



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα χημείας
Διαπανεπιστημιακό Διατμηματικό Πρόγραμμα
Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΔιΧηNET

Χημεία και Καθημερινή Ζωή
Πράσινη Προσέγγιση

Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (LCA)

Εκπόνηση: Μάντζου Γενοβέφα
Μπενέτου Παναγιώτα
Χαρίτου Άννα Ηρώ

Επίβλεπων: Α.Ι. Μαρούλης
Μ. Χαντζηαντωνίου

Θεσσαλονίκη 2006

Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται ένα εργαλείο που ονομάζεται εκτίμηση κύκλου ζωής (LCA), που οι πρώτες μελέτες σχετικά με αυτό χρονολογούνται γύρω στη δεκαετία του '70. Μια σχετικά σύγχρονη μέθοδος και ακόμα υπό εξέλιξη, που δημιουργήθηκε με σκοπό να προληφθούν ακόμα και να εξαλειφθούν τα περιβαλλοντικά προβλήματα που δημιουργούνται κατά την παραγωγή προϊόντων.

Η εκτίμηση κύκλου ζωής είναι μια μελέτη όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται από τον «λίκνο έως τον τάφο», δηλαδή από την συλλογή πρώτων υλών για την παραγωγή ενός προϊόντος έως την τελική διάθεση και απόθεση των αποβλήτων. Η εκτίμηση κύκλου ζωής επιτρέπει την αποτίμηση όλων των περιβαλλοντικών προβλημάτων που απορρέουν από όλα τα στάδια της ζωής ενός προϊόντος.

Η LCA περιλαμβάνει τέσσερα στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο που ονομάζεται προσδιορισμός του σκοπού και του στόχου, προσδιορίζονται τα όρια και τα περιβαλλοντικά αποτελέσματα που πρέπει να διεξαχθούν κατά την διάρκεια της μελέτης. Στο δεύτερο που καλείται απογραφική ανάλυση προσδιορίζεται και ποσοτικοποιείται η ενέργεια, τα απόβλητα και τα μεταχειρισμένα υλικά. Στη συνέχεια στο τρίτο που λέγεται εκτίμηση των επιπτώσεων, εκτιμούνται οι επιπτώσεις στον άνθρωπο και την οικολογία. Και τέλος στο τέταρτο στάδιο που ονομάζεται ερμηνεία των αποτελεσμάτων, πραγματοποιείται η αποτίμηση των αποτελεσμάτων του πρώτου σταδίου και η εκτίμηση των επιπτώσεων.

Όλα αυτά έχουν ως στόχο την επιλογή του κατάλληλου προϊόντος και της καλύτερης και λιγότερο επίπονης διαδικασίας για το περιβάλλον.

Εισαγωγή

Καθώς αυξάνεται η περιβαλλοντική ενημέρωση, άρχισε να γίνεται αντιληπτό ότι οι βιομηχανίες και οι επιχειρήσεις με τις δραστηριότητες τους επηρεάζουν αρνητικά το περιβάλλον. Η κοινωνία ξεκίνησε να ενδιαφέρεται για περιβαλλοντικά ζητήματα όπως η μείωση της στιβάδας του όζοντος και η περιβαλλοντική υποβάθμιση. Έτσι πολλές επιχειρήσεις ανταποκρίθηκαν στις εκκλήσεις για μια φιλική προς το περιβάλλον πολιτική και άρχισαν να προσανατολίζονται προς τα «πράσινα» προϊόντα και τη χρήση «πράσινων» διεργασιών. Στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης που πλέον σήμερα επιβάλλεται, είναι απαραίτητη η παραγωγή πράσινων προϊόντων και η επιλογή και χρησιμοποίηση πράσινων διεργασιών. Για αυτό το λόγο αρκετές εταιρίες προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν τις αρνητικές επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Πολλές εταιρίες έχουν βρει ικανοποιητικούς τρόπους να κινούνται κάτω από τα όρια συμμόρφωσης, χρησιμοποιώντας στρατηγικές αποφυγής της μόλυνσης και περιβαλλοντικά συστήματα διαχείρισης. Ένα τέτοιο εργαλείο είναι και η εκτίμηση του κύκλου ζωής (LCA) που περιλαμβάνει όλο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος.

Κεφάλαιο 1^ο

Εκτίμηση του κύκλου ζωής (LCA)

1.1 Ιστορική αναδρομή

Οι πρώτες μελέτες σχετικά με την εκτίμηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος χρονολογούνται στα τέλη της δεκαετίας του '60 και στις αρχές της δεκαετίας του '70 και επικεντρώνονται σε ζητήματα όπως η απόδοση της ενέργειας, η κατανάλωση των πρώτων υλών και έως ένα βαθμό στη διάθεση των αποβλήτων. Το 1969 για παράδειγμα η εταιρεία Coke Cola χρηματοδότησε μια μελέτη για να συγκρίνει τις πηγές και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με διάφορους περιέκτες. Εν τω μεταξύ, στην Ευρώπη πραγματοποιούνταν μια παρόμοια απογραφική προσέγγιση, που έγινε αργότερα γνωστή ως "Ecobalance". Το 1972 στη Μ. Βρετανία ο Ian Boustead υπολόγισε την συνολική ενέργεια που ήταν απαραίτητη για την παραγωγή διάφορων περιεκτών πόσιμου υγρού, συμπεριλαμβάνοντας αυτούς που ήταν κατασκευασμένοι από γυαλί, πλαστικό και αλουμίνιο. Στην διάρκεια των επόμενων χρόνων ο Boustead συνέχισε τη βελτίωση της όλης μεθοδολογίας του, έτσι ώστε να την κάνει κατάλληλη για τα διάφορα υλικά και το 1979 δημοσίευσε το "Handbook of Industrial Energy Analysis". Αρχικά η χρησιμοποιούμενη ενέργεια θεωρούνταν ότι ήταν θέμα μεγαλύτερης προτεραιότητας από τα απόβλητα και τα άλλα εξερχόμενα. Εξαιτίας αυτού, υπήρχε μέχρι εκείνη τη περίοδο, μικρή διάκριση μεταξύ της απογραφής και της ερμηνείας του συνόλου των επιπτώσεων που σχετίζονταν με ένα προϊόν ή με μια ενέργεια.

Μετά όμως από την κρίση του πετρελαίου τα ζητήματα της ενέργειας έπαψαν να έχουν τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα. Κατά τα μέσα της δεκαετίας του '80 και στις αρχές της δεκαετίας του '90 εκδηλώθηκε ένα πραγματικό ενδιαφέρον για την εκτίμηση του κύκλου ζωής από ένα μεγάλο μέρος των βιομηχανιών. Το μεγάλο αυτό ενδιαφέρον για την εκτίμηση "από το λίκνο μέχρι τον τάφο" ενός προϊόντος ή υλικών είχε ως επακόλουθο στη σύνοδο κορυφής το 1992 να υπάρξει ένας μεγάλος αριθμός απόψεων σχετικά με το ότι η εκτίμηση του κύκλου ζωής ήταν ανάμεσα στα πολλά υποσχόμενα εργαλεία για ένα μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών υποθέσεων. Η πιο κατανοητή διεθνή εργασία πάνω στην εκτίμηση του κύκλου ζωής "The LCA Sourcebook" δημοσιεύτηκε το 1993. Παρόλο που η πρόοδος πάνω στο συγκεκριμένο θέμα προχωρά με αργούς ρυθμούς, το όλο πλαίσιο μεθοδολογίας αρχίζει και ενισχύεται και μεταβαίνει σε ένα ώριμο στάδιο. Το 1992-1993 η SustainAbility επινόησε τον όρο "laptop LCA" επισημαίνοντας ότι μέχρι να γίνει η εκτίμηση του κύκλου ζωής ένα πραγματικά φιλικό, εύχρηστο και αποδεκτό εργαλείο, είναι απίθανο να περιγραφεί με κατανοητό τρόπο. Με τα χρόνια, οι σχεδιαστές του λογισμικού ανταποκρίθηκαν στην πρόκληση και πλέον εξαπλώθηκε σε όλη την αγορά το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του κύκλου ζωής. Το λογισμικό αυτό πρέπει να μελετάται και να ελέγχεται προσεκτικά πριν χρησιμοποιηθεί, επειδή το πεδίο αυτό είναι ακόμα στα πρώτα στάδια και τα διαθέσιμα προϊόντα ποικίλουν ως προς την ποιότητα. Ένα από τα καίρια ενδιαφέροντα είναι ότι συχνά είναι πράγματι πολύ δύσκολο να επιβεβαιωθεί η ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Γενικά, η επιστημονική κοινότητα, που ασχολείται με την εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι τώρα ικανή να προσφέρει μια μεγάλη ποικιλία από χρήσιμα εργαλεία διαχείρισης. Ωστόσο, υπάρχει ακόμα ένας μεγάλος αριθμός από σημαντικά θέματα, τα οποία προχωρούν με δυσκολία

Σ' αυτά περιλαμβάνονται:

- Η πολυπλοκότητα σε πολλά σημεία της μεθοδολογίας και των διαδικασιών.
- Το υψηλό κόστος και ο μεγάλος χρόνος που απαιτείται παρόλο τη μεγάλη πρόοδο που έχει γίνει σε αυτό το πεδίο.
- Η αναγκαιότητα να γίνουν σημαντικές κριτικές στο πρόγραμμα εργασίας, κριτικές που δεν αναγνωρίζονται πάντα στις τελικές εκθέσεις.

Κατά το 1993 είχαμε πλέον 180 μελέτες και 16 ερευνητικές ομάδες. Πιο πρόσφατα, ο οργανισμός SETAC στη Β. Αμερική χρηματοδότησε μελέτες και εργασίες για την ανάπτυξη και την προώθηση του μεγαλύτερου μέρους του πλαισίου εργασίας της διεξαγωγής των σταδίων κατάγραφής και εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Παρόμοιες προσπάθειες έχουν γίνει και από την SETAC-EU και άλλους οργανισμούς όπως η ISO. Ως αποτέλεσμα αυτών των προσπαθειών έχει επιτευχθεί ένα συνολικό πλαίσιο εργασίας και ένας καλός καθορισμός της μεθόδου καταγραφής των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων.

1.2 Τι είναι η εκτίμηση του κύκλου ζωής;

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι μια προσέγγιση “από το λίκνο μέχρι τον τάφο” για την αποτίμηση των βιομηχανικών συστημάτων. Η προσέγγιση “από το λίκνο μέχρι τον τάφο” ξεκινά με την συγκέντρωση των πρώτων υλών από τη γη για την δημιουργία του προϊόντος και τελειώνει στο σημείο όπου όλα τα υλικά επιστρέφουν στη γη. Η εκτίμηση του κύκλου ζωής αποτιμά όλα τα στάδια της ζωής ενός προϊόντος ως προς την αλληλεξάρτησή τους, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι μία λειτουργία οδηγεί στην επόμενη.

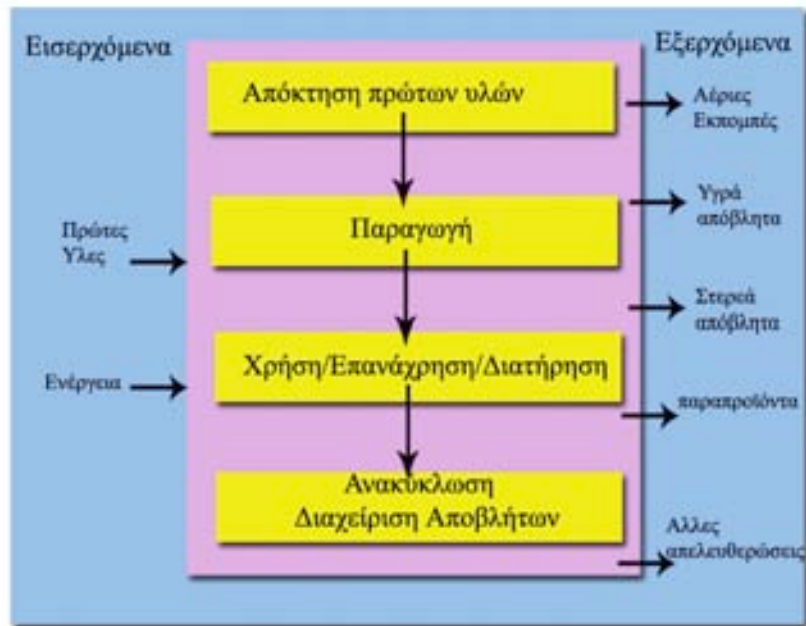
Η εκτίμηση του κύκλου ζωής καθιστά δυνατή την αποτίμηση των συσσωρευτικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που απορρέουν από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος, και συχνά περιλαμβάνουν επιπτώσεις που δεν υπολογίζονται στις περισσότερες παραδοσιακές αναλύσεις (π.χ. εξόρυξη των πρώτων υλών, μεταφορά των υλών, τελική απόθεση του προϊόντος κ.α.). Συμπεριλαμβάνοντας τις επιπτώσεις από την αρχή έως το τέλος του κύκλου ζωής, η εκτίμηση του κύκλου ζωής εξασφαλίζει μια κατανοητή εικόνα των περιβαλλοντικών απόψεων για το προϊόν ή την διεργασία και μια πιο ακριβή εικόνα των πραγματικών περιβαλλοντικών ανταλλαγών στην επιλογή του προϊόντος.

Συγκεκριμένα η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι μια τεχνική απότιμησης των περιβαλλοντικών θέσεων και των ενδεχόμενων επιπτώσεων που σχετίζονται με ένα προϊόν, διαδικασία, ή υπηρεσία:

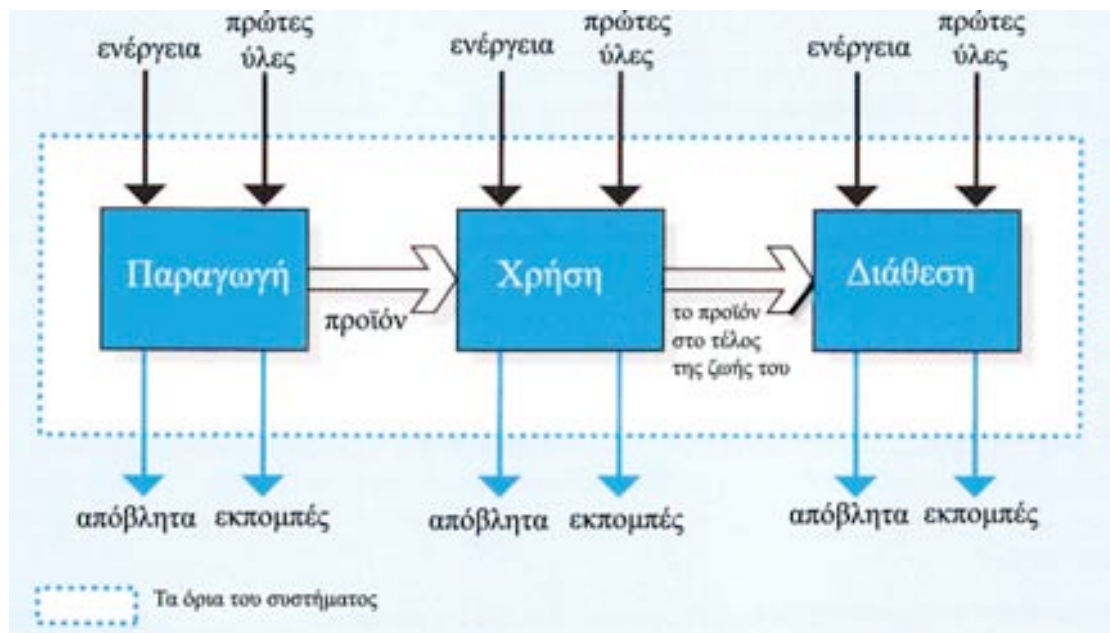
- Μεταφράζοντας την απογραφή της σχετικής ενέργειας και των υλικών που εισάγονται καθώς και των εκπομπές στο περιβάλλον.
- Αποτιμώντας τις ενδεχόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχουν σχέση με συγκεκριμένες εισροές και εκροές.

- Ερμηνεύοντας τα αποτελέσματα έτσι ώστε να ληφθεί μια ποιο σωστή απόφαση.

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι μια τεχνική αποτίμησης όλων των εισροών και των εκροών ενός προϊόντος, διαδικασίας ή υπηρεσίας (Κατάλογος απογραφής του κύκλου ζωής-Life Cycle Inventory), της ανθρώπινης υγείας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Αποτίμηση των επιπτώσεων-Impact Assessment), ερμηνείας και ανακοίνωσης των αποτελεσμάτων της μελέτης (ερμηνεία του κύκλου ζωής - Life Cycle Interpretation) από την αρχή έως το τέλος του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή διεργασιών. Ο όρος "κύκλος ζωής" αναφέρεται στις κύριες δραστηριότητες της όλης πορείας της διάρκειας ζωής από την παραγωγή του, τη χρησιμοποίηση, την διατήρηση, και την τελική απόθεση, συμπεριλαμβάνοντας και την απόκτηση των πρώτων υλών που απαιτούνται για την παραγωγή του προϊόντος. Η εικόνα 1-1 και η εικόνα 1-2 δείχνουν τα πιθανά στάδια του κύκλου ζωής τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε μια διαδικασία εκτίμησης του κύκλου ζωής και τις τυπικές εκροές και εισροές που πρέπει να μετρώνται.



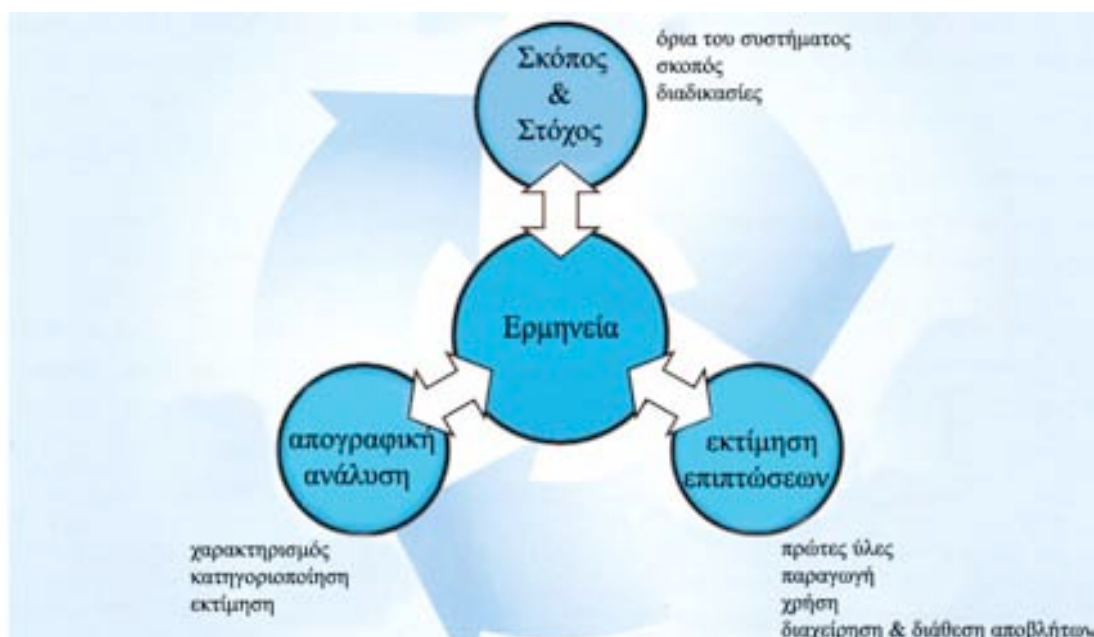
Εικόνα 1-1 Τα στάδια του κύκλου ζωής (πηγή ΕΡΑ, 1993)



Εικόνα 1-2 Κύκλος ζωής προϊόντων / διεργασιών.

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι μια συστηματική, σταδιακή προσέγγιση και περιλαμβάνει τέσσερα στάδια: προσδιορισμός του σκοπού και του στόχου, απογραφική ανάλυση, εκτίμηση των επιπτώσεων, και ερμηνεία των αποτελεσμάτων, όπως φαίνεται στην εικόνα 1-3.

- **Προσδιορισμός του σκοπού και του στόχου:** προσδιορίζεται και περιγράφεται το προϊόν, η διαδικασία ή η δραστηριότητα. Εγκαθίσταται το πλαίσιο όπου θα διεξαχθεί η μελέτη και προσδιορίζονται τα όρια και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που πρέπει να διεξαχθούν κατά τη διάρκεια της μελέτης.
- **Απογραφική ανάλυση:** προσδιορίζεται και ποσοτικοποιείται η ενέργεια, τα απόβλητα, και τα υλικά που χρησιμοποιούνται καθώς και οι απελευθερώσεις στο περιβάλλον (π.χ. αέριες εκπομπές, απόθεση στερεών αποβλήτων, απελευθέρωση υγρών αστικών λυμάτων).
- **Εκτίμηση των επιπτώσεων:** Εκτιμούνται οι επιδράσεις στον άνθρωπο και την οικολογία από τη χρησιμοποίηση της ενέργειας, του νερού και των υλικών, καθώς και από τις εκπομπές στο περιβάλλον, που έχουν προσδιοριστεί στη απογραφική ανάλυση.
- **Ερμηνεία των αποτελεσμάτων:** αποτίμηση των αποτελεσμάτων της απογραφικής ανάλυσης και της εκτίμησης των επιπτώσεων για την επιλογή του κατάλληλου προϊόντος, διαδικασίας ή υπηρεσίας, με σαφή κατανόηση της αβεβαιότητας και των υποθέσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 1-3 Τα στάδια της LCA (πηγή: ISO, 1997)

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι μοναδική επειδή καλύπτει όλες τις διαδικασίες και τις περιβαλλοντικές εκπομπές ξεκινώντας από την εξαγωγή των πρώτων υλών και την παραγωγή της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή και δημιουργία του προϊόντος μέχρι τη χρησιμοποίηση και την τελική απόθεση του προϊόντος. Όταν γίνεται επιλογή μεταξύ δυο εναλλακτικών προϊόντων ή διεργασιών, η εκτίμηση του κύκλου ζωής μπορεί να βοηθήσει αυτούς που παίρνουν τις αποφάσεις να συγκρίνουν όλες τις κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τα προϊόντα ή τις διεργασίες.

1.3 Ποια είναι τα πλεονεκτήματα από την εφαρμογή LCA

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής βοηθάει στην επιλογή του προϊόντος ή της μεθόδου που συμβάλει στο ελάχιστο στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα δεδομένα μιας εκτίμησης του κύκλου ζωής προσδιορίζουν την μεταφορά των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από ένα μέσο στο άλλο (π.χ. εξαλείφει τις αέριες εκπομπές δημιουργώντας στη θέση του ένα παραπόταμο από υγρά λύματα) και από το ένα στάδιο του κύκλου ζωής στο άλλο (π.χ. από την χρησιμοποίηση και την επαναχρησιμοποίηση ενός προϊόντος στο στάδιο απόκτησης των ακατέργαστων πρώτων υλών. Εάν δεν γίνει εκτίμηση του κύκλου ζωής η μεταφορά μπορεί να μη προσδιορίζεται και να μην περιλαμβάνεται κατάλληλα στην ανάλυση, διότι είναι εκτός από τον τυπικό σκοπό. Για παράδειγμα, όταν πρέπει να επιλέξουμε μεταξύ δύο εφάμιλλων προϊόντων, μπορεί να φαίνεται ότι η πρώτη επιλογή είναι καλύτερη για το περιβάλλον γιατί δημιουργεί λιγότερα στερεά απόβλητα σε σχέση με την δεύτερη επιλογή. Παρόλο αυτά κάνοντας εκτίμηση του κύκλου ζωής καθορίζεται ότι η πρώτη επιλογή δημιουργεί μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις όταν πάρουμε μετρήσεις και στα τρία μέσα (αέρας, νερό, έδαφος) καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής του από “το λίκνο μέχρι τον τάφο” (π.χ. μπορεί να δημιουργεί περισσότερες αέριες χημικές εκπομπές κατά το στάδιο της βιομηχανικής του παρασκευής). Για το λόγο αυτό το δεύτερο προϊόν το οποίο παράγει στερεά απόβλητα μπορεί στην πραγματικότητα να δημιουργεί λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από το πρώτο επειδή έχει λιγότερες αέριες χημικές εκπομπές.

Εκτελώντας μια εκτίμηση του κύκλου ζωής οι ερευνητές μπορούν:

- Να αναπτύσσουν μια σύνθετη αποτίμηση των περιβαλλοντικών συνεπειών που σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο προϊόν.
- Να πραγματοποιούν ποσοτικό προσδιορισμό των περιβαλλοντικών εκροών στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής και/ή της κυρίας συνεισφέρουσας μεθόδου.
- Να προσδιορίσουν κάθε σημαντική μετακίνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ των σταδίων του κύκλου ζωής και των περιβαλλοντικών μέσων.
- Να αποτιμήσουν τις επιπτώσεις στον άνθρωπο και στην οικολογία από την κατανάλωση υλικών αγαθών και των εκροών στο περιβάλλον, στα όρια μιας τοπικής κοινωνίας, μιας γεωγραφικής περιοχής και στον κόσμο.
- Να συγκρίνουν τις επιπτώσεις στην υγεία και στη οικολογία, δύο ή περισσότερων εφάμιλλων προϊόντων/μεθόδων ή να προσδιορίσουν τις επιπτώσεις ενός συγκεκριμένου προϊόντος ή μιας συγκεκριμένης μεθόδου.
- Να προσδιορίσουν τις επιπτώσεις για ένα ή περισσότερους συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς τομείς όπου υπάρχει ανησυχία.

Κεφάλαιο 2^ο

Προσδιορισμός του σκοπού και του στόχου

2.1 Τι είναι ο προσδιορισμός του σκοπού και του στόχου

Ο προσδιορισμός του σκοπού και του στόχου είναι το στάδιο της μεθόδου της εκτίμησης του κύκλου ζωής, στο οποίο καθορίζεται ο σκοπός και η μέθοδος που περιλαμβάνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του κύκλου ζωής στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Σε αυτό το στάδιο, πρέπει να προσδιοριστούν τα παρακάτω αντικείμενα: το είδος των πληροφοριών που χρειάζονται για να προστεθεί αξία στην διαδικασία λήψης αποφάσεων, πόσο ακριβή πρέπει να είναι τα αποτελέσματα για να προσδώσουν αξία στη συνολική μελέτη, και πως τα αποτελέσματα πρέπει να ερμηνευτούν και να προβληθούν ώστε να είναι σημαντικά και χρήσιμα.

2.2 Πώς ο προσδιορισμός του σκοπού και του στόχου επηρεάζει την μέθοδο LCA

Η μέθοδος LCA μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστούν οι ενδεχόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις οποιουδήποτε προϊόντος, διαδικασίας, ή υπηρεσίας. Ο καθορισμός του σκοπού και του στόχου της εκτίμησης του κύκλου ζωής θα καθορίσει το χρόνο και τις πηγές που χρειάζονται. Ο προσδιορισμένος σκοπός και στόχος θα οδηγήσει ολόκληρη

τη διαδικασία έτσι ώστε να διασφαλίσει ότι επιτυγχάνονται τα πιο σημαντικά αποτελέσματα. Κάθε απόφαση που λαμβάνεται σε κάθε σημείο του σταδίου προσδιορισμού του σκοπού και του στόχου έχει επιπτώσεις στο πως θα διεξαχθεί η μελέτη, ή στην σχετικότητα των τελικών αποτελεσμάτων. Η επόμενη ενότητα προσδιορίζει τις αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν στην αρχή μιας μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής και τις επιπτώσεις αυτών των αποφάσεων στη συνολική διαδικασία.

2.3 Αρχίζοντας την εφαρμογή του σταδίου

Οι ακόλουθες έξι βασικές αποφάσεις πρέπει να ληφθούν στην αρχή της εκτίμησης του κύκλου ζωής, προκειμένου να γίνει αποτελεσματική χρήση του χρόνου και των πηγών:

- Προσδιορισμός του σκοπού της εργασίας.
- Προσδιορισμός του τύπου των πληροφοριών που χρειάζονται για να πληροφορηθούν αυτοί που λαμβάνουν τις αποφάσεις.
- Προσδιορισμός του πως θα οργανωθούν τα δεδομένα και πως θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα.
- Προσδιορισμός του τι θα περιλαμβάνεται ή του τι δεν θα περιλαμβάνεται στην εκτίμηση του κύκλου ζωής.
- Προσδιορισμός της ζητούμενης ακρίβειας των δεδομένων.
- Προσδιορισμός των διαδικαστικών κανόνων για την διεξαγωγή της εργασίας.

Κάθε απόφαση και σχετική της επίπτωση στη μέθοδο εκτίμησης του κύκλου ζωής εξηγείται παρακάτω με λεπτομέρεια.

2.3.1 Προσδιορισμός του σκοπού της μεθόδου

Η LCA είναι ένα ευπροσάρμοστο εργαλείο για την ποσοτικοποίηση όλων (από το λίκνο έως τον τάφο) των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος, διαδικασίας ή υπηρεσίας. Ο πρωταρχικός σκοπός είναι να επιλεγθεί το καλύτερο προϊόν, διαδικασία ή υπηρεσία με τις λιγότερες αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Μπορεί να υπάρχουν και δευτερεύοντες σκοποί που να ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο της εργασίας.

2.3.2 Ποιες πληροφορίες είναι αναγκαίες

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής μπορεί να βοηθήσει στην απάντηση διαφόρων σημαντικών ερωτήσεων. Ο προσδιορισμός των ερωτήσεων, για τις οποίες ενδιαφέρονται αυτοί που παίρνουν τις αποφάσεις, βοηθάει στον προσδιορισμό των παραμέτρων της μελέτης. Μερικά παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- Ποιο προϊόν ή διαδικασία προκαλεί τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (ποσοτικά) συνολικά ή σε ένα στάδιο του κύκλου ζωής;
- Πως οι τροποποιήσεις του προϊόντος/ διαδικασίας επιδρά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις δια μέσου όλων των σταδίων του κύκλου ζωής;

- Ποια τεχνολογία ή διαδικασία προκαλεί τα μικρότερα ποσά όξινης βροχής, αιθαλομίχλης ή καταστροφή των τοπικών δασών (ή οποιαδήποτε άλλη κατηγορία επιπτώσεων);
- Πως μπορεί να τροποποιηθεί η διαδικασία, ώστε να μειωθεί μία συγκεκριμένη επίπτωση που μας ενδιαφέρει (π.χ. αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη);

Όταν τα κατάλληλα ερωτήματα προσδιοριστούν, είναι σημαντικό να καθοριστεί ο τύπος των πληροφοριών που απαιτούνται για να απαντηθούν οι ερωτήσεις.

2.3.3 Προσδιορισμός του πως πρέπει να οργανωθούν τα δεδομένα και να προβληθούν τα αποτελέσματα

Αυτοί που πραγματοποιούν μια μέθοδο εκτίμησης του κύκλου ζωής προσδιορίζουν το πώς θα οργανωθούν τα δεδομένα σε σχέση με την λειτουργική μονάδα που περιγράφει κατάλληλα την λειτουργία του προϊόντος/διαδικασίας που πρόκειται να μελετηθεί. Οι συγκρίσεις μεταξύ προϊόντων/διαδικασιών πρέπει να γίνονται έχοντας ως βάση την ίδια λειτουργία, και να ποσοτικοποιούνται με βάση την ίδια λειτουργική μονάδα. Προσεκτική επιλογή της λειτουργικής μονάδας για την μέτρηση και την έκθεση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης του κύκλου ζωής βελτιώνει την ακρίβεια της μελέτης και την χρησιμότητα των αποτελεσμάτων.

Για παράδειγμα η σύγκριση διαφορετικών χυμών πρέπει να βασίζεται σε ισοδύναμη λειτουργική μονάδα που μπορεί να ορίζεται από το εάν περιέχουν μια συγκεκριμένη ποσότητα χυμού. Η μονάδα λειτουργίας τότε προσδιορίζεται ως το μέγεθος του πακέτου που είναι απαραίτητο έτσι ώστε να ο συγκεκριμένος όγκος χυμού.

2.3.4 Προσδιορισμός του τι θα περιέχεται ή δεν θα περιέχεται στη μέθοδο LCA

Όπως εξηγείται στο κεφάλαιο 1, μια απογραφική ανάλυση προσδιορίζει και ποσοτικοποιεί τις περιβαλλοντικές εκπομπές ενός προϊόντος ή διαδικασίας κατά την διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής. Για καλύτερα αποτελέσματα μια μέθοδος εκτίμησης του κύκλου ζωής περιλαμβάνει και τα τέσσερα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή διαδικασίας: απόκτηση πρώτων υλών, παραγωγή, χρησιμοποίηση/επανα-χρησιμοποίηση/διατήρηση και ανακύκλωση/διαχείριση αποβλήτων. Αυτά τα στάδια του προϊόντος εξηγούνται με περισσότερες λεπτομέρειες παρακάτω. Για να προσδιοριστεί εάν πρέπει να περιλαμβάνεται στον σκοπό μιας μεθόδου εκτίμησης του κύκλου ζωής ένα μόνο ή όλα τα στάδια του κύκλου ζωής, πρέπει να καθοριστούν τα ακόλουθα: ο σκοπός της μελέτης, η απαιτούμενη ακρίβεια των αποτελεσμάτων, ο διαθέσιμος χρόνος και οι πηγές. Η εικόνα 2-1 δείχνει ένα παράδειγμα των σταδίων του κύκλου ζωής που μπορεί να περιλαμβάνονται σε ένα ερευνητικό έργο το οποίο είναι σχετικό με τη χρήση τεχνολογίας επεξεργασίας.

Τα τέσσερα στάδια του κύκλου ζωής εξηγούνται με περισσότερες λεπτομέρειες παρακάτω.

2.3.4.1 Απόκτηση πρώτων υλών

Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος ξεκινά με τη εξόρυξη των πρώτων υλών και των πηγών ενέργειας από τη γη. Για παράδειγμα, η συλλογή ξυλείας ή η εκμετάλλευση μη ανανεώσιμων υλικών θεωρείται απόκτηση

πρώτων υλών. Επίσης σε αυτό το στάδιο περιλαμβάνεται η μεταφορά των υλικών αυτών από το σημείο απόκτησης στο σημείο επεξεργασίας (EPA 1993).

2.3.4.2 Κατασκευή

Κατά την διάρκεια του σταδίου κατασκευής, οι πρώτες ύλες μετατρέπονται σε ένα προϊόν ή συσκευασία. Το προϊόν ή η συσκευασία μεταφέρεται έπειτα στον καταναλωτή. Το στάδιο κατασκευής αποτελείται από τρία επιμέρους στάδια: κατασκευή των υλικών, παραγωγή και επεξεργασία του προϊόντος, γέμισμα/συσκευασία/διανομή (EPA 1993)

- Κατασκευή των υλικών: Το στάδιο κατασκευής των υλικών περιλαμβάνει τις δραστηριότητες που μετατρέπουν τις πρώτες ύλες σε μια μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του τελικού προϊόντος.
- Παραγωγή/επεξεργασία του προϊόντος: Το στάδιο αυτό παραλαμβάνει τα κατά-σκευασμένα υλικά, τα οποία επεξεργάζεται για την παραγωγή ενός προϊόντος το οποίο είναι έτοιμο για γέμισμα ή συσκευασία.
- Γέμισμα/συσκευασία/διανομή: Σε αυτό το στάδιο τα προϊόντα προετοιμάζονται για τη φόρτωση. Περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες παραγωγής και μεταφοράς που είναι απαραίτητες για το γέμισμα, τη συσκευασία και τη διανομή του τελικού προϊόντος. Τα προϊόντα μεταφέρονται είτε στη λιανική αγορά είτε κατευθείαν στον καταναλωτή. Αυτό το στάδιο εκτιμάται για τις περιβαλλοντι-

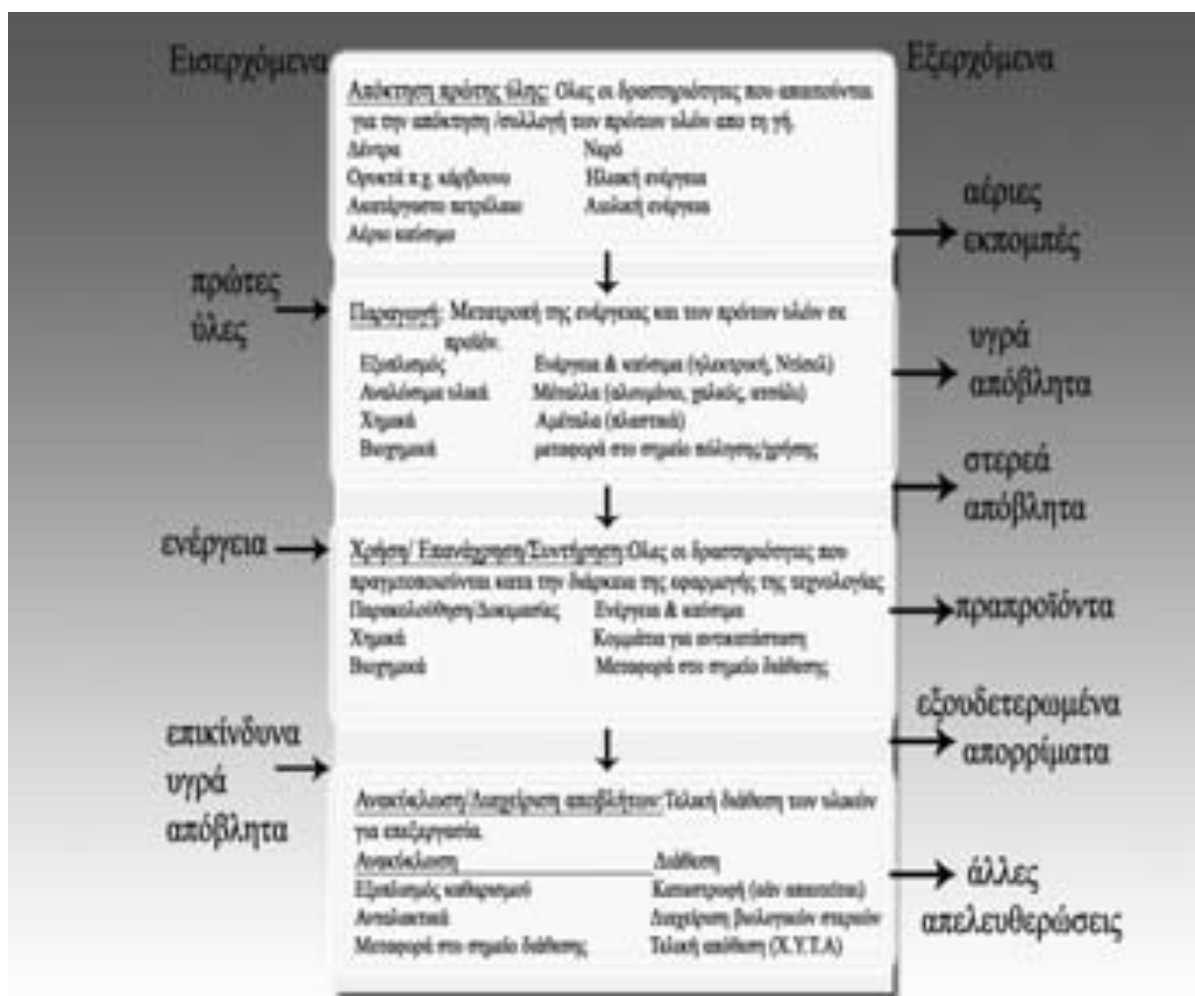
κές επιπτώσεις που προκύπτουν από τον τρόπο μεταφοράς, όπως με φορτηγά και με πλοία.

2.3.4.3 Χρήση / Επαναχρησιμοποίηση / Διατήρηση

Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει την χρησιμοποίηση από τον καταναλωτή, την επαναχρησιμοποίηση, και την διατήρηση του προϊόντος. Μόλις το προϊόν διανεμηθεί στον καταναλωτή, όλες οι δραστηριότητες που έχουν σχέση με την ωφέλιμη ζωή του προϊόντος περιλαμβάνονται σε αυτό το στάδιο. Αυτό περιλαμβάνει την απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας και τα περιβαλλοντικά απόβλητα και από την αποθήκευση του προϊόντος αλλά και από την κατανάλωση του. Το προϊόν ή τα υλικά μπορεί να χρειάζονται διόρθωση ή συντήρηση έτσι ώστε να διατηρηθεί η απόδοση του (EPA 1993). Όταν ο καταναλωτής δεν το χρειάζεται πλέον, το προϊόν ανακυκλώνεται ή διατίθεται σε χωματερές.

2.3.4.4 Ανακύκλωση / Διαχείριση αποβλήτων

Το στάδιο της ανακύκλωσης/διαχείρισης των αποβλήτων περιλαμβάνει τη ενέργεια που απαιτείται και τα περιβαλλοντικά απόβλητα που έχουν σχέση με την διάθεση του προϊόντος ή των υλικών (EPA 1993).



Εικόνα 2-1 Τα όρια του συστήματος

2.3.5 Προσδιορισμός της απαιτούμενης ακρίβειας των δεδομένων

Το απαιτούμενο επίπεδο της ακρίβειας των δεδομένων που απαιτούνται για την μελέτη εξαρτάται από το πού θα χρησιμοποιηθούν και θα προβληθούν τα τελικά αποτελέσματα (π.χ. τα αποτελέσματα θα χρησιμοποιηθούν για να στηρίξουν αποφάσεις που λαμβάνονται σε μια εσωτερική διαδικασία ή για το ευρύ κοινό;). Για παράδειγμα, εάν ο στόχος είναι

να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα σε ευρύ κοινό ώστε να στηρίξει την επιλογή ενός προϊόντος/διαδικασίας από μια τοπική κοινότητα, τότε η εκτίμηση των δεδομένων ή η καλύτερη μηχανολογική άποψη για τα αρχικά υλικά, την ενέργεια, και τα απόβλητα μπορεί να μην είναι αρκετά ακριβείς έτσι ώστε να δικαιολογεί τα τελικά συμπεράσματα. Αντίθετα, εάν ο στόχος της εκτέλεσης της εκτίμησης του κύκλου ζωής, είναι η χρησιμοποίηση μόνο για εσωτερικούς σκοπούς, τότε η εκτίμηση και η καλύτερη μηχανολογική άποψη μπορεί να εφαρμόζεται πιο συχνά. Αυτό μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος και χρόνο που απαιτείται για την εκτέλεση μιας διαδικασίας εκτίμησης του κύκλου ζωής.

Επιπλέον το απαιτούμενο επίπεδο ακρίβειας εξαρτάται και από την κρισιμότητα της απόφασης που θα παρθεί και από το χρηματικό ποσό που απαιτείται για την υλοποίηση των αποφάσεων.

2.3.6. Προσδιορισμός των διαδικαστικών κανόνων για την εκτέλεση της μελέτης

Πριν προχωρήσουμε στο στάδιο της απογραφικής ανάλυσης είναι σημαντικό να προσδιοριστούν κάποιες διαδικασίες της εργασίας.

- Τεκμηρίωση των υποθέσεων: όλες οι υποθέσεις ή αποφάσεις που έχουν παρθεί κατά την διάρκεια της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής πρέπει να αναφέρονται παράλληλα με τα τελικά αποτελέσματα της μεθόδου. Εάν οι υποθέσεις παραληφθούν τα τελικά αποτελέσματα μπορεί να μην είναι συναφή ή να είναι εύκολο να παρερμηνευτούν. Καθώς η διαδικασία της εφαρμογής της εκτίμησης του κύκλου ζωής προχωρά από το ένα στάδιο στο άλλο, οι

υποθέσεις και οι περιορισμοί στον σκοπό μπορεί να είναι απαραίτητες για τη εκτέλεση της εργασίας με τους διαθέσιμους πόρους.

- Διαδικασίες εξασφάλισης ποιότητας: Οι διαδικασίες εξασφάλισης της ποιότητας είναι σημαντικές και εξασφαλίζουν ότι ο σκοπός και ο στόχος κατά τη εκτέλεση της εκτίμησης του κύκλου ζωής, ικανοποιείται στο τέλος της εργασίας. Το επίπεδο των διαδικασιών για την εξασφάλιση της ποιότητας που περιλαμβάνονται σε μια εκτίμηση του κύκλου ζωής εξαρτάται από το διαθέσιμο χρόνο και τους πόρους και από το πώς θα χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα. Εάν τα αποτελέσματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε ευρύ κοινό, απαιτείται μια επίσημη επιθεώρηση της διαδικασίας. Μια επίσημη διαδικασία επιθεώρησης μπορεί να περιλαμβάνει μια εσωτερική ή εξωτερική επιθεώρηση από ειδικούς στην εκτίμηση του κύκλου ζωής και/ή μια επιθεώρηση των σημειωμάτων για επαλήθευση ότι επιβεβαιώνονται τα αποτελέσματα. Εάν τα αποτελέσματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν μόνο για εσωτερικούς σκοπούς, τότε μια γενική εσωτερική επιθεώρηση που έχει σχέση με την πρακτική εκτίμησης του κύκλου ζωής και δεν σχετίζεται με την μελέτη της εκτίμησης του κύκλου ζωής μπορεί να ικανοποιεί αρκετά τον σκοπό για εγγύηση της ποιότητας. Προτείνεται μαζί με την τελική έκθεση να περιλαμβάνεται και μια τυπική έκθεση από τους επιθεωρητές όπου θα τεκμηριώνεται κάθε εκτίμηση τους για το κάθε στάδιο της εκτίμησης του κύκλου ζωής.
- Απαίτηση για την υποβολή εκθέσεων: Ο προσδιορισμός του πώς θα αναφερθούν τα τελικά αποτελέσματα και τι ακριβώς πρέπει να περιλαμβάνεται στην τελική έκθεση, βοηθάει στη διασφάλιση ότι το τελικό προϊόν ικανοποιεί της κατάλληλες προσδοκίες. Όταν αναφέρονται τα τελικά αποτελέσματα ή τα αποτελέσματα ενός

συγκεκριμένου σταδίου της εκτίμησης του κύκλου ζωής, είναι σημαντικό να περιγράφεται λεπτομερειακά η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε κατά την διάρκεια της ανάλυσης. Η αναφορά πρέπει να προσδιορίζει σαφώς το σύστημα που αναλύεται και τα όρια που βάλामε. Η βάση σύγκρισης των συστημάτων και όλων των υποθέσεων που έγιναν κατά την εκτέλεση της εκτίμησης του κύκλου ζωής πρέπει να εξηγούνται σαφώς. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων πρέπει να συμφωνεί με το σκοπό της μελέτης. Τα αποτελέσματα δεν πρέπει να υπέρ απλοποιούνται μόνο με σκοπό την παρουσίαση τους.

Κεφάλαιο 3^ο

Απογραφή του κύκλου ζωής

3.1 Τι είναι ο κατάλογος απογραφή του κύκλου ζωής (LCI)

Η απογραφή του κύκλου ζωής (LCI), είναι η δεύτερη φάση της εκτίμησης του κύκλου ζωής (LCA) ενός προϊόντος, μιας διαδικασίας ή μιας δραστηριότητας και αποτελεί την πιο αντικειμενική φάση του. Με την απογραφή του κύκλου ζωής προσδιορίζουμε ποσοτικά την πρώτη ύλη και την ενέργεια που απαιτείται, τις αέριες εκπομπές στην ατμόσφαιρα, τα υγρά και τα στερεά απόβλητα, καθώς και οτιδήποτε άλλο ελευθερώνεται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, μιας διαδικασίας ή μιας δραστηριότητας.

3.2 Γιατί εφαρμόζουμε το LCI

Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, συλλέγονται και οργανώνονται όλα τα δεδομένα που έχουν σχέση με την εκτίμηση του κύκλου ζωής. Χωρίς την ύπαρξη του LCI δεν υπάρχει η βάση για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων και των πιθανών βελτιώσεών τους. Το επίπεδο της ακρίβειας και της λεπτομέρειας των αποτελεσμάτων που συγκεντρώθηκαν, καθορίζουν την πορεία του LCA που θα ακολουθήσει.

Το LCI μπορεί να χρησιμοποιηθεί ποικιλοτρόπως. Κατ' αρχήν, μπορεί να βοηθήσει έναν οργανισμό να συγκρίνει προϊόντα και διαδικασίες και να επιλέξει υλικά λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικούς παράγοντες. Επιπλέον, μπορεί να βοηθήσει τις κυβερνήσεις ώστε να υιοθετήσουν πολιτικά προγράμματα, θεσπίζοντας νομοθεσίες, βασιζόμενες στη χρήση πόρων και στην εκπομπή αερίων φιλικών προς το περιβάλλον.

3.3 Τι σημαίνουν τα αποτελέσματα του LCI;

Μετά την ολοκλήρωση του LCI, προκύπτει μια λίστα, η οποία περιέχει τις ποσότητες των αποβλήτων που ελευθερώθηκαν στο περιβάλλον και το ποσό της ενέργειας και των υλικών που καταναλώθηκαν. Τα αποτελέσματα μπορούν να χωριστούν βάση του σταδίου του κύκλου ζωής ή του μέσου στο οποίο ελευθερώθηκαν τα απόβλητα (π.χ. αέρας, νερό, έδαφος) ή μιας συγκεκριμένης διαδικασίας ή βάση οποιουδήποτε συνδυασμού αυτών.

3.4 Τα βασικά βήματα του LCI

Το 1993, η EPA δημοσίευσε έναν οδηγό με τίτλο *Life-Cycle Assessment Inventory Guidelines and Principles*, ενώ το 1995, δημοσίευσε το *Guidelines of Assessing the Quality of Life-Cycle Inventory Analysis*. Ο συνδυασμός αυτών των δύο οδηγών έδωσε ένα νέο πλαίσιο για την εκτέλεση της απογραφής του κύκλου ζωής και για την εκτίμηση

της ποιότητας των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν και των αποτελεσμάτων που διεξήχθησαν. Οι δύο οδηγοί προτείνουν τα παρακάτω βήματα για τη διεξαγωγή της απογραφής του κύκλου ζωής.

- 1) Ανάπτυξη ενός διαγράμματος ροής για τη διεργασία που θέλουμε να εκτιμήσουμε.
- 2) Ανάπτυξη πλάνου συλλογής δεδομένων.
- 3) Συλλογή δεδομένων.
- 4) Εκτίμηση και τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων.

Πριν να ξεκινήσει η ανάλυση των σταδίων της απογραφής του κύκλου ζωής, θα ήταν χρήσιμο να διευκρινιστούν κάποιοι όροι. Καταρχήν, κατά την εφαρμογή της απογραφής του κύκλου ζωής, γίνεται χρήση της λειτουργικής μονάδας (functional unit). Αυτή είναι η μονάδα σύγκρισης. Για παράδειγμα, αν γίνεται σύγκριση στο σύστημα συσκευασίας, θα πρέπει να συγκριθεί το βάρος των διαφορετικών συσκευασιών που χρειάζονται για να μεταφερθούν 2 λίτρα περιεχομένου, όπως 100g πλαστικό με 80g χαρτόνι. Επίσης, θα πρέπει να συμπεριληφθεί και μια δευτερεύουσα συσκευασία, όπως είναι μια συσκευασία από μαλακό πλαστικό, η οποία χρειάζεται περισσότερη υποστήριξη από μια συσκευασία από χαρτόνι. Επιπλέον, δεν μπορεί να συγκριθεί ένα γυάλινο μπουκάλι γάλακτος με ένα κερωμένο χάρτινο κουτί γάλακτος, αφού το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είκοσι φορές, ενώ το κερωμένο χάρτινο κουτί μόνο μία. Έτσι, στη συγκεκριμένη περίπτωση, η λειτουργική μονάδα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως η ποσότητα της συσκευασίας που απαιτείται για να συσκευαστεί ένας συγκεκριμένος αριθμός λίτρων γάλακτος, για καθορισμένες μεταφορές του και επίσης, να ληφθεί υπόψη, πως για τη μεταφορά τους οι γυάλινες ή πλαστικές συσκευασίες θα πρέπει πιθανών να τοποθετηθούν σε κιβώτια.

Άλλο παράδειγμα είναι η ποσότητα της σκόνης πλυσίματος που απαιτείται για την πλύση συγκεκριμένης ποσότητας ρούχων προς καθορισμένη καθαριότητα. Επίσης, οι ηλεκτρικές σκούπες, θα πρέπει να συγκριθούν ως προς την ικανότητά τους να καθαρίζουν ένα πάτωμα με καθορισμένη ποσότητα ακαθαρσιών σε σχέση με το χρόνο που απαιτείται για να γίνει αυτό. Τέλος, τα υλικά οικοδομών, πρέπει να συγκριθούν ως προς την προστασία που εξασφαλίζουν για συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί, πως μπορεί ένα προϊόν, να έχει περισσότερες χρήσεις κατά τη διάρκεια της ζωής του. Για παράδειγμα, οι βαμβακερές πάνες πολλών χρήσεων, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αργότερα για ξεσκονόπανα.

Ένα πρόβλημα που προκύπτει πάντα είναι η εύρεση ενός κοινού παρονομαστή για τη σύγκριση διαφορετικών περιβαλλοντικών επιδράσεων και για την εκτίμηση προϊόντων, τα οποία είναι πιο ανθεκτικά από άλλα. Το ινστιτούτο Wuppertal πρότεινε τη μέτρηση της σφοδρότητας ενός υλικού ανά μονάδα λειτουργίας (Material Intensity per unit Service-MIPS). Η μέτρηση αυτή εκφράζει το συνολικό υλικό ή τη συνολική ενέργεια που εισάγεται ανά μονάδα αγαθών ή μάζας λειτουργίας από το “λίκνον ως τον τάφο” (cradle to grave). Θα μπορούσε επίσης, να χαρακτηριστεί ως ένα μέτρο της σφοδρότητας των μέσων που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα ή σε ένα προϊόν. Όλα τα παραπάνω ασχολούνται με τη χρήση του αντικειμένου ενώ βρίσκεται μέσα στη λειτουργία και όχι με την επίδρασή του στο περιβάλλον αφού βγει από αυτήν.

Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια ζωής ενός αντικειμένου τόσο μικρότερη είναι η MIPS του ανά μονάδα λειτουργίας. Όταν ένα προϊόν χρησιμοποιείται για μεγάλο χρονικό διάστημα, τότε μειώνεται η MIPS από κάθε λειτουργία. Τα προϊόντα μπορεί να χρειαστούν έγχυση ενέργειας ή

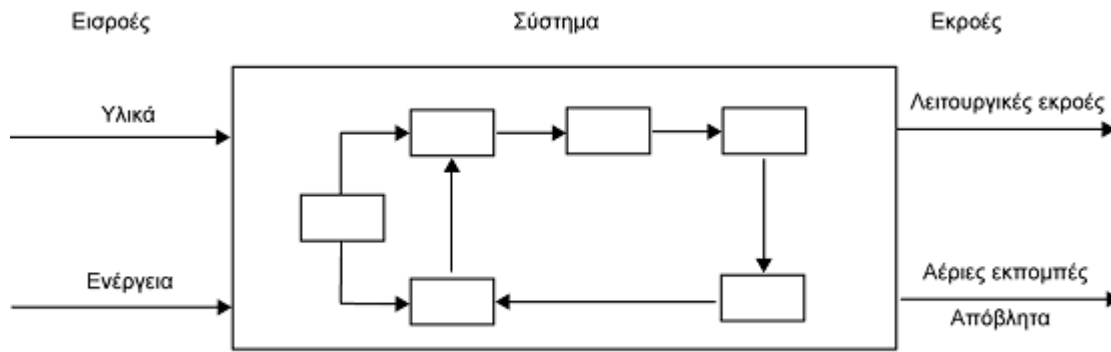
υλικών, κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Για παράδειγμα, είναι πιθανό να χρειαστούν διατήρηση ή επισκευή, ή μπορεί επίσης να χρειαστούν χορήγηση πόρων για την επίτευξη της ανακύκλωσής τους. Για το λόγο αυτό υπάρχει όπως η κατασκευαστική MIPS, η MIPS χρήσης και η MIPS ανακύκλωσης.

Ένα παράδειγμα MIPS είναι τα κιλά του πλαστικού που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μιας κούπας. Υπάρχει σε αυτήν την περίπτωση, πρόβλημα διαχωρισμού των υλικών που προκαλούν πιο επιβλαβείς επιδράσεις στο περιβάλλον, όπως είναι οι CFC, και των υλικών που προκαλούν ηπιότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως είναι η άμμος.

Παρακάτω, αναφέρονται διεξοδικότερα τα στάδια της απογραφής του κύκλου ζωής.

3.4.1 Βήμα 1^ο: Ανάπτυξη ενός διαγράμματος ροής

Σε αυτό το στάδιο, το σύστημα προσδιορίζεται και χαρακτηρίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό, προκειμένου να καθοριστούν εντελώς τα δεδομένα που απαιτούνται. Το σύστημα ορίζεται ως μια συλλογή από διεργασίες που συνδέονται μεταξύ τους, τόσο υλικά όσο και ενεργειακά (όπως είναι, για παράδειγμα, η διαδικασία παραγωγής του προϊόντος, της μεταφοράς του και η διαδικασία εξόρυξη των καυσίμων), οι οποίες παρουσιάζουν κάποιες καθορισμένες λειτουργίες. Το σύστημα διαχωρίζεται από το περιβάλλον του με όρια. Το περιβάλλον του συστήματος χαρακτηρίζεται ως κάτι που περιβάλλει το σύστημα, δηλαδή οτιδήποτε εκτός του συστήματος που εξετάζεται. Ο ορισμός αυτός απεικονίζεται στο σχήμα 3-1.



Σχήμα 3-1. Ορισμός του συστήματος στην απογραφή του κύκλου ζωής.

Το διάγραμμα ροής είναι ένα εργαλείο, στο οποίο απεικονίζονται όλες οι εισροές και οι εκροές του συστήματος κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας. Το σύστημα και τα όρια του συστήματος διαφέρουν σε κάθε εκτίμηση του κύκλου ζωής. Κατά τη διάρκεια της φάσης όπου καθορίστηκε ο στόχος και ο σκοπός της μελέτης, καθορίστηκαν αρχικά τα όρια του συστήματος, οπότε ξεκαθαρίστηκε τι θα συμπεριληφθεί στη συγκεκριμένη διαδικασία της απογραφής του κύκλου ζωής. Τα όρια αυτά χρησιμοποιούνται και ως όρια του συστήματος για να κατασκευαστεί το διάγραμμα ροής. Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα μέσα στο σύστημα συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν μια ολοκληρωμένη εικόνα των εισροών και των εκροών του συστήματος. Στο σχήμα 3-2 απεικονίζεται το διάγραμμα ροής για μια οποιαδήποτε διεργασία με συγκεκριμένα όρια.



Σχήμα 3-2 : Διάγραμμα ροής διεργασίας.

Όσο πιο πολύπλοκο είναι ένα διάγραμμα ροής, τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια και η χρησιμότητα των αποτελεσμάτων. Δυστυχώς όμως, όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα, τόσο αυξάνεται ο χρόνος και οι οικονομικοί πόροι που θα αφιερωθούν στη μελέτη, όπως επίσης αυξάνονται τα βήματα για τη συλλογή των δεδομένων και την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Τα διαγράμματα ροής χρησιμοποιούνται και για την απεικόνιση όλων των εναλλακτικών συστημάτων (δηλαδή, απεικονίζουν το βασικό σύστημα και τα εναλλακτικά μαζί). Για να είναι σωστή η σύγκριση των συστημάτων, είναι σημαντικό να χρησιμοποιούν όλα τα συστήματα τα ίδια όρια και να αναλύονται στο ίδιο επίπεδο λεπτομέρειας. Αν δεν εξασφαλιστούν τα παραπάνω, τα αποτελέσματα δε θα είναι αξιόπιστα.

Επίσης, πρέπει να γίνει προσδιορισμός των συμ προϊόντων. Μια διεργασία μπορεί να παράγει περισσότερα από ένα προϊόντα, π.χ. ένα ηλεκτρικό πριόνι το οποίο παρασκευάζει ξύλινες σανίδες και πριονίδι. Θα ήταν άδικο να αποδοθούν στο κύριο προϊόν μόνο οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις των συμ προϊόντων (χρήσιμα) και των παραπροϊόντων (άχρη-

στα). Θα πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος για την απομάκρυνση μερικών περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων από το σύστημα.

Ένα παραπροϊόν μπορεί να βρει κάποια χρήση και να μετατραπεί σε συμποϊόν. Θα πρέπει να βρεθούν τρόποι αντικατάστασης των συμποϊόντων και υπολογισμού των επιβαρύνσεών τους και στη συνέχεια να αφαιρεθούν από το σύστημα. Εάν δεν μπορεί να γίνει τίποτα από τα παραπάνω, τότε θα πρέπει να υπολογιστούν οι επιβαρύνσεις τους με βάση κάποια κριτήρια, όπως είναι η οικονομική τους αξία ή μια φυσική τους ιδιότητα, π.χ. βάρος ή ενεργειακό περιεχόμενο.

Για παράδειγμα, στις βαμβακερές πάνες πολλών χρήσεων, μπορεί να συμπεριληφθεί η χρήση τους ως ξεσκονόπανα σαν συμποϊόν. Υπολογίζεται λοιπόν, η περιβαλλοντική επίδραση ενός παρόμοιου αντικειμένου και αφαιρείται από την απογραφή του κύκλου ζωής.

Το σύστημα χωρίζεται σε υποσυστήματα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με διαγράμματα ροής (σχήμα 3-2). Ανάλογα με το πόσο ακριβή είναι τα δεδομένα, τα υποσυστήματα μπορούν να απεικονίσουν τη συνολική διεργασία ή μια ομάδα διεργασιών. Το κάθε υποσύστημα περιγράφεται λεπτομερώς με τη ροή υλικών, ενέργειας, αέριων εκπομπών, καθώς και υγρών και στερεών αποβλήτων. Σε αυτή τη φάση, εξισορροπούνται όλες οι εισροές και οι εκροές του συστήματος και εναρμονίζονται τα δεδομένα για την εκροή του κάθε υποσυστήματος. Στην αρχή της μελέτης, όπου συλλέγονται τα δεδομένα για κάποια χρονική περίοδο ανάλογη του συνολικού χρόνου διεξαγωγής της μελέτης για την εκτίμηση του κύκλου ζωής, υπολογίζονται και οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις, όπως είναι η εξάντληση των πρώτων υλών, οι αέριες εκπομπές και τα στερεά απόβλητα. Οι επιβαρύνσεις στη συνέχεια υπολογίζονται για ολόκληρο το σύστημα και τα αποτελέσματα τοποθετούνται σε πίνακες και αναπαριστούνται γραφικά. Οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν για παράδειγμα την κατανάλωση πετρελαίου, την εκπομπή διοξειδίου του

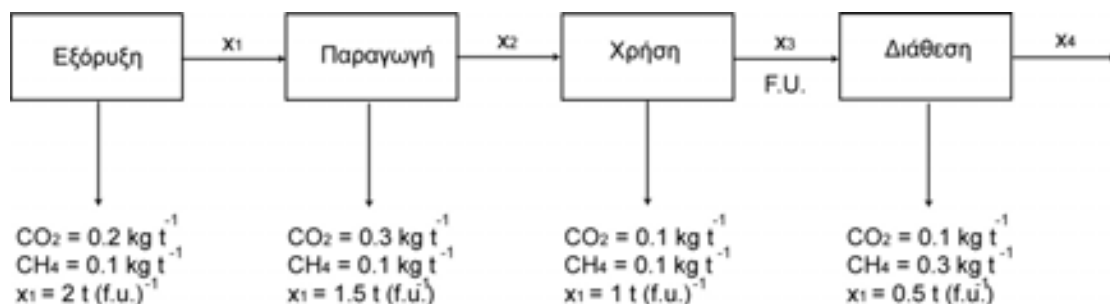
θείου στην ατμόσφαιρα, την εκπομπή μετάλλων στο νερό και τον όγκο των στερεών αποβλήτων, μπορούν να υπολογιστούν με την εξίσωση:

$$B_j = \sum_{i=1}^I b_{cj,i} \cdot x_i \quad (3.1)$$

όπου B_j είναι η επιβάρυνση j από τη δραστηριότητα x_i . Ένα απλό παράδειγμα δίνεται παρακάτω, όπου εξηγείται πως μπορούν να υπολογιστούν οι επιβαρύνσεις.

Παράδειγμα 1: Υπολογισμός περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων και επιδράσεων.

Το σχήμα που φαίνεται παρακάτω έχει μια τελική εκροή, ενώ η κάθε διεργασία x_i , από την εξόρυξη της πρώτης ύλης μέχρι την τελική απόθεση, δημιουργεί μια ποσότητα αέριων εκπομπών CH_4 και CO_2 . Για παράδειγμα, η διεργασία x_1 που αντιπροσωπεύει την εξόρυξη, αποδίδει 2t ακατέργαστης ύλης ανά λειτουργική μονάδα (functional unit, f.u.) Η διεργασία όμως, αποδίδει και 0,2 kg CO_2 και 0,1kg CH_4 ανά τόνο ακατέργαστης ύλης. Η λειτουργική μονάδα παριστάνεται με την εκροή της διεργασίας “Χρήση”, με $x_3=1\text{t}$.



Χρησιμοποιώντας τη σχέση 3.1, η συνολική περιβαλλοντική επιβάρυνση ανά λειτουργική μονάδα σχετίζεται με την εκπομπή αερίων CO₂ και CH₄ και υπολογίζεται ως εξής:

$$B_{CO_2} = \sum b_{CCO_2} \cdot x_i = (0,2 \cdot 2) + (0,3 \cdot 1,5) + (0,1 \cdot 1) + (0,1 \cdot 0,5) \Rightarrow$$

$$B_{CO_2} = 1,0t(fu)^{-1}$$

$$B_{CH_4} = \sum b_{CCO_2} \cdot x_i = (0,1 \cdot 2) + (0,1 \cdot 1,5) + (0,1 \cdot 1) + (0,3 \cdot 0,5) \Rightarrow$$

$$B_{CH_4} = 0,6t(fu)^{-1}$$

Η επίδραση των αερίων αυτών στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (GWP) υπολογίζεται με την εφαρμογή της σχέσης:

$$E_2 = \sum_{j=1}^j ec_{2,j} \cdot B_j \quad (kg)$$

όπου B_j αντιπροσωπεύει την εκπομπή του αερίου που συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου j (CO₂, N₂O, CH₄ και VOCs). Οι παράγοντες ec_{2,j} για τα διάφορα αέρια που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου εκφράζονται σε σχέση με το CO₂ το οποίο θεωρείται για το λόγο αυτό η μονάδα μέτρησης.

Οπότε

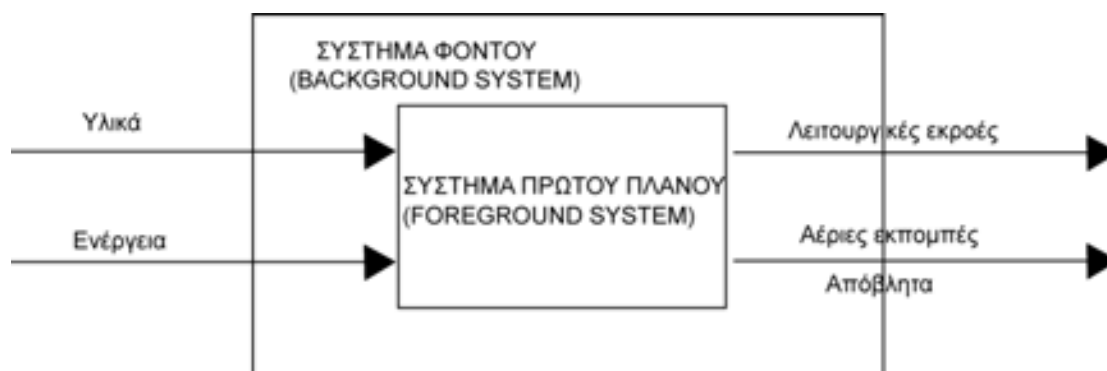
$$E_{GWP} = ec_{CO_2} B_{CO_2} + ec_{CH_4} B_{CH_4} = (1 \cdot 1) + (11 \cdot 0,6) \Rightarrow E_{GWP} = 7,6t(fu)^{-1}$$

Στο σημείο αυτό, πρέπει να σημειωθεί ότι θα πρέπει να γίνει και το ισοζύγιο μάζας. Μια δύσκολη έννοια στην απογραφή του κύκλου ζωής, είναι η εξισορρόπηση των ενεργειακών και υλικών εισροών και εκροών.

Θα πρέπει επίσης, να γίνει διάκριση μεταξύ οργανικών και ανόργανων υλικών, επειδή τα πρώτα έχουν κάποια ενεργειακή αξία, η οποία θα πρέπει να ληφθεί υπόψη. Οι εισροές και οι εκροές είναι πιθανό να μετρούνται σε διαφορετικές μονάδες, π.χ. Joule, kg.

Επίσης, μπορεί να πρέπει να συμπεριληφθεί στη μελέτη και η ανακύκλωση των προϊόντων, η οποία μπορεί να είναι ανοιχτού κόμβου (open loop), κατά την οποία το προϊόν ανακυκλώνεται σε διαφορετικό υλικό, ή κλειστού κόμβου (closed loop), όπου το προϊόν ανακυκλώνεται μέσα στο σύστημα, στο ίδιο προϊόν.

Επιπρόσθετα, είναι πολύ χρήσιμο να χωριστεί το σύστημα σε *πρώτο πλάνο (foreground)* και *φόντο (background)*, όπως φαίνεται στο σχήμα 3-3. Το *πρώτο πλάνο* είναι το σύνολο των διεργασιών που φέρουν τη λειτουργική μονάδα, η οποία καθορίστηκε κατά τη διάρκεια του *Προσδιορισμού του Σκοπού και του Στόχου* της μελέτης. Το *φόντο* είναι αυτό το οποίο εφοδιάζει με ενέργεια και υλικά το *πρώτο πλάνο*, συνήθως μέσω μιας ομογενούς αγοράς κατά την οποία δεν μπορούν να διαχωριστούν οι ξεχωριστές διεργασίες. Η διαφοροποίηση μεταξύ του *πρώτου πλάνου* και του *φόντου* είναι σημαντική και την επιλογή των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν.



Σχήμα 3-3: Πρώτο πλάνο και φόντο συστήματος.

3.4.2 Βήμα 2^ο: Ανάπτυξη ενός σχεδίου συλλογής δεδομένων

Κατά τη διάρκεια του προσδιορισμού του σκοπού και του στόχου, η οποία αναπτύχθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, καθορίστηκε το απαιτούμενο επίπεδο ακρίβειας των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας. Κατά την επιλογή των πηγών, από τις οποίες θα συλλεχθούν τα δεδομένα για να ολοκληρωθεί η απογραφή του κύκλου ζωής, η ανάπτυξη πλάνου συλλογής των δεδομένων για την απογραφή του κύκλου ζωής επισφραγίζει την ποιότητα και την ακρίβεια των δεδομένων που θα συλλεχθούν.

Παρακάτω αναπτύσσονται τα κύρια στοιχεία για την ανάπτυξη του πλάνου συλλογής των δεδομένων.

Προσδιορισμός κριτηρίων ποιότητας των δεδομένων.

Τα κριτήρια ποιότητας των δεδομένων παρέχουν ένα πλαίσιο για την εξισορρόπηση του χρόνου και των πόρων που θα διατεθούν σε σχέση με την ποιότητα των δεδομένων, ώστε να ληφθούν αποφάσεις με βάση τις

επιδράσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία (EPA 1986). Τα κριτήρια ποιότητας των δεδομένων είναι στενά συνδεδεμένα με τους στοχούς της συνολικής μελέτης και εξυπηρετούν δύο βασικούς σκοπούς. Αρχικά, βοηθούν όσους εφαρμόζουν την εκτίμηση του κύκλου ζωής να κατασκευάσουν ένα πλάνο συλλογής δεδομένων βασισμένο στην ποιότητα των δεδομένων που απαιτούνται για την ανάλυση και επιπλέον λειτουργούν ως κριτήρια της ποιότητας των δεδομένων.

Πρέπει να τονιστεί, πως δεν υπάρχει προκαθορισμένη λίστα κριτηρίων ποιότητας των δεδομένων. Η ποσότητα και η φύση των κριτηρίων ποιότητας εξαρτάται από το επίπεδο ακρίβειας που απαιτείται κάθε φορά.

Παρακάτω δίνεται μια υποθετική λίστα κριτηρίων ποιότητας των δεδομένων.

- Συγκεκριμένα δεδομένα που απαιτούνται για την πρώτη ύλη και τις ενεργειακές εισροές στο σύστημα, την κατανάλωση νερού, την εκπομπή αερίων, την παραγωγή υγρών και στερεών αποβλήτων.
- Επαρκούν ακόμα και οι προσεγγιστικές τιμές των δεδομένων για το ενεργειακό ισοζύγιο.
- Τα δεδομένα για τις αέριες εκπομπές θα πρέπει να είναι παρόμοια.
- Το 95% τουλάχιστον των υλικών και ενεργειακών εισροών πρέπει να εξηγούνται στο LCI.

Καθορισμός των δεικτών ποιότητας των δεδομένων.

Οι δείκτες ποιότητας των δεδομένων είναι πρότυπα, με τα οποία συγκρίνονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, προκειμένου να διαπιστωθεί αν επιτεύχθηκε η απαιτούμενη ποιότητά τους. Όπως και στα κριτήρια ποιότητας των δεδομένων, δεν υπάρχει προκαθορισμένη λίστα με δείκτες

ποιότητας για κάθε απογραφή του κύκλου ζωής. Η συλλογή των δεικτών ποιότητας εξαρτάται από το ποίοι από αυτούς είναι πιο κατάλληλοι και εφαρμόσιμοι για την εκτίμηση μιας συγκεκριμένης πηγής δεδομένων. Μερικοί δείκτες είναι η ακρίβεια, η πληρότητα, η αντιπροσωπευτικότητα, η συνέπεια και η επαναληψιμότητα.

Η εκτίμηση της ακρίβειας και της αντιπροσωπευτικότητας των δεδομένων μπορεί να γίνει θέτοντας κάποια ερωτήματα. Για παράδειγμα:

- 1 Πόσο συχνά γίνονται οι μετρήσεις;
- 2 Υπάρχουν εκτιμήσεις της αντιπροσωπευτικότητάς τους;
- 3 Τα δεδομένα είναι συγκεκριμένα ή έχουν τη μορφή μέσου όρου;
- 4 Τα δεδομένα είναι πλήρη ή έχουν κενά και ποιες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τη συμπλήρωση των κενών;
- 5 Ποιες μέθοδοι μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν και αν είναι αυτές οι μέθοδοι κοινά αποδεκτές. Για παράδειγμα, στην Αγγλία χρησιμοποιείται ο δείκτης BOD₂, ενώ στις Σκανδιναβικές χώρες χρησιμοποιείται ο δείκτης BOD₇.
- 6 Υπάρχει αβεβαιότητα για τα δεδομένα ή έλλειψη συνοχής; Υπάρχουν μετρήσεις κάτω από το όριο ανίχνευσης και ποια μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις;
- 7 Η μεταφορά των πρώτων υλών ή των προϊόντων συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη (συνήθως όχι) και αν ναι, λαμβάνονται υπόψη μόνο τα καύσιμα ή και τα οχήματα της μεταφοράς, η κατασκευή των δρόμων και η απώλεια υπαίθρου;

Κατηγοριοποίηση των δεδομένων με βάση την πηγή προέλευσης τους και τον τύπο τους.

Για κάθε στάδιο του κύκλου ζωής, μονάδα λειτουργίας ή για κάθε εκροή στο περιβάλλον, καθορίζεται η απαιτούμενη πηγή δεδομένων, η οποία θα επιφέρει την επιθυμητή ακρίβεια και ποιότητα, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της μελέτης. Κατηγοριοποιώντας τα δεδομένα με βάση την πηγή προέλευσης τους και τον τύπο τους πριν τη συλλογή τους, μειώνεται το κόστος και ο χρόνος της διαδικασίας αυτής.

Μερικά παραδείγματα πηγών δεδομένων είναι οι μετρητές ενδείξεων των μηχανημάτων, τα αποτελέσματα εργαστηριακών τεστ, τα κυβερνητικά δεδομένα, αναφορές και βάσεις δεδομένων. Επίσης, πηγή δεδομένων είναι οι βιομηχανικές αναφορές και βάσεις δεδομένων, όπως και άλλες διαθέσιμες δημόσιες βάσεις δεδομένων. Επιπλέον, είναι τα περιοδικά, τα άρθρα, τα βιβλία, οι παλαιότερες σχετικές μελέτες για την απογραφή του κύκλου ζωής, κ.α. Μερικά παραδείγματα των τύπων δεδομένων είναι σε μορφή μετρήσεων, μοντέλων, δοκιμών κ.λ.π.

Επίσης, θα πρέπει να προσδιοριστεί αν τα δεδομένα είναι αντιπροσωπευτικά για μια ή για περισσότερες διεργασίες.

Ανάπτυξη ενός φύλλου εργασίας και μιας λίστας ελέγχου για τη συλλογή των δεδομένων.

Το επόμενο βήμα είναι η ανάπτυξη μιας λίστας ελέγχου για την απογραφή του κύκλου ζωής. Η λίστα ελέγχου βοηθά στη συλλογή των δεδομένων και στην ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων για την αποθήκευσή τους σε ηλεκτρονική μορφή. Μια λίστα ελέγχου πρέπει να περιέχει τα παρακάτω:

1. Σκοπός της απογραφής.
2. Όρια του συστήματος.

3. Γεωγραφικό πεδίο δράσης.
4. Τύπος των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.
5. Διαδικασία συλλογής των δεδομένων.
6. Μετρήσεις της ποιότητας των δεδομένων.
7. Υπολογιστικά μοντέλα κατασκευής.
8. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Επίσης, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα φύλλο εργασίας για την κατά-γραφή των εισροών και των εκροών της κάθε διεργασίας του διαγράμματος ροής.

Η λίστα ελέγχου και το φύλλο εργασίας είναι πολύτιμα εργαλεία για την εξακρίβωση της πληρότητας, της ακρίβειας και της συνοχής των δεδομένων. Ειδικά, σε μεγάλα σχέδια, όπου μεγάλος αριθμός ατόμων συλλέγει δεδομένα, είναι ιδιαίτερα απαραίτητα. Η λίστα ελέγχου και το φύλλο εργασίας πρέπει να είναι καλοφτιαγμένα και δομημένα με προσοχή, προκειμένου να ικανοποιήσουν τις ανάγκες μιας συγκεκριμένης διαδικασίας απογραφής του κύκλου ζωής.

Παραδείγματα φύλλου εργασίας και λίστας ελέγχου απεικονίζονται στο Παράρτημα Α.

3.4.3 Βήμα 3^ο: Συλλογή των δεδομένων

Στο 1^ο βήμα, τα διαγράμματα ροής προσφέρουν ένα σχεδιάγραμμα για τα δεδομένα που θα συλλεχθούν. Κατά τη διάρκεια του 2^{ου} βήματος, γίνονται πιο συγκεκριμένες οι απαιτούμενες πηγές και οι τύποι των δεδομένων, η ακρίβεια, η ποιότητα και οι μέθοδοι συλλογής των δεδομένων. Στο 3^ο βήμα, γίνεται η συμπλήρωση του διαγράμματος ροής και του φύλλου εργασίας με αριθμητικά δεδομένα. Αυτή η διαδικασία είναι αρκετά πολύπλοκη, επειδή κάποια δεδομένα είναι δύσκολο ή αδύνατο να συλ-

λεχθούν. Επιπλέον, τα διαθέσιμα δεδομένα, ίσως είναι δύσκολο να μετατραπούν στη λειτουργική μονάδα που επιλέχθηκε. Για το λόγο αυτό, ίσως πρέπει να τροποποιηθούν τα όρια του συστήματος ή τα κριτήρια ποιότητας των δεδομένων της μελέτης. Η τροποποίηση αυτή, πρέπει να βασίζεται στα δεδομένα που είναι ήδη διαθέσιμα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται συνήθως, για τα περισσότερα συστήματα εκτίμησης του κύκλου ζωής.

Η συλλογή των αριθμητικών δεδομένων περιλαμβάνει έρευνα, αναζήτηση στο διαδίκτυο και επαφή με ειδικούς. Με αυτό τον συνδυασμό συλλέγεται μεγάλη ποσότητα δεδομένων. Για τη φύλαξη και την επεξεργασία των δεδομένων χρειάζεται μια βάση δεδομένων ή ένα φύλλο εργασίας. Για να μην κινδυνεύει η φύλαξη και η επεξεργασία των δεδομένων από προχειρότητα, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί ένα έτοιμο εμπορικό λογισμικό πακέτο για την εκτίμηση του κύκλου ζωής. Πριν την αγορά του λογισμικού πακέτου, θα πρέπει να βεβαιωθούν οι ενδιαφερόμενοι, πως το πακέτο που θα αγοράσουν θα ικανοποιεί το επίπεδο της ανάλυσης των δεδομένων που επιθυμούν.

Ένας ακόμη τρόπος για τη μείωση του χρόνου και του κόστους συλλογής δεδομένων, είναι η απόκτηση δεδομένων, τα οποία δεν αφορούν τη μελέτη συγκεκριμένης επεξεργασίας, αλλά είναι πιο γενικά. Υπάρχουν διάφοροι οργανισμοί, οι οποίοι ανέπτυξαν βάσεις δεδομένων για την εκτίμηση του κύκλου ζωής. Οι βάσεις αυτές περιέχουν γενικά δεδομένα για την εφαρμογή της εκτίμησης του κύκλου ζωής. Κάποιες από αυτές τις βάσεις δεδομένων πωλούνται μαζί με τα λογισμικά πακέτα συλλογής δεδομένων για την απογραφή του κύκλου ζωής, ενώ άλλες αποτελούν ανεξάρτητες πηγές δεδομένων (παράρτημα Β). Μάλιστα, υπάρχουν εταιρίες που διαθέτουν ολοκληρωμένα και άρτια λογισμικά και προσφέρουν συμβουλές για το σχεδιασμό της απογραφής του κύκλου ζωής.

Οι βάσεις δεδομένων αφορούν συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως είναι η μεταφορά των προϊόντων, οι τύποι ενέργειας που καταναλώνονται και τα υλικά συσκευασίας που χρησιμοποιούνται, όπως είναι το αλουμίνιο και το πλαστικό. Οι πιο άρτιες βάσεις δεδομένων διατίθενται από τις εταιρίες Franklin (US), Sundstrom (Sweden) και Battele (Germany). Η εκτίμηση του κύκλου ζωής θα πρέπει να είναι όπως τα μαθηματικά, όπου πολλοί χρήστες κάνοντας την ίδια εργασία, καταλήγουν στο ίδιο αποτέλεσμα.

Όπως είναι φυσικό, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από την εκτίμηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, εξαρτώνται από τη συλλογή και την αξιοπιστία των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της εκτίμησης. Ανάλογα με τη πηγή από την οποία προήλθαν τα δεδομένα, μπορούν να εκφραστούν είτε *οριακά* (*marginal*), είτε *κατά μέσο όρο*. Τα *οριακά δεδομένα* ή τα *δεδομένα συγκεκριμένης διεργασίας*, προέρχονται κυρίως από τους κατασκευαστές και είναι πιο αξιόπιστα από τα *κατά μέσο όρο* δεδομένα, τα οποία προέρχονται συνήθως από εμπορικές βάσεις δεδομένων για την εκτίμηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (π.χ. PEMS ή DEAM). Τα *οριακά δεδομένα* χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα πρώτου πλάνου, ενώ τα *κατά μέσο όρο δεδομένα* είναι πιο κατάλληλα για συστήματα φόντου.

3.4.4 Βήμα 4^ο: Εκτίμηση και τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων της LCI

Στο σημείο αυτό έχει ολοκληρωθεί η συλλογή και η οργάνωση των δεδομένων σε κάποια μορφή, οπότε θα πρέπει τώρα να γίνει επαλήθευση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων πρέπει να συμβαδίζει με τα αποτελέσματα που είχαν οριστεί ως στόχος

της μελέτης κατά τη διάρκεια της φάσης του προσδιορισμού του σκοπού και του στόχου της μελέτης. Στα βήματα 1 και 2, του 5^{ου} κεφαλαίου, όπου μελετάται η ερμηνεία του κύκλου ζωής, περιγράφεται πώς επιτυγχάνεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της εκτίμησης του κύκλου ζωής. Όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1-3, στο πρώτο κεφάλαιο, στο οποίο φαίνονται οι φάσεις της εκτίμησης του κύκλου ζωής, η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι μια “κυκλική” διαδικασία, όπου το κάθε στάδιο της μπορεί να επαναληφθεί. Η εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων της απογραφής του κύκλου ζωής πριν από την εκτίμηση των επιδράσεων του κύκλου ζωής (LCIA), εξοικονομεί χρήμα και χρόνο. Στην αντίθετη περίπτωση, εάν δηλαδή διαπιστωθεί αργότερα ότι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων δεν είναι ικανοποιητική, θα πρέπει να επαναληφθεί η διαδικασία της εκτίμησης της ακρίβειας.

Καθώς τεκμηριώνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την απογραφή του κύκλου ζωής, είναι σημαντικό να γίνει διεξοδική περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε στην ανάλυση, πλήρης προσδιορισμός του συστήματος που μελετήθηκε και των ορίων του, καθώς και όλες οι υποθέσεις που έγιναν κατά τη διεξαγωγή της μελέτης. Στην τεκμηρίωση και εκτίμηση των αποτελεσμάτων της φάσης αυτής, βοηθά η χρήση της λίστας ελέγχου και του φύλλου εργασίας.

Κατά τη διάρκεια της απογραφής είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η έννοια **credits**. Για παράδειγμα, όταν κατασκευάζεται πολτός ξύλου, χρησιμοποιείται πριονίδι ως καύσιμο, για την παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, το πριονίδι που καίγεται ελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και επιπλέον προέρχεται από μη ανανεώσιμη πηγή, οπότε επηρεάζει τη βιοποικιλότητα.

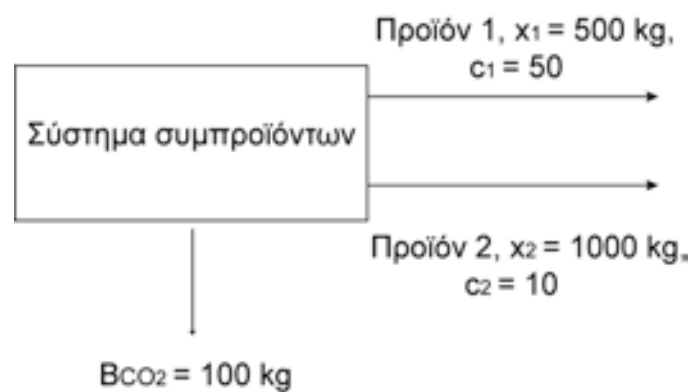
Εξαιτίας της ποικιλίας της ποιότητας των δεδομένων της απογραφής του κύκλου ζωής, είναι απαραίτητο να διεξάγεται *ανάλυση ευαισθησίας* για να διαπιστωθούν η ποικιλομορφία και η αβεβαιότητα των δεδομένων,

καθώς και τα κενά των δεδομένων που επηρεάζουν τα τελικά συμπεράσματα της μελέτης. Η *ανάλυση ευαισθησίας* είναι μέρος του σταδίου βελτίωσης της διαδικασίας της εκτίμησης του κύκλου ζωής. Για παράδειγμα, γίνονται ερωτήσεις, όπως τι θα γίνει αν αυξηθεί η ταχύτητα ανακύκλωσης και πώς θα επηρεάσει το γεγονός αυτό τα αποτελέσματα. Επίσης, τι θα συμβεί αν χρησιμοποιηθεί πυρηνική ή ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Συγκεκριμένα, μια πλαστικοποιημένα σακούλα είναι καλύτερη από ένα πλαστικό μπουκάλι απορρυπαντικού, εκτός αν η ταχύτητα ανακύκλωσης για το πλαστικό αυξηθεί από το 2 στο 75%. Επιπλέον, η ανάλυση ευαισθησίας βοηθά στην αντιμετώπιση των μελλοντικών νομοθεσιών και στον προγραμματισμό των προτεραιοτήτων της εταιρίας.

Η διαδικασία της απογραφής περιλαμβάνει και τον καταμερισμό των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων, ειδικά σε συστήματα με πολλαπλά στάδια, όπως είναι τα συστήματα που παράγουν συμπροϊόντα, συστήματα διαχείρισης αποβλήτων και ανακύκλωσης. Ο καταμερισμός είναι η διαδικασία κατά την οποία αποδίδονται σε κάθε διεργασία του συστήματος, οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις που προκαλεί. Ένα παράδειγμα συστήματος με συμπροϊόντα είναι η πυρόλυση της νάφθας, η οποία παράγει αιθυλένιο, προπυλένιο, βουτένιο και βενζίνη πυρόλυσης. Το πρόβλημα στο σύστημα αυτό είναι να αποδοθούν σε κάθε προϊόν ή σε κάθε λειτουργική εκροή οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις που προκαλεί το κάθε ένα. Η πιο συνηθισμένη αλλά και αυθαίρετη προσέγγιση είναι ο καταμερισμός των επιβαρύνσεων με βάση υλικά ή οικονομικά κριτήρια, οπότε ο καταμερισμός και της συνολικής επιβάρυνσης γίνεται σύμφωνα με τις υλικές εκροές και την οικονομική αξία του κάθε προϊόντος ή λειτουργικής εκροής. Αυτή η διαδικασία απεικονίζεται στο παράδειγμα 2.

Παράδειγμα 2 Καταμερισμός των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων.

Ας θεωρήσουμε ότι ένα σύστημα παράγει δύο προϊόντα ή λειτουργικές εκροές (προϊόν 1 και προϊόν 2) και απελευθερώνει αέριο διοξείδιο του άνθρακα στο περιβάλλον. Ένα απλό διάγραμμα ροής φαίνεται παρακάτω. Το πρόβλημα καταμερισμού είναι η απόδοση της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται σε κάθε προϊόν. Για την ευκολία του σχεδιασμού, χρησιμοποιούνται μόνο δύο αυθαίρετες προσεγγίσεις στο παράδειγμα: οι υλικές εκροές x των προϊόντων και η οικονομική τους αξία c .



Με βάση τις υλικές εκροές

$$\text{Προϊόν 1: } bc_1 = [x_1 / (x_1 + x_2)] \cdot Bco_2 = [500 / (500 + 1000)] \cdot 100 \Rightarrow \\ bc_1 = 33.3 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{Προϊόν 2 : } bc_2 = [x_2 / (x_1 + x_2)] \cdot Bco_2 = [1000 / (500 + 1000)] \cdot 100 \Rightarrow \\ bc_2 = 66.7 \text{ kg CO}_2$$

Με βάση την οικονομική αξία:

$$\text{Προϊόν 1: } bc_1 = [c_1 / (c_1 + c_2)] \cdot B_{CO_2} = [50 / (50 + 10)] \cdot 100 \Rightarrow$$

$$bc_1 = 83.3 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{Προϊόν 2 : } bc_2 = [c_2 / (c_1 + c_2)] \cdot B_{CO_2} = [10 / (50 + 10)] \cdot 100 \Rightarrow$$

$$bc_2 = 16.7 \text{ kg CO}_2$$

Προφανώς, ο συντελεστής καταμερισμού που προκύπτει από τις δυο μεθόδους, είναι πολύ διαφορετικός για τις ίδιες λειτουργικές εκροές. Για παράδειγμα, η προσέγγιση με βάση τις υλικές εκροές αποδίδει 33.3% του συνολικού διοξειδίου του άνθρακα στο προϊόν 1, ενώ η προσέγγιση με βάση την οικονομική αξία αποδίδει το 83.3% του συνολικού διοξειδίου του άνθρακα στο ίδιο προϊόν. Το απλό αυτό παράδειγμα δείχνει τη μεγάλη ανάγκη να χρησιμοποιηθεί η κατάλληλη μέθοδος, η οποία εξαρτάται από τον τύπο του συστήματος που εξετάζεται. Αν και η χρήση της μιας ή της άλλης μεθόδου είναι απλή, συχνά επιλέγονται αυθαίρετα, χωρίς να ληφθούν υπόψη άλλες μέθοδοι καταμερισμού, οπότε δεν οδηγούν σε σωστά συμπεράσματα. Ο σωστός προσδιορισμός της μεθόδου που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, ίσως μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση οδηγού ISO, που περιλαμβάνει μια διαδικασία επιλογής τριών βημάτων.

Τα βήματα του οδηγού ISO περιγράφονται παρακάτω:

1. Εάν είναι δυνατόν, πρέπει να αποφευχθεί η επέκταση των ορίων του συστήματος ή η διαίρεση της διεργασίας σε επιμέρους μικρότερες διεργασίες.
2. Εάν είναι αδύνατο να αποφευχθεί ο καταμερισμός, θα πρέπει το πρόβλημα του καταμερισμού να λυθεί με τη χρήση μοντέλων που στηρίζονται σε φυσικές σχέσεις. Αυτή η προσέγγιση φανερώνει τη σημασία των φυσικών σχέσεων μεταξύ των λειτουργικών μονάδων.

3. Όταν δεν μπορούν να αποδειχθούν οι φυσικές σχέσεις μεταξύ των λειτουργικών μονάδων, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλες σχέσεις, όπως η οικονομική αξία των λειτουργικών εκροών.

Το αποτέλεσμα της απογραφής του κύκλου ζωής είναι μια λίστα, η οποία περιέχει τις ποσότητες των ρύπων που ελευθερώθηκαν στο περιβάλλον και τις ποσότητες ενέργειας και υλικών που καταναλώθηκαν. Οι πληροφορίες μπορούν να διαχωριστούν με βάση το στάδιο του κύκλου ζωής, του μέσου στο οποίο ελευθερώθηκαν οι ρύποι (αέρας, νερό, έδαφος), μιας συγκεκριμένης διεργασίας ή οποιουδήποτε συνδυασμού αυτών.

Τα αποτελέσματα του σταδίου απογραφής, χρησιμοποιούνται με έναν από τους δυο παρακάτω τρόπους μέχρι σήμερα (2005):

1. Εκροές που αποβάλλονται στο περιβάλλον, ανάλογα με το μέσο στο οποίο ελευθερώνονται, π.χ. τόνοι διοξειδίου του άνθρακα που ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, λίτρα οργανικού φορτίου (BOD) που ελευθερώνονται στο νερό.
2. Ανάλογα με τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτόν το διαχωρισμό τον χρησιμοποιεί κυρίως ο οργανισμός SETAC. Η συγκεκριμένη προσέγγιση εξετάζει προβλήματα, όπως είναι ο ευτροφισμός, η οικοτοξικότητα, η καταστροφή του στρώματος του όζοντος στην ατμόσφαιρα.

Κεφάλαιο 4^ο

Αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (LCIA)

4.1 Τι είναι η αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής.

Η εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, είναι η φάση της εκτίμησης του κύκλου ζωής, όπου γίνεται η εκτίμηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον, από τις περιβαλλοντικές πηγές και τις εκροές, που διερευνώνται κατά την διάρκεια του σταδίου της απογραφής του κύκλου ζωής (LCI). Η εκτίμηση των επιπτώσεων θα έπρεπε να ονομαστεί επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στην οικολογία. Μπορεί επίσης να ονομαστεί μείωση των πόρων. Η εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής προσπαθεί να εδραιώσει μια σύνδεση ανάμεσα στα προϊόντα ή στη διαδικασία και τις δυνατές περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Για παράδειγμα ποιες είναι οι επιπτώσεις από 9.000 τόνους CO₂ (διοξείδιο του άνθρακα) ή 5.000 τόνους εκπομπές CH₄ (μεθανίου) που ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα; Ποίο είναι το χειρότερο; Ποιες είναι οι δυνατές τους επιπτώσεις στην αιθαλομίχλη ή στην παγκόσμια θερμοκρασία;

Το σχέδιο κλειδί σε αυτό το συστατικό είναι αυτό του stressor. Ένα stressor είναι ένα σύνολο από προϋποθέσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε μια επίπτωση. Για παράδειγμα εάν ένα προϊόν ή μια διαδικασία εκπέμπει αέρια θερμοκηπίου, η αύξηση των αέριων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα μπορεί να συνεισφέρουν στην παγκόσμια θερμοκρασία. Το

αποτέλεσμα αυτό οδηγεί στην συγκέντρωση σημαντικής ποσότητας θρεπτικών στοιχείων στο σώμα του νερού και μπορεί να οδηγήσει σε ευτροφισμό. Η διαδικασία της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής προωθεί μια συστηματική διαδικασία για την κατάταξη και τον χαρακτηρισμό αυτών των τύπων των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

4.2 Γιατί πρέπει να διεξαχθεί η LCIA

Παρόλο που μπορούμε να μάθουμε πολλά για μια διαδικασία από την μελέτη της καταγραφής των δεδομένων κύκλου ζωής, η διαδικασία αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής παρέχει μια πιο ακριβή βάση για να κάνουμε συγκρίσεις. Για παράδειγμα, μολονότι γνωρίζουμε ότι 9.000 τόνοι CO₂ και 5.000 τόνοι από εκπεμπόμενο μεθάνιο CH₄ στην ατμόσφαιρα είναι και τα δύο επιβλαβή, η διαδικασία αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής μπορεί να καθορίσει πιο θα έχει τη μεγαλύτερη δυνατή επίπτωση. Χρησιμοποιώντας παράγοντες χαρακτηρισμού βασισμένους στην επιστήμη, η διαδικασία αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής μπορεί να υπολογίσει τις επιπτώσεις από κάθε περιβαλλοντική απελευθέρωση στην αιθαλομίχλη ή στην παγκόσμια θερμότητα. Η εκτίμηση των επιπτώσεων μπορεί να οδηγήσει στην εξαγωγή σημ. αντικών αποφάσεων. Σε περιοχές της ατμόσφαιρας που δεν μπορούν εύκολα να προσεγγιστούν, οι εκπομπές των ρύπων έχουν χειρότερες επιπτώσεις από περιοχές με καλύτερη ποιότητα αέρα, για τα ίδια επίπεδα εκπομπής.

4.3 Τι σημαίνουν τα αποτελέσματα της LCIA

Το αποτέλεσμα της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής είναι μια λίστα που δείχνει τις σχετικές διαφορές στις δυνατές περιβαλλοντικές επιπτώσεις για κάθε επιλογή. Για παράδειγμα, η διαδικασία αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής μπορεί να καθορίσει ποια προϊόντα/διαδικασίες προκαλούν περισσότερα αέρια θερμοκηπίου ή μπορούν δυναμικά να σκοτώσουν περισσότερα ψάρια.

4.4. Τα βήματα της LCIA

Τα παρακάτω στάδια συμπεριλαμβάνονται στην εκτίμηση των επιπτώσεων κύκλου ζωής :

1. Συλλογή και καθορισμός των κατηγοριών των επιπτώσεων: εξερεύνηση σχετικών περιβαλλοντικών κατηγοριών επιπτώσεων (π.χ. παγκόσμια θερμοκρασία, οξείδωση, γήινη τοξικότητα).
2. Κατάταξη: σημειώνονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής στις κατηγορίες των επιπτώσεων (π.χ. κατάταξη των εκπομπών του CO₂ στην παγκόσμια θερμοκρασία).
3. Χαρακτηρισμός: σχεδίαση των επιπτώσεων της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής μέσα από τις κατηγορίες επιπτώσεων, χρησιμοποιώντας αντίστροφους παράγοντες βασισμένους στην επιστήμη (π.χ. σχεδίαση των δυνατών επιπτώσεων του CO₂ και του μεθανίου CH₄ στην παγκόσμια θερμοκρασία).
4. Κανονικοποίηση: εκφράζει τις πιθανές επιπτώσεις με τρόπους που μπορούν να συγκριθούν (π.χ. συγκρίνει τις επιπτώσεις που

προκαλούν στην παγκόσμια θερμοκρασία το CO₂ και το CH₄ και από τις δύο οπτικές).

5. Ομαδοποίηση: ταξινόμηση των δεικτών (π.χ. ταξινόμηση των δεικτών κατά θέση: τοπικός, περιφερειακός, παγκόσμιος).
6. Στάθμιση: υπογραμμίζει τις σημαντικότερες πιθανές επιπτώσεις.
7. Αξιολόγηση και έκθεση των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής: αποκτάται έτσι μια καλύτερη κατανόηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της LCIA.

Ο διεθνής οργανισμός τυποποίησης (ISO) ανέπτυξε ένα πρότυπο για να μας καθοδηγήσει στην διεξαγωγή της εκτίμησης επιπτώσεων με τίτλο ISO 14042, εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής (ISO1998), όπου τα τρία πρώτα βήματα –επιλογή κατηγορίας επιπτώσεων, ταξινόμηση και χαρακτηρισμός– είναι υποχρεωτικά βήματα για μια διαδικασία αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής. Εκτός από την αξιολόγηση των στοιχείων (βήμα 7) τα άλλα βήματα είναι προαιρετικά, ανάλογα με το στόχο και το πεδίο της μελέτης.

4.4.1 Βήμα 1ο: Επιλογή και καθορισμός των κατηγοριών επιπτώσεων.

Το πρώτο βήμα σε μία διαδικασία αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής είναι να επιλεγούν οι κατηγορίες επιπτώσεων που θα εξεταστούν ως τμήματα της γενικής αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής. Αυτό το βήμα πρέπει να ολοκληρωθεί ως τμήμα της αρχικής φάσης καθορισμού του σκοπού και του στόχου, για να καθοδηγήσει την διαδικασία συλλογής δεδομένων για την απογραφή του κύκλου ζωής και απαι-

τεί την αναθεώρηση μετά από την φάση συλλογής δεδομένων. Τα στοιχεία που προσδιορίζονται στην απογραφή του κύκλου ζωής έχουν πιθανές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Παραδείγματος χάριν, μια περιβαλλοντική απελευθέρωση που προσδιορίζεται στην απογραφή του κύκλου ζωής μπορεί να βλάψει την ανθρώπινη υγεία με την πρόκληση καρκίνου ή στειρότητας ή να έχει επιπτώσεις στην ασφάλεια εργασιακών χώρων. Επιπλέον μια απελευθέρωση που προσδιορίστηκε στην απογραφή του κύκλου ζωής θα μπορούσε επίσης να έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον προκαλώντας όξινη βροχή, στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου ή τις θανατώσεις ψαριών σε μια τοπική λίμνη.

Σε μία διαδικασία απογραφής του κύκλου ζωής οι επιδράσεις καθορίζονται σύμφωνα με τις συνέπειες που προκαλούνται από τα ρεύματα εισροών και εκροών ενός συστήματος, στην ανθρώπινη υγεία, στα φυτά και στα ζώα ή την μελλοντική διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων. Χαρακτηριστικά, η διαδικασία αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής εστιάζει στις δυνατές επιπτώσεις σε τρεις κυρίως κατηγορίες: στην ανθρώπινη υγεία, στη οικολογική υγεία και στη μείωση των φυσικών πόρων. Στον Πίνακα 4-1 παρουσιάζονται μερικές από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες κατηγορίες επιπτώσεων.

Κατηγορία φορτίου	Βαθμίδα	Σχετικά δεδομένα LCI (π.χ. κατάταξη)	Κοινός παράγοντας χαρακτηρισμού	Περιγραφή παράγοντα χαρακτηρισμού
Παγκόσμια θερμοκρασία	παγκόσμια	Υδρογονοχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) Μέθυλο βρωμίδιο (CH ₃ Br) Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂) Αμμωνία (NH ₄)	Δυνατότητα παγκόσμιας θερμότητας	Μετατρέπει τα δεδομένα του LCI σε ισοδύναμα CO ₂
Επίπεδα όζοντος στην ατμόσφαιρα	παγκόσμια	Χλωροφθοράνθρακες (CFCs) Υδρογονοχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) Αλογόνα Μέθυλο βρωμίδιο (CH ₃ Br) Δυνατότητα επιπέδων όζοντος	Δυνατότητα επιπέδων όζοντος	Μετατρέπει τα δεδομένα του LCI σε ισοδύναμα CCl ₃ F
Όξινη βροχή	Περιφερειακή Τοπική	Οξείδια του θείου (SO _x) Οξείδια του αζώτου (NO _x) Υδροχλωρικό οξύ (HCl) Υδροφθορικό οξύ (HF) Αμμωνία (NH ₄)	Δυνατότητα όξινης βροχής	Μετατρέπει τα δεδομένα του LCI σε ισοδύναμα H ⁺
Ευτροφισμός	τοπική	Φωσφορικά (PO ₄) Μονοξείδιο του αζώτου (NO) Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂) Νιτρικά Αμμωνία (NH ₄)	Δυνατότητα ευτροφισμού	Μετατρέπει τα δεδομένα του LCI σε ισοδύναμα PO ₄
Φωτοχημικό νέφος	τοπική	Τοπική Μη μεθανίου υδρογονάνθρακες (NMHC)	Δυνατότητα δημιουργίας φωτοχημικού νέφους	Μετατρέπει τα δεδομένα του LCI σε ισοδύναμα C ₂ H ₆
Γήινη τοξικότητα	τοπική	Τοπική Τοξικές χημικές ουσίες που προκαλούν θανάτους	LC50	μετατρέπει τα δεδομένα του δείκτη LC ₅₀ σε ισοδύναμα
Υδάτινη τοξικότητα	τοπική	Τοξικές ουσίες με μια αναφερόμενη θανατηφόρα συγκέντρωση στα ψάρια	LC50	μετατρέπει τα δεδομένα του δείκτη LC ₅₀ σε ισοδύναμα
Ανθρώπινη υγεία	Παγκόσμια τοπική περιφερειακή	Συνολικές εκπομπές στον αέρα, νερό και το έδαφος.	LC50	μετατρέπει τα δεδομένα του δείκτη LC ₅₀ σε ισοδύναμα
Μείωση των φυσικών πόρων	Παγκόσμια τοπική περιφερειακή	Ποσότητα μεταλλευμάτων Ποσότητα απολιθωμένων καυσίμων	διάθεση	Μετατρέπει τα δεδομένα του LCI σε μια αναλογία της ποσότητας που χρησιμοποιείτε από τους φυσικούς πόρους σε σχέση με την ποσότητα που παραμένει
Χρήση της γής	Παγκόσμια τοπική περιφερειακή	Ποσότητα που αποτίθεται στο έδαφος	Στερεά απόβλητα.	Μετατρέπει τη μάζα των στερεών αποβλήτων σε όγκο χρησιμοποιώντας

Πινάκας 4-1: Πιο συχνά χρησιμοποιούμενες κατηγορίες επιπτώσεων του κύκλου ζωής.

4.4.2 Βήμα 2^ο: Ταξινόμηση

Ο σκοπός της ταξινόμησης 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 CO₂ 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).

- 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.

- 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 SO₂ 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_2) 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_2), μπορεί ενδεχομένως να έχει συγχρόνως επιπτώσεις και στον σχηματισμό των επίγειων επιπέδων όζοντός και στην όξινη βροχή, ολόκληρη η ποσότητα του NO_2 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 Βήμα 3^ο: Χαρακτηρισμός

Ο χαρακτηρισμός 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 από - γραφή εισροών στους άμεσα συγκρίσιμους δείκτες επιπτώσεων. Παραδείγματος χάριν, ο χαρακτηρισμός θα περιέχει μια εκτίμηση της σχετικής επίγειας τοξικότητας μεταξύ μόλυβδου, χρωμίου, και ψευδάργυρου.

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)

Πίνακα 4-2. Κατηγορίες των επιπτώσεων του κύκλου ζωής.

- Οι δείκτες επιπτώσεων χαρακτηρίζονται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση

(καταγραφή δεδομένων)*(παράγοντας χαρακτηρισμού)=Δείκτες επιπτώσεων

Παραδείγματος χάριν, όλα τα αέρια θερμοκηπίου μπορούν να εκφραστούν από την άποψη αντιτίμων του CO₂ με τον πολλαπλασιασμό των σχετικών αποτελεσμάτων της απογραφής του κύκλου ζωής, με έναν παράγοντα χαρακτηρισμού του CO₂ και έπειτα να συνδυαστούν με τα αποτελέσματα των δεικτών των επιπτώσεων για να παρασχεθεί ένας δείκτης της εν δυνάμει αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας.

Χαρακτηρισμός των επιπτώσεων στην παγκόσμια θερμοκρασία

Παράγοντας αξίας χλωροφορμίου GWP = 9

Ποσότητα χλωροφορμίου = 20 p

Παράγοντας αξίας μεθανίου GWP = 21

Ποσότητα μεθανίου = 10p

Επίπτωση GWP χλωροφορμίου = 90 * 20 = 180

Επίπτωση GWP μεθανίου = 21 * 10 = 210

GWP (Global Warming Potential) = Δυνατότητα αύξησης παγκόσμιας θερμοκρασίας

Ο χαρακτηρισμός μπορεί να τοποθετήσει αυτές τις διαφορετικές ποσότητες των χημικών ουσιών σε μια ίση κλίμακα για να καθορίσει το μέγεθος του αντίκτυπου που έχει η κάθε μια στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι υπολογισμοί δείχνουν ότι 10p μεθανίου ασκούν μεγαλύτερη επίδραση στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου από 20p χλωροφορμίου.

Το κλειδί για τον χαρακτηρισμό των επιπτώσεων είναι να χρησιμοποιηθεί ο κατάλληλος παράγοντας χαρακτηρισμού. Για μερικές κατηγορίες επιπτώσεων, όπως η μείωση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και του όζοντος, υπάρχει μια σύνθεση στους αποδεκτούς παράγοντες χαρακτηρισμού. Ενώ για άλλες κατηγορίες επιπτώσεων, όπως η μείωση των φυσικών πόρων, αναπτύσσεται ακόμα. Ο Πίνακας 4-2 περιγράφει τους πιθανούς παράγοντες χαρακτηρισμού για μερικές από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες κατηγορίες των επιπτώσεων του κύκλου ζωής.

Μια κατάλληλη αναφορά της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής θα τεκμηριώνει την κάθε πηγή ή, για κάθε παράγοντα χαρακτηρισμού, για να επιβεβαιώσει ότι είναι σχετικά με την μελέτη του σκοπού και του στόχου. Για παράδειγμα, πολλοί παράγοντες χαρακτηρισμού είναι βασισμένοι στις μελέτες που πραγματοποιούνται στην Ευρώπη. Επομένως, η σχετικότητα των ευρωπαϊκών παραγόντων χαρακτηρισμού πρέπει να ερευνηθούν πριν εφαρμοστούν στα Αμερικανικά δεδομένα.

4.4.4 Βήμα 4^ο: Κανονικοποίηση

Η κανονικοποίηση είναι ένα εργαλείο της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής που χρησιμοποιείτε για να εκφράσει τα στοιχεία των δεικτών των επιπτώσεων με έναν τρόπο που μπορεί να συγκριθεί μεταξύ των κατηγοριών επιπτώσεων. Αυτή η διαδικασία εξισορροπεί τα αποτελέσματα των δεικτών.

Υπάρχουν πολυάριθμες μέθοδοι για την επιλογή μιας αξίας αναφοράς, που περιλαμβάνουν :

- Τις συνολικές εκπομπές ή την χρήση των φυσικών πόρων για μια δεδομένη περιοχή που μπορεί να είναι παγκόσμια, περιφερειακή ή τοπική.
- Τις συνολικές εκπομπές ή την χρήση των φυσικών πόρων για μια δεδομένη περιοχή σε κατά κεφαλή βάση.
- Την αναλογία μιας εναλλακτικής μεθόδου με μια άλλη μέθοδο (π.χ. τη βασική γραμμή).

Ο σκοπός και ο στόχος μπορούν να επηρεάσουν την επιλογή μιας κατάλληλης αξίας αναφοράς. Πρέπει να σημειωθεί, ότι τα εξισορροπημένα δεδομένα μπορούν μόνο να συγκριθούν μέσα σε μία κατηγορία επιπτώσεων. Για παράδειγμα, τα αποτελέσματα της όξινης βροχής δεν μπορούν να συγκριθούν άμεσα με εκείνα της υδρόβιας τοξικότητας, επειδή οι παράγοντες χαρακτηρισμού υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας διαφορετικές επιστημονικές μεθόδους.

4.4.5 Βήμα 5^ο: Ομαδοποίηση

Η ομαδοποίηση 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).

- 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).
- Ταξινόμηση των δεικτών, βάση ενός συστήματος ταξινόμησης όπως υψηλής, χαμηλής ή μεσαίας προτεραιότητας. Ταξινόμηση με βάση την αξία επιλογής.

4.4.6 Βήμα 6^ο: Στάθμιση

Το βήμα στάθμισης (επίσης γνωστό και ως αξιολόγηση) 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. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι επιβλαβείς εκπομπές αερίων θα μπορούσε να είναι σχετικά υψηλότερης ανησυχίας σε μια ζώνη αέρα από το ίδιο επίπεδο εκπομπής σε μια περιοχή με καλύτερη ποιότητα αέρα. Επειδή η στάθμιση δεν είναι μια επιστημονική

διαδικασία, είναι ζωτικής σημασίας η μεθοδολογία 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 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. Παραδείγματος χάριν, εάν κάποιος βρίσκεται στο Λος Άντζελες, μπορεί να δώσει περισσότερη σημασία στις τιμές για την φωτοχημική αιθαλομίχλη από ένα πρόσωπο που βρίσκεται στην Cheyenne.

4.4.7 Βήμα 7^ο: Εκτίμηση και τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων LCIA

Στο σημείο αυτό, έχουν υπολογιστεί οι δυνατές επιπτώσεις για κάθε κατηγορία και πρέπει να ελεγχθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Η ακρίβεια πρέπει να είναι επαρκής για να υποστηρίξει τους σκοπούς της εκτίμησης του κύκλου ζωής, όπως καθορίζονται στον σκοπό και τον στόχο. Κατά την τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, περιγράφεται λεπτομερώς η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στην ανάλυση, καθορίζονται τα συστήματα που αναλύονται και τα όρια που τέθηκαν και όλες οι υποθέσεις που έγιναν κατά την εκτέλεση της ανάλυσης της απογραφής. Κατά την τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης επιπτώσεων του κύκλου ζωής, περιγράφεται λεπτομερώς η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στην ανάλυση και όλες οι υποθέσεις που γίνονται κατά την εκτέλεση της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής.

Η αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, όπως όλα τα εργαλεία αξιολόγησης, έχει κάποιους περιορισμούς. Αν και η διαδικασία της αξιολόγησης ακολουθεί μια συστηματική διαδικασία υπάρχουν πολλές υποθέσεις, απλοποιήσεις, καθώς επίσης και υποκειμενικές αξίες επιλογής.\

Μερικοί από τους βασικούς περιορισμούς περιλαμβάνουν:

- Έλλειψη χωρικής αναλογίας (**resolution**)– π.χ. μια απελευθέρωση 4.000 γαλονιών αμμωνίας είναι χειρότερη σε ένα μικρό ρέμα παρά σε ένα με-γάλο ποταμό.
- Έλλειψη χρονικής αναλογίας (**resolution**)- για παράδειγμα η απελευθέρωση 5 τόνων ενός αερίου κατά την διάρκεια μιας περιόδου ενός μήνα είναι χειρότερη από την ίδια απελευθέρωση που πραγματοποιείται κατά την διάρκεια ενός χρόνου.
- Καταγραφή ειδών, για παράδειγμα η καταγραφή μιας λίστας ό-πως “VOC” (πτητικές οργανικές ενώσεις) ή “μετάλλων” δεν παρέχει αρκετές πληροφορίες για να προσδιοριστούν ακριβώς οι περιβαλλο-ντικές επιπτώσεις.
- Το κατώτατο όριο και το μη κατώτατο όριο των επιπτώσεων, για παράδειγμα 10 τόνοι μόλυνσης δεν είναι απαραίτητα 10 φορές χειρό-τερα από 1 τόνο μόλυνσης.

Η επιλογή των πιο σύνθετων ή πιο συγκεκριμένων μοντέλων επι-πτώσεων μπορεί να βοηθήσει και να μειώσει τους περιορισμούς της ακρίβειας αξιολόγησης των επιπτώσεων. Είναι σημαντικό να τεκμη-ριωθούν αυτοί οι περιορισμοί και να περιληφθεί μια περιεκτική περι-γραφή της μεθοδολογίας της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκ-λου ζωής, καθώς επίσης και μία συζήτηση των υποθέσεων, των αξιών επιλογής και των γνωστών αβεβαιοτήτων στα μοντέλα επιπτώσεων με αριθμητικά αποτελέσματα της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκ-λου ζωής, για να χρησιμοποιηθούν στην ερμηνεία των αποτελεσμά-των της εκτίμησης του κύκλου ζωής.

Κεφάλαιο 5⁰

Ερμηνεία των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής

5.1. Τι είναι η ερμηνεία των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής, είναι μια συστηματική τεχνική για την ταυτοποίηση, τον ποσοτικό προσδιορισμό, τον έλεγχο και την εκτίμηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την απόγραφή του κύκλου ζωής (LCI) και από την αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (LCIA). Επιπλέον, συνδέει όλα τα αποτελέσματα μεταξύ τους. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής, είναι η τελευταία φάση της εκτίμησης του κύκλου ζωής.

Ο διεθνής οργανισμός ISO καθόρισε τους παρακάτω αντικειμενικούς στόχους για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής:

1. Ανάλυση των αποτελεσμάτων, διεξαγωγή συμπερασμάτων, εξήγηση των περιορισμών και παροχή υποδείξεων, τα οποία θα στηρίζονται στα αποτελέσματα των προηγούμενων φάσεων και θα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της τελευταίας φάσης με σαφή τρόπο.

2. Κατανοητή, ολοκληρωμένη και λογική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης του κύκλου ζωής, σε σχέση με τους σκοπούς και τους στόχους της μελέτης. (ISO 1998b).

Ουσιαστικά, αυτό το στάδιο επιτρέπει σε όσους εφαρμόζουν την εκτίμηση του κύκλου ζωής να αναρωτηθούν «τι θα γίνει αν...», χωρίς να πρέπει να εφαρμόσουν την υπόθεση. Για παράδειγμα, τι θα γίνει αν αυξηθεί ο ρυθμός ανακύκλωσης και πως θα επηρεάσει η αύξηση αυτή τα αποτε-

λέσματα. Όπως, επίσης, τι θα συμβεί αν αντικατασταθούν οι προμηθευτές.

5.2 Σύγκριση εναλλακτικών λύσεων βασισμένοι στην ερμηνεία του κύκλου ζωής

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής δεν είναι απλή διαδικασία. Καθώς διεξάγονται η απογραφή του κύκλου ζωής και η αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, γίνονται κάποιες υποθέσεις και μηχανικές εκτιμήσεις, οι οποίες στηρίζονται στις αξίες αυτών που πραγματοποιούν την εκτίμηση του κύκλου ζωής και όλων όσων εμπλέκονται με αυτήν. Οι αποφάσεις που παίρνονται στις φάσεις αυτές, θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται και να μεταβιβάζονται στα τελικά αποτελέσματα, για να εξηγούνται με σαφήνεια τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα δεδομένα. Αν υπάρχει αβεβαιότητα στα τελικά αποτελέσματα, ίσως είναι ανέφικτο να ξεκαθαριστεί αν μια εναλλακτική διεργασία είναι καλύτερη από κάποια άλλη. Αυτό, βέβαια, δε σημαίνει ότι οι προσπάθειες που έγιναν πήγαν χαμένες. Η διεργασία της εκτίμησης του κύκλου ζωής βοηθά όσους θέλουν να την εφαρμόσουν να κατανοήσουν καλύτερα τις επιδράσεις της κάθε εναλλακτικής διεργασίας στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία, στην περιοχή όπου εφαρμόζονται (τοπικά, σε περιοχές ή παγκόσμια) και στην κατανόηση της σοβαρότητας της επίδρασης σε σχέση με την κάθε προτεινόμενη εναλλακτική διεργασία που συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη. Η διαδικασία αυτή, στην ουσία αποκαλύπτει τα υπέρ και τα κατά της κάθε εναλλακτικής διεργασίας.

5.3. Είναι δυνατή η επιλογή εναλλακτικής λύσης, στηριζόμενοι μόνο στα αποτελέσματα LCA;

Ο σκοπός της εφαρμογής της εκτίμησης του κύκλου ζωής, είναι να ενημερωθούν καλύτερα όσοι θέλουν να την εφαρμόσουν για τις πιθανές επιπτώσεις που θα έχει ένα προϊόν ή μια διεργασία στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο, η εκτίμηση του κύκλου ζωής, συχνά δεν λαμβάνει υπόψη τις τεχνικές απαιτήσεις της κάθε διεργασίας, το κόστος ή τις πολιτικές και κοινωνικές παραμέτρους. Για αυτό το λόγο, προτείνεται, η εκτίμηση του κύκλου ζωής να συμπεριλαμβάνει και τις προηγούμενες παραμέτρους.

5.4 Τα βήματα της ερμηνείας των αποτελεσμάτων της LCA

Ο οδηγός της ερμηνείας των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής που αναλύεται παρακάτω, είναι περίληψη της οδηγίας του οργανισμού ISO με τίτλο “*Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation*” ISO/DIS 14043 (ISO 1998b). Τα βήματα της ερμηνείας των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής είναι τα εξής:

5.4.1 Βήμα 1^ο: Προσδιορισμός των σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Το πρώτο βήμα της φάσης της ερμηνείας των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής περιλαμβάνει την ανασκόπηση των πληροφοριών που συλλέχθηκαν στις τρεις πρώτες φάσεις της εκτίμησης του κύκλου ζωής. Η ανασκόπηση πραγματοποιείται για να προσδιοριστούν τα δεδομένα που συμβάλλουν περισσότερο στα αποτελέσματα της απογραφής του κύκλου

ζωής (LCI) και της αξιολόγησης των επιδράσεων του κύκλου ζωής (LCIA) για οποιοδήποτε προϊόν, λειτουργία ή διεργασία.

Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας χρησιμοποιούνται για να γίνει εκτίμηση της πληρότητας, της ευαισθησίας και της συνοχής της εκτίμησης του κύκλου ζωής (βήμα 2). Η ποσότητα των δεδομένων που συλλέχθηκε είναι μεγάλη, για αυτό το λόγο χρειάζεται αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα και αρκετές πηγές για να γίνει η εκτίμηση των δεδομένων που επηρεάζουν περισσότερο την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Πριν να γίνει ο προσδιορισμός των τμημάτων της απογραφής και της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής που επηρεάζουν περισσότερο τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή εναλλακτικών διεργασιών, θα πρέπει να γίνει ανασκόπηση της προηγούμενης φάσης της εκτίμησης του κύκλου ζωής με περιληπτικό τρόπο (δηλαδή, στοχοί της μελέτης, θεμελιώδεις κανόνες, αποτελέσματα, κ.λ.π.).

Η ανασκόπηση των πληροφοριών που συλλέχθηκαν και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που διεξάχθηκαν, αποκαλύπτουν αν οι στόχοι και οι σκοποί της εφαρμογής της εκτίμησης του κύκλου ζωής επιτεύχθηκαν. Εάν επιτεύχθηκαν, μπορεί να γίνει ο προσδιορισμός της σημασίας των αποτελεσμάτων.

Ο προσδιορισμός των σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός συστήματος μπορεί να είναι απλή ή πολύπλοκη διαδικασία. Για να γίνει ευκολότερος ο προσδιορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και ο καθορισμός της σημασίας τους, προτείνονται οι παρακάτω αναλύσεις:

- *Ανάλυση της συμβολής των σταδίων του κύκλου ζωής και των διεργασιών.* Η ανάλυση γίνεται σε σχέση με τα συνολικά αποτελέσματα και εξετάζεται η σχέση μεταξύ τους.
- *Dominance analysis.* Χρησιμοποιούνται εργαλεία στατιστικής ή άλλες τεχνικές, όπως είναι η ποιοτική κατάταξη (δηλαδή, ανάλυση

ABC) για τον προσδιορισμό της σχέσης των σημαντικών συνεισφορών.

- *Εκτίμηση ανωμαλιών.* Βασίζεται σε προηγούμενη εμπειρία και είναι η παρατήρηση και συσχέτιση ασυνήθιστων ή εντυπωσιακών αποκλίσεων, που παρατηρούνται σε σχέση με τα αναμενόμενα ή συνηθισμένα αποτελέσματα.

Οι σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, περιλαμβάνουν παραμέτρους της απογραφής, όπως είναι η χρήση ενέργειας, οι αέριες εκπομπές, τα υγρά και στερεά απόβλητα, κ.λ.π. Επίσης, περιλαμβάνουν δείκτες κατηγοριοποίησης των επιδράσεων (**impact category indicators**), όπως είναι η χρήση πηγών, οι αέριες εκπομπές, τα υγρά και στερεά απόβλητα, κ.λ.π. Επιπλέον, περιλαμβάνουν τις βασικές συνεισφορές των σταδίων του κύκλου ζωής στην απογραφή του κύκλου ζωής και στην αξιολόγηση των επιδράσεων, όπως είναι μια μεμονωμένη μονάδα διεργασίας ή ένα σύνολο διεργασιών (δηλαδή, η μεταφορά, η παραγωγή ενέργειας κ.λ.π.).

5.4.2 Βήμα 2^ο: Αποτίμηση της πληρότητας, της ευαισθησίας και της συνοχής των δεδομένων

Το βήμα της εκτίμησης, της φάσης της ερμηνείας των αποτελεσμάτων, προσδιορίζει το όριο εμπιστοσύνης και αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων του LCA. Η εκτίμηση πραγματοποιείται ακολουθώντας τις παρακάτω διαδικασίες:

1. **Έλεγχος πληρότητας.** Εξετάζεται η πληρότητα της μελέτης.
2. **Έλεγχος ευαισθησίας.** Γίνεται εκτίμηση των δεδομένων που επηρεάζουν περισσότερο τα αποτελέσματα της μελέτης.

3. **Έλεγχος συνέπειας.** Εκτιμάται η συνέπεια στην οριοθέτηση του συστήματος, στη συλλογή δεδομένων, στην εισαγωγή υποθέσεων και στον καθορισμό των επιδράσεων της κάθε εναλλακτικής διεργασίας.

Παρακάτω, αναλύονται οι τεχνικές.

Έλεγχος πληρότητας: Ο έλεγχος πληρότητας διασφαλίζει ότι οι πληροφορίες και τα δεδομένα που χρειάζονται για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι διαθέσιμα και ολοκληρωμένα. Για την αναγραφή των πιο σημαντικών σημείων που εμφανίζονται στα αποτελέσματα, θα μπορούσε να αναπτυχθεί μια λίστα ελέγχου. Τα δεδομένα μπορούν να καταταχθούν με βάση το στάδιο του κύκλου ζωής στο οποίο συλλέχθηκαν, με βάση μια διεργασία ή μια μονάδα λειτουργίας ή με βάση τον τύπο με τον οποίο παρουσιάζονται (πρώτη ύλη, ενέργεια, μεταφορά προϊόντος, εκροές στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος). Χρησιμοποιώντας την παραπάνω λίστα είναι πιο εύκολο να επαληθευτεί αν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από κάθε στάδιο συμφωνούν με τα όρια του συστήματος (για παράδειγμα, να επαληθευτεί αν συμπεριλαμβάνονται όλα τα δεδομένα) και να επαληθευτεί αν τα δεδομένα είναι αντιπροσωπευτικά (για παράδειγμα, να εξηγείται το 90% της κατανάλωσης των πρώτων υλών και των εκροών στο περιβάλλον). Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας, είναι μια λίστα ελέγχου, η οποία δείχνει αν τα αποτελέσματα από κάθε προϊόν ή διεργασία είναι ολοκληρωμένα και αν συμφωνούν με τους σκοπούς και τους στόχους της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής. Αν υπάρχουν κενά, τότε η παρουσίαση των αποτελεσμάτων είναι ελλιπής και θα πρέπει να καταβληθεί επιπλέον προσπάθεια για να συμπληρωθούν τα κενά. Σε κάποιες περιπτώσεις, τα δεδομένα δεν είναι αρκετά για να συμπληρωθούν τα κενά. Σε τέτοιες περιπτώσεις, θα πρέπει να αναγράφονται οι αποκλίσεις των δεδομένων και των τελικών αποτελεσμάτων και να εκφράζονται είτε

ποσοτικά (ποσοστό αβεβαιότητας), είτε ποιοτικά (για παράδειγμα, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εναλλακτική διεργασία Α είναι ελλιπή, επειδή η διεργασία «Χ» δεν πήρε μέρος στην εκτίμηση).

Έλεγχος ευαισθησίας: Το αντικείμενο μελέτης του ελέγχου ευαισθησίας είναι να εκτιμά την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, προσδιορίζοντας πώς τα επηρεάζει η αβεβαιότητα των σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προσδιορίστηκαν στο πρώτο βήμα. Ο έλεγχος ευαισθησίας μπορεί να εφαρμοστεί για τις σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις με τη χρήση των τριών παρακάτω τεχνικών για την ανάλυση της ποιότητας των δεδομένων:

- Ανάλυση βαρύτητας – Προσδιορίζει τα δεδομένα που επηρεάζουν περισσότερο τους δείκτες κατηγοριοποίησης των επιδράσεων.
- Ανάλυση αβεβαιότητας – Περιγράφει την ποικιλία των δεδομένων της αξιολόγησης των επιδράσεων στον προσδιορισμό της σημασίας των δεικτών κατηγοριοποίησης των επιδράσεων.
- Ανάλυση ευαισθησίας – Καταγράφει τα όρια μεταξύ των οποίων μεταβάλλονται τα αποτελέσματα της απογραφής του κύκλου ζωής και τα χαρακτηριστικά μοντέλα που επηρεάζουν τους δείκτες κατηγοριοποίησης των επιδράσεων.

Επιπλέον δεδομένα για την εφαρμογή της ανάλυσης βαρύτητας, αβεβαιότητας και ευαισθησίας υπάρχουν σε αρχεία του οργανισμού EPA με τίτλο “*Guidelines for assessing the quality of Life Cycle Inventory Analysis*”, Απρίλιος 1995, EPA 530-R-95-010. Οι αναλύσεις βαρύτητας, αβεβαιότητας και ευαισθησίας, πιθανών να έχουν ήδη εφαρμοστεί κατά τη διάρκεια της φάσης της απογραφής του κύκλου ζωής (LCI) και της αξιολόγησης των επιδράσεων του κύκλου ζωής (LCIA). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον έλεγχο ευαισθησίας. Κατά τη διάρκεια του προσδιορισμού του σκοπού και του στόχου της

εκτίμησης του κύκλου ζωής, προσδιορίστηκε η ποιότητα και η ακρίβεια των στόχων. Θα πρέπει τώρα, με τον έλεγχο ευαισθησίας να προσδιοριστεί αν πραγματοποιήθηκαν οι στόχοι. Εάν υπάρχουν κενά, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων δεν θα είναι ικανοποιητική ώστε να ληφθούν αποφάσεις και θα πρέπει να καταβληθεί επιπλέον προσπάθεια για να βελτιωθεί η ακρίβεια των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της απόγραφης του κύκλου ζωής και/ή των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν στην αξιολόγηση των επιδράσεων του κύκλου ζωής. Σε κάποιες περιπτώσεις, ίσως να μην είναι διαθέσιμα καλύτερα δεδομένα ή μοντέλα επιδράσεων. Υπό αυτές τις συνθήκες, θα πρέπει να αναφέρονται οι αποκλίσεις της κάθε σημαντικής περιβαλλοντικής επίδρασης και να εκφράζονται είτε ποσοτικά (ποσοστό αβεβαιότητας), είτε ποιοτικά (για παράδειγμα, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εναλλακτική διεργασία Α είναι ελλιπή, επειδή η διεργασία «Χ» δεν πήρε μέρος στην εκτίμηση).

Έλεγχος συνέπειας: Ο έλεγχος συνέπειας προσδιορίζει αν οι υποθέσεις, οι μέθοδοι και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι σύμφωνα με τους σκοπούς και τους στόχους της μελέτης και με κάθε προϊόν ή διεργασία που πραγματοποιήθηκε. Η επαλήθευση και η τεκμηρίωση πως η μελέτη πραγματοποιήθηκε όπως είχε οριστεί, αυξάνει την εμπιστοσύνη στα τελικά αποτελέσματα.

Μια τυπική λίστα ελέγχου θα πρέπει να αναπτυχθεί, η οποία θα περιέχει τα αποτελέσματα του ελέγχου συνέπειας. Στο σχήμα 5-1, απεικονίζεται ένα παράδειγμα του τύπου των πληροφοριών που περιλαμβάνει μια λίστα ελέγχου. Ο σκοπός και ο στόχος της εκτίμησης του κύκλου ζωής, καθορίζει ποιες κατηγορίες θα συμπεριληφθούν στη λίστα και ποιες όχι.

Κατηγορία	Παράδειγμα ασυνέπειας
Πηγή δεδομένων	Η εναλλακτική διεργασία Α βασίζεται σε βιβλιογραφικά δεδομένα, ενώ η Β σε πειραματικά δεδομένα
Ακρίβεια δεδομένων	Για την εναλλακτική διεργασία Α χρησιμοποιήθηκε ένα λεπτομερές διάγραμμα ροής για την ανάπτυξη των δεδομένων του LCI, ενώ για τη Β υπήρχε περιορισμένος αριθμός πληροφοριών για την διεργασία και τα δεδομένα που αναπτύχθηκαν για το LCI αφορούσαν μια διεργασία, η οποία είτε δεν περιγράφεται, ή δεν αναλύεται με λεπτομέρεια.
Ηλικία δεδομένων	Η εναλλακτική διεργασία Α χρησιμοποιεί κατασκευαστικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται από το 1980. Η εναλλακτική διεργασία Β βασίζεται σε μια μελέτη ενός χρόνου.
Τεχνολογική απεικόνιση	Η εναλλακτική διεργασία Α είναι σε εργαστηριακή κλίμακα, ενώ η Β είναι πλήρως αναπτυγμένη διεργασία παραγωγής, μεγάλης κλίμακας.
Χρονική αναπαράσταση	Η εναλλακτική διεργασία Α πραγματοποιείται με σύγχρονα τεχνολογικά μέσα. Η Β πραγματοποιείται σε νέες εγκαταστάσεις, αλλά με παλιό εξοπλισμό.
Γεωγραφική αναπαράσταση	Τα δεδομένα της εναλλακτικής διεργασίας Α βασίζονται στα ευρωπαϊκά στάνταρτ για το περιβάλλον, ενώ της Β στα Αμερικάνικα στάνταρτ για το περιβάλλον.
Όρια συστήματος, υποθέσεις & μοντέλα	Η πιθανότητα να κινδυνεύει το περιβάλλον από την εναλλακτική διεργασία Α διαρκεί 500 χρόνια, ενώ από τη Β διαρκεί 100 χρόνια.

Σχήμα 5-1. Λίστα ελέγχου με παράδειγμα κατηγοριών και πιθανών ασυνεπειών.

Ανάλογα με τους σκοπούς και τους στόχους της εκτίμησης του κύκλου ζωής, κάποιες ασυνέπειες μπορούν να γίνουν δεκτές. Εάν εντοπιστεί μια ασυνέπεια θα πρέπει να εκτιμηθεί η επίδρασή της στη συνολική εκτίμηση της συνέπειας.

Όταν ολοκληρωθούν τα βήματα 1 και 2, θα έχουν προσδιοριστεί τα αποτελέσματα της εκτίμησης των επιδράσεων και τα δεδομένα της απογραφής θα είναι ολοκληρωμένα και θα μπορούν να οδηγήσουν σε συμπεράσματα. Εάν δεν είναι αυτό το αποτέλεσμα της εφαρμογής των δύο προηγούμενων βημάτων, θα πρέπει να επαναληφθούν τα βήματα μέχρι να προκύψουν αποτελέσματα που θα μπορούν να στηρίξουν τους αρχικούς στόχους εφαρμογής της εκτίμησης του κύκλου ζωής.

5.4.3 Βήμα 3^ο: Εξαγωγή αποτελεσμάτων

Ο αντικειμενικός σκοπός αυτού του σταδίου είναι η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της εκτίμησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, ο προσδιορισμός του προϊόντος/διαδικασίας που έχει τις λιγότερες συνολικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

Βασιζόμενοι στο σκοπό της εκτίμησης του κύκλου ζωής, τα αποτελέσματα της εκτίμησης των επιπτώσεων εκθέτονται είτε ως λίστα μη κανονικοποιημένων και μη σταθμικών δεικτών εκτίμησης για κάθε κατηγορία επιπτώσεων, ή εκθέτονται ως ένα σύνολο κανονικοποιημένου και σταθμισμένου ποσού για κάθε περίπτωση.

Εάν μια διαδικασία αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής σταματά στο στάδιο του χαρακτηρισμού, η ερμηνεία των επιπτώσεων που έχουν καταγραφεί είναι λιγότερο σαφή. Τα αποτελέσματα και οι υποδείξεις στηρίζονται στην εξισορρόπηση της ανθρώπινης υγείας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Είναι σημαντικό να εξάγονται αποτελέσματα και υποδείξεις βασιζόμενοι στα γεγονότα. Η κατανόηση και η κοινοποίηση των αβεβαιοτήτων και των ορίων που υπεισέρχονται στα αποτελέσματα είναι εξίσου σημαντικά όσο οι τελικές υποδείξεις. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να μην

είναι σαφές ποιο προϊόν ή διαδικασία είναι καλύτερη εξαιτίας των επισημασμένων αβεβαιοτήτων και ορίων της μεθόδου που χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση της εκτίμησης του κύκλου ζωής ή εξαιτίας της έλλειψης καλών δεδομένων, χρόνου ή πηγών. Στην περίπτωση αυτή τα αποτελέσματα της εκτίμησης του κύκλου ζωής παραμένουν αξιόλογα. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την πληροφόρηση αυτών που παίρνουν τις αποφάσεις σχετικά με την υγεία των ανθρώπων και το περιβάλλον κατανοώντας τις σημαντικότερες επιπτώσεις για το καθένα, που συμβαίνουν (τοπικά, παγκόσμια) και το σχετικό μέγεθος κάθε τύπου επιπτώσεων σε σύγκριση με κάθε προτεινόμενη εναλλακτική πρόταση που περιέχεται στη μελέτη.

5.5 Έκθεση των αποτελεσμάτων

Όταν πλέον έχει ολοκληρωθεί η εκτίμηση του κύκλου ζωής, τα υλικά πρέπει να καταγράφονται σε μία κατανοητή έκθεση αποτελεσμάτων με καθαρό και οργανωμένο τρόπο. Αυτό θα βοηθήσει να κοινοποιούνται τα αποτελέσματα της μελέτης έντιμα, και με ακρίβεια σε όσους ενδιαφέρονται. Στην αναφορά παραθέτονται τα αποτελέσματα, τα δεδομένα, οι μέθοδοι, οι υποθέσεις και οι περιορισμοί με αρκετές λεπτομέρειες, που επιτρέπουν στον αναγνώστη να κατανοήσει την πολυπλοκότητα της εργασίας.

Εάν τα αποτελέσματα παρουσιαστούν σε κάποιον που δεν έχει ασχοληθεί με την εκτίμηση του κύκλου ζωής, τότε η έκθεση των αποτελεσμάτων θα χρησιμεύσει ως επίσημη πρακτική και θα βοηθάει στην αποφυγή κάθε λανθασμένης καταχώρησης των αποτελεσμάτων.

Η έκθεση των αποτελεσμάτων πρέπει να συμφωνεί με τα παρακάτω στοιχεία (ISO 1997):

- Πληροφορίες διαχείρισης.
 - ο Όνομα και διεύθυνση αυτών που ασχολούνται με την πρακτική εφαρμογή της εκτίμησης του κύκλου ζωής (ποιος διεξάγει τη μέγλη εκτίμησης του κύκλου ζωής).
 - ο Ημερομηνία της έκθεσης.
 - ο Άλλες πληροφορίες για επικοινωνία.
- Προσδιορισμός του σκοπού και του στόχου.
- Καταγραφή των επιπτώσεων (συλλογή δεδομένων και υπολογισμός των διαδικασιών).
- Αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της εκτίμησης των επιπτώσεων που πραγματοποιήθηκε)
- Ερμηνεία του κύκλου ζωής
 - ο Αποτελέσματα
 - ο Υποθέσεις και περιορισμοί
 - ο Εκτίμηση της ποιότητας των δεδομένων
- Επιθεώρηση (εσωτερική και εξωτερική)
 - ο Ονόματα των επιθεωρητών
 - ο Επίσημα πρακτικά της επιθεώρησης και του ελέγχου
 - ο Ανταπόκριση στις συστάσεις

Συμπεράσματα

Η συμμετοχή της εκτίμησης του κύκλου ζωής στη διαδικασία λήψης αποφάσεων εξασφαλίζει την κατανόηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον, που συνήθως δεν λαμβανόταν υπόψη κατά την επιλογή ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας. Αυτή η πολύτιμη πληροφορία παρέχει ένα τρόπο εκτίμησης και απολογισμού όλων των επιπτώσεων που έχουν οι αποφάσεις και ιδιαίτερα αυτές που λαμβάνουν χώρα έξω από το χώρο που επηρεάζεται άμεσα από την επιλογή του εκάστοτε προϊόντος ή διαδικασίας.

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι ένα εργαλείο για την καλύτερη πληροφόρηση αυτών που λαμβάνουν τις αποφάσεις και πρέπει να περιλαμβάνεται μαζί με άλλα κριτήρια όπως το κόστος και η εκτέλεση, ώστε να παρθεί μια καλά ζυγισμένη απόφαση.

Γλωσσάριο

Ανάλυση ευαισθησίας: Μια συστηματική μέθοδος εκτίμησης για της περιγραφή την επίδραση των διαφόρων εισερχομένων ενός συστήματος στα εξερχόμενα.

Απόβλητα: Κάθε εξερχόμενο από το σύστημα παραγωγής που απορρίπτεται.

Απογραφή του κύκλου ζωής: Η ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας και πηγών καθώς και των περιβαλλοντικών εκπομπών που έχουν σχέση με ένα συγκεκριμένο προϊόν, διαδικασία ή ενέργεια.

Απογραφική ανάλυση του κύκλου ζωής: Το στάδιο της εκτίμησης του κύκλου ζωής που περιλαμβάνει την εκτίμηση και ποσοτικοποίηση των εισερχομένων και εξερχομένων ενός συγκεκριμένου συστήματος παραγωγής σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής .

Βαρύτητα: Η ενέργεια εκτίμησης υποκειμενικές αξίες που βασίζονται σε παράγοντες βαρύτητας από διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων βασιζόμενη στη σπουδαιότητα τους ή τη συσχέτιση τους.

Βιομηχανικό σύστημα: Μια συλλογή από ενέργειες που όλες μαζί ικανοποιούν μία συγκεκριμένη λειτουργία.

Δείκτες επιπτώσεων: Οι δείκτες επιπτώσεων που μετρούν το ενδεχόμενο να συμβεί μια επίπτωση αντί να ποσοτικοποιούν την υπάρχουσα επίπτωση.

Ειδικά δεδομένα διευκόλυνσης: Τα δεδομένα μιας συγκεκριμένης λειτουργίας που προσδίδουν μια ευκολία που δεν συνδυάζεται με άλλο τρόπο.

Εισερχόμενα: Τα υλικά και η ενέργεια που εισάγονται σε μια διαδικασία- τα υλικά μπορεί αν περιλαμβάνουν πρώτες ύλες και διαδικασίες.
Εκτίμηση του κύκλου ζωής: Μια προσέγγιση “ από τον λίκνο μέχρι τον τάφο” εκτίμησης των βιομηχανικών συστημάτων, η οποία εκτιμά όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Εξασφαλίζει μία κατανοητή εικόνα των περιβαλλοντικών πτυχών ενός προϊόντος ή διαδικασίας.
Εκτίμηση επιπτώσεων: Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνεπειών της κατανάλωσης ενέργειας και φυσικών πηγών και των αποβλήτων που έχουν σχέση με μια πραγματική ή προτεινόμενη ενέργεια.
Επίπτωση: Οι συνέπειες στην υγεία, τη χλωρίδα και την πανίδα ή στη μελλοντική διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων που αποδίδονται στα εισερχόμενα και εξερχόμενα ενός συστήματος.
Ερμηνεία του κύκλου ζωής: Το στάδιο της εκτίμησης του κύκλου ζωής όπου οι διαπιστώσεις από την απογραφική ανάλυση ή/ε της εκτίμησης των επιπτώσεων συνδέονται με τον σκοπό που έχει καθοριστεί έτσι ώστε να καταλήξουμε σε συμπεράσματα και υποδείξεις
Κανονικοποίηση: Η κανονικοποίηση είναι μια τεχνική για τη μετατροπή τις τιμές των δεικτών επιπτώσεων που έχουν διαφορετική μονάδα στην ίδια, διαιρώντας την τιμή με ένα επιλεγόμενο συνιστώμενο ποσό. Αυτή η διαδικασία αυξάνει την δυνατότητα σύγκρισης των δεδομένων μεταξύ διαφόρων κατηγοριών επιπτώσεων.
Κατηγορίες επιπτώσεων: Ταξινόμηση των συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, που έχουν προκύπτουν από ένα προϊόν κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του.
Κατηγοριοποίηση: Η κατηγοριοποίηση είναι το πρώτο βήμα της εκτίμησης επιπτώσεων και είναι η διαδικασία προσδιορισμού των εξερχόμενων που έχουν απογραφεί σε ειδικές κατηγορίες

περιβαλλοντικών επιπτώσεων
Κύκλος ζωής προϊόντος: Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος ξεκινώντας από την απόκτηση των πρώτων υλών και συνεχίζοντας με τις διαδικασίες τροφοδοσία, την μηχανική του παραγωγή, την χρήση, την διατήρηση του, και τη απόθεση των υπολοίπων που παράγονται σε κάθε στάδιο.
Λειτουργική μονάδα: Η μονάδα σύγκρισης η οποία εξασφαλίζει ότι τα προϊόντα τα πρόκειται να συγκριθούν ορίζοντας μια ισοδύναμο επίπεδο λειτουργίας και υπηρεσιών.
Όρια του συστήματος: Τα κοινά σημεία μεταξύ ενός συστήματος παραγωγής και του περιβάλλοντος ή ενός άλλου συστήματος παραγωγής.
Παραπροϊόν: Ένα ή περισσότερα προϊόντα που προκύπτουν από την ίδια μονάδα παραγωγής.
Περιβάλλον: Όλα τα περιβάλλοντα και όλες οι προϋποθέσεις μέσα στις οποίες λειτουργούν και αλληλεπιδρούν ο κάθε ένας ατομικά, ο περισσότερος πληθυσμός, και οι οργανισμοί. Τα περιβάλλοντα περιλαμβάνουν τον αέρα, το νερό, το έδαφος, τους φυσικούς πόρους, την χλωρίδα την πανίδα και τους ανθρώπους.
Περιβαλλοντικές όψεις: Ενέργειες, δραστηριότητες ή προϊόντα που μπορεί να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον.
Περιβαλλοντικό βάρος: Απελευθερώσεις που μολύνουν το περιβάλλον όπως αέριες εκπομπές υγρά και στερεά απόβλητα.
Προσδιορισμός του σκοπού και του στόχου: Ενέργεια που γίνεται στη αρχή μιας LCA για τον προσδιορισμό του σκοπού, των ορίων, της βασικής γραμμής και των διαδικασιών.
Πρώτες ύλες: Τα αρχικά ή δευτερεύοντα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του προϊόντος.
Σύστημα διαγράμματος ροής: Απεικόνιση των εισερχόμενων και εξερχόμενων ενός συστήματος και πώς αυτά συνδέονται.

Τροφοδοσία: Τροφοδοσία, Πρώτη ύλη.
Χαρακτηρισμός: Ο χαρακτηρισμός είναι το δεύτερο βήμα της εκτίμησης επιπτώσεων και χαρακτηρίζει τη σημασία των ενδεχόμενων επιπτώσεων για κάθε βάρος που έχει καταγραφεί.
Χρήσιμη ζωή ενός προϊόντος: Περιλαμβάνει τις ενεργειακές απαιτήσεις και τα απόβλητα που προκύπτουν από το αποθηκευμένο και καταναλισκόμενο προϊόν. Το προϊόν ή το υλικό μπορεί να χρειάζεται επιδιορθώσεις , βελτιώσεις ή συντήρηση έτσι ώστε να διατηρηθεί η απόδοση του.

Παραπομπές

Πηγή, χρονιά	Πληροφορίες σχετικά με την βιβλιογραφία
EPA, 1995	U.S. Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste. 1995. <i>Guidelines for Assessing the Quality of Life Cycle Inventory Analysis</i> . EPA/530/R-95/010.
EPA, 1993	U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. 1993. <i>Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principals</i> . EPA/600/R-92/245
EPA, 1990	U.S. Environmental Protection Agency. Science Advisory Board. 1990. <i>Reducing Risk: Setting Priorities and Strategies for Environmental Protection</i> .
EPA, 1986	U.S. Environmental Protection Agency. 1986. EPA Quality Assurance Management Staff. <i>Development of Data Quality Objectives: Description of Stages I and II</i> .
ISO, 1998	International Organization of Standardization. 1998. <i>Life Cycle Assessment - Impact Assessment (ISO 14042)</i> . ISO TC 207/SC5/WG4.
ISO, 1998b	International Organization of Standardization. 1998. <i>Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Interpretation (ISO/DIS 14043)</i> . ISO TC 207
ISO, 1997	International Organization of Standardization. 1997. <i>Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework (ISO/FDIS 14040)</i> . ISO TC 207
RWS, 1990	T.L. Saaty. 1990. <i>The Analytic Hierarchy Process</i> . RWS Publications.

Βιβλιογραφία

[1] U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation, *LCAccess - LCA 101*, Mary Ann Curran, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, 2001
<http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca101.htm>.

[2] Allan Astrup Jensen, Leif Hoffman, Birgitte T. Møller, Anders Schmidt, dk-TEKNIK Energy & Environment, Denmark Kim Christiansen Sophus Berendsen A/S Denmark John Elkington Franceska van Dijk SustainAbility, *A guide to approaches, experiences and information sources, Life Cycle Assessment, (LCA)*, Environmental Issues Series 6, United Kingdom, August 1997.

[3] James Clark & Duncan Macquarrie, *Handbook of Green Chemistry & Technology*, 2002, 5, 62.

[4] Mark Goedkoop, Michiel Oele, *SimaPro 6 – Introduction to LCA with SimaPro*, September 2004.

[5] <http://www.boustead-consulting.co.uk/introduc.htm>

[6] <http://www.btinternet.com/~foster.enviro/web/lca/lca.htm>

[7] <http://questor.qub.ac.uk/webpages/whatwedo/researchgroups/environmentalmodelling/lca/qcindex.html>