

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ

Διπλωματική εργασία με θέμα:

Συγκριτική μελέτη μεθόδων εκτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής

Ονοματεπώνυμο: Πανταζή Ελένη

Επιβλέπων καθηγητής: Γρηγορούδης Ευάγγελος

Χανιά 2014

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	3
Περίληψη	7
1. Εισαγωγή.....	8
1.1 Γενικά	8
1.2 Στόχος και αντικείμενο της εργασίας	10
1.3 Δομή της εργασίας.....	11
2. Η μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	12
2.1 Γενικά	12
2.2 Αντικείμενο μεθοδολογίας	15
2.2.1 Η LCA στις επιχειρήσεις	15
2.2.2 Η LCA σαν εργαλείο υποστήριξης λήψης αποφάσεων	15
2.2.3 Πρακτικές που σχετίζονται με την LCA (European Environmental Agency)	16
2.3 Πεδίο εφαρμογής LCA	18
2.4 Στάδια μεθοδολογίας	25
2.4.1 Γενικά	25
2.4.2 Ορισμός του σκοπού και του αντικειμένου	26
2.4.3 Απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής.....	29
2.4.4 Εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής.....	33
2.4.5 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων	35
2.4.5.1 Γενικά	35
2.4.5.2 Κύριες κατηγορίες δραστηριοτήτων κατά ISO 14043 (EEA)	37
2.5 Προβλήματα στα στάδια της αξιολόγησης κύκλου ζωής.....	38
2.5.1 Προβλήματα στο σκοπό και το αντικείμενο της μελέτης	38
2.5.2 Προβλήματα στην απογραφή (LCI) του κύκλου ζωής.....	39
2.5.3 Περιορισμοί στην αξιολόγηση επιδράσεων κύκλου ζωής	40
2.5.4 Προβλήματα στην ερμηνεία του κύκλου ζωής	40
2.5.5 Ποιότητα δεδομένων – ένα πρόβλημα που επηρεάζει όλα τα στάδια της LCA	41
2.6 Το πρότυπο ISO 14040.....	42

2.7 Το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Programme – UNEP)	42
3. Η Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment, LCIA).....	44
3.1 Γενικά	44
3.2 Ορισμοί και Αρχές της LCIA	44
3.3 Περιορισμοί της LCIA	46
3.4 Ορισμός κατηγοριών επιπτώσεων	48
3.4.1 Γενικά	48
3.4.2 Παρουσίαση κατηγοριών επιπτώσεων	49
3.5 Στάδια της αξιολόγησης επιπτώσεων κύκλου ζωής.....	56
3.5.1 Κατηγοριοποίηση (Classification)	57
3.5.2 Χαρακτηρισμός (Characterization)	59
3.5.2.1 Η επιλογή των δεικτών κατηγοριών	61
3.5.3 Κανονικοποίηση (Normalization)	62
3.5.4 Ομαδοποίηση (Grouping)	63
3.5.5 Στάθμιση (Weighting)	63
4. Μεθοδολογίες Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (LCIA methodologies).....	66
4.1 Γενικά	66
4.2 Η βάση δεδομένων ecoinvent	67
4.3 Παρουσίαση μεθοδολογιών	69
4.3.1 Γενικά	69
4.3.2 Παρουσίαση μεθοδολογιών	71
4.3.2.1 EPS 2000.....	71
4.3.2.2 Οικολογικό αποτύπωμα (Ecological Footprint).....	74
4.3.2.3 Ecosystem Damage Potential (EDP).....	74
4.3.2.4 Cumulative Energy Demand (CED)	76
4.3.2.5 Cumulative Exergy Demand (CExD)	77
4.3.2.6 IPCC 2007 GWP	79
4.3.2.7 TRACI	80
4.3.2.8 IMPACT 2002+.....	81
4.3.2.9 CML 2001	84
4.3.2.10 EPD 2007	85

4.3.2.11 EDIP 97	85
4.3.2.12 EDIP 2003	86
4.3.2.13 ECO-INDICATOR 99	87
4.3.2.14 ReCiPe	93
4.4 Ανάλυση μεθοδολογιών	97
4.4.1 Ταξινόμηση μεθοδολογιών	97
4.4.2 Ομαδοποίηση μεθοδολογιών.....	101
5. Συγκριτική μελέτη γνωστών μεθοδολογιών.....	103
5.1 Γενικά	103
5.2 Το λογισμικό SimaPro	104
<i>Τοποθετώντας τους δείκτες πάνω από τη βιωσιμότητα</i>	<i>105</i>
<i>Η ποσοτικοποίηση της βιωσιμότητας.....</i>	<i>105</i>
5.3 Παρουσίαση/ Ανάπτυξη του υπό μελέτη συστήματος	106
5.4 Εφαρμογή διαφορετικών μεθοδολογιών εκτίμησης επιπτώσεων	113
5.4.1 Εφαρμογή της μεθόδου IMPACT 2002+	113
5.4.2 CML 2001	119
5.4.3 EPS 2000.....	121
5.4.4 ECO-INDICATOR 99	126
5.4.5 ReCiPe Endpoint.....	139
6. Επίλογος.....	150
6.1 Γενικά	150
6.2 Συνοπτικά αποτελέσματα.....	151
6.3 Συμπεράσματα.....	153
Παράρτημα Α	154
Πίνακες συντελεστών χαρακτηρισμού για τις κατηγορίες επιδράσεων	154
Παράρτημα Β	159
Εισαγωγή δεδομένων στο SimaPro	159
Παράρτημα Γ.....	165
Γ-1: IMPACT 2002+.....	165
Γ-2: CML 2001	168
Γ-3: EPS 2000.....	171
Γ-4: ECO-INDICATOR 99	174

Egalitarian perspective.....	174
Ierarchist perspective	178
Individualist perspective	181
Γ-5: ReCiPe 2008	184
ReCiPe Endpoint.....	184
Βιβλιογραφία	193

Περίληψη

Οι ραγδαίες αλλαγές που συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον εξαιτίας των έντονων ρυθμών ανάπτυξης της κοινωνίας έχουν αυξήσει το ενδιαφέρον των επιχειρήσεων και τις έχουν ωθήσει στην ανάπτυξη Συστημάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης. Ένα από αυτά είναι η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment, LCA).

Η LCA είναι μια μεθοδολογία που αποτελείται από ένα σύνολο συστηματικών διεργασιών οι οποίες ποσοτικοποιούν τις εισροές και τις εκροές ενέργειας και πόρων σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός εξεταζόμενου προϊόντος, διαδικασίας ή υπηρεσίας και στη συνέχεια αξιολογούν και προσδιορίζουν τις σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στόχος της μεθοδολογίας είναι ο καθορισμός δράσεων βελτίωσης, δηλαδή δράσεων που αναμένεται να οδηγήσουν στη μείωση των ενδεχόμενων αρνητικών επιπτώσεων. Αποτελείται από τέσσερα στάδια: α. Προσδιορισμός σκοπού και αντικειμένου μελέτης, β. Απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής, γ. Εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής και δ. Ερμηνεία αποτελεσμάτων. Εφαρμογές της LCA αποτελούν: η εσωτερική βιομηχανική χρήση στην ανάπτυξη και τη βελτίωση προϊόντων, ο εσωτερικός στρατηγικός σχεδιασμός και η υποστήριξη αποφάσεων πολιτικής της βιομηχανίας, η εξωτερική βιομηχανική χρήση για σκοπούς μάρκετινγκ και η κυβερνητική πολιτική σε τομείς οικολογικής σήμανσης και διαχείρισης αποβλήτων.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στις μεθοδολογίες εκτίμησης επιπτώσεων του κύκλου ζωής (Life Cycle Impact Assessment, LCIA), οι οποίες αποτελούνται από κατηγορίες επίδρασης και δείκτες και ταξινομούνται σε midpoint και endpoint προσεγγίσεις: midpoint ή ενδιάμεση προσέγγιση είναι αυτή στην οποία γίνεται απλά ταξινόμηση των δεικτών στις κατηγορίες επίδρασης, ενώ οι endpoint ή τελικές ή βλαβών προσεγγίσεις προχωρούν ένα βήμα περισσότερο και αναφέρονται στις βλάβες που προκαλούνται στην υγεία του ανθρώπου και του οικοσυστήματος. Ανάμεσα στις πιο γνωστές μεθοδολογίες είναι η Eco-indicator 99, η CML 2001, η IMPACT 2002+ και η EPS 2000. Υπάρχουν, επίσης, μεθοδολογίες που αφορούν την Ενέργεια, την Εξέργεια και το Οικολογικό Αποτύπωμα (Cumulative Energy Demand, Cumulative Exergy Demand και Ecological Footprint αντίστοιχα).

Επιπρόσθετα, μέσω του λογισμικού SimaPro, θα πραγματοποιηθεί μια ολοκληρωμένη μελέτη εφαρμογής της LCA σε προϊόν, στην οποία θα εφαρμοστούν οι διάφορες επιλεγμένες μεθοδολογίες εκτίμησης επιπτώσεων. Έπειτα, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των μεθόδων και θα γίνει αξιολόγηση με στόχο τον καθορισμό των επιπτώσεων της επιλογής των διαφορετικών μεθοδολογιών και τα σημεία ιδιάζουσας σημασίας για την επιλογή και τη χρήση των μεθοδολογιών από το χρήστη.

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Όσο οι κυβερνήσεις, οι οργανισμοί και οι καταναλωτές ασχολούνται όλο και περισσότερο με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τα προϊόντα, τις διαδικασίες και τα συστήματα, η ακριβής περιβαλλοντική αξιολόγηση γίνεται ιδιαίτερα σημαντική (Reap et al., 2008). Κάθε χρόνο, όλο και περισσότερες είναι οι εταιρείες που ανησυχούν για τις περιβαλλοντικές επιδράσεις των δραστηριοτήτων τους. Αυτές οι εταιρείες καλύπτουν όλο το φάσμα βιομηχανιών, από την παραγωγή ενέργειας ως την κατασκευή προϊόντων και εταιρείες προσανατολισμένες στις υπηρεσίες. Θέλουν να μπορούν να κατανοούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούν, ώστε να τις ελέγχουν, ή ακόμη καλύτερα, να τις αποφεύγουν. Αυτά συμβαίνουν σε μια περίοδο αυξανόμενων αυστηρών περιβαλλοντικών κανονισμών σε μια προσπάθεια να παραμείνουν σε συμμόρφωση με αυτούς καθώς επίσης να «συναντήσουν» τις ανάγκες των πελατών, παραμένοντας ταυτόχρονα οικονομικά υγιείς. Ταυτόχρονα, η κύρια κινητήρια δύναμη είναι η ανάγκη για τις εταιρείες να παραμένουν ανταγωνιστικές στο χώρο της αγοράς. Τα εταιρικά στελέχη βλέπουν τη συστηματική μείωση των περιβαλλοντικών επιδράσεων σαν έναν τρόπο που τους βοηθά να επιτύχουν αυτό το στόχο. Υπάρχει επίσης μία γενικά αυξημένη επιθυμία από τις εταιρείες απλώς να κάνουν την «καλή πράξη» για το περιβάλλον.

Πολλές εταιρείες υποβάλλονται σε περιβαλλοντικούς ελέγχους ή αξιολογήσεις για τη μέτρηση της δικής τους περιβαλλοντικής επίδοσης. Μία αξιολόγηση εγκατάσταση περιλαμβάνει μία συστηματική διαδικασία για την ποσοτικοποίηση και την ισορροπία εισροών/εισόδων και εκροών/εξόδων γύρω από αυτήν ή γύρω από μια συγκεκριμένη λειτουργία μέσα στην εγκατάσταση. Πολλά διαθέσιμα εγχειρίδια οδηγιών εκπαιδεύουν τους φορείς στο πώς να διεξάγουν μία τέτοια αξιολόγηση. Ωστόσο, αυτές οι αξιολογήσεις ουσιαστικά εστιάζουν σε μια συγκεκριμένη εγκατάσταση ή τοποθεσία και δεν λαμβάνουν υπόψη το συνολικό βιομηχανικό σύστημα του οποίου είναι μόνο ένα μέρος. Οι βιομηχανικές διαδικασίες και δραστηριότητες δεν λειτουργούν απομονωμένα αλλά αντίθετα είναι αλληλένδετες, μέσω των προμηθευτών και των πελατών τους, με άλλες διαδικασίες και δραστηριότητες. Έξοδοι με τη μορφή προϊόντων και παραπροϊόντων μετακινούνται από μια λειτουργία σε μία άλλη ώστε όλες είναι αλληλοεξαρτώμενες. Αυτή η συστηματική προσέγγιση είναι η βάση για ιδέα της *Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment, LCA)*.

Σύμφωνα με τον Klaus Toepfer (Executive Director, UNEP), οι καταναλωτές όλο και περισσότερο ενδιαφέρονται για τον κόσμο πίσω από το προϊόν που αγοράζουν. Η

ιδέα του κύκλου ζωής (life cycle thinking) επιβάλλει ότι κάθε ένας σε ολόκληρη την αλυσίδα του κύκλου ζωής του προϊόντος, «από το λίκνο στον τάφο», έχει μια ευθύνη και ένα ρόλο να διαδραματίσει, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα σχετικά εξωτερικά αποτελέσματα. Οι επιδράσεις από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής (υλικά και παραγωγή, χρήση από τον πελάτη, διάθεση και χειρισμός στο τέλος της χρήσης) πρέπει να εξεταστούν συνολικά όταν λαμβάνονται πληροφορημένες αποφάσεις στα πρότυπα της παραγωγής και της κατανάλωσης, τις πολιτικές και τις στρατηγικές διαχείρισης.

Παρόλο που άτομα από τον περιβαλλοντικό χώρο έχουν δείξει μεγάλο ενδιαφέρον για την LCA από το 1990, η πρώτη προσπάθεια παρατήρησης εκτενών συστημάτων προϊόντων μπορεί να αναχθεί στις αρχές της δεκαετίας του 1960 με τον υπολογισμό των απαιτήσεων σε ενέργεια. Διάφορες μελέτες σχετικές με κύκλους καυσίμων διεξήχθησαν στις Η.Π.Α. από το Υπουργείο Ενέργειας και παρόλο που εστίαζαν σε ενεργειακά χαρακτηριστικά, περιλάμβαναν επίσης περιορισμένες εκτιμήσεις περιβαλλοντικών εκπομπών. Με την πετρελαϊκή κρίση στις αρχές του 1970, η Βρετανική και η Αμερικανική κυβέρνηση ανέθεσαν εκτενείς μελέτες στις μελέτες των βιομηχανιών για τη διεξαγωγή λεπτομερών αναλύσεων ενέργειας. Μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1970, η δραστηριότητα στις Η.Π.Α. σε περιβαλλοντικές μελέτες LCA συνεχίστηκε με αργό αλλά σταθερό ρυθμό. Ομοίως, εκτενείς μελέτες διεξάγονταν στην Ευρώπη αυτή την περίοδο που εστίαζαν σε συστήματα συσκευασίας, όπως σε περιέκτες αναψυκτικών. Στη δεκαετία του 1980 νέες αναζητήσεις στην LCA οδήγησαν στην εμφάνιση ζητημάτων σχετικών με την ανακύκλωση από το Πράσινο Κίνημα στην Ευρώπη (Green Movement in Europe). Συνεπώς, οι περιβαλλοντικές εκπομπές προστέθηκαν στις εκτιμήσεις για την ενέργεια, τις πρώτες ύλες και τα στερεά απόβλητα.

Το ενδιαφέρον για την LCA αρχικά εκφράστηκε από βιομηχανίες κατασκευής προϊόντων, οι οποίες κράτησαν μία αμυντική στάση προσπαθώντας να επιδείξουν την περιβαλλοντική υπεροχή του προϊόντος τους σε σχέση με ένα ανταγωνιστικό προϊόν. Ομοίως, ομάδες ενδιαφερόμενων καταναλωτών ήθελαν να χρησιμοποιήσουν την LCA για να συγκρίνουν προϊόντα, ώστε να αποδείξουν ποια είναι περιβαλλοντικά προτιμότερα. Αυτή η πληροφορία προοριζόταν να βοηθήσει στην καθοδήγηση των καταναλωτών ώστε να λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις αγοράς. Ενώ η σύγκριση προϊόντων παραμένει ακόμη ο στόχος πολλών ομάδων σε προγράμματα οικολογικής σήμανσης, η αναγνώριση ευκαιριών για την αλλαγή ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας, ή η βελτίωση του περιβαλλοντικού του/της προφίλ είναι συχνά το κίνητρο πίσω από τη διεξαγωγή μιας LCA (Curran, 1996).

Η προσέγγιση ανάλυσης κύκλου ζωής προωθεί (UNEP/SETAC, 2004):

- ο Τη γνώση ότι οι επιλογές μας δεν είναι απομονωμένες, αλλά επηρεάζουν ένα ευρύτερο σύστημα. Αν γνωρίζαμε ότι χρειαζονται 24 δέντρα για την

παραγωγή 24.000 φύλλων χαρτιού γραφείου και 2.3m² εδαφικό χώρο για την απόρριψή τους, ίσως να επιλέγαμε χαρτί από ανακυκλωμένο υλικό υποστηρίζοντας τους παραγωγούς χαρτιού των οποίων τα υλικά θα είναι από βιώσιμα διαχειριζόμενα δάση.

- ο Τis μακροπρόθεσμες επιλογές και τη θεώρηση όλων των περιβαλλοντικών και των κοινωνικών ζητημάτων που σχετίζονται με αυτές. Η υιοθέτηση του κύκλου ζωής μας βοηθά να αποφύγουμε τις βραχυπρόθεσμες αποφάσεις που οδηγούν σε περιβαλλοντική αποσύνθεση – όπως το υπερβολικό ψάρεμα ή η ρύπανση του αέρα με υδράργυρο.
- ο Τη βελτίωση ολόκληρων συστημάτων και όχι μέρους αυτών, αποφεύγοντας αποφάσεις που επιλύουν ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα αλλά προκαλούν ένα απρόσμενο ή άλλο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Η υιοθέτηση του κύκλου ζωής βοηθά στην αποφυγή μεταφερόμενων προβλημάτων από ένα στάδιο του κύκλου ζωής σε ένα άλλο, από μια γεωγραφική περιοχή σε μία άλλη και από ένα περιβαλλοντικό μέσο (αέρας, νερό ή χώμα) σε ένα άλλο.
- ο Ενημερωμένες επιλογές, αλλά όχι απαραίτητα «σωστές» ή «λανθασμένες». Η υιοθέτηση του κύκλου ζωής απλά μας βοηθά να θέσουμε τις αποφάσεις μας σε ένα πλαίσιο με γεγονότα από όλα τα μέρη του συστήματος ή του κύκλου ζωής. Αυτό σημαίνει ότι κοιτάζουμε για ακούσιες επιδράσεις των δραστηριοτήτων μας (όπως η καταστροφή ενός φυσικού οικοσυστήματος ή η ακούσια υποστήριξη άδικων συνθηκών εργασίας και αμοιβών) και λαμβάνουμε κάποιες δράσεις για την αποφυγή αυτών των επιδράσεων (όπως η αγορά χαρτιού από βιώσιμα διαχειριζόμενα δάση).

1.2 Στόχος και αντικείμενο της εργασίας

Ένα από τα στάδια μιας μελέτης LCA είναι η Αξιολόγηση Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment, LCIA). Πρόκειται για το τρίτο στάδιο της μεθοδολογίας στο οποίο τα δεδομένα απογραφής του κύκλου ζωής που έχουν συλλεχθεί στη δεύτερη φάση και βρίσκονται εντός των ορίων του συστήματος που έχουν τεθεί, επεξεργάζονται με κατάλληλο τρόπο με στόχο να δώσουν τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται.

Αυτό γίνεται μέσα από την εφαρμογή των μεθοδολογιών κύκλου ζωής που έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία και η σύνθεσή τους πραγματοποιείται μέσα από κατάλληλα λογισμικά λόγω του αυξημένου όγκου δεδομένων που επηρεάζουν τόσο το οικοσύστημα και τους πόρους όσο και την ανθρώπινη υγεία. Η αξιολόγηση επιπτώσεων θα αναδείξει τη συμβολή του υπό μελέτη συστήματος στις επιμέρους κατηγορίες επιπτώσεων κάθε μεθόδου καθώς και τη σχετική συμβολή σε όσες μεθόδους εξάγεται τελικό μοναδικό σκορ.

Σε αυτή την εργασία θα πραγματοποιηθεί εφαρμογή και συγκριτική αξιολόγηση των πέντε μεθοδολογιών: CML 2001, ECO-INDICATOR 99, IMPACT 2002+, ReCiPe και EPS 2000, οι οποίες θεωρήθηκαν κατάλληλες για τη συγκριτική αξιολόγηση που θα ακολουθήσει. Η εφαρμογή των μεθόδων θα γίνει μέσα από το λογισμικό SimaPro βάσει του συστήματος ενός ξύλινου στεγάστρου με μικρά μεταλλικά στοιχεία και του σεναρίου απόρριψής του που περιγράφονται αναλυτικά και μελετώνται στη συνέχεια.

1.3 Δομή της εργασίας

Η εργασία αυτή ξεκινά με την παρουσίαση της ιδέας της αξιολόγησης του κύκλου ζωής κι έπειτα στο κεφάλαιο 2 πραγματοποιείται εκτενής περιγραφή της LCA και των τεσσάρων σταδίων που την αποτελούν.

Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στις πρακτικές που σχετίζονται με την LCA όπως το μάρκετινγκ, η οικολογική σήμανση των προϊόντων, η δημόσια πολιτική ή οι περιβαλλοντικές δηλώσεις, καθώς και στο πεδίο εφαρμογής της. Ακόμη, παρουσιάζεται ένας αριθμός προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν σε κάθε ένα από τα στάδια κύκλου ζωής.

Έπειτα, στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται αναλυτικότερα το τρίτο στάδιο της μεθόδου: η αξιολόγηση επιπτώσεων του κύκλου ζωής (LCIA), όπου περιγράφεται η πλειοψηφία των κατηγοριών επιπτώσεων καθώς και τα πέντε στάδια της LCIA.

Ακολουθεί το τέταρτο κεφάλαιο με την περιγραφή των δεκατεσσάρων κύριων μεθοδολογιών αξιολόγησης επιπτώσεων κύκλου ζωής μέσα από άρθρα της διεθνούς βιβλιογραφίας και από εγχειρίδια χρήσης τους.

Τέλος, με τη χρήση του λογισμικού SimaPro στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται εφαρμογή σε πέντε από τις αναφερθείσες μεθοδολογίες στο προϊόν του στεγάστρου καθώς και στο σενάριο απόρριψής του, με στόχο τη μεταξύ τους συγκριτική αξιολόγηση.

2. Η μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

2.1 Γενικά

Η εφαρμογή του εργαλείου της LCA άλλαξε σημαντικά κατά τη δεκαετία του 1990. Αρχικά αναπτύχθηκε για να συγκρίνει εναλλακτικές τελικών προϊόντων, όπως διάφοροι τύποι συσκευασίας γάλακτος ή διάφοροι τύποι βρεφικών πανών. Ωστόσο, ενσωματώθηκε γρήγορα στα υψηλότερα στρατηγικά επίπεδα, συμπεριλαμβανομένης της λήψης αποφάσεων και της χάραξης πολιτικής σε εταιρικό επίπεδο. Η LCA χρησιμοποιείται τώρα για την αξιολόγηση ενός μεγάλου εύρους προϊόντων και δραστηριοτήτων, από την οικολογική σήμανση στο σχεδιασμό προϊόντων, μέχρι τα ενεργειακά συστήματα, την παραγωγή τροφίμων και τις εναλλακτικές μεταφορές (Goedkoop et al., 2013)

Η LCA είναι ένα εργαλείο για την ανάλυση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης των προϊόντων σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής τους – από την εξόρυξη των πόρων, μέσω της παραγωγής των υλικών, των μερών του προϊόντος και το καθεαυτό προϊόν, και τη χρήση του έως τη διαχείριση μετά την απόρριψή του, είτε την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και την τελική απόρριψη. Το συνολικό σύστημα των διαδικασιών που περιλαμβάνονται στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος καλείται «*σύστημα προϊόντος*».

Η περιβαλλοντική επιβάρυνση καλύπτει όλους τους τύπους των επιδράσεων στο περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων: της εξόρυξης διαφόρων πόρων, εκπομπών επικίνδυνων ουσιών και διαφόρων τύπων χρήσης της γης. Ο όρος «*προϊόν*» λαμβάνεται με την ευρύτερη έννοιά του – περιλαμβάνοντας φυσικά αγαθά όπως και υπηρεσίες τόσο στο λειτουργικό όσο και στο στρατηγικό επίπεδο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σε συγκριτικές μελέτες LCA, δεν είναι τα προϊόντα που θέτουν τη βάση για σύγκριση αλλά η παρεχόμενη λειτουργία αυτών των προϊόντων.

Η LCA έχει, όσο είναι δυνατόν, ποσοτικό χαρακτήρα, ενώ όπου δεν είναι δυνατόν, ποιοτικές πλευρές μπορούν και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, ώστε να αποδοθεί μία όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη εικόνα των περιλαμβανόμενων περιβαλλοντικών επιδράσεων.

Είναι σημαντικό μία ανάλυση «από το λίκνο στον τάφο» (cradle to grave analysis) να περιλαμβάνει μία ολιστική προσέγγιση, φέρνοντας τις περιβαλλοντικές επιδράσεις σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο, οποτεδήποτε και οπουδήποτε αυτές οι επιδράσεις έχουν συμβεί ή πρόκειται να συμβούν. Ένας βασικός λόγος για την επιλογή μιας τέτοιας προσέγγισης σχετίζεται με το γεγονός ότι η τελική κατανάλωση των

προϊόντων συμβαίνει να είναι η κινητήρια δύναμη της οικονομίας. Άρα, αυτή η τελική κατανάλωση προσφέρει ευκαιρίες για έμμεση περιβαλλοντική διαχείριση κατά μήκος της συνολικής αλυσίδας ή του δικτύου των μοναδιαίων διαδικασιών που σχετίζονται με ένα προϊόν.

Επιπλέον, σε μία τέτοια προσέγγιση από το λίκνο στον τάφο αποφεύγεται η «μετατόπιση προβλημάτων». Είναι σημαντικό για τον οικολογικό σχεδιασμό να μην λύνεται μερικώς ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα και να μετατοπίζεται σε ένα άλλο στάδιο της παραγωγής του προϊόντος. Για παράδειγμα, η κατασκευή ενός αυτοκινήτου από αλουμίνιο αντί για χάλυβα σημαίνει ότι η κατανάλωση καυσίμου μειώνεται, αλλά η παραγωγή αλουμινίου απαιτεί περισσότερη ενέργεια από αυτήν του χάλυβα (Guinee et al., 2004).

Ορισμός της LCA από τον SETAC (Lindfors et al., 1995c): «Μία διαδικασία αξιολόγησης του περιβαλλοντικού βάρους που σχετίζεται με ένα σύστημα παραγωγής, ή δραστηριότητα μέσω της αναγνώρισης και της ποσοτικής περιγραφής της ενέργειας, των χρησιμοποιούμενων υλικών, των αποβλήτων που ελευθερώνονται στο περιβάλλον και της εκτίμησης των επιδράσεων αυτής της ενέργειας, των υλικών και των αποβλήτων. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος ή της δραστηριότητας, περικλείοντας την εξόρυξη και την επεξεργασία των πρώτων υλών, την παραγωγή, τη διάθεση, τη χρήση, την επαναχρησιμοποίηση, τη συντήρηση, την ανακύκλωση και την τελική απόρριψη συμπεριλαμβανομένων όλων των μεταφορών. Η LCA κατευθύνει περιβαλλοντικές επιδράσεις του συστήματος μετά από μελέτη σε περιοχές οικολογικών συστημάτων, ανθρώπινης υγείας και μείωσης πόρων. Δεν κατευθύνει οικονομικές ή κοινωνικές επιδράσεις.»

Ορισμός της LCA από τον ISO/FDIS (1997a): «Η LCA είναι μία τεχνική για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών πλευρών και των πιθανών επιδράσεων που σχετίζονται με ένα προϊόν, μέσω:

- ο Της σύνθεσης μιας καταγραφής των σχετικών εισόδων και εξόδων ενός συστήματος
- ο Της αξιολόγησης των πιθανών περιβαλλοντικών επιδράσεων που σχετίζονται με αυτές τις εισόδους και τις εξόδους
- ο Της ερμηνείας των αποτελεσμάτων των φάσεων της καταγραφής και των επιδράσεων σε σχέση με τους στόχους της μελέτης

Η LCA μελετά τις περιβαλλοντικές πλευρές και τις πιθανές επιδράσεις κατά τη διάρκεια της ζωής ενός προϊόντος από την απόκτηση των πρώτων υλών μέχρι την παραγωγή, τη χρήση και την απόρριψη. Οι γενικές κατηγορίες περιβαλλοντικών επιδράσεων που πρέπει να ληφθούν υπόψη περιλαμβάνουν τη χρήση πόρων, την ανθρώπινη υγεία και τις οικολογικές συνέπειες.»

Ο Διεθνής Οργανισμός Προτυποποίησης (International Organization for Standardization) ISO είναι ένας ιδιωτικός οργανισμός για όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένων των εθνικών μερών τόσο από τις εκβιομηχανισμένες όσο και από τις αναπτυσσόμενες χώρες, που στόχο έχει να προτυποποιήσει ένα ευρύ φάσμα προϊόντων και υπηρεσιών.

Ορισμός της LCA από το ISO 14040 (2006): «Η LCA κατευθύνει τις περιβαλλοντικές πλευρές και τις πιθανές περιβαλλοντικές επιδράσεις (π.χ. τη χρήση πόρων και τις περιβαλλοντικές συνέπειες των εκπομπών) κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος από την απόκτηση των πρώτων υλών, μέσω της παραγωγής, της χρήσης, της διαχείρισης στο τέλος της ζωής (end-of-life treatment), της ανακύκλωσης και της τελικής απόρριψης. Είναι η σύνθεση και η αξιολόγηση των εισροών, εκροών και των πιθανών περιβαλλοντικών επιδράσεων του συστήματος ενός προϊόντος σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του.»

Μία προσέγγιση κύκλου ζωής προσδιορίζει τόσο ευκαιρίες όσο και κινδύνους ενός προϊόντος ή μιας τεχνολογίας, από τις πρώτες ύλες μέχρι την απόρριψη. Για αυτό το σκοπό υπάρχει μια συνέχεια των προσεγγίσεων κύκλου ζωής από ποιοτικές έως περιεκτικές ποσοτικές προσεγγίσεις (μελέτες LCA). Άνθρωποι, οργανισμοί και κυβερνήσεις χρησιμοποιούν αυτές τις ποικίλες προσεγγίσεις κύκλου ζωής από τις καθημερινές αγορές, επιλέγοντας αντικείμενα για το χώρο εργασίας, στο μηχανικό σχεδιασμό ενός νέου προϊόντος, ή στην ανάπτυξη μιας νέας κυβερνητικής πολιτικής (UNEP/SETAC, 2004).

Το Ευρωπαϊκό Προγραμματικό Πλαίσιο για την Έρευνα (European Framework Programme for Research, FP) αντιπροσωπεύει το κύριο χρηματοδοτικό όργανο που χρησιμοποιείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση για έρευνα και δραστηριότητες ανάπτυξης. Τα προγράμματα καλύπτουν όλα τα πιθανά πεδία της επιστήμης, από την υγεία στα ναυοϋλικά και από το περιβάλλον ως την ασφάλεια. Η αυξημένη αναγνώριση και η χρήση της LCA έγκειται στην απόφαση να εισαχθεί η ανάγκη της διεξαγωγής μελετών LCA, μελετών ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής και κοινωνικών LCA σε συμφωνία με το ISO 14040 σε πολλές από τις εργασίες του FP7 σε σχέση με την ανάπτυξη των περιβαλλοντικών τεχνολογιών.

Η Αξιολόγηση Βιωσιμότητας των Τεχνολογιών (Sustainability Assessment of Technologies, SAT) έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού η βιωσιμότητα είναι όλο και περισσότερο στο επίκεντρο των περισσότερων πολιτικών και βιομηχανικών αποφάσεων. Με στόχο την αξιολόγηση αναδυόμενων τεχνολογιών σε διάφορα πεδία, η προσέγγιση κύκλου ζωής είναι απαραίτητη για να βοηθήσει στην αποφυγή κάθε είδους μετακύλισης της βαρύτητας, ειδικότερα όταν λαμβάνονται αποφάσεις σε επίπεδο συστήματος. Αυτές οι αξιολογήσεις θα πρέπει να πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας ένα σύνολο συναφών κανόνων σε σχέση με τα όρια του

συστήματος, την ποιότητα δεδομένων, το χρονοδιάγραμμα και τις μεθόδους λειτουργίας (Tilche et al., 2008).

2.2 Αντικείμενο μεθοδολογίας

2.2.1 Η LCA στις επιχειρήσεις

Η LCA εφαρμόζεται πλέον συχνά στα προϊόντα, αλλά δεν έχει εδραιωθεί ακόμα σαν κοινή πρακτική στις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς. Μία ομάδα μελέτης της Πρωτοβουλίας Κύκλου Ζωής (UNEP/SETAC) έχει συσταθεί για να συμβάλλει προληπτικά στην προώθηση των οφελών και της δυναμικής της Προσέγγισης Κύκλου Ζωής και στην υποστήριξη του πρόσφατου πλάνου προώθησης για την ανάπτυξη ενός προτύπου για την LCA των οργανισμών, το ISO 14072 που αφορά τις Επιπρόσθετες Απαιτήσεις και τις Κατευθυντήριες γραμμές για τις Επιχειρήσεις.

Η συζήτηση για την «LCA στις επιχειρήσεις» έχει προωθηθεί από διάφορες πρωτοβουλίες τα τελευταία χρόνια. Το Αποτύπωμα Άνθρακα για τους οργανισμούς είχε αρχικά προταθεί από το Πρωτόκολλο Αερίων Φαινομένου Θερμοκηπίου (GHG Protocol) και από την τεχνική αναφορά ISO 14069: Αποτύπωμα Άνθρακα στην Επιχείρηση. Το 2012 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εισήγαγε τον «Οδηγό Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος για Επιχειρήσεις» και ο ISO ξεκίνησε τη μελέτη 14072 (www.lifecycleinitiative.org).

2.2.2 Η LCA σαν εργαλείο υποστήριξης λήψης αποφάσεων

Οι πληροφορίες μιας LCA βοηθούν τους λήπτες αποφάσεων στην κατανόηση των περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των προϊόντων και των υπηρεσιών τους. Η πρόκληση τόσο για τους εσωτερικούς όσο και για τους εξωτερικούς συνεργάτες μιας εταιρείας που ασχολούνται με την LCA είναι να παρουσιάσουν τα αποτελέσματα μιας μελέτης LCA με έναν τρόπο πλήρως κατανοητό από τη διοίκηση. Πολλοί μάντζερ επιχειρήσεων δεν είναι εκπαιδευμένοι σε περιβαλλοντικά ζητήματα όπως είναι η οικολογία και η περιβαλλοντική μοντελοποίηση, επομένως τα εκπαιδευτικά προγράμματα θα πρέπει να περιλαμβάνουν τα διοικητικά στελέχη καθώς επίσης και άλλους υπαλλήλους από όλα τα επίπεδα.

Για την επίτευξη μέγιστης εμπιστοσύνης στις στρατηγικές που εξάγονται από τη χρήση της LCA, απαιτείται λεπτομερής προσέγγιση. Ωστόσο, είναι αναγκαίο πολλές επιχειρηματικές αποφάσεις να ληφθούν σε σύντομο χρόνο, και οι απλοποιημένες μελέτες LCA με έμφαση στην ταυτοποίηση του προβλήματος και στις διαφορές ανάμεσα στα προϊόντα της αγοράς είναι σε πολλές περιπτώσεις επαρκείς. Πιο μακροπρόθεσμα, πιο συστηματικές δραστηριότητες LCA μέσα στην εταιρεία θα βοηθήσουν στη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων από πληροφορίες κατάλληλες

για αποφάσεις σε όλα τα επίπεδα των δραστηριοτήτων της (European Environmental Agency).

2.2.3 Πρακτικές που σχετίζονται με την LCA (European Environmental Agency)

Η Ιδέα του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Thinking) κατευθύνει τις επιδράσεις του κύκλου ζωής μέσα από τη χρήση διαφορετικών προσεγγίσεων που στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση αυτών των επιδράσεων, όπως: η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής, η Διαχείριση Κύκλου Ζωής, το Κόστος Κύκλου Ζωής και ο Σχεδιασμός για το Περιβάλλον (Bernardes, 2008).

Διαχείριση κύκλου ζωής (Life cycle management)

Η βασική ιδέα στη διαχείριση κύκλου ζωής είναι η εδραίωση πλήρους γνώσης των περιβαλλοντικών ορίων των προϊόντων που κατασκευάζονται από την εταιρεία και η χρήση της για δράσεις βελτίωσης. Η διαδικασία περιλαμβάνει εργαζομένους όλων των επιπέδων της εταιρείας και ξεκινά με την αναγνώριση όλων των μοναδιαίων διαδικασιών της παραγωγής και την ανάλυση των σχετικών εισροών και εκροών. Στο επόμενο στάδιο, εξετάζονται οι διαδικασίες ανάντη και κατόντη. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διεξαγωγή μιας LCA, αλλά είναι πιο σημαντικό τα αποτελέσματα να χρησιμοποιηθούν για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας ένα σύνολο εργαλείων προορισμένων στις ανάγκες μιας δεδομένης εταιρείας, π.χ. σχεδιασμός για το περιβάλλον, στρατηγικές πρόληψης ρύπανσης, έλεγχος αποβλήτων, πράσινες προμήθειες κ.ά.

Περιβαλλοντική αξιολόγηση επιπτώσεων (Environmental Impact Assessment, EIA)

Η περιβαλλοντική αξιολόγηση επιπτώσεων είναι μια δραστηριότητα που κατευθύνεται στην ταυτοποίηση και την ποσοτικοποίηση των επιδράσεων των ανθρώπινων δράσεων στην ανθρώπινη υγεία και το ευ ζην και στην ερμηνεία και την επικοινωνία των πληροφοριών για αυτές τις επιδράσεις. Η EIA χρησιμοποιείται γενικά κατά τη φάση του σχεδιασμού για τη διερεύνηση αλλαγών που προκλήθηκαν στο περιβάλλον σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, για παράδειγμα από πρότζεκτ κατασκευών. Το επίπεδο ανάλυσης σε μια EIA είναι συνήθως υψηλότερο απ' ό τι σε μια LCA, διότι λαμβάνονται υπόψη πτυχές όπως η συγκέντρωση εκπεμπόμενων ρύπων και η διάρκεια της έκθεσης. Οι EIA μπορούν λοιπόν να χρησιμοποιηθούν για να εφοδιάσουν με λεπτομερή στοιχεία συγκεκριμένες LCA και σαν αναφορές ελέγχου σε γενικές LCA.

Αξιολόγηση κινδύνων (Risk assessment, RA)

Ένα προϊόν μπορεί να αναλυθεί χρησιμοποιώντας LCA και ταυτόχρονα μία Αξιολόγηση Κινδύνων για πολλές βασικές διαδικασίες στην αλυσίδα, όπου δίνεται

έμφαση στις τοπικές περιβαλλοντικές επιδράσεις. Πρέπει να σημειωθεί ότι και οι δύο τύποι πληροφοριών σχετίζονται με τη λήψη αποφάσεων. Η RA είναι ένας αριθμός εργαλείων που αναπτύχθηκαν για να εξετάσουν τους ενδεχόμενους κινδύνους στην ανθρώπινη υγεία ή το περιβάλλον από καταστάσεις όπως μεταφορά επικίνδυνων υλών ή τη χρήση συγκεκριμένων ουσιών. Σε κάθε περίπτωση, η RA περιλαμβάνει τουλάχιστον δύο στάδια τα οποία επίσης χρησιμοποιούνται σε πολλές LCA, ο προσδιορισμός της επικινδυνότητας (hazard identification) και η εκτίμηση της έκθεσης (exposure assessment). Η εκτίμηση της έκθεσης μπορεί να αποφέρει αξιόλογες πληροφορίες από μια δεδομένη δραστηριότητα και ο προσδιορισμός της επικινδυνότητας μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση επιδράσεων, βασιζόμενες στη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται.

Κόστος κύκλου ζωής (Life Cycle Costing, LCC)

Το κόστος του κύκλου ζωής (LCC) είναι το κόστος του «ενεργητικού», ή τμημάτων αυτού καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής, ενώ ικανοποιούνται οι απαιτήσεις απόδοσης. Πρόκειται για το άθροισμα όλων των δαπανών που προκύπτουν καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός στοιχείου, δηλαδή το σύνολο των δαπανών προμήθειας και ιδιοκτησίας. Με άλλα λόγια, δηλώνει το άθροισμα του κόστους αγοράς, εγκατάστασης, λειτουργίας, συντήρησης και πιθανής αντικατάστασης ή απόρριψης του αντικειμένου κατά τη διάρκεια της ζωής του. Η ανάλυση κόστους κύκλου ζωής είναι μία τεχνική που επιτρέπει την πραγματοποίηση συγκριτικών αξιολογήσεων κόστους σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους σχετικούς οικονομικούς συντελεστές, τόσο από άποψης αρχικού κόστους κεφαλαίου, όσο και από το μελλοντικό κόστος λειτουργίας.

Το LCC σχετίζεται άμεσα με τη βιωσιμότητα μιας που η οικονομία είναι μία από τις τρεις διαστάσεις της μαζί με το περιβάλλον και την κοινωνική διάσταση. Το περιβαλλοντικό LCC είναι πλήρως συμβατό με την LCA και επιτρέπει την αξιολόγηση του κόστους των συστημάτων προϊόντων από διαφορετικές απόψεις, με την άποψη της καλύτερης προσαρμογής για συγκριτικές αξιολογήσεις προϊόντων να είναι του χρήστη του προϊόντος.

Μία σημαντική πρακτική πλευρά από την άποψη των χρηστών είναι ότι τα περιβαλλοντικά φιλικά προϊόντα, όπως αναγνωρίζονται και ποσοτικοποιούνται από την LCA, έχουν συχνά υψηλότερα κόστη αγοράς, αλλά συνήθως εμφανίζονται να είναι φθηνότερα αν ληφθούν υπόψη το στάδιο της χρήσης και/ή του τέλους της ζωής τους (end-of-life phase). Άρα, το περιβαλλοντικό LCC μπορεί να βοηθήσει τους καταναλωτές να λαμβάνουν υπεύθυνες αποφάσεις, και τους παραγωγούς και τους εμπόρους να επισημάνουν το χρηματοοικονομικό πλεονέκτημα της αγοράς ενός περιβαλλοντικά προτιμητέου προϊόντος (Klöpffer et al., 2011).

Αξιολόγηση κύκλου ζωής βιωσιμότητας (Life cycle sustainability assessment, LCSA)

Η βιωσιμότητα/αιεφορία υιοθετήθηκε από τη UNEP στο Ρίο ντε Τζανέιρο το 1992 ως ο κύριος πολιτικός στόχος για τη μελλοντική ανάπτυξη του ανθρώπινου είδους. Θα πρέπει επίσης να είναι ο κύριος στόχος για την ανάπτυξη των προϊόντων. Η αιεφορία αποτελείται από τρία συστατικά: περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές πλευρές. Για το περιβαλλοντικό κομμάτι υπάρχει ήδη η LCA, όπως και για το οικονομικό μέρος το LCC που προαναφέρθηκε.

Η αιεφορία έγινε γνωστή σαν ένας όρος σχετικός με την παγκόσμια ανάπτυξη. Η βιώσιμη ανάπτυξη είναι αυτή που συναντά τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να καταστρατηγεί την ικανότητα των επόμενων γενεών να συναντήσει τις δικές τους ανάγκες. Με την ανάλυση του όρου της βιωσιμότητας, η αξιολόγηση βιωσιμότητας του κύκλου ζωής (Life Cycle Sustainability Assessment, LCSA) μπορεί να δοθεί σαν: $LCSA = LCA + LCC + S-LCA$, όπου S-LCA αφορά την κοινωνική πλευρά της LCA (Klöpffer, 2008).

2.3 Πεδίο εφαρμογής LCA

Η LCA είναι μία μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση του περιβάλλοντος. Εφαρμόζεται δε από κυβερνήσεις, ιδιωτικές εταιρείες, οργανώσεις καταναλωτών και περιβαλλοντικές οργανώσεις ως ένα εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων. Το αντικείμενο των αποφάσεων που μπορούν να υποστηριχτούν από μία LCA ποικίλει από πολύ ευρείες πολιτικές επιλογές μέχρι απλές συγκεκριμένες επιλογές προϊόντων ή χαρακτηριστικών των προϊόντων κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού (Διακάκη και Γρηγορούδης, 2008). Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τόσο μία περιβαλλοντική σύγκριση ανάμεσα σε υπάρχοντα προϊόντα όσο την ανάπτυξη νέων προϊόντων, η οποία επίσης περιλαμβάνει συγκρίσεις με πρωτότυπα.

Για παράδειγμα, μία ευρεία κατηγορία εφαρμογών περιλαμβάνει τις «πράσινες» προμήθειες – μία «πράσινη» πολιτική αγορών, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί τόσο από τις αρχές όσο και από τις επιχειρήσεις. Ωστόσο, η κατάταξη των πόρων, υλικών ή προϊόντων για αγοραστικούς λόγους δεν είναι απαραίτητο να γίνει σε ποσοτική βάση, χρησιμοποιώντας την LCA. Έτσι, η τροπική ξυλεία με ετικέτα από το Forest Stewardship Council (FSC) μπορεί, χωρίς την LCA, να συγκριθεί με ξυλεία χωρίς μία τέτοια ετικέτα (εφόσον όλες οι άλλες πτυχές παραμένουν ίδιες), χρησιμοποιώντας έναν πιο απλό και πιο εστιασμένο τρόπο ανάλυσης βασισμένο σε ένα μόνο ποιοτικό κριτήριο. Ωστόσο, αν διαφορετικοί τύποι επεξεργασμένου ξύλου πρέπει να συγκριθούν για άλλους λόγους εκτός από την αποφυγή χρήσης τροπικής ξυλείας, η LCA μπορεί να συμβάλει καθοριστικά.

Μία άλλη εφαρμογή αφορά την οικολογική σήμανση «eco-labeling» (π.χ. η αντιστοίχιση μιας «πράσινης ετικέτας» σε φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα),

δίνοντας τη δυνατότητα στους καταναλωτές να κάνουν συγκρίσεις ανάμεσα σε αυτά. Τα προγράμματα οικολογικής σήμανσης όπως αυτά της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι όλο και περισσότερο βασισμένα στην LCA. Έως τώρα, κάποια από αυτά τα προγράμματα δεν έχουν ανταποκριθεί στις προσδοκίες τους, με εξαίρεση δύο προγράμματα – στη Γερμανία και στη Σκανδιναβία.

Μία ακόμα εφαρμογή σε σχέση με τα προϊόντα είναι ο σχεδιασμός πιο περιβαλλοντικά φιλικών προϊόντων, γνωστή ως οικολογικός σχεδιασμός «eco-design». Πρόκειται για μία δραστηριότητα ολοένα αυξανόμενης σημασίας, η οποία θέτει ειδικές απαιτήσεις στη διαθέσιμη πληροφορία του κύκλου ζωής: πρέπει να είναι πολύ απλή για να χρησιμοποιηθεί. Είναι γενικά μία δραστηριότητα στην οποία τα αποτελέσματα της LCA χρησιμοποιούνται μέσα στην εταιρεία παρά στην αγορά.

Ο ρόλος της LCA σε ευρύτερες εφαρμογές

Εκτός από τις άμεσες εφαρμογές σε προϊόντα, είναι επίσης πιθανό να χρησιμοποιήσουμε την LCA με μια ευρύτερη έννοια. Η LCA εφαρμόζεται εδώ για να συγκροτήσει επιχειρησιακές στρατηγικές ή κυβερνητικές πολιτικές που σχετίζονται με την κατανάλωση και τις επιλογές τρόπου ζωής σε διάφορους τομείς της κοινωνίας. Στις παρακάτω εφαρμογές η λειτουργία της LCA είναι πιο σύνθετη, πιο σφαιρική και σχετίζεται με στρατηγικές αποφάσεις.

Παραδείγματα ευρύτερων εφαρμογών μιας LCA περιλαμβάνουν:

- Η επιλογή μη ανακυκλώσιμης συσκευασίας από μια βιομηχανία. Η Οδηγία Συσκευασίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU's Packaging Directive) το επιτρέπει, με την προϋπόθεση ότι μπορεί να αποδειχθεί ότι αυτό δημιουργεί λιγότερο επιβαρυντικό φορτίο απ' ό,τι η χρήση επαναχρησιμοποιημένων υλικών συσκευασίας.
- Σύγκριση ανάμεσα σε διάφορους τύπους διαχείρισης απορριμμάτων από ένα δήμο, ή την ανάπτυξη μιας στρατηγικής διαχείρισης απορριμμάτων.
- Αξιολόγηση του περιβαλλοντικού οφέλους διαφόρων τύπων χρήσης βιομάζας, για παράδειγμα, στην παραγωγή ηλεκτρισμού ή χαρτιού.
- Στρατηγική σύγκριση ανάμεσα σε διάφορους τρόπους μεταφοράς φορτίων (οδικά, σιδηροδρομικά, θαλάσσια) ως βάση για δημόσια επένδυση σε νέες υποδομές.
- Την «πρασινοποίηση» της οικοδομικής βιομηχανίας. Στην Ολλανδία, για παράδειγμα, τα καινούρια σπίτια θα πρέπει στο μέλλον να πληρούν ελάχιστες περιβαλλοντικές απαιτήσεις. Επιπρόσθετα με την κατανάλωση ενέργειας, αυτό θα πρέπει να περιλαμβάνει απαιτήσεις στα περιβαλλοντικά φορτία που τίθενται από όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ενός σπιτιού, να βασίζονται σε ποσοτική LCA.

Σύγκλιση ανάμεσα στις απαιτήσεις της LCA στην πολιτική προϊόντος και σε ευρύτερες εφαρμογές παρατηρείται επίσης στον οικολογικό σχεδιασμό (π.χ. η LCA χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό νέων αυτοκινήτων στη γερμανική αυτοκινητοβιομηχανία). Η διαδικασία σχεδιασμού από μόνη της επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν μόνο απλά κριτήρια. Ωστόσο, όταν ένα αυτοκίνητο ολοκληρωθεί μία πλήρης LCA διενεργείται στο τελικό προϊόν. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης παρέχουν τη βάση για την εδραίωση – απλών πάλι – κριτηρίων σχεδιασμού. Αυτή η διαδικασία θέτει μία «καμπύλη μάθησης» (learning curve).

Σε όλες τις παραπάνω εφαρμογές, η LCA χρησιμοποιείται σε μελέτες – project: ο σκοπός του project είναι καθορισμένος, πραγματοποιείται η μελέτη και εξάγονται συμπεράσματα. Αλλά το αντικείμενο της LCA μπορεί να διευρυνθεί περεταίρω, χρησιμοποιώντας την LCA σαν ένα εργαλείο διαχείρισης σε πιο συνεχή βάση. Σε αυτή την περίπτωση, τα κριτήρια εξάγονται από μία πιο εκτενή και λεπτομερή μελέτη LCA, τα οποία έπειτα χρησιμοποιούνται για τη συνεχή παρακολούθηση της διαδικασίας διαχείρισης (Guinee et al., 2004).

Σύμφωνα με τη *European Environmental Agency*, κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της LCA, έχουν αναπτυχθεί διάφορες σχετικές εφαρμογές όπως:

- Εσωτερική χρήση στη βιομηχανία στην ανάπτυξη προϊόντων και βελτίωση περιβαλλοντικών όψεων των προϊόντων σε διάφορα σημεία κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους,
- Εσωτερικός στρατηγικός σχεδιασμός και πολιτική υποστήριξης αποφάσεων στη βιομηχανία,
- Εξωτερική βιομηχανική χρήση για σκοπούς μάρκετινγκ,
- Επιλογή δεικτών για την παρακολούθηση ή/και αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδοσης, και
- Εφαρμογή κυβερνητικής πολιτικής στα πεδία της οικολογικής σήμανσης, τις πράσινες προμήθειες και της διαχείρισης απορριμμάτων.

Ανάπτυξη προϊόντος

Σχεδιασμός για το Περιβάλλον (ΣγΠ)

Ο σχεδιασμός για το περιβάλλον είναι ένας γενικός όρος για έναν αριθμό μεθόδων για την ενσωμάτωση περιβαλλοντικών παραγόντων στη διαδικασία σχεδιασμού. Η ιδέα του ΣγΠ έχει αναπτυχθεί χωρίς επίσημη σύνδεση με την LCA, αλλά όπως φαίνεται από τις ακόλουθες παραγράφους οι δύο προσεγγίσεις είναι παρόμοιες και σε πολλές περιπτώσεις δεν μπορούν να διαχωριστούν.

Κάποιες συγκεκριμένες αρχές για το ΣγΠ διαφέρουν από εταιρεία σε εταιρεία, αλλά κάποια κοινά θέματα έχουν περιγραφεί από το Παγκόσμιο Συμβούλιο Βιομηχανίας για το Περιβάλλον (World Industry Council for the Environment, WICE 1994). Ο ΣγΠ

χρησιμεύει στη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης ενός προϊόντος κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του και ενσωματώνει ιδέες πρόληψης ρύπανσης στη βιομηχανία και ανησυχίες για την ενεργειακή αποδοτικότητα των προϊόντων. Ακόμη, στόχος του ΣγΠ για τους κατασκευαστές είναι να σχεδιάζουν προϊόντα με στόχο την ελαχιστοποίηση των επιδράσεων και κόστους μετά τη χρήση.

Επιπλέον, ο ΣγΠ αναφέρεται στις ίδιες περιοχές προβλημάτων με την LCA. Τα εργαλεία LCA δεν ήταν ενσωματωμένα στις πρώτες πρωτοβουλίες ΣγΠ, αλλά όπως φαίνεται στην επόμενη παράγραφο, η ανάπτυξη της LCA έχει πλέον σε μεγάλο βαθμό συνδεθεί με την ανάπτυξη προϊόντων – αντίστοιχα – με το ΣγΠ σαν ιδέα.

Η LCA και η ανάπτυξη – σχεδίαση προϊόντος

Η χρήση της LCA στην ανάπτυξη προϊόντος είναι μια προφανής επιλογή μιας που ένα μεγάλο μέρος των περιβαλλοντικών επιδράσεων ενός προϊόντος καθορίζεται από το στάδιο του σχεδιασμού και της κατασκευής. Ενσωματώνοντας την LCA στο στάδιο του σχεδιασμού, οι εταιρείες έχουν τη δυνατότητα να αποφύγουν ή να ελαχιστοποιήσουν τις προβλέψιμες επιδράσεις χωρίς να υποβαθμίζουν τη συνολική ποιότητα του προϊόντος.

Στο στάδιο της ιδέας υπάρχει ένας σχεδόν απεριόριστος αριθμός δυνατοτήτων σε σχέση με το σχεδιασμό, την επιλογή των υλικών, τη λειτουργία, κ.ά.. Ο αριθμός των επιλογών μειώνεται με τη διαδικασία της ανάπτυξης, και αλλαγές στο τελικό προϊόν και των απαραίτητων εργαλείων παραγωγής συχνά απαιτούν μία νέα διαδικασία ανάπτυξης.

Είναι επομένως απαραίτητο να υπάρχουν τα σχετικά περιβαλλοντικά εργαλεία και να χρησιμοποιούνται το νωρίτερο δυνατόν στη διαδικασία της ανάπτυξης. Για απλά προϊόντα, π.χ. συσκευασία, είναι δυνατόν να εφαρμοστεί μία λεπτομερής και ποσοτική LCA, αφού είναι διαθέσιμες οι πληροφορίες για τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα υλικά. Για πιο σύνθετα προϊόντα, ο αριθμός των δυνατοτήτων είναι πολύ μεγάλος και η βάση δεδομένων σε «εξωτικά» υλικά είναι περιορισμένη, άρα η εφαρμογή μιας ποσοτικής και λεπτομερούς LCA μπορεί να αποδειχθεί πολύ απαιτητική και ταυτόχρονα λιγότερο ακριβής.

Όταν πρόκειται για βελτίωση ενός υπάρχοντος προϊόντος, η χρήση της LCA γίνεται ευκολότερη, απλώς επειδή είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί LCA του παλιού προϊόντος αναφοράς με γνωστό κύκλο ζωής και να χρησιμοποιηθούν αυτά τα αποτελέσματα για την εύρεση των περιβαλλοντικά σημαντικών σημείων. Εδώ, η συλλογή δεδομένων και η ερμηνεία είναι γενικά λιγότερο απαιτητικές σε πόρους, και τα αποτελέσματα μπορούν να απευθυνθούν στους πελάτες για απόλυτες περιβαλλοντικές βελτιώσεις.

Περιβαλλοντικό Μάρκετινγκ

Το μάρκετινγκ είναι ο παραδοσιακός τρόπος επικοινωνίας των ιδιοτήτων και των ικανοτήτων ενός προϊόντος, οι οποίες βρίσκονται σε συνοχή με τις προσδοκίες και τις απαιτήσεις του καταναλωτή. Όσο το επίπεδο περιβαλλοντικής ευσυνειδησίας αυξάνεται, δίνεται μεγαλύτερη προσοχή από τον καταναλωτή στις περιβαλλοντικές πτυχές αγαθών και υπηρεσιών. Αυτό χρησιμοποιείται από πολλές εταιρείες στην προσπάθειά τους να αυξήσουν το μερίδιο αγοράς, δίνοντας βαρύτητα στην ανάπτυξη κριτηρίων και κατευθυντήριων γραμμών για το περιβαλλοντικό μάρκετινγκ.

Μπορούν να αναφερθούν τουλάχιστον τέσσερα είδη περιβαλλοντικού μάρκετινγκ:

- **Περιβαλλοντική σήμανση**
Υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον ανάμεσα στις επιχειρήσεις και τον καταναλωτή, τις επιχειρήσεις και τις κυβερνήσεις και τις αγορές ανάμεσα σε επιχειρήσεις σχετικά με την αγορά προϊόντων και υπηρεσιών με μικρότερα περιβαλλοντικά αποτυπώματα. Ταυτόχρονα, αναπτύσσονται με γρήγορους ρυθμούς τα «πράσινα» σχήματα και πρότυπα ετικέτας προϊόντων που πιστοποιούν τα προϊόντα που ικανοποιούν συγκεκριμένα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, ενώ μπορεί να φαίνεται μια θετική εξέλιξη στην αγορά, η αρνητική πλευρά είναι η ύπαρξη πολλών «πράσινων» προτύπων και συστημάτων ετικέτας που δημιουργούν σύγχυση στην αγορά (Fava et al., 2008).
- **Περιβαλλοντικές αξιώσεις**
Μία περιβαλλοντική αξίωση ορίζεται από τον οργανισμό ISO σαν μία ετικέτα ή μία δήλωση που υποδεικνύει τις περιβαλλοντικές πτυχές ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας που μπορεί να λάβει τη μορφή έκθεσης, συμβόλων ή γραφικών στο προϊόν ή στις ετικέτες συσκευασίας, στη διαφήμιση ή τη δημοσιότητα. Η χρήση των περιβαλλοντικών αξιώσεων πιθανόν να μειωθεί με την αυξανόμενη περιβαλλοντική ενημερότητα των καταναλωτών και την εισαγωγή επίσημων μεθόδων για το μάρκετινγκ περιβαλλοντικά προτιμητέων προϊόντων.
- **Περιβαλλοντικές δηλώσεις**
Οι περιβαλλοντικές δηλώσεις (Environmental Declarations) μπορεί να είναι ένα εργαλείο του οικολογικού μάρκετινγκ (eco-marketing) για τη μεταφορά των αποτελεσμάτων από την εξερεύνηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος στην ατομική διαδικασία λήψης απόφασης ενός καταναλωτή.
- **Οργανωτικό μάρκετινγκ**
Το κλασικό μάρκετινγκ περιβαλλοντικής επίδοσης έχει εστιασθεί κυρίως στα προϊόντα. Ωστόσο, με τον αυξημένο αριθμό εταιρειών που πιστοποιούνται σύμφωνα με το ISO 14001 ή το EMAS (Environmental Management and Auditing Scheme), κάποιες πρωτοβουλίες μάρκετινγκ εστιάζονται προς τις

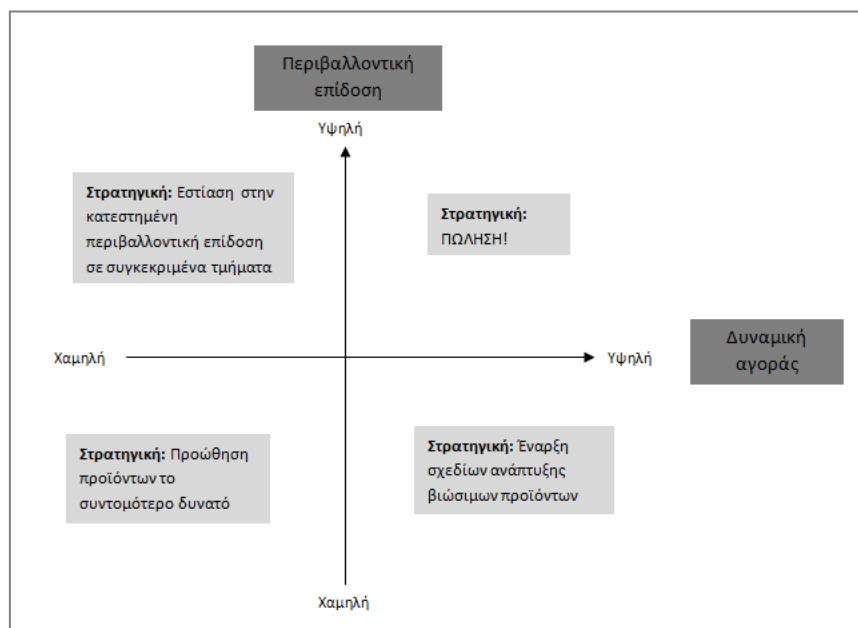
περιβαλλοντικές δυνατότητες της εταιρείας. Όσο οι επιχειρήσεις εφαρμόζουν τις απαραίτητες πολιτικές για πιστοποιήσεις ενθαρρύνονται επίσης να επισημοποιήσουν την εφαρμογή διαδικασιών LCA στο περιβαλλοντικό σύστημα διαχείρισης.

Στρατηγικός σχεδιασμός

Η ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών πλευρών στον επιχειρησιακό στρατηγικό σχεδιασμό γίνεται ένα κοινό χαρακτηριστικό σε πολλές εταιρείες. Ο χειρισμός των περιβαλλοντικών ανησυχιών πραγματοποιείται συχνά με ένα περιβαλλοντικό σύστημα διαχείρισης όπως το EMAS ή το πρότυπο ISO 14001, αλλά πολλές εταιρείες ακόμα χειρίζονται τα ζητήματα κατά περίπτωση.

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που κινητοποιούν τις επιχειρήσεις στην απόφαση της ενσωμάτωσης περιβαλλοντικών ζητημάτων, όπως:

- Οι απαιτήσεις των καταναλωτών
- Η συμμόρφωση με τη νομοθεσία
- Οι ανάγκες της κοινωνίας για περιβαλλοντικές βελτιώσεις
- Η ασφάλεια του εφοδιασμού
- Οι ευκαιρίες της αγοράς



Σχήμα 2-1: Βασικές στρατηγικές προϊόντος σε σχέση με την περιβαλλοντική επίδοση και τη δυναμική της αγοράς

Η περιβαλλοντική επίδοση από μια χρήσιμη ιδιότητα πολλών προϊόντων γίνεται μια ισχυρή κατεστημένη ιδιότητα στην αγορά. Η LCA ή ίσως περισσότερο η προσέγγιση του κύκλου ζωής (Life Cycle Approach) είναι ένα πολύ σημαντικό εργαλείο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε σχέση με υπάρχοντα προϊόντα για το αν εκπληρώνουν τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις των καταναλωτών, όσο και για την αναγνώριση

τμημάτων της αγοράς που ανοίγονται για περιβαλλοντικά υπεύθυνα προϊόντα. Βασικές στρατηγικές προϊόντος σε σχέση με την περιβαλλοντική επίδοση και τη δυναμική της αγοράς φαίνονται στο σχήμα 2-1 (Hanssen, 1995).

Δημόσια πολιτική

Η βιώσιμη ανάπτυξη έχει συμπεριληφθεί ως ένα σημαντικό ζήτημα στις περισσότερες κυβερνητικές ατζέντες από τη Συνάντηση Κορυφής για τη Γη στο Ρίο το 1992. Παρόλο που ένας ακριβής ορισμός της βιώσιμης ανάπτυξης δεν είχε δοθεί, είναι προφανές ότι η LCA ή η προσέγγιση κύκλου ζωής πρέπει να χρησιμοποιείται για να διασφαλίσει ότι δράσεις προς ένα πιο βιώσιμο μέλλον θα έχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η LCA σαν εξειδικευμένο εργαλείο μπορεί να το διασφαλίσει σε κάποιες περιπτώσεις, ενώ η LCA σαν προσέγγιση ή σαν στρατηγικό εργαλείο μπορεί να δώσει τις κατευθύνσεις αλλά όχι την τελική απάντηση και θα πρέπει να εφαρμόζονται ταυτόχρονα και άλλα εργαλεία όπως η αξιολόγηση κινδύνου, η περιβαλλοντική αξιολόγηση επιδράσεων, η ανάλυση κόστους-οφέλους, κ.ά.

Οι βασικές λειτουργίες είναι:

- Πολιτική κατευθυνόμενη προς το προϊόν
- Συστήματα επιστροφής, συμπεριλαμβανομένων των πολιτικών διαχείρισης απορριμμάτων
- Χορηγίες και φορολογία, και
- Γενικές πολιτικές (κατευθυνόμενες προς τη διαδικασία)

Ο κυβερνητικός ρόλος στη δημοσιότητα ενός προϊόντος είναι κυρίως να διευκολύνει και να υποστηρίξει, και αυτό μπορεί να γίνει αυξάνοντας τη διαθέσιμη πληροφορία τόσο σε μεμονωμένους καταναλωτές όσο και σε θεσμικούς και κυβερνητικούς αγοραστές.

Μελλοντικές εφαρμογές

Αναμένεται ότι η LCA θα ενσωματωθεί στα άλλα εργαλεία λήψης αποφάσεων σε σχεδόν όλα τα πεδία όπου τα περιβαλλοντικά ζητήματα είναι σημαντικά. Η ποσότητα των πληροφοριών σχετικών με την LCA είναι αυξανόμενη, δίνοντας τη δυνατότητα επέκτασής της σε νέα πεδία παραγωγής, καθώς και στις εφαρμογές που αναφέρθηκαν. Έτσι, οι εφαρμογές της LCA θα ποικίλουν περισσότερο και τα αποτελέσματα θα είναι πιο ακριβή. Αλλά αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν μόνο λίγες περιπτώσεις όπου η LCA μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως το μοναδικό εργαλείο λήψης αποφάσεων.

Η ενσωμάτωση προσεγγίσεων κύκλου ζωής και συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης φαίνεται να αποτελεί ένα πεδίο-κλειδί για περαιτέρω ανάπτυξη: στα σχήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης χρειάζεται να ληφθούν υπόψη οι έμμεσες

περιβαλλοντικές πλευρές που θα επικοινωνούν με την αλυσίδα του προϊόντος, για παράδειγμα με τους προμηθευτές και τους πελάτες.

Η εφαρμογή και η χρήση της LCA στο μέλλον εξαρτάται από την ικανότητα της διεξαγωγής ουσιαστικών μελετών LCA. Αυτό προϋποθέτει ότι είναι διαθέσιμες οι απαραίτητες εγκαταστάσεις για τη συλλογή των δεδομένων καθώς και οι μεθοδολογίες. Ωστόσο, με το πέρασμα του χρόνου τόσο οι μεθοδολογίες όσο και τα δεδομένα γίνονται όλο και πιο ακριβή και καταγράφονται καλύτερα. Αυτό, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των προτύπων ISO για την LCA, εγγυάται ότι η μελλοντική χρήση της LCA θα είναι ακόμη πιο ωφέλιμη.

2.4 Στάδια μεθοδολογίας

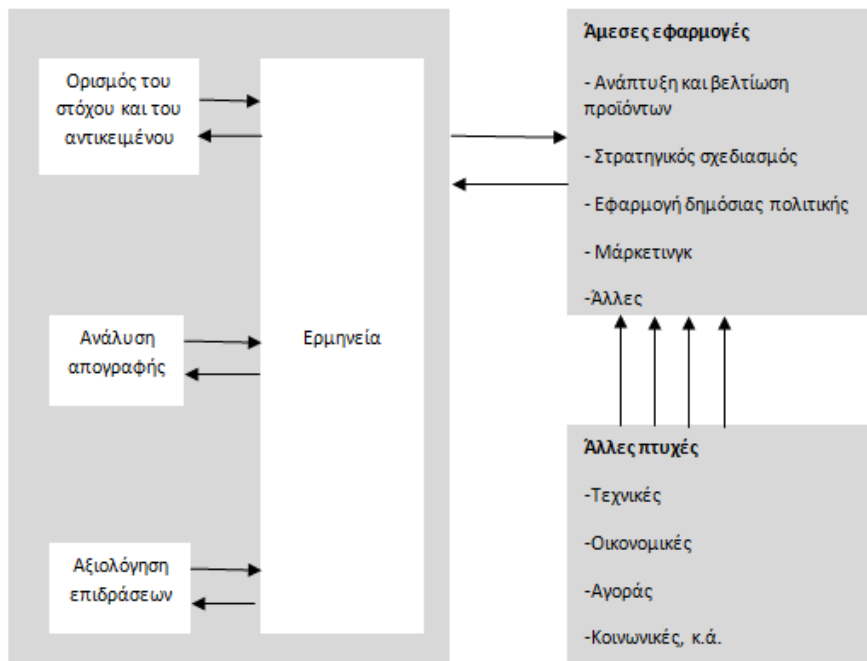
2.4.1 Γενικά

Οι επόμενες παράγραφοι περιγράφουν το μεθοδολογικό πλαίσιο μιας LCA. Η εφαρμογή μιας LCA περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός συστήματος απογραφής δεδομένων για τις εισροές και εκροές του εξεταζόμενου συστήματος, την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με τις εισροές και τις εκροές και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης και αξιολόγησης σε σχέση με τους στόχους που έχουν τεθεί. Τελικός στόχος είναι η εξεύρεση τρόπων βελτίωσης των επιπτώσεων που προσδιορίστηκαν (Γρηγορούδης και Διακάκη, 2008).

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2-2 το πλαίσιο της αξιολόγησης του κύκλου ζωής περιγράφεται από τέσσερα στάδια:

- Προσδιορισμός σκοπού και αντικειμένου μελέτης (Goal and Scope definition)
- Απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής (Life Cycle Inventory analysis, LCI)
- Εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής (Life Cycle Impact assessment, LCIA)
- Ερμηνεία αποτελεσμάτων (Interpretation)

Τα διπλά τόξα ανάμεσα στα στάδια υποδεικνύουν την αλληλεπιδραστική φύση της LCA, όπως φαίνεται από τα ακόλουθα παραδείγματα: όταν πραγματοποιείται η αξιολόγηση επιδράσεων είναι προφανές ότι κάποιες πληροφορίες λείπουν που σημαίνει ότι η ανάλυση της απογραφής πρέπει να βελτιωθεί, ή η ερμηνεία των αποτελεσμάτων θα είναι ίσως ανεπαρκής στην εκπλήρωση των αναγκών που απαιτούνται από την εφαρμογή, γεγονός που σημαίνει ότι ο στόχος και το αντικείμενο της μελέτης θα πρέπει να επανεξεταστούν.



Σχήμα 2-2: Πλαίσιο της αξιολόγησης κύκλου ζωής – Στάδια μιας LCA

2.4.2 Ορισμός του σκοπού και του αντικειμένου

Ο ορισμός του σκοπού και του αντικειμένου είναι το πρώτο στάδιο σε μια LCA και προσδιορίζει το προς μελέτη σύστημα, τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα και τον τρόπο με τον οποίο θα διεξαχθεί η μελέτη. Περιλαμβάνει τα ακόλουθα κύρια ζητήματα:

- Το σκοπό
- Το αντικείμενο
- Τη λειτουργική μονάδα: ορίζεται ως η κοινή βάση αναφοράς (functional unit) που επιτρέπει τη σύγκριση συστημάτων και εναλλακτικών λύσεων που, αν και διαφορετικά, προσφέρουν την ίδια λειτουργικότητα.
- Τα όρια του συστήματος
- Την ποιότητα των δεδομένων
- Τις συγκρίσεις ανάμεσα σε συστήματα

Ο ορισμός του σκοπού και του αντικειμένου είναι από τα πιο κρίσιμα σημεία μιας LCA εξαιτίας της ισχυρής επιρροής τους στα αποτελέσματά της, ώστε να είναι συμβατά με τις γενικότερες επιδιώξεις της μελέτης.

Σκοπός

Στον καθορισμό του σκοπού πρέπει να οριστούν η προτιθέμενη χρήση και οι χρήστες των αποτελεσμάτων. Ο επαγγελματίας ο οποίος πρέπει να επιτύχει το στόχο, πρέπει να καταλάβει τον αναλυτικό σκοπό της μελέτης ώστε να εξάγει

κατάλληλες αποφάσεις καθ' όλη τη μελέτη. Παραδείγματα στόχων μιας αξιολόγησης κύκλου ζωής είναι:

- Η σύγκριση δύο ή περισσότερων διαφορετικών προϊόντων που έχουν την ίδια λειτουργία με σκοπό τη χρήση της πληροφορίας στο μάρκετινγκ των προϊόντων ή στη ρύθμιση regulating της χρήσης των προϊόντων.
- Η αναγνώριση πιθανοτήτων βελτίωσης ή περαιτέρω ανάπτυξης των υφιστάμενων προϊόντων ή στην καινοτομία και το σχεδιασμό νέων.
- Η αναγνώριση τομέων, βημάτων, κ.ά. στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος όπου τα κριτήρια μπορούν να αποτελούν μέρος των κριτηρίων οικολογικής σήμανσης.

Ο καθορισμός του σκοπού καθορίζει το επίπεδο εξειδίκευσης της μελέτης και τις απαιτήσεις στην καταγραφή της. Η διαφάνεια είναι απαραίτητη σε όλα τα είδη μελετών LCA. Επιπλέον, ο σκοπός μπορεί να επαναπροσδιοριστεί σαν αποτέλεσμα των εξαγομένων της μελέτης, στα πλαίσια της ερμηνείας των αποτελεσμάτων.

Αντικείμενο

Ο ορισμός του αντικειμένου της μελέτης θέτει τα όρια της αξιολόγησης – τί περιλαμβάνεται στο σύστημα και ποιές λεπτομερείς μέθοδοι αξιολόγησης θα χρησιμοποιηθούν. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να καθοριστούν και να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα:

- οι λειτουργίες του συστήματος, ή στην περίπτωση συγκριτικών μελετών, τα συστήματα,
- η λειτουργική μονάδα,
- το προς μελέτη σύστημα,
- τα όρια του συστήματος,
- οι διαδικασίες διάθεσης,
- οι τύποι των επιδράσεων και η μεθοδολογία αξιολόγησης των επιδράσεων που θα χρησιμοποιηθεί,
- οι απαιτήσεις σε δεδομένα,
- οι υποθέσεις και οι περιορισμοί,
- η μορφή της αναφοράς που απαιτείται για τη μελέτη.

Το αντικείμενο θα πρέπει να είναι επαρκώς καθορισμένο για να διασφαλιστεί ότι το βάθος και η λεπτομέρεια της μελέτης είναι συμβατά και αρκούν για να καλύψουν τον καθορισμένο σκοπό της μελέτης.

Λειτουργική μονάδα

Ο ορισμός της λειτουργικής μονάδας ή των χαρακτηριστικών επίδοσης είναι η βάση μιας LCA διότι θέτει την κλίμακα για τη σύγκριση δύο ή περισσότερων προϊόντων

συμπεριλαμβανομένης της βελτίωσης ενός προϊόντος (σύστημα). Ο βασικός σκοπός της λειτουργικής μονάδας είναι να παρέχει μία αναφορά στην οποία οι εισροές και οι εκροές είναι σχετικές για τη διασφάλιση της συγκρισιμότητας των αποτελεσμάτων LCA. Για τον ορισμό της θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η αποδοτικότητα του προϊόντος, η διάρκειά του και το πρότυπο επίδοσης της ποιότητας (performance quality standard).

Όρια συστήματος

Τα όρια του συστήματος καθορίζουν τις λειτουργίες των διαδικασιών (π.χ. κατασκευή, μεταφορά και διαδικασίες διαχείρισης απορριμμάτων), και τις εισροές και εκροές που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην LCA. Ο καθορισμός των ορίων του συστήματος είναι αρκετά υποκειμενική λειτουργία και περιλαμβάνει τα εξής όρια: γεωγραφικά όρια, όρια του κύκλου ζωής και όρια ανάμεσα στην «τεχνόσφαιρα» και τη «βιόσφαιρα». Όταν τίθενται τα όρια του προς μελέτη συστήματος, διάφορα στάδια του κύκλου ζωής, διαδικασίες και ροές θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως:

- η απόκτηση των πρώτων υλών,
- οι εισροές και οι εκροές στην κύρια αλληλουχία παραγωγής,
- διάθεση/μεταφορά,
- παραγωγή και χρήση καυσίμων, ηλεκτρισμού και θερμότητας,
- διάθεση αποβλήτων των διαδικασιών,
- ανάκτηση των χρησιμοποιημένων προϊόντων,
- επιπρόσθετες λειτουργίες, όπως ο φωτισμός και η θέρμανση.

Ποιότητα δεδομένων

Η ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην απογραφή (inventory) του κύκλου ζωής είναι φυσικό να αντικατοπτρίζεται στην ποιότητα της τελικής LCA. Μπορεί να περιγραφεί και να αξιολογηθεί με ένα συστηματικό τρόπο που επιτρέπει σε τρίτους να κατανοούν και να ελέγχουν την ποιότητα των δεδομένων. Οι απαιτήσεις της αρχικής ποιότητας θα πρέπει να καθορίζουν τις ακόλουθες παραμέτρους: κάλυψη σε σχέση με το χρόνο: ο επιθυμητός χρόνος (π.χ. μέσα στα τελευταία 5 χρόνια) και η ελάχιστη χρονική περίοδος (π.χ. ετησίως), γεωγραφική κάλυψη: η γεωγραφική περιοχή από την οποία τα δεδομένα για τις μοναδιαίες διαδικασίες θα πρέπει να συλλεχθούν για να ικανοποιήσουν το σκοπό της μελέτης (π.χ. τοπική, περιφερειακή, εθνική, ηπειρωτική, παγκόσμια) και τεχνολογική κάλυψη: φύση της τεχνολογίας (π.χ. σταθμισμένος μέσος της διαδικασίας, καλύτερη διαθέσιμη τεχνολογία ή χειρότερη μονάδα λειτουργίας).

Επιπλέον, ο χειρισμός των δεδομένων που λείπουν πρέπει να καταγράφεται. Για κάθε μοναδιαία διαδικασία και για κάθε αναφερόμενη τοποθεσία που

αναγνωρίζεται ότι λείπουν δεδομένα, ο χειρισμός αυτών των κενών θα πρέπει να καταλήγει σε:

- μία «μη-μηδενική» τιμή η οποία θα εξηγείται,
- μία «μηδενική τιμή» που θα αναλύεται, ή
- μία υπολογισμένη τιμή βάσει βασισμένη σε αναφερόμενες τιμές από μοναδιαίες διαδικασίες που εφαρμόζουν παρόμοια τεχνολογία.

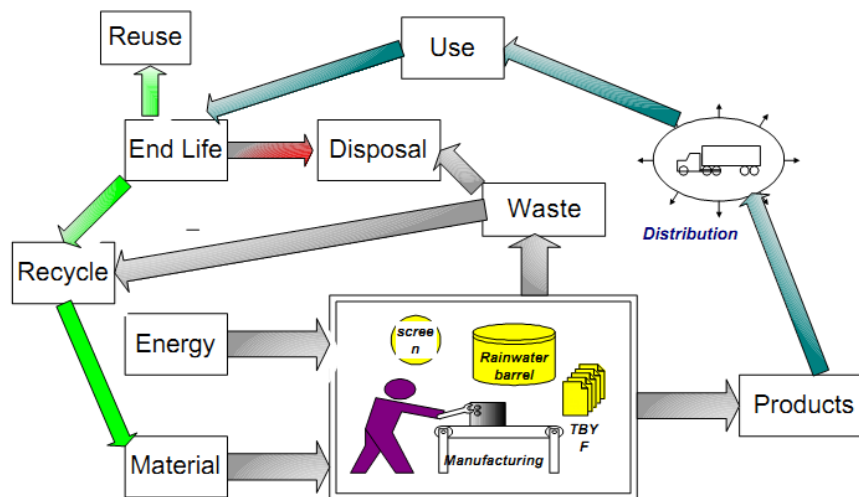
Η ποιότητα των δεδομένων θα πρέπει να χαρακτηρίζεται τόσο από ποσοτικές και ποιοτικές πλευρές, όσο και από μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή και την ενσωμάτωση αυτών των δεδομένων (ISO 14044, 2004).

Συγκρίσεις ανάμεσα σε συστήματα

Σε μία συγκριτική μελέτη, η ισοδυναμία των συστημάτων που συγκρίνονται θα πρέπει να αξιολογηθεί πριν την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Συνεπώς, το αντικείμενο της μελέτης θα πρέπει να ορίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα συστήματα να μπορούν να συγκριθούν. Τα συστήματα θα πρέπει να συγκρίνονται χρησιμοποιώντας την ίδια λειτουργική μονάδα και ισοδύναμες μεθοδολογικές θεωρήσεις, όπως η επίδοση, τα όρια του συστήματος, η ποιότητα δεδομένων, οι διαδικασίες διάθεσης, οι κανόνες απόφασης στην αξιολόγηση εισροών και εκροών και η αξιολόγηση επιδράσεων. Οποιοσδήποτε διαφορές ανάμεσα στα συστήματα σε σχέση με αυτές τις παραμέτρους θα πρέπει να αναγνωρίζονται και να καταγράφονται. Αν η μελέτη προορίζεται να χρησιμοποιηθεί σε συγκριτική έκθεση που θα γνωστοποιηθεί στο κοινό, τα ενδιαφερόμενα μέρη θα πρέπει να διεξάγουν κριτική αξιολόγηση (ISO 14044, 2004).

2.4.3 Απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής

Το δεύτερο στάδιο της LCA είναι ίσως το πιο απαιτητικό και αφορά όλες τις δραστηριότητες/διεργασίες που εμπλέκονται στο εξεταζόμενο σύστημα και περιλαμβάνουν την άμεση ή/και έμμεση χρήση ενέργειας ή/και μάζας. Περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων, τον επαναπροσδιορισμό των ορίων του συστήματος, τις διαδικασίες υπολογισμού για την ποσοτικοποίηση των σχετικών εισροών και εκροών που ανταλλάσσει το σύστημα με το περιβάλλον του και την κατανομή (Μπούρα, 1998). Η διαδικασία της ανάλυσης απογραφής είναι επαναληπτική. Όσο συλλέγονται δεδομένα και υπάρχει μεγαλύτερη γνώση για το σύστημα, μπορεί να αναγνωριστούν νέες απαιτήσεις σε δεδομένα ή περιορισμοί που να απαιτούν αλλαγή στις διαδικασίες συλλογής δεδομένων ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν τεθεί (ISO 14040, 2006). Στο σχήμα 2-3 παρουσιάζονται τα στοιχεία της LCI ανάλυσης βάσει των ορίων που έχουν καθοριστεί (Gouda et al., 2001).



Σχήμα 2-3: Στοιχεία της LCI ανάλυσης

Συλλογή δεδομένων

Η ανάλυση απογραφής περιλαμβάνει τη συλλογή και τη διαχείριση δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την κατανάλωση ενός υλικού, τα απορρίμματα και το προφίλ εκπομπών για όλα τα στάδια του κύκλου ζωής εντός των ορίων του συστήματος. Μπορούν να ταξινομηθούν κάτω από τις παρακάτω επικεφαλίδες, περιλαμβάνοντας:

- ενεργειακές εισροές, εισροές πρώτων υλών, βοηθητικές εισροές, άλλες φυσικές εισροές,
- προϊόντα, παραπροϊόντα και απορρίμματα,
- ατμοσφαιρικές εκπομπές, απόβλητα σε νερό και χώμα, και
- άλλες περιβαλλοντικές πλευρές (ISO 14040, 2006).

Τα δεδομένα πρέπει να συλλέγονται από όλες τις μοναδιαίες διαδικασίες στον κύκλο ζωής και μπορεί να είναι ποσοτικά ή ποιοτικά. Τα ποσοτικά δεδομένα είναι σημαντικά στις συγκρίσεις διαδικασιών ή υλικών, αλλά συχνά τα ποιοτικά λείπουν ή είναι φτωχής ποιότητας. Τα πιο περιγραφικά ποιοτικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περιβαλλοντικές πλευρές ή σε απλά βήματα του κύκλου ζωής που δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν, ή εάν ο σκοπός και το αντικείμενο επιτρέπουν μία μη ποσοτική περιγραφή των συνθηκών.

Η συλλογή δεδομένων είναι συχνά η πιο απαιτητική και επίπονη διαδικασία μιας αξιολόγησης κύκλου ζωής, ειδικότερα αν χρειάζονται δεδομένα από συγκεκριμένες τοποθεσίες για όλες τις μοναδιαίες διαδικασίες του κύκλου ζωής. Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο μέσος όρος δεδομένων από τη βιβλιογραφία ή δεδομένα από εμπορικές επιχειρήσεις που περιλαμβάνουν πληροφορίες εισροών και εκροών υλικών κατά τη διάρκεια παραγωγής από τα ημιπαραχθέντα ως τα τελικά προϊόντα (European Environmental Agency).

Η επιλογή συγκεκριμένων δεδομένων για καταγραφή εξαρτάται προφανώς από τις κατηγορίες επιπτώσεων που πρόκειται να μελετηθούν κατά την επόμενη φάση και οι οποίες καθορίστηκαν κατά το προηγούμενο στάδιο. Είναι όμως κοινά αποδεκτό ότι η απογραφή θα πρέπει να πληροί κατ' ελάχιστο τα ακόλουθα κριτήρια (Ciambrone, 1997):

- τα δεδομένα θα πρέπει να είναι ποσοτικά και να ελέγχεται η ποιότητά τους. Όλες επίσης οι ενδεχόμενες υποθέσεις για τα δεδομένα και τη μεθοδολογία συλλογής τους θα πρέπει να προσδιορίζονται επακριβώς και να καταγράφονται.
- Οι πηγές πληροφοριών και η μεθοδολογία συλλογής των δεδομένων θα πρέπει να είναι επαρκώς καταγεγραμμένες έτσι ώστε σε περίπτωση επανάληψης της διαδικασίας, είναι να λαμβάνονται τα ίδια δεδομένα, είτε να υπάρχουν αποδεδειγμένες αιτιολογήσεις για πιθανές αποκλίσεις από τα αναμενόμενα.
- Τα δεδομένα θα πρέπει να είναι περιεκτικά. Όλες οι σημαντικές ροές μάζας και ενέργειας θα πρέπει να καταγράφονται, ενώ θα πρέπει ενώ θα πρέπει να αναφέρονται ρητά οι περιπτώσεις έλλειψης δεδομένων και οι αιτίες τους.
- Τα δεδομένα θα πρέπει να έχουν χρησιμότητα. Οι χρήστες της μελέτης LCA θα πρέπει να μπορούν να λάβουν κατάλληλες αποφάσεις βασισμένοι στα αποτελέσματα της απογραφής.

Επανακαθορισμός των ορίων του συστήματος

Τα όρια του συστήματος καθορίζονται σαν μέρος της διαδικασίας καθορισμού του σκοπού της μελέτης. Μετά την αρχική συλλογή δεδομένων, τα όρια του συστήματος μπορούν να επαναπροσδιοριστούν, για παράδειγμα σαν αποτέλεσμα των αποφάσεων εξαίρεσης κάποιων σταδίων του κύκλου ζωής ή υποσυστημάτων, εξαίρεσης ροών υλικών ή ενσωμάτωσης νέων μοναδιαίων διαδικασιών που φαίνονται να είναι σημαντικές σύμφωνα με την ανάλυση ευαισθησίας.

Η ανάλυση ευαισθησίας σχετίζεται με την επαναληπτική φύση της LCA, και οι αποφάσεις σε σχέση με τα δεδομένα που θα συμπεριληφθούν θα πρέπει να βασίζονται σε μια ανάλυση ευαισθησίας για τον καθορισμό της σημαντικότητάς τους στο κατά πόσο επηρεάζουν τα αποτελέσματα της μελέτης.

Εγκυρότητα των δεδομένων

Η εγκυρότητα των δεδομένων πρέπει να ελεγχθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συλλογής των δεδομένων ώστε να βελτιωθεί η συνολική ποιότητα της πληροφορίας. Η συστηματική επικύρωση των δεδομένων ίσως υποδείξει πεδία όπου η ποιότητα των δεδομένων θα πρέπει να βελτιωθεί ή τα δεδομένα θα πρέπει να βρεθούν από άλλες διαδικασίες.

Η επικύρωση μπορεί να περιλαμβάνει την εδραίωση, για παράδειγμα, ισοζυγίων μάζας, ενεργειακών ισοζυγίων και/ή συγκριτική ανάλυση παραγόντων εκπομπών. Προφανείς ανωμαλίες στα δεδομένα που εμφανίζονται από τέτοιες διαδικασίες εγκυρότητας θα πρέπει να έχουν σαν αποτέλεσμα εναλλακτικά δεδομένα που να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις της ποιότητας. Επιπλέον, ο χειρισμός δεδομένων που λείπουν καταλήγει είτε σε μηδενική αξία, αν αυτό δικαιολογείται, είτε σε μια τιμή που υπολογίζεται βάσει καταγεγραμμένων τιμών από διαδικασίες που εφαρμόζουν την ίδια τεχνολογία.

Υπολογισμός δεδομένων

Μετά τη συλλογή και την αναγνώριση της εγκυρότητας των δεδομένων, οι διαδικασίες υπολογισμού που περιλαμβάνουν:

- το συσχετισμό των δεδομένων με τις μοναδιαίες διαδικασίες και
- το συσχετισμό των δεδομένων στη ροή αναφοράς της λειτουργικής μονάδας,

χρειάζονται για να εξάγουν τα αποτελέσματα της καταγραφής του συστήματος για κάθε διαδικασία και για την καθορισμένη λειτουργική μονάδα του συστήματος του προϊόντος που θα μοντελοποιηθεί. Ο υπολογισμός των ροών ενέργειας θα πρέπει να λάβει υπόψη τα διαφορετικά καύσιμα και τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν, την απόδοση της μετατροπής και διάθεσης της ροής ενέργειας, καθώς επίσης τις εισροές και τις εκροές που σχετίζονται με την παραγωγή και τη χρήση αυτής της ροής ενέργειας (ISO 14040, 2006).

Απόρριψη και ανακύκλωση

Κατά τη διεξαγωγή μιας LCA ενός πολύπλοκου συστήματος, ίσως να μην είναι δυνατόν να ληφθούν υπόψη όλες οι επιδράσεις και οι εκροές εντός των ορίων του συστήματος. Το πρόβλημα μπορεί να λυθεί είτε με την επέκταση των ορίων του συστήματος ώστε να συμπεριλάβει όλες τις εισροές και τις εκροές, ή με την κατανομή των σχετικών περιβαλλοντικών επιδράσεων στο υπό μελέτη σύστημα.

Όταν είναι εφικτό, η απόρριψη θα πρέπει να αποφεύγεται είτε διαιρώντας τις μοναδιαίες διαδικασίες σε δύο ή περισσότερες υπο-διαδικασίες και συλλέγοντας τα δεδομένα εισροών και εκροών σε σχέση με αυτά τα υποσυστήματα, είτε επεκτείνοντας το σύστημα του προϊόντος για να συμπεριληφθούν όλες οι επιπρόσθετες λειτουργίες σχετικές με τα παραπροϊόντα λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις των ορίων του συστήματος. Όπου η απόρριψη δε μπορεί να αποφευχθεί, οι εισροές και οι εκροές του συστήματος θα πρέπει να κατανέμονται μεταξύ των προϊόντων ή λειτουργιών του με τρόπο που αντικατοπτρίζει τις φυσικές σχέσεις ανάμεσά τους, δηλαδή θα πρέπει να αντικατοπτρίζεται ο τρόπος με τον οποίο οι εισροές και οι εκροές μεταβάλλονται, όταν γίνονται ποσοτικές αλλαγές στα προϊόντα ή τις λειτουργίες που παρέχονται από το σύστημα.

Κάποιες εκροές μπορεί να είναι μερικώς παραπροϊόντα και μερικώς απόβλητα. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η αναλογία ανάμεσά τους αφού οι εισροές και οι εκροές κατανέμονται μόνο στα παραπροϊόντα (ISO 14044, 2004).

Η απόρριψη μπορεί να είναι απαραίτητη για το χειρισμό των ακόλουθων ζητημάτων:

- Διαδικασίες με πολλές εκροές, (π.χ. όταν παράγονται περισσότερα από ένα προϊόντα και κάποιες από αυτές τις ροές προϊόντων ξεπερνούν τα όρια του συστήματος)
- Διαδικασίες με πολλές εισροές, όπως η διαχείριση απορριμμάτων, όπου η αυστηρή ποσοτική αιτιολογία σπάνια υπάρχει.
- Ανακύκλωση «ανοιχτού κύκλου», όπου ένα υλικό-απόρριμμα που αφήνει τα όρια του συστήματος χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη από ένα άλλο σύστημα, έξω από τα όρια του υπό μελέτη συστήματος.

2.4.4 Εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής

Το τρίτο στάδιο της LCA έχει ως στόχο την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του εξεταζόμενου συστήματος βάσει των αποτελεσμάτων της απογραφής και σε σχέση πάντα με τους στόχους και το αντικείμενο της μελέτης. Στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται η περαιτέρω επεξεργασία του συνόλου των αποτελεσμάτων της απογραφής δεδομένων από πλευράς περιβαλλοντικών επιπτώσεων και κοινωνικών προτιμήσεων.

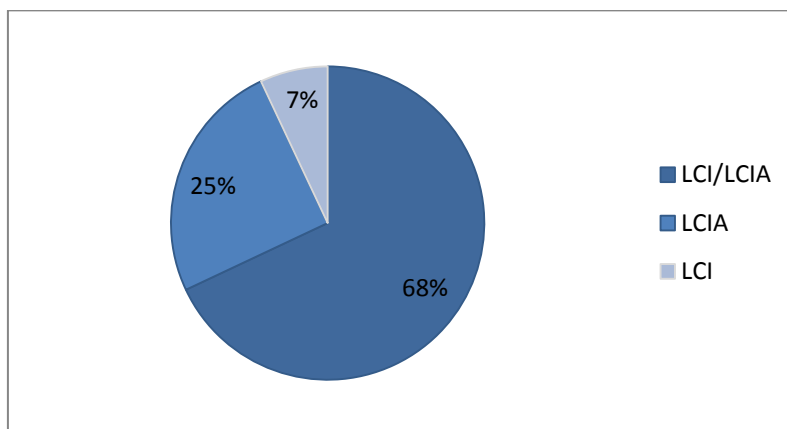
Η εκτίμηση επιπτώσεων είναι μια ποσοτική ή/και ποιοτική διαδικασία που χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει και να ερμηνεύσει τις αρνητικές συνέπειες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προσδιορίστηκαν κατά το στάδιο της απογραφής. Γενικά, υλοποιείται μέσα από την εφαρμογή των ακόλουθων φάσεων (Guinee et al, 2001):

1. Κατηγοριοποίηση (Classification)
2. Χαρακτηρισμός (Characterization)
3. Κανονικοποίηση (Normalization)
4. Ομαδοποίηση (Grouping)
5. Στάθμιση (Weighting)

Στη συγκεκριμένη εργασία δίνεται έμφαση σε αυτό το στάδιο της αξιολόγησης κύκλου ζωής και γίνεται εφαρμογή μεθοδολογιών εκτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής. Συνεπώς, για αυτό το στάδιο της LCA γίνεται εκτενέστερη αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο της εργασίας.

Ωστόσο, αξίζει να αναφερθούν τα αποτελέσματα της έρευνας που διεξήχθη από την Life Cycle Initiative της UNEP/SETAC σχετικά με την ανάλυση των αναγκών των

χρηστών, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη διαφάνεια της μεθοδολογίας, για επιστημονική εμπιστοσύνη και επιστημονική συνεργασία καθώς και για την ανάπτυξη ενός προτεινόμενου συνόλου συντελεστών και μεθοδολογιών. Η ανάλυση των αναγκών παρείχε πληροφορίες στη μελέτη LCIA της UNEP SETAC σχετικά με τα ζητήματα, τις κατηγορίες, τις αξίες και τις προτεραιότητες για την LCIA. Η ανάλυση βασίζεται σε απαντήσεις σε έρευνα που κυκλοφόρησε διεθνώς.



Σχήμα 2-4: Στάδια της LCA που χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων

Η ανάγκη για την ανάπτυξη ενός προσαρμοστικού πλαισίου συμβατό με άλλες διαστάσεις της βιωσιμότητας, εύκολα ερμηνεύσιμους δείκτες που να παρέχουν προτεινόμενους συντελεστές και καθοδήγηση για τη στάθμιση αποτέλεσαν σημαντικά θέματα για τους ερωτηθέντες. Το σχήμα 2-4 παρουσιάζει το στάδιο της LCA που πληροφορεί συχνότερα τους ερωτηθέντες για τη λήψη αποφάσεων. Αυτή η πληροφορία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην ενσωμάτωση του σχεδιασμού ανάμεσα στα στοιχεία της LCI, LCIA και LCM (Life Cycle Management) της Πρωτοβουλίας Κύκλου Ζωής UNEP/SETAC.

Επιπλέον, ζητήθηκε να συγκεκριμενοποιηθούν οι κατηγορίες επίδρασης που απαιτείται να συμπεριληφθούν στην LCA: πάνω από το 50% των ερωτηθέντων θεώρησαν απαραίτητες την κλιματική αλλαγή, την οξίνιση και τον ευτροφισμό, την μείωση του όζοντος, την ανθρώπινη τοξικότητα, την οικοτοξικότητα, τη φωτοχημική οξείδωση και τα ορυκτά. Χαμηλής προτεραιότητας θεωρήθηκαν η εξαγωγή βιοτικών πόρων, η υγεία στην εργασία, ο θόρυβος, το τοπίο και η ασφάλεια.

Το πρόγραμμα για την LCIA θα προωθήσει πληροφορίες από ειδικούς σε διάφορα πεδία στην LCA για κριτική αξιολόγηση και θα φέρει σε συνεργασία επιστήμονες και βιομήχανους στο να απευθύνουν πρακτικές και επιστημονικές προκλήσεις, οδηγώντας σε καλύτερη ποιότητα και ευκολότερη εφαρμογή των μεθόδων LCA. Συνεπώς, με βάση τα παραπάνω και την έρευνα των αναγκών των χρηστών, το πρόγραμμα για την LCIA στοχεύει (Stewart et al., 2004):

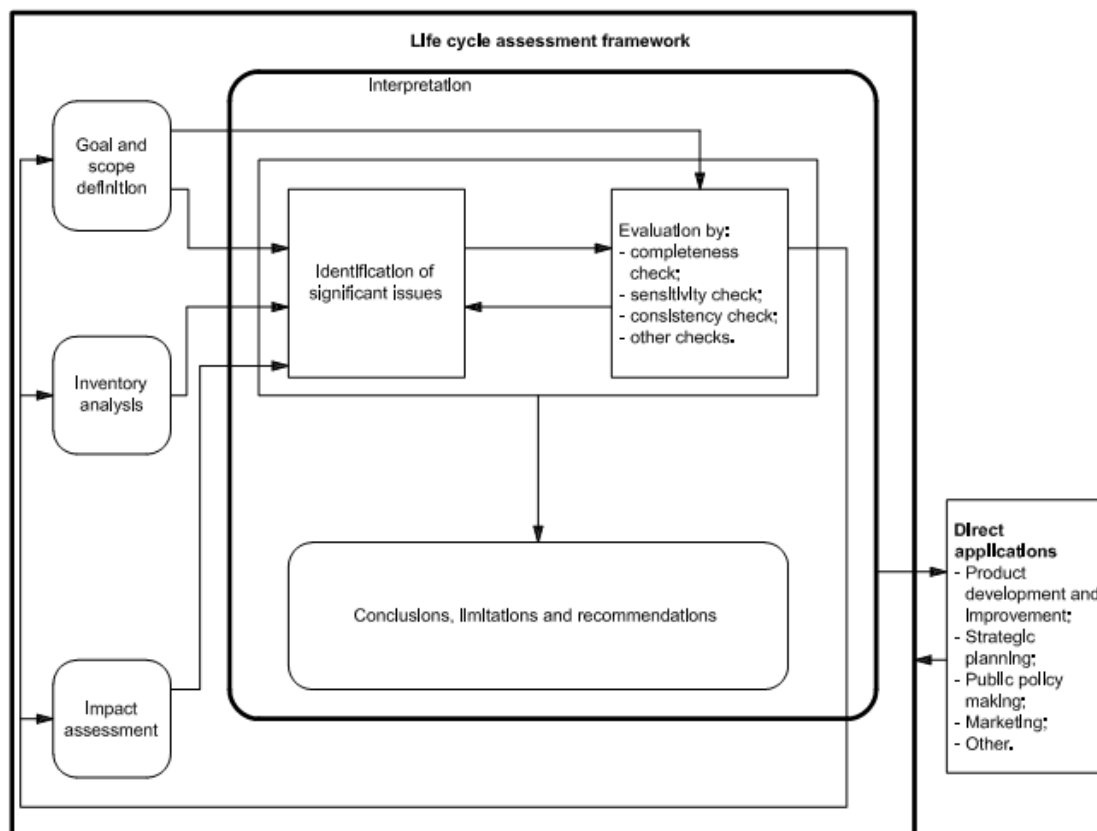
- ο Στην παροχή καθοδήγησης και προτάσεων στην LCIA και στο να γίνουν οι μεθοδολογίες ευρύτερα εφαρμόσιμες για τους χρήστες μέσω από τη δημιουργία ενός πληροφοριακού συστήματος παγκόσμιας πρόσβασης.
- ο Στην ανάπτυξη ενός σταθερού πλαισίου για την LCIA, συμπεριλαμβανομένων των σχέσεων με τα LCI αποτελέσματα απ' τη μια, και τη βλάβη απ' την άλλη.
- ο Στην εδραίωση προτεινόμενων συντελεστών χαρακτηρισμού και σχετικών μεθοδολογιών για διάφορες κατηγορίες επίδρασης, συμπεριλαμβανομένων νέων κατηγοριών επίδρασης για τις αναπτυσσόμενες χώρες.
- ο Στην προώθηση της συνεργασίας ανάμεσα σε επιστήμονες και βιομήχανους.

2.4.5 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

2.4.5.1 Γενικά

Κατά το τελικό στάδιο της LCA, τα αποτελέσματα της προηγηθείσας ανάλυσης ερμηνεύονται και χρησιμοποιούνται ως βάση για τη λήψη αποφάσεων αναφορικά με δράσεις οι οποίες αναμένεται να ωφελήσουν τόσο το ίδιο το εξεταζόμενο σύστημα, όσο και το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Η απογραφή δεδομένων σε συνδυασμό με την εκτίμηση των επιπτώσεων χρησιμοποιούνται για να αποκαλύψουν σημεία που επιδέχονται βελτιώσεις και η ερμηνεία αποτελεσμάτων έρχεται στη συνέχεια για να προσδιορίσει τις βελτιώσεις που μπορούν να εφαρμοστούν.

Πιο συγκεκριμένα, κατά το στάδιο της ερμηνείας των αποτελεσμάτων, όλα τα αποτελέσματα της προηγηθείσας ανάλυσης, όλες οι επιλογές που πραγματοποιήθηκαν και όλες οι υποθέσεις που έγιναν αξιολογούνται ως προς τη συνέπεια, την πληρότητα, την ορθότητα και την ευρωστία τους και εξάγονται συμπεράσματα και υποδείξεις για τη λήψη αποφάσεων αναφορικά με το εξεταζόμενο σύστημα (Guinee et al., 2001). Στο σχήμα 2-5 φαίνονται οι σχέσεις ανάμεσα στα στοιχεία του σταδίου της ερμηνείας με τα άλλα στάδια της LCA (ISO 14044, 2006).



Σχήμα 2-5: Σύνδεση ανάμεσα στα στοιχεία της ερμηνείας και στα υπόλοιπα στάδια της LCA.

Η SETAC (1993) ονομάζει αυτό το τελικό στάδιο «Εκτίμηση Βελτιώσεων» και σημειώνει τα:

«Η εκτίμηση βελτιώσεων αποτελεί μια συστηματική αξιολόγηση των αναγκών και δυνατοτήτων για τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που συνδέεται με τη χρήση ενέργειας και πρώτων υλών και τις περιβαλλοντικές εκπομπές καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής προϊόντων, διεργασιών και δραστηριοτήτων. Η ανάλυση αυτή είναι δυνατό να περιέχει τόσο ποσοτικά, όσο και ποιοτικά μέτρα βελτίωσης όπως αλλαγές στο προϊόν, στη διεργασία και στο σχεδιασμό, στην χρήση των πρώτων υλών, στη χρήση από τον καταναλωτή και στη διαχείριση απορριμμάτων.»

Αντίστοιχα το ISO 14043 (2000) ορίζει το στάδιο αυτό ως εξής:

«Η ερμηνεία του κύκλου ζωής είναι μια συστηματική τεχνική για τον προσδιορισμό, περιγραφή, έλεγχο και αξιολόγηση των πληροφοριών από την απογραφή δεδομένων του κύκλου ζωής και/ή την εκτίμηση επιπτώσεων του κύκλου ζωής ενός συστήματος και την παρουσίασή τους με στόχο να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της εφαρμογής όπως περιγράφηκαν στο σκοπό και αντικείμενο της μελέτης.

Η ερμηνεία του κύκλου ζωής περιλαμβάνει την επικοινωνία ανάμεσα στα στάδια της LCA για να δώσει με αξιοπιστία τα αποτελέσματα των προηγούμενων φάσεων της LCA, με τρόπο που να είναι αντιληπτός και χρήσιμος στον αποφασίζοντα.»

2.4.5.2 Κύριες κατηγορίες δραστηριοτήτων κατά ISO 14043 (ΕΕΑ)

Το ISO 14043 έχει διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στην επεξεργασία αυτού του σταδίου. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο τρεις βασικές κατηγορίες δραστηριοτήτων έχουν προσδιοριστεί:

- *Η αναγνώριση σημαντικών περιβαλλοντικών ζητημάτων*

Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει τη δομή και παρουσίαση πληροφορίας σχετικής με: α. αποτελέσματα από διάφορα στάδια, όπως παρουσίαση δεδομένων από την ανάλυση απογραφής σε πίνακες, σχήματα ή διαγράμματα, ή παρουσίαση αποτελεσμάτων από την αξιολόγηση επιδράσεων, β. μεθοδολογικές επιλογές, γ. μεθόδους αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν και δ. το ρόλο και την υπευθυνότητα διαφόρων ενδιαφερόμενων μερών.

Με βάση την πολυπλοκότητα της μελέτης LCA, τα σημαντικά περιβαλλοντικά ζητήματα μπορεί να είναι τα CO₂, NO_x και SO₂ ή η υπερθέρμανση.

- *Η αξιολόγηση και η ανάλυση των αποτελεσμάτων*

Εδώ, περιλαμβάνονται τρία στοιχεία, πρώτον η διεξαγωγή ενός ποιοτικού ελέγχου της επιλογής των δεδομένων, διαδικασιών, κλπ. (π.χ. η συζήτηση των πιθανών συνεπειών εξαίρεσης κάποιας πληροφορίας), δεύτερον η εφαρμογή μιας συστηματικής ποιοτικής ή ποσοτικής ανάλυσης των επιπτώσεων των αλλαγών στα δεδομένα εισροών (άμεσα σαν αβεβαιότητα στα δεδομένα και έμμεσα εξαιτίας μεθοδολογικών ή επιστημολογικών αβεβαιοτήτων), και τρίτον η συζήτηση των μεταβολών που αναγνωρίζονται στο πλαίσιο του σκοπού και του αντικειμένου, για παράδειγμα οι στόχοι της ποιότητας δεδομένων της μελέτης.

Η ερμηνεία που γίνεται σε αυτό το στάδιο θα πρέπει να ενισχυθεί από τα δεδομένα και τους υπολογισμούς στα τρία ακόλουθα στοιχεία:

1. Έλεγχος πληρότητας

Ο έλεγχος πληρότητας είναι μια ποιοτική διαδικασία που εστιάζει στα δεδομένα που συλλέχθηκαν στο στάδιο απογραφής. Σε πολλές μελέτες LCA υπάρχουν κάποια σύνολα δεδομένων που είναι μη διαθέσιμα ή ελλιπή. Ο έλεγχος πληρότητας πρέπει να αποφασίσει για το αν είναι απαραίτητο να ολοκληρωθεί το σύνολο δεδομένων. Αν το σύνολο δεδομένων είναι σημαντικό σύμφωνα με τα καθορισμένα περιβαλλοντικά ζητήματα, η συλλογή δεδομένων πρέπει να βελτιωθεί ή ο ορισμός του σκοπού και του αντικειμένου πρέπει να αναθεωρηθεί.

2. Έλεγχος ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας περιλαμβάνει μία συστηματική διαδικασία για την εκτίμηση των επιδράσεων των μεταβολών στις παραμέτρους στο τελικό εξαγόμενο της μελέτης με στόχο την εδραίωση ενός επιθυμητού βαθμού εμπιστοσύνης στα αποτελέσματα της μελέτης σχετικά με το σκοπό της.

Η ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να γίνει κάνοντας σενάρια της μορφής «αν, τότε» (what if), όπου η τιμή των διαφόρων παραμέτρων των εισροών αλλάζει συστηματικά. Ένας καταλληλότερος τρόπος για την ανάλυση ευαισθησίας είναι η αλλαγή αυτών των τιμών χρησιμοποιώντας προσομοιώσεις (για παράδειγμα προσομοιώσεις Monte Carlo).

3. Έλεγχος συνοχής

Ο έλεγχος συνοχής είναι μια ποιοτική διαδικασία που πρέπει να ελέγξει αν οι μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί με συνέπεια και ειδικά μέσα σε συγκριτικές μελέτες. Τα ακόλουθα στοιχεία αποτελούν θέματα για έλεγχο συνοχής:

- Τοπικές και/ή χρονικές διαφοροποιήσεις
- Όρια του συστήματος
- Μέθοδοι κατανομής
- Διαφοροποίηση ανάμεσα σε διαδικασίες στο προσκήνιο και στο παρασκήνιο
- Μέθοδοι αξιολόγησης/στάθμισης

Οι έλεγχοι πληρότητας, ευαισθησίας και συνοχής μπορούν να συμπληρωθούν από τα αποτελέσματα της ανάλυσης αβεβαιότητας και της αξιολόγησης της ποιότητας των δεδομένων. τα συμπεράσματα των δύο τελευταίων είναι σημαντικά στη διαδικασία της ερμηνείας των δεδομένων και στα αποτελέσματα των υπολογισμών.

■ Συμπεράσματα και συστάσεις

Ο στόχος αυτού του τελευταίου σταδίου της ερμηνείας είναι να φτάσει σε συμπεράσματα και προτάσεις και τη διαμόρφωση υποδείξεων για το κοινό στο οποίο απευθύνεται η μελέτη, βάση των πληροφοριών που συγκεντρώθηκαν και διαμορφώθηκαν στα προηγούμενα στάδια της LCA. Αυτό το στάδιο είναι σημαντικό για τη βελτίωση της αναφοράς και της διαφάνειας της μελέτης.

2.5 Προβλήματα στα στάδια της αξιολόγησης κύκλου ζωής

2.5.1 Προβλήματα στο σκοπό και το αντικείμενο της μελέτης

Σημαντικά προβλήματα στον ορισμό του σκοπού και του αντικειμένου συμβαίνουν σαν αποτέλεσμα τριών μεθοδολογικών επιλογών: όταν συγκρίνονται δύο ή περισσότερα συστήματα προϊόντων σε μια LCA, ο ορισμός της λειτουργικής μονάδας και η επιλογή των ορίων αναδύει διάφορες δυσκολίες. Επίσης, η εξαίρεση κοινωνικών και οικονομικών πλευρών έχει επιπτώσεις για την LCA, τις οποίες οι ερευνητές θα πρέπει να γνωρίζουν. Η συζήτηση για οικονομική και κοινωνική LCA στο τμήμα του «Κόστους κύκλου ζωής και κοινωνικών επιδράσεων» είναι εν μέρει χρήσιμη (Reap et al., 2008a).

«Η λειτουργική μονάδα είναι ένα μέτρο επίδοσης των λειτουργικών εκροών του συστήματος. Ο στόχος της είναι να παρέχει μια αναφορά στην οποία θα σχετίζονται οι εισροές και οι εκροές και θα διασφαλίζεται η συγκρισιμότητα των LCA αποτελεσμάτων (ISO 1997).» Δυστυχώς, πολλές πιθανές πηγές λάθους μπορούν να εμποδίσουν την κατάλληλη επιλογή της λειτουργικής μονάδας. Λάθη μπορεί να προκύψουν από την ανακριβή απεικόνιση της πραγματικότητας του συστήματος όταν αναγνωρίζονται και ιεραρχούνται οι λειτουργίες, ορίζεται η λειτουργική μονάδα και άρα η ροή αναφοράς. Επίσης, λάθη μπορεί να συμβαίνουν όταν (1) ανατίθενται οι λειτουργικές μονάδες σε πολλαπλές λειτουργίες, (2) πραγματοποιούνται αυστηρές, λειτουργικά ισότιμες συγκρίσεις, και (3) όταν χειριζόμαστε μη ποσοτικοποιήσιμες ή λειτουργίες που ποσοτικοποιούνται δύσκολα (Cooper, 2003).

Αναφορικά με την επιλογή των ορίων, το βασικό πρόβλημα επικεντρώνεται στην αιτιολόγηση των ορίων μιας LCA, βάσει μιας πιο αντικειμενικής, επαναληπτικής και επιστημονικής βάσης δεδομένου του χρόνου και των περιορισμένων πόρων. Ο κίνδυνος της μη κατάλληλης επιλογής ορίων είναι ότι τα αποτελέσματα της LCA μπορεί (1) είτε να μην αντικατοπτρίζουν την πραγματικότητα αρκετά καλά και να οδηγούν σε λανθασμένες ερμηνείες και συγκρίσεις (2) είτε να παρέχουν την αντίληψη στον αποφασίζοντα ότι δεν αντικατοπτρίζεται η πραγματικότητα τόσο καλά και άρα να μειώνεται η εμπιστοσύνη του στη λήψη αποφάσεων βάσει των αποτελεσμάτων.

2.5.2 Προβλήματα στην απογραφή (LCI) του κύκλου ζωής

Τα προβλήματα σχετικά με την απογραφή του κύκλου ζωής περιστρέφονται γύρω από τη ροή ύλης, τη ροή ενέργειας και τη μοντελοποίηση διαδικασιών. Ενώ στο στάδιο του σκοπού και του αντικειμένου παρουσιάζονται προβλήματα που μπορεί να σχετίζονται με τον καθορισμό των παραμέτρων της μελέτης, το στάδιο της απογραφής παρουσιάζει προβλήματα συναφή με τη ρύθμιση των παραμέτρων της μοντελοποίησης της μελέτης.

Το πρόβλημα της ανάθεσης (allocation problem) είναι ένα από τα πιο συζητημένα θέματα στην LCA. Αναφέρεται στη διαδικασία της κατάλληλης ανάθεσης των περιβαλλοντικών φορτίων μιας πολυλειτουργικής διαδικασίας (όπως οι αποτεφρωτές, οι χώροι υγειονομικής ταφής, τα διυλιστήρια, το λιώσιμο μετάλλων, κ.ά.) ανάμεσα στις λειτουργίες της ή τα προϊόντα. Άρα, από αυτή την άποψη, το πρόβλημα της ανάθεσης καθορίζει πόσα ή ποια από τα περιβαλλοντικά φορτία που οφείλονται σε πολυλειτουργικές διαδικασίες θα πρέπει να επιμερίζονται σε κάθε προϊόν ή λειτουργία. Προφανώς, αυθαίρετες αναθέσεις μπορούν να οδηγήσουν σε λανθασμένα LCA αποτελέσματα και λιγότερο προτιμητέες αποφάσεις βάσει αυτών των αποτελεσμάτων.

Επιπρόσθετα, παρόλο που μία δραστηριότητα μπορεί να βρίσκεται μέσα στα όρια μιας μελέτης, δεν μοντελοποιούνται όλες οι φυσικές ροές που σχετίζονται με αυτή. Τέτοιες εξαιρέσεις μπορεί να δικαιολογούνται θεώρώντας ότι έχουν αμελητέα συμβολή στο περιβαλλοντικό προφίλ ενός προϊόντος. Στην LCA, αναφερόμαστε σε κανόνες που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της έλλειψης σπουδαιότητας σαν κριτήρια «αποκοπής» (cutoff criteria). Πολλές δυσκολίες συναφείς με τα κριτήρια αποκοπής για την επιλογή των ορίων παρουσιάζονται επίσης σε σχέση με τους πόρους και τις ροές απόρριψης. Συγκεκριμένα, μικρές μάζες ή ενεργειακές ροές μπορεί να προκαλούν αξιοσημείωτες επιδράσεις και το άθροισμα των μεμονωμένα ασήμαντων ροών να αποδειχθεί τελικά σημαντικό (Reap et al., 2008a).

Τέλος, η εξόρυξη, η παραγωγή και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για το τέλος της ζωής κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος μπορεί να ποικίλουν με την τοποθεσία. Αυτή η τοπική τεχνική μοναδικότητα επηρεάζει τον τύπο και τη μορφή των πόρων που απαιτούνται και των παραχθέντων απορριμμάτων από το μετασχηματισμό αυτών των πόρων. Όσον αφορά τις διαδικασίες μετασχηματισμού, οι τεχνολογικές διαφορές ανάμεσα στις περιοχές, οι εταιρείες, οι εγκαταστάσεις και ακόμα οι παραγωγικές γραμμές μέσα στις εταιρείες μπορεί να οδηγήσουν σε σειρά διαφορών μεγέθους στις εκπομπές (Finnveden, 2000).

2.5.3 Περιορισμοί στην αξιολόγηση επιδράσεων κύκλου ζωής

Η μετάφραση των περιβαλλοντικών φορτίων σε επιπτώσεις είναι αναμφισβήτητο στάδιο της LCA με τη μεγαλύτερη πρόκληση. Τα βασικά προβλήματα που αντιμετωπίζονται κατά τη διάρκεια της LCIA προέρχονται από την ανάγκη να συνδεθούν τα σωστά φορτία με τις σωστές επιπτώσεις στον κατάλληλο χώρο και χρόνο. Συνεπώς, σε αυτό το τμήμα αναφέρονται τα προβλήματα που σχετίζονται με την επιλογή των κατηγοριών επίδρασης, τη χωρική διακύμανση, την τοπική μοναδικότητα, την περιβαλλοντική δυναμική και το χρονικό ορίζοντα αποφάσεων. Εκτενέστερη αναφορά στα προβλήματα και τους περιορισμούς της LCIA γίνεται στην παράγραφο 3-3.

2.5.4 Προβλήματα στην ερμηνεία του κύκλου ζωής

Η πολυπλοκότητα της ερμηνείας εξαρτάται απ' το εάν ο στόχος της αξιολόγησης, όπως καθορίστηκε στην αρχή της LCA, είναι στη βελτίωση κάποιας κατάστασης, τη σύσταση μιας σειράς δράσεων (π.χ. στρατηγική, ιεράρχηση των προσπαθειών, επιλογή του σχεδιασμού), ή τον καθορισμό μιας πιο λεπτομερούς LCA. Εδώ τα προβλήματα εμφανίζονται από την άποψη της λήψης αποφάσεων και όχι από αυτή της ποσοτικής ανάλυσης.

Για να αναγνωρίσουν οι αποφασίζοντες τη βέλτιστη επιλογή απόφασης, πρέπει να δοθούν σχετικά βάρη για τη σημαντικότητα ή την αξία των διαφόρων αντικειμένων ώστε να γίνει η σύνθεσή τους σε ένα μοναδικό σκορ. Η χρήση των βαρών μπορεί να

είναι πρόκληση για δύο λόγους: (1) ίσως είναι δύσκολο να διαβεβαιωθεί ότι μία τιμή βάρους αντανakλά με ακρίβεια την άποψη του αποφασίζοντα για κάποιο στόχο επίδοσης σε σχέση με άλλους στόχους επίδοσης και (2) τα βάρη που προέρχονται από διαφορετικές μεθόδους μπορεί να μην είναι συγκρίσιμα, και άρα, η σύνθεση να μην είναι δυνατή χωρίς της πραγματοποίηση επιπρόσθετων υποθέσεων.

Επιπλέον, είτε το επιθυμητό αποτέλεσμα της LCA είναι μια απλή συγκριτική αξιολόγηση, είτε μια πιο περίπλοκη πρόταση δράσης, η αξιοπιστία του βασίζεται σε κατάλληλη απόδοση της αβεβαιότητας. Η αβεβαιότητα είναι η έλλειψη γνώσης για την πραγματική αξία μιας ποσότητας, την πραγματική μορφή ενός μοντέλου, την καταλληλότητα μιας μοντελοποίησης, ή την τελική απόφαση, κ.λπ. Για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της αβεβαιότητας χρησιμοποιούνται δύο κύριες τάξεις τεχνικών. Πρώτον, η *ανάλυση αβεβαιότητας* μοντελοποιεί τις αβεβαιότητες στις εισροές μιας LCA. Για συγκριτικές LCAs, αυτό μπορεί να αποκαλύψει αν υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις εναλλακτικές αποφάσεις. Δεύτερον, η ανάλυση ευαισθησίας μελετά τις επιπτώσεις τυχαίων αλλαγών των εισροών στις εκροές της LCA. Αυτό βοηθά στην αναγνώριση των πιο ισχυρών LCA εισροών όταν η αβεβαιότητά τους δεν έχει ακόμα ή δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί (Reap et al., 2008b).

2.5.5 Ποιότητα δεδομένων – ένα πρόβλημα που επηρεάζει όλα τα στάδια της LCA

Έχοντας αναφερθεί στις προκλήσεις που σχετίζονται με τη λήψη αποφάσεων υπό αβεβαιότητα, δίνεται έπειτα προσοχή στους κύριους λόγους για αυτή την αβεβαιότητα: δεδομένα ή μοντέλα φτωχής ποιότητας, όπως κακώς μετρημένα δεδομένα (ανακρίβεια δεδομένων), ελλείψεις δεδομένων, μη αντιπροσωπευτικά δεδομένα και αβεβαιότητα για τις LCA μεθοδολογικές επιλογές (Reap et al., 2008b). Ένας αριθμός αιτιών εξηγεί την ύπαρξη φτωχών και μη διαθέσιμων δεδομένων. Τα δεδομένα και τα μοντέλα μπορεί να αποτύχουν στην ακριβή αναπαράσταση του πλήρους χωρικού και χρονικού αντικειμένου που επιλέχθηκε στο πρώτο στάδιο της LCA. Τα δεδομένα μπορεί να μην έχουν παρατηρηθεί αποτελεσματικά κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου διεξαγωγής της LCA. Ομοίως, ο μελετητής ίσως να μην αναγνωρίσει την ανάγκη για τη συλλογή κάποιων δεδομένων. Αβεβαιότητα επίσης υπάρχει όταν διαφορετικές πηγές δεδομένων που μετρούν την ίδια ποσότητα συγκρούονται (Björklund 2002, Finnveden 2000).

Κάποιοι περιορισμοί στη συλλογή δεδομένων αναφέρονται ειδικά για την ανάλυση απογραφής. Γενικά, η βιβλιογραφία τείνει να συμφωνεί ότι τα δεδομένα για τις απογραφές των κύκλων ζωής δεν είναι ευρέως διαθέσιμα ή δεν είναι υψηλής ποιότητας. Το κόστος συλλογής δεδομένων μπορεί να είναι αρκετά υψηλό, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις τα δεδομένα υπάρχουν έξω από τον οργανισμό του μελετητή,

κάτι που μπορεί να υποδηλώνει άγνωστης ποιότητας δεδομένα. Επίσης, τα LCI δεδομένα μπορεί να είναι μη αντιπροσωπευτικά επειδή λαμβάνονται από παρόμοιες αλλά όχι ταυτόσημες διαδικασίες και βασίζονται σε υποθέσεις για το τεχνολογικό επίπεδο, ή χρησιμοποιούνται μέσοι όροι.

Προφανώς, οι πιο σημαντικοί περιορισμοί στην ποιότητα των δεδομένων και των μοντέλων επηρεάζουν το στάδιο της αξιολόγησης επιδράσεων. Ο πιο καθοριστικός φραγμός για τη μοντελοποίηση της ποιότητας είναι οι περιορισμοί στη διαθέσιμη επιστημονική γνώση (ISO 2000a, 2006b). Νέα χημικά συνεχώς εμφανίζονται στη βιομηχανική αγορά με ανεπαρκή μοντέλα σχετικά με τις επιπτώσεις τους ή μηχανισμούς που τα διασκορπίζουν στο περιβάλλον. Επίσης, τα επίπεδα στα κατώφλια όπου μπορεί να δημιουργούνται περιβαλλοντικές βλάβες ίσως να μην μοντελοποιούνται ή να μετρώνται. Συνοψίζοντας, το βασικό πρόβλημα της μοντελοποίησης για την περιβαλλοντική αξιολόγηση επιδράσεων, είναι ότι είναι δύσκολο να γνωρίζει κανείς που βρίσκεται η διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στην καθαρή επιστήμη και τις υποθέσεις της μοντελοποίησης (Bare et al., 1999).

2.6 Το πρότυπο ISO 14040

Μία από τις δραστηριότητες-κλειδιά του διεθνή οργανισμού ISO είναι η ανάπτυξη της σειράς προτύπων 9000, που στοχεύει στην ενσωμάτωση πτυχών ποιότητας στην πρακτική των επιχειρήσεων.

Η σειρά 14000 των προτύπων ISO περιλαμβάνει το πρότυπο 14001 (Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης), καθώς επίσης μία σειρά προτύπων σχετικών με την LCA (σειρά 14040). Αυτές οι δραστηριότητες του ISO ξεκίνησαν το 1994 και αποσκοπούν στη δημιουργία της πρώτης ολοκληρωμένης σειράς προτύπων LCA.

Τα πρότυπα ISO για την LCA αφορούν τις τεχνικές και τις οργανωτικές πτυχές ενός πρότζεκτ LCA. Οι οργανωτικές πλευρές κυρίως εστιάζουν στο σχεδιασμό των διαδικασιών κριτικής αξιολόγησης, με ιδιαίτερη προσοχή σε συγκριτικούς μελέτες που διατίθενται στο κοινό. Καλύπτουν επίσης ζητήματα όπως η συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών.

2.7 Το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Programme – UNEP)

Το 2002, το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Programme – UNEP) ένωσε τις δυνάμεις του με την Κοινωνία Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας (Society of Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC) για την εισαγωγή της Πρωτοβουλίας Κύκλου Ζωής (Life Cycle Initiative, LCI), μία διεθνή οργάνωση για να τεθεί στην πράξη η ιδέα του κύκλου ζωής. Ανάμεσα σε άλλα ζητήματα, η LCI βασίζεται και παρέχει υποστήριξη στη

συνεχή εργασία του UNEP για τη βιώσιμη κατανάλωση και παραγωγή, όπως η Διαχείριση Βιομηχανικής Μόλυνσης (Industrial Pollution Management), η Βιώσιμη Κατανάλωση (Sustainable Consumption), το Διεθνές Πρότυπο Αναφοράς (Global Reporting Initiative), το Διεθνές σύμφωνο (Global Contract), ο τουρισμός, η διαφήμιση και ο οικολογικός σχεδιασμός.

Η αποστολή του UNEP είναι η ανάπτυξη και η διάδοση πρακτικών εργαλείων για την αξιολόγηση των ευκαιριών, κινδύνων, και «συμβιβασμών» (trade-offs) που σχετίζονται με προϊόντα και υπηρεσίες κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής τους για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης. Το πρόγραμμα Διαχείρισης Κύκλου Ζωής που αναφέρθηκε και η Αξιολόγηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής, όπως και η Απογραφή Κύκλου Ζωής που θα αναλυθούν στη συνέχεια στοχεύουν στο να τεθεί η ιδέα του κύκλου ζωής στην πράξη και στη βελτίωση των υποστηριζόμενων εργαλείων μέσα από καλύτερα δεδομένα και δείκτες (UNEP/SETAC, 2004).

3. Η Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment, LCIA)

3.1 Γενικά

Η LCIA είναι το στάδιο στο οποίο το σύνολο των αποτελεσμάτων της ανάλυσης απογραφής επεξεργάζονται περισσότερο και ερμηνεύονται από πλευράς περιβαλλοντικών επιπτώσεων και κοινωνικών προτιμήσεων. Είναι μια ποσοτική ή/και ποιοτική διαδικασία που χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει και να ερμηνεύσει τις αρνητικές συνέπειες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προσδιορίστηκαν κατά το στάδιο της απογραφής (Γρηγορούδης και Διακάκη, 2008). Συνεπώς, καθορίζεται μία λίστα με κατηγορίες επίδρασης καθώς επίσης επιλέγονται μοντέλα για την αντιστοίχιση των περιβαλλοντικών παρεμβάσεων σε κατάλληλους δείκτες για αυτές τις κατηγορίες επίδρασης (Guinee, 2004).

Πρόκειται για ένα κρίσιμο στάδιο της LCA, στο οποίο αναγνωρίζονται τα πιο σχετικά περιβαλλοντικά ζητήματα και κάθε ροή εισόδου ή εξόδου μετατρέπεται σε μία συμβολή σε αυτά τα ζητήματα. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας (χαρακτηρισμός), οι εισροές και οι εκροές διαχωρίζονται, γίνεται η σύνθεσή τους στις επιλεγμένες κατηγορίες επιπτώσεων, σε τοπικό, περιφερειακό ή παγκόσμιο επίπεδο και πολλαπλασιάζονται με το συντελεστή χαρακτηρισμού ο οποίος υποδηλώνει το ποσό της πιθανής συμβολής μιας ουσίας στη συνολική επίδραση (Morselli et al., 2008).

Η αξιολόγηση επιδράσεων μπορεί να περιλαμβάνει τη διαδικασία ανασκόπησης του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης LCA για να εξεταστεί αν οι στόχοι έχουν επιτευχθεί, ή για την τροποποίηση του σκοπού και του αντικειμένου σε αντίθετη περίπτωση. Ζητήματα όπως η επιλογή, η μοντελοποίηση και η αξιολόγηση των κατηγοριών επίδρασης μπορούν να εισάγουν την υποκειμενικότητα σε αυτό το στάδιο. Συνεπώς, η διαφάνεια είναι σημαντική στην αξιολόγηση επιδράσεων για τη διαβεβαίωση ότι οι υποθέσεις έχουν περιγραφεί και καταγραφεί επαρκώς (ISO 14040, 2006).

3.2 Ορισμοί και Αρχές της LCIA

Ο πρώτος όρος που πρέπει να οριστεί είναι η *κατηγορία επιπτώσεων ή κατηγορία επίδρασης (impact category)*: πρόκειται για μία τάξη που αντιπροσωπεύει τα ανησυχητικά περιβαλλοντικά ζητήματα στα οποία αντιστοιχίζονται τα LCI αποτελέσματα. Όλες οι φυσικές διαδικασίες και οι μεταβλητές που ξεκινούν από

εξορύξεις, εκπομπές ή άλλων τύπων παρεμβάσεις ανάμεσα στο προϊόν-σύστημα και το περιβάλλον, τα οποία συνδέονται με μία δεδομένη κατηγορία επιπτώσεων, καλούνται *περιβαλλοντικός μηχανισμός* αυτής της κατηγορίας. Μέσα σε αυτόν τον περιβαλλοντικό μηχανισμό μπορούμε να ξεχωρίσουμε τους ακόλουθους όρους:

- ο *Περιβαλλοντικές παρεμβάσεις*, όπως εξορύξεις ή εκπομπές στο περιβάλλον και άλλες μεταβλητές, όπως διάφοροι τύποι χρήσης γης, που καλούνται επίσης «βασικές ροές» ή «περιβαλλοντικές εισροές και εκροές».
- ο *Ενδιάμεσες κατηγορίες (midpoint categories)*: μεταβλητές στον περιβαλλοντικό μηχανισμό ανάμεσα στις περιβαλλοντικές παρεμβάσεις και τις τελικές κατηγορίες, όπως η συγκέντρωση τοξικών ουσιών, η απόρριψη όξινων ουσιών, η θερμοκρασία ή η θαλάσσια στάθμη.
- ο *Τελικές κατηγορίες ή κατηγορίες βλαβών (endpoint/damage categories)*: μεταβλητές άμεσης κοινωνικής ανησυχίας, όπως η ανθρώπινη διάρκεια ζωής, ή περιπτώσεις ασθενειών φυσικοί πόροι ή πολύτιμα οικοσυστήματα, καύσιμα και ορυκτά μέταλλα, μνημεία και τοπία κ.ά. Το επίπεδο των τελικών σημείων καλείται επίσης «επίπεδο βλαβών».
- ο *Περιοχές προστασίας (areas of protection)*: κατηγορίες τελικών σημείων που έχουν αναγνωρίσιμη αξία για την κοινωνία· ξεχωρίζουμε τέσσερις περιοχές προστασίας: την ανθρώπινη υγεία, τους φυσικούς πόρους, το φυσικό περιβάλλον και το ανθρωπογενές περιβάλλον (Udo de Haes et al., 1999).

Η αξιολόγηση επιδράσεων του κύκλου ζωής σαν μέρος της συνολικής LCA, μπορεί να χρησιμοποιηθεί (ISO 14042):

- ο στην αναγνώριση ευκαιριών βελτίωσης του συστήματος προϊόντος και στην τοποθέτησή τους κατά προτεραιότητα,
- ο στο χαρακτηρισμό ή στη συγκριτική αξιολόγηση ενός συστήματος προϊόντος και των μοναδιαίων διαδικασιών του στη διάρκεια του χρόνου,
- ο στην πραγματοποίηση σχετικών συγκρίσεων ανάμεσα στα συστήματα προϊόντων βασισμένες σε επιλεγμένες κατηγορίες δεικτών,
- ο στην αναγνώριση περιβαλλοντικών ζητημάτων για τα οποία άλλες τεχνικές μπορούν να παρέχουν επιπλέον περιβαλλοντικά στοιχεία και πληροφορίες χρήσιμες στους αποφασίζοντες.

Επομένως, οι μέθοδοι αξιολόγησης επιπτώσεων κύκλου ζωής στοχεύουν στη σύνδεση – όσο είναι δυνατό κι επιθυμητό – κάθε αποτελέσματος της καταγραφής του κύκλου ζωής (LCI) με τις αντίστοιχες περιβαλλοντικές επιδράσεις. Σύμφωνα με το ISO 14042, τα αποτελέσματα του LCI ταξινομούνται σε κατηγορίες επίδρασης, και κάθε ένα σε έναν δείκτη κατηγορίας (Goedkoop et al., 1999).

3.3 Περιορισμοί της LCIA

Η LCIA απευθύνεται μόνο σε περιβαλλοντικά θέματα τα οποία έχουν αναφερθεί συγκεκριμένα στο σκοπό και στο αντικείμενο. Επομένως, η LCIA δεν αποτελεί μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση όλων των περιβαλλοντικών ζητημάτων του συστήματος του προϊόντος που μελετάται. Επίσης, δεν μπορεί πάντοτε να αναδείξει σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις κατηγορίες επίδρασης και τα αντίστοιχα αποτελέσματα των δεικτών για εναλλακτικά συστήματα προϊόντων. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε:

- ο Περιορισμένη ανάπτυξη των μοντέλων χαρακτηρισμού, της ανάλυσης ευαισθησίας και της ανάλυσης αβεβαιότητας για το στάδιο της LCIA,
- ο Περιορισμούς του σταδίου LCIA, όπως όταν ορίζονται τα όρια του συστήματος, όπου δεν συμπεριλαμβάνονται όλες οι πιθανές μοναδιαίες διαδικασίες για το σύστημα ενός προϊόντος, ή δεν περιλαμβάνονται όλες οι εισροές και οι εκροές κάθε διαδικασίας, αφού υπάρχουν ελλείψεις σε δεδομένα,
- ο Περιορισμούς του σταδίου LCIA, όπως η ανεπαρκής ποιότητα δεδομένων της LCI φάσης, η οποία, για παράδειγμα, μπορεί να έχει προκληθεί από αβεβαιότητες ή διαφορές στις διαδικασίες ανάθεσης και σύνθεσης,
- ο Περιορισμούς στη συλλογή δεδομένων απογραφής κατάλληλων και αντιπροσωπευτικών για κάθε κατηγορία επίδρασης.

Η έλλειψη χωρικών και χρονικών διαστάσεων στα αποτελέσματα της LCI εισάγει την αβεβαιότητα στα αποτελέσματα της LCIA. Η αβεβαιότητα ποικίλει ανάλογα με τα χρονικά και τα χωρικά χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας επίδρασης (ISO 14040, 2006).

Σχετικά με την επιλογή των κατηγοριών επίδρασης, υπάρχουν ποικίλες πρακτικές δυσκολίες που σχετίζονται με την έλλειψη προτυποποίησης σε διάφορες κατηγορίες επίδρασης που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία της LCA (Udo de Haes et al., 2002). Ακόμη ένα πιθανό στοιχείο που μπορεί να επηρεάζει το επίπεδο εμπιστοσύνης ή τη σχετικότητα των LCA αποτελεσμάτων για τη λήψη αποφάσεων είναι αν ο ερευνητής της LCA θα επιλέξει ενδιάμεσες (midpoint) ή τελικές/βλαβών (endpoint) κατηγορίες επίδρασης. Για παράδειγμα, οι τελικές κατηγορίες είναι λιγότερο περιεκτικές και έχουν υψηλότερα επίπεδα αβεβαιότητας απ' ό,τι οι καλώς ορισμένες μέσες κατηγορίες. Απ' την άλλη οι μέσες κατηγορίες είναι δυσκολότερο να ερμηνευθούν διότι δεν χειρίζονται άμεσα μία βλάβη σε σχέση με μία από τις περιοχές προστασίας.

Επιπρόσθετα, κάποιες κατηγορίες επίδρασης όπως η χρήση γης, η αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος, οι επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα, η ανθρώπινη τοξικότητα και η οικοτοξικότητα, ο υδάτινος ευτροφισμός και η φωτοχημική οξείδωση πάσχουν από σημαντικά κενά δεδομένων. Η ανάπτυξη πιο ολοκληρωμένων βάσεων δεδομένων μπορεί να καλύψει κάποια από αυτά τα κενά,

αλλά στις κατηγορίες όπως η ανθρώπινη τοξικότητα και η οικοτοξικότητα δεν αναμένεται μεγάλη βελτίωση εξαιτίας του μεγάλου αριθμού χημικών που χρησιμοποιούνται από την κοινωνία (Finnveden, 2000).

Το προαναφερθέν πρόβλημα της έλλειψης προτυποποίησης στον ορισμό των κατηγοριών επίδρασης αντιμετωπίζεται επίσης στην επιλογή ενός δείκτη κατηγορίας επίδρασης και ενός μοντέλου. Επιπλέον, παρατηρούνται δυσκολίες στην ανάθεση των LCI αποτελεσμάτων στις κατηγορίες επίδρασης εξαιτίας του «διπλού υπολογισμού» που μπορεί να πραγματοποιείται. Για παράδειγμα, τα νιτρικά οξείδια (NO_x) μπορούν να συμβάλλουν στην οξίνιση, την ομίχλη και τον ευτροφισμό. Ο διπλός υπολογισμός συμβαίνει όταν λανθασμένα αντιστοιχίζεται η ίδια NO_x εκπομπή σε δύο ή περισσότερες κατηγορίες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγέθυνση της επίδρασης ενός συγκεκριμένου φορτίου, γεγονός που είναι πιθανό να οδηγήσει σε μία φτωχή απόφαση κατά τη διάρκεια του σταδίου της ερμηνείας (Reap et al., 2008b).

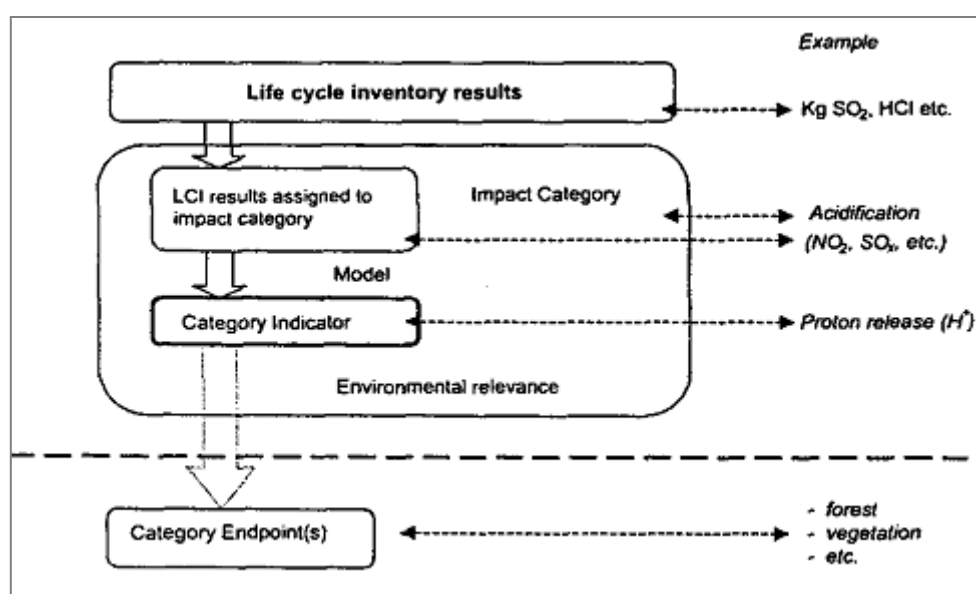
Είναι γεγονός ότι οι εκπομπές που παράγονται από τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος συμβαίνουν σε πολλές τοποθεσίες, εισάγουν πολλαπλά μέσα (αέρας, νερό, γη), και προκαλούν επιδράσεις σε σχέση με τις ευαισθησίες του τοπικού περιβάλλοντος (Reap et al., 2003). Αντίθετα με τις διεθνείς επιδράσεις όπως η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος και η υπερθέρμανση του πλανήτη, αυτές που συμβαίνουν σε τοπικό, περιφερειακό ή ηπειρωτικό επίπεδο απαιτούν χωρικές πληροφορίες για να συσχετίσουν με ακρίβεια τις πηγές με τα περιβάλλοντα που δέχονται αυτές τις ευαισθησίες. Ακόμη, πολλές αξιολογήσεις συνεχίζουν να αγνοούν τις χωρικές θεωρήσεις παρόλο που οι μελέτες LCA μπορεί να επηρεάζονται άμεσα είτε έμμεσα.

Τέλος, αναφορικά με τη δυναμική του περιβάλλοντος, η LCA είναι ένα εργαλείο σταθερής κατάστασης που εξαιρεί τη χρονική πληροφορία. Δυστυχώς, η βιομηχανική και η περιβαλλοντική δυναμική επηρεάζει την αξιολόγηση επιδράσεων. Κατά το ISO 14042, αναγνωρίζεται ότι η παράλειψη του χρόνου μειώνει την περιβαλλοντική αποτελεσματικότητα τουλάχιστον κάποιων αποτελεσμάτων, αλλά στο ISO δεν αναφέρονται τα υπάρχοντα προβλήματα που προκαλούν αυτή τη μείωση της σχετικότητας (ISO 2000a). Παράγοντες όπως ο χρόνος των εκπομπών, ο ρυθμός της έκλυσης και οι χρονο-εξαρτώμενες περιβαλλοντικές διαδικασίες επηρεάζουν τη ρύπανση - για παράδειγμα, οι επιδράσεις της οξίνισης αλλάζουν όταν η χωρητικότητα ενός συστήματος σε άζωτο υπερβεί κάποια όρια (Udo de Haes et al., 2002). Η έλλειψη δυναμικών αναπαραστάσεων ή ιστορικών δεδομένων στην κλασική LCA δεν μπορεί να ευθύνεται για την περιβαλλοντική και την βιομηχανική δυναμική (Reap et al., 2008b).

3.4 Ορισμός κατηγοριών επιπτώσεων

3.4.1 Γενικά

Η LCIA περιλαμβάνει σαν πρώτο στοιχείο τον καθορισμό των κατηγοριών επιπτώσεων που θα εξεταστούν λαμβάνοντας υπόψη το βαθμό της απαιτούμενης λεπτομέρειας/εξειδίκευσης για τη μελέτη, όπως έχει καθοριστεί από το πρώτο στάδιο της LCA. Ως κατηγορία επίδρασης θεωρείται μία τάξη που αντιπροσωπεύει τα περιβαλλοντικά ζητήματα στα οποία θα αντιστοιχηθούν τα αποτελέσματα της LCI (Udo de Haes et al., 1999) (σχήμα 3-1). Αυτό αποτελεί τη συνέχεια του σκοπού και του αντικείμενου που καθορίστηκαν. Με βάση τη μορφή των πληροφοριών που συλλέχθηκαν στο στάδιο της καταγραφής, τα όρια που καθορίστηκαν στο πρώτο στάδιο μπορεί να επανακαθοριστούν.



Σχήμα 3-1: Αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων της LCI στις κατηγορίες επίδρασης (ISO 14042)

Έχουν προταθεί πολλές κατηγορίες για την LCIA. Οι περισσότερες μελέτες επιλέγουν βάσει προηγούμενων μελετών και δεν ορίζουν τις δικές τους κατηγορίες. Η επιλογή των κατηγοριών θα πρέπει να βρίσκεται σε συνοχή με το σκοπό και το αντικείμενο της μελέτης. Αυτή η επιλογή δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την αποφυγή ή την τροποποίηση περιβαλλοντικών ζητημάτων (European Environmental Agency).

Οι κατηγορίες επιπτώσεων επιλέγονται για να περιγράψουν τις επιδράσεις που προκαλούνται από τα προϊόντα ή τα συστήματα προϊόντων. Κατά την επιλογή τους θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα (Lindfors et al., 1995):

- ο Πληρότητα – όλα τα περιβαλλοντικά προβλήματα θα πρέπει να καλύπτονται από τη λίστα
- ο Πρακτικότητα – η λίστα δεν θα πρέπει να περιλαμβάνει υπερβολικά πολλές κατηγορίες

- Ανεξαρτησία – θα πρέπει να αποφεύγονται οι διπλές καταγραφές με την επιλογή αμοιβαία ανεξάρτητων κατηγοριών επίδρασης
- Συσχέτιση με το στάδιο του χαρακτηρισμού – οι επιλεγμένες κατηγορίες επίδρασης θα πρέπει να σχετίζονται με τις διαθέσιμες μεθόδους χαρακτηρισμού.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η διεθνής κοινότητα δεν έχει φτάσει σε μια κοινή συμφωνία για το χειρισμό όλων των κατηγοριών επίδρασης.

Σύμφωνα με το ISO ξεχωρίζουν τρία πεδία προστασίας που είναι η ανθρώπινη υγεία, οι φυσικοί πόροι και το φυσικό περιβάλλον (οικοσύστημα). Σύμφωνα με το SETAC-Europe: Second working group on LCIA (WIA-2), παρουσιάζεται και ένα τέταρτο πεδίο προστασίας, η ποιότητα ζωής του ανθρώπου. Αυτό το νέο πεδίο δίνει τη δυνατότητα να ληφθούν υπόψη καταστροφές σε καλλιέργειες σιτηρών, μνημεία και υλικά όπως το σκυρόδεμα. Αυτή η θεώρηση έχει αποδειχθεί χρήσιμη, διότι αυτοί οι τύποι των τελικών κατηγοριών μπορούν να επηρεαστούν από τις περιβαλλοντικές παρεμβάσεις που οφείλονται σε συστήματα προϊόντων. Στον πίνακα 3-1 παρουσιάζεται μία σύνοψη των κοινωνικών αξιών που σχετίζονται με τα διάφορα πεδία προστασίας.

Πίνακας 3-1: Πεδία προστασίας και η σύνδεσή τους με τις κύριες κοινωνικές αξίες

Πεδία προστασίας	Κοινωνικές αξίες
1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	Ουσιαστική αξία της ανθρώπινης ζωής, οικονομική αξία
2. Υποβάθμιση του οικοσυστήματος	Ουσιαστική αξία της φύσης (οικοσύστημα, είδη), οικονομική αξία λειτουργιών υποστήριξης της ζωής
3. Εξάντληση των φυσικών πόρων	Οικονομικές και εσωτερικές αξίες
4. Υποβάθμιση της ποιότητας ζωής του ανθρώπου	Πολιτισμικές, οικονομικές και εσωτερικές αξίες

Πρέπει να δοθεί έμφαση στην πρόσθεση της υποβάθμισης της ποιότητας ζωής του ανθρώπου επειδή μπορεί να οδηγήσει σε μη επιθυμητή επέκταση του αντικειμένου της LCA σαν περιβαλλοντικό εργαλείο.

3.4.2 Παρουσίαση κατηγοριών επιπτώσεων

Οι κατηγορίες που λαμβάνονται συνήθως υπόψη παρουσιάζονται αναλυτικότερα στη συνέχεια:

Αβιοτικοί πόροι

Οι αβιοτικοί πόροι καλύπτουν τρεις υποκατηγορίες (Finnveden, 1996):

- Αποθέματα όπως καύσιμα, ορυκτά μέταλλα, ιζήματα, άργιλος, κ. ά.
- Εκροές όπως υπόγεια νερά, νερά λιμνών, χώμα
- Φυσικοί πόροι όπως αέρας, νερό, ηλιακή ακτινοβολία και ρεύματα ωκεανών

Αποθέματα όπως τα ορυκτά μέταλλα θεωρούνται περιορισμένοι πόροι διότι δεν είναι ανανεώσιμοι μέσα σε ένα σχετικό χρονικό ορίζοντα. Σύμφωνα με το US Bureau of Mines τα αποθέματα ορυκτών μπορούν να διαιρεθούν σε γνωστά αποθέματα και αποθέματα που δεν έχουν βρεθεί ακόμα. Τα γνωστά αποθέματα μπορούν να διαιρεθούν σε αποδεδειγμένα αποθέματα και υποτιθέμενα αποθέματα και τα μη ευρεθέντα αποθέματα σε υποθετικά και θεωρητικά. Για έναν αριθμό ορυκτών, μετάλλων και καυσίμων η αναλογία «αξίας χρήσης» μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αξιολόγηση αυτής της κατηγορίας επιπτώσεων (Lindfors et al., 1995).

Βιοτικοί πόροι

Οι βιοτικοί πόροι καλύπτουν μία υποκατηγορία:

- ο Πόροι όπως η πανίδα (ψάρια κ.λπ.) και η χλωρίδα

Οι βιοτικοί πόροι μπορούν να συλλεχθούν με βιώσιμους και με μη βιώσιμους τρόπους. Για παράδειγμα, η συγκομιδή ξυλείας δασών θα πρέπει να αναφέρεται. Σε πολλές περιοχές, όπως στα τροπικά δάση, η συγκομιδή είναι γρηγορότερη από την ανάπτυξή τους, οδηγώντας σε μείωση πόρων και σε αυξημένο ανταγωνισμό ανάμεσα στα είδη. Σε άλλες περιοχές, όπως στα δάση της Σκανδιναβίας, η συγκομιδή του ξύλου είναι πιο αργή από ότι η φύτευση και η ανάπτυξη των δέντρων. Η υπερβολική χρήση των περιβαλλοντικών πόρων μπορεί επίσης να επηρεάσει το οικοσύστημα, για παράδειγμα, (π.χ. είδη, γενετική διαφοροποίηση) οδηγώντας σε μη ανατρέψιμη απώλεια γενετικού υλικού.

Χρήση γης

Η χρήση και ο μετασχηματισμός της γης μπορεί να αποδοθεί από δύο πλευρές:

- ο Γη σαν πόρος τους ανθρώπους, για παράδειγμα περιοχή για παραγωγή τροφής,
- ο Χρήση γης που σχετίζεται με το οικοσύστημα, την υποβάθμιση του τοπίου, την αποξήρανση, τις αλλαγές του φυσικού περιβάλλοντος τις και επιδράσεις στη βιοποικιλότητα.

Η χρήση και η μετατροπή γης μπορεί να είναι ένα αναστρέψιμο φαινόμενο μέσα σε μικρό ή μεγάλο χρονικό ορίζοντα.

Υπερθέρμανση του πλανήτη

Η υπερθέρμανση του πλανήτη – ή το φαινόμενο του θερμοκηπίου – είναι το αποτέλεσμα της αυξανόμενης θερμοκρασίας στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Η κατώτερη ατμόσφαιρα θερμαίνεται φυσιολογικά από την εισερχόμενη ακτινοβολία από την ανώτερη ατμόσφαιρα (από τον ήλιο). Ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται φυσιολογικά από την επιφάνεια του εδάφους, αλλά οι υψηλές

συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων αερίων του θερμοκηπίου (όπως το μεθάνιο-CH₄, το νιτρικό διοξείδιο-NO₂, οι χλωροφθοράνθρακες-CFCs, κ.ά.) στην ατμόσφαιρα ανακλούν την υπέρυθη (IR) ακτινοβολία καταλήγοντας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι πιθανές συνέπειες αυτού του φαινομένου περιλαμβάνουν την αύξηση του θερμοκρασιακού επιπέδου που οδηγεί στο λιώσιμο των πάγων, καταλήγοντας σε υψηλότερη στάθμη των θαλάσσιων υδάτων, καθώς και σε κλιματικές αλλαγές σε συγκεκριμένες περιοχές.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου ποσοτικοποιείται χρησιμοποιώντας το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (global warming potentials, GWP) για ουσίες που έχουν την ίδια επίδραση όπως το διοξείδιο του άνθρακα στην αντανάκλαση της θερμικής ακτινοβολίας. Το GWP για τα αέρια θερμοκηπίου εκφράζεται σαν ισοδύναμα CO₂ (CO₂-eq), δηλαδή η επίδρασή τους εκφράζεται σχετικά με την επίδραση του CO₂. Τα GWP έχουν αναπτυχθεί από το Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) για έναν αριθμό ουσιών. Τα GWP βασίζονται σε μοντελοποίηση και ποσοτικοποιούνται για χρονικούς ορίζοντες 20, 100 ή 500 ετών για έναν αριθμό γνωστών αερίων θερμοκηπίου (CO₂, CH₄, N₂O, CFCs, HCFCs, HFCs και κάποιοι αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες, κ. ά.).

Οι Hauschild & Wenzel (1997a) πρότειναν τη μοντελοποίηση και ποσοτικοποίηση των GWP για τις έμμεσες επιδράσεις, για παράδειγμα των πτητικών ενώσεων (VOCs) πετροχημικής προέλευσης χρησιμοποιώντας το δυνητικό δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος (photochemical ozone creation potential, POCP) όπως φαίνεται παρακάτω:

$$GWP(O_3)_{gas(i)} = GWP(O_3)_{CO} \frac{POCP_{gas(i)}}{POCP_{CO}}$$

όπου $GWP(O_3)_{gas(i)}$ εκφράζει το GWP της τροποσφαιρικής οξείδωσης του αερίου i, $GWP(O_3)_{CO}$ εκφράζει το GWP του CO, $POCP_{gas(i)}$ εκφράζει τη συνολική φωτοχημική δημιουργία όζοντος από την οξείδωση του αερίου i, και $POCP_{CO}$ εκφράζει τη δημιουργία όζοντος από την οξείδωση του CO.

Το δυνητικό φαινόμενο του θερμοκηπίου από μια διαδικασία μπορεί να εκτιμηθεί υπολογίζοντας το γινόμενο του ποσού του εκπεμπόμενου αερίου του θερμοκηπίου ανά κιλό παραγόμενου υλικού και του δυνητικού για φαινόμενο του θερμοκηπίου δοθέν σε κιλά ισοδύναμου CO₂ ανά κιλό αερίου. Στο τέλος, η συμβολή στο δυνητικό φαινόμενο του θερμοκηπίου για κάθε αέριο πρέπει να αθροίζεται. Αυτή η υπολογιστική διαδικασία μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά σαν:

$$\text{Δυνητικό φαινόμενο του θερμοκηπίου (kg ισοδύναμου CO}_2\text{)} = \sum_i GWP_i \times m_i$$

Μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος

Η εξασθένηση του στρατοσφαιρικού όζοντος («τρύπα του όζοντος») προκαλεί αύξηση της εισερχόμενης ακτινοβολίας UV που οδηγεί σε επιδράσεις στους ανθρώπους, όπως αυξημένα επίπεδα καρκίνου του δέρματος, καταρράκτη και μειωμένη άμυνα ανοσοποιητικού, καθώς επίσης και επιδράσεις στους φυσικούς οργανισμούς και τα οικοσυστήματα, όπως για παράδειγμα το πλαγκτόν στην περιοχή του Νότιου Πόλου όπου η αποσύνθεση της στοιβάδας του όζοντος είναι ήδη σημαντική.

Η αποσύνθεση του όζοντος ενισχύεται από την είσοδο στη στρατόσφαιρα ανθρωπογενών αλογόνων ενώσεων (όπως CFCs, HCFCs, αλογόνα, κ.ά.). Το δυναμικό καταστροφής όζοντος (ozone depletion potentials, ODP) έχει παρουσιαστεί από την World Meteorological Organization (WMO) για έναν αριθμό αλογόνων ενώσεων. Τα ODPs δίνονται σαν ισοδύναμα CFC-11:

$$ODP_i = \frac{\text{μοντελοποιημένη εξασθένηση στρατοσφαιρικού όζοντος λόγω της ένωσης } i}{\text{μοντελοποιημένη εξασθένηση στρατοσφαιρικού όζοντος λόγω της ίδιας ποσότητας CFC - 11}}$$

Η δυνητική μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος σαν αποτέλεσμα κάποιων διαδικασιών μπορεί να υπολογιστεί αθροίζοντας τα ODPs.

Οικοτοξικολογικές επιδράσεις

Οι οικοτοξικολογικές επιδράσεις στις εκθέσεις και στα αποτελέσματα χημικών και βιολογικών ουσιών. Οι δυνητικές επιδράσεις στα οικοσυστήματα εξαρτώνται από τις εκπομπές και τις αρνητικές συνέπειες συγκεκριμένων ουσιών που εκλύονται στο περιβάλλον.

Οι αρνητικές συνέπειες των χημικών ουσιών εξαρτώνται από:

- το ρυθμό υποβάθμισης (αερόβιο/ αναερόβιο, υδρολυτικό/ φωτολυτικό)
- τη βιοσυσσώρευση
- την εξάτμιση
- την εναπόθεση

Ο ρυθμός υποβάθμισης θα επηρεάσει την πιθανότητα της ουσίας να αντιδράσει τόσο με τον οργανισμό-στόχο όσο και με το είδος της τοξικής επίδρασης. Οι ρυθμοί εξάτμισης/ εναπόθεσης θα επηρεάσουν τη μεταφορά ουσιών ανάμεσα στα διάφορα μέσα.

Ένας τρόπος εκτίμησης των πιθανών οικοτοξικολογικών επιδράσεων χημικών ουσιών είναι να χρησιμοποιηθούν τα κριτήρια για την ταξινόμηση των ουσιών σαν «Επικίνδυνα για το Περιβάλλον» με ένδειξη το σήμα N:

- υποβάθμιση

- ο βιοσυσσώρευση
- ο υδάτινη τοξικότητα (οξεία/χρόνια)
- ο τοξικότητα εδάφους

Διεθνής συμφωνία σε συγκεκριμένες μεθόδους για την αξιολόγηση των τοξικολογικών επιδράσεων δεν έχει πραγματοποιηθεί και η ανάπτυξη κάποιων από τις μεθόδους βρίσκεται ακόμα σε εξέλιξη. Επομένως, συνιστάται η χρήση διάφορων μεθόδων όταν αξιολογούνται πιθανές τοξικολογικές επιδράσεις για ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων.

Τοξικολογικές επιδράσεις στους ανθρώπους

Αυτή η κατηγορία επιδράσεων είναι μία από τις πιο δύσκολες κατηγορίες στο χειρισμό. Οι τοξικολογικές επιδράσεις στους ανθρώπους εξαρτώνται από την έκθεση σε αυτές και τις επιδράσεις σε χημικές και βιολογικές ουσίες. Οι πιθανές επιδράσεις στους ανθρώπους εξαρτώνται από την πραγματική εκπομπή και τα αρνητικά αποτελέσματα (fate) των συγκεκριμένων ουσιών που εκλύονται στο περιβάλλον.

Οι τοξικολογικές επιδράσεις στους ανθρώπους μπορεί να είναι:

- ο οξείες τοξικολογικές επιδράσεις
- ο ερεθισμοί
- ο αλλεργικές αντιδράσεις
- ο γονοτοξικότητα
- ο καρκινογένεση
- ο νευροτοξικότητα
- ο τερατογένεση

Σχηματισμός φωτοχημικής οξειδωσης

Ο σχηματισμός φωτοχημικού όζοντος (ομίχλη) οφείλεται στην αποσύνθεση οργανικών ενώσεων (VOC) με παρουσία φωτός και νιτρικών οξειδίων (NOx) («ομίχλη» σαν τοπική επίδραση και «τροποσφαιρικό όζον» σαν τοπική επίδραση). Οι βιολογικές επιπτώσεις του φωτοχημικού όζοντος μπορεί να συμβάλλουν σε βιοχημικές επιδράσεις αντιδραστικών ενώσεων του όζοντος. Η έκθεση φυτών στο όζον μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή της επιφάνειας του φύλλου, οδηγώντας σε καταστροφή της λειτουργίας φωτοσύνθεσης λειτουργίας, αποχρωματισμό των φύλλων, καταστροφή των φύλλων ή/και ολόκληρου του φυτού. Η έκθεση των ανθρώπων στο όζον μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα των ερεθισμό των ματιών, αναπνευστικά προβλήματα και χρόνια καταστροφή του αναπνευστικού συστήματος.

Ο σχηματισμός φωτοχημικού όζοντος μπορεί να ποσοτικοποιηθεί χρησιμοποιώντας τη δυνητική δημιουργία φωτοχημικού όζοντος (photochemical ozone creation potentials, POCP) για οργανικές ενώσεις. Τα POCPs για οργανικές ενώσεις εκφράζονται σαν ισοδύναμα αιθυλενίου (C_2H_4). Οι Heijungs et al. (1992) παρέχουν τα POCPs υπολογισμένα σαν τη συμβολή στο μέγιστο σχηματισμό όζοντος βασισμένοι στο μέσο όρο των δεδομένων τριών διαφορετικών περιοχών της Ευρώπης. Τα POCPs σύμφωνα με διάφορα μοντέλα δίνονται στον πίνακα A-3 του Παραρτήματος.

Η δυνητική δημιουργία φωτοχημικού όζοντος κάποιων διαδικασιών μπορεί να εκτιμηθεί αθροίζοντας τα POCPs για τις VOCs:

$$POCP \text{ (ισοδύναμα kg αιθυλενίου)} = \sum_i POCP_i m_i$$

Μία μέθοδος που λαμβάνει υπόψη μόνο τα POCPs για τις VOCs δεν επαρκεί για να περιγράψει την κατηγορία επίδρασης. Μία πιθανή προσέγγιση μπορεί να είναι η διαίρεση της κατηγορίας σε δύο υποκατηγορίες: μία κατηγορία για τα νιτρικά οξείδια και μία κατηγορία για τις VOCs, όπως προτάθηκε από τους Lindfors et al. (1995a, 1995c) στο Σκανδιναβικό οδηγό (Nordic guideline) για την LCA. Αν τα δεδομένα της απογραφής δεν δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού του συνολικού POCP βάσει συντελεστών βαρύτητας εξαιτίας έλλειψης πληροφοριών στη σύνθεση των VOCs προτείνεται ο ακόλουθος διαχωρισμός σε υποκατηγορίες:

1. νιτρικά οξείδια (NO_x)
2. υδρογονάνθρακες (HC) ή πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)
3. μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
4. μεθάνιο (CH_4).

Οξίνιση

Η οξίνιση προκαλείται από τις εκπομπές πρωτονίων στα υδάτινα οικοσυστήματα και στα οικοσυστήματα εδάφους. Στο οικοσύστημα εδάφους οι επιδράσεις παρατηρούνται στα δάση μαλακού ξύλου (π.χ. ελάτων) σαν ανεπαρκής ανάπτυξη και σαν τελική συνέπεια την καταστροφή του δάσους. Αυτές οι επιπτώσεις παρατηρούνται κυρίως στη Σκανδιναβία και στο μέσοανατολικό τμήμα της Ευρώπης. Στο υδάτινο οικοσύστημα οι επιδράσεις παρατηρούνται σαν όξινες λίμνες χωρίς καθόλου άγρια ζωή. Κτήρια, κατασκευές, γλυπτά και άλλα αντικείμενα που χρήζουν συντήρησης επίσης καταστρέφονται από την όξινη βροχή.

Ευτροφισμός

Ο ευτροφισμός (ή εμπλουτισμός θρεπτικών συστατικών) των υδάτινων και των οικοσυστημάτων εδάφους μπορεί να προκαλείται από το πλεονάζον άζωτο, φώσφορο και τις διασπώμενες οργανικές ουσίες. Σαν ορισμό, μπορούμε να πούμε

ότι είναι ο εμπλουτισμός των υδάτινων οικοσυστημάτων με θρεπτικά συστατικά που οδηγούν σε αυξημένη παραγωγή φυτοπλαγκτόν και σε περισσότερα υδάτινα φυτά που οδηγούν σε επιδείνωση της ποιότητας του νερού και σε μείωση της αξίας χρήσης του υδάτινου οικοσυστήματος.

Η δευτερεύουσα επίδραση είναι η αποσύνθεση των νεκρών οργανικών υλών (π.χ. φύκια) και ανθρωπογενών οργανικών υλών. Πρόκειται για μια διαδικασία κατανάλωσης οξυγόνου που οδηγεί σε μειωμένο κορεσμό οξυγόνου και κάποιες φορές σε αναερόβιες συνθήκες. Οι επιδράσεις του ευτροφισμού στα οικοσυστήματα εδάφους φαίνονται σαν αλλαγές στη λειτουργία και την ποικιλία των ειδών σε οικοσυστήματα φτωχά σε θρεπτικά συστατικά, (π.χ. χέρσα εδάφη και προκαλούνται από την εναπόθεση στην ατμόσφαιρα αζωτούχων ενώσεων).

Το δυναμικό του ευτροφισμού μπορεί να εκφραστεί σαν O_2 -ισοδύναμα ή PO_4 -ισοδύναμα και παρουσιάζονται στον πίνακα Α-5 του παραρτήματος.

Εργασιακό περιβάλλον

Η κατηγορία επιπτώσεων κύκλου ζωής για το εργασιακό περιβάλλον καλύπτει τις τοξικολογικές επιπτώσεις στον άνθρωπο που αναφέρθηκαν προηγουμένως μαζί με τις από μη-χημικές επιπτώσεις. Οι μη-χημικές επιπτώσεις προκαλούνται από τη θερμότητα, το θόρυβο, τις μονότονες συνθήκες εργασίας, και περιλαμβάνουν:

- προβλήματα ακοής
- ψυχολογική βλάβη
- πόνος στους μύες
- πόνος στις αρθρώσεις

Τα ατυχήματα μπορεί να καταλήξουν σε σωματική βλάβη ή σε οξείες τοξικολογικές επιδράσεις που μπορεί να οφείλονται σε τυχαίες διαρροές. Οι ανθρώπινες τοξικολογικές επιπτώσεις στο εργασιακό περιβάλλον διαφέρουν από τις επιπτώσεις που προκαλούνται από τις εκπομπές των ίδιων ουσιών από την παραγωγή στο εξωτερικό περιβάλλον, καταλήγοντας σε επιπτώσεις ουσιαστικά σε λίγα άτομα, ενώ οι επιπτώσεις στο εξωτερικό περιβάλλον χαρακτηρίζονται από μικρές επιπτώσεις σε πολλά άτομα (ευρύτερη κοινωνία σε συγκεκριμένη τοποθεσία).

Περιβαλλοντικές παρεμβάσεις για τις οποίες οι συντελεστές χαρακτηρισμού λείπουν

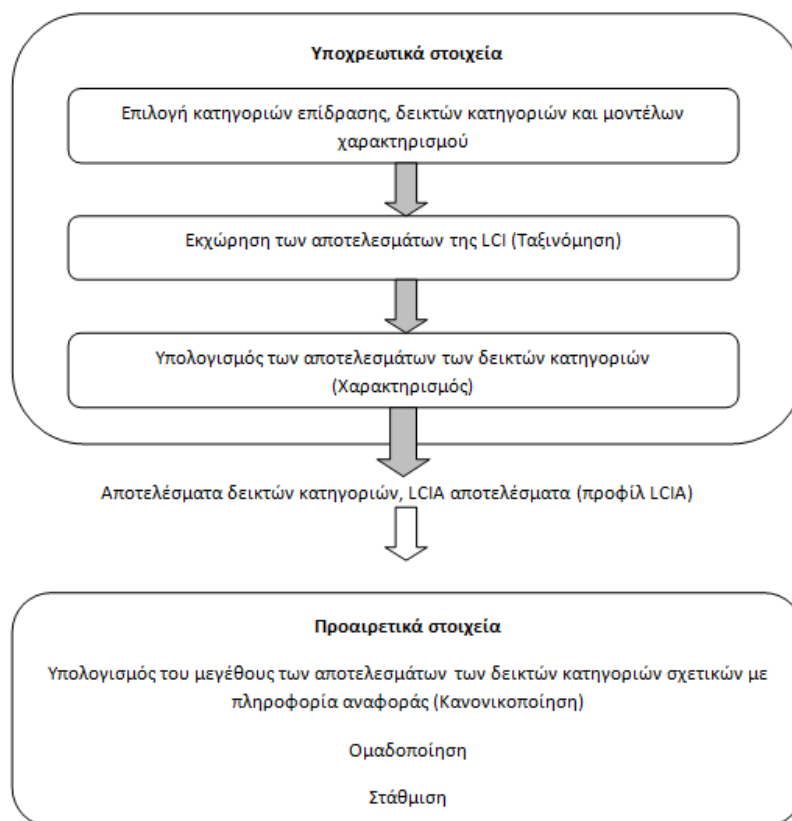
Σε πολλές πρακτικές περιπτώσεις μπορεί να συμπεριληφθούν εκπομπές τοξικών χημικών για τις οποίες δεν καταγράφεται το δυναμικό τοξικότητάς τους στον πίνακα με τους συντελεστές χαρακτηρισμού. Το ίδιο μπορεί να συμβαίνει και σε ουσίες σχετικές με την οξίνιση, την εξάντληση πόρων, κ.ά. Για τη διαχείριση τέτοιων παρεμβάσεων θα πρέπει να γίνει ο ακόλουθος διαχωρισμός:

- ο παρεμβάσεις που είναι γνωστό ότι συμβάλλουν σε μία κατηγορία επιδράσεων, για τις οποίες δεν είναι διαθέσιμος συντελεστής χαρακτηρισμού αλλά μπορεί να υπολογιστεί ή να εκτιμηθεί,
- ο παρεμβάσεις που είναι γνωστό ότι συμβάλλουν σε μία κατηγορία επιδράσεων, για τις οποίες δεν είναι διαθέσιμος συντελεστής χαρακτηρισμού και δεν μπορεί να υπολογιστεί ή να εκτιμηθεί,
- ο παρεμβάσεις που υποτίθεται ότι είναι περιβαλλοντικά σχετικές αλλά δεν συμβάλλουν σε κάποια από τις επιλεγμένες κατηγορίες επίδρασης, και
- ο παρεμβάσεις που δεν θεωρούνται περιβαλλοντικά σχετικές (Guinee, 2004).

3.5 Στάδια της αξιολόγησης επιπτώσεων κύκλου ζωής

Η LCIA υλοποιείται γενικά μέσα από την εφαρμογή των ακόλουθων φάσεων (σχήμα: 3-2) :

- ο Κατηγοριοποίηση (Classification),
- ο Χαρακτηρισμός (Characterization),
- ο Κανονικοποίηση (Normalization),
- ο Ομαδοποίηση (Grouping) (προαιρετικό στάδιο), και
- ο Στάθμιση (Weighting).



Σχήμα 3-2 : Στοιχεία της LCIA (ISO 14040, 2006)

Ο διαχωρισμός στα παραπάνω στοιχεία είναι απαραίτητος για διάφορους λόγους όπως (ISO 14040, 2006):

- i. Κάθε στοιχείο LCIA είναι ξεχωριστό και αντιπροσωπεύει μια διαφορετική ειδική διαδικασία,
- ii. Μία αξιολόγηση της ποιότητας των LCIA μεθόδων, υποθέσεων και άλλων αποφάσεων θα πρέπει να διεξάγεται για κάθε στοιχείο LCIA,
- iii. Διαδικασίες, υποθέσεις και άλλες λειτουργίες της LCIA μέσα σε κάθε στοιχείο θα πρέπει να γίνονται με διαφάνεια για κριτική αξιολόγηση και καταγραφή,
- iv. Η χρήση τιμών και υποκειμενικότητας μέσα σε κάθε στοιχείο θα πρέπει να γίνεται με διαφάνεια για κριτική αξιολόγηση και καταγραφή.

Το επίπεδο εμβάθυνσης της μελέτης, η επιλογή των επιδράσεων που θα αξιολογηθούν και οι μεθοδολογίες που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτώνται από το σκοπό και το αντικείμενο της μελέτης.

3.5.1 Κατηγοριοποίηση/Ταξινόμηση (Classification)

Η LCIA περιλαμβάνει σαν πρώτο στοιχείο την κατηγοριοποίηση των δεδομένων των εισροών και των εκροών της απογραφής (ISO, 1997c). Η αντιστοίχιση των δεδομένων της απογραφής είναι το πιο απλό ή το βασικό επίπεδο της LCIA. Σε αυτό το σημείο υπάρχει μια βασική υπόθεση του «όσο λιγότερα, τόσο καλύτερα» και εξαιρεί κάποιες σημαντικές θεωρήσεις όπως οι διαφορές στο δυναμικό χαρακτήρα των δεδομένων και στην περιβαλλοντική αντοχή.

Η κατηγοριοποίηση είναι ένα ποιοτικό στάδιο βασισμένο σε επιστημονική ανάλυση ή σε αντίστοιχες περιβαλλοντικές διαδικασίες. Η ταξινόμηση των δεδομένων καταγραφής στις πιθανές περιβαλλοντικές επιδράσεις γίνεται μέσω των κατηγοριών επίδρασης. Να σημειωθεί ότι κάποιες εκροές συμβάλλουν σε διαφορετικές κατηγορίες επίδρασης και συνεπώς, πρέπει να αναφέρονται δύο φορές. Αυτή η διπλή καταγραφή είναι αποδεκτή αν οι επιδράσεις είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, ενώ η διπλή καταγραφή διαφορετικών επιδράσεων στην ίδια αλυσίδα επίδρασης δεν επιτρέπεται (π.χ. στην μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος και στις τοξικολογικές επιδράσεις στους ανθρώπους όπως ο καρκίνος του δέρματος).

Οι κατηγορίες επιπτώσεων μπορούν να τοποθετηθούν σε μία κλίμακα και να χωριστούν σε τρεις (ή τέσσερις) διαφορετικές ομάδες: επιπτώσεις που αφορούν μία ήπειρο, επιπτώσεις που αφορούν μία ευρύτερη περιοχή και επιπτώσεις που αφορούν μία συγκεκριμένη τοποθεσία. Ωστόσο, υπάρχει και η περίπτωση μία κατηγορία να ανήκει και στις τρεις ομάδες όπως για παράδειγμα η περιβαλλοντική τοξικότητα. Οι κατηγορίες επιπτώσεων σχετίζονται άμεσα με την έκθεση, δηλαδή η έκθεση ενός κινδύνου σε μία ήπειρο επιδρά σε όλη την ήπειρο κ.ο.κ.. Κάποιες από τις κατηγορίες αυτές είναι συσχετισμένες μόνο με καταστάσεις μιας περιοχής ή μιας

τοποθεσίας, δηλαδή κάποιες τοποθεσίες είναι πιο εκτεθειμένες σε κάποιες επιδράσεις απ' ότι άλλες. Κάποιες λίμνες στη Σκανδιναβία μπορούν να αναφερθούν σαν παραδείγματα τοπικού ενδιαφέροντος σαν πιο εκτεθειμένες στην οξίνιση απ' ότι λίμνες σε άλλα μέρη της Ευρώπης. Ο χρονικός ορίζοντας είναι επίσης σημαντικός όταν λαμβάνονται υπόψη κάποιες κατηγορίες επίδρασης, για παράδειγμα η υπερθέρμανση του πλανήτη και η μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος θα πρέπει να μελετάται με χρονικό ορίζοντα από 20 έως 500 χρόνια.

Ένας αριθμός προτάσεων για λίστες κατηγοριών επιπτώσεων με αναφορά στην κλίμακα στην οποία ανήκουν παρουσιάζεται στον πίνακα 3-2.

Πίνακας 3-2: Επιλεγμένες λίστες κατηγοριών επίδρασης

Η λίστα Leiden SETAC-Europe (1992)	Η προκαθορισμένη λίστα SETAC Udo de Haes (1996b)	Η Σκανδιναβική λίστα Lindfors et al. (1995c)	Η αρχική λίστα ISO (ISO 1997c)	Κλίμακα
Μη ανανεώσιμα	Αβιοτικοί πόροι	Ενέργεια και ύλες	Αβιοτικοί πόροι	Παγκόσμια
Σπάνια, ανανεώσιμα	Βιοτικοί πόροι		Βιοτικοί πόροι	Παγκόσμια
		Νερό		
	Γη	Γη	Χρήση γης	Τοπική
Υπερθέρμανση πλανήτη	Υπερθέρμανση πλανήτη	Υπερθέρμανση πλανήτη	Υπερθέρμανση πλανήτη/κλιματική αλλαγή	Παγκόσμια
	Μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος	Μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος	Μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος	Παγκόσμια
Ανθρώπινη τοξικότητα	Ανθρώπινη τοξικολογική επίδραση	Ανθρώπινη υγεία, τοξικολογική με εξαίρεση το περιβάλλον εργασίας	Ανθρώπινη τοξικότητα	Παγκόσμια, ηπειρωτική, περιφερειακή, τοπική
		Ανθρώπινη υγεία, μη τοξικολογική με εξαίρεση το περιβάλλον εργασίας		
Επαγγελματική ασφάλεια		Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία στο περιβάλλον εργασίας		Τοπική
Περιβαλλοντική τοξικότητα	Οικοτοξικολογικές επιπτώσεις	Οικοτοξικολογικές επιπτώσεις	Οικοτοξικότητα	Παγκόσμια, ηπειρωτική, περιφερειακή, τοπική
Σχηματισμός φωτο-οξειδωτικών	Σχηματισμός φωτο-οξειδωτικών	Σχηματισμός φωτο-οξειδωτικών	Δημιουργία φωτοχημικής οξείδωσης (ομίχλη)	Ηπειρωτική, περιφερειακή, τοπική
Οξίνιση	Οξίνιση	Οξίνιση	Οξίνιση	Ηπειρωτική, περιφερειακή, τοπική
Ευτροφισμός	Ευτροφισμός	Ευτροφισμός	Ευτροφισμός	Ηπειρωτική, περιφερειακή, τοπική
Ζήτηση χημικού οξυγόνου				Τοπική
Επιπτώσεις θερμικών αποβλήτων στο νερό				Τοπική
Ενόχληση	Οσμή			Τοπική

(μυρωδιά, θόρυβος)				
	Θόρυβος			Τοπική
	Ακτινοβολία			Τοπική, περιφερειακή
Απαιτούμενος χώρος				Τοπική
Τελικά στερεά απόβλητα (επικίνδυνα)				Περιφερειακή, τοπική
Τελικά στερεά απόβλητα (μη-επικίνδυνα)				Περιφερειακή, τοπική
	Απώλειες			Τοπική
		Μεταβολές φυσικού περιβάλλοντος και βιολογική ποικιλία		τοπική

3.5.2 Χαρακτηρισμός (Characterization)

Η LCIA περιλαμβάνει σαν δεύτερο συστατικό το χαρακτηρισμό των δεδομένων απογραφής, τα οποία ποσοτικοποιούνται και αθροίζονται ανά κατηγορία επιπτώσεων όπως ορίστηκε στη φάση της ταξινόμησης. Η έννοια του χαρακτηρισμού είναι να μοντελοποιηθούν οι κατηγορίες σε δείκτες και, αν είναι δυνατόν, να δοθεί μία βάση για τη σύνθεση των δεδομένων των εισροών και εκροών μέσα σε μία κατηγορία. Αυτό γίνεται με τη μορφή ενός δείκτη που αντιπροσωπεύει μια συνολική αλλαγή ή την επιβάρυνση σε αυτή την κατηγορία. Το αποτέλεσμα του χαρακτηρισμού είναι ότι ο συνδυασμός των δεικτών μιας κατηγορίας αναπαριστά την αρχική επιβάρυνση και το προφίλ της μείωσης πόρων.

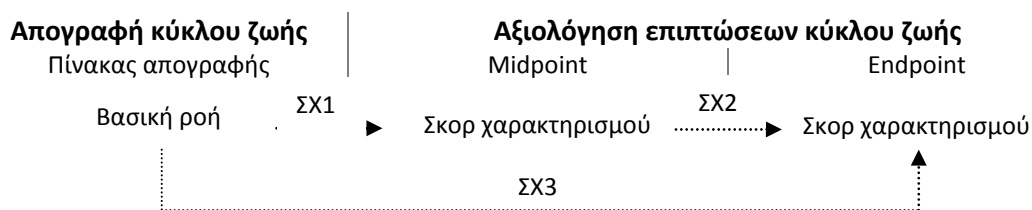
Για την εκτέλεση του χαρακτηρισμού ορίζονται και χρησιμοποιούνται κατάλληλες μέθοδοι οι οποίες θα επιτρέψουν την εκτίμηση της συμβολής κάθε δεδομένου απογραφής στην κατηγορία ή τις κατηγορίες επιπτώσεων στις οποίες έχει ταξινομηθεί. Τα μοντέλα θα πρέπει να βασίζονται ως επί το πλείστον σε επιστημονική γνώση, αλλά μπορεί να περιέχουν και απλοποιημένες υποθέσεις και «επιλογές τιμών» (value choices). Η ακρίβεια κάθε μοντέλου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι η χωρική και η χρονική συμβατότητα της κατηγορίας με την καταγραφή. Η σχέση ανάμεσα στα δεδομένα εισροών και εκροών της απογραφής και στο δείκτη είναι ισχυρή, ενώ η σχέση ανάμεσα στο δείκτη και στα τελικά σημεία (endpoints) είναι συνήθως πιο αδύναμη και μπορεί να είναι κυρίως ποσοτική.

Πιο συγκεκριμένα, για κάθε δεδομένη κατηγορία επιπτώσεων ορίζεται μία μέθοδος χαρακτηρισμού (characterization method) η οποία περιλαμβάνει:

- ο ένα δείκτη κατηγορίας (category indicator),
- ο ένα πρότυπο χαρακτηρισμού (characterization model) και
- ο συντελεστές χαρακτηρισμού (characterization factors) που εκτιμώνται από το πρότυπο.

Οι μέθοδοι χαρακτηρισμού που χρησιμοποιούνται ποικίλουν, επειδή όμως πάνω στα συμπεράσματα αυτής της φάσης θα βασιστεί το τελευταίο στάδιο της LCA που είναι υπεύθυνο για τη λήψη αποφάσεων, είναι απαραίτητο να αναφέρεται ρητά και να αναλύεται η συγκεκριμένη μέθοδος που υιοθετήθηκε για κάθε κατηγορία επιπτώσεων. Μετά τον καθορισμό της μεθόδου χαρακτηρισμού, τα δεδομένα της απογραφής εισέρχονται στους δείκτες κατηγορίας που ορίστηκαν, ποσοτικοποιούνται και συνθέτουν ένα μοναδικό αποτέλεσμα, το αποτέλεσμα δείκτη κατηγορίας (category indicator result). Το σύνολο των αποτελεσμάτων δεικτών κατηγοριών αποτελεί το περιβαλλοντικό προφίλ (environmental profile) του εξεταζόμενου συστήματος.

Οι κατηγορίες επιπτώσεων χωρίζονται σε ενδιάμεσες (midpoint) και κατηγορίες βλάβης ή τελικές (endpoint). Οι ενδιάμεσες κατηγορίες είναι προσανατολισμένες στο πρόβλημα, ενώ οι κατηγορίες βλάβης αναφέρονται στα πεδία προστασίας που παρουσιάστηκαν προηγουμένως στον πίνακα 3-1. Το σχήμα 3-3 απεικονίζει πώς οι βασικές ροές από τον πίνακα απογραφής συνδέονται με τους ενδιάμεσους και τους τελικούς δείκτες της LCIA. Η συμβολή κάθε ροής στην αξία του τελικού δείκτη πραγματοποιείται με την αντιστοίχιση ενός Συντελεστή Χαρακτηρισμού (ΣΧ). Όταν το ενδιάμεσο επίπεδο μοντελοποιείται στο τελικό επίπεδο, η συμβολή ενός επιλεγμένου ενδιάμεσου δείκτη στο τελικό σκορ βλάβης χαρακτηρίζεται ξανά. Επομένως αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τρία σύνολα ΣΧ, με τον ΣΧ3 να είναι αυτός που αντιστοιχίζει το στοιχείο απογραφής με το τελικό σημείο ως το γινόμενο του ΣΧ1 από την απογραφή στο ενδιάμεσο και του ΣΧ2 από το ενδιάμεσο στο τελικό επίπεδο. Από τη στιγμή που ο ΣΧ1 και ο ΣΧ3 παρέχουν την άμεση σχέση ανάμεσα στον πίνακα απογραφής και τα αποτελέσματα της αξιολόγησης επιπτώσεων για τις ενδιάμεσες και τις κατηγορίες βλάβης αντίστοιχα, είναι οι πιο σημαντικοί να επεξεργαστούν από την άποψη των μελετητών LCA (Hoof et al., 2013).



Σχήμα 3-3: Σύνδεση συντελεστών χαρακτηρισμού των δεικτών επίδρασης από τον πίνακα απογραφής

Ένα από τα πιο δύσκολα σημεία είναι ο χειρισμός των συντελεστών χαρακτηρισμού. Μία βασική απαίτηση του ISO 14042 αφορά την επιστημονική εγκυρότητα των δεικτών κατηγορίας ώστε να χρησιμοποιούνται σε συγκριτικές αναφορές. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο δείκτης μπορεί να επιλεγθεί οπουδήποτε στον περιβαλλοντικό μηχανισμό, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής ορισμού του δείκτη στο τελικό επίπεδο (endpoint level).

Ένα άλλο σημείο ανησυχίας είναι ο διαχωρισμός ανάμεσα στο χαρακτηρισμό και τη στάθμιση. Η μοντελοποίηση χαρακτηρισμού θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο επιστημονικά αξιόπιστη, ενώ η στάθμιση ανάμεσα στις κατηγορίες βασίζεται σε επιλογές αξιών, παρόλο που μπορεί επίσης να περιέχουν επιστημονικές βάσεις (Udo de Haes et al., 1999).

3.5.2.1 Η επιλογή των δεικτών κατηγοριών

Η επιλογή των δεικτών κατηγοριών καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να εδραιωθεί η ισοδυναμία ανάμεσα στις περιβαλλοντικές παρεμβάσεις, (π.χ. ο τρόπος άθροισης σε κοινή βάση).

Για κάθε κατηγορία πρέπει να αναλυθεί ποιο είναι το κατάλληλο σημείο για τον ορισμό του δείκτη κατηγορίας, λαμβάνοντας υπόψη τη διαθέσιμη επιστημονική γνώση. Σύμφωνα με τον οργανισμό ISO: το πρότυπο 14000, επιτρέπονται για τον ορισμό όλες οι θέσεις του περιβαλλοντικού μηχανισμού. Γενικά, ο καθορισμός ενός δείκτη πιο κοντά στις περιβαλλοντικές παρεμβάσεις θα καταλήξει σε ακριβέστερη μοντελοποίηση, αλλά μπορεί να κάνει το δείκτη λιγότερο περιβαλλοντικά σχετικό. Αντίθετα, ο καθορισμός πιο κοντά στα τελικά σημεία θα κάνει το δείκτη πιο σχετικό περιβαλλοντικά και λιγότερο ακριβή σε σχέση με τις περιβαλλοντικές παρεμβάσεις (Finnveden et al., 1992). Για μία αξιολόγηση που βασίζεται σε ατομικές προτιμήσεις, η επιλογή ενός δείκτη στο τελικό επίπεδο μοιάζει ακόμα και προϋπόθεση. Αν ένας δείκτης επιλέγεται στο επίπεδο των βλαβών, ο υπολογισμός των επιπτώσεων στο ενδιάμεσο επίπεδο ίσως ακόμα έχει μεγάλο ενδιαφέρον και αξίζει να κρατηθεί σαν χρήσιμη πρόσθετη πληροφορία στην ανάλυση.

Σαν καλύτερη πρακτική για την επιλογή των δεικτών κατηγοριών μπορεί να θεωρηθεί η πρόταση των δεικτών σε διαφορετικά επίπεδα στον περιβαλλοντικό μηχανισμό:

- στο επίπεδο των παρεμβάσεων, π.χ. κιλά συνολικών εισροών υλικού ή τύποι χρήσης γης
- στο ενδιάμεσο επίπεδο, π.χ. κλιματική αλλαγή ή τοξικολογικές επιπτώσεις
- στο τελικό επίπεδο, π.χ. έτη χαμένης ζωής (Years of Life Lost, YLL).

Η επιλογή δεικτών σε διαφορετικά επίπεδα απαιτεί προσοχή για τη συνοχή του πλαισίου επιπτώσεων συνολικά, αποφεύγοντας όσο είναι δυνατόν την επικάλυψη ανάμεσα στις κατηγορίες ή την απουσία τύπων επιπτώσεων. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό μπορεί να είναι δύσκολο αν κάποιοι δείκτες ορίζονται στο επίπεδο βλαβών και άλλοι σε προηγούμενα επίπεδα στο μηχανισμό.

Σε κατηγορίες (εκτός από την κατηγορία ανθρώπινη τοξικότητα) με δείκτες στο ενδιάμεσο επίπεδο, οι οποίοι περιλαμβάνουν μέρος επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, θα πρέπει να υπολογιστούν επιπλέον συντελεστές χαρακτηρισμού στο επίπεδο βλαβών για αυτές στις επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία. Αυτές μπορούν

έπειτα να συγκριθούν με στις συντελεστές χαρακτηρισμού του επιπέδου βλαβών. Το ίδιο μπορεί να πραγματοποιηθεί για επιδράσεις σε είδη φυτών και ζώων (Udo de Haes et al., 1999).

3.5.3 Κανονικοποίηση (Normalization)

Το στάδιο αυτό χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την έκταση κατά την οποία μια συγκεκριμένη κατηγορία επιπτώσεων συμβάλλει στο γενικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Σύμφωνα με το ISO 14042 (2000), κανονικοποίηση είναι ο υπολογισμός του μεγέθους των αποτελεσμάτων των δεικτών κατηγοριών σε σχέση με κάποια βάση αναφοράς. Η βάση αναφοράς μπορεί να σχετίζεται με κάποια δεδομένη γεωγραφική περιοχή (π.χ. Ελλάδα, Ευρώπη κ.λπ.), έναν άνθρωπο (π.χ. κάτοικο Ελλάδας, κάτοικο Ευρώπης, κ.λπ.) ή ένα άλλο σύστημα, για κάποιο, στις δεδομένο, χρονικό διάστημα. Στις, υπάρχουν και άλλου είδους πληροφορίες που μπορούν να ληφθούν υπόψη κατά την κανονικοποίηση στις για παράδειγμα μια μελλοντική επιθυμητή κατάσταση. Ο κύριος στόχος στις κανονικοποίησης των αποτελεσμάτων των δεικτών κατηγοριών είναι η καλύτερη κατανόηση στις σχετικής σημαντικότητας και του μεγέθους των αποτελεσμάτων για το εξεταζόμενο σύστημα. Σε περίπτωση που κατά τη διαδικασία αυτή κάποια αποτελέσματα δεικτών κατηγοριών φανεί ότι έχουν μικρή συμβολή μπορούν ακόμα και να εξαιρεθούν απλοποιώντας τη διαδικασία στις ανάλυσης. Η κανονικοποίηση χρησιμοποιείται για τον έλεγχο πιθανής ύπαρξης ασύμβατων αποτελεσμάτων, καθώς και για την προετοιμασία των επόμενων φάσεων. Το αποτέλεσμα είναι ένα εναλλακτικό προφίλ για το εξεταζόμενο σύστημα που καλείται κανονικοποιημένο περιβαλλοντικό προφίλ (normalized environmental profile) (Γρηγορούδης και Διακάκη, 2008).

Παρόλο που η κανονικοποίηση παρέχει πληροφορίες για τη σχετικότητα των δεικτών του συστήματος, η διαδικασία κανονικοποίησης απαιτεί τη χρήση δεδομένων τα οποία μπορεί να εισάγουν αβεβαιότητα που θα πρέπει να ευθύνεται για την ταξινόμηση των δεικτών όταν χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων. Η ποιότητα του συνόλου δεδομένων αναφοράς, και επομένως των συντελεστών χαρακτηρισμού, εξαρτάται από δύο στοιχεία: την πληρότητα δεδομένων του συνόλου αναφοράς και την πληρότητα και την αβεβαιότητα του μοντέλου αξιολόγησης επιπτώσεων.

Σχετικά με το σημείο που θα πρέπει να γίνεται η κανονικοποίηση, είναι προτιμότερο να πραγματοποιείται στο επίπεδο βλάβης, δηλαδή στο επίπεδο των περιοχών προστασίας. Όταν τα LCIA αποτελέσματα κανονικοποιούνται στο ενδιάμεσο επίπεδο, η ταξινόμηση των δεικτών υποθέτει ένα όμοιο επίπεδο πληρότητας δεδομένων για κάθε ενδιάμεσο σημείο. Τα τελικά σημεία είναι λιγότερο ευαίσθητα στην πληρότητα δεδομένων στις ενδιάμεσους δείκτες που έχουν μικρότερη συμβολή στο συγκεκριμένο τελικό επίπεδο. Αυτό εξηγεί το γεγονός ότι οι δείκτες

τοξικότητας ταξινομούνται υψηλότερα όταν κανονικοποιούνται στο ενδιάμεσον, αλλά έχουν μικρότερη συμβολή στο επίπεδο βλάβης (Hoof et al., 2013).

Ένας ακόμη λόγος για την επιλογή στις κανονικοποιήσεις στο τελικό επίπεδο είναι ότι η ταξινόμηση εξαρτάται λιγότερο από την επιλογή του συστήματος αναφοράς. Οι Lautier et al. (2010) συμπεραίνουν ότι στο ενδιάμεσο επίπεδο, τα κανονικοποιημένα αποτελέσματα ίσως διαφέρουν βάσει του τοπικού συνόλου αναφοράς.

3.5.4 Ομαδοποίηση (Grouping)

Το στάδιο στις ομαδοποιήσεις θεωρείται προαιρετικό από στις μελέτες, θα σημειωθεί στις θεωρητικά η λειτουργία του. Εδώ οι κατηγορίες επιπτώσεων ομαδοποιούνται με μία από στις ακόλουθες προσεγγίσεις:

- ♦ *Κατηγοριοποίηση* (classification) των δεικτών κατηγοριών βάσει μιας ονομαστικής ή κατηγορικής κλίμακας (nominal scale). Στην περίπτωση αυτή οι δείκτες κατηγοριών διαχωρίζονται σε ομάδες οι οποίες καθορίζονται με βάση συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, στις για παράδειγμα οι εκπομπές ρύπων.
- ♦ *Ταξινόμηση* (sorting) των δεικτών κατηγοριών βάση μιας βαθμωτής κλίμακας (ordinal scale). Στην περίπτωση αυτή, οι δείκτες κατηγοριών διαχωρίζονται σε ομάδες οι οποίες καθορίζονται με βάση μια συγκεκριμένη ιεραρχία αξιών στις για παράδειγμα υψηλή, μεσαία και χαμηλή προτεραιότητα.

3.5.5 Στάθμιση (Weighting)

Το στάδιο του χαρακτηρισμού καταλήγει σε μία ποσοτική ανάλυση των διαφόρων κατηγοριών επιπτώσεων. Η σύγκριση αυτών των κατηγοριών δεν είναι άμεσα εφικτή. Επομένως, η LCIA περιλαμβάνει σαν τελευταίο στάδιο τη στάθμιση των κατηγοριών επίδρασης μεταξύ τους. Σε περίπτωση που έχει πραγματοποιηθεί κανονικοποίηση, τα βάρη για αυτό το στάδιο καθορίζονται βάσει των αποτελεσμάτων των δεικτών επιπτώσεων που έχουν προκύψει από τη φάση της κανονικοποίησης. Τα βάρη αντανakλούν τη σχετική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων των δεικτών επιπτώσεων αναφορικά με κάποιες δεδομένες κοινωνικές αξίες και προτιμήσεις. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των δεικτών επιπτώσεων πολλαπλασιάζονται με τα βάρη και αθροίζονται και έτσι προκύπτει ένα εναλλακτικό προφίλ για το εξεταζόμενο σύστημα που καλείται σταθμισμένο περιβαλλοντικό προφίλ (weighted environmental profile) (Γρηγορούδης και Διακάκη, 2008).

Η στάθμιση μπορεί να θεωρηθεί ότι απευθύνει τρία βασικά ζητήματα:

- Εκφράζει τη σχετική προτίμηση ενός οργανισμού ή μιας ομάδας ενδιαφερόμενων βασισμένη σε πολιτικές, στόχους και ατομικές ή ομαδικές γνώμες ή κοινά πιστεύω στην ομάδα,
- Διασφαλίζει ότι η διαδικασία είναι ορατή, μπορεί να τεκμηριωθεί και να καταγραφεί,
- Αποδεικνύει ότι η σχετική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων βασίζεται στο επίπεδο των γνώσεων σχετικά με αυτά τα θέματα.

Η στάθμιση είναι ένα ποσοτικό ή ποιοτικό στάδιο που δεν βασίζεται απαραίτητα σε φυσική επιστήμη αλλά σε πολιτικές ή ηθικές αξίες. Οι μέθοδοι στάθμισης έχουν αναπτυχθεί από διαφορετικούς θεσμούς και βασίζονται σε διαφορετικά πρότυπα (Lindeijer, 1996):

- Προσέγγιση στην οποία κάποιοι ποσοτικοί δείκτες είναι ενδεικτικοί για τη συνολική περιβαλλοντική επιβάρυνση. Η ενεργειακή κατανάλωση, η μετατόπιση υλικών και η κατανάλωση χώρου είναι παραδείγματα χρήσης στις προσεγγίσεις.
- *Προσέγγιση τεχνολογίας μειώσεων* – Η πιθανότητα μείωσης του περιβαλλοντικού φορτίου με τη χρήση διαφόρων τεχνολογικών μεθόδων μπορεί να θέσει μια αξία σε ένα συγκεκριμένο περιβαλλοντικό φορτίο. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στα δεδομένα απογραφής όσο και στα σκορ επιδράσεων.
- *Νομισματοποίηση* – Η μέθοδος περιγράφεται ως εξής: α. ωφελισμός (οι αξίες μετρώνται με τη σύνθεση των ανθρώπινων προτιμήσεων), β. η «προθυμία να πληρώσουν»/αποδοχή είναι ένα κατάλληλο μέτρο προτιμήσεων.
- *Εγκεκριμένοι στόχοι ή πρότυπα* – Τα περιβαλλοντικά πρότυπα και οι στόχοι ποιότητας όπως και οι στόχοι πολιτικής μειώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογίσουν σημαντικά ποσά εκπομπών σε αέρα, νερό, χώμα ή περιβάλλον εργασίας. Οι στόχοι ή τα πρότυπα μπορούν να διατυπωθούν από εθνικές ή τοπικές αρχές, μέσα σε μία εταιρεία, κλπ.
- *Επίσημο πλαίσιο* – Το επίσημο πλαίσιο μπορεί να αποτελείται από λαϊκούς ανθρώπους, κοινωνικές ομάδες επιστημόνων, κυβερνήσεων ή διεθνών σωμάτων. (ΕΕΑ)

Από τις προαναφερόμενες φάσεις, η κανονικοποίηση, η ομαδοποίηση και η στάθμιση είναι προαιρετικές, χρησιμοποιούνται στις γιατί η εφαρμογή τους μπορεί να διευκολύνει κατά πολύ την ερμηνεία στις ανάλυσης κατά το επόμενο στάδιο στις LCA. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι φάσεις αυτές ουσιαστικά αποτελούν μια διαδικασία συσχέτισης αξιών που αντανακλά τις κοινωνικές αξίες και προτιμήσεις. Ως τέτοια, επιτρέπει την εφαρμογή τεχνικών και μεθοδολογιών από το χώρο της Επιστήμης Αποφάσεων.

Επομένως, το κύριο αποτέλεσμα του συγκεκριμένου σταδίου στις LCA, το οποίο χρησιμοποιείται ως είσοδος για το επόμενο στάδιο είναι το περιβαλλοντικό προφίλ του εξεταζόμενου συστήματος. Προαιρετικά, μπορεί να προκύψουν επίσης το κανονικοποιημένο και το σταθμισμένο προφίλ (Γρηγορούδης και Διακάκη, 2008).

4. Μεθοδολογίες Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (LCIA methodologies)

4.1 Γενικά

Η ανάγκη για πιο βιώσιμα προϊόντα, διαδικασίες και τελικά για τον τρόπο ζωής στις έχει δημιουργήσει την ανάπτυξη στις μεγάλου αριθμού εργαλείων περιβαλλοντικής αξιολόγησης. Αυτά τα εργαλεία μετρούν την περιβαλλοντική επίδοση και αναγνωρίζουν πιθανές βελτιώσεις από μία περιβαλλοντική οπτική γωνία. Μία ομάδα μεθόδων αξιολόγησης εστιάζει στην άμεση και έμμεση εισροή πόρων και/ή στις εκπομπές των προϊόντων «από το λίκνο στον τάφο». Η βαθύτερη φιλοσοφία είναι να ληφθούν υπόψη στις οι περιβαλλοντικές επιδράσεις κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής των προϊόντων. Αυτές οι περιβαλλοντικές αξιολογήσεις προϊόντων ονομάζονται μέθοδοι αξιολόγησης επιδράσεων (LCA methods) (Huijbregts et al., 2008).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) αποτελεί το τρίτο στάδιο μιας αξιολόγησης κύκλου ζωής και περιλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά ζητήματα:

- Ορισμός κατηγοριών επίδρασης (Category definition)
- Ταξινόμηση των δεδομένων (Classification of inventory input and output data)
- Χαρακτηρισμός των δεδομένων (Characterization)
- Στάθμιση (Valuation/ Weighting)

Η Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής πραγματοποιείται μέσα από την εφαρμογή διαφορετικών μεθοδολογιών που αντιστοιχούν, όσο το δυνατόν καλύτερα, κάθε αποτέλεσμα απογραφής του κύκλου ζωής (Life Cycle Inventory Result, LCI result) στις αντίστοιχες περιβαλλοντικές επιδράσεις (Jolliet et al., 2003).

Για την εφαρμογή των διαφόρων μεθοδολογιών εκτίμησης επιπτώσεων του κύκλου ζωής είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση μιας βάσης δεδομένων η οποία θα παρέχει τα αποτελέσματα στις LCI και στις LCIA. Οι μεθοδολογίες LCIA αναθέτουν ένα συντελεστή σε μία στοιχειώδη ροή ενός πίνακα απογραφής. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι συντελεστών στις περιγράφονται σύντομα στον πίνακα 4-1.

Πίνακας 4-1: Τύποι συντελεστών που παρέχονται από στις μεθόδους LCIA

Όνομα συντελεστή	Περιγραφή
Συντελεστής χαρακτηρισμού (Characterization factor)	Η σημαντικότητα μιας ροής σε σχέση με μία συγκεκριμένη βασική ροή χαρακτηρίζεται με έναν συντελεστή, π.χ. το δυναμικό στις υπερθέρμανσης του πλανήτη αερίων φαινομένου θερμοκηπίου σε σχέση με το CO ₂ .
Κανονικοποιημένος συντελεστής (Normalized factor)	Στις συντελεστής χαρακτηρισμού κανονικοποιείται με διαίρεση μέσω του συνολικού ποσού των ροών χαρακτηρισμού σε μια συγκεκριμένη περιοχή και σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
Σταθμισμένος συντελεστής (Weighted factor)	Εφαρμόζεται στα κανονικοποιημένα ή στα αποτελέσματα χαρακτηρισμού διαφορετικών κατηγοριών ώστε να υπολογιστεί ένα τελικό σκορ.
Συντελεστής βλάβης (Damage factor)	Με αυτό το συντελεστή περιγράφεται η πιθανή βλάβη που οφείλεται σε κάποια εκπομπή. Αυτό μπορεί να συμπεριλάβει τη μοντελοποίηση για την περιβαλλοντική υποβάθμιση, το χαρακτηρισμό των ουσιών και την τελική στάθμιση.

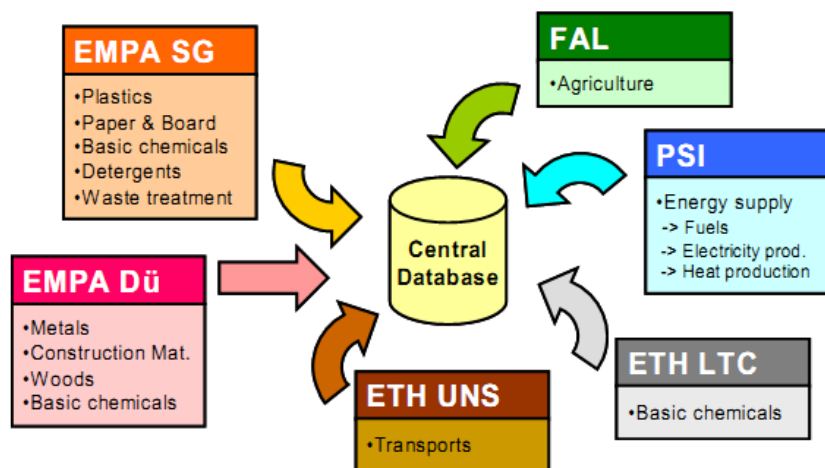
Υπάρχουν πολλές βάσεις δεδομένων που παρέχουν τα απαραίτητα δεδομένα απογραφής για το στάδιο της LCI. Οι ecoinvent v.2, US LCI, ELCD, US Input Output, EU and Danish Input Output, Swiss Input Output, LCA Food, Industry data v.2 αποτελούν τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες και αξίζει να σημειωθεί ότι παρέχονται και από το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, το SimaPro, το οποίο θα αναλυθεί περεταίρω στο κεφάλαιο 5.

4.2 Η βάση δεδομένων ecoinvent

Σε αυτή την εργασία τα δεδομένα στις απογραφές του κύκλου ζωής λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων ecoinvent που έχει αναπτυχθεί από το Κέντρο ecoinvent στην Ελβετία. Χρησιμοποιείται από περίπου 4.500 χρήστες σε πάνω από 40 χώρες παγκοσμίως.

Η βάση δεδομένων παρέχει με συνέπεια και διαφάνεια δεδομένα LCI σε πεδία ενέργειας (θερμότητα, μη ανανεώσιμες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας), υλών (πλαστικά, χημικά, μέταλλα, αγροτικά προϊόντα και υλικά δόμησης), μεταφοράς (μέσω των οδών, πλοίων, τρένου, αερομεταφορών και σωληνώσεων) και διαχείρισης απορριμμάτων (υγειονομική ταφή, αποτέφρωση και ανακύκλωση) (Huijbregts et al., 2008). Πιο συγκεκριμένα τα δεδομένα απογραφής δίνονται για τους κλάδους: γεωργίας, προμήθειας ενέργειας, μεταφορών, βιοκαυσίμων και βιοϋλικών, ειδικών χημικών, υλικών κατασκευής, υλικών συσκευασίας, βασικών και πολύτιμων μετάλλων, επεξεργασίας μετάλλων, τεχνολογίας πληροφορικής και επικοινωνιών και ηλεκτρονικών καθώς και διαχείρισης αποβλήτων (www.ecoinvent.org).

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ελβετικοί οργανισμοί που συνέβαλαν στη δημιουργία στις βάσεις δεδομένων.



Οργανισμός	Αρμοδιότητα
EMPA	Ελβετικό Ομοσπονδιακό Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνολογίας των Υλικών – Ανάπτυξη λύσεων για προβλήματα που αντιμετωπίζει η βιομηχανία και η κοινωνία σε πεδία ενέργειας, περιβάλλοντος, υγείας και ασφάλειας.
ETH	Πανεπιστήμιο στις Ζυρίχης με ενασχόληση στα πεδία μηχανικής, επιστήμης, τεχνολογίας, μαθηματικών και διοίκησης (www.ethz.ch).
FAL	Federal Agricultural Research Center. Το Ομοσπονδιακό Κέντρο Γεωργικής Έρευνας χωρίζεται σε τέσσερα πεδία: Χώμα/έδαφος, Ζώα, Τεχνολογία, Γεωργική οικονομία.
PSI	Ερευνητικό κέντρο στην Ελβετία επιστημών στις φυσικής και στις μηχανικής στα πεδία: ύλης και υλικών, ενέργειας και περιβάλλοντος και ανθρώπινης υγείας (www.psi.ch) με έρευνα στις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η κοινωνία, η βιομηχανία και η επιστήμη.

Σχήμα 4-1: Σύνοψη στις ecoinvent βάσης δεδομένων

Η ecoinvent ενημερώνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα και καλύπτει ένα ευρύ σύνολο δεδομένων. Είναι διαθέσιμη για μοναδιαίες διαδικασίες και για συστήματα διαδικασιών, παρέχει σταθερή εφαρμογή των ορίων του συστήματος, καθώς και εξειδίκευση των δεδομένων αβεβαιότητας, σαν λογαριθμική κατανομή με τυπική απόκλιση.

Κάθε διαδικασία παρουσιάζεται σε δύο εκδοχές: μοναδιαίες διαδικασίες και συστήματα διαδικασιών. Η εκδοχή στις μοναδιαίες διαδικασίες περιέχει μόνο εκπομπές και εισροές πόρων από μία διαδικασία, με αναφορές σε εισροές από στις μοναδιαίες διαδικασίες. Για παράδειγμα, η μοναδιαία διαδικασία παραγωγής χάλυβα περιέχει μόνο μεταφορές ζεστού μετάλλου και στις εισροές υλικών στο μετατροπέα, την παραγωγή χάλυβα και την έκχυση. Αυτό σημαίνει ότι η μοναδιαία διαδικασία ξεκινά στο σημείο όπου το λιωμένο μέταλλο έρχεται από μία άλλη διαδικασία. Το περιβαλλοντικό φορτίο που συνδέεται με την παρασκευή μετάλλου περιγράφεται σε μία σειρά από άλλες διαδικασίες. Όταν επιλέγεται αυτή η διαδικασία στο SimaPro θα συμπεριληφθούν αυτομάτως όλες οι ανάντη διαδικασίες.

Η εκδοχή του συστήματος διαδικασιών για την ίδια διαδικασία δείχνει ότι όλες οι εκπομπές από την εξόρυξη μέχρι την κατασκευή του χάλυβα είναι ήδη στη διαδικασία στις καταγραφές, καθώς στις δεν υπάρχουν συνδέσεις με άλλες διαδικασίες. Στην ουσία, το σύστημα διαδικασιών είναι ένα «μαύρο κουτί», το αποτέλεσμα μιας συνολικής LCA στην παραγωγή χάλυβα (SimaPro, 2010).

4.3 Παρουσίαση μεθοδολογιών

4.3.1 Γενικά

Το SimaPro περιέχει έναν αριθμό μεθοδολογιών αξιολόγησης επιπτώσεων οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων αξιολόγησης επιπτώσεων. Η δομή των μεθόδων ακολουθεί τη δομή του σταδίου LCIA της LCA και περιλαμβάνει:

1. Το Χαρακτηρισμό (Characterization)

Οι ουσίες που συμβάλλουν σε μία κατηγορία επιπτώσεων πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή χαρακτηρισμού ο οποίος εκφράζει τη σχετική συμβολή της ουσίας. Για παράδειγμα, ο συντελεστής χαρακτηρισμού του CO₂ στην κατηγορία επιπτώσεων Κλιματική αλλαγή μπορεί να είναι ίσος με 1, ενώ αυτός του μεθανίου μπορεί να είναι 21. Αυτό σημαίνει ότι η απελευθέρωση 1kg μεθανίου έχει τα ίδια αποτελέσματα στην κλιματική αλλαγή με 21kg CO₂. Το τελικό αποτέλεσμα εκφράζεται σαν δείκτης κατηγορίας επιπτώσεων.

2. Την Αξιολόγηση Βλαβών (Damage Assessment)

Η αξιολόγηση βλαβών είναι ένα σχετικά νέο βήμα στην αξιολόγηση επιδράσεων. Έχει προστεθεί για να χρησιμοποιηθεί στις μεθόδους προσανατολισμένες στη βλάβη, στις η Eco-indicator 99 και η EPS2000. Ο σκοπός στις αξιολόγησης βλαβών είναι να συνδυάσει έναν αριθμό δεικτών κατηγοριών επιπτώσεων σε μία κατηγορία βλαβών (καλείται επίσης περιοχή προστασίας).

3. Την Κανονικοποίηση (Normalization)

Πολλές μέθοδοι επιτρέπουν στα αποτελέσματα των δεικτών να συγκριθούν με μία τιμή αναφοράς, με διαίρεση του αποτελέσματος με αυτή την τιμή. Η ιδέα της κανονικοποίησης είναι να αναλύσει το σχετικό μερίδιο κάθε επίδρασης στη συνολική βλάβη εφαρμόζοντας κατάλληλους συντελεστές (Jolliet et al., 2003). Μία συνήθης αναφορά είναι το μέσο ετήσιο περιβαλλοντικό φορτίο σε μία χώρα ή ήπειρο, διαιρεμένο με τον αριθμό των κατοίκων. Με την κανονικοποίηση οι δείκτες κατηγοριών επίδρασης δέχονται την ίδια μονάδα μέτρησης, κάτι που καθιστά εύκολη τη σύγκρισή τους. Μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού όσο και στα αποτελέσματα αξιολόγησης βλαβών.

4. Τη Στάθμιση (Weighting)

Κάποιες μέθοδοι επιτρέπουν τη στάθμιση των κατηγοριών επιπτώσεων – τα αποτελέσματα των δεικτών κατηγοριών επίδρασης ή βλαβών πολλαπλασιάζονται με συντελεστές στάθμισης και προστίθενται για τη δημιουργία στις συνολικού σκορ. Η στάθμιση μπορεί να εφαρμοστεί σε κανονικοποιημένα και μη αποτελέσματα, διότι κάποιες μέθοδοι όπως η EPS 2000 δεν διαθέτουν αυτό το στάδιο. Στο SimaPro υπάρχουν συχνά διαθέσιμα εναλλακτικά σύνολα στάθμισης, σε συνδυασμό με ένα σύνολο κανονικοποίησης.

Τα τελευταία τρία στάδια είναι προαιρετικά στις έχει ήδη αναφερθεί σύμφωνα με τα πρότυπα ISO. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι πάντα διαθέσιμα σε όλες τις μεθόδους.

Για την ερμηνεία της εξειδικευμένης χρήσης πόρων και εκπομπών ανά προϊόν, δύο τάξεις LCA μεθόδων μπορούν να αναγνωριστούν ότι παράγουν ένα μοναδικό αποτέλεσμα-σκορ (single score) για κάθε προϊόν που αξιολογείται. Η πρώτη τάξη μεθόδων χρησιμοποιεί δείκτες που στοχεύουν στην ανάλυση όλων των πιθανών περιβαλλοντικών επιδράσεων που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μπορεί να αποτελέσει η μέθοδος αξιολόγησης Eco-indicator 99, η οποία εστιάζει στην ποσοτικοποίηση των επιδράσεων στην ανθρώπινη υγεία, την ποιότητα του οικοσυστήματος και τους πόρους. Το τελικό σκορ λαμβάνεται εφαρμόζοντας συντελεστές στάθμισης που βασίζονται στις προτιμήσεις ενός συνόλου εμπλεκομένων. Η δεύτερη τάξη μεθόδων εισάγει δείκτες σχετικούς με τις εισόδους, για παράδειγμα που βασίζονται στη χρήση γης, ενέργειας και υλικών. Οι εισοδοί μπορούν να αξιολογούνται με σχετικά υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης και θεωρούνται ότι είναι ενδεικτικοί της συνολικής περιβαλλοντικής επίδοσης. Ένα παράδειγμα αυτής της τάξης είναι η μέθοδος της Συσσωρευμένης Ενεργειακής Ζήτησης (Cumulative Energy Demand, CED), η οποία ποσοτικοποιεί την ενέργεια που απαιτείται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (Huijbregts et al., 2008).

Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά σε όλες τις μεθόδους αξιολόγησης επιπτώσεων (IMPACT 2002+, TRACI 2, EPS 2000, ECO-INDICATOR 99, ECOLOGICAL FOOTPRINT, CUMULATIVE ENERGY DEMAND, CUMULATIVE EXERGY DEMAND, ECOSYSTEM DAMAGE POTENTIAL-EDP, EDIP 2003, CML 2001, IPCC 2001 GWP, EPD 2007, ReCiPe) που περιέχονται στο SimaPro και υποστηρίζονται από τη βάση ecoinvent. Από το σύνολο των μεθόδων χρησιμοποιήθηκαν η CML 2001, η ECO-INDICATOR 99, η EPS 2000, η IMPACT 2002+ και η ReCiPe, οι οποίες έχουν κοινά χαρακτηριστικά, μπορούν να συγκριθούν και καλύπτουν μεγαλύτερο εύρος περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων.

4.3.2 Παρουσίαση μεθοδολογιών

Ο δείκτης κάθε κατηγορίας μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο ανάμεσα στα αποτελέσματα της LCI και την κατηγορία βλάβης (damage category), όπου πραγματοποιείται η περιβαλλοντική επίδραση, στην αλυσίδα αιτίου-αποτελέσματος. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο έχουν αναπτυχθεί δύο ομάδες μεθόδων:

α) Οι κλασικές μέθοδοι αξιολόγησης επιδράσεων περιορίζουν την ποσοτική μοντελοποίηση σε σχετικά αρχικά στάδια της αλυσίδας αιτίου-αποτελέσματος για να περιορίσουν τις αβεβαιότητες και να ταξινομήσουν και να χαρακτηρίσουν τα αποτελέσματα του LCI στις αποκαλούμενες μέσες (midpoint) κατηγορίες. Τα θέματα των κατηγοριών είναι κοινοί μηχανισμοί (π.χ. κλιματική αλλαγή) ή κοινά αποδεκτή ομαδοποίηση (π.χ. υδρόβια οικοτοξικότητα).

Β) Μέθοδοι προσανατολισμένες στη βλάβη που προκαλείται (damage oriented methods) προσπαθούν να μοντελοποιήσουν την αλυσίδα αιτίου-αποτελέσματος σε σχέση με την καταστροφή, κάθε φορά με υψηλή αβεβαιότητα.

Πρόσφατα, η μελέτη της UNEP/SETAC Πρωτοβουλίας Κύκλου Ζωής (UNEP/SETAC Life Cycle Initiative) πρότεινε τη χρήση των πλεονεκτημάτων και των δύο προσεγγίσεων ομαδοποιώντας όμοιες τελικές κατηγορίες (endpoint categories) σε ένα δομημένο σύνολο κατηγοριών καταστροφής. Επιπλέον, η ιδέα λειτουργεί και με τις μέσες κατηγορίες, κάθε μέση κατηγορία (midpoint category) σχετίζεται με μία ή περισσότερες κατηγορίες βλάβης.

4.3.2.1 EPS 2000

Εισαγωγή

Η Environmental Priority Strategy, EPS (Στρατηγική Περιβαλλοντικής Προτεραιότητας) στον σχεδιασμό προϊόντος είναι μία μέθοδος προσανατολισμένη στις «βλάβες» (damage oriented method). Πρόκειται για μία περιβαλλοντικά υπεύθυνη μέθοδο, η οποία περιγράφει τις επιδράσεις (αλλαγές) στο σύγχρονο διεθνές περιβάλλον σαν επιπτώσεις σε συγκεκριμένα θέματα προστασίας: βιοποικιλότητα, παραγωγή, ανθρώπινη υγεία, πόροι και αισθητικές αξίες. Οι κανόνες και η ορολογία της μεθόδου έρχονται σε συμφωνία με τα πρότυπα ISO για την LCA.

Ο στόχος της μεθόδου είναι να αξιολογήσει την προστιθέμενη αξία όλων των μορφών επιπτώσεων, να αποσαφηνίσει το μέγεθος της επίπτωσης (σε χρηματικούς όρους, για ευκολότερη στάθμιση ανάμεσα σε άλλα αντικείμενα που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την ανάπτυξη προϊόντων) και να παρέχει έναν τόπο συζήτησης για την ανάπτυξη της περιβαλλοντικής στρατηγικής ενός προϊόντος. Το σύστημα EPS αναπτύχθηκε σαν ένα εργαλείο για τους σχεδιαστές στην ανάπτυξη προϊόντων μέσα στις εταιρείες για χρήση για άλλους σκοπούς όπως περιβαλλοντικές δηλώσεις,

αγοραστικές αποφάσεις, εκπαίδευση ή περιβαλλοντική υπευθυνότητα απαιτούν γνώση των χαρακτηριστικών και των περιορισμών της (ecoinvent).

Αρχές συστήματος EPS

Η «top-down» αρχή (top-down principle) – Υψηλότερη προτεραιότητα δίνεται στη χρησιμότητα του συστήματος

Το σύστημα EPS δημιουργήθηκε ακολουθώντας μια «από τη βάση προς την κορυφή» προσέγγιση ξεκινώντας από το τί θα ήθελαν να γνωρίζουν οι σχεδιαστές ώστε να μπορέσουν να αποφασίσουν ποιες περιβαλλοντικές ανησυχίες θα ακολουθήσουν σε μια επιλογή ανάμεσα σε δύο ιδέες για κάποιο προϊόν. Αυτή η προσέγγιση σημαίνει ότι ζητήματα «κοντά» στην απόφαση θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν από αυτά που δίνουν τις βασικές πληροφορίες, καθώς επίσης οι πρόχειροι υπολογισμοί γίνονται στην αρχή. Η ποιότητα βελτιώνεται αν η εμπειρία από την ανάλυση ευαισθησίας πραγματικών περιπτώσεων έχει δείξει ότι έχει νόημα σε σύγκριση με άλλα ζητήματα.

Η αρχή «index» (index principle) – Δείκτες που αντιπροσωπεύουν τις σταθμισμένες και μετά από σύνθεση επιπτώσεις

Ο χρήστης του συστήματος EPS πρέπει να μπορεί να περιγράφει τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος σε σχέση με υλικά και διαδικασίες για τις οποίες πρέπει να είναι διαθέσιμες σταθμισμένες αξιολογήσεις επιδράσεων με τη μορφή δεικτών. Οι δείκτες θα αντιπροσωπεύουν τη σύνθεση των περιβαλλοντικών επιδράσεων της παραγωγής, της διάθεσης και της διαχείρισης αποβλήτων των υλικών. Τα αποτελέσματα της καταγραφής των ροών για τη δραστηριότητα που εξετάζεται πολλαπλασιάζονται με κατάλληλους συντελεστές κι έπειτα προστίθενται δίνοντας μια συνολική αξία. Το συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο εκφράζεται σε ELU (Environmental Load Units) σύμφωνα με την «πρόθεση να πληρώσει κανείς» (willingness to pay, WTP) – στις σημερινές οικονομίες 1 ELU ισούται με 1 ευρώ.

Η αρχή «default» (- Χρειάζεται μια λειτουργική μέθοδος σαν προκαθορισμένη

Η χρήση μιας προκαθορισμένης default προσέγγισης στο σχεδιασμό του συστήματος EPS είναι ένας τρόπος χειρισμού της γρήγορης απόφασης σε σχέση με ποια εναλλακτική προϊόντος πρέπει να προτιμηθεί και το γεγονός ότι μπορεί να υπάρχουν διαφορετικές απαντήσεις. Η προκαθορισμένη προσέγγιση μπορεί να είναι ένα μέσο επικοινωνίας και προβολής της περιβαλλοντικής στρατηγικής της εταιρείας προς τους σχεδιαστές. Επιπλέον, η αναλυτική διαδικασία θα είναι πιο γρήγορη. Αντί να πραγματοποιηθεί μια LCA με όλους τους πιθανούς εναλλακτικούς τρόπους κι έπειτα να εξαχθούν συμπεράσματα, η προκαθορισμένη μέθοδος χρησιμοποιείται και με βάση τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης ευαισθησίας όπου ερευνώνται οι εναλλακτικές επιλογές.

Η αρχή αβεβαιότητας (uncertainty principle) – Πρέπει να εκτιμηθεί η αβεβαιότητα στα δεδομένα εισροών

Γενικά στην LCA, και πιο συγκεκριμένα στην LCIA, είναι αναπόφευκτες οι αβεβαιότητες. Κυρίως η τοποθεσία μιας εκπομπής είναι άγνωστη κι έτσι οι επιδράσεις υπολογίζονται με μεγάλη αβεβαιότητα. Πολλοί ειδικοί της LCA συστήνουν τη χρήση του όρου «δυναμικές επιδράσεις». Αυτός ο όρος χρησιμοποιείται επίσης στα πρότυπα ISO 14040 και 14042 για να δείξει ότι δεν είναι ξεκάθαρη η σχέση ανάμεσα στο αποτέλεσμα μιας LCIA και στις πραγματικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση δεν εξηγεί το τι σημαίνει «δυναμικές επιδράσεις» σε ποσοτικούς όρους και ο χρήστης των αποτελεσμάτων δυσκολεύεται να τα ερμηνεύσει. Στο σύστημα EPS, η αρχή της αβεβαιότητας υιοθετήθηκε σε ένα αρχικό στάδιο, δηλώνοντας ότι τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση θα πρέπει να συνοδεύονται από ποσοτική εκτίμηση της αβεβαιότητας (Steen, 1999).

Σχετικά με την ταξινόμηση, οι εκπομπές και οι πόροι αντιστοιχίζονται στις κατηγορίες επιπτώσεων όταν οι επιπτώσεις είναι πιθανό να συμβούν στο περιβάλλον, βασισμένες σε πιθανή έκθεση. Ακολουθεί η παρουσίαση των κατηγοριών επιπτώσεων και των δεικτών που περιέχει η καθεμιά. Οι κατηγορίες επιπτώσεων αντιπροσωπεύουν πέντε σημαντικά θέματα:

- Ανθρώπινη υγεία
Προσδόκιμο ζωής, εκφρασμένο σε Έτη χαμένης ζωής (άτομα ανά έτος)
Σοβαρή νοσηρότητα και δυσαναστένωση (άτομα ανά έτος)
Νοσηρότητα (άτομα ανά έτος), όπως κρύωμα ή γρίπη
Σοβαρή ενόχληση, σε άτομα ανά έτος
Ενόχληση, σε άτομα ανά έτος, ενοχλητική αλλά χωρίς να προκαλεί κάποια άμεση δράση
- Ικανότητα παραγωγής οικοσυστήματος
Ικανότητα παραγωγής σιτηρών, σε kg βάρους στη συγκομιδή
Ικανότητα παραγωγής ξύλου, σε kg ξηρού βάρους
Ικανότητα παραγωγής ψαριού και κρέατος
Ικανότητα παραγωγής νερού (πόσιμου και ύδρευσης)
- Αποθεματικά σε αβιοτικούς πόρους
Μείωση αποθεμάτων σε στοιχεία
Μείωση αποθεμάτων σε φυσικό αέριο, πετρέλαιο και άνθρακα
Μείωση αποθεμάτων σε ορυκτούς πόρους
- Βιοποικιλότητα
Εξαφάνιση των ειδών
- Πολιτιστικές και ψυχαγωγικές αξίες

Οι αλλαγές σε αυτές τις αξίες είναι δύσκολο να περιγραφούν με δείκτες, επειδή η φύση τους είναι πολύ συγκεκριμένη και ποιοτική.

Αναφορικά με την κανονικοποίηση και τη στάθμιση, στην προκαθορισμένη μέθοδο EPS, πραγματοποιούνται μέσω αξιολόγησης. Οι συντελεστές κανονικοποίησης/στάθμισης αντιπροσωπεύουν την προθυμία να πληρώσει κανείς για την αποφυγή των αλλαγών. Η περιβαλλοντική αναφορά είναι η παρούσα κατάσταση του περιβάλλοντος. Η ενδεικτική μονάδα είναι η Μονάδα Περιβαλλοντικού Φορτίου (Environmental Load Unit, ELU).

4.3.2.2 Οικολογικό αποτύπωμα (Ecological Footprint)

Το οικολογικό αποτύπωμα ορίζεται σαν τη βιολογικά παραγωγική γη και το νερό που χρειάζεται ένας πληθυσμός για να παράγει τους πόρους που καταναλώνει και για να απορροφήσει μέρος των απορριμμάτων που παράγονται από την κατανάλωση ορυκτών και πυρηνικών καυσίμων. Στα πλαίσια της LCA, το οικολογικό αποτύπωμα ενός προϊόντος ορίζεται σαν το άθροισμα της έμμεσης και της άμεσης χρήσης γης που σχετίζεται με τη χρήση πυρηνικής ενέργειας και τις εκπομπές CO₂ από τη χρήση ενέργειας από ορυκτά (Huijbregts et al., 2008):

$$EF = EF_{direct} + EF_{CO_2} + EF_{nuclear}$$

Ωστόσο, η χρησιμότητα του οικολογικού αποτυπώματος σαν ένας αυτόνομος δείκτης για την περιβαλλοντική επίδραση είναι περιορισμένη για τους κύκλους ζωής προϊόντων με σχετικά μεγάλη κατανάλωση ορυκτών και μετάλλων σε συγκεκριμένες διαδικασίες καθώς και εκπομπές σκόνης.

Η κανονικοποίηση δεν αποτελεί μέρος αυτής της μεθόδου. Με στόχο τη λήψη ενός αποτυπώματος, κάθε κατηγορία επιπτώσεων λαμβάνει το συντελεστή στάθμισης 1.

4.3.2.3 Ecosystem Damage Potential (EDP)

Το Ecosystem Damage Potential – EDP (Δυνητική Βλάβη Οικοσυστημάτων) είναι μία μεθοδολογία αξιολόγησης επιδράσεων του κύκλου ζωής για το χαρακτηρισμό της χρήσης και της μετατροπής γης που έχει αναπτυχθεί από το Swiss Federal Institute of Technology – ETH (Ελβετικό Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Τεχνολογίας) στη Ζυρίχη. Βασίζεται στην αξιολόγηση επιδράσεων της χρήσης γης στη διαφοροποίηση των ειδών.

Η χρήση γης είναι μια οικονομική δραστηριότητα που αποφέρει πολλαπλά οφέλη στην ανθρώπινη κοινωνία. Ωστόσο, ένα μειονέκτημα είναι ότι προκαλεί πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα έως και σήμερα. Η βιοποικιλότητα για παράδειγμα έχει επηρεαστεί αρνητικά από την έντονη αγροκαλλιέργεια, τη δασοκομία και την αύξηση των αστικών περιοχών και των υποδομών.

Χαρακτηρισμός

Αυτή η μέθοδος δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας εμπειρική πληροφορία στην ποικιλία των ειδών από την Κεντρική Ευρώπη. Με βάση την πληροφορία για την ποικιλία των ειδών σε 5581 δείγματα υπολογίστηκαν οι συντελεστές χαρακτηρισμού για πενήντα τρεις τύπους χρήσης γης και έξι τάξεις έντασης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος είναι προσανατολισμένη στα τελικά αποτελέσματα (*endpoint oriented*).

Ο συντελεστής επίπτωσης για την άγνωστου τύπου χρήση γης (ref) πριν ή μετά τη μετατροπή γης επιλέγεται σαν $EDP(ref) = 0.80$. Αυτό αντιπροσωπεύει το μέγιστο EDP, δηλαδή τον τύπο χρήσης γης με τη μεγαλύτερη αρνητική επίδραση.

Οι διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων που εφαρμόζονται στο SimaPro είναι:

- «μετασχηματισμός γης» σαν αποτέλεσμα της πρόσθεσης του «μετασχηματισμού, από τη χρήση γης τύπου i» και «μετασχηματισμού, σε χρήση γης τύπου i»
- «απασχόληση γης»

Οι συντελεστές για «μετασχηματισμό, από τη χρήση γης τύπου i» και «μετασχηματισμό, σε χρήση γης τύπου i» υπολογίζονται σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις.

Για το μετασχηματισμό από i: (1)

$$EDP_{trans_from} = 0.5 * (EDP(ref) - EDP(occupation from land use type i)) * restoration\ time$$

Για το μετασχηματισμό σε i: (2)

$$EDP_{trans_to} = 0.5 * (EDP(occupation from land use type i) - EDP(ref)) * restoration\ time$$

Η βλάβη από τη συγκεκριμένη μετατροπή υπολογίζεται τελικά σαν:

$$EDP_{trans} = EDP_{trans_from} + EDP_{trans_to} \quad (3)$$

Οι συντελεστές για «occupation, land use type i», «restoration time», «transformation, from land use type i» και «transformation, to land use type i» δίνονται σε πίνακες από την ecoinvent.

Κανονικοποίηση και στάθμιση

Η κανονικοποίηση δεν είναι μέρος αυτής της μεθόδου για το SimaPro.

Οι δύο κατηγορίες επιπτώσεων εκφράζονται με την ίδια μονάδα (σε πόντους) και στο SimaPro έχει προστεθεί το βήμα της στάθμισης – σε κάθε κατηγορία δίνεται ο συντελεστής στάθμισης 1.

4.3.2.4 Cumulative Energy Demand (CED)

Η Ανάλυση Συσσωρευμένων Απαιτήσεων σε Ενέργεια (Cumulative Energy Requirements Analysis – CERA) στοχεύει στην αναγνώριση της χρήσης ενέργειας μέσα στον κύκλο ζωής ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας. Αυτό συμπεριλαμβάνει τις άμεσες χρήσεις όπως και τις έμμεσες ή τη «γκρι» κατανάλωση ενέργειας εξαιτίας της χρήσης, για παράδειγμα κατασκευαστικών υλικών ή πρώτων υλών.

Σύμφωνα με το Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf (1997) «τα δεδομένα στη συσσωρευμένη ενεργειακή ζήτηση συνθέτουν μία σημαντική βάση με στόχο να βρεθούν οι προτεραιότητες της δυνητικής ενεργειακής εξοικονόμησης στη σύνθετη σχέση τους ανάμεσα στο σχεδιασμό, την παραγωγή, τη χρήση και την απόρριψη». Ωστόσο, η CED χρησιμοποιείται ευρέως σαν δείκτης παρακολούθησης για περιβαλλοντικές επιδράσεις. Επίσης, οι τιμές-CED μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μιας αναλυτικής μελέτης LCA με άλλες όπου καταγράφεται μόνο η πρωτογενής ζήτηση ενέργειας. Τέλος, τα αποτελέσματα-CED μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ελέγχους αληθοφάνειας διότι είναι αρκετά εύκολο να κρίνει κανείς με βάση τη CED ακόμα κι έχουν γίνει σημαντικά λάθη.

Η ανάλυση CED μπορεί να είναι ένα καλό «σημείο εισόδου» στην ιδέα του κύκλου ζωής. Εντούτοις, δεν αντικαθιστά μια αξιολόγηση με τη βοήθεια κατανοητών μεθόδων αξιολόγησης επιδράσεων, όπως η Eco-Indicator 99, κ.ά. Αν είναι διαθέσιμες πιο λεπτομερείς πληροφορίες στα περιβαλλοντικά βάρη και πιο συγκεκριμένα σε συγκεκριμένες εκπομπές διαδικασιών είναι πιο αξιόπιστα τα αποτελέσματα αυτών των μεθόδων. Στην ουσία, η CED έχει νόημα μόνο σε συνδυασμό με την εφαρμογή άλλων μεθόδων.

Υπάρχουν διάφορες ιδέες για τον καθορισμό των πρωταρχικών απαιτήσεων ενέργειας: για τους CED υπολογισμούς κάποιος μπορεί να επιλέξει τη χαμηλότερη και την υψηλότερη θερμογόνο αξία των κύριων ενεργειακών φορέων, όπου το τελευταίο περιλαμβάνει την ενέργεια εξάτμισης του νερού μέσα στο καπναέριο. Επίσης, μπορούμε να διαχωρίσουμε ανάμεσα στις ενεργειακές απαιτήσεις των ανανεώσιμων και των μη-ανανεώσιμων πηγών, καθώς επίσης υπάρχουν και διάφοροι τρόποι για το χειρισμό της πυρηνικής και της υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Χαρακτηρισμός

Οι συντελεστές χαρακτηρισμού δίνονται για τους ενεργειακούς πόρους και χωρίζονται σε οκτώ κατηγορίες σύμφωνα με την ecoinvent όπως φαίνονται στον πίνακα 4-2.

Πίνακας 4-2: Κατηγορίες αξιολόγησης επιδράσεων για την CED από την ecoinvent

	υποκατηγορία	περιλαμβάνεται:
μη ανανεώσιμες πηγές	ορυκτά	άνθρακας, λιγνίτης, μαζούτ, φυσικό αέριο, τέφρα
	πυρηνικά	ουράνιο
	πρωτογενής δασοκομία	ξύλο και βιομάζα από πρωτογενή δάση
ανανεώσιμες πηγές	βιομάζα	ξύλο, προϊόντα τροφίμων, βιομάζα από την αγροκαλλιέργεια
	άνεμος	αιολική ενέργεια
	ήλιος	ηλιακή ενέργεια(για θερμότητα και ηλεκτρισμό)
	γεωθερμία	γεωθερμική ενέργεια (βάθος: 100-300m)
	νερό	υδροηλεκτρική ενέργεια

Κανονικοποίηση και στάθμιση

Η κανονικοποίηση δεν αποτελεί μέρος αυτής της μεθόδου. Σχετικά με τη στάθμιση, με στόχο την εξαγωγή μιας συνολικής («συσσωρευμένης») ενεργειακής απαίτησης, σε κάθε κατηγορία επιπτώσεων δίνεται ο συντελεστής στάθμισης 1 στο στάδιο αυτό.

4.3.2.5 Cumulative Exergy Demand (CExD)

Εισαγωγή

Η ενέργεια και η ύλη που χρησιμοποιούνται σε μία κοινωνία δεν καταστρέφονται αλλά μετασχηματίζονται. Αυτό που καταναλώνεται και τελικά εξαντλείται είναι η χρησιμοποιήσιμη ενέργεια και ύλη. Η εξέργεια είναι ένα μέτρο αυτής της χρήσιμης ενέργειας. Ο δείκτης Συσσωρευμένης Ζήτησης Ενέργειας (Cumulative Exergy Demand – CExD) δημιουργήθηκε για να απεικονίσει τη συνολική αφαίρεση εξέργειας από τη φύση για την παροχή ενός προϊόντος. Για την ποσοτικοποίηση της ζήτησης εξέργειας του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, ο δείκτης της CExD ορίζεται ως το άθροισμα όλων των πόρων που απαιτούνται για την παροχή μιας διαδικασίας ή ενός προϊόντος (Bösch et al., 2007).

Η CExD εκτιμά την ποιότητα της ενεργειακής απαίτησης (και όχι το ενεργειακό περιεχόμενο) και περιλαμβάνει την εξέργεια των ενεργειακών φορέων καθώς και των μη ενεργειακών υλικών. Με άλλα λόγια, η εξέργεια είναι ένα μέτρο για την ποιότητα και το χρήσιμο «έργο» που μπορεί να προσφέρει ένας συγκεκριμένος ενεργειακός φορέας. Για παράδειγμα, το φυσικό αέριο έχει μία υψηλή αξία εξέργειας, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία υψηλών θερμοκρασιών ατμού υψηλής πίεσης. Αν το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται για τη θέρμανση ενός σπιτιού σε ένα πολύ αποδοτικό λέβητα, ένα πολύ μικρό ενεργειακό περιεχόμενο χάνεται, αλλά το περιεχόμενο της εξέργειας χάνεται εντελώς (δεν υπάρχει χρησιμότητα νερού θερμοκρασίας 50-80 βαθμών κελσίου).

Χαρακτηρισμός

Η ιδέα της εξέργειας εφαρμόστηκε στους πόρους που περιλαμβάνονται στη βάση δεδομένων της ecoinvent, και αποθηκεύεται με τη μορφή χημικής, θερμικής, αιολικής, δυναμικής, πυρηνικής και ενέργειας ακτινοβολίας. Στο SimaPro αυτή η μέθοδος έχει ληφθεί άμεσα από την ecoinvent και με βάση αυτή τη βάση δεδομένων οι δείκτες κατηγορίας επίδρασης ομαδοποιούνται σε οκτώ κατηγορίες πόρων: ορυκτά, πυρηνικά, υδροηλεκτρικά, βιομάζα, άλλα ανανεώσιμα, νερό, ορυκτά και μέταλλα. Στο SimaPro παρουσιάζονται οι ακόλουθες κατηγορίες επίδρασης:

- Μη ανανεώσιμα, ορυκτά
- Μη ανανεώσιμα, πυρηνικά
- Ανανεώσιμα, αιολικά
- Ανανεώσιμα, ηλιακά
- Ανανεώσιμα, δυναμικά
- Μη ανανεώσιμα, πρωτογενή
- Ανανεώσιμα, βιομάζα
- Ανανεώσιμα, νερό
- Μη ανανεώσιμα, μέταλλα

Η εξέργεια εκφράζεται σε ισοδύναμα MJ για να επισημανθεί ότι πρόκειται για ένα δείκτη αξιολόγησης επιδράσεων και όχι για μία βασική ροή απογραφής και ορίζεται σαν το άθροισμα της εξέργειας των απαιτούμενων πόρων, όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση (Bösch et al., 2007):

$$CExD = \sum_i m_i * Ex_{(ch),i} + \sum_j n_j * r_{ex-e(k,p,n,r,t),j}$$

CExD	συσσωρευμένη ενεργειακή ζήτηση ανά μονάδα προϊόντος ή διαδικασίας (MJ-eq)
m_i	μάζα υλικού i (kg)
$Ex_{(ch),i}$	εξέργεια ανά kg ουσίας i (MJ-eq/kg)
n_j	ποσό ενέργειας από τον ενεργειακό φορέα j (MJ)
$r_{ex-e(k,p,n,r,t),j}$	εξέργεια στην ενεργειακή αναλογία του μεταφορέα j (MJ-eq/MJ)
ch	Χημική
k	Κινητική
p	Δυναμική
n	Πυρηνική
r	Ακτινοβολίας
t	Θερμική ενέργεια

Κανονικοποίηση και στάθμιση

Η κανονικοποίηση δεν αποτελεί μέρος αυτής της μεθόδου. Αναφορικά με τη στάθμιση, με στόχο να λάβουμε τη συνολική ζήτηση εξέργειας, όλες οι κατηγορίες

επίδρασης έχουν την ίδια σημαντικότητα άρα σε καθεμία από αυτές δίνεται ο συντελεστής στάθμισης 1.

4.3.2.6 IPCC 2007 GWP

Εισαγωγή

Η μέθοδος IPCC 2007 αποτελεί μια αναβάθμιση της μεθόδου IPCC 2001 που αναπτύχθηκε από το Διεθνές Panel στην Κλιματική Αλλαγή (International Panel on Climate Change, IPCC). Ο χαρακτηρισμός διαφόρων αέριων εκπομπών σύμφωνα με το δυναμικό τους στην υπερθέρμανση του πλανήτη και τη σύνθεση διαφόρων εκπομπών στην κατηγορία επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής είναι μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους στην LCIA. Οι συντελεστές χαρακτηρισμού για τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου βασίζονται στα δυναμικά υπερθέρμανσης του πλανήτη που έχουν δημοσιευθεί από το IPCC και χρησιμοποιούνται επίσης και σε άλλες μεθόδους αξιολόγησης επιπτώσεων όπως η Eco-indicator 99 ή η Ecological Scarcity 2006. Όλες αυτές οι μέθοδοι αξιολογούν τις εκπομπές αερίων φαινομένου θερμοκηπίου που οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες και καταγράφονται στους πίνακες απογραφής. Να σημειωθεί ότι χρησιμοποιούνται τρεις χρονικοί ορίζοντες – των 20, 100 και 500 ετών – για να δείξουν τις επιδράσεις των ατμοσφαιρικών χρόνων ζωής των διαφορετικών αερίων.

Χρήση της μεθόδου

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

Χαρακτηρισμός

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

- Δεν περιλαμβάνουν την έμμεση δημιουργία νιτρικού μονοξειδίου από νιτρικές εκπομπές, διότι δε συμβάλλουν άμεσα στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής.
- Δε λαμβάνουν υπόψη την κατακράτηση ακτινοβολίας εξαιτίας εκπομπών νιτρικών οξειδίων (NO_x), νερού, θειικού άλατος, κ.ά. στη χαμηλότερη στρατόσφαιρα και στην υψηλότερη τροπόσφαιρα.

- Δε λαμβάνουν υπόψη τις διάφορες έμμεσες επιδράσεις που δίνονται από το IPCC – έμμεσες επιδράσεις από υδρογονάνθρακες, έμμεσες εκπομπές νιτρικού μονοξειδίου.
- Δεν περιλαμβάνουν τη δημιουργία διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO).
- Δεν θεωρούν το βιογενές uptake CO₂ σαν αρνητική επίδραση.

Η κανονικοποίηση και η στάθμιση δεν αποτελούν μέρος αυτής της μεθόδου.

4.3.2.7 TRACI

Εισαγωγή

Από το 1996 έως το 2003, η Αρχή Περιβαλλοντικής Προστασίας των Η.Π.Α. (Environmental Protection Agency, US EPA) είχε εστιάσει στον καθορισμό και στην ανάπτυξη του καλύτερου εργαλείου αξιολόγησης επιδράσεων για την LCIA, την Πρόληψη ρύπανσης (Pollution Prevention, P2) και τους Δείκτες Βιωσιμότητας (Sustainability Metrics) για τις Η.Π.Α. Ενώ διεξάγονταν διάφορες μελέτες περιπτώσεων LCA, η US EPA πραγματοποίησε μία βιβλιογραφική μελέτη για να διαβεβαιωθεί η δυνατότητα εφαρμογής, η εξειδίκευση και η κατανόηση όλων των υπάρχοντων μεθοδολογιών. Παρατηρήθηκε ότι δεν υπήρχε κανένα εργαλείο που να καλύπτει τις ανάγκες και να έχει εφαρμογή στις ΗΠΑ, η US EPA αποφάσισε να αναπτύξει μία μέθοδο για την αξιολόγηση επιδράσεων με τις καλύτερα εφαρμόσιμες μεθοδολογίες για κάθε κατηγορία. Αυτή η προσπάθεια έρευνας ονομάστηκε TRACI – Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts (Εργαλείο για τη Μείωση και την Αξιολόγηση Χημικών και άλλων περιβαλλοντικών Επιδράσεων).

Η TRACI μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία διαδικασία αποφάσεων για τη σύγκριση μικρών αλλαγών που δεν αναμένεται να έχουν σημαντικές επιδράσεις έξω από τη διαδικασία. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε μία υπηρεσία ή σε εταιρικό επίπεδο για την επίτευξη των στόχων περιβαλλοντικής βιωσιμότητας – συγκριτική αξιολόγηση (benchmarking) από τη μια χρονιά στην επόμενη λαμβάνοντας υπόψη μία ή περισσότερες κατηγορίες επιπτώσεων. Η μεθοδολογία έχει αναπτυχθεί συγκεκριμένα για τις Η.Π.Α. χρησιμοποιώντας παραμέτρους εισροών συνεπείς με τις τοποθεσίες των Η.Π.Α. Η εξειδίκευση στις τοποθεσίες είναι διαθέσιμη για πολλές από τις κατηγορίες επιδράσεων, αλλά σε όλες τις περιπτώσεις υπάρχει μία μέση τιμή για τις Η.Π.Α. όταν δεν καθορίζεται η τοποθεσία. Αυτές οι μέσες τιμές εφαρμόζονται και στη βάση ecoinvent.

Κατά την ανάπτυξη της TRACI, οι κατηγορίες επιπτώσεων επιλέχθηκαν με βάση τα κοινά τους στοιχεία με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, τη συνέπειά τους με τους κανονισμούς και τις πολιτικές της EPA, την τρέχουσα κατάσταση της ανάπτυξής τους και την αντιληπτή κοινωνική τους αξία. Οι κλασικές κατηγορίες της εξάντλησης του

όζοντος, της υπερθέρμανσης του πλανήτη, της ανθρώπινης τοξικότητας, της οικοτοξικότητας, της αιθαλομίχλης, της οξίνισης και ο ευτροφισμός συμπεριλαμβάνονται διότι τα προγράμματα και οι κανονισμοί ΕΡΑ αναγνωρίζουν την αξία της ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων από αυτές τις κατηγορίες.

Χαρακτηρισμός

Οι κατηγορίες επιπτώσεων χαρακτηρίζονται στο ενδιάμεσο επίπεδο για λόγους που περιλαμβάνουν ένα υψηλότερο επίπεδο κοινωνικής ομοφωνίας στην αλυσίδα αιτίου-αποτελέσματος, όπως φαίνονται στη συνέχεια:

- Μείωση όζοντος
- Υπερθέρμανση του πλανήτη
- Οξίνιση
- Ευτροφισμός
- Φωτοχημική οξείδωση (ομίχλη)
- Οικοτοξικότητα
- Ανθρώπινη υγεία: ατμοσφαιρικοί ρυπαντές
- Ανθρώπινη υγεία: καρκινογόνα στοιχεία
- Ανθρώπινη υγεία: μη καρκινογόνα στοιχεία
- Μείωση ορυκτών καυσίμων
- Χρήση γης
- Χρήση νερού

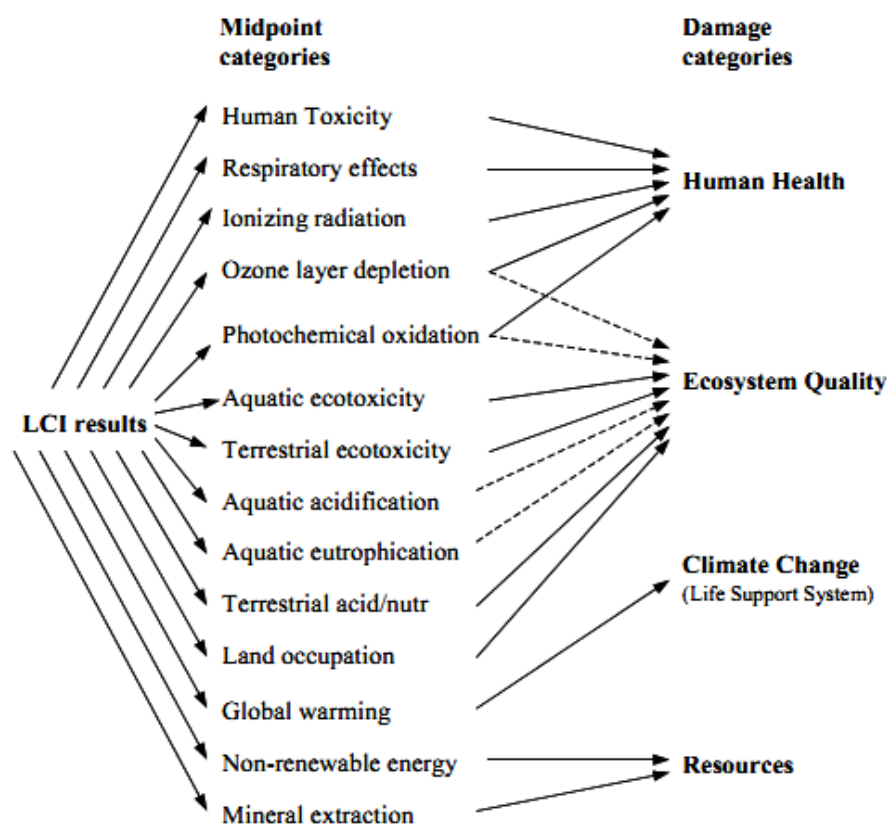
Οι τρεις τελευταίες κατηγορίες επιπτώσεων δεν εφαρμόζονται από το SimaPro. Η έκδοση της μεθόδου όπως προκύπτει από τον Bare (2007) δεν περιλαμβάνει συντελεστές κανονικοποίησης. Ωστόσο ένα πλαίσιο που ενσωματώνει διαδικασίες κανονικοποίησης και στάθμισης θα επέτρεπε στους αποφασίζοντες να καθορίσουν τις δικές τους αξίες για μία κατάσταση και να διατηρήσουν αυτές τις αξίες για τη συνέπεια σε άλλες περιβαλλοντικές καταστάσεις που απαιτούν παρόμοιες συσχετίσεις ανάμεσα στις κατηγορίες επιπτώσεων (Udo de Haes et al., 2002).

4.3.2.8 IMPACT 2002+

Εισαγωγή

Η IMPACT 2002+ είναι μία μεθοδολογία αξιολόγησης επιδράσεων που αναπτύχθηκε αρχικά από το Ελβετικό Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Τεχνολογίας στη Λωζάννη (Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne – EPFL), με σύγχρονες αλλαγές που διεξήχθησαν από την ίδια ομάδα ερευνητών με βάση τα συστήματα κύκλου ζωής ecointsys (ecointhesys-life cycle systems, Lausanne). Η μεθοδολογία προτείνει μία εφικτή εφαρμογή μίας συνδυασμένης ενδιάμεσης/βλάβης (midpoint/damage) προσέγγισης, συνδέοντας όλους τους τύπους αποτελεσμάτων της απογραφής του κύκλου ζωής (βασικές ροές και άλλες παρεμβάσεις) μέσω δεκατεσσάρων ενδιάμεσων κατηγοριών σε τέσσερις κατηγορίες βλαβών. Αυτή η μέθοδος λαμβάνει

πλεονεκτήματα τόσο των μεθόδων που βασίζονται σε μέσες κατηγορίες όπως η CML, όσο και μεθόδων που βασίζονται σε κατηγορίες βλαβών όπως η Eco-Indicator 99.



Σχήμα 4-2: Συνολικό πλαίσιο της IMPACT 2002+.

Το σχήμα 4-2 δείχνει το συνολικό πλαίσιο της μεθόδου IMPACT 2002+ που συνδέει όλους τους τύπους των αποτελεσμάτων LCI μέσω δεκατεσσάρων μέσων κατηγοριών (ανθρώπινη τοξικότητα, αναπνευστικές επιδράσεις, ιονίζουσα ακτινοβολία, μείωση της στοιβάδας του όζοντος, φωτοχημική οξείδωση, υδάτινη οικοτοξικότητα, οικοτοξικότητα εδάφους, οξίνιση/αζωτοποίηση εδάφους, υδάτινη οξίνιση, υδάτινος ευτροφισμός, χρήση γης, υπερθέρμανση του πλανήτη, μη-ανανεώσιμη ενέργεια, εξαγωγή ορυκτών) σε τέσσερις κατηγορίες βλαβών (ανθρώπινη υγεία, ποιότητα οικοσυστήματος, κλιματική αλλαγή, πόροι). Κάθε τόξο συμβολίζει ότι ένα σχετικό μονοπάτι επίδρασης είναι γνωστό ή υποτίθεται ότι υπάρχει ανάμεσα σε δύο αντίστοιχα στοιχεία. Λιγότερο βέβαια μονοπάτια επιδράσεων ανάμεσα στο ενδιαμέσο και το επίπεδο βλάβης συμβολίζονται με διακεκομμένα τόξα.

Κανονικοποίηση

Ο συντελεστής βλάβης που καταγράφεται στην ecoinvent κανονικοποιείται διαιρώντας την επίδραση ανά μονάδα εκπομπής με τη συνολική επίδραση όλων των ουσιών της συγκεκριμένης κατηγορίας για την οποία υπάρχουν οι συντελεστές χαρακτηρισμού ανά άτομο, ανά έτος (για την Ευρώπη).

Σε αυτή τη μεθοδολογία χρησιμοποιούνται οι μονάδες μέτρησης όπως παρουσιάζονται στη συνέχεια:

στο ενδιάμεσο επίπεδο:

- ο « kg_{eq} ουσίας s » («ισοδύναμα κιλά μιας ουσίας αναφοράς s ») εκφράζει το ποσό μιας ουσίας αναφοράς s που ισούται με την επίδραση του συγκεκριμένου ρυπαντή.

στο επίπεδο βλάβης:

- ο «DALY» («Disability Adjusted Life Years») χαρακτηρίζει τη σοβαρότητα της disease, που ευθύνεται τόσο για τη θνησιμότητα (Έτη Χαμένης Ζωής - Years of Life Lost, YLL εξαιτίας πρόωρου θανάτου όσο και τη νοσηρότητα (χρόνος ζωής χαμηλότερης ποιότητας εξαιτίας κάποιας ασθένειας).
- ο «PDF.m².yr» («Potentially Disappeared Fraction of species per m² per year») είναι η μονάδα μέτρησης των επιδράσεων στα οικοσυστήματα. Το PDF.m².yr αντιπροσωπεύει το κλάσμα ειδών υπό εξαφάνιση ανά m² ανά έτος.

Η μονάδα όλων των κανονικοποιημένων συντελεστών βλάβης είναι συνεπώς: οι «βαθμοί» που είναι ίσοι με «άτομα/έτος» (pers/year). Ένας «βαθμός» αντιπροσωπεύει τη μέση επίδραση σε μία συγκεκριμένη κατηγορία που προκαλείται από ένα άτομο κατά τη διάρκεια ενός έτους. Έχει υπολογιστεί σαν το συνολικό ετήσιο σκορ βλάβης εξαιτίας εκπομπών και εξορύξεων στην Ευρώπη διαιρεμένο με το συνολικό πληθυσμό της. Μία σύνοψη των συντελεστών χαρακτηρισμού φαίνεται στον πίνακα 4-3 (Simapro, 2008).

Πίνακας 4-3: Συντελεστές κανονικοποίησης για τις τέσσερις κατηγορίες βλάβης

Κατηγορία βλάβης	Συντελεστές κανονικοποίησης	Μονάδα μέτρησης
Ανθρώπινη υγεία	0,0071	DALY/pers/year
Ποιότητα οικοσυστήματος	13700	PDF.m ² .yr/pers/yr
Κλιματική αλλαγή	9950	Kg CO ₂ /pers/yr
Πόροι	152000	MJ/pers/yr

Στάθμιση

Οι συγγραφείς αυτής της μεθοδολογίας συστήνουν την ανάλυση των κανονικοποιημένων τιμών στο επίπεδο βλάβης λαμβάνοντας υπόψη τις τέσσερις τελικές κατηγορίες επίδρασης ή εναλλακτικά θεωρώντας τους δεκατέσσερις ενδιάμεσους δείκτες ξεχωριστά για το στάδιο της ερμηνείας της LCA. Στην περίπτωση που η σύνθεση είναι απαραίτητη μπορούν να καθοριστούν υποκειμενική συντελεστές στάθμισης, εκτός αν είναι διαθέσιμες κοινωνικές αξίες για τη στάθμιση. Αναφορικά με το Simapro, κάθε κατηγορία βλάβης δέχεται το συντελεστή στάθμισης 1.

4.3.2.9 CML 2001

Το 2001 μία ομάδα επιστημόνων υπό την καθοδήγηση του Κέντρου Περιβαλλοντικής Επιστήμης του Πανεπιστημίου του Leiden (Center of Environmental Science of Leiden University – CML) πρότειναν ένα σύνολο κατηγοριών επίδρασης καθώς και μεθόδων και συντελεστών χαρακτηρισμού για μία εκτενή λίστα ουσιών για το στάδιο της LCIA. Σε αυτή τη μέθοδο διαφοροποιούνται: «μία προσέγγιση προσανατολισμένη στο πρόβλημα» και «μία προσέγγιση προσανατολισμένη στη βλάβη». Σε αντίθεση με τις προσεγγίσεις στη βλάβη που αφορούν την EPS 2000 και την Eco-indicator 99, η CML 2001 που εφαρμόζεται στην ecoinvent σαν LCIA μεθοδολογία είναι ένα σύνολο κατηγοριών επίδρασης που ορίζονται για την προσέγγιση που προσανατολίζεται στο πρόβλημα (ενδιάμεσο επίπεδο).

Στο SimaPro είναι διαθέσιμες δύο εκδοχές της CML 2001: η «baseline» έκδοση και μία εκτενέστερη με «όλες τις κατηγορίες επίδρασης». Στον πίνακα 4-4 καταγράφονται τα ονόματα αυτών των κατηγοριών.

Πίνακας 4-4: Λίστα κατηγοριών επίδρασης της CML 2001

Ονόματα κατηγοριών επίδρασης
Μείωση στοιβάδας όζοντος (ODP)
Ανθρώπινη τοξικότητα
Υδάτινη οικοτοξικότητα φρέσκου νερού
Θαλάσσια υδάτινη οικοτοξικότητα
Οικοτοξικότητα εδάφους
Φωτοχημική οξείδωση
Πλανητική υπερθέρμανση (GWP100)
Οξίνιση
Μείωση αβιοτικών πόρων
Ευτροφισμός

Χαρακτηρισμός

Ο οδηγός της μεθόδου CML παρέχει μία λίστα κατηγοριών αξιολόγησης επιδράσεων που ομαδοποιούνται σε:

Α. Υποχρεωτικές κατηγορίες επίδρασης (δείκτες κατηγοριών που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες μελέτες LCA)

Β. Επιπρόσθετες κατηγορίες επίδρασης (υπάρχουν λειτουργικοί δείκτες, αλλά δεν συμπεριλαμβάνονται συχνά στις μελέτες)

Γ. Άλλες κατηγορίες επίδρασης (δεν είναι διαθέσιμοι λειτουργικοί δείκτες, άρα είναι αδύνατο να συμπεριληφθούν ποσοτικά στην LCA)

Στην περίπτωση που διαφορετικές μέθοδοι είναι διαθέσιμες για τις υποχρεωτικές κατηγορίες επίδρασης, επιλέγεται ένας δείκτης επίδρασης από τη baseline έκδοση, βασισμένος στην αρχή της καλύτερης διαθέσιμης πρακτικής. Οι baseline δείκτες

είναι δείκτες κατηγοριών στο ενδιάμεσο επίπεδο και συνήθως χρησιμοποιούνται για απλοποιημένες LCA. Η διαφορά στην έκδοση της μεθόδου με όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων είναι ότι προστίθενται η πλανητική υπερθέρμανση, η ιοντίζουσα ακτινοβολία καθώς και κάποιες ακόμα πιο εξειδικευμένες κατηγορίες, όπως και κάποιες από αυτές του πίνακα 4-4 με διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες. Στην εφαρμογή που θα ακολουθήσει εφαρμόζεται η πιο εκτενής έκδοση της μεθόδου.

Κανονικοποίηση και στάθμιση

Η κανονικοποίηση θεωρείται προαιρετικό βήμα για την απλοποιημένη LCA, αλλά υποχρεωτικό για τη λεπτομερή LCA. Για κάθε baseline δείκτη, τα κανονικοποιημένα σκορ υπολογίζονται για τις καταστάσεις αναφοράς: τον κόσμο του 1990, την Ευρώπη του 1995 και την Ολλανδία του 1997. Το κανονικοποιημένο αποτέλεσμα για μία δεδομένη κατηγορία επιπτώσεων δίνεται πολλαπλασιάζοντας τους συντελεστές χαρακτηρισμού με τις αντίστοιχες σε αυτούς εκπομπές. Το άθροισμα αυτών των γινομένων δίνει το συντελεστή κανονικοποίησης. Η ομαδοποίηση και η στάθμιση είναι προαιρετικά στάδια, άρα δεν είναι διαθέσιμα στο λογισμικό SimaPro.

4.3.2.10 EPD 2007

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για τη δημιουργία Περιβαλλοντικών Δηλώσεων Προϊόντων (Environmental Product Declarations – EPD), όπως δημοσιεύθηκε από το Σουηδικό Συμβούλιο Περιβαλλοντικής διαχείρισης (Swedish Environmental Management Council – SEMC). Οι κατηγορίες επίδρασης όπως παρουσιάζονται και στο SimaPro φαίνονται παρακάτω:

- Μη ανανεώσιμα, ορυκτά
- Πλανητική υπερθέρμανση (GWP100)
- Μείωση στοιβάδας όζοντος
- Οξίνιση
- Φωτοχημική οξείδωση
- Ευτροφισμός

Εκτός από την κατηγορία των μη ανανεώσιμων, ορυκτών, όλες οι κατηγορίες επίδρασης λαμβάνονται κατ' ευθείαν από τη CML baseline μέθοδο. Δεν αποτελούν μέρος της μεθόδου η κανονικοποίηση και η στάθμιση.

4.3.2.11 EDIP 97

Η μέθοδος EDIP (Environmental Design of Industrial Products – Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Βιομηχανικών Προϊόντων) αναπτύχθηκε το 1996 στη Δανία, συμπεριλαμβάνοντας το Technical University of Denmark, διάφορες επιχειρήσεις της βιομηχανίας της Δανίας όπως και η Danish Environmental Protection Agency. Το 2004 αναβαθμίστηκαν οι συντελεστές χαρακτηρισμού για τους πόρους, οι συντελεστές κανονικοποίησης και στάθμισης για όλες τις κατηγορίες επίδρασης.

Σύμφωνα με τους Wenzel et al. (1997) η μεθοδολογία EDIP 97 μεταφράζει τα συσσωρευμένα δεδομένα της απογραφής του εξεταζόμενου συστήματος σε «πιθανές συμβολές σε ποικίλες επιδράσεις μέσα στις κύριες ομάδες του περιβάλλοντος, των πόρων και του εργασιακού περιβάλλοντος». Εξαιτίας της έλλειψης απαιτούμενων πληροφοριών μόνο δύο από αυτές τις ομάδες – περιβάλλον και πόροι – καλύπτονται από την εφαρμογή. Για τη μέγιστη διαφάνεια και επαναληψιμότητα η μέθοδος χωρίζεται σε τρία στάδια:

1. *Πιθανές περιβαλλοντικές επιδράσεις.* Όμοια με άλλες μεθόδους, η συμβολή κάθε εκπομπής στις διάφορες κατηγορίες επιδράσεων υπολογίζεται χρησιμοποιώντας κατάλληλους συντελεστές.
2. *Κανονικοποίηση με μία κοινή αναφορά* με στόχο να φανούν ποιες από τις επιδράσεις μπορούν να συγκριθούν με μία κοινή αναφορική μονάδα.
3. *Στάθμιση των κανονικοποιημένων επιδράσεων.* Πριν συγκριθούν άμεσα οι κανονικοποιημένες επιδράσεις / χρήσεις πόρων, πρέπει να ληφθεί υπόψη η σοβαρότητα κάθε επίδρασης ξεχωριστά σε σχέση με τις άλλες. Συνεπώς, πρέπει να υπολογιστούν συντελεστές στάθμισης βάσει επιστημονικών, πολιτικών και κανονιστικών θεωρήσεων.

Οι συντελεστές στάθμισης έχουν οριστεί για το πολιτικό σύνολο στόχο εκπομπών ανά άτομο το έτος 2004 (σύμφωνα με την αναβάθμιση που εκδόθηκε το 2004), εκτός από τους πόρους για τους οποίους τα σταθμισμένα αποτελέσματα βασίζονται στα αποδεδειγμένα αποθέματα ανά άτομο το 1994. Για τους πόρους, η κανονικοποίηση και η στάθμιση σε αυτή τη μέθοδο ήδη συμπεριλαμβάνονται στο συντελεστή χαρακτηρισμού, άρα ο συντελεστής στάθμισης ισούται με μηδέν.

Χαρακτηρισμός

Οι κατηγορίες επίδρασης αυτής της μεθόδου σχετίζονται με:

- ο Την υπερθέρμανση του πλανήτη (αέρια φαινομένου θερμοκηπίου)
- ο Την μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος
- ο Τη δημιουργία φωτοχημικού όζοντος
- ο Την οξίνιση: αριθμός κατιόντων υδρογόνου (H⁺) που εκλύονται– και τον ευτροφισμό: ύπαρξη αζώτου-N και φωσφόρου-P στους οργανισμούς.
- ο Την οικοτοξικότητα και την ανθρώπινη τοξικότητα
- ο Τα απόβλητα/απορρίματα
- ο Τους πόρους

4.3.2.12 EDIP 2003

Η μεθοδολογία EDIP 2003 παρουσιάζεται σαν εξέλιξη της EDIP 97 και περιλαμβάνει χωρικά διαφοροποιημένη μοντελοποίηση χαρακτηρισμού, αλλά δεν την αντικαθιστά. Η βασική καινοτομία της μεθόδου έγκειται στη συνεχή προσπάθεια να

συμπεριληφθούν στη μοντελοποίηση χαρακτηρισμού οι μη παγκόσμιες κατηγορίες επίδρασης. Οι συντελεστές της μεθόδου περιλαμβάνουν τη μοντελοποίηση της διασποράς της ουσίας και την ακόλουθη αύξηση της έκθεσης.

Χαρακτηρισμός

Η EDIP 2003 περιλαμβάνει 19 διαφορετικές κατηγορίες επίδρασης, κάποιες από αυτές είναι ενημερωμένες εκδόσεις της EDIP 1997 (απόβλητα και απορρίμματα, και πόροι), ενώ άλλες μοντελοποιούνται εντελώς διαφορετικά. Νέοι συντελεστές χαρακτηρισμού έχουν αναπτυχθεί για τις μη παγκόσμιες κατηγορίες επιδράσεων, όπως η οξίνιση, ο εδαφικός και ο υδάτινος ευτροφισμός, η δημιουργία φωτοχημικού όζοντος, η ανθρώπινη τοξικότητα και η οικοτοξικότητα (νερό, χώμα). Για τις παγκόσμιες κατηγορίες επιπτώσεων, την πλανητική υπερθέρμανση και την μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος, οι συντελεστές χαρακτηρισμού ενημερώνονται από το IPCC και τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization – WMO/UNEP).

Κανονικοποίηση και Στάθμιση

Εκτός από την οικοτοξικότητα και τους πόρους, όλες οι διαφορετικές κατηγορίες επίδρασης κανονικοποιούνται με τον ίδιο τρόπο όπως στην EDIP 97, χρησιμοποιώντας όμως τις αναφορές κανονικοποίησης της EDIP 2003. Εξαιτίας της έλλειψης δεδομένων δεν έχουν υπολογιστεί συντελεστές για καμία από τις κατηγορίες της οικοτοξικότητας. Άρα, στο SimaPro, η τιμή κανονικοποίησης για την οικοτοξικότητα είναι 0. Το ίδιο συμβαίνει και με τους πόρους όπου η κανονικοποίηση και η στάθμιση ήδη περιλαμβάνονται στο συντελεστή χαρακτηρισμού.

Οι συντελεστές στάθμισης της EDIP97 (σύμφωνα με την ενημέρωση του 2004) χρησιμοποιούνται και στην EDIP 2003. Στην αναφορά της ecoinvent (ecoinvent-report No. 3) παρουσιάζεται πίνακας με τους συντελεστές κανονικοποίησης και στάθμισης τόσο για τις παγκόσμιες όσο και για τις τοπικές επιδράσεις.

4.3.2.13 ECO-INDICATOR 99

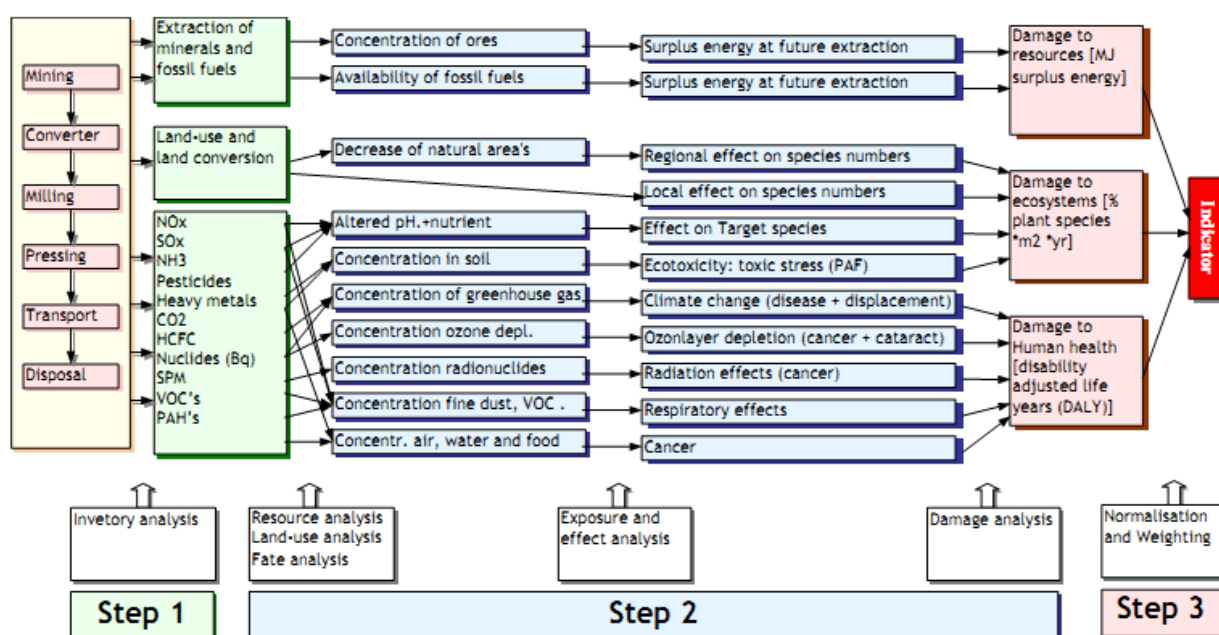
Εισαγωγή

Η μέθοδος Eco-indicator 99 είναι αυτή που ακολούθησε τη μέθοδο Eco-indicator 95, η οποία εισήχθη το 1997 από μία ομάδα επιστημόνων σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος της Ολλανδίας. Τόσο η πρώτη, όσο και η δεύτερη είναι μέθοδοι προσανατολισμένες στην περιβαλλοντική βλάβη. Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας Eco-indicator 99 ξεκινά με το σχεδιασμό της διαδικασίας στάθμισης. Γενικά, στην LCA οι εκπομπές και οι εξαγωγές πόρων εκφράζονται μέσα από δέκα ή περισσότερες κατηγορίες επίδρασης, όπως η οξίνιση, η εξάντληση της στοιβάδας του όζοντος, η οικοτοξικότητα και η εξόρυξη πόρων. Για ένα σύνολο ειδικών ή μη

ειδικών είναι πολύ δύσκολο να δώσουν ουσιαστικούς συντελεστές βαρύτητας για έναν τόσες πολλές και κάποιες φορές αφηρημένες κατηγορίες επίδρασης. Έτσι, στο σύνολο των ειδικών ζητήθηκε να σταθμίσει τους διάφορους τύπους βλάβης που προκαλούνται από αυτές τις κατηγορίες επίδρασης. Το σύνολο των ειδικών που αποτελούνταν από 365 άτομα από μία ομάδα Ελβετών ενδιαφερόμενων για την LCA εκτίμησε τη σοβαρότητα τριών κατηγοριών βλάβης:

1. Βλάβη στην Ανθρώπινη Υγεία· εκφράζεται σαν τον αριθμό των χαμένων χρόνων ζωής και των χρόνων ζωής με αναπηρία. Αυτά συνδυάζονται στο δείκτη Disability Adjusted Life Years (DALYs), δείκτης ο οποίος χρησιμοποιείται και από την Παγκόσμια Τράπεζα (Worldbank) και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization, WHO).
2. Βλάβη στην Ποιότητα του Οικοσυστήματος· εκφράζεται σαν την απώλεια των ειδών σε μια συγκεκριμένη περιοχή, για μία χρονική περίοδο.
3. Βλάβη στους Πόρους· εκφράζεται σαν την επιπλέον ενέργεια που χρειάζεται για μελλοντικές εξορύξεις ορυκτών και καυσίμων.

Για τη χρήση των βαρών για τις τρεις κατηγορίες βλάβης, έπρεπε να αναπτυχθεί μία σειρά από πολύπλοκα μοντέλα βλάβης. Στο σχήμα 4-3 παρουσιάζονται αυτά τα μοντέλα με σχηματικό τρόπο:



Σχήμα 4-3: Αναλυτική παρουσίαση του μοντέλου βλάβης

Στόχος είναι η ανάπτυξη μιας μεθόδου για την έκφραση του συνολικού περιβαλλοντικού φορτίου μιας διαδικασίας σε ένα μοναδικό σκορ. Η μέθοδος προορίζεται για χρήση στο εσωτερικό των επιχειρήσεων, ιδιαίτερα στις εφαρμογές ανάπτυξης προϊόντων.

Κατηγορίες βλαβών

Η ανάλυση των βλαβών αποτελεί ένα εκτενές μέρος της μεθοδολογίας. Συνδέει τις κατηγορίες επίδρασης σε τρεις κατηγορίες βλαβών όπου και υπολογίζονται οι συντελεστές χαρακτηρισμού – τελικό επίπεδο (endpoint level):

1 Βλάβη στην ανθρώπινη υγεία

Σε αυτή την κατηγορία ανήκει η σύνδεση ανάμεσα στην ανθρώπινη υγεία και τις επιδράσεις στο αναπνευστικό ή τον καρκίνο, τις επιδράσεις της στοιβάδας του όζοντος και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ακολουθώντας την αλυσίδα αιτίου-αποτελέσματος, παρατηρούμε ότι υπάρχει μεγάλος αριθμός επιδράσεων στην υγεία που προκαλούνται από την καρκινογένεση και τις επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα. Αυτές οι επιδράσεις αποτελούν την αιτία για κάποιο επίπεδο κυμαινόμενης αναπηρίας.

Με στόχο την ποσοτικοποίηση της συγκεκριμένης κατηγορίας βλαβών πρέπει να βρεθεί μία κλίμακα μέτρησης της υγείας του πληθυσμού, η οποία πρέπει να περιλαμβάνει (i) τον αριθμό των ατόμων που επηρεάζονται από το πρόβλημα, (ii) το χρόνο που τα άτομα υποφέρουν ή το χαμένο χρόνο ζωής από πρόωρο θάνατο και (iii) την κυμαινόμενη σοβαρότητα του προβλήματος υγείας. Για αυτό το σκοπό έχει επιλεγεί η κλίμακα DALY (Disability Adjusted Life Years) η οποία αναπτύχθηκε από τους Murray and Lopez (1996). Το βασικό σύστημα του δείκτη DALY είναι μία κλίμακα στάθμισης της αναπηρίας ανεπτυγμένη μέσα από συνεδριάσεις ειδικών. Η κλίμακα περιλαμβάνει περίπου είκοσι διαφορετικές μορφές αναπηρίας σε μία κλίμακα ανάμεσα στο 0 και το 1 (=θάνατος). Οι κατηγορίες επίδρασης που αφορούν την ανθρώπινη υγεία είναι οι ακόλουθες:

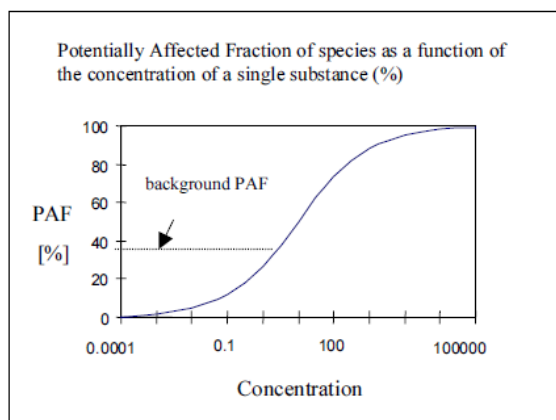
- *Καρκινογένεση.* Τα καρκινογόνα επηρεάζουν εξαιτίας καρκινογόνων εκπομπών στον αέρα, το νερό και το χώμα. Η βλάβη εκφράζεται σε Disability Adjusted Life Years (DALY)/kg εκπομπής.
- *Οργανικές ουσίες αναπνευστικού.* Οι επιδράσεις στο αναπνευστικό είναι αποτέλεσμα της καλοκαιρινής smog εξαιτίας εκπομπών από οργανικές ουσίες στην ατμόσφαιρα προκαλώντας αναπνευστικά προβλήματα. Η βλάβη εκφράζεται σε (DALY)/ kg εκπομπής.
- *Ανόργανες ουσίες αναπνευστικού.* Αναπνευστικές επιδράσεις που οφείλονται στη χειμερινή smog που προκαλείται από εκπομπές σκόνης, θεικών και νιτρικών οξειδίων στην ατμόσφαιρα. Η βλάβη εκφράζεται σε (DALY)/ kg εκπομπής.
- *Κλιματική αλλαγή.* Η βλάβη εκφράζεται σε (DALY)/ kg εκπομπής, σαν αποτέλεσμα αύξησης των ασθενειών και θανάτων που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή.

- *Ακτινοβολία.* Η βλάβη εκφράζεται σε (DALY)/ kg εκπομπής, σαν αποτέλεσμα της ραδιενεργής ακτινοβολίας.
- *Στοιβάδα του όζοντος.* Η βλάβη εκφράζεται σε (DALY)/ kg εκπομπής, εξαιτίας της αυξημένης UV ακτινοβολίας σαν αποτέλεσμα των εκπομπών όζοντος που εξαλείφουν ουσίες από την ατμόσφαιρα.

2 Βλάβη στην ποιότητα του οικοσυστήματος

Τα οικοσυστήματα είναι ετερογενή και πολύ σύνθετα να παρακολουθηθούν. Είναι μεγάλος ο αριθμός των απειλών και των περιβαλλοντικών δηλώσεων που καταγράφουν τα χαρακτηριστικά που είναι σημαντικά στο ανθρώπινο είδος, όπως: βιοποικιλότητα, αισθητικές και πολιτιστικές αξίες, οικολογικές λειτουργίες, πόροι και συναρτήσεις πληροφοριών (σε γονίδια). Σε αυτή τη μέθοδο, για την περιγραφή της ποιότητας του οικοσυστήματος η βλάβη θα εκφραστεί σαν το ποσοστό των ειδών που απειλούνται ή εξαφανίζονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι η ποικιλία των ειδών είναι ένα κατάλληλο μέτρο της ποιότητας του οικοσυστήματος. Το μοντέλο του χαρακτηρισμού εφαρμόζεται για τις ακόλουθες κατηγορίες επίδρασης:

- *Οικοτοξικότητα.* Για την οικοτοξικότητα χρησιμοποιείται η μέθοδος που καθορίζει το Potentially Affected Fraction (PAF) των ειδών σε σχέση με τη συγκέντρωση των τοξικών ουσιών. Τα PAFs καθορίζονται στη βάση των δεδομένων τοξικότητας για τους οργανισμούς σε αέρα, νερό και χώμα. Το PAF εκφράζει το ποσοστό των ειδών που εκτίθεται σε συγκέντρωση πάνω από τον Αριθμό Συγκέντρωσης παρατηρημένων επιδράσεων (No Observed Effect Concentration, NOEC). Όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση, τόσο μεγαλύτερος ο αριθμός των ειδών που επηρεάζονται. Η συνάρτηση βλάβης PAF φαίνεται στο σχήμα 4-4. Η μονάδα μέτρησης της οικοτοξικότητας είναι $(\text{PAF}) \cdot \text{m}^2 \cdot \text{year} / \text{kg emission}$.



Σχήμα 4-4: Η καμπύλη PAF όπου εκφράζεται το κλάσμα των ειδών που επηρεάζεται σε διάφορες συγκεντρώσεις μιας ουσίας

- *Οξίνιση και ευτροφισμός.* Για αυτές τις δύο κατηγορίες δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε άμεσα την ιδέα του PAF, διότι η βλάβη προκαλείται από διαφορετικούς και πολύπλοκους βιοχημικούς μηχανισμούς. Αντίθετα, πρέπει να παρατηρούμε τις επιδράσεις στα φυτά, κάτι που ορίζεται σαν Probability Of Occurrence ή POO το οποίο μεταφράζεται σαν Potentially Disappeared Fraction (PDF): $PDF=1-POO$ και η βλάβη εκφράζεται σαν $(PDF)*m^2*year/kg\ emission$.
- *Χρήση γης.* Η χρήση γης έχει επίδραση στην ποικιλία των ειδών. Η ποικιλία των ειδών εξαρτάται από τη μορφή της χρήσης γης και το μέγεθος της περιοχής. Σε αυτή την κατηγορία λαμβάνονται υπόψη οι επιδράσεις τόσο οι τοπικές όσο και σε επίπεδο περιοχής: η βλάβη σαν αποτέλεσμα είτε της μετατροπής είτε της χρήσης γης εκφράζεται σαν $(PDF)*m^2*year/m^2$.

3 Βλάβη στους πόρους

Η κατηγορία βλάβης για τους Πόρους εισήχθη αργότερα στη μεθοδολογία. Αντίθετα με τις προηγούμενες δύο κατηγορίες, δεν έχει βρεθεί ένα διεθνώς αποδεκτό πρότυπο για να εκφράζεται η βλάβη. Εδώ μοντελοποιείται η μείωση στη συγκέντρωση πόρων εξαιτίας των εξορύξεων και σαν δεύτερο μέρος είναι το μοντέλο βλάβης όπου οι μειωμένες συγκεντρώσεις μεταφράζονται στην κατανάλωση επιπλέον ενέργειας. Η βλάβη στους πόρους θα είναι πιο έντονη στις επόμενες γενιές, όπου θα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση και προσπάθεια για την εξόρυξη των πόρων που θα απομένουν: αυτή η προσπάθεια εκφράζεται σαν επιπρόσθετη ενέργεια.

- *Ορυκτά.* Η επιπλέον ενέργεια ανά kg ορυκτού ή μεταλλεύματος, σαν αποτέλεσμα της μείωσης των βαθμών μεταλλεύματος.
- *Καύσιμα.* Η επιπλέον ενέργεια ανά εξαγόμενο MJ, kg ή m^3 καυσίμου, σαν αποτέλεσμα της χαμηλότερης ποιότητας των πόρων.

Αβεβαιότητες

Είναι πολύ σημαντικό να δοθεί προσοχή στις αβεβαιότητες της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των δεικτών: αβεβαιότητες για την ορθότητα των μοντέλων που χρησιμοποιούνται και αβεβαιότητα στα δεδομένα.

Οι αβεβαιότητες για το μοντέλο σχετίζονται με υποκειμενικές επιλογές. Για το χειρισμό τους, προτείνονται οι τρεις διαφορετικές εκδόσεις της μεθοδολογίας που συμμετέχουν στη λήψη αποφάσεων:

1. Ιεραρχική άποψη (Hierarchist perspective)

Στην ιεραρχική άποψη ο επιλεγόμενος χρονικός ορίζοντας είναι μακροπρόθεσμος και οι ουσίες περιλαμβάνονται αν υπάρχει συμφωνία σε σχέση με την επίδρασή τους. Για παράδειγμα, όλες οι καρκινογόνες ουσίες

ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες βάσει της International Agency for Research on Cancer (IARC). Η κατηγορία 1 περιλαμβάνει ουσίες με αποδεδειγμένες καρκινογόνες επιδράσεις, ενώ η ομάδα 3 περιλαμβάνει μόνο ουσίες για τις οποίες δεν έχει αποδειχθεί καρκινογένεση στους ανθρώπους. Σε αυτή την άποψη η κατηγορία 3 έχει εξαιρεθεί. Εδώ, οι βλάβες υποτίθεται ότι μπορούν να αποφευχθούν με καλή διαχείριση. Για παράδειγμα, ο κίνδυνος ότι οι άνθρωποι πρέπει να ξεφύγουν από αυξανόμενα επίπεδα νερού δεν περιλαμβάνεται. Στην περίπτωση των καυσίμων η υπόθεση που γίνεται είναι ότι δεν μπορούν εύκολα να υποκατασταθούν. Το πετρέλαιο και το αέριο πρόκειται να αντικατασταθούν με το σχιστόλιθο, ενώ ο άνθρακας αντικαθίσταται με το λιγνίτη. Στους υπολογισμούς των DALY δεν περιλαμβάνεται η στάθμιση σε σχέση με την ηλικία.

2. Ισότιμη άποψη (Egalitarian perspective)

Στην ισότιμη άποψη ο επιλεγόμενος χρονικός ορίζοντας είναι εξαιρετικά μακροπρόθεσμος, οι ουσίες περιλαμβάνονται αν υπάρχει μόλις μία ένδειξη σχετικά με την επίδρασή τους. Για παράδειγμα, εδώ περιλαμβάνονται όλες οι κατηγορίες της IARC ταξινόμησης, εφόσον είναι διαθέσιμες οι πληροφορίες. Εδώ, οι βλάβες δεν μπορούν να αποφευχθούν και μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφικά γεγονότα. Στην περίπτωση των καυσίμων, η υπόθεση είναι ότι δεν μπορούν να υποκατασταθούν. Το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το αέριο μπορούν να αντικατασταθούν από ένα μίγμα λιγνίτη και σχιστόλιθου.

3. Ατομικιστική άποψη (Individualist perspective)

Στην ατομικιστική άποψη ο επιλεγόμενος χρονικός ορίζοντας είναι βραχυπρόθεσμος (100 έτη ή λιγότερα). Οι ουσίες περιλαμβάνονται αν υπάρχει πραγματική απόδειξη σε σχέση με την επίδρασή τους. Για παράδειγμα, εδώ περιλαμβάνεται μόνο η κατηγορία 1 της IARC. Εδώ, οι βλάβες υποτίθεται ότι μπορούν να ανακτηθούν με τεχνολογική και οικονομική ανάπτυξη. Όσον αφορά τα καύσιμα, η υπόθεση είναι ότι δεν μπορούν πραγματικά να εξαλειφθούν, άρα δε λαμβάνονται υπόψη.

Επομένως, δεν υπάρχει ένα μοναδικό σκορ για ένα υλικό ή μια διαδικασία, αλλά τρία διαφορετικά που εξαρτώνται από κάθεμία από τις παραπάνω απόψεις. Παρουσιάζοντας τρεις επιλογές στο χρήστη, μπορεί να επιλέξει την καταλληλότερη. Επίσης, είναι δυνατόν να εξαχθεί ένας μέσος όρος των τριών αποτελεσμάτων. Στον πίνακα 4-5 φαίνονται οι τυπικές αξίες για τις τρεις διαφορετικές απόψεις.

Κανονικοποίηση και στάθμιση

Η κανονικοποίηση πραγματοποιείται στο επίπεδο των κατηγοριών βλάβης και τα δεδομένα υπολογίζονται σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Η στάθμιση επίσης πραγματοποιείται στο τελικό επίπεδο για τις τρεις κατηγορίες βλάβης. Για κάθε άποψη είναι διαθέσιμο ένα συγκεκριμένο σύνολο στάθμισης.

Πίνακας 4-5: Τυπικές αξίες για τα τρία διαφορετικά perspectives

<i>Archetypes:</i>	Egalitarian	Individualist	Hierarchist
<i>Predictions:</i>			
<i>Criteria</i>	Argument	Experience	Evidence
<i>Management style</i>	Preventive	Adaptive	Control
<i>Distribution</i>	Parity	Priority	Proportionality
<i>Perception of time</i>	Long term dominates short term	Short term dominates long term	Balanced distinction between short and long term
<i>Intergeneration responsibility</i>	Present < future	Present > Future	Present = future
<i>View of resources</i>	Depleting	Abundant	Scarce
<i>Perception of needs and resources</i>	Can manage needs, but not resources	Can manage needs and resources	Can manage resources, but not needs
<i>Energy future</i>	Low growth (radical change now)	Business as usual	Middle of the road (technical fix)
<i>Attitude to nature</i>	Attentive	Laissez-faire	Regulatory
<i>Attitude towards humans</i>	Construct Egalitarian society	Channel rather than change	Restrict behaviour
<i>Attitude towards resources</i>	Need reducing strategy	Manage needs and resources	Increase resources
<i>Perception (myth) of nature</i>	Nature ephemeral	Nature benign	Nature perverse/tolerant
<i>Perception of human nature</i>	Born good, malleable	Self-seeking	Sinful
<i>Attitude towards risk</i>	Risk-averse	Risk-seeking	Risk-accepting

4.3.2.14 ReCiPe

Η μεθοδολογία ReCiPe (2008) παρέχει μία «συνταγή» για τον υπολογισμό των δεικτών κατηγοριών επίδρασης του κύκλου ζωής. Το ακρωνύμιο αναπαριστά επίσης τα αρχικά των ινστιτούτων που αποτέλεσαν τη βασική συμβολή σε αυτό το πρόγραμμα και οι βασικοί συνεργάτες στο σχεδιασμό της: RIVM και Radboud University, CML, και Pré Consultants. Η ReCiPe είναι μια μεθοδολογία που συνθέτει τους ενδιάμεσους (midpoint) δείκτες για την εξαγωγή της τελικής βλάβης στις endpoint κατηγορίες.

Ο κύριος στόχος της ReCiPe 2008 είναι η μετατροπή της μεγάλης λίστας των LCI αποτελεσμάτων σε έναν περιορισμένο αριθμό σκορ δεικτών. Προφανώς και εδώ οι δείκτες εκφράζουν τη σχετική σοβαρότητα μιας περιβαλλοντικής κατηγορίας επίδρασης. Οι δείκτες καθορίζονται σε δύο επίπεδα:

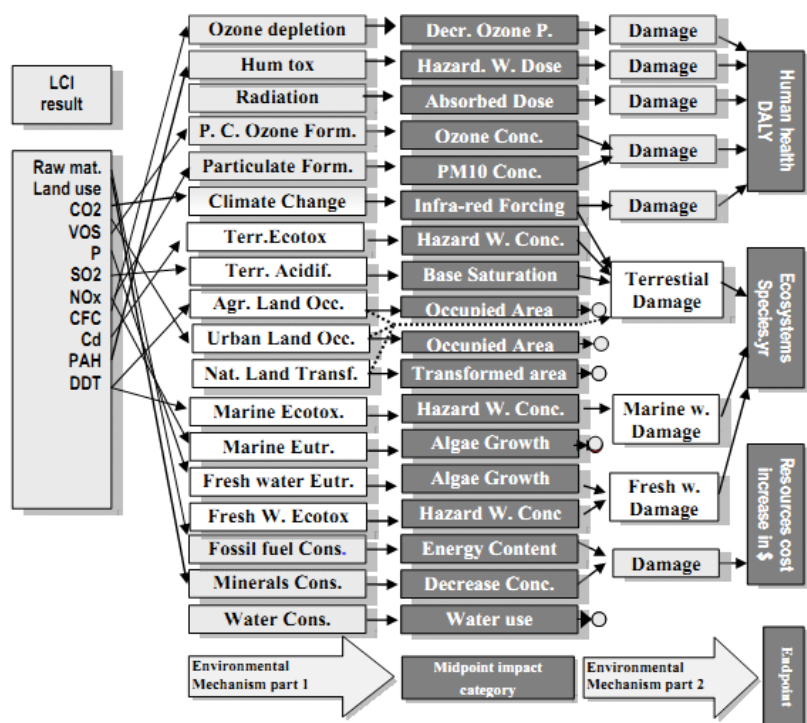
- ο δείκτες σε δεκαοκτώ κατηγορίες επίδρασης που απευθύνονται στο ενδιάμεσο επίπεδο:

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

- οι παραπάνω κατηγορίες μετατρέπονται και συντίθενται στις ακόλουθες τρεις τελικές κατηγορίες:

1. βλάβη στην ανθρώπινη υγεία (HH)
2. βλάβη στην ποικιλία του οικοσυστήματος (ED)
3. βλάβη στη διαθεσιμότητα πόρων (RA)

Η ReCiPe χρησιμοποιεί έναν περιβαλλοντικό μηχανισμό σαν τη βάση για τη μοντελοποίηση. Ένας περιβαλλοντικός μηχανισμός μπορεί να θεωρηθεί σαν μια σειρά επιπτώσεων που όλες μαζί μπορούν να δημιουργήσουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο βλάβης στην ανθρώπινη υγεία ή στο οικοσύστημα. Στο σχήμα 4-5 φαίνεται σχηματικά η μέθοδος όπου αντιστοιχίζονται τα LCI αποτελέσματα στις μέσες κατηγορίες κι έπειτα στις κατηγορίες βλάβης.



Σχήμα 4-5: Σχηματική απεικόνιση της ReCiPe 2008 (www.lcia-recipe.net)

Ένας αριθμός περιβαλλοντικών μηχανισμών έχει παγκόσμιο αντικείμενο, ενώ άλλοι έχουν περιφερειακό. Αυτό σημαίνει ότι ένας συγκεκριμένος περιβαλλοντικός μηχανισμός μπορεί να έχει πολύ σημαντικές επιπτώσεις σε μία περιοχή, αλλά όχι σε μία άλλη. Σαν πρώτη επιλογή της μεθόδου είναι η αναγνώριση, η ανάπτυξη και η χρήση περιβαλλοντικών μηχανισμών που έχουν παγκόσμια εγκυρότητα όπου είναι δυνατόν. Περιβαλλοντικοί μηχανισμοί όπως η οξίνιση, ο ευτροφισμός, ο σχηματισμός φωτοχημικού όζοντος, η τοξικότητα, η χρήση γης και νερού, όλα εξαρτώνται από τις διαφορετικές συνθήκες και τις παραμέτρους των περιοχών. Αυτό σημαίνει ότι η ReCiPe έχει περιορισμένη εγκυρότητα για τις περιοχές που δεν μπορούν να αναπτυχθούν σαν καλά-ανεπτυγμένες. Τέσσερα παραδείγματα

περιοχικών συνθηκών που μπορούν να επηρεάσουν την εγκυρότητα της μεθόδου είναι (Goedkoop et al., 2013):

- i. οι συνθήκες υγιεινής (πρόσβαση στο καθαρό νερό) και τα πρότυπα τροφής μπορούν να είναι αρκετά διαφορετικά σε λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές, με σημαντικές επιπτώσεις στις παραμέτρους του μοντέλου Έκθεσης.
- ii. οι διαφορές στις καιρικές συνθήκες στις τροπικές περιοχές.
- iii. οι συγκεντρώσεις των στοιχείων που μπορεί να διαφέρουν σημαντικά σε παγκόσμια κλίμακα. Σε μεγάλες περιοχές του κόσμου, η οξίνιση και ο ευτροφισμός δεν αποτελούν σημαντικό ζήτημα.
- iv. οι διαφορές πυκνότητας του πληθυσμού.

Επίπεδο βλάβης στην ανθρώπινη υγεία

Όπως και σε άλλες μεθοδολογίες, η αξιολόγηση της βλάβης στην ανθρώπινη υγεία εφαρμόζει την ιδέα των «ετών ζωής προσαρμοσμένων σε αναπηρία» (disability-adjusted life years, DALY). Τα DALY αναφέρονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή και χρονικό ορίζοντα, άρα η εφαρμογή εκτιμήσεων παγκόσμιων μέσων όρων στον υπολογισμό των συντελεστών χαρακτηρισμού θέτει την αποδοχή της υπόθεσης ότι η βλάβη στην ανθρώπινη υγεία εξαιτίας των εκπομπών κύκλου ζωής μπορεί να αναπαρασταθεί με παγκόσμιους μέσους όρους.

Επίπεδο βλάβης στο οικοσύστημα

Μία προσέγγιση για την περιγραφή της ποιότητας του οικοσυστήματος είναι σε όρους ενέργειας, ύλης και ροής πληροφοριών. Όταν αυτές οι ροές χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν την ποιότητα του οικοσυστήματος, λέγεται ότι ένα οικοσύστημα υψηλής ποιότητας είναι η συνθήκη που επιτρέπει στις ροές να συμβούν χωρίς αξιοσημείωτη διακοπή από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Αντίθετα ένα οικοσύστημα χαμηλής ποιότητας είναι η συνθήκη στην οποία αυτές οι ροές διακόπτονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Συνεπώς, το επίπεδο της διακοπής είναι η πιο σημαντική παράμετρος όταν μετράται η ποιότητα του οικοσυστήματος.

Στο μοντέλο της ReCiPe 2008, γίνεται συγκέντρωση της ροής πληροφοριών - στο επίπεδο των ειδών. Αυτό σημαίνει αποδοχή της υπόθεσης ότι η ποικιλία των ειδών αναπαριστά επαρκώς την ποιότητα του οικοσυστήματος. Οι ανθρωπογενείς παράγοντες μπορεί να επηρεάσουν όλες τις ομάδες ειδών με την πρακτική έννοια, αν και είναι αδύνατον να καταγραφούν όλοι. Συνεπώς, πρέπει να επιλεχθούν αυτές οι ομάδες ειδών που μπορούν να αποδώσουν καλύτερα την ολική ποιότητα του οικοσυστήματος (Goedkoop et al., 2008). Είναι σημαντικό επίσης να γίνει επιλογή ανάμεσα:

- ο στην ολική και μη αναστρέψιμη επιλογή των ειδών,

- ο στην αναστρέψιμη και μη αναστρέψιμη εξαφάνιση ενός είδους ή την έμφαση σε ένα είδος σε μια συγκεκριμένη περιοχή κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρόνου.

Επίπεδο βλάβης στους πόρους

Ο κίνδυνος ότι οι δραστηριότητες του ανθρώπινου είδους θα εξαντλήσουν τους πόρους για τις επόμενες γενιές συχνά αναφέρεται σαν ένα σημαντικό ζήτημα. Οι ειδικοί της ReCiPe έχουν επιλέξει να βασίσουν αυτό το μοντέλο στη γεωλογική κατανομή ορυκτών πόρων και καυσίμων και να αξιολογήσουν πώς η χρήση αυτών των πόρων προκαλεί οριακές αλλαγές στις προσπάθειες εξόρυξης μελλοντικών πόρων. Αυτό συνδέεται άμεσα με την αύξηση κόστους που οφείλεται στην εξόρυξη ενός πόρου. Σε αυτή τη βάση αναπτύσσεται μία συνάρτηση που αντικατοπτρίζει την οριακή αύξηση του κόστους εξόρυξης εξαιτίας των επιπτώσεων που προκαλούνται από συνεχή εξόρυξη.

Ο κύριος στόχος της ReCiPe 2008 ήταν η σύνδεση των δύο οικογενειών των μεθόδων της LCIA: των προσανατολισμένων στο ενδιάμεσο επίπεδο και των προσανατολισμένων στη βλάβη. Στον πίνακα 4-6 φαίνεται η σύνδεση ανάμεσα στις μέσες και τις τελικές κατηγορίες.

Πίνακας 4-6: Παρουσίαση της σύνδεσης ανάμεσα στις μέσες και τις τελικές κατηγορίες επίδρασης

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

Όμοια με την Eco-indicator 99, στη ReCiPe έχει αποφασιστεί να ομαδοποιούνται οι διαφορετικές πηγές αβεβαιότητας και τις διαφορετικές επιλογές χρησιμοποιώντας την πολιτιστική θεωρία απόψεων (cultural perspectives theory). Σύμφωνα με αυτήν,

σταθερά σύνολα υποκειμενικών επιλογών σε χρονικό ορίζοντα μπορούν να ομαδοποιηθούν γύρω από τρεις απόψεις (Goedkoop et al, 2013):

- ο την ατομικιστική (individualist – I) – βραχυπρόθεσμο ενδιαφέρον, αναμφισβήτητοι τύποι επιδράσεων, τεχνολογική εξέλιξη όσον αφορά την ανθρωπίνη προσαρμογή,
- ο την ισότιμη (egalitarian – E) – κοινές αρχές πολιτικής σε σχέση με το χρονικό πλαίσιο και άλλα ζητήματα.
- ο την ιεραρχική άποψη (hierarchist –H) – η πιο προληπτική άποψη, λαμβάνοντας υπόψη το μεγάλο χρονικό πλαίσιο και τις μορφές των επιδράσεων που δεν είναι ακόμη πλήρως εγκαθιδρυμένες για τις οποίες υπάρχει όμως κάποια ένδειξη.

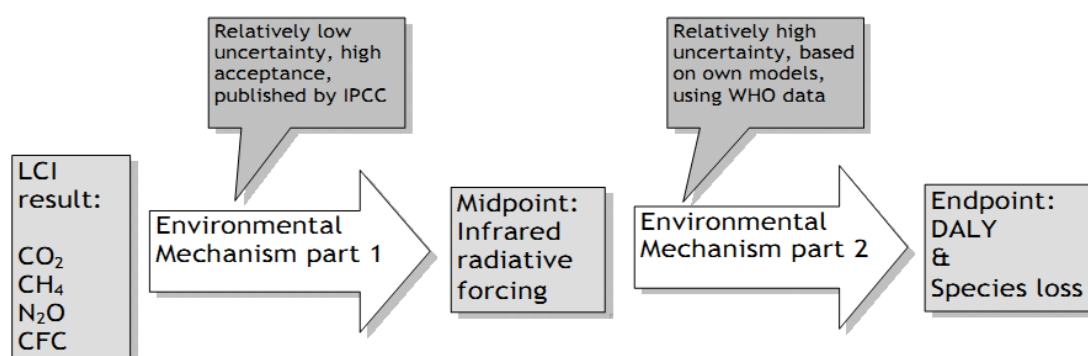
4.4 Ανάλυση μεθοδολογιών

4.4.1 Ταξινόμηση μεθοδολογιών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί κάθε στοιχείο της LCI αντιστοιχίζεται σε έναν δείκτη κατηγορίας στην LCIA. Όπως αναφέρεται στον οδηγό χρήσης της IMPACT 2002, ο δείκτης κατηγορίας μπορεί να είναι τοποθετημένος σε οποιοδήποτε σημείο ανάμεσα στα αποτελέσματα της LCI και στην κατηγορία βλαβών, όπου δηλαδή συμβαίνουν οι περιβαλλοντικές επιδράσεις στην αλυσίδα αιτίου-αποτελέσματος. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο αναπτύχθηκαν δύο μεγάλες κατηγορίες μεθοδολογιών:

A. Κλασσικές μέθοδοι αξιολόγησης επιδράσεων: ταξινομούν και χαρακτηρίζουν τα LCI αποτελέσματα στις ονομαζόμενες «ενδιάμεσες κατηγορίες» (midpoint categories).

B. Μεθοδολογίες προσανατολισμένες στη βλάβη που προκαλείται: τελικές κατηγορίες ή κατηγορίες βλαβών (damage/ endpoint categories).



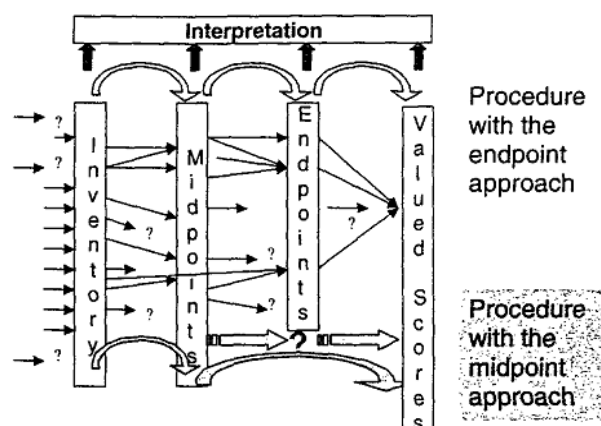
Σχήμα 4-6: Παράδειγμα ενός αρμονισμένου midpoint-endpoint μοντέλου για την κλιματική αλλαγή που αναφέρεται στην ανθρώπινη υγεία και στη βλάβη του οικοσυστήματος (Goedkoop et al., 2013).

Midpoint/Endpoint

Ένας «ενδιάμεσος» δείκτης χαρακτηρίζει τις βασικές ροές και άλλες περιβαλλοντικές παρεμβάσεις που συμβάλλουν στην ίδια επίδραση. Ο όρος «ενδιάμεσος» εκφράζει το γεγονός ότι αυτό το σημείο είναι τοποθετημένο σε μία μέση θέση ανάμεσα στα LCI αποτελέσματα και στη βλάβη που σχετίζονται με την επίδραση, δηλαδή στην αλυσίδα αιτίου-αποτελέσματος μιας κατηγορίας επίδρασης όπου υπολογίζονται οι συντελεστές χαρακτηρισμού οι οποίοι αντικατοπτρίζουν τη σχετική σημαντικότητα μιας εκπομπής (Bare et al., 2000). Συνεπώς, ένα ακόμη βήμα θα αναθέσει αυτές τις μέσες κατηγορίες σε μία ή περισσότερες κατηγορίες βλάβης, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις αλλαγές ποιότητας του περιβάλλοντος. Ουσιαστικά, το αποτέλεσμα ενός δείκτη βλάβης είναι πάντοτε ένα απλοποιημένο μοντέλο μιας πολύ σύνθετης πραγματικότητας, που δίνει μόνο μια μικρή προσέγγιση της κατάστασης της ποιότητας του περιβάλλοντος (Jolliet et al, 2003). Οι δείκτες χαρακτηρισμού στο επίπεδο βλάβης υπολογίζονται για να αντικατοπτρίσουν τις διαφορές ανάμεσα στους στρεσογόνους παράγοντες στο επίπεδο βλάβης στην αλυσίδα αιτίου αποτελέσματος και μπορεί να σχετίζονται άμεσα με την κατανόηση της κοινωνίας για τις τελικές επιδράσεις (Jolliet et al., 2003).

Η ανάλυση στο ενδιάμεσο επίπεδο ελαχιστοποιεί το ποσό της μοντελοποίησης πρόβλεψης και αποτελέσματος που ενσωματώνεται στην LCIA, ελαχιστοποιώντας την πολυπλοκότητα στη μοντελοποίηση και συχνά ενισχύοντας την απλοποίηση στην επικοινωνία. Ένας άλλος παράγοντας που υποστηρίζει τη χρήση της μοντελοποίησης στο ενδιάμεσον είναι η μη πληρότητα στην κάλυψη του μοντέλου για τον υπολογισμό στο τελικό επίπεδο. Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχουν μοντέλα για που επιτρέπουν την πρόβλεψη πιθανών τελικών—endpoint επιδράσεων σε κάποιους τομείς αλλά ενδεχομένως όχι σε όλους (Bare, 2011) .

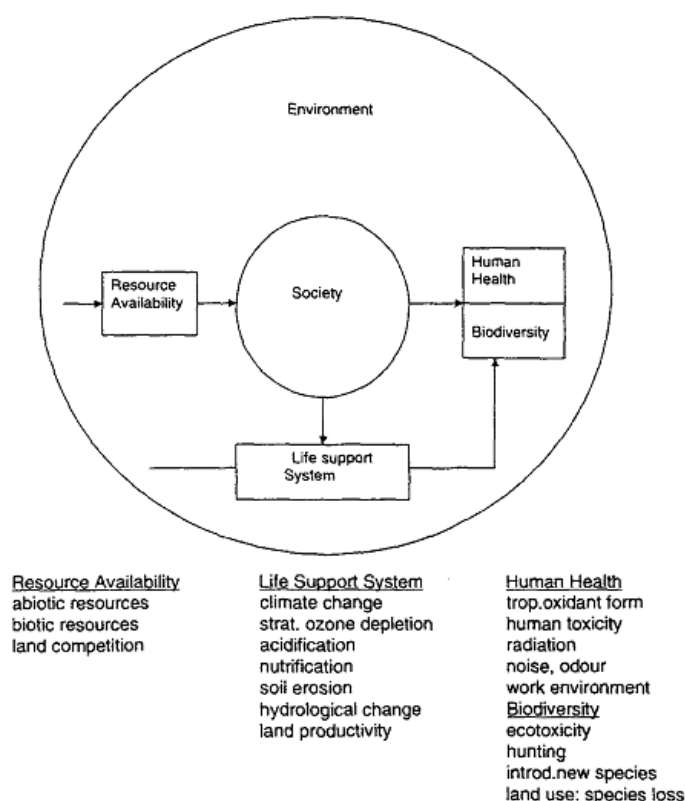
Στο σχήμα 4-7 φαίνονται τα βήματα που περιλαμβάνονται σε μία μελέτη LCA από το στάδιο της απογραφής, μέσω της αξιολόγησης επιδράσεων σε ένα μοναδικό συγκριτικό δείκτη χρησιμοποιώντας τεχνικές στάθμισης. Παρουσιάζονται δύο διαφορετικά μονοπάτια αυτό της μέσης και της τελικής προσέγγισης. Μία από τις διαφορές των δύο προσεγγίσεων είναι ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνεται υπόψη η περιβαλλοντική συνάφεια των δεικτών κατηγοριών. Στη μέση προσέγγιση, η περιβαλλοντική συνάφεια γενικά παρουσιάζεται με τη μορφή ποιοτικών σχέσεων, στατιστικών και άρθρων ανασκόπησης· ωστόσο, μπορεί να ποσοτικοποιηθεί χρησιμοποιώντας μεθόδους προσανατολισμένες στη βλάβη για να παρέχει πληροφορίες στους αποφασίζοντες. Στις τελικές προσεγγίσεις δε χρειάζεται να χειριστεί ξεχωριστά η περιβαλλοντική συνάφεια των δεικτών, διότι επιλέγονται στο τελικό επίπεδο και θεωρούνται γενικά πιο κατανοήσιμοι στους αποφασίζοντες.



Σχήμα 4-7: Γραφική αναπαράσταση βασικών διαφορών ανάμεσα στις midpoint/ endpoint προσεγγίσεις.

Η μοντελοποίηση στο τελικό επίπεδο μπορεί να διευκολύνει μια πιο δομημένη και ενημερωμένη στάθμιση, συγκεκριμένα επιστημονικά βασισμένη σύνθεση ανάμεσα στις κατηγορίες από την άποψη κοινών παραμέτρων (για παράδειγμα, οι επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή μπορούν να συγκριθούν με αυτές της μείωσης όζοντος χρησιμοποιώντας μία κοινή βάση όπως τα DALYs). Υποστηρικτές της endpoint μοντελοποίησης πιστεύουν, ωστόσο, ότι η διαθεσιμότητα αξιόπιστων δεδομένων και επαρκώς εύρωστων μοντέλων παραμένει αρκετά περιορισμένη για να υποστηρίξει τη μοντελοποίηση στο τελικό επίπεδο. Αυτή η μοντελοποίηση μπορεί να διευκολύνει μια πιο δομημένη διαδικασία στάθμισης, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει οικονομικές τεχνικές, αλλά είναι απαραίτητο ένα υψηλό επίπεδο γνώσης, ποιότητας δεδομένων και συμμετοχής ειδικών για την πρόβλεψη συγκεκριμένων τελικών επιδράσεων (Bare et al., 2000).

Σύμφωνα με τον Udo de Haes και το Brighton Workshop (2000) σχετικά με θέματα LCIA υπό την UNEP, η μοντελοποίηση στο τελικό επίπεδο αποτελεί μία πρόκληση επιστημονικά, αλλά με πολύ μικρότερη πρόσβαση, και πολύ μεγαλύτερη αβεβαιότητα συγκριτικά με τη midpoint μοντελοποίηση. Αναφέρεται στη μέση μοντελοποίηση σαν την παραδοσιακή προσέγγιση με σχετικά καλό επίπεδο βεβαιότητας στο επίπεδο της μοντελοποίησης χαρακτηρισμού και αρκετά κοντά στις περιλαμβανόμενες τελικές κατηγορίες. Έτσι, προτάθηκε ένα νέο πλαίσιο (σχήμα 4-8) για τις περιοχές προστασίας της LCIA, το οποίο διακρίνει τέσσερις περιοχές προστασίας: πόροι, ανθρώπινη υγεία, βιοποικιλότητα και σύστημα υποστήριξης υγείας. Η τελευταία νέα περιοχή προστασίας ασχολείται με τον υποστηρικτικό ρόλο των διαδικασιών στο περιβάλλον που καθιστά ικανή τη βιώσιμη ζωή στη γη.



Σχήμα 4-8: Προτεινόμενο πλαίσιο για τις περιοχές προστασίας βάσει midpoint και endpoint δεικτών.

Σε αντίθεση με τον Udo de Haes, ο Hopfstetter δήλωσε ότι από την άποψη της υποστήριξης αποφάσεων η μοντελοποίηση στο τελικό επίπεδο δεν έχει περισσότερα κενά απ' ότι οι προσεγγίσεις στο ενδιάμεσο. Η Potting, από το Ινστιτούτο Ανάπτυξης Προϊόντος της Δανίας του Πολυτεχνείου της Δανίας, σύγκρινε έναν αριθμό midpoint προσεγγίσεων, αλλά τέθηκε πολύ πιο κοντά στην endpoint μοντελοποίηση. Έδειξε ότι η χωρική διαφοροποίηση στις περιοχές προέλευσης γίνεται πιο σημαντική όταν η μοντελοποίηση έρχεται πιο κοντά στο τελικό επίπεδο. Αναγνώρισε την έλλειψη διαφοροποίησης στις περιοχές προέλευσης σαν το κύριο μειονέκτημα της προσέγγισης στο τελικό επίπεδο στην Eco-indicator 99. Η σύνθεση της οξίνισης και του εδαφικού ευτροφισμού μαζί με τις επιδράσεις του οικοσυστήματος ήταν κάτι που εκτιμήθηκε από την Potting σαν δυνατό χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου.

Επιπλέον, ο Hertwich από το Πανεπιστήμιο Επιστήμης και Τεχνολογίας της Νορβηγίας, σύστησε τη διατήρηση τόσο της midpoint όσο και της endpoint ανάλυσης για διάφορους λόγους. Τόνισε ότι η endpoint μοντελοποίηση επιτρέπει μια ευκολότερη αξιολόγηση του μεγέθους των επιδράσεων, ενώ η midpoint μοντελοποίηση επιτρέπει υψηλότερη εμπιστοσύνη και μικρότερη αβεβαιότητα.

Σχετικά με την υποστήριξη αποφάσεων, η επικοινωνία των αποτελεσμάτων αναγνωρίζεται σαν ένας σημαντικός παράγοντας. Για παράδειγμα, οι δείκτες στο

ενδιάμεσο επίπεδο μπορεί να προτιμώνται για συγκεκριμένους επικοινωνιακούς σκοπούς (π.χ. μπορεί να είναι πολιτικά προτιμότερο να μιλάμε με όρους δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη παρά με όρους DALYs). Γενικά, οι δείκτες στο endpoint επίπεδο θεωρείται κάποιες φορές ότι οδηγούν σε πιο κατανοητά αποτελέσματα στην πράξη αυτό συνδέεται με την περιβαλλοντική συνάφεια των δεικτών. Ωστόσο, οι δείκτες στο ενδιάμεσο επίπεδο μπορεί να κοινοποιούνται πιο εύκολα στο κοινό, με την έννοια ότι είναι λιγότερο πιθανό να οδηγήσουν σε μη εγγυημένα συμπεράσματα.

4.4.2 Ομαδοποίηση μεθοδολογιών

Όσον αφορά τις μεθοδολογίες που παρουσιάστηκαν, αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν τόσο ομοιότητες όσο και διαφορές. Αρχικά, μπορούμε να ορίσουμε σαν μία τάξη μεθοδολογιών αυτές που αξιολογούν ουσιαστικά ένα μόνο δείκτη. Αυτές είναι: 1. η μεθοδολογία για το Οικολογικό Αποτύπωμα όπου ορίζεται μόνο αυτός ο δείκτης, 2. η μεθοδολογία Ecosystem Damage Potential, η οποία είναι προσανατολισμένη στη βλάβη που προκαλείται από τη χρήση γης, 3. Η Συσσωρευμένη Ζήτηση Ενέργειας καθώς και 4. Η Συσσωρευμένη Ζήτηση Εξέργειας, και 5. το Δυναμικό Υπερθέρμανσης του Πλανήτη (GWP), όπου αξιολογούνται διάφορες ουσίες βάσει της επίδρασής τους στην κλιματική αλλαγή.

Στη συνέχεια, αναφέρονται οι μεθοδολογίες: EPD 2007 η οποία ασχολείται με τις περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων και η TRACI που χρησιμοποιεί παραμέτρους μόνο από τις ΗΠΑ και άρα δεν μπορεί να γενικευτεί στον υπόλοιπο κόσμο καθώς επίσης δεν πραγματοποιείται σύνθεση ανάμεσα στις κατηγορίες επιπτώσεων – λόγοι που δεν χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος αυτή στη συγκριτική αξιολόγηση. Έπειτα, είναι η EDIP 97, η οποία χρησιμοποιείται για τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό βιομηχανικών προϊόντων και οι κατηγορίες βλαβών της σχετίζονται μόνο με το περιβάλλον και τους πόρους, όπως και η EDIP 2003 που αποτελεί εξέλιξη της προαναφερθείσας από το γεγονός ότι γίνεται χωρική διαφοροποίηση στις εκπομπές και στα αποτελέσματα.

Τελευταία ομάδα των μεθοδολογιών που παρουσιάστηκαν αποτελούν οι πέντε μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία για τη συγκριτική αξιολόγηση βάσει του ενσωματωμένου παραδείγματος στο λογισμικό SimaPro και είναι: η EPS 2000, η CML 2001, η Eco-Indicator 99, η IMPACT 2002+ και η ReCiPe 2008. Παρατηρήθηκε ότι αυτές οι μέθοδοι έχουν τη δυνατότητα να έχουν ευρεία εφαρμογή, αφού δεν εστιάζουν μόνο σε ένα συγκεκριμένο δείκτη, ούτε σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία.

Όσον αφορά την ομαδοποίησή τους, η CML 2001 είναι προσανατολισμένη στο πρόβλημα (midpoint oriented), ενώ η EPS 2000 και η Eco-Indicator 99 είναι προσανατολισμένες στη βλάβη που προκαλείται. Επίσης, η IMPACT 2002+ και η ReCiPe συνθέτουν τα αποτελέσματα του ενδιάμεσου επιπέδου στο επίπεδο βλάβης

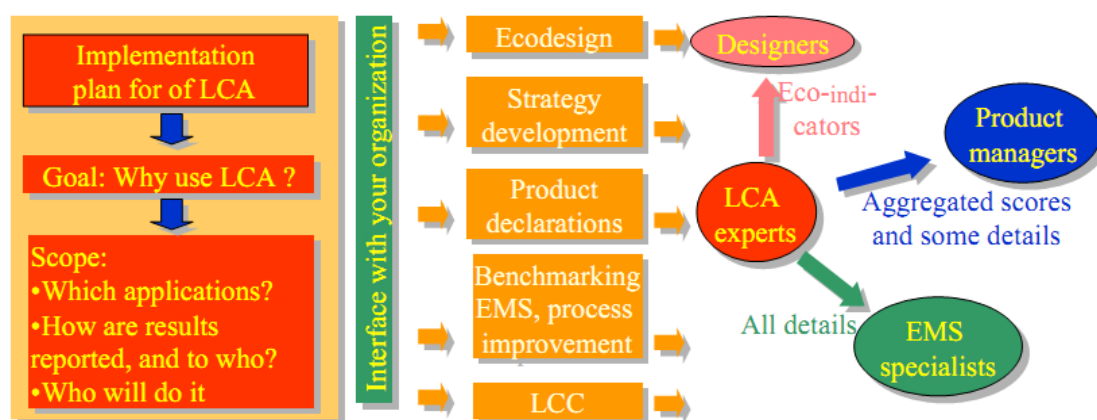
(midpoint→endpoint). Τέλος, τόσο η ReCiPe όσο και η Eco-indicator 99 εμπεριέχουν υποκειμενικότητα αφού και οι δύο περιλαμβάνουν τις τρεις διαφορετικές απόψεις που περιγράφηκαν.

5. Συγκριτική μελέτη γνωστών μεθοδολογιών

5.1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αρχικά αναλυτική περιγραφή του υπό μελέτη συστήματος στο οποίο θα γίνει τη συνέχεια η εφαρμογή των μεθοδολογιών Eco-indicator 99, CML 2001, EPS 2000, IMPACT 2002+ και ReCiPe. Οι περισσότεροι ειδικοί της LCA δεν αναπτύσσουν μεθοδολογίες αξιολόγησης επιδράσεων, αλλά προτιμούν να εφαρμόζουν μεθοδολογίες ήδη δημοσιευμένες. Όπως το στάδιο της απογραφής του κύκλου ζωής, έτσι και ο ορισμός του σκοπού και του αντικειμένου παραμένουν οι πιο σημαντικές πηγές καθοδήγησης για την επιλογή της μεθόδου και των κατηγοριών επίδρασης.

Η πιο σημαντική επιλογή που πρέπει να γίνει είναι το επιθυμητό επίπεδο σύνθεσης των αποτελεσμάτων. Αυτό συνήθως εξαρτάται από τον τρόπο που θέλει ο μελετητής να απευθυνθεί στο κοινό, και την ικανότητα του κοινού να κατανοεί τα λεπτομερή αποτελέσματα. Στο σχήμα 5-1 παρουσιάζεται σχηματικά η σύνοψη των δυνατοτήτων επιλογής μεθοδολογίας (SimaPro, 2010).

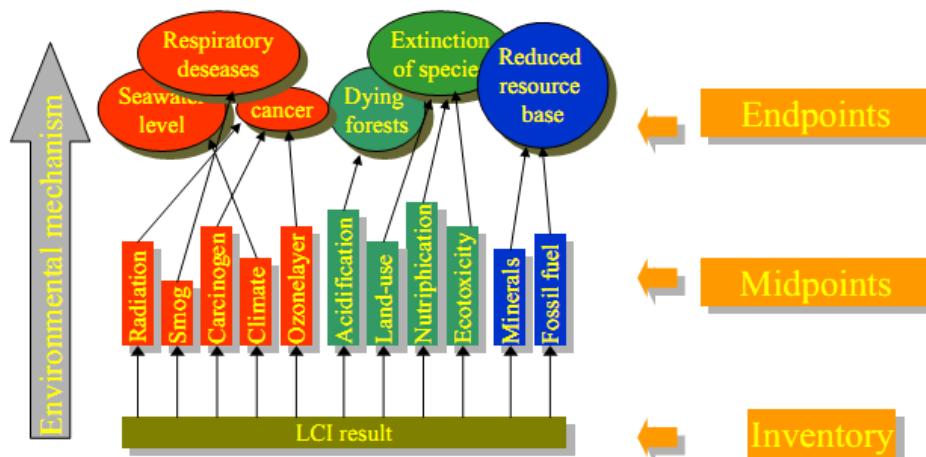


Σχήμα 5-1: Η επιλογή της μεθοδολογίας αξιολόγησης επιδράσεων εξαρτάται κατά πολύ από το κοινό που απευθύνεται

Σημαντικό βήμα, επίσης, αποτελεί η επιλογή των κατάλληλων κατηγοριών επίδρασης, η οποία καθοδηγείται από το σκοπό της μελέτης. Μία σημαντική βοήθεια στην επιλογή αυτή είναι ο ορισμός των τελικών σημείων (endpoints). Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, τα τελικά σημεία είναι αντιληπτά σαν ζητήματα περιβαλλοντικής ανησυχίας, όπως η ανθρώπινη υγεία, η εξαφάνιση των ειδών, η διαθεσιμότητα των πόρων για επόμενες γενιές, κ. ά.

Στο σχήμα 5-2 φαίνεται η γενική μορφή της δομής μιας μεθοδολογίας αξιολόγησης επιδράσεων. Τα αποτελέσματα της απογραφής χαρακτηρίζονται για να παράγουν

έναν αριθμό δεικτών κατηγοριών επίδρασης. Σύμφωνα με το ISO πρέπει να καταγράφεται η περιβαλλοντική συνάφεια κάθε δείκτη περιγράφοντας τη σύνδεση με τα τελικά σημεία endpoints. Τα τελικά σημεία μπορούν να επιλεγθούν από το μελετητή, είναι όμως καθορισμένα και από τη μεθοδολογία που θα χρησιμοποιηθεί (SimaPro, 2010).



Σχήμα 5-2: Γενική μορφή μεθοδολογίας LCIA

5.2 Το λογισμικό SimaPro

Για την παρούσα εργασία, όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SimaPro ώστε να γίνει συγκριτική αξιολόγηση των μεθοδολογιών LCIA πάνω στην εφαρμογή που ακολουθεί. Η επιλογή των μεθοδολογιών που εφαρμόστηκαν έγινε με βάση την πληρότητά τους σε δείκτες και κατηγορίες επίδρασης – για παράδειγμα, το Οικολογικό Αποτύπωμα ή η Συσσωρευμένη Ζήτηση Ενέργειας αποτελούνται μόνο από έναν δείκτη – όπως και άλλες μεθοδολογίες που αναφέρονταν σε συγκεκριμένες κατηγορίες επίδρασης και όχι σε όλο το εύρος βλαβών που είναι πιθανό να προκληθούν. Επιλέχθηκαν δύο μεθοδολογίες προσανατολισμένες στη βλάβη – endpoint oriented (EPS 2000, Eco-indicator 99), μία μεθοδολογία προσανατολισμένη στο ενδιάμεσο επίπεδο – midpoint oriented (CML 2001) και δύο μεθοδολογίες που καταλήγουν στο επίπεδο βλαβών μέσα από το ενδιάμεσο επίπεδο (IMPACT 2002+, ReCiPe).

Το SimaPro είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο λογισμικό LCA. Προσφέρει προτυποποίηση – ώστε τα ενδιαφερόμενα μέρη να εμπιστεύονται τα αποτελέσματα – καθώς επίσης τελική ευελιξία. Έχει μοναδικά χαρακτηριστικά όπως παραμετροποιημένη μοντελοποίηση και διαδραστική ανάλυση αποτελεσμάτων. Συνοδεύεται από μια ολοκληρωμένη εφαρμογή της κορυφαίας βάσης δεδομένων παγκοσμίως, της Ecoinvent, καθώς και άλλες όπως οι: US LCI, ECLD, US Input Output, EU and Danish Input Output, Dutch Input Output, LCA food, Industry Data, κ.ά.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του λογισμικού αυτού είναι (Goedkoop et al., 2004):

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

Τοποθετώντας τους δείκτες πάνω από τη βιωσιμότητα

Η βιωσιμότητα έχει γίνει στρατηγικό ζήτημα, ένας οδηγός για ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και μια απαίτηση από τους πελάτες. Οι εταιρείες επιζητούν να τοποθετήσουν τα προγράμματα βιωσιμότητας σε έναν πιο ποσοτικό, επιστημονικό τρόπο και κάνουν τις προσπάθειές τους πιο διαφανείς. Είναι μια εξέλιξη η οποία ζητά ολοκληρωμένη αναφορά στην περιβαλλοντική επίδραση καθώς επίσης στη μέτρηση της Επιστροφής στη Βιώσιμη Επένδυση (Return on Sustainable Investment, ROSI). Οι δείκτες βοηθούν στην επίτευξη των επιχειρησιακών στόχων στην παραγωγή, τη συσκευασία, την ανάπτυξη προϊόντων, τα logistics, την εφοδιαστική αλυσίδα, το μάρκετινγκ, τη στρατηγική και τη διαχείριση κινδύνου.

Δημιουργώντας μία δέσμευση για την τοποθέτηση δεικτών πίσω από τη βιωσιμότητα επιφέρει συγκεκριμένα οφέλη απέναντι σε πιο βιώσιμες επιχειρησιακές διαδικασίες. Αυτό γίνεται μέσω βελτιώσεων στην αποδοτικότητα πόρων, αυξημένο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, πρόσβαση σε νέες αγορές, υψηλότερα περιθώρια κέρδους, μεγαλύτερη καινοτομία, συμμόρφωση και σε πιο μη απτά καθήκοντα όπως η φήμη της εταιρείας και η δέσμευση των εργαζομένων.

Η ποσοτικοποίηση της βιωσιμότητας

Πολλές επιχειρήσεις αγωνίζονται για το πώς μπορούν να κάνουν τις προσπάθειές τους για τη βιωσιμότητα μετρήσιμες, πώς να ενσωματώσουν τη βιωσιμότητα στις καθημερινές τους λειτουργίες και πώς να δημιουργήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα με αυτήν. Η προσέγγιση του Κύκλου Ζωής και η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής παρέχουν επίγνωση και κατάλληλους δείκτες.

Αλλά ενσωματώνοντας την προσέγγιση του Κύκλου Ζωής, αρχικοποιώντας διαδικασίες και συλλέγοντας δεδομένα, είναι μια διαδικασία καθορισμού στόχων, επιλέγοντας τους δείκτες, ενσωματώνοντάς τους και δημιουργώντας αξία. Η

SimaPro καθορίζει τέσσερα στάδια για την ώθηση μιας επιχείρησης σε εξαιρετική βιωσιμότητα και το «χτίσιμο» των απαιτούμενων ικανοτήτων για την τοποθέτηση εταιρικών προγραμμάτων βιωσιμότητας, σε ένα ποσοτικό, επιστημονικό μοντέλο (www.pre-sustainability.com).

5.3 Παρουσίαση/ Ανάπτυξη του υπό μελέτη συστήματος

Το υπό μελέτη σύστημα είναι το παράδειγμα που είναι ενσωματωμένο στο SimaPro και πρόκειται για την κατασκευή ενός απλού ξύλινου στεγάστρου που θα χρησιμοποιηθεί σε έναν κήπο. Η χρήση αυτού του μοντέλου αιτιολογείται από το γεγονός ότι ο στόχος της εργασίας δεν είναι η συλλογή πληροφοριών κύκλου ζωής αλλά η εφαρμογή και η σύγκριση μεθοδολογιών LCIA επάνω σε αυτό. Τα δεδομένα που χρειάζονται λαμβάνονται από τη βάση ecoinvent. Το στέγαστρο αποτελείται από ξύλο και χάλυβα για τα μεταλλικά σημεία. Υποθέτουμε ότι δεν υπάρχει συσκευασία, προστασία ξύλου ή βαφή, δεν υπάρχουν παράθυρα ή πόρτες, θέρμανση και φωτισμός. Υπάρχουν τρία βασικά μέρη σε αυτή τη μοντελοποίηση:

1. Εισάγονται κάποιες διαδικασίες που περιγράφουν την περιβαλλοντική επίδραση από το κόψιμο του δέντρου ως την επεξεργασία των σανίδων.
2. Περιγράφεται το τέλος-της-ζωής (end-of-life) της σανίδας βάσει μοντέλων σεναρίων απόρριψης. Σε αυτό το παράδειγμα, υποθέτουμε ότι το 40% του ξύλου καίγεται σε ανοιχτές εστίες στα σπίτια και το 60% διατίθεται σε χωματερές.
3. Μετά την ανάπτυξη των σεναρίων παραγωγής και τέλους χρήσης, θα αναπτυχθούν οι λεπτομέρειες της σανίδας (η συναρμολόγησή της) καθώς και ο κύκλος ζωής της.

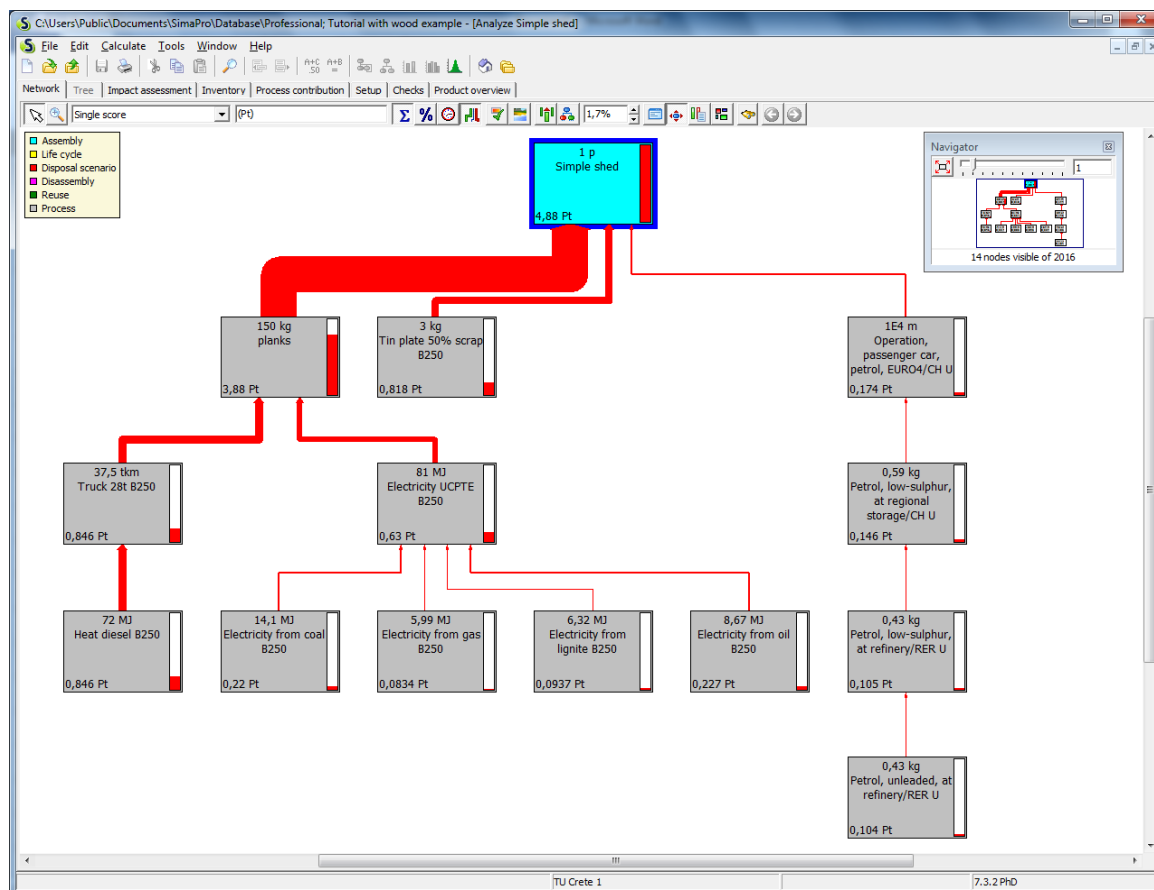
Πίνακας 5-1: Διαδικασία δημιουργίας μοντέλου προς εφαρμογή των μεθοδολογιών και εισαγωγή των παραπάνω στοιχείων στο λογισμικό SimaPro. Σε κάθε διαδικασία υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης δέντρων δικτύου τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΣΑΝΙΔΩΝ	
1. Κοπή ξύλων	
<ul style="list-style-type: none"> ο 1,25t ξύλου κόβεται για να παράγει κορμό δέντρου 1t ο Αλυσοπρίονο: 25t ξύλου/h → για 1,25t χρησιμοποιείται 3' 	
<ul style="list-style-type: none"> - Εισαγωγή εκρών διαδικασίας (προϊόντων): 1t κομμένης ξυλείας - Εισαγωγή εισροών: από φυσικούς πόρους = 1,25t ξύλου από την τεχνόσφαιρα (υλικά/καύσιμα) = 3' χρήσης αλυσοπρίονου - Εισαγωγή εκπομπών και άλλων εκρών: 250kg ξύλου μένει στο δάσος σαν απόρριμμα 	
2. Παραγωγή σανίδων	
<ul style="list-style-type: none"> ο Σανίδες 50% (=500kg) ο «Πριονίδια» 40% (=400kg) ο Φλοιός 10% (=100kg) 	
Τα 250kg ξύλου χρησιμοποιούνται για να ξηράνουν το ξύλο	
<p><u>Μεταφορά:</u> απόσταση (δάσος --> πριονιστήριο) για 200kg – χρήση ενός φορτηγού 28t με συντελεστή φορτίου 50% (επειδή γυρίζει άδειο) – η διαδρομή εκφράζεται σε tkm = 250tkm</p> <p><u>Ηλεκτρισμός:</u> UCPTÉ: European organization for electricity producers → UCPTÉ 150kWh ανά t εκροής</p> <p><u>Εκπομπές:</u> 450kg CO₂ – 2,9kg CO – 500g NO₂ – 540g particulates <10µm – 100g SO₂</p>	
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ	
Το στέγαστρο αποτελείται από σανίδες (ήδη καθορισμένες) και μεταλλικά στοιχεία κατασκευής.	
ΣΕΝΑΡΙΟ	<p>40% ξύλου καίγεται σε ανοιχτές εστίες σπιτιών → μη αποδοτικές, προκαλούν μεγάλες ενεργειακές απώλειες</p> <p>60% απορρίπτεται σε χωματερές – 31% του εκλυόμενου μεθανίου χρησιμοποιείται σαν καύσιμο (υπόθεση: η χωματερή έχει σύστημα συλλογής CH₄)</p>
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ ΓΙΑ:	

1. Καταγραφή διαχείρισης απόρριψης από τη χωματερή	
<ul style="list-style-type: none"> - Τύπος απορρίμματος: ξύλο → είναι εισροή στη διαδικασία – 1kg - Εκροές στην τεχνόσφαιρα: φυσικό αέριο = 0,007kg CH₄ χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας – η χρήση του CH₄ σημαίνει λιγότερες ανάγκες παραγωγής φυσικού αερίου - Εισροές από την τεχνόσφαιρα: φορτηγό 16t - 50km απόσταση ως τη χωματερή – Μεταφορά 1kg για 20km: 0,001t*20km=.02tkm - Εκπομπές στην ατμόσφαιρα → CH₄ που δε συλλέγεται = 0,002kg <div style="margin-left: 150px;">↘ 0,5kg CO₂</div> 	
2. Μοντελοποίηση επιδράσεων από την ανοιχτή εστία (αποτέφρωση) – ξύλο 1kg	
Εκπομπές: 1,2kg CO ₂ – 50g CO – 27,5g NMVOC (non methane volatile organic compounds) – 40mg PAH (polycyclic aromatic hydrocarbons) – 2,5mg particulates <10μm – 2g NO ₂	
3. Σενάρια απόρριψης – πόσα από τα απόβλητα πηγαίνουν σε ποια διαχείριση	
<ul style="list-style-type: none"> ο Σενάριο χωματερής: το ξύλο στέλνεται στη διαχείριση απορριμμάτων ξυλείας ενώ τα μεταλλικά στοιχεία σε μια προκαθορισμένη διαχείριση για το χάλυβα Χωματερή για το ξύλινο στέγαστρο 100% Χωματερή για τα στοιχεία από χάλυβα 100% Χωματερή για τα στοιχεία από λευκοσίδηρο 100% 	
<ul style="list-style-type: none"> ο Σενάριο για την ανοιχτή εστία Αποτέφρωση: ξύλο 100% χάλυβας 100% λευκοσίδηρος 100% 	
<ul style="list-style-type: none"> ο Σενάριο διαχωρισμού σε → 40% σε ανοιχτές εστίες ↘ 60% σε χωματερές - Σενάριο απόρριψης για το στέγαστρο - Εισροές από τεχνόσφαιρα: αυτοκίνητο 10km (μεταφορά από το χρήστη ως τη συλλογή δημοτικών απορριμμάτων) 	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΟΛΟΚΛΗΡΟΥ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	
Στάδια προϊόντος: δεν περιέχονται περιβαλλοντικές πληροφορίες, αλλά γίνεται αναφορά στις διαδικασίες που έχουν περιγραφεί	
1. Στάδιο συναρμολόγησης προϊόντος	
<ul style="list-style-type: none"> ο 150kg σανίδες ο 2kg μεταλλικά μέρη ο Ο καταναλωτής παίρνει τα ξύλα με το αυτοκίνητό του και οδηγεί κατά μέσο όρο 5km προς και 5km από το κατάστημα = 10km. 	

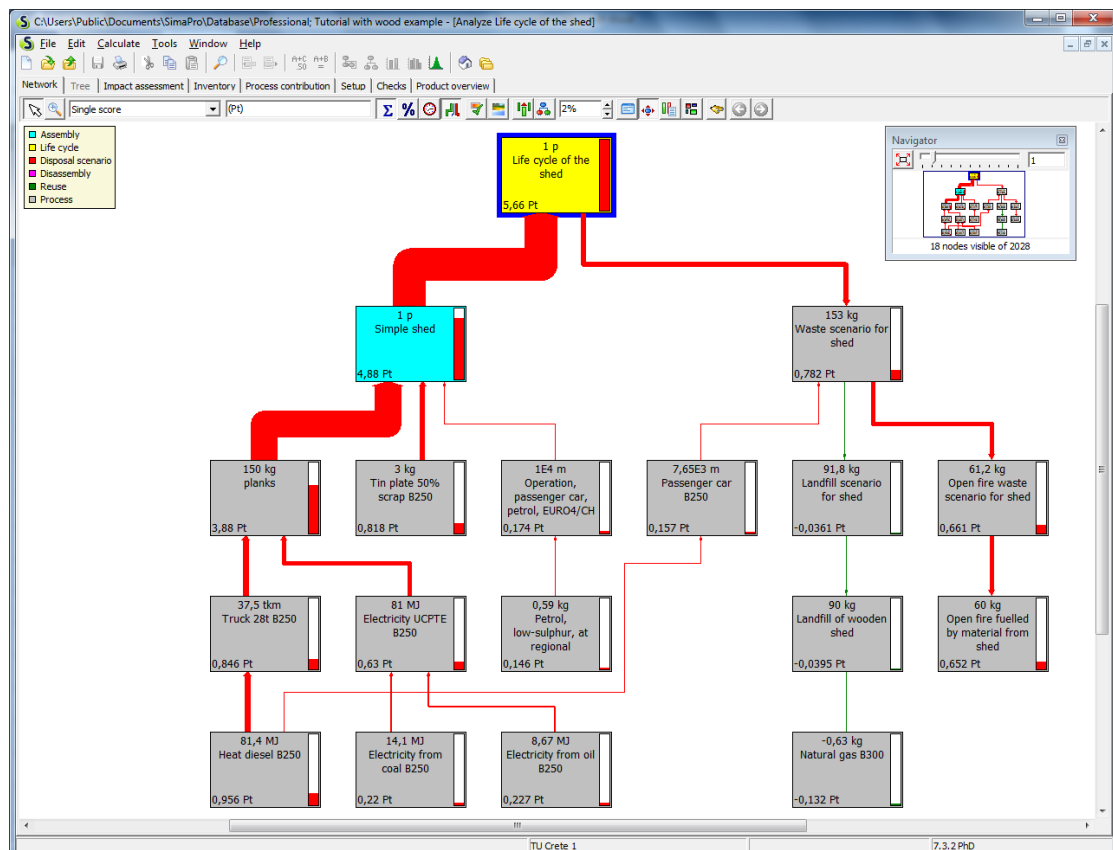
➔ Δημιουργία κύκλου ζωής του στεγάστρου και εισάγοντας στο SimaPro το στέγαστρο που δημιουργήθηκε στο παραπάνω στάδιο και το σενάριο απόρριψής του			
2. Παραμετροποίηση στεγάστρου			
Διάσταση	Τιμή	Μονάδα	<u>Υλικά</u>
Πλάτος	3	m	Σανίδες με μάζα ξύλου = 96,5kg
Μήκος	2	m	Λευκοσίδηρος (tin plate) 50% scrap 2kg
Ύψος	2	m	Στρώμα βαφής (βερνίκι): επιφάνεια τοίχου*2=5,97kg (υπόθεση: 200g/m ²)
Κλίση οροφής	0,5	Ακτίνια (57,3 μοίρες=1)	Λευκοσίδηρος 20%: επιφάνεια οροφής*1,4=25,7kg (υπόθεση: 1,4kg/m ²)
Προεξοχή οροφής	0,2	m	
Πάχος τοίχου	0,0022	m	<u>Διαδικασίες</u>
Μάζα ξύλου	800	Kg/m ³	Επιβατικό αυτοκίνητο: 10km
Πάχος οροφής	0,003	m	

Στον πίνακα 5-1 παρουσιάζεται η καταγραφή των δεδομένων του κύκλου ζωής ενός απλού στεγάστρου όπως εισήχθησαν στο SimaPro (Παράρτημα Β) για την εφαρμογή των μεθοδολογιών IMPACT 2002+, CML 2001, ECO-INDICATOR 99, ReCiPe και EPS 2000.



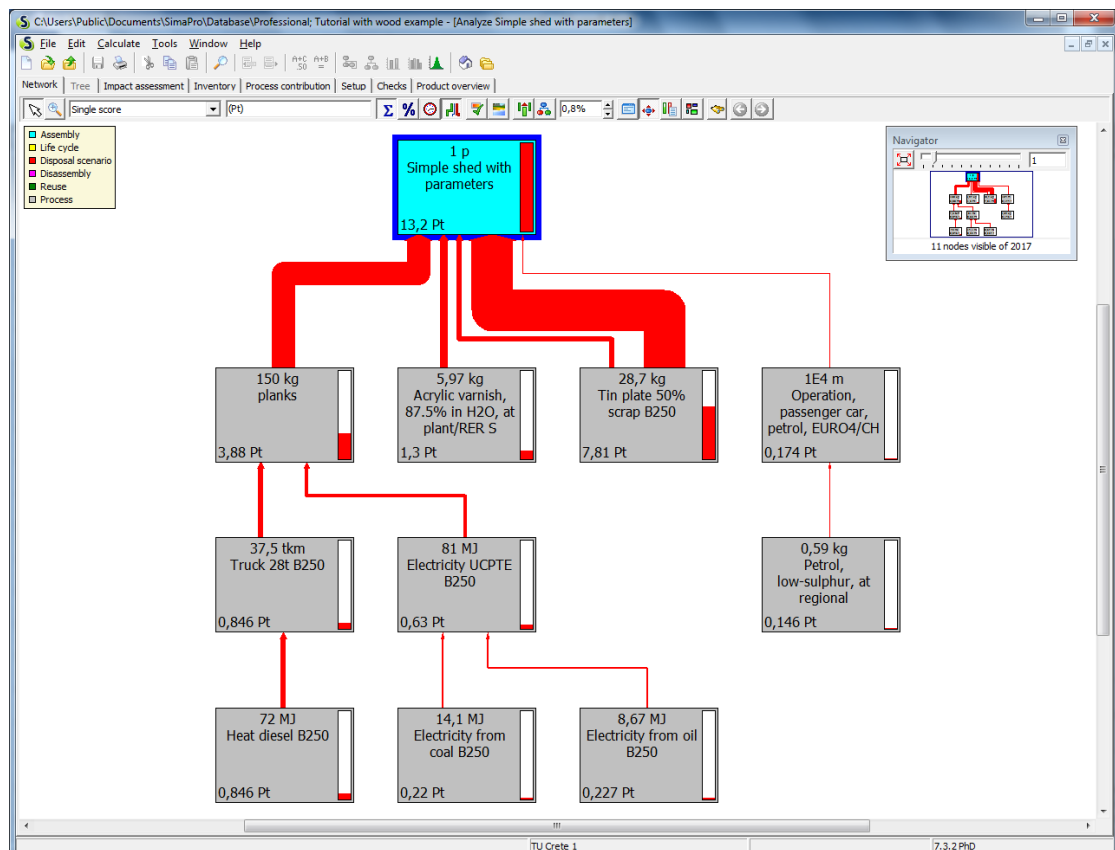
Σχήμα 5-3: Δέντρο δικτύου για το στέγαστρο

Στο σχήμα 5-4 που ακολουθεί φαίνεται ο κύκλος ζωής του στεγάστρου, όπου εισροές αποτελούν το στέγαστρο με τις διαδικασίες για την κατασκευή του και το σενάριο απόρριψης του στεγάστρου. Να σημειωθεί ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος των τόξων που ενώνουν τις επιμέρους διαδικασίες και υποδεικνύουν εισροές ή εκροές, τόσο μεγαλύτερη είναι η περιβαλλοντική επιβάρυνση που πραγματοποιείται. Φυσικά, σε όλα τα δέντρα δικτύου που παρατίθενται παρουσιάζεται ένας μικρός αριθμός κόμβων σε σχέση με τον πραγματικό αριθμό τους. Αυτό σχετίζεται με το κατώφλι, όσο μικρότερο είναι, τόσο περισσότεροι κόμβοι εμφανίζονται στο δέντρο. Στα δέντρα που παρουσιάζονται το κατώφλι τίθεται στο 0,8% – 2% και θεωρούμε ότι οι κόμβοι που δεν εμφανίζονται έχουν ιδιαίτερα μικρή σημασία για την περιβαλλοντική αξιολόγηση (παρόλο που η συμβολή τους λαμβάνεται υπόψη στο αποτέλεσμα).

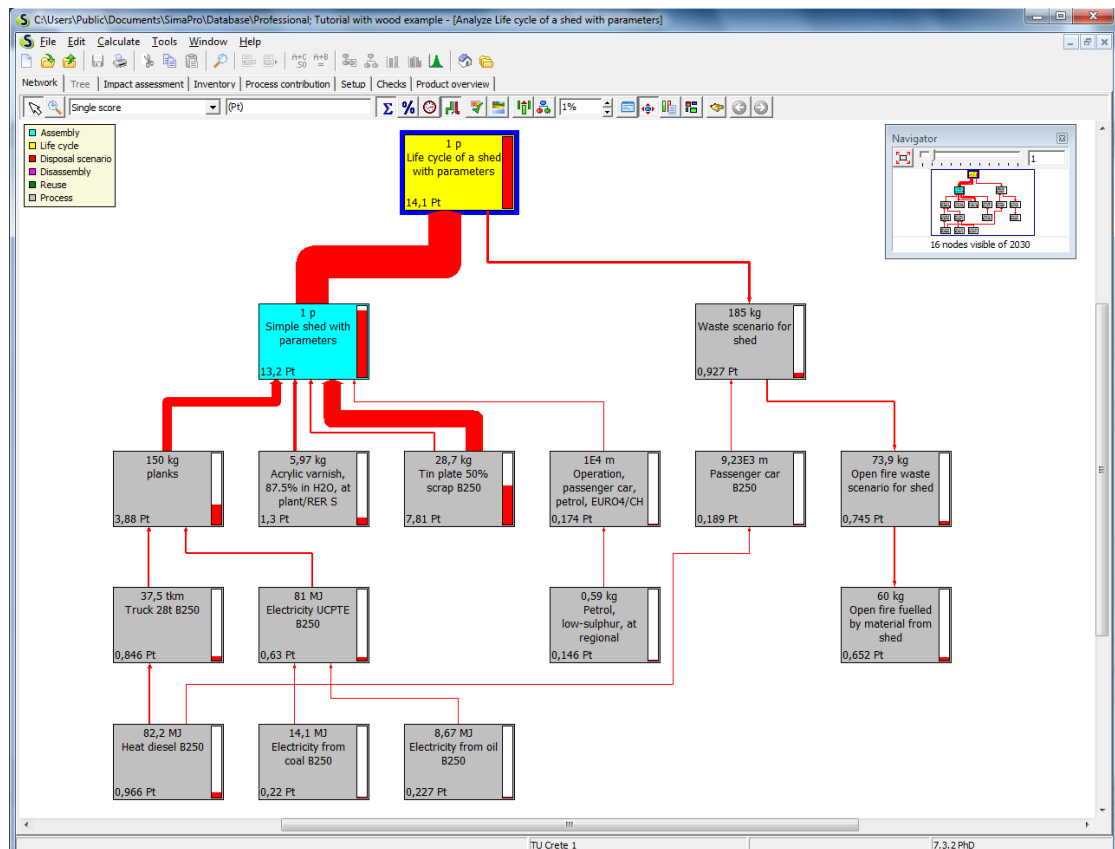


Σχήμα 5-4: Δέντρο δικτύου για τον κύκλο ζωής του στεγάστρου

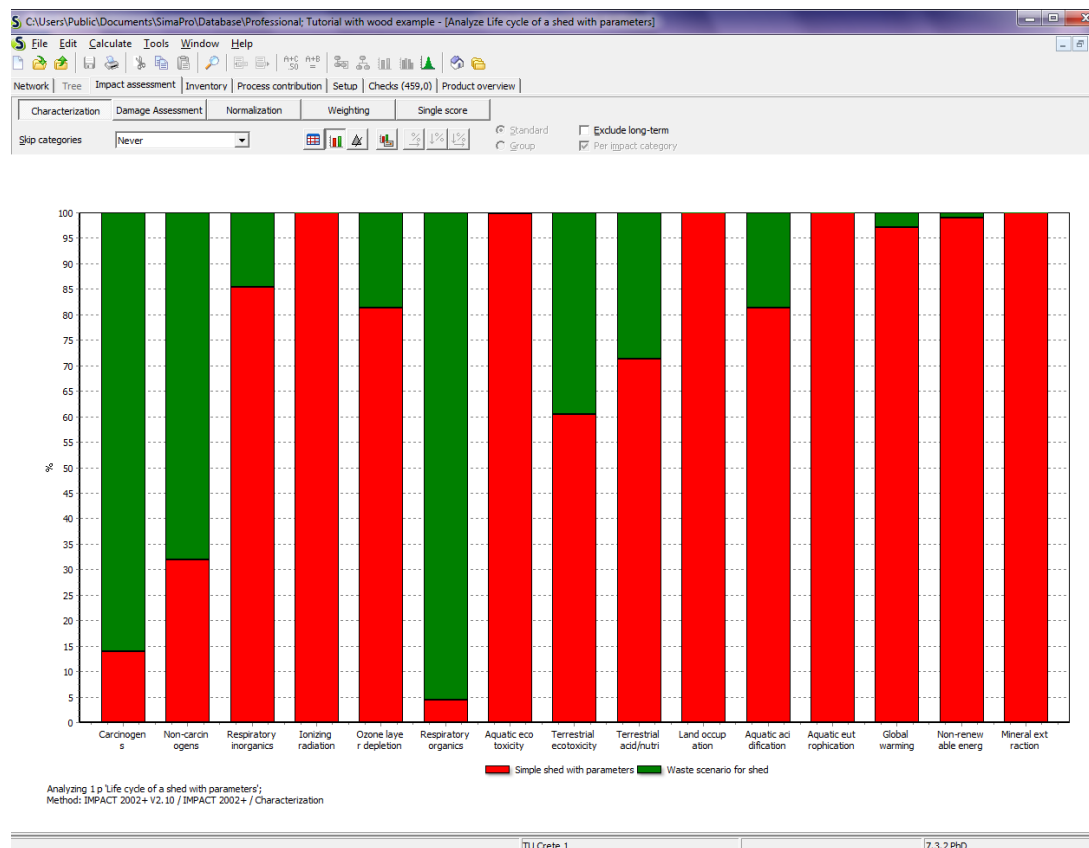
Στη συνέχεια παρουσιάζεται το δέντρο δικτύου για το παραμετροποιημένο βάσει καθορισμένων διαστάσεων στεγάστρο κι έπειτα στο σχήμα 5-5 παρουσιάζεται ο κύκλος ζωής του παραμετροποιημένου στεγάστρου. Τα Pt αναφέρονται στις μονάδες μέτρησης της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Επίσης, οι γκρι κόμβοι αποτελούν τις διαδικασίες, ο μπλε κόμβος τη συναρμολόγηση και ο κίτρινος τον κύκλο ζωής.



Σχήμα 5-5: Δέντρο δικτύου για το παραμετροποιημένο στέγαστρο

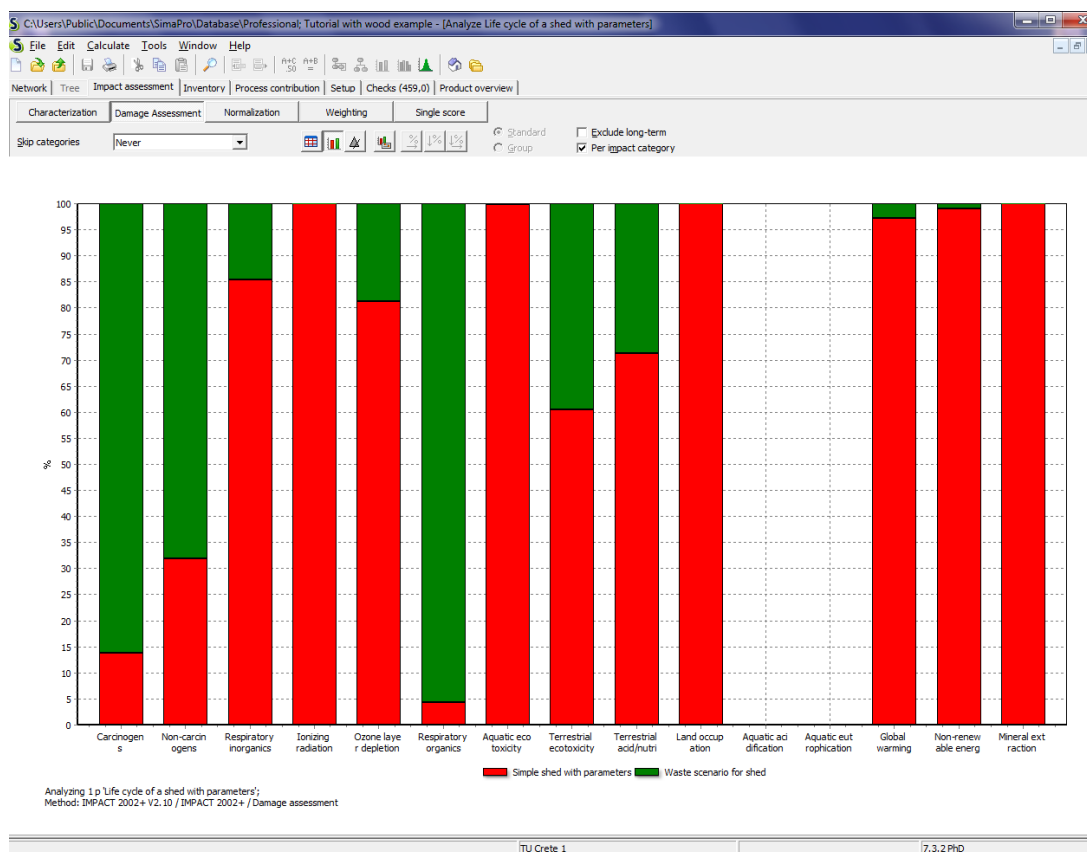


Σχήμα 5-6: Δέντρο δικτύου για τον κύκλο ζωής του παραμετροποιημένου στεγάστρου



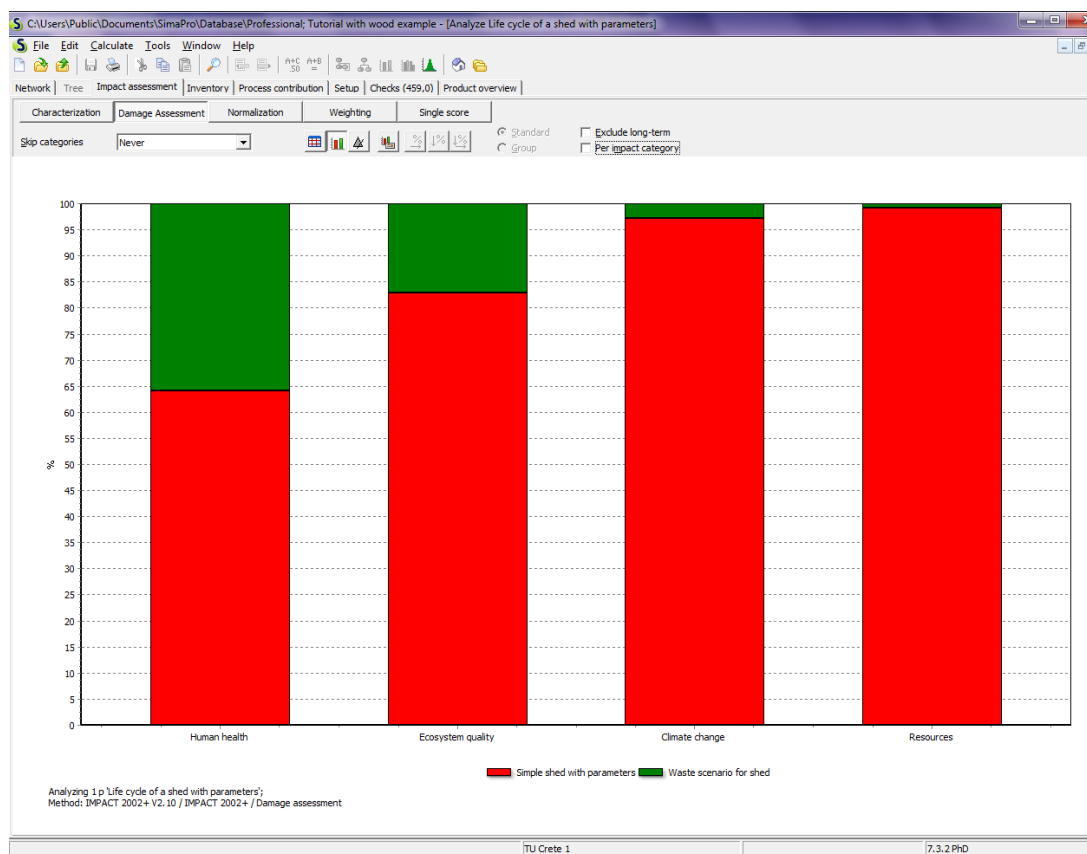
Σχήμα 5-8: Γράφημα χαρακτηρισμού δεδομένων

Στο σχήμα 5-9 παρουσιάζεται η αξιολόγηση επιδράσεων σε επίπεδο αξιολόγησης βλαβών ανά κατηγορία επιπτώσεων. Γίνεται μετατροπή των μονάδων του προηγούμενου γραφήματος (πίνακας Γ-1) σε μονάδες των κατηγοριών βλάβης. Πρόκειται για τη συμβολή του στεγάστρου και του σεναρίου απόρριψης στις κατηγορίες επιπτώσεων σε μονάδες βλάβης (πίνακας Γ-2).

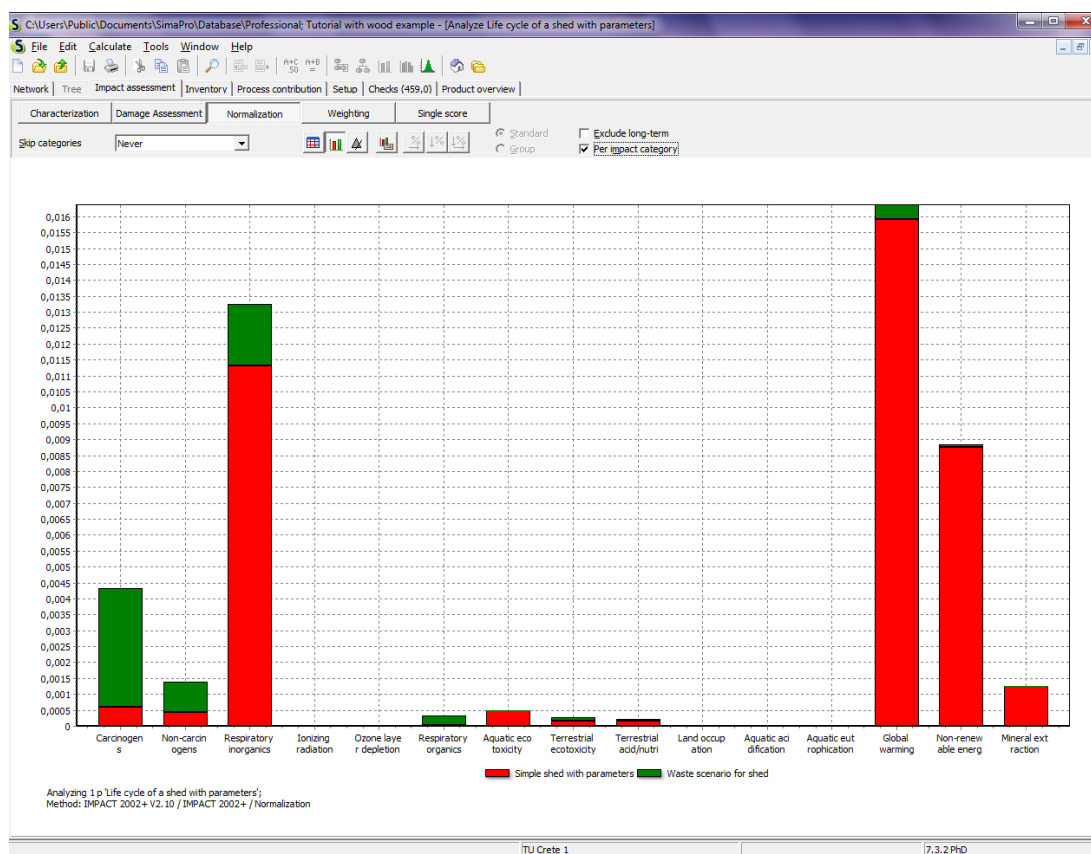


Σχήμα 5-9: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία επιπτώσεων

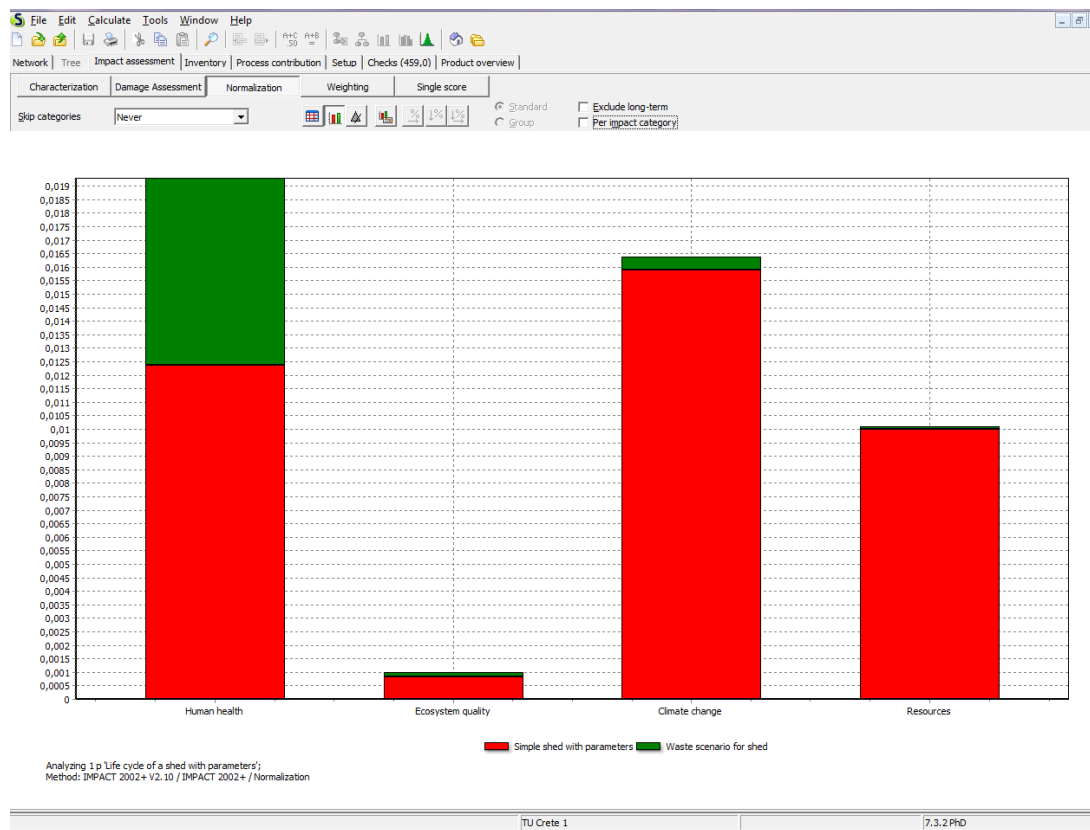
Έπειτα, στο σχήμα 5-10 παρουσιάζεται η αξιολόγηση επιπτώσεων στο επίπεδο των βλαβών (endpoints) ανά κατηγορία βλάβης σαν ποσοστιαία συμβολή του στεγάστρου και του σεναρίου απόρριψης στην ανθρώπινη υγεία, στην ποιότητα οικοσυστήματος, στην κλιματική αλλαγή και τους πόρους. Στα σχήματα 5-11 και 5-12 φαίνονται τα κανονικοποιημένα στοιχεία ανά κατηγορία επίδρασης και ανά κατηγορία βλάβης αντίστοιχα, σαν αποτέλεσμα της διαίρεσης της επίδρασης ανά μονάδα εκπομπής με τη συνολική επίδραση ουσιών μιας συγκεκριμένης κατηγορίας για την οποία οι συντελεστές χαρακτηρισμού δίνονται ανά άτομο, ανά έτος. Τα κανονικοποιημένα στοιχεία είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στις συγκριτικές αξιολογήσεις.



Σχήμα 5-10: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλαβών

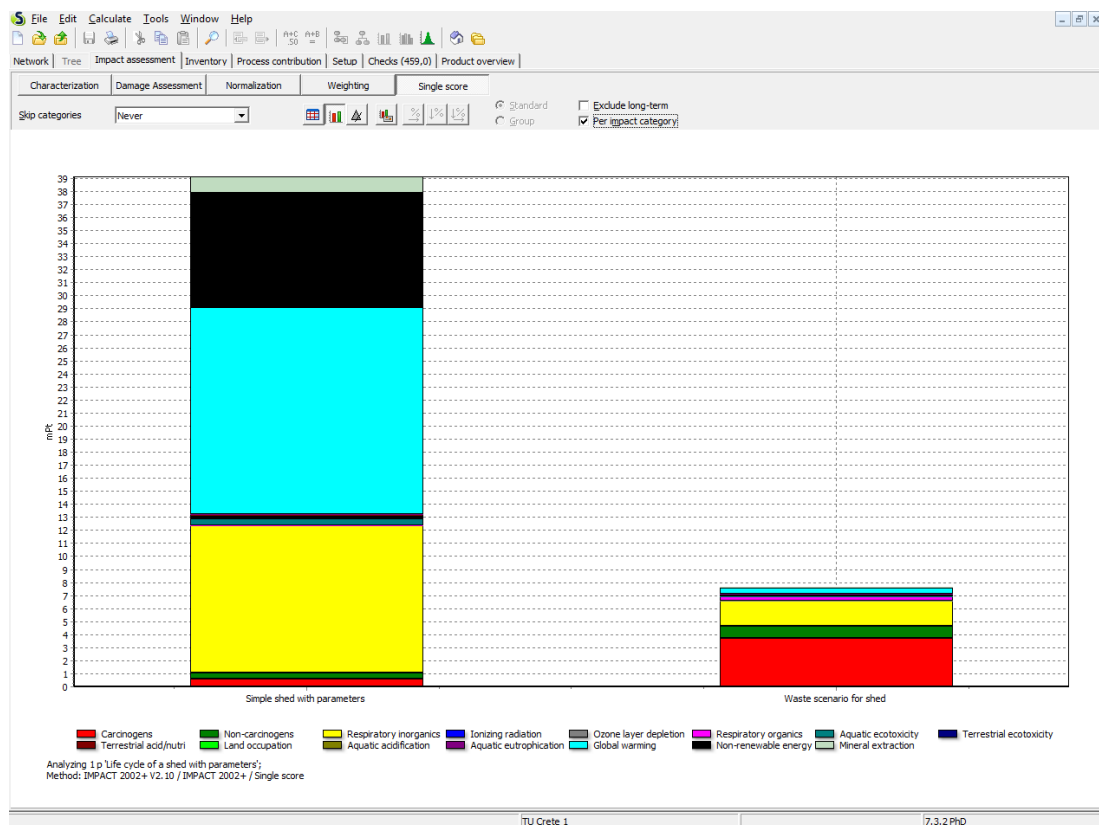


Σχήμα 5-11: Γράφημα κανονικοποιημένων αποτελεσμάτων ανά κατηγορία επιπτώσεων



Σχήμα 5-12: Γράφημα κανονικοποιημένων αποτελεσμάτων ανά κατηγορία βλαβών

Τέλος, στα σχήματα 5-13 και 5-14 φαίνονται τα γραφήματα ανά κατηγορία επιπτώσεων και ανά κατηγορία βλαβών αντίστοιχα βάσει ενός σταθμισμένου μοναδικού αθροίσματος σε πόντους (Pt). Το μοναδικό άθροισμα επιτρέπει στον αποφασίζοντα, στην περίπτωση των συγκριτικών αξιολογήσεων, να ελέγξει ποια εναλλακτική έχει την καλύτερη συνολική περιβαλλοντική επίδραση (Haarala et. al, 2006).



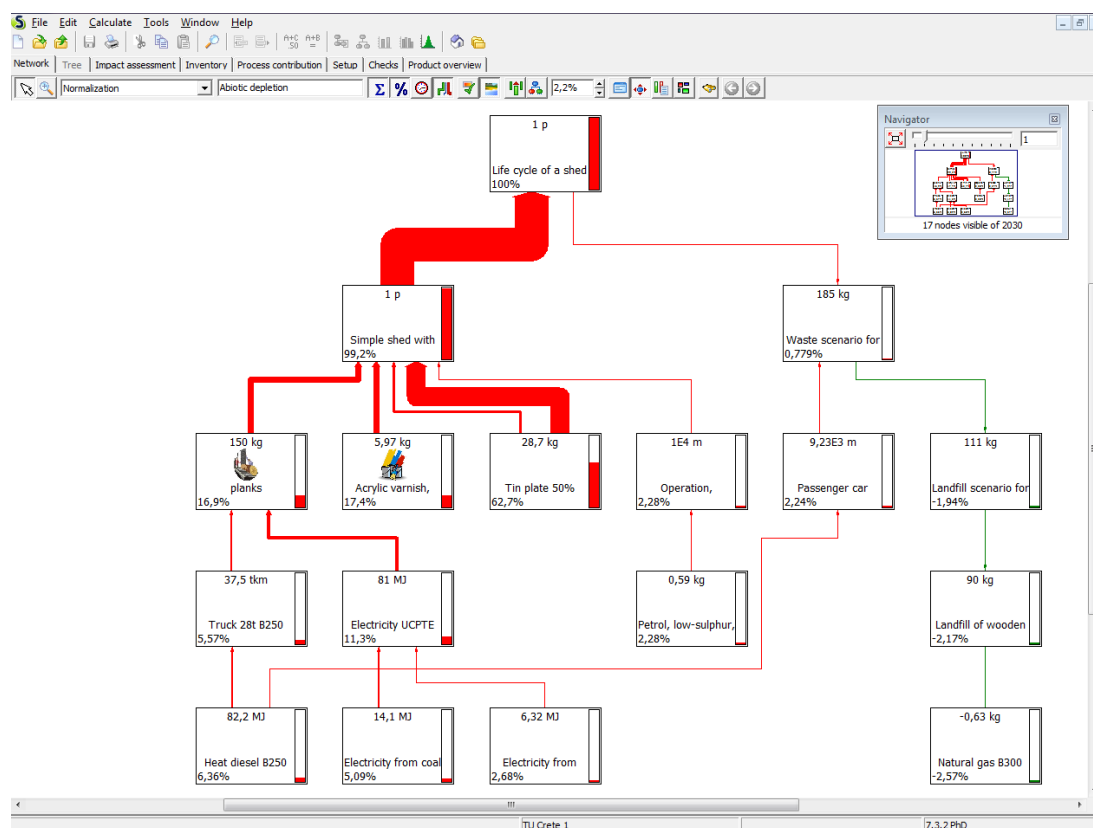
Σχήμα 5-13: Γράφημα μοναδικού σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων



Σχήμα 5-14: Γράφημα μοναδικού σκορ ανά κατηγορία βλαβών

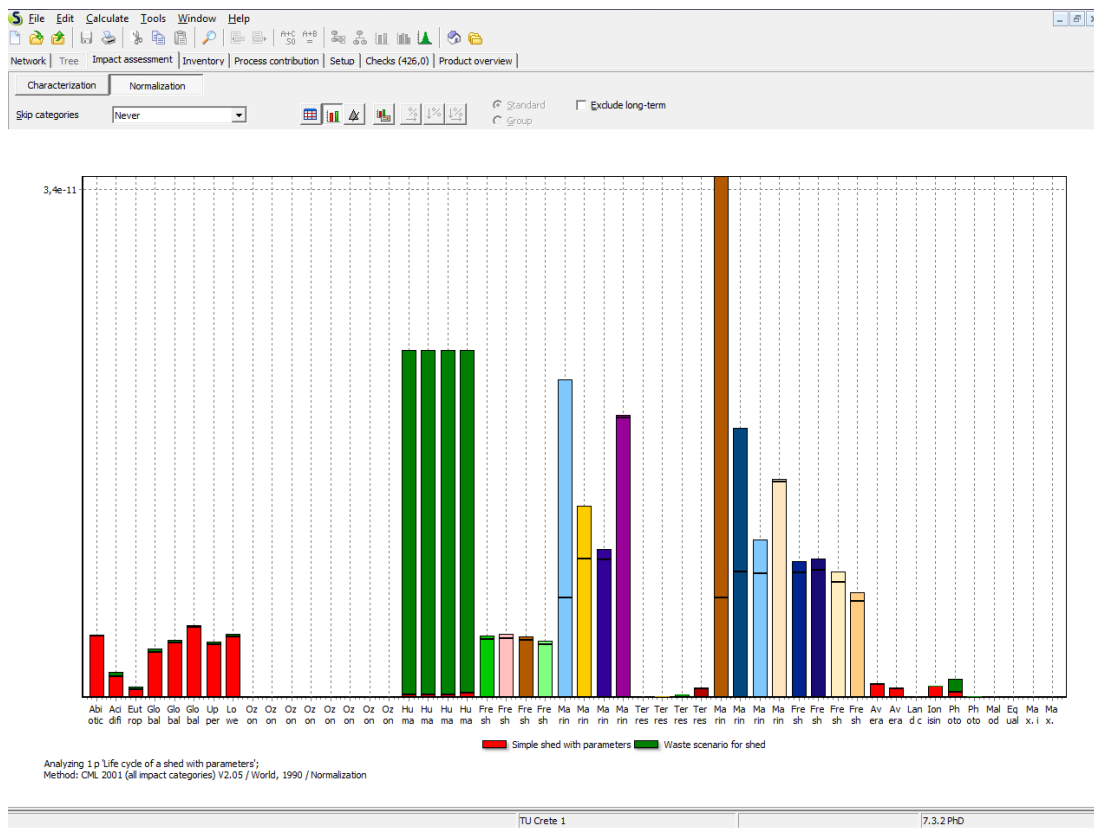
5.4.2 CML 2001

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το SimaPro για τη μεθοδολογία CML 2001. Πρόκειται για μία μεθοδολογία προσανατολισμένη στο ενδιάμεσο επίπεδο, δηλαδή στις κατηγορίες επιπτώσεων. Στο σχήμα 5-15 φαίνεται το δέντρο του κύκλου ζωής – ουσιαστικά εμφανίζονται οι 17 από τους 2030 κόμβους βάσει του κατωφλίου που έχει τεθεί στο να εμφανίζονται κόμβοι με περιβαλλοντική επιβάρυνση μεγαλύτερη ή ίση του 2,2%.



Σχήμα 5-15: Δέντρο δικτύου για τη μέθοδο CML 2001

Οι κόμβοι με αρνητικό πρόσημο στο ποσοστό τους υποδεικνύουν αρνητική περιβαλλοντική επιβάρυνση, δηλαδή είναι πράξεις με περιβαλλοντικό «καλό». Έπειτα, στο σχήμα 5-16 φαίνεται το γράφημα του χαρακτηρισμού. Εδώ κάποιες από τις κατηγορίες επιπτώσεων αναφέρονται σε διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες ανάλογα με το πρόβλημα (πίνακας Γ-8). Για παράδειγμα, η υπερθέρμανση του πλανήτη χαρακτηρίζεται σε βάθος 20, 100 και 500 ετών, ενώ η μείωση της στοιβάδας του όζοντος σε βάθος 5, 10, 15, 20, 25, 30 και 40 ετών.

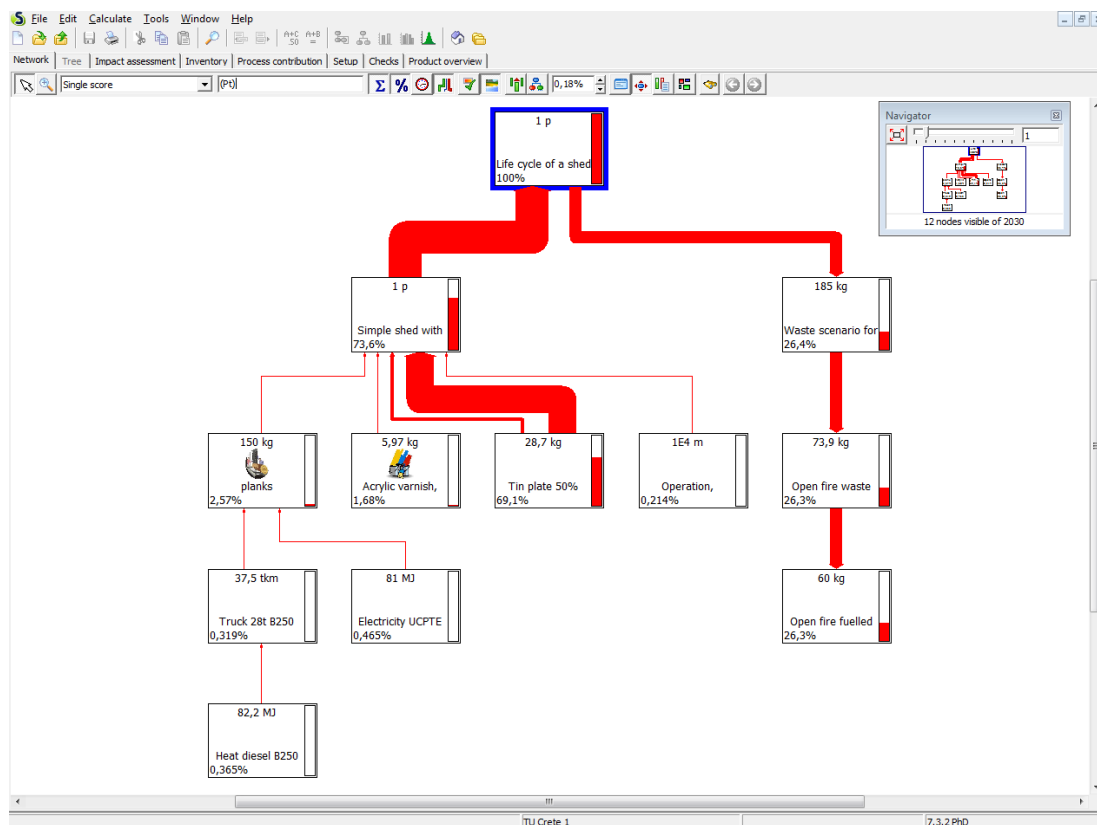


Σχήμα 5-17: Κανονικοποιημένα αποτελέσματα της CML 2001

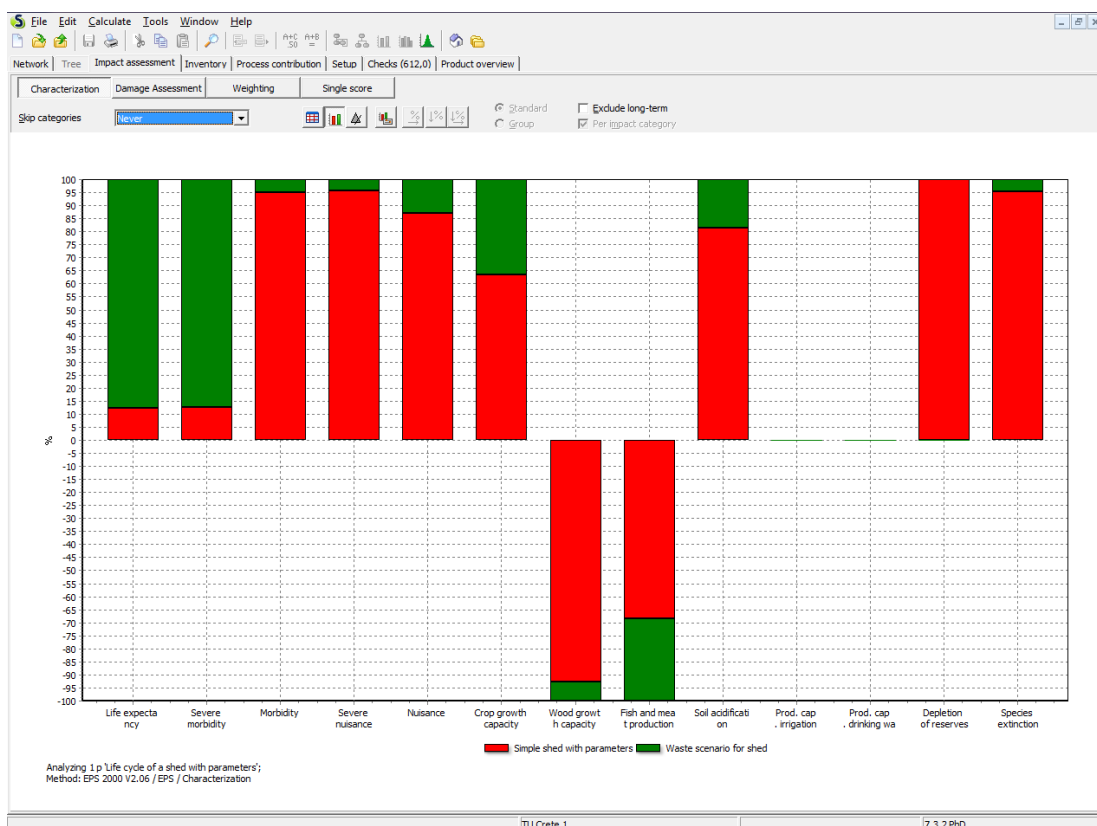
Από τα κανονικοποιημένα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η κατηγορία της θαλάσσιας οικοτοξικότητας σε βάθος χρόνου είκοσι ετών είναι αυτή που επηρεάζεται περισσότερο και ακολουθούν οι κατηγορίες της ανθρώπινης τοξικότητας 20, 100, 500 και άπειρων ετών.

5.4.3 EPS 2000

Η EPS 2000 είναι μία μεθοδολογία προσανατολισμένη στη βλάβη που προκαλείται από τις επιπτώσεις του υπό μελέτη συστήματος στο περιβάλλον. Άρα, όπως φαίνεται και στο γράφημα χαρακτηρισμού των αποτελεσμάτων απογραφής του κύκλου ζωής (σχήμα 5-19), οι κατηγορίες επιπτώσεων σχετίζονται άμεσα με τη βλάβη που προκαλείται. Μερικές από αυτές είναι το προσδόκιμο ζωής, η παραγωγή ψαριού και κρέατος, η εξαφάνιση των ειδών, η δυνατότητα παραγωγής πόσιμου νερού, η δυνατότητα παραγωγής ξύλου και σιτηρών. Ακολουθεί το δέντρο του κύκλου ζωής (σχήμα 5-18) με τις δώδεκα σημαντικότερες διαδικασίες-κόμβοι να εμφανίζονται.

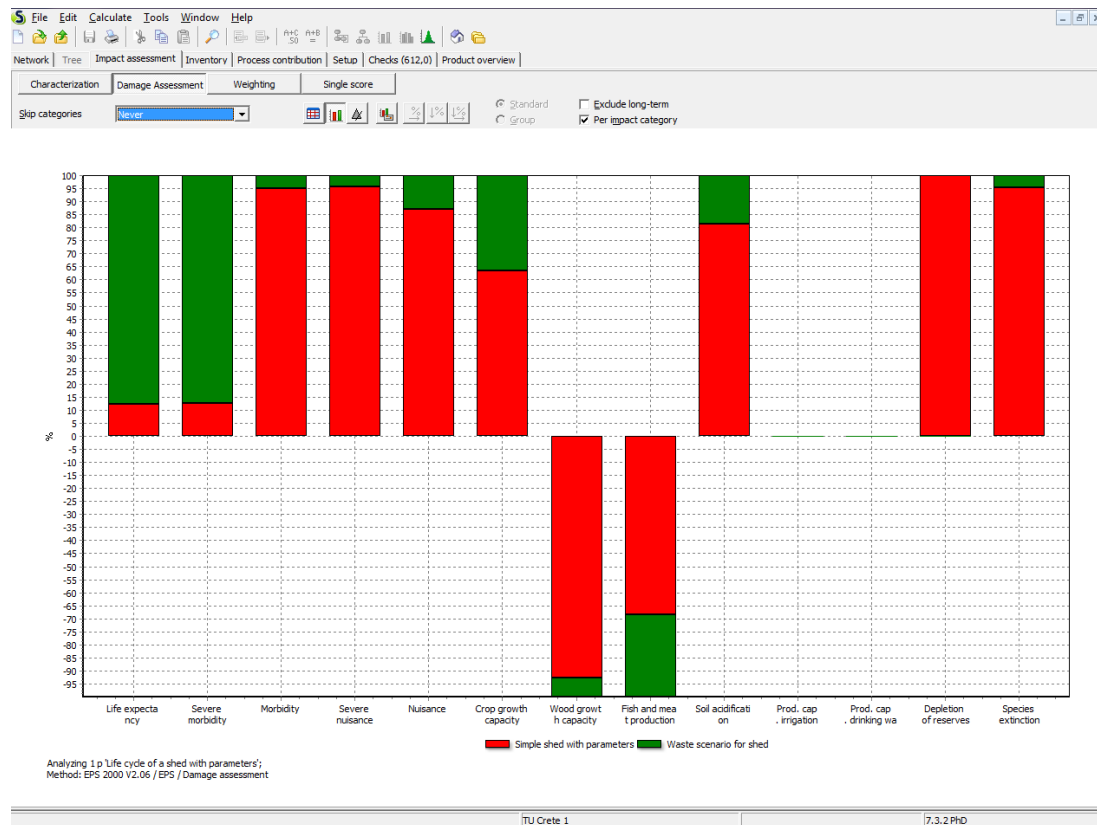


Σχήμα 5-18: Δέντρο δικτύου για την EPS 2000



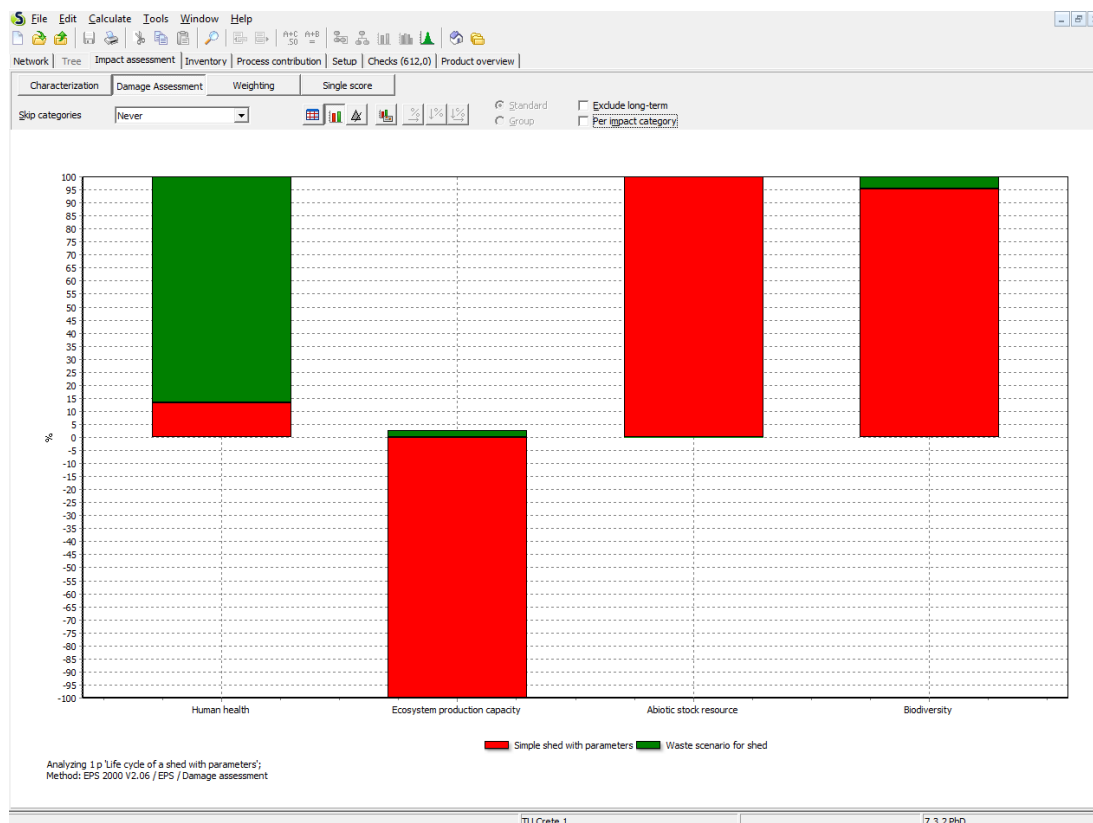
Σχήμα 5-19: Γράφημα χαρακτηρισμού της EPS 2000

Από το σχήμα 5-18 παρατηρούμε ότι υπάρχουν κόμβοι με αρνητικό πρόσημο που υποδηλώνουν μη περιβαλλοντική επιβάρυνση και αυτό φαίνεται τόσο στο γράφημα χαρακτηρισμού όσο και στο γράφημα αξιολόγησης βλαβών ανά κατηγορία επιπτώσεων (σχήμα 5-20) στις ράβδους των γραφημάτων με ποσοστά υπό του μηδενός.



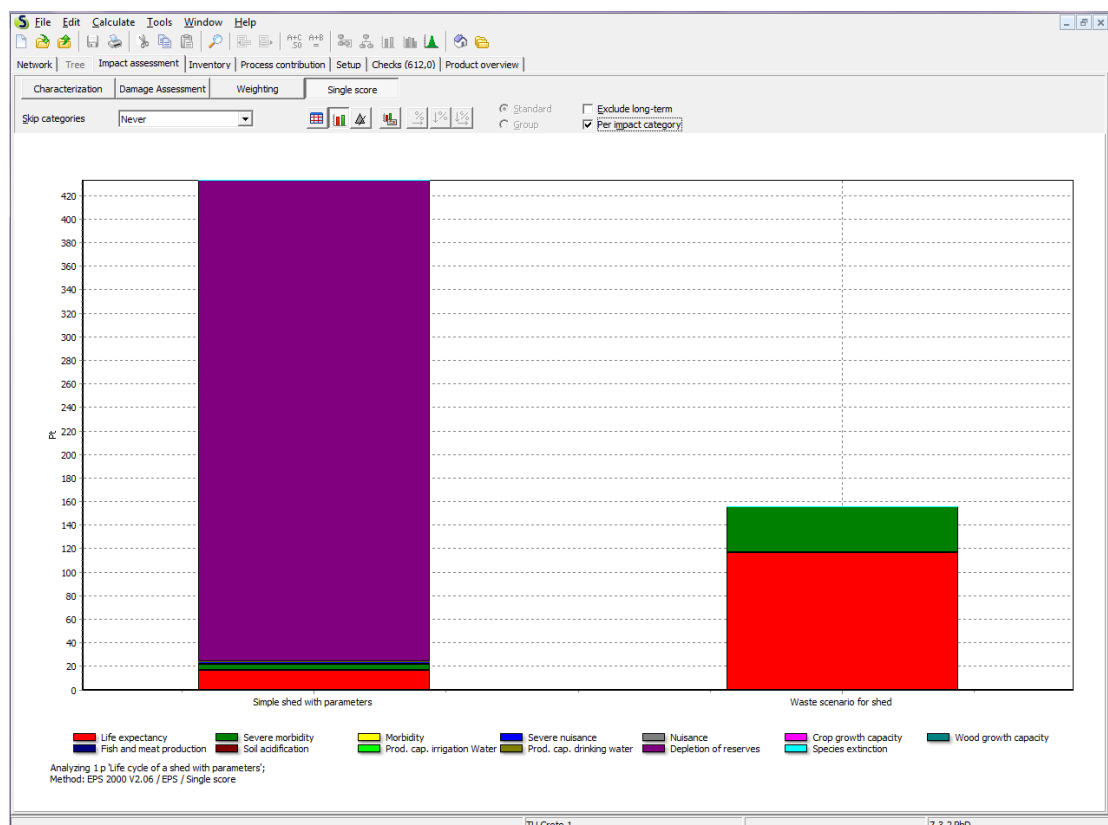
Σχήμα 5-20: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία επιπτώσεων

Παρατηρούμε ότι τα σχήματα 5-19 και 5-20 είναι ίδια αφού οι επιπτώσεις εκφράζονται με τη μορφή ποσοστών και παρουσιάζεται η σχετική σημαντικότητα του στεγάστρου προς το σενάριο απόρριψής του στις επιπτώσεις. Ωστόσο, με βάση τα αριθμητικά δεδομένα υπάρχει διαφορά στις μονάδες έκφρασης των στοιχείων του χαρακτηρισμού με αυτές της αξιολόγησης βλαβών, οι οποίες εκφράζονται σε Μονάδες Περιβαλλοντικού Φορτίου (ELU). Τα δεδομένα αυτών των γραφημάτων φαίνονται στους πίνακες 10 και 11 του παραρτήματος Γ. Ακολουθεί η αξιολόγηση επιπτώσεων ανά κατηγορία βλαβών (σχήμα 5-21).



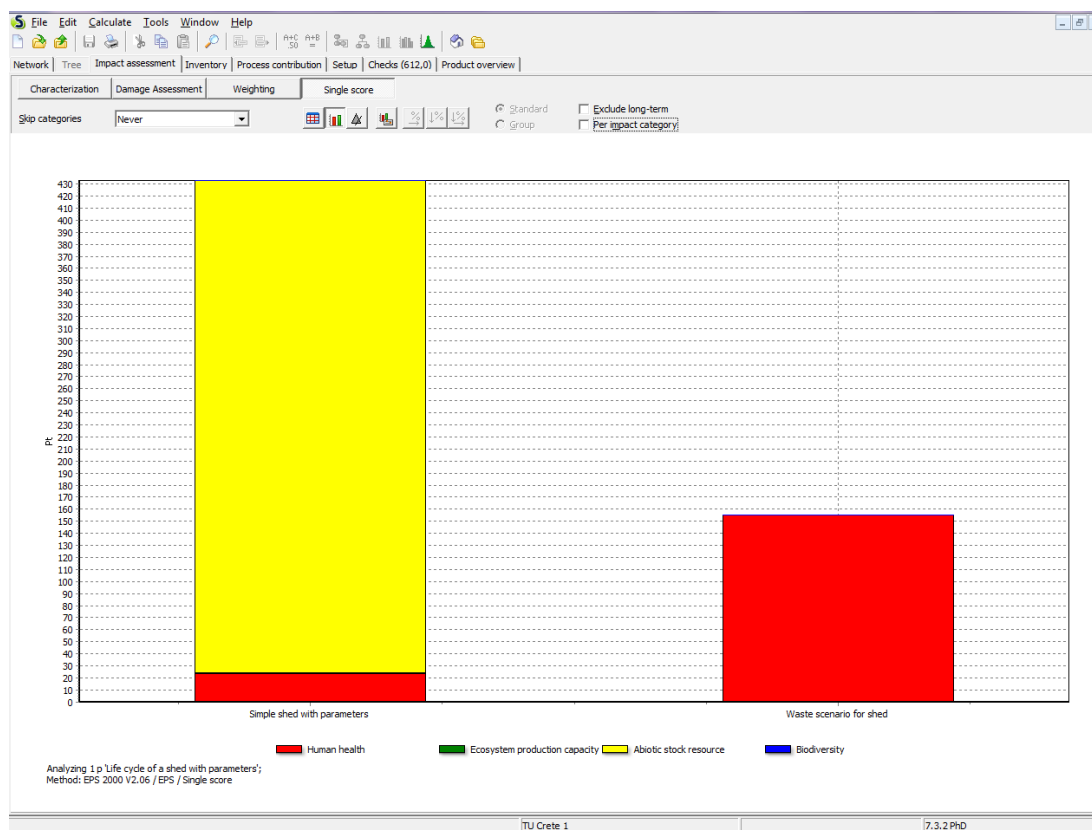
Σχήμα 5-21: Αξιολόγηση επιπτώσεων ανά κατηγορία βλαβών

Παρατηρούμε ότι μόνο η κατηγορία της ανθρώπινης υγείας επηρεάζεται ιδιαίτερα σημαντικά από το σενάριο απόρριψης του στεγάστρου (86,72% το σενάριο απόρριψης και 13,28% το στέγαστρο). Αντίθετα, στην κατηγορία αποθεματικών αβιοτικών πόρων το σενάριο απόρριψης είναι αυτό που δεν την επιβαρύνει περιβαλλοντικά. Να σημειωθεί ότι σε αυτή τη μέθοδο δε γίνεται κανονικοποίηση, επομένως ακολουθούν τα γραφήματα του μοναδικού σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων και ανά κατηγορία βλαβών, των οποίων τα δεδομένα δίνονται στους πίνακες Γ-13 και Γ-14 του παραρτήματος.



Σχήμα 5-22: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων

Από το σχήμα 5-22 παρατηρούμε ότι η εξάντληση των αποθεμάτων επηρεάζεται σημαντικά από την κατασκευή του στεγάστρου (409/433 Pt), ενώ η ικανότητα παραγωγής ξύλου όπως και η παραγωγή ψαριού και κρέατος δεν σχετίζονται με το παραμετροποιημένο στέγαστρο και άρα δεν επηρεάζονται. Αναφορικά με το σενάριο απόρριψης του στεγάστρου, το προσδόκιμο ζωής και η σοβαρή νοσηρότητα είναι οι δύο κατηγορίες που επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό, ενώ εδώ η εξάντληση των αποθεμάτων δεν παρατηρείται να επηρεάζεται ιδιαίτερα (πίνακας Γ-15).



Σχήμα 5-23: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών

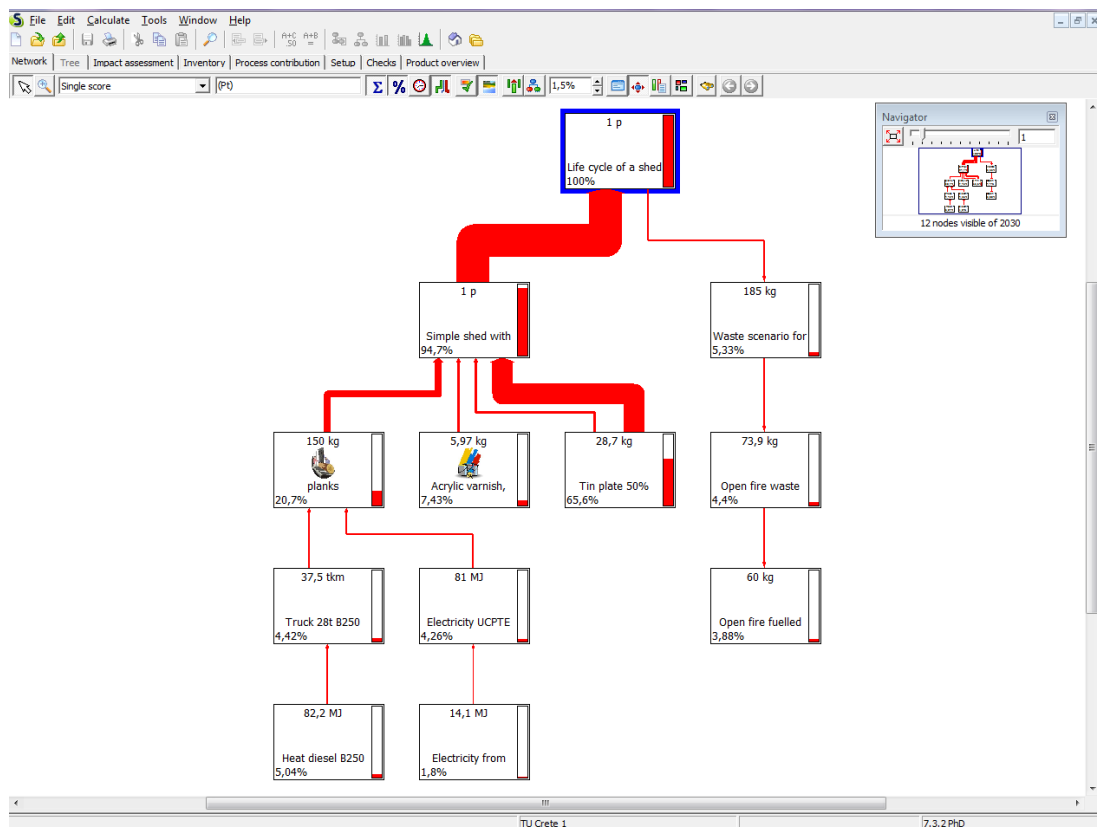
Από το σχήμα 5-23 και τον πίνακα Γ-16 του παραρτήματος συμπεραίνουμε ότι η κατασκευή του στεγάστρου επηρεάζει κατά ένα μεγάλο ποσοστό τα αποθεματικά των αβιοτικών πόρων και σε μικρό βαθμό την ανθρώπινη υγεία, ενώ το σενάριο απόρριψής του επηρεάζει μόνο την ανθρώπινη υγεία, ενώ η περιβαλλοντική επιβάρυνση είναι αρνητική για τα αποθεματικά αβιοτικών πόρων.

5.4.4 ECO-INDICATOR 99

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν τα εξαγόμενα του SimaPro για τη μεθοδολογία Eco-indicator 99 σύμφωνα με τις τρεις απόψεις που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 4.3.2.13.

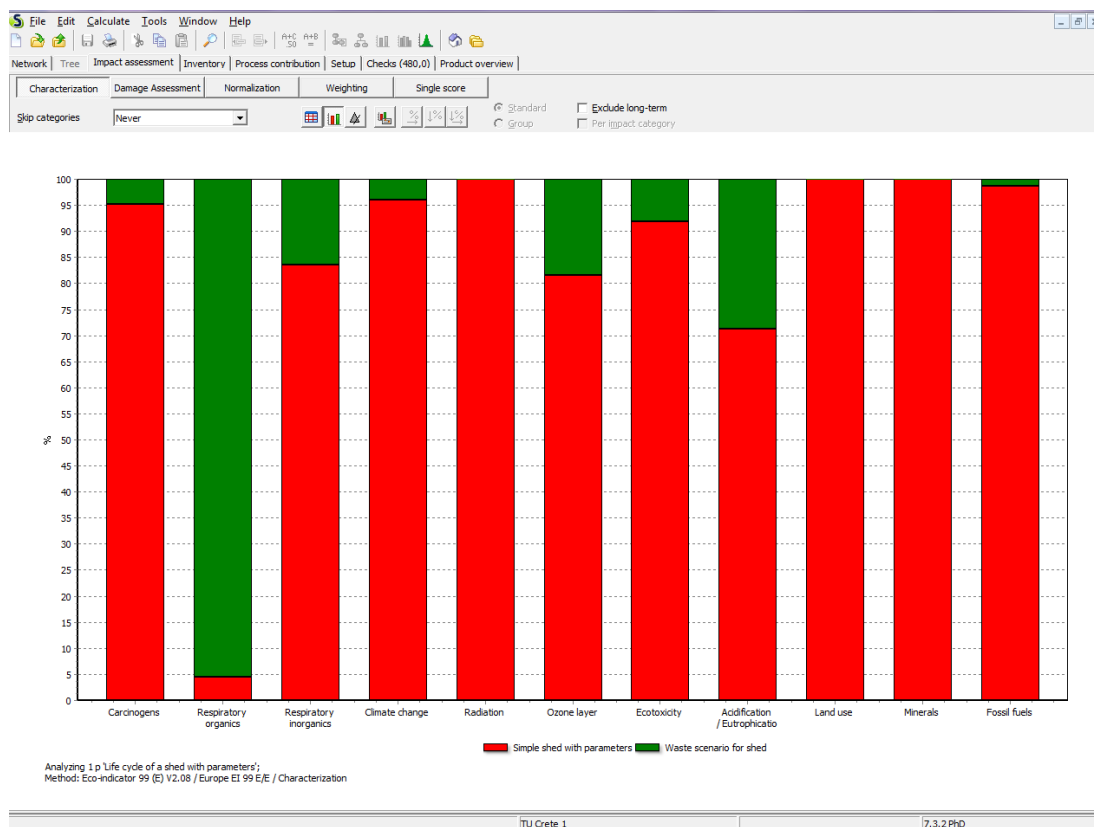
Ισότιμη άποψη

Η ισότιμη άποψη θεωρείται η πιο συντηρητική, όπου ο χρονικός ορίζοντας είναι μακροπρόθεσμος (Morelli et al., 2008). Ακολουθεί στο σχήμα 5-24 το δέντρο δικτύου για τον κύκλο ζωής του στεγάστρου, όπου εμφανίζονται οι δώδεκα σημαντικότεροι κόμβοι αναφορικά με την περιβαλλοντική επιβάρυνση του στεγάστρου και του σεναρίου απόρριψης. Η περιβαλλοντική επιβάρυνση εμφανίζεται σε ποσοστά ανά διαδικασία, όπως φαίνεται στο σχήμα.

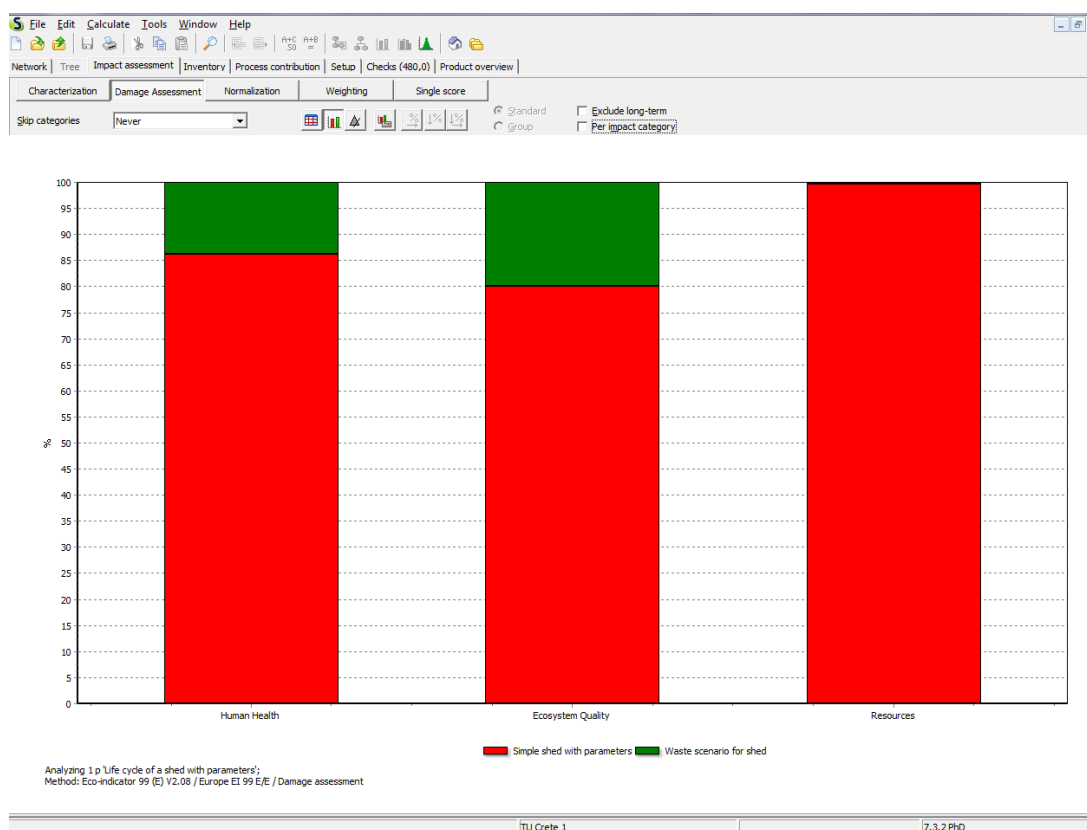


Σχήμα 5-24: Δέντρο κύκλου ζωής για την ισότιμη άποψη

Ακολουθεί στο σχήμα 5-25 το γράφημα χαρακτηρισμού και η αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλαβών (σχήμα 5-26).

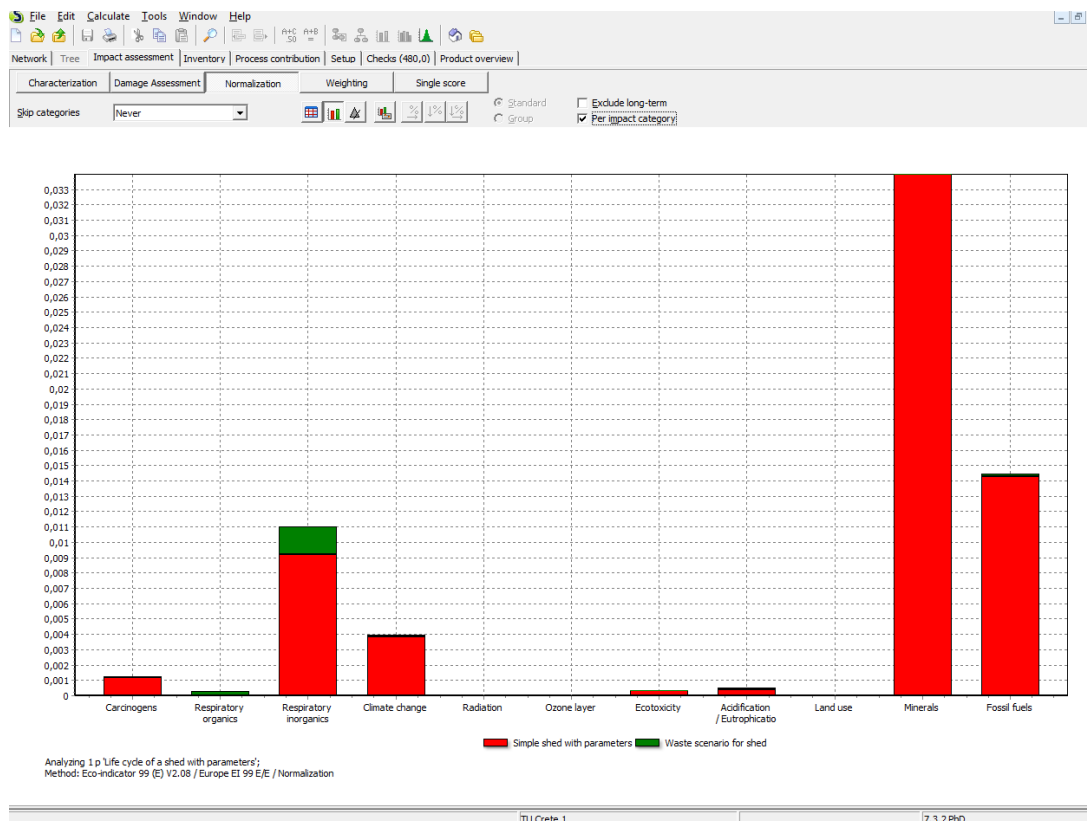


Σχήμα 5-25: Χαρακτηρισμός δεδομένων για την ισότιμη άποψη

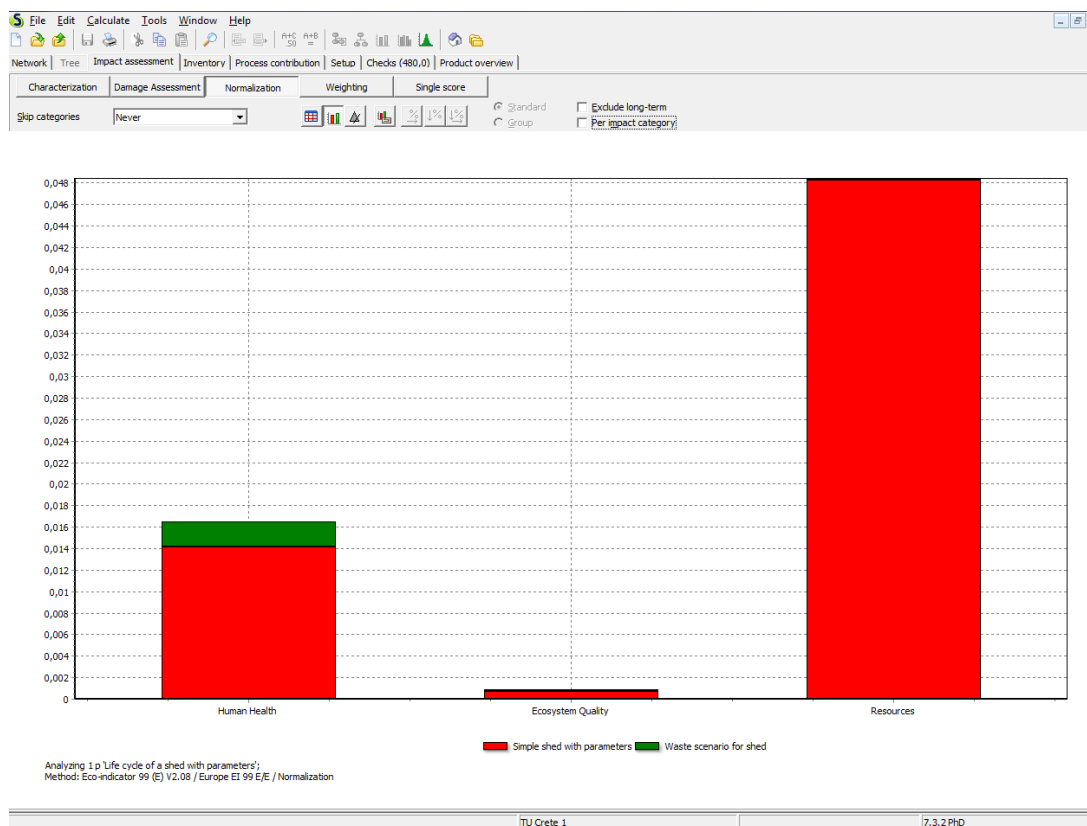


Σχήμα 5-26: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλαβών

Από το γράφημα χαρακτηρισμού παρατηρούμε ότι η ακτινοβολία, η χρήση γης και τα ορυκτά δεν επηρεάζονται καθόλου από το σενάριο απόρριψης, ενώ η κατηγορία των οργανικών αναπνευστικών επηρεάζεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από το σενάριο απόρριψης. Η ποιότητα του οικοσυστήματος επηρεάζεται κατά 75% από το στέγαστρο και κατά 25% από το σενάριο απόρριψης. Με μικρή διαφορά στα ποσοστά αλλά σε αντίστοιχη αναλογία επηρεάζεται η ανθρώπινη υγεία. Ακολουθούν τα γραφήματα με τα κανονικοποιημένα αποτελέσματα τόσο ανά κατηγορία επιπτώσεων όσο ανά κατηγορία βλαβών (σχήματα 5-27, 5-28).



Σχήμα 5-27: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επιπτώσεων (E)



Σχήμα 5-28: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών (E)

Παρατηρούμε ότι οι κατηγορίες των πόρων και των ορυκτών καυσίμων που επιβαρύνονται πολύ περισσότερο από τις υπόλοιπες, επηρεάζουν την κατηγορία βλάβης των πόρων κατά το μεγαλύτερο βαθμό όπως φαίνεται στο σχήμα 5-28. Στη συνέχεια, ακολουθεί το γράφημα με το μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών (σχήμα 5-29) όπου φαίνεται η αναλογία επίδρασης των κατηγοριών επιπτώσεων στο στέγαστρο και στο σενάριο απόρριψής του. Ένας βαθμός (point, Pt) της eco-indicator είναι ένας αδιάστατος αριθμός ίσος με το ένα χιλιοστό του ετήσιου περιβαλλοντικού φορτίου ενός κατοίκου της Ευρώπης (Haarala et al., 2006).



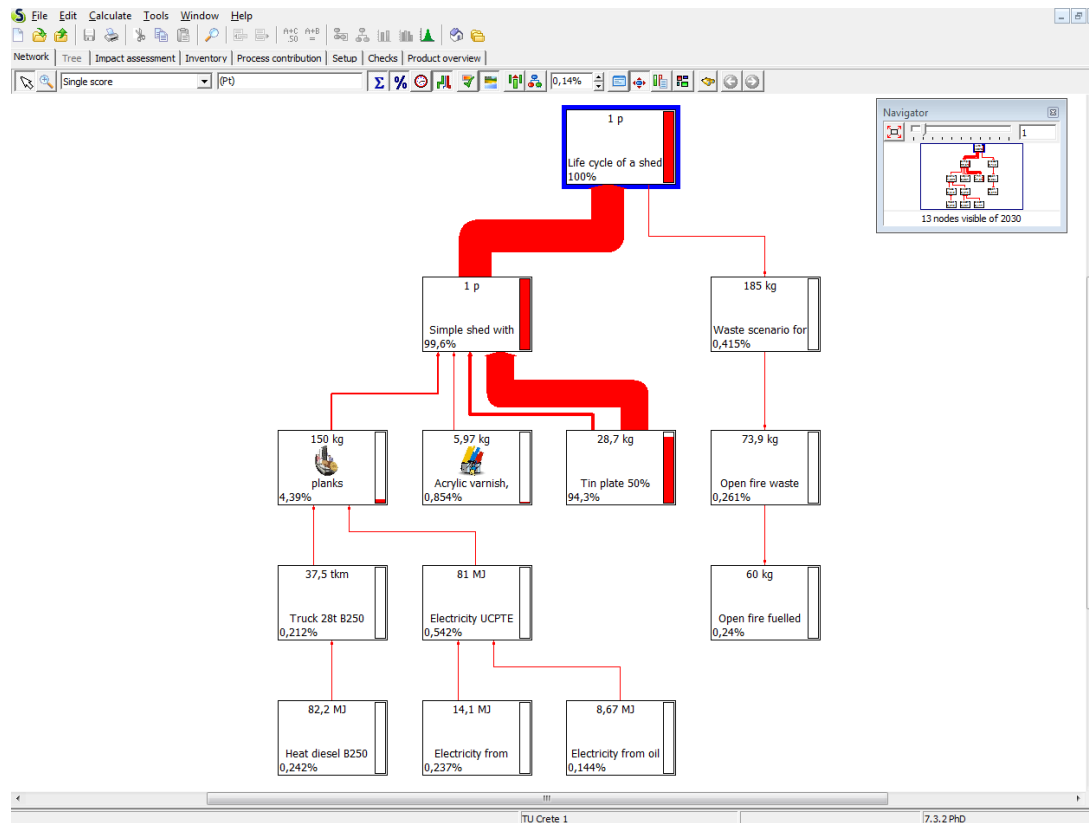
Σχήμα 5-29: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών

Να σημειωθεί ότι σε όλες τις μεθοδολογίες που περιλαμβάνουν γράφημα με μοναδικό σκορ, πρόκειται για μία σχετική σύγκριση των εναλλακτικών, και δε σημαίνει ότι υποδεικνύει κάποια συνολική επίδραση ή όφελος (Haarala et al., 2006).

Ατομικιστική άποψη

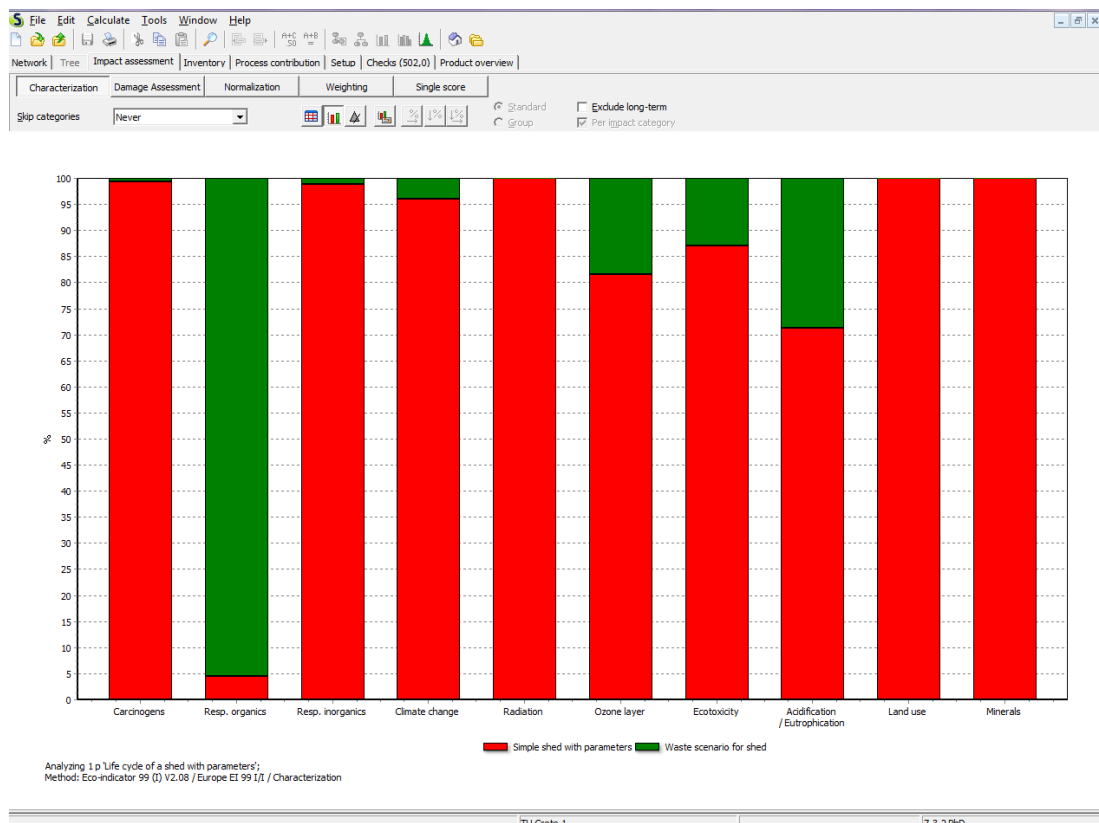
Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4 η ατομικιστική άποψη σχετίζεται με σύντομο χρονικό ορίζοντα (100 έτη ή λιγότερα) ενώ οι ουσίες περιλαμβάνονται αν υπάρχει μια ολοκληρωμένη απόδειξη σε σχέση με την επίδρασή τους. Επίσης, οι βλάβες θεωρείται ότι είναι ανακτήσιμες με την τεχνολογική και την οικονομική ανάπτυξη. Στο σχήμα 5-30 φαίνεται ο κύκλος ζωής του στεγάστρου με τα ποσοστά περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ανά κόμβο. Παρατηρούμε ότι η περιβαλλοντική επιβάρυνση αφορά κατά 99,6% το στέγαστρο και κατά 0,4% το σενάριο απόρριψης.

Αντίθετα, στην ισότιμη άποψη δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στο σενάριο απόρριψης απ' ότι στην ατομικιστική άποψη.

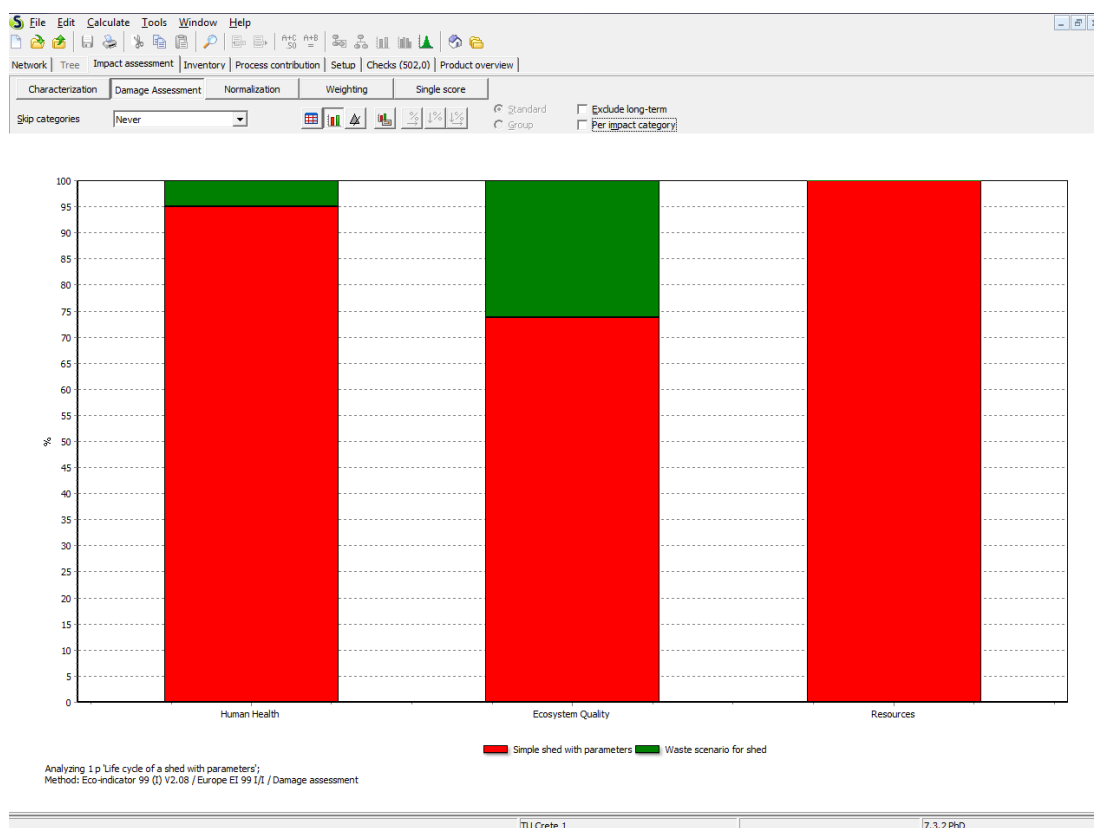


Σχήμα 5-30: Κύκλος ζωής για την ατομικιστική άποψη

Ακολουθεί στο σχήμα 5-31 το γράφημα του χαρακτηρισμού. Παρατηρούμε ότι γενικά η επιβάρυνση των κατηγοριών επιπτώσεων είναι αντίστοιχη με αυτήν της ισότιμης άποψης με εξαίρεση την κατηγορία των ανόργανων αναπνευστικών όπου το σενάριο απόρριψης επιβαρύνει πολύ λιγότερο απ' ότι στην ισότιμη άποψη. Αυτό μπορεί ενδεχομένως να οφείλεται σε ουσίες που δεν έχουν συμπεριληφθεί λόγω της μη αποδεδειγμένης επίδρασής τους. Επίσης, δεν υπάρχει εδώ η κατηγορία των καυσίμων, κάτι που ίσως να συμβαίνει λόγω του βραχυπρόθεσμου χαρακτήρα αυτής της άποψης.

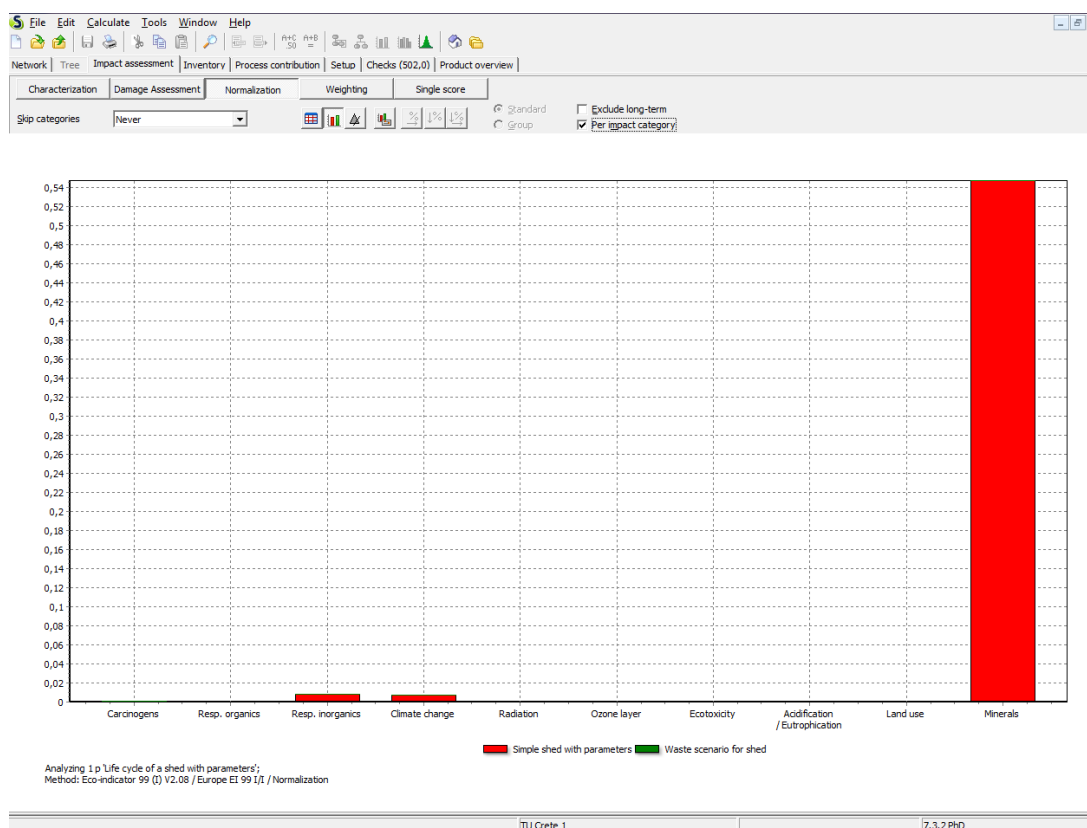


Σχήμα 5-31: Χαρακτηρισμός δεδομένων για την ατομικιστική άποψη



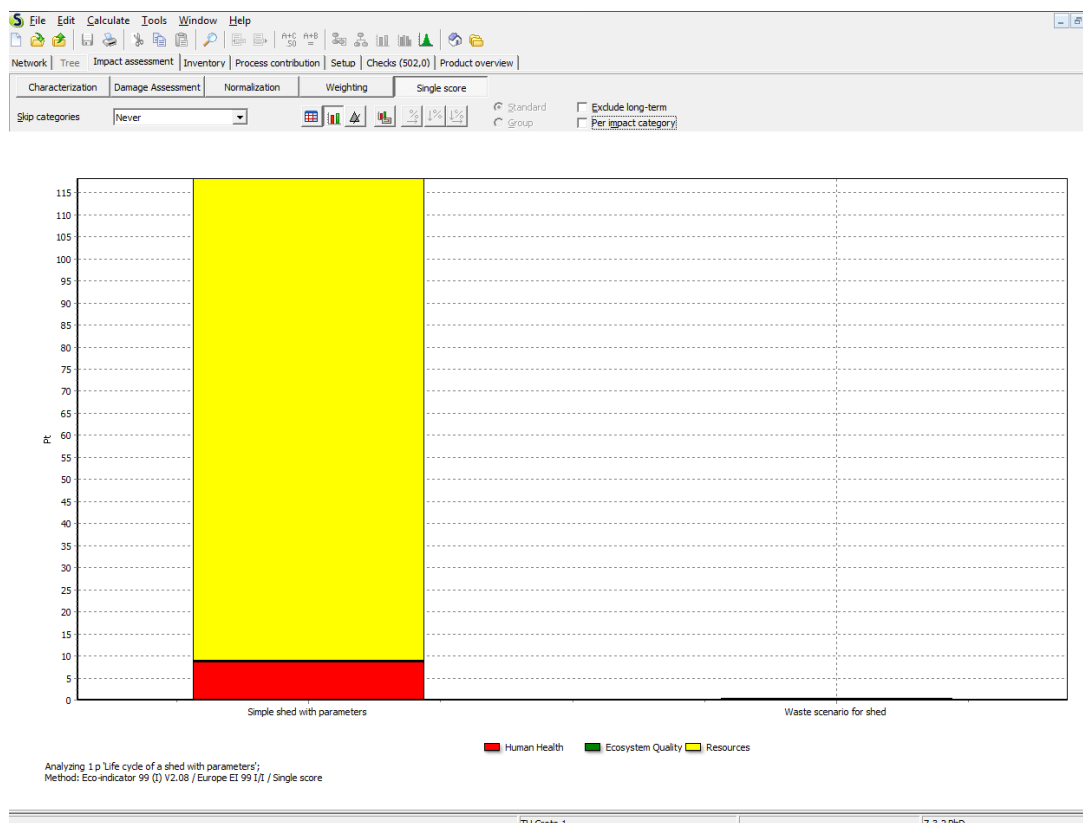
Σχήμα 5-32: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλαβών (I)

Στην αξιολόγηση βλαβών (σχήμα 5-32) φαίνεται ότι το σενάριο απόρριψης δεν επιβαρύνει καθόλου τους πόρους, όπως και στην ισότιμη άποψη το ποσοστό αυτό είναι εξαιρετικά μικρό. Εδώ, αυτό μπορεί να οφείλεται στην απουσία της κατηγορίας των καυσίμων, αλλά και στο ότι δεν επηρεάζονται καθόλου η χρήση γης και τα ορυκτά. Στις υπόλοιπες δύο κατηγορίες βλαβών τα ποσοστά δεν απέχουν πολύ από την προηγούμενη άποψη.



Σχήμα 5-33: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επιπτώσεων (I)

Από το σχήμα 5-33 και τον πίνακα Γ-34 του παραρτήματος παρατηρούμε ότι οι κατηγορίες των καρκινογόνων, των οργανικών αναπνευστικών, της ακτινοβολίας, της στοιβάδας του όζοντος, της οικοτοξικότητας, της οξίνισης και της χρήσης γης επηρεάζονται σε πάρα πολύ μικρό βαθμό από το στέγαστρο και το σενάριο απόρριψής του. Τέλος, στο σχήμα 5-34 παρουσιάζεται το μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών, όπου φαίνεται η αναλογία που επηρεάζει το στέγαστρο και το σενάριο απόρριψής του τις τρεις κατηγορίες βλαβών.

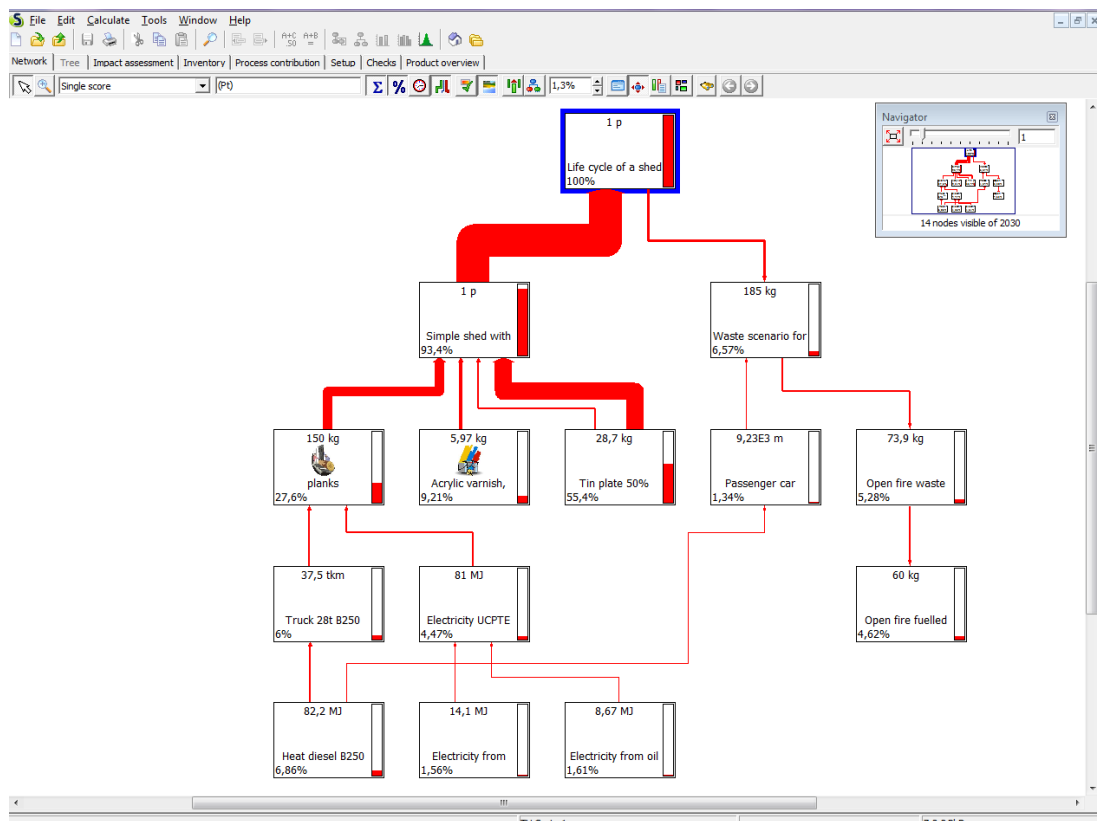


Σχήμα 5-34: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών (I)

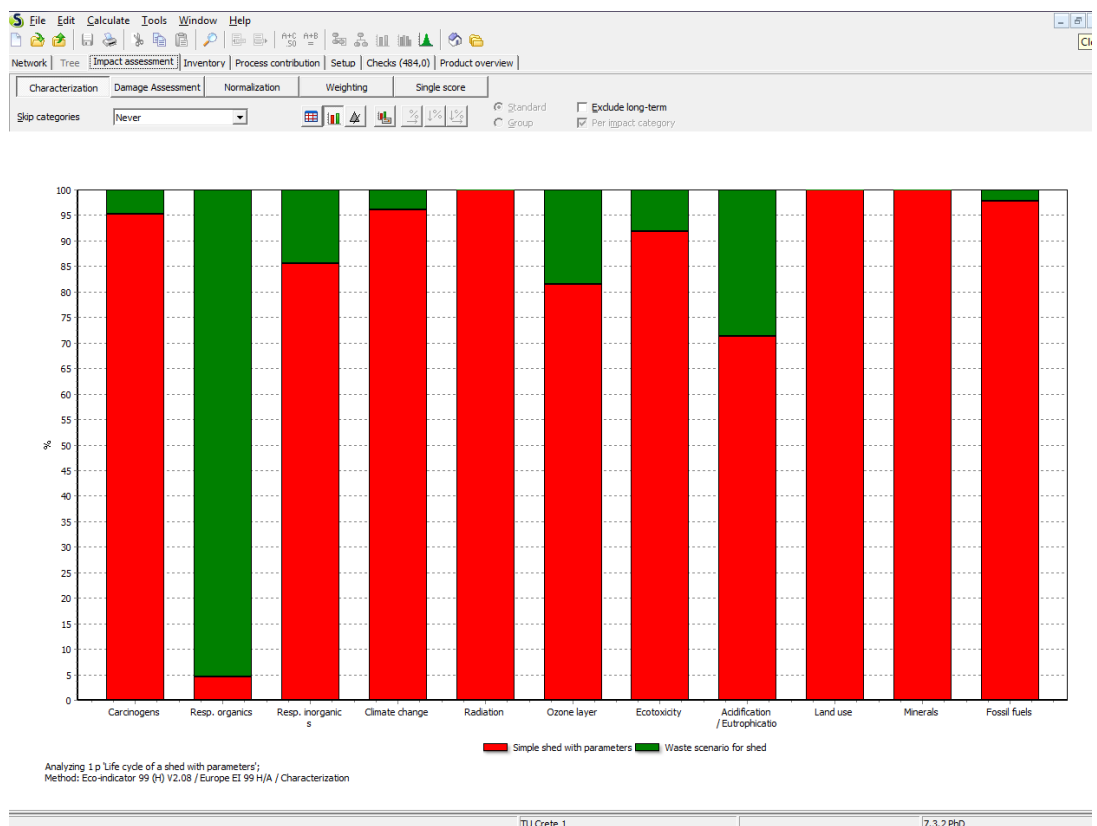
Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα από τους δείκτες του μοναδικού σκορ στο τελικό επίπεδο διαφέρει ανάμεσα στις μεθοδολογίες που εφαρμόζονται. Διαφορετικές μέθοδοι αντιστοιχούν σε διαφορετικές περιβαλλοντικές κατηγορίες επίδρασης και αυτή η θεώρηση μπορεί να αλλάξει σημαντικά τα αποτελέσματα.

Ιεραρχική άποψη

Η τρίτη άποψη της μεθόδου είναι η ιεραρχική, όπου ο χρονικός ορίζοντας είναι μεγάλος και υποτίθεται ότι οι βλάβες μπορούν να αποφευχθούν με καλή περιβαλλοντική διαχείριση. Στο σχήμα 5-35 φαίνεται ο κύκλος ζωής του στεγάστρου για αυτή την άποψη με τις περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις. Παρατηρούμε ότι η επιβάρυνση του σεναρίου απόρριψης είναι η μεγαλύτερη από τα τρία πρότυπα, παρόλο που υπάρχει μικρή διαφορά με την ισότιμη άποψη, κάτι που μπορεί να οφείλεται στους μεγάλους χρονικούς ορίζοντες και στις δύο περιπτώσεις.



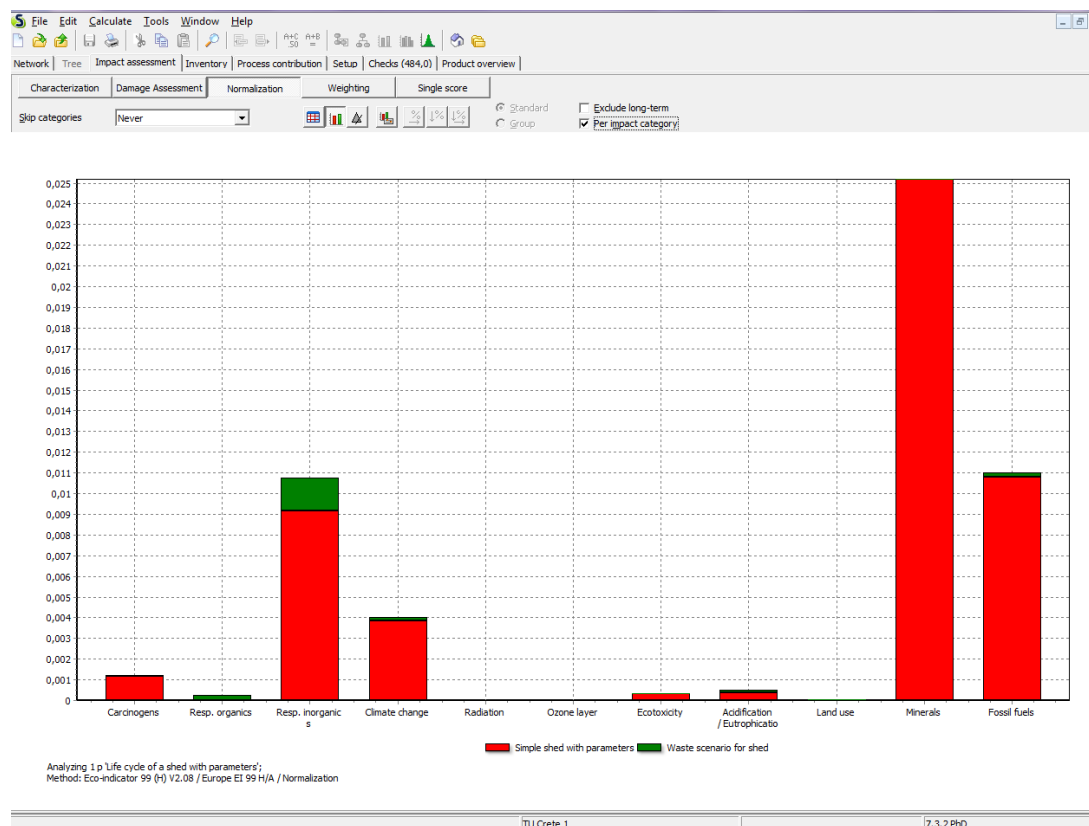
Σχήμα 5-35: Δέντρο δικτύου κύκλου ζωής για την ιεραρχική άποψη



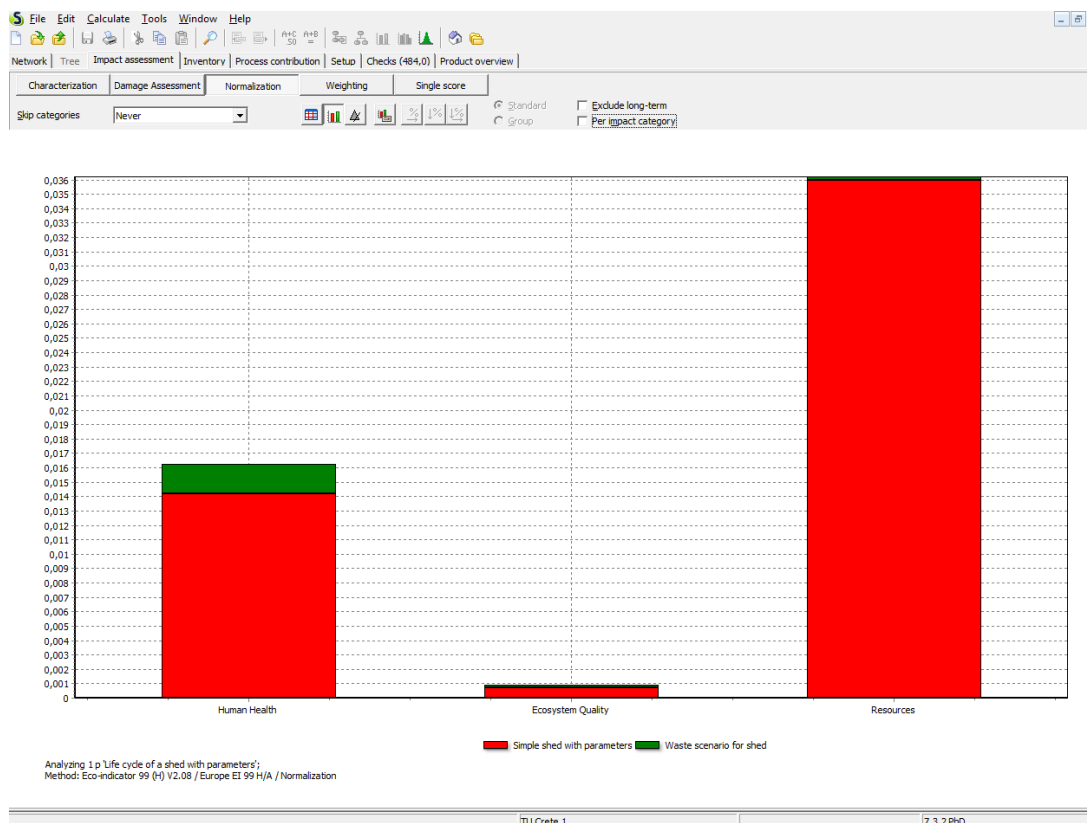
Σχήμα 5-36: Δεδομένα χαρακτηρισμού (H)

Σε αυτή την άποψη οι κατηγορίες επιπτώσεων είναι και πάλι έντεκα, σε αντίθεση με την ατομικιστική άποψη που είναι δέκα (προστίθεται ξανά η κατηγορία των καυσίμων). Η επιβάρυνση του στεγάστρου σε σχέση με το σενάριο απόρριψης δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές όπως φαίνεται στα γραφήματα 5-25 και 5-36.

Στη συνέχεια, τα κανονικοποιημένα αποτελέσματα ανά κατηγορία επιπτώσεων (σχήμα 5-37) είναι πιο κοντά με αυτά της ισότιμης άποψης, τόσο η κλίμακα μέτρησής τους, όσο και η επιβάρυνση ανά κατηγορία. Αντίστοιχα, το ίδιο συμβαίνει και με τα κανονικοποιημένα αποτελέσματα ανά κατηγορία βλαβών (σχήμα 5-38). Παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη επιβάρυνση του στεγάστρου είναι στους πόρους, έπειτα η ανθρώπινη υγεία και λιγότερο επιβαρύνεται η ποιότητα του οικοσυστήματος.

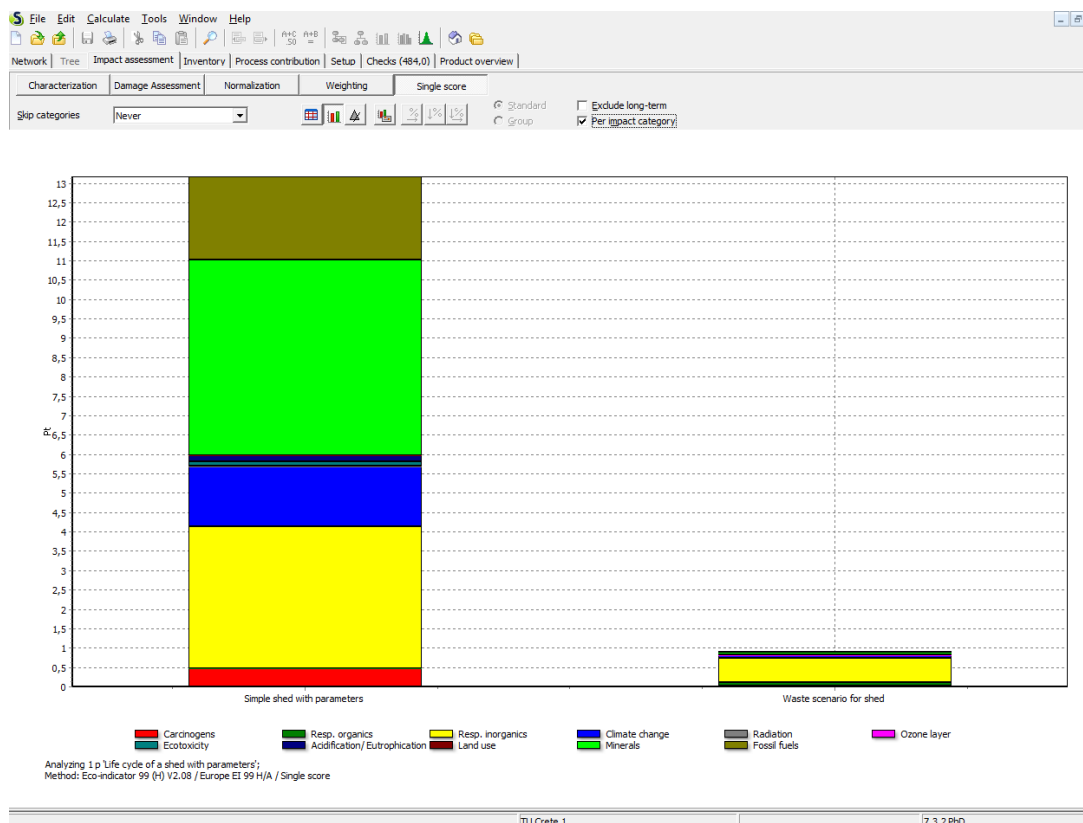


Σχήμα 5-37: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επιπτώσεων (H)

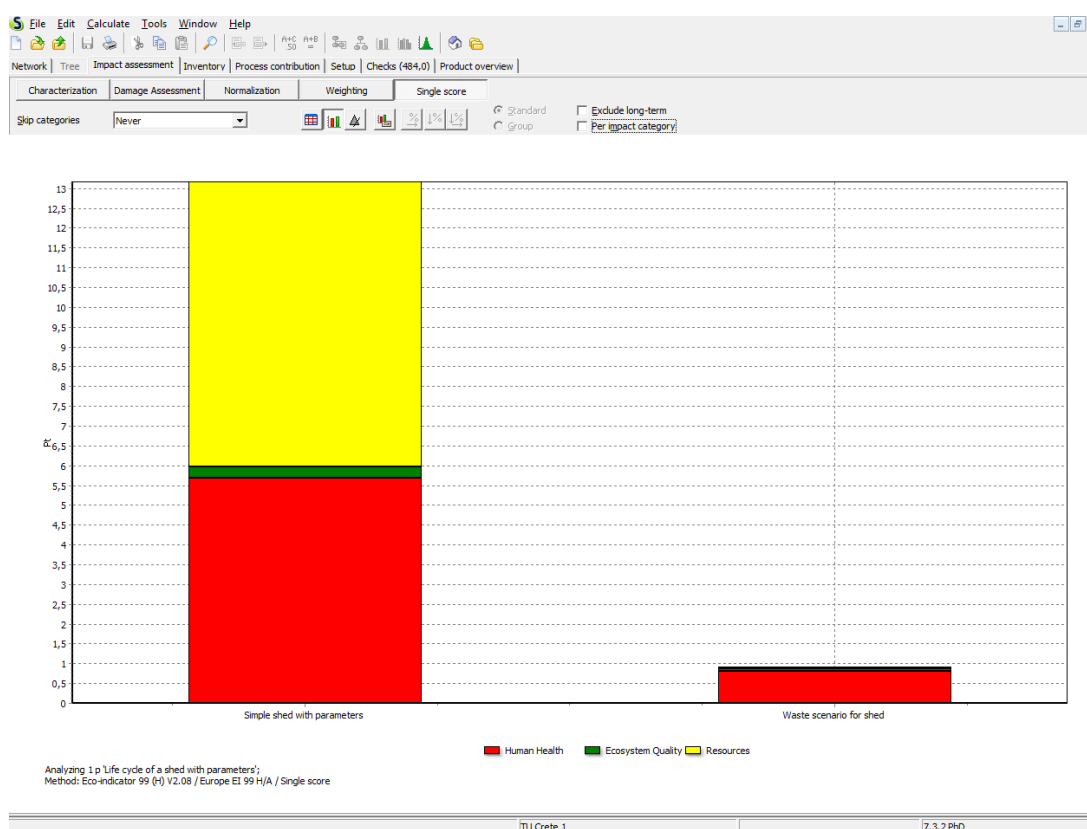


Σχήμα 5-38: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών (H)

Τέλος, στα σχήματα 5-39 και 5-40 φαίνεται το μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων και ανά κατηγορία βλαβών αντίστοιχα. Η περιβαλλοντική επιβάρυνση ανά κατηγορία επιπτώσεων είναι αντίστοιχη με αυτήν της ισότιμης άποψης, ενώ πολύ διαφορετικά είναι τα αποτελέσματα στην ατομικιστική άποψη όπου η επιβάρυνση είναι ιδιαίτερα σημαντική στα ορυκτά για το στέγαστρο (109 Pt), ενώ οι υπόλοιπες κατηγορίες συγκεντρώνουν στο σύνολο το υπόλοιπο 9 Pt. Για την ιεραρχική άποψη, στα ορυκτά επίσης παρατηρείται η μεγαλύτερη επιβάρυνση (7,56Pt/16,1Pt) και ακολουθούν τα καύσιμα (3,22Pt/16,1Pt) και οι ανόργανες αναπνευστικές ουσίες (3,31Pt/16,1Pt). Σχετικά με το μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών, πρώτα αναφέρονται οι πόροι, έπειτα η ανθρώπινη υγεία και τέλος η ποιότητα του οικοσυστήματος.



Σχήμα 5-39: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων (H)

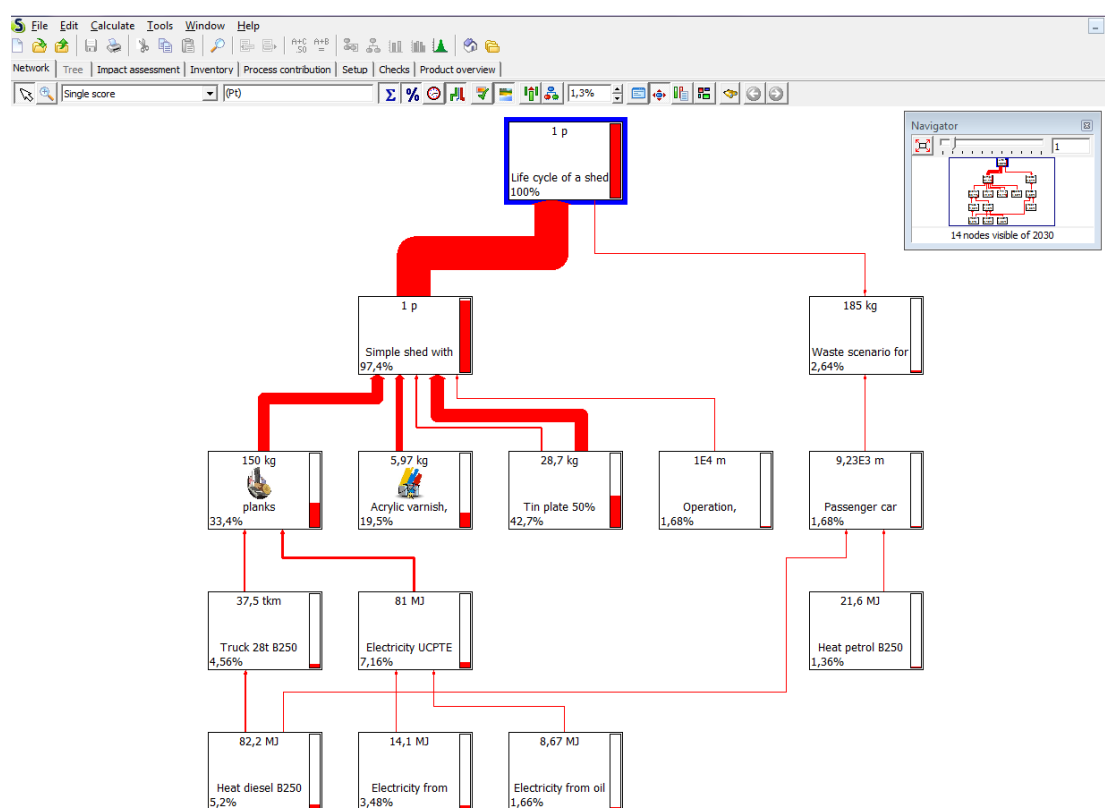


Σχήμα 5-40: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών (H)

5.4.5 ReCiPe Endpoint

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης του SimaPro για τη μεθοδολογία Recipe προσανατολισμένη στο τελικό σημείο, δηλαδή στο επίπεδο των βλαβών σύμφωνα με τις τρεις απόψεις που αποτελούν τη μέθοδο.

Στο σχήμα 5-41 παρουσιάζεται το δέντρο του κύκλου ζωής του στεγάστρου για την ισότιμη άποψη (το 1.3% των κόμβων που το αποτελούν εμφανίζεται). Σε αυτή την άποψη, το στέγαστρο επηρεάζει τον κύκλο ζωής στο μεγαλύτερο βαθμό (97.4%) σε σχέση με το σενάριο απόρριψής του συγκριτικά με τις άλλες δύο απόψεις. Αυτό μπορεί να εξηγείται λόγω του μακροπρόθεσμου χρονικού ορίζοντα που εφαρμόζεται και των ουσιών που συμβάλλουν στην περιβαλλοντική επιβάρυνση του στεγάστρου.



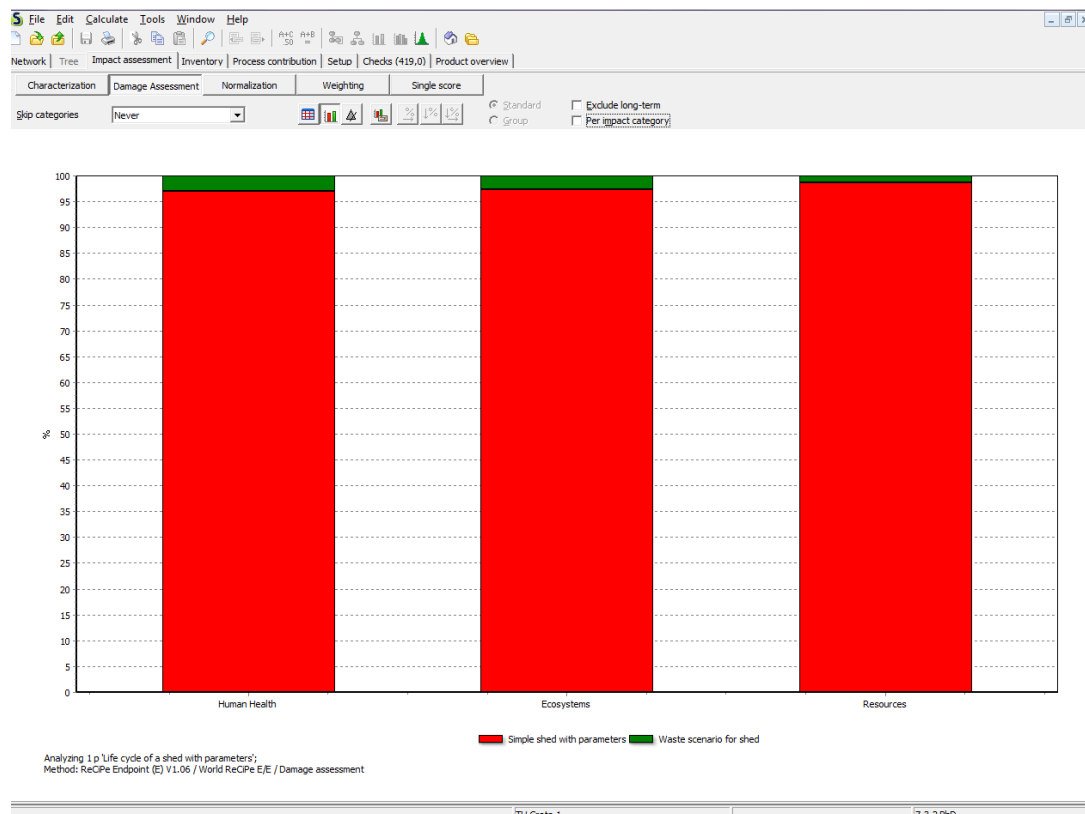
Σχήμα 5-41: Δέντρο κύκλου ζωής για την ισότιμη άποψη

Στο γράφημα 5-42 του χαρακτηρισμού των δεδομένων της απογραφής παρατηρούμε τη σχετική συμβολή του στεγάστρου και του σεναρίου απόρριψής του στις κατηγορίες επιπτώσεων. Είναι φανερό ότι δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στην αναλογία της συμβολής στις επιπτώσεις σε σχέση και με τις άλλες απόψεις αλλά κυρίως μικρές αποκλίσεις και διαφορές στα ποσοστά.



Γράφημα 5-42: Δεδομένα χαρακτηρισμού (Ε)

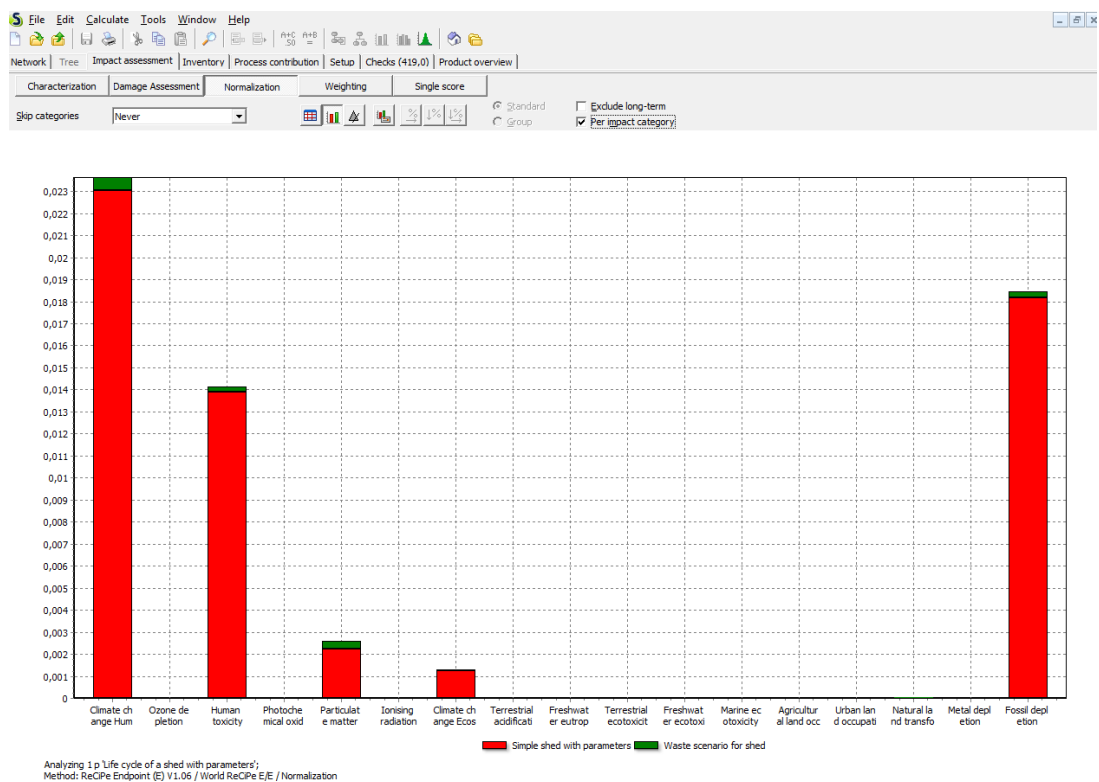
Στο σχήμα 5-43 φαίνεται η αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλαβών στο τελικό επίπεδο σχετικά με τις επιπτώσεις του στεγάστρου και του σεναρίου απόρριψής του στην ανθρώπινη υγεία, στα οικοσυστήματα και στους πόρους. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην ατομικιστική άποψη είναι μεγαλύτερη η συμβολή του σεναρίου απόρριψης στην ανθρώπινη υγεία. Σε γενικές γραμμές επηρεάζει σε αρκετά μικρό ποσοστό περιβαλλοντικά και στην ισότιμη άποψη έχει τα μικρότερα ποσοστά σε όλες τις κατηγορίες βλαβών.



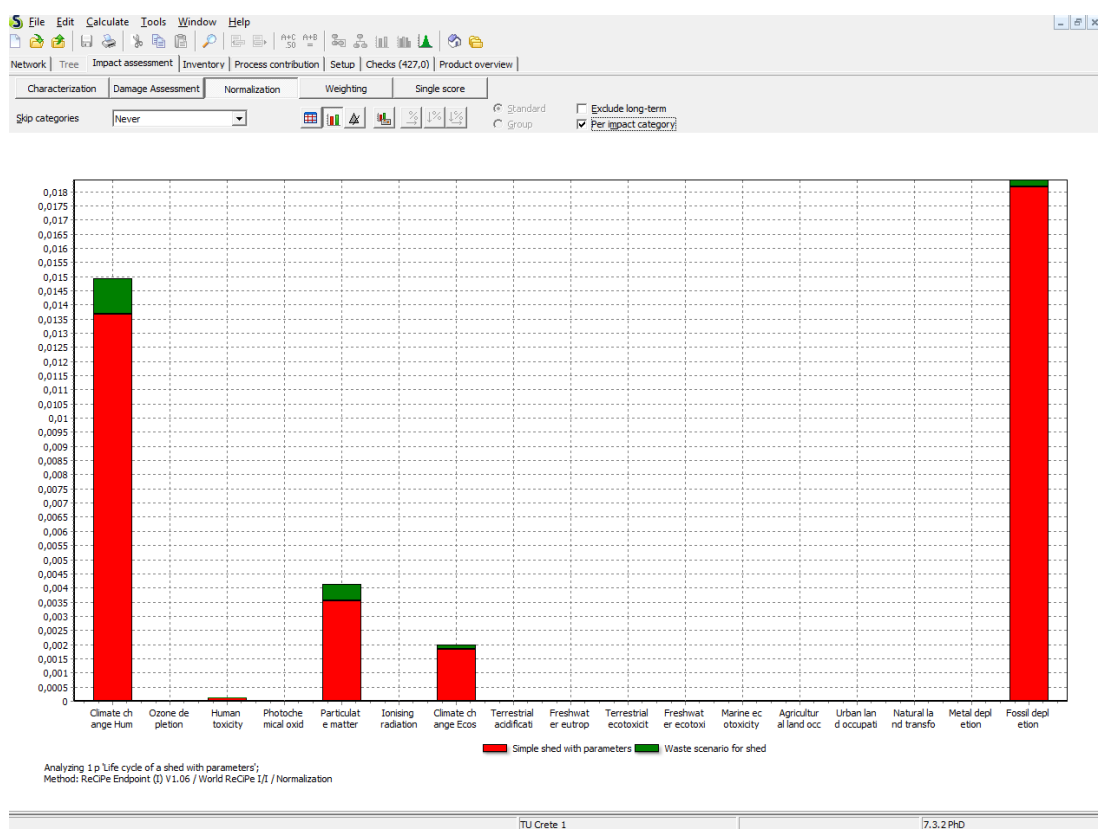
Σχήμα 5-43: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλαβών (Ε)

Ακολουθούν τα γραφήματα με τα κανονικοποιημένα αποτελέσματα ανά κατηγορία επίδρασης (5-44, 5-45, 5-46) για την ισότιμη, την ατομικιστική και την ιεραρχική άποψη αντίστοιχα. Σε αυτό το σημείο μπορούν να γίνουν συγκρίσεις ανάμεσα στις απόψεις, κάτι που επιτρέπει η κανονικοποίηση.

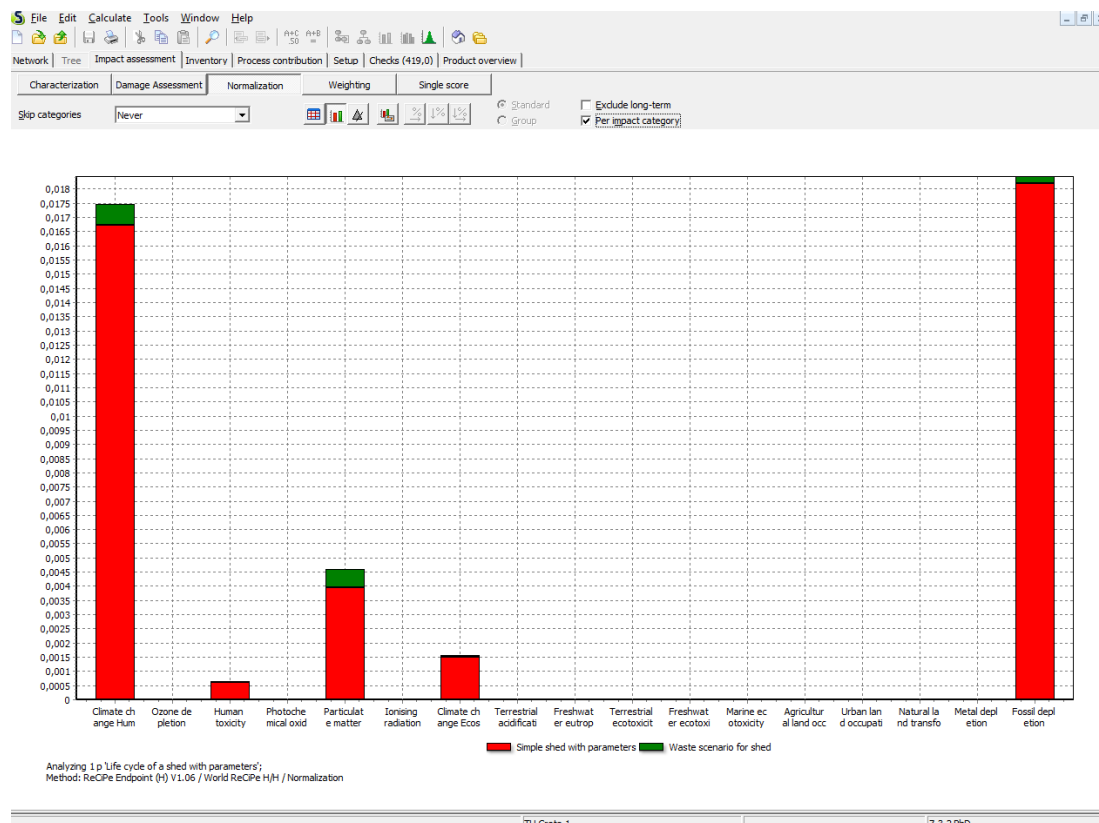
Παρατηρούμε ότι οι πέντε βασικές κατηγορίες που επηρεάζονται είναι η κλιματική αλλαγή (σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία), η ανθρώπινη τοξικότητα, τα μικρά σωματίδια, η κλιματική αλλαγή (σε σχέση με το οικοσύστημα) και η μείωση των καυσίμων. Η ανθρώπινη τοξικότητα επηρεάζεται πολύ περισσότερο στην ισότιμη άποψη – αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι προφανώς οι ουσίες που περιλαμβάνονται έχουν ισχυρή επίδραση και μακροπρόθεσμα και οι βλάβες που προκαλούνται δεν μπορούν να αποφευχθούν. να σημειωθεί ότι επηρεάζονται και οι υπόλοιπες κατηγορίες επιπτώσεων αλλά σε μικρότερο βαθμό όπως προκύπτει και από τα δεδομένα στο Παράρτημα Γ.



Σχήμα 5-44: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης (Ε)



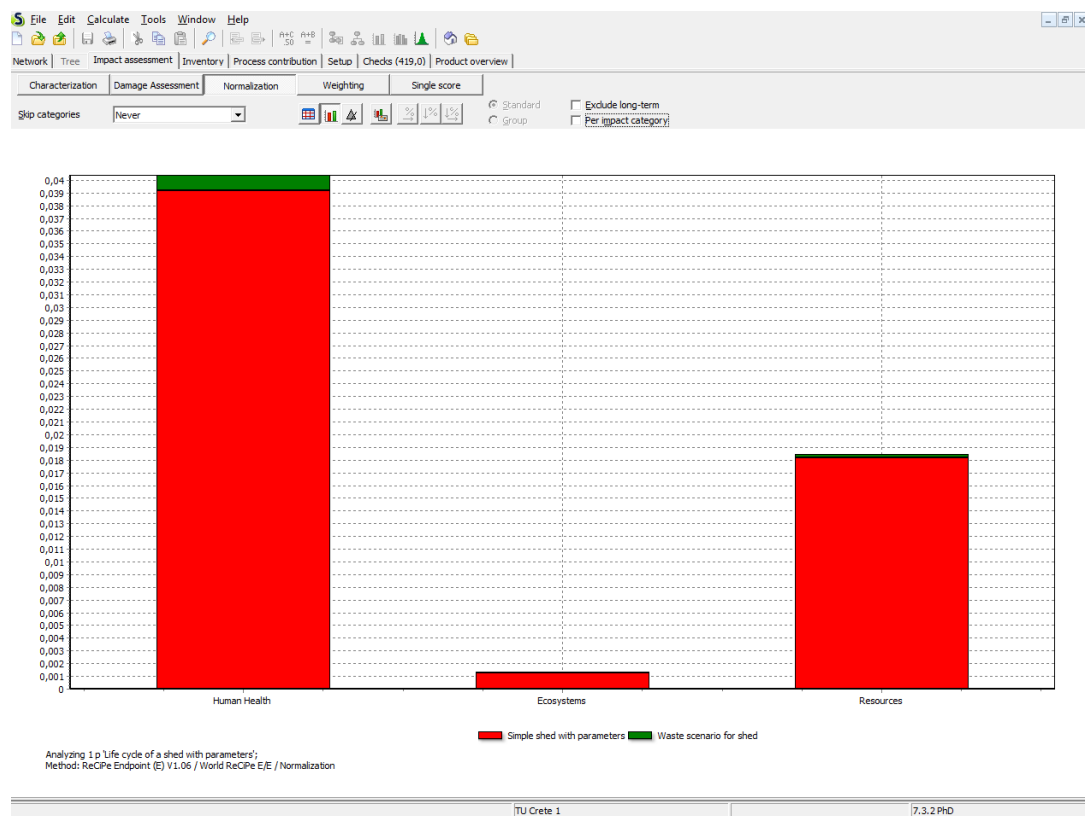
Σχήμα 5-45: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης (Ι)



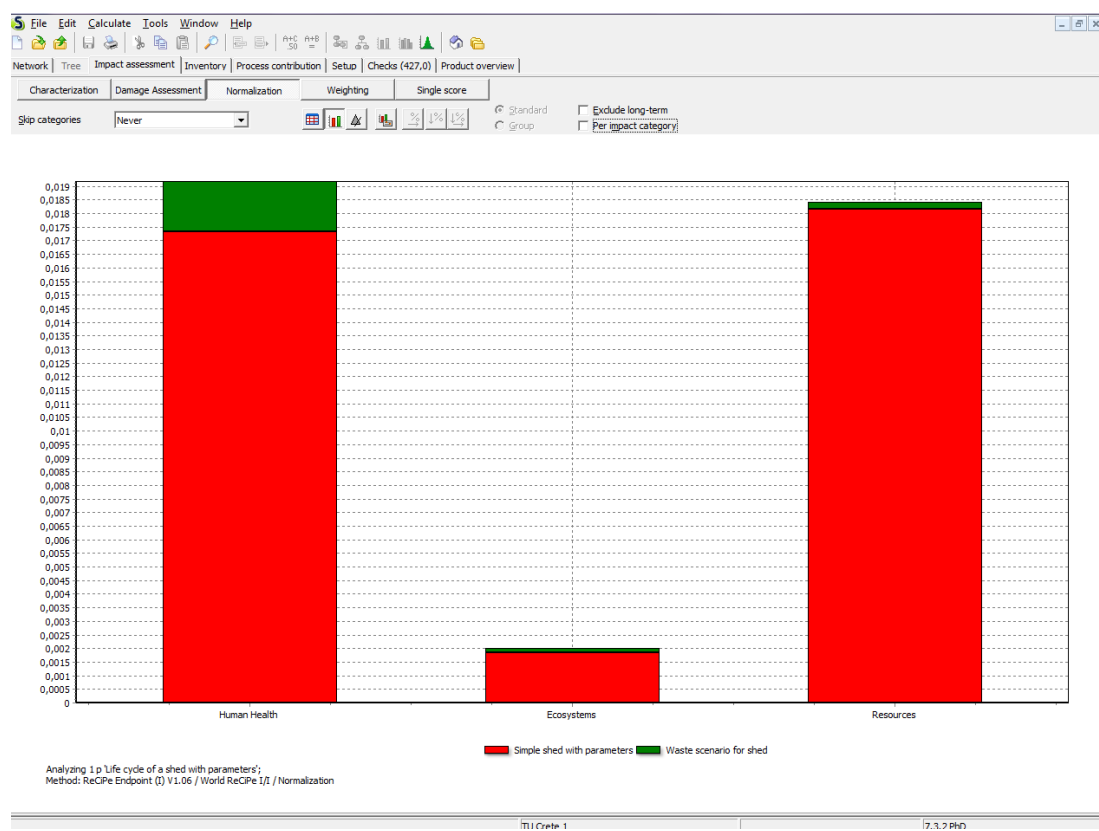
Σχήμα 5-46: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης (H)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα γραφήματα με τα κανονικοποιημένα αποτελέσματα ανά κατηγορία βλαβών (5-47, 5-48, 5-49) για την ισότιμη, την ατομικιστική και την ιεραρχική άποψη αντίστοιχα.

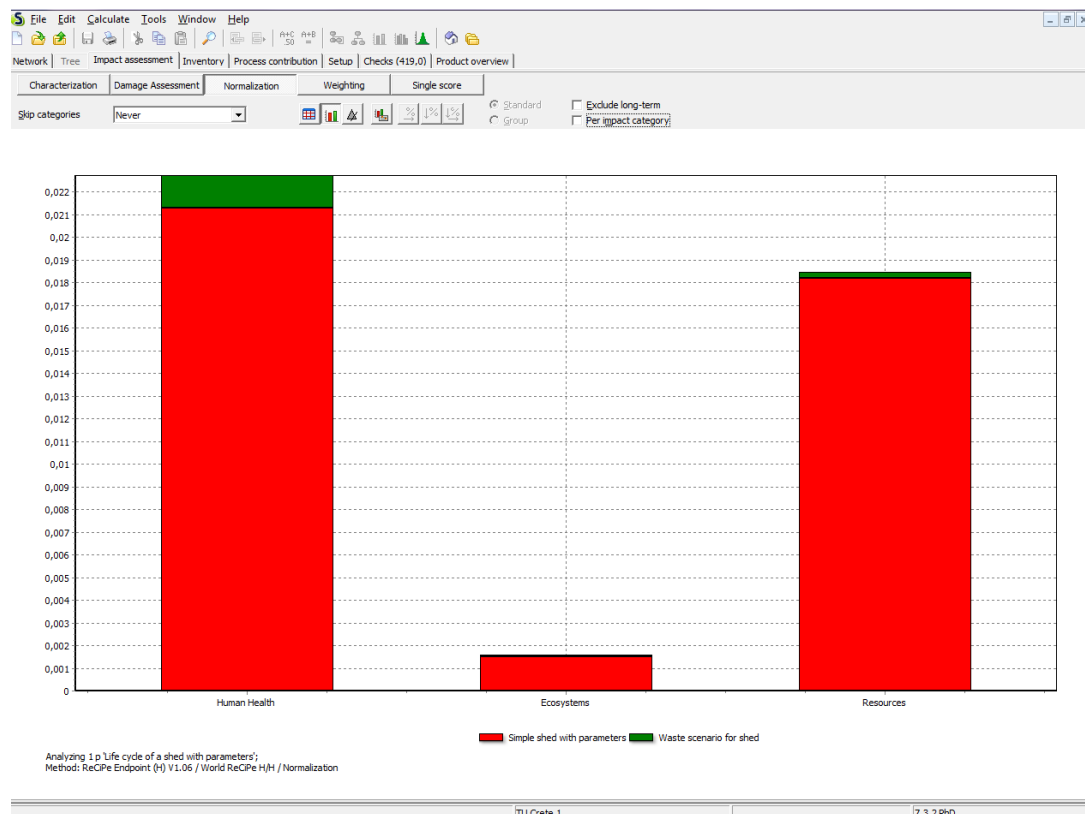
Παρατηρούμε ότι η κατηγορία του οικοσυστήματος επηρεάζεται στον ίδιο περίπου βαθμό και στις τρεις απόψεις. Το ίδιο συμβαίνει και με την κατηγορία των πόρων. Άρα, αυτές οι δύο κατηγορίες δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα από τη διάρκεια του χρονικού ορίζοντα. Η διαφορά είναι στην ατομικιστική άποψη όπου οι βλάβες, τουλάχιστον σε αυτές τις δύο κατηγορίες, μπορούν ενδεχομένως να ανακτηθούν με οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη. Αναφορικά με την κατηγορία της ανθρώπινης υγείας, φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο στην ισότιμη άποψη. Εδώ ο χρονικός ορίζοντας είναι πολύ μακροπρόθεσμος. Αυτό σημαίνει ότι και μια μικρή ένδειξη των ουσιών για την επίδρασή τους καταγράφεται και μπορεί να επηρεάζει την υγεία και πολύ μελλοντικά.



Σχήμα 5-47: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών (E)

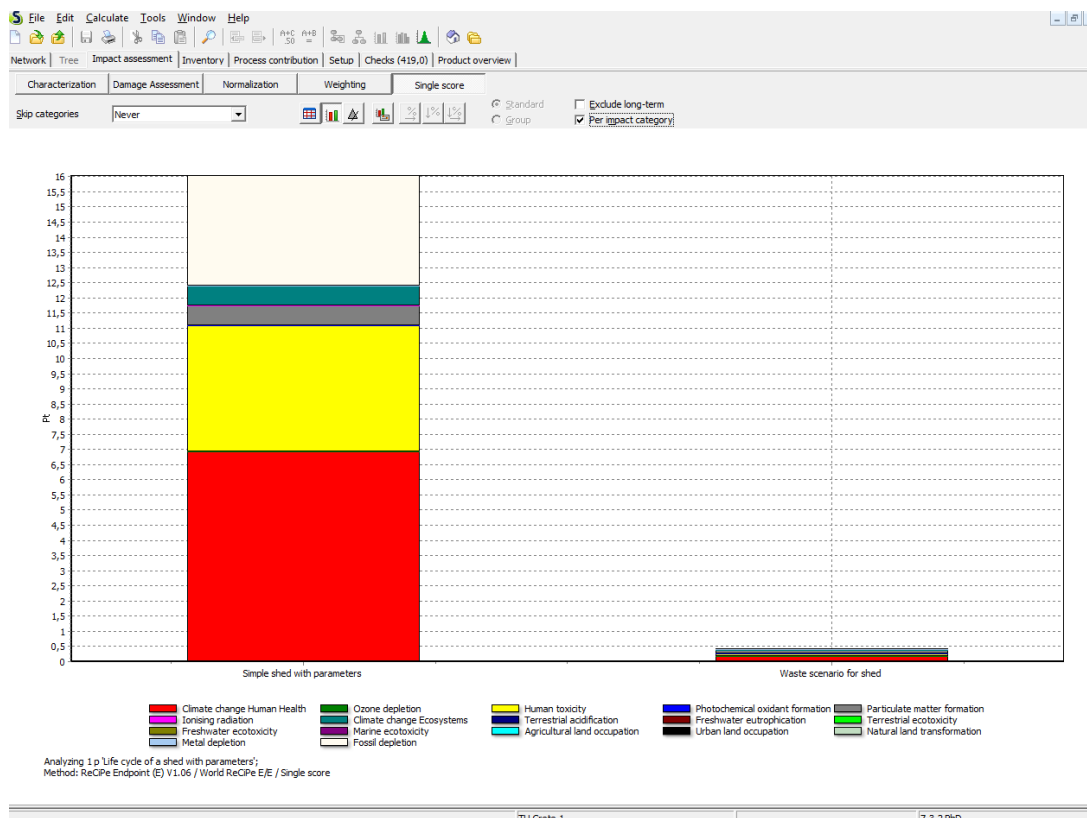


Σχήμα 5-48: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών (I)

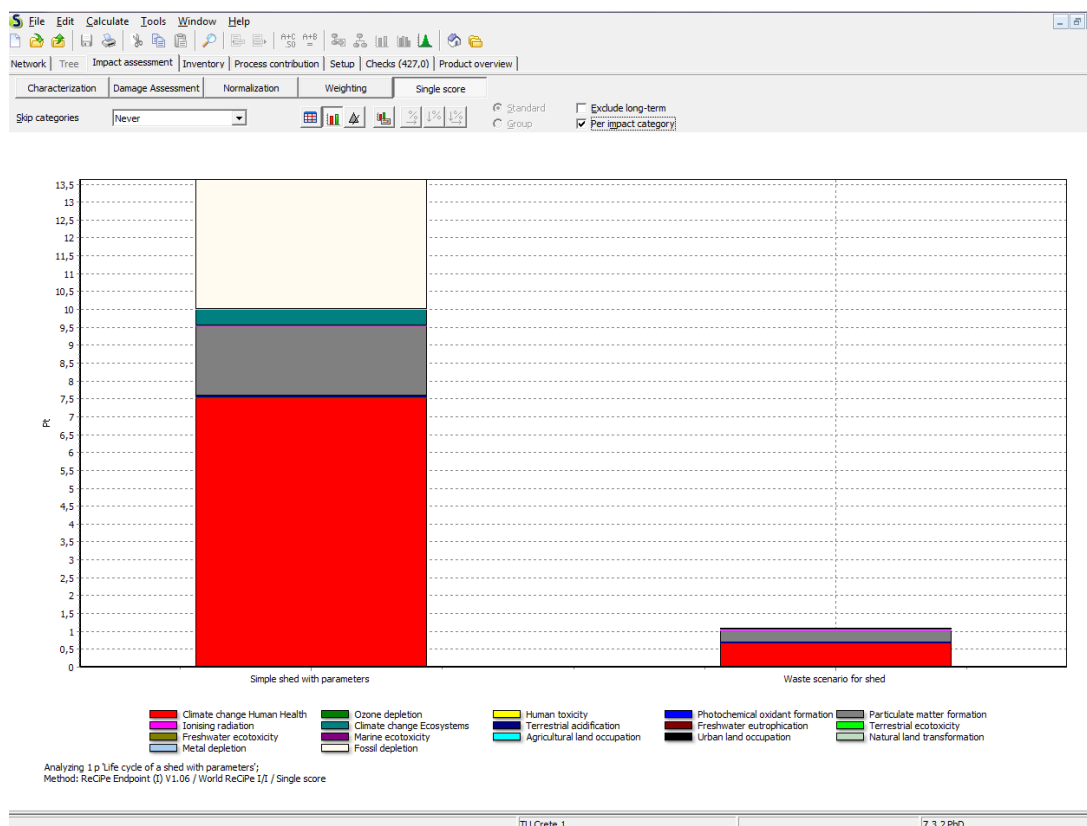


Σχήμα 5-49: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών (H)

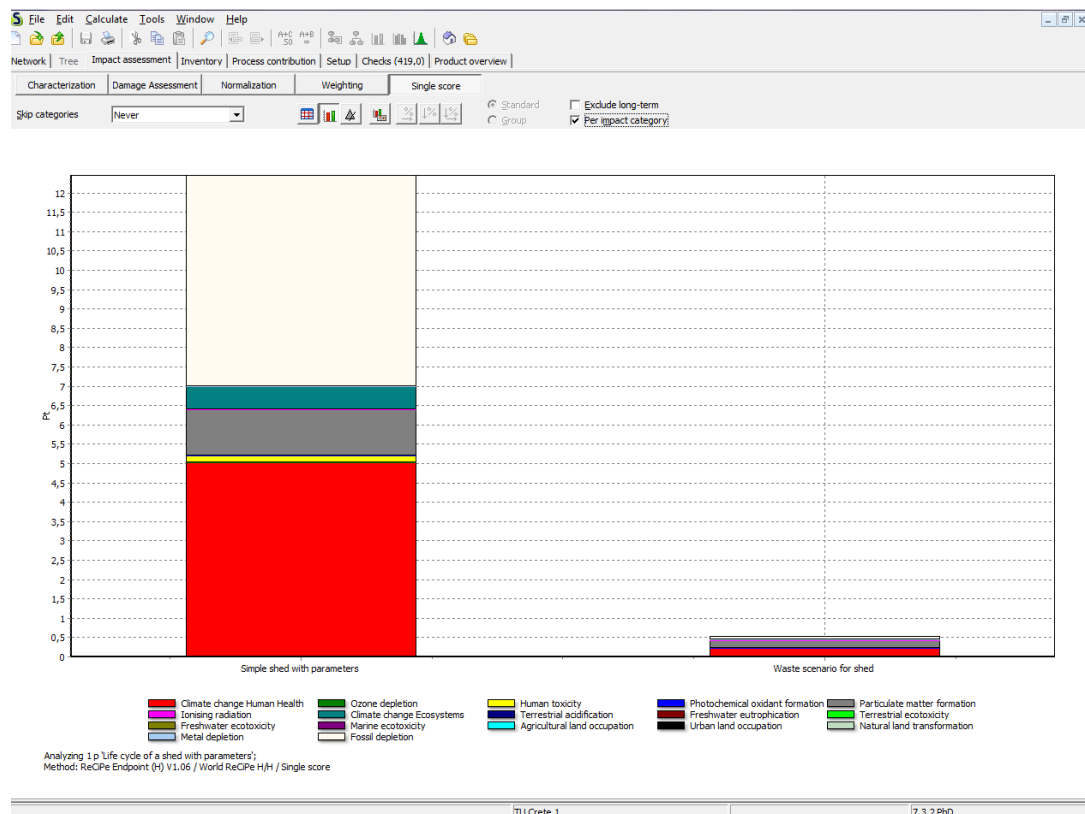
Έπειτα, στα σχήματα 5-50, 5-51 και 5-52 φαίνονται τα γραφήματα ανά κατηγορία επιπτώσεων βάσει ενός σταθμισμένου μοναδικού αθροίσματος για τις απόψεις: ισότιμη, ατομικιστική και ιεραρχική άποψη αντίστοιχα. Εδώ φαίνεται η συμβολή περιβαλλοντικά κάθε κατηγορίας επιπτώσεων τόσο για το στέγαστρο όσο και για το σενάριο απόρριψής του. Να επισημανθεί ότι οι κατηγορίες της χρήσης αγροτικής γης, της χρήσης αστικής γης, του μετασχηματισμού του φυσικού εδάφους και της μείωσης μετάλλων δεν επηρεάζονται καθόλου από το σενάριο απόρριψης καθώς επίσης υπάρχουν και άλλες κατηγορίες που επηρεάζονται σε ιδιαίτερα μικρό ποσοστό. Αυτό παρατηρείται καλύτερα στους πίνακες του παραρτήματος Γ όπου διακρίνονται τα αριθμητικά δεδομένα των γραφημάτων.



Σχήμα 5-50: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων (E)

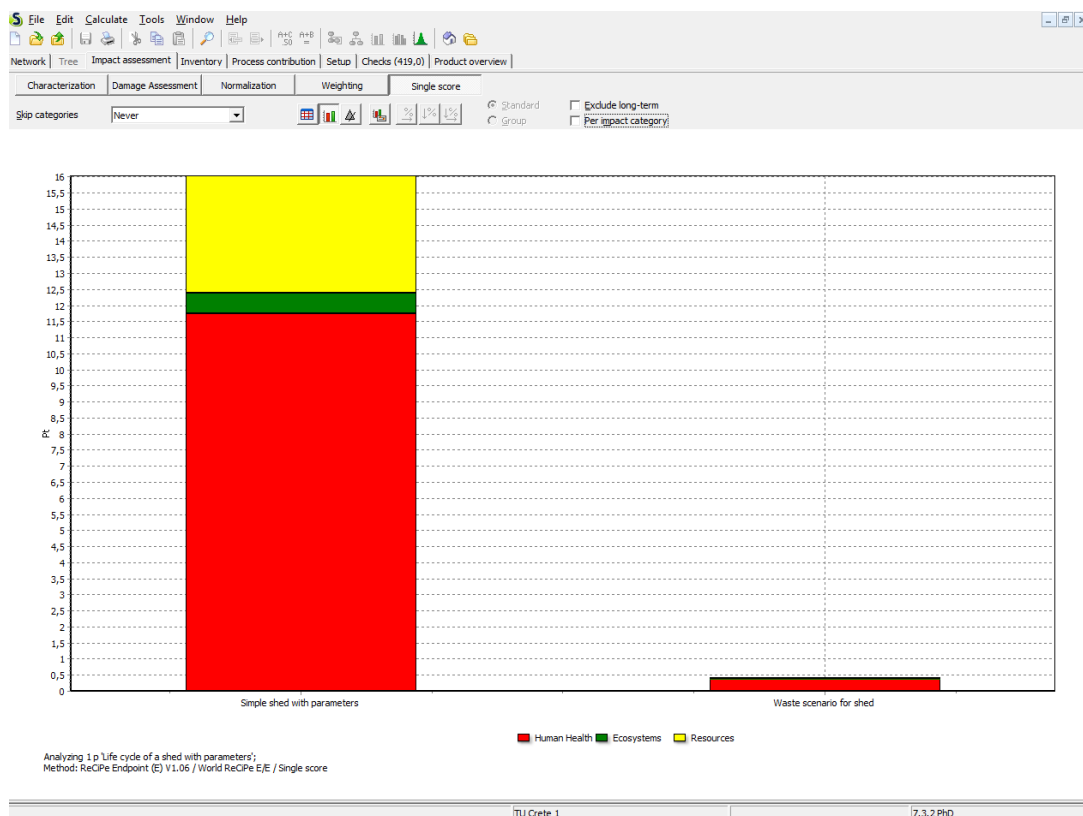


Σχήμα 5-51: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων (I)

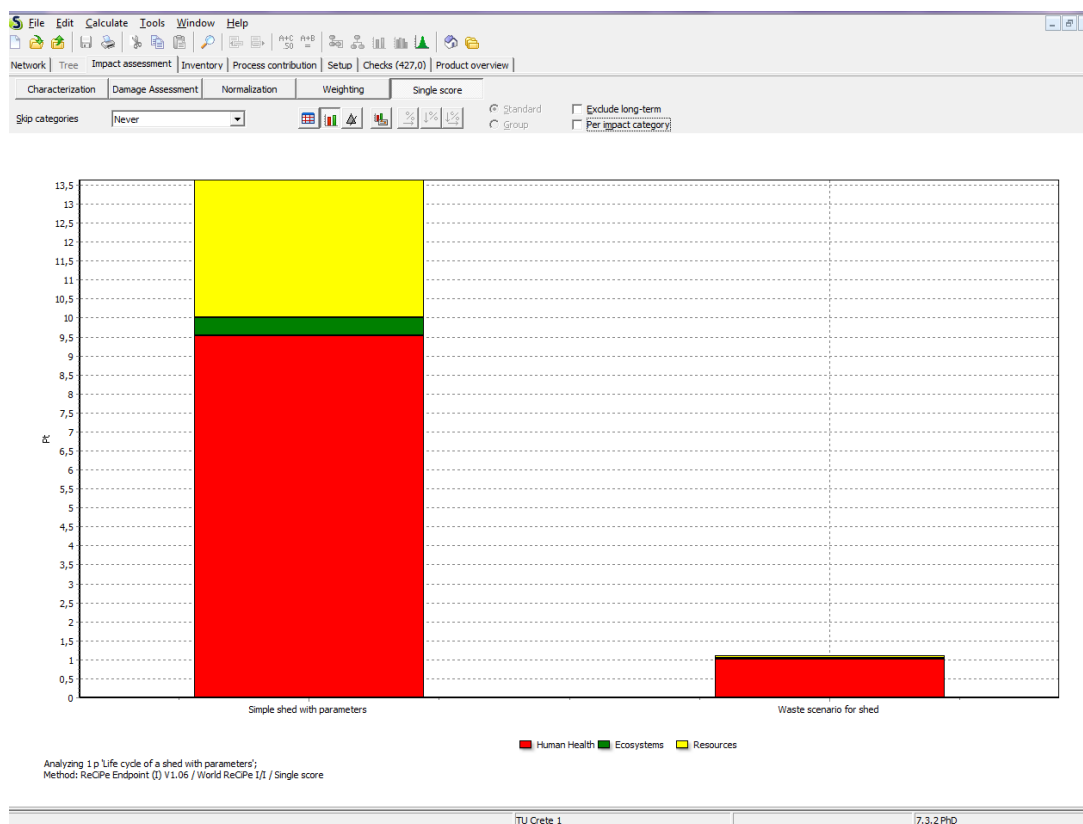


Σχήμα 5-52: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων (H)

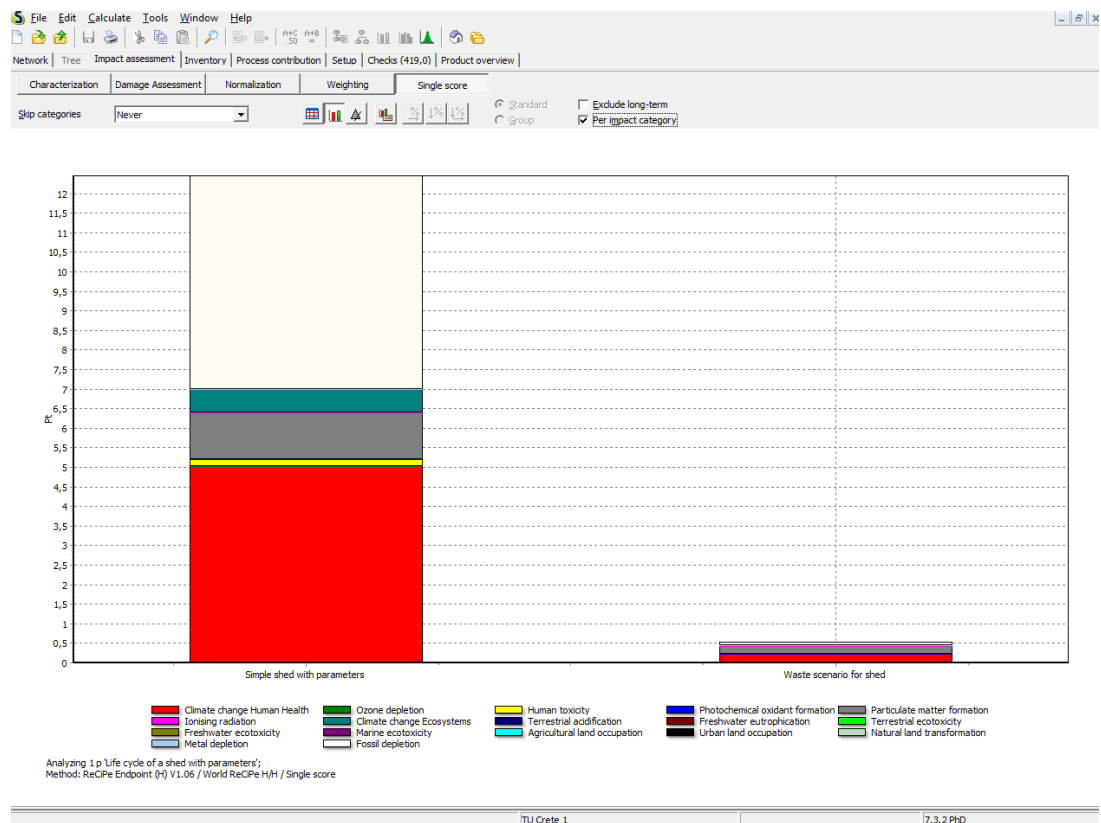
Εν κατακλείδι, για τη μέθοδο Recipe Endpoint (προσανατολισμένη στις κατηγορίες βλαβών), στα τρία γραφήματα 5-53 έως 5-55 παρουσιάζεται με ένα μοναδικό σκορ η συνολική περιβαλλοντική επίδραση για κάθε κατηγορία βλαβών. Σε μεγαλύτερο ποσοστό επηρεάζεται από την κατασκευή του στεγάστρου η ανθρώπινη υγεία στην ισότιμη άποψη, κάτι που φάνηκε και σε προηγούμενο γράφημα. Επιπλέον, η κατηγορία των πόρων επηρεάζεται ποσοστιαία περισσότερο στην ιεραρχική άποψη όπου υποτίθεται ότι οι βλάβες μπορούν να αποφευχθούν με σωστή διαχείριση.



Σχήμα 5-53: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών (E)



Σχήμα 5-54: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών (I)



Σχήμα 5-55: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών (H)

6. Επίλογος

6.1 Γενικά

Υπάρχουν ευκαιρίες για διάφορες εθνικότητες, κουλτούρες, επαγγελματικά πεδία, κυβερνήσεις, επιχειρήσεις και ΜΚΟ να γίνουν συνεργάτες, να εργαστούν με βιώσιμο τρόπο. Έχουμε μεγαλύτερη ικανότητα για συνεργασία, να πληροφορηθούμε για την πηγή του περιβάλλοντός μας, τις κοινωνικές και τις οικονομικές προκλήσεις και να δεσμεύσουμε τους ανθρώπους σε παγκόσμιο και τοπικό επίπεδο για να απευθύνουμε αυτές τις προκλήσεις. Αυτές οι ευκαιρίες ενισχύονται αφού:

- οι άνθρωποι από όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν νέες τεχνολογίες επικοινωνιών
- μοιραζόμαστε τη γνώση ανάμεσα στις χώρες και τις υπηρεσίες εμπορίου, υλικά και προϊόντα, όπως τα τρόφιμα και τα φάρμακα
- διαβάζουμε αναλυτικές πληροφορίες για τις υπηρεσίες και τα προϊόντα που επιλέγουμε από την κοινότητά μας ή από τον υπόλοιπο κόσμο
- και αφού επιχειρήσεις, κυβερνήσεις και άλλοι οργανισμοί χρησιμοποιούν πληροφορία για να καταλάβουν πώς να δρουν σαν υπεύθυνοι παγκόσμιοι πολίτες – τότε χρησιμοποιούν την επιρροή τους για να φέρουν περισσότερη αξία στις κοινωνίες τους.

Είναι απαραίτητο να υιοθετήσουμε μια προσέγγιση κύκλου ζωής σαν ένα μεσο που θα μας βοηθήσει να αναγνωρίσουμε ευκαιρίες, να «ζυγίσουμε» ευκαιρίες και κινδύνους και να κάνουμε επιλογές που θα αποδίδουν αξία στην οικονομία, το φυσικό περιβάλλον και την κοινωνία (UNEP/SETAC, 2004). Είναι προφανές ότι η LCA μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένα component εργαλείο μέσα στα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, αφού η ιδέα του κύκλου ζωής και οι αξιολογήσεις κύκλου ζωής μπορεί να είναι ένα ισχυρό πλαίσιο στήριξης για τους αποφασίζοντες (Gouda et al., 2001).

Η LCA είναι ένα σημαντικό εργαλείο μέσα σε ένα πλαίσιο βιωσιμότητας, διότι είναι μία πολυκριτήρια προσέγγιση και είναι σχετικό με τη φύση της βιωσιμότητας, επιτρέποντας τη σύγκριση διαφορετικών επιλογών βελτίωσης. Απ' την άλλη, η λήψη αποφάσεων γίνεται ευκολότερη όταν τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με έναν τρόπο που εστιάζει στις περιβαλλοντικές σχετικές πληροφορίες, χρησιμοποιώντας όσο το δυνατόν περισσότερα αντικειμενικά κριτήρια (Hoof et al., 2013).

Οι Hoof et al. (2013) προτείνουν την παρουσίαση των LCA αποτελεσμάτων στους μη ειδικούς της LCA ακολουθώντας μία προσέγγιση τριών βημάτων. Πρώτα, ταξινομώντας τους δείκτες κανονικοποιώντας τα LCIA αποτελέσματα στο επίπεδο

βλάβης και διαχωρίζοντάς τα βάσει της συμβολής τους στο ενδιάμεσο επίπεδο. Από αυτή τη διαδικασία καταγράφονται μόνο οι πιο σχετικοί δείκτες. Επιπλέον, η αβεβαιότητα στα αποτελέσματα του ενδιάμεσου επιπέδου είναι μικρότερη συγκριτικά με αυτά του επιπέδου βλάβης, διότι η αβεβαιότητα κατευθύνεται από την αβεβαιότητα ξεχωριστά σε κάθε παράμετρο, η οποία είναι μεγαλύτερη για τα endpoints σε σχέση με τα midpoints, όπου χρησιμοποιούνται περισσότεροι παράμετροι για τη μοντελοποίησή τους. Άρα, η ερμηνεία στο επίπεδο των μέσων δεικτών είναι πιο ασφαλής από την άποψη της σιγουριάς για τα δεδομένα, αλλά η ερμηνεία στο επίπεδο βλάβης είναι ενδεχομένως πιο κατανοήσιμη από τους μη-ειδικούς, λόγω των γενικευμένων αποτελεσμάτων της. Τέλος, θα πρέπει να προστίθενται επιπλέον δείκτες ανάλογα με το σκοπό και το αντικείμενο της μελέτης, σε περίπτωση που δεν προϋπάρχουν στο μοντέλο.

6.2 Συνοπτικά αποτελέσματα

Η εργασία αυτή ξεκινά με την παρουσίαση της ιδέας της ανάλυσης του κύκλου ζωής κι έπειτα στο κεφάλαιο 2 γίνεται αναλυτική περιγραφή της LCA και των τεσσάρων σταδίων που την αποτελούν. Γίνεται αναφορά στις πρακτικές που σχετίζονται με την LCA όπως το μάρκετινγκ και η οικολογική σήμανση των προϊόντων καθώς και στο πεδίο εφαρμογής της. Ακόμη, παρουσιάζεται ένας αριθμός προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν σε κάθε ένα από τα στάδια κύκλου ζωής. Έπειτα, στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται αναλυτικά η αξιολόγηση επιπτώσεων του κύκλου ζωής (LCIA), όπου περιγράφεται η πλειοψηφία των κατηγοριών επιπτώσεων καθώς και τα πέντε στάδια της LCIA. Ακολουθεί το τέταρτο κεφάλαιο με την περιγραφή των δεκατεσσάρων κύριων μεθοδολογιών αξιολόγησης επιπτώσεων κύκλου ζωής που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία και στο λογισμικό SimaPro, όπου στο πέμπτο κεφάλαιο εφαρμόζονται στο προϊόν του στεγάστρου πέντε από αυτές μέσα από αυτό το λογισμικό με στόχο τη μεταξύ τους συγκριτική αξιολόγηση.

Μετά την εφαρμογή των δεκατεσσάρων μεθοδολογιών αξιολόγησης επιπτώσεων στο παράδειγμα του παραμετροποιημένου στεγάστρου και του σεναρίου απόρριψής του, επιλέχθηκε η παρουσίαση στο προηγούμενο κεφάλαιο πέντε από αυτές οι οποίες έχουν σε μεγάλο βαθμό κοινά χαρακτηριστικά. Αποτελούνται από έναν αριθμό κατηγοριών επιπτώσεων οι οποίες συντίθεται πρώτα στο ενδιάμεσο κι έπειτα στο τελικό επίπεδο με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων και συγκριτικών αξιολογήσεων είτε με ένα νέο προϊόν και τη φάση σχεδιασμού του, είτε με κάποιο ανταγωνιστικό προϊόν και την βελτίωση του ήδη υπάρχοντος.

Στον πίνακα 6-1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των μεθόδων, μέσα από τα οποία μπορεί κανείς να επιλέξει ποια μεθοδολογία θα χρησιμοποιηθεί με βάση τα δεδομένα που υπάρχουν και το σκοπό για τον οποίο πραγματοποιείται η μελέτη.

Πίνακας 6-1: Βασικά χαρακτηριστικά (πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα) των μεθοδολογιών

Μεθοδολογία	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Οικολογικό Αποτύπωμα	Άθροισμα της άμεσης και έμμεσης χρήσης γης. Η έμμεση χρήση γης είναι η ενέργεια από πυρηνικά και ορυκτά καύσιμα.	Περιορισμένη χρησιμότητα – Είναι ένας αυτόνομος δείκτης.
Ecosystem Damage Potential (EDP)	Αξιολογεί τις επιπτώσεις χρήσης γης στη διαφοροποίηση των ειδών	Δεν γίνεται κανονικοποίηση – Υπάρχει όμως μία τιμή αναφοράς (EDP-ref) για τη μέγιστη αρνητική επίδραση.
Cumulative Energy Demand (CED)	Περιγράφει τη χρήση ενέργειας σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής. Τίθενται οι προτεραιότητες της δυνητικής ενεργειακής εξοικονόμησης. Είναι ένα «καλό σημείο» εισόδου στην LCA.	Δεν αντικαθιστά πιο λεπτομερείς αναλύσεις. Έχει νόημα μόνο σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους. Δεν γίνεται κανονικοποίηση.
Cumulative Exergy Demand (CExD)	Άθροισμα όλων των πόρων που απαιτούνται για την παροχή μιας διαδικασίας ή ενός προϊόντος.	Έχει νόημα μόνο σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους. Δεν γίνεται κανονικοποίηση.
IPCC 2007 Global Warming Potentials (GWP)	Αφορά την κλιματική αλλαγή και τις εκπομπές ΑΦΘ. Τα GWPs σχετίζονται με τις επιπτώσεις εκπομπών CO ₂ .	Μεμονωμένος δείκτης: αφορά μόνο την κλιματική αλλαγή. Δεν γίνεται κανονικοποίηση.
TRACI	Χρησιμοποιείται για σύγκριση μικρών αλλαγών που δεν αναμένεται να έχουν σημαντικές επιπτώσεις έξω από τη διαδικασία.	Έχει αναπτυχθεί συγκεκριμένα για παραμέτρους εισροών των Η.Π.Α. Δεν γίνεται κανονικοποίηση και
IMPACT 2002+	Αναλυτική προσέγγιση που συνθέτει τους ενδιάμεσους δείκτες στις κατηγορίες βλαβών. Γίνεται κανονικοποίηση: επιτρέπονται συγκρίσεις και στα δύο επίπεδα.	
CML 2001	Προσέγγιση στο ενδιάμεσο επίπεδο. Χρησιμοποιεί διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες για κάποιες κατηγορίες επιπτώσεων. Γίνεται υποχρεωτική κανονικοποίηση σε λεπτομερείς LCA.	Τα στοιχεία της κανονικοποίησης αφορούν παρελθοντικές χρονολογίες.
Environmental Product Declarations (EPD 2007)	Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία Περιβαλλοντικών Δηλώσεων Προϊόντων βάσει μικρού αριθμού κατηγοριών επιπτώσεων.	Δεν γίνεται κανονικοποίηση. Μεμονωμένος δείκτης: αφορά μόνο περιβαλλοντικές δηλώσεις.
EDIP 97	Χρήση στο σχεδιασμό βιομηχανικών προϊόντων. Αναβαθμισμένοι συντελεστές χαρακτηρισμού και κανονικοποίησης.	Δεν καλύπτεται η κατηγορία της ανθρώπινης υγείας.
ECO-INDICATOR 99	Προσανατολισμένη στη βλάβη. Χειρισμός των αβεβαιοτήτων για την ορθότητα των μοντέλων και τα δεδομένα με τρεις διαφορετικές	Τα δεδομένα υπολογίζονται μόνο σε Ευρωπαϊκό επίπεδο.

ReCiPe	εκδόσεις της μεθοδολογίας.	
	Μοντελοποίηση είτε στο ενδιάμεσο είτε στο επίπεδο των βλαβών. Και εδώ γίνεται χειρισμός των αβεβαιοτήτων με τρεις διαφορετικές απόψεις της μεθόδου.	Η εγκυρότητα της μεθόδου επηρεάζεται από συνθήκες που μπορεί να επικρατούν σε τοπικό επίπεδο. Η μέθοδος έχει περιορισμένη εγκυρότητα για μη ανεπτυγμένες περιοχές.

6.3 Συμπεράσματα

Υπάρχει η ανάγκη για την ενσωμάτωση κατανοητών εργαλείων Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στο λογισμικό σχεδιασμού που επιτρέπουν την ακριβή σύγκριση των σχεδιασμών προϊόντων και των διαδικασιών σχεδίων βάσει της δεδομένης πληροφορίας σχεδιασμού και των χρησιμοποιούμενων διαδικασιών. Έχουν αναπτυχθεί εμπορικά εργαλεία λογισμικού για την αξιολόγηση της σχετικής περιβαλλοντικής επίδρασης των κύκλων ζωής προϊόντων βασισμένες σε βάσεις δεδομένων και σε δεδομένα καθορισμένα από το χρήστη (Haarala et al., 2006).

Βάσει των σκοπών της ανάλυσης, ο αποφασίζων μπορεί να εξορθολογήσει την LCA για να ανακαλύψει τις επιπτώσεις κάποιων σταδίων. Επιπλέον, η εκτίμηση της σημαντικότητας διάφορων κατηγοριών επιπτώσεων βασίζεται στην άποψη και στην εμπειρία του αποφασίζοντα, καθώς και στο σκοπό και το αντικείμενο της LCA. ωστόσο, η σύγκριση δύο ή περισσότερων εναλλακτικών μπορεί να οδηγήσει σε πολλαπλά συμπεράσματα.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SimaPro που έχουν αναπτύξει οι Pré Consultants στην Ολλανδία (www.pre-sustainability.com) και η βάση δεδομένων ecoinvent για την εφαρμογή και τη συγκριτική αξιολόγηση πέντε διαφορετικών μεθοδολογιών πάνω σε ένα ξύλινο στέγαστρο. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι περιορισμοί και οι υποθέσεις των λογισμικών στη διατύπωση του προβλήματος οδηγούν σε αβεβαιότητα των LCA αποτελεσμάτων. Τα σκορ περιβαλλοντικών επιπτώσεων βασίζονται στις απόψεις μιας ομάδας ειδικών, κάτι που αυξάνει την αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων. Τα εργαλεία LCA επιτρέπουν μόνο σχετικές συγκρίσεις, αφού στηρίζονται σε βιομηχανικούς μέσους όρους και εθνικά δεδομένα.

Παράρτημα Α

Πίνακες συντελεστών χαρακτηρισμού για τις κατηγορίες επιδράσεων

Πίνακας Α-1: Global warming potentials (GWP) σε kg CO₂-eq./kg gas (Albritton et al., 1996)

Substance	Formula	GWP, 20 years	GWP, 100 years	GWP, 500 years	Life time, years
Carbon dioxide	CO ₂	1	1	1	150
Methane	CH ₄	62	25	7.5	10
Nitrogen dioxide	NO ₂	290	320	180	120
Tetrachloromethane	CCl ₄	2,000	1,400	500	42
Trichloromethane	CHCl ₃	15	5	1	0.55
Dichloromethane	CH ₂ Cl ₂	28	9	3	0.41
Chloromethane	CH ₃ Cl	92	25	9	0.7
1,1,1-Trichloroethane	CH ₃ CCl ₃	360	110	35	5.4
Tetrafluoromethane	CF ₄	4,100	6,300	9,800	50,000
Hexafluoroethane	C ₂ F ₆	8,200	12,500	19,100	10,000
CFC-11	CFCl ₃	5,000	4,000	1,400	50
CFC-12	CF ₂ Cl ₂	7,900	8,500	4,200	102
CFC-13	CF ₃ Cl	8,100	11,700	13,600	640
CFC-113	CF ₃ ClCFCl ₂	5,000	5,000	2,300	85
CFC-114	CF ₃ ClCF ₂ Cl	6,900	9,300	8,300	300
CFC-115	CF ₃ ClCF ₃	6,200	9,300	13,000	1,700
HCFC-22	CHF ₂ Cl	4,300	1,700	520	13
HCFC-123	CF ₃ CHCl ₂	300	93	29	1.4
HCFC-124	CF ₃ CHFCl	1,500	480	150	5.9
HCFC-141b	CFCl ₂ CH ₃	1,800	630	200	9.4
HCFC-142b	CF ₂ ClCH ₃	4,200	2,000	630	19.5
HCFC-225ca	C ₃ F ₅ HCl ₂	550	170	52	2.5
HCFC-225cb	C ₃ F ₅ HCl ₂	1,700	530	170	6.6
HFC-23	CHF ₃	9,200	12,100	9,900	250
HFC-32	CH ₂ F ₂	1,800	580	180	6
HFC-43-10me	C ₃ H ₇ F ₃	3,300	1,600	520	21
HFC-125	CF ₃ CHF ₂	4,800	3,200	1,100	36
HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	3,100	1,200	370	12
HFC-134a	CH ₂ F ₂ CF ₃	3,300	1,300	420	14
HFC-143	CHF ₂ CH ₂ F	950	290	90	3.5
HFC-143	CF ₃ CH ₃	5,200	4,400	1,600	55
HFC-152a	CHF ₂ CH ₃	460	140	44	1.5
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	4,500	3,300	1,100	41
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	6,100	8,000	6,600	250
HFC-245ca	C ₃ H ₃ F ₅	1,900	610	190	7
Halon 1301	CF ₃ Br	6,200	5,600	2,200	65
Sulfur hexafluoride	SF ₆	16,500	24,900	36,500	3,200
Carbon monoxide	CO	-	-	-	months
non-Methane VOC	-	-	-	-	days-months
Nitrogen oxides	NO _x	-	-	-	days

Πίνακας Α-2: Ozone depletion potentials (ODP) σε kg CFC-11 equivalents/kg gas (Solomon & Wuebbles, 1995, Pyle et al., 1991, Solomon & Albritton, 1992)

Substance	Formula	Life time, years	Total ODP	5 years	10 years	15 years	20 years	30 years	40 years	100 years	500 years
CFC-11	CFCl_3	50±5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
CFC-12	CF_2Cl_2	102	0.82	-	-	-	-	-	-	-	-
CFC-113 C	$\text{CF}_2\text{ClCFCl}_2$	85	0.90	0.55	0.56	0.58	0.59	0.62	0.64	0.78	1.09
FC-114	$\text{CF}_2\text{ClCF}_2\text{Cl}$	300	0.85	-	-	-	-	-	-	-	-
CFC-115	CF_3ClCF_3	1,700	0.40	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetrachloromethane	CCl_4	42	1.20	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.20	1.14	1.08
HCFC-22	CHF_2Cl	13.3	0.04	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.10	0.07	0.05
HCFC-123	CF_3CHCl_2	1.4	0.014	0.51	0.19	0.11	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02
HCFC-124	CF_3CHFCl	5.9	0.03	0.17	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.03	0.02
HCFC-141b	CFCl_2CH_3	9.4	0.10	0.54	0.45	0.38	0.33	0.26	0.22	0.13	0.11
HCFC-142b	CF_2ClCH_3	19.5	0.05	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.08	0.07
HCFC-225ca	$\text{C}_2\text{F}_5\text{HCl}_2$	2.5	0.02	0.42	0.21	0.14	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02
HCFC-225cb	$\text{C}_2\text{F}_5\text{HCl}_2$	6.6	0.02	0.21	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.04	0.03
1,1,1-Trichlorethan	CH_3CCl_3	5.4±0.4	0.12	1.03	0.75	0.57	0.45	0.32	0.26	0.15	0.12
Halon 1301	CF_3Br	65	12	10.3	10.4	10.5	10.5	10.7	10.8	11.5	12.5
Halon 1211	CF_2ClBr	20	5.1	11.3	10.5	9.7	9.0	8.0	7.1	4.9	4.1
Halon 1202	CF_2Br_2		-1.25	12.8	12.2	11.6	11.0	10.1	9.4	7.0	5.9
Halon 2402	$\text{CF}_2\text{BrCF}_2\text{Br}$	25	-7	-	-	-	-	-	-	-	-
HBFC 1201	CF_3HBr		-1.4	-	-	-	-	-	-	-	-
HBFC 2401	CF_3CHFBr		-0.25	-	-	-	-	-	-	-	-
HBFC 2311	CF_3CHClBr		-0.14	-	-	-	-	-	-	-	-
Methylbromid	CH_3Br	1.3	0.64	15.3	5.4	3.1	2.3	1.5	1.2	0.69	0.57

Πίνακας Α-3: Photochemical ozone depletion potentials in different organic compounds

Compound	Andersson-Sköld et al. (1992)			Haljungs et al. (1992)	
	Maximum difference in concentration	Ordinary Swedish background during 0-4 days	High NO _x concentration during 0-4days	Average for three European locations	Range
Alkanes					
Methane	-	-	-	0.007	0.000-0.030
Ethane	0.173	0.126	0.121	0.082	0.020-0.300
Propane	0.604	0.503	0.518	0.420	0.160-1.240
n-Butane	0.554	0.467	0.485	0.410	0.150-1.150
i-Butane	0.331	0.411	0.389	0.315	0.190-0.590
n-Pentane	0.612	0.298	0.387	0.408	0.090-1.050
i-Pentane	0.360	0.314	0.345	0.296	0.120-0.680
n-Hexane	0.784	0.452	0.495	0.421	0.100-1.510
2-Methylpentane	0.712	0.529	0.565	0.524	0.190-1.400
3-Methylpentane	0.647	0.409	0.457	0.431	0.110-1.250
2,2-Dimethylbutane	-	-	-	0.251	0.120-0.490
2,3-Dimethylbutane	-	-	-	0.384	0.250-0.650
n-Heptane	0.791	0.518	0.592	0.520	0.130-1.650
2-Methylhexane	-	-	-	0.492	0.110-1.500
3-Methylhexane	-	-	-	0.492	0.110-1.570
n-Octane	0.608	0.461	0.544	0.493	0.120-1.510
2-Methylheptane	0.691	0.457	0.524	0.469	0.120-1.460
n-Nonane	0.633	0.351	0.463	0.469	0.100-1.480
2-Methyloctane	0.669	0.454	0.523	0.505	0.120-1.470
n-Decane	0.719	0.422	0.509	0.464	0.080-1.560
2-Methylnonane	0.719	0.423	0.498	0.448	0.080-1.530
n-Undecane	0.662	0.386	0.476	0.436	0.080-1.440
n-Dodecane	0.576	0.311	0.452	0.412	0.070-1.380
Average	-	-	-	0.398	0.114-1.173
Halogenated hydrocarbons					
Methylene chloride	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000-0.030
Chloroform (CHCl ₃)	0.007	0.004	0.003	-	-
Methylchloroform	0.007	0.002	0.001	0.001	0.000-0.010
Trichloroethylene	0.086	0.111	0.091	0.066	0.010-0.130
Tetrachloroethylene	0.014	0.014	0.010	0.005	0.000-0.020
Allyl chloride (CH ₂ CHCH ₂ Cl)	0.561	0.483	0.667	-	-
Average	-	-	-	0.021	0.003-0.048
Alcohols					
Methanol	0.165	0.213	0.178	0.123	0.090-0.210
Ethanol	0.446	0.225	0.317	0.268	0.040-0.890
i-Propanol	0.173	0.203	0.188	-	-
Butanol	0.655	0.214	0.404	-	-
i-Butanol	0.388	0.255	0.290	-	-
Butane-2-diol	0.288	0.066	0.216	-	-
Average	-	-	-	0.196	0.065-0.550
Aldehydes					
Formaldehyde	0.424	0.261	0.379	0.421	0.220-0.580
Acetaldehyde	0.532	0.186	0.615	0.527	0.330-1.220
Propionaldehyde	0.655	0.170	0.652	0.603	0.380-1.600
Butyraldehyde	0.640	0.171	0.597	0.568	0.160-1.600
i-Butyraldehyde	0.583	0.300	0.677	0.631	0.380-1.280
Valeraldehyde	0.612	0.321	0.686	0.686	0.000-2.680
Acrolein	1.201	0.832	0.827	-	-
Benzaldehyde	-	-	-	0.334	(-0.82)-(-0.12)
Average	-	-	-	0.443	0.079-1.263
Ketones					
Acetone	0.173	0.124	0.160	0.178	0.100-0.270
Methyl ethyl ketone	0.388	0.178	0.346	0.473	0.170-0.800
Methyl i-butyl ketone	0.676	0.318	0.666	-	-
Average	-	-	-	0.326	0.135-0.535

Compound	Andersson-Sköld et al. (1992)			Heijungs et al. (1992)	
	Maximum difference in concentration	Ordinary Swedish background during 0-4 days	High NO _x concentration during 0-4 days	Average for three European locations	Range
Esters					
Dimethylester	0.058	0.067	0.046	*	*
Methyl acrylate	*	*	*	0.025	0.000-0.070
Ethyl acetate	0.295	0.294	0.286	0.218	0.110-0.560
i-Propyl acetate	*	*	*	0.215	0.140-0.360
n-Butyl acetate	0.439	0.320	0.367	0.323	0.140-0.910
i-Butyl acetate	0.288	0.353	0.345	0.332	0.210-0.590
Average	*	*	*	0.223	0.120-0.498
Olefins					
Ethene	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Propene	0.734	0.599	1.060	1.030	0.750-1.630
1-Butene	0.799	0.495	0.983	0.959	0.570-1.850
2-Butene	0.784	0.436	1.021	0.992	0.820-1.570
1-Pentene	0.727	0.424	0.833	1.059	0.400-2.880
2-Pentene	0.770	0.381	0.965	0.930	0.650-1.600
2-Methyl-1-butene	0.691	0.181	0.717	0.777	0.520-1.130
2-Methyl-2-butene	0.935	0.453	0.784	0.779	0.610-1.020
3-Methyl-1-butene	*	*	*	0.895	0.600-1.540
Isobutene	0.791	0.580	0.648	0.634	0.580-0.760
Average	*	*	*	0.906	0.650-1.498
Acetylenes					
Acetylene	0.273	0.368	0.291	0.168	0.100-0.420
Aromatics					
Benzene	0.317	0.402	0.318	0.189	0.110-0.450
Toluene	0.446	0.470	0.565	0.563	0.410-0.830
o-Xylene	0.424	0.167	0.598	0.666	0.410-0.970
m-Xylene	0.583	0.474	0.884	0.993	0.780-1.350
p-Xylene	0.612	0.472	0.796	0.888	0.630-1.800
Ethylbenzene	0.532	0.504	0.621	0.593	0.350-1.140
1,2,3-Trimethylbenzene	0.698	0.292	0.868	1.170	0.760-1.750
1,2,4-Trimethylbenzene	0.683	0.330	0.938	1.200	0.860-1.760
1,3,5-Trimethylbenzene	0.691	0.330	0.989	1.150	0.740-1.740
o-Ethyltoluene	0.597	0.408	0.637	0.668	0.310-1.300
m-Ethyltoluene	0.626	0.401	0.729	0.794	0.410-1.400
p-Ethyltoluene	0.626	0.443	0.682	0.725	0.360-1.350
n-Propylbenzene	0.511	0.454	0.531	0.492	0.250-1.100
i-Propylbenzene	0.511	0.523	0.594	0.565	0.350-1.050
Average	*	*	*	0.761	0.481-1.258
Other					
Methylcyclohexane	0.403	0.386	0.392	*	*
Isoprene	0.532	0.583	0.768	*	*
Dimethylether	0.288	0.343	0.286	*	*
Propylene glycole methyl ether	0.770	0.491	0.497	*	*
Propylene glycole methyl ether acetate	0.309	0.157	0.143	*	*
Carbonmonoxide	0.036	0.040	0.032	*	*

Πίνακας Α-4: Acidification potentials for acidifying substances (Hauschild & Wenzel, 1997d)

Substance	Formula	Reaction	Molar weight g/mole	AP kg SO ₂ /kg
Sulfur dioxide	SO ₂	SO ₂ + H ₂ O ⇌ H ₂ SO ₃ ⇌ 2H ⁺ + SO ₃ ²⁻	64.06	1
Sulfur trioxide	SO ₃	SO ₃ + H ₂ O ⇌ H ₂ SO ₄ ⇌ 2H ⁺ + SO ₄ ²⁻	80.06	0.80
Nitrogen dioxide	NO ₂	NO ₂ + 1/2 H ₂ O + 1/4 O ₂ ⇌ H ⁺ + NO ₃ ⁻	46.01	0.70
Nitrogen oxide	NO	NO + O ₃ + 1/2 H ₂ O ⇌ H ⁺ + NO ₃ ⁻ + 3/4 O ₂	30.01	1.07
Hydrogen chloride	HCl	HCl ⇌ H ⁺ + Cl ⁻	36.46	0.88
Hydrogen nitrate	HNO ₃	HNO ₃ ⇌ H ⁺ + NO ₃ ⁻	63.01	0.51
Hydrogen sulfate	H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄ ⇌ 2H ⁺ + SO ₄ ²⁻	98.07	0.65
Hydrogen phosphate	H ₃ PO ₄	H ₃ PO ₄ ⇌ 3H ⁺ + PO ₄ ³⁻	98.00	0.98
Hydrogen fluoride	HF	HF ⇌ H ⁺ + F ⁻	20.01	1.60
Hydrogen sulfide	H ₂ S	H ₂ S + 3/2 O ₂ + H ₂ O ⇌ 2H ⁺ + SO ₄ ²⁻	34.03	1.88
Ammonium	NH ₃	NH ₃ + 2O ₂ ⇌ H ⁺ + NO ₃ ⁻ + H ₂ O	17.03	1.88

Πίνακας A-5: Eutrophication potentials (EP) for different scenarios as O_2^- or PO_4 -equivalents (Lindfors et al., 1995c).

Substance	N to air kg O_2 /kg	P-limited kg O_2 /kg	N-limited kg O_2 /kg	N-limited + N to air kg O_2 /kg	Maximum kg O_2 /kg	Maximum kg PO_4 -eq./kg
N to air	20	0	0	20	20	0.42
NO_x to air	6	0	0	6	6	0.13
NH_3 to air	16	0	0	16	16	0.35
N to water	0	0	20	20	20	0.42
NO_3^- to water	0	0	4.4	4.4	4.4	0.1
NH_4^+ to water	0	0	15	15	15	0.33
P to water	0	140	0	0	140	3.06
PO_4^{3-}	0	46	0	0	46	1
COD	0	1	1	1	1	0.022

Πίνακας A-6: Eutrophication potentials (EP) as total-N, total-P or NO_3 -equivalents (Hauschild & Wenzel, 1997e)

Substance	M_w g/mole	EP(N) kg N/kg	EP(P) kg P/kg	EP kg NO_3 /kg
NO_3^-	62	0.23	0	1
NO_2^-	46	0.30	0	1.35
NO_2^-	46	0.30	0	1.35
NO	30	0.47	0	2.07
NH_3	17	0.82	0	3.64
CN^-	26	0.54	0	2.38
Total-N	14	1	0	4.43
PO_4^{3-}	95	0	0.33	10.45
$P_2O_7^{2-}$	174	0	0.35	11.41
Total-P	31	0	1	32.03

Παράρτημα Β

Εισαγωγή δεδομένων στο SimaPro

Ο πίνακας 5-1 όπως εισήχθη στο λογισμικό

Processes→Material→Wood, Felled tree

C:\Users\Public\Documents\Simapro\Database\Professional; Tutorial with wood example - [Edit material process 'felled tree']

File Edit Calculate Tools Window Help

Documentation Input/output Parameters System description

Products

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	Comment
felled tree	1	ton	Mass	100 %	not defined	Wood	
(Insert line here)							

Known outputs to technosphere. Avoided products

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)						

Inputs

Known inputs from nature (resources)

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Wood, unspecified, standing/kg		1,25	ton	Undefined			
(Insert line here)							

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)						

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Chain sawing	3	min	Undefined			
(Insert line here)						

Outputs

Emissions to air

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Emissions to water

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Emissions to soil

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Final waste flows

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Wood waste		6250	kg	Undefined			
(Insert line here)							

Non material emissions

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Social issues

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Economic issues

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Known outputs to technosphere. Waste and emissions to treatment

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)						

TU Crete 1 7.3.2 PhD

Processes→Material→Wood, bark, saw dust, planks

C:\Users\Public\Documents\Simapro\Database\Professional\ Tutorial with wood example - [Edit material process 'planks']

File Edit Calculate Tools Window Help

Documentation Input/output Parameters System description

Products

Known outputs to technosphere. Products and co-products

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	Comment
planks	500	kg	Mass	50 %	Wood	Wood	
saw dust	400	kg	Mass	40 %	Wood	Wood	
bark	100	kg	Mass	10 %	Wood	Wood	
(Insert line here)							

Known outputs to technosphere. Avoided products

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)						

Inputs

Known inputs from nature (resources)

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
felled tree	1,25	ton	Undefined			
(Insert line here)						

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Truck 28t B250	250	lkm	Undefined			
Electricity UCPT E250	150	kWh	Undefined			
(Insert line here)						

Outputs

Emissions to air

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Carbon dioxide		450	kg	Undefined			
Carbon monoxide, biogenic		2,9	kg	Undefined			
Nitrogen dioxide		500	g	Undefined			
Particulates, < 10 um		540	g	Undefined			
Sulfur dioxide		100	g	Undefined			
(Insert line here)							

Emissions to water

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Emissions to soil

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Final waste flows

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Non material emissions

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Social issues

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

TU Crete 1 7.3.2 PHD

Waste treatment → Incineration, Open fire fuelled by material from shed

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\Professional; Tutorial with wood example - [Edit waste treatment process 'Open fire fuelled by material from shed']

File Edit Calculate Tools Window Help

Documentation Input/output Parameters System description

Products

Waste specification

Name	Default material / waste type	Amount	Unit	Quantity	Category	Comment
Open fire fuelled by material from shed	Wood	1	kg	Mass	Incineration	

Known outputs to technosphere. Avoided products

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)						

Inputs

Known inputs from nature (resources)

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)						

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)						

Outputs

Emissions to air

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Carbon dioxide, biogenic		1,2	kg	Undefined			
Carbon monoxide, biogenic		50	g	Undefined			
NMHC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin		27,5	g	Undefined			
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons		40	mg	Undefined			
Particulates, < 10 um		2,5	mg	Undefined			
Nitrogen dioxide		2	g	Undefined			
(Insert line here)							

Emissions to water

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Emissions to soil

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Final waste flows

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Non material emissions

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Social issues

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Economic issues

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

TU Crete 1 7.3.2 PhD

Waste scenario → Landfill, Landfill scenario for shed

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\Professional; Tutorial with wood example - [Edit waste scenario process 'Landfill scenario for shed']

File Edit Calculate Tools Window Help

Documentation Input/output Parameters System description

Products

Waste specification

Name	Amount	Unit	Category	Comment
Landfill scenario for shed	1	kg	Landfill	

Inputs

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)						

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)						

Outputs

Materials and/or waste types separated from waste stream

Waste scenario/treatment	Material / Waste type	Percentage	Comment
Landfill of wooden shed	Wood	100 %	
Landfill ECCS steel B250(1998)	Steel	100 %	
Landfill Tin plate B250 (1998)	Tin plate	100 %	
(Insert line here)			

Waste streams remaining after separation

Waste scenario/treatment	Percentage	Comment
Unspecified	100 %	All materials that do not belong to one of the waste types go to Unspecified. Please beware, this treatment does not have any emissions, so normally you should not see it in the tree.
(Insert line here)		

Waste scenario→Incineration, Open fire waste scenario for shed

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\Professional; Tutorial with wood example - [Edit waste scenario process 'Open fire waste scenario for shed']

File Edit Calculate Tools Window Help

Documentation Input/output Parameters System description

Products

Waste specification	Amount	Unit	Category	Comment
Open fire waste scenario for shed	1	kg	Incineration	

Inputs

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)						

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)						

Outputs

Materials and/or waste types separated from waste stream

Waste scenario/treatment	Material / Waste type	Percentage	Comment
Open fire fuelled by material from shed	Wood	100 %	
Incin. ECCS steel 1995B250(98)	Steel	100 %	
Incin. Tin plate 1995 B250(98)	Tin plate	100 %	
(Insert line here)			

Waste streams remaining after separation

Waste scenario/treatment	Percentage	Comment
Unspecified	100 %	
(Insert line here)		

Waste scenario→Others, Waste scenario for shed

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\Professional; Tutorial with wood example - [Edit waste scenario process 'Waste scenario for shed']

File Edit Calculate Tools Window Help

Documentation Input/output Parameters System description

Products

Waste specification	Amount	Unit	Category	Comment
Waste scenario for shed	200	kg	Others	

Inputs

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)						

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Passenger car B250	10	km	Undefined			
(Insert line here)						

Outputs

Materials and/or waste types separated from waste stream

Waste scenario/treatment	Material / Waste type	Percentage	Comment
Landfill scenario for shed	All waste types	60 %	
Open fire waste scenario for shed	All waste types	40 %	
(Insert line here)			

Waste streams remaining after separation

Waste scenario/treatment	Percentage	Comment
(Insert line here)		

Product stages→Assembly→Others→Simple shed

Input/output | Parameters | Maximize

Name: Simple shed | Image: | Comment:

Status: None

Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max	Comment
planks	150	kg	Undefined			
Tin plate 50% scrap B250	3	kg	Undefined			
(Insert line here)						

Processes	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max	Comment
Operation, passenger car, petrol, EURO4/CH U	10	km	Undefined			
(Insert line here)						

Product stages→Life cycle→Others→Life cycle of a shed

Input/output | Parameters | Maximize

Name: Life cycle of the shed | Image: | Comment:

Status: None

Assembly	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max	Comment
Simple shed	1	p	Undefined			

Processes	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)						

Waste/Disposal scenario	Number	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max	Comment
Waste scenario for shed					

Product stages → Assembly → Others → Simple shed with parameters

Simple shed with parameters

Name: Simple shed with parameters

Status: None

Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
planks	150	kg	Undefined			
Tin plate 50% scrap B250	3	kg	Undefined			
Acrylic varnish, 87.5% in H2O, at plant/RER S	$\text{wall_surface} * 0,2 = 5,97$	kg				assuming 200g paint per m2 of wall
Tin plate 50% scrap B250	$\text{roof_surface} * 1,4 = 25,7$	kg				assuming 1.4 kg/m2

(Insert line here)

Processes	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Operation, passenger car, petrol, EURO4/CHU	10	km	Undefined			

(Insert line here)

Simple shed with parameters

Input parameters

Name	Value	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Hide	Comment
width	3	Undefined			<input type="checkbox"/>	meter
length	2	Undefined			<input type="checkbox"/>	meter
height	2	Undefined			<input type="checkbox"/>	meter
roof_slope	0,5	Undefined			<input type="checkbox"/>	slope expressed in radians (57,3 degree = 1)
roof_overhang	0,2	Undefined			<input type="checkbox"/>	meter
wall_thickness	0,0022	Undefined			<input type="checkbox"/>	meter
sp_mass_wood	800	Undefined			<input type="checkbox"/>	kg/m3
roof_thickness	0,003	Undefined			<input type="checkbox"/>	meter

(Insert line here)

Calculated parameters

Name	Expression	Comment
roof_surface	$2 * (\text{length} + 2 * \text{roof_overhang}) * (2 * \text{roof_overhang} + \text{width} * \cos(\text{roof_slope})) = 18,3$	the size depends on overhang, roof slope, length and width
wall_surface	$2 * \text{width} * \text{height} + 2 * \text{length} * \text{height} + 2 * \text{width} * \tan(\text{roof_slope}) * \text{width} = 29,8$	the last part refers to the triangular part of front and back under the roof
wood_volume	$\text{wall_thickness} * \text{wall_surface} + \text{roof_thickness} * \text{roof_surface} = 0,121$	m3
wood_mass	$\text{wood_volume} * \text{sp_mass_wood} = 96,5$	kg

(Insert line here)

Παράρτημα Γ

Γ-1: IMPACT 2002+

Πίνακας Γ-1: Χαρακτηρισμός

SimaPro 7.3

Impact assessment

Results: Impact assessment
Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
Method: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+
Unit: %
Indicator: Chaeacterization

Impact category	Unit	Total	Simple shed v	Waste scenario for shed
Carcinogens	kg C2H3Cl eq	10,9456471	1,51559752	9,430049538
Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	3,53075469	1,12445241	2,406302278
Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0,13424485	0,11466336	0,019581489
Ionizing radiation	Bq C-14 eq	414,720392	414,720392	0
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	1,5233E-05	1,2378E-05	2,85575E-06
Respiratory organics	kg C2H4 eq	1,0535656	0,04621079	1,007354817
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	135282,154	135138,648	143,5059686
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	468,481328	283,055962	185,4253659
Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	2,86641099	2,04461407	0,82179692
Land occupation	m2org.arable	0,06259927	0,06259927	0
Aquatic acidification	kg SO2 eq	0,58446821	0,47563901	0,108829203
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	0,00668814	0,00668361	4,53741E-06
Global warming	kg CO2 eq	162,14012	157,494142	4,645978682
Non-renewable energy	MJ primary	1345,27174	1331,98583	13,28590795

Πίνακας Γ-2: Αξιολόγηση επιπτώσεων ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Results: Impact assessment
Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with wood example)
Method: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+
Indicator: Damage assessment
Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Carcinogens	DALY	3,0648E-05	4,24367E-06	2,64041E-05
Non-carcinogens	DALY	9,8861E-06	3,14847E-06	6,73765E-06
Respiratory inorganics	DALY	9,3971E-05	8,02644E-05	1,3707E-05
Ionizing radiation	DALY	8,7091E-08	8,70913E-08	0
Ozone layer depletion	DALY	1,5995E-08	1,29966E-08	2,99854E-09
Respiratory organics	DALY	2,2441E-06	9,8429E-08	2,14567E-06
Aquatic ecotoxicity	PDF*m2*yr	6,79116415	6,783960147	0,007204
Terrestrial ecotoxicity	PDF*m2*yr	3,7056873	2,23897266	1,466714644
Terrestrial acid/nutri	PDF*m2*yr	2,98106743	2,126398637	0,854668797
Land occupation	PDF*m2*yr	0,0682332	0,068233201	0
Aquatic acidification	-	-	-	-
Aquatic eutrophication	-	-	-	-
Global warming	kg CO2 eq	162,14012	157,4941415	4,645978682
Non-renewable energy	MJ primary	1345,27174	1331,985834	13,28590795

Πίνακας Γ-3: Αξιολόγηση επιπτώσεων ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Results: Impact assessment
Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
Method: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+
Indicator: Damage assessment
Unit: %

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Human health	DALY	0,00013685	8,7855E-05	4,89975E-05
Ecosystem quality	PDF*m2*yr	13,5461521	11,21756464	2,32858744
Climate change	kg CO2 eq	162,14012	157,4941415	4,645978682
Resources	MJ primary	1535,00401	1521,718103	13,28590795

Πίνακας Γ-4: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Results: Impact assessment
Product: 1 p Life cycle of a shed with parameterers
Method: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+
Indicator: Normalization
Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Carcinogens		0,00432134	0,000598358	0,003722984
Non-carcinogens		0,00139394	0,000443934	0,000950008
Respiratory inorganics		0,01324997	0,011317274	0,001932693
Ionizing radiation		1,228E-05	1,22799E-05	0
Ozone layer depletion		2,2553E-06	1,83252E-06	4,22794E-07
Respiratory organics		0,00031642	1,38785E-05	0,000302539
Aquatic ecotoxicity		0,00049575	0,000495229	5,25892E-07
Terrestrial ecotoxicity		0,00027052	0,000163445	0,00010707
Terrestrial acid/nutri		0,00021762	0,000155227	6,23908E-05
Land occupation		4,981E-06	4,98102E-06	0
Aquatic acidification	-	-	-	-
Aquatic eutrophication	-	-	-	-
Global warming		0,01637615	0,015906908	0,000469244
Non-renewable energy		0,00885189	0,008764467	8,74213E-05
Mineral extraction		0,00124844	0,001248438	0

Πίνακας Γ-5: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Results: Impact assessment
 Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+
 Indicator: Normalization
 Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Human health		0,0192962	0,01238756	0,00690865
Ecosystem quality		0,00098887	0,00081888	0,00016999
Climate change		0,01637615	0,01590691	0,00046924
Resources		0,01010033	0,01001291	0,00008742

Πίνακας Γ-6: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Results: Impact assessment
 Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+
 Indicator: Single score
 Unit: mPt
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Total	Pt	0,04676155	0,039126252	0,007635298
Carcinogens	Pt	0,00432134	0,000598358	0,003722984
Non-carcinogens	Pt	0,00139394	0,000443934	0,000950008
Respiratory inorganics	Pt	0,01324997	0,011317274	0,001932693
Ionizing radiation	Pt	1,228E-05	1,22799E-05	0
Ozone layer depletion	Pt	2,2553E-06	1,83252E-06	4,22794E-07
Respiratory organics	Pt	0,00031642	1,38785E-05	0,000302539
Aquatic ecotoxicity	Pt	0,00049575	0,000495229	5,25892E-07
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0,00027052	0,000163445	0,00010707
Terrestrial acid/nutri	Pt	0,00021762	0,000155227	6,23908E-05
Land occupation	Pt	4,981E-06	4,98102E-06	0
Aquatic acidification	Pt	-	-	-
Aquatic eutrophication	Pt	-	-	-
Global warming	Pt	0,01637615	0,015906908	0,000469244
Non-renewable energy	Pt	0,00885189	0,008764467	8,74213E-05
Mineral extraction	Pt	0,00124844	0,001248438	0

Πίνακας Γ-7: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Results: Impact assessment
 Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+
 Indicator: Single score
 Unit: mPt
 Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Total	Pt	0,04676155	0,039126252	0,007635298
Human health	Pt	0,0192962	0,012387556	0,006908646
Ecosystem quality	Pt	0,00098887	0,000818882	0,000169987
Climate change	Pt	0,01637615	0,015906908	0,000469244
Resources	Pt	0,01010033	0,010012905	8,74213E-05

Γ-2: CML 2001

Πίνακας Γ-8: Χαρακτηρισμός ανά κατηγορία επιπτώσεων με διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες

SimaPro 7.3	Impact assessment			
Results:	Impact assessment			
Product:	1 p Life cycle of a shed with parameters			
Method:	CML 2001 (all impact categories) V2.05 / World, 1990			
Indicator:	Characterization			
Unit:	%			
Sorted on item:	Impact category			
Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Abiotic depletion	kg Sb eq	0,658169	0,653044018	0,00512509
Acidification	kg SO ₂ eq	0,537845	0,457887789	0,079957
Eutrophication	kg PO ₄ --- eq	0,089265	0,069818678	0,01944636
Global warming 20a	kg CO ₂ eq	184,7976	170,9065978	13,8909697
Global warming 100a	kg CO ₂ eq	168,1871	161,2931276	6,89397323
Global warming 500a	kg CO ₂ eq	161,249	157,2507332	3,99828358
Upper limit of net global warming	kg CO ₂ eq	170,7369	163,0921842	7,64473906
Lower limit of net global warming	kg CO ₂ eq	169,778	162,24795	7,53006691
Ozone layer depletion 5a	kg CFC-11 eq	1,4E-05	1,15643E-05	2,4512E-06
Ozone layer depletion 10a	kg CFC-11 eq	1,41E-05	1,15802E-05	2,475E-06
Ozone layer depletion 15a	kg CFC-11 eq	1,41E-05	1,15892E-05	2,4988E-06
Ozone layer depletion 20a	kg CFC-11 eq	1,4E-05	1,15222E-05	2,4988E-06
Ozone layer depletion 25a	kg CFC-11 eq	1,41E-05	1,15726E-05	2,5226E-06
Ozone layer depletion 30a	kg CFC-11 eq	1,42E-05	1,16093E-05	2,5464E-06
Ozone layer depletion 40a	kg CFC-11 eq	1,42E-05	1,15827E-05	2,5702E-06
Ozone layer depletion steady state	kg CFC-11 eq	1,55E-05	1,26176E-05	2,8558E-06
Human toxicity 20a	kg 1,4-DB eq	1383,108	9,22469783	1373,8835
Human toxicity 100a	kg 1,4-DB eq	1383,159	9,268905913	1373,89036
Human toxicity 500a	kg 1,4-DB eq	1383,238	9,346608509	1373,89137
Human toxicity infinite	kg 1,4-DB eq	1392,016	17,85752667	1374,15824

Freshwater aquatic ecotox. 20a	kg 1,4-DB eq	7,318544	6,871738237	0,44680539
Freshwater aquatic ecotox. 100a	kg 1,4-DB eq	7,642495	7,183328779	0,45916632
Freshwater aquatic ecotox. 500a	kg 1,4-DB eq	7,661364	7,201312192	0,46005211
Fresh water aquatic ecotox. infinite	kg 1,4-DB eq	7,817276	7,346911266	0,47036435
Marine aquatic ecotox. 20a	kg 1,4-DB eq	13,9787	4,396674123	9,58202088
Marine aquatic ecotox. 100a	kg 1,4-DB eq	37,72076	27,22323818	10,4975239
Marine aquatic ecotox. 500a	kg 1,4-DB eq	154,0903	142,8938736	11,196463
Marine aquatic ecotoxicity infinite	kg 1,4-DB eq	14315,3	14184,30788	130,987281
Terrestrial ecotoxicity 20a	kg 1,4-DB eq	0,003869	0,001448754	0,00242073
Terrestrial ecotoxicity 100a	kg 1,4-DB eq	0,00924	0,006696045	0,00254353
Terrestrial ecotoxicity 500a	kg 1,4-DB eq	0,029347	0,026347497	0,00299994
Terrestrial ecotoxicity infinite	kg 1,4-DB eq	0,175395	0,153581699	0,0218136
Marine sediment ecotox. 20a	kg 1,4-DB eq	39,78535	7,611164782	32,174189
Marine sediment ecotox. 100a	kg 1,4-DB eq	64,06564	29,80611613	34,2595274
Marine sediment ecotox. 500a	kg 1,4-DB eq	165,3228	130,4246853	34,8980982
Marine sediment ecotox. infinite	kg 1,4-DB eq	9949,58	9814,315158	135,264367
Freshwater sediment ecotox. 20a	kg 1,4-DB eq	16,69629	15,28091454	1,41537081
Freshwater sediment ecotox. 100a	kg 1,4-DB eq	17,58209	16,11878518	1,46330544
Freshwater sediment ecotox. 500a	kg 1,4-DB eq	17,62821	16,16289179	1,4653218
Freshwater sediment ecotox. infinite	kg 1,4-DB eq	17,8108	16,33699832	1,47380442
Average European (kg NOx eq)	kg NOx eq	0,340045	0,305287398	0,0347578
Average European (kg SO2-Eq)	kg SO2 eq	0,200415	0,185941241	0,01447339
Land competition	m2a	0,3139	0,313899949	0
Ionising radiation	DALYs	8,3E-08	8,29599E-08	0
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0,126252	0,039238686	0,0870133
Photochemical oxidation (low NOx)	kg C2H4 eq	0,004247	0,002938642	0,00130866
Malodours air	m3 air	509339,6	509292,4303	47,1251568
Equal benefit incremental reactivity	kg formed O3	0,00596	0,004331041	0,00162852
Max. incremental reactivity	kg formed O3	0,003762	0,003017264	0,00074433
Max. ozone incremental reactivity	kg formed O3	0,005074	0,00379347	0,00128068

Πίνακας Γ-9: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3	Impact assessment			
Results:	Impact assessment			
Product:	1 p Life cycle of a shed with parameters			
Method:	CML 2001 (all impact categories) V2.05 / World, 1990			
Indicator:	Normalization			
Sorted on item:	Impact category			
Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Abiotic depletion		4,16E-12	4,12724E-12	3,23906E-14
Acidification		1,66E-12	1,41487E-12	2,47067E-13
Eutrophication		6,72E-13	5,25735E-13	1,46431E-13
Global warming 20a		3,25E-12	3,00796E-12	2,44481E-13
Global warming 100a		3,82E-12	3,66135E-12	1,56493E-13
Global warming 500a		4,81E-12	4,68607E-12	1,19149E-13
Upper limit of net global warming		3,7E-12	3,5391E-12	1,65891E-13
Lower limit of net global warming		4,23E-12	4,03997E-12	1,87499E-13
Ozone layer depletion 5a		5,41E-15	4,46381E-15	9,46158E-16

Ozone layer depletion 10a		8,57E-15	7,06392E-15	1,50974E-15
Ozone layer depletion 15a		1,07E-14	8,78464E-15	1,89408E-15
Ozone layer depletion 20a		1,2E-14	9,85149E-15	2,13646E-15
Ozone layer depletion 25a		1,32E-14	1,08204E-14	2,35861E-15
Ozone layer depletion 30a		1,42E-14	1,16093E-14	2,54638E-15
Ozone layer depletion 40a		1,53E-14	1,25094E-14	2,77579E-15
Ozone layer depletion steady state		1,36E-14	1,1053E-14	2,50164E-15
Human toxicity 20a		2,32E-11	1,54975E-13	2,30812E-11
Human toxicity 100a		2,32E-11	1,55718E-13	2,30814E-11
Human toxicity 500a		2,32E-11	1,57023E-13	2,30814E-11
Human toxicity infinite		2,32E-11	2,98221E-13	2,29484E-11
Freshwater aquatic ecotox. 20a		4,11E-12	3,86192E-12	2,51105E-13
Freshwater aquatic ecotox. 100a		4,22E-12	3,9652E-12	2,5346E-13
Freshwater aquatic ecotox. 500a		4,05E-12	3,80949E-12	2,43368E-13
Fresh water aquatic ecotox. infinite		3,78E-12	3,54856E-12	2,27186E-13
Marine aquatic ecotox. 20a		2,12E-11	6,68294E-12	1,45647E-11
Marine aquatic ecotox. 100a		1,28E-11	9,2559E-12	3,56916E-12
Marine aquatic ecotox. 500a		9,94E-12	9,21665E-12	7,22172E-13
Marine aquatic ecotoxicity infinite		1,89E-11	1,87233E-11	1,72903E-13
Terrestrial ecotoxicity 20a		2,74E-14	1,02717E-14	1,7163E-14
Terrestrial ecotoxicity 100a		6,25E-14	4,52653E-14	1,71943E-14
Terrestrial ecotoxicity 500a		1,65E-13	1,48073E-13	1,68596E-14
Terrestrial ecotoxicity infinite		6,65E-13	5,82075E-13	8,26735E-14
Marine sediment ecotox. 20a		3,49E-11	6,67499E-12	2,82168E-11
Marine sediment ecotox. 100a		1,8E-11	8,37552E-12	9,62693E-12
Marine sediment ecotox. 500a		1,05E-11	8,30805E-12	2,22301E-12
Marine sediment ecotox. infinite		1,46E-11	1,4427E-11	1,98839E-13
Freshwater sediment ecotox. 20a		9,12E-12	8,34338E-12	7,72792E-13
Freshwater sediment ecotox. 100a		9,3E-12	8,52684E-12	7,74089E-13
Freshwater sediment ecotox. 500a		8,43E-12	7,72586E-12	7,00424E-13
Freshwater sediment ecotox. infinite		7,04E-12	6,45311E-12	5,82153E-13
Average European (kg NOx eq)		9,56E-13	8,57858E-13	9,76694E-14
Average European (kg SO2-Eq)		6,19E-13	5,74558E-13	4,47228E-14
Land competition		2,53E-15	2,53003E-15	0
Ionising radiation		7,41E-13	7,40832E-13	0
Photochemical oxidation		1,21E-12	3,76299E-13	8,34458E-13
Photochemical oxidation (low NOx)		4,63E-14	3,20312E-14	1,42644E-14
Malodours air		0	0	0
Equal benefit incremental reactivity		0	0	0
Max. incremental reactivity		0	0	0
Max. ozone incremental reactivity		0	0	0

Γ-3: EPS 2000

Πίνακας Γ-10: Χαρακτηρισμός δεδομένων ανά κατηγορία προβλημάτων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Results: Impact assessment
 Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: EPS 2000 V2.06 / EPS
 Indicator: Characterization
 Unit: %
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Life expectancy	PersonYr	0,00156449	0,000191491	0,001372998
Severe morbidity	PersonYr	0,00044145	5,52318E-05	0,000386215
Morbidity	PersonYr	0,00011599	0,000110321	5,67257E-06
Severe nuisance	PersonYr	6,7585E-05	6,464E-05	2,94486E-06
Nuisance	PersonYr	0,00299185	0,002601327	0,000390521
Crop growth capacity	kg	0,57630816	0,365786982	0,21052118
Wood growth capacity	kg	-7,7654459	-7,209600422	-0,555845462
Fish and meat production	kg	-0,0161337	-0,01104175	-0,005091992
Soil acidification	H+ eq	0,91113076	0,741482521	0,169648235
Prod. cap. irrigation Water	kg	0	0	0
Prod. cap. drinking water	kg	0	0	0
Depletion of reserves	ELU	408,827554	408,9479808	-0,120427055
Species extinction	NEX	2,1222E-12	2,02096E-12	1,01226E-13

Πίνακας Γ-11: Αξιολόγηση ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: EPS 2000 V2.06 / EPS
 Indicator: Damage assessment
 Unit: %
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Life expectancy	ELU	132,981519	16,27670195	116,7048171
Severe morbidity	ELU	44,1446659	5,523177931	38,62148798
Morbidity	ELU	1,15993325	1,103207577	0,056725668
Severe nuisance	ELU	0,67584901	0,646400448	0,029448566
Nuisance	ELU	0,29918478	0,260132695	0,039052081
Crop growth capacity	ELU	0,08644622	0,054868047	0,031578177
Wood growth capacity	ELU	-0,3106178	-0,288384017	-0,022233818
Fish and meat production	ELU	-0,0161337	-0,01104175	-0,005091992
Soil acidification	ELU	0,00911131	0,007414825	0,001696482
Prod. cap. irrigation Water	ELU	0	0	0
Prod. cap. drinking water	ELU	0	0	0
Depletion of reserves	ELU	408,827554	408,9479808	-0,120427055
Species extinction	ELU	0,23344078	0,222305965	0,01113482

Πίνακας Γ-12: Αξιολόγηση επιπτώσεων ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: EPS 2000 V2.06 / EPS
 Indicator: Damage assessment
 Unit: %
 Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Human health	ELU	179,261152	23,8096206	155,4515314
Ecosystem production capacity	ELU	-0,231194	-0,237142895	0,005948849
Abiotic stock resource	ELU	408,827554	408,9479808	-0,120427055
Biodiversity	ELU	0,23344078	0,222305965	0,01113482

Πίνακας Γ-13: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: EPS 2000 V2.06 / EPS
 Indicator: Single score
 Unit: Pt
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Total	Pt	588,090953	432,7427645	155,348188
Life expectancy	Pt	132,981519	16,27670195	116,7048171
Severe morbidity	Pt	44,1446659	5,523177931	38,62148798
Morbidity	Pt	1,15993325	1,103207577	0,056725668
Severe nuisance	Pt	0,67584901	0,646400448	0,029448566
Nuisance	Pt	0,29918478	0,260132695	0,039052081
Crop growth capacity	Pt	0,08644622	0,054868047	0,031578177
Wood growth capacity	Pt	-0,3106178	-0,288384017	-0,022233818
Fish and meat production	Pt	-0,0161337	-0,01104175	-0,005091992
Soil acidification	Pt	0,00911131	0,007414825	0,001696482
Prod. cap. irrigation Water	Pt	0	0	0
Prod. cap. drinking water	Pt	0	0	0
Depletion of reserves	Pt	408,827554	408,9479808	-0,120427055
Species extinction	Pt	0,23344078	0,222305965	0,01113482

Πίνακας Γ-14: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: EPS 2000 V2.06 / EPS
 Indicator: Single score
 Unit: Pt
 Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Total	Pt	588,090953	432,7427645	155,348188
Human health	Pt	179,261152	23,8096206	155,4515314
Ecosystem production capacity	Pt	-0,231194	-0,237142895	0,005948849
Abiotic stock resource	Pt	408,827554	408,9479808	-0,120427055
Biodiversity	Pt	0,23344078	0,222305965	0,01113482

Πίνακας Γ-15: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: EPS 2000 V2.06 / EPS
 Indicator: Single score
 Unit: Pt
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Total	Pt	588,090953	432,7427645	155,348188
Life expectancy	Pt	132,981519	16,27670195	116,7048171
Severe morbidity	Pt	44,1446659	5,523177931	38,62148798
Morbidity	Pt	1,15993325	1,103207577	0,056725668
Severe nuisance	Pt	0,67584901	0,646400448	0,029448566
Nuisance	Pt	0,29918478	0,260132695	0,039052081
Crop growth capacity	Pt	0,08644622	0,054868047	0,031578177
Wood growth capacity	Pt	-0,3106178	-0,288384017	-0,022233818
Fish and meat production	Pt	-0,0161337	-0,01104175	-0,005091992
Soil acidification	Pt	0,00911131	0,007414825	0,001696482
Prod. cap. irrigation Water	Pt	0	0	0
Prod. cap. drinking water	Pt	0	0	0
Depletion of reserves	Pt	408,827554	408,9479808	-0,120427055
Species extinction	Pt	0,23344078	0,222305965	0,01113482

Πίνακας Γ-16: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: EPS 2000 V2.06 / EPS
 Indicator: Single score
 Unit: Pt
 Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Total	Pt	588,090953	432,7427645	155,348188
Human health	Pt	179,261152	23,8096206	155,4515314
Ecosystem production capacity	Pt	-0,231194	-0,237142895	0,005948849
Abiotic stock resource	Pt	408,827554	408,9479808	-0,120427055
Biodiversity	Pt	0,23344078	0,222305965	0,01113482

Γ-4: ECO-INDICATOR 99

Egalitarian perspective

Πίνακας Γ-17: Χαρακτηρισμός δεδομένων απογραφής ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E
 Indicator: Characterization
 Unit: %
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Carcinogens	DALY	1,0794E-05	1,02792E-05	5,14391E-07
Respiratory organics	DALY	2,2498E-06	1,01828E-07	2,14797E-06
Respiratory inorganics	DALY	9,7088E-05	8,11875E-05	1,59E-05
Climate change	DALY	3,5134E-05	3,37593E-05	1,37465E-06
Radiation	DALY	8,2979E-08	8,29788E-08	0
Ozone layer	DALY	1,625E-08	1,32519E-08	2,99854E-09
Ecotoxicity	PAF*m2yr	19,6720025	18,06999329	1,602009196
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	2,98404463	2,128554032	0,855490593
Land use	PDF*m2yr	0,14655352	0,146553518	0
Minerals	MJ surplus	190,112015	190,1120146	0
Fossil fuels	MJ surplus	80,8028923	79,77116329	1,031729059

Πίνακας Γ-18: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E
 Indicator: Damage assessment
 Unit: %
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Carcinogens	DALY	1,0794E-05	1,02792E-05	5,14391E-07
Respiratory organics	DALY	2,2498E-06	1,01828E-07	2,14797E-06
Respiratory inorganics	DALY	9,7088E-05	8,11875E-05	1,59E-05
Climate change	DALY	3,5134E-05	3,37593E-05	1,37465E-06
Radiation	DALY	8,2979E-08	8,29788E-08	0
Ozone layer	DALY	1,625E-08	1,32519E-08	2,99854E-09
Ecotoxicity	PDF*m2yr	1,96720025	1,806999329	0,16020092
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	2,98404463	2,128554032	0,855490593
Land use	PDF*m2yr	0,14655352	0,146553518	0
Minerals	MJ surplus	190,112015	190,1120146	0
Fossil fuels	MJ surplus	80,8028923	79,77116329	1,031729059

Πίνακας Γ-19: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E
 Indicator: Damage assessment
 Unit: %
 Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Human Health	DALY	0,00014536	0,000125424	1,99401E-05
Ecosystem Quality	PDF*m2yr	5,09779839	4,082106879	1,015691513
Resources	MJ surplus	270,914907	269,8831779	1,031729059

Πίνακας Γ-20: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
Method: Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E
Indicator: Normalization
Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Carcinogens		0,001222	0,001163609	5,82291E-05
Respiratory organics		0,000255	1,15269E-05	0,00024315
Respiratory inorganics		0,01099	0,009190427	0,001799885
Climate change		0,003977	0,003821552	0,000155611
Radiation		9,39E-06	9,3932E-06	0
Ozone layer		1,84E-06	1,50011E-06	3,39435E-07
Ecotoxicity		0,000344	0,000315863	2,80031E-05
Acidification/ Eutrophication		0,000522	0,000372071	0,00014954
Land use		2,56E-05	2,56176E-05	0
Minerals		0,033992	0,033992028	0
Fossil fuels		0,014448	0,014263084	0,000184473

Πίνακας Γ-21: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
Method: Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E
Indicator: Normalization
Skip categories: Never
Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Human Health		0,01645522	0,014198009	0,002257214
Ecosystem Quality		0,0008911	0,000713552	0,000177543
Resources		0,04843959	0,048255112	0,000184473

Πίνακας Γ-22: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E
 Indicator: Single score
 Unit: Pt
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Total	Pt	15,0700317	14,26720134	0,80283033
Carcinogens	Pt	0,36655151	0,349082781	0,017468727
Respiratory organics	Pt	0,07640313	0,003458076	0,072945056
Respiratory inorganics	Pt	3,29709361	2,757128182	0,539965432
Climate change	Pt	1,19314894	1,146465724	0,046683215
Radiation	Pt	0,00281796	0,00281796	0
Ozone layer	Pt	0,00055186	0,000450034	0,00010183
Ecotoxicity	Pt	0,1719333	0,157931741	0,01400156
Acidification/ Eutrophication	Pt	0,2608055	0,186035622	0,074769878
Land use	Pt	0,01280878	0,012808777	0
Minerals	Pt	6,79840564	6,798405641	0
Fossil fuels	Pt	2,88951143	2,852616799	0,036894631

Πίνακας Γ-23: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Results: Impact assessment
 Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: Eco-indicator 99 (E) V2.08 / Europe EI 99 E/E
 Indicator: Single score
 Unit: Pt
 Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Total	Pt	15,0700317	14,26720134	0,80283033
Human Health	Pt	4,93656702	4,259402757	0,677164261
Ecosystem Quality	Pt	0,44554758	0,356776141	0,088771438
Resources	Pt	9,68791707	9,651022441	0,036894631

Ierarchist perspective

Πίνακας Γ-24: Χαρακτηρισμός ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/H
 Indicator: Characterization
 Unit: %
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Carcinogens	DALY	1,0787E-05	1,02722E-05	5,14397E-07
Resp. organics	DALY	2,2498E-06	1,01828E-07	2,14797E-06
Resp. inorganics	DALY	9,4066E-05	8,04548E-05	1,36114E-05
Climate change	DALY	3,5134E-05	3,37593E-05	1,37465E-06
Radiation	DALY	8,2979E-08	8,29792E-08	0
Ozone layer	DALY	1,625E-08	1,32519E-08	2,99854E-09
Ecotoxicity	PAF*m2yr	19,6720025	18,06999329	1,602009196
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	2,98404463	2,128554032	0,855490593
Land use	PDF*m2yr	0,14655352	0,146553518	0
Minerals	MJ surplus	190,112015	190,1120146	0
Fossil fuels	MJ surplus	83,2065505	81,32013906	1,886411414

Πίνακας Γ-25: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/H
 Indicator: Damage assessment
 Unit: %
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Carcinogens	DALY	1,0787E-05	1,02722E-05	5,14397E-07
Resp. organics	DALY	2,2498E-06	1,01828E-07	2,14797E-06
Resp. inorganics	DALY	9,4066E-05	8,04548E-05	1,36114E-05
Climate change	DALY	3,5134E-05	3,37593E-05	1,37465E-06
Radiation	DALY	8,2979E-08	8,29792E-08	0
Ozone layer	DALY	1,625E-08	1,32519E-08	2,99854E-09
Ecotoxicity	PDF*m2yr	1,96720025	1,806999329	0,16020092
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	2,98404463	2,128554032	0,855490593
Land use	PDF*m2yr	0,14655352	0,146553518	0
Minerals	MJ surplus	190,112015	190,1120146	0

Πίνακας Γ-26: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3 Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/H
Indicator: Damage assessment
Unit: %
Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Human Health	DALY	0,00014234	0,000124684	1,76514E-05
Ecosystem Quality	PDF*m2yr	5,09779839	4,082106879	1,015691513
Resources	MJ surplus	273,318565	271,4321536	1,886411414

Πίνακας Γ-27: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3 Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/H
Indicator: Normalization
Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Carcinogens		0,00123075	0,001172061	5,86927E-05
Resp. organics		0,0002567	1,16186E-05	0,000245083
Resp. inorganics		0,01073295	0,009179888	0,001553062
Climate change		0,00400878	0,003851936	0,000156848
Radiation		9,4679E-06	9,46793E-06	0
Ozone layer		1,8542E-06	1,51204E-06	3,42133E-07
Ecotoxicity		0,00034387	0,000315863	2,80031E-05
Acidification/ Eutrophication		0,00052161	0,000372071	0,00014954
Land use		2,5618E-05	2,56176E-05	0
Minerals		0,02518984	0,025189842	0
Fossil fuels		0,01102487	0,010774918	0,00024995

Πίνακας Γ-28: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3 Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/H
Indicator: Normalization
Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Human Health		0,01624051	0,014226483	0,002014028
Ecosystem Quality		0,0008911	0,000713552	0,000177543
Resources		0,03621471	0,03596476	0,00024995

Πίνακας Γ-29: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/H
 Indicator: Single score
 Unit: Pt
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Total	Pt	16,0930043	15,34279384	0,750210506
Carcinogens	Pt	0,36922608	0,351618259	0,017607823
Resp. organics	Pt	0,07701058	0,003485569	0,073525008
Resp. inorganics	Pt	3,21988492	2,753966262	0,465918659
Climate change	Pt	1,20263511	1,15558074	0,047054372
Radiation	Pt	0,00284038	0,002840378	0
Ozone layer	Pt	0,00055625	0,000453612	0,00010264
Ecotoxicity	Pt	0,13754664	0,126345393	0,011201248
Acidification/ Eutrophication	Pt	0,2086444	0,148828498	0,059815902
Land use	Pt	0,01024702	0,010247022	0
Minerals	Pt	7,55695258	7,55695258	0
Fossil fuels	Pt	3,30746038	3,232475528	0,074984854

Πίνακας Γ-30: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/H
 Indicator: Single score
 Unit: Pt
 Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Total	Pt	16,0930043	15,34279384	0,750210506
Human Health	Pt	4,87215332	4,267944821	0,604208501
Ecosystem Quality	Pt	0,35643806	0,285420913	0,071017151
Resources	Pt	10,864413	10,78942811	0,074984854

Individualist perspective

Πίνακας Γ-31: Χαρακτηρισμός ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: Eco-indicator 99 (I) V2.08 / Europe EI 99 I/I
 Indicator: Characterization
 Unit: %
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Carcinogens	DALY	3,1866E-06	3,16587E-06	2,07645E-08
Resp. organics	DALY	2,0914E-06	9,464E-08	1,99681E-06
Resp. inorganics	DALY	3,8156E-05	3,76814E-05	4,74366E-07
Climate change	DALY	3,3546E-05	3,22045E-05	1,34183E-06
Radiation	DALY	3,2626E-09	3,26257E-09	0
Ozone layer	DALY	1,3154E-08	1,0727E-08	2,42739E-09
Ecotoxicity	PAF*m2yr	2,55725491	2,224960776	0,332294138
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	2,98398478	2,128494184	0,855490593
Land use	PDF*m2yr	0,14655352	0,146553518	0
Minerals	MJ surplus	190,112015	190,1120146	0

Πίνακας Γ-32: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
 Method: Eco-indicator 99 (I) V2.08 / Europe EI 99 I/I
 Indicator: Damage assessment
 Unit: %
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Carcinogens	DALY	3,1866E-06	3,16587E-06	2,07645E-08
Resp. organics	DALY	2,0914E-06	9,464E-08	1,99681E-06
Resp. inorganics	DALY	3,8156E-05	3,76814E-05	4,74366E-07
Climate change	DALY	3,3546E-05	3,22045E-05	1,34183E-06
Radiation	DALY	3,2626E-09	3,26257E-09	0
Ozone layer	DALY	1,3154E-08	1,0727E-08	2,42739E-09
Ecotoxicity	PDF*m2yr	0,25572549	0,222496078	0,033229414
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	2,98398478	2,128494184	0,855490593
Land use	PDF*m2yr	0,14655352	0,146553518	0
Minerals	MJ surplus	190,112015	190,1120146	0

Πίνακας Γ-33: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
Method: Eco-indicator 99 (I) V2.08 / Europe EI 99 I/I
Indicator: Damage assessment
Unit: %
Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Human Health	DALY	7,6997E-05	7,31604E-05	3,83619E-06
Ecosystem Quality	PDF*m2yr	3,38626379	2,49754378	0,888720007
Resources	MJ surplus	190,112015	190,1120146	0

Πίνακας Γ-34: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
Method: Eco-indicator 99 (I) V2.08 / Europe EI 99 I/I
Indicator: Normalization
Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Carcinogens		0,00068481	0,000680346	4,46229E-06
Resp. organics		0,00044945	2,03381E-05	0,000429114
Resp. inorganics		0,00819968	0,00809774	0,000101941
Climate change		0,0072091	0,006920743	0,000288359
Radiation		7,0113E-07	7,01125E-07	0
Ozone layer		2,8269E-06	2,30524E-06	5,21646E-07
Ecotoxicity		4,5621E-05	3,96933E-05	5,92813E-06
Acidification/ Eutrophication		0,00053234	0,000379723	0,00015262
Land use		2,6145E-05	2,61451E-05	0
Minerals		0,54714238	0,547142378	0

Πίνακας Γ-35: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
Method: Eco-indicator 99 (I) V2.08 / Europe EI 99 I/I
Indicator: Normalization
Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Human Health		0,01654657	0,015722173	0,000824398
Ecosystem Quality		0,00060411	0,000445562	0,000158548
Resources		0,54714238	0,547142378	0

Πίνακας Γ-36: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
Method: Eco-indicator 99 (I) V2.08 / Europe EI 99 I/I
Indicator: Single score
Unit: Pt
Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Total	Pt	118,680117	118,187061	0,493055777
Carcinogens	Pt	0,3766444	0,374190141	0,002454259
Resp. organics	Pt	0,24719872	0,011185969	0,236012749
Resp. inorganics	Pt	4,50982437	4,453756736	0,056067633
Climate change	Pt	3,96500597	3,80640865	0,15859732
Radiation	Pt	0,00038562	0,000385619	0
Ozone layer	Pt	0,00155479	0,001267882	0,000286905
Ecotoxicity	Pt	0,01140536	0,009923325	0,001482032
Acidification/ Eutrophication	Pt	0,13308572	0,094930841	0,03815488
Land use	Pt	0,00653629	0,006536287	0
Minerals	Pt	109,428476	109,4284756	0

Πίνακας Γ-37: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters
Method: Eco-indicator 99 (I) V2.08 / Europe EI 99 I/I
Indicator: Single score
Unit: Pt
Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed with parameters	Waste scenario for shed
Total	Pt	118,680117	118,187061	0,493055777
Human Health	Pt	9,10061386	8,647194997	0,453418865
Ecosystem Quality	Pt	0,15102736	0,111390453	0,039636912
Resources	Pt	109,428476	109,4284756	0

Γ-5: ReCiPe 2008

ReCiPe Endpoint

Egalitarian perspective

Πίνακας Γ-38: Δεδομένα χαρακτηρισμού ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with
 Method: ReCiPe Endpoint (E) V1.06 / World ReCiPe E/E
 Indicator: Characterization
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed Waste scenario for shed	
Climate change Human Health	DALY	0,0005646	0,0005504	1,429E-05
Ozone depletion	DALY	4,054E-08	3,3E-08	7,544E-09
Human toxicity	DALY	0,0003379	0,0003317	6,149E-06
Photochemical oxidant formation	DALY	9,366E-08	1,722E-08	7,644E-08
Particulate matter formation	DALY	6,212E-05	5,334E-05	8,788E-06
Ionising radiation	DALY	6,474E-08	6,474E-08	0
Climate change Ecosystems	species.yr	3,008E-06	2,932E-06	7,615E-08
Terrestrial acidification	species.yr	8,298E-09	6,73E-09	1,569E-09
Freshwater eutrophication	species.yr	3,093E-10	3,093E-10	2,074E-14
Terrestrial ecotoxicity	species.yr	5,89E-09	2,894E-09	2,997E-09
Freshwater ecotoxicity	species.yr	4,058E-11	4,015E-11	4,296E-13
Marine ecotoxicity	species.yr	2,127E-10	2,107E-10	1,95E-12
Agricultural land occupation	species.yr	2,757E-09	2,757E-09	0
Urban land occupation	species.yr	1,335E-09	1,335E-09	0
Natural land transformation	species.yr	6,848E-08	6,848E-08	0
Metal depletion	\$	0,0652157	0,0652157	0
Fossil depletion	\$	407,86112	402,41872	5,4423931

Πίνακας Γ-39: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with woo
 Method: ReCiPe Endpoint (E) V1.06 / World ReCiPe E/E
 Indicator: Damage assessment
 Unit: %
 Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed Waste scenario for shed	
Human Health	DALY	0,00096485	0,00093554	2,9313E-05
Ecosystems	species.yr	3,0955E-06	3,0148E-06	8,0715E-08
Resources	\$	407,926333	402,48394	5,44239306

Πίνακας Γ-40: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with wood exar
 Method: ReCiPe Endpoint (E) V1.06 / World ReCiPe E/E
 Indicator: Normalization
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed v Waste scenario for shed	
Climate change Human Health		0,0236362	0,02303794	0,000598255
Ozone depletion		1,697E-06	1,3812E-06	3,15789E-07
Human toxicity		0,01414362	0,01388622	0,000257409
Photochemical oxidant formation		3,9206E-06	7,2065E-07	3,19996E-06
Particulate matter formation		0,0026005	0,00223263	0,00036787
Ionising radiation		2,71E-06	2,71E-06	0
Climate change Ecosystems		0,00129593	0,00126312	3,28041E-05
Terrestrial acidification		3,575E-06	2,8992E-06	6,75791E-07
Freshwater eutrophication		1,3325E-07	1,3324E-07	8,93675E-12
Terrestrial ecotoxicity		2,5376E-06	1,2466E-06	1,291E-06
Freshwater ecotoxicity		1,7481E-08	1,7295E-08	1,85076E-10
Marine ecotoxicity		9,1614E-08	9,0774E-08	8,40228E-10
Agricultural land occupation		1,1876E-06	1,1876E-06	0
Urban land occupation		5,7505E-07	5,7505E-07	0
Natural land transformation		2,9499E-05	2,9499E-05	0
Metal depletion		2,9491E-06	2,9491E-06	0
Fossil depletion		0,01844348	0,01819737	0,000246105

Πίνακας Γ-41: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with woo
 Method: ReCiPe Endpoint (E) V1.06 / World ReCiPe E/E
 Indicator: Normalization
 Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed v Waste scenario for shed	
Human Health		0,04038865	0,0391616	0,00122705
Ecosystems		0,00133354	0,00129877	3,4772E-05
Resources		0,01844643	0,01820032	0,00024611

Πίνακας Γ-42: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with woo
Method: ReCiPe Endpoint (E) V1.06 / World ReCiPe E/E
Indicator: Single score
Unit: Pt
Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed v Waste scenario for shed	
Total	Pt	16,4726542	16,0379325	0,43472169
Climate change Human Health	Pt	7,09085972	6,91138333	0,17947638
Ozone depletion	Pt	0,0005091	0,00041436	9,4737E-05
Human toxicity	Pt	4,24308749	4,1658648	0,07722269
Photochemical oxidant formation	Pt	0,00117618	0,00021619	0,00095999
Particulate matter formation	Pt	0,7801506	0,66978965	0,11036094
Ionising radiation	Pt	0,00081301	0,00081301	0
Climate change Ecosystems	Pt	0,647964	0,63156196	0,01640204
Terrestrial acidification	Pt	0,0017875	0,0014496	0,0003379
Freshwater eutrophication	Pt	6,6623E-05	6,6618E-05	4,4684E-09
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0,00126878	0,00062328	0,0006455
Freshwater ecotoxicity	Pt	8,7403E-06	8,6477E-06	9,2538E-08
Marine ecotoxicity	Pt	4,5807E-05	4,5387E-05	4,2011E-07
Agricultural land occupation	Pt	0,0005938	0,0005938	0
Urban land occupation	Pt	0,00028753	0,00028753	0
Natural land transformation	Pt	0,01474955	0,01474955	0
Metal depletion	Pt	0,00058981	0,00058981	0
Fossil depletion	Pt	3,68869595	3,63947495	0,049221

Πίνακας Γ-43: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with woo
Method: ReCiPe Endpoint (E) V1.06 / World ReCiPe E/E
Indicator: Single score
Unit: Pt
Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed v Waste scenario for shed	
Total	Pt	16,4726542	16,0379325	0,43472169
Human Health	Pt	12,1165961	11,7484814	0,36811474
Ecosystems	Pt	0,66677232	0,64938636	0,01738595
Resources	Pt	3,68928576	3,64006476	0,049221

Individualist perspective

Πίνακας Γ-44: Δεδομένα χαρακτηρισμού ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with wood)
 Method: ReCiPe Endpoint (I) V1.06 / World ReCiPe I/I
 Indicator: Characterization
 Unit: %
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed v	Waste scenario for shed
Climate change Human Health	DALY	0,00022425	0,00020562	1,8629E-05
Ozone depletion	DALY	9,6272E-09	7,8399E-09	1,7872E-09
Human toxicity	DALY	1,8355E-06	1,7611E-06	7,4365E-08
Photochemical oxidant formation	DALY	9,366E-08	1,7216E-08	7,6444E-08
Particulate matter formation	DALY	6,2124E-05	5,3336E-05	8,7881E-06
Ionising radiation	DALY	4,5607E-08	4,5607E-08	0
Climate change Ecosystems	species.yr	1,4943E-06	1,3702E-06	1,2412E-07
Terrestrial acidification	species.yr	7,2692E-10	6,0923E-10	1,1769E-10
Freshwater eutrophication	species.yr	3,093E-10	3,0928E-10	2,0745E-14
Terrestrial ecotoxicity	species.yr	3,562E-10	2,787E-10	7,7496E-11
Freshwater ecotoxicity	species.yr	3,9515E-11	3,9294E-11	2,2088E-13
Marine ecotoxicity	species.yr	1,0687E-13	1,0627E-13	5,9771E-16
Agricultural land occupation	species.yr	1,262E-09	1,262E-09	0
Urban land occupation	species.yr	1,1343E-09	1,1343E-09	0
Natural land transformation	species.yr	4,4395E-09	4,4395E-09	0
Metal depletion	\$	0,06521572	0,06521572	0
Fossil depletion	\$	184,768511	182,283369	2,48514227

Πίνακας Γ-45: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with wood)
 Method: ReCiPe Endpoint (I) V1.06 / World ReCiPe I/I
 Indicator: Damage assessment
 Unit: %
 Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed wi	Waste scenario for shed
Human Health	DALY	0,00028835	0,000260784	2,757E-05
Ecosystems	species.yr	1,5026E-06	1,37825E-06	1,2432E-07
Resources	\$	184,833727	182,3485846	2,48514227

Πίνακας Γ-46: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with woo
Method: ReCiPe Endpoint (I) V1.06 / World ReCiPe I/I
Indicator: Normalization
Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed v Waste scenario for shed	
Climate change Human Health		0,0149168	0,0136776	0,0012392
Ozone depletion		6,404E-07	5,2151E-07	1,1889E-07
Human toxicity		0,0001221	0,00011715	4,9467E-06
Photochemical oxidant formation		6,2303E-06	1,1452E-06	5,0851E-06
Particulate matter formation		0,00413247	0,00354789	0,00058458
Ionising radiation		3,0337E-06	3,0337E-06	0
Climate change Ecosystems		0,00198891	0,0018237	0,00016521
Terrestrial acidification		9,6752E-07	8,1088E-07	1,5664E-07
Freshwater eutrophication		4,1168E-07	4,1165E-07	2,7611E-11
Terrestrial ecotoxicity		4,741E-07	3,7096E-07	1,0315E-07
Freshwater ecotoxicity		5,2595E-08	5,2301E-08	2,9399E-10
Marine ecotoxicity		1,4224E-10	1,4144E-10	7,9555E-13
Agricultural land occupation		1,6797E-06	1,6797E-06	0
Urban land occupation		1,5097E-06	1,5097E-06	0
Natural land transformation		5,909E-06	5,909E-06	0
Metal depletion		6,4994E-06	6,4994E-06	0
Fossil depletion		0,01841403	0,01816636	0,00024767

Πίνακας Γ-47: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with woo
Method: ReCiPe Endpoint (I) V1.06 / World ReCiPe I/I
Indicator: Normalization
Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed v Waste scenario for shed	
Human Health		0,01918128	0,01734734	0,00183394
Ecosystems		0,00199991	0,00183445	0,00016547
Resources		0,01842053	0,01817286	0,00024767

Πίνακας Γ-48: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with woo
Method: ReCiPe Endpoint (I) V1.06 / World ReCiPe I/I
Indicator: Single score
Unit: Pt
Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed v Waste scenario for shed	
Total	Pt	14,7337888	13,6342233	1,09956547
Climate change Human Health	Pt	8,20424221	7,52268161	0,68156061
Ozone depletion	Pt	0,00035222	0,00028683	6,5387E-05
Human toxicity	Pt	0,06715357	0,06443287	0,00272071
Photochemical oxidant formation	Pt	0,00342665	0,00062985	0,0027968
Particulate matter formation	Pt	2,2728611	1,95133972	0,32152138
Ionising radiation	Pt	0,00166856	0,00166856	0
Climate change Ecosystems	Pt	0,49722746	0,45592575	0,04130171
Terrestrial acidification	Pt	0,00024188	0,00020272	3,9161E-05
Freshwater eutrophication	Pt	0,00010292	0,00010291	6,9028E-09
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0,00011853	9,2739E-05	2,5787E-05
Freshwater ecotoxicity	Pt	1,3149E-05	1,3075E-05	7,3498E-08
Marine ecotoxicity	Pt	3,556E-08	3,5361E-08	1,9889E-10
Agricultural land occupation	Pt	0,00041994	0,00041994	0
Urban land occupation	Pt	0,00037743	0,00037743	0
Natural land transformation	Pt	0,00147726	0,00147726	0
Metal depletion	Pt	0,00129988	0,00129988	0
Fossil depletion	Pt	3,68280596	3,63327211	0,04953386

Πίνακας Γ-49: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with woo
Method: ReCiPe Endpoint (I) V1.06 / World ReCiPe I/I
Indicator: Single score
Unit: Pt
Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed v Waste scenario for shed	
Total	Pt	14,7337888	13,6342233	1,09956547
Human Health	Pt	10,5497043	9,54103944	1,00866488
Ecosystems	Pt	0,49997859	0,45861186	0,04136674
Resources	Pt	3,68410584	3,63457199	0,04953386

Hierchist perspective

Πίνακας Γ-50: Δεδομένα χαρακτηρισμού ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with wood)
 Method: ReCiPe Endpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H/H
 Indicator: Characterization
 Unit: %
 Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed v	Waste scenario for shed
Climate change Human Health	DALY	0,00023577	0,00022566	1,0118E-05
Ozone depletion	DALY	4,054E-08	3,2996E-08	7,5439E-09
Human toxicity	DALY	8,6361E-06	8,4425E-06	1,936E-07
Photochemical oxidant formation	DALY	9,366E-08	1,7216E-08	7,6444E-08
Particulate matter formation	DALY	6,2124E-05	5,3336E-05	8,7881E-06
Ionising radiation	DALY	6,474E-08	6,474E-08	0
Climate change Ecosystems	species.yr	1,3353E-06	1,2781E-06	5,7181E-08
Terrestrial acidification	species.yr	2,9711E-09	2,4608E-09	5,1036E-10
Freshwater eutrophication	species.yr	3,093E-10	3,0928E-10	2,0745E-14
Terrestrial ecotoxicity	species.yr	3,5625E-10	2,7875E-10	7,7498E-11
Freshwater ecotoxicity	species.yr	3,9577E-11	3,9348E-11	2,2948E-13
Marine ecotoxicity	species.yr	1,2978E-13	1,2902E-13	7,5183E-16
Agricultural land occupation	species.yr	2,7567E-09	2,7567E-09	0
Urban land occupation	species.yr	1,3349E-09	1,3349E-09	0
Natural land transformation	species.yr	5,2333E-09	5,2333E-09	0
Metal depletion	\$	0,06521572	0,06521572	0
Fossil depletion	\$	407,861118	402,418725	5,44239306

Πίνακας Γ-51: Αξιολόγηση βλαβών ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with wood)
 Method: ReCiPe Endpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H/H
 Indicator: Damage assessment
 Unit: %
 Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed wi	Waste scenario for shed
Human Health	DALY	0,00030673	0,000287548	1,9184E-05
Ecosystems	species.yr	1,3483E-06	1,29053E-06	5,7769E-08
Resources	\$	407,926333	402,4839404	5,44239306

Πίνακας Γ-52: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία επίδρασης

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with woo
Method: ReCiPe Endpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H/H
Indicator: Normalization
Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed v Waste scenario for shed	
Climate change Human Health		0,01747316	0,01672331	0,00074985
Ozone depletion		3,0044E-06	2,4453E-06	5,5908E-07
Human toxicity		0,00064002	0,00062567	1,4348E-05
Photochemical oxidant formation		6,9411E-06	1,2758E-06	5,6653E-06
Particulate matter formation		0,00460399	0,00395271	0,00065129
Ionising radiation		4,7979E-06	4,7979E-06	0
Climate change Ecosystems		0,00155428	0,00148772	6,6558E-05
Terrestrial acidification		3,4584E-06	2,8643E-06	5,9406E-07
Freshwater eutrophication		3,6002E-07	3,6E-07	2,4147E-11
Terrestrial ecotoxicity		4,1467E-07	3,2446E-07	9,0208E-08
Freshwater ecotoxicity		4,6068E-08	4,5801E-08	2,6712E-10
Marine ecotoxicity		1,5106E-10	1,5018E-10	8,7512E-13
Agricultural land occupation		3,2088E-06	3,2088E-06	0
Urban land occupation		1,5538E-06	1,5538E-06	0
Natural land transformation		6,0915E-06	6,0915E-06	0
Metal depletion		2,9491E-06	2,9491E-06	0
Fossil depletion		0,01844348	0,01819737	0,00024611

Πίνακας Γ-53: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with woo
Method: ReCiPe Endpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H/H
Indicator: Normalization
Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed v Waste scenario for shed	
Human Health		0,02273192	0,02131021	0,00142171
Ecosystems		0,00156942	0,00150217	6,7243E-05
Resources		0,01844643	0,01820032	0,00024611

Πίνακας Γ-54: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία επιπτώσεων

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with woo
Method: ReCiPe Endpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H/H
Indicator: Single score
Unit: Pt
Sorted on item: Impact category

Impact category	Unit	Total	Simple shed v	Waste scenario for shed
Total	Pt	12,9812706	12,4540296	0,52724104
Climate change Human Health	Pt	5,24194811	5,01699318	0,22495492
Ozone depletion	Pt	0,00090133	0,0007336	0,00016772
Human toxicity	Pt	0,19200632	0,18770201	0,00430431
Photochemical oxidant formation	Pt	0,00208234	0,00038275	0,00169959
Particulate matter formation	Pt	1,3811983	1,1858125	0,1953858
Ionising radiation	Pt	0,00143937	0,00143937	0
Climate change Ecosystems	Pt	0,62171285	0,59508948	0,02662337
Terrestrial acidification	Pt	0,00138335	0,00114573	0,00023762
Freshwater eutrophication	Pt	0,00014401	0,000144	9,6587E-09
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0,00016587	0,00012979	3,6083E-05
Freshwater ecotoxicity	Pt	1,8427E-05	1,832E-05	1,0685E-07
Marine ecotoxicity	Pt	6,0424E-08	6,0074E-08	3,5005E-10
Agricultural land occupation	Pt	0,00128354	0,00128354	0
Urban land occupation	Pt	0,00062151	0,00062151	0
Natural land transformation	Pt	0,00243661	0,00243661	0
Metal depletion	Pt	0,00088472	0,00088472	0
Fossil depletion	Pt	5,53304392	5,45921242	0,0738315

Πίνακας Γ-55: Μοναδικό σκορ ανά κατηγορία βλαβών

SimaPro 7.3

Impact assessment

Product: 1 p Life cycle of a shed with parameters (of project Tutorial with wood
Method: ReCiPe Endpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H/H
Indicator: Single score
Unit: Pt
Sorted on item: Damage category

Damage category	Unit	Total	Simple shed wi	Waste scenario for shed
Total	Pt	12,9812706	12,45402958	0,52724104
Human Health	Pt	6,81957576	6,393063419	0,42651234
Ecosystems	Pt	0,62776622	0,600869027	0,02689719
Resources	Pt	5,53392864	5,460097135	0,0738315

Βιβλιογραφία

Διακάκη Χ., Γρηγορούδης Ε. (2008) Ανάλυση του κύκλου ζωής (ΑΚΖ): ένα εργαλείο ορθολογικής διαχείρισης των φυσικών πόρων. Φυσικοί πόροι, περιβάλλον και ανάπτυξη. Εκδόσεις Τζιόλα.

Aurelio M. (2008) Development of the initiative “The LCA software award”. International Journal of LCA 13:368-370.

Bare J. (2011) TRACI 2.0: The tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts 2.0. Cleaner Technology and Environmental Policy 13:687-696.

Bare J., Hofstetter P., Pennington D., Udo de Haes H. (2000) Midpoints versus Endpoints: The sacrifices and benefits, International workshop, International Journal of LCA 5 (6):319-326.

Bare J., Pennington D. W., Udo de Haes H.A. (1999) Life cycle impact assessment sophistication. International Journal of LCA 4:299-306.

Björklund A. E. (2002) Survey of approaches to improve reliability in LCA. International Journal of LCA 7Q :64-72.

Bösch M., Hellweg S., Huijbregts M., Frischknecht R. (2007) Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to the ecoinvent database. International Journal of LCA 12 (3): 181-190.

Ciambrone D. F. (1997) Environmental Life Cycle Analysis, Boca Raton: Lewis Publishers.

Cooper J. S. (2003) Specifying functional units and reference flows for comparable alternatives. International Journal of LCA 8:337-349.

Curran, M.-A. (1996) Environmental Life Cycle Assessment, McGraw Hill, United States of America.

Ecoinvent Centre (2007) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods (v2.0). Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.

Fava J., Valdivia S., Leeuw B., Citroth A., Jensen A., Sonnemann G. (2008) New activities launched in Warsaw and consultations on emerging ideas. International Journal of LCA 13:371-373.

Finnveden G. (2000) On the limitations of life cycle assessment and environmental systems analysis tools in general. International Journal of LCA 5:229-238.

Goedkoop M., Heijungs R., Huijbregts M., Schryver A., Struijs J., Zelm R. (2013) ReCiPe 2008, First edition (revised), Report I: Characterization.

Goedkoop M., Oele M. (2004) SimaPro 6 – Introduction to LCA with SimaPro, Pre Consultants, The Netherlands.

Goedkoop, M., Spriensma, R. (PRé Consultants). (1999) The Eco-Indicator 99: A damage orientated method for life cycle impact assessment, VROM, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Netherlands.

Gouda H., Gilmour G., Ashley R. (2001) Application of life cycle analysis approaches to develop the most sustainable way of dealing with solids in sewer systems. WG3/5 meeting, Bologna, Italy, April 2001.

Haapala K., Rivera J., Sutherland J. (2006) Environmentally responsible process selection via life cycle analysis. Proceedings of 2006 International Symposium on Flexible Automation, Osaka, Japan.

Guinee B. J. (2004) Handbook of Life Cycle Assessment – Operational guide to the ISO standards. Eco-efficiency in industry and science, vol.7. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Guinee J. B., Gorree M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., De Koning A., Van Oers L., Sleeswijk A. W., Suh S., Ude de Haes H. A., De Bruijn H., Van Duin R., Huijbregts M. A. J. (2001) Life Cycle Assessment: An Operational Guide to the ISO Standards, Final report, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM), and Centre of Environmental Science – Leiden University (CML), The Netherlands.

Hoof G.V., Vieira M., Gausman M., Weisbrod A. (2013) Indicator selection in life cycle assessment to enable decision making issues and solutions. International Journal of LCA 18:1568-1580.

Huijbregts M., Hellweg S., Frischknecht R., Hungerbühler K., Hendriks J. (2008) Ecological footprint accounting in the life cycle assessment of products. Ecological economics 64: 798-807.

Humbert S., Margni M., Jolliet O. (2005) Impact 2002+: User guide (v2.1). Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne.

International Standards Organization (1997) ISO 14040: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. International Standards Organization, Geneva.

ISO (2006) ISO 14040: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. International Standards Organization, Geneva.

ISO (1997c) ISO 14042: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment. International Standards Organization, Geneva.

ISO (2000a) ISO 14042: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Inventory Analysis. International Standards Organization, Geneva.

ISO (2006b) ISO 14044: Environmental Management - Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines. International Standards Organization, Geneva.

Jolliet O., Margni M., Charles R., Humbert S., Payet J., Rebitzer G., Rosenbaum R. (2003) IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology. International Journal of LCA 8 (6): 324-330.

Klöpffer W. (2008) Life cycle sustainability assessment of products. International Journal of LCA 13 (2):89-95.

Klöpffer W., Ciroth A. (2011) Is LCC relevant in a sustainability assessment?. International Journal of LCA 16:99-101.

Lautier A., Rosenbaum R.K., Olsen S.I., Hauschild M.Z. (2011b) Development of normalization factors for Canada and the United States and comparison with European factors. Science of the Total Environment 409(1): 33-42.

Lindfors L.G., Christiansen K., Hoffmann L., Virtanen Y., Juntilla V., Hanssen OJ, Ronning A., Ekvall T., Finnveden G. (1995c). Nordic Guidelines on Life Cycle Assessment. Nord: 1995:20. Copenhagen: Nordic Council of Ministers.

Morselli L., Robertis C., Luzi J., Passarini F., Vassura I. (2008) Environmental impacts of waste incineration in a regional system evaluated from a life perspective, Journal of hazardous materials 159: 505-511.

Reap J.J., Newcomb P. J., Carmichael C., Bras B. (2003) Improving life cycle assessment by including spatial, dynamic and place-based modeling, design engineering technical conferences and computers and information in engineering conference. ASME, Chicago, Illinois USA.

Reap J., Roman F., Duncan S., Bras B. (2008) A survey of unresolved problems in life cycle assessment – Part 1: goal and scope and inventory analysis. International Journal of LCA 13:290-300.

Reap J., Roman F., Duncan S., Bras B. (2008) A survey of unresolved problems in life cycle assessment – Part 2: impact assessment and interpretation. *International Journal of LCA* 13:290-300.

SETAC-Europe (1992) Life-cycle assessment. LCA workshop, Leiden 2-3 December 1991. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) – Europe. Brussels.

PRé Consultants (2006) SimaPro Demo Manual. The Netherlands, www.pre-sustainability.com.

PRé Consultants (2008) SimaPro Database Manual: Methods library. The Netherlands, www.pre-sustainability.com.

PRé Consultants (2010) SimaPro Introduction to LCA. The Netherlands, www.pre-sustainability.com.

PRé Consultants (2010) SimaPro Tutorial. The Netherlands, www.pre-sustainability.com.

Steen B. A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS), version 2000 – General systems characteristics. Centre for Environmental Assessment of Products and Material Systems.

Stewart M., Jolliet O. (2004) User analysis and development of priorities for life cycle impact assessment. *International Journal of LCA* 9 (3):153-160.

Swiss Centre for Life Cycle Inventories (2009) Ecoinvent database. Version 2.0. December 2010. www.ecoinvent.ch. Assessed 10 Aug 2011.

Tilche A., Galatola M. (2008) Life cycle assessment in the European seventh framework programme for research (2007-2013). *International Journal of LCA* 13 (2):167.

Udo de Haes (1996b) Towards a methodology for life cycle impact assessment. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) – Europe. Brussels.

Udo de Haes H. A., Finnveden G., Goedkoop M., Hauschild M., Hertwich E. G., Hofstetter P., Jolliet O., Klopffer W., Krewitt W., Lindeijer E., Mueller-Wenk R., Olsen S. I., Pennington D. W., Potting J., Steen B. (2002) Life-cycle impact assessment: striving towards best practice. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Pensacola.

Udo de Haes H. A., Jolliet O., Finnveden G., Hauschild M., Krewitt W., Müller-Wenk R. (1999) Best available practice regarding impact categories and category indicators in life cycle impact assessment. SETAC-Europe: Second Working Group on LCIA (WIA-2), *International Journal of LCA* 4 (2):66-74.

UNEP/SETAC (2004) Why take a life cycle approach?. Life Cycle Initiative,
www.lifecycleinitiative.org.