Greenhouse Gas LCA of Biofuels, <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:oKsnhmTNm8J:https://ecometrica.com/white-papers/consequential-and-attributional-approaches-to-lca-a-guide-to-policy-makers-with-specific-reference-to-greenhouse-gas-lca-of-biofuels+&cd=1&hl=el&ct=clnk&gl=gr&client=firefox-b-ab>

Bauer C., Buchgeister J., Hirschier R., Poganietz W., R. Schebek, L., Warsen J., 2007. Environmental prospects in products — a framework for life cycle thinking on nano scales J Clean Prod, 16 910-926

Bribian, IZ., Capilla, A.V., Uson, A.A., 2011. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential, Building and Environment 46, pp.1133-1140.

Burchart-Korol, D 2013. Life cycle assessment of steel production in Poland: a case study, Journal of Cleaner Production, 54, 235-243



Cyras.P., Manfredi L.B., Ton-That M.-T., Vázquez A. 2008.Physical and mechanical properties of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposite films Carbohydrate Polymers, 73 55-6

Davidson, A.J., Binks, S.P., Gediga, J., 2016. Lead industry life cycle studies: environmental impact and life cycle assessment of lead battery and architectural sheet production, The International Journal of Life Cycle Assessment, 11, 1624-1636.

DTI 2002. New dimensions for manufacturing: UK strategy for nanotechnology. Report of the UK advisory group on nanotechnology applications <https://www.nanowerk.com/nanotechnology-report.php?reportid=21>

Finnveden G, Hauschild MZ, Ekvall T, Guine´ e J, Heijungs R, Hellweg S, Koehler A, Pennington D, Suh S 2009: Recent developments in Life Cycle Assessment. J Environ Management, 91 1-21.

Fischer-Kowalski, M.; Huttler, W. 1999 Society's metabolism: The intellectual history of materials flow analysis, part II, 1970- 1998. J. Ind. Ecol., 2, 107–136.

Gerngross T.U., 2000. How green are green plastics? Scientific American, 283 ,36-41

Graedel TE, Barr R, Chandler C, Chase T, Choi J, Christoffersen, L., Friedlander, E., Henly, C., Jun, C., Nassal, T.S., Schechner, D., Warren, S., Yang, M., Zhu, C. 2012 Methodology of Metal Criticality Determination. Environ Sci Technol 46, 1063–1070

Groot W.J., Boren, T., 2010. Life cycle assessment of the manufacture of lactide and PLA biopolymers from sugarcane in Thailand, Int J Life Cycle Assess, 15, 970-984

Grubb, G.F., Bakshi, B.R., 2012 Life Cycle of Titanium Dioxide Nanoparticle Production Impact of Emissions and Use of Resources, J. Ind Ecology, 15, 81-95

Gursel, A.P., Masanet, E., Hovarth, A., Stabel, A., 2014. Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review Cement and Concrete Composites, 51, 38-48

Handry RD., Owen R., Valsami-Jones, E., 2008. The ecotoxicology of nanoparticles and nanomaterials: current status, knowledge gaps, challenges, and future needs. Ecotoxicology, 17, 315-325.

Van de Heede, P. and de Belie N., 2012. Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and 'green' concretes: Literature review and theoretical calculations Cement and Concrete Composites, 34, pp.431-442.

Humphreys, K., Mahassenan, M 2002. Toward a sustainable cement industry. Substudy 8: climate change [https://www.wbcscement.org/pdf/battelle/final\\_report8.pdf](https://www.wbcscement.org/pdf/battelle/final_report8.pdf).

Huntzinger, D.N., Eatmon, T.D., 2009 A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies, J. Clean Prod. 17, pp.668-675

Hopewell J, Dvorak R, Kosior E.2009. Plastics recycling: challenges and opportunities., Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 364, 2115-2126

JRC 2010 Analysis of existing environmental impact assessment methodologies used in the Life Cycle Assessment, ILCD Handbook First Edition

Johnson, A. Tillman, A.M., Svensson, T., 1997. Life cycle assessment of flooring materials Case study, Building and Environment 32, 3, pp. 245-255.

ISO 2006: Environmental Management — Life Cycle Assessment —Requirements and Guidelines. Geneva, Switzerland: International Standards Organization. ISO 14044

ISO 2006a: Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework. Geneva, Switzerland: International Standards Organization ISO 14040;.

Khanna V., Bakshi, B.R., Lee L.J., 2008. Carbon Nanofiber Production Life Cycle Energy Consumption and Environmental Impact Journal of Industrial ecology 12, 394-410

Khanna, V., Bhaksi, R., Lee J.J., 2008a. Assessing Life Cycle Environmental Implications of Polymer Nanocomposites, IEEE Int Symp Electron Environ 1–6

Kleijn R, van der Voet E, Kramer GJ, van Oers L, van der Giesen C 2011. Metal requirements of low-carbon power generation. Energy 36:, 5640–5648.

Klöpffer W., Curran M.A., Frankl P., Heijungs R., Köhler A., Olsen S.I., 2006. Nanotechnology and Life Cycle Assessment. A Systems Approach to Nanotechnology

and the Environment. Synthesis of Results obtained at a Workshop. Nanotechnology and Life Cycle Assessment Workshop Woodrow Wilson International Center for Scholars, Washington, DC

Landis A.E., Miller S.A., 2007 Theis T.L Life cycle of the corn–soybean agroecosystem for biobased production Environmental Science & Technology, 41. 1457-1464

Lövestam, G., Rauscher, H., Roebben, G., Klüttgen, B.S., Gibson, N., Putaud, J., P., Starm, H., 2010. Considerations on a Definition of Nanomaterial for Regulatory Purposes, JRC Conference Report

.Meyer D.E., Curran, M.A., Gonzalez, M.A., 2010. An examination of silver nanoparticles in socks using screening-level life cycle assessment, Journal of Nanoparticle Research, 13, 147-156.

Mundt, K.A., 2006. An examination of the Environmental Protection Agency risk assessment principles and practices: a brief commentary on section 4.1.3 of the EPA March 2004 Staff Paper, Human and Experimental Technology, 25, 19-21.

Munoz, I., Rieradevall, J., Domènech, X., Gazulla, C., 2006. Using LCA to Assess Eco-design in the Automotive Sector Case Study of a Polyolefinic Door Panel, Int J LCA 11, 323-334

National Research Council 2008 Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy (National Academies Press, Washington)

Norgate T.E. , Jahanshahi S., Rankin W.J, 2007. Assessing the environmental impact of metal production processes, Journal of Cleaner Production, 15, 838-848.

Norgate T, Jahanshahi S 2010. Low grade ores – Smelt, leach or concentrate? Miner Eng 23, 65–73

Nuss, P., Eckelman, M.J. 2014. Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis, PLOS one,

Oberdörster G., Stone V., Donaldson K., 2007. Toxicology of nanoparticles: a historical perspective Nanotoxicology, 1 2-25

Panda A.k., Singh R.K., Mishra D.K.,2010. Thermolysis of waste plastics to liquid fuel: A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products- -A world prospective *Renew. Sustain.Energy Rev.* 14 , 233.

Patel M., von Thienen, N., Jochem, E, Worell, E. 1999. A life cycle assessment of mechanical and feedstock recycling options for management, *Environmental Progress*, 11, 137-154.

Petersen, K., Nielsen, V., Lawther, M., Olsen, M.B., Nilsson, N.H., Mortensen, G.,1999. Potential of biobased materials for food packaging, *Trends in Food Science & Technology*, 10, 52-68

Perugini, F., Mastellona, M.L., Arena, U, 2005. A Life Cycle Assessment of Mechanical and Feedstock Recycling Options for Management of Plastic Packaging Wastes, *Environmental Progress*, 24, 137-154

Philip S., Keshavarz T., Roy I., 2007. Polyhydroxyalkanoates: biodegradable polymers with a range of applications *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 82 233-247

Reck BK, Rotter VS 2012. Comparing growth rates of nickel and stainless steel use in the early 2000s. *J Ind Ecol* 16:518–528

Reddy B.V.V, Jagadish, K.S., 2003. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies *Energy and Buildings* 35, pp.129-137

Ross S., Evans D.,2003. The environmental effect of resulting and recycling a plastic based packaging system, *Journal of cleaner production* 11 561-571

Santero, N., Hendry, J., (2016) Harmonization of LCA methodologies for the metal and mining industry, *Int J Life Cycle Assess*, 21, 1543-1553

Socolow R, Thomas V 1997. The industrial ecology of lead and electric vehicles. *J Ind Ecol* 1:13–36.

Sorrentino A., Gorrasi G., Vittoria V.2007. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications *Trends in Food Science & Technology*, 18. 84-95

Tabonne, M., Cregg, J.J., Beckman, E.J., Landis, A.E., 2010. Sustainability metrics: Life cycle assessment and green design in polymers, *Env. Sci Technol.* 44 8264-8269.

The Royal Society & Royal Academy of Engineering 2004: Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties. [www.nanotec.org.uk/finalReport.htm](http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm)

Turk J. Cotiz, Z., Miladenovic, A., Saina, A., 2015. Environmental evaluation of green concretes versus conventional concrete by means of LCA. *Waste Management* 45, 194-205

UNEP 2010 Metal Stocks in Society, Scientific Synthesis, <http://www.resourcepanel.org/file/387/download?token=XhxT85ju>.

UNEP 2013. Environmental Risks and Challenges of Anthropogenic Metals Flows and Cycles, <http://www.resourcepanel.org/reports/environmental-risks-and-challenges-anthropogenic-metals-flows-and-cycles>

Verhoef EV, Dijkema GPJ, Reuter MA 2004 Process Knowledge, System Dynamics, and Metal Ecology. *J Ind Ecol* 8 23–43.

Vink E.T.H., Davies S., Kolstad J.J., 2010. The eco-profile for current Ingeo® polylactide production *Industrial Biotechnology*, 6, 212-224

Werner G., 1991. *Holzbau*. Teil 1, 1-3

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΔΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η ΜΠΑΡΚΑΠΑΝΩΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ, του

ΑΓΓΟΣΤΟΥ

μεταπτυχιακός φοιτητής του Π.Μ.Σ.: «Αντισταθμική και Ενεργειακή Αναβάθμιση Κατασκευών και Αειφόρος Ανάπτυξη»,

του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, κριν αναλάβω την εκπόνηση της Μεταπτυχιακής Διδακματικής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Μεταπτυχιακή Διδακματική Εργασία (Μ.Δ.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογακλονής και εγκίρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποβλαπιστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Μ.Δ.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεκίων, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των άλλων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ιδρυμα του έχει απονεμίσει Μεταπτυχιακό Διπλωμα, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης Ειδικής Σύμβασης του Τμήματος. Η Συνέλευση Ειδικής Σύμβασης του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εισόνηση Μ.Δ.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Μ.Δ.Ε. πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού έμηνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 13. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών

Ημερομηνία

12/6/2019