

# ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (LCA) ΣΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ. ΜΕΙΩΝΟΝΤΑΣ ΤΟ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΤΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

**Γεώργιος Ξανθάκης**

Πολιτικός Μηχανικός, Msc, MBA, Carbon Consultant

Υποψήφιος Διδάκτωρ Πανεπιστημίου Αιγαίου, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων  
Χίος, Ελλάδα

e-mail: [xanthakisg@ba.aegean.gr](mailto:xanthakisg@ba.aegean.gr)

## 1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αυξανόμενη ευαισθητοποίηση της ανθρωπότητας σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος καθώς και των επιπτώσεων που προκαλούνται από την παραγωγή αγαθών και την παροχή υπηρεσιών, συνεχώς αυξάνει το ενδιαφέρον για μεθόδους, οι οποίες έχουν ως σκοπό την καταγραφή και μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment) είναι μια γενική μέθοδο περιβαλλοντικής διαχείρισης, η οποία στηρίζεται στο Διεθνές Πρότυπο (ISO) 14040-14044.

Η συγκεκριμένη μελέτη εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (και συγκεκριμένα το ανθρακικό αποτύπωμα) μίας κατοικίας στην Ελλάδα της οποίας ο φέροντας οργανισμός αποτελείται από μεταλλικές λεπτότοιχες διατομές ψυχρής ελάσεως. Βασικά πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου τρόπου δόμησης τους το μικρό βάρος της κατασκευής, η υψηλή αντοχή, η ομοιόμορφη ποιότητα, η ευκολία της προκατασκευής, η μαζική παραγωγή, η οικονομία κατά την μεταφορά. Το υπό μελέτη σύστημα περιλαμβάνει μόνο την φάση κατασκευής του κτιρίου: από την εξόρυξη των πρώτων υλών για την παραγωγή των οικοδομικών υλικών έως την ολοκλήρωση της κατασκευής αυτού. Κατά την παραπάνω μελέτη χρησιμοποιήθηκε, η βάση δεδομένων του Πανεπιστημίου του Bath[1] και δεδομένα από την βιβλιογραφία όπου αυτό κρίθηκε απαραίτητο.

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος ‘Αειφόρος Ανάπτυξη’ (sustainable development) πρωτοεμφανίσθηκε στο Παγκόσμιο Συνέδριο Περιβάλλοντος και Ανάπτυξης το 1987. «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». Η ‘Αειφόρος Ανάπτυξη’ επίσης μπορεί να περιγραφεί [2] ως η βελτίωση της ποιότητας ζωής, η οποία επιτρέπει στους ανθρώπους να ζουν σε ένα υγιές περιβάλλον, βελτιώνοντας τις κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές συνθήκες αυτού για τώρα και για το μέλλον. Επίσης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως η διατήρηση ισορροπίας μεταξύ της αναπτυσσόμενης τεχνολογίας, των στρατηγικών ανάπτυξης και της πολιτικής των

κυβερνήσεων.

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment, LCA) είναι μία γενική μέθοδος, η οποία ποσοτικοποιεί της περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες σχετίζονται με συγκεκριμένες υπηρεσίες ή προϊόντα, ακολουθώντας μια πορεία από την γέννηση έως το τέλος της ζωής (cradle to grave). Η ανάλυση επικεντρώνεται στον υπολογισμό και την ποσοτικοποίηση της ενέργειας, των χρησιμοποιούμενων υλικών καθώς και των αποβλήτων που απελευθερώνονται στο περιβάλλον.

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι η μόνη διεθνώς πιστοποιημένη μέθοδος εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων [3], σύμφωνα με τα Διεθνή πρότυπα 14040-43(1997-2000) και τις αναθεωρήσεις τους 14040-44(2006). Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (κατά ISO) ορίζεται ως: η συγκέντρωση και ο υπολογισμός των εισροών, εκροών και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός παραγωγικού συστήματος κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του. Με τον όρο κύκλος ζωής (κατά ISO) ορίζονται τα συνεχή και αλληλοεπιδρώμενα στάδια ενός παραγωγικού συστήματος από την συλλογή ή την δημιουργία των πρώτων υλών έως την τελική αποσυναρμολόγηση του τελικού προϊόντος.

Ο κατασκευαστικός τομέας μπορεί να διαδραματίσει έναν κυρίαρχο ρόλο ως προς την Αειφόρο Ανάπτυξη, δεδομένο ότι καταναλώνει περίπου το 40% των υλικών της παγκόσμιας οικονομίας και δημιουργεί το 40-50% των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την αλλαγή του κλίματος. Ο όρος 'Αειφόρος Κατασκευή' χρησιμοποιήθηκε για να χαρακτηρίσει μία κατασκευή η οποία έχει σχεδιασθεί, κατασκευασθεί, λειτουργεί και όταν φθάσει στο τέλος της ζωής της θα αποσυναρμολογηθεί έχοντας λάβει υπόψη περιβαλλοντικά κριτήρια.

### **3. ΓΕΝΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ**

Η χρήση της μεθόδου της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής [4] ως μεθόδου αξιολόγησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων άρχισε στα τέλη της δεκαετίας του 1960, υπό διάφορες ονομασίες. Ο όρος "κύκλος ζωής" πρωτοεμφανίστηκε ως έννοια στη στρατιωτική βιομηχανία των ΗΠΑ, κατά την διερεύνηση των εξόδων λειτουργίας και συντήρησης των αμυντικών συστημάτων.

Η μέθοδος στα πρώτα της βήματα [5] ήταν απλή, εστιάζοντας στην κατανάλωση ενέργειας και στην παραγωγή αποβλήτων. Οικιακά είδη, όπως τα δοχεία υγρών και πετσέτες ήταν τα αντικείμενα που αναλύθηκαν αρχικά. Η πρώτη εμφάνιση της ΑΚΖ με την σημερινή σύγχρονη περιβαλλοντικής της έννοιας ήταν σε μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε από την Coca-Cola για την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συσκευασιών που χρησιμοποιούσε δίδοντας έμφαση στην μείωση των στερεών αποβλήτων, και όχι στις εκπομπές ρύπων στο περιβάλλον ή τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Το 1972, ο Ian Bousted μελέτησε την κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή μιας σειράς δοχείων κατασκευασμένα από γυαλί, πλαστικό, χάλυβα και αλουμίνιο. Στα χρόνια που ακλούθησαν επέκτεινε τη μεθόδου του σε μια μεγάλη κατηγορία υλικών. Μερικά χρόνια αργότερα, ο ίδιος δημοσίευσε το «Εγχειρίδιο Ανάλυσης της Βιομηχανικής Ενέργειας» [6]. Παρά το γεγονός ότι το ενδιαφέρον για την Ανάλυση του κύκλου ζωής αυξανόταν συνεχώς, τελικά στα τέλη της δεκαετίας του ογδόντα με αρχές δεκαετίας του ενενήντα ήταν η χρονική στιγμή όπου ένα πραγματικό ενδιαφέρον σχετικά με τη μέθοδο εκδηλώθηκε από αρκετές βιομηχανίες, μελετητές,

επενδυτές και οικονομικούς συμβούλους.

Το 1989 η Εταιρεία Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας (SETAC) ενστερνίστηκε και παρείχε υποστήριξη στην ΑΚΖ, γεγονός πολύ θετικό για την περαιτέρω εξέλιξη της. Επιτέλους, σε παγκόσμιο επίπεδο, υπήρχε η δυνατότητα δημιουργίας ενός πλαισίου ενιαίας μεθοδολογία. Μερικά χρόνια αργότερα, το 1994, ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO), εξέδωσε το πρότυπο πιστοποίησης 14040 σχετικά με την ΑΚΖ. Μέχρι σήμερα ο οργανισμός έχει κυκλοφορήσει μία αναθεωρημένη έκδοση, δύο συμπληρωματικά πρότυπα και μια σειρά τεχνικών εκθέσεων. Στα τέλη της δεκαετίας του 1990, μια άλλη οργάνωση ενεργοποιήθηκε στον τομέα της ΑΚΖ. Ήταν το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP), με έδρα στη Γαλλία. Το 2002, η UNEP ξεκίνησε συνεργασία με την SETAC υπό την ονομασία «UNEP/SETAC Πρωτοβουλία κύκλου ζωής», με κύριο στόχο την εφαρμογή του κύκλου ζωής στην πράξη.

#### **4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ**

Μεταξύ 1998 και 2001, δημοσιεύτηκαν τα πρώτα αξιολογικά άρθρα σχετικά με την εφαρμογή της μεθόδου της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA), στον κατασκευαστικό τομέα. Από τότε, 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.

Μία από τις πρώτες μελέτες σε κατασκευές ήταν αυτή του Adalberth [7] το 2001, στόχος της οποίας ήταν να υπολογίσει τον κύκλο ζωής τεσσάρων κατοικιών κατασκευασμένες από διαφορετικά δομικά υλικά. Ο Peurtoier [8] στην Γαλλία συνέκρινε τρεις τύπους κτιρίων με διαφορετικές προδιαγραφές, ενώ ο Jian [9] εφάρμοσε την Ανάλυση Κύκλου Ζωής κατά την διάρκεια ενός έργου σε μία αστική περιοχή στην Ιαπωνία. Ο Ortiz [10] εφάρμοσε την μέθοδο κατά την κατασκευή μιας πολυκατοικίας στην Βαρκελώνη, με σκοπό την ανάπτυξη κριτηρίων τα οποία θα βοηθήσουν στην λήψη κατάλληλων αποφάσεων κατά την σχεδίαση και την κατασκευή. Ο ίδιος συγγραφέας [2], συνέκρινε δύο κατοικίες, μία στην Ισπανία και μία στην Κολομβία, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η τελική κατανάλωση ενέργειας διαφέρει από 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 κουλτούρας του λαού.

#### **5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΕ ΜΙΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ**

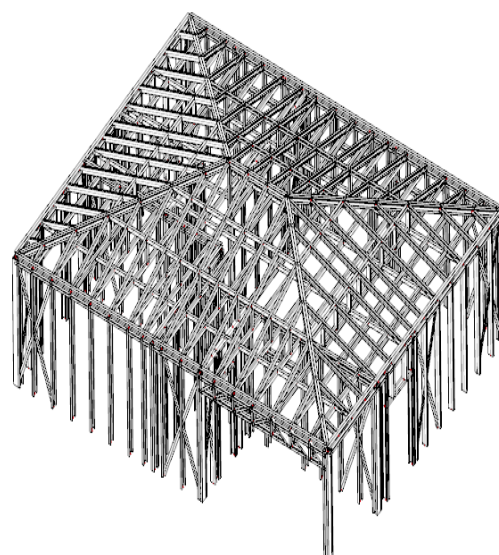
Το υπό ανάλυση κτίριο (Σχήμα 1) είναι μία κατοικία ενός επιπέδου με φέροντα οργανισμό από λεπτότοιχες μεταλλικές διατομές ψυχρής ελάσεως γαλβανισμένες εν θερμώ, (όπως μελετήθηκε και κατασκευάστηκε το 2010 στην Κεφαλονιά από την εταιρεία IQia). Η συνολική καλυπτόμενη επιφάνεια του κτιρίου είναι περίπου 75τ.μ το ύψος του ορόφου είναι 3.00μ., ενώ η όλη κατασκευή καλύπτεται από μία τετράριχτη μεταλλική οροφή. Οι εξωτερικές διαστάσεις της κατασκευής είναι 10.00μ. x 8.20μ.

Ο μεταλλικός σκελετός από τις λεπτότοιχες μεταλλικές διατομές μαζί με το Oriented Strand Board (O.S.B.) αποτελούν τον φέροντα οργανισμό της κατασκευής. Τα παραπάνω

στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι σε θέση να μεταφέρουν τα κατακόρυφα και οριζόντια φορτία με ασφαλή τρόπο στο έδαφος. Οι χρησιμοποιούμενες μεταλλικές λεπτότοιχες διατομές είναι πάχους  $t=1.5\text{mm}$  ύψους 100mm και 150mm μορφής U και C, ενώ η ποιότητα του δομικού χάλυβα είναι Fe E 280 G.

Το Oriented Strand Board (O.S.B.) είναι ένα βιομηχανικό υλικό από προσανατολισμένες φλούδες ξύλου, οι οποίες συγκολλούνται μεταξύ τους με την χρήση κόλλας, ρητίνης και κεριού σε κατάλληλες συνθήκες. Το συγκεκριμένο δομικό σύστημα της IQia, χρησιμοποιεί O.S.B κατηγορίας 3 (κατάλληλο για επιφάνειες που φέρουν φορτία υπό υγρές συνθήκες). Η στέγη αποτελείται από λεπτότοιχες μεταλλικές διατομές και εμπεριέχει την απαιτούμενη θερμομόνωση.

Προμετρήσεις Δομικών Υλικών			
Δομικά υλικά	Πυκνότητα (Kgr/m <sup>3</sup> )	Χρήση	Βάρος (Kgr)
Οπλ.σκυροδεμα C20/25	2400	Θεμελίωση-εδαφόπλακα	<b>70,000</b>
Οπλισμός σκυροδεματος	7850	Θεμελίωση-εδαφόπλακα	<b>980</b>
Μεταλλικά στοιχεία	7850	Φ.Ο	<b>3,882</b>
O.S.B	600	Τοίχοι-δάπεδα	<b>1,265</b>
Διογκ. Πολυστερήνη	20	Μονωτικό	<b>117</b>
Υαλοβάμβακας	40	Μονωτικό	<b>1,186</b>
Γυψοσανίδες	900	Τοιχοποιία	<b>4,985</b>
Ετοιμος σοβάς	1650	Επικάλυψη	<b>1,933</b>
Κεραμίδια (ρωμαικά)	53	Στέγη	<b>5,200</b>
Πλακάκια δαπέδου	53	Ισόγειο	<b>622</b>
			<b>90,170</b>



Πιν 1- Ποσότητες δομικών υλικών

Σχ. 1- Αξονομετρικό κατασκευής

Όλες οι φέρουσες τοιχοποιίες της ανωδομής θεμελιώνονται πάνω σε θεμελιολωρίδες διαστάσεων 40x40cm, οι οποίες ενώνονται με μία εδαφόπλακα οπλ. σκυροδέματος πάχους 20cm. Οι θεμελιολωρίδες και η εδαφόπλακα κατασκευάζονται από σκυροδεμα κατηγορίας C 20/25 και οπλίζονται με χάλυβα κατηγορίας B500s.

### Η μέθοδος της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

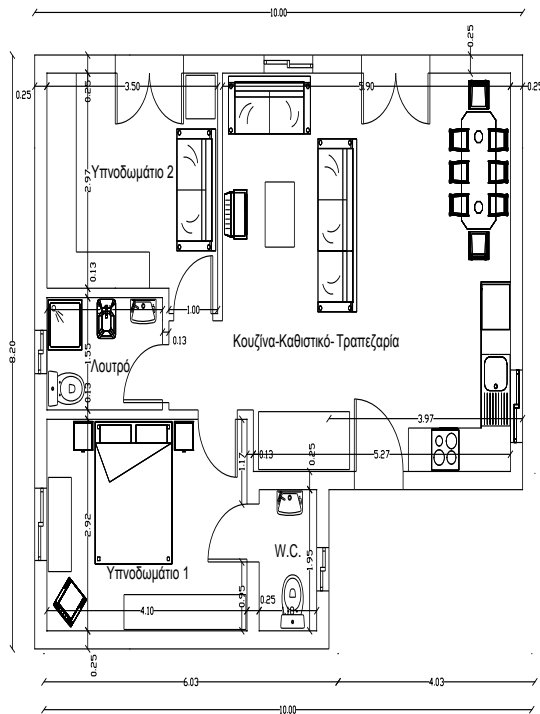
Η ΑΚΖ (LCA ) είναι ένα μία από τις πιο αναγνωρισμένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθοδολογίες για την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Είναι γενική μεθοδολογία, η οποία βασίζεται σε μια λεπτομερή καταγραφή των υλικών και των διαδικασιών που απαιτούνται καθ 'όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός έργου, από την απόκτηση των πρώτων υλών και την κατασκευή, τη συντήρηση και σενάρια για το τέλος ζωής. Όσον αφορά την κατασκευή, η ΑΚΖ λαμβάνει υπόψη τις παρακάτω πέντε φάσεις: Σχεδιασμός, παραγωγή κατασκευαστικών υλικών, κατασκευή κτιρίου, χρήση κατασκευής (κατανάλωση ενέργειας) – συντήρηση και τέλος ζωής και δραστηριοτήτων (κατεδάφιση – ανακύκλωση - επαναχρησιμοποίηση).

Η ανάλυση διεξάγεται σε 4 στάδια :

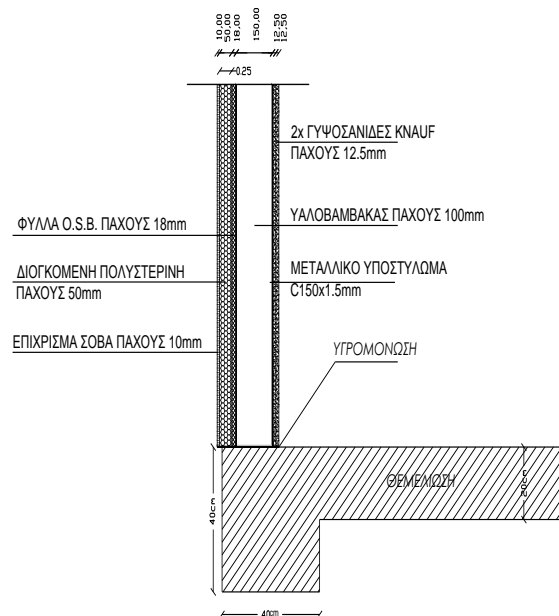
- 1 . Καθορισμός του στόχου και πεδίο ορισμού (goal and scope definition )
- 2 . Ανάλυση αποθεμάτων (inventory analysis)
- 3 . Εκτίμηση επιπτώσεων (impact assessment) και

#### 4 . Ερμηνεία αποτελεσμάτων (interpretation)

Η παρούσα μελέτη ΑΚΖ σκοπό έχει τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος ( $CO_2_{eq}$ ) κατά την διάρκεια ζωής των φάσεων του σχεδιασμού, παραγωγής των δομικών υλικών και την κατασκευή του κτιρίου (φάση κατασκευής).



Σχ. 2- Κάτοψη ισογείου



Σχ. 3- Τυπ. λεπτομέρεια εξωτερικού τοίχου

#### Βήματα της παρούσας ΑΚΖ

##### Θεωρητικές παράμετροι - Στόχος και πλαίσιο ανάλυσης ( πρώτο στάδιο )

Για τη διεξαγωγή μιας μελέτης ΑΚΖ είναι αρχικά αναγκαίο να καθοριστεί μια σειρά θεωρητικών παραμέτρων που θα καθορίσουν την εστίαση και την έκταση της μελέτης. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν το στόχο της μελέτης, το πεδίο εφαρμογής της και τα όρια του υπό μελέτη συστήματος. Ο στόχος της παρούσας μελέτης ΑΚΖ είναι να εντοπίσει τους βασικούς τομείς που είναι αρμόδιοι για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ( $CO_2_{eq}$ ) που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής του εξεταζόμενου κτηρίου. Το σύστημα το οποίο θα μελετηθεί είναι η κατασκευή της συγκεκριμένης κατοικίας. Η λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιείται είναι το σύνολο των διαδικασιών κατασκευής και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για το έργο αναγόμενα ανά τ.μ. της κατοικίας.

##### Εκτίμηση ποσοτήτων υλικών - διαδικασιών και υπολογισμός ρύπων(δεύτερο στάδιο)

Το επόμενο στάδιο της μελέτης ΑΚΖ είναι να καταγραφούν όλα τα απαραίτητα υλικά και οι διαδικασίες για την ολοκλήρωση της λειτουργικής μονάδας - στην συγκεκριμένη περίπτωση, η κατασκευή της κατοικίας με το μεταλλικό φέροντα οργανισμό. Κατόπιν τα υλικά και οι διεργασίες, συνδέονται με βάσεις δεδομένων Απογραφής Κύκλου Ζωής (LCI) που περιέχουν περιβαλλοντικές πληροφορίες σχετικά με τις εισροές και τις εκροές που συνδέονται με τα συγκεκριμένα υλικά ή διαδικασίες. Ο Πίνακας 1 περιέχει όλα τα κύρια δομικά υλικά με τις αντίστοιχες ποσότητες (Kgr) που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της συγκεκριμένης κατασκευής, το Σχήμα 2 παρουσιάζει την κάτοψη του κτιρίου, ενώ, το Σχήμα 3 δείχνει την τυπική λεπτομέρεια των εξωτερικών τοίχων.

Για τη σύνδεση των υλικών και των διαδικασιών με τις αντίστοιχα περιβαλλοντικά φορτία (εκπομπές CO<sub>2eq</sub>) χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων ECI (Inventory of Carbon Energy) ver. 2.0 που αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο του Bath (UK). Οι απαραίτητες διαδικασίες μεταφοράς ελήφθησαν υπόψη, για τη μεταφορά των υλικών από το χώρο παραγωγής στο εργοτάξιο.

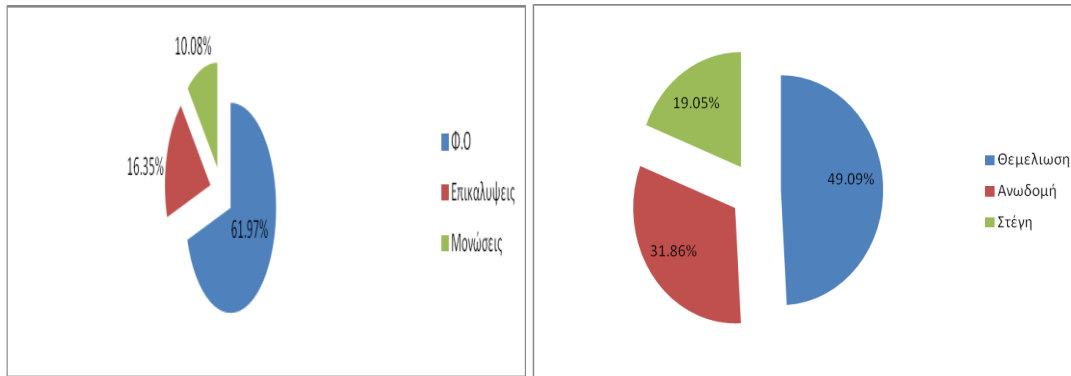
## 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων (Πιν.2) υπογραμμίζει το μεγάλο ποσοστό ευθύνης (46.9%) του οπλ. σκυροδέματος στον τελικό υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος. Τα μεταλλικά στοιχεία ευθύνονται για το 15%, τα κεραμίδια για το 11.6%, οι γυψοσανίδες για το 9.9% και ο υαλοβάμβακας για το 8.1%. Παρατηρούμε ότι υλικά με μεγάλο ποσοστό μάζας (π.χ. σκυρόδεμα 77.6% της συνολικής μάζας) και αυτά με μεγάλο λόγο CO<sub>2eq</sub>.Kgr/m<sup>3</sup> χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής λόγω της μεγάλης συμμετοχής τους στην διαμόρφωση της τελικής τιμής του ανθρακικού αποτυπώματος.

Δομικά υλικά	CO <sub>2eq</sub> . (Kgr/m <sup>3</sup> )	Βάρος (Kgr)	Βάρος (%)	CO <sub>2eq</sub> . (Kgr)	CO <sub>2eq</sub> . (%)
Οπλ.σκυροδεμα C20/25	0.132	70,000	77.6%	9,240.0	46.9%
Οπλισμός σκυροδέματος	0.03	980	1.1%	29.4	0.1%
Μεταλλικά στοιχεία	0.76	3,882	4.3%	2,950.3	15.0%
O.S.B	0.45	1,265	1.4%	569.3	2.9%
Διογκ. Πολυστερίνη	3.29	117	0.1%	384.9	2.0%
Υαλοβάμβακας	1.35	1,186	1.3%	1,601.1	8.1%
Γυψοσανίδες	0.39	4,985	5.5%	1,944.2	9.9%
Έτοιμος σοβάς	0.155	1,933	2.1%	299.6	1.5%
Κεραμίδια (ρωμαϊκά)	0.44	5,200	5.8%	2,288.0	11.6%
Πλακάκια δαπέδου	0.66	622	0.7%	410.5	2.1%
		<b>90,170</b>	<b>100.0%</b>	<b>19,717</b>	<b>100.0%</b>

Πιν. 2 Εκτίμηση ανθρακικού αποτυπώματος ανά υλικό.

Κατηγοριοποιώντας τα αποτελέσματα ανά τμήμα της κατασκευής (Θεμελίωση - πλάκα επί εδάφους, ανωδομή, στέγη) παρατηρούμε ότι τα υλικά της θεμελίωσης έχουν την μεγαλύτερη συνεισφορά (49.09%) στην διαμόρφωση του ανθρακικού αποτελέσματος (Σχήμα 4β), κυρίως λόγω της μεγάλης συνεισφοράς του σκυροδέματος. Αντίστοιχα, κατηγοριοποιώντας τα αποτελέσματα ανάλογα την λειτουργία τους (Σχήμα 4α) στην κατασκευή (Φ.Ο., επικάλυψη, μόνωση) προκύπτει ότι τα υλικά του Φ.Ο διατηρούν την μεγαλύτερη συνεισφορά (61.97%) ενώ ακολουθούν αυτά των επικαλύψεων (16.35%) και οι μονώσεις (10.08%).



Σχήμα 4α,β: Συνεισφορά δομικών στοιχείων στο ανθρακικό αποτύπωμα.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA) είναι μία μέθοδος, η οποία αναπτύχθηκε με σκοπό την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την χρησιμοποίηση της ως μέσο λήψης και υποστήριξης τέτοιων αποφάσεων. Οι κατοικίες με Φ.Ο από μεταλλικές λεπτότοιχες διατομές είναι μία εναλλακτική ‘αειφόρος’ πρόταση που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να υπονομεύει την δυνατότητα των επόμενων γενεών να καλύψουν τις δικές τους, όπως προκύπτει από τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος ( $275\text{KgrCO}_2\text{eq/m}^2$ ) κατά την φάση της κατασκευής σε σύγκριση με τις συνήθειες κατασκευές με Φ.Ο από οπλ. σκυρόδεμα και οπτοπλινθοδομή (περίπου  $500\text{KgrCO}_2\text{eq/m}^2$ ).

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] HAMMOND G, JONES C. “*Inventory of Carbon and Energy (ICE)*”, Version 2, UK: University of Bath, 2011.
- [2] ORTIZ O., CASTELLS F., SONNEMAN G., “*Operational energy in the life cycle of residential dwellings: The experience of Spain and Colombia.*” *Applied Energy* 87, 2010, pp. 673-680.
- [3] ISO 14040, “*Environmental Management - Life Cycle Assessment - Part 1: Principles and Framework*”, International Organization for Standardization, Basel (Switz.), 1997.
- [4] MENZIES G., TURAN S., BANFILL, P., ‘*LCA, methodologies, inventories and embodied energy: a review*’, *Constr. Mater.*, 160, 2007, pp. 135-143.
- [5] Udo de Haes A. H., Heijungs R., “*Life-cycle assessment for energy analysis and management*”, *Applied Energy* 84, 2007, pp. 817–827.
- [6] BOUSTED I., HANCOCK G., “*Handbook of Industrial Energy Analysis*”, Ellis Horwood, Chichester, 1979.
- [7] ADALBERTH K., “*Energy use during the life-cycle of single-unit dwellings: examples*”, *Build Environ*, 32, 1997, pp. 321-329.
- [8] PEUPORTIER, B., “*Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context*”, *ENB*, 33, 2001, pp. 443-450.
- [9] JIAN G., JIAN L., KAZUNORI H., “*Life cycle assessment in the environmental impact evaluation of urban development-a case study of land readjustment Project*”, Hyogo District, Japan. *J. Zhejiang Univ. Sci.* 4, 2003, pp. 702-708.
- [10] ORTIZ O., BONNET C., BRUNO J., CASTELLS F. “*Sustainability based on LCM of residential dwellings*”, *Building and Environment* 44, 2009, 584-594.

# **LIFE CYCLE ASSESSMENT IN CONSTRUCTION INDUSTRY. DECREASING THE CARBON FOOTPRINT OF THE RESIDENCES.**

**George Xanthakis**

Structural Engineer, Msc, MBA, Carbon Consultant  
Candidate Phd of Aegean University, Department of Business Administration,  
Chios, Greece  
e-mail: [xanthakisg@ba.aegean.gr](mailto:xanthakisg@ba.aegean.gr)

## **SUMMARY**

Buildings have considerable impacts on environment: from construction, use, maintenance and renewal to their demolition. Exhibiting a lifetime of 50 to 100 years (and more), structures keep an important role in the life quality. Considering their environmental, economic and social impacts, it is obvious that buildings are an important part of sustainable cities. As it concerns sustainability, a new approach in building had to be presented that would minimize the environmental impact and protect energy and resources, linking the building parameters with the impacts of construction.

Life Cycle Assessment (LCA) is a general framework that evaluates the environmental burdens related to the production and use of a specific good or activity. SETAC defines LCA as: "a systematic way of evaluating the environmental impact of products or activities by following a 'cradle to grave' approach".

Cold-formed steel structural members have been used for housing for many years. The primary advantages of cold-formed steel are price stability, light weight, high strength and stiffness, uniform quality, ease of prefabrication and mass production, economy in transportation and handling. During recent years, the use of cold-formed steel framing in residential construction has been on a rapidly increasing scale.

Since early 1990s, the study of building sustainability has attracted the interest of all world. A number of environmental impact assessment models were presented. LCA is a well-known tool to assess the environmental impacts of a product (according to ISO 14000 series).

The paper presents the results of a life cycle assessment (LCA) application to a cold-formed steel structure in Greece, related to carbon footprint evaluation. In the first part a literature review of the term Sustainability and LCA analysis in Built Environment is presented. An environmental performance of a steel-structured dwelling, calculating the carbon footprint during the construction intergrated the second part of the paper, focusing to the contribution of construction materials and parts to the entire footprint.

**Keywords:** Life Cycle Analysis; environmental impacts; carbon footprint; steel structures