

ΘΕΜΑ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (LIFE CYCLE ASSESSMENT, LCA) ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΙΑΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.

**ΣΦΑΚΙΑΝΑΚΗ ΕΛΕΝΗ
ΞΑΝΘΑΚΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ**

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η 'Αειφόρος Ανάπτυξη' (sustainability development) θεωρείται ως ο κύριος στόχος για την μελλοντική ανάπτυξη του Ανθρώπινου είδους. Ένας αντιπροσωπευτικός ορισμός της είναι ο παρακάτω «Αειφόρος Ανάπτυξη είναι η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να υπονομεύει την δυνατότητα των επόμενων γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες». (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. 1987- OUR COMMON FUTURE)

Ο κατασκευαστικός τομέας μπορεί να διαδραματίσει έναν κυρίαρχο ρόλο ως προς την Αειφόρο Ανάπτυξη. Θεωρώντας τις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες, είναι προφανές ότι τα κτίρια αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα της Αειφόρου Ανάπτυξη των πόλεων. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment, LCA) είναι μία μέθοδος, η οποία ποσοτικοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες σχετίζονται με συγκεκριμένες υπηρεσίες ή προϊόντα, ακολουθώντας μια πορεία από την γέννηση έως το τέλος της ζωής τους (cradle to grave). Η ανάλυση επικεντρώνεται στον υπολογισμό και την ποσοτικοποίηση της ενέργειας, των χρησιμοποιούμενων υλικών καθώς και των αποβλήτων που απελευθερώνονται στο περιβάλλον. Στην συνέχεια εκτιμώνται και ομαδοποιούνται οι επιπτώσεις από την χρήση ενέργειας, υλικών και αποβλήτων. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής είναι η μόνη διεθνώς πιστοποιημένη μέθοδος εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, σύμφωνα με τα Διεθνή πρότυπα 14040-43(1997-2000) και τις αναθεωρήσεις τους 14040-44(2006).

ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Ο όρος 'Αειφόρος Ανάπτυξη' (sustainability development) πρωτοεμφανίστηκε στο Παγκόσμιο Συνέδριο Περιβάλλοντος και Ανάπτυξης το 1987. Σύμφωνα με τον Ortiz (2009) η 'Αειφόρος Ανάπτυξη' μπορεί να περιγραφεί ως η βελτίωση της ποιότητας ζωής, η οποία επιτρέπει στους ανθρώπους να ζουν σε ένα υγιές περιβάλλον, βελτιώνοντας τις κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντολογικές συνθήκες αυτού για τώρα και για το μέλλον. Επίσης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί

ώς η διατήρηση ισορροπίας μεταξύ της αναπτυσσόμενης τεχνολογίας, των στρατηγικών ανάπτυξης και της πολιτικής των κυβερνήσεων. Τα Ηνωμένα Έθνη την χαρακτήρισαν ως κύρια προτεραιότητα της Ανθρωπότητας για τον 21^ο αιώνα στο Συνέδριο του 1992 στο Ρίο Ντεζανέιρο.

Ο όρος *‘Αειφόρος Κατασκευή’* χρησιμοποιήθηκε για να χαρακτηρίσει μία κατασκευή η οποία έχει σχεδιασθεί, κατασκευασθεί, λειτουργεί και όταν φθάσει το τέλος της ζωής της θα αποσυναρμολογηθεί έχοντας λάβει υπόψιν περιβαλλοντικά κριτήρια.

Η *‘Αειφόρος Ανάπτυξη’* είναι συνδεδεμένη με θέματα όπως ανέχεια, ισότητα, περιβαλλοντολογική ποιότητα, ασφάλεια, πληθυσμιακός έλεγχος και άλλα. Η *‘Αειφόρος Ανάπτυξη’* ως έννοια θα μπορούσαμε να πούμε ότι έχει τις εξής τρεις παραμέτρους – συνιστώσες: περιβαλλοντική - οικονομική – κοινωνική. Αυτές οι παραμέτρους της είναι γνωστές ως συνιστώσες - διαστάσεις (pillars - dimensions) της *Αειφόρου Ανάπτυξης*. Μία γνωστή έκφραση - περιγραφή των παραπάνω όρων (3p model) είναι το μοντέλο Ανθρωποι (το οποίο εκφραζει την κοινωνική συνιστώσα), Πλανήτης (περιβαλλοντική συνιστώσα), Κέρδος (οικονομική συνιστώσα). Κατά το Συνέδριο Αειφόρου Ανάπτυξης το 2002 στο Γιοχάνεσμπουργκ, ο ορος Κέρδος άλλαξε σε Ευδοκίμηση, δίνοντας έμφαση στο γεγονός ότι η οικονομική διάσταση δεν αποτελείται μόνο από το κέρδος της επιχείρησης.

Κατά τον Kloepffer (2008), ο προσδιορισμός του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Sustainability Assesment) είναι η ένωση των τριών παρακάτω υποσυνόλων:

- ⇒ LCA (Life Cycle Assesment) η προαναφερθήσα Ανάλυση Κύκλου Ζωής (κατά ISO 14000)
- ⇒ LCC (Life Cycle Costing), η Ανάλυση Κόστους Κυκλου Ζωής
- ⇒ SLCA, η κοινωνική συνιστώσα της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Δηλαδή ισχύει:

$$SLCA = LCA + LCC + SLCA$$

Προυπόθεση για να ισχύει η παραπάνω σχέση είναι τα όρια του συστήματος και για τις τρεις παραπάνω συνιστώσες να είναι σταθερά.

Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assesment)

Ανάλυση Κυκλου Ζωής (κατα ISO) είναι: *η συγκέντρωση και ο υπολογισμός των εισροών, εκροών και των περιβαντολλογικών επιπτώσεων ενός παραγωγικού συστήματος κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του.* Με τον όρο κύκλος ζωής

(κατα ISO) ορίζονται τα συνεχή και αλληλοεπιδρούμενα στάδια ενός παραγωγικού συστήματος από την συλλογή ή την δημιουργία των πρώτων υλών έως την τελική αποσυναρμολόγηση του τελικού προϊόντος.

Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (Life Cycle Costing)

Η Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής δίνει μια ποιοτική εικόνα του κόστους ενός κτιρίου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καλύτερη οικονομική διαχείριση κατά την φάση της κατασκευής, λειτουργίας και αποσυναρμολόγησης ενός κτιρίου. Το κύριο πρόβλημα της (Steen, 2005) είναι η εύρεση και ο υπολογισμός των αξιών που θα συμπεριληφθούν στην μέθοδο. Λόγω της μη ύπαρξης κάποιου προτύπου, υπάρχουν πολλές μέθοδοι για τον υπολογισμό του Κόστους Κύκλου Ζωής. Το τελικό αποτέλεσμα της μεθόδου είναι ένα κόστος ανά λειτουργική μονάδα, το οποίο εκφράζεται υπο την μορφή γνωστού νομίσματος.

Κοινωνική Συνιστώσα Κύκλου Ζωής (Social Life Cycle Assessment)

Εάν και η ιδέα της τρίτης συνιστώσας της Αειφόρου Ανάπτυξης δεν είναι κάτι νέο, η ανάπτυξη αυτής είναι σέ πολύ αρχικό στάδιο. Πολλά και θεμελιώδη ερωτήματα δεν έχουν ορισθεί και απαντηθεί ακόμα. Ένα θεμελιώδη ερώτημα είναι ο προσδιορισμός και ο υπολογισμός των περιβαλλοντικών επιρροών που θα συμμετέχουν στην μέθοδο.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

Ο κατασκευαστικός τομέας καταναλώνει περίπου το 40% των υλικών της παγκόσμιας οικονομίας και δημιουργεί το 40-50% των αερίων που δημιουργούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την όξωση βροχής. Μία μέθοδος που αναφέρεται σε όλο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος είναι κατάλληλη για τον υπολογισμό και την βελτιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των οικοδομικών προϊόντων. Η μέθοδος της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA) έχει χρησιμοποιηθεί στον κατασκευαστικό τομέα από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 και αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

Την τελευταία δεκαετία, εμφανίσθηκαν πολλά υπολογιστικά εργαλεία, για την εφαρμογή της μεθόδου της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA), τα οποία διαιρούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

A. Γενικής Φυσεως υπολογιστικά εργαλεία

B. Υπολογιστικά εργαλεία για χρήση ειδικά στον κατασκευαστικό τομέα.

Στην βιβλιογραφία υπάρχει σύγκριση και περιγραφή των ανωτέρω εργαλείων απο πολλούς συγγραφείς. Αναφέρονται ενεικτικά ορισμένοι απο αυτούς: Zabalza Bribian et al. (2009), Ortiz et al. (2009b), Haario and Viitaniemi (2008), Lee et al. (2009). Και τα δύο είδη προγραμμάτων είναι ευρέως διαδεομένα, έχοντας το καθένα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του. Πολλοί ερευνητές επίσης (Blengini, 2010) δημιούργησαν τα δικά τους υπολογιστικά εργαλεία για να καλυψουν τις ανάγκες τους. Αναφέρονται ενεικτικά ορισμένοι απο αυτούς: (Scheuer et al. 2003; Huberman and Pearlmutter 2008; Dewulf et al. 2009; Zabalza Bribian et al. 2009; Kofoworola and Gheewala 2008;).

Τα δύο πιο γνωστά συστήματα ταξινόμησης των παραπάνω υπολογιστικών εργαλείων είναι αυτά που δημιουργήθηκαν από τα

⇒ Athena Institute (Trusty 2000)

⇒ IEA Annex 31 (2001)

Το Athena Institute παρουσίασε το 2000 ένα σύστημα κατάταξης, το οποίο περιλάμβανε τρία επίπεδα, ενώ κατα την διάρκεια του προγράμματος IEA Annex 31, το 2001, δημιουργήθηκε ένα σύστημα κατάταξης το οποίο περιλάμβανε πέντε επίπεδα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η βιβλιογραφία σχετικά με την εφαρμογή της μεθόδου της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA), στον κατασκευαστικό τομέα έχει μεγαλώσει σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Μεταξύ 1998 και 2001, δημοσιεύτηκαν τα πρώτα αξιόλογα άρθρα. (Blanchard and Reppe, 1998 –Thormark, 2001- Adalberth et al., 2001).

Απο τότε και μετά, οι μελέτες επικεντρώθηκαν κυρίως σε δύο τομείς:

⇒ Εφαρμογή της μεθόδου σε μεμονωμένα δομικά στοιχεία

⇒ Εφαρμογή της μεθόδου σε όλο το κτίριο, θεωρώντας το ως μια οντότητα.

A. Εφαρμογή της μεθόδου σε μεμονωμένα δομικά στοιχεία.

Αρκετές μελέτες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA) έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια, οι οποίες αφορούν την εφαρμογή της σε μεμονωμένα δομικά στοιχεία.

Ο Asif (2005) μελέτησε οκτώ κύρια δομικά υλικά μίας κατοικίας στην Σκωτία. Η

μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα υλικά τα οποία περικλείουν την περισσότερη ενέργεια (ενέργεια παραγωγής τους) είναι το σκυρόδεμα (61%) ενώ ακολουθούν τα τούβλα (25%). Επίσης το σκυρόδεμα είναι το υλικό το οποίο ευθύνεται (κατά 99%) για το συνολικό CO₂.

Οι *Erlandsson and Levin (2005)* παρουσίασαν μία μελέτη σχετικά με ανακυκλώσιμα υλικά, ενώ οι *Nie and Zuo (2003)* διερεύνησαν την ανάγκη για την χρησιμοποίηση νέων οικοδομικών υλικών. Ο *Koroneos (2006, 2009)* και η *Moropoulou (2006)* έκαναν έρευνες σχετικά με δομικά υλικά τα οποία παράγονται και χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα, όπως τούβλα, επιχρίσματα και τσιμέντο.

B. Εφαρμογή της μεθόδου σε όλο το κτίριο ως μια οντότητα.

Όταν η μέθοδος της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής εφαρμόζεται σε όλο τον κύκλο ζωής ενός κτιρίου, διαμορφώνονται οι παρακάτω υποκατηγορίες ανάλογα τα χαρακτηριστικά χρήσης του προς εξέταση έργου:

- Κατοικίες
- Εμπορικά Κτίρια και
- Άλλες κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού

I. Ανάλυση Κύκλου Ζωής σε κατοικίες.

Μία από τις πρώτες μελέτες σε κατασκευές ήταν αυτή του *Adalberth (2001)*, στόχος της οποίας ήταν να υπολογίσει τον κύκλο ζωής τεσσάρων κατοικιών στην Σουηδία οι οποίες ήταν κατασκευασμένες από διαφορετικά δομικά υλικά.

Ο *Peurportier (2001)* συνέκρινε τρεις τύπους κτιρίων με διαφορετικές προδιαγραφές τα οποία κατασκευάστηκαν στην Γαλλία. Η παράμετροι της ανάλυσης ήταν η επιλογή υλικών, ο τύπος θέρμανσης και η απόσταση μεταφοράς των υλικών.

Ο *Jian (2003)* εφάρμοσε την Ανάλυση Κύκλου Ζωής κατά την διάρκεια ενός έργου σε μία αστική περιοχή στην Ιαπωνία, υπολογίζοντας τα περιβαλλοντικά φορτία κατά την διάρκεια της κατασκευής, της χρήσης και της συντήρησης του όλου έργου.

Η μέθοδος επίσης εφαρμόστηκε σε πολυκατοικία στην Βαρκελώνη, Ισπανία, με σκοπό να υπολογισθούν τα περιβαλλοντικά φορτία κατά την διάρκεια την κατασκευής (*Ortiz, 2010*). Ο σκοπός της έρευνας ήταν να αναπτυχθούν και να εφαρμοσθούν κριτήρια για τον κατασκευαστικό κλάδο έτσι ώστε να βοηθήσουν στην λήψη κατάλληλων αποφάσεων στην σχεδίαση και την κατασκευή.

Ο ίδιος συγγραφέας (*Ortiz, 2009*), εφαρμόζοντας την Ανάλυση Κύκλου Ζωής,

έκανε σύγκριση δύο κατοικιών, μία στην Ισπανία και μία στν Κολομβία. Ο στόχος της μελέτης ήταν να υπολογισθούν τα περιβαλλοντικά φορτία και να γίνει σύγκριση μεταξύ των ποσοτήτων ενέργειας που καταναλώνονται κατα την διάρκεια της ζωής του κτιρίου. Το συμπέρασμα ήταν οτι η τελική κατανάλωση ενέργειας διαφέρει απο χώρα σε χώρα, ανάλογα με την χρήση της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας, την διαθεσιμότητα και τις τιμές των υλικών, το εισόδημα των κατοίκων της χώρας , το βιοτικό επίπεδο, και τα χαρακτηριστικά της κουλτουρας του λαού.

Ο *Verbeeck* (2010) παρουσίασε τα αποτελέσματα της έρευνας που έκανε σε τέσσερεις τυπικές κατοικίες στο Βέλγιο. Τα αποτελέσματα έδειξαν την σχετικά μικρή συμμετοχή της ενέργειας η οποία καταναλώνεται κατά την παραγωγή των οικοδομικών υλικών, σε σχέση με αυτή που καταναλώνεται κατα την χρήση του κτιρίου, στο τελικό σύνολο των περιβαλλοντικων ρύπων.

II.Ανάλυση Κύκλου Ζωής σε Εμπορικά Κτίρια.

Η πρώτη προσπάθεια εφαρμογής της μεθόδου σε Εμπορικά κτίρια έγινε το 2003. Ο *Junnila* (2004) μελέτησε ένα κτίριο γραφείων έκτασης 24000 m², καταλήγωντας στο συμπέρασμα οτι το ποσό της καταναλούμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυτό που προκαλεί την μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Ο *Scheuer* (2003) εφάρμοσε την μέθοδο σε ένα πανεπιστημιακό συγκρότημα κτιρίων, με συνολική επιφάνεια 7300 m². Κατά την φάση λειτουργίας η κατανάλωση έφθασε το 97.7% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου.

Ο Κορωνάιος (2007) μελέτησε ένα κτίριο γραφείων στην Αθήνα, κατά την φάση της κατασκευής και της λειτουργίας. Οι εκπομπές κατα την φάση της λειτουργίας του κτιρίου έφθασαν το 91,94% του συνολικού περιβαλλοντικού φορτίου. Η Αύξηση της Θερμοκρασίας (Global Warming Potential) ήταν η κατηγορία περιβαλλοντικού φόρτου με την μεγαλύτερη συμμετοχή (83,53% στην φάση της κατασκευής και 78,35% κατά την χρήση).

Ένα τυπικό εμπορικό κτίριο μελετήθηκε στην Ταυλάνδη (*Kofoworola*, 2008), κατά την διάρκεια του όλου κύκλου ζωής του (εξόρυξη - παραγωγή πρώτων υλών, κατασκευή, χρήση, τέλος ζωής κτιρίου). Ο χάλυβας και το σκυρόδεμα είναι τα δύο υλικά με το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής στην συνολική μάζα του κτιρίου, αλλά και στο συνολικό περιβαλλοντικό φόρτο κατά την φάση της κατασκευής. Στην φάση της λειτουργίας η κατανάλωση ενέργειας (κυρίως ηλεκτρικής) είχε το μεγαλύτερο λόγο συμμετοχής στην δημιουργία του περιβαλλοντικού φόρτου.

Η μέθοδος έχει εφαρμοσθεί και για την σύγκριση κτιρίων, των οποίων ο φέρων οργανισμός αποτελείται από σκυρόδεμα ή δομικό χάλυβα, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι τα κτίρια τα οποία αποτελούνται από σκυρόδεμα τελικά (αν και κατά το στάδιο της κατασκευής δημιουργούν περισσότερο περιβαλλοντικό φόρτο) δίνουν καλύτερα αποτελέσματα.

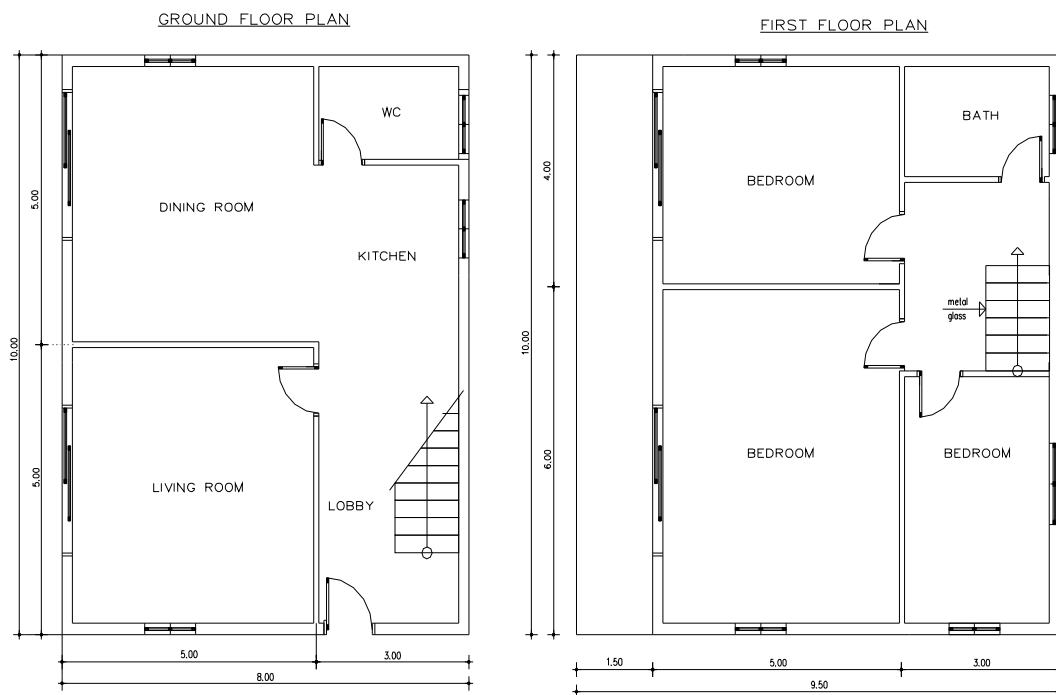
III. Ανάλυση Κύκλου Ζωής σε κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού

Η μέθοδος έχει εφαρμοσθεί και σε άλλες κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού. Οι κυριότερες είναι αυτές της κατασκευής αυτοκινητοδρόμων, όπως αυτές των Birgisdottir (2006) και Mroueh (2001)

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΕ ΜΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Προσδιορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης (Goal and Scope)

Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης είναι η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με την κατασκευή μιας τυπικής διόροφης κατοικίας στην Ελλάδα. Το σχήμα 1 δείχνει τις κατόψεις των δύο ορόφων του προς μελέτη κτιρίου, ενώ ο πίνακας 1 περιγράφει τα βασικά χαρακτηριστικά του κτιρίου. Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα ενώ οι εξωτερικοί και διαχωριστικοί τοίχοι είναι από τούβλα.



Σχ. 1 Κατόψεις κτιρίου	
Table 1. Βασικά χαρακτηριστικά κτιρίου	
<i>Χαρακτηριστικά κτιρίου</i>	
Επίπεδα /Οροφοι	Ισόγειο και Α΄ όροφος
Υψος ορόφων	3.0 m
Χρόνος Ζωής	80 χρόνια
Συνολική επιφάνεια	175 τ.μ.
Είδος κατασκευής	Φορέας οπλ. Σκυρ/τος
Εξ. Περίβλημα	Τούβλα
Θεμελίωση	Οπλ. Σκυρ/μα
Ες. τοίχοι	Τούβλα
Πατώματα	Πλάκες Οπλ. Σκυρ/ματος
Οροφή	Επίπεδη πλάκα απο οπλ. Σκυρ/μα

Όρια συστήματος (System boundaries)

Το υπο μελέτη σύστημα περιλαμβάνει όλο τον κύκλο ζωής του κτιρίου. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει τις παρακάτω φάσεις :

- Παραγωγή οικοδομικών προϊόντων και κατασκευή κτιρίου (Φάση κατασκευής)
- Λειτουργία και συντήρηση (Φάση χρήσεως) και
- Κατεδάφιση – Αποσυναρμολόγηση (Τέλος Ζωής Κτιρίου).

Λειτουργική Μονάδα (Functional unit)

Η Λειτουργική μονάδα είναι ένα χαρακτηριστικό του υπό μελέτη συστήματος και παρέχει μία αναφορά τόσο για τα εισαγόμενα στοιχεία όσο και για τα αποτελέσματα, επιτρέποντας την σύγκριση συστημάτων. Ο καθορισμός μιας λειτουργικής μονάδας είναι δύσκολος, γιατί αυτή πρέπει να είναι συγκρίσιμη ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλη την διάρκεια της μελέτης. Η λειτουργική μονάδα που επιλέχθηκε για αυτή την μελέτη είναι η τυπική διώροφη κατοικία στην Ελλάδα. Το υπο μελέτη κτίριο ψύχεται και θερμαίνεται με την χρήση ηλεκτρικής ενέργειας.

Καταγραφή Δεομένων (Life Cycle Inventory Analysis)

Η καταγραφή δεδομένων (δημιουργία LCI) περιλαμβάνει:

- Συλλογή δεδομένων σχετικά με κάθε διεργασία του συστήματος, η οποία αφορά τις εισροές και εκροές αυτού σε μάζα και ενέργεια,

- όπως και δεδομένα σχετικά με τις εκπομπές αερίων στο περιβάλλον (αέρας, νερό, γή).

Σε αυτό το στάδιο αναγνωρίζονται και ποσοτικοποιούνται η ενέργεια που απαιτείται, οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, όπως επίσης και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή του προϊόντος. Η καταγραφή των ποιοτήτων και ποσοτήτων σχετικά με τις ποσότητες και τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή του υπο μελέτη κτιρίου βασίστηκε στην εμπειρία του συγγραφέα ως μελετητή Πολιτικού Μηχανικού. Η κατανάλωση ενέργειας βασίστηκε στην βιβλιογραφία.

Για την ολοκλήρωση του μοντέλου είναι αναγκαία η συλλογή δεδομένων για κάθε διεργασία που βρίσκεται εντός των προκαθορισμένων ορίων του συστήματος. Το σύνολο των επιμέρους διαργασιών ολοκληρώνουν το όλο σύστημα.

Πολλές βάσεις δεδομένων (Finnveden, 2009) έχουν δημιουργηθεί δίνοντας τιμές για εκπομπές ρύπων και κατανάλωση ενέργειας συγκεκριμένων διεργασιών.

Αναφέρονται μερικές από τις πιο γνωστές: η Σουηδική SPINE@CPM database (CPM, 2007), η γερμανική PROBAS database (UBA, 2007), η ιαπωνική JEMAI database (JEMAI, 2007; Narita et al., 2004), η Αμερικανική US NREL database (NREL, 2004), η αυστραλιανή LCI database (RMIT, 2007), η Ελβετική database (Ecoinvent, 2007).

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης μελέτης είναι αυτή που συμπεριλαμβάνεται στο πρόγραμμα GaBi, το οποίο χρησιμοποιήθηκε κατά την ανάλυση της συγκεκριμένης κατοικίας.

Ανάλυση Επιπτώσεων Κυκλου Ζωής

Στην φάση αυτή (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) προσδιορίζεται η ταυτότητα και εκτιμάται το μέγεθος και η σπουδαιότητα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προσδιορίστηκαν προηγουμένως.

Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων περιλαμβάνει τρία στάδια:

- Επιλογή μεθόδου κατηγοριοποίησης (impact categories)
- Ταξινόμηση (classification)
- Χαρακτηρισμός (characterization).

Το στάδιο της Κανονικοποίησης (Normalization), Ομαδοποίησης (Grouping) και Στάθμισης (Weighting) είναι προαιρετικά στάδια κατά την εφαρμογή της μεθόδου.

Η ταξινόμηση (*Classification*) της καταγραφής Δεδομένων (*LCI results*) περιλαμβάνει (koroneos, 2007) την κατηγοριοποίηση των εκπομπών, των απορριμάτων και των πηγών που χρησιμοποιήθηκαν σε επιλεγμένες ειδικές κατηγορίες. Κατά την Ταξινόμηση (*Classification*) τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στον Πίνακα Καταγραφής Δεδομένων κατατάσσονται με κριτήριο τις αντίστοιχες κατηγορίες επιπτώσεων που μπορούν να προκαλέσουν. Με αυτόν τον τρόπο σε κάθε κατηγορία αντιστοιχούν οι ποσότητες ενός συνόλου εκπομπών, ενώ υπάρχει πιθανότητα κάποια ουσία να πρέπει να ταξινομηθεί σε περισσότερες από μια κατηγορίες επιπτώσεων.

Κατά το στάδιο του Χαρακτηρισμού (*characterization*) οι ποσότητες των εκπομπών κάθε κατηγορίας πολλαπλασιάζονται με τους αντίστοιχους συντελεστές χαρακτηρισμού (που καθορίζονται από το μοντέλο χαρακτηρισμού), ώστε να αναχθούν σε ισοδύναμες ποσότητες της ένωσης που αντιστοιχεί στον δείκτη της επίπτωσης. Οι συντελεστές χαρακτηρισμού (*characterization factors*) προκύπτουν ως αποτέλεσμα εφαρμογής συγκεκριμένων μοντέλων. Ως γνωστά μοντέλα προσδιορισμού αναφέρονται τα: CML (Leiden University), EDIP 97& EDIP 2003, IMPACT 2002, Ecoindicator 99. Οι ποσότητες αυτές αθροίζονται, ώστε κάθε κατηγορία περιβαλλοντικής επίπτωσης να προσδιορίζεται από ένα μόνο μέγεθος ισοδύναμης ποσότητας μιας ένωσης π.χ. για την κατηγορία επίπτωσης της Θέρμανσης του πλανήτη (GWP- Global Warming Potential) το αποτέλεσμα εκφράζεται σε ισοδύναμη μάζα CO₂ [kg CO₂ eq], σε χρονικό ορίζοντα 100 ή 500 ετών.

Στο ISO 14042 [4] ορίζεται η κανονικοποίηση (*Normalization*), ως «υπολογισμός της σημασίας των αποτελεσμάτων των δεικτών σε σχέση με μια πληροφορία αναφοράς», η οποία μπορεί να σχετίζεται με κάποια κοινωνία, ένα άτομο, ή άλλο σύστημα, όπως η ικανοποίηση συνθηκών προς επίτευξη συμφωνημένου στόχου. Ο κύριος σκοπός της κανονικοποίησης των αποτελεσμάτων των δεικτών των κατηγοριών είναι να γίνει κατανοητή η σημασία και το μέγεθος των αποτελεσμάτων για κάθε σύστημα προϊόντος που εξετάζεται.

Η ομαδοποίηση (*Grouping*) είναι μια ποιοτική διαδικασία που περιλαμβάνει την κατάταξη των αποτελεσμάτων και την ιεράρχηση τους στις κατηγορίες επιπτώσεων. Η ομαδοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε μια ευρεία ταξινόμηση – ιεράρχηση των κατηγοριών ανάλογα με την βαρύτητα τους.

Η στάθμιση (*Weighting*) αναφέρεται στην χρήση αριθμητικών συντελεστών που

βασίζονται σε αξιακές επιλογές. Η στάθμιση εξυπηρετεί την σύγκριση ανάμεσα στις διάφορες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Είναι το στάδιο όπου τα αποτελέσματα των δεικτών κατηγορίας επιπτώσεων πολλαπλασιάζονται με τους παραγοντές στάθμης και προστίθενται γαι να διαμορφώσουν ένα συνολικό αποτέλεσμα.

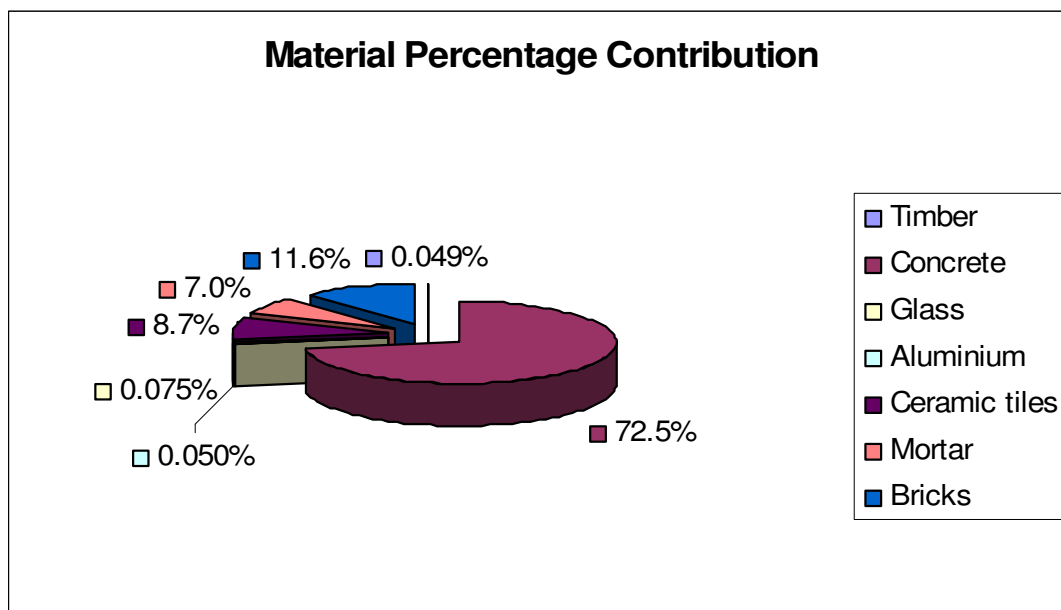
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΕΛΤΙΩΣΕΩΝ (INTERPRETATION)

Στο τελευταίο στάδιο της μεθόδου, τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής χρησιμοποιούνται ως βάση για την λήψη αποφάσεων που θα οδηγήσουν σε συγκεκριμένες δραστηριότητες. Η απογραφή των δεδομένων χρησιμοποιείται για να εντοπιστούν σημεία που επιδέχονται βελτίωση. Η εκτίμηση βελτιώσεων αφορά σε μια συστηματική αξιολόγηση των αναγκών και δυνατοτήτων για την μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, η οποία συνδέεται με την χρήση ενέργειας, πρώτων υλών και τις εκπομπές ρύπων καθ' ολη την διάρκεια του κύκλου ζωής.

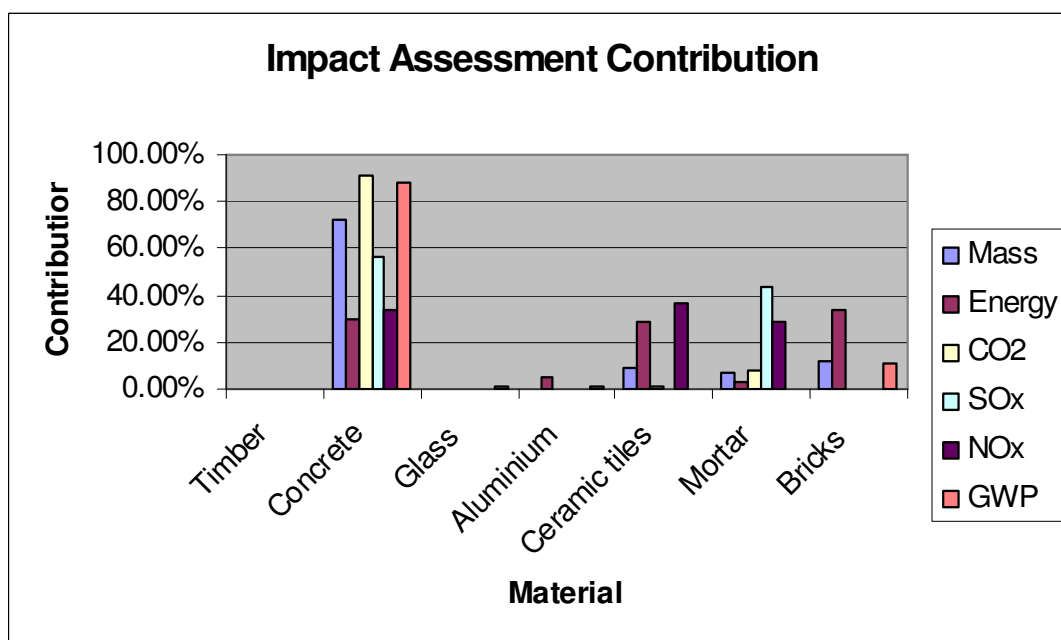
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή της Μεθόδου της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ) σε μία τυπική διώροφη κατοικία στην Ελλάδα έδειξε ότι τα υλικά τα οποία έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος κατά την φάση της κατασκευής (παραγωγή οικοδομικών υλικών και κατασκευή κτιρίου) είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα και τα τούβλα, καθώς ευθύνονται για **87.76% and 10,80%** αντίστοιχα στην κατηγορία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που είναι υπεύθυνες για την Θέρμανση του πλανήτη (GWP- Global Warming Potential), όπως φαίνεται στο γράφημα 4. Στο ίδιο γράφημα επίσης παρουσιάζεται και η εκπομπή των αερίων CO₂, NO_x, SO_x, όπως και η απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή καθε οικοδομικού υλικού. Και σε αυτή την κατηγορία αερίων τις μεγαλύτερες εκπομπές έχουν το οπλισμένο σκυροδέμα (θεωρώντας το ως εννιαίο υλικό, αποτελούμενο απο σκυρόδεμα και χάλυβα) και ακολουθούν τα τούβλα. Συγκεκριμένα CO₂: 91.06%, 7.55% αντίστοιχα, SO_x: 56.23%, 43.53% αντίστοιχα και NO_x: 87.76%, 10.80 αντίστοιχα.

Τα δύο παραπάνω υλικά είναι αυτά, τα οποία κατέχουν τα μεγαλύτερα ποσοστά 72.50% και 11.60% της συνολικής μάζας του κτιρίου, όπως φαίνεται απο τον πίνακα προμετρήσεων, ο οποίος παρουσιάζεται γραφικά στο **γράφημα 3**.

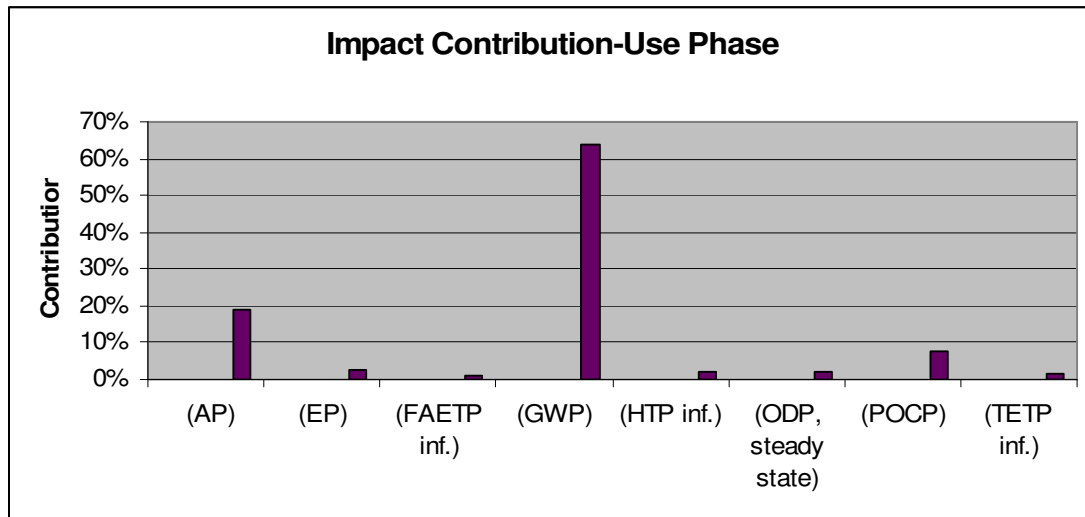


Εικόνα 3: ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΑΖΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΟΥ

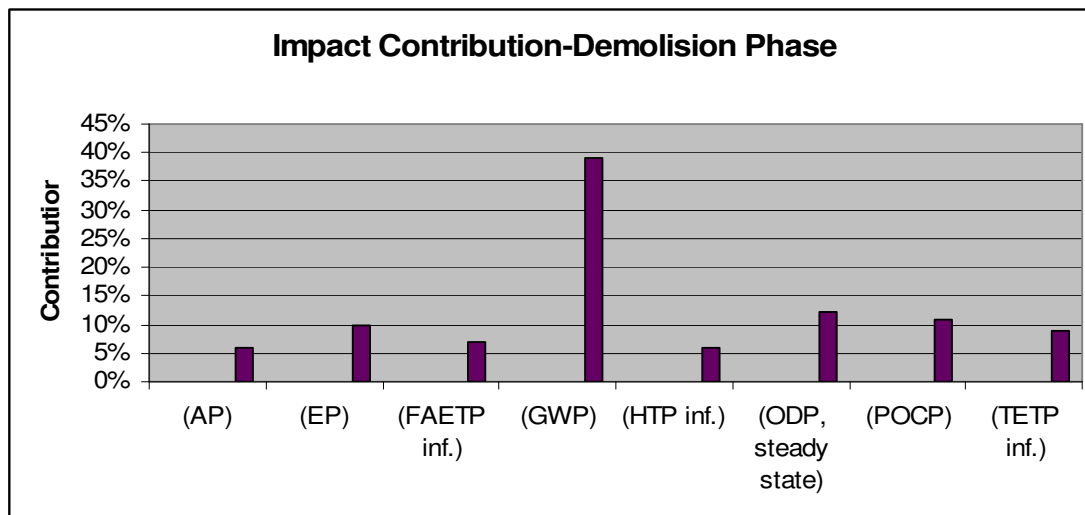


Εικόνα 4: ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ- ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΑΝΑ ΥΛΙΚΟ (ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ)

Τα γραφήματα 5 και 6 παρουσιάζουν τις περιβαλλοντικές εκπομπές (ταξινομημένες ανά κατηγορία) κατά την φάση της Χρήσεως και της κατεδάφισης. Και στις δύο φάσεις, η κατηγορία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που είναι υπεύθυνη για την Θέρμανση του πλανήτη (GWP- Global Warming Potential), έχει το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής.



Εικόνα 5: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (ΦΑΣΗ ΧΡΗΣΕΩΣ)



Εικόνα 6: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (ΦΑΣΗ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗΣ)

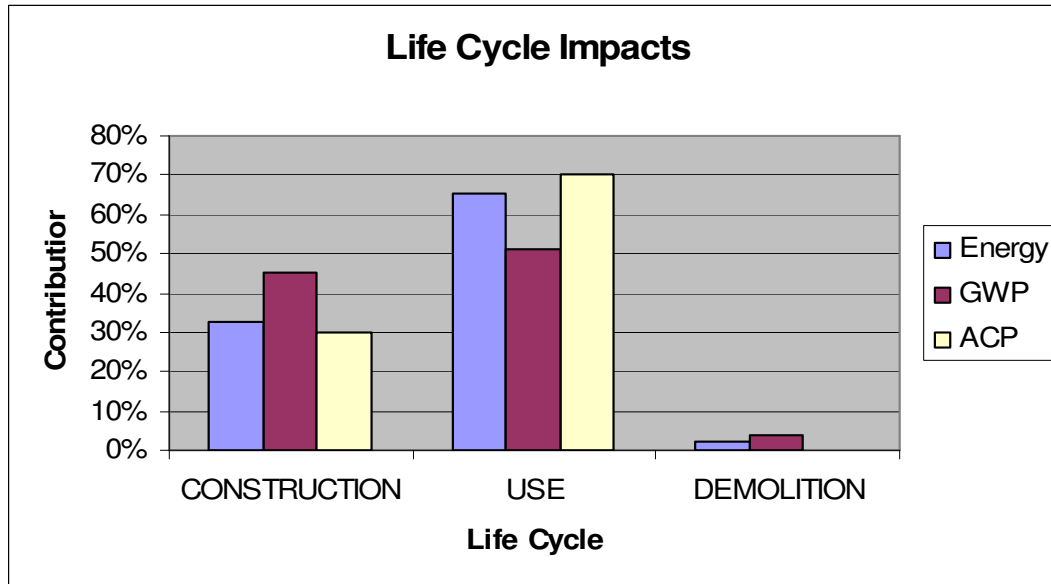
Τέλος, παρουσιάζονται τα ποσοστά των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ανα φάση ζωής του έργου. (γραφήματα 7 και 7a).

Κατά την φάση της χρήσεως (λειτουργία και συντήρηση) οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα καταναλώνουν το 65.19% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται, το 51% της συνολικής ποσότητας αερίων τα οποία αποτελούν την κατηγορία GWP (θέρμανση ατμόσφαιρας) και το 70% της κατηγορίας ACP.

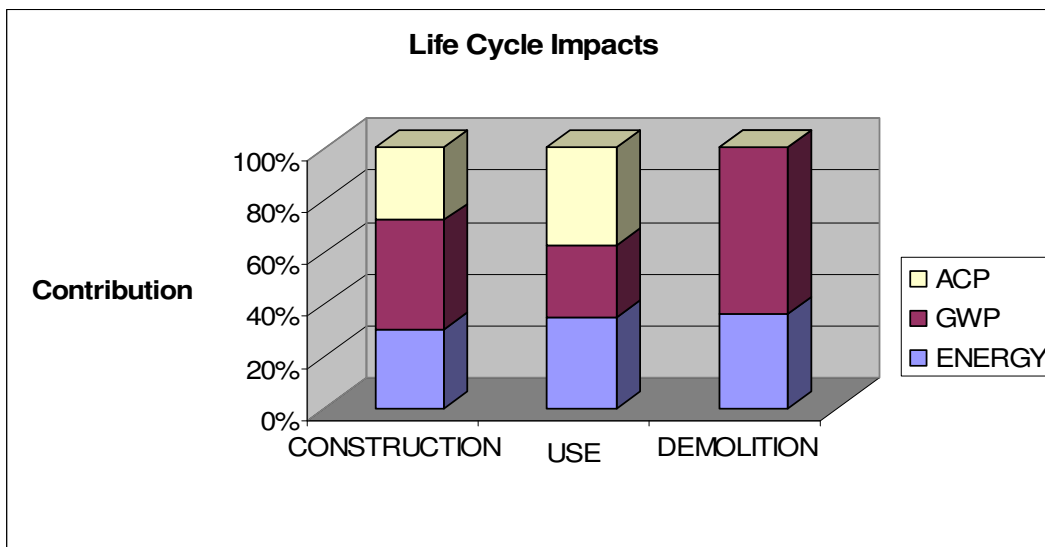
Κατά τη φάση της κατασκευής (παραγωγή οικοδομικών υλικών και κατασκευή κτιρίου) οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα καταναλώνουν το 32.51% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται, το 45% της συνολικής ποσότητας αερίων τα οποία αποτελούν την κατηγορία GWP (θέρμανση ατμόσφαιρας) και το 30% της

κατηγορίας ACP

Κατά τη φάση της κατεδάφισης τα αντίστοιχα ποσοστά είναι 2.26% της συνολικής ενέργειας, 4% της συνολικής ποσότητας αερίων τα οποία αποτελούν την κατηγορία GWP (θέρμανση ατμόσφαιρας) και σχεδόν μηδενικό ποσοστό στην κατηγορία ACP



Εικόνα 7: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΣΟΣΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΝΕΤΑΙ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΝΑ ΚΥΚΛΟ ΖΩΗΣ



Εικόνα 7a: The Environmental Impact Contribution (cumulative model) of the building Life Cycle

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η αυξανόμενη ευαισθητοποίηση της ανθρωπότητας σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος καθώς και τον επιπτώσεων που προκαλούνται από την παραγωγή αγαθών και την παροχή υπηρεσιών, συνεχώς αυξάνει το ενδιαφέρον για τις μεθόδους, οι

οποίες έχουν ως σκοπό την καταγραφή και μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment) είναι μια μέθοδο περιβαλλοντικής διαχείρισης, η οποία στηρίζεται στο Διεθνές Πρότυπο 14040-14044.

Η συγκεκριμένη μελέτη παρουσιάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μίας τυπικής κατοικίας στην Ελλάδα. Το υπο μελέτη σύστημα περιλαμβάνει όλο τον κύκλο ζωής του κτιρίου: παραγωγή οικοδομικών υλικών, κατασκευή κτιρίου, χρήση, συντήρηση, κατεδάφιση. Κατά την παραπάνω μελέτη χρησιμοποιείται το πρόγραμμα GaBi, η βάση δεδομένων του προγράμματος και δεδομένα από την βιβλιογραφία όπου κρίνεται απαραίτητο.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η φάση της χρήσεως είναι αυτή με τις περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ακολουθεί η φάση της κατασκευής, ενώ ολοκληρώνει τον κύκλο ζωής η φάση της κατεδάφισης. Ως υλικά με τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις προκύπτουν το οπλισμένο σκυρόδεμα και τα τούβλα, τα οποία είναι και τα υλικά με το μεγαλύτερο ποσοστό στο σύνολο της μάζας.

Δεδομένα για οικοδομικά υλικά από τον Ελληνικό χώρο και από Ελληνικές επιχειρήσεις είναι απαραίτητα για δημιουργία βάσης δεδομένων (LCI, LCIA). Η εφαρμογή της σε κτίρια από μεταλλικό φέροντα οργανισμό ή εξωτερικό κέλυφος και εσωτερικά διαχωριστικά τα οποία δεν αποτελούνται από τούβλα είναι θέματα προς περαιτέρω μελέτη.

REFERENCES

1. ASIF M, MUNEEER T, KELLEY R. 2005. Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland. Build Environ, **11**:023.
2. BLENGINI G., Di Carlo T. 2010. Energy-savings policies and low-energy Buildings: an LCA case study in Piedmont (Italy). International Journal Life Cycle Assessment (doi: 10.1007/s11367-010-0190-5). Springer
3. HEIJUNGS R, HUPPES G, GUINEE J. 2009. Life-Cycle Assessment and Sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a science framework for sustainability. Polymer Degradation and Stability, **95** (2010) 422-428, ELSEVIER
4. ISO 14040-14043 Environmental Management - LCA, 1997-2000
5. ISO. 2006. Environmental management e life cycle assessment e principles and framework (ISO 14040). Geneva

6. JORGENSEN A, Le BOCQ A, NAZARKINA L, HAUSCHILD MZ. 2008. Methodologies for Social Life Cycle Assessment. Int J LCA, **13** (2) 96-103
7. JUNNILA S. 2004. Life cycle assessment of environmentally significant aspects of an office building. Nordic J Surveying Real Estate Res -Special Series, 2.
8. KLOEPFFER W. 2008. Life Cycle Sustainability Assessment of Products. Int J **13**(2) 89-95 Springer – Verlag
9. KOFOWOROLA F., CHEEWALA S. 2008. Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand. International Journal Life Cycle Assess, **13**:498-511, ELSEVIER.
10. KORONEOS C., DOMPROS A., LOIZIDOU M. 2007. Life Cycle Assessment of an Office Building in Greece. Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology. Kos Island, Greece, 5-7.
11. ORTIZ O, CASTELLS F, SONNEMANN G. 2009a. Sustainability in the construction industry: a review of recent developments based on LCA. Constr Build Mater, 23:28-39
12. ORTIZ O, PASCUALINO J, DIEZ G, CASTELLS F. 2010. The environmental impact of the construction Phase: An application to composite walls from a life cycle perspective. Resources, Conservation and Recycling, Elsevier
13. ORTIZ O., BONNET C, BRUNO J, CASTELLS F. 2009b. Sustainability based on LCM of residential dwellings: A case study in Catalonia, Spain, Building and Environment **44**, 584-594, ELSEVIER.
14. SARTORI I, HESTNES AG. 2007. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article. Energy Build, **39**:249-257
15. SU XING, XU ZHANG, JUN GAO. 2007. Inventory analysis on steel and concrete construction office buildings. Energy and Buildings, **40**, 1188-1193, ELSEVIER.
16. TRUSTY, W.B. 2000. Introducing assessment tool classification system. Advanced Building Newsletter, 25: p. 18. [web page],.

EΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ