

υλ Οικολογία

ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Γ.-ΦΟΙΒΟΣ ΣΑΡΓΕΝΤΗΣ
Δρ. Μηχανικός



ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΩΝ
ΑΝΩΤΑΤΩΝ ΣΧΟΛΩΝ/
ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΑ ΕΝΩΣΗ
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ



ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΤΗΣ ΓΗΣ

ΣΑΔΑΣ-ΠΕΑ: 13^ο εβδομαδιαίο Εργαστήριο – Σεμινάριο
«ΦΥΣΙΚΗ ΔΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ»
26 Μαΐου έως 1η Ιουνίου 2018
Ξενώνας Στάμου Στούρνα Άλλη Μεριά Βόλου.

"ΥΛΟΙΚΟΛΟΓΙΑ"

ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Γ.-ΦΟΙΒΟΣ ΣΑΡΓΕΝΤΗΣ
Δρ. Μηχανικός



ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΩΝ
ΑΝΩΤΑΤΩΝ ΣΧΟΛΩΝ/
ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΑ ΕΝΩΣΗ
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ



ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΤΗΣ ΓΗΣ

Περίοδος εκτέλεσης: 2014-2018

Στοιχεία επικοινωνίας: fivos.sargentis@gmail.com

Ευχαριστίες: Στην Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Ε.Μ.Π. και την Επ. Καθ. κ. Φλώρα Μπουγιατιώτη της οποίας οι παρατηρήσεις και οι επισημάνσεις ήταν ιδιαίτερα εποικοδομητικές στην διατύπωση αυτού του έργου.

ΣΑΔΑΣ-ΠΕΑ: 13^ο εβδομαδιαίο Εργαστήριο – Σεμινάριο
«ΦΥΣΙΚΗ ΔΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ»

26 Μαΐου έως 1η Ιουνίου 2018

Ξενώνας Στάμου Στούρνα Άλλη Μεριά Βόλου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος εικόνων	4
Κατάλογος πινάκων	5
1 Η οικολογική έκφραση ως κοινωνική ωρίμανση	6
2 Πράσινη αρχιτεκτονική	8
3 Ο κύκλος ζωής ενός υλικού	11
4 Πρώτες ύλες. Συλλογή, επεξεργασία βιοδιάσπαση ή ανακύκλωση	14
4.1 Στάδιο εξαγωγής.....	14
4.2 Στάδιο παραγωγής	15
4.3 Στάδιο κατασκευής.....	16
4.4 Στάδιο χρήσης.....	16
4.5 Στάδιο απόρριψης.....	18
5 Περιβαλλοντικά ζητήματα	22
5.1 Τοξικότητα	22
5.2 Ζητήματα που αφορούν την υγεία	22
5.3 Πως ενεργούν οι τοξικές ουσίες.....	26
5.4 Ραδιενέργεια	27
6 Ενσωματωμένη ενέργεια: Το κτήριο ως ενεργειακή αποθήκη	29
6.1 Τι είναι ενσωματωμένη ενέργεια (embodied energy)	29
6.2 Μέθοδοι προσδιορισμού της ενσωματωμένης ενέργειας.....	36
6.3 Το υλικό ως ενεργειακή αποθήκη	36
6.4 Ενεργειακή αξιολόγηση των υλικών στην διάρκεια του κύκλου ζωής.....	40
6.5 Η υποκειμενικότητα της ενσωματωμένης ενέργειας.....	44
6.6 Ενεργειακή οικονομία και οικολογική ισορροπία.....	45

7 Άλλα κριτήρια	47
7.1 Κατανάλωση νερού στο στάδιο της παραγωγής των υλικών.	47
7.2 Εκπομπές αέριων ρύπων στη διάρκεια του κύκλου ζωής του υλικού	47
7.3 Low-Tech αρχιτεκτονική και τα υλικά της	49
8 Αξιολόγηση και επιλογή των δομικών υλικών με οικολογικά κριτήρια	50
8.1 Αναλύσεις κόστους-οφέλους.....	50
8.2 Ανάλυση του κύκλου ζωής (Life cycle analysis / Assessment)	51
8.3 Οικολογική προτίμηση (Environmental preference method)	52
8.4 Το οικολογικό αποτύπωμα	53
8.5 Πολυκριτηριακή ανάλυση	53
8.6 Πολυκριτηριακή ανάλυση μέσω του πίνακα χρησιμότητας	55
8.7 Κατηγοριοποίηση κριτηρίων αξιολόγησης, για την εφαρμογή πίνακα χρησιμότητας πολυκριτηριακής ανάλυσης.....	56
8.8 Παρουσίαση της ποιοτικής αξιολόγησης δύο υλικών μέσω του πίνακα χρησιμότητας	62
9 Επιλεγόμενα	63
10 Βιβλιογραφία	64
10.1 Ελληνική βιβλιογραφία.....	64
10.2 Ξένα βιβλιογραφία.....	65

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Κατασκευαστική δραστηριότητα και οικοσύστημα	9
Εικόνα 2: Διάγραμμα ροής του κύκλου ζωής ενός δομικού υλικού	12
Εικόνα 3: Καθαρισμός εργοταξίου	13
Εικόνα 4: Μεταλλείο στη Μήλο.	14
Εικόνα 5: Απώλειες πρώτων υλών κατά την παραγωγή συνήθη υλικών.	15
Εικόνα 6: Το Igloo και οι συνθήκες του εσωτερικού του περιβάλλοντος	17
Εικόνα 7: Σκηνή στην έρημο.	17
Εικόνα 8: Πρώτες ύλες. Συλλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση.....	21
Εικόνα 9: Το κτήριο ως ενεργειακή αποθήκη.	30
Εικόνα 10: Σκυροδέτηση σε εργοτάξιο.	31
Εικόνα 11: Ποιοτική-ποσοτική απεικόνιση της ενσωματωμένης ενέργειας για συνήθη υλικά.	32
Εικόνα 12: Ποιοτική-ποσοτική απεικόνιση της ενσωματωμένης ενέργειας για προϊόντα ξύλου.	33
Εικόνα 13: Σκυροδέτηση πλάκας.....	34
Εικόνα 14: Ποιοτική-ποσοτική απεικόνιση της ενσωματωμένης ενέργειας και της ενσωματωμένης ενέργειας λόγω ανακύκλωσης.	35
Εικόνα 15: Κατανομή της αρχικής ενσωματωμένης ενέργειας που χρειάζονται για να κατασκευαστούν τα μέρη ενός τυπικού κτηρίου γραφείων. [πηγή: Μετάφραση και απόδοση από Cole and Kernan, 1996].....	42
Εικόνα 16: Ενσωματωμένη ενέργεια υλικών και ενέργεια συντήρησης και λειτουργίας κτηρίου (ανά τετραγωνικό μέτρο). [πηγή: Μετάφραση και απόδοση από Cole and Kernan, 1996].....	42
Εικόνα 17: Κατανομή της αρχικής ενσωματωμένης ενέργειας σε σχέση με την ενσωματωμένη ενέργεια λειτουργίας για κάθε κατασκευαστικό μέρος. [πηγή: Μετάφραση και απόδοση από Cole and Kernan, 1996].....	43
Εικόνα 18: Ενσωματωμένη ενέργεια σε GJ/m ² κάθε μέρους της κατασκευής (αρχική, έως την ενσωμάτωση στην κατασκευή). [πηγή: Μετάφραση και απόδοση από Cole and Kernan, 1996].....	43
Εικόνα 19: Ποιοτική-ποσοτική απεικόνιση της κατανάλωσης νερού (σε lt) για την παραγωγή 1kg υλικού.	47

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Ενσωματωμένη ενέργεια συνήθη υλικών κατά βάρος και όγκο.....	38
Πίνακας 2: Ενσωματωμένη ενέργεια συνήθη υλικών κατά βάρος και όγκο.....	39
Πίνακας 3: Ενσωματωμένη ενέργεια σε προϊόντα ξύλου	39
Πίνακας 4: Ενσωματωμένη ενέργεια σε κουφώματα παραθύρων 1,20x1,20m	40
Πίνακας 6: Κριτήρια αξιολόγησης κατάταξης πρώτων υλών	58
Πίνακας 7: Κριτήρια αξιολόγησης κατάταξης παραγωγικής διαδικασίας	59
Πίνακας 8: Κριτήρια αξιολόγησης κατάταξης της εφαρμογής και χρήσης ενός υλικού	60
Πίνακας 9: Κριτήρια αξιολόγησης κατάταξης της απόρριψης ενός υλικού	61
Πίνακας 10: Πίνακας χρησιμότητας. Ποιοτική-ενδεικτική αξιολόγηση με οικολογικά κριτήρια ωμόπλινθου και οπτόπλινθου.....	62

1 Η οικολογική έκφραση ως κοινωνική ωρίμανση

Στην οικονομική θεωρία, το επίπεδο οικονομικής ανάπτυξης χρησιμοποιείται ως δείκτης για την εκτίμηση της κοινωνικής ευημερίας. Ωστόσο, ο ρυθμός της ανάπτυξης μπορεί να συνοδεύεται από δυσμενείς επιπτώσεις στην ευημερία του κοινωνικού συνόλου. Τέτοιες επιπτώσεις είναι για παράδειγμα, ο κίνδυνος που υπάρχει για την δημόσια υγεία από την μόλυνση του περιβάλλοντος, ο επικίνδυνος περιορισμός της βιοποικιλότητας και η εξάντληση των φυσικών πόρων.

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, αναπτύχθηκε η έννοια της **περιβαλλοντικής διατήρησης**, δηλαδή η μακροχρόνια διατήρηση της **βιωσιμότητας** του οικοσυστήματος όπως επίσης η έννοια της **αειφορίας**: να καλύπτονται οι ανάγκες του παρόντος χωρίς να υπονομεύεται η κάλυψη των αναγκών του μέλλοντος.

Έχει παρατηρηθεί ότι η κοινωνία αναπτύσσει κριτική αντίληψη επάνω στις τεχνολογικές εφαρμογές (άρα οικολογική προδιάθεση) όταν ωριμάσει σε τέτοιο βαθμό έτσι ώστε να έρχεται αντιμέτωπη με τους ρύπους που παράγει. Το φαινόμενο αυτό, όπως περιγράφεται στην Περιβαλλοντική Ψυχολογία, είναι «σαν να περιμένεις να πάρει φωτιά ένα κτήριο για να μελετήσεις τις νέες διατάξεις ασφαλείας των κτηρίων από πυρκαγιά». Αλλά συνεχίζει ότι «...είναι μάλλον ανήθικο να περιμένεις να πάρει φωτιά ένα κτήριο ώστε να σου δοθούν τα κριτήρια του πως θα μελετήσεις τις νέες διατάξεις ασφαλείας των κτηρίων από πυρκαγιά» (Cander 1988).

Το κτήριο ως δράση του ανθρώπου επιδρά στο περιβάλλον αλλά και τον ίδιο τον άνθρωπο. Μπορεί το κτήριο να επιδρά αρνητικά στον άνθρωπο και στο περιβάλλον κατά τις φάσεις της δημιουργίας του, της λειτουργίας του και να προκύπτει ως

απόβλητο μετά τη χρήση του. Για το λόγο αυτό αναπτύσσονται διάφορα κριτήρια που καθορίζουν την οικολογική συμπεριφορά του κτηρίου έτσι ώστε: να βελτιστοποιείται η θετική επίδραση και να ελαχιστοποιούνται οι ανεπιθύμητες παράμετροι που μπορεί να έχει ένα κτήριο έναντι του ανθρώπου και του φυσικού οικοσυστήματος.

2 Πράσινη αρχιτεκτονική

Στον τομέα της δόμησης, έναν εξαιρετικά ρυπογόνο τομέα της σύγχρονης δραστηριότητας, η στροφή προς τις βιώσιμες καθαρές τεχνολογίες είναι δυνατόν να επιφέρει άμεσα-θετικά αποτελέσματα. Ο κτιριακός τομέας είναι, ανάμεσα στο σύνολο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, ο μεγαλύτερος καταναλωτής ενέργειας και φυσικών πόρων, ενώ συγχρόνως, τα κτίρια παράγουν τεράστιες ποσότητες στερεών, υγρών και αέριων αποβλήτων. Τα παραπάνω έχουν άμεσες συνέπειες στο φυσικό περιβάλλον και το κλίμα, τόσο σε τοπικό επίπεδο, όσο και σε παγκόσμιο.

Τα κτήρια καταναλώνουν το 1/3 της ενέργειας που παράγεται στις αναπτυγμένες χώρες και η ετήσια παραγωγή αστικών αποβλήτων είναι σχεδόν ίση με τα κατασκευαστικά απόβλητα. Αυτό γιατί οι ανάγκες μεταβάλλονται με ταχείς ρυθμούς και ο άνθρωπος απαιτεί ανανέωση των κατασκευών και συνθήκες άνεσης κάθε εποχή του χρόνου.

Ο όρος οικολογική (πράσινη) αρχιτεκτονική αναφέρεται και στη βιοκλιματική αρχιτεκτονική, η οποία αξιοποιεί τα θετικά κλιματικά δεδομένα με στόχο την κατασκευή κτιρίων, στα οποία θα επικρατούν συνθήκες θερμικής, οπτικής και ακουστικής άνεσης με την ελάχιστη τεχνολογική υποστήριξη.

Στα πλαίσια αυτής της προβληματικής, τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες πόλεις αποκτούν ιδιαίτερη σημασία, καθώς σε κάθε φάση της "ζωής" τους -είτε ως ακατέργαστες πρώτες ύλες, είτε ως επεξεργασμένα προϊόντα ή σύνθετα στοιχεία, είτε τέλος ως οικοδομικά απορρίμματα / απόβλητα- καταναλώνουν, σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό, ενέργεια και φυσικούς πόρους και επιδρούν στο φυσικό περιβάλλον.

Η επιλογή των υλικών ενός κτηρίου εξαρτάται άμεσα από μια σειρά κατασκευαστικών, αισθητικών, οικονομικών, περιβαλλοντικών, ενεργειακών κ.α. παραμέτρων.

Ο κύκλος των εργασιών που συνδέεται με την παραγωγή, τη διακίνηση, αλλά και την χρήση των δομικών υλικών, είναι πολυσύνθετος και κατ' επέκταση τα κριτήρια για την οικολογική συμπεριφορά των υλικών δεν είναι ιδιαίτερα εύκολο να εκφραστούν ποσοτικά.



Εικόνα 1: Κατασκευαστική δραστηριότητα και οικοσύστημα

Παράλληλα, τα υλικά διαμορφώνουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα των κτηρίων και μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στην υγεία των χρηστών. Επίσης, καθορίζουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης και την ενεργειακή κατανάλωση, τόσο σε επίπεδο κτιρίων, όσο και σε επίπεδο αστικού περιβάλλοντος.

Το δομημένο περιβάλλον αποτελεί υποσύστημα του φυσικού οικοσυστήματος, από το οποίο πραγματοποιείται εισαγωγή πρώτων υλών, νερού και ενέργειας. Συγχρόνως, το δομημένο

περιβάλλον εξάγει προς ο φυσικό οικοσύστημα απόβλητα, απώλειες ενέργειας, ενδεχομένως τοξικούς ρύπους και τα ίδια τα υλικά ως απορρίμματα.

3 Ο κύκλος ζωής ενός υλικού

Ο κύκλος ζωής ενός οικοδομικού υλικού περιέχει τα εξής στάδια:

- Εξαγωγή (Συλλογή-εξόρυξη)
- Παραγωγή (Βιομηχανική παραγωγή-επεξεργασία)
- Κατασκευή
- Χρήση
- Κατεδάφιση (Απόρριψη, Επανάχρηση, ανακύκλωση, βιοδιάσπαση)

Στο εγχείρημα της οικολογικής δόμησης, η κάθε προσπάθεια ελέγχου των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούν τα κτήρια, θα ήταν απαραίτητη να εκτιμηθεί σε όλο το φάσμα του κύκλου ζωής τους και των υλικών τους.

Στα πλαίσια αυτά, το κτήριο, ως λίκνο της μετενσάρκωσης των υλικών, πλεονεκτεί σε σχέση με άλλες διεξόδους. Γι' αυτό, κριτήριο επιλογής είναι και ο προβλεπόμενος χρόνος ζωής του κτηρίου και των υλικών του και η δυνατότητα επανάχρησής του. Έτσι, ένα από βασικό θέμα αξιολόγησης είναι ο χρόνος ζωής που θέλουμε να έχει η κατασκευή η οποία κατασκευάζεται.

Αν για παράδειγμα κατασκευάζεται μια προσωρινή κατασκευή, η περιβαλλοντική επίπτωση των υλικών με μικρό χρόνο ζωής είναι πολύ μικρότερη από υλικά που έχουν μεγάλο χρόνο ζωής, αν όμως φτιάξουμε ένα κτήριο με ευέλικτο κέλυφος που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί αντί να κατεδαφιστεί ισχύει το αντίστροφο.



Εικόνα 2: Διάγραμμα ροής του κύκλου ζωής ενός δομικού υλικού

Ένα επιπλέον πρόβλημα που προκύπτει είναι η αντοχή των υλικών στον χρόνο γιατί τα υλικά δεν έχουν πιστοποιηθεί στις νέες συνθήκες του περιβάλλοντος, πράγμα που δυσκολεύει τον προσδιορισμό του χρόνου ζωής τους.

Στα νέα αναπτυσσόμενα υλικά, γίνεται προσπάθεια να εισαχθούν στο σκεπτικό της παραγωγής τους διάφορα περιβαλλοντικά κριτήρια, αλλά επειδή ιδεατά υλικά δεν υπάρχουν, ο μηχανικός θα πρέπει να εντάσσει στο κτήριο οικοδομικά υλικά που να μπορούν να ικανοποιούν ολικά ή και μερικά ορισμένους δείκτες (κριτήρια) σε στάδια του κύκλου ζωής του κτηρίου όπως:



Εικόνα 3: Καθαρισμός εργοταξίου

Προϊόντα που απορρίπτονται χωρίς να χρησιμοποιούνται σπαταλούν ενέργεια και κατά την παραγωγή τους και κατά την απόρριψή τους, η οποία όμως πρέπει να συμπεριληφθεί στην συνολική ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών του έργου

- Η ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών (εξαρτάται κυρίως από την διαδικασία παραγωγής αλλά και της μεταφοράς τους)
- Η ενέργεια που καταναλώνεται την λειτουργία του κτηρίου
- Η εξοικονόμηση, η επανάχρηση και η ανακύκλωση των πρώτων υλών
- Ο χρόνος ζωής
- Ο έλεγχος της τοξικής συμπεριφοράς σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής
- Η παρουσία ραδιενέργειας στα υλικά του κτηρίου
- Άλλες παράμετροι όπως οι εκπομπές των υλικών σε CO₂ , SO₂ και NO_x κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής τους.

4 Πρώτες ύλες. Συλλογή, επεξεργασία βιοδιάσπαση ή ανακύκλωση

4.1 Στάδιο εξαγωγής

Ο τρόπος διαχείρισης των πρώτων υλών δηλαδή: ποιες και πόσες πρώτες ύλες συλλέγουμε, πως τις επεξεργαζόμαστε και πως «τις κάνουμε σκουπίδια», αποτελεί έναν από τους βασικούς δείκτες για την οικολογική συμπεριφορά των υλικών.

Έτσι, για παράδειγμα, το ξύλο (θεωρητικά) είναι μια ανανεώσιμη πρώτη ύλη μιας και ορθολογική υλοτόμηση μπορεί να δώσει αέναα αποθέματα ξύλου σε βάθος χρόνου (αν και η εντατική υλοτόμηση που απαιτείται για να καλύψει τις σημερινές ανάγκες δεν το καθιστά ανανεώσιμο). Αντίθετα, τα μεταλλεύματα δεν αποτελούν ανανεώσιμη πρώτη ύλη μιας και υπάρχουν όρια και συγκεκριμένα αποθέματα στην φύση.

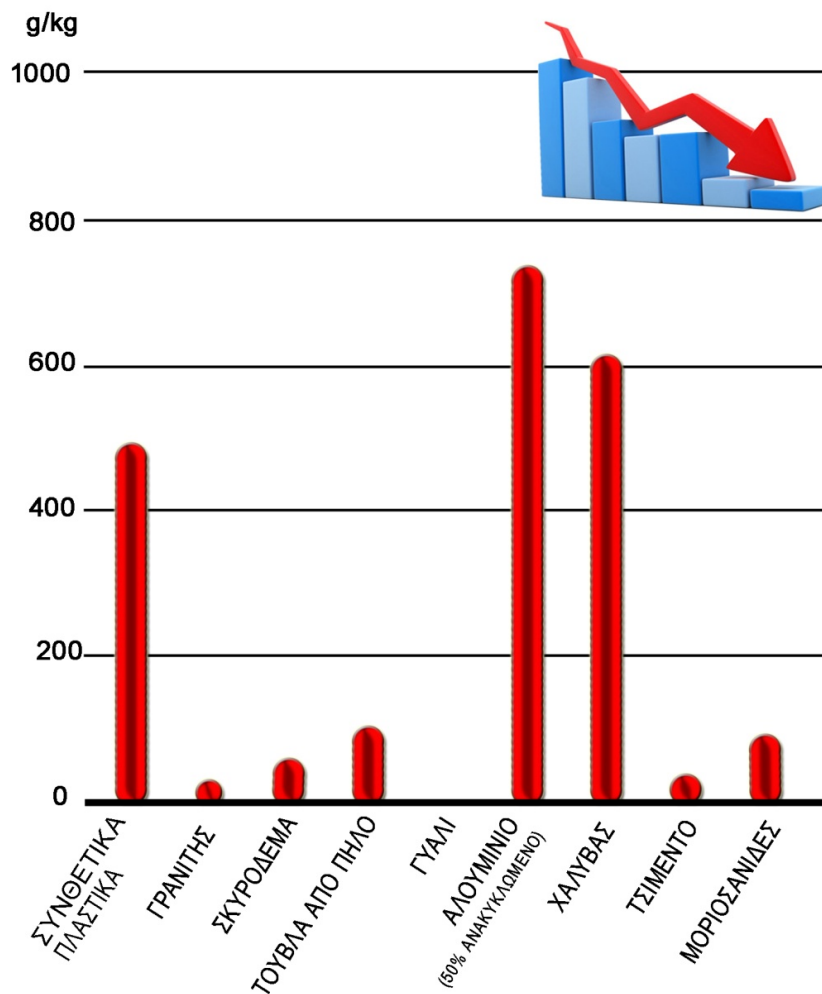


Εικόνα 4: Μεταλλείο στη Μήλο.

Η συλλογή πρώτων υλών απαιτεί σημαντικά ποσά ενέργειας τα οποία δεν είναι καθόλου εύκολο να αναχθούν κατ' όγκο ή κατά βάρος του υλικού που θα έρθει τελικά στο εργοτάξιο.

4.2 Στάδιο παραγωγής

Ένα από τα προβλήματα που προκύπτει στην διαδικασία της παραγωγής των υλικών είναι η σπατάλη της πρώτης ύλης κατά την διαδικασία παραγωγής τους. Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής του κάθε υλικού, η διαδικασία παραγωγής καταναλώνει μεγάλο μέρος των πρώτων υλών που συλλέγονται ή εξορύσσονται.



Εικόνα 5: Απώλειες πρώτων υλών κατά την παραγωγή συνήθη υλικών.

Σημαντικό κομμάτι επίσης της παραγωγικής διαδικασίας είναι να αξιολογηθεί και η ποσότητα των πρώτων υλών που απαιτούνται για να καλύψουν συγκεκριμένες ανάγκες στην κατασκευή. Αν για παράδειγμα για να καλυφθεί η ίδια ανάγκη απαιτείται περισσότερη μάζα ή όγκος από το υλικό Α σε σχέση με το αντίστοιχο υλικό Β, αυτό πρέπει να αξιολογηθεί.

Σημειώνεται ότι πρέπει να ελέγχεται αν κατά την διάρκεια του σταδίου παραγωγής μπορεί να εμφανίζεται τοξική συμπεριφορά σε υποπροϊόντα της παραγωγής ή στο ευρύτερο περιβάλλον του χώρου παραγωγής.

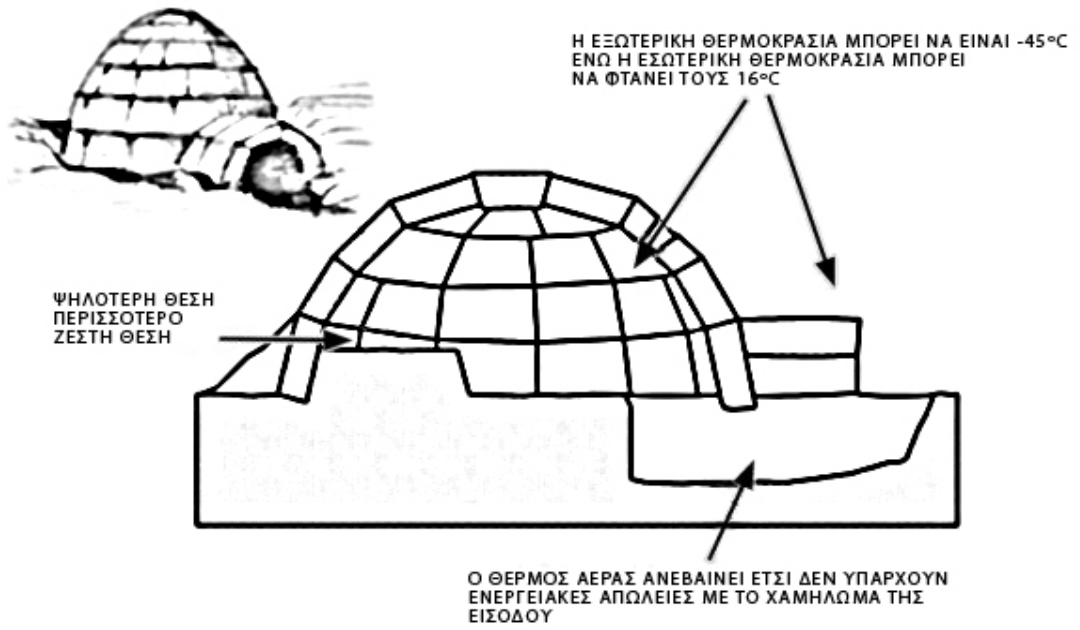
4.3 Στάδιο κατασκευής

Και στην φάση της κατασκευής πρέπει να ελέγχεται αν τα υλικά εμφανίζουν τοξική συμπεριφορά (όπως για παράδειγμα τα χρώματα με οργανικούς διαλύτες πριν την σταθεροποίησή τους).

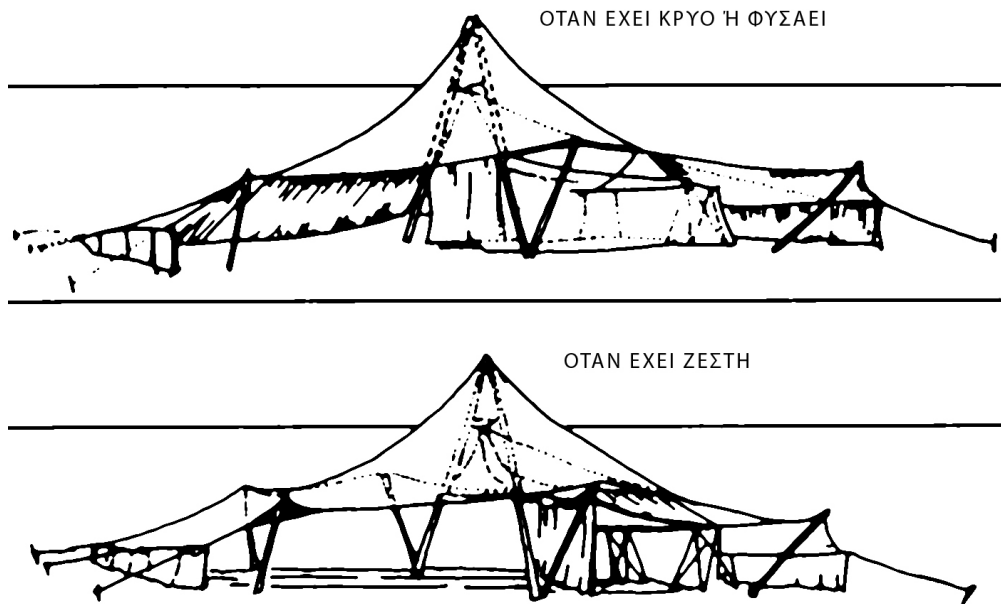
4.4 Στάδιο χρήσης

Πρωταρχικό στοιχείο στην χρήση ενός υλικού είναι το υλικό να υπάρχει έτσι ώστε να το χρησιμοποιούμε. Υλικά που αλλοιώνονται-αποσυντίθενται γρήγορα επάνω στην κατασκευή και χρειάζονται αντικατάσταση σε 5-10 χρόνια δηλαδή πολύ νωρίτερα από το προβλεπόμενο χρόνο ζωής του κτηρίου, δεν είναι καλή επιλογή.

Οι συνθήκες που επικρατούν στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων κατά τις διαφορετικές περιόδους του έτους (χειμερινή, θερινή, ενδιάμεσες) σχετίζονται άμεσα με τη μετάδοση θερμότητας διαμέσου του κελύφους τους, με αγωγή, μεταφορά ή/και ακτινοβολία. Οι φυσικές και οπτικές ιδιότητες των υλικών είναι αυτές που καθορίζουν τη συμπεριφορά τους ως προς τις διαφορετικές διαδικασίες μετάδοσης θερμότητας.



Εικόνα 6: Το Igloo και οι συνθήκες του εσωτερικού του περιβάλλοντος



Εικόνα 7: Σκηνή στην έρημο.

Η θερμική ενέργεια που χάνεται περιορίζεται με τη χρήση θερμομονωτικών υλικών και τη χρήση διπλών υαλοπινάκων.

Η εκμετάλλευση των υλικών με καλή θερμική συμπεριφορά, καθώς επίσης και ο συνολικός σχεδιασμός ενεργειακής εκμετάλλευσης των κτιρίων (βιοκλιματική συμπεριφορά, εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας, εκμετάλλευση αιολικής ενέργειας κτλ.) είναι στοιχεία που χαρακτηρίζουν το κτίριο ως έξυπνο και οικολογικό.

Για να επιλεγούν τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στο κέλυφος ενός κτιρίου με κριτήριο τη βέλτιστη θερμική συμπεριφορά του, πρέπει να γίνουν σενάρια (υποθέσεις εργασίας) και για κάθε μία από αυτές τις υποθέσεις, να επιλυθεί η θερμική συμπεριφορά του κτιρίου με τα κατάλληλα λογισμικά επεξεργασίας.

4.5 Στάδιο απόρριψης

Τα απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων είναι από τα πιο βαριά και ογκώδη απόβλητα που παράγονται στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Αντιπροσωπεύουν το **25% - 30%** περίπου του συνόλου των παραγόμενων αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και αποτελούνται από υλικά, όπως σκυρόδεμα, σίδηρο, τούβλα, γύψο, ξύλο, γυαλί, μέταλλα, πλαστικά, αμίαντο και χώμα.

Τα απόβλητα της οικοδομής – κοινώς γνωστά και ως «μπάζα» προέρχονται από τεχνικά έργα κατασκευής και ανακαίνισης υλικά κατεδαφισθέντος κτιρίου ή τεχνικού έργου και από τεχνικά έργα κατεδάφισης.

Είναι μη βιο-αποδομήσιμα αδρανή υλικά τα οποία είναι ανακυκλώσιμα και περιέχουν αδρανή κοκκώδη υλικά (σκυρόδεμα, τούβλα, άσφαλτος, γυαλί, κλπ.), απορρίμματα ξυλείας, χάλυβα, σίδηρο και μη σιδηρούχα μέταλλα και χαρτί, αλουμίνιο, πλαστικά, κλπ. Συγκεκριμένα ποσοτικά στοιχεία δεν

υπάρχουν καθώς υπάρχει ασυμφωνία στα στοιχεία που δημοσιεύει το ΥΠΕΧΩΔΕ και αυτά που δημοσιεύει η ΕΕ. Ενδεικτικά, στην Αττική παράγονται ετησίως 2,5 εκατ. τόνοι απόβλητα οικοδομής, στην Ελλάδα παράγονται ετησίως 4,5-6 εκατ. τόνοι, ενώ στην Ευρώπη παράγονται ετησίως 180-300 εκ. τόνοι. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από σκυρόδεμα (οπλισμένο ή άοπλο) κατά 60-70%, τούβλα κατά 30-35% και ανακυκλώσιμα κατά 5-10%. Στην Ελλάδα σήμερα ανακυκλώνεται λιγότερο από το 5%, όταν στην Ευρώπη κατά μέσο όρο ανακυκλώνεται το 30%. Στην Ευρώπη υπάρχουν χώρες που έχουν εκπληκτικές επιδόσεις στην ανακύκλωση των αποβλήτων της οικοδομής. Παραδείγματος χάριν, η Ολλανδία ανακυκλώνει το 90%, το Βέλγιο το 87% και η Δανία το 81%.

Αφού παραχθούν τα υλικά, τοποθετηθούν στην κατασκευή και ολοκληρώσουν τον κύκλο ζωής τους σε αυτή, προκύπτουν τα ερωτήματα:

- διάλυση και επαναχρησιμοποίηση;
- κατεδάφιση και ανακύκλωση ;
- ή κατεδάφιση και απόρριψη;

Η επαναχρησιμοποίηση οικοδομικών υλικών έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να μειώσει κατά 95% την ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών (βλ. σχετικά επόμενη θεματική ενότητα του κειμένου) και ελαχιστοποιεί τα απόβλητα της κατασκευής.

Κατασκευαστικά στοιχεία που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν με ευχέρεια είναι:

- Δομικά στοιχεία από λίθους χωρίς κονίαμα (δόμηση εν ξηρώ, π.χ. ξερολιθιά)
- Ορισμένα μονωτικά (εφ' όσον δεν έχουν υποστεί γήρανση και είναι σε καλή κατάσταση)

- Ξυλεία φέροντος οργανισμού
- Προϊόντα γύψου (γυψοσανίδες κ.λπ.)

Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δομικά στοιχεία, όπως πόρτες, παράθυρα, αλλά και είδη υγιεινής και έπιπλα.

Τούβλα, τσιμέντο και σκυρόδεμα είναι βέβαιο ότι δεν ανακυκλώνονται εύκολα, ούτε μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε νέες κατασκευές. Είναι δυνατή όμως η επεξεργασία τους και η επαναχρησιμοποίησή τους σαν αδρανή υλικά διαμόρφωσης οριζόντιων επιφανειών και υλικών οδοποιίας (second-hand aggregate).

Όσον αφορά την ανακύκλωση, με αυτήν γίνεται μία απόπειρα να μιμηθεί ο άνθρωπος τους κύκλους της φύσης οι οποίοι αποτελούν παραδείγματα αποτελεσματικής λειτουργίας και σταθερότητας. Οι φυσικοί κύκλοι δε τροφοδοτούνται με πρώτες ύλες και δεν δημιουργούν απόβλητα ενώ βρίσκονται σε υποδειγματική ισορροπία με τη φύση.

Τα ανακυκλωμένα υλικά διακρίνονται σε:

- Πρωτογενή: υλικά που ανακτώνται από υλικά «απορρίμματα»-κατεδάφισης.
- Δευτερογενή: υλικά που προκύπτουν ως παραπροϊόντα άλλων διεργασιών (σκωρίες, πριονίδι)
- Με την διαδικασία της δευτερογενούς ανακύκλωσης, η κατασκευή γίνεται δέκτης υλικών «απορριμμάτων» και τα υλικά που εντάσσονται σε αυτή έχουν προκύψει από κάποια άλλη παραγωγική διαδικασία. Για παράδειγμα, έχουν αξιοποιηθεί τα πριονίδια του ξύλου για την παραγωγή ινοσανίδων και μοριοσανίδων ενώ γίνονται προσπάθειες να απορροφηθούν και άλλα υλικά, έτσι ώστε το κτήριο να αποτελέσει μία αποθήκη άχρηστων υλικών

και να μην απαιτείται εξόρυξη συλλογή και παραγωγή νέων υλικών.



Εικόνα 8: Πρώτες ύλες. Συλλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση.

Άρα όσον αφορά τις πρώτες ύλες, είναι ζητούμενο η ορθολογική χρήση ανανεώσιμων πρώτων υλών με τις ελάχιστες απώλειες, και η χρήση υλικών που θα επαναχρησιμοποιούνται και θα ανακυκλώνονται με ευχέρεια.

5 Περιβαλλοντικά ζητήματα

5.1 Τοξικότητα

Τοξικότητα είναι η ιδιότητα ορισμένων υλικών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές και αποτελούνται, περιέχουν ή εκλύουν επιβλαβείς στερεές, υγρές και αέριες ουσίες στο έδαφος, το νερό και τον αέρα σε ένα ή περισσότερα στάδια του κύκλου ζωής του. (Anink, et al., 1996: 17)

Οι τοξικές ουσίες, όταν απελευθερώνονται κατά την παραγωγή της ή τη χρήση τους, επηρεάζουν το περιβάλλον, την ποιότητα του εσωτερικού αέρα ενός κτηρίου και την υγεία των ανθρώπων. Συγχρόνως, είναι ιδιαίτερα βλαπτικές και για την χλωρίδα και την πανίδα και κατ' επέκταση, τα οικοσυστήματα.

5.2 Ζητήματα που αφορούν την υγεία

Στα ζητήματα που αφορούν στην ανθρώπινη υγεία περιλαμβάνεται τόσο η υγεία των χρηστών των χώρων, όσο και των ανθρώπων που εργάζονται στα αρχικά στάδια του κύκλου ζωής των υλικών, δηλαδή στην εξαγωγή, την παραγωγή και την κατασκευή. Η υγεία των ανθρώπων, ιδιαίτερα στους εσωτερικούς χώρους, επηρεάζεται αρνητικά από τις εκπομπές επιβλαβών χημικών ενώσεων που περιέχονται σε διάφορα υλικά (π.χ. φορμαλδεΐδη από μορισσανίδες και βαφές).

Από έρευνες προέκυψε ότι το 37% των δομικών προϊόντων είναι επιβλαβή για την υγεία (μέση τοξικότητα) ενώ το 2% είναι τοξικά ή λίαν τοξικά. Στα επιβλαβή για την υγεία περιλαμβάνονται προϊόντα που περιέχουν ουσίες ύποπτες ως καρκινογόνες και με δυνατότητα να προκαλούν μεταλλάξεις. Έχει επίσης αποδειχθεί ότι το 8% των δομικών προϊόντων εμπίπτει στην κατηγορία των διαβρωτικών και ερεθιστικών ουσιών, που φέρουν στην συσκευασία τους το σχετικό σήμα που προβλέπεται από την οδηγία 67/548/EE για τις επικίνδυνες ουσίες.

Η ποιότητα του αέρα του εσωτερικού χώρου εξαρτάται από τα υλικά κατασκευής. Πολλές φορές χρώματα, συγκολλητικές ουσίες και άλλα υλικά που μπαίνουν στη τελική φάση της κατασκευής περιέχουν πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds - VOCs) οι οποίες είναι ιδιαίτερα τοξικές. Για το λόγο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντική η σταθεροποίηση των βαφών που περιέχουν πτητικές οργανικές ενώσεις να γίνεται πριν το σπίτι κατοικηθεί.

Άλλο πρόβλημα του εσωτερικού χώρου του κτηρίου είναι ότι σε ορισμένες ξύλινες κατασκευές περιέχονται φορμαλδεΰδες, οι οποίες είναι δυνατόν να εκπέμπονται από το ξύλο έως και επτά χρόνια μέχρι να απαλειφτούν. Τότε το κτήριο παίρνει τον χαρακτήρα του "άρρωστου κτηρίου" (Sick Building Syndrome) και έχει ως αποτέλεσμα μια σειρά συμπτωμάτων που οφείλονται στην κακή ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, π.χ. ερεθισμό των ματιών, της μύτης και του λαιμού, κόπωση, πονοκεφάλους, ζαλάδα, ναυτία, αλλεργίες και παθήσεις του αναπνευστικού συστήματος. (Berge, 2003: 142; Smith, et al., 1998: 133)

Τα πετροχημικά που χρησιμοποιούνται για τα περισσότερα πλαστικά και τις συγκολλητικές ουσίες είναι συχνά τοξικά. Σχεδόν όλες οι πετροχημικές βαφές κόλλες και ρητίνες που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή οικοδομικών υλικών είναι από δομικές αλυσίδες του στυρένιου και της βενζίνης οι οποίες είναι υψηλά τοξικές και καρκινογόνες κατά τη διάρκεια της κατασκευής-χρήσης τους. Αυτό γίνεται αντιληπτό και από τις έντονες οσμές (αρωματικοί υδρογονάνθρακες) που διαχέονται στις φάσεις αυτές.

Έμμεσες ενδείξεις για την τοξικότητα μίας ουσίας εκτός από τη τοξική της δράση είναι:

- η κινητικότητα της στα διάφορα μέσα (εξαρτάται από τη διαλυτότητά της στο νερό, τη σχετική πυκνότητα του υγρού, το κινηματικό ιξώδες, την πίεση ατμών και τη σχετική πυκνότητα των ατμών)
- ο χρόνος παραμονής στο περιβάλλον (εξαρτάται από τη χημική σταθερότητα και τη φυσική ή βιολογική δυνατότητα διάσπασης της ουσίας)
- η βιοσυσσωρευτική τάση (εξαρτάται από το χρόνο παραμονής στο περιβάλλον και τη λιποφιλικότητα).
- η τασιενεργός δράση (ουσίες με μεγάλη τασιενεργό δράση μειώνουν την επιφανειακή τάση όταν προστίθενται σε ένα υγρό)

Η κινητικότητα, η χημική σταθερότητα, η τασιενεργός δράση και η τοξικότητα, είναι ιδιότητες ανεπιθύμητες για το περιβάλλον, αλλά επιθυμητές σε ορισμένες χρήσεις στις κατασκευές.

Μεγάλη κινητικότητα, πτητικότητα, χημική αδράνεια και σταθερότητα, είναι ιδιότητες επιθυμητές για τους διαλύτες, όπως είναι ορισμένοι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες (διχλωρομεθάνιο κ.λπ.). Οι ουσίες αυτές έχουν τοξική, καρκινογόνο και μεταλλαξιογόνο δράση και ο μεγάλος χρόνος παραμονής τους και η βιοσυσσωρευτική τους τάση τις καθιστά ιδιαίτερα τοξικές.

Μεγάλη χημική σταθερότητα, άρα και χρόνο παραμονής στο περιβάλλον, έχουν ουσίες που χρησιμοποιούνται ως σταθεροποιητές ασταθών υλικών (προστασία από τη διάβρωση και την οξειδωση) ως αντιπυρικά για το ξύλο και τα συνθετικά υλικά, ως πρόσθετα στα συνθετικά προϊόντα, τα βερνίκια τις κόλλες για τη βελτίωση των ελαστικών και των πλαστικών ιδιοτήτων τους. Τέτοιου είδους ουσίες είναι τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB) που είναι ταυτόχρονα βιοσυσσωρεύσιμα, τοξικά, καρκινογόνα και μεταλλαξιογόνα.

Προϊόντα που περιλαμβάνουν τασιενεργές ουσίες είναι προϊόντα καθαρισμού και γαλακτοματοποιητές (που επιτρέπουν την καλύτερη δυνατή μίξη διαφορετικών υλικών και μέσα διαχωρισμού επιφανειών). Τασιενεργές ουσίες χρησιμοποιούνται επίσης για την αύξηση της ρευστότητας του σκυροδέματος και τη βελτίωση της αντοχής του. Τέτοιου τύπου ουσίες είναι τα ορυκτέλαια, τα ορυκτέλαια με πρόσθετα, τα γαλακτώματα ορυκτελαίου σε νερό και του νερού σε ορυκτέλαιο. Οι τασιενεργές ουσίες είναι ιδιαίτερα τοξικές στο υδάτινο περιβάλλον γιατί μειώνουν την επιφανειακή τάση του νερού και καταστρέφουν τους μικροοργανισμούς που ζουν στην επιφάνειά του.

Η τοξικότητα, είναι ιδιότητα επιθυμητή για τα βιοκτόνα που χρησιμοποιούνται ως συντηρητικά του ξύλου, ως συστατικά μυκητοκτόνων επιχρισμάτων και ως βιοσταθεροποιητές σε συνθετικά προϊόντα που περιέχουν «βιοαποικοδομήσιμα» συστατικά (πλαστικοποιητές, φωτοσταθεροποιητές, ενισχυτικά της αντοχής). Ως βιοκτόνα χρησιμοποιούνται μεταξύ άλλων η φορμαλδεΰδη, φαινολικές ενώσεις, ανόργανες και οργανικές ενώσεις κασσίτερου.

Η πλειονότητα των δομικών προϊόντων δεν περιέχουν μόνο ένα, αλλά δύο ή περισσότερα συστατικά που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και δρουν σωρευτικά. Το ίδιο ισχύει και για προϊόντα που χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα ή σχεδόν ταυτόχρονα στις κατασκευές.

Έτσι, η κινητικότητα των βαρέων μετάλλων αυξάνεται μέσα σε όξινο περιβάλλον, ο χρόνος των βιοαποικοδομήσιμων ουσιών επιμηκύνεται παρουσία βιοκτόνων, η τοξικότητα ορισμένων ουσιών αυξάνεται όταν η δράση τους συνδυαστεί με τη δράση άλλων ουσιών (προσθετική δράση συνεργεία) και η παρουσία διαλυτών προκαλεί την ελευθέρωση τοξικών συστατικών που μπορεί να είναι δεσμευμένα στο πλέγμα ενός πολυμερούς.

Είναι προφανές ότι μία ενδεχόμενη χρήση τοξικών ουσιών δεν γίνεται σκόπιμα, αλλά λόγω άγνοιας της συμπεριφοράς των ουσιών.

Για την τοξικολογική εξέταση των δομικών προϊόντων καθώς και για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων υπάρχουν διάφορες τυποποιημένες μέθοδοι χωρών και οργανισμών (DIN 38414, μέθοδος TCLP Toxicity Characteristic Leaching Procedure) κ.α.

Όμως, τα περισσότερα σύγχρονα υλικά δεν έχουν συνυπάρξει σε βάθος χρόνου με τον άνθρωπο και η ύπαρξή τους στην κατασκευή (συνύπαρξή τους με τον άνθρωπο) υπάρχει το ενδεχόμενο να είναι τοξική. Για τον λόγο αυτό αναπτύσσονται και σήμερα νέοι κανονισμοί και πειραματικές διατάξεις, στην προσπάθεια να εντοπιστεί και να ταξινομηθεί κατά κατηγορίες η τοξικότητα διαφόρων ουσιών και των υλικών που τις περιέχουν. Λόγω, όμως, της ασάφειας των πειραμάτων, της δυσκολίας αναγωγής αποτελεσμάτων σε βάθος χρόνου κ.α. παραμέτρων, υπάρχουν-γενικά επιφυλάξεις για τα αποτελέσματα μετρήσεων της τοξικότητας.

5.3 Πως ενεργούν οι τοξικές ουσίες

Με τον όρο τροφική αλυσίδα χαρακτηρίζεται γενικά η ακολουθία της μεταφοράς ύλης και ενέργειας από οργανισμό σε οργανισμό με τη μορφή τροφής. Πρόκειται δηλαδή για ακολουθία (αλυσίδα) οργανισμών, που υφίσταται σε κάθε οικοσύστημα, όπου οι επόμενο τρέφονται από τους προηγούμενους.

Κατά την ροή της ενέργειας από μια τροφική στάθμη στην επόμενη, η διαθέσιμη ενέργεια ελαττώνεται. Σε κάθε βήμα, ένα μέρος από το εισερχόμενο ενεργειακό ισοδύναμο της τροφής, χρησιμοποιείται για τις ενεργειακές ανάγκες της στάθμης και αποβάλλεται ως θερμότητα με την αναπνοή ή ως απόρριμμα, ενώ το υπόλοιπο ενσωματώνεται ως χημική ενέργεια στην παραγόμενη βιομάζα.

Γενικά, η αποδοτικότητα κυμαίνεται γύρω στο 10% επομένως μόνο το 10% της χημικής ενέργειας που εισέρχεται σε μια τροφική στάθμη είναι διαθέσιμη.

Η απώλεια ενέργειας κατά μήκος της τροφικής αλυσίδας ευθύνεται για το φαινόμενο που ονομάζεται βιολογική μεγέθυνση και αυξάνει τις τοξικές επιπτώσεις των ρυπαντικών ουσιών που δεν διασπώνται.

Όταν π.χ. μια χημική ουσία που δεν διασπάται εμφανίζεται στο θαλάσσιο φυτοπλαγκτόν σε συγκέντρωση α, η συγκέντρωσή της στο ζωοπλαγκτόν (θηρευτή του φυτοπλαγκτόν) θα είναι 10α και η συγκέντρωση στα μικρά ψάρια (θηρευτές του ζωοπλαγκτόν) θα είναι 100α. Το ίδιο θα συμβεί και στα επόμενα βήματα της τροφικής αλυσίδας με αποτέλεσμα την μεγάλη συγκέντρωση της ουσίας στους ανώτερους θηρευτές όπως ο άνθρωπος.

Για τον λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγονται τα υλικά που εμπεριέχουν τοξικές ουσίες οι οποίες μπορεί να απελευθερώνονται κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής τους, ή να απορρίπτονται μετά την χρήση τους, μπαίνοντας στην τροφική αλυσίδα

5.4 Ραδιενέργεια

Άλλος κίνδυνος που μπορεί να παρουσιαστεί στα υλικά του κτηρίου είναι η ύπαρξη ραδιενέργειας σε αυτά.

Η φυσική ραδιενέργεια που παράγεται από ραδόνιο, αλλά κυρίως η ευρεία η χρήση της ραδιενέργειας (ερευνητική, διαγνωστική, θεραπευτική, τεχνολογική κ.λπ.) επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στον τομέα του περιβάλλοντος.

Η ανεξέλεγκτη αποβολή ραδιενεργών πηγών ή και αποβλήτων δημιουργεί τα τελευταία χρόνια προβλήματα στις βιομηχανίες χάλυβα και ιδιαίτερα στις χαλυβουργίες ανακύκλωσης παλαιοσιδήρου. Η πιθανότητα ύπαρξης ραδιενεργών υλικών

στον παλαιοσίδηρο έχει πιθανά επακόλουθα την παρουσία ραδιενέργειας σε προϊόντα και παραπροϊόντα της κατασκευαστικής βιομηχανίας.

Στην Ελλάδα έχει καταγραφεί εντοπισμός ραδιενεργού υλικού. Η χώρα μας εισάγει μεγάλες ποσότητες προϊόντων χάλυβα, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, στους οποίους οι εισαγωγές καλύπτουν το 35% περίπου της εγχώριας ζήτησης. Οι χάλυβες αυτοί προέρχονται σε μικρό ποσοστό από χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και σε μεγαλύτερο ποσοστό από άλλες χώρες. Αν θεωρήσουμε ότι τα προϊόντα των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης εξάγονται διαμέσω ενός υψηλού επιπέδου ποιότητας και ελέγχου, δεν θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε το ίδιο και για τα προϊόντα άλλων χωρών.

Η αυξανόμενη αποβολή ραδιενεργών υλικών στον παλαιοσίδηρο ανάγει το θέμα της ραδιενέργειας του χάλυβα σε ένα από τα σοβαρότερα μελλοντικά προβλήματα της χαλυβουργικής βιομηχανίας, του ελέγχου του οπλισμού του σκυροδέματος και άλλων μεταλλικών στοιχείων των κατασκευών.

Ο εντοπισμός της ραδιενέργειας σε διάφορα υλικά είναι εύκολος από κατάλληλα όργανα, τα οποία όμως δεν έχουν ευρεία χρήση στην καθημερινή εφαρμογή.

6 Ενσωματωμένη ενέργεια: Το κτήριο ως ενεργειακή αποθήκη

6.1 Τι είναι ενσωματωμένη ενέργεια (embodied energy)

Στις αναπτυσσόμενες χώρες 40%-60% της παραγόμενης ενέργειας καταναλώνεται στην κατασκευή.

Τις τελευταίες δεκαετίες μελετάται η ενσωματωμένη ενέργεια στα υλικά των κτηρίων, σε μια προσπάθεια συσχετισμού των υλικών, της διαδικασίας παραγωγής, κατασκευής και χρήσης, με το περιβαλλοντικό τους κόστος.

Ενσωματωμένη ενέργεια είναι η ενέργεια που χρησιμοποιείται για να δημιουργηθεί ένα προϊόν. Η κατανάλωση της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή, τη δημιουργία, τη μεταφορά του προϊόντος αφορούν στην ενσωματωμένη ενέργειά του.

Η ενσωματωμένη ενέργεια ενός υλικού υπολογίζεται ως το άθροισμα των ενεργειακών απαιτήσεων του από την στιγμή της συλλογής των πρώτων υλών του, την μορφοποίησή του ως προϊόν, την μεταφορά του στην αγορά, την τοποθέτησή του στην κατασκευή, την συντήρησή του κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του και την διάσπαση-ανακύκλωση-επανάχρησή του.

Η ενσωματωμένη ενέργεια ενός υλικού είναι ένας από τους δείκτες που καθορίζουν τον «οικολογικό χαρακτήρα» ενός υλικού, μιας και υλικά με μεγάλη ενσωματωμένη ενέργεια προκαλούν (γενικά) κατά διαδικασία παραγωγής μεγάλες εκπομπές CO₂ και διάφορα απόβλητα.

Το κριτήριο της ενσωματωμένης ενέργειας θεωρείται αντικειμενικό γιατί βασίζεται σε μία αντικειμενική μέτρηση της ενέργειας που εμπεριέχεται στα υλικά του κτηρίου, αλλά όπως θα δούμε παρακάτω, είναι τόσες πολλές οι ασάφειες στον

υπολογισμό της που κάνει και αυτό το μέγεθος αρκετά υποκειμενικό.



Εικόνα 9: Το κτήριο ως ενεργειακή αποθήκη.

Η ενσωματωμένη ενέργεια αναφέρεται ως κρυφό κόστος ενέργειας, επειδή οφείλεται σε διαδικασίες παραγωγής οι οποίες δεν είναι κατ' ανάγκη προφανείς. Εκτιμάται ότι η έμμεση κατανάλωση ενέργειας, γκρίζα ή αφανής, αντιπροσωπεύει τα δύο τρίτα της συνολικής ενέργειας που καταναλώνουμε.

Η ενσωματωμένη ενέργεια διακρίνεται:

1. Στην αρχική ενσωματωμένη ενέργεια η οποία αντιπροσωπεύει την ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή, ενός κτηρίου
2. Στην ενέργεια συντήρησης του κτηρίου που καταναλώνεται για την συντήρηση-επισκευή-ανανέωση-αντικατάσταση κατά τον κύκλο ζωής του, η οποία όμως, λόγω της απροσδιοριστίας της χρήσης, λαμβάνεται υπόψη κατά περίπτωση.

Γενικά, οι τιμές της ενσωματωμένης ενέργειας είναι ενδεικτικές και προκύπτουν από αποτελέσματα ερευνών που αναφέρονται στην διεθνή βιβλιογραφία αλλά διαφοροποιούνται σύμφωνα με τις παρατηρήσεις, που ακολουθούν.

Η ενσωματωμένη ενέργεια ενός υλικού που παράγεται με συγκεκριμένη παραγωγική διαδικασία είναι πολύ πιθανόν να διαφέρει από την ενσωματωμένη ενέργεια του ίδιου υλικού που παράγεται με διαφορετική παραγωγική διαδικασία. Στην ενσωματωμένη ενέργεια περιλαμβάνεται και η ενέργεια μεταφοράς του υλικού στην τελική του θέση (cradle-to-gate) και αυτό εξαρτάται από τον τόπο της κάθε κατασκευής.

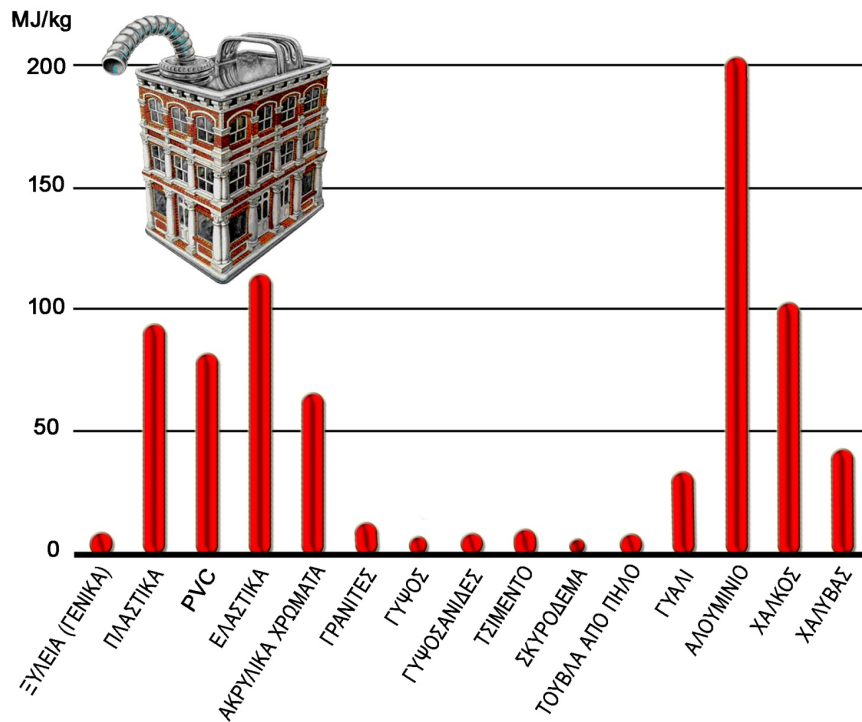


Εικόνα 10: Σκυροδέτηση σε εργοτάξιο.

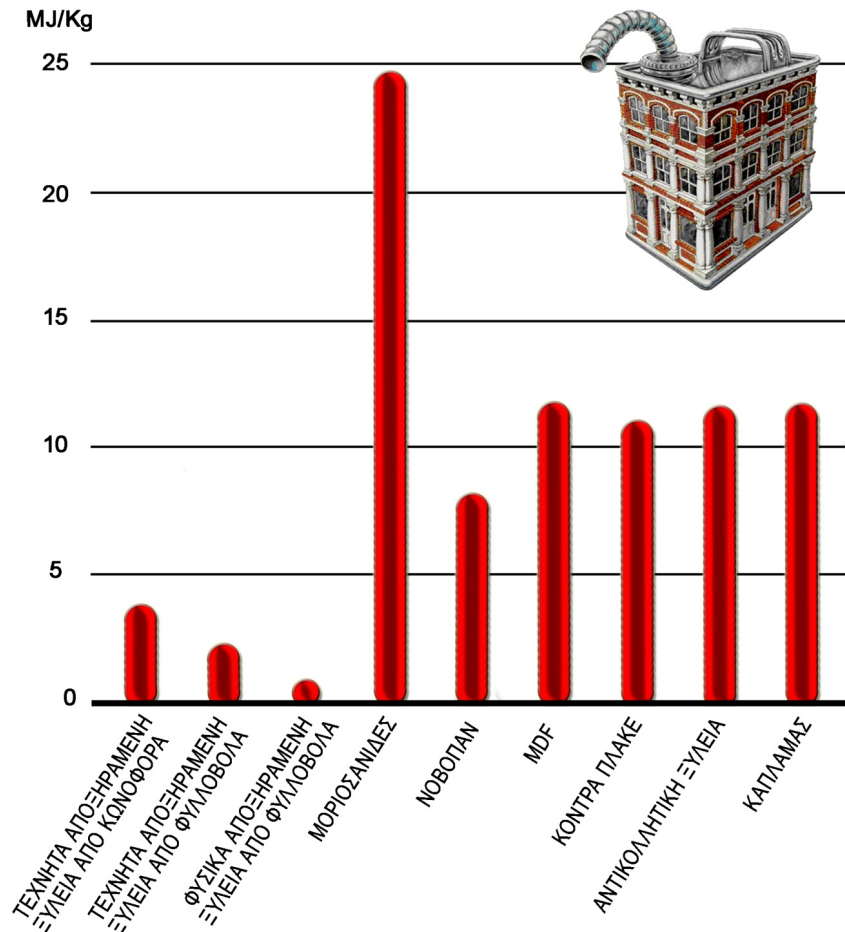
Η ενέργεια που καταναλώνεται στο εργοτάξιο, λόγω της οργάνωσης και της μορφής του, είναι η ευκολότερη ενέργεια για να προσδιοριστεί, αλλά αποτελεί κλάσμα της ενσωματωμένης ενέργειας του συνόλου της κατασκευής

Για να αξιολογηθεί το κριτήριο της ενσωματωμένης ενέργειας ενός υλικού, πρέπει πρώτα και κύρια να αξιολογηθεί η ποσότητα των υλικών (το πόσα κιλά) χρειάζεται για να κατασκευαστεί π.χ. το κούφωμα από αλουμίνιο σε σχέση με το ίδιο κούφωμα από ξύλο. Αυτή η σύγκριση και όχι η αναφορά ότι το αλουμίνιο έχει μεγάλη ενσωματωμένη ενέργεια ανά κιλό παραγωγής του, μπορεί να εξάγει ορθά αποτελέσματα αξιολόγησης.

Η ενσωματωμένη ενέργεια ενός υλικού εξαρτάται κυρίως από την επεξεργασία που δέχεται το υλικό αυτό. Για το λόγο αυτό, διαφορετική είναι η ενσωματωμένη ενέργεια που περιέχεται σε διαφορετικές μορφές του ίδιου υλικού.



Εικόνα 11: Ποιοτική-ποσοτική απεικόνιση της ενσωματωμένης ενέργειας για συνήθη υλικά.



Εικόνα 12: Ποιοτική-ποσοτική απεικόνιση της ενσωματωμένης ενέργειας για προϊόντα ξύλου.

Ένα υλικό που δεν επιβαρύνει περιβαλλοντικά με τη συλλογή των πρώτων υλών του μέσα από τη φύση, μπορεί να προκαλέσει οικολογική ζημιά μέσω της παραγωγικής του διαδικασίας. Για παράδειγμα, τα μέταλλα και το γυαλί έχουν μεγάλη ενσωματωμένη ενέργεια κατά την διαδικασία παραγωγής τους και απαιτούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, ενώ οι φυσικοί λίθοι που απαιτούν μικρή σχετικά ενέργεια για την παραγωγή τους απαιτούν μεγάλη ενέργεια για τη μεταφορά τους.

Η μεταφορά ενός υλικού από τη θέση παραγωγής στη θέση εφαρμογής είναι επίσης ένα κριτήριο που επηρεάζει την αξιολόγησή του. Η σημασία της ενέργειας μεταφοράς είναι

μεγάλη και μπορεί, στην περίπτωση βαρέων υλικών, να υπερβεί την ενέργεια που δαπανήθηκε για την εξαγωγή και την παραγωγή τους. (Berge, 2003: 17) Παρόλα αυτά, στις μέρες μας, το γεγονός αυτό ελάχιστα επηρεάζει τη διαδικασία επιλογής των υλικών. Αντίθετα, παλαιότερα, αλλά ακόμα και κατά το πρώτο μισό του 20ου αιώνα, η απόσταση που χώριζε τον τόπο παραγωγής ενός υλικού από τον τόπο εφαρμογής του ήταν καθοριστική για την τελική επιλογή του.

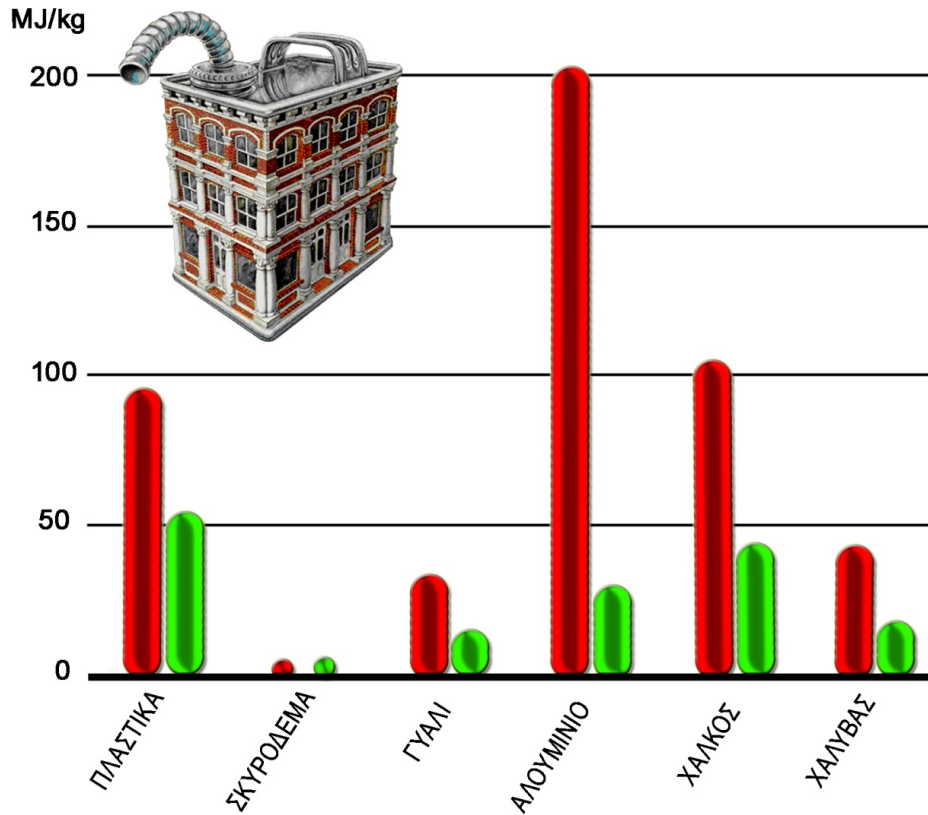
Επιλέγοντας υλικά που παράγονται κοντά στο τόπο της κατασκευής μειώνεται το ποσό των καυσίμων (και της ενέργειας) που θα απαιτηθούν για τη μεταφορά τους. Δείκτης αυτού, είναι τα έξοδα καυσίμων των εργοταξίων.

Σχετικά με αυτό και από διάφορες μελέτες έχει προκύψει ότι ο σιδηρόδρομος είναι οκτώ φορές οικονομικότερος (και οικολογικότερος) από τη μεταφορά των υλικών με αυτοκίνητα.



Εικόνα 13: Σκυροδέτηση πλάκας.

Η συνέργεια διαφορετικών υλικών για σύνθετα υλικά όπως το οπλισμένο σκυρόδεμα με τσιμέντο-αδρανή-νερό-μέταλλο πρέπει να υπολογίζεται, επιμερίζοντας ενεργειακά το κάθε υλικό ξεχωριστά για τον υπολογισμό της ενσωματωμένης ενέργειας του σύνθετου υλικού.



Εικόνα 14: Ποιοτική-ποσοτική απεικόνιση της ενσωματωμένης ενέργειας και της ενσωματωμένης ενέργειας λόγω ανακύκλωσης.

Με δείκτη την ενσωματωμένη ενέργεια του υλικού σε σχέση με την ενσωματωμένη ενέργεια του ίδιου υλικού όταν αυτό προκύπτει από ανακυκλωμένα υλικά, μπορεί να ποσοτικοποιηθεί η ενεργειακή εξοικονόμηση λόγω της χρήσης ανακυκλώσιμων υλικών. Σε κάποιες όμως περιπτώσεις, τα υλικά απαιτούν μεγαλύτερη ενέργεια και κόστος να τα ανακυκλώσουμε παρά να τα δημιουργήσουμε εξ αρχής.

Για αυτό τον λόγο, η ανακύκλωση δεν βρίσκει πάντα εφαρμογή και η διαδικασία της αναφέρεται σε «ηθικά πλαίσια» οικολογικής διαχείρισης και όχι σε οικονομο-τεχνικά.

Τέλος, σ' ένα κτήριο, χρησιμοποιούνται ποσότητες διαφόρων υλικών. Ανάγοντας την ποσότητα του κάθε υλικού σε ενέργεια

(σύμφωνα με την ενσωματωμένη ενέργειά του), επιμερίζοντας την ενσωματωμένη ενέργεια του κάθε υλικού στην κατασκευή και ανάγοντας κοστολόγια καυσίμων σε ενέργεια κατά την διάρκεια της κατασκευής του, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η συνολική ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών του κτηρίου.

6.2 Μέθοδοι προσδιορισμού της ενσωματωμένης ενέργειας

Ο προσδιορισμός της ενσωματωμένης ενέργειας ενός κτηρίου βασίζεται σε βάσεις δεδομένων που περιλαμβάνουν μέσους όρους ενέργειας που απαιτούνται για την παραγωγή των υλικών κατά βάρος ή κατ'όγκο, οι οποίοι έχουν εκπονηθεί από ανεξάρτητους φορείς (π.χ. University of Bath, Inventory of Embodied Energy & Carbon (ICE database)).

Όσον αφορά τα περισσότερα κοινά αποδεκτά εργαλεία προσδιορισμού της είναι τα SBTool του UK Code for Sustainable Homes και LEED του U.S. Green Building Council με τα οποία η ενσωματωμένη ενέργεια ενός προϊόντος ή υλικού ποσοτικοποιείται εξαρτώμενη και από περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Γενικά, υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι προσδιορισμού της ενσωματωμένης ενέργειας των οποίων οι διαφορές προκύπτουν από το πώς γίνονται οι μετασχηματισμοί της ενέργειας και σε τι σύστημα αποδίδεται η ενεργειακή απαίτηση των ροών.

Εκτός λοιπόν των τυπικών ενεργειακών μεγεθών, ορισμένες μεθοδολογίες απεικονίζουν την ποσοτικοποίηση των ενεργειακών αναγκών μετασχηματίζοντας τις στα λεγόμενα «αέρια του θερμοκηπίου», άλλες τις ποσοτικοποιούν σε καύσιμα ή/και σε καθαρά οικονομικά στοιχεία ενώ οι μέθοδοι διαχωρίζονται και από την μορφή του συστήματος που εξετάζεται.

6.3 Το υλικό ως ενεργειακή αποθήκη

Συνήθη μεγέθη προσδιορισμού της ενσωματωμένης ενέργειας είναι τα MJ/kg ή οι kWh/kg (megaJoules ή κιλοβατώρες της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή ενός κιλού προϊόντος) ($1 \text{ MJ} = 0,28 \text{ kWh}$) (βλ. Πίνακα).

Οι τιμές της ενσωματωμένης ενέργειας μεταξύ των υλικών που χρησιμοποιούνται στα κτήρια διαφέρουν σημαντικά ενώ ανάλογα με την μορφή που διατίθεται το κάθε υλικό, η ενσωματωμένη του ενέργεια αλλάζει.

Σημειώνεται ότι χρησιμοποιώντας μόνο πίνακες για να προσδιορίσουμε την ενσωματωμένη ενέργεια, δεν εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα αφού (γενικά) χρησιμοποιούμε μικρές ποσότητες από υλικά με μεγάλη ενσωματωμένη ενέργεια (όπως το αλουμίνιο) και μεγάλες ποσότητες από υλικά με χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια (όπως το σκυρόδεμα).

Υλικά	Ενσωματωμένη ενέργεια	
	MJ/kg	MJ/m ³
Αδρανή υλικά	0,1	150
Αχυρόμπαλες	0,24	31
Στερεό τσιμέντο	0,42	819
Φυσική πέτρα (τοπική)	0,79	2030
Προκατασκευασμένο σκυρόδεμα	0,94	2350
Χυτό σκυρόδεμα (30 Μρα)	1,3	2780
Ακατέργαστη ξυλεία φυσικά αποξηραμένη	2,5	1380
Τούβλο	2,5	5170
Μονωτικά υποπροϊόντα ξύλου	3,3	112
Αλουμίνιο (ανακυκλωμένο)	8,1	21870
Χάλυβας (ανακυκλωμένος)	8,9	37210
Αδρανή ασφάλτου (3Α)	9	4930
Γυαλί	15,9	37500
Fiberglass	30,3	970
Ατσάλι	32	251200
Ψευδάργυρος	51	371280
Ορείχαλκος	62	519560
PVC	70	93620
Χαλκός	70,6	631164
Ακρυλικά χρώματα	93,3	117500
Μονωτικά υλικά από πολυστυρένιο	117	3770
Αλουμίνιο	220	515700

Πίνακας 1: Ενσωματωμένη ενέργεια συνήθη υλικών κατά βάρος και όγκο

Υλικά	Ενσωματωμένη ενέργεια	
	MJ/kg	MJ/m ³
Αδρανή υλικά	0,1	150
Αδρανή ασφάλτου (3A)	9	4930
Φυσική πέτρα (τοπική)	0,79	2030
Στερεό τσιμέντο	0,42	819
Προκατασκευασμένο σκυρόδεμα	0,94	2350
Χυτό σκυρόδεμα (30 Mpa)	1,3	2780
Οπτόπλινθοι	2,5	5170
Ακατέργαστη ξυλεία φυσικά αποξηραμένη	2,5	1380
Μονωτικά υποπροϊόντα ξύλου	3,3	112
Αχυρόμπαλες	0,24	31
Γυαλί	15,9	37500
Fiberglass (Υαλοβάμβακας)	30,3	970
<i>Μέταλλα</i>		
Χάλυβας (από μετάλλευμα)		
Χάλυβας (ανακυκλωμένος)	8,9	37210
Ατσάλι	32	251200
Αλουμίνιο (από μετάλλευμα)	220	515700
Αλουμίνιο (ανακυκλωμένο)	8,1	21870
Χαλκός (από μετάλλευμα)	70,6	631164
Χαλκός (ανακυκλωμένος)		
Ψευδάργυρος (από μετάλλευμα)	51	371280
Ψευδάργυρος (ανακυκλωμένος)		
Ορείχαλκος	62	519560
<i>Πλαστικά</i>		
PVC	70	93620
Ακρυλικά χρώματα	93,3	117500
Μονωτικά υλικά από πολυστυρένιο	117	3770

Πίνακας 2: Ενσωματωμένη ενέργεια συνήθη υλικών κατά βάρος και όγκο

Προϊόντα ξύλου	Ενσωματωμένη ενέργεια ανά μονάδα (MJ/kg)	ενέργεια βάρους
Προϊόντα ξύλου (γενικά)	10.00	
Νοβοπάν	8.00	
Hardboard	16.00	
MDF	11.00	
OSB (Oriented Strand Board)	15.00	
Κόντρα πλακέ	15.00	

Πίνακας 3: Ενσωματωμένη ενέργεια σε προϊόντα ξύλου

Πλαίσιο παραθύρου	MJ ανά τεμάχιο
Αλουμινίου	5470
PVC	2150 - 2470
Ξύλο	230 - 490

Πίνακας 4: Ενσωματωμένη ενέργεια σε κουφώματα παραθύρων 1,20x1,20m

Ασφαλή συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν μόνο **συγκρίνοντας την ενσωματωμένη ενέργεια με την κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών** π.χ. επιλέγοντας διαφορετικά κουφώματα ιδίων διαστάσεων (βλ. Πίνακα 4).

Στην αξιολόγηση αυτή όμως, πρέπει να συμπεριληφθούν ενδεχόμενες **διαφορετικές ενεργειακές συμπεριφορές του κάθε κατασκευαστικού μέλους στην συνολική ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου** κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του κτηρίου.

6.4 Ενεργειακή αξιολόγηση των υλικών στην διάρκεια του κύκλου ζωής

Η ενσωματωμένη ενέργεια που απαιτείται για την συντήρηση του κτηρίου σχετίζεται και με την αντοχή στην γήρανση των χρησιμοποιούμενων υλικών καθώς και με τα σχετικά οικοδομικά συστήματα που εγκαθίστανται στο κτήριο (την ευχέρεια στην συντήρησή τους) και τελικά την ζωή του κτηρίου. Όσο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής έχει ένα κτήριο με σχεδιασμό που απαιτεί μικρή ενέργεια για να συντηρηθεί, τόσο περισσότερη ενσωματωμένη ενέργεια θα ανακτήσει σε βάθος χρόνου).

Όσον αφορά την ανακύκλωση, η εξοικονόμηση ενέργειας διαφέρει από υλικό σε υλικό. Πολλά υλικά των κτηρίων όπως τα τούβλα και το σκυρόδεμα, καταστρέφονται κατά την αποδόμηση και απαιτούν σχεδόν την ίδια ενέργεια να ανακυκλωθούν όσο για να παραχθούν εκ νέου. Άλλα υλικά που ανακυκλώνονται εύκολα όπως το αλουμίνιο εξοικονομούν το 95% της

ενσωματωμένης τους ενέργειά όταν ανακυκλωθούν, ενώ το γυαλί μόνο το 20%.

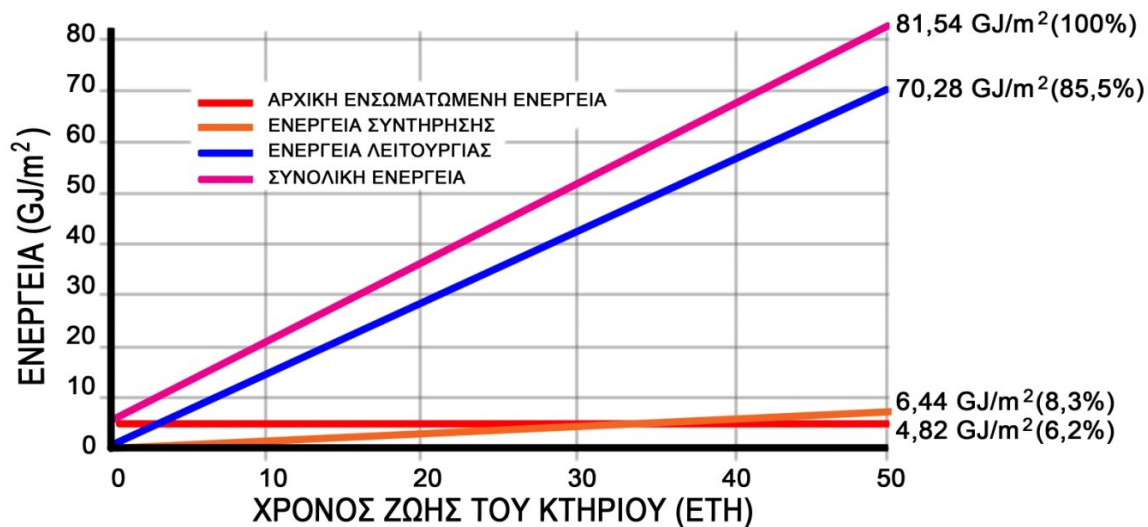
Όμως, η επανάχρηση των υλικών μπορεί να εξοικονομήσει το 95% της ενσωματωμένης τους ενέργειας.

Τα απλούστερα και ελαφρύτερα κτήρια με μόνωση, γενικά έχουν την χαμηλότερη ενσωματωμένη ενέργεια. Η ενσωματωμένη τους ενέργεια κυμαίνεται μεταξύ 4,5 GJ/m² με 5,5 GJ/m² που εξαρτάται και από την μορφή του κτηρίου τους ορόφους του κ.λπ. Σχετικά διαγράμματα που προέκυψαν από ερευνητικό έργο κτηρίου γραφείων στον Καναδά επιφάνειας 4.620m² και παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες (Cole and Kernan, 1996), αποτυπώνουν διάφορες ενεργειακές ανάγκες των υλικών και του κτηρίου κατά την διάρκεια κατασκευής και λειτουργίας. Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, οι μεγαλύτεροι καταναλωτές ενέργειας στην διάρκεια ζωής του κτηρίου είναι:

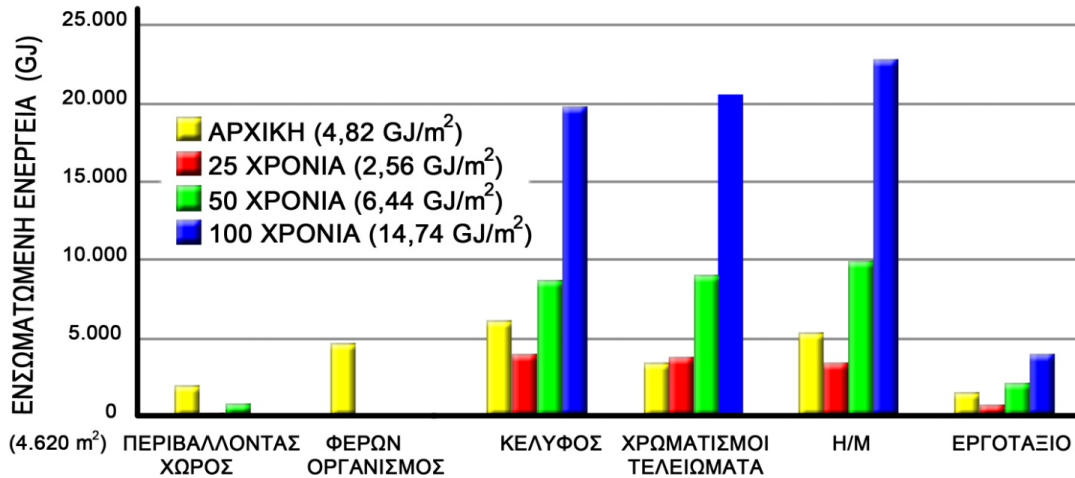
- Το κέλυφος (ενδεχόμενες μετατροπές που θα υποστεί για μεταβολή των χρήσεων)
- οι χρωματισμοί (τελειώματα) που γενικά απαιτούν συνεχή συντήρηση
- οι Η/Μ εγκαταστάσεις του κτηρίου που γενικά έχουν μικρή διάρκεια ζωής και μεγάλες ανάγκες συντήρησης-ανανέωσης-αντικατάστασης.



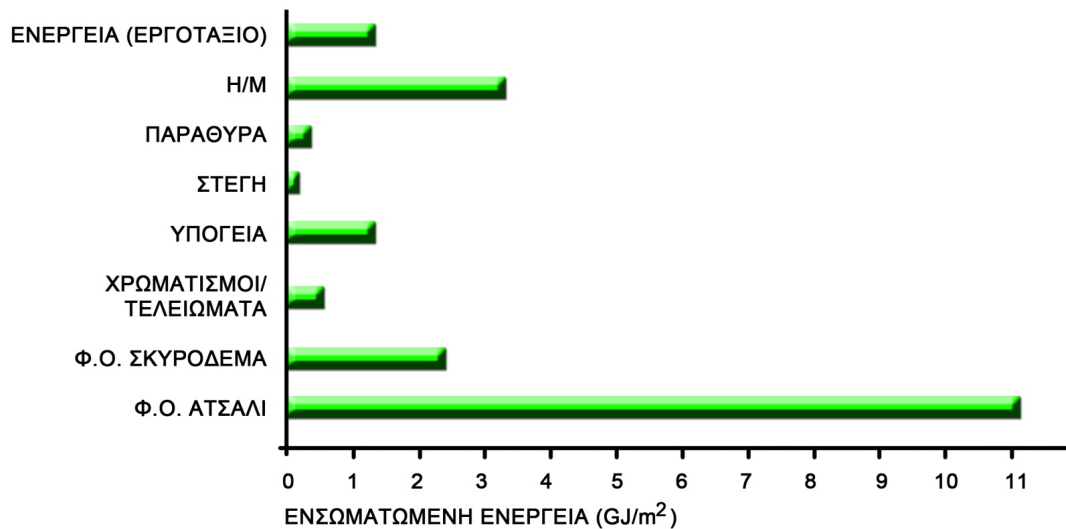
Εικόνα 15: Κατανομή της αρχικής ενσωματωμένης ενέργειας που χρειάζονται για να κατασκευαστούν τα μέρη ενός τυπικού κτηρίου γραφείων. [πηγή: Μετάφραση και απόδοση από Cole and Kernan, 1996]



Εικόνα 16: Ενσωματωμένη ενέργεια υλικών και ενέργεια συντήρησης και λειτουργίας κτηρίου (ανά τετραγωνικό μέτρο). [πηγή: Μετάφραση και απόδοση από Cole and Kernan, 1996]



Εικόνα 17: Κατανομή της αρχικής ενσωματωμένης ενέργειας σε σχέση με την ενσωματωμένη ενέργεια λειτουργίας για κάθε κατασκευαστικό μέρος. [πηγή: Μετάφραση και απόδοση από Cole and Kernan, 1996]



Εικόνα 18: Ενσωματωμένη ενέργεια σε GJ/m² κάθε μέρους της κατασκευής (αρχική, έως την ενσωμάτωση στην κατασκευή). [πηγή: Μετάφραση και απόδοση από Cole and Kernan, 1996]

6.5 Η υποκειμενικότητα της ενσωματωμένης ενέργειας

Η ενσωματωμένη ενέργεια εξαρτάται κατ' αρχήν από την διαδικασία παραγωγής ενός υλικού. Αλλά σε κάθε μέρος του κόσμου η διαδικασία παραγωγής είναι διαφορετική, ενώ διαφέρουν αντίστοιχα και οι ενεργειακές απαιτήσεις της. Έτσι, ακόμα και η λεπτομερέστερη ανάλυση της ενέργειας που απαιτεί η παραγωγική διαδικασία ενός υλικού, θα διαφέρει από τόπο σε τόπο.

Παράλληλα, διαφορετικές μεθοδολογίες που βρίσκουν ευρεία εφαρμογή (με άλλη αντίληψη του ίδιου κατά βάση θέματος) παράγουν διαφορετικά αποτελέσματα αφού χρησιμοποιούν διαφορετικές κλίμακες μετρήσεων και διαφορετική απεικόνιση.

Στην υποκειμενικότητα των παραγών συμπεριλαμβάνεται και η ενσωμάτωση (ή όχι) υποκειμενικών παραμέτρων όπως η μεταφορά με το ερώτημα: από τι οδό και με τι μέσο; η διαφήμιση, η προώθηση-διαχείριση των υλικών κ.α. σχετικές δράσεις που απαιτούν μια απροσδιόριστη κατά βάση ενέργεια.

Τελικά λοιπόν, η ενσωματωμένη ενέργεια είναι ένας όρος του οποίου οι επιστήμονες δεν έχουν καταλήξει σε ένα καθολικό προσδιορισμό, ενώ υπάρχουν και διαφορετικές αντιλήψεις επάνω σε αυτήν. Οι περισσότεροι, όμως, συμφωνούν ότι (ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία) τα προϊόντα μπορούν να συγκριθούν το ένα με το άλλο, έτσι ώστε αυτό να αποτελεί έναν δείκτη προσδιορισμού της ενσωματωμένης τους ενέργειας και τελικά της οικολογικής συμπεριφοράς ενός υλικού.

Ορισμένες βασικές παράμετροι για την μείωση της ενσωματωμένης ενέργειας είναι οι παρακάτω:

- Να σχεδιάζονται κατασκευές που να ικανοποιούν τις ανάγκες, να μην είναι μεγαλύτερες από ότι χρειάζεται, και

συγχρόνως να σχεδιάζεται κατάλληλα το κέλυφος, ώστε να ελαχιστοποιεί την χρήση των υλικών.

- Να σχεδιάζονται, να προδιαγράφονται και να επιλέγονται υλικά που να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, να επισκευάζονται αντί να πετιούνται, και να περιορίζουν την ενεργειακή κατανάλωση κατά την διάρκεια ζωής του κτηρίου.
- Να γίνεται ανάκτηση υλικών από την διάλυση υπάρχοντων κτηρίων και ενσωμάτωσή τους στην κατασκευή.
- Να επιλέγονται υλικά που μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν ή να ανακυκλωθούν μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους και να τοποθετούνται έτσι ώστε να διαχωρίζονται εύκολα.
- Να χρησιμοποιούνται υλικά που παράγονται κοντά στον τόπο του έργου για να μειώνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις των μεταφορών
- Να επιλέγονται κατάλληλα υλικά με μικρή ενσωματωμένη ενέργεια από σχετικούς πίνακες.
- Να χρησιμοποιούνται όλα τα υλικά που έρχονται στο έργο και να αποφεύγεται η σπατάλη υλικού
- Να ζητούνται οι σχετικές προδιαγραφές από προμηθευτές.

6.6 Ενεργειακή οικονομία και οικολογική ισορροπία

Καθώς η παραγωγή ενέργειας έχει περιβαλλοντικό κόστος θα μπορούσε να πει κανείς ότι, για την κάλυψη ίδιων αναγκών, προϊόντα με μικρή ενσωματωμένη ενέργεια είναι περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον από εκείνα με την μεγαλύτερη ενσωματωμένη ενέργεια.

Ως γενικός κανόνας λοιπόν, η ενσωματωμένη ενέργεια είναι ένας λογικός δείκτης των περιβαλλοντικών παραμέτρων των υλικών ενός κτηρίου που πρέπει να ελέγχεται σχετιζόμενος με την διάρκεια και την ανθεκτικότητα των υλικών καθώς, οι ιδιότητες αυτές, μπορεί να αμβλύνουν ή να έχουν αντισταθμιστική επίδραση στην αρχική εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται μόνο με την ενσωματωμένη ενέργεια.

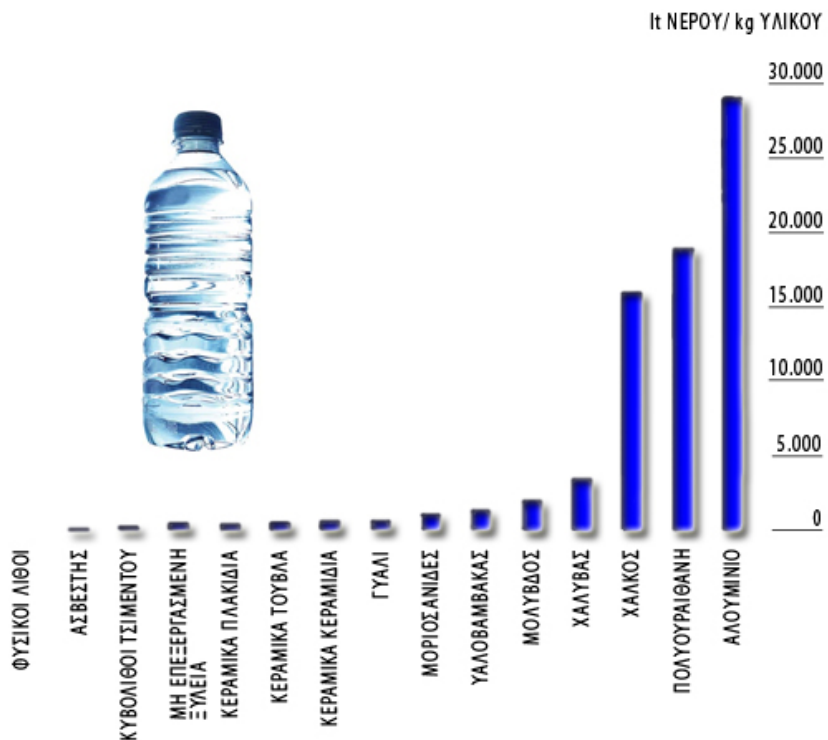
Όπως και να έχει όμως, η ενσωματωμένη ενέργεια παραμένει μια παράμετρος εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κτηρίου που σχετίζεται μόνο με την ενέργεια και δευτερευόντως με τις επιπτώσεις της αλλά συγκρίνει σχετικές και αντικειμενικές ποσότητες οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε περισσότερο ποσοτιμοποιημένα συμπεράσματα.

Εξ ορισμού όμως, η οικολογική ισορροπία ορίζεται ως η σχετικά σταθερή σχέση που διαμορφώνεται με την πάροδο του χρόνου ανάμεσα στους παράγοντες και τα στοιχεία του περιβάλλοντος ενός οικοσυστήματος.

7 Άλλα κριτήρια

7.1 Κατανάλωση νερού στο στάδιο της παραγωγής των υλικών.

Το νερό είναι ένας πολύτιμος φυσικός πόρος, γι αυτό και το πόσο νερό καταναλώνεται κατά την διαδικασία παραγωγής ενός υλικού αποτελεί κριτήριο για την αξιολόγησή του.



Εικόνα 19: Ποιοτική-ποσοτική απεικόνιση της κατανάλωσης νερού (σε lt) για την παραγωγή 1kg υλικού.

7.2 Εκπομπές αέριων ρύπων στη διάρκεια του κύκλου ζωής του υλικού

Η διαδικασία παραγωγής ενός υλικού καταναλώνει ενέργεια, γεγονός που συνεπάγεται γενικά αέριους ρύπους, εκτός των περιπτώσεων που προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Κατά την διαδικασία του μετασχηματισμού διαφόρων των πρώτων υλών, προκύπτουν αέριοι ρύποι όπως το CO₂ κ.α. οξειδωτικών μέσων (SO₂, NO_x) οι οποίοι διαταράσσουν τους φυσικούς κύκλους του αζώτου, του άνθρακα κ.α.

Έχει αποδειχθεί ότι η εκπομπές των SO₂, NO_x από την παραγωγή των υλικών είναι γενικά μικρότερη αναλογικά από τις εκπομπές του CO₂, μιας και οι εκπομπές του CO₂ αποτελούν το 90% των εκπεμπόμενων ρύπων αλλά το SO₂, είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο της όξινης βροχής παρ' όλο το μικρό ποσοστό συμμετοχής του γι αυτό και είναι ιδιαίτερα κρίσιμο.

Υπάρχει η τάση να γίνεται η μετατροπή των MJ της ενσωματωμένης ενέργειας σε tCO₂. Αυτή όμως η μετατροπή δεν είναι μονοσήμαντη, μιας και διαφορετικές μορφές ενέργειας (πετρέλαιο, αέρας, ήλιος, πυρηνικά κ.λπ.) έχουν διαφορετικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Γι' αυτό, το πραγματικό ποσό του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται, εξαρτάται από τον τύπο της ενέργειας που χρησιμοποιείται και την παραγωγική διαδικασία.

Σύμφωνα με τις ενεργειακές πηγές της, στην Αυστραλία υπολογίζεται ότι η μέση παραγωγή 1 MJ ενέργειας προκαλεί 0,098 kg εκπομπές CO₂.

Έτσι, ενώ υπάρχουν ορισμένες εκφράσεις ποσοτικοποίησης των εκπομπών αερίων ρύπων ανά ποσότητα παραγόμενου υλικού, η υποκειμενικότητά τους (η οποία συνίσταται στην διαδικασία παραγωγής του παραγόμενου υλικού και την μορφή της ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή) δεν αφήνει περιθώρια για να συμπεριληφθούν ασφαλώς στην αξιολόγησή μας.

Συνεπώς, σε όσο μεγαλύτερο βαθμό πολυπλοκότητας αναφέρεται το κάθε κριτήριο, τόσο περισσότερο ασαφές και επισφαλές γίνεται.

7.3 *Low-Tech* αρχιτεκτονική και τα υλικά της

Η “Low-Tech architecture” (μία τεχνική και όχι τεχνολογική αρχιτεκτονική) εστιάζει στην δημιουργία αρχιτεκτονημάτων που αποφεύγουν να χρησιμοποιούν «τεχνολογία» σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής τους (υλικά και μέθοδος κατασκευής, και χρήση της κατασκευής).

Πίσω από κάθε δομικό υλικό «κρύβεται» τεχνολογία και απαιτείται ενέργεια για να παραχθεί και να μεταφερθεί στον τόπο χρήσης του. Έτσι, κάθε υλικό, έχει ενεργειακό και «οικολογικό» κόστος.

Κριτήριο της “Low-Tech architecture” είναι η αποφυγή της χρήσης τεχνολογίας και της κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και η ελαχιστοποίηση του οικονομικού κόστους. Ζητούμενο είναι τα υλικά να μην καταναλώνουν ενέργεια για την παραγωγή-μεταφορά τους, να είναι διαθέσιμα στην φύση (να έχουν υποστεί την ελάχιστη δυνατή επεξεργασία) ή να προέρχονται από επανάχρηση/ανακύκλωση για να έχουν το ελάχιστο οικονομικό κόστος.

Ανάλογα με την περιοχή, το κλίμα και τις διαθέσιμες πρώτες ύλες, οι κατασκευές “Low-Tech architecture” καθοδηγούνται και από τις κατασκευαστικές παραδόσεις του κάθε τόπου στις οποίες μπορεί να «κρύβονται» διάφορες ενδιαφέρουσες τεχνικές προτάσεις και λύσεις όπως στα παραδείγματα που αναφέρθηκαν για τα igloo των Εσκιμώων στον Βόρειο Πόλο τα οποία δεν θα έβρισκαν εφαρμογή π.χ. στην Σαχάρα, ενώ ούτε οι παραδοσιακές σκηνές των Βεδουίνων με τον εξαιρετικό αερισμό τους, δεν θα έβρισκαν εφαρμογή π.χ. στον Αρκτικό κύκλο.

8 Αξιολόγηση και επιλογή των δομικών υλικών με οικολογικά κριτήρια

Όταν θέλουμε να πάρουμε μια απόφαση σε ένα πρόβλημα διακριτά διαφορετικών κριτηρίων, ο δυτικός τρόπος σκέψης και η οικολογική αντίληψη, έχουν αναπτύξει τις παρακάτω μεθόδους.

8.1 Αναλύσεις κόστους-οφέλους

Η θεωρία λέει ότι η απόφαση οφείλει να μεγιστοποιεί κάποια χρήσιμη λειτουργία. Έτσι, ένας συνηθισμένος τρόπος για να αποτιμήσουμε την χρησιμότητα του κάθε κριτηρίου είναι να το μεταφράσουμε σε χρηματικές μονάδες. Αν θεωρήσουμε ότι αυτό μπορεί να γίνει σε κάποια κριτήρια επιλογής, είναι πολύ δύσκολο να μετρηθούν οι φυσικές παράμετροι (όπως και η «ηθική» πλευρά της οικολογικής προτίμησης) σε χρηματικές μονάδες.

Μία συνήθης μέθοδος για να γίνει κάτι τέτοιο είναι η χρήση ερωτηματολογίων σε έναν πληθυσμό στον οποίο τίθεται π.χ. το ερώτημα: **«το πόσο είναι διατεθειμένος να πληρώσει για να ζει σε ένα σπίτι που έχει οικολογική πιστοποίηση?»** WTP (willingness to pay). Αθροίζοντας την αύξηση-μείωση του μέσου όρου των προτάσεων σε κάθε κριτήριο εξάγεται η «βέλτιστη» επιλογή.

Μία άλλη μέθοδος ανάλυσης κόστους είναι η HPM (hedonic price method). Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή η τιμή των αγοραστικών αγαθών εξαρτάται από το σύστημα αποφάσεων που θα ακολουθηθεί.

Έτσι η αξιολόγηση γίνεται π.χ. με το ερώτημα: αν το σπίτι δεν έχει γίνει με οικολογικά κριτήρια, «πόσο θα μειωθεί η αξία του ακινήτου;».

Διάφορες έρευνες, έδειξαν ότι υπάρχει μεγάλη αμφιβολία στην αξιοπιστία των παραπάνω μεθόδων. Αυτό γιατί, έχει αποδειχθεί ότι αυτές οι μέθοδοι δεν αντανακλούν τις πραγματικές προθέσεις των ενοίκων, οι οποίοι τελικά δεν είναι σωστά ενημερωμένοι και δεν αξιολογούν (δεν έχουν την δυνατότητα να μεταφράσουν) αποφάσεις οι οποίες σαφώς εμπεριέχουν και ηθικές παραμέτρους όπως οι «οικολογικές» σε χρήμα.

8.2 Ανάλυση του κύκλου ζωής (*Life cycle analysis / Assessment*)

Η ανάλυση του κύκλου ζωής είναι μια τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, δραστηριότητα ή διεργασία προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον. Με την ανάλυση του κύκλου ζωής εκτιμώνται οι επιπτώσεις από τη χρήση της ενέργειας και των υλικών καθώς και των αποβλήτων κατά την παραγωγή χρήση και αποβολή ενός υλικού σε όλη την διάρκεια της ζωή του.

Στην Ευρώπη, η ανάπτυξη της συνδυάστηκε με την εξάπλωση του οικολογικού σήματος (Κανονισμός ΕΟΚ 880/92), ενώ σε διεθνές επίπεδο αναμένεται ακόμη μεγαλύτερη εξάπλωση της Α.Κ.Ζ. μέσω της ένταξής της στη σειρά προτύπων ISO 14040. Σύμφωνα με τον ορισμό της μεθόδου της Α.Κ.Ζ, για την εφαρμογή της στην περίπτωση ενός κτηρίου απαιτείται ο προσδιορισμός των στοιχείων κατανάλωσης μάζας και ενέργειας για ολόκληρο τον κύκλο ζωής του, από την κατασκευή ως την κατεδάφισή του.

Για την αξιολόγηση της οικολογικής συμπεριφοράς ενός υλικού υπάρχει σχετική βιβλιογραφία, για αλλά δεν υπάρχει αντίστοιχη αξιολόγηση των υλικών που χρησιμοποιούνται και στην Ελλάδα. Η έλλειψη μιας τέτοιας βάσης δεδομένων για την Ελλάδα

καθιστά υποχρεωτική την προσφυγή σε βάσεις δεδομένων άλλων χωρών (κατά προτίμηση ευρωπαϊκών). Στην περίπτωση αυτή τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή ποιοτικών συμπερασμάτων και τη συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών δομικών υλικών, όχι όμως απαραίτητα για την εξαγωγή απόλυτων μεγεθών.

Τελικά, η σύνθεση και αυτής της μεθόδου ανάγεται σε πρόβλημα πολυκριτηριακής ανάλυσης και λόγω της αβεβαιότητας των παραμέτρων εισάγει ακόμα μεγαλύτερες αβεβαιότητες στην ίδια την διατύπωση του προβλήματος.

8.3 Οικολογική προτίμηση (Environmental preference method)

Άλλη μέθοδος που εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια για την αξιολόγηση των δομικών υλικών με οικολογικά κριτήρια είναι η "οικολογική προτίμηση" (EPM – Environmental Preference Method). (Boonstra, et al., ...)

Η "οικολογική προτίμηση" χρησιμοποιείται στην Ολλανδία από το 1991 για την ταχεία ενημέρωση του κοινού και των κατασκευαστών σχετικά με τα δομικά υλικά που κρίνονται φιλικά προς το περιβάλλον με βάση ένα ή περισσότερα οικολογικά κριτήρια. Η οικολογική προτίμηση βασίζεται σε ένα συχνά ενημερωμένο εγχειρίδιο που περιλαμβάνει συγκριτικούς πίνακες που επιτρέπουν την κατάταξη των δομικών υλικών με οικολογικά κριτήρια.

Η μέθοδος της οικολογικής προτίμησης δεν είναι τόσο αυστηρή όσο θα ήταν η υποβολή όλων των δομικών προϊόντων σε πλήρη ανάλυση του κύκλου ζωής. Είναι όμως εύκολη στη χρήση γιατί διευκολύνει τον μελετητή ή τον καταναλωτή να επιλέξει το δομικό υλικό για τη χρήση που επιθυμεί ελαχιστοποιώντας τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Υπάρχει, όμως, η ανάγκη της εύκολης αναγνώρισης από τον χρήστη για την άμεση

επιλογή ενός υλικού. Για το λόγο αυτό έχουν καθιερωθεί διάφορα "οικολογικά σήματα" που πιστοποιούν τον οικολογικό χαρακτήρα των προϊόντων.

8.4 Το οικολογικό αποτύπωμα

Για να μετρήσουμε την επίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας επάνω στη γη, έχει αναπτυχθεί μια μέθοδος που αναφέρεται ως "οικολογικό αποτύπωμα". Το "οικολογικό αποτύπωμα" προσπαθεί να ποσοτικοποιήσει την κατανάλωση των φυσικών πόρων που απαιτεί μια κοινωνία για την κάλυψη των αναγκών της, συγκρίνοντας την με τη δυνατότητα της γης να παράγει και ν' αναπαράγει αυτούς τους πόρους. Κατά την διαδικασία αυτή αξιολογείται και η απορρόφηση, με βιώσιμο τρόπο, των αποβλήτων και των αερίων του θερμοκηπίου από την δραστηριότητα.

Ως έκφραση της κοινωνικής δημιουργικότητας και δράσης, τα υλικά παίζουν μεγάλο ρόλο στον προσδιορισμό του "οικολογικού αποτυπώματος" μιας κοινωνίας. Η χρήση όμως της μεθόδου αυτής γίνεται συνήθως ως δείκτης κοινωνικής δραστηριότητας.

Το «οικολογικό αποτύπωμα» βλέπει την καταναλωτική πλευρά του ανθρώπου έναντι του φυσικού του περιβάλλοντος. Είναι συγκρίσιμο όμως με την βιοϊκανότητα, μια παράμετρο που αξιολογεί την δημιουργία φυσικών πόρων μιας τοπικής κοινωνίας εντός ορισμένων ορίων.

8.5 Πολυκριτηριακή ανάλυση

Δεδομένων των προβλημάτων των αναλύσεων οφέλους-κόστους, προτιμάται η πολυκριτηριακή ανάλυση MCDA (multi-criteria decision analysis) στην οποία το κάθε κριτήριο βαθμολογείται ξεχωριστά, η βαρύτητα του αξιολογείται με κάποιον συντελεστή βάρους και δημιουργείται μια συνάρτηση χρησιμότητας η οποία οδηγεί σε ένα αριθμητικό αποτέλεσμα.

Για μια συνολικότερη αντίληψη των παραμέτρων, έχει αναπτυχθεί η μέθοδος Eco Balance (πολύκριτηριακή ανάλυση) στην οποία συμπεριλαμβάνονται πολλές παράμετροι περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός κτηρίου και των υλικών του. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί δείκτες που αποτυπώνουν «μονάδες περιβαλλοντικού φορτίου» (ELUs - Environmental Load Units).

Υποκειμενικά λοιπόν, θεωρούνται «περιβαλλοντικές φορτίσεις» που μπορεί να αφορούν φαινόμενα που οφείλονται στην παραγωγή, χρήση, απόρριψη ενός υλικού όπως η μόλυνση του αέρα, η βιοποικιλότητα, η υγεία των ανθρώπων κ.λπ. Αυτές οι «περιβαλλοντικές φορτίσεις» εισάγονται σε έναν αλγόριθμο και μέσω αυτού αξιολογούνται και επιλέγονται οι βέλτιστες περιβαλλοντικές τεχνικές λύσεις.

Δεδομένο όμως είναι πως οι βαθμοί, οι συντελεστές βαρύτητας και τελικά η ίδια η σύνθεση του αλγορίθμου που μας οδηγεί στο αποτέλεσμα είναι υποκειμενικά.

Έτσι, οι κλασσικές προσεγγίσεις πολυκριτηριακής ανάλυσης έχουν λίγα πρακτικά οφέλη, αλλά σε περιπτώσεις πολύπλοκων προβλημάτων, εκεί που κριτήρια δεν είναι δυνατόν να «μετρηθούν» ή να «αξιολογηθούν» η ανθρώπινη εμπειρία και η βαθύτερη γνώση είναι ουσιαστικά αυτή που θα συνθέσει τις-όποιες παραμέτρους.

Αυτό δεν σημαίνει ότι διατυπώνονται επιχειρήματα εναντίων της «λογικής», αλλά φαίνεται πως η σύγκρουση «λογική vs εμπειρία» και «λογική vs ολιστική γνώση» δεν κλίνει υπέρ της λογικής και μόνον. Θα μπορούσε, όμως, κανείς να απεικονίσει την αξιολόγηση των κριτηρίων (γνώση) και να συσχετίσει τα κριτήρια με κάποιον τρόπο (λογική) σύμφωνα με τον οποίο να εξάγει ορισμένα τεκμηριωμένα συμπεράσματα (Christofides 2005).

Οι παράμετροι της οικολογικής συμπεριφοράς των δομικών υλικών δεν «μετριοούνται» έτσι ώστε να ενσωματωθούν σε μία εξίσωση (π.χ. τι «βαθμό» να βάλω στο υλικό που είναι τοξικό αλλά ανακυκλώνεται;).

Γι' αυτό, η εμπειρία και η αντίληψη και όχι η «βαθμολογική» αξιολόγηση αναμένεται να δώσει την βέλτιστη λύση.








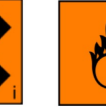








8.6 Πολυκριτηριακή ανάλυση μέσω του πίνακα χρησιμότητας

Ένας δόκιμος τρόπος για να αξιολογηθεί η οικολογική συμπεριφορά ενός υλικού, είναι μια μέθοδος που μπορεί να συνδυάσει (ποιοτικά) την A.K.Z. αλλά και την απεικόνιση της οικολογικής προτίμησης σε πίνακες χρησιμότητας (αντί των συναρτήσεων χρησιμότητας) με δείκτες ποιότητας των κριτηρίων.

Έτσι, για να αξιολογηθεί ένα υλικό ή ακόμα καλύτερα τα υλικά της αρχιτεκτονικής σύνθεσης μιας κατασκευής, δημιουργούνται σενάρια (υποθέσεις εργασίας) σύμφωνα με τα οποία, τα υλικά τοποθετούνται στο κτήριο και -αξιολογώντας την συμπεριφορά τους στον χρόνο- καταλήγουμε στην βέλτιστη απόφαση επιλογής.

Οι δείκτες μπορεί να είναι αριθμητικοί, αλλά επειδή δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν οι περισσότερες παράμετροι αυτού του προβλήματος, προτιμάται η χρησιμοποίηση χρωματικών ή συμβολικών δεικτών οι οποίοι έχουν ποσοτικοποιηθεί κατόπιν προσεκτικής μελέτης και αξιολόγησης των υλικών.

Τέτοιοι δείκτες έχουν καθιερωθεί να χρησιμοποιούνται και στις συσκευασίες των υλικών.

Απεικονίσεις								
Ευρωπαϊκή								
Παγκόσμια								
Σύμβολο	E	F	N	T	C	Xn	Xi	O
Ερμηνεία	εκρηκτικό	πολύ εύφλεκτο	επικίνδυνο για το περιβάλλον	τοξικό	διαβρωτικό	Επιβλαβές για τον άνθρωπο	Ερεθιστικό σε οργανισμούς	οξειδωτικό

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικοί δείκτες επικινδυνότητας των υλικών που υπάρχουν στις συσκευασίες των υλικών

Επειδή τα κριτήρια για την αξιολόγηση της οικολογικής συμπεριφοράς ενός υλικού είναι σαφώς περισσότερα, για να αποδοθεί η διατύπωση ενός προβλήματος με ειλικρίνεια, ερμηνεύουμε τις ιδιότητες των υλικών που θέλουμε να αξιολογήσουμε και να τις απεικονίσουμε με κατάλληλη βαθμονόμηση έτσι ώστε να είναι εύκολα κατανοητές από έναν χρήστη του πίνακα. Αυτό έχει στόχο την ειλικρίνεια της αξιολόγησης μιας και δεν προσπαθεί να «διαμορφώσει» με πολύπλοκα μαθηματικά (συναρτήσεις χρησιμότητας) και αυθαίρετους συντελεστές βαρύτητας τα αποτελέσματα.






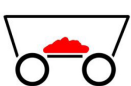









8.7 Κατηγοριοποίηση κριτηρίων αξιολόγησης, για την εφαρμογή πίνακα χρησιμότητας πολυκριτηριακής ανάλυσης

Στις προηγούμενες παραγράφους, παρουσιάστηκαν οι διαφορετικές αντιλήψεις για την αξιολόγηση της οικολογικής συμπεριφοράς των υλικών αλλά διαπιστώθηκε ότι η πολυκριτηριακή ανάλυση με την χρήση πινάκων χρησιμότητας αποτελεί και την πιο ειλικρινή μέθοδο αποτίμησης.









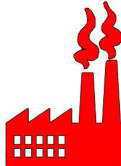






Στα πλαίσια αυτά απεικονίζεται συνοπτικά το πρόβλημα της αξιολόγησης της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς των υλικών, με τα κριτήρια των οποίων η περιγραφή έγινε στο κείμενο.

Επισημαίνεται ότι είναι λάθος να αξιολογείται ένα υλικό, απλά ως υλικό, αλλά πρέπει να αξιολογείται το υλικό όταν βρίσκεται μέσα στο κατασκευαστικό μέλος.
















Συνοπτικά, τα κριτήρια που απεικονίζονται, βαθμονομούνται ποιοτικά και περιγράφονται στους παρακάτω πίνακες.

Περιγραφή κριτηρίου	Θετική αξιολόγηση κριτηρίου	Σύμβολο-κατάταξη		
Πρωτογενής, ανακυκλωμένες πρώτες ύλες	+ οι πρώτες ύλες να προέρχονται από ανακύκλωση	 Από ανακύκλωση	 Πρωτογενείς και ανακυκλωμένες	 Πρωτογενείς
Επάρκεια πρώτων υλών	+ οι πρώτες ύλες να βρίσκονται σε αφθονία	 Σε αφθονία	 Περιορισμένες	 Σπάνιες
Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την συλλογή-εξόρυξη	+ να μην υπάρχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον από την συλλογή-εξόρυξη	 Χωρίς επιπτώσεις ή αναστρέψιμες	 Λίγες επιπτώσεις	 Σοβαρές επιπτώσεις
Ανανεώσιμες, μη ανανεώσιμες πρώτες ύλες	+ οι πρώτες ύλες να είναι ανανεώσιμες	 Ανανεώσιμες πρώτες ύλες	 Ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πρώτες ύλες	 Μη ανανεώσιμες πρώτες ύλες
Ποσότητα απαιτούμενων υλικών για την κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών	+ μικρότερη ποσότητα υλικών για την κάλυψη των αναγκών	 Μικρή ποσότητα πρώτων υλών	 Αρκετή ποσότητα πρώτων υλών	 Μεγάλη ποσότητα πρώτων υλών













Πίνακας 6: Κριτήρια αξιολόγησης κατάταξης πρώτων υλών

Περιγραφή κριτηρίου	Θετική αξιολόγηση κριτηρίου	Σύμβολο-κατάταξη		
Ενσωματωμένη ενέργεια	+ η παραγωγική διαδικασία απαιτεί μικρή ενσωματωμένη ενέργεια	 Καθόλου ή ελάχιστη ενσωματωμένη ενέργεια	 Αρκετή ενσωματωμένη ενέργεια	 Μεγάλη ενσωματωμένη ενέργεια
Κατανάλωση νερού για την παραγωγή	+ η παραγωγική διαδικασία απαιτεί μικρή κατανάλωση νερού	 Καθόλου ή ελάχιστη κατανάλωση νερού	 Αρκετή κατανάλωση νερού	 Μεγάλη κατανάλωση νερού
Εκπομπές αερίων κατά την παραγωγή	+ η παραγωγική διαδικασία δεν διοχετεύει αέριους ρύπους στο περιβάλλον	 Καθόλου ή ελάχιστοι αέριοι ρύποι	 Αρκετοί αέριοι ρύποι	 Πολλοί αέριοι ρύποι
Απώλεια πρώτων υλών κατά την παραγωγή των υλικών	+ κατά την παραγωγική διαδικασία να μην υπάρχουν απώλειες πρώτων υλών	 Ελάχιστες απώλειες κατά την παραγωγή	 Αρκετές απώλειες κατά την παραγωγή	 Πολλές απώλειες κατά την παραγωγή
Τοξική συμπεριφορά κατά την παραγωγή	+ κατά την παραγωγική διαδικασία να μην εμφανίζεται τοξική συμπεριφορά ή τοξικά απόβλητα σε κάποιο στάδιο παραγωγής του υλικού	 Καθόλου τοξική συμπεριφορά	 Πιθανότητα εμφάνισης τοξικής συμπεριφοράς	 Τοξική συμπεριφορά

Πίνακας 7: Κριτήρια αξιολόγησης κατάταξης παραγωγικής διαδικασίας

Περιγραφή κριτηρίου	Θετική αξιολόγηση κριτηρίου	Σύμβολο-κατάταξη		
Ενσωματωμένη ενέργεια λόγω μεταφοράς	+ τα υλικά παράγονται στην περιοχή στην οποία θα χρησιμοποιηθούν	 Τοπικά υλικά	 Υλικά από την ευρύτερη περιοχή	 Υλικά από απομακρυσμένες περιοχές
Ενεργειακή συμπεριφορά του υλικού στην κατασκευή	+ να μην προκύπτουν ενεργειακές απώλειες στην κατασκευή από το υλικό που χρησιμοποιείται	 Υλικά με καλή ενεργειακή συμπεριφορά	 Υλικά με αποδεκτή ενεργειακή συμπεριφορά	 Υλικά με κακή ενεργειακή συμπεριφορά
Γήρανση του υλικού στην κατασκευή	+ το υλικό να έχει διάρκεια ζωής τουλάχιστον όση η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του έργου	 Υλικά με μεγάλη διάρκεια ζωής	 Υλικά με ανεκτή διάρκεια ζωής	 Υλικά με μικρή διάρκεια ζωής
Επανάχρηση του υλικού	+ να μπορεί να γίνει εύκολη επανάχρηση του υλικού	 Υλικά που επαναχρησιμοποιούνται εύκολα	 Υλικά που γίνεται να επαναχρησιμοποιηθούν	 Υλικά που δεν επαναχρησιμοποιούνται
Τοξική συμπεριφορά κατά την χρήση του υλικού	+ κατά την χρήση να μην εμφανίζεται τοξική συμπεριφορά	 Καθόλου τοξική συμπεριφορά	 Πιθανότητα εμφάνισης τοξικής συμπεριφοράς	 Τοξική συμπεριφορά

Πίνακας 8: Κριτήρια αξιολόγησης κατάταξης της εφαρμογής και χρήσης ενός υλικού

Περιγραφή κριτηρίου	Θετική αξιολόγηση κριτηρίου	Σύμβολο-κατάταξη		
Ικανότητα ανακύκλωσης	+ να είναι εύκολη και εφικτή η ανακύκλωση του υλικού	 Υλικά που ανακυκλώνονται εύκολα	 Υλικά που είναι εφικτή η ανακύκλωσή τους	 Υλικά που είναι δύσκολη ή αδύνατη η ανακύκλωσή τους
Ενσωματωμένη ενέργεια ανακύκλωσης	+ το υλικό να έχει απαιτεί μικρή ενσωματωμένη ενέργεια για να ανακυκλωθεί	 Καθόλου ή ελάχιστη ενσωματωμένη ενέργεια	 Αρκετή ενσωματωμένη ενέργεια	 Μεγάλη ενσωματωμένη ενέργεια
Βιοδιάσπαση του υλικού	+ όταν το υλικό γίνεται απόρριμμα, να γίνεται εύκολα η βιοδιάσπαση του υλικού και η αφομοίωση του από το περιβάλλον	 Υλικά που βιοδιασπώνται εύκολα	 Υλικά που απαιτούν αρκετό χρόνο για να βιοδιασπασθούν	 Υλικά που απαιτούν πολύ χρόνο για να βιοδιασπασθούν
Τοξική συμπεριφορά κατά την απόρριψη του υλικού	+ κατά την απόρριψη του υλικού να μην εμφανίζεται τοξική συμπεριφορά	 Καθόλου τοξική συμπεριφορά	 Πιθανότητα εμφάνισης τοξικής συμπεριφοράς	 Τοξική συμπεριφορά

Πίνακας 9: Κριτήρια αξιολόγησης κατάταξης της απόρριψης ενός υλικού

8.8 Παρουσίαση της ποιοτικής αξιολόγησης δύο υλικών μέσω του πίνακα χρησιμότητας

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια ενδεικτική ποιοτική αξιολόγηση του ωμόπλινθου και του οπτόπλινθου ως υλικού πληρώσεως τοιχοποιίας, με βάση τα κριτήρια που περιγράφονται πιο πάνω.

Στόχος είναι, μέσα από αυτήν την ποιοτική ανάλυση να μπορέσει ο μηχανικός ή ο χρήστης να έχει μια εποπτική εικόνα δύο διαθέσιμων υλικών και να κάνει την βέλτιστη επιλογή.

Επισημαίνεται όμως ότι η αξιολόγηση είναι ενδεικτική και είναι εξαρτώμενη από την θέση του έργου, τον σχεδιασμό του έργου και το ευρύτερο περιβάλλον του έργου.

Ωμόπλινθος	Οπτόπλινθος	Ωμόπλινθος	Οπτόπλινθος	Ωμόπλινθος	Οπτόπλινθος	Ωμόπλινθος	Οπτόπλινθος
Πρώτες ύλες		Παραγωγική διαδικασία		Χρήση-εφαρμογή των υλικών		Απόρριψη των υλικών	

Πίνακας 10: Πίνακας χρησιμότητας. Ποιοτική-ενδεικτική αξιολόγηση με οικολογικά κριτήρια ωμόπλινθου και οπτόπλινθου.

9 Επιλεγόμενα

Σε μια περισσότερο γενική θεώρηση της κατασκευής, ενιαίο κριτήριο της αξιολόγησης του οικολογικού χαρακτήρα της επιτυγχάνεται με τη μείωση των χρησιμοποιούμενων υλικών. Υλικά που αγοράζονται χωρίς ποτέ να χρησιμοποιούνται, κτήρια που σχεδιάζονται για να καλύψουν ανάγκες που δεν υπάρχουν, δεν συνάδουν στον οικολογικό σχεδιασμό, ενώ εφ' όσον είναι άχρηστα, προκύπτουν ως απόβλητα ενώ ταυτόχρονα δαπανούν σημαντική ενέργεια.

Στα πλαίσια αυτά, η «οικολογικά βέλτιστη» επιλογή αναφέρεται στην διεθνή βιβλιογραφία ως τα τέσσερα 4R (Reuse, Reduce, Repair, Recycling) επανάχρηση, εξοικονόμηση, επισκευή και ανακύκλωση.

Τέλος, επειδή το αντικείμενο είναι αρκετά εξειδικευμένο, ενδεχόμενα προβλήματα-δυνατότητες που προκύπτουν από διάφορα δομικά υλικά, πρέπει να τα εξετάζονται και να πιστοποιούνται από Φορείς με κατάλληλα εργαστήρια (π.χ. τοξικότητας), και δυνατότητας σχετικών ελέγχων στην παραγωγή (π.χ. για τις εκπομπές αέριων ρύπων ή τον έλεγχο της ενσωματωμένης ενέργειας), γιατί είναι σχεδόν αδύνατο ένας μελετητής να προσεγγίσει αξιόπιστα τα γνωστικά κενά που θα προκύψουν στην διαδικασία μιας τέτοιας μελέτης.

Δυστυχώς όμως, τέτοιοι φορείς στην Ελλάδα δεν υπάρχουν.

10 Βιβλιογραφία

10.1 Ελληνική βιβλιογραφία

1. Γιάννη Μ., Διαχείριση αποβλήτων δομικών έργων, Περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ σελ. 52-56, τ.178/2006.
2. Ευθυμιόπουλος Η., (συντ.), *Οικολογική Δόμηση*, εκδ. Ελληνικά Γράμματα. Αθήνα 2000.
3. Μεσσίνας Η., Η ανακύκλωση των υλικών στα κτίρια. Διάλεξη στο συνέδριο του ΣΟΛΑΡ στην Κεφαλλονιά (4-6/11/2005).
4. Μεσσίνας Η., Οικολογία και Αρχιτεκτονική, Νέα του Σαρωνικού σελ. 23, (20/4/2006).
5. Μονάδα Ανακύκλωσης Αδρανών Υλικών, Life 00 ENV/GR/000739
6. Μπαρτσιώκα Κ. & Ν. Συμεωνίδης, *Οικολογική αξιολόγηση κτηρίων κατοικίας*, Διπλωματική εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., 2006.
7. Νόμος 2939/2001 και ανακύκλωση στην ιστοσελίδα ΥΠΕΧΩΔΕ www.minenv.gr
8. Οδηγία 2002/91/ΕΕ (ενεργειακή απόδοση των κτιρίων)
9. Οδηγία 67/548/ΕΕ (επικίνδυνες ουσίες)
10. Πουλόπουλος Π., Τα μπάζα δεν είναι πλέον για πέταμα, Συνέντευξη της Μ. Μπάρλα (ΓΕΣΔΑΠ ΥΠΕΧΩΔΕ), Περιοδικό ECOTEC σελ. 60-61, αριθ. 3, 9/2005.
11. Πρόγραμμα SUSCON (Αειφόρο Κατασκευή στο Δημόσιο και Ιδιωτικό Τομέα μέσω της Ολοκληρωμένης Πολιτικής Προϊόντων) www.uest.gr/suscon
12. Σαργέντης Γ.-Φοίβος, Επιλογή δομικών υλικών με οικολογικά κριτήρια, ΚΤΙΡΙΟ, σελ. 103-114, τ.103/2011.
13. Σαργέντης Γ.-Φοίβος, LOW TECH Αρχιτεκτονική, Τεχνολογική αιχμή ή αιχμή της τεχνικής;, ΚΤΙΡΙΟ, σελ. 61-66, τ.1/2012.
14. Σαργέντης Γ.-Φοίβος, Ενσωματωμένη ενέργεια, το υλικό ως ενεργειακή αποθήκη, ΚΤΙΡΙΟ, σελ. 55-60, τ.5/2014.
15. Σαργέντης Γ.-Φοίβος, Κριτήρια, μεθοδολογία & αξιολόγηση της οικολογικής συμπεριφοράς των υλικών, εκδ. Ε.Μ.Πολυτεχνείο, Σχολή Αρχιτεκτόνων, Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών, Αθήνα 2015.
16. Σταμάτη Λ., (2005). Στα...σκουπίδια η ανακύκλωση. Εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ σελ. 14, 10/1/2005.
17. ΦΕΚ 1204/17.9.2002 «Τροποποίηση του αρ.15420/3278/14.6.2000 απόφασης του Υπουργού

Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων 'Διαδικασία αποκατάστασης ανενεργών λατομείων νομού Αττικής' (Β'783).»

18. ΦΕΚ 138Β/8.3.1991 «Καθορισμός μέτρων και μεθόδων για την πρόληψη και μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από εκπομπές αμιάντου.»
19. ΦΕΚ 783/23.6.2000 «Διαδικασία αποκατάστασης περιβάλλοντος ανενεργών λατομείων νομού Αττικής.»
20. Χαραλαμπάκης, Μ. (2006). «Οι χωματερές της Πάρνηθας». Εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ σελ. 57, (7/3/2006).

10.2 Ξένη βιβλιογραφία

21. Asif M., Muneer T. and Kelley R., Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland, J. Building and Environment, 42(3), pp 1391–1394, 2007.
22. Canter D., *Περιβαλλοντική Ψυχολογία*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη 1988.
23. Cole, R.J. and Kernan, P.C., Life-Cycle Energy Use in Office Buildings, J. Building and Environment, 31: 4, pp. 307-317, 1996.
24. Christofides A., A. Efstratiadis, D. Koutsoyiannis, G.-F. Sargentis, and K. Hadjibiros, «Resolving conflicting objectives in the management of the Plastiras Lake: can we quantify beauty?», J. Hydrology and Earth System Sciences, 9(5), pp. 507-515, 2005.
25. Comparing the Environmental Effects of Building Systems, Wood the Renewable Resource Case Study No.4, Canadian Wood Council, Ottawa, 1997.
26. Lawson B. , *Building Materials Energy and the Environment: Towards Ecologically Sustainable Development*, Royal Australian Institute of Architects, 1996.
27. Lenzen M. and Ch. Dey, Truncation error in embodied energy analyses of basic iron and steel products», J. Energy, 25(6), pp 577–585, 2000.
28. Sustainable Building Technical Manual, Green Building Design, Construction and Operations, Public Technology Inc.1996.
29. Thormark C., A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential, J. Building and Environment, 37(4), pp 429–435, 2002.
30. Treloar G., McCoubrie A. and E.D. Love P., Embodied energy analysis of fixtures, fittings and furniture in office buildings», Usha Iyer-Raniga, 17(11), pp.403 – 410, 1999.
31. Wolley T., et al., *Green Building Handbook*, E&FN Spon, 1999.

32. Yohanis Y.G. and B. Norton (2002), «Life-cycle operational and embodied energy for a generic single-storey office building in the UK, *Energy*», 27 (1), pp. 77–92.
33. Bastianoni S., A. Galli, V. Niccolucci & R. M. Pulselli (2006), *The ecological footprint of building construction*, Department of Chemical and Biosystems Sciences, University of Siena, Italy.
34. Hobbs, G. & Collins, R. (1997). Demonstration of reuse and recycling of materials: BRE energy efficient office of the future, CI/SfB a(T5), BRE, February.
35. Hobbs, G. (1996). Management of construction and demolition wastes, Building Research Establishment Information Paper. IP1/96, Garston: CRC.
36. Snook, K., Turner, A., & Ridout, R. (1995). Recycling waste from construction sites. CIOB.
37. Skoyles, E.R. & Skoyles, R. (1987). *Waste prevention on site*, London: Mitchell.
38. Collins, R.J. (1994). The use of recycled aggregates in concrete, Building Research Establishment Information Paper. IP5/94, Garson: CRC.
39. Building Research Establishment (1996). Sulfate and acid resistance on concrete in the ground. BRE Digest 363, Garson: CRC.