



ΑΝΟΙΚΤΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΑΣΤΕΡ

Περιβαλλοντική αξιολόγηση συμβατικών δομικών υλικών με συνδυασμό των μεθόδων ανάλυσης κύκλου ζωής και πολύ-κριτηριακής ανάλυσης

Κωνσταντίνος Σέντζας

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ Αντώνης Α. Ζορπάς

Νοέμβριος, 2015

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Περιβαλλοντική αξιολόγηση συμβατικών δομικών υλικών με
συνδυασμό των μεθόδων ανάλυσης κύκλου ζωής και πολύ-
κριτηριακής ανάλυσης

Κωνσταντίνος Σέντζας

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ Αντώνης Α. Ζορπάς

Νοέμβριος, 2015

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες	i
Ελληνική περίληψη	ii
Αγγλική περίληψη	iii
Πίνακες / Διαγράμματα /	iv

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	Σελίδα
--------------------	---------------

Εισαγωγή	19
1.1 Δομικά Υλικά και Οικολογικός σχεδιασμός των προϊόντων	19
1.2 Ενσωματωμένο CO ₂ και Ενσωματωμένη Ενέργεια των Δομικών Υλικών.....	21
1.3 Περιβαλλοντική αξιολόγηση δομικών υλικών	21
1.4 Δομικά Υλικά χαμηλού άνθρακα	24
1.5 Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis)	25
1.6 Ανάλυση Κύκλου Ζωής και Βιώσιμη Ανάπτυξη	26
1.7 Ποιότητα των Δεδομένων και Ανάλυση του Κύκλου	27
1.8 Ανάλυση Κύκλου Ζωής στις Κατασκευές	27
1.9 Πολυκριτηριακή ανάλυση και επιλογή δομικών υλικών σε μία κατασκευή – MCDA (Multi Criteria Decision Analysis)	30
1.10 Σκοποί - στόχοι – πεδίο εφαρμογής	30
Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	
2.1 Εισαγωγή	32
2.2 Ιστορική Αναδρομή	32

2.3 Μέθοδοι Περιβαλλοντικής Αξιολόγησης.....	33
2.3.1 Μέθοδος EPM (Environmental Preference Method,1991)	34
2.3.2 Σύστημα αξιολόγησης Δομικών Υλικών BMAS (Building Material Assessment System, 1994)	35
2.3.3 Οικολογική αειφορία Δομικών Υλικών, BMES (Building Material Ecological Sustainability,1995)	35
2.3.4 Περιβαλλοντικός έλεγχος δομικών υλικών, EBM (Environmental Building Material)	35
2.3.5 Ανάλυση της Εμπιερχόμενης Ενέργειας, EEA (Environmental Energy Analysis)	36
2.3.6 Building Materials Index – UK	36
2.3.7 Μέθοδος απονομής οικολογικού σήματος σε δομικά υλικά (Eco-labeling,1995)	37
2.3.8 Μέθοδος SIA (Social impact assessment)	38
2.3.9 Περιβαλλοντικός χαρακτηρισμός δομικών υλικών και προϊόντων GreenPro	38
2.3.10 Μέθοδος ανάλυσης κύκλου ζωής (Life Cycle Analysis, LCA)	39
2.4 Η ανάλυση του Κύκλου Ζωής στην οικοδομική βιομηχανία.....	40
2.4.1 Εφαρμογές της ανάλυσης κύκλου ζωής για την επιλογή των προϊόντων δομικών κατασκευών	40
2.4.2 Εφαρμογές της ανάλυσης κύκλου ζωής σε συστήματα δόμησης	41
2.4.3 Εργαλεία AKZ και βάσεις δεδομένων στον κατασκευαστική βιομηχανία (software) .	44
2.5 AKZ και μεθοδολογικές εξελίξεις σε σχέση με την κατασκευαστική βιομηχανία.....	48
2.6 AKZ για οικιστικά κτίρια	49
2.7 Συμπεράσματα.....	50

Μεθοδολογία

3.1 Σκοπός – Στόχοι	52
3.2 Περιγραφή ερευνητικών εργαλείων - GaBi	53
3.3 Μέθοδοι Αξιολόγησης των επιπτώσεων με το λογισμικό GaBi	56
3.4 Συλλογή Δεδομένων / GaBi	58
3.5 Έλεγχος της ποιότητας και επικύρωση των δεδομένων που συλλέγονται από την PI International	59
3.6 Επεξεργασία σε περίπτωση απουσίας δεδομένων για μια AKZ με την βοήθεια του GaBi - PI International	60
3.7 Μεταφορά Δεδομένων και ονοματολογία του GaBi - PI International.....	60
3.8 Χρήση Παραμέτρων στο GaBi - PI International	62
3.9 Κατασκευαστική Βιομηχανία και GaBi	63
3.10 Σύνολο Δεδομένων – Διαδικασία για το έτοιμο σκυρόδεμα C20/25 / Μείγμα Τεχνολογιών / Μείγμα Παραγωγής στο εργοστάσιο, βάση δεδομένων με το λογισμικό GaBi	70
3.11 Ποιοτική Μεθοδολογία - Πειραματικές Διαδικασίες –Σενάρια – Ανάλυση Παραμέτρων.....	72
3.12 Σενάριο 1 – Παρασκευή σκυροδέματος C20/25 στην Ελλάδα χωρίς την διεργασία ανακύκλωσης αδρανών υλικών	77
3.13 Σενάριο 2 – Παρασκευή σκυροδέματος C20/25 στην Ελλάδα χρησιμοποιώντας την μέγιστο σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε ποσοστό 70% ανακυκλωμένων αδρανών από απόβλητα κατασκευών μετά το τέλος ζωής τους	79

Αποτελέσματα

A. Μέθοδος Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

4. Ανάλυση Δεικτών των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων με GaBi (Μέθοδος Ανάλυσης Κύκλου Ζωής)

4.1 Σενάριο 1 – Μέθοδος ILCD - Παρασκευή σκυροδέματος C20/25 στην Ελλάδα

χωρίς την διεργασία ανακύκλωσης αδρανών υλικών81

4.1.1 Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη / Global Warming Potential (GWP) ,

[kg CO₂ – Eq.] / ILCD81

4.1.2 Καταστροφής του Όζοντος / Ozone Depletion (ODP), [kg CFC11-Eq.]

/ILCD.....84

4.1.3 Δυνητική αύξηση της οξύτητας / Acidification (AP) / [Mole of H + eq.]

/ ILCD.....85

4.1.4 Δυναμικό Ευτροφισμού / Eutrophication (EP) / [Mole of N. eq]

/ ILCD.....87

4.1.5 Δυναμικό σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος / Photochemical Ozone

(POCP), [kg NMVOC Equiv] / ILCD88

4.1.6 Αβιοτικά δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων /Abiotic resource

depletion (ADP ορυκτά καύσιμα), [kg Sb-Equiv.] / ILCD89

4.1.7 Συνολική κατάσταση του γλυκού νερού περιλαμβανομένων των όμβριων υδάτων

/ Resource depletion, Water [kg] / ILCD90

4.1.8 Τοξικότητα για τον άνθρωπο, μη καρκινικές επιδράσεις / Human toxicity,

non-cancer effects [CTUh] / ILCD.....92

4.1.9 Αιωρούμενα σωματίδια/Particulate matter [PM_{2.5} eq] / ILCD93

4.2 Σενάριο 1 – Μέθοδος TRACI - Παρασκευή σκυροδέματος C20/25 στην Ελλάδα

χωρίς την διεργασία ανακύκλωσης αδρανών υλικών95

4.2.1 Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη / Global Warming Potential (GWP) , [kg CO ₂ – Eq.] / TRACI	95
4.2.2 Καταστροφής του Όζοντος / Ozone Depletion (ODP), [kg CFC11-Eq.] / TRACI.....	96
4.2.3 Δυνητική αύξηση της οξύτητας / Acidification (AP) / [kg H ⁺ moles-Equiv.] / TRACI.....	97
4.2.4 Δυναμικό Ευτροφισμού / Eutrophication (EP) / [kg N- Equiv.] / TRACI.....	98
4.2.5 Δυναμικό σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος / Photochemical Ozone (POCP), [kg NMVOC Equiv] /TRACI.....	100
4.2.6 Αβιοτικά δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων /Abiotic resource depletion (ADP ορυκτά καύσιμα), [kg Sb-Equiv.] / TRACI	100
4.2.7 Συνολική κατάσταση του γλυκού νερού περιλαμβανομένων των όμβριων υδάτων / Resource depletion, Water [kg] / TRACI.....	100
4.2.8 Τοξικότητα για τον άνθρωπο, μη καρκινικές επιδράσεις / Human toxicity, non-cancer effects [CTUh] / TRACI.....	100
4.2.9 Αιωρούμενα σωματίδια/Particulate matter [PM2.5 eq] TRACI	100
4.3 Σενάριο 2 – Μέθοδος ILCD - Παρασκευή σκυροδέματος C20/25 στην Ελλάδα με διεργασία ανακύκλωσης αδρανών υλικών	101
4.3.1 Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη / Global Warming Potential (GWP) , [kg CO ₂ – Eq.] / ILCD / Σενάριο 2.....	103
4.3.2 Καταστροφής του Όζοντος / Ozone Depletion (ODP), [kg CFC11-Eq.] /ILCD / Σενάριο 2	103
4.3.3 Δυνητική αύξηση της οξύτητας / Acidification (AP) / [Mole of H ⁺ + eq.] / ILCD /	

Σενάριο 2	104
4.3.4 Δυναμικό Ευτροφισμού / Eutrophication (EP) / [Mole of N. eq] / ILCD /	
Σενάριο 2	105
4.3.5 Δυναμικό σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος / Photochemical Ozone (POCP),	
[kg NMVOC Equiv] / ILCD / Σενάριο 2.....	106
4.3.6 Αβιοτικά δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων /Abiotic resource depletion	
(ADP ορυκτά καύσιμα), [kg Sb-Equiv.] / ILCD	107
4.3.7 Συνολική κατάσταση του γλυκού νερού περιλαμβανομένων των όμβριων υδάτων /	
Resource depletion, Water [kg] / ILCD / Σενάριο 2	108
4.3.8 Τοξικότητα για τον άνθρωπο, μη καρκινικές επιδράσεις / Human toxicity,	
non-cancer effects [CTUh] / ILCD / Σενάριο 2.....	109
4.3.9 Αιωρούμενα σωματίδια/Particulate matter [PM2.5 eq] / ILCD / Σενάριο 2.....	110
4.4 Εκτίμηση των Επιπτώσεων	111
B. Μέθοδος Πολυκριτηριακής ανάλυσης	
4.5 Πολυκριτηριακή Ανάλυση με την βοήθεια του Στατιστικού πακέτου SPSS.19.....	115
Συζήτηση –Συμπεράσματα – Εισηγήσεις	
5.1 Περιορισμοί της μελέτης	121
5.2 Μελλοντικοί Στόχοι.....	123
5.3 Συμπεράσματα.....	123
5.4 Εισηγήσεις	124

Βιβλιογραφία.....	125
Ερωτηματολόγιο.....	135

Ευχαριστίες

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διατριβής μου, Καθηγητή Δρ. Αντώνη Α. Ζορπά, για την άριστη συνεργασία που είχαμε κατά την διάρκεια της διατριβής αλλά και κατά την διάρκεια των σπουδών μου στο Ανοιχτό Πανεπιστήμιο Κύπρου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ακαδημαϊκό Σύμβουλο του Μεταπτυχιακού προγράμματος "Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος" του Ανοιχτού Πανεπιστημίου Κύπρου, Δρ. Ιωάννη Βογιατζάκη και τον Επιβλέπων Καθηγητή μου Δρ. Αντώνη Α. Ζορπά για την βοήθειά τους ώστε να εξασφαλίσουμε την άδεια του λογισμικού προγράμματος Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA), GaBi 6.0, από τους διαχειριστές της Γερμανικής εταιρείας PE International, αλλά και για τις πολύτιμες συμβουλές τους.

Να ευχαριστήσω την Γερμανική εταιρεία και τους διαχειριστές του προγράμματος της PE International, για την παραχώρηση του δικαιώματος χρήσης του λογισμικού προγράμματος GaBi 6.0 καθώς και τον υπεύθυνο σε θέματα συμβουλών και εκπαιδευτικών θεμάτων της εταιρίας Sebastian Schulz.

Αφιερώνω την παρούσα εργασία στη γυναίκα μου Ζένια και στα παιδιά μου Βασιλική και Δημήτρη.

Περίληψη

Οικολογικές, Οικονομικές και Κοινωνικές παράμετροι επηρεάζουν την βιωσιμότητα μιας κατασκευής. Το Worldwatch Institute ως ένα παγκοσμίως γνωστό κέντρο περιβαλλοντικής έρευνας που εδρεύει στην Ουάσινγκτον εκτιμά ότι η παγκόσμια κατασκευή κτιρίων είναι υπεύθυνη για το 40% των λίθων - άμμου και χαλικιών, το 40% της ενέργειας, και το 16% του νερού που χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Για την οικολογική σχεδίαση και τις επιπτώσεις των προϊόντων στο περιβάλλον επιβάλλεται να παράγονται και να δημοσιεύονται περιβαλλοντικές πληροφορίες σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των προϊόντων. Για μια αειφόρο ανάπτυξη σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες μεθοδολογίες θα πρέπει να ενσωματώνονται πληροφορίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την ενσωματωμένη ενέργεια στα δομικά υλικά. Στον κατασκευαστικό τομέα το μεγαλύτερο ποσοστό CO₂ παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων ενώ σημαντική ποσότητα CO₂ απελευθερώνεται μέσω χημικών διεργασιών μετατροπής, κατά την παραγωγή του τσιμέντου. Η χρήση των σύγχρονων οικοδομικών υλικών θα πρέπει να γίνεται με έμφαση την ενεργειακή ένταση των υλικών, των φυσικών πόρων και υλικών που καταναλώνονται, την ανακύκλωση, την ασφαλή διάθεση και τις επιπτώσεις που προκαλούν στο περιβάλλον. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ) είναι μια τεχνική για την αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών πτυχών, που συνδέονται με ένα προϊόν ή υπηρεσία, καταρτίζοντας ένα κατάλογο των σχετικών εισροών και εκροών, την αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με αυτές τις εισροές και εκροές, καθώς και μια ερμηνεία των αποτελεσμάτων της απογραφής και του αντίκτυπου σε σχέση με τους στόχους της μελέτης. Η τελευταία οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Building the future with CDE) προδιαγράφει ποσοστό ανακύκλωσης από διάφορες κατασκευές και κατεδαφίσεις μέχρι το 2020 της τάξεως του 70%. Αυτό σημαίνει, ότι σύντομα η ανακύκλωση παλαιών σκυροδεμάτων και μπαζών θα είναι υποχρεωτική.

Στην Ελλάδα απαιτούνται 54.82×10^6 τόνοι αδρανών υλικών για σκυρόδεμα. Αυτή η διατριβή προσπαθεί να αναδείξει και να συγκρίνει περιβαλλοντικούς δείκτες μεταξύ της κλασικής μεθόδου παρασκευής σκυροδέματος και αυτής της χρήσης ανακυκλωμένων υλικών από την ανάκτηση υλικών κατεδαφίσεων. Σε αυτή τη διατριβή μελετώντας το μίγμα ενός κυβικού σκυροδέματος με δύο διαφορετικά σενάρια ως προς την προέλευση των αδρανών υλικών, με την βοήθεια του ειδικού λογισμικού Ανάλυσης Κύκλου Ζωής GaBi 6, παρατηρήσαμε ότι αυτό είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την αξιολόγηση του κύκλου ζωής των υλικών. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ILCD ((International Reference Life Cycle System) η οποία έχει σχεδιαστεί για ένα Ευρωπαϊκό πλαίσιο μοντελοποίησης πάνω σε ένα Διεθνές Σύστημα Αναφοράς Δεδομένων Κύκλου Ζωής και η μέθοδος TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts) η οποία περιέχει δώδεκα κατηγορίες επιπτώσεων. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου, ILCD του GaBi, επιλέξαμε τις εννέα πιο σημαντικές για την μελέτη μας από τις δεκατρείς

κατηγορίες επιπτώσεων που διαθέτει η μέθοδος. Αντίστοιχα από την μέθοδο TRACI και τις δέκα πέντε κατηγορίες αξιολόγησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων η οποία δίνει έμφαση στην ανθρώπινη υγεία και σε κατηγορίες επιπτώσεων ουσιών συμπεριλαμβανομένων των καρκινογόνων ουσιών επιλέξαμε, τις εννέα πιο σημαντικές συγκρίσιμες με την μέθοδο ILCD. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων έδειξαν, στο Σενάριο2 ότι το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται και περιέχει αδρανή υλικά προερχόμενα από ανακύκλωση υλικών κατεδαφίσεων έχει τις χαμηλότερες επιπτώσεις στις περισσότερες κατηγορίες δεικτών.

Στο δεύτερο κομμάτι της διατριβής και στη περιβαλλοντική αξιολόγηση του σκυροδέματος με την μέθοδο της Πολυ-κριτηριακής ανάλυσης, τα βιώσιμα κριτήρια αξιολόγησης που τέθηκαν στους 40 ερωτώμενους ειδικούς του Κατασκευαστικού Κλάδου χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες. Σε αυτά που περιλαμβάνουν Περιβαλλοντικά κριτήρια και σε αυτά που περιλαμβάνουν Κοινωνικο-Οικονομικά κριτήρια. Τα αποτελέσματα έδειξαν μία καθαρή προτίμηση στα βιώσιμα υλικά και στο λεγόμενο "Πράσινο σκυρόδεμα". Όμως στην Ερώτηση ΚΟ5, που αφορά τους Κανόνες και περιορισμούς στην χρήση Δομικών Υλικών και την υποχρεωτική χρήση δομικών υλικών όπως το "Πράσινο Σκυρόδεμα" στις κατασκευές, σε ποσοστό 70% σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία, παρατηρήσαμε μία επιφυλακτικότητα από τους ερωτώμενους σε σχέση με τον ενθουσιασμό στις απαντήσεις των προηγούμενων ερωτήσεων. Από τους 40 ερωτώμενους μόνο τρεις απαντήσεις με ποσοστό 7,5% για την επιλογή 5 ως "Εξαιρετικά σημαντικό" ,δόθηκαν για την υποχρεωτική χρήση σκυροδέματος που προέρχεται από ανάκτηση υλικών κατεδαφίσεων σε ποσοστό 70%.

Η διατριβή προσπαθεί να ευαισθητοποιήσει την χρησιμοποίηση υλικών κατεδαφίσεων κατασκευών μετά το τέλος της ζωής τους, ως υλικά για την παρασκευή αδρανών υλικών σκυροδέματος και όχι απλά την διάθεσή τους σε χώρους υγειονομικής ταφής. Είναι γνωστό ότι στην Ελλάδα αυτή η διεργασία βρίσκεται σε μηδενικό ποσοστό και είναι επιτακτική η ανάγκη ανακύκλωσης των υλικών κατεδαφίσεων και η παραγωγή έτσι του λεγόμενου "Πράσινου σκυροδέματος" δηλαδή ενός προϊόντος που θα χρησιμοποιεί υλικά μετά το τέλος ζωής των κατασκευών. Οι άμεσοι στόχοι της εργασίας είναι η ευαισθητοποίηση, καθώς και η ελαχιστοποίηση της απώλειας όλων των χρήσιμων υλικών. Προτείνει μόνιμα Κέντρα Ανακύκλωσης Παλαιών Σκυροδεμάτων (Πράσινα σημεία / Green points), να εγκατασταθούν στις Περιφέρειες κατοικημένων περιοχών στην Ελλάδα, λύνοντας έτσι πολλά προβλήματα των διαφόρων δημόσιων φορέων που αφορούν τη διαχείριση παλαιών υλικών, μεταξύ των οποίων και το καυτό πρόβλημα των χώρων απόθεσης των μπαζών. Αυτό θα οδηγήσει στην προστασία του περιβάλλοντος από την εξάπλωση των υπαιθρίων λατομείων, την μείωση χρησιμοποίησης των πρώτων υλών και την Αειφόρο ανάπτυξη του Κατασκευαστικού τομέα.

Abstract

Ecological, Economic and Social parameters affect the viability of a construction. For eco-design and the impact of products on the environment should be produced and published environmental information throughout the product lifecycle. For a sustainable develop in conformity to the most recent methodologies should be integrated information concerning the environmental impacts and embodied energy in building materials. In the construction industry the largest percentage CO₂ produced by burning of fossil fuels, while significant amount of CO₂ is released through chemical transformation processes during the production of cement. The use of modern construction materials should be performed emphasizing the energy intensity of materials, natural resources and the materials consumed, recycling and safe disposal, and the effects they cause to the environment. Life Cycle Assessment (LCA) is a technique for assessment of possible environmental aspects associated to a product or service, by setting up a list of relevant inputs and outputs, evaluating the potential environmental impacts associated with these inflows and outflows, and an interpretation of the census results and impact in relation to the study objectives.

The recent EU directive (Building the future with CDE) prescribes a recycling rate of various construction and demolition waste by 2020 of 70%. This means that soon the recycling of old concrete and rubble will be mandatory. In Greece needed 54.82 x 10⁶ tons of aggregates for concrete. This thesis aims to highlight and compare environmental indicators between classical method manufacturing concrete and that the use of recycled materials from demolition material recovery. In this thesis by studying the mixture of a cubic (1m³) concrete, with two different scenarios regarding the origin of aggregates and with the help of special software LCA GaBi, we observed that this principle is a powerful tool for the evaluation cycle life and a tool that can produce impressive results.

The method used was ILCD ((International Reference Life Cycle System) that is designed for an EU framework of modeling on an International Reference Life Cycle Data System and the method TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts) which is contains twelve impact categories. In applying the the first method, ILCD of GaBi, we selected the nine most significant for our study of the thirteen classes impact method. Since the method TRACI and fifteen categories of environmental impact assessment which focuses on human health and on the impact categories of substances including carcinogenic substances we selected, the nine most important comparable to method ILCD categories. The results of the comparisons have shown, in Senario2 that concrete manufactured and includes aggregates materials from demolition materials recycling has the lowest impact on most categories indicators.

In the second part of this thesis and in finding with the method of Multi-Criteria analysis, sustainable criteria assessment given to 40 respondents experts of the construction industry were divided into two categories. In these that include Environmental criteria and those that include Socio-Economic Criteria. Results showed a clear preference to sustainable materials and so-called green concrete. However in Question KO5 which deals with Regulations and restrictions on the use building materials and mandatory use of construction materials such as Green Concrete in construction to 70% in accordance with European legislation. We observe a reluctance of the respondents compared to the enthusiasm in the replies to the previous questions. Of the 40 respondents only three answers with a 7.5% for Option 5 as "Extremely important" for mandatory use of concrete derived from demolition materials recovery, at a rate of 70%.

This is trying to sensitize the use of construction demolition materials (after end of life of the materials) as materials for the manufacture of concrete aggregates materials and not just the disposal in landfills. It is well known that in Greece this process is in zero and there is an urgent need to recycle demolition waste materials. Therefore we will be able to produce of the so called "green concrete" that is a product that uses building materials after the end of life of structures. The immediate objectives of this project is to raise awareness and minimizing of loss of all the useful materials. Proposes permanently Centers Recycling of old concrete (green points), to settle to the Regions residential areas in Greece, thereby solving several problems of public bodies to manage of old materials, including the problem of sites deposition of rubble.

This will lead to protecting the environment against the spread of outdoor quarries, decrease the use of raw materials and Sustainable development of the construction sector.

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.7 Διακύμανση ενσωματωμένης ενέργειας και διοξειδίου του άνθρακα.....	51
Πίνακας 3.3 Μέθοδοι Αξιολόγησης Επιπτώσεων	58
Πίνακας 3.11.1 : Κατηγορίες Σκυροδέματος και Ποσότητα Τσιμέντου σε kg/m ³	73
Πίνακας 4.1.1 : Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD	83
Πίνακας 4.1.3B : Δυνητική αύξηση της οξύτητας (AP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD	86
Πίνακας 4.2.3B : Δυνητική αύξηση της οξύτητας (AP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου TRACI – Επιπτώσεις της κατηγορίας στους Πόρους.....	99
Πίνακας 4.2.4B : Δυνητικό ευτροφισμού (EP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου TRACI – Επιπτώσεις της κατηγορίας στους Πόρους.....	99
Πίνακας 4.3.1 : Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάριο 2 - Επιπτώσεις της κατηγορίας στους Πόρους	102
Πίνακας 4.4.1 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων των Δεικτών Επιπτώσεων του λογισμικού GaBi, των δύο Σεναρίων και των Μεθόδων εφαρμογής ILCD και TRACI	113
Πίνακας 4.5.1 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων της Πολυκριτηριακή Ανάλυσης με την βοήθεια του Στατιστικού πακέτου SPSS 19.0.....	117
Πίνακας 4.5.2 : Πίνακες αποτελεσμάτων της Πολυκριτηριακή Ανάλυσης με την βοήθεια του Στατιστικού πακέτου SPSS 19.0 ανά ερώτηση.....	118

Κατάλογος Γραφημάτων - Διαγραμμάτων

Γράφημα 4.1.1 : Σενάριο 1 - Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD για την παρασκευή Σκυροδέματος στην Ελλάδα	82
Γράφημα 4.1.2 : Καταστροφής του Όζοντος (OPD) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD.....	84
Γράφημα 4.1.3A : Δυνητική αύξηση της οξύτητας (AP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD	85
Γράφημα 4.1.4 : Δυναμικό ευτροφισμού (EP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD	87
Γράφημα 4.1.5 : Δυναμικό σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος (POCP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD	88
Γράφημα 4.1.6 : Δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων (APD) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD.....	89
Γράφημα 4.1.7 : Συνολική κατάσταση του γλυκού νερού, περιλαμβανομένων των Όμβριων υδάτων του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD.....	91
Γράφημα 4.1.8 : Τοξικότητα για τον άνθρωπο, μη καρκινικές επιδράσεις του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD	92
Γράφημα 4.1.9 : Δείκτης Αιωρούμενα σωματίδια από την παρασκευή σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD	94
Γράφημα 4.2.1 : Σενάριο 1 - Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP) με την βοήθεια του λογισμικού Gabi και της μεθόδου TRACI για την Παρασκευή Σκυροδέματος	

στην Ελλάδα	96
Γράφημα 4.2.2 : Καταστροφής του Όζοντος (OPD) με την βοήθεια του λογισμικού Gabi και της μεθόδου TRACI.....	97
Γράφημα 4.2.3 : Δυνητική αύξηση της οξύτητας (AP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου TRACI.....	98
Γράφημα 4.2.4A : Δυναμικό ευτροφισμού (EP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου TRACI	99
Γράφημα 4.3.1 : Σενάριο 2 - Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD για την παρασκευή Σκυροδέματος στην Ελλάδα	102
Γράφημα 4.3.2 : Καταστροφής του Όζοντος (OPD) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάριο 2.....	103
Γράφημα 4.3.3 : Δυνητική αύξηση της οξύτητας (AP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάριο 2	104
Γράφημα 4.3.4 : Δυναμικό ευτροφισμού (EP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάριο 2	104
Γράφημα 4.3.5 : Δυναμικό σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος (POCP) του Σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάρ. 2.....	105
Γράφημα 4.3.6 : Δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων (APD) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάρ.2	108
Γράφημα 4.3.7 : Συνολική κατάσταση του γλυκού νερού, περιλαμβανομένων των όμβριων υδάτων του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD /	

Σενάριο 2	109
Γράφημα 4.3.8 : Τοξικότητα για τον άνθρωπο, μη καρκινικές επιδράσεις του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάρ. 2	110
Γράφημα 4.3.9 : Δείκτης Αιωρούμενα σωματίδια από την παρασκευή του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάριο 2	111
Διάγραμμα 4.5.1 : του Στατιστικού πακέτου SPSS 19.0 με ποσοστά ανά % για την ερώτηση ΚΟ5	119

Κεφάλαιο Πρώτο

Εισαγωγή

Υπάρχει πλέον έντονο ενδιαφέρον των ερευνητών στην μείωση των οικολογικών επιπτώσεων των κτιρίων αλλά και μία πιο φιλική προς το περιβάλλον χάραξη πολιτικής των επιχειρήσεων κατασκευής δομικών υλικών. Η εστίαση των επιχειρήσεων στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και στην κατασκευή δομικών υλικών φιλικά προς το περιβάλλον, με την ταυτόχρονη συνεκτίμηση του κύκλου ζωής τους (Life Cycle) όλο και αυξάνεται. Κατά την διάρκεια της ζωής ένα κτίριο καταναλώνει αφθονία πόρων και ενέργειας, καταλαμβάνει γη και τελικά καταδαφίζεται. Αυτό οδήγησε τον κατασκευαστικό τομέα να στρέψει την προσοχή του σε βιώσιμες τεχνολογίες στέγασης και στην αναζήτηση πιο φιλικά προς το περιβάλλον κατασκευών ενώ η ευαισθητοποίηση ενισχύθηκε από την διεθνή συμφωνία για την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, που οδηγούν στην υπερθέρμανση του πλανήτη και το πρωτόκολλο του Κιότο. (Buyle et all ,2013;Yilmaz et all,2015).

Στο κατασκευαστικό τομέα αυτό είχε ως αποτέλεσμα την θέσπιση κανονισμών που θα οδηγήσουν στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων, όπως στο παράδειγμα της Ελλάδος και την προώθηση του προγράμματος *‘‘Εξοικονόμηση κατά οίκον’’* (ΥΠΕΚΑ,2015).

Οικολογικές,, Οικονομικές και Κοινωνικές παράμετροι επηρεάζουν την βιωσιμότητα ενός κτιρίου εκτός από την κατανάλωση ενέργειας με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν διάφορα εργαλεία εκτίμησης της βιωσιμότητας από διάφορες οπτικές γωνίες. όπως η Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Environmental Impact Assessment – EIA), το Σύστημα Περιβαλλοντικής και Οικονομικής Διαχείρισης (System Economic and Environmental Assessment – SEEA), Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις και Ανάλυση Ροής Υλικών (Environmental Auditing and Material Flow Analysis - MFA). Ειδικότερα στον τομέα των κατασκευών υπάρχουν μέθοδοι για την αξιολόγηση των λεγόμενων *‘‘Πράσινων Κτιρίων’’*, τον Σχεδιασμό και την Αξιολόγηση τους ως Βιώσιμα κτίρια, όπως η μέθοδος BREEAM (Καθιέρωση Κτηριακής Έρευνας - Μεθοδολογία Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων - Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology) ή το λογισμικό πρόγραμμα LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) που αναγνωρίζει στρατηγικές και πρακτικές για τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός *‘‘Πράσινου Κτιρίου’’* (Zezhou et all,2015;Whitehead et all,2015;Bartelmus,2007; Dong et all,2015;Fowler,2006).

Η μέθοδος της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis – LCA) όμως με την οποία θα ασχοληθούμε και στην παρούσα εργασία θεωρείται πλέον η πληρέστερη μέθοδος ως εργαλείο εκτίμησης περιβαλλοντικών

επιπτώσεων σε σχέση με τις παραπάνω μεθόδους λόγω του ότι είναι πιο λεπτομερής λαμβάνει υπόψη το Κύκλο Ζωής ενός υλικού ή μιας διαδικασίας από την δημιουργία του έως την παύση του, δηλαδή από την “αρχή” έως το “τέλος” αποφεύγοντας την μετατόπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων μεταξύ των σταδίων του Κύκλου Ζωής του υλικού ή τις διαδικασίας. Η επιλογή των υλικών μιας κατασκευής παίζει καθοριστικό ρόλο στην μετέπειτα ενεργειακή του απόδοση καθώς και των μελλοντικών περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων κυρίως λόγω της θέρμανσης ή ψύξης του κτιρίου σε ποσοστό έως 90% (Buyle et al,2013; Badea et al,2014; Chau et al,2015).

1.1 Δομικά Υλικά και Οικολογικός σχεδιασμός των προϊόντων

Για τον οικολογικό σχεδιασμό των προϊόντων και τις επιπτώσεις στο περιβάλλον επιβάλλεται να παράγονται και να δημοσιεύονται περιβαλλοντικές πληροφορίες καθόλη τη διάρκεια ζωής του κύκλου ζωής των προϊόντων. Για μια αειφόρο ανάπτυξη οι πιο πρόσφατες μεθοδολογίες ενσωματώνουν πληροφορίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την ενσωματωμένη ενέργεια των δομικών υλικών. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της Διοίκησης πληροφοριών Ενέργειας των ΗΠΑ (2003), σε συνδυασμό με την ετήσια κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την λειτουργία κτιρίων με χρήση κατοικία ή εμπορικά κτίρια και την ενέργεια που απαιτείται από την βιομηχανία για την παραγωγή οικοδομικών υλικών όπως σκυρόδεμα, χάλυβας, κεραμικά, γυαλί κ.λπ. αποκαλύφθηκε ότι ο κτηριακός τομέας καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια στον κατασκευαστικό τομέα με μεγάλη συνεισφορά και εκπομπές αερίων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Ortiz et al,2009;Torgal,2014).

Το 2003 η Ευρωπαϊκή επιτροπή κυκλοφόρησε επίσημα την *Ολοκληρωμένη Πολιτική Προϊόντων ΟΠΠ* (Integrated policy product – IPP). Οι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της ΟΠΠ είναι οι περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων και ο οικολογικός σχεδιασμός. Οι περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων σε δομικά υλικά όπως το σκυρόδεμα, το ξύλο και τα μέταλλα βασίζονται στη Ανάλυση του κύκλου ζωής (AKZ) και περιέχουν πληροφορίες σχετικές με την απόκτηση των πρώτων υλών, την χρήση ενέργειας, το περιεχόμενο των υλικών και των χημικών ουσιών, τις εκπομπές στον αέρα, στο έδαφος και το νερό και την παραγωγή αποβλήτων. Από την άλλη πλευρά ο *Οικολογικός Σχεδιασμός* εξετάζει τη σχέση του προϊόντος με το περιβάλλον και συνοψίζει τις τεχνικές για την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του (Ortiz et al,2009;Europa,2015).

1.2 Ενσωματωμένο CO₂ και Ενσωματωμένη Ενέργεια των Δομικών Υλικών

Ενσωματωμένο Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂) και εκπομπές αυτού παράγονται κατά την εξόρυξη των πόρων, την μεταφορά, την κατασκευή, την συναρμολόγηση – αποσυναρμολόγηση και τέλος της διάθεσης ζωής ενός προϊόντος. Στον κατασκευαστικό τομέα το μεγαλύτερο ποσοστό CO₂ παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων ενώ σημαντική ποσότητα CO₂ απελευθερώνεται μέσω χημικών διεργασιών μετατροπής κατά την παραγωγή τσιμέντου. Η μονάδα μέτρησης ενσωματωμένου CO₂ δίνεται σε κιλά (kg) ή τόνους (ton) (Miller et all, 2015; Iddon et all,2013 ;Purnell et all,2012).

Ενσωματωμένη Ενέργεια είναι η συνολική ενέργεια που απαιτείται για την εξόρυξη των πόρων, την μεταφορά, την κατασκευή, την συναρμολόγηση – αποσυναρμολόγηση και τέλος της διάθεσης ζωής ενός προϊόντος. Μονάδα μέτρησης Ενσωματωμένης Ενέργειας δίνεται σε Mega Joules (MJ) ή Giga Joules (GJ) (Chau et all,2015; Gaspar et all,2015) .

Η ενέργεια του κύκλου ζωής ενός κτιρίου περιλαμβάνει την ενσωματωμένη ενέργεια αλλά και την *επιχειρησιακή ενέργεια* δηλαδή την ενέργεια που χρησιμοποιείται για την ψύξη – θέρμανση, το ζεστό νερό, την λειτουργία του ηλεκτρικού εξοπλισμού, αλλά και τον αερισμό και φωτισμό του κτιρίου. Παλιότερες μελέτες συμπεραίνουν ότι η λειτουργική ενέργεια των κτιρίων κάλυπτε το 80-90% της συνολικής ενέργειας του κύκλου ζωής τους. Οι πιο όμως πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η ενσωματωμένη ενέργεια είναι πιο κρίσιμη σε κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης αφού το 40-60% της συνολικής ενέργειας του κύκλου ζωής τους χρησιμοποιήθηκε κατά την φάση της παραγωγή των υλικών και την κατασκευή (Karimpour et all, 2014 ; Cabeza et all, 2013).

1.3 Περιβαλλοντική αξιολόγηση δομικών υλικών

Η χρήση των σύγχρονων οικοδομικών υλικών θα πρέπει να γίνεται με έμφαση την ενεργειακή ένταση των υλικών, των φυσικών πόρων και υλικών που καταναλώνονται, στην ανακύκλωση – ασφαλή διάθεση και τις επιπτώσεις που προκαλούν στο περιβάλλον. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) των οικοδομικών υλικών διακρίνονται στις άμεσες και έμμεσες εκπομπές. *Άμεσες εκπομπές CO₂* προκύπτουν κατά την διαδικασία παραγωγής των οικοδομικών υλικών ενώ οι *Έμμεσες εκπομπές* συσχετίζονται με την απόσβεση του υλικού και των κτιρίων συνυπολογίζοντας την περιβαλλοντική διαδικασία της επεξεργασίας και

μεταφοράς των απορριμμάτων. Οι πρώτες είναι εύκολο να υπολογιστούν αφού γνωρίζουμε την σύνθεση των πρώτων υλών και των προϊόντων αλλά οι έμμεσες εκπομπές αφορούν μελέτες εκτίμησης (Cabeza et al, 2013; Hakkinen et al).

Οι κύριες κατηγορίες υλικών (Asif et al,2005) που εμπλέκονται στην κατασκευή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ευρύ φάσμα αρχιτεκτονικών εφαρμογών είναι :

- Ξύλο
- Πέτρα
- Μπετόν
- Μέταλλα
- Πλαστικό
- Κεραμικά

Πιο σημαντικά όμως από άποψη ενσωματωμένης ενέργειας και των χαρακτηριστικών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων τους είναι :

- Ξύλο
- Μπετόν
- Αλουμίνιο
- Γυαλί
- Κεραμικά πλακίδια

Η ξυλεία είναι το παραδοσιακό οικοδομικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε ευρέως για πολλές εφαρμογές στον κατασκευαστικό τομέα όπως δάπεδα, στέγες, και επενδύσεις. Τις τελευταίες δεκαετίες όμως μια σειρά από εναλλακτικά υλικά έχουν εισαχθεί με επιτυχία στην οικοδομική βιομηχανία όπως ο χάλυβας, το σκυρόδεμα, το αλουμίνιο, το πλαστικό. Η επιλογή των υλικών κατασκευής εξαρτάται από την προοριζόμενη χρήση του κτιρίου, το σχεδιασμό και την αρχιτεκτονική της κατασκευής. Συμπληρωματικοί παράγοντες για την επιλογή των υλικών κατασκευής είναι το κόστος, η διαθεσιμότητα και η εμφάνιση. Η περιβαλλοντική όμως καταλληλότητα των υλικών είναι ένας σημαντικός παράγοντας που δεν αναγνωρίζεται από τους καταναλωτές.

Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη (Global Warming Potential GWP) : είναι το δυναμικό θέρμανσης του κλίματος ενός φθοριούχου αερίου θερμοκηπίου σε σχέση με το αντίστοιχο δυναμικό του διοξειδίου του άνθρακα. Υπολογίζεται ως το δυναμικό θέρμανσης, εντός 100 ετών, ενός χιλιόγραμμου αερίου σε σχέση με

ένα χιλιόγραμμο CO₂. Οι οικείες τιμές του δυναμικού θέρμανσης του πλανήτη δημοσιεύονται στην τρίτη έκθεση αξιολόγησης που ενέκρινε η διακυβερνητική ομάδα για την αλλαγή του κλίματος IPCC (Europa,2014).

Το GWP που εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Την απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από ένα δεδομένο είδος
- Την φασματική θέση των μηκών κύματος της απορρόφησης
- Την ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής του είδους

Έτσι ένα υψηλό GWP συσχετίζεται με ένα μεγάλο βαθμό απορρόφησης υπέρυθρων και μια μακρά διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα.

GWP και Δομικά Υλικά (Asif et al,2005).

Σκυρόδεμα : Η παραγωγή σκυροδέματος είναι μια περίπλοκη διαδικασία που απελευθερώνει διάφορους ρύπους όπως το διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα, οργανικούς υδρογονάνθρακες, βαρέα μέταλλα, διοξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου και αλκαλικά λύματα. Το σκυρόδεμα έχει δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη GWP 65g / kg.

Ξυλεία : Το ξύλο θεωρείται ένα ανακυκλώσιμο υλικό αφού στο τέλος της διάρκειας ζωής του ένα προϊόν ξυλείας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλούς σκοπούς όπως παραγωγή μοριοσανίδων, ξυλεία κήπου κ.α. Για την ξυλεία έχει αναφερθεί μία τιμή GWP 116g / kg.

Γυαλί : Η υψηλή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργεια, με σχετική ρύπανση από την ενέργεια και το υλικό της ρύπανσης είναι η δύο κύριοι περιβαλλοντικοί παράγοντες που συνδέονται με την παραγωγή γυαλιού. Το γυαλί έχει δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη GWP 569g / kg.

Κεραμικά Πλακίδια : Η παραγωγή τους σχετίζεται με τεράστιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι ρύποι τους σχετίζονται με στοιχεία όπως διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδια του θείου, φθόριο και πιθανό χρώμιο. Τα κεραμικά πλακίδια έχουν δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη GWP 571g / kg.

Αλουμίνιο : Απαιτεί πολλή ενέργεια για να παραχθεί. Από μόνης της αυτή η κατανάλωση ενέργειας δημιουργεί σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις εκτός από τις μεγάλες ποσότητες ρύπων που απελευθερώνονται κατά την διαδικασία παραγωγής τους. Οι ρύποι που προκύπτουν από την παραγωγική διαδικασία περιλαμβάνουν ουσίες όπως διοξείδιο του άνθρακα, όξινα διοξείδια του θείου, και τα αέρια που

αφορούν το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη, δηλαδή υπερφθοράνθρακες (PFC), τετραφθορομεθάνιο (CF_4) και το εξαφθοροαιθάνιο (C_2F_6).

1.4 Δομικά Υλικά χαμηλού άνθρακα

Είναι γεγονός ότι για να δημιουργηθεί μια πιο αποδοτική μελλοντική χρήση των πόρων, είναι απαραίτητη η επαναχρησιμοποίηση των υποπροϊόντων και των αποβλήτων. Η Ευρωπαϊκή επιτροπή με σχετική ανακοίνωσή της τον Ιούνιο του 2011 με τίτλο "Χάρτης Πορείας για μια αποδοτική χρήση των πόρων της Ευρώπης – COM (2011) 21" και με όραμα έως το 2050 έχει ως στόχο μια αποδοτική χρήση των πόρων έτσι ώστε η οικονομία της Ε.Ε να αναπτύσσεται σεβόμενη τους περιορισμούς από πλευράς πόρων και τα όρια του πλανήτη. Έτσι προσδιορίζονται οι οικονομικοί τομείς που καταναλώνουν τους περισσότερους πόρους, και προτείνονται δράσεις και μέτρα για τον μετασχηματισμό της παραγωγής και της κατανάλωσης με κίνητρα για οικολογικό σχεδιασμό, οικολογική καινοτομία, σήμανση και δημιουργία κινήτρων στους καταναλωτές ώστε να επιλέγουν προϊόντα που παράγονται μέσα από μια αποδοτικότερη χρήση των πόρων (Europa 2015; QuaResE Cyprus,2014)

Σε παγκόσμιο επίπεδο τα απόβλητα λατομείων και ορυχείων είναι η μεγαλύτερη κατηγορία αποβλήτων, Στην Ευρώπη μόνο παράγονται 300 εκατομμύρια τόνοι αποβλήτων κάθε χρόνο από εξορυκτικές δραστηριότητες. Τα υλικά αυτά όμως θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για άλλες βιομηχανίες όπως τις βιομηχανίες παραγωγής σκυροδέματος, τούβλων και κεραμιδιών, βιομηχανίες με τις μεγαλύτερες εκπομπές σε διοξείδιο του άνθρακα και αερίων του φαινομένου του Θερμοκηπίου (Eurostat,2003)

Στο παράδειγμα της Κύπρου μέσω του προγράμματος QuaResE (Quarry Resource Efficiency Demonstration Project) που ολοκληρώθηκε τον Νοέμβριο του 2014 είχε ως κύριο στόχο την εξεύρεση εναλλακτικών μεθόδων για την παραγωγή τσιμέντου, τούβλων και κεραμικών που χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη την λάσπη από τα λατομεία. Τα περιβαλλοντικά οφέλη από την εφαρμογή του Προγράμματος είναι σημαντικά αφού θα συμβάλουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, των ατμοσφαιρικών εκπομπών, του θορύβου, της χρήσης γης και άλλων περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία της Τουβλοποιίας και Τσιμεντοποιίας.

Τσιμέντο και σκυρόδεμα

Το κύριο υλικό (Cabeza et all, 2013) που χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο για την παραγωγή τσιμέντου είναι το κλίνκερ, υλικό που απελευθερώνει λίγο λιγότερο από ένα τόνο CO_2 ανά τόνο κλίνκερ. Η μείωση της

ποσότητας του κλίνκερ επιτυγχάνεται εφόσον το αντικαταστήσουμε με συμπληρωματικά υλικά τσιμεντοποίησης (CCMs – complementary cementing materials).

Ξύλο

Μελέτες έχουν δείξει ότι οι κατασκευές από ξύλο χρησιμοποιούν πολλή χαμηλότερη ενεργειακή διαδικασία και συντελούν στην μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με τα κτίρια άλλων υλικών όπως τούβλο, χάλυβα, σκυρόδεμα ή αλουμίνιο. Η χαμηλή απαίτηση σε ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ξυλείας σε σχέση με άλλα δομικά υλικά είναι πολλή σημαντική όπως φαίνεται μακροπρόθεσμα. Η βιομάζα όμως είναι ένας περιορισμένος πόρος και θα πρέπει να γίνει λεπτομερής χάραξη του κόστους πριν την χάραξη πολιτικής και το σχεδιασμό πολιτικών προς το δρόμο αυτό (Nassen et all, 2012)

Τούβλο

Τα συμβατικά τούβλα συνήθως παράγονται από πηλό σε κλιβάνους με υψηλές θερμοκρασίες και είναι φυσικό να έχουν μεγάλο αποτύπωμα άνθρακα και υψηλή ενσωματωμένη ενέργεια. Ήδη υπάρχει έλλειψη πηλού ως φυσική πηγή σε αρκετές περιοχές του πλανήτη, όσον αφορά την παραγωγή συμβατικών τούβλων. Οι έρευνες πλέον επικεντρώνονται στην παραγωγή τούβλων από υλικά των αποβλήτων και συνεπώς δομικών υλικών χαμηλού άνθρακα για την προστασία του περιβάλλοντος και την βιώσιμη ανάπτυξη (Zhang,2013)

1.5 Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis)

Η AKZ (Ferreira et all,2015;Stephan et all,2014;Wen et all,2015) είναι μια τεχνική για την αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών πτυχών που συνδέονται με ένα προϊόν (ή υπηρεσία) καταρτίζοντας κατάλογο των σχετικών εισροών και εκροών, την αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με αυτές τις εισροές και εκροές, καθώς και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της απογραφής και του αντίκτυπου σε σχέση με τους στόχους της μελέτης.

Σύμφωνα με τα πρότυπα EN ISO 14040 και το πρότυπο EN ISO 14044 η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής περιλαμβάνει τέσσερα βασικά στάδια:

Σχεδιασμός: Καθορίζει τους στόχους του πλαισίου της AKZ συμπεριλαμβανομένων των ορίων της έρευνας, το εύρος και το βάθος της μελέτης.

Ανάλυση Απογραφής: Παρέχει ένα ποσοτικό υπολογισμό εισόδου / εξόδου του προϊόντος ή του συστήματος, δηλαδή της ενέργειας, της μέτρησης των πρώτων υλών, και των εκπομπών στον αέρα και στο νερό που μεταδίδονται δια μέσω των υγρών και στερεών αποβλήτων.

Η Αξιολόγηση του αντίκτυπου : Αξιολογεί πώς ένα προϊόν ή το σύστημα επηρεάζει το περιβάλλον υιοθετώντας μια ποιοτική και ποσοτική προσέγγιση για να αναλύσει τον τρόπο χρήσης των πρώτων υλών, την παραγωγή ενέργειας, την παραγωγή λυμάτων εξόδου, ατμοσφαιρικών εκπομπών και στερεών αποβλήτων τα οποία επηρεάζουν το περιβάλλον.

Βελτίωση - Ανάλυση : Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει βελτιώσεις για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που συνδέονται με το προϊόν ή το σύστημα, με τη λήψη μια αντικειμενικής άποψης ολόκληρου του κύκλου ζωής και την εκτίμηση των επιπτώσεων που θα έχουν οι αλλαγές στο περιβάλλον.

1.6 Ανάλυση Κύκλου Ζωής και Βιώσιμη Ανάπτυξη

Η Βιώσιμη Ανάπτυξη ορίστηκε το 1987 στην έκθεση Bruntland ως «η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες της παρούσης γενεάς χωρίς να θέτει σε κίνδυνο το μέλλον των γενεών στο μέλλον». Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές ανησυχίες συχνά περιγράφονται ως ένα "τριπλό αποτέλεσμα" της αειφορίας και της βιώσιμης ανάπτυξης. Κάθε προσπάθεια προς την πραγματική βελτίωση της βιωσιμότητας πρέπει να εξετάζετε και τους τρεις πυλώνες, της αειφορίας και όχι μόνο σε ένα ή δύο. Η AKZ ασχολείται κυρίως με την περιβαλλοντική πτυχή των επιπτώσεων ενός προϊόντος, και είναι δύσκολο ή αδύνατο τις περισσότερες φορές να ενσωματώσει τις οικονομικές και κοινωνικές ανησυχίες. Ενώ το κόστος ως οικονομική πτυχή μπορεί μερικές φορές να ποσοτικοποιηθεί σε εκτίμηση των επιπτώσεων, αυτό δεν είναι συνήθως μέρος της απογραφής ενός κύκλου ζωής. Τα κοινωνικά ζητήματα είναι εξαιρετικά ευρεία μεγέθους και συνήθως πολύ ποιοτικά για να τα βάλει κάποιος σε ένα μοντέλο AKZ. Παράγοντες που μπορούν να ποσοτικοποιηθούν, όπως ο αντίκτυπος καρκινογόνων εκπομπών για τα ανθρώπινα ποσοστά καρκίνου, μπορεί να θεωρηθεί μόνο ως εκτίμηση των επιπτώσεων. Ως εκ τούτου, η AKZ παρουσιάζει μόνο ένα μέρος του πώς ένα προϊόν μπορεί να επηρεάσει τη βιωσιμότητα, σε σχέση με κάποιες ανησυχίες που αναζητούν μια πιο πραγματικά ολοκληρωμένη εκτίμηση (Hacking et al,2010; Γιαννακοπούλου,2014;CIB,1999).

1.7 Ποιότητα των Δεδομένων και Ανάλυση του Κύκλου

Επειδή τα μοντέλα της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής είναι τόσο εξαρτημένα από την ποιότητα των δεδομένων, και επίσης γιατί οι ερευνητές μπορούν να ερμηνεύσουν τις εκτιμήσεις τους κύκλου ζωής όπως αυτοί το επιθυμούν, η μεταβλητότητα είναι ένα πρόβλημα που εμποδίζει την αποδοχή της AKZ ως μια πρακτική μέθοδο. Η AKZ για τα ίδια προϊόντα ή υλικά πολλές φορές μπορεί να έχει τελείως διαφορετικά αποτελέσματα. Εξαιτίας αυτού του προβλήματος, είναι σημαντικό τα αποτελέσματά μια AKZ ενός ερευνητή να μπορούν να αξιολογηθούν και να συγκριθούν με άλλες AKZ ενός άλλου. Υπάρχουν διάφορα εργαλεία ανάλυσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αξιολογηθεί η εγκυρότητα μιας ολοκληρωμένης AKZ και η ποιότητα των πολλαπλών AKZ για το ίδιο θέμα. Οι *αλγόριθμοι προσέγγισης* είναι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν τα λογισμικά Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, ώστε να βρεθούν προσεγγιστικές λύσεις για την βελτίωση των προβλημάτων. Οι *προσεγγιστικές λύσεις* χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν τις φάσεις του κύκλου ζωής που έχουν τις μεγαλύτερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Συνεπώς ένας ερευνητής αντί της υποβολής εκθέσεων για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, μπορεί να συγκρίνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από διάφορες διαδικασίες και να τονίσει τη διαδικασία με το υψηλότερο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη. Μια προσεγγιστική ανάλυση θα μπορούσε να είναι η ανάλυση συνεισφοράς η οποία συγκρίνει τα περιβαλλοντικά φορτία που μεταφέρονται από την μία διεργασία στην άλλη. Για παράδειγμα η σχετική επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα και του διοξειδίου του θείου θα μπορούσε να συγκριθεί με βάση τη λειτουργική μονάδα, για να προσδιορίσει ποια κατηγορία εκπομπής χρειάζεται τη μεγαλύτερη προσοχή. Η ανάλυση αβεβαιότητας δείχνει ότι απροσδιόριστοι παράγοντες σε μια περιοχή δεδομένων, σε μια συγκεκριμένη ροή ή διαδικασία θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα σε όλο το φάσμα της μελέτης. Η ανάλυση αβεβαιότητας είναι σημαντική γιατί ένα μοντέλο AKZ επιτρέπει μόνο τη χρήση των ενιαίων κέντρων δεδομένων σε μια στιγμή ενώ η ανάλυση της αβεβαιότητας παρέχει έναν τρόπο να ενσωματώσει στοιχεία από άλλες πηγές που πρέπει να εξεταστούν. Αντίθετα η ανάλυση ευαισθησίας χρησιμοποιείται όταν μόνο μία τιμή είναι διαθέσιμη για μια ροή ή διαδικασία, και μια πιθανή σειρά από άλλες τιμές θα πρέπει να διερευνηθούν για να συγκριθεί ο αντίκτυπος των τιμών αυτών. Όταν αρκετές AKZ είναι υπό έλεγχο, η ευαισθησία και η ανάλυση αβεβαιότητας μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να ποσοτικοποιηθούν και να απεικονίσουν τις διαφορές μεταξύ των μελετών καθώς και τους λόγους για τους οποίους προκύπτουν αυτές τις διαφορές. Τέτοια εργαλεία είναι ζωτικής σημασίας για την εξάλειψη των αδυναμιών στοιχείων των μοντέλων AKZ και τη δημιουργία πιο χρήσιμων μοντέλων στο μέλλον (Bauman et al,2004).

1.8 Ανάλυση Κύκλου Ζωής στις Κατασκευές

Τα οικοδομικά υλικά αποτελούν ένα σημαντικό ποσοστό των πόρων που οι άνθρωποι χρησιμοποιούν σήμερα. Μέχρι το τέλος του 20ου αιώνα, περίπου το 75% όλων των υλικών κατανάλωσης στις Ηνωμένες Πολιτείες αποτελούνταν από οικοδομικά υλικά, και αυτός ο αριθμός δεν περιλαμβάνει καν τα βιομηχανικά ορυκτά, όπως το τσιμέντο που χρησιμοποιείται στο σκυρόδεμα.

Παρά το γεγονός ότι τα υλικά κατανάλωσης έχουν αυξηθεί πολύ πιο γρήγορα στον υπόλοιπο κόσμο από ό, τι στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι ΗΠΑ εξακολουθούν να κατέχουν την πρωτιά αφού σε αυτές καταναλώνεται περίπου το ένα τρίτο των υλικών του κόσμου. Το 1995 τα υλικά κατανάλωσης αντιστοιχούν σε 2.800 εκατομμύρια μετρικούς τόνους. Αυτό αντιστοιχεί σε τουλάχιστον 2,1 δισεκατομμύρια μετρικούς τόνους δομικών υλικών για τις ΗΠΑ και μόνο το 8% των υλικών αυτών χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το Worldwatch Institute ως ένα παγκοσμίως γνωστό κέντρο περιβαλλοντικής έρευνας που εδρεύει στην Ουάσινγκτον εκτιμά ότι η παγκόσμια κατασκευή κτιρίων είναι υπεύθυνη για το 40% των λίθων - άμμου και χαλκιών, το 40% της ενέργειας, και το 16% του νερού που χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Τα κτίρια καταναλώνουν το μισό της συνολικής ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης και εκπέμπουν τη μισή ετήσια παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα σε όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Παρά το γεγονός ότι ο χάλυβας είναι σε μεγάλο βαθμό ανακυκλώσιμος πόρος, που παράγεται με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις, δομικά υλικά όπως το σκυρόδεμα είναι πιο δύσκολο να ανακυκλωθούν, και έτσι ως μη ανανεώσιμοι πόροι συμβάλλουν περισσότερο στην παγκόσμια συνολική κατανάλωση υλικών (Matos et al,2010;Smith et al,2015).

Λόγω των πολλών καινοτομιών για την μείωση της χρήσης ενέργειας κατά τη φάση λειτουργίας του κτιρίου, η ενσωματωμένη ενέργεια οφείλεται σε υλικά ενός κτιρίου και η κατασκευή περιλαμβάνει ένα μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής ενέργειας ενός κτιρίου κατά τη διάρκεια ζωής του. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να διερευνηθεί η ενσωματωμένη ενέργεια των δομών και να καθοριστούν μέθοδοι για τη μείωση αυτής της ενέργειας με τον ίδιο τρόπο που η λειτουργική ενέργεια έχει ήδη μειωθεί. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με την αλλαγή του δομικού συστήματος του κτιρίου με στόχο να χρησιμοποιούν διαφορετικά ή λιγότερα υλικά κατασκευής. Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής είναι ένα σημαντικό εργαλείο για να βοηθήσει τους πολιτικούς μηχανικούς να κατανοήσουν πώς μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της ενσωματωμένης ενέργειας της κάθε δομής με την χρήση των κατάλληλων δομικών υλικών. Οι δυνατότητες για την αλλαγή των προτύπων στον δομικό σχεδιασμό λόγω των συμπερασμάτων που αντλήθηκαν από την AKZ μιας κατασκευής θα μπορούσε να είναι σημαντικές.

Οι μελέτες AKZ έχουν την τάση να επικεντρώνονται σε οικιστικές ή εμπορικές κατασκευές. Επειδή αυτοί οι δύο τύποι κατασκευών έχουν διαφορετικές στατικές δομές και κατανάλωση ενέργειας είναι σημαντικό να

μελετηθούν χωριστά. Οι κατασκευές από σκυροδέμα και χάλυβα, μαζί με την ξυλεία, είναι οι δύο πιο συνηθισμένοι τρόποι κατασκευής και τα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευαστική βιομηχανία. Υπάρχει μια μεγάλη διαφορά όμως μεταξύ των ερευνητών σχετικά με το ποια από αυτά τα υλικά είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον. Η βιομηχανία του χάλυβα και του σκυροδέματος δια μέσω εκστρατείας για την αποδοχή των υλικών τους, και μέσω ερευνών που πραγματοποιούν υποστηρίζουν πως αυτά είναι η πιο βιώσιμη επιλογή. Οι έρευνές τους όμως σε αυτό το θέμα δεν είναι πάντοτε και οι πιο αντικειμενικές. Μια ματιά στο φάσμα των μελετών που πραγματοποιούνται σε κατασκευαστικές δομές μέχρι σήμερα αποκαλύπτει προκαταλήψεις, ανακολουθίες στα στοιχεία, και ανεξήγητα αποτελέσματα. Οι αριθμοί είναι ακόμη λιγότερο αξιόπιστοι για τις εμπορικές κατασκευές, επειδή πολύ λιγότερες συγκρίσιμες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί. Το ζήτημα του σκυροδέματος έναντι του χάλυβα σε εμπορικά κτίρια απαιτεί μια πιο εκτεταμένη έρευνα ώστε να μπορέσει να απαντηθεί οριστικά το ερώτημα. (Weisenberger ; Worrell et all,1999).

Η AKZ στις Κατασκευές (Asdubali et all, 2013) βασίζεται στα εξής βασικά σημεία:

- την μελέτη του συνόλου του κύκλου ζωής της κατασκευής που περιλαμβάνει την εξόρυξη, την επεξεργασία των πρώτων υλών, την παραγωγή και τη χρήση έως την ανακύκλωση ή τη διάθεσή τους.
- τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στον αέρα, το νερό και το έδαφος, τις εκπομπές, τα απόβλητα και την κατανάλωση των πρώτων υλών ή τη χρήση γης, διαδικασιών που συνδέονται με τον κύκλο ζωής της κατασκευής.
- Την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των περιβαλλοντικό προσανατολισμό στις αποφάσεις των κατασκευαστών.

Σύμφωνα με (Franca et all,2012) ο κύκλος ζωής μιας τυπικής Βρετανικής μονοκατοικίας 50 ετών περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια :

Την Κατασκευή : περιλαμβάνει την εξαγωγή και την παραγωγή των δομικών υλικών, των καυσίμων, τη μεταφορά, μέσω της αλυσίδας εφοδιασμού και την κατασκευή του σπιτιού.

Χρήση της κατασκευής : περιλαμβάνει την κατανάλωση νερού και ενέργειας για την θέρμανση των χώρων και του νερού, το μαγείρεμα, το φωτισμό και την χρήση οικιακών συσκευών. Τις δραστηριότητες συντήρησης, της κατασκευής όπως αντικατάσταση των παραθύρων, θυρών και των επενδύσεων των δαπέδων.

Τελικό στάδιο κύκλου ζωής της κατασκευής : περιλαμβάνει την κατεδάφιση της κατασκευής, την διαχείριση των αποβλήτων κατεδαφίσεων και δραστηριότητες όπως η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση και υγειονομική ταφή των αποβλήτων από κατασκευές.

Η διάρκεια ζωής ενός σπιτιού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, γεγονός που το καθιστά ως μια δύσκολη παράμετρο τυποποίησης. Συνεπώς για τους σκοπούς της έρευνας, πολλοί συγγραφείς έχουν θεωρήσει την επαρκή διάρκεια ζωής των 50 ετών ως βασική παράμετρο της διάρκειας ζωής μιας κατασκευής.

1.9 Πολυκριτηριακή ανάλυση και επιλογή δομικών υλικών σε μία κατασκευή - MCDA (Multi Criteria Decision Analysis)

Η επιλογή δομικών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν σε μία κατασκευή αποτελεί μία σημαντική απόφαση. Η προσεκτική επιλογή βιώσιμων δομικών υλικών έχει αναγνωριστεί για τους σχεδιαστές ως ο ευκολότερος τρόπος για την ενσωμάτωση βιώσιμων αρχών σε κτιριακά έργα και θεωρείται ως ένα πρόβλημα πολλαπλών κριτηρίων απόφασης. Είναι μία μέθοδος που βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην εμπειρία και όχι στην αριθμητική προσέγγιση λόγω έλλειψης τυπικών κριτηρίων μέτρησης. Στην αξιολόγηση της βιωσιμότητας ενσωματώνονται κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά ζητήματα σε κάθε στάδιο λήψης αποφάσεων (Akadiri et al,2012;Civic et al,2013;Drejeris et al,2014).

1.10 Σκοποί - στόχοι – πεδίο εφαρμογής

Ο στόχος της αξιολόγησης του κύκλου ζωής εξαρτάται από τον τύπο της AKZ που θα επιλεγεί. Ο ερευνητής οφείλει να γνωρίζει ποια δομή έχει μικρότερη επίπτωση στο περιβάλλον από τους ομολόγους του, ή πώς μια δομή θα μπορούσε να βελτιωθεί για να μειώσει τις επιπτώσεις αυτές. Θα πρέπει επίσης να δοθεί ένας στόχος στη μελέτη, είτε πρόκειται για πελάτη μιας εταιρείας, ένα δημόσιο οργανισμό ή το ευρύ κοινό. Κοινό πεδίο είναι ο ορισμός μιας λειτουργικής μονάδας, η οποία θα είναι η μονάδα που αναλύεται σε όλα τα στάδια της AKZ και στην οποία όλες οι εισροές και εκροές ποσοτήτων προσαρμόζονται. Αν δύο ή περισσότερα στοιχεία συγκρίνονται, οι λειτουργικές μονάδες τους θα πρέπει να είναι οι ίδιες. Δεν θα είχε νόημα να αναλύσουμε ένα σπίτι που βρίσκεται στο Λονδίνο με ένα άλλο στην Αθήνα, επειδή τα οικοδομικά υλικά και το κόστος των καυσίμων για τη μεταφορά των εν λόγω υλικών θα είναι διαφορετικά σε κάθε πόλη. Επίσης, δεν θα είχε νόημα να δημιουργήσουμε μέσω ενός λογισμικού, μια AKZ μιας οικίας και μια AKZ για ένα μεγάλο κτίριο γραφείων και να εξάγουμε ασφαλές συμπεράσματα, επειδή τα εν λόγω κτίρια έχουν διαφορετικές χρήσεις. Θα

ήταν παραπλανητικό να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι ένα κτίριο γραφείων έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις χειρότερες από ένα σπίτι του ίδιου μεγέθους, διότι έχει μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, επειδή υπάρχουν λόγοι για την εν λόγω χρήση της ενέργειας με βάση το σκοπό της κατασκευής. Μια ΑΚΖ τέτοια θα μπορούσε να είναι αποδεκτή και χρήσιμη εάν δημιουργείται αυτόνομα για την κάθε κατασκευή, αλλά είναι απαράδεκτο να συγκριθούν μεταξύ τους.

Η έρευνα στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος μπορεί να περιλαμβάνει πολλές περιπτώσεις μεμονωμένων ροών. Ανάλογα με το στόχο, το πεδίο εφαρμογής και το χρονοδιάγραμμα του έργου, ο ερευνητής μπορεί να μην συμπεριλάβει κάθε ροή με λεπτομέρειας ή μπορεί να ενδιαφέρεται μόνο για συγκεκριμένες φάσεις του κύκλου ζωής του. Έτσι τα όρια σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να καθορίζονται. Μια μελέτη της διαδικασίας παραγωγής σκυροδέματος μπορεί ή δεν μπορεί να περιλαμβάνει πόρους για κεφάλαια, όπως ένα μηχάνημα που κάνει το τσιμέντο ή τον εξοπλισμό επεξεργασίας υλικών. Επίσης, μπορεί ή δεν μπορεί να περιλαμβάνει στοιχεία σχετικά με το πώς τα υποπροϊόντα ανακυκλώνονται για άλλους σκοπούς, ένα θέμα που είναι γνωστό ως κατανομή και που θα μπορούσαν να μειώσουν ή να αυξήσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του σκυροδέματος.

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα μπορεί να φτάσει μέχρι και το 40% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης μιας βιομηχανοποιημένης χώρας. Στις ευρωπαϊκές χώρες, η εθνική νομοθεσία και οι κοινοτικές οδηγίες έχουν εισάγει πρόσφατα όρια και περιορισμούς σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια, καθώς και απαιτήσεις για την ενεργειακή πιστοποίηση σε παλαιά και νέα κτίρια. Μεγάλη σημασία πλέον δίνεται στην φάση της κατασκευής, μια φάση κατά την οποία δεν δινόταν η απαραίτητη προσοχή στις προηγούμενες δεκαετίες. Τώρα δίνεται μεγαλύτερη προσοχή στην ενσωματωμένη ενέργεια του κτιρίου καθώς και της δυνατότητας ανακύκλωσης των δομικών του υλικών στο τέλος της ζωής του.

2.2 Ιστορική Αναδρομή

Από τη δεκαετία του 1960 και του 1970 (Jencen et all,1997;Bayer et all 2010) χρονολογούνται οι πρώτες μελέτες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις με επίκεντρο την αξιολόγηση ή σύγκριση των καταναλωτικών αγαθών με μια μικρή συνεισφορά στη φάση της χρήσης. Στις αρχές της δεκαετίας του '80 εμφανίζεται η συνεκτίμηση του κύκλου ζωής στον κατασκευαστικό τομέα με έμφαση στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε αυτές τις πρώιμες έρευνες εφαρμόζονται αποκλίνουσες μέθοδοι, προσεγγίσεις, ορολογίες και αποτελέσματα. Υπήρξε όμως μία σαφής έλλειψη επιστημονικής συζήτησης και συναίνεσης όσον αφορά την AKZ και της τεχνικής που θα εφαρμοστεί για της ανάγκες της αγοράς με αποτέλεσμα να εμποδίσουν την AKZ να γίνει μία γενικά αποδεκτή μέθοδος εφαρμογής και ένα αναλυτικό επιστημονικό εργαλείο.

Η δεκαετία του 1990 είναι πλέον η περίοδος της τυποποίησης, της οργάνωσης των εργαστηρίων και της δημοσίευσης πολλών επιστημονικών εργασιών και εγχειριδίων. Τη δεκαετία αυτή έτσι η Κοινότητα της Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) ανέλαβε ηγετικό και συντονιστικό ρόλο φέρνοντας σε επαφή τους ενασχολημένους με την AKZ και δημιούργησε για πρώτη φορά εναρμονίζοντας το πλαίσιο, την μεθοδολογία και την ορολογία, τον «Κώδικα

Πρακτικής» SETAC. Το 1994 ιδρύθηκε ο Διεθνής οργανισμός τυποποίησης (ISO) που με την δημοσίευση του το 1997 για το πρότυπο της σειράς ISO 14040 είχε ως αποτέλεσμα την τυποποίηση, την δημιουργία ενός γενικού μεθοδολογικού πλαισίου και συνεπώς την ευκολότερη διαδικασία σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών AKZ. Είναι σημαντικό όμως να επισημάνουμε ότι παρόλο τις παραπάνω αξιολογες προσπάθειες ακόμα δεν υπάρχει ενιαία μέθοδος για την διεξαγωγή AKZ (Buyle,2013; Jencen et all,1997) .

Με την είσοδο του 21ου αιώνα το ενδιαφέρον για AKZ των υλικών έχει αυξηθεί ραγδαία, ενώ αποτελεί σημαντικό κομμάτι στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής πολιτικής όπως αποδεικνύεται από την ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχετικά με την Ολοκληρωμένη Πολιτική Προϊόντων (Integrated Product Policy - IPP). Ένα άμεσο αποτέλεσμα της ΟΠΠ, είναι η ανάπτυξη του Διεθνούς Εγχειριδίου Δεδομένων του Κύκλου Ζωής (Reference Life Cycle Data System Handbook (ILCD)) ένα πρακτικό οδηγό για την AKZ σύμφωνα με την τρέχουσα βέλτιστη πρακτική που δημοσιεύτηκε συμπληρωματικά το 2010 με την σειρά προτύπων ISO 14040. Εκτός από την σειρά προτύπων ISO 14040 την τελευταία δεκαετία υπήρξαν όμως και εξελίξεις ειδικά στον τομέα των κατασκευών. Το 2003 η Ένωση της Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) δημοσίευσε μία έκθεση για την αξιολόγηση του κύκλου ζωής σε κτίρια και κατασκευές σε σχέση με τον Κύκλο Ζωής τους. Η μελέτη αναδεικνύει τις διαφορές μεταξύ της γενικής προσέγγισης της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής (LCA) και της Διαχείρισης του Κύκλου Ζωής (LCAs) των κτιρίων. Η τυποποίηση συνεχίστηκε με δύο κορυφαίες διοργανώσεις, το Διεθνή Οργανισμό τυποποίησης ISO (International Organization for Standardization) που δημοσίευσε τέσσερα πρότυπα που περιγράφουν ένα πλαίσιο για την διερεύνηση της βιωσιμότητας των κτιρίων και την Περιβαλλοντική Δήλωση Προϊόντος EPS (Environmental Product Declaration) και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CEN (European Committee for Standardization) η οποία αναπτύσσει πρότυπα για την αξιολόγηση και στις τρεις πτυχές της βιωσιμότητας (οικονομική, οικολογική και κοινωνική) τόσο για τις νέες όσο και για τις υφιστάμενες κατασκευές έργων και τη διευκόλυνση της ένταξης των δομικών υλικών στην Περιβαλλοντική Δήλωση Προϊόντος (Buyle,2013; Bayer et all 2010).

2.3 Μέθοδοι Περιβαλλοντικής Αξιολόγησης

Οι μέθοδοι περιβαλλοντικής αξιολόγησης δομικών υλικών (Δημιούδη,2006;Μπίκας,2010) χρησιμοποιούν διαφορετικές παραμέτρους αξιολόγησης και για κάθε παράμετρο, διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας και διακρίνονται:

- i) Σε αυτές που η αξιολόγηση των δομικών υλικών βασίζεται στην φιλικότητά τους στο περιβάλλον και πραγματοποιούνται με σήμανση ή βαθμολόγηση και

- ii) Σε αυτές που χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση και αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των δομικών υλικών μέσω της μεθόδου ανάλυσης του κύκλου ζωής των υλικών (Life Cycle Analysis – LCA)

Οι κύριοι παράμετροι αναφέρονται σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των δομικών υλικών και περιλαμβάνουν:

- Εξόρυξη των πρώτων υλών και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις
- Διαθεσιμότητα των πρώτων υλών
- Βαθμός Ανάκτησης των πρώτων υλών
- Κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή δομικών υλικών
- Προσδιορισμός παραγωγής αποβλήτων και απορριμμάτων κατά το στάδιο της παραγωγής και ποσοστό ρύπανσης που προκαλείται

2.3.1 Μέθοδος EPM (Environmental Preference Method, 1991)

Η μέθοδος βασίζεται στην ποιοτική κατάταξη των δομικών υλικών και χρησιμοποιήθηκε με μεγάλη επιτυχία στην Ολλανδία από τους τοπικούς δήμους για την δημιουργία προδιαγραφών για δομικά υλικά στις κατασκευές καθώς και από εταιρίες δομικών υλικών για την αξιολόγηση και κατάταξη των δομικών τους προϊόντων. Η μέθοδος περιλαμβάνει τέσσερις κατηγορίες προτίμησης δομικών υλικών ανάλογα με την φιλικότητά τους στο περιβάλλον, με κλίμακα διαβάθμισης από το 1 έως 4. Η προτίμηση 1 χαρακτηρίζεται ως η “μέγιστη φιλική προς το περιβάλλον” ενώ η προτίμηση 4 ως “μη περιβαλλοντικά φιλική”. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε νέες κατασκευές αλλά και σε ανακαινίσεις κτιρίων και δίνει την δυνατότητα της επιλογής στο χρήστη των δομικών υλικών της προτίμησής του σε όλα τα στάδια της κατασκευής (Jaques,1998;Jonsson 1999).

Τα υλικά αξιολογούνται ως προς :

- Την επάρκεια των πρώτων υλών και την περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εξόρυξη και συλλογή τους
- Την κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή των δομικών υλικών και την ενέργεια που απαιτείται για την μεταφορά τους και χρήση.
- Την κατανάλωση νερού κατά την παραγωγή, την ηχητική ρύπανση καθώς και την ρύπανση από οσμές
- Τις επικίνδυνες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που οδηγούν στην υπερθέρμανση του πλανήτη

- Της επιπτώσεις σε θέματα υγείας
- Την δυνατότητα επισκευής και επαναχρησιμοποίησης τους
- Τα τελικά απόβλητα

2.3.2 Σύστημα αξιολόγησης Δομικών Υλικών BMAS (Building Material Assessment System, 1994)

Με βάση ενός οικολογικού δείκτη που προκύπτει μετά από την αξιολόγηση διάφορων περιβαλλοντικών παραμέτρων τα δομικά υλικά αξιολογούνται ποσοτικά σύμφωνα με το σύστημα Αξιολόγησης Δομικών Υλικών BMAS. Η οικολογική τιμή ενός δομικού στοιχείου προκύπτει από το άθροισμα των ποσοτήτων των δομικών υλικών. Όταν τα επιμέρους αθροίσματα των δομικών στοιχείων αθροιστούν μας δίνουν την συνολική βαθμολογία της περιβαλλοντικής επίπτωσης των δομικών υλικών του κτιρίου (Larriba et al,2010; Δημούδη,2006;Lawson,1995).

2.3.3 Οικολογική αειφορία Δομικών Υλικών, BMES (Building Material Ecological Sustainability, 1995)

Είναι και αυτή μία ποσοτική μέθοδο αξιολόγησης (Δημούδη,2006). και η διαφορά της με τη μέθοδο BMAS είναι ότι γίνεται αποτίμηση ολόκληρου του κύκλου ζωής των δομικών υλικών. Με την μέθοδο οικολογικής αειφορίας Δομικών Υλικών BMES, τα δομικά υλικά αξιολογούνται βάσει 16 περιβαλλοντικών κριτηρίων με αναφορά στο όλο κύκλο ζωής τους και τα οποία ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες και αφορούν:

- Την ανάλωση πρώτων υλών
- Την ρύπανση που προκαλείται
- Την εμπεριεχόμενη ενέργεια των δομικών υλικών

Αθροίζοντας τους επιμέρους περιβαλλοντικούς δείκτες υπολογίζουμε την συνολική βαθμολογία αξιολόγησης και συνεπώς την αξιολόγηση όλου του κτιρίου για ολόκληρο τον κύκλο ζωής των δομικών υλικών.

2.3.4 Περιβαλλοντικός έλεγχος δομικών υλικών, EBM (Environmental Building Material)

Η μέθοδος του Περιβαλλοντικού ελέγχου δομικών υλικών EBM, βασίζεται στη ιεραρχική διαίρεση του συνολικού κύκλου ζωής των δομικών υλικών σε 4 βήματα αξιολόγησης :

- 1^ο κατασκευής και χρήσης
- 2^ο εξόρυξης και παραγωγής πρώτων υλών
- 3^ο βιομηχανικής παραγωγής δομικών υλικών
- 4^ο επαναχρησιμοποίησης ή απόθεσης

Η μέθοδος (Fucushima,2001;Δημούδη,2006) δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στην κατασκευή και χρήση του κτιρίου και το κατατάσσει αρχικά στο 1^ο στάδιο. Ακολουθεί ιεραρχικά το στάδιο της εξόρυξης και παραγωγής πρώτων υλών δεδομένου ότι η κατασκευή καταναλώνει μεγάλες ποσότητες πρώτων υλών. Ως επόμενο είναι το στάδιο βιομηχανικής παραγωγής δομικών υλικών κατά το οποίο παράγονται εκπομπές αερίων και καταναλώνεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Τελευταίο σε βαρύτητα είναι το στάδιο επαναχρησιμοποίησης ή απόθεσης υλικών, που περιλαμβάνει την κατεδάφιση και απομάκρυνση των οικοδομικών υλικών, την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης τους και τελικά την δημιουργία οικοδομικών απορριμμάτων.

Κατά περίπτωση ορισμένα υλικά είναι πιθανό να οδηγήσουν σε μετατόπιση της βαρύτητας τους όπως τα συνθετικά υλικά που πιθανός να έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα οι επιβαρύνσεις που δημιουργούν κατά το στάδιο της βιομηχανικής παραγωγής ενώ αντίθετα για τα ξύλινα δομικά υλικά μεγαλύτερη βαρύτητα πιθανόν δύνεται στο στάδιο της απομάκρυνσης ή ανακύκλωσης τους λόγω των τοξικών συντηρητικών που περιέχουν.

2.3.5 Ανάλυση της Εμπεριεχόμενης Ενέργειας, EEA (Environmental Energy Analysis)

Η μέθοδος της Ανάλυσης της Εμπεριεχόμενης Ενέργειας EEA (Lindah et all,2000) είναι η μέθοδος κατά την οποία υπολογίζεται η ενέργεια που καταναλώνεται σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός δομικού υλικού με στόχο:

- τον προσδιορισμό ποσοτικά και ποιοτικά του ποσού της ενέργειας που απαιτείται για μειωθούν οι τιμές της και συνεπώς να βελτιωθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της
- τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την κατανάλωση της ενέργειας

Η ενέργεια που εμπεριέχεται σε ένα δομικό υλικό μπορεί να υπολογιστεί με διάφορες μεθόδους όπως:

- Η απευθείας μέτρηση (Process Analysis)
- Η μέθοδος εισροών – εκροών (input – outputs)

2.3.6 Building Materials Index – UK

Παρέχει πληροφορίες (Department BIS UK,2015) σχετικά με επιλεγμένα οικοδομικά υλικά και περιέχει μηνιαία στοιχεία για τους δείκτες τιμών όπως τα τούβλα, τσιμέντο και τσιμεντόλιθους και τριμηνιαία στοιχεία για την άμμο, το χαλίκι, το σχιστόλιθο, το σκυρόδεμα, και τα κεραμίδια.

2.3.7 Μέθοδος απονομής οικολογικού σήματος σε δομικά υλικά (Eco-labeling, 1995)

Το Ευρωπαϊκό Σύστημα Απονομής Οικολογικού Σήματος Eco-labeling (Ball,2001) άρχισε να εφαρμόζεται το 1992 όχι όμως για δομικά υλικά καταρχήν. Τον Ιανουάριο του 1995 ψηφίστηκαν τα πρώτα ειδικά οικολογικά κριτήρια σε ότι αφορά τα δομικά υλικά και αφορούσαν χρώματα και βερνίκια εσωτερικού χώρου. Έως τώρα οι κατηγορίες των δομικών προϊόντων για τα οποία κριτήρια έχουν ήδη ψηφιστεί, είναι τα βερνίκια και οι μπογιές εσωτερικών χώρων, οι σκληρές επενδύσεις δαπέδων (πλακίδια μωσαϊκού , κεραμικά πλακίδια, αργιλικά πλακίδια, οι φυσικές πέτρες, οι συσσωματωμένοι λίθοι, οι πλάκες σκυροδέματος και τα μονωτικά υλικά.

Το Οικολογικό Σήμα το οποία αναπαριστά ένα λουλούδι με 12 αστέρια δίδεται στα προϊόντα από τα οποία προκύπτουν οι μικρότερες επιπτώσεις για το περιβάλλον. Τα οικολογικά κριτήρια κάθε προϊόντος καθορίζονται με βάση τη μελέτη ολόκληρου του κύκλου ζωής του, δηλαδή της εξόρυξης της πρώτης ύλης, της παραγωγής, της διανομής και χρήσης και τέλος της καθαίρεσης και διάθεσης τους στο περιβάλλον.

Τα οικολογικά κριτήρια δεν είναι θεωρητικά αλλά προκύπτουν ύστερα από μελέτη των αλληλεπιδράσεων όλων των παραγόντων του κάθε προϊόντος, με το περιβάλλον. Για την πιστοποίηση των προϊόντων, το Eco Labeling system λαμβάνει υπόψη ορισμένους περιβαλλοντικούς παράγοντες που αφορούν όλα τα στάδια της ζωής του προϊόντος από την εξόρυξη των πρώτων υλών έως και την τελική διάθεση και το τέλος της ζωής του όπως :

- την διαχείριση των φυσικών πόρων και την προστασία του εδάφους,
- την ποιότητα των υδάτων και του αέρα,
- την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία από την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη
- την περιβαλλοντική ασφάλεια και την βιοποικιλότητα
- τον θόρυβο κ.α.

Υπεύθυνος Ευρωπαϊκός φορέας για την απονομή του Οικολογικού σήματος είναι το Συμβούλιο Οικολογικής Σήμανσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EUEB) και για την Ελλάδα αρμόδιο φορέας είναι το Ανώτατο Συμβούλιο Απονομής Οικολογικού Σήματος (ΑΣΑΟΣ). Η μεγάλη καινοτομία του Ευρωπαϊκού Οικολογικού

σήματος είναι η Ευρωπαϊκή του διάσταση διότι εάν ένα προϊόν πάρει έγκριση από τον Αρμόδιο Φορέα ενός Κράτους Μέλους μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στα υπόλοιπα κράτη μέλη. Τα οικολογικά κριτήρια ισχύουν για τρία χρόνια και στην συνέχεια μπορούν να αναθεωρηθούν.

Στο παγκόσμιο περιβάλλον όμως και άλλες χώρες προχώρησαν στην απονομή οικολογικών σημάτων σε δομικά υλικά φιλικά προς το περιβάλλον όπως οι ΗΠΑ με το "Green Seal" (Wagner,2012;Polak et all,2000;Digeon,2012;Guo et all,2015), ο Καναδάς με το "Environmental Choice", η Ιαπωνία με το "Eco Mark" κ.α. Όμως η απόκτηση κάποιου γενικού σήματος πιστοποίησης π.χ ISO δεν εξασφαλίζει απαραίτητα και την περιβαλλοντική ταυτότητα του προϊόντος. Γι'αυτό ο Παγκόσμιος Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) προχώρησε στην έκδοση ενός νέου διεθνούς προτύπου το ISO 21930-2007 / Sustainability in Building Construction –Environmental Declaration of Building format (ISO,2015;Méquignon et all,2015) που δίνει σημαντικές πληροφορίες στους κατασκευαστές δομικών υλικών και σε όλους τους εμπλεκόμενους στην κατασκευαστική βιομηχανία. Το ISO 21930-2007 προσπαθεί να εξασφαλίσει την διαδικασία κατά την οποία ένα οικοδομικό υλικό ή κτίριο θα χαρακτηρίζεται οικολογικό.

2.3.8 Μέθοδος SIA (Social impact assessment)

Η μέθοδος διερεύνησης των Κοινωνικών επιπτώσεων SIA (Vanclay,2001;Burdge et all,1996) συχνά πραγματοποιείται ως μέρος ή σε συνδυασμό με μια εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αλλά δεν έχει ακόμη υιοθετηθεί ευρέως ως Περιβαλλοντική Αξιολόγηση σε επίσημα συστήματα σχεδιασμού. Συχνά παίζει μικρό ρόλο στις συνδυασμένες περιβαλλοντικές και κοινωνικές εκτιμήσεις.

2.3.9 Περιβαλλοντικός χαρακτηρισμός δομικών υλικών και προϊόντων GreenPro

Η μέθοδος GreenPro ενσωματώνει τις αρχές μιας ανάλυσης κύκλου ζωής (AKZ), μέσα σε ένα επίσημο πλαίσιο διαδικασίας σχεδιασμού και βελτιστοποίησης. Η προτεινόμενη μεθοδολογία σχεδιασμού, διαδικασία με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις εκτείνεται σε μια πλήρη περιγραφή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, της διαδικασίας και των συναφών δραστηριοτήτων του. Έχει καλές δυνατότητες εφαρμογής της πραγματικής ζωής καθώς περιλαμβάνει περιβαλλοντικούς στόχους μαζί με την τεχνολογία και την οικονομία στο στάδιο του σχεδιασμού, έτσι ώστε να καθοριστεί μια οικονομικά αποδοτική λύση. Περαιτέρω, με τη χρήση τεχνικών μοντελοποίησης και βελτιστοποίησης των διαδικασιών, αποδίδει ιδανικές συνθήκες σχεδιασμού / λειτουργίας με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η μεθοδολογία GreenPro (Khan et al,2001;2002;Sadiq et all 2005) βασίζεται στην αξιολόγηση του κύκλου ζωής μιας διαδικασίας εντός ενός παγκόσμιου συστήματος. Ο αλγόριθμος της μεθοδολογίας GreenPro περιλαμβάνει τέσσερα βασικά βήματα, τα οποία αναφέρονται ως:

- *Βήμα 1* - AKZ της επιλεγμένης διαδικασίας
- *Βήμα 2* - Τυποποίηση του σχεδιασμού και βελτιστοποίηση στο πλαίσιο της AKZ
- *Βήμα 3* - Πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση (MO) σε περιβαλλοντικά και οικονομικά κριτήρια
- *Βήμα 4* - Πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων και επιλογή της καλύτερης συμβιβαστικής λύσης.

2.3.10 Μέθοδος ανάλυσης κύκλου ζωής (Life Cycle Analysis, LCA)

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Proietti et all, 2013;Lotteau et all,2015;Turk et all,2015; Heede et all,2012) είναι μια μέθοδος αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που συνδέεται με ένα προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα, προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, εκτιμώντας τις επιπτώσεις από την χρήση και την ενέργεια των υλικών ενώ ταυτόχρονα προσπαθεί να εντοπίσει και να αξιολογήσει τις ευκαιρίες και δυνατότητες για περιβαλλοντικές βελτιώσεις. Η εφαρμογή της μεθόδου AKZ δεν εγγυάται τη μείωση των εκπομπών αερίων ή την κατανάλωση ενέργειας, αλλά τονίζει τα αδύνατα σημεία της παραγωγικής διαδικασίας και τον πιθανό εντοπισμό βελτιώσεων της τεχνολογίας και της διαχείρισης στην προοπτική της αιεφόρου ανάπτυξης. Η AKZ είναι ένα επιστημονικό μοντέλο, με το οποίο επιδιώκεται η απλοποίηση ενός φυσικού συστήματος, και ως εκ τούτου, μια πλήρης αναπαράσταση της επίδρασης στο περιβάλλον, ενώ η ακρίβειά της εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα, την προσβασιμότητα και την ποιότητα των σχετικών πληροφοριών.

Επιπλέον, η προσωπική επιλογή ορισμένων παραμέτρων κατά την διαδικασία μιας AKZ πρέπει να σημειωθεί. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες, τις διαδικασίες, και τα υποπροϊόντα που συνδέονται με το σύστημα που αναλύθηκαν, συμπεριλαμβανομένης της επεξεργασίας των πρώτων υλών, της παραγωγής, της συντήρησης, της ανακύκλωσης και της τελικής διάθεσης.

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14040 και 14044 (Klöppfer,2012;Zhang,2014) μια μελέτη Ανάλυσης Κύκλου Ζωής χωρίζεται σε τέσσερις κύριους τομείς:

- i) *Στόχος και πεδίο ορισμού*: σε αυτή τη φάση περιγράφονται το προϊόν, τα όρια του συστήματος και τα δεδομένα των πηγών. Επίσης ορίζεται η λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιείται στην ανάλυση.

- ii) *Απογραφής Κύκλου Ζωής (LCI - Life Cycle Inventory)*: ένας στόχος και μια διαδικασία βασισμένη στην ποσοτικοποίηση των απαιτήσεων των πρώτων υλών ενέργειας, των ατμοσφαιρικών εκπομπών, υγρά και στερεών αποβλήτων και άλλες περιβαλλοντικές εκροές που προκύπτουν καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, διαδικασίας ή δραστηριότητας.
- iii) *Ανάλυση των επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment – LCIA)*: μια τεχνική, ποσοτική και ποιοτική διαδικασία για τον χαρακτηρισμό και την εκτίμηση των επιπτώσεων των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων..
- iv) *Βελτίωση του Κύκλου Ζωής*: μια συστηματική αξιολόγηση των αναγκών και των δυνατοτήτων για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που σχετίζονται με την ενέργεια και τη χρήση των πρώτων υλών και των εκπομπών των αποβλήτων σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας ή δραστηριότητας.

2.4 Η ανάλυση του Κύκλου Ζωής στην οικοδομική βιομηχανία

2.4.1 Εφαρμογές της ανάλυσης κύκλου ζωής για την επιλογή των προϊόντων δομικών κατασκευών

Αρκετές μελέτες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής έχουν πραγματοποιηθεί έως σήμερα όσον αφορά την περιβαλλοντική αξιολόγηση των δομικών υλικών. Ο στόχος τους είναι να ενεργοποιήσουν την επιλογή υλικών και προϊόντων φιλικών προς το περιβάλλον και να εντοπίσουν τις πιο σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Έτσι στην Σουηδία ο Jönsson (Jönsson,1999) με την χρήση AKZ και με την επεξεργασία δεδομένων από τοπικούς προμηθευτές σύγκρινε τρία δομικά υλικά δαπέδων, το μουσαμά, το συνθετικό πάτωμα και το ξύλινο δάπεδο. Μετά την περιβαλλοντική αξιολόγηση των υλικών τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ξύλινο δάπεδο στις κατασκευές είναι προτιμότερο από το συνθετικό πάτωμα ή τους λινόταπητες (μουσαμάς).

Ο Asif στην Σκωτία αξιολόγησε περιβαλλοντικά πέντε συνήθεις υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κατοικιών : το ξύλο, το αλουμίνιο, το γυαλί, το σκυρόδεμα και τα κεραμικά πλακίδια. Αξιολόγησαν την φάση παραγωγής σε σχέση με την χρήση ενέργειας και τις εκπομπές αερίων στην

ατμόσφαιρα και τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι τα υλικά αυτά αντιπροσωπεύουν πάνω από το 60% της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας μιας οικιστικής κατασκευής. Επίσης οι Ximenes and Grant στην Αυστραλία μελέτησαν τα οφέλη στο φαινόμενο του θερμοκηπίου από την χρήση των προϊόντων ξύλου σε προϊόντα δαπέδου σε σχέση με άλλα συμβατικά υλικά. Η AKZ έδωσε καλύτερα αποτελέσματα όταν το αρχικό δάπεδο αντικαταστάθηκε από πάτωμα ξυλείας (Asif et al,2005).

Στην Ελλάδα οι Koronaios and Domprios μελέτησαν μέσω ενός τοπικού εργοστασίου παραγωγής τούβλων την διαδικασία παραγωγής τούβλων στην Ελλάδα ώστε να εντοπίσουν πιθανές περιβαλλοντικές βελτιώσεις στην παραγωγή. Μέσα από τη μέθοδο Eco-indicator 95, η ανάλυση έδειξε ότι η οξύτητα του καυσίμου συνέβαλλε περισσότερο από το μισό στο σύνολο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την παραγωγή τούβλων και συνέστησαν στο εργοστάσιο την χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο για την μείωση των επιπτώσεων αυτών.

Στην Κινέζικη βιομηχανία ο Wu μελέτησε τον κύκλο ζωής διαφόρων ειδών τσιμέντου και χάλυβα και των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων χρησιμοποιώντας μια διαφορετική προσέγγιση όπου ο "πράσινος φόρος - βασισμένος στο βάρος των επιπτώσεων". Και άλλες χώρες όμως ασχολήθηκαν μέχρι σήμερα με την AKZ των οικοδομικών υλικών όπως η Γερμανία που σύγκρινε κεραμικά με μαρμάρινα δομικά υλικά ή η Ιταλία που σύγκρινε το μπαμπού με το χάλυβα και το ξύλο στις κατασκευές. Ο de Gracia αξιολόγησε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την τοποθέτηση PMC (Phase Change Material), ενός υλικού με θερμοψυκτικές ιδιότητες που τοποθετείται στο κέλυφος ενός κτιρίου κτισμένο με παραδοσιακά τούβλα. Η προσθήκη PCM έδειξε καταρχήν ότι μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και λειτουργίας του κτιρίου αλλά δεν μειώνει σημαντικά της παγκόσμιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλη τη διάρκεια ζωής ενός κτιρίου 100 χρόνων. Ο Rincon επεκτείνοντας τη μελέτη με ανάλυση της ροής της μάζας έδειξε ότι απαιτείται σημαντική ποσότητα εξόρυξης φυσικών πόρων για την κατασκευή PCM, γεγονός που οδηγεί σε σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση. Η AKZ επίσης χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που παράγονται κατά την διάρκεια της παρασκευής μεταξύ διαφορετικών δομικών υλικών της ίδιας όμως κατηγορίας όπως είναι τα μονωτικά υλικά (εξηλαγμένη πολυστερίνη, πολυουρεθάνη, γραφίτουχα πολυστερίνη) και το PCM σε διαφορετικά κατασκευαστικά συστήματα όπως συμβατικά τούβλα ή κυψελώδη τούβλα ή προκατασκευασμένα από σκυρόδεμα πάνελ. Το συμπέρασμα είναι ότι η ενσωματωμένη ενέργεια είναι υπεύθυνη για τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις με απαίτηση για χρήση φυσικών υλικών με παρόμοια χαρακτηριστικά όπως αυτών των συμβατικών δομικών υλικών (Cabeza et al,2014).

2.4.2 Εφαρμογές της ανάλυσης κύκλου ζωής σε συστήματα δόμησης

Μία αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μιας κατασκευής περιλαμβάνει πολλά περισσότερα από μια απλή συνάθροιση των ατομικών αξιολογήσεων των προϊόντων και των υλικών. Οι Citherlet και Defaux παρουσίασαν μια διαδικασία που βασίζεται στην αξιολόγηση του κύκλου ζωής τριών διαφορετικών κατασκευαστικά σπιτιών, στην Ελβετία. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις βάσει του κύκλου ζωής των κατοικιών έχουν ταξινομηθεί σε άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις. Οι άμεσες επιπτώσεις σχετίζονται σε ότι έχει σχέση με την χρήση της κατανάλωσης ενέργειας, ενώ οι έμμεσες επιπτώσεις περιλαμβάνουν όλες τις επιπτώσεις από την εξόρυξη των υλικών, την παραγωγή, την κατασκευή, των υλικών κατεδαφίσεων, την απομάκρυνση κ.λπ. Τα αποτελέσματα των ερευνών έδειξαν ότι με την χρήση μόνωσης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας η μείωση των άμεσων περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι άμεση (Citherlet et al,2007).

Ο Fay et al πραγματοποίησε μία μελέτη σε μία Αυστραλιανή μονοκατοικία με την μέθοδο της AKZ (LCA) και της Ανάλυσης του Κόστους του Κύκλου Ζωής (LCCA). Η μελέτη βασίστηκε στον εναλλακτικό στρατηγικό σχεδιασμό για μία ενεργειακά αποδοτική κατασκευή και διαπιστώθηκε ότι η προσθήκη μεγαλύτερου πάχους μόνωσης επιστρέφει ως ενσωματωμένη ενέργεια στο κύκλο ζωής της κατασκευής σε περίπου 12 χρόνια. Η μελέτη έδειξε ότι μπορεί να υπάρχουν και άλλες στρατηγικές λύσεις από την επιδίωξη πρόσθετης μόνωσης και την μείωση χρήσης της κατανάλωσης ενέργειας και η ενεργειακή απόδοση και οι περιβαλλοντικές στρατηγικές θα πρέπει να παίρνουν σοβαρά υπόψη το κύκλο ζωής της κατασκευής (Biswas,2014).

Εκτός όμως από τις μελέτες ανάλυσης σε ολόκληρα κτίρια, άλλες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στη κατασκευή συστημάτων ενεργειακής υποβοήθησης της κατασκευής. Έτσι οι Osman και Ries αξιολόγησαν μέσα από την AKZ τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εγκατάσταση μιας μονάδας συμπαραγωγής ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός εμπορικού κτιρίου και συμπέραναν ότι ορισμένες εγκαταστάσεις συμπαραγωγής από περιβαλλοντικής άποψης είναι προτιμότερη λύση από της συμβατικές μονάδες παραγωγής. Ο Glick αντίστοιχα ανέλυσε την εφαρμογή δύο περιπτώσεων συστημάτων θέρμανσης, με την τοποθέτηση συστήματος φυσικού αερίου ή ηλιακού συστήματος ενέργειας για ένα σπίτι στο Κολοράντο των Η.Π.Α. Μέσω της AKZ (LCA) και Ανάλυσης του Κόστους του Κύκλου Ζωής (LCCA) η μελέτη εξέτασε τη χρήση της ενέργειας και του δυναμικού θέρμανσης του πλανήτη (GWP) ως περιβαλλοντικούς δείκτες και τους αξιολόγησε σε όλες της φάσεις του κύκλου ζωής της κατασκευής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τόσο περιβαλλοντικά όσο και οικονομικά είναι προτιμότερο καταρχήν ένα σύστημα φυσικού αερίου αλλά η βέλτιστη λύση είναι η ενσωμάτωση ενός λέβητα αερίου σε ένα ηλιακό σύστημα θέρμανσης (Glick et al,2013).

Μία άλλη προσέγγιση στη διαδικασία AKZ από τον Keoleian έδειξε σαφή υπεροχή της φάσης χρήσης του κτιρίου, η οποία αντιπροσώπευε πάνω από το 90% της συνολικής χρήσης ενέργειας και πάνω από το 50% της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων, τις παγκόσμιες θερμικές επιπτώσεις, την τοξικότητα του εδάφους και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ο Muga et al. αναλύοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της πράσινης στέγης μιας κατοικίας χρησιμοποιώντας την μέθοδο της AKZ, αναφέρεται ότι μια πράσινη στέγη στο στάδιο της απόκτησης υλικού εκπέμπει τρεις φορές περισσότερο σε περιβαλλοντικούς ρύπους από ότι μια συμβατική στέγη. Κατά το στάδιο της χρήσης και συντήρησης αντίστροφα η συμβατική οροφή εκπέμπει τρεις φορές περισσότερους ρύπους από μια πράσινη στέγη. Σε συνδυασμό και των δύο φάσεων τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας συμβατικής οροφής είναι 46% περισσότερες από μια πράσινη στέγη σε μια διάρκεια ζωής του κτιρίου άνω των 45 χρόνων. Η Ανάλυση του Κόστους Κύκλου Ζωής έδειξε ότι μια πράσινη στέγη κοστίζει περίπου 50% λιγότερο για να συντηρηθεί σε ένα κτίριο άνω των 45 ετών από μια συμβατική οικιακή στέγη(Cabeza et all,2014).

Οι Radhi και Sharples το 2008, αξιολόγησαν την επίδραση των διαφόρων παραμέτρων των προσόψεων κτιρίων στην υπερθέρμανση του πλανήτη, με σαφή έμφαση στα τοπικά υλικά, όταν αυτό είναι δυνατόν. Τα πέντε σενάρια προς αξιολόγηση μελέτησαν στρώματα από διαφορετικά υλικά και η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα πιο αποτελεσματικά μέτρα για τη μείωση του CO₂ και των εκπομπών αερίων είναι η μείωση στη χρήση των δομικών υλικών με βάση το τσιμέντο (π.χ. τσιμεντόλιθοι).

Οι Guggemos και Horvath (2006) μέσω της AKZ υποστήριξαν ότι οι επιπτώσεις κατά την φάση της χρήσης συχνά επισκιάσει τη φάση κατασκευής στην μελέτη μια AKZ. Ωστόσο, τα αποτελέσματα όπως η φάση της κατασκευής, όταν συγκεντρώνονται σε εθνικό επίπεδο, μπορεί να αποδειχθούν σημαντικότερα. Αξιολογώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή των βοηθητικών υλικών που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία κατασκευής (π.χ καλούπια), τη μεταφορά των υλικών και εξοπλισμού, τη χρήση του εξοπλισμού, και την παραγωγή αποβλήτων κατά τη διάρκεια της κατασκευής τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση του εξοπλισμού αντιπροσωπεύει περίπου το 50% των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ενώ τα βοηθητικά υλικά κατασκευής είχαν το δεύτερο μεγαλύτερο αντίκτυπο στο περιβάλλον (Cabeza et all,2014).

Το 2014 ο Ardente et all παρουσίασε μια μελέτη που συνέκρινε έξι δημόσια κτίρια όπου οι ενέργειες επισκευής είχαν τεθεί σε εφαρμογή. Τα κτίρια που μελετήθηκαν ήταν ένα παλιό ζυθοποιείο (Μπρνο, Τσεχική Δημοκρατία), μια ξύλινη εκκλησία (Gol, Νορβηγία), ένα κτίριο κολλεγίου (Πλύμουθ, Ηνωμένο Βασίλειο), ένα πολιτιστικό κέντρο (Κοπεγχάγη, Δανία), ένα γηροκομείο (Στουτγάρδη, Γερμανία), και ένα κτίριο Πανεπιστημίου (Βίλνιους, Λιθουανία). Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα πιο σημαντικά οφέλη που σχετίζονται με την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών CO₂ είναι οι εκπομπές που σχετίζονται κυρίως με τη βελτίωση του κελύφους του κτιρίου και συγκεκριμένα της θερμομόνωσης.

Επίσης αντικαθιστώντας τις διατάξεις φωτισμού και τους υαλοπίνακες, παρέχονται σημαντικά ενεργειακά οφέλη. Από την άλλη πλευρά μια ηλιακή ή αιολική εγκατάσταση προσφέρει χαμηλότερη εξοικονόμηση ενέργειας και υψηλότερους δείκτες αποπληρωμής από ό, τι είχε προβλεφθεί.

2.4.3 Εργαλεία AKZ και βάσεις δεδομένων στον κατασκευαστική βιομηχανία (Λογισμικά - Software)

Μια ποικιλία από λογισμικά (software) και βάσεις δεδομένων για τον κατασκευαστικό τομέα προσφέρουν τυποποιημένα μοντέλα αξιολόγησης και δεδομένων απογραφής σε όλα τα επίπεδα. Τα δεδομένα καλύπτουν μια ποικιλία σε δεδομένα ολόκληρου του κατασκευαστικού τομέα και των υποκατηγοριών του, προϊόντων και υποπροϊόντων.

Οι Trusty και Horst πρότειναν την ταξινόμηση σε τρία επίπεδα για τα εργαλεία (software) που σχετίζονται με την AKZ :

Επίπεδο 1: εργαλεία όπως το *BEES* (Building for Environmental and Economic Sustainability / software) ή τη Βάση Δεδομένων του Εθνικού εργαστηρίου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας των ΗΠΑ (National Renewable Energy Laboratory's (NREL) US Life-Cycle Inventory (LCI) Database), το SimaPro (UK LCA software) , το GaBi (Ganzheitliche Bilanzierung Integrated Assessment) και το Life Cycle Explorer.

Επίπεδο 2 : εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων της μελέτης ολόκληρου του κτηρίου όπως το Athena Eco-Calculator, Envest2, και το LCA in Sustainable Architecture (AKZ στη Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική).

Επίπεδο 3 : λογισμικά όπως το Athena Impact Estimator για την αξιολόγηση ολόκληρου του κτηρίου, Μέθοδος εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων BRE Environmental Assessment Method και το σύστημα αξιολόγησης LEED (USA LCA software).

Το 2002 οι Norris και Yost κάνουν μια διάκριση μεταξύ των εργαλείων του επιπέδου 1 τα οποία επικεντρώνονται στην επιλογή υλικών και στα άλλα τα οποία είναι εργαλεία μοντελοποίησης του κύκλου ζωής (LCI). Τα εργαλεία μοντελοποίησης του κύκλου ζωής προσφέρουν μεγαλύτερη διαφάνεια μεταξύ των αποτελεσμάτων και τα δεδομένα εισόδου εξόδου σε σχέση με τα συστήματα επιλογής οικοδομικών υλικών.

Τα περισσότερα εργαλεία AKZ όπως το BEES, Athena Eco-Quantum και άλλα πραγματοποιούν μία προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω. Το λογισμικό με αυτή την προσέγγιση υποθέτει ότι το στάδιο του σχεδιασμού έχει ήδη γίνει και αρχίζει με τα ίδια τα υλικά. Το νέο Athena EcoCalculator επιτρέπει στους χρήστες να επεξεργαστούν τον σχεδιασμό όσον αφορά τις αλλαγές των προδιαγραφών των υλικών. Το λογισμικό BEES (Lippiatt,2002) παρέχει ένα ολοκληρωμένο πακέτο οικονομικής και περιβαλλοντικής εκτίμησης με μια ποικιλία προεγκατεστημένων οικοδομικών υλικών, χρησιμοποιώντας στοιχεία από την Ένωση Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας (Society of Environmental Toxicology and Chemistry - SETAC) και τη μέθοδο ταξινόμησης και χαρακτηρισμού. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί έξι κατηγορίες εκτίμησης των επιπτώσεων :

1. Το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη
2. Την αύξηση της οξύτητας
3. Το δυναμικό του ευτροφισμού
4. Την εξάντληση των φυσικών πόρων
5. Τα στερεά απόβλητα
6. Την ποιότητα του εσωτερικού αέρα

Το λογισμικό BEES παρέχει ένα ολοκληρωμένο πακέτο οικονομικής και περιβαλλοντικής εκτίμησης. Για τον κλάδο των κατασκευών το πρόγραμμα περιλαμβάνει δύο επιθυμητά χαρακτηριστικά, τη συμπερίληψη της ολοκληρωμένης οικονομικής ανάλυσης, και μια κατηγορία μελετών για τις επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα. Προσπαθεί να βοηθήσει στην επιλογή ενός προϊόντος ή συστήματος που εξισορροπεί τις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιδόσεις, βρίσκοντας έτσι οικονομικά αποδοτικές λύσεις για την προστασία του περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται από πλευράς επιπτώσεων στην αξιολόγηση του κύκλου ζωής, το κόστος, ή σε συνδυασμό και των δύο.

Ένα άλλο μοντέλο που αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης είναι το GaBi (GaBi,2015) το οποίο επιτρέπει την εκτίμηση του κύκλου ζωής των υλικών βάσει των προτύπων συμμόρφωσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης ISO 144040.

Το πρόγραμμα έχει εφαρμογή στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- 1) Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (LCA) :

- Σχεδιασμός για το Περιβάλλον: ανάπτυξη των προϊόντων που πληρούν τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς
- Eco-απόδοση : την μείωση της ύλης, της ενέργειας και της χρήσης των πόρων με τον πλέον αποδοτικό τρόπο
- Τον Οικολογικό σχεδιασμό: ανάπτυξη δηλαδή των προϊόντων με το μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, όπως τις λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, και την μείωση της κατανάλωσης του νερού και των αποβλήτων
- Την αποτελεσματική ενίσχυση της αποτελεσματικότητας των αλυσίδων: τον σχεδιασμό, την παραγωγή, τους προμηθευτές, την διανομή

2) Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής :

- Μείωση του κόστους : τον σχεδιασμό και την βελτιστοποίηση των προϊόντων και των διαδικασιών για τη μείωση του κόστους

3) Πληροφόρηση του Κύκλου Ζωής :

- Ετικέτες βιωσιμότητας στα προϊόντα, Περιβαλλοντικές Δηλώσεις Προϊόντων
- Απολογισμών Αειφορίας: περιβαλλοντική επικοινωνία και απολογισμός της βιωσιμότητας των προϊόντων
- AKZ και ανταλλαγή γνώσεων: αναφορά και ανάλυση των εσωτερικών τμημάτων, της διαχείρισης και της αλυσίδας εφοδιασμού

4) Κύκλος Ζωής Περιβάλλοντος Εργασίας :

- Υπεύθυνος παραγωγής: ανάπτυξη διαδικασίας παραγωγής οι οποίες καλύπτουν τις κοινωνικές ευθύνες

Άλλα λογισμικά AKZ που έχουν επίσης πληροφορίες σχετικές με κοινά δομικά υλικά είναι το SimaPro από την Ολλανδία και το TEAM - Tool for Environmental Analysis (Landfield,2003) εργαλείο για την ανάλυση του περιβάλλοντος από τη Γαλλία. Το πρόγραμμα Athena EcoCalculator μελετά ολόκληρα συστήματα κτιρίων αναγνωρίζοντας ότι οι αλλαγές σε ένα δομικό υλικό έχουν επιπτώσεις στα άλλα συναφή υλικά. Το EcoCalculator(Athena,2015) αντιμετωπίζει δύο πρόσθετους περιορισμούς σε σχέση με τα υπόλοιπα εργαλεία της AKZ: την απογραφή του κύκλου ζωής της διαθεσιμότητας των δεδομένων και την καθιέρωση των τιμών αναφοράς για τη μέτρηση της απόδοσης των κτιρίων. Ένα άλλο λογισμικό το Envest 2 αναπτύχθηκε ως ένα εργαλείο σχεδιασμού

κύκλου ζωής που επιτρέπει στον αναλυτή να εξετάσει τους περιβαλλοντικές και οικονομικούς του συμβιβασμούς και τις επιπτώσεις κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού κτιρίων. Οι σχεδιαστές αρχίζουν από την εισαγωγή των δεδομένων που σχετίζονται με το ύψος του κτιρίου, την περιοχή των ανοιγμάτων, και τις επιλογές του εξωτερικού κελύφους όπως οι τοίχοι και τα υλικά στέγης. Στη συνέχεια το λογισμικό επιλέγει αυτά τα συστατικά με τις βέλτιστες συνολικές περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις που επιτρέπουν στον αναλυτή να κάνει συμβιβασμούς κατά το στάδιο του σχεδιασμού. Το μοντέλο περιλαμβάνει τα δεδομένα από τη φάση της χρήσης του κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών επισκευής, συντήρησης και αντικατάστασης.

Στη Αυστραλία το πρόγραμμα LISA (Lisa,2015) είναι ένα ελεύθερα διαθέσιμο βελτιωμένο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων AKZ. Ο δικτυακός τόπος LISA απαριθμεί μια σειρά από μελέτες περιπτώσεων του κτιρίου AKZ με τη χρήση του λογισμικού.

Το Life-Cycle Explorer (LCE), είναι ένα παρόμοιο λογισμικό σχεδιασμένο εν μέρει για την αντιμετώπιση δύο συγκεκριμένων προκλήσεων για την κατασκευή AKZ των δομικών υλικών και αφορούν :

- τη φάση της χρήσης των δομικών υλικών που μπορεί να προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες
- την έκβαση της AKZ η οποία μπορεί να στηρίζεται στη διάρκεια ζωής των δομικών υλικών

Τα πλεονεκτήματα του λογισμικού LCE, περιλαμβάνουν την ικανότητα να κάνουν συγκρίσεις προϊόντων που ενσωματώνουν την παράμετρο και το μοντέλο της αβεβαιότητας στην ανάλυση.

Το ECO-BAT είναι ένα άλλο εργαλείο λογισμικού που διατίθενται για τη διεξαγωγή AKZ των κτιρίων και το οποίο έχει πληροφορίες για πάνω από 100 είδη δομικών υλικών, που προέρχονται από τη βάση δεδομένων Ecoinvent, καθώς και από διάφορες πηγές ενέργειας για την Ευρώπη. Οι χρήστες μπορούν να καθορίσουν τα κτίρια τους, επιλέγοντας δομικά στοιχεία (τοίχους, παράθυρα κ.λ.π), επιλέγοντας την σύνθεση των υλικών, και καθορίζοντας ένα προφίλ με ενεργειακό μείγμα της προτίμησης τους για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, κ.λπ. Τον τελευταίο καιρό, πολλές κυβερνήσεις ενθαρρύνουν τη χρήση των εργαλείων της AKZ στα δικά τους προγράμματα ενεργειακής απόδοσης, όπως στην Αυστραλία το πρόγραμμα Green Star, στις ΗΠΑ με το Energy Star και στην Ιταλία με το Protocollo Itaca και το Casa Clima (Cabeza et all,2014).

2.5 AKZ και μεθοδολογικές εξελίξεις σε σχέση με την κατασκευαστική βιομηχανία

Η AKZ στην κατασκευαστική βιομηχανία αντιμετωπίζει πρόσθετες προκλήσεις λόγω του ότι σημαντικό λόγω στη αξιολόγηση ενός κτιρίου παίζει το μικροκλίμα της περιοχής, η πρόσβαση στην ηλιακή ακτινοβολία και τυχόν εμπόδια από διπλανές κατασκευές, η πολυπλοκότητα του μοντέλου αλλά και ο μεγάλος αριθμός των υλικών και προϊόντων που συνιστούν μια κατασκευή. Κάθε ένα από αυτά τα υλικά και τα προϊόντα έχει το δικό του διακριτό κύκλο ζωής της και αλληλεπιδρά ως τμήμα ενός συγκροτήματος ή του συστήματος. Η κατασκευή είναι κάτι περισσότερο από μια συγχώνευση των υλικών. Η μεγάλη περίοδο της χρήσης των κτιρίων οδηγεί σε σημαντικές αβεβαιότητες στις διαπιστώσεις μιας AKZ, και οι αναλυτές κάνουν υποθέσεις για τις εργασίες κατασκευής και συντήρησης κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης. Πρέπει να εξεταστεί η ένταξη των δεδομένων σε ανακυκλωμένα υλικά. Σε Κτίρια βιωσιμότητας περιλαμβάνετε η ιδέα της χρησιμοποίησης των αποβλήτων και ανακυκλωμένων υλικών ως νέα δομικά υλικά. Τα δεδομένα αυτά συνήθως δεν περιλαμβάνονται στις βάσεις δεδομένων AKZ.

Οι Erlandsson και Borg αναγνώρισαν τις παραπάνω προκλήσεις και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα συστήματα δόμησης προσφέρουν την υψηλότερη πολυπλοκότητα στην AKZ. Δεν συνιστούν τη χρησιμοποίηση μιας απλής γραμμικής, στατικής προσέγγισης, αρχίζοντας με την κατασκευή, προχωρώντας στη λειτουργία (συμπεριλαμβανομένης της συντήρησης), και τέλος με την κατεδάφιση και την επεξεργασία των αποβλήτων. Χρειάζεται μια προσέγγιση της AKZ που να ενσωματώνει ρητά μια πιο δυναμική διαδικασία μοντελοποίησης, στο πλαίσιο των χρονικών και χωρικών μεταβολών του κτιρίου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι αλλαγές στη διάρκεια ενός κύκλου ζωής ενός κτιρίου μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα της AKZ περισσότερο από την αρχική φάση των υλικών και την φάση της κατασκευής.

Τα κτίρια μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη χρήση τους, σε οικιστικά και μη οικιστικά κτίρια. Τα οικιστικά κτίρια μπορούν περαιτέρω να χωριστούν σε μονοκατοικίες και πολυκατοικίες ενώ τα μη οικιστικά κτίρια δηλαδή εκείνα που χρησιμοποιούνται συλλογικά από τους πολίτες για διάφορους σκοπούς μπορούν να χωριστούν σε δημόσια κτίρια, βιομηχανικά, γεωργικά, εμπορικές υπηρεσίες και καταστήματα.

2.6 AKZ για οικιστικά κτίρια

Ο Adalberth et al στη Σουηδία, πραγματοποίησε AKZ για τέσσερα κτίρια πολυκατοικιών χτισμένα κατά το έτος 1996. Η διάρκεια ζωής των κτιρίων θεωρήθηκε τα 50 χρόνια. Ο κύριος στόχος ήταν να μελετήσει τις διάφορες φάσεις του κύκλου ζωής των τεσσάρων κτιρίων, να μάθει ποια φάση έχει τις υψηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, και αν υπάρχουν διαφορές στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω της επιλογής της κατασκευής του κτιρίου. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αξιολογήθηκαν με ένα εργαλείο AKZ που αναπτύχθηκε από το Δανέζικο Ινστιτούτο Κατασκευαστικών Ερευνών. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μελετήθηκαν σε σχέση με το δείκτη GWP, AP, EP και την ανθρώπινη τοξικότητα. Διαφορετικές φάσεις του κτιρίου θεωρήθηκαν: η κατασκευή, η μεταφορά, η κατασκευή, η χρήση, η ανακαίνιση, και τέλος η φάση της απομάκρυνσης και κατεδάφισης. Η αξία της κατανάλωσης ενέργειας υπολογίστηκε να είναι 6400 kW h/m^2 για 50 χρόνια. Η φάση της χρήσης μόνη της αντιπροσωπεύει περίπου το 70-90% του συνόλου των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται. Έτσι είναι σημαντικό να επιλέγονται τέτοιες κατασκευές και εγκαταστάσεις οι οποίες έχουν λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της φάσης χρήσης.

Οι Guggemos και Horvath μελέτησαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του χάλυβα και του σκυροδέματος σε κτίρια με την χρήση της μεθόδου της AKZ. Δύο πενταόροφα κτίρια με εμβαδόν 4400 m^2 που βρίσκονταν στις ΗΠΑ και αναμένεται να χρησιμοποιηθούν για τα επόμενα 50 χρόνια. Κατά τη διαδικασία με βάση την AKZ (EIO-LCA) και μέσα από τις διάφορες φάσεις : τα υλικά κατασκευής, την κατασκευή, την χρήση, την συντήρηση και την φάση της κατεδάφισης που χρησιμοποίησε η συγκεκριμένη μελέτη, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα στοιχεία του σκυροδέματος είχαν την μεγαλύτερη συνεισφορά στη χρήση της ενέργειας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων λόγω της μεγαλύτερης διαδικασίας εγκατάστασης.

Τέλος ο Blengini πραγματοποίησε μια AKZ ενός κτιρίου στο Τορίνο της Ιταλίας που κατεδαφίστηκε το 2004 με ελεγχόμενη ανατίναξη με την βοήθεια το λογισμικού SimaPro. Η εγκριθείσα λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιείται στην τρέχουσα μελέτη περίπτωσης ήταν 1 m^2 εμβαδού, σε μια περίοδο ενός έτους. Σε αυτή την μελέτη, η φάση κατεδάφισης και οι δυνατότητες ανακύκλωσης μελετήθηκαν. Η εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής αρχικά επικεντρώθηκε στον χαρακτηρισμό έξι ενεργειακών και περιβαλλοντικών δεικτών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η οικοδόμηση με δομικά υλικά ανακύκλωσης των αποβλήτων δεν είναι

μόνο οικονομικά εφικτή και κερδοφόρα, αλλά και βιώσιμη από ενεργειακή και περιβαλλοντική άποψη.

2.7 Συμπεράσματα

Ερευνητές του Ινστιτούτου Μεταλλικών Κατασκευών στο Ηνωμένο Βασίλειο (Eatona et all, 2013) έχουν δημιουργήσει μια ολοκληρωμένη AKZ του χάλυβα και του σκυροδέματος για κτίρια γραφείων. Η μελέτη αυτή επικεντρώνεται σε δομικά πλαίσια τυπικών κτιρίων αναλύοντας την κατασκευή τους και τις φάσεις λειτουργίας με έμφαση να δίνεται στη δυνατότητα της ανακύκλωσης των υλικών. Η έρευνα δεν επικεντρώθηκε μόνο στο όγκο των κατασκευών για ένα διάστημα κύκλου ζωής 60 ετών αλλά το κάθε κτίριο μελετήθηκε χρησιμοποιώντας πέντε διαφορετικά δομικά συστήματα κατασκευής. Διερευνήθηκαν επίσης τα αποτελέσματα από τις διαφορές στα μηχανολογικά τους συστήματα, στα συστήματα ψύξης, θέρμανσης και κλιματισμού των κατασκευών. Οι κατεδαφίσεις παραλείφθηκαν λόγω έλλειψης διαθέσιμων δεδομένων ενώ οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις μεταφορές υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τους μέσους όρους του Ηνωμένου Βασιλείου.

Η αξιολόγηση έδειξε ότι είναι δυνατό σε ένα απλό μοντέλο AKZ να μπορούν να συμπεριληφθούν η ενσωματωμένη ενέργεια και η ενέργεια λειτουργίας ή το CO₂ ενός κτιρίου, ανοίγοντας έτσι το δρόμο για παρόμοιες μελλοντικές μελέτες.

Παραδόξως όμως τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει πολύ μικρή διαφορά εκπομπών μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος για κάθε είδος κτιρίου που χρησιμοποιεί αυτά τα υλικά, ενώ ποιο εντυπωσιακά είναι τα αποτελέσματα, που έδειξαν ότι σε ένα κτίριο 8 ορόφων το οποίο χρησιμοποιεί ένα πιο πολύπλοκο κτηριακό σχεδιασμό έχει λιγότερο ενσωματωμένη ενέργεια από ότι ένα βρετανικό κλασσικό 4 ορόφων κτίριο. Εξετάζοντας υποθετικά σενάρια τριών διαφορετικών πλαισίων μιας μεταλλικής κατασκευή και δύο δομικών πλαισίων σκυροδέματος, η ενσωματωμένη ενέργεια ποικίλλει μεταξύ 2,5 και 2,9 GJ/m². Η ενσωματωμένη ενέργεια της υπόλοιπης κατασκευής (ψύξη, θέρμανση, κλιματισμός κ.λπ.) είναι περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερη από ενσωματωμένη ενέργεια του σκελετού, και η συνολική ενέργεια του κύκλου ζωής, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης είναι 10-15 φορές υψηλότερη από ό, τι της αρχικά απαιτούμενης ενέργειας. Η κατανάλωση ενέργειας λόγω της χρήσης λειτουργίας θα ξεπεράσει την ενσωματωμένη ενέργεια σε οποιοδήποτε κατασκευαστικό μοντέλο σε 4 έως 11 χρόνια μετά την κατασκευή των κτιρίων, ανάλογα με τα συστήματα αερισμού, θέρμανσης και ψύξης της κατασκευής που θα χρησιμοποιηθούν.

Πίνακας 2.7 Διακύμανση ενσωματωμένης ενέργειας και διοξειδίου του άνθρακα, Eatona et all, 2013

Τύπος Δομικού Συστήματος	Ενσωματωμένη ενέργεια (GJ / m ²)	Ενσωματωμένη CO ₂ (kg / m ²)
Ατσάλινο πλαίσιο με προκατασκευασμένα πλάκες από σκυρόδεμα	2.6	251
Ατσάλινο πλαίσιο, σύμμικτων δοκών και πλακών	2.6	241
Οπλισμένο σκυρόδεμα σκελετό και πλάκες	2.5	286
Ατσάλινο πλαίσιο και σύμμικτων πλακών	2.9	259
Σκελετό από μπετόν, τα προκατασκευασμένα από σκυρόδεμα	2.7	333

Οι ερευνητές τονίζουν ότι ενώ τα συγκεκριμένα πλαίσια σκυροδέματος έχουν ελαφρώς υψηλότερες συνολικές εκπομπές CO₂ από ότι τα πλαίσια από χάλυβα, οι μεταβολές που βρέθηκαν στη μελέτη είναι ασήμαντες.

Μεθοδολογία

3.1 Σκοπός – Στόχοι

Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι να αναλυθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του σκυροδέματος ως πρώτη ύλη για χρήση. Η χαρακτηριστική μονάδα θα είναι το ένα κυβικό σκυροδέματος (1μ3). Δεδομένου ότι υπάρχει σημαντικό ενδιαφέρον για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του σκυροδέματος σε αυτές τις δομές, το πρώτο βήμα είναι η ανάλυση των πρώτων υλών χωριστά πριν την ενσωμάτωσή τους σε μοντέλα σκελετού. Τα δεδομένα θα ληφθούν και θα εισάγονται από τις βάσεις δεδομένων του λογισμικού GaBi ενός εκ των δύο κορυφαίων προγραμμάτων λογισμικού που χρησιμοποιούνται για τις μελέτες AKZ παγκοσμίως.

Καταφέραμε με την βοήθεια του Ανοιχτού Πανεπιστημίου Κύπρου να εξασφαλίσουμε την απαιτούμενη άδεια από το διαχειριστή του προγράμματος PE International, για την παραχώρηση του δικαιώματος χρήσης του λογισμικού προγράμματος **GaBi 6**.

Το Gabi εμφανίστηκε στην αγορά το 1992, αναπτύχθηκε και διανέμεται σε όλο τον κόσμο από την Γερμανική εταιρεία PE International.

Περιλαμβάνει:

1. Την διασύνδεση του χρήστη με την μοντελοποίηση του συστήματος παραγωγής
2. Βάσεις δεδομένων εκτίμησης των επιπτώσεων με δεδομένα που υποστηρίζουν διάφορες μεθοδολογίες των επιπτώσεων του κύκλου ζωής και
3. Μια αριθμομηχανή υπολογισμού και συνδυασμού δεδομένων που αντλούνται από την βάσεις δεδομένων του σύμφωνα με την μοντελοποίηση του συστήματος του προϊόντος και τις απαιτήσεις του χρήστη.

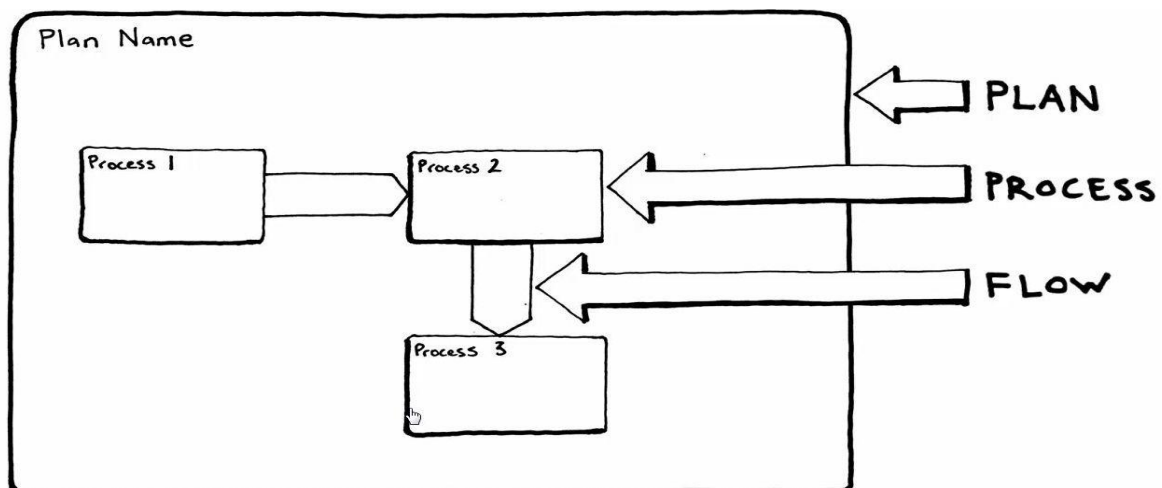
Στο δεύτερο μέρος αυτής της εργασίας χρησιμοποιώντας την βοήθεια του Στατιστικού πακέτο **SPSS 19.0** και της μεθόδου της πολυκριτηρικής ανάλυσης, θα προσπαθήσουμε να θέσουμε βιώσιμα κριτήρια αξιολόγησης σε 40 ερωτώμενους χωρισμένα σε δύο κατηγορίες. Σε αυτά που περιλαμβάνουν Περιβαλλοντικά κριτήρια και σε αυτά που περιλαμβάνουν Κοινωνικο-Οικονομικά κριτήρια. Θα αναλύσουμε τις απαντήσεις των

ερωτώμενων και θα ερμηνεύσουμε τις Οικονομικές, Περιβαλλοντικές και Κοινωνικές αρχές της Αειφορίας. Η έρευνα με ερωτηματολόγιο θα εφαρμοστεί στην κατασκευαστική βιομηχανία στην Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα, και μόνο σε επαγγελματίες του χώρου όπως Πολιτικοί μηχανικοί, Αρχιτέκτονες, Εργολάβοι κ.α. ώστε να έχουμε όσον το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικές απαντήσεις στα ερωτήματά μας με στόχο την περιβαλλοντική αξιολόγηση και διάθεση των επαγγελματιών του χώρου ως προς τα δομικά υλικά και ειδικότερα το σκυρόδεμα. Επίσης θα διερευνήσουμε κατά πόσο μπορεί να υπάρξει συνεργασία και διάθεση, για την προτίμηση στην εφαρμογή σκυροδέματος το οποίο έχει παραχθεί με διεργασίες πιο φιλικές προς το περιβάλλον και αν υπάρχει η ευαισθησία και η γνώση για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση της κλασσικής μορφής σκυροδέματος.

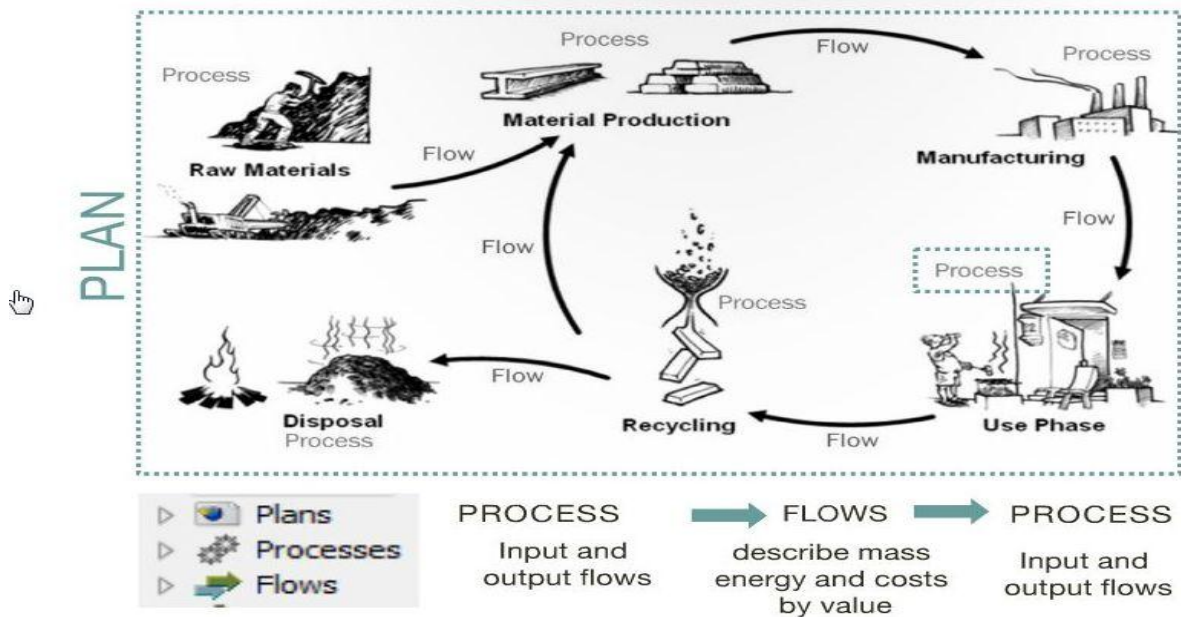
3.2 Περιγραφή ερευνητικών εργαλείων - GaBi

Για να κατανοήσουμε το πρόγραμμα (GaBi,2015) θα πρέπει κατανοήσουμε την δομή του προγράμματος. Το λογισμικό βασίζεται σε ροές δεδομένων (flows) και πλάνα (plans).

Εικόνα 3.1 : Βασικές Ιδέες Λογισμικού GaBi (GaBi, 2015)



GABI BASIC CONCEPTS



Δημιουργώντας μία νέα ροή δεδομένων στο λογισμικό GaBi θα πρέπει να καθορίσουμε τις ροές που εισέρχονται καθώς και αυτές που εξέρχονται του διαγράμματος ροής που δημιουργήσαμε και να προσθέσουμε τα ποσά. Μετά την δημιουργία του κάθε πλάνου, καθορίζεται η διαδικασία και προσδιορίζονται οι πληροφορίες που θα εισάγουμε στο πλάνο.

Τα δεδομένα τα εισάγουμε από την πλούσια βιβλιοθήκη του λογισμικού που συνέχεια εμπλουτίζεται, περιλαμβάνοντας πάνω από **8.000 σύνολα δεδομένων Ανάλυσης Κύκλου Ζωής**, δεδομένα που βασίζονται σε πρωτογενή συλλογή δεδομένων σε συνεργασία με επιχειρήσεις και δημόσιους φορείς ενώ όταν κάποιο από τα υλικά της διαδικασίας δεν υφίσταται έχουμε την δυνατότητα να το δημιουργήσουμε με την βοήθεια του λογισμικού. Η εγκυρότητα των δεδομένων εγγυάται ακόμη στο ότι η PE International διαθέτει ένα **μοναδικό ετήσιο πρόγραμμα αναβάθμισης** ανανεώνοντας πλήρως όλες τις βάσεις δεδομένων και τα περιεχόμενα του GaBi. Περισσότεροι από **60 εμπειρογνώμονες του κύκλου ζωής σε πάνω από 20 χώρες** συμβάλουν στην συνεχή ανάπτυξη της βάσης δεδομένων του GaBi, σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 14044, ISO 14064, και ISO 14025.

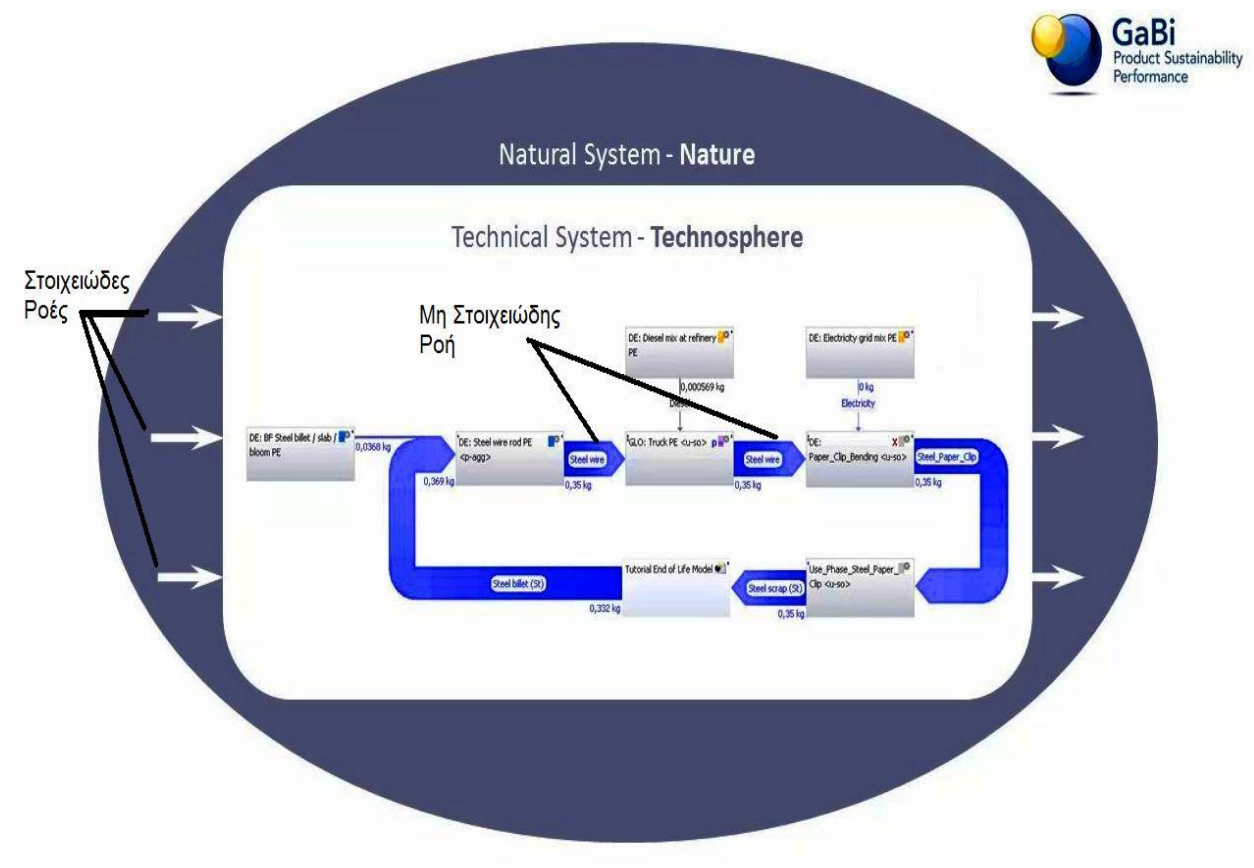
Το Gabi χρειάζεται να καταλάβει την φύση του στοιχείου που του ορίσαμε ώστε να καθορίσει την φύση της ροής δεδομένων σε δύο κατηγορίες ροών.

Οι ροές δεδομένων περιλαμβάνουν:

Τις *στοιχειώδεις ροές* (elementary flows) οι οποίες είναι ροές οι οποίες εισέρχονται στην τεχνόσφαιρα κατευθείαν από την φύση και

τις *μη στοιχειώδεις ροές* οι οποίες είναι ροές οι οποίες εξέρχονται της τεχνόσφαιρας απευθείας από την φύση (επιπτώσεις στον αέρα, στο νερό κ.λπ.)

Εικόνα 3.2 : Στοιχειώδεις και μη Στοιχειώδεις ροές του λογισμικού GaBi, (Gabi,2015)



Οι Εισερχόμενες και Εξερχόμενες Ροές είναι ροές οι οποίες εισέρχονται στην διαδικασία δημιουργίας του διαγράμματος Gabi και θα πρέπει να καθοριστούν. Οι εισερχόμενες ροές μπορεί να συμπεριλαμβάνουν διαφορετικές ροές ενέργειας, όπως ο Ηλεκτρισμός ή η Θερμική ενέργεια ή υλικά όπως το τσιμέντο ενώ στις εξερχόμενες ροές περιλαμβάνονται οι ροές οι οποίες εγκαταλείπουν την διαδικασία όπως εκπομπές αερίων και τα απόβλητα.

Το πρόγραμμα έχει φυσικά την δυνατότητα καθορισμού των ποσοτήτων, των μονάδων μέτρησης, και την ευελιξία στη δημιουργία πολλαπλών πλάνων και δοκιμών. Επίσης πολλές δυνατότητες όσον αφορά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων αλλά και μεγάλες δυνατότητες ανάλυσης οικονομικών, περιβαλλοντικών, τεχνικών και χρήσης γης αποτελεσμάτων.

3.3 Μέθοδοι Αξιολόγησης των επιπτώσεων με το λογισμικό GaBi

Οι μέθοδοι Αξιολόγησης των επιπτώσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν με το λογισμικό GaBi είναι (GaBi,2015):

- AADP
- CML 2001
- EDIP 2003
- Impact 2002+
- New impacts ILCD recommendation
- ReCiPe
- TRACI 2.1
- UBP 2013
- USEtox
- Eco-Indicator 99
- PE LCIA Survey 2012 (Weighting)
- IPCC AR5
- TRUCOST Natural Capital Accounting global coefficients

Μέθοδος TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts)

Η μέθοδος TRACI είναι ένα εργαλείο για τη μείωση και την αξιολόγηση της χημικής και των άλλων περιβαλλοντικών επιπτώσεων και είναι μια μέθοδος που δημιουργήθηκε από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος για την αξιολόγηση του κύκλου ζωής στις Η.Π.Α. Η TRACI περιέχει δώδεκα κατηγορίες επιπτώσεων που προκύπτουν από την καταγραφή των τεσσάρων "στρεσογόνων παραγόντων" : την χρήση γης, τις εκπομπές χημικών ουσιών, την χρήση του νερού και την χρήση των ορυκτών καυσίμων. Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί σε κατηγορίες σχετικές με την ανθρώπινη υγεία, και κατηγορίες συμπεριλαμβανομένων και των καρκινογόνων ουσιών (Bare et al,2003).

Μέθοδος ILCD (International Reference Life Cycle System)

Η μέθοδος ILCD είναι ένα Διεθνές Σύστημα Αναφοράς Δεδομένων Κύκλου Ζωής, το οποίο έχει δημοσιεύσει "Συστάσεις εκτίμησης των επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής σε Ευρωπαϊκό πλαίσιο" και επιλέγει μια μεθοδολογία η οποία έχει αξιολογηθεί ως η καλύτερη στην κατηγορία των επιπτώσεων. Η μέθοδος ILCD έχει σχεδιαστεί για να εφαρμοστεί σε ένα Ευρωπαϊκό πλαίσιο μοντελοποίησης. Το Διεθνές Σύστημα Αναφοράς Δεδομένων Κύκλου Ζωής με την έκδοση ενός εγχειριδίου, διευκρινίζει περαιτέρω τις διατάξεις από τα πρότυπα ISO 14040 και 14044 για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής (AKZ). Με λίγα λόγια, παρέχει μια βάση για σταθερές ισχυρές και ελεγχόμενες ποιοτικές περιβαλλοντικές μελέτες ανάλυσης κύκλου ζωής, όπως απαιτείται στο πλαίσιο της πολιτικής και της αγοράς. Επίσης διευκολύνει τη συνεπή αξιολόγηση της βιωσιμότητας, και αντικατοπτρίζει πλήρως την οικονομικές επιπτώσεις μέσω της κοστολόγησης του κύκλου ζωής καθώς και τις κοινωνικές επιπτώσεις. Η πρώτη έκδοση του ILCD εγχειριδίου εγγράφων και καθοδήγησης ξεκίνησε τον Μάρτιο του 2010 μετά την δημοσίευσή του από τον Επίτροπο Περιβάλλοντος Janez Potocnik (Wolf,2012)

Μέθοδος EDIP (Environmental Development of Industrial Products,2003)

Η μέθοδος EDIP αφορά την Περιβαλλοντική Αξιολόγηση Βιομηχανικών Προϊόντων και είναι μια μέθοδος που αναπτύχθηκε από το Ινστιτούτο Ανάπτυξης Προϊόντων (Institute for Product Development, IPU) στο Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Δανίας. Η EDIP 2007 είναι μια επικυρωμένη έκδοση της EDIP 2003 μεθόδου σχετικής με την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων καλύπτοντας το μεγαλύτερο μέρος του περιβαλλοντικού μηχανισμού και των ζημιών που προκαλούν τα Βιομηχανικά Προϊόντα στο Περιβάλλον. Η EDIP 2003 εκτιμά τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος υποδοχής, σε μια προσπάθεια να αυξήσει το ενδιαφέρον των υπολογιζόμενων επιπτώσεων (Potting et al, 2004; Hauschild et al, 2004).

Η μεθοδολογική προσέγγιση της EDIP 2003, διερευνά τις δυνατότητες για μια ένταξη της έκθεσης στην μεθοδολογία της Ανάλυση του Κύκλου Ζωής των μη παγκόσμιων περιβαλλοντικών επιπτώσεων (τοξικότητα για τον άνθρωπο, οικοτοξικότητα, κ.α). Είναι μια μέθοδος που αξιολογεί πέντε κατηγορίες επιπτώσεων: την υπερθέρμανση του πλανήτη, την καταστροφή του όζοντος, την όξυνση, του ευτροφισμού και των αποβλήτων. Δίνει έμφαση στην τοξικότητα και την ανθρώπινη υγεία. (Baumann et al, 2004). Η μέθοδος είναι προσαρμοσμένη για την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Πίνακας 3.3 Μέθοδοι Αξιολόγησης Επιπτώσεων

Μεθοδολογία	Επιπτώσεις με βάση την Υπολογιζόμενη Χρονιά	Καλυπτόμενη Περιοχή
CML 2001	Συνολική επίπτωση (2000)	Παγκόσμια, Ευρώπη
ReCiPe 1.08, coindicator	Ανά κάτοικο επίπτωση (2000)	Παγκόσμια, Ευρώπη
TRACI 2.1	Ανά κάτοικο επίπτωση (2006)	Ευρώπη, Η.Π.Α , Καναδάς
EDIP 2003	Ανά κάτοικο επίπτωση (1994)	Ευρώπη
UBP 2006	Ανά κάτοικο επίπτωση (διάφορα)	Ελβετία
USEtox	Ανά κάτοικο επίπτωση (2004 Ευρώπη) (2002/ 2008 Νότια Αμερική)	Ευρώπη, Νότια Αμερική

3.4 Συλλογή Δεδομένων / GaBi

Η συλλογή δεδομένων (GaBi,2015) είναι η βάση για όλα τα επόμενα βήματα της μοντελοποίησης. Ανάλυση των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν, χρήση αυτών των δεδομένων για την σύσταση των μοντέλων της διαδικασίας μοντελοποίησης και δημιουργία βάσης για την σύσταση καταλόγου.

Η ποιότητα της βάσης δεδομένων τελικά θα εξαρτηθεί από το είδος, τις πηγές, τη συνοχή και την καταλληλότητα της συλλογής δεδομένων.

Μια τυποποιημένη διαδικασία, επομένως, καθορίζεται και εφαρμόζεται για τη συλλογή στοιχείων GaBi και περιλαμβάνει:

- Την κατανόηση της βασικής παραγωγικής τεχνικής.
- Τον προσδιορισμό της γενικής κατάστασης της παρασκευής του συστήματος του προϊόντος που πρόκειται να αναλυθεί (π.χ. πόσοι ανταγωνιστικοί παράγοντες υπάρχουν, ποιες είναι οι εφαρμοζόμενες τεχνολογίες).
- Την αναγνώριση των βασικών απλών βημάτων της διαδικασίας που μονοπωλούν την φάση κατασκευής ενός συγκεκριμένου συστήματος προϊόντος. Ιδανικά αυτή η διαδικασία γίνεται σε συνεργασία με τη βιομηχανία, και με στοιχεία που επικυρώθηκαν ή συνοδεύτηκαν από εμπειρογνώμονες του σχετικού κλάδου.
- Την δημιουργία υπολογιστικού φύλλου συλλογής στοιχείων.

Βασικοί κανόνες είναι η συλλογή των δεδομένων που θα πρέπει να είναι τόσο λεπτομερής όσο χρειάζεται και όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματική. Θα πρέπει να παραμένει σε ένα ρεαλιστικό επίπεδο το οποίο να μπορεί να υποστηριχθεί από την πηγή των δεδομένων, αλλά και να ανταποκρίνεται επίσης και στην απογραφή του κύκλου ζωής των υλικών καθώς και σε θέματα ποιότητας. Ένα διάγραμμα ροής βοηθά να έχουμε μια καλή εικόνα της διαδικασίας και επίσης βοηθά στο να μπορούμε να παρακολουθούμε την ροή σε τεχνικό επίπεδο.

Οι βασικοί κανόνες περιλαμβάνουν :

- τον έλεγχο των δεδομένων που επιστρέφονται. Εφαρμογή των γενικών κανόνων που επικεντρώνονται στην συνοχή - ποιότητα των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν και η οποία περιλαμβάνει: την ισορροπία της μάζας και της ενέργειας, το ισοζύγιο των εκπομπών - ουσιών, τον έλεγχο λογικότητας που επικεντρώνεται στα γενικά χαρακτηριστικά της διαδικασίας (ενεργειακή απόδοση, υπολείμματα, υποπροϊόντα κ.λπ.)
- την δυνατότητα ανατροφοδότησης στον προμηθευτή GaBi δεδομένων και επικύρωση αυτών.

Για τη διαδικασία της συλλογής δεδομένων διαφορετικές τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα οποίες διαφέρουν σε τύπο, τεχνική και προσπάθεια. Οι ακόλουθοι τύποι συλλογής δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

1. Πληροφορίες ανεπίσημες (συνήθως δεν χρησιμοποιούνται σε διαδικασίες συλλογής δεδομένων GaBi)
2. Εγχειρίδια σε προκαθορισμένες μορφές εγγράφων Word ή Excel.
3. Εργαλείο καταγραφής της διαδικασίας του GaBi
4. Διαδικτυακές Web εφαρμογές (π.χ. το GaBi 6 διαδικτυακό ερωτηματολόγιο). Οι Τύποι Συλλογής Δεδομένων 3 και 4 του GaBi μπορούν να υποστηρίξουν άνετα το χρήστη στο να ενσωματώσει τα δεδομένα με συνέπεια την παράλληλη εξοικονόμηση του χρόνου εργασίας.

3.5 Έλεγχος της ποιότητας και επικύρωση των δεδομένων που συλλέγονται από την PI International.

Κατά τη διαδικασία της συλλογής των στοιχείων, οι ειδικοί της PI International (GaBi,2015) έχουν προετοιμάσει ένα κατάλογο ελέγχου των γενικών σημείων τα οποία θα διασφαλίζουν στα δεδομένα, τις απαιτήσεις ποιότητας. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν: ισοζυγία μάζας και ενέργειας, τα υπόλοιπα των εκπομπών, τον έλεγχο αξιοπιστίας, και επιπροσθέτως κατά πόσο περιλαμβάνονται όλα τα σχετικά βήματα διεργασιών, οι εισροές και οι εκροές.

Εάν παρουσιαστούν ανωμαλίες, τα προβλήματα ελέγχονται επαναληπτικά με τον πάροχο δεδομένων ή με την ομάδα ειδικών εμπειρογνομόνων της PI International . Ο στόχος των εμπειρογνομόνων είναι να διευκρινίσει αν πρόκειται για δεδομένα ή μεθοδολογικό πρόβλημα, αν πρόκειται για ειδική περίπτωση ή ένα κοινό θέμα. Εκτός από αυτόν τον τεχνικό έλεγχο, θέματα που καλύπτονται από ζητήματα ποιότητας των δεδομένων, τις πηγές δεδομένων ή τις αρχές, όπως ο στόχος ή το πεδίο εφαρμογής, η μονάδα αναφοράς και το σύστημα των ορίων θα πρέπει να ελέγχονται προκειμένου να διασφαλιστεί η συνοχή μέσα από όλα τα δεδομένα που συλλέγονται.

Μετά από αυτό τον έλεγχο τα δεδομένα θεωρούνται ως «επικυρωθέντα» και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μοντελοποίηση στο πλαίσιο GaBi.

3.6 Επεξεργασία σε περίπτωση απουσίας δεδομένων για μια AKZ με την βοήθεια του GaBi - PI International.

Τα δεδομένα που λείπουν είναι ένα κοινό πρόβλημα της AKZ για ένα ερευνητή. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω έλλειψης των στοιχείων ή της μη πρόσβασης στα δεδομένα. Σε αυτή την περίπτωση εναπόκειται στην ομάδα εμπειρογνομόνων για να αποφασίσουν ποια διαδικασία να υιοθετήσουν. Ο σκοπός είναι να βρεθούν τα στοιχεία που λείπουν και να κλείσει έτσι το χάσμα όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερα, χωρίς όμως την χρησιμοποίηση μη παραδεκτών ή απλοποιημένων υποθέσεων (GaBi,2015).

Δεν υπάρχει βασικός κανόνας για αυτό το πρόβλημα, δεδομένου ότι η κάθε περίπτωση θα πρέπει να αναλυθεί ξεχωριστά, αλλά μπορούν να αναζητηθούν λύσεις στα παρακάτω:

- Στη Βιβλιογραφία: εκθέσεις, έγγραφα, βιβλία μπορούν να ελεγχθούν
- Χημικές αντιδράσεις : συχνά μια εκτίμηση μπορεί να παρέχεται από την στοιχειομετρία και την εκτίμηση της απόδοσης της αντίδρασης.
- Στην εκτίμηση να βασίζεται σε παρόμοιες διαδικασίες και τεχνολογίες
- Στη τεχνική αξιολόγησης εμπειρογνομόνων.
- Η διαδικασία που έχει επιλεγεί για την επεξεργασία των δεδομένων που λείπουν θα πρέπει να τεκμηριώνονται σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14044: 2006.

3.7 Μεταφορά Δεδομένων και Ονοματολογία του GaBi - PI International.

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος (GaBi,2015) ξεκινάει με την μεταφορά των δεδομένα που συγκεντρώνονται στο σύστημα λογισμικού GaBi. Το GaBi οργανώνει και προγραμματίζει σε ενότητες. Τα σχέδια (plans), διαδικασιών και ροών (flows), καθώς και οι λειτουργίες τους, διαμορφώνονται σε αρθρωτές μονάδες. Η θεμελιώδης βάση των μοντέλων που χρησιμοποιεί το GaBi, είναι η ροή τύπου αντικειμένου. Μια ροή GaBi είναι αντιπροσωπευτική ενός προϊόντος, των ενδιάμεσων διαδικασιών, των υλών της ενέργειας που χρησιμοποιούν, των πόρων ή της ροής εκπομπών.

Οι *στοιχειώδεις ροές* είναι πηγές και εκπομπές που εκλύονται από τις μονάδες επεξεργασίας απευθείας στην περιβάλλον, χωρίς περαιτέρω επεξεργασία, προκαλώντας μια συγκεκριμένη περιβαλλοντική επίπτωση.

Οι *ενδιάμεσες ροές* (υλικό ή ενέργεια) είναι τεχνικές ροές μεταξύ των διεργασιών της μονάδας ή μιας ροής προϊόντος αφήνοντας την τελική διαδικασία για περαιτέρω χρήση σε ένα σύστημα. Οι ενδιάμεσες ροές χρησιμοποιούνται ως ένας συνδετικός κρίκος μεταξύ των διεργασιών στο εσωτερικό του συστήματος του κύκλου ζωής.

Τα *Σχέδια* (ή συστήματα σχεδίου) χρησιμοποιούνται από το GaBi για να δομήσουν τις διαδικασίες σε ένα σύστημα προϊόντος. Ουσιαστικά, τα σχέδια είναι οι «*χάρτες της διαδικασίας*», που απεικονίζουν ένα στάδιο ή υπο-στάδιο στο σύστημα και βοηθούν στο να κατανοήσουμε την τεχνική πραγματικότητα πίσω από το σύστημα.

Μια σαφώς καθορισμένη ονοματολογία των ροών είναι απαραίτητη. Το GaBi καθορίζει όλες τις γνωστές και χρησιμοποιούμενες ροές με συνέπεια την αποφυγή διπλοεγγραφών. Μια σαφής και καθορισμένη ονοματολογία χρειάζεται για να διευκολύνει ή να επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων με άλλες ονοματολογίες και συστήματα (όπως π.χ. ILCD 2010). Διαφορετικό σύστημα ονοματολογίας προτείνετε από την ακαδημαϊκή κοινότητα σε σχέση με την πρακτική. Δεν υπάρχει παγκόσμια πρότυπη ονοματολογία έως σήμερα, γιατί θεωρητικές και πρακτικές προσεγγίσεις εξακολουθούν να απαιτούν διαφορετικές πτυχές των θεμάτων. Σε κάθε ανάπτυξη μια σαφώς καθορισμένη ονοματολογία είναι αναγκαία να προσδιορίζει τις ροές, τις διαδικασίες και τα σχέδια.

Οι πιο σημαντικές πτυχές της ονοματολογίας περιλαμβάνουν για τις :

Ροές (Flows)

- Ονόματα (αυτά που χρησιμοποιούνται πιο συχνά ή σύμφωνα με τα υφιστάμενα συστήματα)

- Κωδικός Χημικών Περιλήψεων - CAS (Chemical Abstracts Service)
- Σύντμηση ονομάτων (π.χ. πολυπροπυλένιο PP)
- Χημικός τύπος (π.χ. CO₂ διοξείδιο του άνθρακα)
- Τεχνικές πτυχές όπως η θερμογόνος αξία, η περιεκτικότητα σε στοιχεία ή κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- την μονάδα αναφοράς (π.χ. kg, MJ, Bq, Nm³)

Το λογισμικό σύστημα GaBi έχει ένα σημαντικό κατάλογο με προκαθορισμένες στοιχειώδεις ροές, έτσι ώστε μόνο νέες ενδιάμεσες ροές ή ροές προϊόντων να χρειάζεται να δημιουργηθούν.

Διεργασίες / Διαδικασίες (Processes)

- Καθορισμό της χώρας
- Όνομα (ως επί το πλείστον το όνομα του προϊόντος που δημιουργήθηκε το οποίο είναι επίσης η λειτουργική μονάδα της διαδικασίας ανάλυσης)
- Στοιχεία επιπροσθέτως του ονόματος (π.χ. κοκκώδες υλικό)
- την τεχνολογία παραγωγής (εάν υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες για την παραγωγή του υλικού)
- το έτος αναφοράς
- την ποιότητα των δεδομένων και την πληρότητα

Σχέδια (Plans)

Το όνομα του σχεδίου θα πρέπει να μπορεί να κατανοήσει τα σχετικά όρια του συστήματος, τη διαδρομή της βασικής τεχνολογίας και τη βασική θέση της λειτουργίας. Στόχος είναι μια συνεπής ονομασία της ροής, της σχετικής διαδικασίας και του σχετικού σχεδίου συστήματος. Οι βάσεις δεδομένων GaBi (GaBi,2013) έχουν ήδη ολοκληρωμένες στοιχειώδεις για την παραγωγή ροές για περισσότερο από 8.000 σετ βάσεων ενώ οι αντίστοιχες χρησιμοποιημένες ροές τεκμηριώνεται κατευθείαν στην διαδικασία.

Δεδομένου ότι ένας αποτελεσματικός και ευέλικτος συνδυασμός των διαδικασιών και των σχεδίων GaBi μπορούν να επηρεάσουν το κατάλληλο αποτέλεσμα, μια ορισμένη δομή του επιθυμητού συστήματος πρέπει να είναι γνωστή εκ των προτέρων.

3.8 Χρήση Παραμέτρων στο GaBi - PI International.

Οι παράμετροι (GaBi,2015) είναι μεταβλητές μέσα σε ένα σύνολο δεδομένων, τα οποία επιτρέπουν τη διακύμανση των ροών εισόδου και εξόδου διεργασίας ώστε να μπορέσουν να αποδεσμευτούν από μια αυστηρή σχέση μεταξύ των εισροών και των ροών εξόδου. Οι παράμετροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των ποσοτήτων ροής (π.χ. λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών μιας ουσίας που χρησιμοποιείται) με βάση τεχνικούς όρους, όπως η αποδοτικότητα της μονάδας παραγωγής ενέργειας, το χρησιμοποιούμενο καύσιμο ή άλλες παραμέτρους.

Μια τυπική εφαρμογή παραμετρικών μοντέλων είναι η μοντελοποίηση των διαδικασιών μεταφοράς. Είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι εκπομπές CO₂ μέσω μιας μαθηματικής σχέσης, ανάλογα με τη διανυθείσα απόσταση, τον βαθμό χρήσης και την ειδική κατανάλωση καυσίμου ενός φορτηγού. Σημαντικές παράμετροι μιας διαδικασίας είναι:

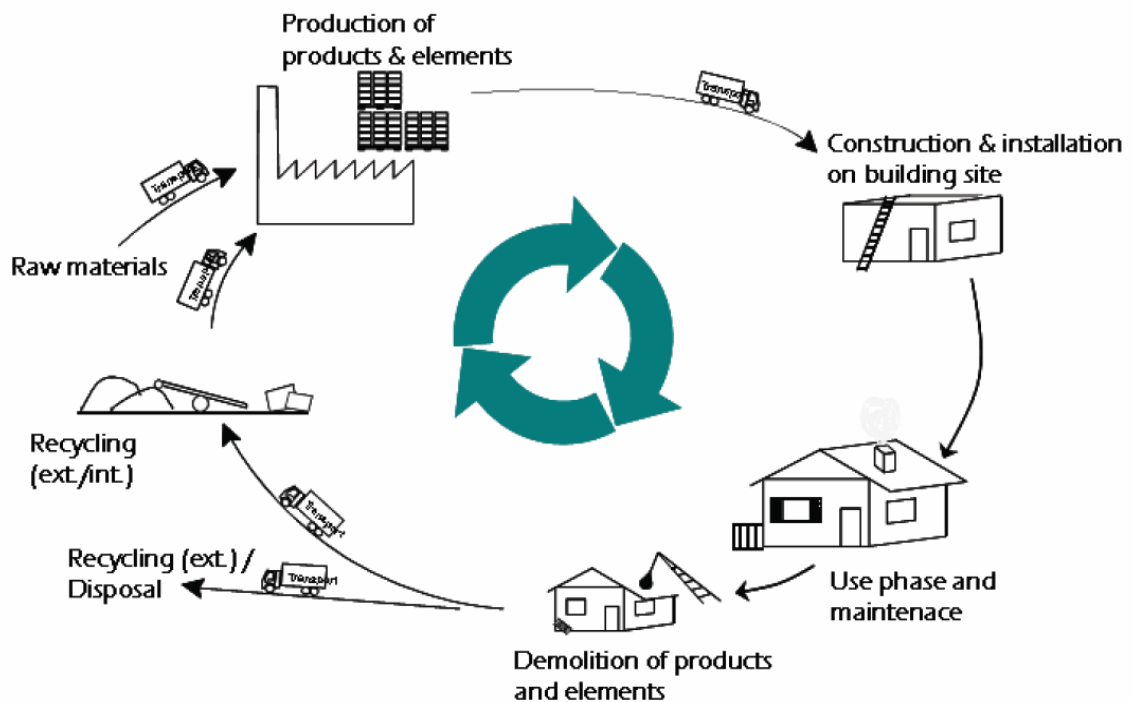
- εξόρυξη αργού πετρελαίου, φυσικού αερίου και άνθρακα
- σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- δραστηριότητες του διυλιστηρίου
- παροχή νερού
- διαδικασίες επεξεργασίας των λυμάτων, ανακύκλωση, αποτέφρωση
- μεταφορές
- γεωργικές διαδικασίες
- ορισμένες διεργασίες εμπλουτισμού και εξευγενισμού των μετάλλων

Η κατάλληλη παραμετροποίηση μπορεί να μειώσει την πιθανότητα ενός σφάλματος, να μας δώσει καλύτερα αποτελέσματα και να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την δημιουργία πιο σύνθετων μοντέλων ανάλυσης κύκλου ζωής των υλικών.

3.9 Κατασκευαστική Βιομηχανία και GaBi.

Ο κατασκευαστικός τομέας χρησιμοποιεί εκτεταμένες ποσότητες των φυσικών πόρων, των πρώτων υλών και της ενέργειας. Εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο κατασκευαστικός τομέας είναι υπεύθυνος για ένα ποσοστό 10% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ) και δημιουργεί περίπου 7% της συνολικής απασχόλησης. Λαμβάνοντας υπόψη ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους, τα κτίρια και τα δομικά προϊόντα είναι υπεύθυνα για την κατανάλωση του 40% περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρώπη, καθώς και για την κατανάλωση περίπου 40-50% των φυσικών πόρων.

Εικόνα 3.9 : Κύκλος Ζωής ενός κτιρίου (GaBi,2015)



Οι ανθρωπογενείς ροές υλικών που προκαλούνται από τον κύκλο ζωής των κτιρίων συμβάλουν μέσω πολλών περιβαλλοντικών κατηγοριών σε δυναμικές επιπτώσεις. Για την περιγραφή ενός κτιρίου κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής του, διάφορες πληροφορίες απαιτούνται σχετικά με την εξάντληση των ορυκτών πόρων (εξόρυξη και την παραγωγή των οικοδομικών υλικών), η εξάντληση των ενεργειακών πόρων και η απελευθέρωση των ρύπων (παραγωγή υλικών, μεταφορές, ο ενεργειακός εφοδιασμός της παραγωγής και της διάρκεια χρήσης του κτιρίου), η χρήση της γης και η επεξεργασία των αποβλήτων (κατασκευή, χρήση, ανακαίνιση, κατεδάφιση).

Για να δομήσουμε αυτές τις πληροφορίες δεδομένων στο GaBi, ο κύκλος ζωής συστηματικά χωρίζεται σε διάφορες τμηματικές διεργασίες, σχηματίζοντας αντιστοίχως μια αλυσίδα, ώστε να μπορεί να γίνει ένα δίκτυο που θα αντιπροσωπεύει τη μάζα και τις ροές ενέργειας που προκαλούνται από την δημιουργία ενός κτιρίου έως και την κατεδάφισή του.

Κάθε προϊόν οικοδομών παράγεται προκειμένου να εκπληρώσει μια συγκεκριμένη λειτουργία εντός του κτιρίου ή της κατασκευής. Κατά συνέπεια, η ανάλυση σε επιμέρους υλικά κατασκευής δεν θα πρέπει να γίνεται χωρίς την χρησιμοποίηση μιας λειτουργικής μονάδας που εκτιμά τον σκοπό του υλικού κατασκευής ή που δεν εξετάζει για το που προορίζεται να χρησιμοποιηθεί αυτό. Η λειτουργική μονάδα πρέπει πάντα να περιλαμβάνει την απόδοση ενός υλικού εντός της δομής του κτιρίου. Απλές συγκρίσεις με βάση την μάζα

είναι παραπλανητικές. Τα βασικά στοιχεία (π.χ. μεταφορές, προμήθεια ενέργειας) που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση της παραγωγής και των κατασκευαστικών υλικών θα πρέπει να είναι συγκρίσιμα. Αυτό θα ισχύει και για τα όρια του συστήματος και των μεθοδολογικών βασικών σημείων (π.χ. κριτήρια cut off και κανόνες κατανομής) που μπορούν να επηρεάσουν το αποτέλεσμα σημαντικά. Για τα υλικά κατασκευής χρησιμοποιείται η σταθερή βάση δεδομένων GaBi.

Η GaBi 2013 βάση δεδομένων δομικών υλικών, καλύπτει τα πιο συναφή προς τις κατασκευές υλικά, καθώς και πιο εξειδικευμένα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των κτιρίων, δρόμων ή τις υπόγειες κατασκευές. Είναι χωρισμένη σε ορυκτά προϊόντα (συμπεριλαμβανομένων του σκυροδέματος και προϊόντων σκυροδέματος, τούβλων, φυσικές πέτρες, καθώς και υλικών μόνωσης, όπως πετροβάμβακα και υαλοβάμβακα), μέταλλα (μεταλλικές κατασκευές), πολυ-μερών (για την κατασκευή, συμπεριλαμβανομένων των μονωτικών υλικών), οικοδομική ξυλεία, τσιμέντου και γύψου-κονιάματος προϊόντα, επιχρίσματα και χρώματα. Η βάση δεδομένων περιέχει επίσης αρκετά έτοιμα προς χρήση δομικών υλικών στοιχείων, όπως τα κουφώματα με διαφορετικές διαστάσεις και τύπους πλαισίων.

Η ομάδα LBP - GaBi (<http://www.lbp-gabi.de/>) και η ομάδα της PI International οι οποίες βρίσκονται στο ίδιο κτίριο αποτελούν την μεγαλύτερη ομάδα εργασίας στον κόσμο και βρίσκονται στην Στουτγάρδη της Γερμανίας. Η ομάδες αυτές ανέπτυξαν ένα γενικό μοντέλο κτιρίου για να ανταποκριθούν στη ζήτηση της ανάλυσης των δομικών υλικών, καθώς και τα στοιχεία κατασκευής για ολόκληρα κτίρια, μέσα στο αντίστοιχο πλαίσιο. Το μοντέλο κτιρίου αυτό χρησιμοποιήθηκε ως μεθοδολογική βάση για την ανάλυση του κύκλου ζωής των Ευρωπαϊκών κτιρίων και έκτοτε έχει συνεχώς υποβληθεί σε περαιτέρω ανάπτυξη προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες των κτιρίων σε Πολεοδόμους, Αρχιτέκτονες και Μηχανικούς για την αξιολόγηση της απόδοσης του κύκλου ζωής των υφιστάμενων ή σχεδιαζόμενων κτιρίων. Το κτίριο μοντέλο περιλαμβάνει όχι μόνο την κατασκευή και το πλαίσιο του κτιρίου, αλλά και την θέρμανση, την ψύξη και τις συσκευές.

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του τομέα των κατασκευών είναι η χρήση της «δυνατότητας ανακύκλωσης». Η δυνατότητα ανακύκλωσης ποσοτικοποιεί τις περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις που μπορούν να αποφευχθούν με τη χρήση ανακυκλωμένων υλικών σε σχέση με την παραγωγή νέων υλικών (EN 15804).

Νέα Ευρωπαϊκά πρότυπα EN 15804 (European standard EN 15804)

Στη νέα βάση δεδομένων EN15804 για την κατασκευή (Βιωσιμότητα των κατασκευαστικών έργων - περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων - βασικοί κανόνες για την κατηγορία των προϊόντων δομικών κατασκευών») έχουν προστεθεί συμβατά σύνολα δεδομένων.

Το νέα πρότυπα χωρίζουν τον κύκλο ζωής ενός κτιρίου στα **Στάδια του Κύκλου ζωής του** και των **Ενοτήτων**. Στο πλαίσιο της νέας βάσης δεδομένων για την κατασκευή τα σύνολα δεδομένων μοντελοποιούνται, ομαδοποιούνται και επισημαίνονται σύμφωνα με το πρότυπο EN 15804. Τα σύνολα δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να διαμορφώσουν το σύνολο του κύκλου ζωής ενός κτιρίου.

Η EN 15804 μεθοδολογία χωρίζει τον κύκλο ζωής ενός κτιρίου στα παρακάτω στάδια:

1. Παραγωγή
2. Εγκατάσταση
3. Στάδιο Χρήσης
4. Τέλος της ζωής της κατασκευής
5. Οφέλη και οι επιβαρύνσεις που προέρχονται από τη διαδικασία του κύκλου ζωής.

Κάθε ένα από αυτά τα στάδια του κύκλου ζωής αναλύονται περαιτέρω σε πολύ λεπτομερή στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος, και ονομάζονται Ενότητες (π.χ., το στάδιο των προϊόντων στις ενότητες A1, A2, A3). Οι ενότητες χρησιμοποιώντας ένα κεφαλαίο γράμμα και ένα αριθμό, αριθμούνται συνεχώς μέσα στα στάδια του κύκλου ζωής.

Εικ. 3.9 Κύκλος ζωής σε στάδια σύμφωνα με το EN 15804

Production			Installation		Use stage							End-of-Life			Next product system	
Raw material supply (extraction, processing, recycled material)	Transport to manufacturer	Manufacturing	Transport to building site	Installation into building	Use / application	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstruction / demolition	Transport to EoL	Waste processing for reuse, recovery or recycling	Disposal	Reuse, recovery or recycling potential
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

Στάδιο “Παραγωγής”

A1-A3

Το στάδιο παραγωγής προϊόντων είναι μια ενότητα πληροφοριών και περιλαμβάνει:

- A1, την εξόρυξη και την επεξεργασία των πρώτων υλών, την επεξεργασία των δευτερογενών υλικών εισροής (π.χ. διεργασίες ανακύκλωσης)

- A2, την μεταφορά στον κατασκευαστή
- A3, Μεταποίηση

συμπεριλαμβανομένης της παροχής όλων των υλικών, των προϊόντων και της ενέργειας, της μεταποίησης συσκευασίας και μεταφοράς τους, καθώς και την επεξεργασία των αποβλήτων μέχρι το τέλος της ζωής τους ή την διάθεση των τελικών υπολειμμάτων κατά τη διάρκεια παραγωγής του προϊόντος.

A4-A5

Στη βάση δεδομένων επέκτασης GaBi για την κατασκευή συνυπολογίζονται :

- A4, μεταφορά στο εργοτάξιο
- A5, εγκατάσταση στο κτίριο

συμπεριλαμβανομένης της παροχής όλων των υλικών, των προϊόντων και της ενέργειας, της μεταποίησης συσκευασίας και μεταφοράς τους, καθώς και την επεξεργασία των αποβλήτων μέχρι το τέλος της ζωής τους ή την διάθεση των τελικών υπολειμμάτων κατά τη διάρκεια παραγωγής του προϊόντος.

Οι ενότητες αυτές επίσης περιλαμβάνουν όλες τις επιπτώσεις και τις πτυχές που σχετίζονται με τις ενδεχόμενες απώλειες κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου κατασκευής (π.χ. παραγωγή, τη μεταφορά).

Στάδιο ‘Χρήσης’

B1-B5

Το στάδιο της χρήσης, σχετίζεται με το κέλυφος του κτιρίου και περιλαμβάνει:

- B1, την χρήση ή την εφαρμογή του εγκατεστημένου προϊόντος
- B2, την συντήρηση
- B3, την επισκευή
- B4, την αντικατάσταση
- B5, την ανακαίνιση

συμπεριλαμβανομένης της παροχής και της μεταφοράς όλων των υλικών, των προϊόντων, της ενέργειας και της χρήσης του νερού, καθώς και την επεξεργασία των αποβλήτων μέχρι το τέλος ζωής τους ή τη διάθεση των τελικών υπολειμμάτων. Στο στάδιο της χρήσης οι πληροφορίες περιλαμβάνουν επίσης όλες τις επιπτώσεις και τις πτυχές που σχετίζονται με τις απώλειες κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου (π.χ. παραγωγή, μεταφορά-επεξεργασία και διάθεση των αποβλήτων από τα χαμένα προϊόντων και υλικών).

Το στάδιο της χρήσης σε σχέση με τη λειτουργία του κτιρίου περιλαμβάνει:

B6-B7

- B6, την χρήση ενέργειας για τις λειτουργικές ανάγκες (π.χ. λειτουργία του συστήματος θέρμανσης και άλλων σχετικών συστημάτων κτιρίων)
- B7, επιχειρησιακή χρήση του νερού

Στάδιο “Τέλος Κύκλου Ζωής”

C1-C2-C2-C4

Το στάδιο “Τέλος Κύκλου Ζωής” των οικοδομικών υλικών ξεκινά όταν από ένα κτίριο ή κατασκευή το προϊόν αντικαθίσταται, αποσυναρμολογείται ή αποδομείται και δεν παρέχει πλέον καμία περαιτέρω λειτουργία. Μπορεί επίσης το στάδιο αυτό να ξεκινήσει στο τέλος της ζωής του κτιρίου, ανάλογα με την επιλογή του ή το σενάριο κύκλου ζωής του προϊόντος.

Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει:

- C1, αποδόμηση, κατεδάφιση
- C2, μεταφορά προς επεξεργασία των αποβλήτων
- C3, την επεξεργασία των αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση, ανάκτηση ή ανακύκλωση
- C4, διάθεση

συμπεριλαμβανομένης της παροχής και όλες τις μεταφορές, την παροχή όλων των υλικών, των προϊόντων, των σχετικών χρήσεων ενέργειας και την χρήση του νερού.

Στάδιο “Επόμενου συστήματος παραγωγής, Επαναχρησιμοποίησης - Ανάκτησης και Ανακύκλωσης”

Στάδιο D

Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει όλα τα συνπρόϊοντα και που έχουν περάσει την κατάσταση στο τέλος του κύκλου ζωής των αποβλήτων, με τη μορφή της επαναχρησιμοποίησης, ανάκτησης ή ανακύκλωσης.

Δείκτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων σύμφωνα με EN 15804 :

Ο κατάλογος που ακολουθεί παρουσιάζει τους 24 περιβαλλοντικούς δείκτες που χρησιμοποιούνται στο πρότυπο EN 15804, συμβατούς με την Περιβαλλοντική Δήλωση Προϊόντων. Υπάρχουν επτά δείκτες των επιπτώσεων στο περιβάλλον, δέκα δείκτες για τους πόρους, τρεις δείκτες των αποβλήτων, και τέσσερις δείκτες ροών εξόδου.

Δείκτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων :

- δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP)
- καταστροφής του όζοντος (ODP)

- δυναμική αύξηση της οξύτητας (AP)
- δυναμικό ευτροφισμού (EK)
- δυναμικό σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος (POCP)
- Αβιοτικά δυναμικό καταστροφής για τις μη ορυκτές πηγές (στοιχεία ADP)
- Αβιοτικά δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων (ADP ορυκτά καύσιμα)

Δείκτες χρήσης των πόρων :

- Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών πρωτογενούς ενέργειας εκτός των ανανεώσιμων πηγών πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες
- Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες
- Η συνολική χρήση των ανανεώσιμων πηγών πρωτογενούς ενέργειας (πρωτογενούς ενέργειας και πρωτογενών ενεργειακών πόρων που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες)
- Η χρήση των μη ανανεώσιμων πηγών πρωτογενούς ενέργειας εξαιρουμένων των μη ανανεώσιμων πόρων πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες
- Η χρήση των μη ανανεώσιμων πόρων πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες
- Η συνολική χρήση των μη ανανεώσιμων πόρων πρωτογενούς ενέργειας (πρωτογενούς ενέργειας και πρωτογενών ενεργειακών πόρων που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες)
- Χρήση των δευτερογενών υλικών
- Η χρήση των ανανεώσιμων δευτερογενών καυσίμων
- Η χρήση των μη ανανεώσιμων δευτερογενών καυσίμων
- Η χρήση του καθαρού φρέσκου νερού

Κατηγορία Δεικτών Αποβλήτων :

- Επικίνδυνα απόβλητα που εναποτίθενται
- Μη επικίνδυνα απόβλητα προς διάθεση
- Ραδιενεργά απόβλητα που απορρίπτονται

Κατηγορία Δεικτών ροής

- Εξαρτήματα για επαναχρησιμοποίηση
- Υλικά για την ανακύκλωση
- Υλικά για την ανάκτηση ενέργειας
- Εξαγωγή ενέργειας

3.10 Σύνολο Δεδομένων – Διαδικασία για το έτοιμο σκυρόδεμα C20/25 / Μείγμα Τεχνολογιών / Μείγμα Παραγωγής στο εργοστάσιο, βάση δεδομένων με το λογισμικό GaBi

Όσον αφορά την *Στατιστική Ταξινόμηση* :

Το σύνολο των στοιχείων μέσω GaBi καλύπτει όλες τις σχετικές διαδικασίες παραγωγής και τεχνολογιών μέσω της αλυσίδας εφοδιασμού για το έτοιμο σκυρόδεμα C20/25 με βάση την αρχή "Από την δημιουργία μέχρι το τέλος του Κύκλου Ζωής" του υλικού και με μια καλή συνολική ποιότητα του καταλόγου των στοιχείων. Η απογραφή γίνεται κυρίως με βάση τα δεδομένα της βιομηχανίας και συμπληρώνεται, ενδεχομένως, από δευτερογενή δεδομένα.

Τις *Ποσοτικές Αναφορές* :

είναι αναφορές ροών για Σκυρόδεμα C20-25 με μάζα 1 kg.

Ός προς την *Χρονική αντιπροσωπευτικότητα* των δεδομένων :

τα σημερινά δεδομένα ισχύουν έως το τέλος του 2016 / Μέσος Ετήσιος Όρος.

Για τις *Γεωγραφικές Αναφορές*:

Το σύνολο των στοιχείων αντιπροσωπεύει τη γερμανική κατάσταση, εστιάζοντας στις βασικές τεχνολογίες, στα ειδικά χαρακτηριστικά της περιοχής και στα στατιστικά στοιχεία.

Περιγραφή *Τεχνολογίας - Συστήματος παραγωγής* :

Το σκυρόδεμα είναι ένα μίγμα τσιμέντου, νερού και αδρανών υλικών ενώ όταν κρίνεται απαραίτητο στο μίγμα εισέρχονται πρόσθετα όπως συμπυκνωτές, παράγοντες επιβράδυνσης ή άλλοι παράγοντες. Το τσιμέντο και το νερό αποτελούν την πάστα τσιμέντου που όταν ενωθούν σχηματίζουν μια σκληρή πέτρα. Οι ιδιότητες του σκυροδέματος μπορούν να αλλάξουν με τη χρήση διαφορετικών δομών και υλικών.

Σύστημα Παραγωγής - Ιστορικό:

Ηλεκτρική ενέργεια. Ο Ηλεκτρισμός διαμορφώνεται ανάλογα με τις ειδικές καταστάσεις της κάθε χώρας. Η μοντελοποίηση σε συγκεκριμένη χώρα επιτυγχάνεται σε πολλαπλά επίπεδα.

Πρώτον, οι ειδικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής και οι εγκαταστάσεις για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μοντελοποιούνται σύμφωνα με την ισχύουσα Εθνική σύνθεση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Η

Μοντελοποίηση του μείγματος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει τις απώλειες μεταφοράς, την διανομή και την ίδια χρήση από τους παραγωγούς ενέργειας, καθώς και την εισαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Δεύτερον, μοντελοποιούνται τα εθνικά πρότυπα για τις εκπομπές και την αποδοτικότητα των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, καθώς και το μερίδιο των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και της συμπαραγωγής θερμότητας και σταθμών ηλεκτροπαραγωγής.

Τρίτον, υπολογίζεται ο ενεργειακός εφοδιασμός του φορέα ενέργειας της κάθε χώρας, συμπεριλαμβανομένων των ειδικών αναγκών.

Τέταρτον, μοντελοποιούνται οι διαδικασίες εξόρυξης / παραγωγής, οι τεχνικές επεξεργασίας και εφοδιασμού του ενεργειακού φορέα σύμφωνα με τη συγκεκριμένη κατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της κάθε χώρας.

Θερμική ενέργεια: Η θερμική ενέργεια διαμορφώνεται ανάλογα με την ειδική ενεργειακή κατάσταση της κάθε χώρας σε σχέση με τα πρότυπα εκπομπών και τους φορείς ενέργειας και παράγεται σε θερμικές μονάδες παραγωγής.

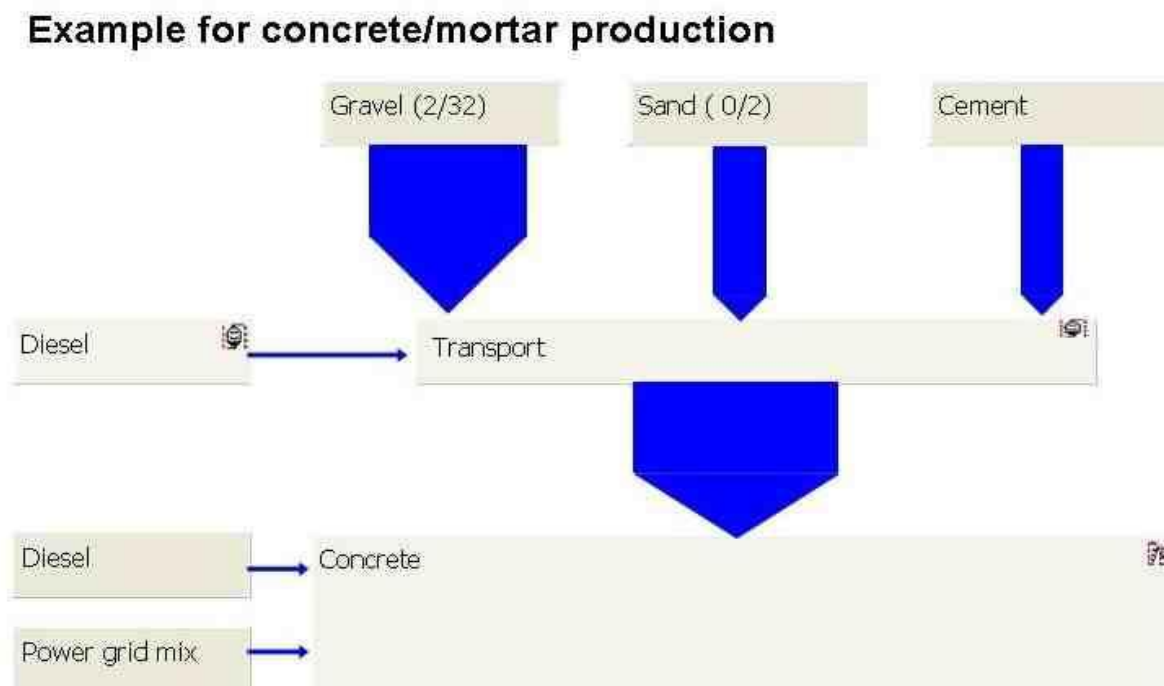
Μεταφορές:

Όλες οι συναφείς και γνωστές διαδικασίες μεταφοράς συμπεριλαμβάνονται. Υπερωκεάνιες μεταφορές, μεταφορές με πλοία καθώς και σιδηροδρομικών, φορτηγών και αγωγών μεταφοράς.

Το Σύνολο Δεδομένων Διεργασίας για την παραγωγή σκυροδέματος C20/25 μέσω GaBi περιλαμβάνει τα παρακάτω σετ Δεδομένων :

- Χαλίκι (Μέγεθος κόκκων 2/32) (EN15804 A1-A3)
- Πυριτικής άμμου (μέγεθος κόκκου 0/2)
- Μίγμα ντίζελ στο διυλιστήριο
- Ηλεκτρισμός μίγμα δίκτυο
- Τσιμέντο (CEM I 32,5) (EN15804 A1-A3)

Εικόνα 3.10 : Σύνολο Δεδομένων Διεργασίας για την παραγωγή σκυροδέματος C20/25 του λογισμικού GaBi, (GaBi,2015)



3.11 Ποιοτική Μεθοδολογία - Πειραματικές Διαδικασίες – Σενάρια - Ανάλυση Παραμέτρων

Ο σκοπός και ο στόχος αυτής της αξιολόγησης του κύκλου ζωής είναι να αναλυθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του σκυροδέματος ως πρώτης ύλης για χρήση στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση στον Κατασκευαστικό Τομέα., χρησιμοποιώντας την βοήθεια του λογισμικού Gabi. Αυτή η διατριβή προσπάθει να αναδείξει και να συγκρίνει περιβαλλοντικούς δείκτες μεταξύ της κλασικής μεθόδου παρασκευής σκυροδέματος και αυτής της χρήσης ανακυκλωμένων υλικών από την ανάκτηση υλικών καταδαφίσεων. Σε αυτή τη διατριβή μελετώντας το μίγμα ενός κυβικού (1μ3) σκυροδέματος με δύο διαφορετικά σενάρια ως προς την προέλευση των αδρανών υλικών, με την βοήθεια του ειδικού λογισμικού Ανάλυσης Κύκλου Ζωής GaBi 6.Η κατηγορία που χρησιμοποιείται περισσότερο για την κατασκευή οικιστικών κατασκευών στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι η κατηγορία C20/25 τύπου τσιμέντου Portland.

Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό υλικό που αποτελείται κατά βάση από αδρανή (χαλίκι και άμμο) συγκολλημένα μέσω του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού σε μονολιθική μάζα. Τα αδρανή είναι μεν το φθηνό

συστατικό, αλλά έχουν πολύ ικανοποιητικές βασικές ιδιότητες όπως η μηχανική αντοχή, ανθεκτικότητα σε διάρκεια και περιβαλλοντικές επιδράσεις (χημικές ουσίες, υγρασία, υψηλές θερμοκρασίες), σταθερότητα όγκου και υδατοστεγανότητα.

Πίνακας 3.11.1 : Κατηγορίες Σκυροδέματος και Ποσότητα Τσιμέντου σε kg/m³

A/A	Κατηγορία σκυροδέματος	Ποσότητα τσιμέντου σε Kg ανά m ³ σκυροδέματος
1	C8	240-250
2	C12	280-300
3	C16	300-350
4	C20	350-400

Είδη καυσίμων που χρησιμοποιούνται στην τσιμεντοβιομηχανία

Είδος Καυσίμου	Ποσοστό %
Φυσικό Αέριο	1.0
Πετρέλαιο και βαρέα κλάσματα	5.0
Λιγνίτες και άλλα είδη στερεών καυσίμων	5.5
Εναλλακτικά καύσιμα	14
Άνθρακες	24
Petcock	50.5

Ενέργεια :

Στην τσιμεντοβιομηχανία σημαντικές δαπάνες προκύπτουν από το υψηλό κόστος ενέργειας (θερμικής και ηλεκτρικής) ενώ είναι αναπόφευκτα λόγω των διεργασιών ορυκτολογικού μετασχηματισμού τα υψηλά επίπεδα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Η τσιμεντοβιομηχανία έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί υλικά στο τέλος του κύκλου ζωής τους ως εναλλακτικά (δευτερογενή) καύσιμα ή πρώτες ύλες για να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητά της και ταυτόχρονα να συνεισφέρει σε λύσεις των προβλημάτων της κοινωνίας που αφορούν στη διαχείριση των αποβλήτων της με το μικρότερο κόστος και με τέτοιο τρόπο που να τα αξιοποιεί και να ωφελεί το περιβάλλον. Η χρησιμοποίηση εναλλακτικών καυσίμων και πρώτων υλών στην τσιμεντοβιομηχανία αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο της ορθής πολιτικής διαχείρισης αποβλήτων. Αυτή η πρακτική προωθεί την ανάκτηση ενέργειας και ανακύκλωση υλικών στη βιομηχανία, σύμφωνα με τις βασικές αρχές της ιεράρχησης των μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η Ελλάδα βρίσκεται στις χαμηλότερες θέσεις της Ευρωπαϊκής κατάταξης με χρήση ελάχιστη, μικρότερη του 1% της συνολικής κατανάλωσης θερμικής ενέργειας. Τα χρησιμοποιούμενα εναλλακτικά καύσιμα ποικίλουν και κατά

κανόνα είναι δευτερογενή καύσιμα, δηλαδή προέρχονται από τη βιομηχανική επεξεργασία αποβλήτων όπως δευτερογενές (απορριμματογενές) καύσιμο (SRF, RDF), αποξηραμένη ίλη βιολογικών καθαρισμών, πετρελαιοειδή κατάλοιπα αναμεμιγμένα με πριονίδι χρησιμοποιημένα λάδια και λιπαντικά, χαρτί, ξύλο, πριονίδι, υφάσματα, αγροτικά & δασικά υπολείμματα, ζωοτροφές και οργανικά απόβλητα όπως διαλύτες, πλαστικά, χρησιμοποιημένα ελαστικά, κλπ. Οι χρησιμοποιούμενες εναλλακτικές πρώτες ύλες μεταξύ άλλων μπορεί να είναι ιπτάμενη τέφρα, υγρή τέφρα, τέφρα κλιβάνου, φρύγματα σιδηροπυρίτη, απολεπίσματα εξέλασης σιδήρου, σκωρίες, σιδηρούχα κατάλοιπα, τεχνητή γύψος, απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων κλπ.

Το 1992 ο Ευρωκώδικας 2 (EN1992-1-1) αντικαθιστά όλους τους εθνικούς κώδικες των χωρών μελών της Ευρωπαϊκής ένωσης που ασχολούνται με το σχεδιασμό και κατασκευή έργων σκυροδέματος. Το 2004 Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2 όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης Τυποποίησης (CEN European Committee for Standardisation) δεσμεύονται να συμμορφωθούν με τους Εσωτερικούς Κανονισμούς της CEN/CENELEC οι οποίοι θέτουν τους όρους υπό τους οποίους ο παρών Ευρωκώδικας θα λάβει την υπόσταση ενός εθνικού προτύπου, χωρίς καμία τροποποίηση.

Στην Ελλάδα υπάρχουν οκτώ βιομηχανίες τσιμέντου και αν υποθέσουμε ότι το 90-95% του τσιμέντου (100 % = 10.35 εκατ. τόνοι) διατίθεται στην ελληνική αγορά, δηλ. 0.90×10.35 εκατ. τόνοι \approx **9.32 εκατ. τόνοι**, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή σκυροδέματος. Δεδομένου ότι για κάθε m^3 σκυροδέματος απαιτούνται περίπου 341 kg (0.34 t) τσιμέντου, τότε παράγονται: $(9.32/0.34) \times 10^6 = 27.41 \times 10^6 m^3$ σκυροδέματος. Επειδή όμως για κάθε m^3 σκυροδέματος απαιτούνται επίσης περίπου 2 τόνοι αδρανών υλικών, τότε απαιτούνται επιπλέον $2 \times 27.41 \times 10^6 \approx$ **54.82×10^6 τόνοι αδρανών υλικών** για σκυρόδεμα.

Οι 54.82×10^6 τόνοι αδρανών υλικών προέρχονται από την κατεργασία (θραύση, ταξινόμηση-κοσκίνιση) ασβεστολιθικού πετρώματος που εξορύσσεται σε λατομεία (νταμάρια) με επιφανειακή εξόρυξη. Το ποσοστό του αξιοποιήσιμου υλικού (κατάλληλα κοκκομετρικά κλάσματα μετά τη θραύση και κοσκίνιση) ανέρχεται κατά μέγιστο ποσοστό περίπου στο 60-70% του εξορυσσόμενου, δηλαδή πρέπει να εξορυχτούν συνολικά τουλάχιστον: $(54.82 \times 10^6 / 0.70) \approx$ **78.31×10^6 τόνοι ασβεστολιθικού πετρώματος** για την παραγωγή του σκυροδέματος. Για την παραγωγή 1 κιλού τσιμέντου το 80% περίπου είναι ασβεστολιθικά πετρώματα

Είναι αναγκαίο να προσεγγίσουμε την οικοδόμηση του κύκλου ζωής ένα βήμα κάθε φορά. Δεδομένου ότι υπάρχει σημαντικό ενδιαφέρον για τις περιβαλλοντικών επιπτώσεις του σκυροδέματος σε αυτές τις δομές, το πρώτο βήμα είναι η **ανάλυση της ακατέργαστης ύλης χωριστά πριν την ενσωμάτωσή τους σε μοντέλα σκελετού**. Αργότερα, κάθε βήμα της διαδικασίας :σκελετός κτιρίου κατασκευή, συντήρηση και κατεδάφιση

μπορεί να αναλύονται συστηματικά ώστε να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο μοντέλο της ενσωματωμένης ενέργειας σε μια ποικιλία δομών και μοντέλων. Έτσι το μοντέλο μπορεί στη συνέχεια να εφαρμοστεί σε διάφορα σχέδια πλαισίων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα. Η μεταβλητότητα των αριθμών παρέχει ενδείξεις για το πώς μπορούν να ερμηνευθούν και να τονιστούν ορισμένα αποτελέσματα.

Θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **ILCD (International Reference Life Cycle System)** ένα Διεθνές Σύστημα Αναφοράς Δεδομένων Κύκλου Ζωής το οποίο έχει δημοσιεύσει "Συστάσεις εκτίμησης των επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής σε Ευρωπαϊκό πλαίσιο" και επιλέγει την μεθοδολογία που έχει αξιολογηθεί ως η καλύτερη στην κατηγορία των επιπτώσεων. Η μέθοδος **ILCD** έχει σχεδιαστεί για ένα ευρωπαϊκό πλαίσιο μοντελοποίησης.

Σύμφωνα με τις συστάσεις των ειδικών του GaBi εάν μία μελέτη πρόκειται να πραγματοποιηθεί στην Ευρώπη τότε προτείνεται η μέθοδος **ILCD** σε συνδυασμό με την μέθοδο **Traci** ως ανάλυση ευαισθησίας. Εάν οι μεταξύ των δύο μεθόδων έχουμε αποκλίσεις των αποτελεσμάτων τότε θα πρέπει να βρούμε την πιο κατάλληλη για την μελέτη μας.

Μονάδες Αναφοράς

Η μονάδα αναφοράς θεωρείται το ένα κυβικό (1μ³) σκυροδέματος. Δεδομένου ότι υπάρχει σημαντικό ενδιαφέρον για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του σκυροδέματος σε αυτές τις δομές, το πρώτο βήμα είναι η **ανάλυση των πρώτων υλών χωριστά πριν την ενσωμάτωσή τους σε μοντέλα σκελετού**. Έχοντας τα απαραίτητα στοιχεία στην συνέχεια μπορούμε να προσαρμόσουμε τις μελέτες σε διαφορετικά πλαίσια και μοντέλα κατασκευών και να προχωρήσουμε σε ένα επόμενο βήμα που θα αφορά την κατασκευή, συντήρηση και κατεδάφιση της κατασκευής.

Τα δεδομένα λαμβάνονται από τις βάσεις δεδομένων Gabi **δεδομένα που έχουν ληφθεί από αξιόπιστες πηγές σύμφωνα με τους κατασκευαστές του προγράμματος**. Ενώ οι περισσότερες από αυτές τις ροές υπήρχαν ήδη στις βάσεις δεδομένων GaBi, κάποια έπρεπε να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας δεδομένα από άλλες πηγές, ενώ άλλες πληροφορίες υπήρχαν μόνο σε Ευρωπαϊκά δεδομένα.

Το σκυρόδεμα είναι τεχνητό υλικό που αποτελείται κατά βάση από αδρανή (χαλίκι και άμμο) και τσιμέντο. Θα προσπαθήσουμε να διερευνήσουμε κατά πόσο μειώνονται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον κατά την παραγωγική διαδικασία :

- Με τη χρήση διαφορετικών μορφών πηγών ενέργειας (συγκρίσεις με διάφορες μορφές ενέργειας π.χ. ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εναλλακτικά καύσιμα)
- Αντικαθιστώντας μέρος των αδρανών από ανακυκλώσιμα υλικά πρώην κατασκευών

- Από τη χρήση του λεγόμενου πράσινου τσιμέντου

Παραδοχές

Θα χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα από μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος για την κατηγορία C20/25 με διαδικασία υπολογισμού ποσοτήτων για 1m³ σκυροδέματος.

Σύμφωνα με την μελέτη σύνθεσης για την κατηγορία C20/25 (Μελέτη Σύνθεσης Σκυροδέματος για την κατηγορία C20/25 της Εγκριτικής απόφασης και πλήρες κείμενο του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος - ΚΤΣ 1997 - ΦΕΚ 315B / 17-4-1997 / ΥΠΕΧΩΔΕ,1997) ισχύει:

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ % ΚΑΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΟΓΚΟ	
	C20/25	ΑΜΜΟΣ
	31 %	69 %

Όγκος Άμμου : $0,7043 \times 31\% = 0,217 = 0,22 \text{ m}^3$

Βάρος Άμμου : $0,22 \times 2620 = 572,03 = \underline{572 \text{ kg}}$

Όγκος Αδρανών : $0,7043 \times 69\% = 0,485 = 0,49 \text{ m}^3$

Βάρος Αδρανών : $0,49 \times 2620 = 1238,80 = \underline{1238 \text{ kg}}$

Τσιμέντο : $W/\omega = 170,46 \text{ kg} / 0,5 = \underline{340,96} = \underline{341,00 \text{ kg}}$

Συνεπώς θα εισάγουμε στο Gabi ως στοιχεία **572 kg** άμμο (Sand) και **1238 kg** αδρανών υλικών (Gravel).

Επίσης σύμφωνα με την Μελέτη Σύνθεσης Σκυροδέματος C20/25 θα χρειαστούν **341,00 kg** τσιμέντου Portland.

Στο Σενάριο1 η ενέργεια που θα χρησιμοποιήσουμε για την παρασκευή του σκυροδέματος θα είναι ενέργεια από διάφορες πηγές (mix energy) με δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από τους διαχειριστές του προγράμματος GaBi για την Ελλάδα κατά την περίοδο 2008 – 2013 και με διάρκεια ισχύς έως το 2016 ενώ στο **Σενάριο 2** θα ορίσουμε υποθετικά ως τύπο παραγωγής ενέργειας, την ενέργεια που παράγεται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς δηλαδή μία μορφή ενέργειας που θεωρείται κατεξοχήν ανανεώσιμη και με μεγάλο πεδίο εφαρμογής στην Ελλάδα.

3.12 Σενάριο 1 – Παρασκευή σκυροδέματος C20/25 στην Ελλάδα χωρίς την διεργασία ανακύκλωσης αδρανών υλικών

Στο Σενάριο 1 το έτοιμο σκυρόδεμα παρασκευάζεται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας κατά παρτίδες παραγγελίας. Τα συστατικά του καθορίζονται από την Μελέτη Σύνθεσης Σκυροδέματος για την κατηγορία C20/25 της Εγκριτικής απόφασης και πλήρες κείμενο του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος - ΚΤΣ 1997 - ΦΕΚ 315B / 17-4-1997 (ΥΠΕΧΩΔΕ,1997) και είναι :

- **1238 kg** αδρανών υλικών (Gravel)
- **572 kg** άμμος (Sand) και
- **341,00 kg** τσιμέντου Portland.

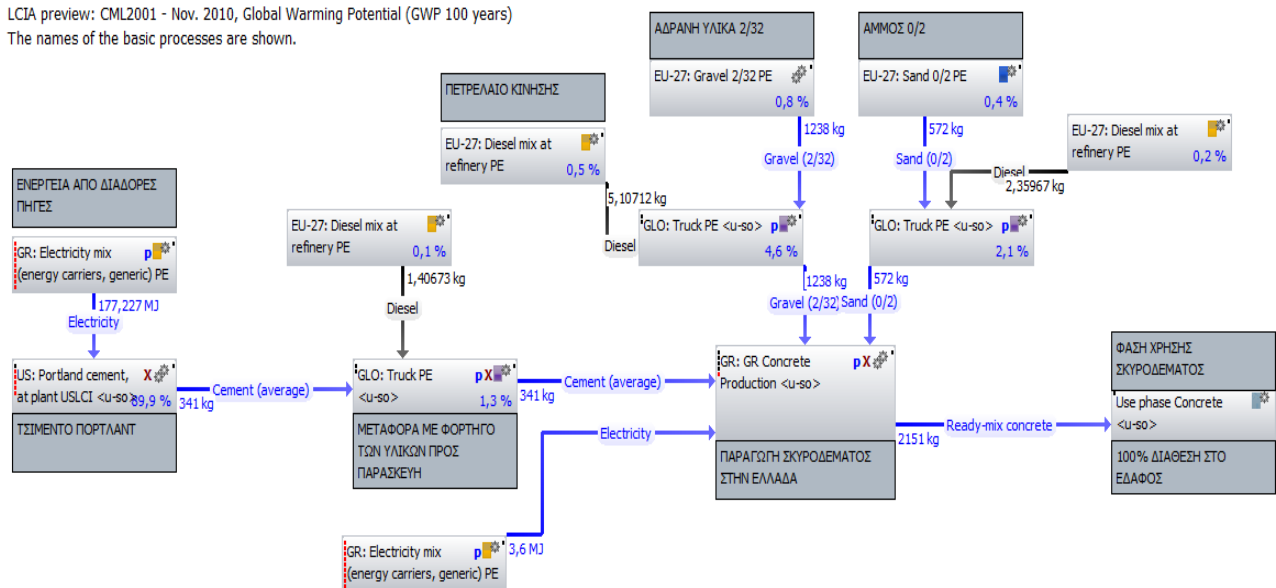
Τα υλικά για την παραγωγή (τσιμέντο, αδρανή) παραδίδονται στις εγκαταστάσεις παραγωγής σκυροδέματος με φορτηγά τα οποία χρησιμοποιούν **πετρέλαιο κίνησης**. Η απόσταση μεταφοράς των υλικών από τον χώρο παραγωγής μέχρι το χώρο παρασκευής του σκυροδέματος καθορίζεται στα **100 χιλιόμετρα**.

Το έτοιμο σκυρόδεμα στη συνέχεια μεταφέρεται στο εργοτάξιο προς χρήση.

Πλάνο 3.12 : Πλάνο Επεξεργασίας 1 (Process plan 1) παραγωγής Σκυροδέματος στην Ελλάδα με την βοήθεια του λογισμικού GaBi.

1. Senario / Concrete C20/25 GR

Process plan: Reference quantities
 LCIA preview: CML2001 - Nov. 2010, Global Warming Potential (GWP 100 years)
 The names of the basic processes are shown.



Οι **ποσότητες καυσίμων σε kg** που χρησιμοποιούν τα φορτηγά για την μεταφορά των αδρανών υλικών στο χώρο παραγωγής του σκυροδέματος είναι ανάλογες των ποσοτήτων. Έτσι παρατηρούμε ότι για την μεταφορά 1238 kg αδρανών υλικών κοκκομετρικής διάστασης 2/32 απαιτούνται 5,10 kg σε πετρέλαιο κίνησης. Αντίστοιχα για την μεταφορά άμμου 572 kg κοκκομετρικής διάστασης 0/2 απαιτούνται 2,35 kg πετρελαίου κίνησης και για τα 341 kg τσιμέντου Portland 1,40 kg πετρελαίου.

Η **ενέργεια** που χρησιμοποιήσαμε για την παρασκευή του σκυροδέματος είναι ενέργεια από διάφορες πηγές (mix energy) με δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από τους διαχειριστές του προγράμματος για την Ελλάδα κατά την περίοδο 2008 – 2013 και με διάρκεια ισχύς έως το 2016. Τα στοιχεία για την αλυσίδα εφοδιασμού του φορέα ενέργειας βασίζονται σε στατιστικά στοιχεία της χώρας, τις ειδικές αποστάσεις μεταφοράς καθώς και τη σύνθεση του φορέα ενέργειας. Τα δεδομένα υποδομών είναι από τη βιβλιογραφία. Τα δεδομένα διυλιστηρίου ελήφθησαν με βάση τα στατιστικά στοιχεία και τις μετρήσεις των μεγάλων διυλιστηρίων, καθώς και βιβλιογραφικά δεδομένα.

Έτσι για την **Ελλάδα σύμφωνα με τα δεδομένα GaBi για την μεικτή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας** (electricity mix) έχουμε:

- από βιοαέριο 0,35%
- από λιθάνθρακα 0,13%
- από μαζούτ 9,95%
- από υδροηλεκτρική ενέργεια 7,19%
- από λιγνίτη 52,13%
- από φυσικό αέριο 23,45 %
- από φωτοβολταϊκά 1,09 %
- από αιολική ενέργεια 5,58 %
- ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας από την αποτέφρωση των αποβλήτων (Waste-to-Energy) 0,19 %

Παρατηρούμε καταρχήν από την μία την μη σύγκλιση με τις κοινοτικές οδηγίες αφού η χρήση από λιγνίτη κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό 52,13% της εγχώριας παραγωγής και από την άλλη τα μικρά ποσοστά χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στο κάθε πλάνο παρατηρούμε σε kg τις τιμές εισόδου εξόδου των επιμέρων μερών του πλάνου, ενώ επί τοις εκατό αναφέρονται τα ποσοστά της *Ανάλυσης των επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment – LCIA - GWP)* για τον χαρακτηρισμό και την εκτίμηση των επιπτώσεων των περιβαλλοντικών

επιβαρύνσεων. Έτσι για τα 341 kg τσιμέντου που απαιτούνται για την παρασκευή σκυροδέματος οι επιπτώσεις για τον δείκτη υπερθέρμανσης του πλανήτη αγγίζουν το ποσοστό 69,9% ενώ για την άμμο το ποσοστό να αγγίζει το 0,4% για κάθε 572 kg υλικού. Πιο εμφανής η διαφορά σε αδρανή υλικά με ποσοστό 0,8% για 1238 kg προϊόντος.

Μετά το στάδιο της χρήσης και το τέλος ζωής του προϊόντος 100% του προϊόντος οδηγείται προς διάθεση στο περιβάλλον.

3.13 Σενάριο 2 – Παρασκευή σκυροδέματος C20/25 στην Ελλάδα χρησιμοποιώντας το μέγιστο 70% σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε ποσοστό ανακυκλωμένων αδρανών από απόβλητα κατασκευών μετά το τέλος ζωής τους

Η τελευταία οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Building the future with CDE) προδιαγράφει ποσοστό ανακύκλωσης από διάφορες κατασκευές και κατεδαφίσεις μέχρι το 2020 της τάξεως του 70%. Αυτό σημαίνει, ότι σύντομα η ανακύκλωση παλαιών σκυροδεμάτων και μπαζών θα είναι υποχρεωτική (Saez et al,2013).

Στο Σενάριο 2 για την παραγωγή του τσιμέντου Portland χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια συστατικά που καθορίζονται από την Μελέτη Σύνθεσης Σκυροδέματος C20/25, δηλαδή : **1238 kg** αδρανών υλικών (Gravel), **572 kg** άμμος (Sand) και **341,00 kg** τσιμέντου Portland και ενέργεια από διάφορες πηγές.

Προσθέσαμε **τρεις νέες παραμέτρους** στο σενάριό μας. Την **αντικατάσταση μέρους των αδρανών υλικών** με ανακυκλωμένα υλικά κατεδαφίσεων σύμφωνα με την τελευταία οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Building the future with CDE) η οποία προδιαγράφει ποσοστό ανακύκλωσης από διάφορες κατασκευές και κατεδαφίσεις της τάξεως του 70%. Παρατηρούμε από το διάγραμμα ότι **866,6 kg** σε αδρανή υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν από την ανακύκλωση υλικών κατασκευών μετά το τέλος της ζωής τους. Αυτό συμβάλει στην μείωση εξόρυξης αδρανών υλικών κατά 70% από τα συνολικά 1238 kg αδρανών που απαιτούνται για την παρασκευή 1m³ σκυροδέματος.

Σαν δεύτερη παράμετρο καθορίσαμε την απόσταση μεταφοράς των υλικών τα **50km**, γεγονός που συνεπάγεται την μείωση σε ενέργεια που απαιτείται κατά την μεταφορά και συνεπώς την μείωση των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Τα στοιχεία για την αλυσίδα εφοδιασμού του φορέα ενέργειας

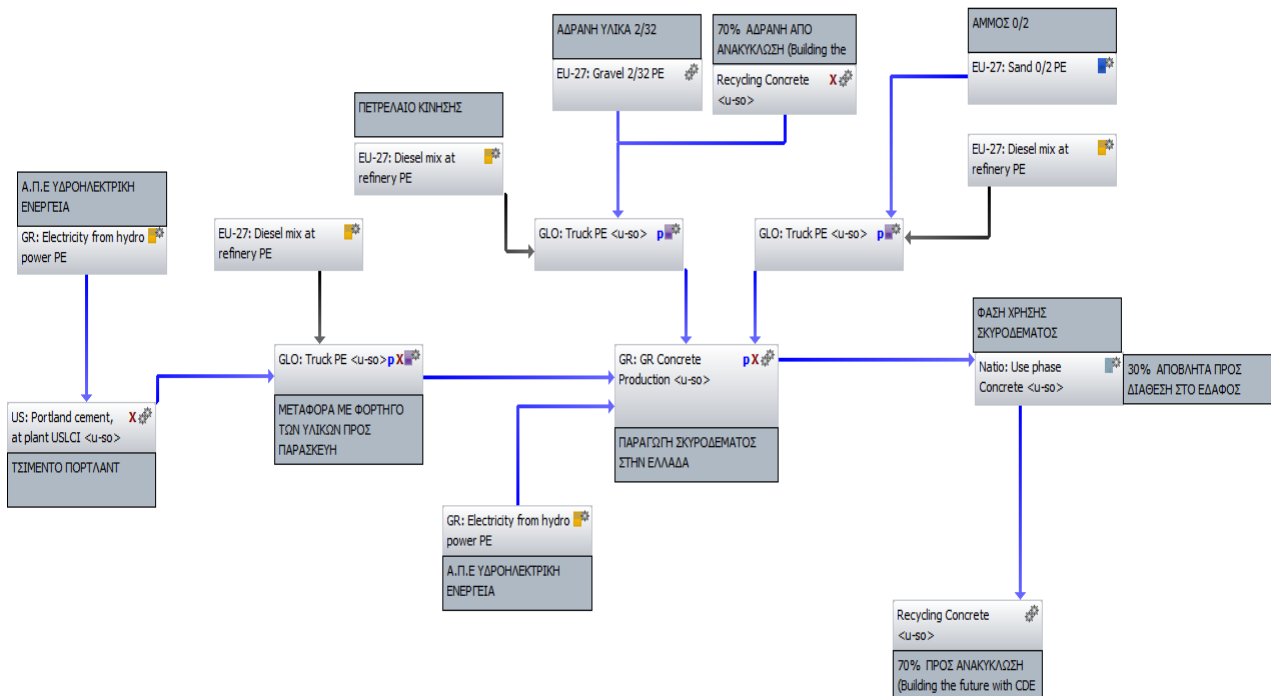
βασίζονται σε στατιστικά στοιχεία της χώρας, τις ειδικές αποστάσεις μεταφοράς καθώς και τη σύνθεση του φορέα ενέργειας. Χρησιμοποιήθηκαν φορτηγά για την μεταφορά των πρώτων υλών στην μονάδα παραγωγής χρησιμοποιώντας ως ενέργεια το πετρέλαιο κίνησης.

Ορίσαμε υποθετικά ως τρίτη παράμετρο και ως τύπο παραγωγής ενέργειας, **την ενέργεια που παράγεται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς** και μόνο, δηλαδή μία μορφή ενέργειας που θεωρείται κατεξοχήν ανανεώσιμη και με μεγάλο πεδίο εφαρμογής στην Ελλάδα. Τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν από τους διαχειριστές του προγράμματος για την Ελλάδα κατά την περίοδο 2008 – 2013 και με διάρκεια ισχύς έως το 2016. Τα δεδομένα υποδομών είναι από τη βιβλιογραφία. Τα δεδομένα διυλιστηρίου ελήφθησαν με βάση τα στατιστικά στοιχεία και τις μετρήσεις των μεγάλων διυλιστηρίων, καθώς και βιβλιογραφικά δεδομένα. Θα θέλαμε να εξετάσουμε με αυτό το σενάριο της διαφοράς στους περιβαλλοντικούς δείκτες μετά την αντικατάσταση μέρους των αδρανών υλικών και τις επιπτώσεις στο περιβάλλον από την παρασκευή σκυροδέματος με αυτόν τον τρόπο.

Πλάνο 3.13 : Πλάνο Επεξεργασίας 2 (Process plan 2) παραγωγής Σκυροδέματος στην Ελλάδα με την βοήθεια του λογισμικού GaBi.

2. Scenario / Concrete C20/25 GR / 70% Recycling Gravel / 50 km distance.

Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Αποτελέσματα (Results)

A. Μέθοδος Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

4. Ανάλυση Δεικτών των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων με GaBi (Μέθοδος Ανάλυσης Κύκλου Ζωής)

4.1 Σενάριο 1 – Μέθοδος ανάλυσης *ILCD* - Παρασκευή σκυροδέματος C20/25 στην Ελλάδα χωρίς την διεργασία ανακύκλωσης αδρανών υλικών

Θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **ILCD** (**I**nternational **R**eference **L**ife **C**ycle **S**ystem) η οποία έχει σχεδιαστεί για ένα Ευρωπαϊκό πλαίσιο μοντελοποίησης πάνω σε ένα Διεθνές Σύστημα Αναφοράς Δεδομένων Κύκλου Ζωής, το οποίο έχει δημοσιεύσει "Συστάσεις εκτίμησης των επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής σε Ευρωπαϊκό πλαίσιο" και επιλέγει την μεθοδολογία που έχει αξιολογηθεί ως η καλύτερη στην κατηγορία των επιπτώσεων.

Περιβαλλοντικοί Δείκτες :

4.1.1 Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη / Global Warming Potential (GWP) , [kg CO₂ – Eq.] / ILCD

Τα Γράφημα 4.1.1 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης μέσω GaBi του περιβαλλοντικού δείκτη Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη - GWP (Global Warming Potential) χρησιμοποιώντας την μέθοδο ILCD, του Σχεδίου Επεξεργασίας (Process plan) της παραγωγής Σκυροδέματος στην Ελλάδα για το Σενάριο1 .

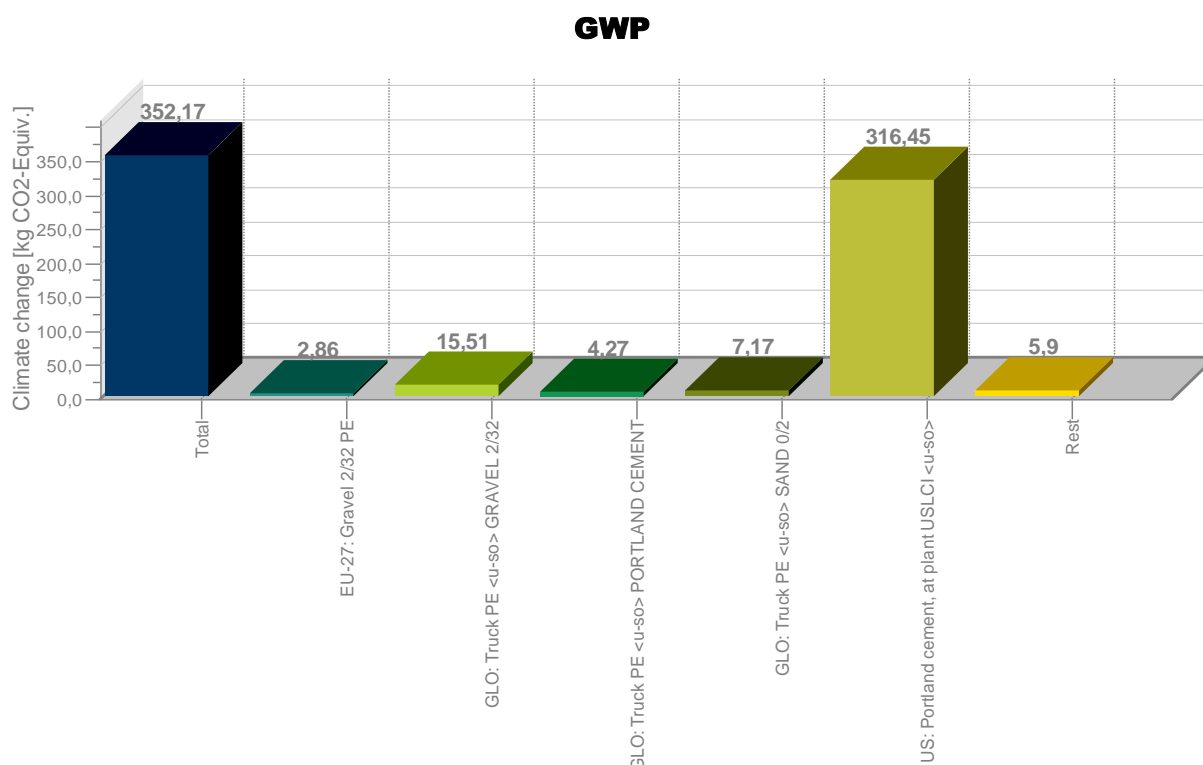
Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ILCD στη βάση δεδομένων GaBi, τα αποτελέσματα μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

Η εφαρμογή της μεθόδου AKZ κατά την πρώτη φάση παρασκευής σκυροδέματος (A1-A3) έδειξε συνολικά 352,17 kg CO₂-Eq στην κατηγορία GWP που είναι υπεύθυνα για την θέρμανση του πλανήτη όπως φαίνεται στο γράφημα 4.1.1 Συγκεκριμένα 316,45 kg CO₂-Eq αναλογούν στο τσιμέντο τύπου Portland και 2,86 kg CO₂-Eq σε αδρανή υλικά 2/32.

Για την μεταφορά των υλικών με φορτηγά : 15,51 kg CO₂-Eq περιβαλλοντικών επιπτώσεων GWP για τα αδρανή υλικά 2/32, 4,27 kg CO₂-Eq περιβαλλοντικών επιπτώσεων GWP για το τσιμέντο Portland και 7,17 kg CO₂-Eq περιβαλλοντικών επιπτώσεων GWP για την άμμο.

Είναι προφανής όπως παρατηρούμε σε πρώτη φάση η συνολική επιβάρυνση του σκυροδέματος ως υλικού, στην κατηγορία υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) και επιτακτική η αναζήτηση πιο φιλικών λύσεων προς το περιβάλλον.

Γράφημα 4.1.1 : Σενάριο 1 - Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD για την παρασκευή Σκυροδέματος στην Ελλάδα

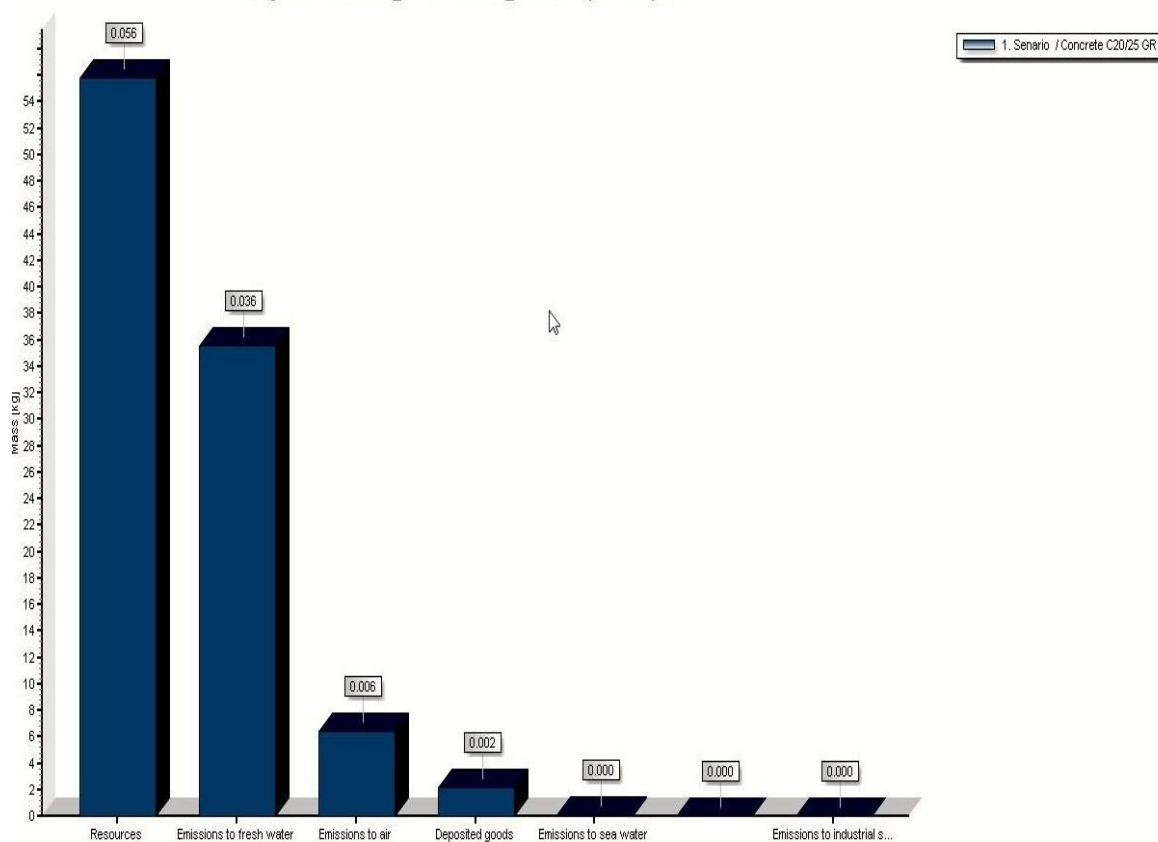


Σε μια βαθύτερη ανάλυση των ροών ως προς GWP, για την παρασκευή σκυροδέματος σύμφωνα με το Σενάριο 1 και την βοήθεια του λογισμικού, οι εκπομπές στον αέρα κατέχουν ποσοστό 6,39% (κιλά ανά μάζα). Μεγάλη επιβάρυνση στους πόρους (πηγές) με ποσοστό 55,8 % και στο φρέσκο νερό με ποσοστό 36,80% ενώ μικρές είναι οι επιβαρύνσεις για τις εκπομπές σε γεωργικά - βιομηχανικά εδάφη και το θαλασσινό νερό.

Πίνακας – Γράφημα 4.1.1 : Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD - Επιπτώσεις της κατηγορίας στους Πόρους

Παραγωγή Σκυροδέματος στην Ελλάδα / Production of Concrete in Greece (GWP) - %		
Ροές	Flows	100 %
Πόροι	Resources	55,8
Κατατεθέν πόροι	Deposited goods	2,13
Εκπομπές στον αέρα	Emissions to air	6,39
Εκπομπές στο φρέσκο νερό	Emissions to fresh water	35,53
Εκπομπές στο θαλασσινό νερό	Emissions to sea water	0,119
Εκπομπές στα γεωργικά εδάφη	Emissions to agricultural soil	1,28E - 006
Εκπομπές σε βιομηχανικό έδαφος	Emissions to industrial soil	3,32E - 007

Diagram:1. Senario _ Concrete C20_25 GR - Inputs/Outputs

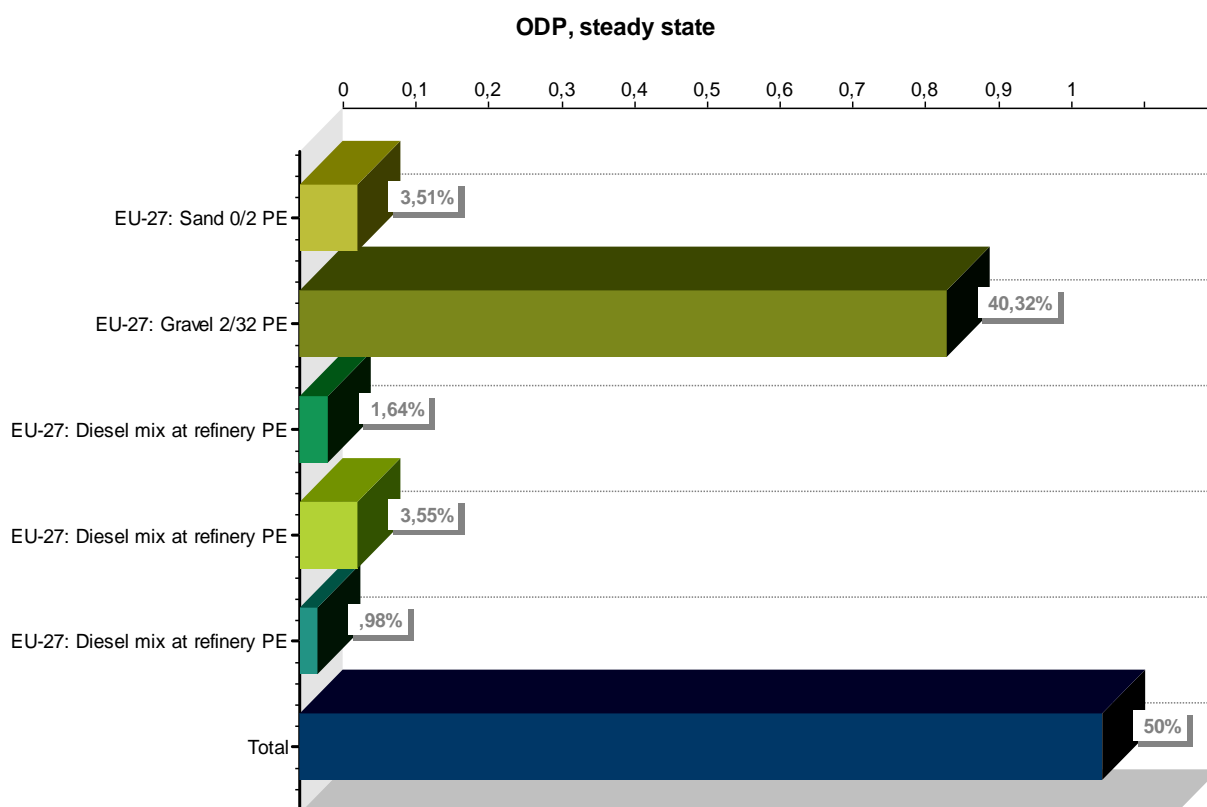


4.1.2 Καταστροφής του Όζοντος / Ozone Depletion (ODP), [kg CFC11-Eq.] /ILCD

Στο Σενάριο 1 και την κατηγορία OPD που είναι υπεύθυνη για την καταστροφή του Όζοντος του πλανήτη όπως φαίνεται στο γράφημα 4.1.2 από το 100% των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων δηλαδή $1,1 \times 10^{-9}$ kg CFC11 – Eq και τα αποτελέσματα του GaBi 6 :

- 3,51 % ή $0,077 \times 10^{-9}$ kg CFC11 – Eq για την άμμο (0/2)
- 40,32% ή $0,89 \times 10^{-9}$ kg CFC11 – Eq για τα αδρανή υλικά (2/32)
- 1,64% ή $0,036 \times 10^{-9}$ kg CFC11 – Eq μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- 3,55% ή $0,078 \times 10^{-9}$ kg CFC11 – Eq μεταφορά με φορτηγό για το τσιμέντο Portland (0/2)
- 0,98% ή $0,022 \times 10^{-9}$ kg CFC11 – Eq μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)

Γράφημα 4.1.2 : Καταστροφής του Όζοντος (OPD) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD



Όπως παρατηρούμε τα αδρανή υλικά (Gravel 2/32) έχουν σημαντικό ρόλο στις επιπτώσεις από την Καταστροφή του Όζοντος με ποσοστό 40,32% για αυτή την κατηγορία και είναι επιτακτική έτσι η εξεύρεση πιο φιλικών προς το περιβάλλον λύσεων.

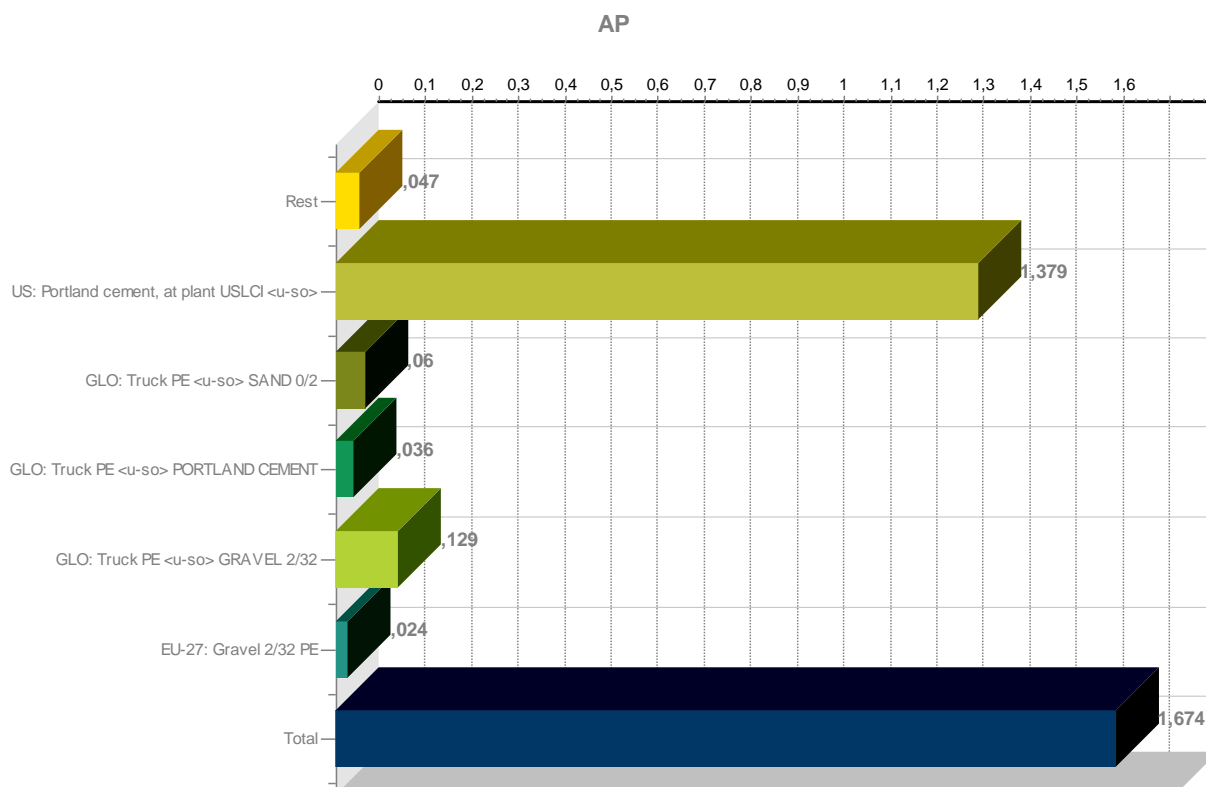
4.1.3 Δυνητική αύξηση της οξύτητας / Acidification (AP) / [Mole of H + eq.] / ILCD

Πέρα από την υπερθέρμανση της ατμόσφαιρας, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έχουν ως αρνητική συνέπεια στην αύξηση της οξύτητας των ωκεανών. Σύμφωνα με την έκθεση, η οποία παρουσιάστηκε σε πρόσφατο συνέδριο του ΟΗΕ στη Νότια Κορέα, η οξύτητα των ωκεανών έχει αυξηθεί κατά 26 % σε σχέση με την εποχή πριν την εκτεταμένη βιομηχανοποίηση.

Στο Σενάριο 1 η συνολική Δυνητική αύξηση της οξύτητας (AP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi προσδιορίζεται σε 1,674 Mole of H + Eq ενώ για τις επιμέρους διεργασίες έχουμε :

- 1,379 – Mole of H + Eq για το τσιμέντο Portland
- 0,024 – Mole of H + Eq για τα αδρανή υλικά (2/32)
- 0,129 – Mole of H + Eq μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- 0,036 – Mole of H + Eq μεταφορά με φορτηγό για το τσιμέντο Portland (0/2)
- 0,06 – Mole of H + Eq μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)
- 0,047 – Mole of H + Eq υπόλοιπα

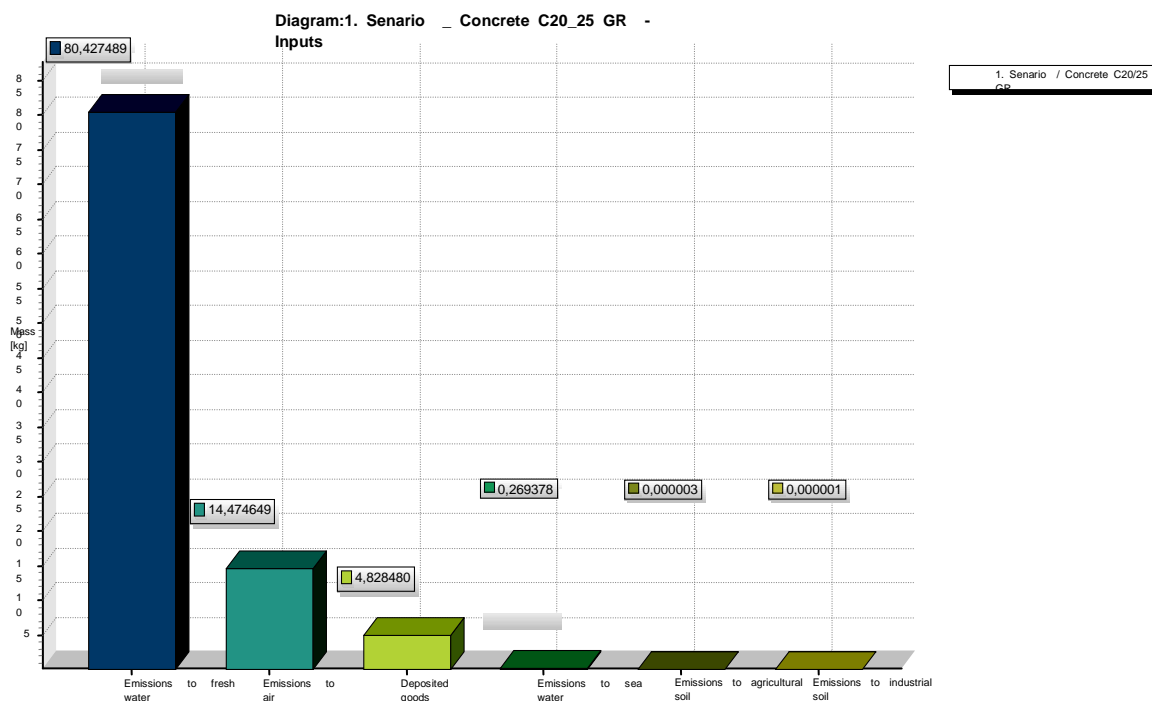
Γράφημα 4.1.3Α : Δυνητική αύξηση της οξύτητας (AP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD



Σε αυτή την κατηγορία παρατηρούμε το τσιμέντο Portland να παίζει σημαντικό ρόλο με το μεγαλύτερο ποσοστό όπως φαίνεται και στο παραπάνω γράφημα και στις επιπτώσεις της Δυνητικής Αύξησης της οξύτητας των Ωκεανών. Σε αυτή την κατηγορία οι εκπομπές στο φρέσκο νερό είναι οι σημαντικότερες για τις επιπτώσεις της κατηγορίας στους πόρους με ποσοστό 80,43%

Πίνακας – Γράφημα 4.1.3B : Δυνητική αύξηση της οξύτητας (AP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD – Επιπτώσεις της κατηγορίας στους Πόρους

Παραγωγή Σκυροδέματος στην Ελλάδα / Production of Concrete in Greece (GWP) - %		
Ροές	Flows	100 %
Κατατεθέν πόροι	Deposited goods	4,82
Εκπομπές στον αέρα	Emissions to air	14,47
Εκπομπές στο φρέσκο νερό	Emissions to fresh water	80,43
Εκπομπές στο θαλασσινό νερό	Emissions to sea water	0,270
Εκπομπές στα γεωργικά εδάφη	Emissions to agricultural soil	2,90E - 006
Εκπομπές σε βιομηχανικό έδαφος	Emissions to industrial soil	7,51E - 007

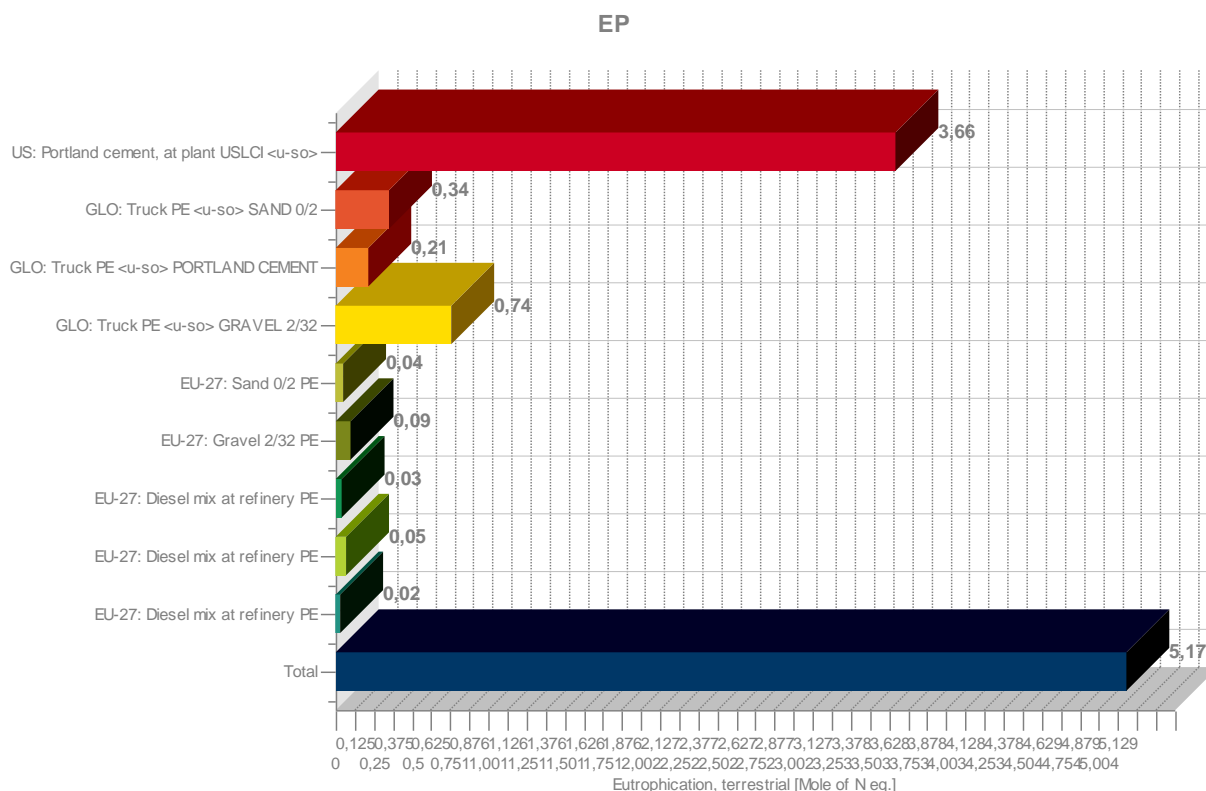


4.1.4 Δυναμικό Ευτροφισμού / Eutrophication (EP) / [Mole of N. eq] / ILCD

Ο ευτροφισμός θεωρείται το σημαντικότερο αίτιο της περιβαλλοντικής υποβάθμισης του Εύξεινου Πόντου από τη δεκαετία του 1960. Οι επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο θαλάσσιο περιβάλλον και στους πόρους έχουν ως αποτέλεσμα την ρύπανση και τον ευτροφισμό των περιφερειακών θαλασσών, των παράκτιων υδάτων και των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Οι ουσίες που συμβάλλουν στον ευτροφισμό είναι κυρίως τα νιτρικά και φωσφορικά άλατα. Αναγνωρίζεται ότι ενέργειες, όπως η βελτιωμένη συλλογή και επεξεργασία των αστικών λυμάτων, καθώς και οι «ορθές γεωργικές πρακτικές» είναι αναγκαία μέτρα στην επίλυση του προβλήματος του ευτροφισμού (Europra,2007).

Στο Σενάριο 1 ο συνολικός δείκτης Δυνητικό ευτροφισμού (EP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi προσδιορίζεται σε 5,17 Mole of N. Eq. και το τσιμέντο Portland να παίζει σημαντικό ρόλο με το μεγαλύτερο ποσοστό 3,66 Mole of N. Eq.

Γράφημα 4.1.4 : Δυναμικό ευτροφισμού (EP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD



Η ανάλυση του λογισμικού έδειξε :

- 3,66 – Mole of N. Eq για το τσιμέντο Portland

- 0,09 – Mole of N. Eq για τα αδρανή υλικά (2/32)
- 0,004 – Mole of N. Eq για την άμμο (0/2)
- 0,74 – Mole of N. Eq μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- 0,21 – Mole of N. Eq μεταφορά με φορτηγό για το τσιμέντο Portland (0/2)
- 0,34 – Mole of N. Eq μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)
- 0,02 ,0,03 και 0,05 – Mole of N. Eq για το πετρέλαιο κίνησης των φορτηγών

4.1.5 Δυναμικό σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος / Photochemical Ozone (POCP), [kg NMVOC Equiv] / ILCD

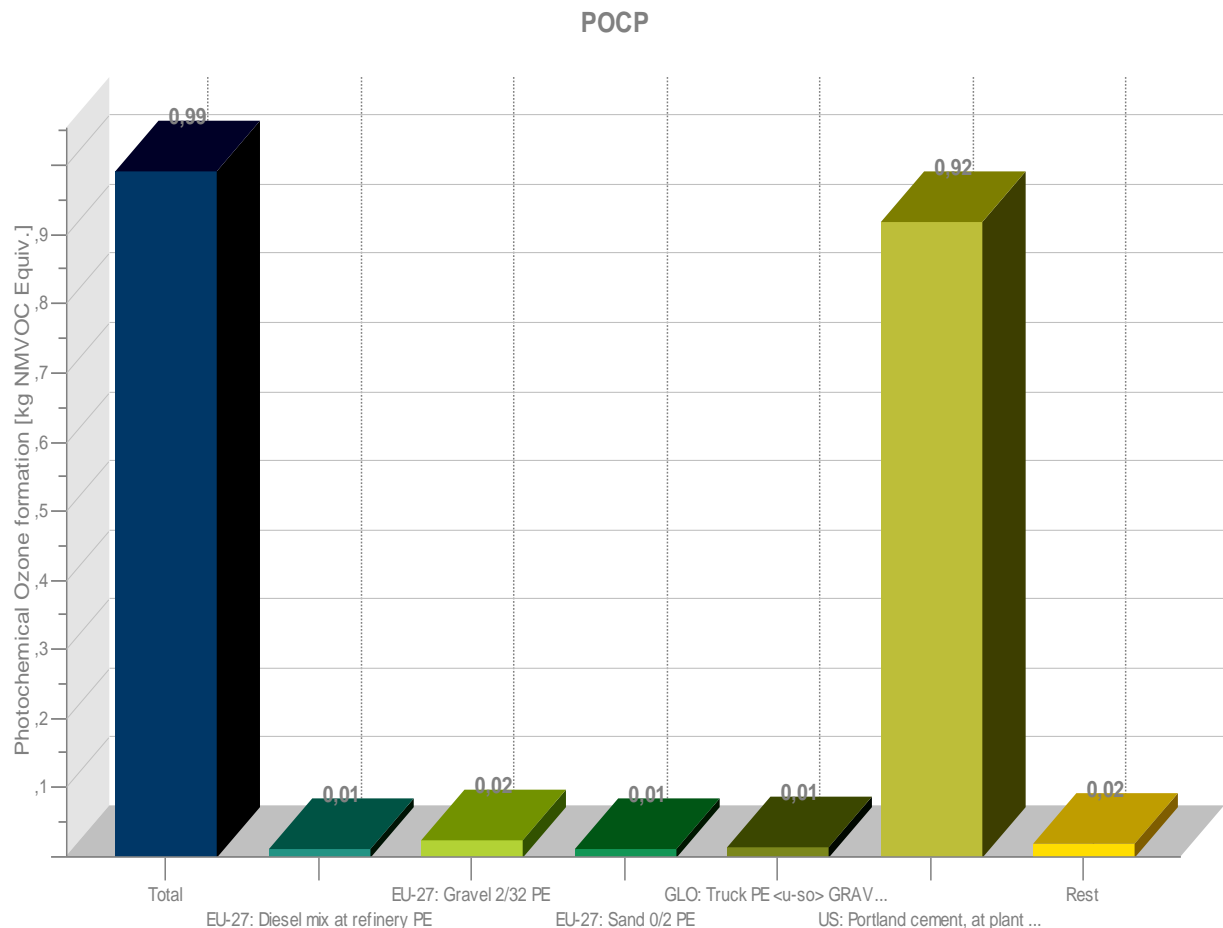
Στις μεγάλες αστικές περιοχές εμφανίζεται κυρίως το τροποσφαιρικό όζον και είναι ρύπος. Δεν εκπέμπεται άμεσα στην ατμόσφαιρα αλλά παράγεται σαν προϊόν φωτοχημικών αντιδράσεων άλλων ρύπων όπως τα οξείδια του αζώτου (NO_x) το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC - Volatile Organic Compounds). Είναι δηλαδή ένας δευτερογενής φωτοχημικός ρύπος.

Ως δευτερογενής ρύπος δεν μπορεί να ελεγχθεί άμεσα παρά μόνο μέσω των πρόδρομων του χημικών ενώσεων. Είναι αρκετά επικίνδυνος ρύπος καθώς προσβάλλει κυρίως το αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων. Στην Ελλάδα εμφανίστηκε ως ρύπος πρώτα στην Αθήνα λόγω της μεγάλης εκπομπής πρόδρομων χημικών ενώσεων, κυρίως από τους θερμικούς βενζινοκινητήρες των οχημάτων (Φλόκα,2000;ΥΠΕΧΩΔΕ,2000).

Στο Σενάριο 1 και τον δείκτη POCP που είναι υπεύθυνος για την σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος στον πλανήτη όπως φαίνεται και στο γράφημα 4.1.5 από το 100% των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων του δείκτη δηλαδή 0,99 kg NMVOC Equiv. η ανάλυση έδειξε ότι αντιστοιχούν:

- 0,92 – kg NMVOC Equiv. για το τσιμέντο Portland
- 0,02 – kg NMVOC Equiv. για τα αδρανή υλικά (2/32)
- 0,01 – kg NMVOC Equiv. για την άμμο (0/2)
- 0,01 - kg NMVOC Equiv. για το πετρέλαιο κίνησης των φορτηγών

Γράφημα 4.1.5: Δυναμικό σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος (POCP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD

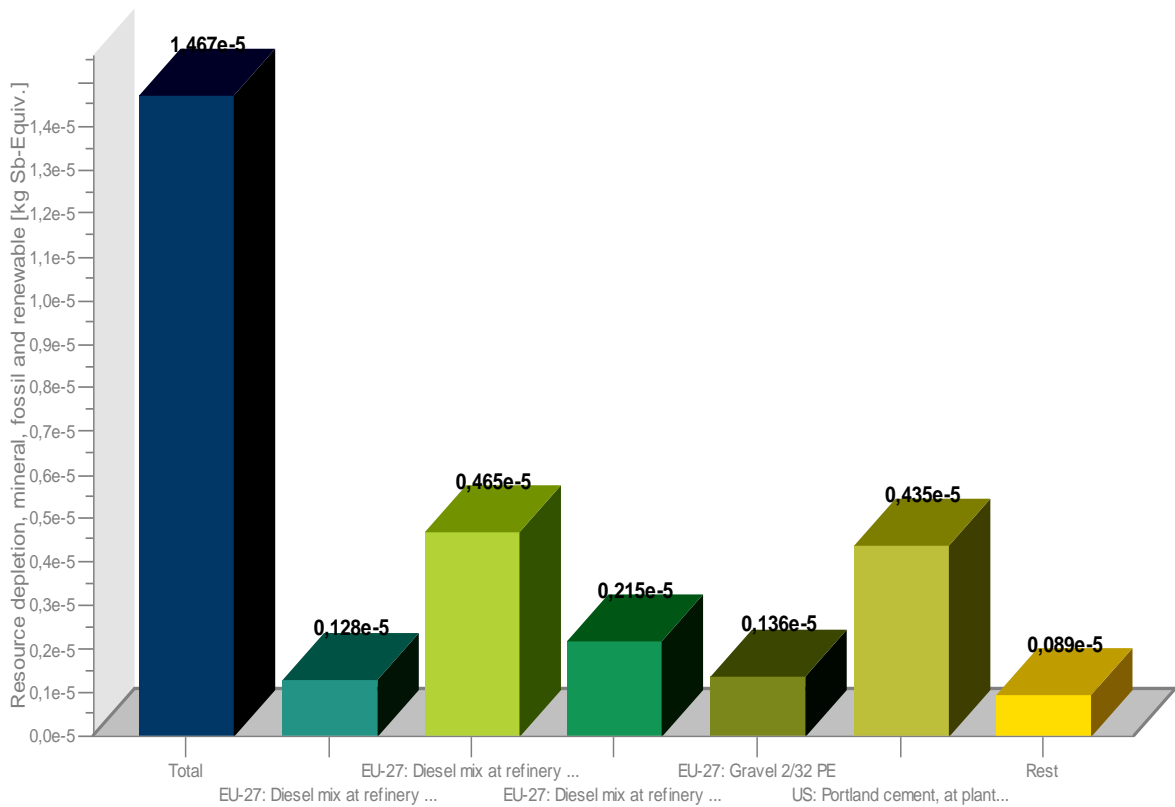


4.1.6 Αβιοτικά δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων /Abiotic resource depletion (ADP ορυκτά καύσιμα), [kg Sb-Equiv.] / ILCD

Αβιοτικοί φυσικοί πόροι ονομάζονται αυτοί οι πόροι που δεν παράγονται από τους ζωντανούς οργανισμούς της χώρας αλλά παραδείγματος χάρη από τα διάφορα ορυκτά που μπορεί να διαθέτει μια χώρα. Ο δείκτης Αβιοτικά δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων APD, αφορά την εξάντληση αυτών των ορυκτών πόρων και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Είναι ένας σημαντικός περιβαλλοντικός δείκτης διότι όλοι οι πόροι δεν είναι ανανεώσιμοι και πόροι όπως τα ορυκτά χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να ανανεωθούν (Freeman,1995).

Γράφημα 4.1.6 : Δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων (APD) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD

ADP elements+fossil



Στο Σενάριο 1 και του δείκτη για το Δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων (APD) όπως φαίνεται στο γράφημα 4.1.7 από το 100% των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων δηλαδή $1,46 \text{ e} - 5 \text{ kg Sb-Equiv.}$ επιμερίζοντας αντιστοιχούν:

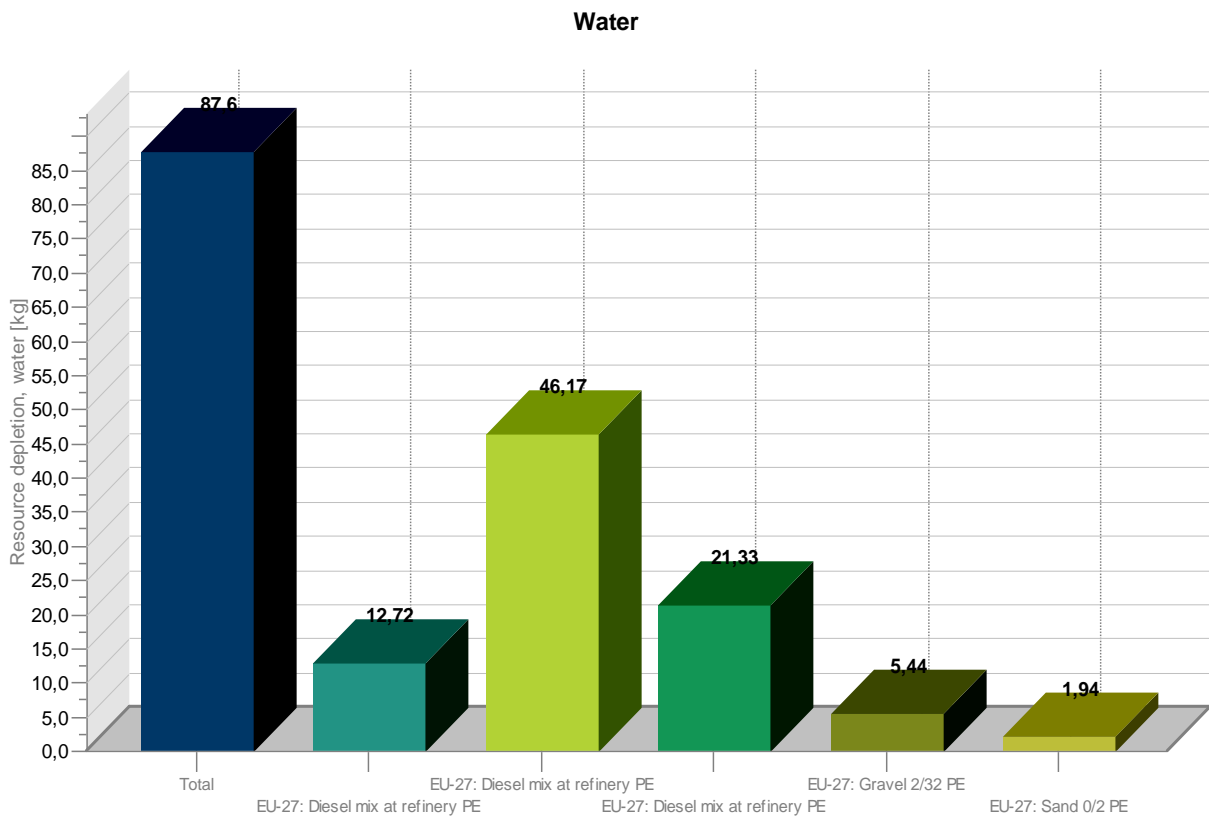
- $0,136 \text{ e} - 5 \text{ kg Sb-Equiv.}$ για τα αδρανή υλικά (2/32)
- $0,128 \text{ e} - 5 \text{ kg Sb-Equiv.}$ μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- $0,465 \text{ e} - 5 \text{ kg Sb-Equiv.}$ για το τσιμέντο Portland (0/2)
- $0,215 \text{ e} - \text{e} - 5 \text{ kg Sb-Equiv.}$ μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)
- $0,089 \text{ e} - 5 \text{ kg Sb-Equiv.}$ για τα υπόλοιπα

4.1.7 Συνολική κατάσταση του γλυκού νερού περιλαμβανομένων των όμβριων υδάτων / Resource depletion, Water [kg] / ILCD

Η ζήτηση για νερό ολοένα και αυξάνεται, ο ανταγωνισμός για γλυκό νερό τείθεται όλο και περισσότερο ως ανησυχία από τις χώρες παγκοσμίως καθώς και τους φορείς χάραξης πολιτικής.

Έως σήμερα περίπου το 70% του γλυκού νερού παγκοσμίως, χρησιμοποιείται από τη γεωργία, ένα 20% χρησιμοποιείται στη βιομηχανία και μόνο το 10% προορίζεται για την κατανάλωση των πολιτών.

Γράφημα 4.1.7 : Συνολική κατάσταση του γλυκού νερού, περιλαμβανομένων των όμβριων υδάτων του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD



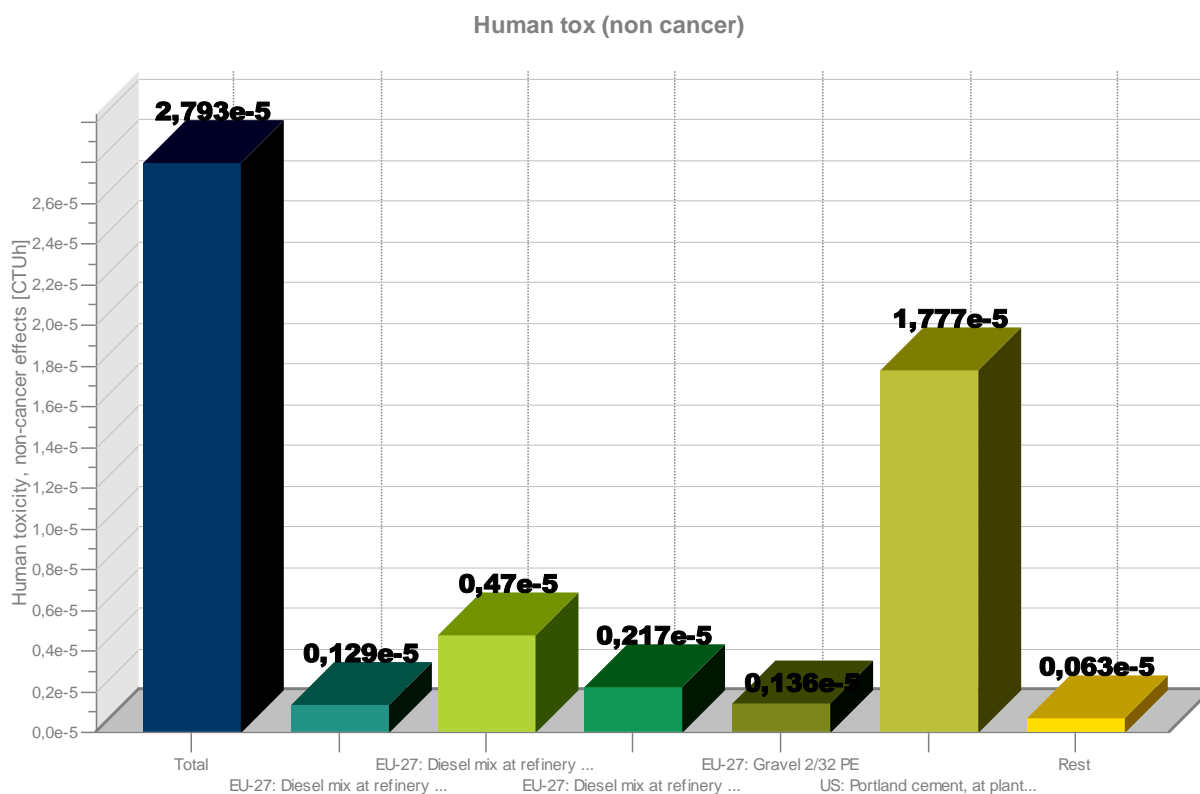
Στο παραπάνω γράφημα και για το Σενάριο 1 οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην συνολική κατάσταση του γλυκού νερού για την παρασκευή 1m³ σκυροδέματος επιμερίζονται στην κάθε κατηγορία ως εξής:

- 87,6 kg συνολικά για 1m³ σκυροδέματος
- 5,44 kg για τα αδρανή υλικά (2/32)
- 1,94 kg για την άμμο (0/2)
- 12,72 kg για την μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- 46,17 kg για την μεταφορά με φορτηγό για το τσιμέντο Portland (0/2)
- 21,33 kg για την μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)

4.1.8 Τοξικότητα για τον άνθρωπο, μη καρκινικές επιδράσεις / Human toxicity, non-cancer effects [CTUh] / ILCD

Το 2002, το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) και η Εταιρεία Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας (Society for Environmental Toxicology and Chemistry - SETAC) ξεκίνησε μια διεθνής πρωτοβουλία γνωστή ως Πρωτοβουλία Κύκλου Ζωής, για να επιτρέψει στους χρήστες σε όλο τον κόσμο τις όποιες σκέψεις τους για τον Κύκλο Ζωής να τις θέτουν σε μια πιο αποτελεσματική πρακτική. Σε αυτό το πλαίσιο η ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων στην υγεία του ανθρώπου και των οικοσυστημάτων λόγω των εκπομπών τοξικών ουσιών είναι κεντρικής σημασίας για την ανάπτυξη αειφόρων προϊόντων και τεχνολογιών. Οι δείκτες Τοξικότητα για τον άνθρωπο και οι επιπτώσεις στην υγεία και την ποιότητα του οικοσυστήματος είναι αναγκαίες τόσο για μια συγκριτική αξιολόγηση του κινδύνου όσο και για την ΑΚΖ και εφαρμόζεται σε χημικές ουσίες και τα σενάρια εκπομπών (Rosenbaum et al, 2008)

Γράφημα 4.1.8 : Τοξικότητα για τον άνθρωπο, μη καρκινικές επιδράσεις του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD



Όσον αφορά τον δείκτη τοξικότητα για τον άνθρωπο με μη καρκινικές επιδράσεις και το Σενάριο 1 όπως φαίνεται στο γράφημα 4.1.8 από το 100% των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων του δείκτη δηλαδή $2,793 \times 10^{-5}$ CTUh αντιστοιχούν:

- $0,136 \text{ e}^{-5} \text{ CTUh}$ για τα αδρανή υλικά (2/32)
- $1,777 \text{ e}^{-5} \text{ CTUh}$ για το τσιμέντο Portland
- $0,129 \text{ e}^{-5} \text{ CTUh}$ μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- $0,470 \text{ e}^{-5} \text{ CTUh}$ μεταφορά με φορτηγό για το τσιμέντο Portland (0/2)
- $0,217 \text{ e}^{-5} \text{ CTUh}$ μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)
- $0,063 \text{ e}^{-5} \text{ CTUh}$ για τα υπόλοιπα

4.1.9 Αιωρούμενα σωματίδια/Particulate matter [PM2.5 eq] / ILCD

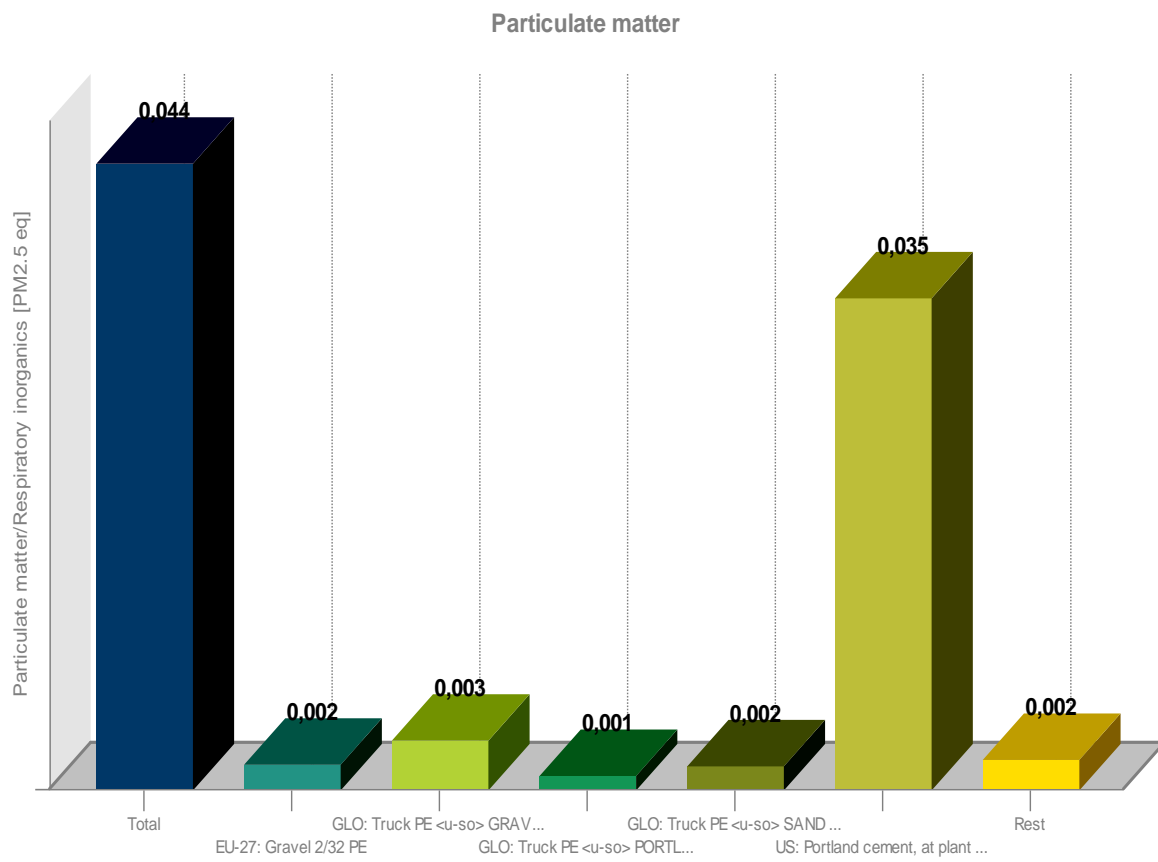
Αιωρούμενα σωματίδια είναι ένας ευρέως διαδεδομένος ατμοσφαιρικός ρύπος, που αποτελείται από ένα μίγμα στερεών και υγρών σωματίδια που αιωρούνται στον αέρα. Συνήθως χρησιμοποιούνται δείκτες που περιγράφουν αιωρούμενα σωματίδια που είναι σχετικά με την υγεία και αφορούν την μαζική συγκέντρωση των σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη των 10 μm (PM10) και των σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm (PM2.5).

Τα κοινά χημικά συστατικά των αιωρούμενων σωματιδίων περιλαμβάνουν θειικά, νιτρικά, αμμώνιο, άλλα ανόργανα ιόντα όπως ιόντα νατρίου, καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου και χλωρίου, οργανικά και στοιχειακού άνθρακα, υλικό φλοιού, μέταλλα (συμπεριλαμβανομένων κάδμιο, χαλκός, νικέλιο, βανάδιο και ψευδάργυρος) και τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Επιπλέον, βρέθηκαν βιολογικά συστατικά όπως αλλεργιογόνα και μικροβιακής ενόσσεως.

Για το Σενάριο 1 όπως φαίνεται στο Γράφημα 4.1.9 παρακάτω και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα αιωρούμενα σωματίδια 0,044 PM2.5 eq αφορούν την παρασκευή 1m³ σκυροδέματος ενώ για την κάθε διεργασία της μελέτης έχουμε:

- 0,002 PM2.5 eq για τα αδρανή υλικά (2/32)
- 0,035 PM2.5 eq για το τσιμέντο Portland
- 0,003 PM2.5 eq για την μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- 0,001 PM2.5 eq για την μεταφορά με φορτηγό για το τσιμέντο Portland (0/2)
- 0,002 PM2.5 eq για την μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)

Γράφημα 4.1.9 : Δείκτης Αιωρούμενα σωματίδια από την παρασκευή σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD



4.2 Σενάριο 1 – Μέθοδος ανάλυσης TRACI - Παρασκευή σκυροδέματος C20/25 στην Ελλάδα χωρίς την διεργασία ανακύκλωσης αδρανών υλικών

Σε αυτή την ενότητα για το Σενάριο 1 θα αναλύσουμε τα δεδομένα μας με την μέθοδο ανάλυσης TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts) η οποία περιέχει κατηγορίες επιπτώσεων όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, ο ευτροφισμός, η καταστροφή του όζοντος, το τροποσφαιρικό όζον (σχηματισμός αιθαλομίχλης), η οικοτοξικότητα, η ανθρώπινη υγεία (μη καρκινικά) αποτελέσματα, η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και έχει σχεδιαστεί για την μείωση και την αξιολόγηση των χημικών και άλλων περιβαλλοντικών επιπτώσεων με έμφαση στην ανθρώπινη υγεία. Ο στόχος της μεθόδου TRACI είναι ειδικά για τη διεξαγωγή AKZ και προτείνεται για χρήσεις όπως η πρόληψη της ρύπανσης καθώς και μετρήσεις βιωσιμότητας (European Commission,2010; Amir et al,2010).

Περιβαλλοντικοί Δείκτες :

4.2.1 Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη / Global Warming Potential (GWP) , [kg CO₂ – Eq.] / TRACI

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο TRACI και τη βάση δεδομένων GaBi, για την παραγωγή 1m³ σκυροδέματος στην Ελλάδα τα αποτελέσματα μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

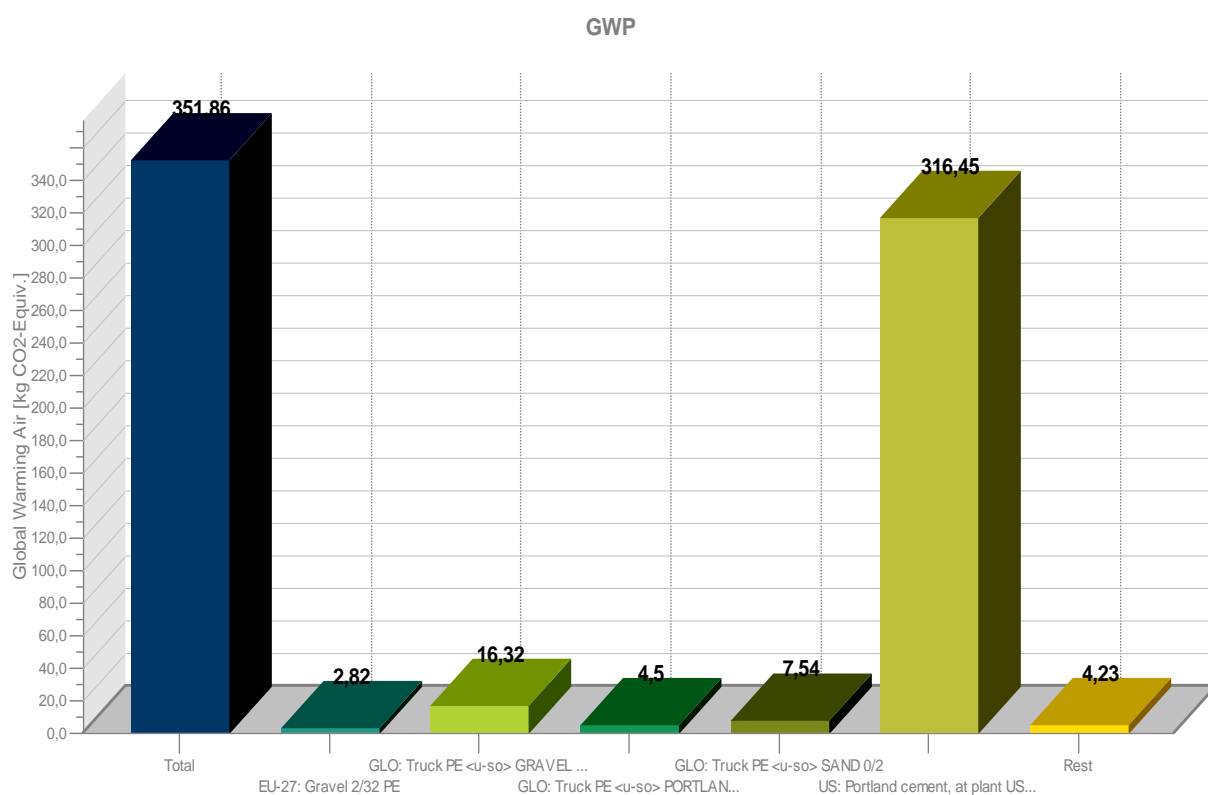
Η εφαρμογή της μεθόδου έδειξε συνολικά 351,86 kg CO₂-Eq στην κατηγορία GWP που είναι υπεύθυνα για το δυναμικό θέρμανση² του πλανήτη όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα 4.2.1. Έτσι :

- 316,45 kg CO₂-Eq. αναλογούν στο τσιμέντο τύπου Portland
- 2,82 kg CO₂-Eq. για τα αδρανή υλικά 2/32

Για την μεταφορά των υλικών με φορτηγά:

- 16,32 kg CO₂-Eq. περιβαλλοντικών επιπτώσεων του δείκτη GWP για τα αδρανή υλικά 2/32
- 4,50 kg CO₂-Eq. περιβαλλοντικών επιπτώσεων GWP για το τσιμέντο Portland και
- 7,54 kg CO₂-Eq. περιβαλλοντικών επιπτώσεων GWP για την άμμο.

Γράφημα 4.2.1 : Σενάριο 1 - Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP) με την βοήθεια του λογισμικού Gabi και της μεθόδου TRACI για την παρασκευή Σκυροδέματος στην Ελλάδα

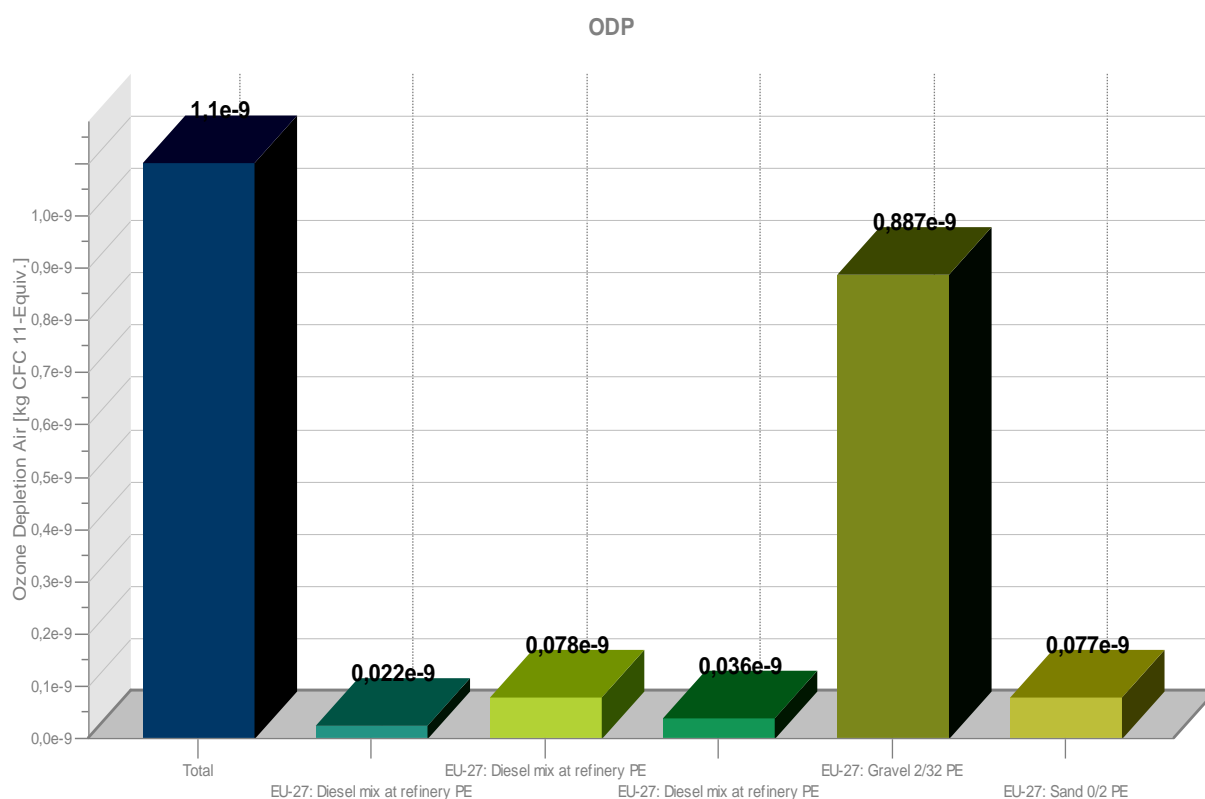


4.2.2 Καταστροφής του Όζοντος / Ozone Depletion (ODP), [kg CFC11-Eq.] / TRACI

Για την κατηγορία που είναι υπεύθυνη για την καταστροφή του Όζοντος του πλανήτη όπως φαίνεται στο γράφημα 4.2.2 από το 100% των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την μέθοδο TRACI αντιστοιχούν:

- $1,1 \cdot 10^{-9}$ kg CFC11 – Esq. συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- $0,077 \cdot 10^{-9}$ kg CFC11 – Esq. για την άμμο (0/2)
- $0,89 \cdot 10^{-9}$ kg CFC11 – Esq. για τα αδρανή υλικά (2/32)
- $0,036 \cdot 10^{-9}$ kg CFC11 – Esq. μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- $0,078 \cdot 10^{-9}$ kg CFC11 – Esq. μεταφορά με φορτηγό για το τσιμέντο Portland (0/2)
- $0,022 \cdot 10^{-9}$ kg CFC11 – Esq. μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)

Γράφημα 4.2.2 : Καταστροφής του Όζοντος (OPD) με την βοήθεια του λογισμικού Gabi και της μεθόδου TRACI



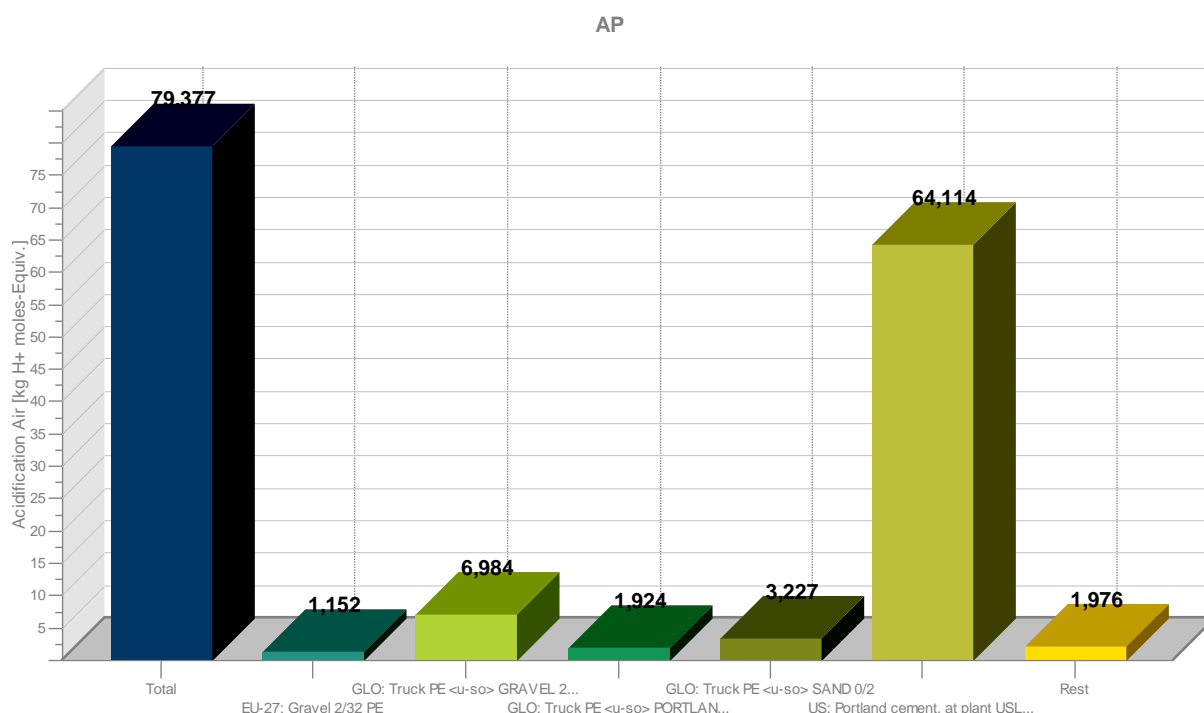
4.2.3 Δυναμική αύξηση της οξύτητας / Acidification (AP) / [kg H+ moles-Equiv.]/ TRACI

Για την δείκτη υπερθέρμανσης της ατμόσφαιρας, και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που έχουν ως αρνητική συνέπεια στην αύξηση της οξύτητας των ωκεανών η συνολική Δυναμική αύξηση της οξύτητας (AP) του σκυροδέματος σύμφωνα με την μέθοδο TRACI προσδιορίζεται σε 79,37 kg H + moles-Equiv.

Επιμερίζοντας στην κάθε διεργασία έχουμε :

- 64,11 – kg H + moles-Equiv. για το τσιμέντο Portland
- 1,152 – kg H + moles-Equiv. για τα αδρανή υλικά (2/32)
- 6,984 – kg H + moles-Equiv. μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- 1,924 – kg H + moles-Equiv. μεταφορά με φορτηγό για το τσιμέντο Portland (0/2)
- 3,227 – kg H + moles-Equiv. μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)
- 1,976 – kg H + moles-Equiv. υπόλοιπα

Γράφημα 4.2.3 : Δυνητική αύξηση της οξύτητας (AP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου TRACI



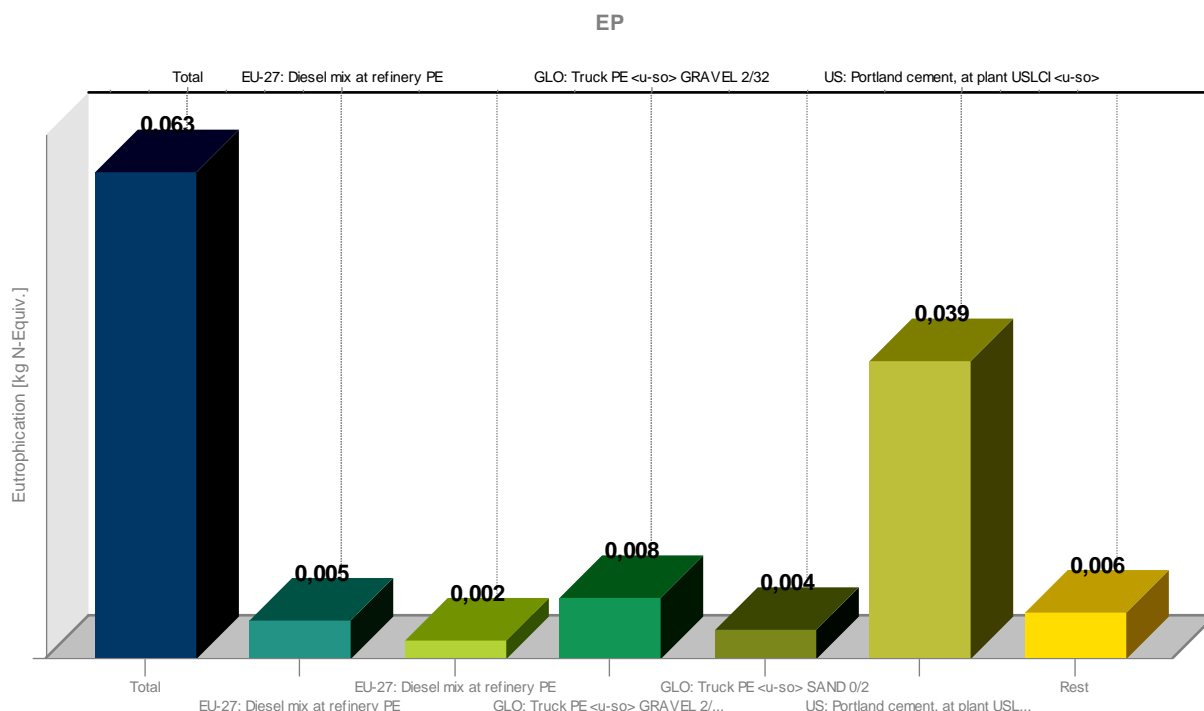
Πίνακας – Γράφημα 4.2.3B : Δυνητική αύξηση της οξύτητας (AP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου TRACI – Επιπτώσεις της κατηγορίας στους Πόρους

Παραγωγή Σκυροδέματος στην Ελλάδα / Production of Concrete in Greece (AP) - %		
Ροές	Flows	100 %
Κατατεθέν πόροι	Deposited goods	4,82
Εκπομπές στον αέρα	Emissions to air	14,47
Εκπομπές στο φρέσκο νερό	Emissions to fresh water	80,43
Εκπομπές στο θαλασσινό νερό	Emissions to sea water	0,270
Εκπομπές στα γεωργικά εδάφη	Emissions to agricultural soil	2,90E - 006
Εκπομπές σε βιομηχανικό έδαφος	Emissions to industrial soil	7,51E - 007

4.2.4 Δυναμικό Ευτροφισμού / Eutrophication (EP) / [kg N- Equiv.] / TRACI

Όσον αφορά για τον δείκτη EP δηλαδή το δυναμικό ευτροφισμό και το Σενάριο 1 σύμφωνα με την μέθοδο TRACI ο συνολικές επιβαρύνσεις από την παρασκευή ενός κυβικού σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi προσδιορίζεται σε 0,063 kg N-Equiv.

Γράφημα 4.2.4A : Δυναμικό ευτροφισμού (EP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου TRACI



Επιμερίζοντας στην κάθε διεργασία έχουμε :

- 0,039 – kg N-Equiv. για το τσιμέντο Portland
- 0,008 – kg N-Equiv. μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- 0,004 – kg N-Equiv. μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)
- 0,005 και 0,02 – kg N-Equiv. για το πετρέλαιο κίνησης των φορτηγών
- 0,006 – kg N-Equiv. Για όλα τα υπόλοιπα

Πίνακας – Γράφημα 4.2.4B : Δυνητικό ευτροφισμού (EP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου TRACI – Επιπτώσεις της κατηγορίας στους Πόρους

Παραγωγή Σκυροδέματος στην Ελλάδα / Production of Concrete in Greece (EP) - %		
Ροές	Flows	100 %
Πόροι	Resources	55,82
Κατατεθέν πόροι	Deposited goods	2,13
Εκπομπές στον αέρα	Emissions to air	6,40
Εκπομπές στο φρέσκο νερό	Emissions to fresh water	35,53
Εκπομπές στο θαλασσινό νερό	Emissions to sea water	0,12
Εκπομπές στα γεωργικά εδάφη	Emissions to agricultural soil	1,28E - 006
Εκπομπές σε βιομηχανικό έδαφος	Emissions to industrial soil	3,32E - 007

4.2.5 Δυναμικό σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος / Photochemical Ozone (POCP), [kg NMVOC Equiv] /TRACI

Ο δείκτης για το δυναμικό σχηματισμού τροποσφαιρικού όζοντος (POCP) δεν υφίσταται στην μέθοδο TRACI, συνεπώς η σύγκριση του με την μέθοδο ILCD δεν θα είναι εφικτή.

4.2.6 Αβιοτικά δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων /Abiotic resource depletion (ADP ορυκτά καύσιμα), [kg Sb-Equiv.] / TRACI

Ο δείκτης όσον αφορά τα αβιοτικά για το δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων (ADP) δεν υφίσταται στην μέθοδο TRACI, συνεπώς η σύγκριση του με την μέθοδο ILCD δεν θα είναι εφικτή.

4.2.7 Συνολική κατάσταση του γλυκού νερού περιλαμβανομένων των όμβριων υδάτων / Resource depletion, Water [kg] / TRACI

Ο δείκτης όσον αφορά την συνολική κατάσταση του γλυκού νερού περιλαμβανομένων των γλυκών υδάτων δεν υφίσταται στην μέθοδο TRACI, συνεπώς η σύγκριση του με την μέθοδο ILCD δεν θα είναι εφικτή.

4.2.8 Τοξικότητα για τον άνθρωπο, μη καρκινικές επιδράσεις / Human toxicity, non-cancer effects [CTUh] / TRACI

Ο δείκτης όσον αφορά την συνολική κατάσταση του γλυκού νερού περιλαμβανομένων των γλυκών υδάτων δεν υφίσταται στην μέθοδο TRACI, συνεπώς η σύγκριση του με την μέθοδο ILCD δεν θα είναι εφικτή.

4.2.9 Αιωρούμενα σωματίδια/Particulate matter [PM2.5 eq] TRACI

Ο δείκτης όσον αφορά την συνολική κατάσταση του γλυκού νερού περιλαμβανομένων των γλυκών υδάτων δεν υφίσταται στην μέθοδο TRACI, συνεπώς η σύγκριση του με την μέθοδο ILCD δεν θα είναι εφικτή.

4.3 Σενάριο 2 – Μέθοδος ανάλυσης *ILCD* - Παρασκευή σκυροδέματος C20/25 στην Ελλάδα χρησιμοποιώντας το μέγιστο 70% σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε ποσοστό ανακυκλωμένων αδρανών από απόβλητα κατασκευών μετά το τέλος ζωής τους

Σύμφωνα με το Πλάνο Επεξεργασίας 2 (Process plan 2), του γραφήματος 3.13, προσθέσαμε τρεις νέες παραμέτρους στο Σενάριο 2, την αντικατάσταση μέρους των αδρανών υλικών με ανακυκλωμένα υλικά κατεδαφίσεων σύμφωνα με την τελευταία οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Building the future with CDE) η οποία προδιαγράφει ποσοστό ανακύκλωσης από διάφορες κατασκευές και κατεδαφίσεις της τάξεως του 70%, την απόσταση μεταφοράς των υλικών στα 50km, ενώ θεωρήσαμε ως ενέργεια παραγωγής υποθετικά μόνο την υδροηλεκτρική ενέργεια. Έτσι μετά την επεξεργασία του πλάνου και με την βοήθεια του λογισμικού GaBi 6. και της μεθόδου ILCD (International Reference Life Cycle System) θα παρουσιάσουμε παρακάτω τους Περιβαλλοντικούς δείκτες και τα αποτελέσματα του πλάνου επεξεργασίας για το Σεναρίο 2.

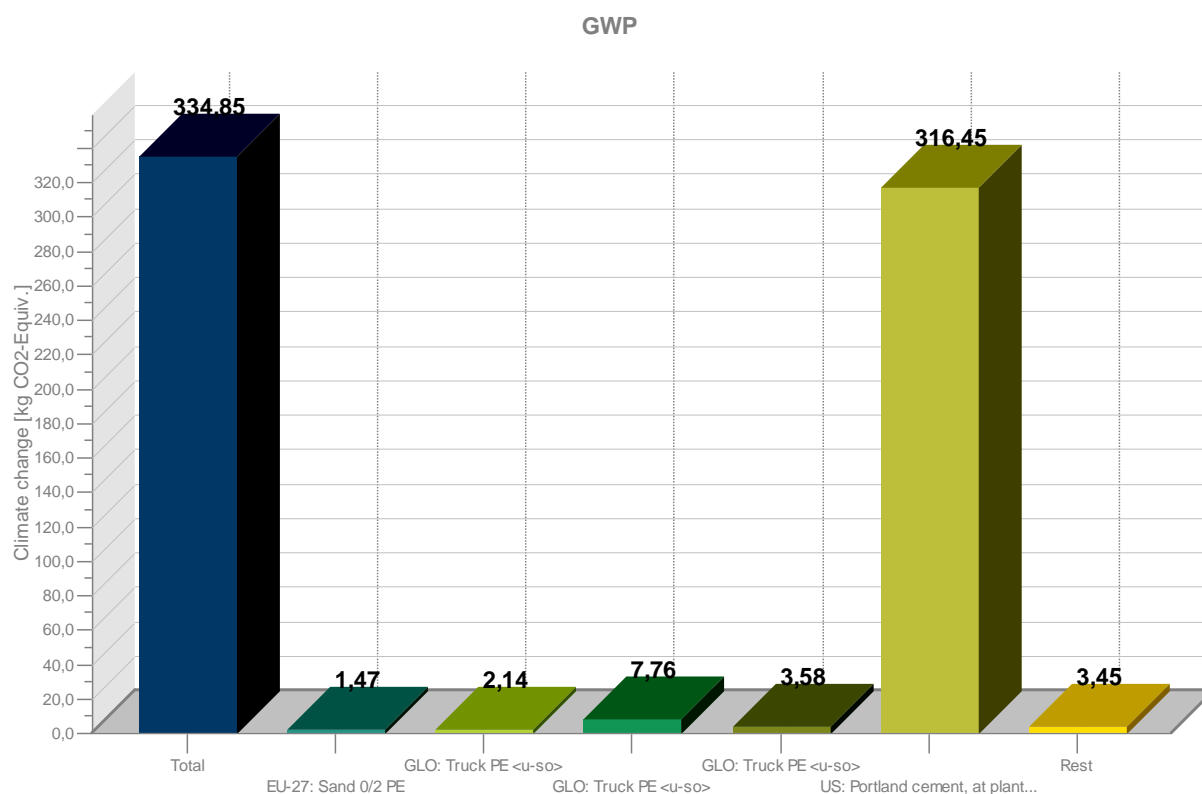
Περιβαλλοντικοί Δείκτες :

4.3.1 Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη / Global Warming Potential (GWP) , [kg CO₂ – Eq.] / ILCD / Σενάριο 2

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ILCD στη βάση δεδομένων GaBi, για τον δείκτη Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη και αφού προσθέσαμε τις νέες παραμέτρους στο πλάνο μας, τα αποτελέσματα από το παρακάτω γράφημα 4.3.1 μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- 334,85 kg CO₂-Eq στην κατηγορία GWP που είναι υπεύθυνα για την θέρμανση του πλανήτη.
- 316,45 kg CO₂-Eq αναλογούν στο τσιμέντο τύπου Portland,
- δεν εμφανίζεται επιβάρυνση CO₂-Eq από τα αδρανή υλικά 2/32 λόγω του μικρού ποσοστού συμμετοχής στην διαδικασία.
- για την μεταφορά των υλικών με φορτηγά 2,14 kg CO₂-Eq περιβαλλοντικών επιπτώσεων GWP για τα αδρανή υλικά 2/32, 7,76 kg CO₂-Eq περιβαλλοντικών επιπτώσεων GWP για το τσιμέντο Portland και 3,58 kg CO₂-Eq περιβαλλοντικών επιπτώσεων GWP για την άμμο.

Γράφημα 4.3.1 : Σενάριο 2 - Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD για την παρασκευή Σκυροδέματος στην Ελλάδα



Ως προς GWP, για την παρασκευή σκυροδέματος σύμφωνα με το Σενάριο 2 η περιβαλλοντική επιβάρυνση στους πόρους αγγίζει το ποσοστό 50,58 %, οι εκπομπές στον αέρα κατέχουν ποσοστό 1,90%, ενώ οι εκπομπές στο φρέσκο νερό 47,32%. Μικρές και πάλι είναι οι επιβαρύνσεις για τις εκπομπές σε γεωργικά - βιομηχανικά εδάφη και το θαλασσινό νερό.

Πίνακας – Γράφημα 4.3.1 : Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάριο 2 - Επιπτώσεις της κατηγορίας στους Πόρους

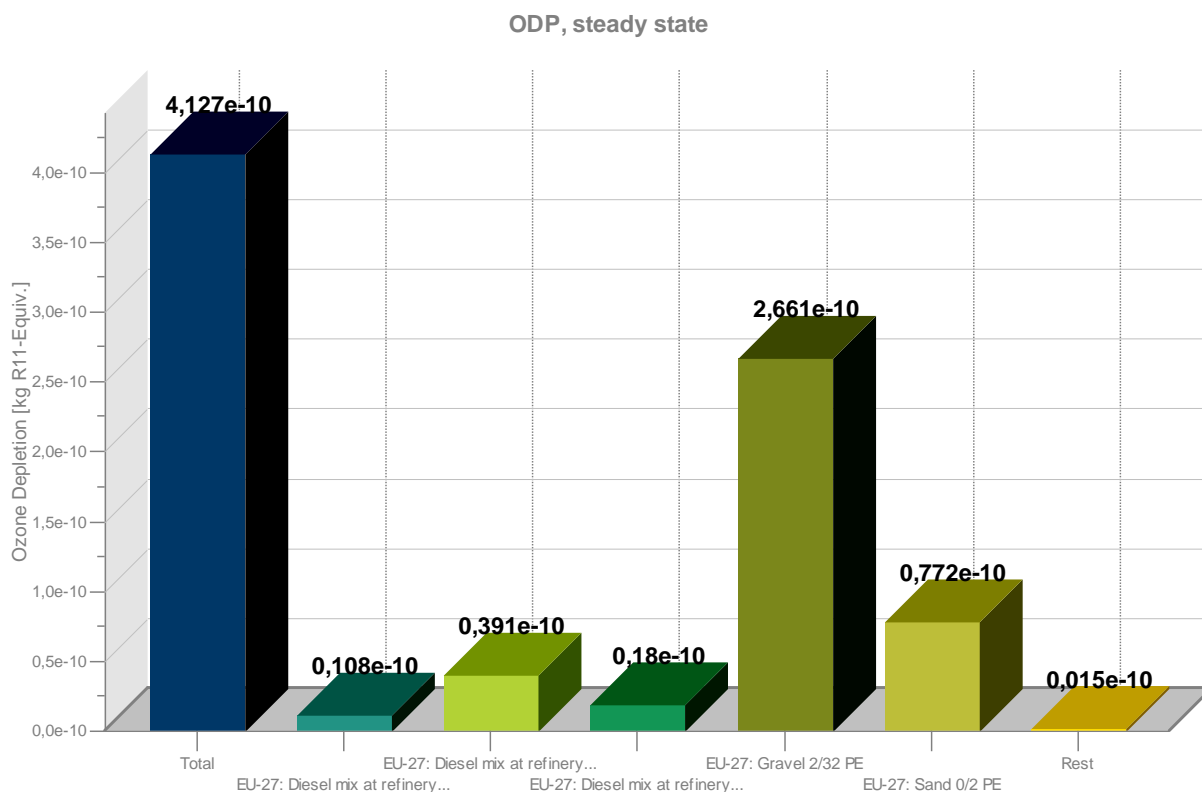
Παραγωγή Σκυροδέματος στην Ελλάδα / Production of Concrete in Greece (GWP) - %		
Ροές	Flows	100 %
Πόροι	Resources	50,58
Κατατεθέν πόροι	Deposited goods	0,179
Εκπομπές στον αέρα	Emissions to air	1,90
Εκπομπές στο φρέσκο νερό	Emissions to fresh water	47,32
Εκπομπές στο θαλασσινό νερό	Emissions to sea water	0,008
Εκπομπές στα γεωργικά εδάφη	Emissions to agricultural soil	1,026E - 006
Εκπομπές σε βιομηχανικό έδαφος	Emissions to industrial soil	2,692E - 007

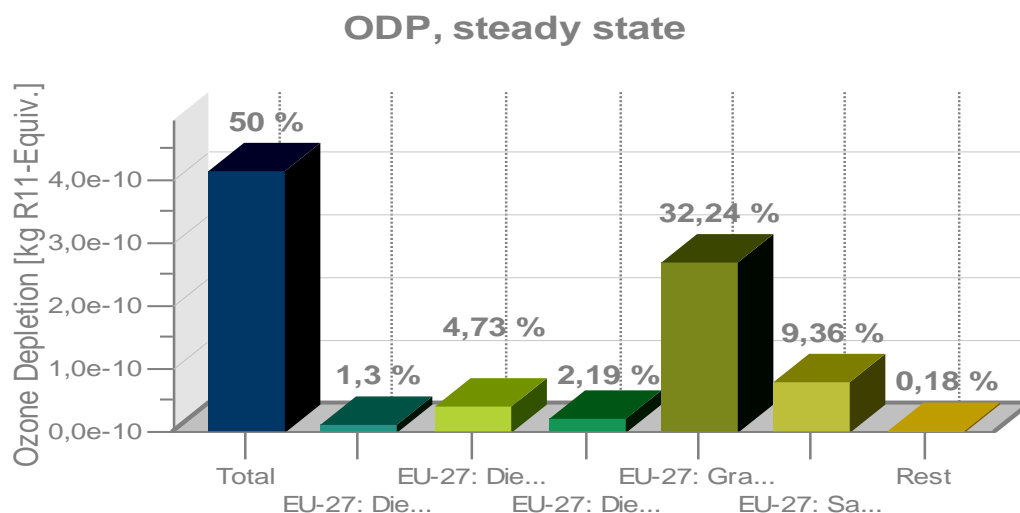
4.3.2 Καταστροφής του Όζοντος / Ozone Depletion (ODP), [kg CFC11-Eq.] /ILCD / Σενάριο 2

Στην κατηγορία OPD που είναι υπεύθυνη για την καταστροφή του Όζοντος του πλανήτη και στο γράφημα 4.3.2 από το 100% των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων δηλαδή $4,127 \times 10^{-10}$ kg CFC11 – Eq η ανάλυση του λογισμικού GaBi μας έδωσε:

- 9,36 % ή $0,772 \times 10^{-10}$ kg CFC11 – Eq για την άμμο (0/2)
- 32,24% ή $2,661 \times 10^{-10}$ kg CFC11 – Eq για τα αδρανή υλικά (2/32)
- 1,30% ή $0,108 \times 10^{-10}$ kg CFC11 – Eq μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- 4,73% ή $0,391 \times 10^{-10}$ kg CFC11 – Eq μεταφορά με φορτηγό για το τσιμέντο Portland (0/2)
- 2,19% ή $0,18 \times 10^{-10}$ kg CFC11 – Eq μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)

Γράφημα 4.3.2 : Καταστροφής του Όζοντος (OPD) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάριο 2

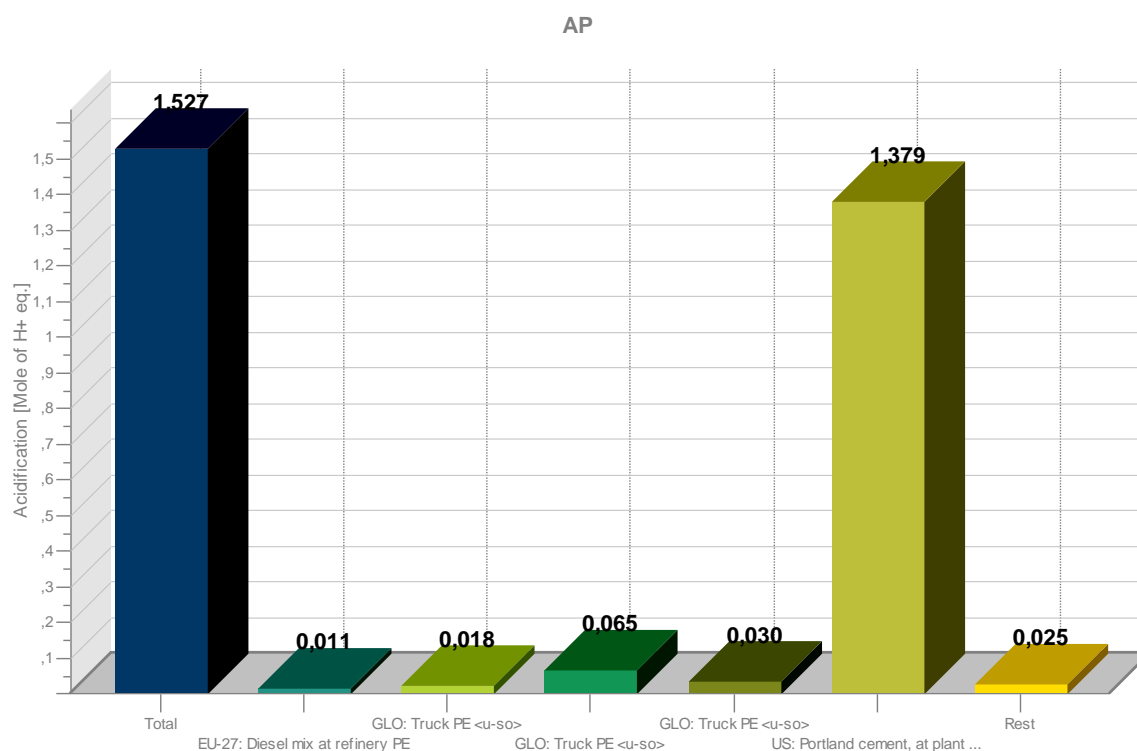




4.3.3 Δυνητική αύξηση της οξύτητας / Acidification (AP) / [Mole of H + eq.] / ILCD / Σενάριο 2

Για τον δείκτη που οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έχουν ως αρνητική συνέπεια στην αύξηση της οξύτητας των ωκεανών στο Σενάριο 2 η συνολική Δυνητική αύξηση της οξύτητας (AP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi προσδιορίζεται σε 1,527 Mole of H + Eq.

Γράφημα 4.3.3: Δυνητική αύξηση της οξύτητας (AP) με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάριο 2



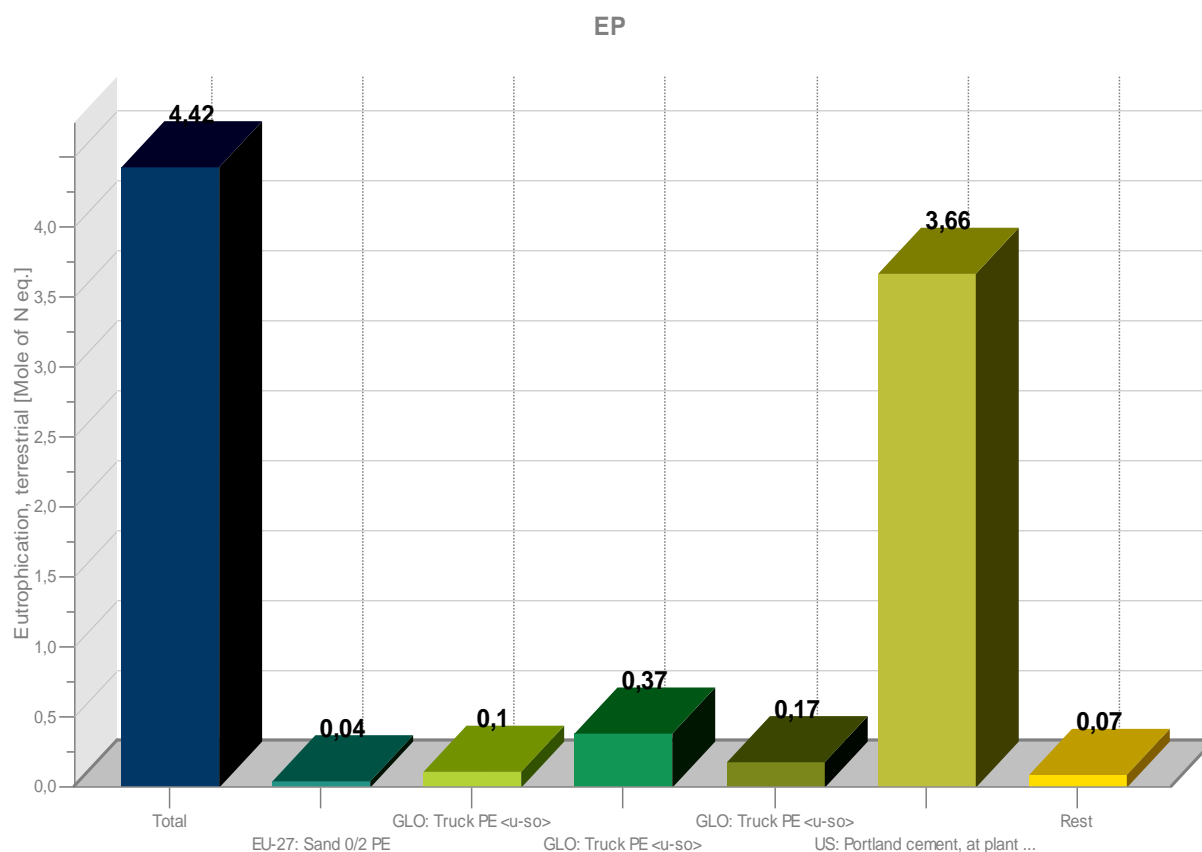
Σύμφωνα με τα στοιχεία του πλάνου για τον δείκτη της Δυνητική αύξηση της οξύτητας (AP) του σκυροδέματος έχουμε :

- 0,011 – Mole of H + Eq για το πετρέλαιο κίνησης των φορτηγών
- 0,018 – Mole of H + Eq μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- 0,065 – Mole of H + Eq μεταφορά με φορτηγό για το τσιμέντο Portland (0/2)
- 0,030 – Mole of H + Eq μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)
- 1,379 – Mole of H + Eq μεταφορά με φορτηγό για το τσιμέντο Portland (0/2)
- 0,025 – Mole of H + Eq τα υπόλοιπα

4.3.4 Δυναμικό Ευτροφισμού / Eutrophication (EP) / [Mole of N. eq] / ILCD / Σενάριο 2

Στο Σενάριο 2 ο συνολικός δείκτης Δυνητικό ευτροφισμού (EP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi προσδιορίζεται στα 4,42 Mole of N. Eq.

Γράφημα 4.3.4 : Δυναμικό ευτροφισμού (EP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάριο 2



Αναλύοντας με το GaBi 6.0 έχουμε :

- 3,66 – Mole of N. Eq για το τσιμέντο Portland
- 0,04 – Mole of N. Eq για την άμμο (0/2)
- 0,10 – Mole of N. Eq μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- 0,37 – Mole of N. Eq μεταφορά με φορτηγό για το τσιμέντο Portland (0/2)
- 0,17 – Mole of N. Eq μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)
- 0,07 – Mole of N. Eq για τα υπόλοιπα

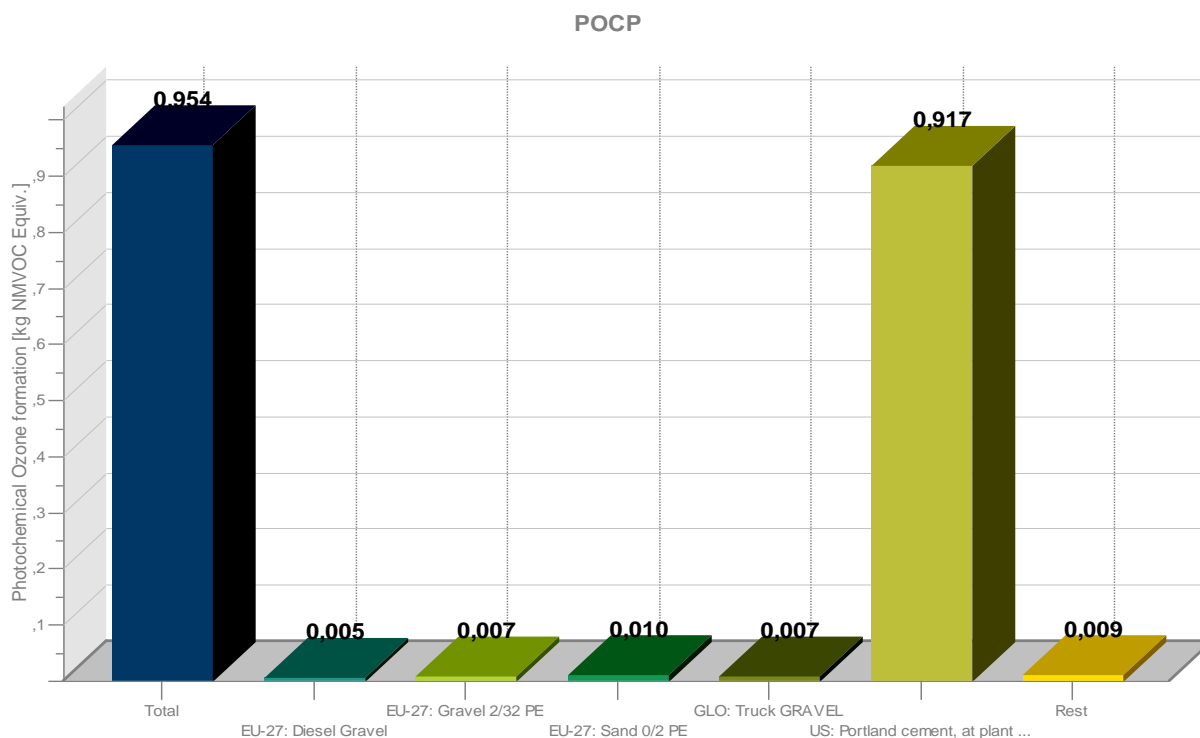
Τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις του δείκτη, προκαλεί όπως φαίνεται από τη διεργασία παραγωγής του σκυροδέματος το τσιμέντο Portland ενώ για τις υπόλοιπες διεργασίες του πλάνου οι τιμές είναι αρκετά χαμηλές.

4.3.5 Δυναμικό σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος / Photochemical Ozone (POCP), [kg NMVOC Equiv] / ILCD / Σενάριο 2

Ο Περιβαλλοντικός δείκτης που αφορά το Δυναμικό σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος / POCP, για το Σενάριο 2, με την βοήθεια του λογισμικού GaBi 6.0 και της μεθόδου ILCD, όπως φαίνεται και στο γράφημα 4.3.5 φαίνεται ότι 0,954 kg NMVOC Equiv αντιστοιχούν στο συνολικό 100% των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων του δείκτη ενώ για τις υπόλοιπες διεργασίες του πλάνου ισχύει :

- 0,917 – kg NMVOC Equiv. για το τσιμέντο Portland
- 0,005 – kg NMVOC Equiv. πετρέλαιο κίνησης για μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (2/32)
- 0,007 – kg NMVOC Equiv. για τα αδρανή υλικά (2/32)
- 0,010 – kg NMVOC Equiv. για την άμμο (0/2)
- 0,007 – kg NMVOC Equiv. για μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (2/32)
- 0,917 – kg NMVOC Equiv. για το τσιμέντο Portland
- 0,009 - kg NMVOC Equiv. για όλα τα υπόλοιπα

Γράφημα 4.3.5 : Δυναμικό σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος (POCP) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάριο 2

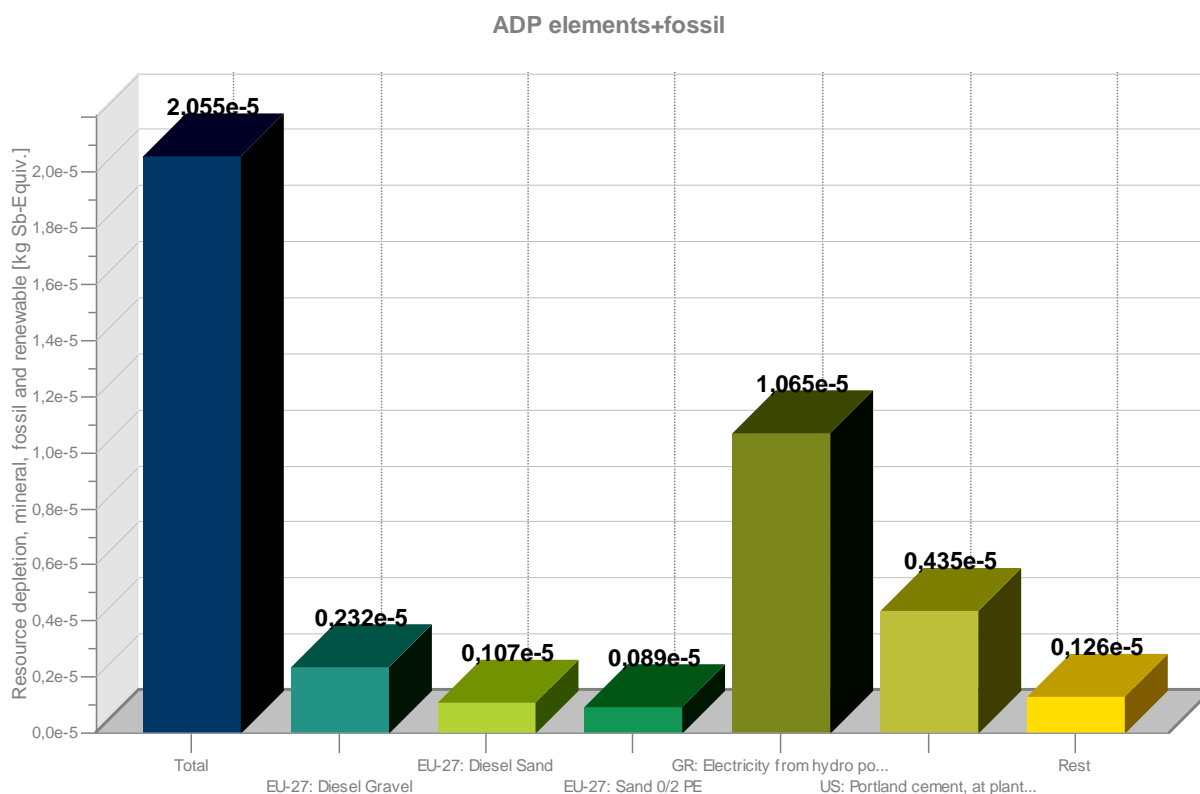


4.3.6 Αβιοτικά δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων /Abiotic resource depletion (ADP ορυκτά καύσιμα), [kg Sb-Equiv.] / ILCD / Σενάριο 2

Η ανάλυση για τον δείκτη Αβιοτικά δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων, ADP και κατά την παρασκευή ενός κυβικού (1μ³) σκυροδέματος στο Σενάριο 2, ενός δείκτη που είναι υπεύθυνος για την καταστροφή των ορυκτών πόρων, όπως φαίνεται στο γράφημα 4.1.7 μετά την μοντελοποίηση του πλάνου πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα. Από το 100% των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων δηλαδή 2,055 e – 5 kg Sb-Equiv. για τις επιμέρους διεργασίες αντιστοιχούν:

- 0,232 e – 5 kg Sb-Equiv. πετρέλαιο για μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- 0,107 e – e – 5 kg Sb-Equiv. πετρέλαιο για μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)
- 0,089 e – e – 5 kg Sb-Equiv. για την άμμο (0/2)
- 1,065 e – e – 5 kg Sb-Equiv. υδροηλεκτρική ενέργεια για το τσιμέντο Portland (0/2)
- 0,435 e – 5 kg Sb-Equiv. μεταφορά με φορτηγό για το τσιμέντο Portland (0/2)
- 0,126 e – 5 kg Sb-Equiv. για τα υπόλοιπα

Γράφημα 4.3.6: Δυναμικό καταστροφής των ορυκτών πόρων (APD) του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάριο 2



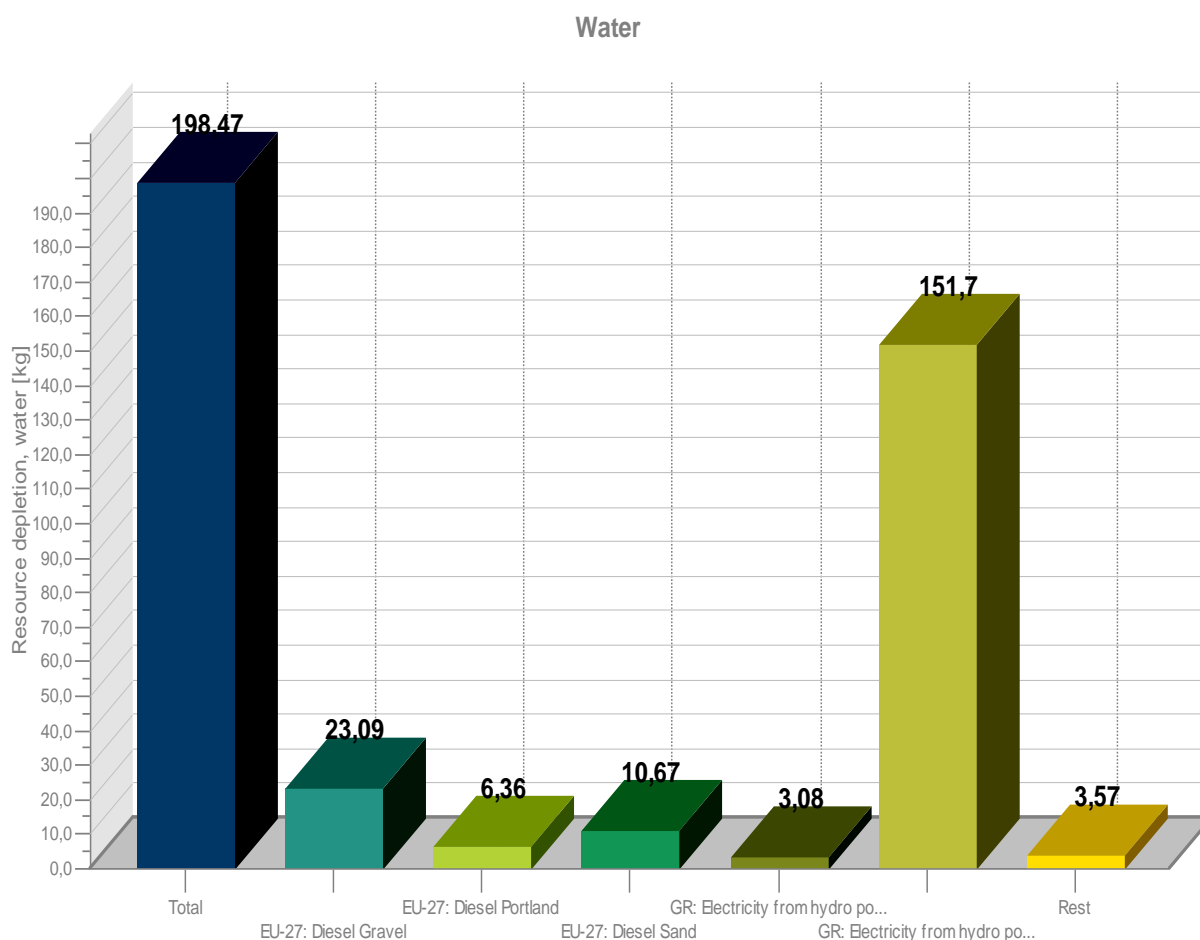
4.3.7 Συνολική κατάσταση του γλυκού νερού περιλαμβανομένων των όμβριων υδάτων / Resource depletion, Water [kg] / ILCD / Σενάριο 2

Στο παρακάτω γράφημα για το Σενάριο 2 φαίνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην συνολική κατάσταση του γλυκού νερού, συμπεριλαμβανομένων των όμβριων υδάτων από την παρασκευή ενός κυβικού (1μ3) σκυροδέματος.

Τα αποτελέσματα από το γράφημα 4.3.7 μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- 23,09 kg επιβάρυνση από το πετρέλαιο κατά την μεταφορά για τα αδρανή υλικά (0/2)
- 6,36 kg επιβάρυνση από το πετρέλαιο κατά την μεταφορά του τσιμέντου Portland
- 10,67 kg επιβάρυνση από το πετρέλαιο κατά την μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)
- 3,08 kg επιβάρυνση από υδροηλεκτρική ενέργεια κατά την παρασκευή 1μ3 σκυροδέματος
- 151,70 kg επιβάρυνση από υδροηλεκτρική ενέργεια για το τσιμέντο Portland (0/2)
- 3,57 kg για όλα τα υπόλοιπα

Γράφημα 4.3.7 : Συνολική κατάσταση του γλυκού νερού, περιλαμβανομένων των όμβριων υδάτων του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάριο 2



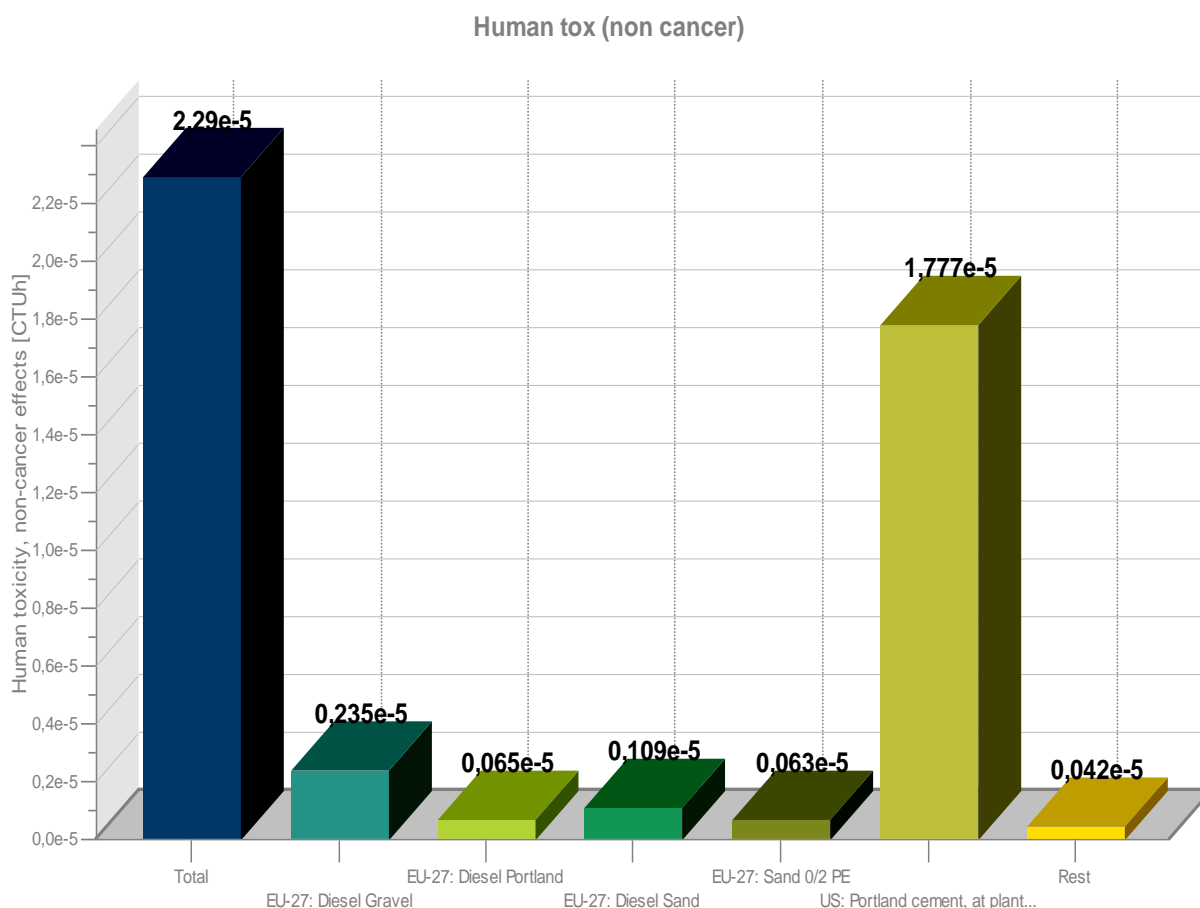
4.3.8 Τοξικότητα για τον άνθρωπο, μη καρκινικές επιδράσεις / Human toxicity, non-cancer effects [CTUh] / ILCD / Σενάριο 2

Οι περιβαλλοντικός δείκτης της Τοξικότητας για τον άνθρωπο με τις επιπτώσεις στην υγεία και την ποιότητα του οικοσυστήματος για το Σενάριο 2 και την βοήθεια της μεθόδου ILCD, όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα 4.3.8 και από το 100% των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων του δείκτη δηλαδή $2,29 \times 10^{-5}$ CTUh που προκαλεί η παρασκευή ενός κυβικού σκυροδέματος αντιστοιχούν στις επιμέρους διεργασίες :

- $0,235 \times 10^{-5}$ CTUh μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- $0,065 \times 10^{-5}$ CTUh μεταφορά με φορτηγό για το τσιμέντο Portland (0/2)
- $0,109 \times 10^{-5}$ CTUh μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)

- $0,063 \text{ e} - 5 \text{ CTUh}$ για την άμμο (0/2)
- $1,777 \text{ e} - 5 \text{ CTUh}$ για το τσιμέντο Portland
- $0,042 \text{ e} - 5 \text{ CTUh}$ για τα υπόλοιπα

Γράφημα 4.3.8 : Τοξικότητα για τον άνθρωπο, μη καρκινικές επιδράσεις του σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάριο 2



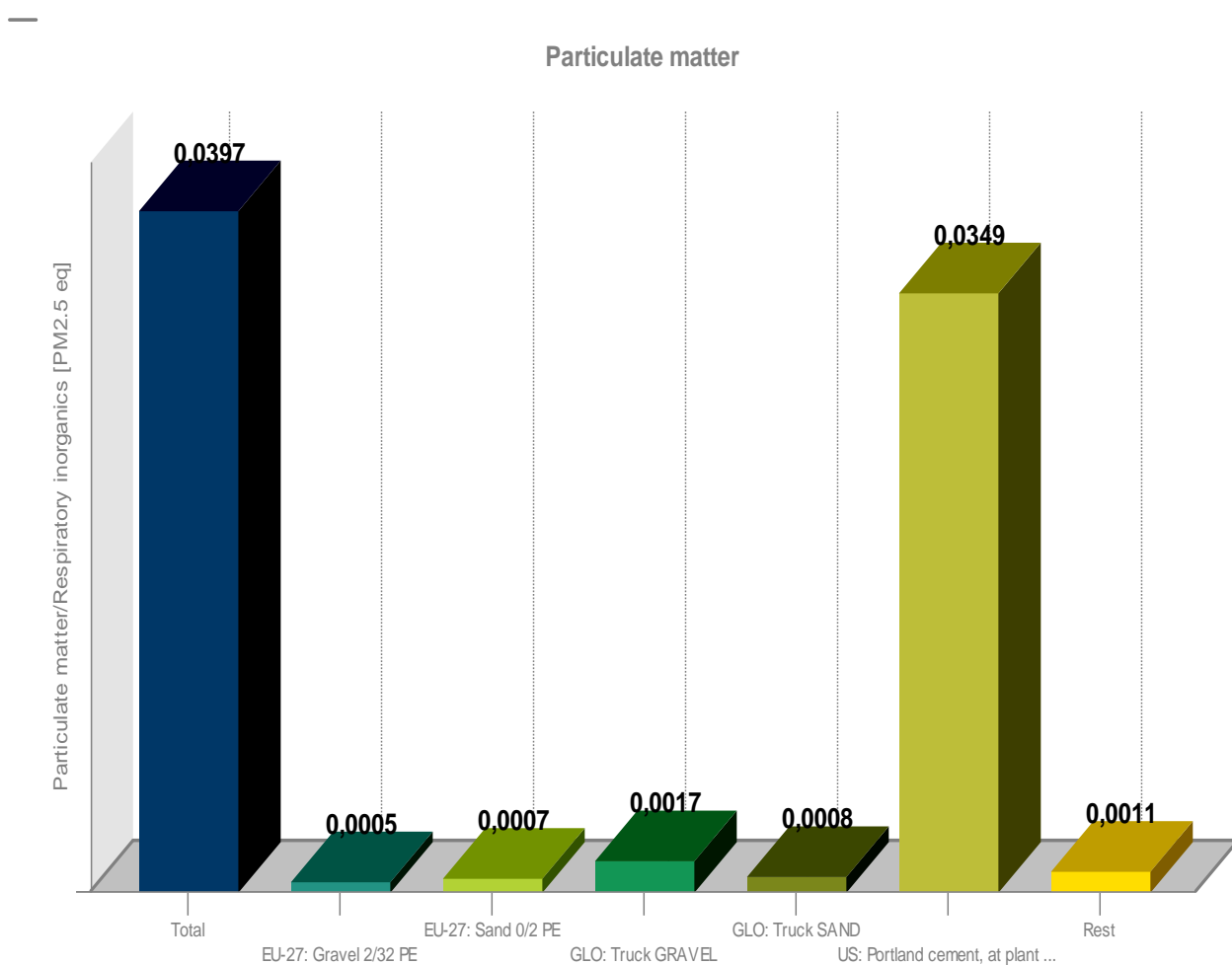
4.3.9 Αιωρούμενα σωματίδια / Particulate matter [PM2.5 eq] / ILCD / Σενάριο 2

Για το Σενάριο 2, τον δείκτη που αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα αιωρούμενα σωματίδια κατά την παρασκευή ενός κυβικού (1m^3) σκυροδέματος, με την μέθοδο ILCD έχουμε $0,0397 \text{ PM}_{2.5} \text{ eq}$ συνολική επιβάρυνση και :

- $0,0005 \text{ PM}_{2.5} \text{ eq}$ για τα αδρανή υλικά (2/32)
- $0,0007 \text{ PM}_{2.5} \text{ eq}$ για την άμμο (0/2)
- $0,0349 \text{ PM}_{2.5} \text{ eq}$ για το τσιμέντο Portland

- 0,0017 PM2.5 eq για την μεταφορά με φορτηγό για τα αδρανή υλικά (0/2)
- 0,0008 PM2.5 eq για την μεταφορά με φορτηγό για την άμμο (0/2)
- 0,0011 PM2.5 eq για τα υπόλοιπα

Γράφημα 4.3.9 : Δείκτης Αιωρούμενα σωματίδια από την παρασκευή σκυροδέματος με την βοήθεια του λογισμικού GaBi και της μεθόδου ILCD / Σενάριο 2



4.4 Εκτίμηση των Επιπτώσεων

Όπως είδαμε παραπάνω δύο μέθοδοι αξιολόγησης των επιπτώσεων επιλέχθηκαν για την αξιολόγηση της παρασκευής 1μ3 σκυροδέματος σύμφωνα με το λογισμικό GaBi. Η μέθοδος ILCD και η μέθοδος Traci.

Για την κατηγορία που αφορά το διοξείδιο του άνθρακα και τον πρώτο στην μελέτη μας δείκτη GWP, που αφορά την υπερθέρμανση του πλανήτη το λογισμικό αναφέρεται σε μονάδες βάρους και στις δύο μεθόδους, γεγονός που καθιστά εύκολο την σύγκριση. Όπως φαίνεται στο Σενάριο1 μεταξύ των δύο μεθόδων είναι σαφές ότι οι τιμές δεν διαφέρουν σημαντικά. Έτσι στον Πίνακα 4.4.1 και την πρώτη σύγκρισή μας παρατηρούμε 352,17 kg CO₂ – Eq. στο Σενάριο 1 με την μέθοδο ILCD και 351,86 kg CO₂ – Eq. για την μέθοδο TRACI. Αξιοσημείωτη είναι η μείωση του δείκτη σε 334,85 kg CO₂ – Eq. στο Σενάριο2 που έχει ενσωματωμένη την διεργασία της ανακύκλωσης των αδρανών υλικών, την μείωση της απόστασης εφαρμογής στα 50km και την χρησιμοποίηση ΑΠΕ.

Πριν προχωρήσουμε στις επόμενες κατηγορίες συγκρίσεων χρειάστηκε να κάνουμε μετατροπές στις μονάδες μετρήσεων των παρακάτω κατηγοριών δεικτών ώστε να μπορέσουμε να εξάγουμε χρήσιμα αποτελέσματα.

Δείκτης OPD - Καταστροφή του Όζοντος :

$$1 e - 9 = 10 \times 100$$

$$1 e - 10 = 1 \times 100$$

$$4,127 e - 10 \text{ kg CFC11-Eq.} / 10 = 0,4127 e - 9 \text{ kg CFC11-Eq}$$

Δείκτης AP - Δυνητική αύξηση της οξύτητας:

$$H = 1 \text{ , meg} / 100g$$

$$1,674 \text{ Mole of H + eq.} \times 1 = 1,674 / 1000 = 0,00167 \text{ kg of H + eq.}$$

$$79,37 \text{ kg H + moles - Equiv} / 1000 = 0,0793 \text{ kg H + moles-Equiv} / 100 = 0,00100 \text{ kg of H + eq.}$$

Δείκτης EP - Δυναμικό ευτροφισμού :

$$N = 14$$

$$5,17 \text{ Mole of N. Eq} = 5,17 \times 14 = 72,38 / 1000 = 0,07238 \text{ kg N – Equiv}$$

$$4,42 \text{ Mole of N. Eq} = 4,42 \times 14 = 61,88 / 1000 = 0,06188 \text{ kg N – Equiv}$$

Πίνακας 4.4.1 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων των Δεικτών Επιπτώσεων του λογισμικού GaBi, των δύο Σεναρίων και των Μεθόδων εφαρμογής ILCD και TRACI

	ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ	ΣΕΝΑΡΙΟ 1 ILCD	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ILCD	ΣΕΝΑΡΙΟ 1 TRACI	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ TRACI	ΣΕΝΑΡΙΟ 2 ILCD
1	GWP	352,17	kg CO ₂ – Eq.	351,86	kg CO ₂ – Eq.	334,85
2	ODP	1,1	e - 9kg CFC11-Eq.	1,1	e - 9kg CFC11-Eq.	4,127 e – 10 kg CFC11-Eq. ή 0,4127 e – 9 kg CFC11-Eq
3	AP	1,674 Mole of H + eq. ή 0,00167 kg of H + eq.	Mole of H + eq.	79,37 kg H + moles-Equiv ή 0,00100 kg of H + eq.	kg H + moles- Equiv	1,527
4	EP	5,17 Mole of N. Eq ή 0,07238 kg N - Equiv	Mole of N. eq	0,063	kg N - Equiv	4,42 ή 0,06188 kg N - Equiv
5	POCP	0,99	kg NMVOC Equiv	-	-	0,95
6	ADP	1,467	kg Sb-Equiv.	-	-	2,055
7	Resource Depletion Water	87,6	Water [kg]	-	-	198,47
8	Human toxicity - Non cancer effect	2,793	CTUh	-	-	2,29
9	Particulate Matter	0,044	PM2.5 eq	-	-	0,039

Όπως ήταν αναμενόμενο, στο Σενάριο2 το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται και περιέχει αδρανή υλικά προερχόμενα από ανακύκλωση υλικών κατεδαφίσεων έχει τις χαμηλότερες επιπτώσεις στις περισσότερες κατηγορίες δεικτών.

Λόγω της χρησιμοποίησης όμως υδροηλεκτρικής ενέργειας ως κύρια μορφή ενέργειας για την παραγωγή ενός κυβικού σκυροδέματος, σημαντική είναι η επίπτωση στον δείκτη που αφορά την Συνολική κατάσταση του γλυκού νερού (Resource depletion, water). Στο Σενάριο1 με κύρια μορφή ενέργειας την ενέργεια από διάφορες πηγές και επίσημα στοιχεία για την Ελλάδα από τους κατασκευαστές του GaBi η τιμή του δείκτη ανέρχεται σε 87,6kg ενώ στο Σενάριο2 υπερδιπλασιάζεται για να αγγίζει την τιμή των 198,47 kg.

Ένας άλλος δείκτης που αντί να μειωθεί επιβαρύνεται περισσότερο στο Σενάριο2 είναι ο δείκτης APD. Ο δείκτης Αβιοτικοί φυσικοί πόροι (APD), αφορά την εξάντληση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και λογικά παρατηρούμε στο Σενάριο1 να έχει τιμή 1,467 e-5 kg Sb-Equiv. ενώ στο Σενάριο2 από την χρήση της υδροηλεκτρικής ενέργειας να αυξάνεται και να έχει τιμή 2,055 e-5 kg Sb-Equiv.

Αν και το Σενάριο2 στην πλειοψηφία των δεικτών έχει σημαντική μείωση στους περισσότερους δείκτες δεν θα πρέπει να αμεληθεί η σημαντική επιβάρυνση στον δείκτη που αφορά την επιβάρυνση του γλυκού νερού.

Επίσης οι πρώτες ύλες θεωρήθηκαν ότι υπάρχουν στην Ελλάδα. Είναι σημαντικό να εξεταστεί μελλοντικά όμως και ένα σενάριο, το λεγόμενο "σενάριο της χειρότερης περίπτωσης" όπου ένα υλικό δεν υφίσταται πλέον στην χώρα ή λόγω του μειωμένου κόστους αγοράς θα χρειαστεί να έρθει από την άλλη άκρη του πλανήτη, παραδείγματος χάρη την Κίνα ή την Αμερική. Η παγκοσμιοποίηση της βιομηχανίας και των πόρων εξόρυξης έχει γίνει όλο και περισσότερο μια πραγματικότητα σε ολόκληρο τον 20ο και τον 21ο αιώνα με κύρια συνιστώσα το οικονομικό κόστος.

Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε με την μέθοδο της Πολυκριτηριακής ανάλυσης να αξιολογήσουμε περιβαλλοντικά το σκυρόδεμα ως συμβατικό δομικό υλικό και να αναλύσουμε τις Περιβαλλοντικές και Κοινωνικο- Οικονομικές επιπτώσεις του.

B) Μέθοδος Πολυκριτηριακής ανάλυσης

4.5 Πολυκριτηριακή Ανάλυση με την βοήθεια του Στατιστικού πακέτου SPSS.19

Με βάση τα παρακάτω κριτήρια πραγματοποιήσαμε μια έρευνα με ερωτηματολόγιο στην κατασκευαστική βιομηχανία, για να διερευνήσουμε την άποψη των επαγγελματιών του κατασκευαστικού χώρου όπως Πολιτικοί μηχανικοί, Αρχιτέκτονες, Εργολάβοι κ.α. Ο στόχος είναι η περιβαλλοντική αξιολόγηση και διάθεση των επαγγελματιών του χώρου ως προς τα δομικά υλικά και ειδικότερα το σκυρόδεμα. Θα προσπαθήσουμε να διερευνήσουμε κατά πόσο μπορεί να υπάρξει συνεργασία και διάθεση για την προτίμηση στην εφαρμογή σκυροδέματος, το οποίο έχει παραχθεί με διεργασίες πιο φιλικές προς το περιβάλλον και κατά πόσο υπάρχει η ευαισθησία και η γνώση για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση της κλασσικής μορφής σκυροδέματος.

Τα βιώσιμα **κριτήρια αξιολόγησης** που τέθηκαν στους ερωτώμενους χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες. Σε αυτά που περιλαμβάνουν Περιβαλλοντικά κριτήρια και σε αυτά που περιλαμβάνουν Κοινωνικο-Οικονομικά κριτήρια.

A) Περιβαλλοντικά κριτήρια

1. Δυνατότητα για την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση υλικών κατεδαφίσεων και επανάκτηση δομικών υλικών
2. Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη
3. Δυναμικό καταστροφής του όζοντος
4. Επιπτώσεις ως προς την Τοξικότητα
5. Επιπτώσεις του υλικού στην ποιότητα του αέρα
6. Επιπτώσεις του υλικού στις Υδάτινες Μάζες
7. Επιπτώσεις του υλικού στην Ρύπανση του αέρα
8. Περιβαλλοντική συμμόρφωση ως προς την Ευρωπαϊκή νομοθεσία

B) Κοινωνικο-οικονομικά κριτήρια

1. Νέες τεχνολογίες και οικονομικά οφέλη

2. Βιώσιμα υλικά και ο ρόλος τους στον Κατασκευαστικό Τομέα
3. Νέα Δομικά Υλικά (Πράσινο Σκυρόδεμα)
4. Ανθρώπινη υγεία και επιπτώσεις
5. Κανόνες και περιορισμοί στην χρήση Δομικών Υλικών όπως το σκυρόδεμα
6. Πολεοδομικοί Κανόνες και σκυρόδεμα που έχει στη σύνθεσή του προϊόντα από υλικά ανακύκλωσης κατεδαφίσεων
7. Χωροθέτηση χώρων συγκέντρωσης υλικών κατεδαφίσεων – ‘‘Πράσινα σημεία’’.

Ως στόχο οι παραπάνω κατηγορίες έχουν να ενσωματώσουν τις Οικονομικές, Περιβαλλοντικές και Κοινωνικές αρχές της Αειφορίας.

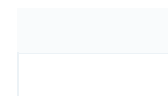
Σύμφωνα με το επίπεδο σημασίας που θεωρείται σημαντικό, ζητήθηκε από τους 40 ερωτώμενους ειδικούς του Κατασκευαστικού τομέα, να απαντήσουν σε μία σειρά ερωτήσεων, σε μία κλίμακα από 1-5 όπου 1 είναι «το λιγότερο σημαντικό», 2 «το αρκετά σημαντικό», 3 «σημαντικό», 4 «το πολύ σημαντικό» και 5 «το εξαιρετικά σημαντικό», σε μία σειρά οκτώ (8) ερωτήσεων με περιβαλλοντικά κριτήρια και σε μία σειρά επτά (7) ερωτήσεων με Κοινωνικο-οικονομικά κριτήρια.

Χρησιμοποιώντας την βοήθεια του Στατιστικού πακέτο SPSS 19.0 παρακάτω θα αναλύσουμε και θα αξιολογήσουμε τις απαντήσεις των ερωτηματολογίων που συγκεντρώσαμε.

Στο παρακάτω Πίνακα 4.5.1 με Π1-Π8 χαρακτηρίζονται οι ερωτήσεις με Περιβαλλοντικά κριτήρια. Ενδεικτικά μπορούμε να δούμε στην Ερώτηση_Π1 ότι η μικρότερη τιμή ως επίπεδο σημασίας που δόθηκε από τους 40 ερωτώμενους είναι το 3 που αντιστοιχεί «στο σημαντικό», αλλά δόθηκε μία φορά και η απάντηση με την ένδειξη 5 που αντιστοιχεί «στο εξαιρετικά σημαντικό». Έτσι συγκεντρωτικά μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι στις περισσότερες κατηγορίες δεν δόθηκαν απαντήσεις μικρής σημασίας (1 και 2), πράγμα που σημαίνει καταρχήν μία αξιοσημείωτη περιβαλλοντική ευαισθησία από τους ειδικούς του κατασκευαστικού χώρου.

Παρατηρούμε όμως στις ερωτήσεις ΚΟ5 - ΚΟ6 και ΚΟ7 και ένα φόβο από κάποιους στην θέσπιση υποχρεωτικών νόμων και κανόνων για την χρήση σκυροδέματος που προέρχεται από υλικά ανακύκλωσης κατεδαφίσεων, αφού στις κατηγορίες αυτές δόθηκαν και αρκετές απαντήσεις με τον κωδικό 1 και 2 που αφορά την επιλογή τους ως ‘‘λιγότερο σημαντικό’’ και την αποφυγή έμμεσα της θέσπισης νόμων και κανόνων σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές οδηγίες για τα ποσοστά ανακύκλωσης 70% έως το 2020 κατά την δημιουργία νέων δομικών υλικών.

Πίνακας 4.5.1 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων της Πολυκριτηριακή Ανάλυσης με την βοήθεια του Στατιστικού πακέτου SPSS 19.0



Descriptive Statistics					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Ερώτηση_Π1	40	3	5	4,13	,723
Ερώτηση_Π2	40	3	5	4,15	,662
Ερώτηση_Π3	40	3	5	4,13	,648
Ερώτηση_Π4	40	3	5	4,13	,648
Ερώτηση_Π5	40	3	5	4,13	,648
Ερώτηση_Π6	40	3	5	4,10	,672
Ερώτηση_Π7	40	3	5	4,13	,648
Ερώτηση_Π8	40	2	5	4,25	,742
Ερώτηση_KO1	40	3	5	3,95	,639
Ερώτηση_KO2	40	3	5	4,03	,577
Ερώτηση_KO3	40	3	5	4,30	,723
Ερώτηση_KO4	40	3	5	4,08	,616
Ερώτηση_KO5	40	1	5	3,47	,847
Ερώτηση_KO6	40	1	5	3,15	1,001
Ερώτηση_KO7	40	2	5	3,73	,905
Valid N (listwise)	40				

Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα αν επικεντρωθούμε αναλυτικά στην κάθε ερώτηση όπως π.χ. στην Ερώτηση KO5 που αφορά τους Κανόνες και περιορισμούς στην χρήση Δομικών Υλικών και την υποχρεωτική χρήση δομικών υλικών όπως το "Πράσινο Σκυρόδεμα" στις κατασκευές σε ποσοστό 70% σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία. Παρατηρούμε έτσι μία επιφυλακτικότητα από τους ερωτώμενους σε σχέση με τον ενθουσιασμό στις απαντήσεις των προηγούμενων ερωτήσεων.

Από τους 40 ερωτώμενους, οι 15 επέλεξαν την κατηγορία 3 "Σημαντικό" με ποσοστό 37,5% , 18 ερωτώμενοι την κατηγορία 4 "πολύ σημαντικό" με ποσοστό 45,0 % ενώ αξιοσημείωτες είναι οι μόνο τρεις απαντήσεις με ποσοστό 7,5% για την επιλογή 5 "Εξαιρετικά σημαντικό".

Αντίστοιχα αποτελέσματα μπορούμε να παρατηρήσουμε και στις ερωτήσεις KO6 και KO7.

Πίνακας 4.5.2 : Πίνακες αποτελεσμάτων της Πολυκριτηριακή Ανάλυσης με την βοήθεια του Στατιστικού πακέτου SPSS 19.0 ανά ερώτηση

Ερώτηση_Κ05

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	1	1	2,5	2,5	2,5
	2	3	7,5	7,5	10,0
	3	15	37,5	37,5	47,5
	4	18	45,0	45,0	92,5
	5	3	7,5	7,5	100,0
	Total	40	100,0	100,0	

Ερώτηση_Κ06

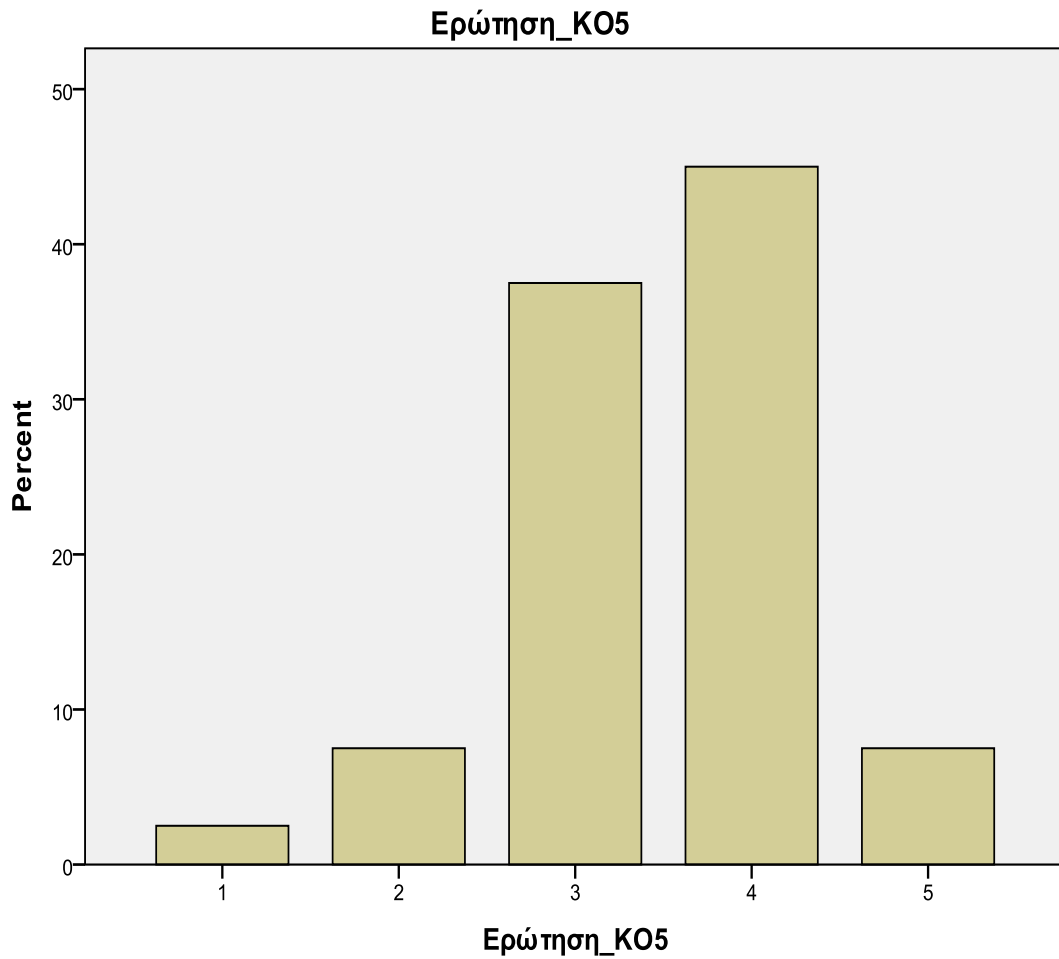
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	1	3	7,5	7,5	7,5
	2	5	12,5	12,5	20,0
	3	18	45,0	45,0	65,0
	4	11	27,5	27,5	92,5
	5	3	7,5	7,5	100,0
	Total	40	100,0	100,0	

Ερώτηση_Κ07

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	2	3	7,5	7,5	7,5
	3	14	35,0	35,0	42,5
	4	14	35,0	35,0	77,5
	5	9	22,5	22,5	100,0
	Total	40	100,0	100,0	

Ακόμα πιο ξεκάθαρα η διάθεση και η επιφυλακτικότητα αυτή που τονίσαμε παραπάνω φαίνεται και στο διάγραμμα του SPSS 19.0 παρακάτω με τις μεσαίες κατηγορία απαντήσεις να κατέχουν τα υψηλότερα ποσοστά.

Διάγραμμα 4.5.1 του Στατιστικού πακέτου SPSS 19.0 με ποσοστά ανά % για την ερώτηση ΚΟ5



Συζήτηση – Συμπεράσματα – Εισηγήσεις

Η ανακύκλωση εφαρμόζεται με νόμο σε πολλές χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής. Αν το ποσοστό των χρησιμοποιούμενων αδρανών υλικών από ανακύκλωση είναι μικρότερο από το νομοθετημένο ποσοστό σε σχέση με το συνολικό όγκο σκυροδέματος, η άδεια οικοδομήσεως της κατασκευής αφαιρείται.

Μελετώντας το μίγμα ενός κυβικού (1μ³) σκυροδέματος σε δύο διαφορετικά σενάρια ως προς την προέλευση των αδρανών υλικών είδαμε ότι το GaBi είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την αξιολόγηση του κύκλου ζωής και ένα εργαλείο που μπορεί να παράγει εντυπωσιακά αποτελέσματα. Η μέθοδος ILCD του GaBi περιέχει δεκατρείς κατηγορίες επιπτώσεων προς επιλογή ενώ η μέθοδος TRACI δέκα πέντε κατηγορίες αξιολόγησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων δίνοντας έμφαση στην ανθρώπινη υγεία και σε κατηγορίες επιπτώσεων ουσιών συμπεριλαμβανομένων των καρκινογόνων ουσιών. Και οι δύο είναι ισχυρά εργαλεία στην ανάλυση του κύκλου ζωής των δομικών υλικών.

Τα στοιχεία για τις ροές και τις διαδικασίες ενός κύκλου ζωής δεν είναι πάντα διαθέσιμα, που σημαίνει ότι ο χρήστης θα πρέπει να δαπανήσει αρκετό χρόνο δημιουργώντας υπολογιστικά φύλλα και διαδικασίες για τις οποίες δεν μπορεί να υπάρχουν πάντοτε αξιόπιστα στοιχεία καθώς και η πρόσβαση σε αυτά. Η GaBi 2013 βάση δεδομένων δομικών υλικών, καλύπτει τα πιο συναφή προς τις κατασκευές υλικά, καθώς και πιο εξειδικευμένα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των κτιρίων, δρόμων ή τις υπόγειες κατασκευές. Η ομάδα LBP - GaBi και η ομάδα της PI International οι οποίες αποτελούν την μεγαλύτερη ομάδα εργασίας στον κόσμο και βρίσκονται στην Στουτγάρδη της Γερμανίας συνεχώς ενημερώνονται και εγγυάται την ασφάλεια των δεδομένων.

Αυτή η διατριβή προσπάθησε να αναδείξει και να συγκρίνει περιβαλλοντικούς δείκτες μεταξύ της κλασικής μεθόδου παρασκευής σκυροδέματος και αυτής της χρήσης ανακυκλωμένων υλικών. Από αυτή την χρήση προσπαθεί να ευαισθητοποιήσει την χρησιμοποίηση υλικών κατεδαφίσεων κατασκευών μετά το τέλος της ζωής τους, ως υλικά για την παρασκευή αδρανών υλικών σκυροδέματος και όχι απλά την διάθεσή τους σε χώρους υγειονομικής ταφής. Είναι γνωστό ότι στην Ελλάδα αυτή η διεργασία βρίσκεται σε μηδενικό ποσοστό και είναι επιτακτική ανάγκη η ανακύκλωση των υλικών κατεδαφίσεων και η παραγωγή έτσι του λεγόμενου "πράσινου σκυροδέματος" δηλαδή ενός προϊόντος που θα χρησιμοποιεί υλικά που προέρχονται από το

λεγόμενο "τέλος της ζωής των κατασκευών". Οι άμεσοι στόχοι αυτής της εργασίας είναι η ευαισθητοποίηση, καθώς και η ελαχιστοποίηση της απώλειας χρήσιμων υλικών. Είναι επίσης η προστασία του περιβάλλοντος από την εξάπλωση των υπαιθρίων λατομείων καθώς και η μείωση της χρησιμοποίησης των πρώτων υλών για την παρασκευή σκυροδέματος.

5.1 Περιορισμοί της μελέτης

Ήταν αναγκαίο σε αυτή την μελέτη να προσεγγίσουμε την οικοδόμηση του κύκλου ζωής βήμα-βήμα.. Δεδομένου ότι υπάρχει σημαντικό ενδιαφέρον για τις περιβαλλοντικών επιπτώσεις του σκυροδέματος στις κατασκευές το πρώτο βήμα είναι η **ανάλυση της ακατέργαστης ύλης δηλαδή του σκυροδέματος χωριστά και πριν την ενσωμάτωσή του σε μοντέλα σκελετού**. Αργότερα σε κάθε βήμα της διαδικασίας κατασκευής δηλαδή : σκελετός κτιρίου κατασκευής, συντήρηση και κατεδάφιση μπορούν να αναλυθούν συστηματικά ώστε να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο μοντέλο της ενσωματωμένης ενέργειας σε μια ποικιλία δομών και μοντέλων. Έτσι το μοντέλο μπορεί στη συνέχεια να εφαρμοστεί σε διάφορα σχέδια πλαισίων κατασκευών από σκυρόδεμα.

Τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν σύμφωνα με τα δεδομένα GaBi 6.0 για την Ελλάδα περιέχουν παραδοχές ως προς την προέλευση των υλικών, τις αποστάσεις και την τελική διάθεση του προϊόντος. Στο Σενάριο 1 θεωρήθηκε μέγιστη απόσταση προέλευσης των πρώτων υλών τα 100km, ενώ στην πραγματικότητα μπορεί να βρίσκονται και σε μεγαλύτερη απόσταση. Μια κατασκευή και ο τρόπος ανέγερσης της μπορεί να διαφέρουν ανάλογα την περιοχή, το περιεχόμενο και την παραγωγή των υλικών και είναι σχεδόν βέβαιο ότι διαφέρουν ανάλογα με το εργοστάσιο κατασκευής και την αρχική πηγή του υλικού. Μεταφορές και απόσταση δημιουργούν σημαντικές διακυμάνσεις. Στην πραγματικότητα, όμως υλικά μπορεί να προέρχονται και σε αποστάσεις πολύ κοντά τις πηγές, αλλάζοντας έτσι την εκτίμηση των επιπτώσεων δραστικά.

Έτσι στο Σενάριο 2 μειώσαμε την απόσταση μεταφοράς των πρώτων υλών στα 50 km για να δούμε ακριβώς αυτές τις αλλαγές μιας AKZ. Προσθέσαμε νέες παραμέτρους στο σενάριό μας όπως την αντικατάσταση μέρους των αδρανών υλικών με ανακυκλωμένα υλικά κατεδαφίσεων σύμφωνα με την τελευταία οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Building the future with CDE) η οποία προδιαγράφει ποσοστό ανακύκλωσης από διάφορες κατασκευές και κατεδαφίσεις της τάξεως του 70%. Παρατηρήσαμε από τα δεδομένα των κατασκευαστών του λογισμικού και την ανάλυση των δεδομένων τη μη σύγκλιση της Ελλάδας ως προς την χρήση της ενέργειας σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές οδηγίες, αφού η χρήση από λιγνίτη σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό 52,13% της εγχώριας συνολικής παραγωγής ενέργειας και τα μικρά ποσοστά συνεισφοράς των λεγόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας.

Έτσι θεωρήσαμε ως ενέργεια παραγωγής, την ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργεια και πιο συγκεκριμένα την υδροηλεκτρική ενέργεια.

Οι παραδοχές που γίνονται είναι μια εγγενής αδυναμία του κάθε κύκλου ζωής μιας κατασκευής, διότι θα υπάρχουν πάντα πολλές εναλλακτικές λύσεις και οι οποίες θα πρέπει να διερευνηθούν ώστε μελλοντικά να μειωθούν οι αδυναμίες της.

Στοιχεία που αφορούν τις ροές και διαδικασίες υπήρχαν σχεδόν για όλα τα υλικά με την ένδειξη EU δηλαδή προερχόμενα από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά στοιχεία που αφορούν αποκλειστικά την Ελλάδα δεν είναι πάντα διαθέσιμα στο GaBi 6.0 για τις ροές και τις διαδικασίες, πράγμα που σημαίνει ότι ο χρήστης θα πρέπει να περνά περισσότερο χρόνο δημιουργώντας χειροποίητες διαδικασίες για τις οποίες δεν μπορούν να υπάρξουν αξιόπιστα δεδομένα. Λόγω του συνδυασμού των δεδομένων και από άλλες πηγές και δεδομένα και λόγω του περιορισμένου πεδίου εφαρμογής της παρούσας μελέτης, η αξιοπιστία τους αποτελεσμάτων έγκειται στους κατασκευαστές του προγράμματος.

Δεν εισήρθαμε στις διαδικασίες εξόρυξης και παραγωγής των πρώτων υλών αλλά χρησιμοποιήσαμε τις βάσεις δεδομένων GaBi 6.0 με την εγγύηση των πληροφοριών από τους κατασκευαστές του λογισμικού.

Η πολυπλοκότητα του προγράμματος είναι τέτοια, και μας πήρε αρκετό χρόνο ώστε να κατανοήσουμε την λειτουργία του. Η εκτέλεση μιας γρήγορης αλλά και αξιόπιστης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα αποδεικνύεται ότι είναι ένα δύσκολο έργο και προβλήματα όπως η έλλειψη πληροφοριών ή η πολυπλοκότητα ενός προγράμματος είναι προβλήματα που ανέκυψαν κατά την διάρκεια αυτής της διατριβής.

Το πρόγραμμα δεν περιέχει στοιχεία για του διάφορους τύπους σκυροδέματος και έτσι η μοντελοποίηση για την κατηγορία C20/25 με την οποία ασχολήθηκε η μελέτη μας έγινε χειροκίνητα και μετά από δικούς μας υπολογισμούς. Προτείνεται στους κατασκευαστές του προγράμματος η μοντελοποίηση πολλών διαφορετικών τύπων μιγμάτων σκυροδέματος, μια και διαφορετικοί τύποι σκυροδέματος έχουν εφαρμογή για διαφορετικές κατηγορίες έργων. Έτσι θα είναι πιο εύκολη η διαδικασία για τη δημιουργία μιας πλήρους αξιολόγησης του κύκλου ζωής, διαφορετικών κατηγοριών του ίδιου δομικού υλικού. Βέβαια αυτό θα είναι μια επίπονη εργασία που απαιτεί ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής και χρόνο για τους προγραμματιστές της ομάδας των αναλυτών του GaBi .

5.2 Μελλοντικοί Στόχοι

Ο πιο σημαντικός μελλοντικός στόχος αυτής της μελέτης είναι να αποκτήσει περισσότερα δεδομένα που θα συνεισφέρουν στην μοντελοποίηση μια ανάλυσης κύκλου ζωής. Οι κατασκευαστές λογισμικών σε συνεργασία με τη βιομηχανία, θα βοηθήσουν στην διασφάλιση και ακρίβεια των δεδομένων. Στις βάσεις δεδομένων GaBi χρειάζεται περισσότερη ευελιξία στην επιλογή των διαδικασιών που απαιτούνται για την παραγωγή έτοιμου σκυροδέματος, ώστε οι διαδικασίες αυτές να αποφεύγεται να εισάγονται χειροκίνητα. Μόλις η ποιότητα των δεδομένων αυτών των μοντέλων βελτιωθεί μπορεί να επεκταθεί και να συμπεριλάβει αναλυτικότερα και τα υπόλοιπα στάδια κατασκευής δηλαδή το στάδιο της δόμησης, της χρήσης και της κατεδάφισης.

5.3 Συμπεράσματα

Για την μέθοδο ILCD ((International Reference Life Cycle System) και τη μέθοδο TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts) τα αποτελέσματα των συγκρίσεων έδειξαν, στο Σενάριο2 ότι το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται και περιέχει αδρανή υλικά προερχόμενα από ανακύκλωση υλικών κατεδαφίσεων έχει τις χαμηλότερες επιπτώσεις στις περισσότερες κατηγορίες δεικτών. Στην Ελλάδα υπάρχουν οκτώ βιομηχανίες τσιμέντου και 54.82×10^6 τόνοι αδρανών υλικών απαιτούνται σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία για παραγωγή σκυροδέματος. Οι 54.82×10^6 τόνοι αδρανών υλικών προέρχονται από την κατεργασία (θραύση, ταξινόμηση-κοσκίνιση) ασβεστολιθικού πετρώματος που εξορύσσεται σε λατομεία (νταμάρια) με επιφανειακή εξόρυξη.

Η εφαρμογή της μεθόδου της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ) στο Πλάνο Επεξεργασίας 1, και την μέθοδο ILCD κατά την πρώτη φάση (A1-A3) της παρασκευής σκυροδέματος έδειξε συνολικά 352,17 kg CO₂-Eq στην κατηγορία GWP που είναι υπεύθυνη για την θέρμανση του πλανήτη και τις πιο σοβαρές επιπτώσεις στο φαινόμενο της Κλιματικής Αλλαγής που πλέον απασχολεί όλους του επιστήμονες. Στο Πλάνο Επεξεργασίας 2 και την μέθοδο ILCD προσθέτοντας τρεις νέες παραμέτρους, την αντικατάσταση μέρους των αδρανών υλικών με ανακυκλωμένα υλικά κατεδαφίσεων σύμφωνα με την τελευταία οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης η οποία προδιαγράφει ποσοστό ανακύκλωσης από διάφορες κατασκευές και κατεδαφίσεις της τάξεως του 70%, την απόσταση μεταφοράς των υλικών στα 50km, και την θεώρηση ως ενέργεια παραγωγής την υδροηλεκτρική ενέργεια τα αποτελέσματα έδειξαν 334,85 kg CO₂-Eq, δηλαδή μια μειωμένη τιμή για την κατηγορία GWP. Επιβάλλεται έτσι η κατεύθυνση της παραγωγής σκυροδέματος σε συνθέσεις σκυροδέματος σαν αυτές του Σεναρίου 2, δηλαδή συνθέσεων που χρησιμοποιούν αδρανεί υλικά από ανακύκλωση.

Κατά τη διεύρυνση με την μέθοδο της Πολυ-κριτηριακής ανάλυσης, τέθηκαν Κοινωνικο-Οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης, με την μορφή ερωτήσεων σε 40 ερωτώμενους ειδικούς και τα αποτελέσματα έδειξαν μία καθαρή προτίμηση στα βιώσιμα υλικά και στο λεγόμενο "Πράσινο σκυρόδεμα". Στην Ερώτηση ΚΟ5 που αφορά τους Κανόνες και περιορισμούς στην χρήση Δομικών Υλικών και την υποχρεωτική χρήση δομικών υλικών όπως το "Πράσινο Σκυρόδεμα" στις κατασκευές σε ποσοστό 70% σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία, παρατηρήσαμε μία επιφυλακτικότητα από τους ερωτώμενους, σε αντίθεση με τον ενθουσιασμό στις απαντήσεις των αρχικών ερωτήσεων. Εκ των 40 ερωτώμενων οι μόνο τρεις απαντήσεις με ποσοστό 7,5% για την επιλογή 5 ως "Εξαιρετικά σημαντικό" για την υποχρεωτική χρήση σκυροδέματος που προέρχεται από ανάκτηση υλικών κατεδαφίσεων σε ποσοστό 70% προβληματίζει και επιτάσσει την άμεση ενημέρωση των ειδικών του κλάδου.

5.4 Εισηγήσεις

Επειδή αυτή η μελέτη αξιολογεί στο πρώτο μέρος της ανάλυσης, που αφορά την μέθοδο της AKZ μόνο την παραγωγή σκυροδέματος C20/25 και στη συνέχεια την μεταφορά του προς την κατασκευή, θα πρέπει να γίνει συνδυασμός της με τα επιμέρους τμήματα, υλικά και διεργασίες που αφορούν την ανάλυση του κύκλου ζωής μιας κατασκευής. Η κατηγορία σκυροδέματος C20/25 είναι βέβαια αυτή που χρησιμοποιείται περισσότερο στις κατασκευές, ωστόσο θα πρέπει μελλοντικά να μοντελοποιηθούν και επεξεργαστούν και άλλες κατηγορίες σκυροδέματος.

Μόνιμα Κέντρα Ανακύκλωσης Παλαιών Σκυροδεμάτων, μπορούν να εγκατασταθούν στις Περιφέρειες κατοικημένων περιοχών στην Ελλάδα, λύνοντας έτσι τα πολλά προβλήματα των διαφόρων δημόσιων φορέων για τη διαχείριση παλαιών υλικών, μεταξύ των οποίων και το καυτό πρόβλημα των χώρων απόθεσης των μαζών. Οι νέες τεχνολογίες ανακύκλωσης εξασφαλίζουν οικονομικά οφέλη και την προστασία του περιβάλλοντος, έτσι ώστε να μην αποτελεί πλέον υποχρέωση προς τη φύση αλλά και μία κερδοφόρο επιχείρηση.

Τα βιώσιμα υλικά, δηλαδή υλικά από φυσικά και ανακυκλωμένα υλικά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον τομέα των κατασκευών επειδή λιγότερη ενέργεια γενικά απαιτείται για την παραγωγή τους από αυτήν που απαιτείται για τα συμβατικά υλικά. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την έως σήμερα χρήση μη ανακυκλώσιμων δομικών υλικών είναι δεδομένη με σημαντικές επιδράσεις στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και την υπερθέρμανση του πλανήτη και είναι επιβεβλημένη πλέον η ανακύκλωση και η ανάκτηση δομικών υλικών από προϊόντα κατεδαφίσεων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Athena .,2015. Environmental Impact Estimator Athena Sustainable Materials Institute
<http://www.athenasmi.ca/>

Ardente F., Mathieux F.,2014. Environmental assessment of the durability of energy-using products: method and application

Akadiri P., Olomolaiye P., Chinyio E., 2013. Multi-criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects.

Amir S., Noor M., Abdul S., 2010. Life Cycle Impact Assessment (LCIA) Using TRACI Methodology

Anink D., Boonstra C., Mak J., 1996, Handbook of Sustainable Building.An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment.

Asdubali F., Baldassarri C., Fthenakis V., 2013, Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings.

Asif M., Muneer T., Kelley R., 2005, Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland.

Badea N., Badea George-Vlad.,2014, Life cycle analysis in refurbishment of the buildings as intervention practices in energy saving

Ball J.,2001. Can ISO 14000 and eco-labelling turn the construction industry green?

Baumann H., Tilman A-M., 2004. Guide to LCA.

Bare J., Norris G., Pennington D., McKone T., 2003, TRACI: The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts.

Bartelmus P., 2007, SEEA-2003: Accounting for sustainable development

BEES 3.0.,2015, Building for Environmental and Economic Sustainability) National Institute of Standards and Technology <http://www.bfrl.nist.gov/oae/software/bees.html>

Biswas W., 2014. Carbon footprint and embodied energy consumption assessment of building construction works in Western Australia

Bayer C., Gamble M., Gentry R., Joshi S., 2010, AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice

Burdge M., Vanclay F., 1996, Social Impact Assessment: A contribution to the state of the art series

Buyle M., Brayet J., Audenaert J., 2013. Life cycle assessment in the construction sector: A review.

Cabeza F., Barreneche C., Miro L., Morere J., Bartoli E., 2013. Low carbon and low embodied energy materials in buildings.

Cabeza F., Rincon L., Vilarino V., Perez G., Castell A., 2014. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector.

Chau C.K., Leung T.M., Ng W.Y., 2015. A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings

CIB., 1999, Agenda '21 on Sustainable Construction. CIB Report Publication 237

Citherlet S., Defaux T., 2007. Energy and Environmental Comparison of Three Variants of a Family House during Its Whole Life Span

Civic A., Vucijak B., 2013. Multi-criteria Optimization of Insulation Options for Warmth of Buildings to Increase Energy Efficiency

Department for Business Innovation and Skills (UK)., 2015. Monthly Statistics of Building Materials and Components

Digeon A., 2012. Green Premium eco-mark: In Sustainability, Information is Power

Dong Y.H., Ng T., 2015. A life cycle assessment model for evaluating the environmental impacts of building construction in Hong Kong.

Drejeris R., Kavolynas A., 2014. Multi-criteria Evaluation of Building Sustainability Behavior

Eatona K.J., Amaton A., 1998. A Comparative Life Cycle Assessment of Steel and Concrete Framed Office Buildings.

Eco-Bat, 2015. Life cycle impacts analysis of a building. <http://www.eco-bat.ch>

Invest,2015. Environmental impact and Whole Life Costs analysis for buildings. <http://invest2.bre.co.uk/>

Environmental Protection Agency U.S.A .,2012. Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts (TRACI)

Europa., 2015. Integrated policy product – IPP

Europa., 2015. Efficient use of resources and waste

European Commission.,2010. Analysing of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment

Ferreira J., Duarte Pinheiro M., de Brito J., 2015. Economic and environmental savings of structural buildings refurbishment with demolition and reconstruction - A Portuguese benchmarking.

Fowler K.M., Rauch E.M.,2013. Sustainable Building Rating Systems Summary

Franca R-C., Azapagic A.,2013. Environmental impacts of the UK residential sector: Life cycle assessment of houses.

Freeman H., 1995. Industrial Pollution Prevention.

Fukushima., 2001.Integrated Environment – Concious Life – Cycle Design (Eco – Life – Cycle – Design) of Building Structural Composite Materials,Components, and /or Systems as a Basis of Establishment of Sustainable Eco-Buildings and Eco-cities.

GaBi.,2015. LCA Tools and LCA Databases for Product and Process Sustainability Analyse. www.gabi-software.com

Guggemos A., Horvath A.,2006. Decision-Support Tool for Assessing the Environmental Effects of Constructing Commercial Buildings

Guo C., Ma Y., Yang B., Jensen C., Kaul M., 2015. EcoMark: Evaluating Models of Vehicular Environmental Impact

- Jaques R., 1998**, Cradle to the grave - LCA tools for sustainable development
- Jencen A., Hoffman L., Møller B., Schmidt A., 1997**. Life-cycle assessment (LCA) – a guide to approaches, experiences and information sources
- Jonsson A., 1999**, Tools and methods for environmental assessment of building Products
- Gaspar P.L., Santos A.L.,2015**. Embodied energy on refurbishment vs. demolition: A southern Europe case study
- Glick S., Shuler S., Guggemos A., 2013**. Life Cycle Analysis for Sustainable Development: A Case Study of Parking Lot Pavements
- Goedkoop M., Oele M.,2004**. Introduction to LCA with SimaPro
- Hacking T., Guthrie P.,2010**. A Framework for Clarifying the Meaning of Triple Bottom-Line, Integrated, and Sustainability Assessment.
- Hakkinen T., Kuittinen M., Ruuska A., Jung N., 2015** Reducing embodied carbon during the design process of buildings
- Hauschild M.,Potting J, 2004**. Spatial differentiation in life cycle impact assessment – the EDIP2003 methodology.
- Heie B.,Tillman A-M.,2004**, The Hitch Hiker’s Guide to LCA.
- Heede P.,Belie N, 2012**. Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and ‘green’ concretes: Literature review and theoretical calculations.
- Hsu Lisbeth S.,, 2009**. Life Cycle Assessment of Materials and Construction in Commercial Structures: Variability and Limitations
- Iddon C.,Firth S, 2013**. Embodied and operational energy for new-build housing: A case study of construction methods in the UK
- Iso., 2015**, ISO CD 21930 Sustainability in buildings and civil engineering works — Core rules for environmental declaration of construction products and services used in any type of construction works
- Karimpour M., Belusko M., Xing K., Bruno F., 2014** Minimising the life cycle energy of buildings: Review and analysis.

Khan F., Natrajan B., Revathi P.,2001. GreenPro: a new methodology for cleaner and greener process design.

Khan F., Sadiq R., Husain T.,2002. GreenPro: a risk-based life cycle assessment and decision-making methodology for process plant design.

Kim J., Koo C., Kim C., Hong T., Park H., 2015. Integrated CO₂, cost, and schedule management system for building construction projects using the earned value management theory.

Klöpffer W., 1997. Peer (Expert) Review According to SETAC and ISO 1440. Theory and Practice

Klöpffer W., 2012. The critical review of life cycle assessment studies according to ISO 14040 and 14044: origin, purpose and practical performance.

Koroneos C., Dompros A, 2009. Environmental assessment of the cement and concrete life cycle in Greece

Landfield A., 2003. Tool for Environmental Tool for Environmental

Larriba A.B., Wolf O., 2010. Analysis and evaluation of 3rd draft criteria for Buildings and next steps

Lawson W.R., Partridge H., 1995. Assessing the Ecological Sustainability of Building Materials

Lindahl M., Jensen C J., Tingstrom J., 2000. A Comparison between the Environmental Effect Analysis (EEA) and the Life Cycle Assessment (LCA) methods – Based on Four Case Studies.

Lippiatt B., 2002. Building for Environmental and Economic Sustainability. Technical Manual and User Guide

Lisa.,2015. LCA In Sustainable Architecture / <http://www.lisa.au.com/index.html>

Lotteau M., Loubet P., Pousse M., Dufrasnes E., Sonnenmann G., 2015. Critical review of life cycle assessment (LCA) for the built environment at the neighborhood scale.

Marinkovic S., 2013. Life cycle assessment (LCA) aspects of concrete

Matos G., Wagner L., 2010. Consumption of Materials in the United States.

Méquignon M., Haddou H.A., 2014. Lifetime Environmental Impact of Buildings

Miller D., Hwan Doh J., Mulvey M., 2015. Concrete slab comparison and embodied energy optimisation for alternate design and construction techniques

Monahan J., Powell J.C., 2010. An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework.

Nassen J., Fredrik H., Karisson S., Holmberg J., 2012. Concrete vs. wood in buildings – An energy system approach.

Norris G., Yost P., 2002. A Transparent, Interactive Software Environment for Communicating LifeCycle Assessment Results

Ortiz O., Castells F., Sonnemann G., 2009. Sustainability in the construction industry

Osman A., Ries R.,2004. Environmental Assessment of Office Buildings

Osman A., Ries R.,2005. Optimization for Cogeneration systems in buildings based on life cycle assessment

Polak J., Welsh L.,2000. The Canadian Environmental Choice Program

Potting, J., Hauschild, M., 2004. Background for spatial differentiation in life cycle impact assessment – the EDIP2003 methodology. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen

Proietti S., Sdringola P., Desideri U., Zepparelli F., Masciarelli F., Castellni F., 2013. Life Cycle Assessment of passive house in a seismic temperate zone.

Purnell P., Black L., 2012. Embodied carbon dioxide in concrete: Variation with common mix design parameters.

Radhi H., Sharples S., 2008. Developing energy standards for low energy buildings in the Gulf States

Rosenbaum R., Bachmann T., Gold L., Huijbregts M., Joliet O., Juraske R., Koehler A., Larsen H., MacLeod M., Margni M., McKone T., Payet J., Schuhmacher M., Meent D., Saez P.V., Merino M.R., Gonzales A.S.A., Amores S.P., 2013. Best practice measures assessment for construction and demolition waste management in building constructions

Sadiq R., Khan F., Veitch B., 2005. Evaluating offshore technologies for produced water management using *GreenPro-I*—a risk-based life cycle analysis for green and clean process selection and design

Smith S., Lepech M., 2015. Cradle-to-gate sustainable target value design: integrating life cycle assessment and construction management for buildings

Stephan A., Stephan L., 2014. Reducing the total life cycle energy demand of recent residential buildings in Lebanon

Torgal F.P., 2013. Eco-efficient construction and building materials research under the EU Framework Programme Horizon 2020

Trusty W.B., Horst S., 2003. Interpreting LCA Tools in Green Building Rating Systems

Turk J., Cotic Z., Mladenovic A., Sajna A., 2015. Environmental evaluation of green concretes versus conventional concrete by means of LCA

Vanclay F., 2003. International Principles For Social Impact Assessment

Wagner J., 2012. GreenWizard and Green Seal Form Partnership

Weisenberger G., 2010. Modern Steel Construction

Wen T.J., Siong H.C., Noor Z.Z., 2015. Assessment of embodied energy and global warming potential of building construction using life cycle analysis approach: Case studies of residential buildings in Iskandar Malaysia

Whitehead B., Andrews D., Shah A., Maidment G., 2015. Assessing the environmental impact of data centres part 2: Building environmental assessment methods and life cycle assessment

Wolf M.A., Pant R., Chomkham Sri K., Sala S., Pennington D., 2012. The International Reference Life Cycle Data System (ILCD)

Worrell E., Nathan M., Price L., 1999. Energy Efficiency and Carbon Dioxide. Emissions Reduction Opportunities in the U.S. Iron and Steel Sector

Yilmaz M., Bakis A., 2015. Sustainability in Construction Sector

U.S. Department of Housing and Urban., 2001. Life Cycle Assessment Tools to Measure Environmental Impacts: Assessing Their Applicability to the Home Building Industry

Ze Zhou W., Liyin S., Ann Y., Xiaoling Z., 2015. A comparative analysis of waste management requirements between five green building rating systems for new residential buildings

Zhang L., 2013. Production of bricks from waste materials

Zhang J., Liu G., Chen B., Song D., Qi J., Liu X., 2014. Analysis of CO₂ Emission for the Cement Manufacturing with Alternative Raw Materials: A LCA-based Framework

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γιαννακοπούλου Τ., 2014. Εισαγωγή στις Βιώσιμες Κατασκευές.

Δημούδη Α., 2006. Οικολογικά Δομικά Υλικά.

Εθνικό Τυπογραφείο,1997. Υπ.αριθ.11 ΠΥΣ "Λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από το Όζον" (ΦΕΚ: 19/A/11-1997)

Ευαγγελίδου Χ., Καρακαπιλίδης Ν.,2007. Πολυκριτηριακή Ανάλυση και Λήψη. Αποφάσεων. Πανεπιστήμιο Πατρών

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο - Euroopa.,2002.Προς μια στρατηγική για την προστασία και τη διατήρηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο Euroopa.,2007. Για τη χρήση φωσφορικών αλάτων δυνάμει του άρθρου 16 του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 648/2004 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 31ης Μαρτίου 2004 σχετικά με τα απορρυπαντικά

Ιντερμπετόν.,2015. Εγχειρίδιο Σκυροδέματος.

Κανιτάκη Ε.,2008. Πρότυπα και Τεχνικές Προδιαγραφές για σκυρόδεμα και χάλυβα οπλισμένου σκυροδέματος

Κοκόσης Α.,2015. Μεθοδολογία υπολογισμού αειφορικών επιδόσεων στα πλαίσια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Μπίκας Δ.,2000. Περιβαλλοντική και ενεργειακή θεώρηση των κτιριακών κατασκευών Σημειώσεις Παραδόσεων – Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Προστασία περιβάλλοντος και βιώσιμη ανάπτυξη». Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ

Τομπά Χ. 2005. Δομικά Υλικά Φιλικά προς το Περιβάλλον. Διπλωματική Εργασία, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Εξειδίκευσης 'Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Πόλεων και Κτιρίων'. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.

Τσακαλάκης Κ.,2010. Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και σκυροδέματος - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΥΠΕΚΑ, 2015. Ανανεωμένο πρόγραμμα «Εξοικονόμηση Κατ' Οίκον»

ΥΠΕΧΩΔΕ, 1997. Εγκριτική απόφαση και πλήρες κείμενο του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος -ΚΤΣ 1997 - ΦΕΚ 315Β / 17-4-1997

ΥΠΕΧΩΔΕ, 2000. Η Ατμοσφαιρική Ρύπανση στην Αθήνα, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας

Φλόκα, Ε. (2000). Φυσικοχημεία της Ατμόσφαιρας. Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Φυσικής.

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα

Περιβαλλοντική αξιολόγηση συμβατικών δομικών υλικών με συνδυασμό των μεθόδων ανάλυσης κύκλου ζωής και πολύ-κριτηριακής ανάλυσης

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΠΟΛΥ-ΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Κωνσταντίνος Σέντζας

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ Αντώνης Α. Ζορπάς

Παρακαλώ σύμφωνα με το επίπεδο σημασίας που θεωρείται σημαντικό απαντήστε στο ποιο κάτω ερωτηματολόγιο σε μία κλίμακα από 1-5 όπου 1 είναι «το λιγότερο σημαντικό», 2 «το αρκετά σημαντικό», 3 «σημαντικό», 4 «πολύ σημαντικό» και το 5 «εξαιρετικά σημαντικό».

ΕΤΑΙΡΙΑ / ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ :
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ :
ΠΟΛΗ :
ΤΚ :
ΤΗΛΕΦΩΝΟ :

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Ερώτηση 1 :

1. Θεωρείται την δυνατότητα για ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση υλικών κατεδαφίσεων στην παρασκευή σκυροδέματος

1. ΛΙΓΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
2. ΑΡΚΕΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
4. ΠΟΛΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
5. ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ

Ερώτηση 2 :

2. Θεωρείται τις επιπτώσεις στο Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη από την παρασκευή με την κλασσική μέθοδο του σκυροδέματος

1. ΛΙΓΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
2. ΑΡΚΕΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
4. ΠΟΛΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
5. ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ

Ερώτηση 3 :

3. Θεωρείται τις επιπτώσεις στο Δυναμικό καταστροφής του όζοντος από την παρασκευή με την κλασσική μέθοδο του σκυροδέματος

1. ΛΙΓΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
2. ΑΡΚΕΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
4. ΠΟΛΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
5. ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ

Ερώτηση 4 :

4. Θεωρείται τις επιπτώσεις στην Ποιότητα του αέρα από την παρασκευή με την κλασσική μέθοδο του σκυροδέματος

1. ΛΙΓΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
2. ΑΡΚΕΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
4. ΠΟΛΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
5. ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ

Ερώτηση 5 :

5. Θεωρείται τις επιπτώσεις ως προς την Τοξικότητα από την παρασκευή με την κλασσική μέθοδο του σκυροδέματος

1. ΛΙΓΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
2. ΑΡΚΕΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
4. ΠΟΛΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
5. ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ

Ερώτηση 6 :

6. Θεωρείται τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ως προς τις Υδάτινες μάζες από την παρασκευή με την κλασσική μέθοδο του σκυροδέματος

- 1. ΛΙΓΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 2. ΑΡΚΕΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 4. ΠΟΛΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 5. ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ

Ερώτηση 7 :

7. Θεωρείται την Ρύπανση του αέρα από την παρασκευή με την κλασσική μέθοδο του σκυροδέματος

- 1. ΛΙΓΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 2. ΑΡΚΕΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 4. ΠΟΛΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 5. ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ

Ερώτηση 8 :

8. Θεωρείται την Περιβαλλοντική συμμόρφωση ως προς την Ευρωπαϊκή νομοθεσία για την παρασκευή του σκυροδέματος (έως 70% ποσοστό ανακύκλωσης στις κατασκευές έως το 2020)

- 1. ΛΙΓΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 2. ΑΡΚΕΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 4. ΠΟΛΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 5. ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ

ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ - ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Ερώτηση 1 :

1. Οι νέες τεχνολογίες ανακύκλωσης εξασφαλίζουν οικονομικά οφέλη για την προστασία του περιβάλλοντος

- 1. ΛΙΓΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 2. ΑΡΚΕΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 4. ΠΟΛΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 5. ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ

Ερώτηση 2 :

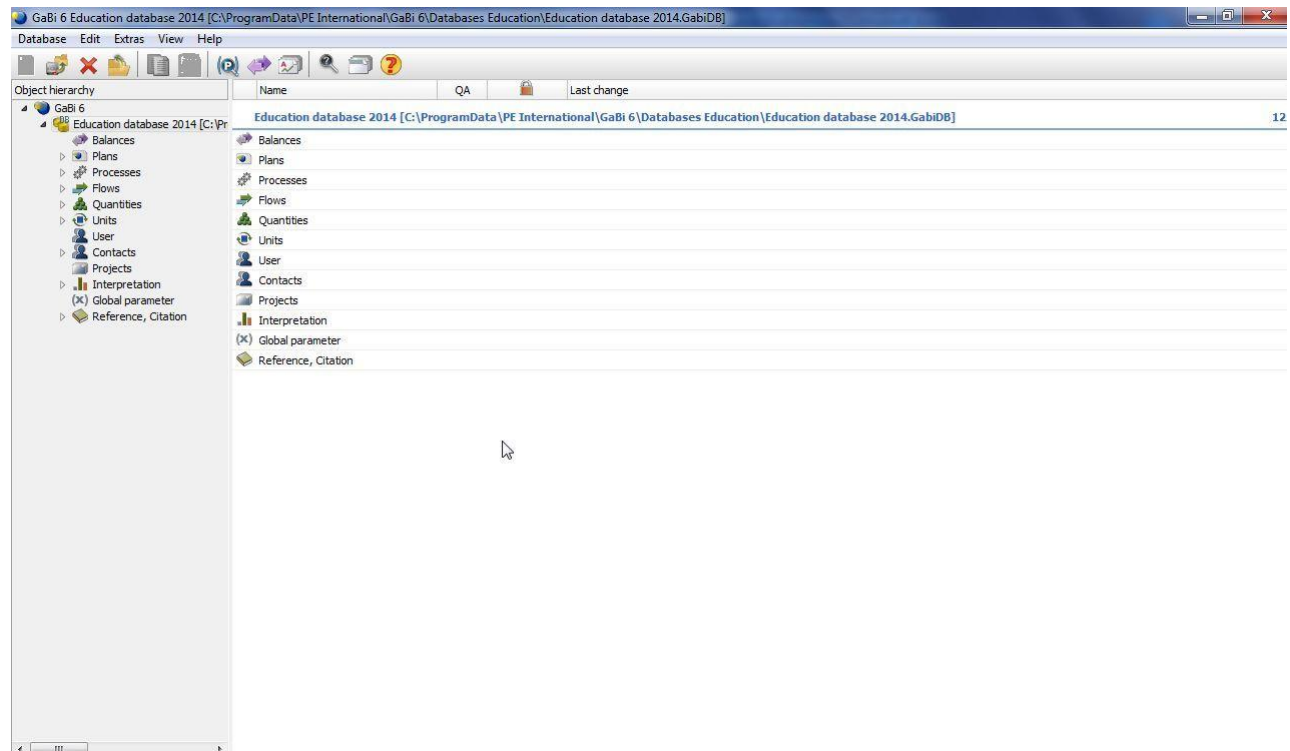
2. Θεωρείται ότι τα Βιώσιμα υλικά δηλαδή υλικά από φυσικά και ανακυκλώμενα υλικά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον τομέα των κατασκευών επειδή λιγότερη ενέργεια γενικά απαιτείται για την παραγωγή τους από αυτήν που απαιτείται για τα συμβατικά υλικά

- 1. ΛΙΓΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 2. ΑΡΚΕΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 3. ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 4. ΠΟΛΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
- 5. ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ

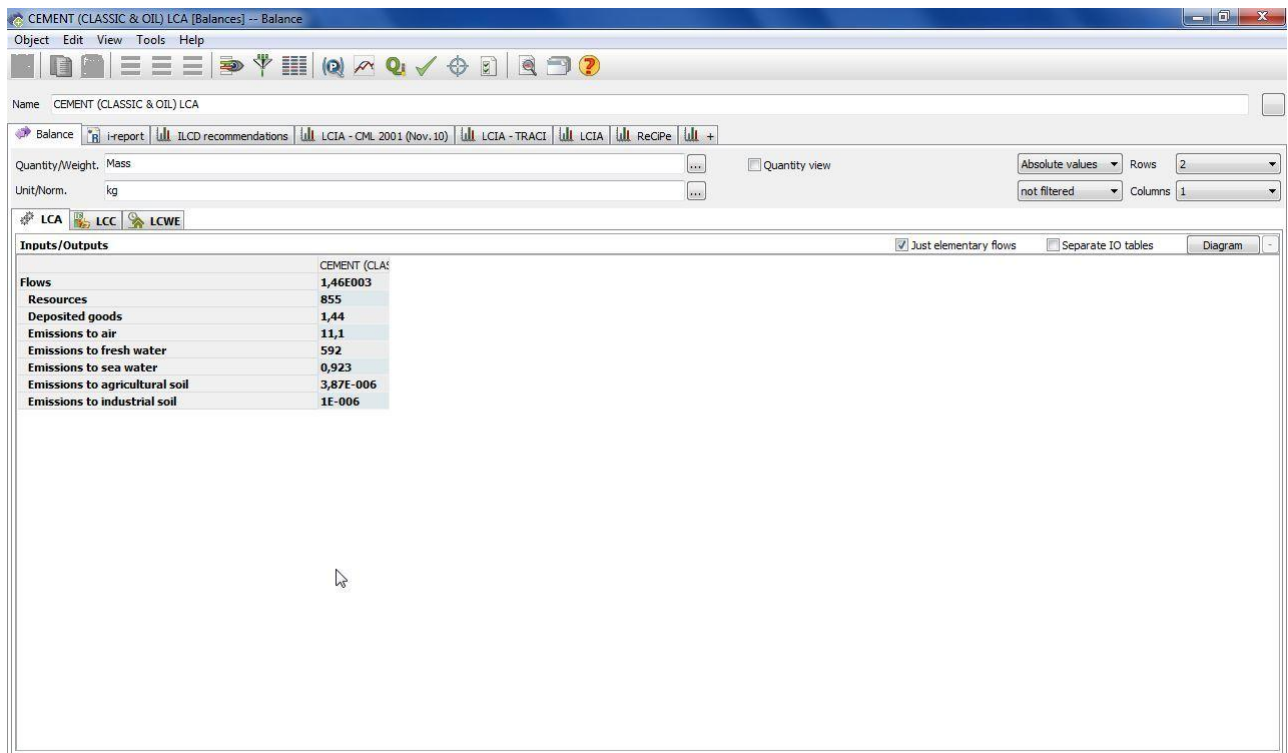
Το λογισμικό GaBi 6.0



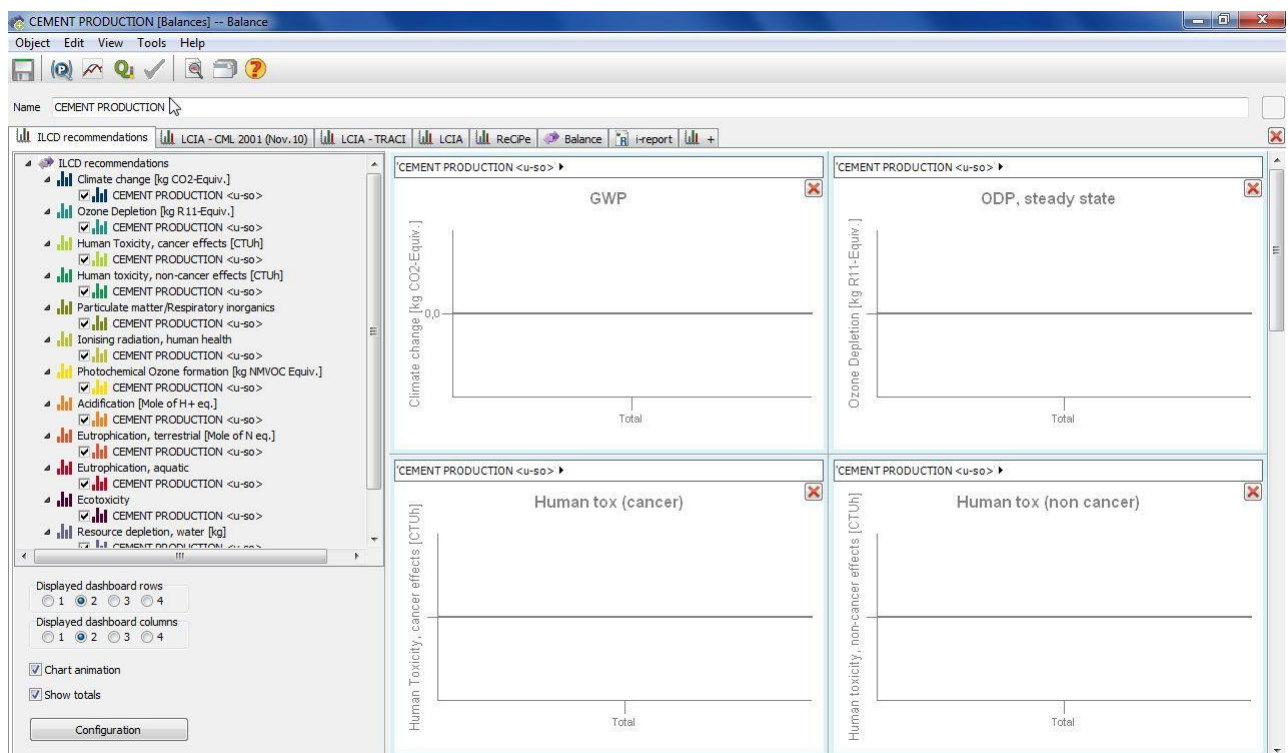
Εικόνα 1 : Περιβάλλον λογισμικού GaBi 6.0



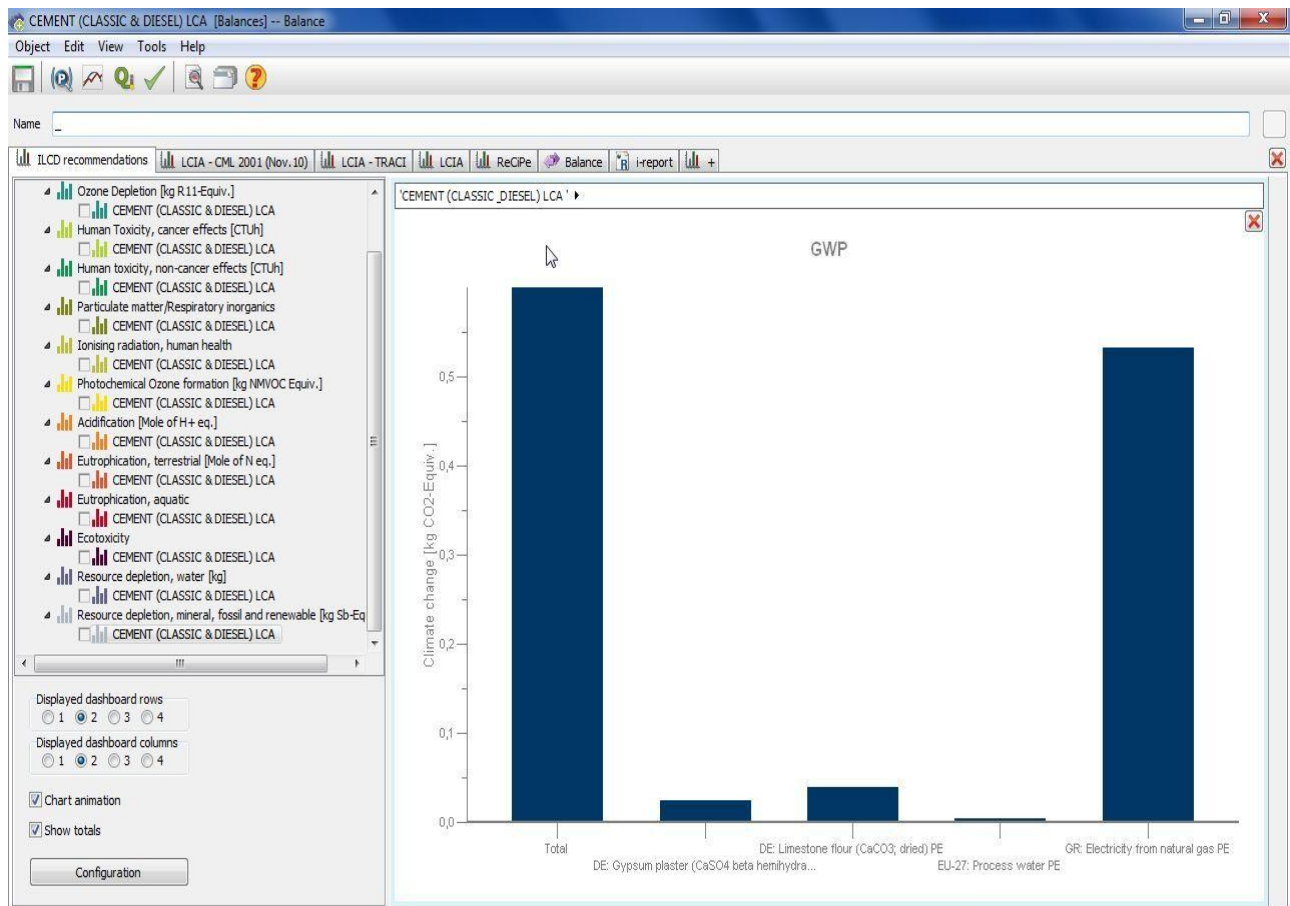
Εικόνα 2 : Περιβάλλον λογισμικού GaBi 6.0



Εικόνα 3 : Επεξεργασία δεδομένων σε περιβάλλον λογισμικού GaBi 6.0



Εικόνα 4 : Μέθοδοι Ανάλυσης δεδομένων στο περιβάλλον λογισμικού GaBi 6.0



Εικόνα 5 : Γραφική Ανάλυση δεδομένων στο περιβάλλον λογισμικού GaBi 6.0