

ΚΡΙΤΗΡΙΑ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ
& ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ
ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ
ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Γ.-ΦΟΙΒΟΣ ΣΑΡΓΕΝΤΗΣ



ΚΡΙΤΗΡΙΑ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Γ.-Φοίβος Σαργέντης

Δρ Μηχανικός Ε.Μ.Π., Ε.ΔΙ.Π. Ε.Μ.Π.

Διδακτικές σημειώσεις για το μάθημα του 5^{ου}
Εξαμήνου «Τεχνολογία Δομησίμων Υλών, Ειδικά
Κεφάλαια» της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του
Ε.Μ.Πολυτεχνείου.

*Τα κείμενα και οι εικόνες, είναι δημοσιευμένα στα
παρακάτω τεύχη του Τεχνικού Περιοδικού ΚΤΙΡΙΟ και
αναδημοσιεύονται με την άδεια του περιοδικού.*

Σαργέντης Γ.-Φοίβος, Επιλογή δομικών υλικών με
οικολογικά κριτήρια, τεχνικό περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ,
Απρίλιος 2011.

Σαργέντης Γ.-Φοίβος, LOW TECH Αρχιτεκτονική,
Τεχνολογική αιχμή ή αιχμή της τεχνικής;, τεχνικό
περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ, Ιανουάριος-Φεβρουάριος 2012.

Σαργέντης Γ.-Φοίβος, Ενσωματωμένη ενέργεια, το υλικό
ως ενεργειακή αποθήκη, τεχνικό περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ,
Ιούνιος 2014.

Εικόνα εξωφύλλου: Το κτήριο ως ενεργειακή αποθήκη.
Η εικόνα είναι δημοσιευμένη στο δικτυακό
τόπο www.preservationnation.org και
αναδημοσιεύεται με την άδειά του.

Το τεύχος είναι διαθέσιμο από τη διεύθυνση:
www.ntua.gr/vitruvius/

© 2015 Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών
Τομέας Συνθέσεων Τεχνολογικής Αιχμής (4)
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αθήνα, Ιανουάριος 2015.

1 Περιεχόμενα

1	Περιεχόμενα	5
2	Κατάλογος εικόνων	5
3	Κατάλογος πινάκων.....	6
4	Η οικολογική έκφραση ως κοινωνική ωρίμανση	7
5	Πράσινη αρχιτεκτονική	7
6	Ο κύκλος ζωής ενός υλικού	9
7	Πρώτες ύλες. Συλλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση	11
8	Τοξικότητα	14
9	Ραδιενέργεια	17
10	Ενσωματωμένη ενέργεια: Το κτήριο ως ενεργειακή αποθήκη	18
10.1	Τι είναι ενσωματωμένη ενέργεια	18
10.2	Μέθοδοι προσδιορισμού της ενσωματωμένης ενέργειας.....	23
10.3	Το υλικό ως ενεργειακή αποθήκη	23
10.4	Ενεργειακή αξιολόγηση των υλικών στην διάρκεια του κύκλου ζωής.....	25
10.5	Η υποκειμενικότητα της ενσωματωμένης ενέργειας.....	27
10.6	Ενεργειακή οικονομία και οικολογική ισορροπία 28	
11	Άλλα κριτήρια	30
11.1	Εκπομπές αέριων ρύπων στην διάρκεια του κύκλου ζωής του υλικού	30
11.2	Low-Tech αρχιτεκτονική και τα υλικά της.....	31

12	Αξιολόγηση και επιλογή των δομικών υλικών με οικολογικά κριτήρια	35
12.1	Αναλύσεις κόστους-οφέλους	35
12.2	Ανάλυση του κύκλου ζωής	36
12.3	Οικολογική προτίμηση.....	37
12.4	Πολυκριτηριακή ανάλυση	37
12.5	Πολυκριτηριακή ανάλυση μέσω του πίνακα χρησιμότητας.....	38
13	Επιλεγόμενα.....	40
14	Βιβλιογραφία.....	41

2 Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 5.1: Κατασκευαστική δραστηριότητα και οικοσύστημα.....	8
Εικόνα 6.1: Διάγραμμα ροής του κύκλου ζωής ενός δομικού υλικού.....	9
Εικόνα 6.2: Καθαρισμός εργοταξίου.....	10
Εικόνα 7.1: Μεταλλείο στη Μήλο.....	11
Εικόνα 7.2: Πρώτες ύλες. Συλλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση	13
Εικόνα 7.3: Απώλειες πρώτων υλών κατά την παραγωγή συνήθη υλικών	13
Εικόνα 10.1: Το κτήριο ως ενεργειακή αποθήκη	18
Εικόνα 10.2: Σκυροδέτηση πλάκας σε εργοτάξιο.....	19

Εικόνα 10.3: Ποιοτική-ποσοτική απεικόνιση της ενσωματωμένης ενέργειας για συνήθη υλικά	20
Εικόνα 10.4: Ποιοτική-ποσοτική απεικόνιση της ενσωματωμένης ενέργειας για προϊόντα ξύλου.....	21
Εικόνα 10.5: Σκυροδέτηση πλάκας.	21
Εικόνα 10.6: Ποιοτική-ποσοτική απεικόνιση της ενσωματωμένης ενέργειας και της ενσωματωμένης ενέργειας λόγω ανακύκλωσης	22
Εικόνα 10.7: Κατανομή της αρχικής ενσωματωμένης ενέργειας που χρειάζονται για να κατασκευαστούν τα μέρη ενός τυπικού κτηρίου γραφείων	26
Εικόνα 10.8: Ενσωματωμένη ενέργεια υλικών και ενέργεια συντήρησης και λειτουργίας κτηρίου (ανά τετραγωνικό μέτρο).....	26
Εικόνα 10.9: Κατανομή της αρχικής ενσωματωμένης ενέργειας σε σχέση με την ενσωματωμένη ενέργεια λειτουργίας για κάθε κατασκευαστικό μέρος.	26
Εικόνα 10.10: Ενσωματωμένη ενέργεια σε GJ/m ² κάθε μέρους της κατασκευής (αρχική, έως την ενσωμάτωση στην κατασκευή)	27
Εικόνα 11.1: Κατοικία από πλίνθους στην περιοχή του Παλαιού Φαλήρου στην Αθήνα	32

3 Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 10.1: Ενσωματωμένη ενέργεια συνήθη υλικών κατά βάρος και όγκο	24
Πίνακας 10.2: Ενσωματωμένη ενέργεια σε προϊόντα ξύλου	24
Πίνακας 10.3: Ενσωματωμένη ενέργεια σε κουφώματα παραθύρων διαστάσεων 1,20X1,20m με διπλό υαλοπίνακα	24
Πίνακας 12.1: <i>Χρωματικοί «δείκτες ποιότητας» πολυκριτηριακής ανάλυσης</i>	38
Πίνακας 12.2: Παράδειγμα πίνακα χρησιμότητας πολυκριτηριακής ανάλυσης και αξιολόγησης...	40

4 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 βιοποικιλίας 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.

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 περιγράφει ο D. Cander 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».

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.

5 Πράσινη αρχιτεκτονική

Στον τομέα της δόμησης, έναν εξαιρετικά ρυπογόνο τομέα της σύγχρονης παραγωγής, η στροφή προς τις βιώσιμες καθαρές τεχνολογίες είναι δυνατόν να επιφέρει άμεσα-θετικά αποτελέσματα.

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 ταχύς ρυθμούς και ο άνθρωπος απαιτεί ανανέωση των κατασκευών και θερμική άνεση κάθε εποχή του χρόνου.

Όταν αναφερόμαστε σήμερα σε οικολογική (πράσινη) αρχιτεκτονική, συνήθως εννοούμε την βιοκλιματική αρχιτεκτονική η οποία αξιοποιεί τον προσανατολισμό του κτηρίου, τον φυσικό αερισμό κ.α. κλιματολογικά στοιχεία, με στόχο την βέλτιστη λειτουργία κτηρίου στο οποίο επικρατούν συνθήκες θερμικής, οπτικής και ακουστικής άνεσης με την ελάχιστη τεχνολογική υποστήριξη. .

Αφού όμως το κτήριο αποτελείται από υλικά και στα πλαίσια του πράσινου σχεδιασμού του, οφείλει να συμπεριληφθεί η αξιολόγηση με οικολογικά κριτήρια των δομικών υλικών του.

Η επιλογή των υλικών ενός κτηρίου εξαρτάται άμεσα από μια σειρά 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.

Η διαδικασία παραγωγής των υλικών, ο κύκλος ζωής τους και η τελική τους διάθεση (απόρριψη) έχει σημαντικές επιπτώσεις στο ευρύτερο περιβάλλον.



Εικόνα 5.1: 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 τη θερμική συμπεριφορά των κτηρίων και επηρεάζουν το εξωτερικό περιβάλλον.

Το δομημένο περιβάλλον αποτελεί υποσύστημα του φυσικού οικοσυστήματος στο οποίο έχουμε τις παρακάτω εισαγωγές: πρώτες ύλες, νερό και ενέργεια.

Εξερχόμενα είναι τα: απόβλητα, απώλειες ενέργειας, ενδεχόμενοι τοξικοί ρύποι και τα ίδια τα υλικά ως απορρίμματα.

6 Ο κύκλος ζωής ενός υλικού

Ο κύκλος ζωής ενός οικοδομικού υλικού περιέχει τα εξής στάδια.

- Συλλογή-εξόρυξη
- Βιομηχανική παραγωγή-επεξεργασία
- Κατασκευή
- Χρήση της κατασκευής
- Κατεδάφιση
- 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.



Εικόνα 6.1: Διάγραμμα ροής του κύκλου ζωής ενός δομικού υλικού

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 φτιάχνουμε.



Εικόνα 6.2: 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

Αν για παράδειγμα φτιάξουμε 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.

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 πλέον τον προσδιορισμό του χρόνου ζωής τους.

Στα νέα αναπτυσσόμενα υλικά, γίνεται προσπάθεια 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:

- Η εξοικονόμηση, η επανάχρηση και η ανακύκλωση των πρώτων υλών
- Η ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών (εξαρτάται κυρίως από την διαδικασία παραγωγής αλλά και της μεταφοράς στο εργοτάξιο)
- Η εξοικονόμηση της ενέργειας που καταναλώνεται για θέρμανση, ψύξη και φυσικό φωτισμό κατά την λειτουργία του κτηρίου

- 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 και NO_x κατά την διάρκεια παραγωγής τους.

7 Πρώτες ύλες. Συλλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση

Ο τρόπος με τον οποίο διαχειριζόμαστε τις πρώτες ύλες 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.

Οι πρώτες ύλες διακρίνονται σε ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες. Έτσι 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), ενώ τα μεταλλεύματα δεν αποτελούν ανανεώσιμη πρώτη ύλη μιας και υπάρχουν όρια και συγκεκριμένα αποθέματα στην φύση.



Εικόνα 7.1: 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.

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.

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 (ξερολιθιά)
- Ορισμένα μονωτικά (εφ' όσον δεν έχουν υποστεί γήρανση και είναι σε καλή κατάσταση)
- Ξυλεία φέροντος οργανισμού
- Προϊόντα γύψου (γυψοσανίδες κ.λ.π.)

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, μ' 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:

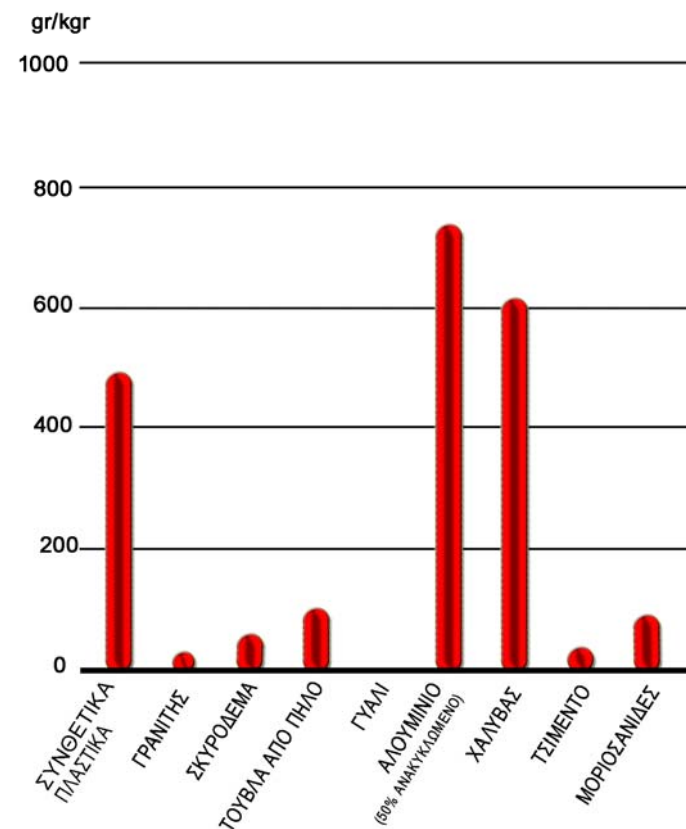
- Πρωτογενή: υλικά που ανακτώνται από υλικά «απορρίμματα»-κατεδάφισης.
- Δευτερογενή: υλικά που προκύπτουν ως παραπροϊόντα άλλων διεργασιών (σκωρίες, πριονίδι)

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 7.2: Πρώτες ύλες. Συλλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση



Εικόνα 7.3: Απώλειες πρώτων υλών κατά την παραγωγή συνήθη υλικών

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.

8 Τοξικότητα

Τοξικότητα είναι η ιδιότητα ορισμένων υλικών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές και αποτελούνται ή περιέχουν ουσίες που ονομάζονται τοξικές.

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.

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/ΕΕ 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 (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 φορμαλδεΐδες 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".

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 (συνυπάρξή 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.

9 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 της υγείας.

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 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 δια μέσω 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 έχουνε ευρεία χρήση στην καθημερινή εφαρμογή.

10 Ενσωματωμένη ενέργεια: Το κτήριο ως ενεργειακή αποθήκη

10.1 Τι είναι ενσωματωμένη ενέργεια

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.



Εικόνα 10.1: Το κτήριο ως ενεργειακή αποθήκη

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.

Η ενσωματωμένη ενέργεια αναφέρεται σαν 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.

Οι τιμές της ενσωματωμένης ενέργειας που αναφέρονται εδώ, είναι ενδεικτικές και προκύπτουν από αποτελέσματα ερευνών που αναφέρονται στην διεθνή βιβλιογραφία και διαφοροποιούνται σύμφωνα με τις παρακάτω παρατηρήσεις:

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 την ενέργεια μεταφοράς του υλικού στην τελική του θέση (cradle-to-gate) και αυτό εξαρτάται από τον τόπο της κάθε κατασκευής.



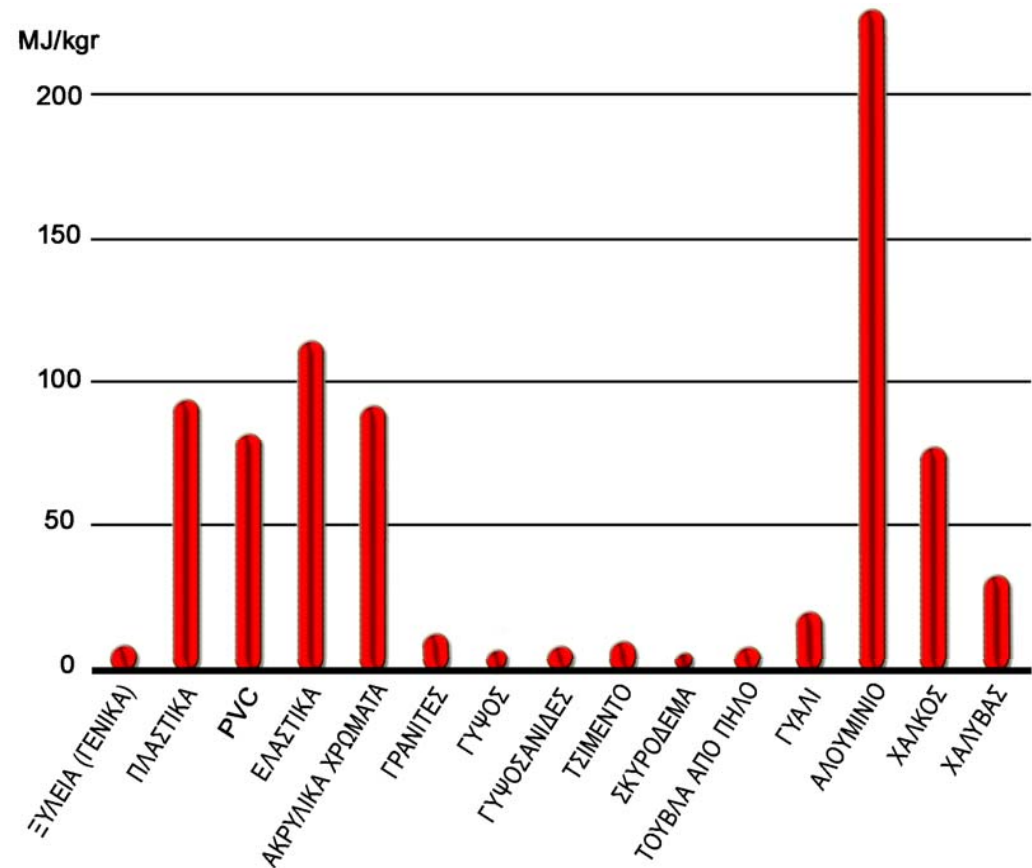
Εικόνα 10.2: Σκυροδέτηση πλάκας σε εργοτάξιο.

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 της κατασκευής

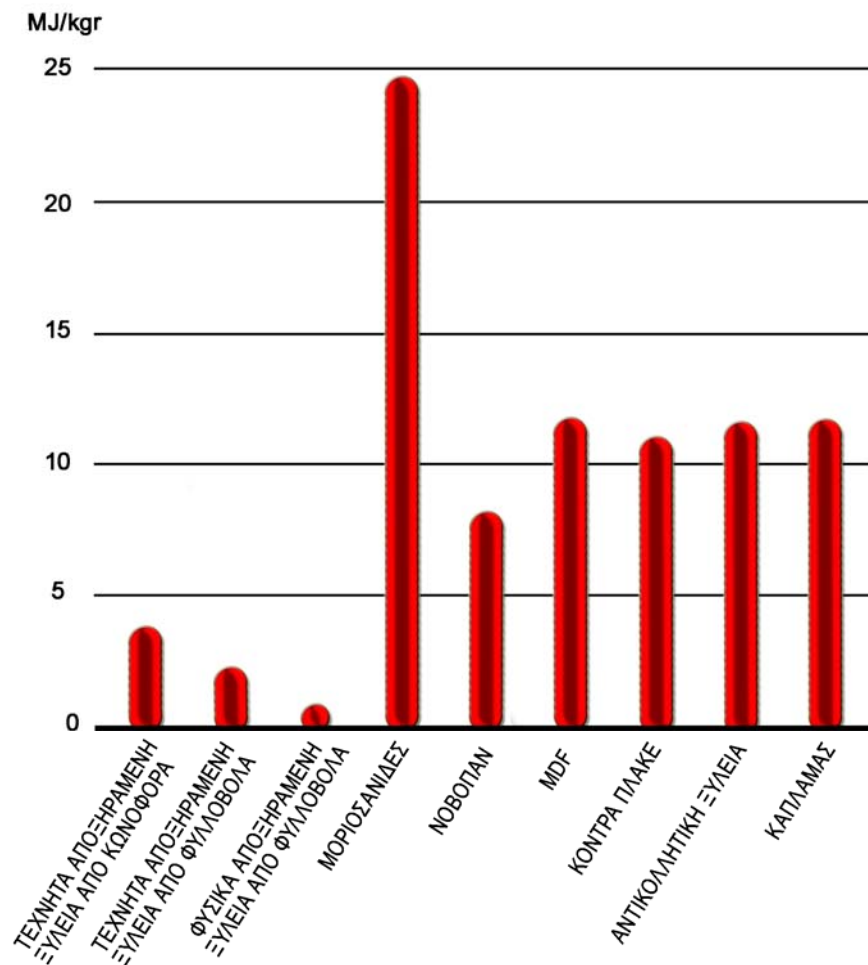
Για να αξιολογηθεί το κριτήριο της ενσωματωμένης ενέργειας ενός υλικού, πρέπει πρώτα και κύρια να αξιολογηθεί η ποσότητα των υλικών (το πόσα κιλά) χρειάζεται για να κατασκευαστεί π.χ. το κούφωμα από αλουμίνιο σε σχέση με το ίδιο κούφωμα από ξύλο. Αυτή η σύγκριση και όχι η αναφορά ότι το αλουμίνιο έχει 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.

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 παραγωγή 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.



Εικόνα 10.3: Ποιοτική-ποσοτική απεικόνιση της ενσωματωμένης ενέργειας για συνήθη υλικά



Εικόνα 10.4: Ποιοτική-ποσοτική απεικόνιση της ενσωματωμένης ενέργειας για προϊόντα ξύλου



Εικόνα 10.5: 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.

Η μεταφορά ενός υλικού από τη θέση παραγωγής στη θέση εφαρμογής είναι επίσης ένα κριτήριο που επηρεάζει την αξιολόγησή 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.

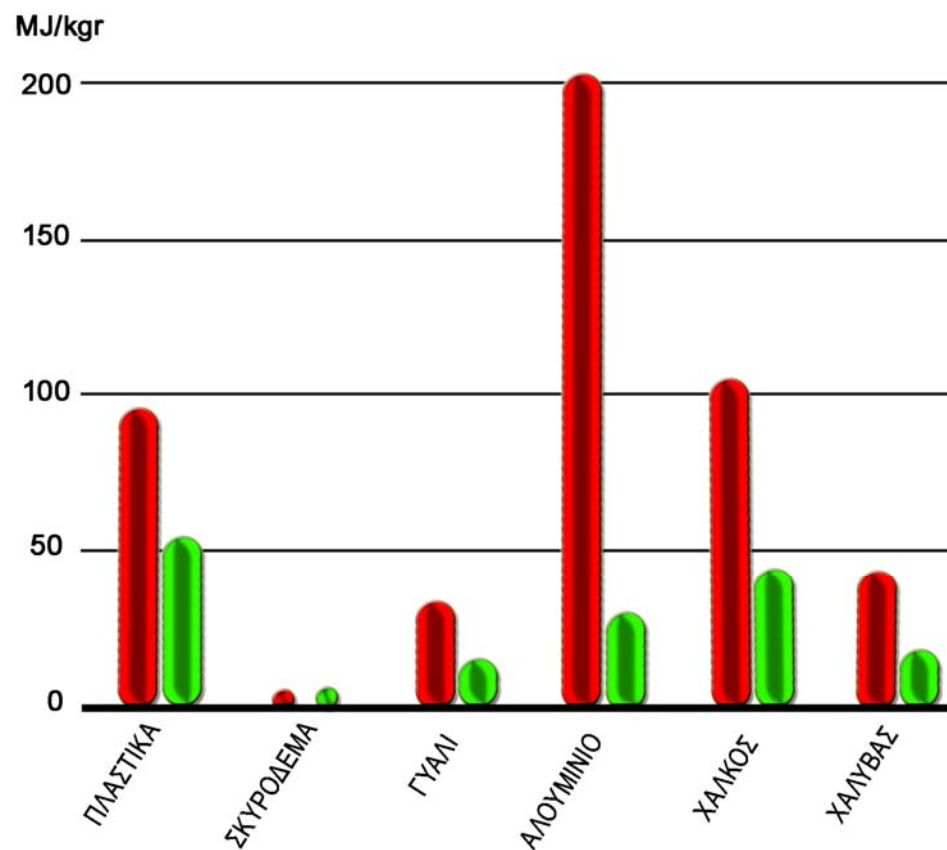
Σχετικά με αυτό και από διάφορες μελέτες έχει προκύψει ότι ο σιδηρόδρομος είναι οκτώ φορές οικονομικότερος (και οικολογικότερος) από τη μεταφορά των υλικών με αυτοκίνητα.

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.

Γι 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, μπορούμε να προσδιορίσουμε γενικά την συνολική ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών του κτηρίου.



Εικόνα 10.6: Ποιοτική-ποσοτική απεικόνιση της ενσωματωμένης ενέργειας και της ενσωματωμένης ενέργειας λόγω ανακύκλωσης

10.2 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 Embodied Energy & Carbon Material Inventory).

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.

10.3 Το υλικό ως ενεργειακή αποθήκη

Συνήθη μεγέθη προσδιορισμού της ενσωματωμένης ενέργειας είναι τα MJ/kg (megaJoules της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή ενός κιλού προϊόντος) (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).

Υλικό	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 Mpa)	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 (3A)	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 10.1: Ενσωματωμένη ενέργεια συνήθη υλικών κατά βάρος και όγκο

Υλικό	Ενσωματωμένη ενέργεια ανά μονάδα βάρους (MJ/kg)
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 10.2: Ενσωματωμένη ενέργεια σε προϊόντα ξύλου

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

Πίνακας 10.3: Ενσωματωμένη ενέργεια σε κουφώματα παραθύρων διαστάσεων 1,20X1,20m με διπλό υαλοπίνακα

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

Στην αξιολόγηση αυτή όμως, πρέπει να συμπεριληφθούν ενδεχόμενες διαφορετικές ενεργειακές συμπεριφορές του κάθε κατασκευαστικού μέλλους στην συνολική

ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του κτηρίου.

10.4 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, θα ανακτήσει περισσότερη ενσωματωμένη ενέργεια 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 Kernan1996), αποτυπώνουν διάφορες ενεργειακές ανάγκες των υλικών και του κτηρίου κατά την διάρκεια κατασκευής και λειτουργίας.

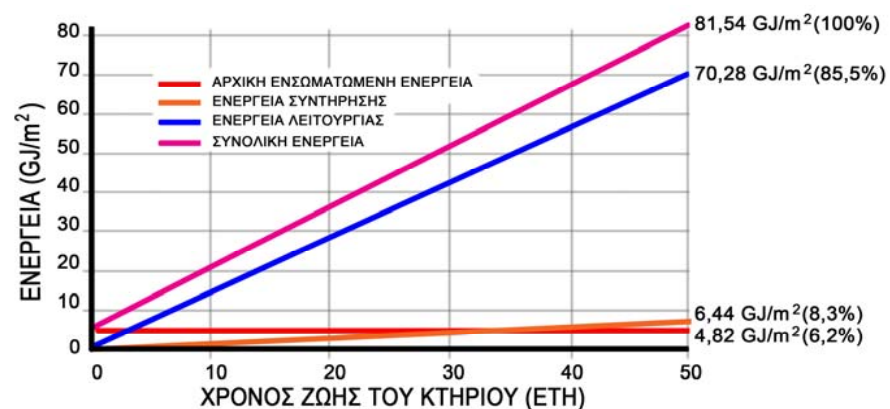
Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, οι μεγαλύτεροι καταναλωτές ενέργειας στην διάρκεια ζωής του κτηρίου είναι:

- Το κέλυφος (ενδεχόμενες μετατροπές που θα υποστεί για μεταβολή των χρήσεων)
- οι χρωματισμοί (τελειώματα) που γενικά απαιτούν συνεχή συντήρηση

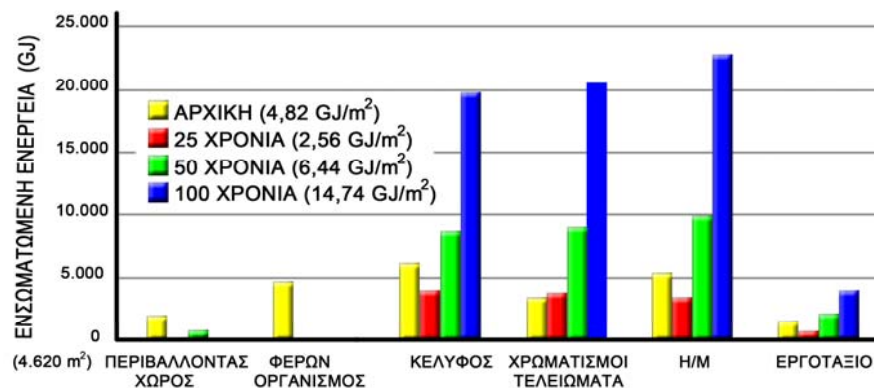
- οι Η/Μ εγκαταστάσεις του κτηρίου που γενικά έχουν μικρή διάρκεια ζωής και μεγάλες ανάγκες συντήρησης-ανανέωσης-αντικατάστασης.



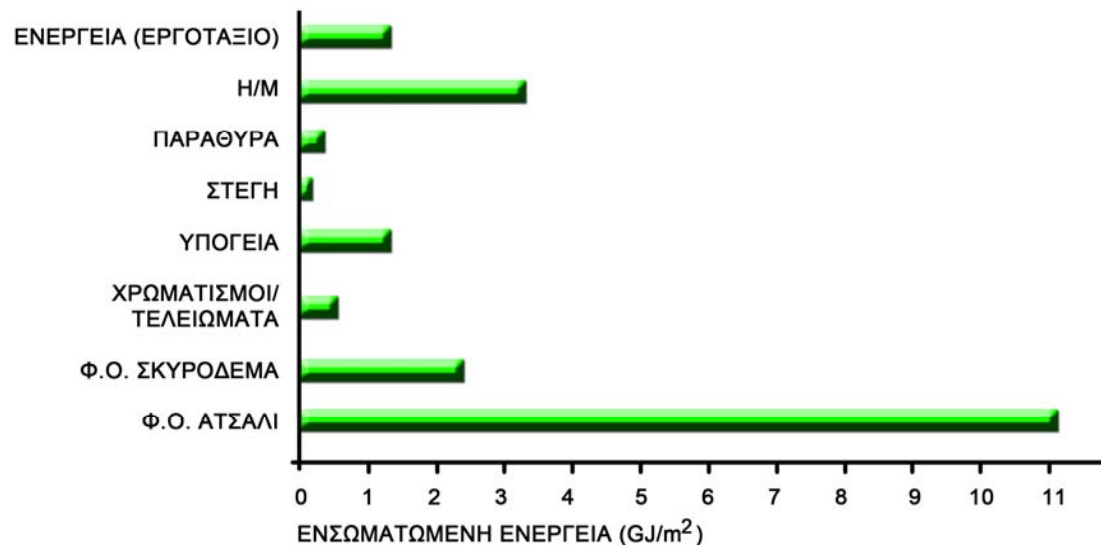
Εικόνα 10.7: Κατανομή της αρχικής ενσωματωμένης ενέργειας που χρειάζονται για να κατασκευαστούν τα μέρη ενός τυπικού κτηρίου γραφείων



Εικόνα 10.8: Ενσωματωμένη ενέργεια υλικών και ενέργεια συντήρησης και λειτουργίας κτηρίου (ανά τετραγωνικό μέτρο).



Εικόνα 10.9: Κατανομή της αρχικής ενσωματωμένης ενέργειας σε σχέση με την ενσωματωμένη ενέργεια λειτουργίας για κάθε κατασκευαστικό μέρος.



Εικόνα 10.10: Ενσωματωμένη ενέργεια σε GJ/m^2 κάθε μέρους της κατασκευής (αρχική, έως την ενσωμάτωση στην κατασκευή)

10.5 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. 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 ιδίου κατά βάση θέματος) παράγουν διαφορετικά αποτελέσματα αφού χρησιμοποιούν διαφορετικές κλίμακες μετρήσεων και διαφορετική απεικόνιση.

Στην υποκειμενικότητα των παραγώγων συμπεριλαμβάνεται και η ενσωμάτωση (ή όχι) υποκειμενικών παραμέτρων όπως η μεταφορά (π.χ. 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 στον οποίο οι επιστήμονες δεν έχουν καταλήξει σε ένα καθολικό προσδιορισμό της, μιας και υπάρχουν πολλές υποκειμενικές παράμετροι που πρέπει να ποσοτικοποιηθούν 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:

- Οι κατασκευές να ικανοποιούν τις ανάγκες, να μην είναι μεγαλύτερες απ' ό τι χρειάζεται και να σχεδιάζεται κατάλληλο κέλυφος που να ελαχιστοποιεί την χρήση των υλικών.
- Κατάλληλος σχεδιασμός και επιλογή υλικών έτσι ώστε τα υλικά 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 υπαρχόντων 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.

10.6 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 'χει 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 το κτήριο και τα υλικά του επηρεάζουν με διάφορους τρόπους το περιβάλλον και όχι μόνο με την ενέργεια που καταναλώνουν.

Γι α μια συνολικότερη αντίληψη των παραμέτρων, έχει αναπτυχθεί η μέθοδος Eco Balance (πολύκριτηριακή ανάλυση) στην οποία συμπεριλαμβάνονται και άλλες 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. εισάγονται σε έναν αλγόριθμο και

μέσω αυτού αξιολογούνται και επιλέγονται οι βέλτιστες περιβαλλοντικές τεχνικές λύσεις.

Μολονότι έτσι συμπεριλαμβάνονται όλες όσες μπορούν να θεωρηθούν «περιβαλλοντικές παράμετροι» στο κτήριο και τα υλικά του, η μέθοδος αυτή παραμένει υποκειμενική λόγω της απροσδιοριστίας των δεικτών που χρησιμοποιούνται.

Αντίθετα, η ενσωματωμένη ενέργεια, μολονότι εξετάζει μόνο μια παράμετρο των υλικών του κτηρίου (την ενέργεια) που λόγω της μορφής της είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί, συγκρίνει σχετικές και αντικειμενικές ποσότητες οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε περισσότερο ασφαλή συμπεράσματα.

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

Αλλά για να χρειάζεται ο άνθρωπος μεθόδους που ονομάζονται «οικολογική ισορροπία» σημαίνει ότι μονοσήμαντα την διαταράσσει.

Επειδή λοιπόν οι μέθοδοι που περιγράψαμε εμπεριέχουν ασάφειες-σφάλματα και σε ένα βαθμό

αποτελούν ερευνητικά παιχνίδια για μελετητές και ερευνητές, η «ενέργεια» που τελικά καταναλώνεται για τον προσδιορισμό τους, θα μπορούσε να εκφραστεί ως βελτιστοποίηση της ικανοποίησης των αναγκών μας χωρίς απαραίτητα την διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας.

11 Άλλα κριτήρια

11.1 Εκπομπές αέριων ρύπων στην διάρκεια του κύκλου ζωής του υλικού

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

Κατά την διαδικασία του μετασχηματισμού 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.

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, γίνεται προσπάθεια έτσι ώστε να γίνει 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_e 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 τα συμπεριλάβουμε ασφαλώς στην αξιολόγησή μας.

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

11.2 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 (μέθοδος κατασκευής, υλικά και χρήση της κατασκευής).

Γενικά, 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, οικονομικό 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 της 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 για παράδειγμα:

- τα igloo των Εσκιμώων στον Β. Πόλο τα οποία δεν θα έβρισκαν εφαρμογή π.χ. στην Σαχάρα
- οι παραδοσιακές σκηνές των Βεδουίνων με τον εξαιρετικό αερισμό τους, οι οποίες δεν θα έβρισκαν εφαρμογή π.χ. στον Β. Πόλο

Όσον αφορά την δική μας περιοχή, μια χαρακτηριστική έκφραση της “Low-Tech architecture” είναι η αρχιτεκτονική με τη γη, η οποία παλαιότερα είχε ευρύ πεδίο εφαρμογής μα σήμερα φαίνεται να έχει απαξιωθεί.

Στην απαξίωσή της συνέβαλε και το γεγονός ότι δεν υπάρχει η σχετική βιομηχανία παραγωγής τεχνικών υλικών που να την υποστηρίζει, γι αυτό

και έχει χαρακτηριστεί «αρχιτεκτονική για τους φτωχούς».

Έχει αναγνωριστεί όμως ότι είναι μια διαδικασία η οποία δημιουργεί εύκολα-γρήγορα-οικονομικά και οικολογικά μπορεί να δημιουργήσει ένα κέλυφος για κάθε άνθρωπο και το υλικό (η γη) έχει πολύ καλή ενεργειακή συμπεριφορά κατά την λειτουργία της κατασκευής.

Έτσι, στην σύγχρονη κατασκευαστική σκέψη και στα πλαίσια της “Low-Tech architecture”, επικαιροποιούνται και εφευρίσκονται νέες τεχνικές έτσι ώστε η γη να γίνει υλικό και να βρει πεδίο εφαρμογής και στην σύγχρονη δόμηση.

Κυριότερες από τις τεχνικές αυτές είναι:

Πλίνθος

Λάσπη και άχυρο μορφοποιείται σε καλούπι που ξεραίνεται στον ήλιο. Το δομικό στοιχείο που προκύπτει είναι ένα συμπαγές τούβλο, το οποίο ονομάζεται και ωμό τούβλο.

Η πλίνθος έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες περιοχές στην ελληνική γη, αλλά σε παλαιότερες εποχές.

Σε περιοχές όπως κοντά στην Φλώρινα, τα Κορέστια στο Νομό Καστοριάς, στην Ηλεία αλλά

και στον Θεσσαλικό κάμπο, τα σπίτια από πλίνθο ήταν μια συνηθισμένη κατασκευή.

Κατά την διάρκεια της Μικρασιατικής καταστροφής, τα κτήρια από πλίνθο ήταν η τεχνολογική απάντηση για την στέγαση εκατομμυρίων προσφύγων.

Ακόμα σήμερα στην Αθήνα μπορεί να δει κανείς ορισμένα από τα λιγοστά-προσφυγικά που έχουν απομείνει και ήταν κατασκευασμένα από πλίνθο.



Εικόνα 11.1: Κατοικία από πλίνθους στην περιοχή του Παλαιού Φαλήρου στην Αθήνα

Ξυλόπηκτοι τοίχοι (τσατμάς-μπαγδατί)

Ξύλινος σκελετός που επενδύεται με πηχάκια ή καλάμια ή λεπτές σανίδες ή σπανιότερα με εύκαμπτα κλαδιά δέντρων.

Πολλές φορές το κενό ανάμεσα στα ξύλινα στοιχεία του σκελετού γεμίζεται με πλίθρες ή/και με λίθινα στοιχεία.

Οι επιφάνειες των όψεων επιχρίονται με πεταχτό σοβά ή λάσπη με πρόσμικτα από άχυρο ή γιδότριχες για οπλισμό και καλύτερη πρόσφυση στο υπόστρωμα.

Με την τεχνική αυτή κατασκευάζονται διαχωριστικοί τοίχοι και εξωτερικά τοιχοπετάσματα κυρίως στους ορόφους.

Όταν η κατασκευή ενισχύεται με διαγώνια στοιχεία και συνδέεται κατάλληλα με τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία, προσδίδει αντισεισμικότητα στο κτήριο.

Οι ξηλόπηκτοι τοίχοι χρησιμοποιούνται σε πολλά κτήρια της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής (βλ. παραδοσιακά κτήρια στο Πήλιο στη Β. Ελλάδα κ.α.).

Ζυμωτός πηλός (cob)

Μεγάλοι σβόλοι λάσπης τοποθετούνται ως «σβολιαστό» νωπό-μαλακό τούβλο, ο ένας πάνω

απ' την άλλο. Οι σβόλοι «ζυμώνονται»-συσσωματώνονται, δημιουργώντας μια μονολιθική κατασκευή.

Η τεχνική αυτή ξεκίνησε από την Δυτική Ευρώπη και δεν έχει «παραδοσιακά» ερείσματα στην Ελλάδα.

Σήμερα δραστηριοποιούνται πολλές ομάδες και συλλογικότητες σχετικά με την διάδοση της.

Συμπυκνωμένη γη (rammed earth)

Κατασκευάζεται ξύλινο καλούπι κατάλληλων διαστάσεων.

Μέσα σε αυτό τοποθετείται την λάσπη η οποία συμπυκνώνεται. Μετά την συμπύκνωση και όταν το υλικό έχει ξεραθεί-στερεοποιηθεί, το καλούπι απομακρύνεται.

Η τεχνική αυτή ξεκίνησε από την Δυτική Ευρώπη, δεν έχει ευρεία «παραδοσιακά» ερείσματα στην Ελλάδα ούτε υπάρχει σχετική τάση για την εφαρμογή της.

Σάκοι με γη

Σάκοι (τσουβάλια) γεμίζονται με λάσπη. Τα τσουβάλια τοποθετούνται επάλληλα (σαν μεγάλα τούβλα) και συμπυκνώνονται. Μεταξύ των τσουβαλιών τοποθετείται αγκαθωτό

συρματοπλεγμα. Το συρματοπλεγμα «μπλέκεται» με το τσουβάλι και σταθεροποιεί την κατασκευή (λειτουργεί σαν τη λάσπη στο συνηθισμένο τούβλο).

Η τεχνική αυτή βρήκε πρώτη εφαρμογή στα μεγάλα οχυρωματικά έργα του πρώτου παγκοσμίου πολέμου. Επειδή δημιουργεί εύκολα και γρήγορα ευσταθή κελύφη, σήμερα υπάρχει σχετική τάση να βρει εφαρμογή.

Άλλες τεχνικές με τη γη

Εκτός των παραπάνω εφαρμογών, έχουν εφευρεθεί ποικίλες τεχνικές έτσι ώστε η λάσπη να μορφοποιείται μέσα σε διαφόρων τύπων «καλούπια» τα οποία ενδεχομένως να ενσωματώνονται τελικά και μέσα στην ίδια την κατασκευή (π.χ. λάσπη σε μπουκάλια κ.α.).

Τα πλαστικά μπουκάλια μπορεί να αντικαταστήσουν τα τούβλα και το μπετόν και να γίνουν υλικό κατασκευής φτηνών σπιτιών.

Τις προδιαγραφές και τα σχέδια για τέτοιου-τύπου κατασκευές ανέπτυξε η κ. Μαρίνα Γούσια φοιτήτρια στο Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης που κέρδισε το πρώτο βραβείο σε διεθνή διαγωνισμό στην Μπολόνια. Πρόκειται για τη

διπλωματική της εργασία με τίτλο «Αρχιτεκτονική στην απορία» και η οποία αφορά την δημιουργία ενός οικισμού σε φτωχή περιοχή της Νικαράγουα. Η πρότασή της προβλέπει την χρησιμοποίηση υλικών της περιοχής, ξύλο, χώμα κλπ και την αξιοποίηση άχρηστων αντικειμένων όπως πλαστικά και γυάλινα μπουκάλια.

Άλλα υλικά όπως αχυρόμπαλες, διάφορα άχρηστα υλικά (λάστιχα αυτοκινήτων, ακόμα και παλιά αυτοκίνητα κ.α.) μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους, με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε, να δημιουργήσουν το σκελετό που, καλυπτόμενος με λάσπη, να μορφοποιήσει το ζητούμενο κέλυφος.

Ξύλο, bamboo (καλάμια) και παράγωγά τους

Το ξύλο, το bamboo (τα καλάμια) και παράγωγά τους όπως το χαρτί (χαρτόνι, χαρτόκουτα, κύλινδροι) είναι υλικά που χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές της "Low-Tech architecture".

Αυτό γιατί το ξύλο είναι εξαιρετικά ανθεκτικό, βρίσκεται σε αφθονία στη φύση και μ' αυτό υπάρχει η «σχεδιαστική πολυτέλεια» της γεφύρωσης μεγάλων ανοιγμάτων.

Η φύση του υλικού είναι τέτοια που, ανάλογα με την «εξυπνάδα» του σχεδιασμού και της σύνθεσής του, μπορεί να δημιουργήσει εξαιρετικά

ενδιαφέρουσες και πρωτοποριακές κατασκευές χωρίς να είναι απαραίτητα τεχνικά δύσκολες ούτε να απαιτούν «τεχνολογία» για να κατασκευαστούν.

Τα bamboo και τα καλάμια μπορούν να σχεδιαστούν και να υλοποιηθούν εξαιρετικά ενδιαφέρουσες συνθέσεις και χρησιμοποιούνται συνήθως για κάλυψη μεγάλων επιφανειών (στέγες) ή ως φέροντες οργανισμοί ελαφρών κατασκευών (τέντες-σκηνές).

Κύλινδροι από ανακυκλωμένο χαρτόνι για την κατασκευή κτιρίων και προσωρινών κατασκευών έχουν βρει εφαρμογή στην κατασκευή εκθεσιακών περιπτέρων και καταλυμάτων αντιμετώπισης καταστροφών από τον Ιάπωνα αρχιτέκτονα Shigeru Ban.

12 Αξιολόγηση και επιλογή των δομικών υλικών με οικολογικά κριτήρια

Όταν θέλουμε να βρούμε την κοινή συνισταμένη σε ένα πρόβλημα διακριτά διαφορετικών κριτηρίων υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται: η ανάλυσης οφέλους-κόστους και η πολυκριτηριακή ανάλυση.

12.1 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 του κόσμου, 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.

12.2 Ανάλυση του κύκλου ζωής

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) και 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.

12.3 Οικολογική προτίμηση

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

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.

12.4 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. Δεδομένο όμως είναι πως οι βαθμοί, οι συντελεστές βαρύτητας και τελικά η ίδια η σύνθεση της συνάρτησης 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;

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.

12.5 Πολυκριτηριακή ανάλυση μέσω του πίνακα χρησιμότητας

Για να αξιολογηθεί η οικολογική συμπεριφορά ενός υλικού, παρουσιάζεται μια μέθοδος συνδυάζει (ποιοτικά) την Α.Κ.Ζ. αλλά και την απεικόνιση της οικολογικής προτίμησης σε πίνακες χρησιμότητας (αντί των συναρτήσεων χρησιμότητας) χρωματικούς 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.



Πίνακας 12.1: Χρωματικοί «δείκτες ποιότητας» πολυκριτηριακής ανάλυσης

Ως παράδειγμα, παρουσιάζονται τέσσερα μοντέλα κατασκευών, ίδιου μεγέθους αλλά με διαφορετική επιλογή υλικών και σχεδιασμού που αξιολογήθηκαν και μελετήθηκαν στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας των Κ. Μπαρτσιώκα & Ν. Συμεωνίδη με θέμα: Οικολογική αξιολόγηση κτηρίων κατοικίας στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. το 2006.

Το πρώτο κατασκευαστικό μοντέλο αναφέρεται σε μια συμβατικά σχεδιασμένη και δομημένη κατοικία, το δεύτερο κατασκευαστικό μοντέλο αναφέρεται σε μια συμβατικά δομημένη κατοικία, αλλά με βιοκλιματικό σχεδιασμό, το τρίτο μοντέλο

αναφέρεται σε μία πλίνθινη κατασκευή και το τέταρτο μοντέλο αναφέρεται κατασκευή από φυσικό λίθο.

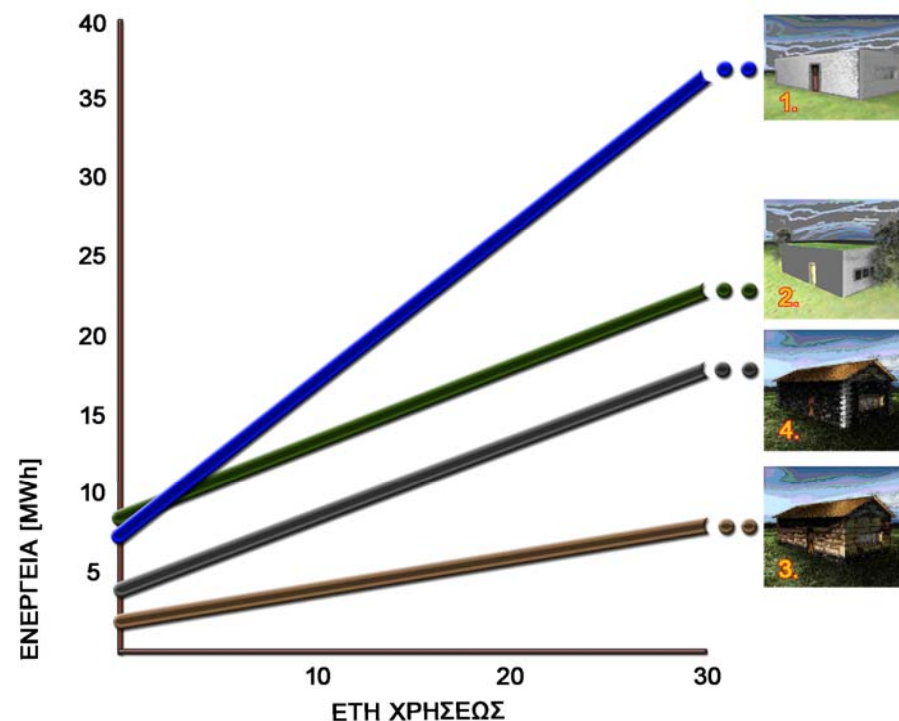
Στο παράδειγμα αυτό, υπολογίστηκαν οι ποσότητες των χρησιμοποιούμενων υλικών των κατασκευών, και οι απώλειες πρώτων υλών κατά την διαδικασία.

Στη συνέχεια, έγινε σύγκριση των κατασκευών σε σχέση με την αφομοίωσή τους από το περιβάλλον και αξιολόγηση της τοξικής συμπεριφοράς των υλικών σε διάφορα στάδια του κύκλου ζωής τους.

Μετά προσδιορίστηκε η ενσωματωμένη ενέργεια της κάθε κατασκευής και τέλος, υπολογίστηκε η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη των μοντέλων σε βάθος χρόνου.

Για τον υπολογισμό αυτό χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο λογισμικό με το οποίο προσομοιάστηκαν λεπτομερώς οι τέσσερις κατασκευές σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα της Αττικής.

Δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα (ενέργεια-χρόνος) όπου εμφανίζονται και τα τέσσερα ομοιώματα με την ενεργειακή τους πορεία στο βάθος του χρόνου με αφετηρία την ενσωματωμένη ενέργειά τους.



Εικόνα 12.1: Ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών και ενέργεια που καταναλώνεται κατά την διάρκεια της χρήσεως

Τέλος το κάθε κατασκευαστικό μοντέλο μπήκε σε ένα πίνακα χρησιμότητας, όπου το κάθε κριτήριο απεικονίστηκε με έναν «χρωματικό δείκτη ποιότητας».

Με τον τρόπο αυτό, δημιουργήθηκε μία περιεκτική εικόνα η οποία απεικονίζει την κατάταξη της οικολογικής συμπεριφοράς του κάθε κατασκευαστικού μοντέλου, με οικολογικά κριτήρια σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής του.

ΜΟΝΤΕΛΑ	1	2	3	4
Πρώτες ύλες-εξοικονόμηση				
Πρώτες ύλες-ανακύκλωση				
Τοξική συμπεριφορά σε στάδια του κύκλου ζωής				
Ενεργειακή κατανάλωση στην διάρκεια του κύκλου ζωής (ενσωματωμένη ενέργεια-ενέργεια χρήσης)				

Πίνακας 12.2: Παράδειγμα πίνακα χρησιμότητας πολυκριτηριακής ανάλυσης και αξιολόγησης

Η μέθοδος αυτή, εκτιμάται ως η πλέον εύχρηστη και «ειλικρινής», γιατί δεν προσπαθεί να «ξεγελάσει» με πολύπλοκα μαθηματικά (συναρτήσεις χρησιμότητας) και αυθαίρετους συντελεστές βαρύτητας τα αποτελέσματα.

Όπως είδαμε όμως σε προηγούμενες παραγράφους, υπάρχουν πολλές και διαφορετικές αντιλήψεις για την αξιολόγηση της οικολογικής συμπεριφοράς των υλικών.

13 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 εφ' όσον είναι άχρηστα, προκύπτουν ως απόβλητα ενώ ταυτόχρονα δαπανάται σημαντική ενέργεια.

Στα πλαίσια αυτά η «οικολογικά βέλτιστη» επιλογή αναφέρεται στην διεθνή βιβλιογραφία ως τα τέσσερα R (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.

14 Βιβλιογραφία

Οικολογική Δόμηση, συντ. Η. Ευθυμίου, ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα 2000.

Μπαρτσιώκα Κ. & Ν. Συμεωνίδης, Οικολογική αξιολόγηση κτηρίων κατοικίας, Διπλωματική εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας υδατικών πόρων και περιβάλλοντος, Ε.Μ.Π. 2006.

Σαργέντης Γ.-Φοίβος, Επιλογή δομικών υλικών με οικολογικά κριτήρια, τεχνικό περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ, Απρίλιος 2011.

Σαργέντης Γ.-Φοίβος, LOW TECH Αρχιτεκτονική, Τεχνολογική αιχμή ή αιχμή της τεχνικής;, τεχνικό περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ, Ιανουάριος-Φεβρουάριος 2012.

Σαργέντης Γ.-Φοίβος, Ενσωματωμένη ενέργεια, το υλικό ως ενεργειακή αποθήκη, τεχνικό περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ, Ιούνιος 2014.

Οδηγία 67/548/ΕΕ (επικίνδυνες ουσίες)

Οδηγία 2002/91/ΕΕ (ενεργειακή απόδοση των κτιρίων)

Asif M., Muneer T. and Kelley R., Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland, Building and Environment, Volume 42, Issue 3, March 2007, pp 1391–1394.

Cole, R.J. and Kernan, P.C. (1996), Life-Cycle Energy Use in Office Buildings, Building and Environment, Vol. 31, No. 4, pp. 307-317.

Comparing the Environmental Effects of Building Systems, Wood the Renewable Resource Case Study No.4, Canadian Wood Council, Ottawa, 1997.

Lawson B., Building Materials Energy and the Environment: Towards Ecologically Sustainable Development, Royal Australian Institute of Architects 1996.

Lenzen M. and Ch. Dey, Truncation error in embodied energy analyses of basic iron and steel products, Energy, Volume 25, Issue 6, June 2000, pp 577–585.

Sustainable Building Technical Manual, Green Building Design, Construction and Operations, Public Technology Inc. 1996.

Thormark C., A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential, Building and Environment, Volume 37, Issue 4, April 2002, pp 429–435.

Treloar G., McCoubrie A. and E.D. Love P., Embodied energy analysis of fixtures, fittings and furniture in

office buildings, Usha Iyer-Raniga 1999, Vol. 17 Issue 11, pp.403 – 410.

Wolley T., Kimmins S., Green Building Handbook, E & F N Spon, 1999.

Yohanis Y.G.and B. Norton, Life-cycle operational and embodied energy for a generic single-storey office building in the UK, Energy, Volume 27, Issue 1, January 2002, Pages 77–92.