

**Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας,
Πολοδομίας
& Περιφερειακής Ανάπτυξης**

ΠΜΣ: «Χωρική Ανάλυση & Πολιτική»

Επιβλέπων Καθηγητής:

κ. Αθανάσιος Κούγκολος

Διπλωματική Εργασία

«Δομικά Υλικά & Περιβάλλον»



του Μεταπτυχιακού Φοιτητή:

Γεώργιος Δημητρίου

Σεπτέμβριος 2009



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.:	8422/1
Ημερ. Εισ.:	18-05-2010
Δωρεά:	Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός:	Δ
	691
	ΤΣΙ



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ	
ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ	
Αριθ. Πρωτοκ.	493
Ημερομηνία	25-9-2009

Στις ημέρες μας η παγκόσμια ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος θέτει τους περιορισμούς της και στον τομέα των κατασκευών. Το γεγονός αυτό απαιτεί τον επαναπροδιορισμό του ρόλου των δομικών υλικών στην κατασκευή, ώστε να τεθούν οι βάσεις που προάγουν την αειφόρο δόμηση. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τα βασικά μεγέθη, τα οποία συνιστούν το θεματικό αντικείμενο της περιβαλλοντικής μελέτης των δομικών υλικών στην κατασκευή. Αυτά είναι η ανάλυση του κύκλου ζωής ενός υλικού, η ενσωματωμένη του ενέργεια, η τοξική συμπεριφορά του υλικού και οι επιδράσεις που προκαλεί στο περιβάλλον. Στη συνέχεια πραγματοποιείται μια πολυδιάστατη ανάλυση, με συνιστώσες τα προαναφερόμενα περιβαλλοντικά μεγέθη, για τα δομικά υλικά που ανήκουν στις κατηγορίες των φυσικών αδρανών, των κονιαμάτων, των σκυροδεμάτων και των μετάλλων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: δομικά υλικά, περιβάλλον, οικολογία, αειφόρος κατασκευή, ανακύκλωση

ENGLISH ABSTRACT

The global phenomena, which result to the environmental degradation, set a consequential amount of limitations to the constructions area. The statement above sets the necessity to redetermine the building materials role, occuring the construction range, in order to promote the sustainable construction's attitude. This study presents the basic measures, which include the environmental consideration of the building materials, concerning the construction. The aforementioned measures are the material's life circle assessment (LCA), material's embodied energy, toxicity and the environmental effects in which a material participates. The next part of this consideration concerns a multifactor study, composed by the measures mentioned before, for those building materials which reside in the material families of natural aggregates, of plasters, of concretes and of metals.

KEY WORDS: building materials, environment, ecology, sustainable construction, recycling



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ.1
<u>1.1. ΓΕΝΙΚΑ</u>	σελ.1
<u>1.2. Η ΑΝΗΣΥΧΗΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ</u>	σελ.3
1.2.1. ΓΕΝΙΚΑ	σελ.3
1.2.2. ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	σελ.3
1.2.3. Η ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	σελ.4
1.2.4. ΜΕΤΡΑ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ	
ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ	σελ.6
1.2.5. ΚΤΙΡΙΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	σελ.7
1.2.6. ΚΤΙΡΙΟ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ	σελ.8
1.2.7. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	σελ.8
2.ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΔΟΜΗΣΗ	σελ.14
<u>2.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ</u>	σελ.14
<u>2.2. ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΔΟΜΗΣΗΣ</u>	σελ.15
<u>2.3. ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΔΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ</u>	σελ.19
3. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	σελ.21
<u>3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</u>	σελ.21
<u>3.2. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ</u>	σελ.21
3.2.1. ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ	σελ.21
3.2.2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ	σελ.24
<u>3.3. ΕΓΓΕΝΕΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ</u>	σελ.26
3.3.1. ΓΕΝΙΚΑ	σελ.26
3.3.2. ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	σελ.27
3.3.2.1. ΠΟΡΩΔΕΣ Η ΑΡΑΙΟΤΗΤΑ	σελ.27
3.3.2.2. ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	σελ.27
3.3.2.3. ΒΑΡΟΣ	σελ.28
3.3.2.4. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	σελ.28
3.3.2.5. ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	σελ.29
3.3.3. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	σελ.30



3.3.3.1. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	σελ.30
3.3.3.2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ	σελ.36
3.3.3.3. ΣΗΜΕΙΟ ΤΗΞΗΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΒΡΑΣΜΟΥ	σελ.37
3.3.3.4. ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	σελ.37
3.3.4. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	σελ.37
3.3.4.1. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ Η ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ	σελ.38
3.3.4.2. ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ	σελ.38
3.3.4.3. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ	σελ.38
3.3.4.4. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	σελ.39
3.3.4.5. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ	σελ.40
3.3.4.6. ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	σελ.41
4. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	σελ.42
<u>4.1. ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (CONSTRUCTION COST)</u>	σελ.42
<u>4.2. ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΥΛΙΚΟΥ</u>	σελ.43
<u>4.3. ΚΟΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ</u>	σελ.44
4.3.1. ΓΕΝΙΚΑ	σελ.44
4.3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	σελ.45
4.3.3. ΣΤΑΔΙΑ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	σελ.45
4.3.3.1. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΕΔΙΟΥ	σελ.46
4.3.3.2. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	σελ.46
4.3.3.3. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ	σελ.47
4.3.3.4. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	σελ.47
4.3.4. ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	σελ.47
5. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	σελ.49
<u>5.1. ΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ Η ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ</u>	σελ.49
<u>5.2. ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ</u>	σελ.51
<u>5.3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ</u>	σελ.57
5.3.1. ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ	σελ.57
5.3.2. Η ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - «ΑΡΡΩΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ»	σελ.59
5.3.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΞΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΣΤΑ	σελ.60
ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	



5.3.4. Η ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	σελ.64
5.3.5. ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ	σελ.64
5.3.6. ΜΕΤΡΑ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ	σελ.65
<u>5.4. ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ</u>	σελ.66
5.4.1. ΟΙΚΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ	σελ.66
5.4.2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΟΙΚΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ	σελ.66
5.4.3. ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	σελ.68
5.4.3.1. Η ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	σελ.72
5.4.4. Η ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ	σελ.75
ΑΝΘΡΑΚΑ	
5.4.5. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	σελ.81
5.4.6. Η ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	σελ.82
<u>5.5. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ</u>	σελ.84
5.5.1. ΟΡΙΣΜΟΣ	σελ.84
5.5.2. ΤΟ ΗΘΙΚΟ ΔΙΛΗΜΜΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ	σελ.86
5.5.3. ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ	σελ.87
5.5.4. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΙΑ	σελ.88
5.5.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ	σελ.91
5.5.6. ΔΙΕΘΝΗ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ	σελ.92
6. ΦΥΣΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ	σελ.98
<u>6.1. ΓΕΝΙΚΑ</u>	σελ.98
<u>6.2. ΑΔΡΑΝΗ</u>	σελ.102
6.2.1. ΦΥΣΙΚΑ ΑΔΡΑΝΗ ή ΓΑΙΩΔΗ ΥΛΙΚΑ	σελ.102
6.2.1.1. ΑΜΜΟΣ ΠΟΤΑΜΟΥ	σελ.103
6.2.1.2. ΑΜΜΟΣ ΘΑΛΑΣΣΗΣ	σελ.105
6.2.2. ΘΡΑΥΣΤΑ ΑΔΡΑΝΗ	σελ.106
6.2.2.1. ΑΜΜΟΣ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ	σελ.106
6.2.2.2. ΣΚΥΡΑ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ	σελ.108
6.2.2.3. ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΑ ΘΡΑΥΣΤΑ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ (3Α)	σελ.110
6.2.3. ΤΕΧΝΗΤΑ ΑΔΡΑΝΗ	σελ.112
<u>6.3. ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ</u>	σελ.113
6.3.1. ΓΡΑΝΙΤΗΣ	σελ.114



6.3.2. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	σελ.115
6.3.3. ΚΙΣΣΗΡΗ	σελ.116
6.3.4. ΑΛΑΒΑΣΤΡΟΣ Η' ΓΥΨΟΣ	σελ.118
6.3.5. ΜΑΡΜΑΡΟ	σελ.119
7. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ	σελ.122
<u>7.1. ΓΕΝΙΚΑ</u>	σελ.122
<u>7.2. ΤΣΙΜΕΝΤΟ</u>	σελ.123
<u>7.3. ΑΣΒΕΣΤΗΣ</u>	σελ.129
<u>7.4. ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ (ΣΟΒΑΔΕΣ)</u>	σελ.132
8. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ	σελ.134
<u>8.1. ΤΣΙΜΕΝΤΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ</u>	σελ.134
<u>8.2. ΑΣΦΑΛΤΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ</u>	σελ.141
9. ΜΕΤΑΛΛΑ - ΚΡΑΜΜΑΤΑ	σελ.147
<u>9.1. ΓΕΝΙΚΑ</u>	σελ.147
<u>9.2. ΣΙΔΗΡΟΣ</u>	σελ.149
<u>9.3. ΔΟΜΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ</u>	σελ.150
<u>9.4. ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΣ</u>	σελ.155
<u>9.5. ΕΙΔΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ (ΑΤΣΑΛΙ)</u>	σελ.156
<u>9.6. ΑΜΙΑΝΤΟΣ</u>	σελ.157
<u>9.7. ΜΟΛΥΒΔΟΣ</u>	σελ.160
<u>9.8. ΑΡΓΙΛΙΟ (ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ)</u>	σελ.163
<u>9.9. ΧΑΛΚΟΣ</u>	σελ.165
<u>9.10. ΝΙΚΕΛΙΟ</u>	σελ.167
<u>9.11. ΚΑΔΜΙΟ</u>	σελ.168
<u>9.12. ΧΡΩΜΙΟ</u>	σελ.169
<u>9.13. ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ</u>	σελ.170
10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	σελ.172
<u>10.1. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΜΕΡΙΜΝΑΣ</u>	σελ.173
<u>10.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΘΕΣΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ</u>	σελ.175



10.2.1. ΘΕΣΜΟΘΕΤΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΑΚΤΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	σελ.175
10.2.2. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟ ΕΡΓΟ	σελ.175
10.2.3. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ	σελ.176
<u>10.3. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑ</u>	σελ.176
 11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	 σελ.178
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	 σελ.184
<u>Η ΟΔΗΓΙΑ 67/548/ΕΟΚ</u>	
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	 σελ.192
<u>Η ΟΔΗΓΙΑ 76/464/ΕΟΚ</u>	
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ	 σελ.205
<u>Η ΟΔΗΓΙΑ 80/68/ΕΟΚ</u>	



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Οι οικογένειες των δομικών υλικών	σελ.22
Πίνακας 2. Οι ιδιότητες των δομικών υλικών	σελ.24
Πίνακας 3. Ενδεικτικές τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας δομικών υλικών	σελ.30
Πίνακας 4. Η δεκαβάθμια κλίμακα σκληρότητας του Mohs	σελ.41
Πίνακας 5. Ταξινόμηση και σήμανση επικίνδυνων ουσιών	σελ.60
Πίνακας 6. Ταξινόμηση επικίνδυνων ουσιών βάσει καταλόγου I & II, των οδηγιών 76/464/ΕΟΚ και 80/68/ΕΟΚ	σελ.62
Πίνακας 7. Συνήθη δομικά υλικά με τοξικές ενδείξεις και παρουσία αυτών	σελ.63
Πίνακας 8. Θερμική μάζα διαφόρων υλικών	σελ.74
Πίνακας 9. Συγκριτικός πίνακας τιμών ενσωματωμένης ενέργειας και εκπομπών αέριων ρύπων για συνήθη δομικά υλικά	σελ.79
Πίνακας 10. Εθνικά ποσοστά μερικών χωρών για την ανακύκλωση συνήθων δομικών υλικών	σελ.94
Πίνακας 11. Χρησιμοποιούμενες τεχνικές και προϊόντα ανακύκλωσης ανά ανακυκλώσιμο δομικό υλικό	σελ.94



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1. Συνολικές ποσότητες δομικών υλικών, τα οποία διατίθενται ετησίως στις ΗΠΑ για την ενσωμάτωσή τους σε κάποιο οικοδομικό ή τεχνικό έργο	σελ.12
Γράφημα 2. Γράφημα πυκνότητας δομικών υλικών και τάσης αντοχής τους	σελ.29
Γράφημα 3. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικά ασφαλτικά υλικά	σελ.32
Γράφημα 4. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικά μέταλλα	σελ.33
Γράφημα 5. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικά κεραμικά υλικά	σελ.33
Γράφημα 6. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικά κονιάματα	σελ.34
Γράφημα 7. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικά προϊόντα ξυλείας	σελ.34
Γράφημα 8. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικά εδαφικά υλικά	σελ.34
Γράφημα 9. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικά πετρώδη προϊόντα	σελ.35
Γράφημα 10. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικούς τεχνητούς δομικούς λίθους	σελ.36
Γράφημα 11. Διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης ενός τυπικού υλικού	σελ.39
Γράφημα 12. Τιμές ενσωματωμένης ενέργειας για συνήθη υλικά	σελ.55
Γράφημα 13. Τιμές ενσωματωμένης ενέργειας για προϊόντα ξύλου	σελ.56
Γράφημα 14. Τιμές ενσωματωμένης ενέργειας για συνήθη υλικά σε ένα τυπικό κτίριο	σελ.56
Γράφημα 15. Χρονογραφήματα θερμοκρασίας - συγκεντρώσεων CO ₂ του πλανήτη για τα τελευταία 414.000 χρόνια	σελ.77
Γράφημα 16. Διάγραμμα διασποράς (scatter plot) το οποίο απεικονίζει τη θετική συσχέτιση θερμοκρασίας και συγκεντρώσεων CO ₂	σελ.78
Γράφημα 17. Ραβδόγραμμα εκπομπής αέριων ρύπων (CO ₂) κατά τη διαδικασία παραγωγής των δομικών υλικών	σελ.78
Γράφημα 18. Η προσαρμογή γραμμής παλινδρόμησης στα δεδομένα του πίνακα 9	σελ.80
Γράφημα 19. Ραβδόγραμμα απωλειών πρώτων υλών κατά τη διαδικασία παραγωγής για συνήθη οικοδομικά υλικά	σελ.83
Γράφημα 20. Σχηματική αναπαράσταση του κελύφους ενός τυπικού κτηρίου και των θερμικών αλληλεπιδράσεών του με το περιβάλλον	σελ.91



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 1.** Απλοποιημένο θεματικό διάγραμμα ροής δομικών υλικών, το οποίο αναφέρεται στη σύγχρονη δόμηση εντός περιφερειακών χωρικών ορίων. Οι πόλεις αποτελούν το βασικό αποδέκτη του ανθρωπογενούς αποθέματος (σε ποσοστό 75%). Η χρονική αναφορά λαμβάνεται ένα έτος σελ.2
- Σχήμα 2.** Σχηματική συμβολική αναπαράσταση της υποβάθμισης της ποιότητας της ενέργειας. Οι σφαίρες αντιπροσωπεύουν τις ενεργειακές μονάδες του συστήματος (δίσκος). Η εντροπία του συστήματος στην περίπτωση (α) είναι μεγάλη, έχουμε υψηλή τάξη των ενεργειακών μονάδων, ενώ στην περίπτωση (β) μικρή (μεγάλη αταξία) σελ.5
- Σχήμα 3.** Διάγραμμα ροής, που επεξηγεί τη λειτουργία του συστήματος δομημένο περιβάλλον σελ.6
- Σχήμα 4.** Σχηματική (συνολοθεωρητική) αναπαράσταση των τριών διαστάσεων της αιφόρου ανάπτυξης και της κοινά επικαλυπτόμενης περιοχής τους σελ.15
- Σχήμα 5.** Συσκευή θραύσης δοκιμίων (αρ.) και σχηματική διάταξη θλίψης δοκιμίων (δεξ.) Διακρίνονται (αρ.) η θέση *A* εισαγωγής του δοκιμίου και τα όργανα *B* μέτρησης της πίεσης και (δεξ.) η εσωτερική κατανομή των τάσεων, η οποία θεωρείται ομοιόμορφη σελ.39
- Σχήμα 6.** Σχηματική διάταξη εφαρμογής εφελκυστικών τάσεων ενός κυλινδρικού δοκιμίου σελ.40
- Σχήμα 7.** Σχηματική απόδοση εφαρμογής διατμητικών τάσεων σε ένα πρισματικό υλικό σελ.40
- Σχήμα 8.** Διάγραμμα ροής, στο οποίο απεικονίζονται τα στάδια του κύκλου ζωής για ένα δομικό υλικό σελ.44
- Σχήμα 9.** Διάγραμμα ροής για τα τέσσερα στάδια της παραγωγικής αλυσίδας ενός δομικού υλικού, από το σημείο εξόρυξής του μέχρι το χώρο διάθεσής του στην αγορά. Οι επιμέρους ενέργειες (ανά μονάδα μάζας) παραγωγής (Q_i , με $i=0,...,3$) και μεταφοράς (QT_i , με $i=1,...,4$) όταν προστίθενται δίνουν την ενσωματωμένη ενέργεια του υλικού σελ.52
- Σχήμα 10.** Θεματική απεικόνιση του παγκόσμιου θερμικού ισοζυγίου, όπου Q_S =η προσπίπτουσα από τον ήλιο θερμότητα, Q_E =η απορροφημένη από τη γη



θερμότητα, Q_R =η ανακλώμενη θερμότητα από τη γη στο διάστημα εξαιτίας των φυσικών διεργασιών	σελ.69
Σχήμα 11. Θεματική απεικόνιση του μετατοπισμένου παγκόσμιου θερμικού ισοζυγίου. Συμβολίζονται όπου Q_S =η προσπίπτουσα από τον ήλιο θερμότητα, Q_E =η απορροφημένη από τη γη θερμότητα, Q_R =η ανακλώμενη θερμότητα από τη γη στο διάστημα εξαιτίας των φυσικών διεργασιών και Q_{RH} =η ανακλώμενη θερμότητα από τη γη στο διάστημα εξαιτίας των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων	σελ.70
Σχήμα 12. Σχηματική αναπαράσταση του φαινομένου της θερμικής νησίδας. Τα υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας αποθηκεύουν τη θερμική ενέργεια του ηλίου κατά τη διάρκεια της ημέρας και την εκπέμπουν στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της νύχτας	σελ.71
Σχήμα 13. Σχηματική αναπαράσταση του κελύφους ενός τυπικού κτηρίου και των θερμικών αλληλεπιδράσεών του με το περιβάλλον	σελ.72
Σχήμα 14. Σχηματική απόδοση του φαινομένου του θερμοκηπίου	σελ.81
Σχήμα 15. Το διεθνές σύμβολο της ανακύκλωσης	σελ.84
Σχήμα 16. Διάγραμμα ροής, στο οποίο απεικονίζονται τα στάδια του κύκλου ζωής για ένα δομικό υλικό	σελ.85
Σχήμα 17. Η ιεραρχία στη διαχείριση αποβλήτων κατασκευής και κατεδάφισης	σελ.89
Σχήμα 18. Διάγραμμα ανάλυσης κύκλου παραγωγής τσιμέντου	σελ.127
Σχήμα 19. Σχηματική διάταξη εργοταξιακής παρασκευής ασφαλτοσκυροδέματος	σελ.143
Σχήμα 20. Ο περιοδικός πίνακας των στοιχείων (δεν περιλαμβάνονται οι λανθανίδες και τα υπερουράνια). Στη χρωματισμένη επιφάνεια φαίνονται τα μέταλλα	σελ.148
Σχήμα 21. Κάμιнос Bessemer-Thomas	σελ.151
Σχήμα 22. Σήμανση υλικών, τα οποία περιέχουν αμίαντο	σελ.159



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1. Πυκνότητα συγκέντρωσης εταιρειών ανακύκλωσης ανά νομό στον ελλαδικό χώρο	σελ.97
Χάρτης 2. Πυκνότητα συγκέντρωσης λατομείων ανά Νομό στον ελλαδικό χώρο	σελ.101
Χάρτης 3. Πυκνότητα συγκέντρωσης βιομηχανιών τσιμέντου ανά Νομό στον ελλαδικό χώρο	σελ.124
Χάρτης 4. Πυκνότητα συγκέντρωσης εταιρειών παραγωγής ασβέστη ανά Νομό στον ελλαδικό χώρο	σελ.131
Χάρτης 5. Πυκνότητα συγκέντρωσης εταιρειών παραγωγής και μεταφοράς σκυροδέματος ανά Νομό στον ελλαδικό χώρο	σελ.137
Χάρτης 6. Πυκνότητα συγκέντρωσης εταιρειών παραγωγής δομικού χάλυβα ανά Νομό στον ελλαδικό χώρο	σελ.154



ΕΙΚΟΝΩΝ
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Εικόνα 1.** Χαρακτηριστική γελοιογραφία που καυτηριάζει το φαινόμενο της παγκόσμιας θέρμανσης του πλανήτη σελ.77
- Εικόνα 2.** Χαρακτηριστική γελοιογραφία, η οποία προκαλεί προβληματισμό πάνω στο θέμα των εκπομπών CO₂ που διοχετεύονται στο περιβάλλον για την κατασκευή ενός κτιρίου σελ.80
- Εικόνα 3.** Χαρακτηριστική γελοιογραφία, η οποία δημιουργεί προβληματισμό για την εξάντληση των πρώτων υλών, που αποδίδεται στην κατασκευή σελ.83
- Εικόνα 4.** Άμμος ποταμού κατά την εφαρμογή της ως υλικό έδρασης σε εργασίες πεζοδρόμησης σελ.89
- Εικόνα 5.** Άμμος ποταμού κατά την εφαρμογή της ως υλικό έδρασης σε εργασίες πεζοδρόμησης σελ.103
- Εικόνα 6.** Άμμος λατομείου (το στυλό στη φωτογραφία αποτελεί συγκριτικό δείκτη κλίμακας) σελ.106
- Εικόνα 7.** Χρήση άμμου λατομείου ως καταδεικτικό υλικό όδευσης εξωτερικού δικτύου ύδρευσης σελ.107
- Εικόνα 8.** Χαλίκι λατομείου. Το στυλό αποτελεί σχετική ένδειξη κλίμακας σελ.108
- Εικόνα 9.** Κροκάλα λατομείου (αρ.) και λεπτομέρεια (δεξ.) σε εφαρμογή επιφάνειας έδρασης θεμελίων σελ.109
- Εικόνα 10.** Διαβαθμισμένο θραυστό λατομείου (3Α). Το στυλό αποτελεί σχετική ένδειξη κλίμακας σελ.111
- Εικόνα 11.** Κατασκευή τοιχοποιίας από στοιχεία ξηράς δόμησης σελ.118
- Εικόνα 12.** Σχηματική διάταξη βιομηχανικής γραμμής παραγωγής τσιμέντου σελ.126
- Εικόνα 13.** Ακρυλική κόλλα πλακιδίων κατά την εφαρμογή της, ως συνδετικού υλικού, σε εργασίες επίστρωσης πλακιδίων τοίχου σελ.132
- Εικόνα 14.** Επίχρισμα σοβάς τοιχοποιίας (δεύτερο χέρι) στο οποίο διακρίνεται οπλισμός από υαλόπλεγμα σελ.133
- Εικόνα 15.** Υδαρές (νωπό) σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20 σελ.134
- Εικόνα 16.** Στιγμιότυπο εργασίας διάστρωσης ασφαλτοσκυροδέματος με ειδικό μηχάνημα (finisher) σελ.142
- Εικόνα 17.** Στιγμιότυπο εργασίας απόξεσης (φρεζαρίσματος) ασφαλτοτάπητα για τη διάστρωση νέας ασφαλικής στρώσης. Το παλαιό υλικό συλλέγεται σε



ανατρεπόμενα οχήματα και μεταφέρεται προς ανακύκλωση	σελ.145
Εικόνα 18. Δομικός χάλυβας σε ράβδους (βέργες) για το σχηματισμό οπλισμού θεμελίωσης πεδילוδοκών	σελ.152
Εικόνα 19. Χυτοσιδηροί σύνδεσμοι δικτύου ύδρευσης (zipro)	σελ.155
Εικόνα 20. Στέγη δώματος νεοανεγειρόμενης οικοδομής (2005) με καμινάδα από προκατασκευασμένα στοιχεία αμιαντοτσιμέντου	σελ.158
Εικόνα 21. Βραστήρας (boiler) με θερμομόνωση στρώματος υαλοβάμβακα με επικάλυψη ελασμάτων αλουμινίου	σελ.164
Εικόνα 22. Σωλήνας κλιματισμού από χαλκό με μονωτικό περίβλημα από πολυβινυλοχλωρίδιο	σελ.166
Εικόνα 23. Μεταλλική υδροροή από διαμορφωμένα ελάσματα χάλυβα και εξωτερική ακρυλική βαφή	σελ.171



ΕΝΑ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ...

Στο σημείο αυτό θα επιθυμούσα να *ευχαριστήσω τον* Επιβλέποντα Καθηγητή μου, *Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αθανάσιο Κούγκολο*, για τη δυνατότητα που μου παραχώρησε να ασχοληθώ στην παρούσα διπλωματική με θέμα του ενδιαφέροντός μου και για την καθοδήγηση και βοήθεια που μου παρείχε.

Επίσης επιθυμώ να ευχαριστήσω τον *Επίκουρο Καθηγητή κ. Σεραφείμ Πολύζο*, για τις χρήσιμες οδηγίες και συμβουλές που μου προσέφερε.

Ένα ευχαριστώ στους *γονείς και στην αδερφή μου*, οι οποίοι με στήριξαν σε αυτή μου την προσπάθεια και στη *μνηστή μου* για τη συμπαράσταση που μου επέδειξε.

Δημήτρης Κ. Τσιώτας
Μηχανικός Αεροπορικών Εγκαταστάσεων
Μαθηματικός



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ

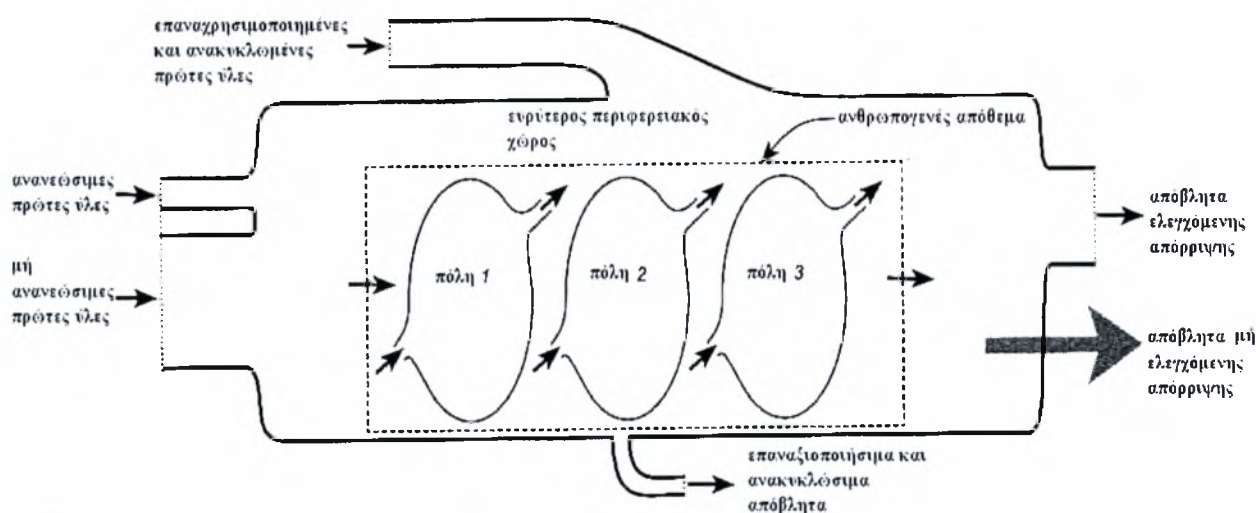
Στις ημέρες μας η **παγκόσμια ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος θέτει τους περιορισμούς της και στον τομέα των κατασκευών**. Η παραπάνω παραγωγικότητα, όπως θα διαφανεί στην ανάλυση που ακολουθεί στις επόμενες σελίδες, απαιτεί την επαναθεώρηση του σκοπού, που μέχρι τώρα εξυπηρετούσε η χρήση των δομικών υλικών, μέσα στη διαδικασία της δόμησης. Ένα μέρος του πεδίου του επιστημονικού διαλόγου, ο οποίος ανοίγεται από την εισαγωγή της περιβαλλοντικής διάστασης στη δόμηση, αφορά τη διαδραστική σχέση μεταξύ της παραγωγής και της κατανάλωσης των δομικών υλικών και τη διάρκεια της ζωής των κτιρίων. Η υλική πραγματικότητα των τυπικών κτιρίων διαφέρει σήμερα κατά πολύ από τη στατική και αμετάβλητη μονιμότητα που επιδίωκε η αρχιτεκτονική των μνημειακών κατασκευών του παρελθόντος. Στην εποχή μας τα προϊόντα των κατασκευών (παράδειγμα, τα κτίρια), εξαιτίας της υπολογίσιμης μακροζωίας τους, αποτελούν έναν τεράστιο παγκόσμιο καταναλωτή, ο οποίος απορροφά πρώτες ύλες (υλικά) και υπηρεσίες (ώρες εργασίας ή εργατώρες) όχι μόνο για την ανέγερση τους, αλλά και για τη διατήρηση της χρησιμότητας που παρέχουν στους χρήστες, αποδεικνύοντας με αυτόν τον τρόπο ότι και η **κατασκευαστική πραγματικότητα καθίσταται υπό τον έλεγχο των** (παγκοσμίου ισχύος) **μηχανισμών της αγοράς** (Fernandez, 2006).

Η κατανόηση και ο σχεδιασμός του δομημένου περιβάλλοντος, μέσα από την οργανωμένη οικολογική σκοπιά και όχι υπό τη μονοδιάστατη θεώρηση της κάλυψης των μεσοπρόθεσμων λειτουργικών αναγκών που θέτει η κατοίκηση (και οι λοιπές ανάγκες εγκατάστασης των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων), προϋποθέτει τον εξοπλισμό των ειδικών με περισσότερες γνώσεις για την **κατασκευή**, θεωρούμενη ως **σύστημα με δεδομένη χωρική αναφορά**. Επομένως, η οικολογία του δομημένου περιβάλλοντος προκύπτει ως πτυχή της μελέτης των υλικών για τα κτίρια (Fernandez, 2006).

Η κατασκευή συγκαταλέγεται, ως δημιουργήμα, μεταξύ των μεγαλύτερων και πιό σύνθετων τεχνουργημάτων που έχει παράγει, διαχρονικά, το ανθρώπινο είδος. Η οικοδόμηση, σε συνδυασμό με τη μακροζωία των οικοδομημάτων και τις χωρικές συναθροίσεις των κατασκευασμάτων στις τεράστιες πόλεις, έχει μεταμορφώσει μόνιμα το γήινο τοπίο στο σύνολο των αντικειμένων, τα οποία είναι γνωστά ως **ανθρωπογενές περιβάλλον** (Τερκενλής et al., 2007). Η σύγχρονη πόλη αποτελεί τη μεγαλύτερη



συσσώρευση υλικών και χρησιμοποιημένης ενέργειας που έχει καταγραφεί ποτέ στην παγκόσμια Ιστορία. Έχει εκτιμηθεί ότι (Fernandez, 2006), οι πόλεις, οποίες έχουν κατασκευαστεί στο ρου της Ιστορίας μέχρι σήμερα (συμπεριλαμβανομένων των υφιστάμενων και αυτών που έχουν χαθεί), έχουν καταναλώσει συνολικά και διατηρούν στην αστική τους μάζα περισσότερο από το 75% των υλικών που έχουν εξαχθεί διαχρονικά από τον άνθρωπο. Αυτό το **ανθρωπογενές απόθεμα** (σχήμα 1) καθίσταται στις σύγχρονες γενεές ως το υλικό κληροδότημα που έχει εναποτεθεί ως παρακαταθήκη από τις προηγούμενες (Fernandez, 2006).



Σχήμα 1. Απλοποιημένο θεματικό διάγραμμα ροής δομικών υλικών, το οποίο αναφέρεται στη σύγχρονη δόμηση εντός περιφερειακών χωρικών ορίων. Οι πόλεις αποτελούν το βασικό αποδέκτη του ανθρωπογενούς αποθέματος (σε ποσοστό 75%). Η χρονική αναφορά λαμβάνεται ένα έτος (Πηγή: Fernandez, 2006, μετάφραση: Δημήτρης Τσιώτας).

Η επιχείρηση της οργάνωσης και ενσωμάτωσης των δομικών υλικών στα κτίρια και η αστική ανοικοδόμηση αποτελούν την ιστορική ευθύνη της τεχνολογίας των κατασκευών και της κτιριοδομίας. Η ιστορία της κατασκευαστικής τεχνολογίας και η συνεχιζόμενη ιστορία των εξελίξεών της από τις παρούσες γενεές αποτελούν κρίσιμες πτυχές της γνωστικής πολιτιστικής κληρονομιάς που θα κληροδοτηθεί στις μελλοντικές γενεές. Για τον λόγο αυτό υφίσταται το χρέος **οι επιλογές που λαμβάνουν χώρα στη δόμηση του σήμερα να μην υπονομεύουν τις αντίστοιχες επιλογές που έχουν δικαίωμα να πραγματοποιήσουν, με την ίδια με εμάς ελευθερία, οι μέλλουσες γενεές για να δομήσουν το αύριο** (Fernandez, 2006).



1.2. Η ΑΝΗΣΥΧΗΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ

1.2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Έχει διαπιστωθεί, το καθόλου τιμητικό συμπέρασμα, ότι η ανθρώπινη νοοτροπία, μαζί με άλλους και στον τομέα των τεχνολογικών εφαρμογών, αποκτά το επιθυμητό επίπεδο ωριμότητας, ώστε να είναι σε θέση να χειρίζεται ορθολογικά τα τεχνολογικά της επινοήματα και να σέβεται το περιβάλλον, όταν έρχεται αντιμέτωπη με τους ρύπους που παράγει (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Έυκολα στοιχειοθετείται, μέσα από τις πολυπληθείς σελίδες που έχουν καταγραφεί καθόλη τη διάρκεια της ανθρώπινης ιστορίας, ότι οι γήινοι πόροι έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν (και ιδιαίτερα την εποχή που εγκαινίασε η βιομηχανική επανάσταση και έπειτα) χωρίς εξέταση των ενδεχόμενων περιορισμών τους (Jullien et al., 2006). Ο τομέας των κατασκευών φαίνεται να συμμορφώνεται πλήρως με τη προηγούμενη, δυσάρεστη, διαπίστωση.

Το εν λόγω πρόβλημα αποκτά ιδιόμορφη τροπή σε ό,τι αφορά την ικανότητα ορθολογικής και αειφορικής διαχείρισης των φυσικών πόρων, την εποχή των ισχυρών αστικών συγκενρώσεων, που το μισό του παγκόσμιου πληθυσμού που ζει πλέον σε αστικές περιοχές, προκαλώντας σημαντικές αλλαγές στην κατανάλωση των φυσικών πόρων και στην αστική ανάπτυξη. Σήμερα η νοοτροπία της «μιας χρήσης» που χαρακτήριζε τις δράσεις του πρόσφατου παρελθόντος, φαίνεται ότι παραμερίζει αναγκαστικά τη θέση της σε άλλες νοοτροπίες χαρακτηριζόμενες από κοινωνική και περιβαλλοντική ευαισθησία. Η καθιέρωση των νέων ευγενών νοοτροπιών, στις οποίες η ανθρωπότητα έχει εναποθέσει τις ελπίδες της, αποτελεί την πρόκληση απέναντι στη δεδομένη ροή της τεχνολογικής ανάπτυξης της εποχής μας (Zaharieva et al., 2003).

1.2.2. ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Σύμφωνα με το Worldwach Institute οι οικοδομικές κατασκευές (συμπεριλαμβανομένων και των έργων υποδομής) απορροφούν το 40% των αδρανών υλικών και άμμου και το 25% του παρθένου ξύλου, τα οποία εξορύσσονται και υλοτομούνται ετησίως σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε μεγαλύτερη κλίμακα (κατά τη μαθηματική έννοια, δηλαδή σε πιο ειδική περίπτωση) οι κατασκευές των κτιρίων απορροφούν το 40% της παραγόμενης ενέργειας και το 16% του υδάτινου αποθέματος που παράγεται ετησίως στον πλανήτη (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) η κατασκευή αποτελεί περίπου το 10% του ευρωπαϊκού Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος (ΑΕΠ) (Λιανός και Χρήστου, 1995, Βουδούρης και Μαλλιαράκης, 1996, Πετράκη και Κωττής, 2000) και ο κλάδος των οικοδομικών και τεχνικών έργων υπήρξε ο μεγαλύτερος βιομηχανικός εργοδότης της Ευρώπης. Παρέχει το 28% περίπου της βιομηχανικής απασχόλησης, που αντιπροσωπεύει στη συνέχεια το 7,2% της συνολικής απασχόλησης. Υπό αυτήν τη μορφή η κοινωνική ευημερία ενός μεγάλου αριθμού ανθρώπων εξαρτάται άμεσα ή έμμεσα από την κατασκευή (Burgan and Sansom, 2006).

Σήμερα στις ΗΠΑ εκτιμάται ότι υφίστανται περισσότερες από 76.000.000 οικίες και 5.000.000 κοινόχρηστα κτίρια. Επίσης, εκτιμάται ότι ως το 2010 πρόκειται να προστεθούν να ανεγερθούν 38.000.000 νεόκτιστα κτίρια στις ΗΠΑ. Η εν λόγω εκτίμηση καταδεικνύει το μέγεθος της αναγκαιότητας για υιοθέτηση αειφόρων σχεδιαστικών στρατηγικών, ώστε τα νέα κτίρια, που θα προκύψουν, να αποκτήσουν διαχρονικά χαρακτηριστικά και να μην αποτελέσουν σε μεσοπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα απόβλητα για της επόμενες γενεές (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

1.2.3. Η ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

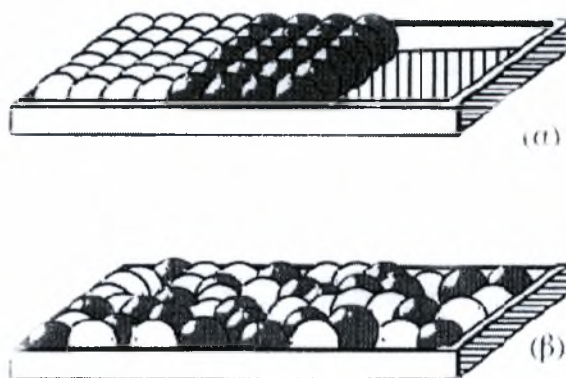
Αν πραγματοποιηθεί ενός είδους ενεργειακή θεώρηση για τη δράση του δομημένου περιβάλλοντος ως προς το φυσικό, θα διαπιστωθεί ότι η ποιοτική ενέργεια, με υψηλή τάξη (η οποία καθίσταται αξιοποιήσιμη), τείνει να υποβαθμίζεται και να μετουσιώνεται σε άτακτη (μη αξιοποιήσιμη) ενέργεια. Για παράδειγμα, η ενέργεια υψηλής τάξης υπό τη μορφή ηλεκτρισμού, η οποία χρησιμοποιείται για το φωτισμό εγκαταστάσεων, των οδικών δικτύων και για την κίνηση ηλεκτροκινητήρων, υποβαθμίζεται σε θερμική, κατώτερης ποιότητας, διότι δε δύναται να επαναχρησιμοποιηθεί για να ανάψει ούτε μία λυχνία, αν δεν καταβληθεί προηγουμένως κάποια μεθοδευμένη εξωτερική οργανωτική δράση (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Ένα μέτρο για την υποβάθμιση της ποιότητας της ενέργειας αποτελεί η έννοια του **θερμικού περιεχομένου** ή **εντροπίας** (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005, Fernandez, 2006). Η εντροπία μετρά την ποσότητα της μη αξιοποιήσιμης ενέργειας σε ένα **θερμοδυναμικό σύστημα** (Alonso and Finn, 1981) ή διαφορετικά αποτελεί το μέτρο της αταξίας ενός συστήματος (σχήμα 2). Σύμφωνα με το δεύτερο **θερμοδυναμικό νόμο** (Alonso and Finn, 1981), η εντροπία ενός συστήματος αυξάνεται πάντα μελλοντικά, όπως και η αταξία των μονάδων που το απαρτίζουν. Όποια στιγμή επιτρέπεται σε ένα



φυσικό σύστημα να διασκορπίσει ελεύθερα την ενέργειά του, αυτό πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο, ώστε να αυξάνεται η εντροπία του, ενώ ελαττώνεται η ενέργεια που διαθέτει για την παραγωγή έργου (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Η έννοια της εντροπίας βρίσκει εφαρμογή στην περίπτωση των αστικών οικιακών και οικοδομικών αποβλήτων, η παραγωγή των οποίων αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα της αύξησης του θερμικού περιεχομένου του δομημένου περιβάλλοντος. Όταν προμηθεύεται ένας χρήστης κάποιο προϊόν, το λαμβάνει με τη συσκευασία του, σε πλήρη τάξη, κατά τον τρόπο που συμβολίζει ο δίσκος με τις μαύρες και άσπρες σφαίρες στην σχήμα 2. Έπειτα από τη χρήση του προϊόντος, διοχετεύονται ατάκτως τα απόβλητα, όπως συμβολίζει ο δεύτερος δίσκος (σχήμα 2). Η απόρριψη των αποβλήτων σε κάδους αποτελεί προσπάθεια περιορισμού της εντροπίας του (υπο)συστήματος δομημένο περιβάλλον, αφού το άτακτο στοιχείο (απόβλητο) οριοθετείται (αποκτά σαφή χωρική θέση, η οποία είναι ο κάδος) και ακολούθως απορρίπτεται σε κάποιον επίσης οριοθετημένο εξωαστικό χώρο. Η παραπάνω διαδικασία (χωροθέτησης των κάδων και αναγκαστικής απόρριψης των αποβλήτων) μειώνει την εντροπία του δομημένου περιβάλλοντος, όμως, σε μεγαλύτερο επίπεδο (σε μικρότερη κλίμακα, κατά τη μαθηματική έννοια), αυξάνει την εντροπία του ευρύτερου οικοσυστήματος (βιόσφαιρα), διότι το αρχικό προϊόν (με την τακτική του μορφή) καταλήγει στον εξωαστικό χώρο απόθεσης απορριμμάτων (με άτακτη, αναξιοποίητη, μορφή). Με ανάλογο τρόπο και τα προϊόντα οικοδομικής χρήσης αυξάνουν την εντροπία του οικοσυστήματος. (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



Σχήμα 2. Σχηματική συμβολική αναπαράσταση της υποβάθμισης της ποιότητας της ενέργειας. Οι σφαίρες αντιπροσωπεύουν τις ενεργειακές μονάδες του συστήματος (δίσκος). Η εντροπία του συστήματος στην περίπτωση (α) είναι μεγάλη, έχουμε υψηλή τάξη των ενεργειακών μονάδων, ενώ στην περίπτωση (β) μικρή (μεγάλη αταξία) (Πηγή: Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



Στο διάγραμμα ροής του σχήματος 3, αναλύεται η λειτουργία του συστήματος δομημένο περιβάλλον. Το δομημένο περιβάλλον απορροφά ενέργεια και πρώτες ύλες, και τα διαχειρίζεται, μέσω ενός μηχανισμού εσωτερικής λειτουργίας (η μελέτη του οποίου είναι ανεξάρτητη από την παρούσα μακροσκοπική συστημική ανάλυση). Εντός του δομημένου περιβάλλοντος, η ενέργεια μετατρέπεται στο απαιτούμενο (για τη λειτουργία του συστήματος) έργο (Serway, 1990) και αποβάλλεται θερμική ενέργεια χαμηλής τάξης στο ευρύτερο σύστημα που το περιβάλλει, τη βιόσφαιρα, με τις μορφές που εικονίζονται στο σχήμα. Συνεπώς (όπως κάθε υποσύστημα), το δομημένο περιβάλλον, δρώντας με κριτήριο τον περιορισμό της εσωτερικής του ενέργειας, επιβαρύνει το ευρύτερο οικοσύστημα, στο οποίο εντάσσεται. Επομένως, καθίσταται κατανοητό ότι, το δομημένο περιβάλλον, στην προσπάθειά του να μειώσει την εντροπία του, αυξάνει την εντροπία του ευρύτερου οικοσυστήματος, της βιόσφαιρας (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Η έννοια της θερμικής ρύπανσης προσομοιάζεται φυσικά ως αύξηση της εντροπίας του πλανήτη, άρα τη συνολική διατάραξη της τάξης του και της ισορροπίας του (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής, που επεξηγεί τη λειτουργία του συστήματος δομημένο περιβάλλον (Πηγή: Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

1.2.4. ΜΕΤΡΑ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

Στα πλαίσια της μελέτης για το περιβάλλον και για την κάλυψη της ανάγκης μέτρησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, επινοήθηκε ο Δείκτης Περιβαλλοντικής Διατήρησης (ΔΠΔ). Ο ΔΠΔ αποτελεί ισχυρό μετρητικό εργαλείο που δύναται να ποσοτικοποιήσει ένα τόσο πολύπλοκο φαινόμενο, όπως το περιβάλλον. Ο ΔΠΔ



περιγράφει τις υφιστάμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και τη δυνατότητα μελλοντικής παρέμβασης στο περιβάλλον, προσδιορίζοντας τις μακροχρόνιες και περιβαλλοντικές τάσεις. Οι βασικές παράμετροι του εν λόγω δείκτη είναι (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005):

- Η ποιότητα περιβαλλοντικών συνθηκών
- Ο βαθμός επίδρασης του ανθρώπινου παράγοντα στις περιβαλλοντικές συνθήκες
- Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία
- Η θερμική και τεχνολογική επάρκεια
- Η διακρατική συνεργασία

Είναι αξιοσημείωτο ότι μεταξύ των χωρών με παρόμοιο επίπεδο οικονομικής ανάπτυξης (κατά τους γνωστούς οικονομικούς δείκτες) διακρίνονται διαφορές στην τιμή του Δείκτη Περιβαλλοντικής Διατήρησης. Συνήθως ΔΠΔ συγχέεται με το κατά κεφαλήν εισόδημα (Λιανός και Χρήστου, 1995), παρόλο που αποδεικνύεται ότι το επίπεδο της οικονομικής ανάπτυξης δεν είναι επαρκές να προσδιορίσει από μόνο του τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

1.2.5. ΚΤΙΡΙΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Σύμφωνα με τη συστημική ανάλυση του δομημένου περιβάλλοντος, που παρουσιάστηκε σε προηγούμενη παράγραφο, ο εσωτερικός μηχανισμός του δομημένου περιβάλλοντος παραμένει άγνωστος ή, σωστότερα, δύσκολος να μοντελοποιηθεί. Αυτό, που τίθεται προφανές, όμως, είναι ότι, το εσωτερικό του συστήματος δομημένο περιβάλλον, αποτελεί ένα σύνολο ενεργοβόρων ανθρώπινων δράσεων, τα οποία (όπως τα συστήματα παραγωγής) έχουν εισροές και εκροές και αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον. Το κτίριο, ως όρος που περιλαμβάνει τη δόμηση και κατασκευή, αποτελεί και αυτό τομέα ανθρώπινης δράσης, με αποτέλεσμα να επιδρά στο περιβάλλον (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Κάθε κτίριο ενδέχεται να προκύπτει ως απόβλητο μετά τη χρήση του, ή ακόμη ενδέχεται να επιδρά αρνητικά στον περιβάλλοντα χώρο του και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Επομένως καθίσταται αναγκαία η βελτιστοποίηση των θετικών δράσεων και η ελαχιστοποίηση των αρνητικών, τις οποίες μπορεί να έχει ένα κτίριο έναντι του ανθρώπου και του φυσικού οικοσυστήματος (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



1.2.6. ΚΤΙΡΙΟ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ

Ένας από τους βασικούς σκοπούς, που καθιστούν την κτιριοδομία αναγκαία, είναι η έμφυτη ανάγκη του ανθρώπου για προστασία (Maslow, 1943). Το κτίριο αποτελεί παράγοντα που προσδίδει στον άνθρωπο συγκεκριμένη χωρική αναφορά και κέλυφος που τον προστατεύει από το εξωτερικό περιβάλλον και τις κλιματικές αλλαγές. Οι διαφορετικές εσωτερικές συνθήκες που επικρατούν στο χώρο του κτιρίου, όπως η θέρμανση, ο φωτισμός, ο αερισμός και η ποιότητα αέρα καθορίζουν τη συνολική ποιότητα του εσωτερικού του χώρου. Οι εσωτερικές συνθήκες, όμως, του κτιρίου δεν είναι ανεξάρτητες από τις αντίστοιχες εξωτερικές. Για παράδειγμα, όταν μια κατασκευή εκτίθεται σε εξωτερικές συνθήκες περιβαλλοντικής ρύπανσης, ο εσωτερικός αέρας (ο οποίος εισπράττεται από τους χρήστες) θα έχει υποβληθεί στη ρύπανση, ανεξάρτητα αν υφίσταται επαρκές σύστημα φυσικού (η ακόμη και τεχνητού) αερισμού στον εσωτερικό του χώρο (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

1.2.7. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η βιομηχανία των κατασκευών (ή γενικότερα το δομημένο περιβάλλον, κατά τα προαναφερόμενα) καταναλώνει μεγάλες ποσότητες πρώτων υλών (διαφορετικής προέλευσης και είδους) και ενέργειας και αποβάλλει εν αφθονία μεγάλες ποσότητες άχρηστων προϊόντων, προερχόμενων από την οικοδόμηση και την κατεδάφιση, τα οποία θεωρούνται (υπό τον ίδιο μηχανισμό αξιολόγησης με τα προϊόντα οικιακής χρήσης) απόβλητα (Zaharieva et al., 2003).

Ως απόβλητα θεωρείται οποιοδήποτε υλικό υποπροϊόν της ανθρώπινης και βιομηχανικής δραστηριότητας που δεν έχει καμία περαιτέρω (υπόλοιπη) αξία (Serpell and Alarcon, 1998).

Αν επιχειρηθεί κατηγοριοποίηση των υλικών απόρριψης, των αποβλήτων δομικών υλικών, διακρίνονται δύο είδη δομικών αποβλήτων (Building Waste, BW) (Zaharieva et al., 2003):

- Τα **απορίψιμα**. Αυτή η κατηγορία αναφέρεται σε εκείνα τα υλικά τα οποία δεν έχουν καμία προοπτική επαναξιοποίησης και προορίζονται για εγκατάλειψη (απόρριψη στους χώρους ενταφιασμού).



- Τα **επαναξιοποιήσιμα**. Πρόκειται για τα προϊόντα τα οποία δύνανται να επαναχρησιμοποιηθούν με τη διαδικασία που είναι γνωστή ως ανακύκλωση και για την οποία γίνεται ιδιαίτερη μνεία σε επόμενο κεφάλαιο.

Από μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Χογκ Κογκ (το 2001) προκύπτει ότι το 38% των αποβλήτων παράγονται στη χώρα (Χογκ Κογκ) από δραστηριότητες κατασκευής και καθαίρεσης (Construction & Demolish, C&D) (Tam and Tam, 2006). Είναι αξιοσημείωτο, στην ίδια μελέτη, ότι οι ποσότητες των σιδηρούχων μετάλλων που εναποτέθησαν αντιπροσώπευαν το 45,5%, και των συνολικών ανακυκλώσιμων υλικών (ξύλο και χαρτί) το 37,7%. Για τα συνολικά ανακυκλώσιμα υλικά, τα σιδηρούχα μέταλλα, τα μη σιδηρούχα μέταλλα, το ξύλο και το έγγραφο εκτιμάται ότι περίπου το 87% απορρίφθηκε σε χώρους ταφής, ενώ υπήρχε η δυνατότητα ανακύκλωσης.

Η μελέτη στο Χογκ Κογκ αντιπροσωπεύει (με τις αυτονόητες ποσοτικές διαφοροποιήσεις που επιβάλλονται από τις ιδιαίτερες χωρικές και οικονομικές συνθήκες κάθε περιοχής) τη γενικότερη ανάγκη να μειωθούν τα απόβλητα, τα οποία έχουν τη δυνατότητα αξιοποίησης οποιασδήποτε μορφής, αλλά (για μικρόπνοα κριτήρια κάθε μορφής) απορρίπτονται στους χώρους ταφής, ρυπαίνοντας το περιβάλλον. Ο χώρος της κατασκευαστικής δράσης, φαίνεται ότι αντιμετωπίστηκε διαχρονικά με την αίσθηση της μονιμότητας, που επέδιδε το σχετικά μεγάλο διάστημα ζωής των υλικών (βλέπε κύκλος ζωής σε επόμενο κεφάλαιο της παρούσας). Αυτό είχε ως τώρα το αποτέλεσμα να χάνονται ανυπολόγιστες ποσότητες αξιοποιήσιμων δομικών υλικών, υποβαθμίζοντας το περιβάλλον (όντας υλικά με μεγάλη εντροπία) και επιβαρύνοντας τις περιοχές εξόρυξης για την αντικατάστασή τους στην κατασκευή (Tam and Tam, 2006).

Η παραπάνω μελέτη κατωνομάζει την αναγκαιότητα θέσπισης θεσμικού πλαισίου για τη διαχείριση των κατασκευαστικών αποπροϊόντων (αποβλήτων), όπως ήδη υφίσταται σε γνωστά υλικά της καθημερινότητας (χαρτί, γυαλί, αλουμίνιο). Προτείνεται η διαχείριση να λαμβάνει χώρα στο χρόνο εκτέλεσης του έργου (παράλληλα με την εκτέλεση των εργασιών) και θεσμικά να κατοχυρώνεται με τη σύνταξη τευχών μελέτης για τη διαχείριση οικοδομικών αποβλήτων, η οποία θα συμπεριλαμβάνεται στα υπόλοιπα τεύχη μελέτης για την έγκριση και την κατασκευή ενός έργου (Tam and Tam, 2006).

Περίπου το 95% των δρόμων στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι διαστρωμένο με ασφαλτοσκυροδέματα. Η κατασκευή και η συντήρηση αυτών των δρόμων απαιτούν τα μεγάλα ποσά θραυστών υλικών (σκύρων), τα οποία ξεπερνούν το 90% του βάρους του ασφαλτομίγματος. Υπολογίζεται ότι το 1999 στο Ηνωμένο Βασίλειο παρήχθησαν 26,



περίπου, εκατομμύρια τόνοι ασφαλικού μίγματος, το οποίο, συνάγει (σύμφωνα με τα παραπάνω ποσοστά) ότι καταναλώθηκαν 20 εκατομμύρια, περίπου, τόνοι θραυστού υλικού. Για χρήση μόνο στο διεθνές οδικό δίκτυο η Εταιρεία Αυτοκινητοδρόμων (Highways Agency) της Μεγάλης Βρετανίας χρησιμοποιεί 15 εκατομμύρια τόνους, περίπου, ασφαλτοσκυροδέματος (Huang et al., 2007).

Εν τω μεταξύ σε ολόκληρη την Αγγλία και Ουαλία, από 48 τόνους βιομηχανικών, 30 τόνους εμπορικών, και 28 τόνους αστικών αποβλήτων που παρήχθησαν εκείνο το χρονικό διάστημα, ένα ιδιαίτερο ποσοστό (για τα βιομηχανικά: 47%, για τα εμπορικά: 66% και για τα αστικά: 83%) εστάλη για απόθεση στους χώρους ταφής απορριμάτων. Τέτοια διαχείριση των πόρων δεν φαίνεται να εναρμονίζεται με το Εθνικό Στρατηγικό Σχέδιο της χώρας (Huang et al., 2007) για τη βιώσιμη (ή αειφόρο) κατασκευή, η οποία απαιτεί για την προστασία του περιβάλλοντος την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης φυσικών πόρων.

Τα παραπάνω δεδομένα, έχουν προκαλέσει την επιπρόσθετη ανησυχία ότι τα θραυστά υλικά υψηλών προδιαγραφών των επιτρεπόμενων εξαγωγών στη Μεγάλη Βρετανία ενδέχεται να έχουν εξαντληθεί μέχρι το 2020. Η κατάσταση χαρακτηρίζεται περισσότερο ανησυχητική για τους εγκεκριμένους χώρους ενταφιασμού των απορριμάτων, διότι εκτιμάται ότι πρόκειται να κορεστούν, ως προς το διατιθέμενο χώρο τους, εντός του χρονικού διαστήματος των επομένων 5-10 ετών (Huang et al., 2007).

Σήμερα στις ΗΠΑ εκτιμάται ότι υφίστανται περισσότερες από 76.000.000 οικίες και 5.000.000 κοινόχρηστα κτίρια. Τα παραπάνω κτίρια χρησιμοποιούν το 1/3 της συνολικά παραγόμενης ενέργειας στη χώρα. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις ΗΠΑ η ετήσια παραγωγή αστικών αποβλήτων, ισούται με την παραγωγή των υλικών που προκύπτουν από την κατεδάφιση κτιρίων (Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005).

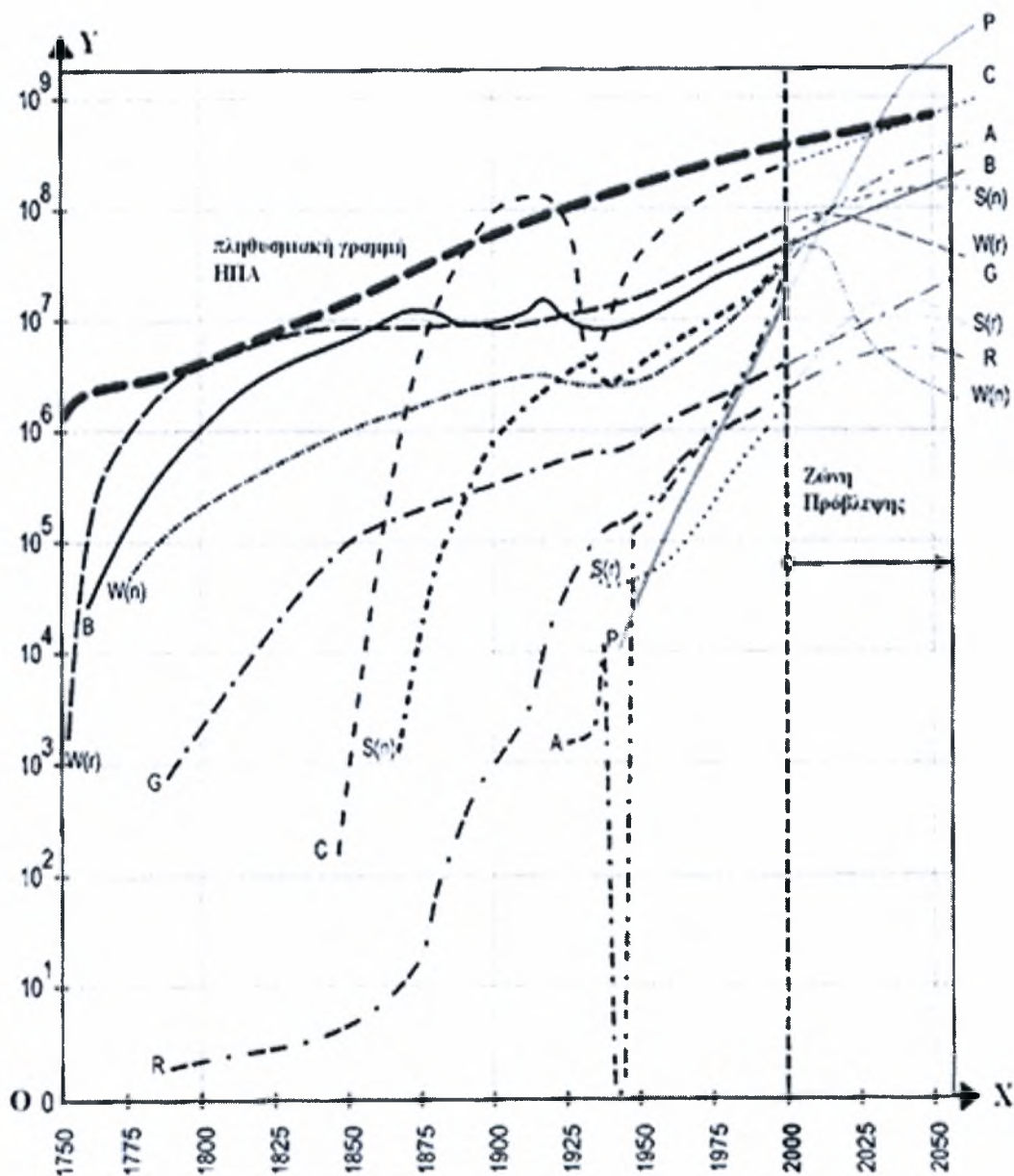
Από μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Davidson & Wilson, από το 1982 ακόμη, επιδιώχθηκε να εκτιμηθεί στις ΗΠΑ ο τύπος και η ποσότητα των διαθέσιμων σε εθνικό επίπεδο οικοδομικών υλικών, που προέρχονται από κατεδάφιση (Demolition Waste). Η εν λόγω μελέτη οποία βασίστηκε σε στοιχεία που συλλέχθηκαν από τα αρχεία 27 πόλεων και κωμοπόλεων. Ο ετήσιος ρυθμός απόρριψης των προϊόντων κατεδάφισης για τις ΗΠΑ εκτιμήθηκε σε 31 εκατομμύρια μετρικούς τόνους (ή 34 εκατομμύρια σύμφωνα με το μετρικό σύστημα των ΗΠΑ) για τα μέσα της δεκαετίας του 1970 (Davidson and Wilson, 1982).



Εν συντομία, η μέθοδος που εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό του όγκου και του περιεχόμενου υλικού του ρυθμού απόρριψης των απόβλητων δομικών προϊόντων για μια δεδομένη πόλη στηρίζονταν στη συσχέτιση συγκεκριμένων στοιχείων σχετικά με τα χαρακτηριστικά των κατεδαφισμένων κτιρίων σε εκείνη την πόλη (που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης) με τα γενικότερα, σε εθνικό επίπεδο, στοιχεία, όσον αφορά το υλικό περιεχόμενο των μέσων κτιρίων, τα οποία χτίστηκαν το χρονικό διάστημα διεξαγωγής της μελέτης. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν παρελθοντικά δεδομένα από τοπικά των πόλεων, όσον αφορά τις ποσότητες για εννέα σημαντικά δομικά υλικά της οικοδόμησης, τα οποία ενσωματώθηκαν σε κάποια κτιριακή κατασκευή από το 1875 μέχρι το 1975. Οι ετήσιες ποσότητες αυτών των εννέα υλικών παρουσιάζονται στο γράφημα 1 (Davidson and Wilson, 1982).

Από τα γράφηματα που παρουσιάζονται στο γράφημα 1, καθίσταται προφανές ότι οι ποσότητες των σχετικών με τη δόμηση υλικών που ενσωματώνονται σε κάποιο οικοδομικό ή τεχνικό έργο, εμφανίζουν χρονική διακύμανση. Αυτό, αφενός στοιχειοθετείται επαρκώς, αν αναλογιστεί κανείς την ενδιάμεση τεχνολογική πρόοδο, που συντελείται στον τομέα των κατασκευών, αφετέρου έχει ως συνέπεια για μια πόλη, στην οποία το κατεδαφισμένο οικοδομικό απόθεμα είναι σχετικά νέο, να έχει διαφορετικά υλικά παρόντα στα συντρίμια των κτιρίων της από μια άλλη, στην οποία τα περισσότερα από τα κτίρια είναι πολύ παλαιά. Η περίπτωση των πολυμερών (πλαστικών) υλικών αποτελεί το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα υλικών, που εμφανίστηκαν ελάχιστα στην κατασκευή πριν από το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, αλλά που χρησιμοποιήθηκαν σε αυξανόμενες ποσότητες έκτοτε, με αποτέλεσμα να αναμένεται η σημαντική ποσοστιαία παρουσία τους σε αντίστοιχους ρυθμούς απόθεσης δομικών απορριμμάτων στο μέλλον (Davidson and Wilson, 1982).

Στη διαδικασία υπολογισμού του υλικού περιεχομένου για το μέσο κτίριο, έχουν πραγματοποιηθεί οι κατάλληλες αναγωγές κανονικοποίησης, ώστε τα μεγέθη να καθίστανται συγκρίσιμα (Davidson and Wilson, 1982).



Υπόμνημα			
Αξονας ΟΧ:	Ποσότητα σε τόννους (Η κόκκινη γραμμή εκφράζει τον πληθυσμό των ΗΠΑ στη δεδομένη χρονική στιγμή)	S(n):	Χάλυβας μη οικιστικής χρήσης
Αξονας ΟΥ:	Χρονικός άξονας (σε έτη)	S(r):	Χάλυβας οικιστικής χρήσης
P:	Πολυμερή (πλαστικά)	W(n):	Ξυλεία μη οικιστικής χρήσης
C:	Σκυρόδεμα	W(r):	Ξυλεία οικιστικής χρήσης
A:	Αλουμίνιο	G:	Ύαλος (γυαλί)
B:	Οπτόπλινθοι (τούβλα)	R:	χαλκός

Γράφημα 1. Συνολικές ποσότητες δομικών υλικών, τα οποία διατίθενται ετησίως στις ΗΠΑ για την ενσωμάτωσή τους σε κάποιο οικοδομικό ή τεχνικό έργο (Πηγές: Davidson and Wilson, 1982, Fernandez, 2006, μετάφραση: Δημήτρης Τσιώτας).



Για κάθε πόλη ο τύπος και η ποσότητα των υλικών στη ροή κατεδάφισης συντριμμίων υπολογίστηκε λαμβανομένων υπόψη των ακόλουθων βημάτων (Davidson and Wilson, 1982):

- Για κάθε κατεδαφισμένο κτίριο, καθορίστηκε από την άδεια κατεδάφισης ή την άδεια ανοικοδόμησης η ημερομηνία οικοδόμησης του κτιρίου και της χρήσης αυτού.
- Το περιεχόμενο απορριμάτων κάθε κτιρίου υπολογίστηκε κάτω από την υπόθεση ότι αυτά περιέχουν το μέσο περιεχόμενο αποβλήτων της μέσης οικοδομής κατά την ημερομηνίας χρήσης και οικοδόμησης του κτιρίου.
- Αθροίστηκε το ποσό του υπολογισθέντος περιεχομένου όλων των κατεδαφισμένων κτιρίων σε κάθε πόλη για να εξαχθεί η εκτίμηση για το συνολικό ρυθμό ετήσια αποβολής απορριμάτων.



2. ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΔΟΜΗΣΗ

2.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ

Ο όρος *αειφόρος* (ή βιώσιμη) *δόμηση* (*sustainable* ή *viable construction*) (Anink et al., 1996, Godfraud et al., 2005, Burgan and Sansom, 2006, Tam and Tam, 2006, Huang et al., 2007, Ding, 2008, Snelson et al., 2009) επικράτησε ως το εννοιολογικό ανάλογο του όρου *αειφόρος* (ή *βιώσιμη*) *ανάπτυξη*, ο οποίος καθιερώθηκε παγκοσμίως με τη δημοσίευση της περίφημης *αναφοράς του Μπρούτλαντ* (Bruntland Report), το 1987, με τίτλο «*Το κοινό μας μέλλον*» (Our Common Future). Στην παραπάνω αναφορά, καθοριζόταν η βιώσιμη ανάπτυξη ως «...η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να υπονομεύεται η δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους...» (WCED, 1987).

Αν επιχειρηθεί ετυμολογική ανάλυση στις έννοιες της αειφόρου ανάπτυξης και δόμησης, θα γίνει αντιληπτή η εμφανής περιγραφική χροιά τους. Το επίθετο αειφόρος, ως λέξη, είναι σύνθετη και αποτελείται από τις συστατικές λέξεις (αειφόρος =) *αει* (πάντοτε) + *φέρω* (κατευθύνω) (Μανδάλα, 1988). Επομένως και η επιλογή του όρου αειφόρος (*sustainable*), μαρτυρά ορθά το περιεχόμενο της μελλοντικής προοπτικής για τις έννοιες της ανάπτυξης και δόμησης.

Από το 1987 και έπειτα η ερμηνεία που επιδέχεται ο παραπάνω ορισμός καθίσταται συνεχώς διευρυνόμενη, διότι ενισχύεται από τη περιβαλλοντική ωρίμανση και ευαισθητοποίηση της ανθρωπότητας. Η προστασία του περιβάλλοντος αναγνωρίζεται σήμερα ως ένα ακόμη στοιχείο που συνθέτει τη βιώσιμη ανάπτυξη, μαζί με τους υπόλοιπους κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες (βλέπε επόμενο σχετικό κεφάλαιο) (Burgan and Sansom, 2006).

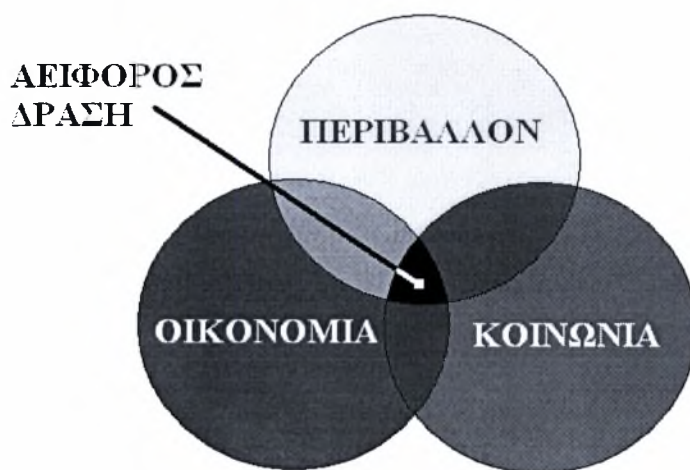
Στο βρετανικό στρατηγικό σχέδιο διακυβέρνησης για την αειφόρο ανάπτυξη, η *αειφόρος ανάπτυξη* ορίζεται ως η δυνατότητα που επιτρέπει «...σε όλους τους ανθρώπους του κόσμου να ικανοποιήσουν τις βασικές ανάγκες τους και να απολαύσουν καλύτερη ποιότητα ζωής, χωρίς το συμβιβασμό της ποιότητας ζωής των μελλοντικών γενεών...», τονίζοντας, με τον παραπάνω ορισμό την εξίσου σημαντική θέση του κοινωνικού παράγοντα. Σήμερα, έχει καθιερωθεί η ερμηνευτική θέση ότι η βιώσιμη ανάπτυξη έχει τρεις διαστάσεις ή συνιστώσες ή πυλώνες (White and Lee, 2007):

- την Περιβαλλοντική Προστασία,



- την Κοινωνική Ανάπτυξη και
- την Οικονομία (σχήμα 4).

Εφόσον η παραπάνω ερμηνευτική αποδόμηση της αειφόρου ανάπτυξης στις τρεις συνιστώσες θεωρηθεί δεδομένη, η συσχέτιση μεταξύ της βιώσιμης ανάπτυξης και της αντίστοιχης αειφόρου κατασκευής καθίσταται προφανής, ακριβώς επειδή η δόμηση αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους της οικονομίας σε πολλές χώρες και έχει ισχυρό περιβαλλοντικό και κοινωνικό αντίκτυπο (Burgan and Sansom, 2006).



Σχήμα 4. Σχηματική (συνολοθεωρητική) αναπαράσταση των τριών διαστάσεων της αειφόρου ανάπτυξης και της κοινά επικαλυπτόμενης περιοχής τους (Πηγές: Κορωναίος και Σαργέντης, 2005, White and Lee, 2007, σχεδίαση: Δημήτρης Τσιώτας).

2.2. ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΔΟΜΗΣΗΣ

Με βάση τα παραπάνω και με δεδομένη την αναγκαιότητα για υιοθέτηση των επιταγών για αειφόρο δόμηση επιδιώκεται η ανάδειξη των κριτηρίων (ή συνιστωσών) που συνθέτουν την έννοια της αειφορίας στην κατασκευή (Anink et al., 1996, Godfraud et al., 2005, Burgan and Sansom, 2006, Tam and Tam, 2006, Huang et al., 2007, Ding, 2008, Snelson et al., 2009).

Μια αρχική προσέγγιση εκπορεύεται από την ως τώρα εμπειρία που μας έχει προσφέρει η Οικονομική (ως επιστήμη) και εκφράζεται με τη νοοτροπία της «οικονομικότητας» (ή οικονομίας), δηλαδή του *περιορισμού της σπατάλης των υλικών*, όπου αυτό καθίσταται εφικτό. Πρόκειται για την οικονομική, «φειδωλή», χρήση των υλικών, ήτοι την ενσωμάτωση μικρότερης ποσότητας υλικών στο έργο για την εκτέλεση του ίδιου στόχου (Page, 1974).



Η παραπάνω προσέγγιση αποτελεί μια συμβατική δράση για την επιστήμη των υλικών. Η εφαρμογή της τείνει να οδηγήσει σε δύο κύρια προβλήματα στην κατασκευή (Page, 1974):

- Τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της απόδοσης των κτιρίων, τα οποία κατασκευάζονται με μικρότερη ποσότητα υλικών ή εναλλακτικών (οικονομικότερων από τα συμβατικά) υλικών, αποτελούν στις περισσότερες περιπτώσεις «εκπτώτικές» λύσεις, χαμηλότερης ποιότητας από εκείνες του συμβατικότερου σχεδιασμού. Για παράδειγμα ένα κτίριο με μειωμένο πάχος εξωτερικών τοιχοποιιών (στην περίπτωση που έχει επιλεγεί απλή, δρομική, τοιχοποιία αντί διπλής με εσωτερική μόνωση), τείνει να παρέχει φτωχότερο επίπεδο θερμικής και ακουστικής μόνωσης. Έχει μικρότερη ικανότητα αποθήκευσης της θερμότητας, υφίστανται έντονες θερμοκρασιακές αλλαγές καθώς διέρχεται και εξέρχεται η ηλιακή θερμότητα και δεν προσφέρει επαρκές ηχομονωτικό φράγμα. Γενική διαπίστωση, η οποία προέρχεται από την πολυετή κατασκευαστική εμπειρία, είναι ότι η αποταμίευση στα υλικά σε βάρος της ποιότητας καθίσταται σπάνια αποδεκτή (Page, 1974).

- Η υιοθέτηση των υλικών όπως το οπλισμένο σκυρόδεμα, που αποτελεί τη συνηθέστερη (συμβατική) λύση, καθιστά την επαναξιοποίηση των υλικών δύσκολη. Τα σύνθετα υλικά (μίγματα) είναι λιγότερο ικανοποιητικά από άποψη ανακύκλωσης έναντι των υλικών ενιαίας φάσης (Page, 1974).

Μια δεύτερη θεμελιώδης προσέγγιση είναι η **προσπάθεια επιμήκυνσης της ωφέλιμης διάρκειας ζωής (όριο ζωής) των υλικών**, είτε με το σχεδιασμό μακροβιότερων υλικών που θα τοποθετούνται σε νέα κτίρια είτε με τη συντήρηση και αποκατάσταση των εγκατεστημένων υλικών στα υφιστάμενα κτίρια. Στην αποκατάσταση των υπαρχόντων κτιρίων, με σκοπό την αύξηση του ορίου ζωής τους, έχει δοθεί από τις τελευταίες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα, ακόμη, υψηλή προτεραιότητα στην Ευρώπη, κυρίως για περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς και πολιτιστικούς λόγους, επειδή η επανοικοδόμηση με τους εντατικούς ρυθμούς που πραγματοποιείται έχει προκαλέσει ιδιαίτερη ανησυχία (Page, 1974).

Παρόλα αυτά, οι απαιτήσεις στη συντήρηση των εγκαταστάσεων έχουν ανέλθει για το Ηνωμένο Βασίλειο τα τελευταία σαράντα χρόνια, σε τέτοιο χαρακτηριστικό επίπεδο, ώστε οι οικονομικές δαπάνες για την ανακαίνιση των υφιστάμενων κτιρίων να υπερβαίνουν τις αντίστοιχες για την κατασκευή νέων. Η πολιτική της συντήρησης και



αναπαλαίωσης που ακολουθείται έκτοτε, όμως, είναι περιβαλλοντικά φιλικότερη, διότι αποφεύγεται η κατεδάφιση των ήδη ανεγερθέντων κτιρίων και μειώνεται, με αυτόν τον τρόπο, αφενός η εκ νέου απαίτηση για τα βασικά οικοδομικά υλικά και αφετέρου η απόρριψη των δομικών αποβλήτων, που θα προέκυπταν. Η παραπάνω διαδικασία είναι απαιτητική σε ανθρώπινο εργατικό δυναμικό (εργατώρες), πράγμα που θεωρείται πλεονέκτημα σε πολιτικές κοινωνικού χαρακτήρα (πχ. καταπολέμηση της ανεργίας) (Page, 1974).

Η παραπάνω προσέγγιση, η οποία περιγράφηκε για τη Μεγάλη Βρετανία, ίσως να μην καθίσταται εφαρμόσιμη σε επίπεδο παγκόσμιας κλίμακας, για διαφορετικούς κάθε φορά (οικονομικούς και πολιτικούς) λόγους. Υπενθυμίζεται ότι σε πολλά γεωγραφικά μήκη και πλάτη που πλανήτη υφίστανται ακόμη αναπτυσσόμενες χώρες στον τομέα των κατασκευών, στις οποίες δεν τίθεται αντίστοιχη αναγκαιότητα. Εφόσον η μακροζωία αποτελεί ελκυστικό στόχο στον κτιριοδομικό σχεδιασμό, αυτός καθίσταται τις περισσότερες φορές δαπανηρός για το αρχικό κόστος της κατασκευής και, επομένως, η εν λόγω έλξη (του μακρόπνοου σχεδιασμού) μετουσιώνεται σε πραγματικότητα σε πολύ μικρότερο ποσοστό, με τις αυτονόητες συνέπειες στην εξάντληση των φυσικών πόρων (Page, 1974).

Συμπερασματικά, η (δεύτερη) προσέγγιση, που επικεντρώνεται στην προσπάθεια διεύρυνσης του χρόνου ζωής των υλικών, για να χαρακτηριστεί ρεαλιστική, οφείλει να ενσωματώνει στα κριτήριά της τη διατήρηση των κατασκευαστικών δαπανών σε συγκριτικά χαμηλό επίπεδο. Αυτό οφείλεται στη νοοτροπία «κίνησης» που επιβάλουν οι οικονομικές δυνάμεις στη βιομηχανία κάθε τομέα, η οποίες χαρακτηρίζουν την «είσπραξη» κρισιμότερη από την «απόσβεση» (Page, 1974).

Μια τρίτη προσέγγιση που μπορεί να εξεταστεί για τη διατήρηση των κτιριακών πόρων αποτελεί η **αντικατάσταση των σπάνιων υλικών με λιγότερο σπάνια υλικά** και ακόμη καλύτερα η **αντικατάσταση των παραδοσιακών οικοδομικών υλικών με ανακυκλώσιμα υλικά** (βλ. για ανακύκλωση σε επόμενο κεφάλαιο). Ο τομέας αυτός, από τις τελευταίες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα κιόλας, εμφανίστηκε ως ο περισσότερο υποσχόμενος στον τομέα της περιβαλλοντικής διατήρησης και πολιτικής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ιστορικής προσέγγισης στη χρήση των βιολογικών αποβλήτων για χρήσιμους οικοδομικούς σκοπούς αποτελεί και αυτό των στεγών «*Thatched*» (κεντητές στέγες), οι οποίες κατασκευάζονται άχυρο σίτου. Οι εν λόγω στέγες αποτέλεσαν ανακουφιστική λύση για τη διαχείριση των πάνω από 4½



εκατομμυρίων τόνων αχύρου, οι οποίοι καιγόntonουσαν ετησίως στην Αγγλία (στα τέλη του 20^{ου} αιώνα), κυρίως στις ανατολικές περιοχές σίτου της Μεγάλης Βρετανίας, επιβαρύνοντας την ατμοσφαιρική ρύπανση και προκαλώντας περαιτέρω ζημιές στις γειτνιάζουσες με τα (προς καύση) αγροκτήματα σίτου επιφάνειες. Ένα ακόμη παράδειγμα (πιο σύγχρονο των στεγών) αποτελούν τα τοιχοπετάσματα από «βαγάσση», απόβλητο ζαχαροκαλάμου (Page, 1974).

Τέλος η οικονομικότερη, η αποδοτικότερη και η περιβαλλοντικά ευεργετικότερη, ίσως, επιλογή που οδηγεί στην εφαρμογή των αειφορικών επιταγών στον τομέα της κατασκευής, είναι η **μείωση των δομικών αποβλήτων** και η **επαναξιοποίησή τους προς απόκτηση νέων υλικών (ανακύκλωση)**, βλ. επόμενο κεφάλαιο). Ο επαναπροσδιορισμός των κατασκευαστικών μεθόδων εμφανίζεται ικανός να προσφέρει μια μέθοδο, που οδηγεί σε λιγότερα κατασκευαστικά απόβλητα παραγωγής. Η έννοια των αποβλήτων για ένα κτίριο δεν περιορίζεται μόνο στα προϊόντα καθαίρεσης ή κατεδάφισης (μπάζα) αυτού. Απόβλητο κάλλιστα αποτελεί και η συσκευασία των υλικών (πχ. σάκκοι τσιμέντου), τα υπολείμματα εφαρμογής δομικών υλικών (ρετάλια) ή έγχυτων κονιαμάτων, τα ελαττωματικά στοιχεία, οι διαρροές δοκιμίων ή ρευστών υλικών (κονιαμάτων), οι φθαρμένοι τύποι (καλούπια) και άλλα. Τα απόβλητα παράγονται τόσο στην αρχή όσο και στο τέλος της κατασκευής. Απόβλητο στην αρχή της παραγωγής, για παράδειγμα, ενδέχεται να είναι και το νωπό σκυρόδεμα, εφόσον δεν ικανοποιεί τα τιθέμενα κριτήρια, τα οποία επιβάλει η μελέτη σύνθεσης του σκυροδέματος που έχει εκπονηθεί για ένα συγκεκριμένο έργο. Κάποιοι ενδεικτικοί τύποι αποβλήτων στο τέλος του έργου αναφέρθηκαν παραπάνω (Conroy et al., 2006).

Το μεγαλύτερο μέρος των δομικών αποβλήτων, που παράγονται, εναποτίθεται στους χώρους ενταφιασμού (χωματερές). Μερικοί ανάδοχοι έργων, οφείλουν στις συμβατικές τους υποχρεώσεις, να μεταφέρουν τα ογκώδη απόβλητα με ίδια έξοδα, πράγμα που επιβαρύνει το έργο συνολικά (οικονομικά και χρονικά). Τέλος σημειώνεται ότι η απλή, δίχως διαχειριστική εποπτεία, εναπόθεση δομικών υλικών σε χώρους ενταφιασμού εγκυμονεί κινδύνους ρύπανσης και σπανιότερα μόλυνσης του περιβάλλοντος (Conroy et al., 2006).

Συμπερασματικά, στο ερώτημα που τίθεται για το ποιοι παράγοντες συνθέτουν την οικολογικά βέλτιστη λύση σε μια κατασκευή, η οποία εναρμονίζεται με τις επιταγές της αειφόρου (η βιώσιμης) δόμησης (ή κατασκευής) αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία η περίφημη συνθηματολογία με τα **τρία R**, ήτοι **Reuse** (επαναχρησιμοποίηση), **Reduce**



(εξοικονόμηση ή μείωση), και **Recycling** (ανακύκλωση) (Conroy et al., 2006, Tam and Tam, 2006).

2.3. ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΔΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

Στην προσπάθεια ανοικοδόμησης μιας αειφόρου κατασκευής, βασικό ρόλο διαδραματίζει και ο σχεδιασμός του κτιρίου (με την ευρύτερη έννοια, ο οποίος συμπεριλαμβάνει τη συνιστάμενη εργασία του αρχιτέκτονα, του πολιτικού, του μηχανολόγου και του ηλεκτρολόγου μηχανικού), ο οποίος σχεδιασμός, απαιτείται να λαμβάνει χώρα με συνέπεια και να εμπεριέχει στα σχεδιαστικά του κριτήρια την απαιτούμενη περιβαλλοντική ευαισθησία. Υπό την παραπάνω οπτική, απαιτείται να λαμβάνονται υπόψη η **θερμική συμπεριφορά του κτιρίου**, το σύνολο των περιβαλλοντικών παραμέτρων (χωροταξικοί, λειτουργικοί κ.ά.), η **αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού και ηλιασμού** (Τσιώτας, 2001) και εν γένει ο **βιοκλιματικός σχεδιασμός**, και η **επιλογή των βέλτιστων** (οικολογικών) **υλικών**, που θα χρησιμοποιηθούν κατά την κατασκευή (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Πολύ σημαντική παράμετρος αειφορικής διαχείρισης των κατασκευών αποτελεί ο **μακρόπνοος ή προσαρμοστικός (αρχιτεκτονικός) σχεδιασμός** των κτιρίων, ο οποίος καθίσταται ευέλικτος σε ενδεχόμενες αναπροσαρμογές της χρήσης των κτιρίων. Όταν ένα κτίριο κατασκευάζεται με σκοπό να εξυπηρετήσει μια βραχυπρόθεσμη ανάγκη, τότε καθίσταται (λειτουργικά) απόβλητο στο χρονικό σημείο, στο οποίο παύει η ανάγκη δημιουργίας του να είναι εν ισχύ. Η παραπάνω κατάσταση αποτελεί μέγα σχεδιαστικό σφάλμα, διότι το κτίριο αποτελεί **άχρηστο λειτουργικό χώρο**, παρόλο που η δομική του μάζα δεν έχει περατώσει τον ωφέλιμο κύκλο ζωής της. Η μακρόπνοος αρχιτεκτονικός σχεδιασμός αποδίδει διαχρονικότητα στις κατασκευές και αποτελεί τη βέλτιστη μέθοδο πρόληψης για φαινόμενα, όπως το παραπάνω. Επίσης, η εφαρμογή αυτής της σχεδιαστικής νοοτροπίας προσδίδει στα κτίρια μακροζωία και μετατοπίζει χρονικά τις προκύπτουσες ανάγκες για ανακύκλωση των υλικών (Page, 1974).

Η έννοια της **προσαρμοστικότητας** στα κτίρια, περιλαμβάνει (ενδεικτικά) το σχεδιασμό ευέλικτων χώρων (οι οποίοι να μην εξυπηρετούν μόνο μια λειτουργία, ώστε να μπορούν να αλλάξουν χρήση), το σχεδιασμό λιγότερων διαχωριστικών τοίχων, τη κατασκευή (όπου καθίσταται δυνατό) μεταφερόμενων χωρισμάτων κλπ. Για παράδειγμα τα δωμάτια τετραγωνικής μορφής καθίστανται πιό εύκαμπτα και λιγότερο δεσμευτικά από τα στενά παραλληλόγραμμα δωμάτια (Page, 1974). Ο καλαίσθητος και καινοτόμος



(Gospodini, 2004), επίσης, αρχιτεκτονικός σχεδιασμός των κτιρίων προσδίδει διαχρονικότητα και παρατείνει στο μέγιστο τον ωφέλιμο κύκλο ζωής τους (Page, 1974).

Το υπολογιστικό μέρος της μελέτης του κτιρίου, επίσης, το οποίο άπτεται του αντικειμένου του πολιτικού μηχανικού, δύναται να συμβάλει ουσιαστικά στον μακρόπνοο κτιριοδομικό σχεδιασμό. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δωματίων, τα ύψη των πατωμάτων, το βάθος θεμελίωσης, τα φορτία σχεδιασμού και η διαστασιολόγηση των φορέων διαδραματίζουν ρόλο ζωτικής σημασίας στη σειρά των χρήσεων, στην οποία ένα ιδιαίτερο κτίριο ενδέχεται να τεθεί. Από τα προαναφερόμενα γίνεται σαφές ότι το πρόβλημα του μακρόπνοου σχεδιασμού σχεδίου δεν περιορίζεται στο να σχεδιαστεί το καλύτερο δυνατό κτίριο για την αρχική χρήση του (παρόλο που σαφώς το κτίριο πρέπει να ικανοποιεί πλήρως τις αρχικές σχεδιαστικές ανάγκες), αλλά να σχεδιαστεί ο σχεδιασμός προβλέπει ή να καθίσταται ευέλικτος για να προσαρμόζεται στο ευρύτερο φάσμα των μελλοντικών χρήσεων, κατά τη διάρκεια του μακροβιότερου κύκλου ζωής (Page, 1974).

Ο σχεδιασμός, ο τρόπος κατασκευής και η χωροθέτηση ενός κτιρίου ασκούν, επίσης, σημαντική επίδραση στο περιβάλλον και ευρύτερα στις φυσικές πηγές. Από τη μια πλευρά, σύμφωνα με τα κριτήρια οικονομικότητας ο μελετητής μηχανικός οφείλει να αποδώσει τη βέλτιστη, τεχνικά, δυνατή λύση σε μια κατασκευή, ελαχιστοποιώντας το κόστος. Από την άλλη πλευρά η οικολογική πραγματικότητα επιβάλλει πλέον το σεβασμό των φυσικών διεργασιών και τη διατήρηση της τάξης (εντροπίας) του ευρύτερου οικοσυστήματος. Οι δυο παραπάνω θεωρήσεις ενδέχεται να μη συμφωνούν, διότι η οικολογική συνιστώσα στην κατασκευή δύναται να έχει αρκετό κόστος και να εισάγει «καινές» νοοτροπίες πέραν του «ως είθισται». Ενδέχεται οι οικολογικές επιταγές να οδηγούν σε «άβολη» και «δύσκολη» επίλυση ενός αντικειμένου (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



3. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Με τον όρο **δομικά υλικά** ονομάζεται το σύνολο των υλικών, τα οποία χρησιμοποιούνται σε ένα τεχνικό έργο για την κατασκευή, για τη λειτουργία του και για τη συντήρησή του (Λεγάκης, 1987, Λεγάκης, 1988, Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Τα δομικά υλικά ενσωματώνονται στην κατασκευή σε κάποια φάση του έργου και η μεταγενέστερη αφαίρεσή τους από το σώμα του έργου, συνήθως καθιστά το υλικό άχρηστο (το υλικό τις περισσότερες φορές έχει υποστεί κάποιας μορφής βλάβη). Τα δομικά υλικά δεν αποσπώνται από την κατασκευή με συνήθεις μεθόδους, παρά μόνο με αποξήλωση, καθαίρεση ή κατεδάφιση. Ο όρος **τεχνικό έργο** περιλαμβάνει οποιαδήποτε κατασκευή η οποία δημιουργείται προς εξυπηρέτηση κάποιου σκοπού, εδράζεται επί σταθερού εδάφους και δύναται να υποστεί χωρίς κίνδυνο διάφορες εξωτερικές περιβαλλοντικές δράσεις (Λεγάκης, 1987).

Η λέξη «**δομικός**» προέρχεται, ετυμολογικά, από τη λέξη «δομώ», η οποία με τη σειρά της έχει ρίζα τη λέξη «**δέμω**» που σημαίνει οικοδομώ, διαρθρώνω ένα σύνολο ή του προσδίδω δομή (Μανδάλα, 1988). Επομένως ο όρος δομικός ενσωματώνει τον όρο της τάξης, με την οποία τοποθετούνται τα προς δόμηση υλικά (σκοπίμη ή βουλευμένη τοποθέτηση), ώστε να προκύψει κάποιο κατασκευάσμα (τεχνικό έργο) με συγκεκριμένη μορφή και διαστάσεις (Λεγάκης, 1987).

3.2. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η μελέτη των δομικών υλικών στη διεθνή βιβλιογραφία πραγματοποιείται κάτω από δυο μεγάλα θεματικά πεδία (Fernandez, 2006). Τα πεδία αυτά είναι οι **οικογένειες των υλικών** (material families) και οι **ιδιότητες των υλικών** και αναλύονται ακολούθως.

3.2.1. ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Οι οικογένειες των υλικών αποτελούν προσδιορισμούς, οι οποίοι είναι χρήσιμοι για τη διευκόλυνση της μελέτης των διάφορων ιδιοτήτων ενός ευρέος φάσματος υλικών. Έχουν προκύψει ως αποδεκτές ταξινομήσεις προερχόμενες από την επιστήμη υλικών και άλλους επιστημονικούς τομείς που μελετούν τα υλικά (πίνακας 1). Η ταξινόμηση με



βάση τις οικογένειες των υλικών αποδίδει μεγαλύτερη έμφαση στην ομαδοποίηση των κοινών ιδιοτήτων παρά στις τυπικές εφαρμογές των υλικών. Οι ιδιότητες, οι οποίες αποτελούν και το κριτήριο ομαδοποίησης στην εν λόγω ομάδα, αναφέρονται στην ατομική και μοριακή δομή των υλικών, που συμπεριλαμβάνονται σε κάθε κατηγορία, δηλαδή έχουν βάση τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των υλικών (Fernandez, 2006).

Πίνακας 1.
Οι οικογένειες των δομικών υλικών
(Πηγή: Fernandez, 2006, απόδοση - μετάφραση πίνακα: Δημήτρης Τσιώτας)

ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ	ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΔΙΑΚΡΙΣΗ	ΜΕΛΗ
ΜΕΤΑΛΛΑ	ΣΙΔΗΡΟΥΧΑ	χυτοσίδηρος, χάλυβας
	ΜΗ ΣΙΔΗΡΟΥΧΑ	χαλκός, ψευδάργυρος, κασσίτερος, νικέλιο, αργίλιο, μαγνήσιο, μαγγάνιο, τιτάνιο, μόλυβδος, χρώμιο
ΠΟΛΥΜΕΡΗ	ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΑ	ακετάλες (POM), κυτταρίνες, φθοροπολυμερή, πολυαμίδια (νάυλον), πολυκαρβονικά (PC), πολυαριλίδια, πολυαιθεριμίδια (PEI), πολυβουτυλένια (PB), θερμοπλαστικοί πολυεστέρες, πολυβενζιμαζόλες, πολυαιθυλένια (PE), πολυιμίδια (PI), πολυκετόνες, πολυ-μεθυλακρυλαίνια (PPMA), πολυφαινυλικά σουλφίδια (PPS), πολυφθαλαμίδια (PPA), πολυπροπυλένια (PP), πολυουρεθάνες (PUR), πολυστυρένια, σουλφοναμιδικές ρητίνες, (βυνιλικές ρητίνες) βυνιλίδια
	ΘΕΡΜΟΣΚΛΗΡΥΝΟΜΕΝΑ Ή ΘΕΡΜΟΧΥΤΑ	αμινικά, εποξειδικές ή εποξεικές ρητίνες, φαινολικές ρητίνες, πολυεστερικές ακόρεστες ρητίνες, θερμόχυτη πολυουρεθάνη, σιλικόνες,
	ΕΛΑΣΤΟΜΕΡΗ	συνθετικά ελαστικά, φυσικά ελαστικά
ΚΕΡΑΜΙΚΑ	ΥΑΛΩΔΗ (ΑΛΟΥΜΙΝΟΠΥΡΙΤΙΚΑ, ΑΝΟΡΓΑΝΑ, ΚΑΟΛΙΝΙΤΙΚΑ) ΚΕΡΑΜΙΚΑ	οπτόπλινθοι, κέραμοι, κεραμικά πλακίδια, πορσελάνες



ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ	ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΔΙΑΚΡΙΣΗ	ΜΕΛΗ
	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ	συμβατικά σκυροδέματα (CC), σκυροδέματα με πρόσμικτα ιπτάμενης τέφρας (HVFC), σκυροδέματα υψηλής εργασιμότητας (HPC), σκυροδέματα υψηλών αντοχών (HSC και VHSC), ελαφροσκυροδέματα (LC), αεροσκυροδέματα (AC), ταχύπηκτα σκυροδέματα (RPC)
	ΛΙΘΟΙ	πυριγενείς (γρανίτες), μεταμορφωσιγενείς (μάρμαρο, σχιστόλιθοι), ιζηματογενείς (χαλαζιάς, ασβεστόλιθος, τραβερτίνης)
	ΚΕΡΑΜΙΚΑ ΥΨΗΛΩΝ (ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ) ΑΠΟΔΟΣΕΩΝ	πυρίτιο, αλουμίνα, βόριο, ζirkόνιο
	ΥΑΛΟΥΡΓΙΚΑ	ύαλος (τζάμι), κρύσταλλα,
ΦΥΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	ΞΥΛΕΙΑ	φυσική ξυλεία (δρυός, καστανιάς, καρυδιάς, οξυάς, ερυθρελάτης, τροπικών δένδρων), μοριοσανίδες, IROKO, WENGGE, ANGELIQUE, (μελαμίνες), ινοσανίδες (MDF, HDF), συγκολλητή ξυλεία (κόντρα πλακέ)
	ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΙΝΩΔΗ	λινάρι, αχυρώδη, υλικά, πετροβάμβακας, βαμβακερά, γύψος, ύαλος, ινώδη με φυσικό μαλλί, μεταξωτά
	ΒΙΟΠΟΛΥΜΕΡΗ ή ΦΥΣΙΚΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ	πολυσακχαρίδια, πολυπεπτίδια, βακτηριακοί πολυεστέρες
	ΕΔΑΦΙΚΑ (ΠΗΛΙΝΑ ΚΑΙ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΑ)	αργιλώδη, φυσικά αδρανή (άμμιος ποταμού, θαλάσσης), φυσικά ξηραμένοι πλίνθοι
ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ	ΙΝΟΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΜΕ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (GFRP/CFRP)	πολυμερή οπλισμένα με ίνες υάλου (GFRP), πολυμερή οπλισμένα με ίνες άνθρακα (GFRP)
	ΙΝΟΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΜΕ ΓΥΑΛΙ	υαλοβάμβακας, υαλονημάτια, ιαλοϊνώδη
	ΛΟΙΠΑ	συνθετικά υλικά (βάση/οπλισμός) μετάλλου/μετάλλου, κεραμικού/κεραμικού, πολυμερούς/μετάλλου,



Γενικά, τα υλικά, που εντάσσονται στην ίδια οικογένεια υλικών, εμφανίζουν ομοιότητες στις μηχανικές ιδιότητές τους, ώστε η εν λόγω κατηγοριοποίηση να καθίσταται επαρκής και να καλύπτει, σε όλο το εύρος της, την εφαρμοσμένη μηχανική και την επιστήμη των δομικών υλικών. Στην οικογένεια των φυσικών υλικών έχει συμπεριφθεί και το σύνολο των βιολογικών υλικών. Παρόλο, που κάποια βιολογικά υλικά θα μπορούσαν να ενταχθούν, εξαιτίας των ομοιοτήτων στη δομή τους, στην οικογένεια των καεραμικών ή των σύνθετων υλικών ή και σε άλλες κατηγορίες, καθίσταται χρησιμότερη η μελέτη τους ως μεμονωμένη κατηγορία. Έναν αρχικό λόγος για αυτή τη διάκριση αποτελεί η χημεία των υλικών υλικών αυτών, διότι τα περισσότερα από τα φυσικά υλικά, όντας ενώσεις του άνθρακα, εντάσσονται και περιγράφονται από την οργανική χημεία (Fernandez, 2006).

3.2.2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Με τον όρο ιδιότητες των υλικών (η κατηγοριοποίηση των οποίων φαίνεται στον πίνακα 2) αναφέρονται εκείνα τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν μια ουσία ή ένα υλικό. Ουσιαστικά πρόκειται για τις αναγκαίες συμβάσεις των επιστημονικών κλάδων, οι οποίες αποσκοπούν στην ανάλυση της συμπεριφοράς των υλικών, στη διατύπωση των θεωριών που τα περιγράφουν και στη σύνθεση των προτύπων, τα οποία που συσχετίζουν την ατομική και μοριακή σύνθεση των υλικών με τις ιδιότητες που αυτά εμφανίζουν. Γενικά, μπορεί να διατυπωθεί ότι οι ιδιότητες των υλικών καθορίζουν τη γενικότερη συμπεριφορά τους και οι πρώτες καθορίζονται από τις μοριακές και ατομικές δομές των υλικών (Fernandez, 2006).

Πίνακας 2.

Οι ιδιότητες των δομικών υλικών

(Πηγή κατηγοριοποίησης ιδιοτήτων: Fernandez, 2006

Λοιπές πηγές: Wendehorst, 1981, Λεγάκης, 1987, Λεγάκης, 1988, Λίτινας & Γιαννακόπουλος, 1999, απόδοση - μετάφραση: Δημήτρης Τσιώτας)

ΕΙΔΟΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΙΔΙΟΤΗΤΑ
ΕΓΤΕΝΕΙΣ	ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ	παραμόρφωση ή πλαστιμότητα, ελαστικότητα, αντοχή σε εφελκυσμό, αντοχή σε θλίψη ή θραύση, αντοχή σε διάτμηση, σκληρότητα



ΕΙΔΟΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΙΔΙΟΤΗΤΑ
	ΦΥΣΙΚΕΣ	(ΦΥΣΙΚΕΣ)	πορώδες, απορροφητικότητα, βάρος, πυκνότητα, ειδικό βάρος
		ΘΕΡΜΙΚΕΣ	θερμική αγωγιμότητα, θερμοχωρητικότητα, θερμική διάχυση, σημείο τήξης, σημείο πήξης, μέγιστη θερμοκρασία εργασιμότητας, θερμική διαστολή
		ΟΠΤΙΚΕΣ	ανακλαστικές ιδιότητες, χρώμα
		ΕΠΙΔΕΙΝΩΤΙΚΕΣ	διάβρωση, γήρανση
ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ		capital cost, κόστος κατασκευής, κόστος κύκλου ζωής, ανάλυση κύκλου ζωής
	ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΕΣ ή ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ		ενσωματωμένη ενέργεια (embodied energy), χρήσεις υλικών, παραγωγή ρύπων και αερίων θερμοκηπίου, τοξικότητα, IAQ, υγεία υλικών
	ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ		ανακούφιση φτώχειας, υγιεινή και ασφάλεια, ισότητα
	ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΕΣ		ιστορική απήχηση, θεωρητικές προεκτάσεις, χαρακτήρας

Όπως τα υλικά, έτσι και οι ιδιότητές τους μπορούν να ταξινομηθούν, με βάση τη συμπεριφορά τους, σε δυο μεγάλες κατηγορίες, στις *εγγενείς* και στις *εξωγενείς*. Οι εγγενείς ιδιότητες είναι χαρακτηριστικές για κάθε υλικό και εξαρτώνται από την ατομική και μοριακή σύσταση αυτού (από την εσωτερική δομή του υλικού), όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Οι εγγενείς ιδιότητες εξαρτώνται από τους εσωτερικούς μηχανισμούς των υλικών και όχι από τις σταθερές εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες, που επικρατούν κατά περίπτωση. Θα μπορούσε να διατυπωθεί ότι η μελέτη των εγγενών ιδιοτήτων των υλικών είναι αποπλαισιωμένη από τα διάφορα εξωτερικά υφιστάμενα αίτια. Βέβαια, πρέπει να τονιστεί ότι οι εγγενείς ιδιότητες των υλικών είναι δυνατό να μεταβληθούν από διάφορα εξωτερικά αίτια, όπως από επαναλαμβανόμενες φορτίσεις, από θερμοκρασιακές μεταβολές, από έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία και σε από άλλες ακραίες περιβαλλοντικές δράσεις (Fernandez, 2006).



Οι εξωγενείς ιδιότητες είναι ανεξάρτητες από την ατομική και μοριακή δομή του υλικού. Οι ιδιότητες αυτές, σε αντίθεση με τις εγγενείς, δεν προϋποθέτουν την αποπλαισίωση της μελέτης του υλικού από τις εκάστοτε εξωτερικές επιδράσεις, αλλά, αντίθετα, απαιτούν η μελέτη των υλικών να λαμβάνει χώρα κάθε φορά σε ξεχωριστά πλαίσια, είτε οικονομικά, είτε περιβαλλοντικά, είτε κοινωνικά, είτε πολιτιστικά, ώστε να καθίσταται εφικτή η εξαγωγή συμπερασμάτων για τη σχέση διάδρασης μεταξύ του υλικού και του συστήματος, στο οποίο αυτό εντάσσεται. Αυτές οι ιδιότητες καλούνται επίσης και *χαρακτηριζόμενες (attributable)* ιδιότητες, διότι έχουν αποδοθεί στο υλικό από τις κατά καιρούς οικονομικές δομές της κοινωνίας, τις κοινωνικές ανάγκες και τις εκάστοτε επικρατούσες αξίες. Για παράδειγμα η ταξινόμηση, στην παρούσα, της ενσωματωμένης ενέργειας ως εξωγενούς ιδιότητας, οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελεί είναι ιδιαίτερα «ανοικτός» μέγεθος στις εξωτερικές συνθήκες, όπως είναι οι περιφερειακές τεχνολογίες επεξεργασίας (οι οποίες διαφοροποιούνται χωρικά), οι ενέργειες μεταφορών, και οι τοπικοί *κανόνες της τέχνης και της επιστήμης*, που εφαρμόζονται στην κατασκευή (Fernandez, 2006).

Στα επόμενα, σύμφωνα με το σκοπό που επιδιώκεται να επιτευχθεί στην παρούσα εργασία, θα μελετηθούν οι ιδιότητες των δομικών οι οποίες αναφέρονται στην περιβαλλοντική ή οικολογική διάστασή τους, δηλαδή (βάσει του πίνακα 2) οι *ενσωματωμένη ενέργεια* (embodied energy), οι *χρήσεις υλικών*, η *παραγωγή ρύπων* και *αερίων θερμοκηπίου* (επιδράσεις των υλικών στο περιβάλλον) και η *τοξικότητα*. Πριν την εισαγωγή στο ουσιαστικό αντικείμενο της μελέτης, θεωρείται σκόπιμο να γίνει αναφορά και στις οικονομικά χαρακτηριστικά των δομικών υλικών.

3.3. ΕΓΓΕΝΕΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

3.3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Παρόλο που ο σκοπός της παρούσας εργασίας επιβάλλει την αναλυτική παρουσίαση των περιβαλλοντικών (ή οικολογικών) ιδιοτήτων των δομικών υλικών (Fernandez, 2006) παρατίθενται ακολούθως συνοπτικά και ένεκα πληρότητας οι βασικές *εγγενείς* ιδιότητες των δομικών υλικών, κατά την κατηγοριοποίηση που παρουσιάστηκε στον πίνακα 2.



3.3.2. ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι φυσικές ιδιότητες των υλικών αναφέρονται σε εκείνα τα φυσικά χαρακτηριστικά ενός υλικού, τα οποία περιγράφουν τη συμπεριφορά του υλικού σε εκείνες τις εξωτερικές επιδράσεις, οι οποίες δεν προκαλούν αλλοίωση στη δομή ή σύσταση του εν λόγω υλικού (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Η επιστήμη της τεχνολογίας των υλικών επιφάλλει και τη διάκριση των φυσικών ιδιοτήτων σε επιμέρους ομάδες, στις οπτικές, στις ηλεκτρικές και στις θερμικές ιδιότητες των υλικών, η οποία διαυκολύνει τη σε βάθος μελέτη τους. Στην παρούσα παράγραφο θα περιγραφούν ως φυσικές ιδιότητες αυτές που αναφέρονται στη συμπεριφορά της δομής των υλικών (Fernandez, 2006).

3.3.2.1. ΠΟΡΩΔΕΣ Η ΑΡΑΙΟΤΗΤΑ

Πρόκειται για ένα μέτρο, το οποίο υπολογίζει το ποσοστό του κενού όγκου (των κενών θυλάκων ή των πόρων) που βρίσκεται στον όγκο ενός υλικού (Λεγάκης, 1988). Το πορώδες είναι αδιάστατος ή καθαρός αριθμός (δεν έχει μονάδες) και δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha = \frac{V_{\kappa}}{V_{\text{ολ}}} \quad (1)$$

όπου V_{κ} = ο όγκος των πόρων και

$V_{\text{ολ}}$ = ο συνολικός όγκος του υλικού

3.3.2.2. ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

Απορροφητικότητα ή αλλιώς πρόσληψη υγρού (συνήθως η αναφορά γίνεται σε νερό) ονομάζεται το φυσικό μέγεθος που ορίζεται από τη διαφορά της μάζας m_H του εμποτισμένου σε υγρό υλικού μείον της αντίστοιχης αρχικής μάζας m του υλικού πριν εμποτιστεί στο υγρό (Wendehorst, 1981).

$$A = m_H - m \quad (2)$$

Η απορροφητικότητα μετράται (σε δεδομένη γεωγραφική θέση) και με το βάρος, το οποίο για ένα υλικό περιγράφεται ακολούθως.



3.3.2.3. ΒΑΡΟΣ

Βάρος ενός υλικού ονομάζεται το φυσικό μέγεθος (ο αντίστοιχος διεθνής όρος είναι *weight*) που ορίζεται με το γινόμενο της μάζας *m* ενός υλικού επί της επιτάχυνσης της βαρύτητας *g* στη δεδομένη γεωγραφική αναφορά (Serway, 1990). Ουσιαστικά το βάρος ενός υλικού είναι η δύναμη που ασκεί η γη στη μάζα του στο γεωγραφικό τόπο, που λαμβάνει χώρα η μέτρηση. Συμβολίζεται διεθνώς με το γράμμα *W*.

$$W = m \cdot g \quad (3)$$

Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) μονάδα βάρους είναι το *χιλιόγραμμα (kg)*. Το βάρος, στα δομικά υλικά, διακρίνεται σε *απόλυτο* (Wendehorst, 1981, Λεγάκης, 1988, Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999), σε *φαινόμενο* (Wendehorst, 1981, Λεγάκης, 1988, Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999) και σε *μικτό* (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Η παραπάνω κατηγοριοποίηση λαμβάνει υπόψη το πορώδες του υλικού και την απορροφητικότητά του. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το *φαινόμενο βάρος* του υλικού αναφέρεται στο βάρος του υλικού συμπεριλαμβανομένων των πόρων του, το *απόλυτο βάρος* αναφέρεται στο βάρος του καθαρού υλικού (χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα ενδιάμεσα κενά, δηλαδή το πορώδες) και στο *μικτό βάρος* λαμβάνεται υπόψη (στον υπολογισμό του μεγέθους) και η επιπρόσθετη μάζα κάποιου υγρού, που έχει απορροφήσει το υλικό (Wendehorst, 1981, Λεγάκης, 1988, Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

3.3.2.4. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

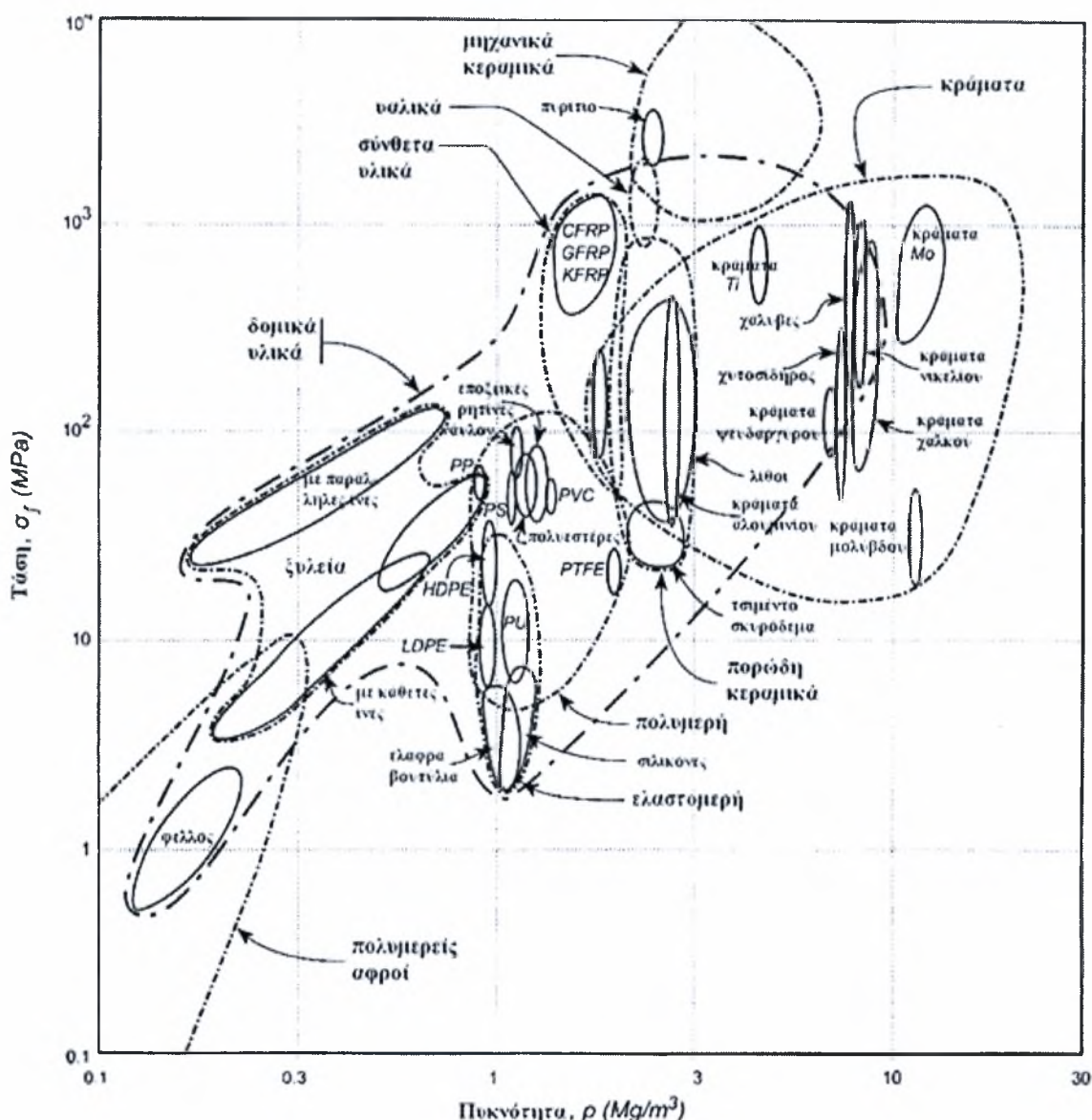
Ονομάζεται το φυσικό μέγεθος (ο αντίστοιχος διεθνής όρος είναι *density*) που ορίζεται ως ο λόγος (το κλάσμα) της μάζας *m* ενός υλικού δια του συνολικού του όγκου *V* (Serway, 1990). Η πυκνότητα συμβολίζεται διεθνώς με το γράμμα της ελληνικής αλφαβήτου *ρ*, και ο μαθηματικός της συμβολισμός δίδεται από τη σχέση (4). Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) η μονάδα πυκνότητας είναι το *kg/m³*.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

Η πυκνότητα αποτελεί φυσική ιδιότητα εξαιρετικής σημασίας, διότι έχει τη δυνατότητα να περιγράψει με μακροσκοπικό τρόπο την εσωτερική συνοχή (άρα και



δομή) των υλικών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γράφημα 2, το οποίο συνδέει γραφικά την πυκνότητα των δομικών υλικών με την ικανότητά τους να αναλαμβάνουν φορτίσεις, τις λεγόμενες τάσεις (Fernandez, 2006).



Γράφημα 2. Γράφημα πυκνότητας δομικών υλικών και τάσης αντοχής τους (Πηγή: Fernandez, 2006, μετάφραση: Δημήτρης Τσιώτας).

3.3.2.5. ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ

Ορίζεται ως ο λόγος της πυκνότητας d ενός υλικού προς την αντίστοιχη πυκνότητα νερού, βρισκόμενο σε θερμοκρασία 4°C, η οποία έχει οριστεί 10^3 kg/m^3 . Το ειδικό βάρος είναι αδιάστατο μέγεθος (χωρίς μονάδες) ή καθαρός αριθμός (Serway, 1990). Το ειδικό



βάρος, στα δομικά υλικά, διακρίνεται αντίστοιχα με το βάρος σε **απόλυτο**, σε **φαινόμενο** και σε **μικτό** ειδικό βάρος (Wendehorst, 1981, Λεγάκης, 1988, Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

3.3.3. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι θερμικές ιδιότητες των υλικών αναφέρονται σε εκείνα τα φυσικά χαρακτηριστικά ενός υλικού, τα οποία περιγράφουν τη συμπεριφορά του υλικού σε εξωτερικές επιδράσεις ανταλλαγής θερμότητας (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Περιληπτικά αναφέρονται ακολούθως:

3.3.3.1. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Θερμική αγωγιμότητα ονομάζεται η ιδιότητα που χαρακτηρίζει ένα υλικού, όταν το δεύτερο επιτρέπει τη διάδοση θερμότητας στο εσωτερικό της μάζας του. Η θερμική αγωγιμότητα περιγράφεται από ένα μέγεθος, το οποίο ονομάζεται συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας και συνήθως συμβολίζεται με το γράμμα λ . Η φυσική ερμηνεία του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας αναφέρεται στο ποσό της θερμότητας, το οποίο διαπερνά σε χρόνο μιας ώρας ένα κυβικό δοκίμιο (από το υλικό) ακμής 1m, όταν η θερμοκρασιακή διαφορά των αντικρυστών πλευρών του είναι ένας βαθμός Κελσίου (1°C). Η μονάδα του συντελεστή λ είναι $\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Η θερμική αγωγιμότητα αποτελεί σημαντική ιδιότητα για την επιλογή του κατάλληλου υλικού για τη θερμομονωτική συμπεριφορά του κτιρίου και για το λόγο αυτό παρατίθενται παρακάτω ο πίνακας (πίνακας 3) με τους συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας διάφορων δομικών υλικών καθώς και γραφήματα ανά κατηγορία υλικού (γραφήματα, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 και 10).

Πίνακας 3.

Ενδεικτικές τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας δομικών υλικών
(Πηγή: Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999, απόδοση πίνακα: Δημήτρης Τσιώτας)

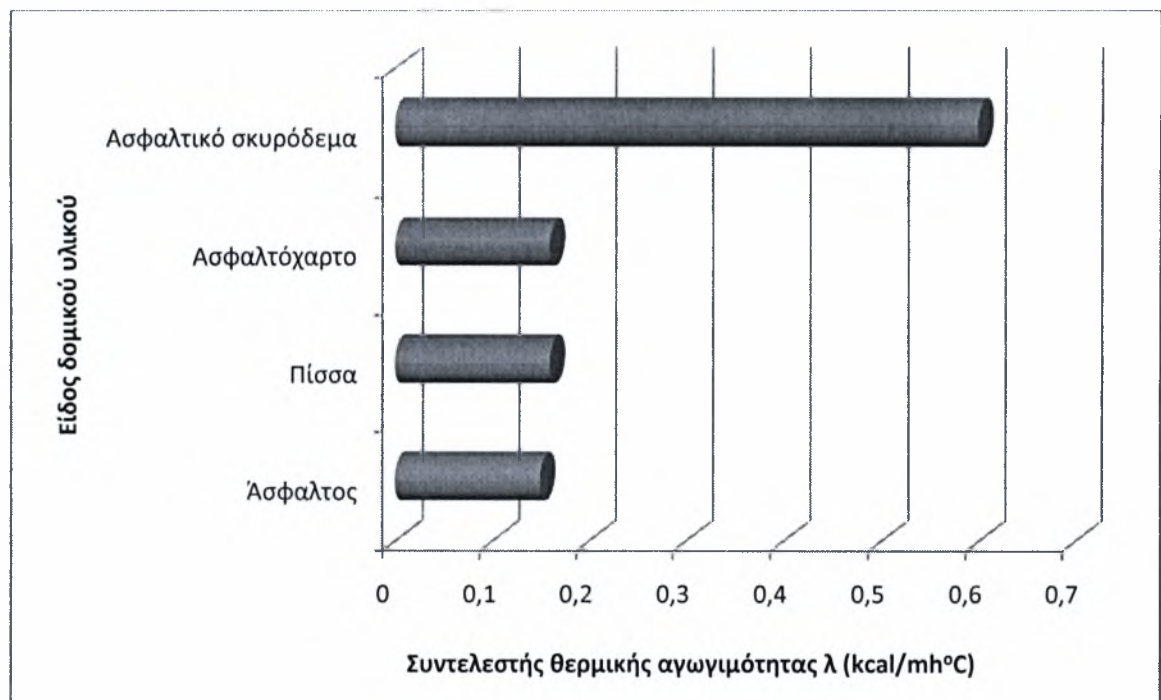
Κατηγορία	Υλικό	Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας (λ) ($\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C}$)
Ασφαλτικά	Ασφαλτος	0,15
	Πίσσα	0,16



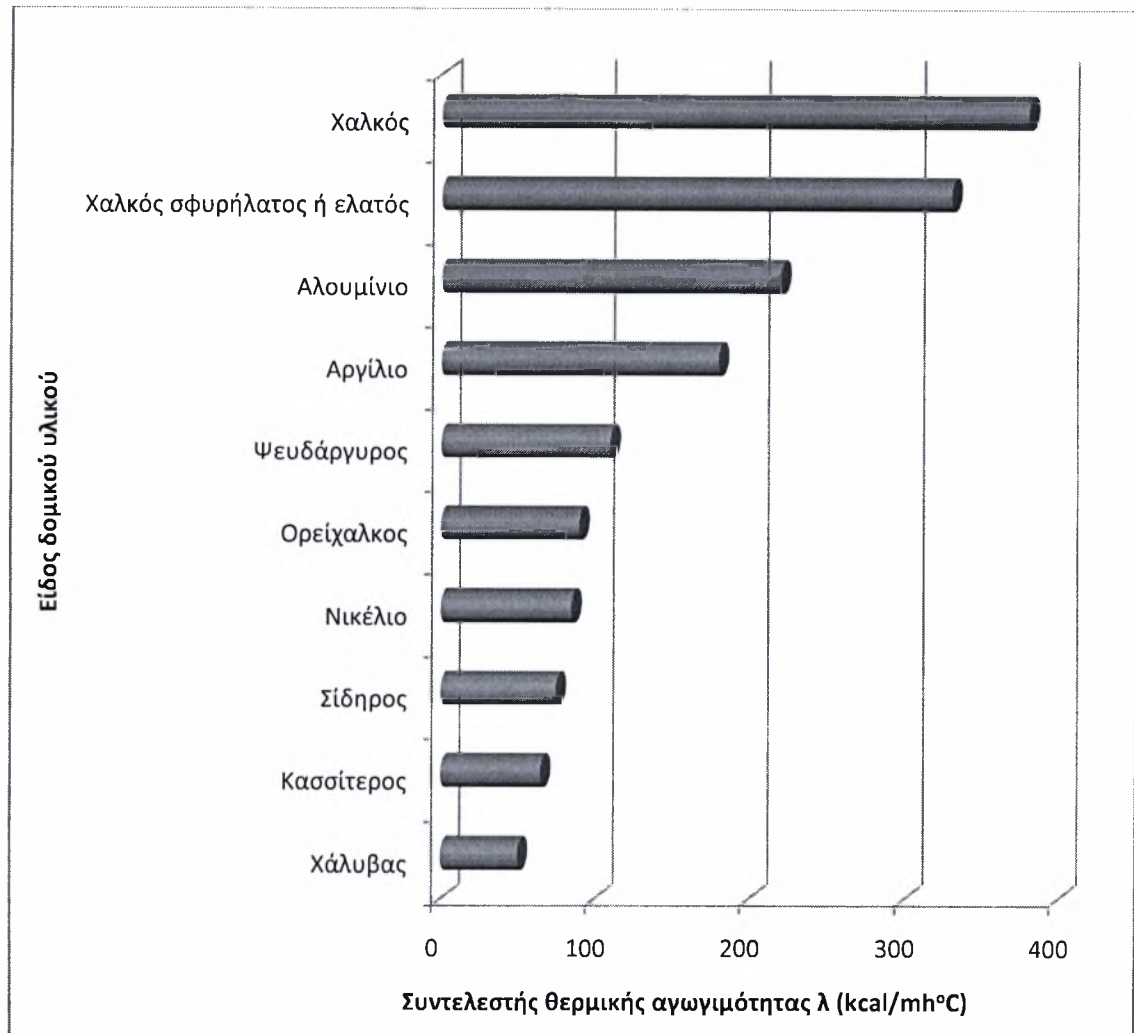
Κατηγορία	Υλικό	Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας (λ) (kcal/mh°C)
Εδαφικά	Ασφαλτόχαρτο	0,16
	Ασφαλτικό σκυρόδεμα	0,60
	Άμμος (ασβεστολιθική)	0,40
	Άμμος (ξηρά λεπτόκοκκος)	0,50
	Άμμος (υγρή)	1,20
	Έδαφος, συνεκτικό, υγρό	1,80
Κεραμικά	Γυψοσανίδες πάχους 1cm	0,50
	Ελαφρός πηλός	0,40
	Πηλός με άχυρα	0,60
	Πηλός συμπαγής	0,80
	Κεραμικά πλακίδια	0,90
Κονιάματα	Αεριοσκυρόδεμα και αφροσκυρόδεμα (κυψελωτό σκυρόδεμα)	0,12
	Κισσηρόδεμα	0,25
	Αμιαντοσιμέντο	0,30
	Ασβεστοκονίαμα (ξηρό)	0,75
	Ασβεστοσιμεντοκονίαμα	0,75
	Τσιμεντοκονίαμα (ξηρό)	1,20
Μέταλλα	Ανοξείδωτος χάλυβας	15,00
	Μόλυβδος	35,00
	Χυτοσίδηρος	35,00-45,00
	Χάλυβας	50
	Κασσίτερος	65
	Σίδηρος	75
	Νικέλιο	85
	Ορείχαλκος	90,00
	Ψευδάργυρος	110
	Αργίλιο	180,00
	Αλουμίνιο	220
	Χαλκός σφυρήλατος ή ελατός	330,00
	Χαλκός	380
Ξυλεία & Προϊόντα Ξύλου	Έλατο	0,12
	Πεύκο	0,12
	Κόντρα πλακέ	0,12
	Οξιά	0,15
	Δρυς	0,18
	Φελλός	1,00
Πετρώδη	Περλίτης (διογκωμένος)	0,055
	Κίσσηρη (σκύρα)	0,10
	Θηραϊκή γη στοιβαγμένη (σάκκοι)	0,10
	Κίσσηρη σε κόκκους	0,16
	Χαλίκι	0,70
	Ψηφίδα	0,70
	Γαρμπίλι	0,70
	Μάρμαρο	0,90
	Πράσινο μάρμαρο (οφείτης)	0,90
	Φυσικοί λίθοι πορώδεις	2,00



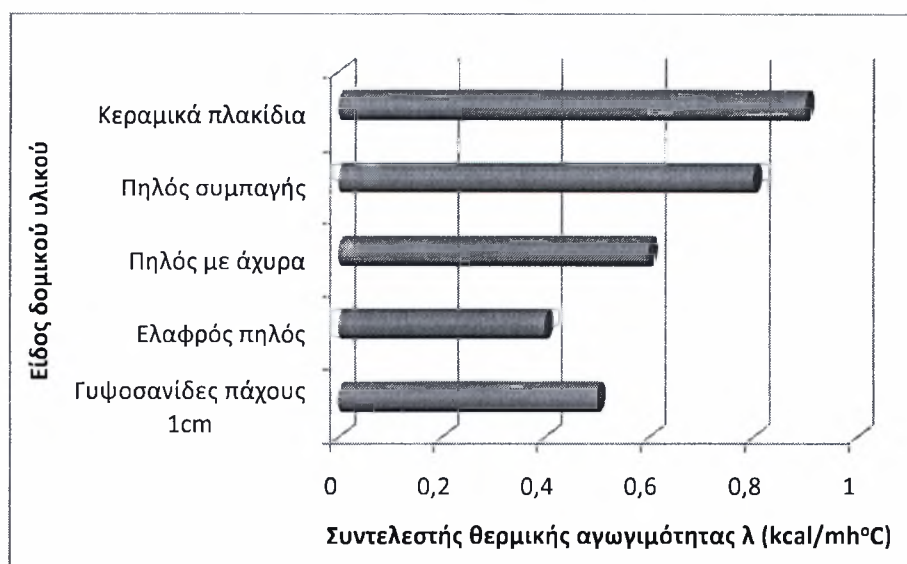
Κατηγορία	Υλικό	Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας (λ) (kcal/mh°C)
	Ψαμμίτες	2,00
	Γρανίτης	2,40
	Ασβεστόλιθος	2,80
	Φυσικοί λίθοι συμπαγείς	3,00
Σκυροδέματα	Άοπλο σκυρόδεμα	1,35
	Οπλισμένο σκυρόδεμα	2,80
Συνθετικά	Διογκωμένα συνθετικά υλικά	0,035
Τεχνητοί δομικοί λίθοι	Πλίνθοι από αεριοσκυρόδεμα ή αφροσκυρόδεμα σκλήρυνσης ατμού	0,30-0,40
	Πλίνθοι από αεριοσκυρόδεμα ή αφροσκυρόδεμα φυσικής σκλήρυνσης	0,36-0,48
	Συμπαγείς οπτόπλινθοι	0,40
	Διάτρητοι οπτόπλινθοι (έξι οπών)	0,40
	Διάτρητοι μπατικοί οπτόπλινθοι	0,45
	Κισσηρόλιθοι με δύο κενά	0,48
	Πλάκες δομικές από λάβα, κεραμικά θραύσματα, ελαφροσκυροδέματα	0,50
	Τσιμεντόπλινθοι διαιρετοί	0,95
Υαλουργικά	Υαλοβάμβακας	0,04
	Ύαλος κοινός	0,70
Φυσικά Υλικά	Ινώδη μονωτικά υλικά φυτικής προέλευσης	0,04



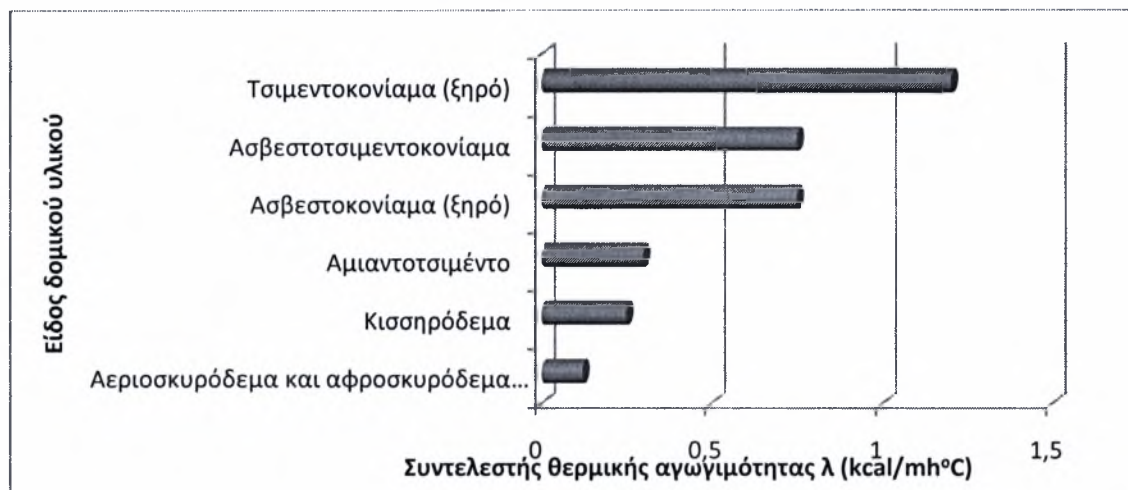
Γράφημα 3. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικά ασφαλτικά υλικά
(Πηγή: Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999, απόδοση γραφήματος: Δημήτρης Τσιώτας).



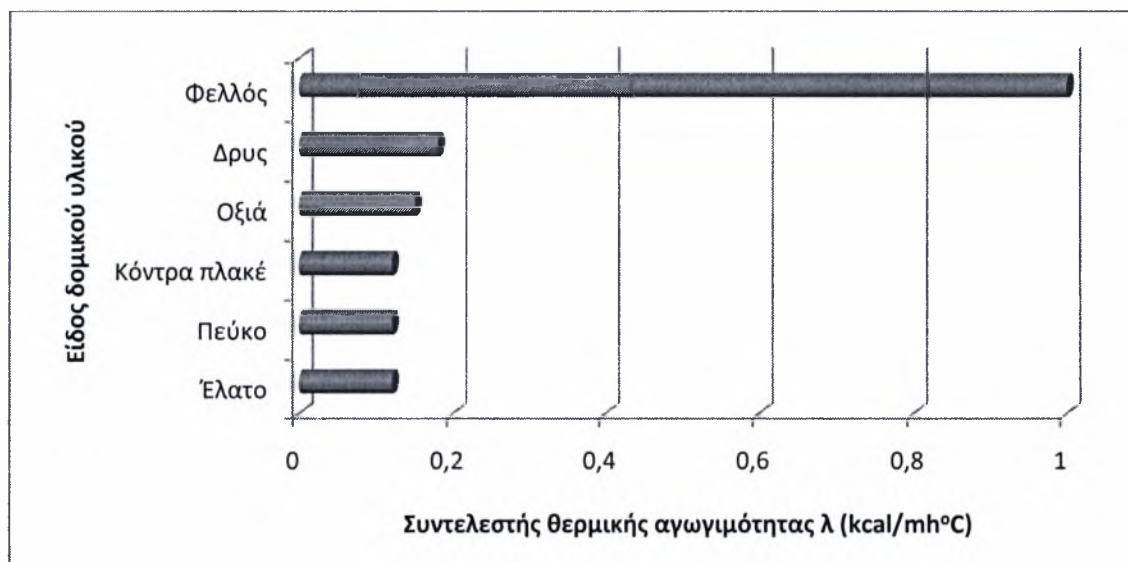
Γράφημα 4. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικά μέταλλα (Πηγή: Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999, απόδοση γραφήματος: Δημήτρης Τσιώτας).



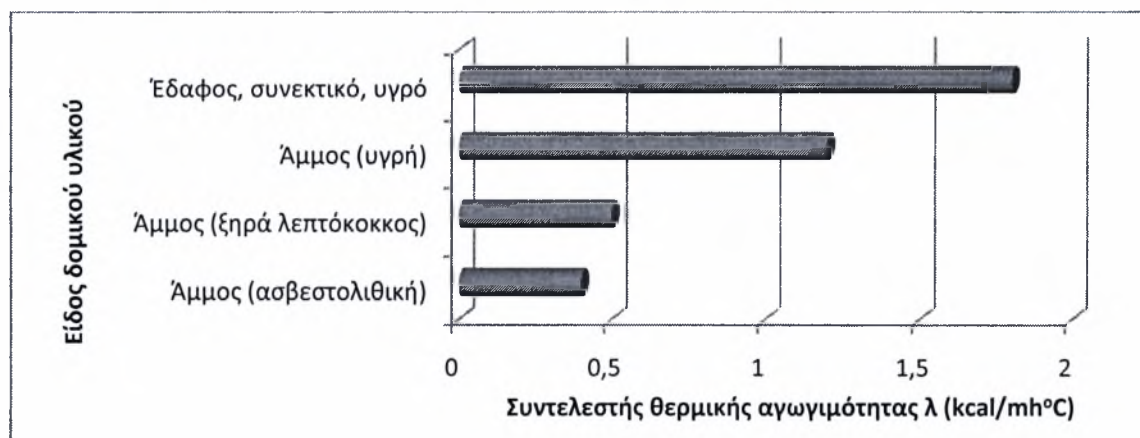
Γράφημα 5. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικά κεραμικά υλικά (Πηγή: Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999, απόδοση γραφήματος: Δημήτρης Τσιώτας).



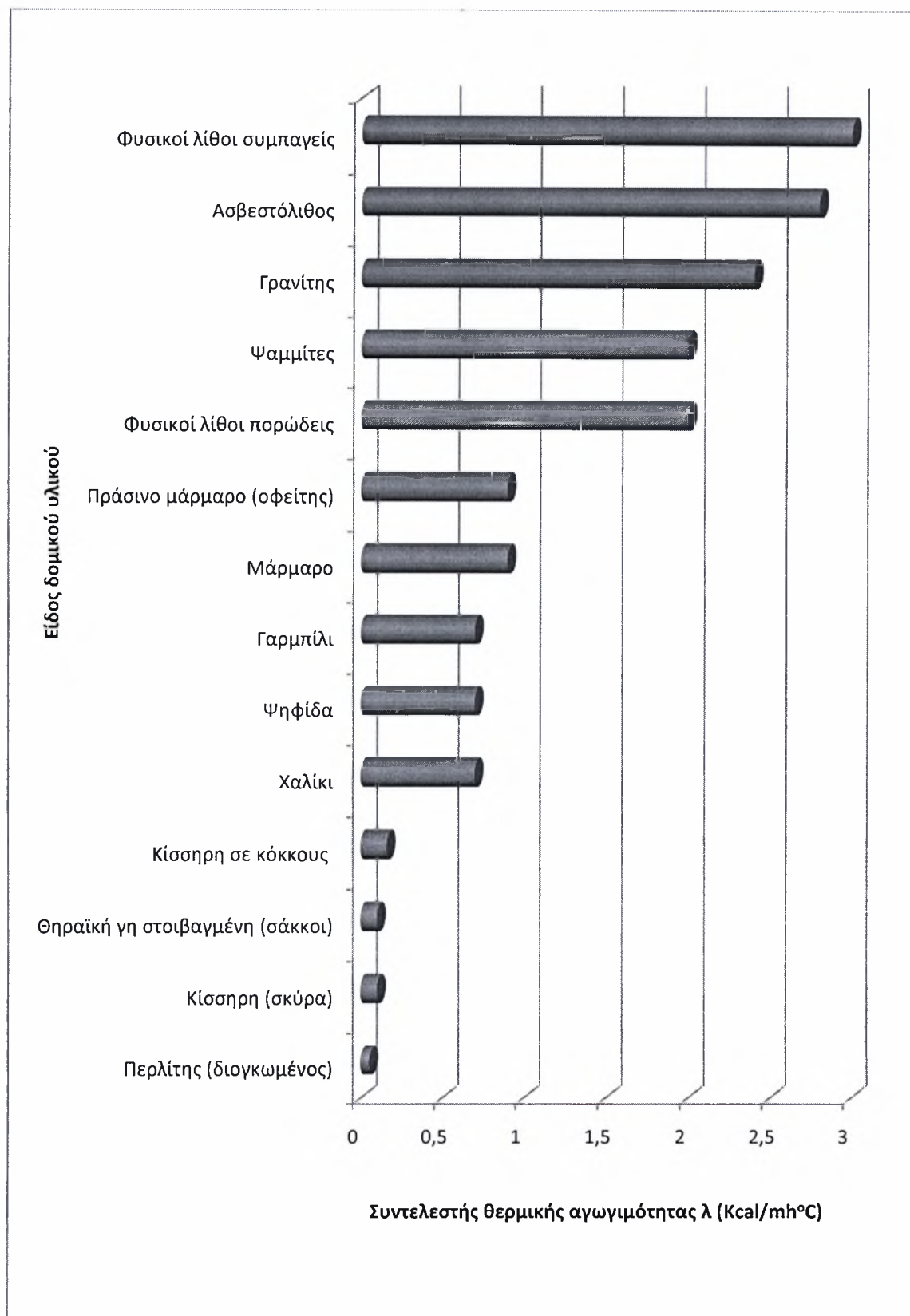
Γράφημα 6. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικά κονιάματα (Πηγή: Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999, απόδοση γραφήματος: Δημήτρης Τσιώτας).



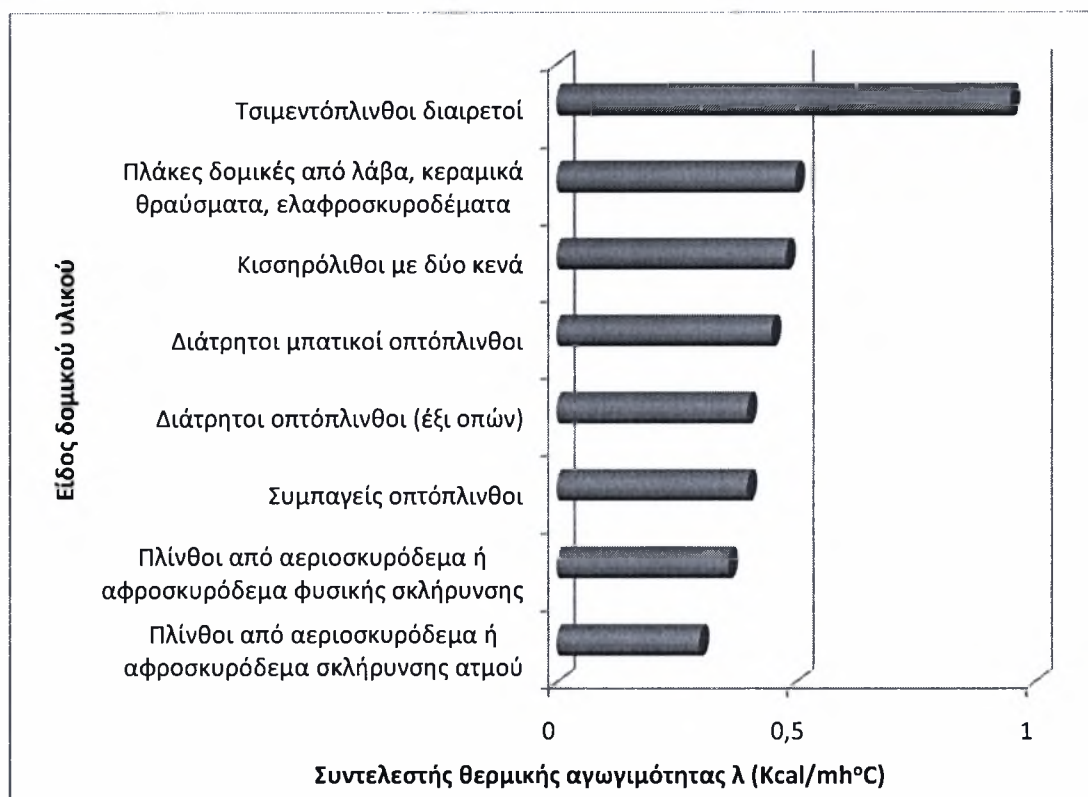
Γράφημα 7. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικά προϊόντα ξυλείας (Πηγή: Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999, απόδοση γραφήματος: Δημήτρης Τσιώτας).



Γράφημα 8. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικά εδαφικά υλικά (Πηγή: Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999, απόδοση γραφήματος: Δημήτρης Τσιώτας).



Γράφημα 9. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικά πετρώδη προϊόντα
(Πηγή: Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999, απόδοση γραφήματος: Δημήτρης Τσιώτας).



Γράφημα 10. Γράφημα συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας για μερικούς τεχνητούς δομικούς λίθους (Πηγή: Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999, απόδοση γραφήματος: Δημήτρης Τσιώτας).

3.3.3.2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ

Όλα τα υλικά, όταν ανταλλάσουν θερμότητα με το περιβάλλον τους, αυξάνουν ή μειώνουν τον όγκο τους (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη διαφοροποίηση της εσωτερικής ενεργειακής κατάστασης των μορίων του υλικού, τα οποία (πολύ γενικά) απαιτούν διαφορετικό χώρο στις νέες θερμοκρασιακές συνθήκες. Αν θεωρηθεί Δl_x , Δl_y , Δl_z η διαφορά του μήκους του υλικού κατά τους τρεις άξονες αντίστοιχα και οριστεί α ο συντελεστής θερμικής διαστολής (μοναδικός για κάθε υλικό) και ΔT η θερμοκρασιακή μεταβολή, τότε το φαινόμενο της θερμικής συστολοδιαστολής περιγράφεται από τις σχέσεις (5), (6) και (7). Η διανυσματική έκφραση (Mardsen and Tromba, 2005) των παραπάνω σχέσεων, εφόσον οριστεί το διάνυσμα $\mathbf{l} = (l_x, l_y, l_z)$ συνοψίζεται στη σχέση (8).

$$\Delta l_x = \alpha \cdot \Delta T \cdot l_x \quad (5)$$

$$\Delta l_y = \alpha \cdot \Delta T \cdot l_y \quad (6)$$

$$\Delta l_z = \alpha \cdot \Delta T \cdot l_z \quad (7)$$

$$\Delta \mathbf{l} = \alpha \cdot \Delta T \cdot \mathbf{l} \quad (8)$$



3.3.3.3. ΣΗΜΕΙΟ ΤΗΞΗΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΒΡΑΣΜΟΥ

Για ένα στερεό υλικό ονομάζεται **σημείο τήξης** τη θερμοκρασία, στην οποία πρέπει να υποβληθεί το υλικό (η οποία αντιστοιχεί σε ένα ποσό θερμότητας που προσδίδεται στο υλικό) για να μεταβεί από τη στερεή κατάστασή του στην υγρή, δηλαδή να λιώσει. *Για ένα υγρό σώμα* καλείται **σημείο εξάτμισης ή βρασμού** η θερμοκρασία, στην οποία πρέπει να υποβληθεί το σώμα αυτό για να μεταβεί από την υγρή κατάστασή του στην αέρια, δηλαδή να εξατμιστεί (Wendehorst, 1981).

3.3.3.4. ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

Θερμοχωρητικότητα ενός υλικού ονομάζεται το ποσό της αποθηκευμένης θερμότητας (στο υλικό) όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία του υλικού ένα βαθμό διά τη θερμοκρασιακή μεταβολή. Η θερμοχωρητικότητα είναι μέγεθος, το οποίο εξαρτάται από τον όγκο (V) και την πυκνότητα (ρ) του υλικού (Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005).

Ο μηχανικός κατά την επιλογή των δομικών υλικών που θα ενσωματώσει στο κτίριο θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις θερμικές ιδιότητες των υλικών. Τα δομικά υλικά πρέπει να επιλέγονται με τέτοιο τρόπο, ώστε το κτίριο να εμφανίζει τη βέλτιστη θερμική συμπεριφορά, η οποία συντελεί στην ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση - ψύξη. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή των αρχών της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, όπως η κατάλληλη επιλογή θερμομονωτικών υλικών για τον περιορισμό των απωλειών θερμότητας, η τοποθέτηση υλικών με μεγάλη θερμοχωρητικότητα σε επιφάνειες που δύνανται να αξιοποιήσουν την ηλιακή θερμότητα, η έξυπνη διαχείριση των ροών αέρα του κτιρίου, η αξιοποίηση των ανακλαστικών ιδιοτήτων των υλικών για βέλτιστο φυσικό φωτισμό κλπ (Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005).

3.3.4. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι μηχανικές ιδιότητες αναφέρονται και μετρούν, γενικά, τα χαρακτηριστικά απορρόφησης ενέργειας ενός υλικού κατά τη διάρκεια διαφορετικών καταστάσεων εξωτερικών φορτίσεων (μεταφοράς δυνάμεων). Για παράδειγμα, μια στήλη όταν φορτίζεται κατακόρυφα (η εν λόγω στήλη ονομάζεται στη Μηχανική υποστύλωμα) συμπιέζεται (ο αντίστοιχος όρος στη Μηχανική ονομάζεται θλίψη) και αυτή η δύναμη της συμπίεσης αποτελεί μέτρο της ικανότητάς της να μεταφέρει (διά μέσου της μάζας της) το φορτίο χωρίς να μετακινηθεί ή να καταρρεύσει (Fernandez, 2006).



3.3.4.1. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ Η ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ

Είναι το μέγεθος το οποίο εκφράζει τη μεταβολή των αρχικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός υλικού ως αποτέλεσμα επιβολής εξωτερικών δυνάμεων. Οι δυνάμεις αυτές μεταφέρονται στο υλικό ως αξονικές τάσεις (**θλιπτικές** ή **εφελκυστικές**, που συμβολίζονται διεθνώς με το γράμμα σ) ή πλάγιες (**διατμητικές**, που συμβολίζονται με το γράμμα τ) (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Η παραμόρφωση ως μέγεθος συμβολίζεται με το γράμμα ϵ ή δ και διεθνώς ονομάζεται **strain** και δίνεται (ως προς μια διάσταση) από τη σχέση (5), όπου l το μήκος του υλικού στην εν λόγω διάσταση (Fernandez, 2006).

$$\epsilon = \delta = \frac{\Delta l}{l} \quad (9)$$

3.3.4.2. ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η ελαστικότητα (**elasticity** ή **elastic modulus**) είναι ένα μέγεθος, το οποίο μετρά την ικανότητα παραμόρφωσης του υλικού, όταν αυτό υποβάλλεται σε δεδομένες τάσεις. Συμβολίζεται με το γράμμα της ελληνικής αλφαβήτου **E** και συνδέεται με την παραμόρφωση και την τάση με τη σχέση (6) (Fernandez, 2006).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (10)$$

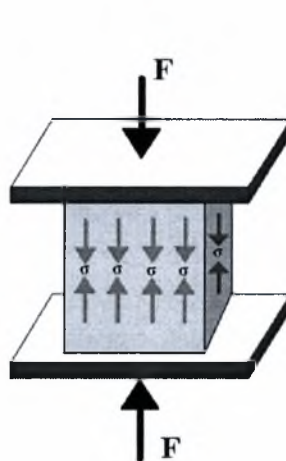
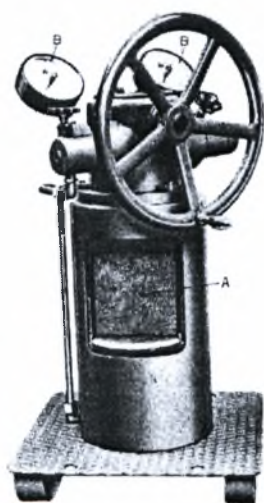
Στο γράφημα 11 παρουσιάζεται το γράφημα τάσης - παραμόρφωσης για ένα τυπικό υλικό (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

3.3.4.3. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Το μέγεθος αυτό αναφέρεται στη μέγιστη τιμή της θλιπτικής τάσης (αξονική συμπίεση) που αντέχει ένα υλικό, δίχως να αστοχήσει (θραύση). Ο έλεγχος σε θλίψη πραγματοποιείται για τα υλικά που προορίζονται να αναλάβουν φέροντα ρόλο (και μάλιστα σε θλιπτικές φορτίσεις) με την ενσωμάτωσή τους σε μια κατασκευή, όπως είναι το σκυρόδεμα (σχήμα 5). Η τιμή της αντοχής σε θλίψη δίνεται σε **MPa** (Pa = Pascal) και ισούται με **1MPa $\approx$ 102 kg/m²** (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).



Γράφημα 11. Διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης ενός τυπικού υλικού (Πηγή: Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).



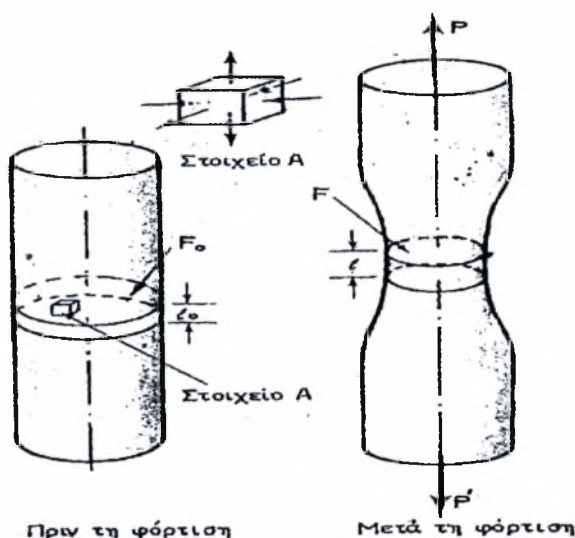
Σχήμα 5. Συσκευή θραύσης δοκιμίων (αρ.) και σχηματική διάταξη θλίψης δοκιμίων (δεξ.) Διακρίνονται (αρ.) η θέση *A* εισαγωγής του δοκιμίου και τα όργανα *B* μέτρησης της πίεσης και (δεξ.) η εσωτερική κατανομή των τάσεων, η οποία θεωρείται ομοιόμορφη (Πηγή: Λεγάκης, 1988, σχεδίαση: Δημήτρης Τσιώτας).

3.3.4.4. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

Το μέγεθος αυτό αναφέρεται στη μέγιστη τιμή της εφελκυστικής τάσης (αξονικό τέντωμα) που αντέχει ένα υλικό, δίχως να αστοχήσει (να λάβει πλαστικές



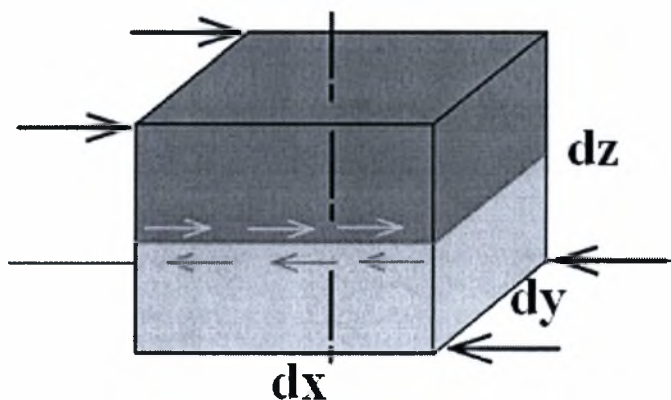
παραμορφώσεις). Ο έλεγχος σε θλίψη πραγματοποιείται όπως περιγράφει η διάταξη του σχήματος 6 (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).



Σχήμα 6. Σχηματική διάταξη εφαρμογής εφελκυστικών τάσεων ενός κυλινδρικού δοκιμίου (Πηγή: Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

3.3.4.5. ANTOXH ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Είναι η χαρακτηριστική τιμή αντοχής διατμητικών τάσεων (σε MPa), από την οποία και έπειτα το υλικό αστοχεί. Οι διατμητικές τάσεις αναπτύσσονται κάθετα στον άξονα των ινών σύνδεσης των μορίων του υλικού, με αποτέλεσμα να προκαλείται ένα είδους ολίσθησης στα μόρια (σχήμα 7) (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Το φαινόμενο της διάτμησης ονομάζεται και ψαλιδισμός (Wendehorst, 1981).



Σχήμα 7. Σχηματική απόδοση εφαρμογής διατμητικών τάσεων σε ένα πρισματικό υλικό (σχεδίαση: Δημήτρης Τσιώτας).



3.3.4.6. ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

Η σκληρότητα είναι ένα μέτρο που εκφράζει την αντίσταση ενός υλικού έναντι διεΐσδεισης ενός ξένου σώματος στη μάζα του. Η σκληρότητα μετράται στα ορυκτά με την δεκαβάθμια κλίμακα του Mohs, όπως δείχνει ο πίνακας 4 (Wendehorst, 1981). Ένα σώμα με μικρή σκληρότητα ονομάζεται *εύθρυπτο* ή *ψαθυρό*.

Πίνακας 4. Η δεκαβάθμια κλίμακα σκληρότητας του Mohs (Πηγή: Wendehorst, 1981, απόδοση πίνακα: Δημήτρης Τσιώτας)	
(1) Τάλκης	(6) Άστριος
(2) Γύψος	(7) Χαλαζίας
(3) Ασβεστίτης	(8) Τοπάζιο
(4) Φθορίτης	(9) Κορούνδιο
(5) Απατίτης	(10) Διαμάντι



4. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Το ευρύ αντικείμενο εργασίας του μηχανικού, παρόλο που του προσφέρει ευελιξία και του παρέχει πολλές κατασκευαστικές επιλογές, υπόκειται σε έναν περιορισμό, ο οποίος είναι το κόστος της κατασκευής. Συνήθως, όταν λαμβάνει χώρα κάποια αναφορά στην έννοια του κόστους της κατασκευής, αυτή παραπέμπει στο αρχικό κόστος ανοικοδόμησης, διότι αυτό καθίσταται το υψηλότερο, συγκριτικά με οποιασδήποτε μορφής άλλα κόστη, που αφορούν ένα κτιριακό κατασκεύασμα. Στα επόμενα, παρουσιάζονται συνοπτικά τα οικονομικά μεγέθη που αφορούν την κατασκευή και αναδεικνύεται η σημαντικότητά τους (Fernandez, 2006).

4.1. ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (CONSTRUCTION COST)

Ο όρος **κόστος κατασκευής** αναφέρεται στο συνολικό κόστος, το οποίο απαιτείται για να ανεγερθεί ένα οικοδόμημα (ή γενικότερα για να κατασκευαστεί ένα έργο), μέχρι το σημείο της παραλαβής του για χρήση (δηλαδή της παράδοσής του στο χρήστη του έργου). Στο εν λόγω κόστος συμπεριλαμβάνονται τα επιμέρους κόστη της προμήθειας των απαιτούμενων οικοδομικών υλικών, της μεταφοράς τους στο χώρο επί τόπου του έργου, της αποζημίωσης των εργατών για την εκτέλεση των εργασιών και, πολλές φορές, ο όρος περιλαμβάνει το μελετητικό κόστος και τις απαιτούμενες δαπάνες για την έγκριση της κατασκευής του έργου από τους αρμόδιους φορείς (Fernandez, 2006).

Το κόστος κατασκευής, επομένως, εξαρτάται από τους οικονομικούς νόμους της αγοράς και έχει χωρική και χρονική αναφορά (για παράδειγμα, το κόστος κατασκευής ενός τυπικού κτιρίου ενδέχεται να διαφέρει σε διάφορες οικονομικές περιόδους στην ίδια γεωγραφική περιοχή, όπως επίσης ενδέχεται να διαφέρει την ίδια χρονική περίοδο για διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές). Συμπερασματικά, μια κατασκευή αποτελεί ένα καταναλωτικό προϊόν, το κόστος της κατασκευής υποβάλλεται στους μηχανισμούς του οικονομικού ανταγωνισμού και ο υπολογισμός του εν λόγω κόστους, από μετρητικής σκοπιάς, δύναται να χαρακτηριστεί εργασία περισσότερο λογιστικής φύσης (Fernandez, 2006).



4.2. ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΥΛΙΚΟΥ

Ο όρος **κύκλος ζωής** (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005, Fernandez, 2006, Cooper and Fava, 2006, Santos et al., 2009) χρησιμοποιείται για να εκφράσει το σύνολο των σταδίων που περνά ένα προϊόν από τη στιγμή δημιουργίας του (γέννηση) μέχρι τη στιγμή, την οποία αυτό καθίσταται άχρηστο (θάνατος). Η έννοια του κύκλου ζωής είναι συνδεδεμένη με την περιβαλλοντική διάσταση, εν μέσω των οικονομικών μεγεθών του κόστους κύκλου ζωής και της ανάλυσης κύκλου ζωής.

Παρόλο που για κάθε υλικό τα ενδιάμεσα στάδια του κύκλου ζωής του είναι μοναδικά (εξαρτώνται από μεταβαλλόμενους τεχνολογικούς, γεωγραφικούς και οικονομικούς παράγοντες) είναι δυνατή η διάκριση κοινών φάσεων, στις οποίες διέρχεται κάθε υλικό στην πορεία «γεννήσεως - θανάτου» του. Τα στάδια (ή φάσεις) αυτά, για ένα δομικό υλικό (σχήμα 8), μπορούν να περιγραφούν παρακάτω ως εξής (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005):

- Στάδιο εξόρυξης (ή συλλογής) πρώτων υλών. Είναι το αρχικό στάδιο κατά το οποίο λαμβάνονται, από τη φύση, οι πρώτες ύλες για την παραγωγή του υλικού.

- Στάδιο παραγωγής. Περιλαμβάνει τους επιμέρους σταθμούς, οι οποίοι συνιστούν τη βιομηχανική παραγωγής ή επεξεργασία του υλικού.

Τα δύο παραπάνω στάδια εμφανίζονται και στον ορισμό ενός μέτρου περιβαλλοντικών επιπτώσεων για ένα δομικό υλικό, το οποίο ονομάζεται ενσωματωμένη ενέργεια (βλ. αντίστοιχο κεφάλαιο παρακάτω).

- Στάδιο Κατασκευής. Αυτό το στάδιο αναφέρεται στην ενσωμάτωση του υλικού σε κάποιο δομικό έργο.

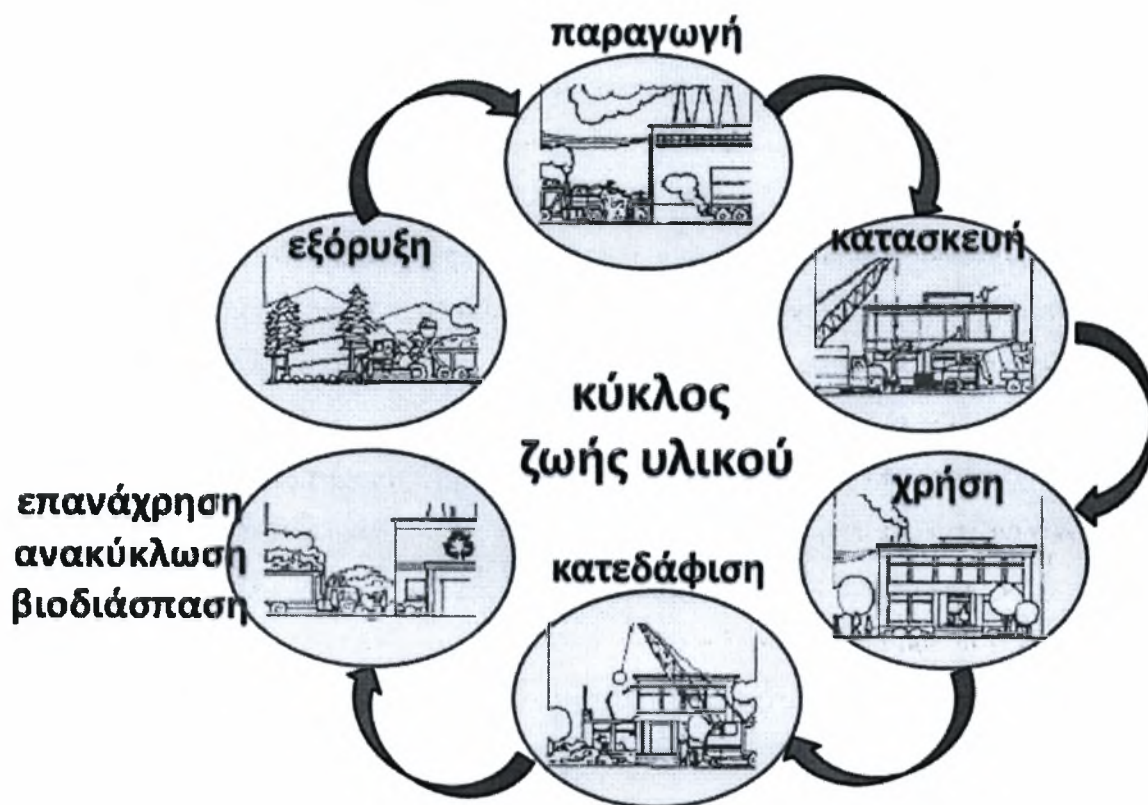
- Στάδιο χρήσης του υλικού μέσα στην κατασκευή. Το εν λόγω στάδιο ξεκινά μετά την τοποθέτηση του υλικού στο έργο και αναφέρεται στο χρονικό διάστημα, κατά το οποίο το υλικό είναι ωφέλιμο (ή λειτουργικό) στους χρήστες.

- Στάδιο κατεδάφισης. Πρόκειται για το στάδιο, από το οποίο και έπειτα το υλικό δεν καθίσταται ωφέλιμο (άχρηστο) για την κατασκευή και πρέπει να απορριφθεί.

- Στάδιο επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης ή βιοδιάσπασης. Ουσιαστικά, αυτό το «τρισδιάστατο» στάδιο αφορά τη χρονική περίοδο της ζωής του υλικού, αφού απομακρυνθεί από τον οργανισμό της κατασκευής. Το υλικό τότε ή εναποτίθεται σε χώρους ενταφιασμού και **βιοδιασπάται** ή ενσωματώνεται (ολόκληρο ή μέρος του) σε



άλλη κατασκευή και επαναχρησιμοποιείται ή, εναλλακτικά, υποβάλλεται σε επεξεργασία που το καθιστά πάλι χρήσιμο για άλλη κατασκευή και ανακυκλώνεται (βλ. για ανακύκλωση σε επόμενη ενότητα).



Σχήμα 8. Διάγραμμα ροής, στο οποίο απεικονίζονται τα στάδια του κύκλου ζωής για ένα δομικό υλικό (Πηγή: Κορωναίος και Σαργέντης, 2005, απόδοση: Δημήτρης Τσιώτας).

4.3. ΚΟΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

4.3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Το *κόστος κύκλου ζωής* (*Life Cycle Cost* ή *LCC*) και η ανάλυση κύκλου ζωής αποτελούν οικονομικά μοντέλα (βλ. για μοντέλο παρακάτω), τα οποία εντάσσονται στο ευρύτερο κλάδο των στρατηγικών *φυσικής λογιστικής*, οι οποίες συνδράμουν στην καθιέρωση της πραγματικής χρήσης των υλικών για οποιαδήποτε ιδιαίτερη οικονομική δραστηριότητα. Το σύνολο των παραπάνω μεθόδων εμπίπτει στην κατηγορία των τεχνικών ανάλυσης, που ονομάζονται *ανάλυση ροής υλικών* (*material flow analysis*). Τα δυο προαναφερόμενα μοντέλα μετρούν το μέγιστο κόστος των ευκολιών, οι οποίες παρέχονται από μια κατασκευή στη διάρκεια της ζωής της, μέχρι το σημείο που αυτή θα



κατασκτεί απόβλητο. Το LCC αποτελεί μέθοδο, που χρησιμοποιείται συνήθως από Πανεπιστήμια, Νοσοκομεία, Μουσεία και άλλα μεγάλα Ιδρύματα (Fernandez, 2006).

4.3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Ο όρος *ανάλυση κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment ή LCA*, με εναλλακτικούς όρους τους *οικοϊσορροπία* και *ανάλυση γεννήσεως - θανάτου*) (Fernandez, 2006, Cooper and Fava, 2006, Santos et al., 2009) αφορά την έρευνα και την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων ενός δεδομένου προϊόντος (ή υπηρεσίας) από τη στιγμή που παράγεται και καθόλη τη διάρκεια της ύπαρξής του.

Ο στόχος της LCA είναι η πλήρης μελέτη των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων, οι οποίες οφείλονται στη χρήση προϊόντων και υπηρεσιών, ώστε να είναι δυνατή λήψη αποφάσεων, ανά περίπτωση, των ελάχιστα ζημιογόνων. Ακόμη περισσότερη η LCA φιλοδοξεί στην συγκέντρωση πορισμάτων, τα οποία θα καθορίσουν κριτήρια για το *σχεδιασμό του κύκλου ζωής* των υλικών (*Life Cycle Design, LCD*) (Santos et al., 2009). Στις τρέχουσες εφαρμογές του η LCA πετυχαίνει να μετρήσει τις επιδράσεις της τεχνολογίας, η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή των προϊόντων, όπως, για παράδειγμα, στη Γαλλία, στην οποία έχει υιοθετηθεί με λεπτομέρεια μόνο στον τομέα της οδοποιίας (Jullien et al., 2006). Η LCA δεν έχει καταστεί, σε γενικό επίπεδο, επαρκής στα πορίσματα που αφορούν τη μέτρηση του συνολικού οικονομικού αποτελέσματος που επιφέρει η χρήση ενός υλικού και σε αυτόν τον τομέα έχει στραφεί σήμερα το ερευνητικό ενδιαφέρον.

4.3.3. ΣΤΑΔΙΑ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Για να καταστεί έγκυρη η αξιολόγηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, απαιτείται η ολιστική γνώση για το προϊόν αυτό, δηλαδή η γνώση του μηχανισμού παραγωγής του, του τρόπου διανομής, της χρήσης του, των απαιτήσεων συντήρησης και της λειτουργικής διάρκειας του. Το σύνολο των σταδίων που περνά ένα προϊόν από τη στιγμή δημιουργίας του (γέννηση) μέχρι τη στιγμή αχρηστίας αυτού (θάνατος) συνθέτουν την έννοια του κύκλου ζωής του υλικού. Η εργασία της ανάλυσης του κύκλου ζωής *περιλαμβάνει τέσσερις φάσεις*, οι οποίες περιγράφονται στη σειρά προτύπων του ISO14040:2006 και ISO14044:2006.



4.3.3.1. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΕΔΙΟΥ

Στην πρώτη φάση, ο μελετητής *διατυπώνει το στόχο* και *διερευνά το πεδίο της μελέτης* σε σχέση με την προοριζόμενη εφαρμογή. Το αντικείμενο της μελέτης θεωρείται και μελετάται ως ένα σύστημα, μια *λειτουργική μονάδα* (Jullien et al., 2006). Αρχικά η LCA παραγματοποιεί την περιγραφή και τον προσδιορισμό της λειτουργικής μονάδας. Για να την επίτευξη της γνώσης των εσωτερικών δομών της λειτουργικής μονάδας παραγματοποιείται ανάλυση της δομής της σε *υποσυστήματα* (συνθετικά μέρη ή συνιστώσες της λειτουργικής μονάδας) στα οποία πραγματοποιείται μοντελοποίηση των δομών τους, αλλά και των μεταξύ τους *διαδράσεων*, δηλαδή των σχέσεων αλληλεπίδρασης με τα υπόλοιπα υποσυστήματα (Jullien et al., 2006). Εκτός από την περιγραφή και τον προσδιορισμό της λειτουργικής μονάδας, ο στόχος περιλαμβάνει, επίσης, την εξέταση των ορίων των ευρύτερων συστημάτων και την μελέτη των σχέσεων αλληλεπίδρασης των τελευταίων με τη λειτουργική μονάδα. Ουσιαστικά η πρώτη φάση της LCA περιλαμβάνει την περιγραφή της μεθόδου που εφαρμόζεται για την αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιδράσεων της λειτουργικής μονάδας (Santos et al., 2009).

4.3.3.2. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Η *δεύτερη φάση* της LCA περιλαμβάνει το υπολογιστικό μέρος της μελέτης. Εδώ πραγματοποιείται η συλλογή δεδομένων για τη διαμόρφωση του συστήματος του προϊόντος (της λειτουργικής μονάδας), η περιγραφή και η επαλήθευση των στοιχείων (Jullien et al., 2006). Η φάση αυτή έχει ευρύ μελετητικό αντικείμενο και περιλαμβάνει κάθε είδους στοιχεία που αφορούν το μελετούμενο σύστημα του υλικού, για παράδειγμα περιβαλλοντικούς δείκτες όπως συγκέντρωση CO₂, ή ποσότητες τεχνικής φύσης, όπως οι ενδιάμεσες εμφανιζόμενες χημικές ουσίες. Ουσιαστικά η φάση αυτή αφορά τις απαραίτητες εργασίες *μοντελοποίησης* του συστήματος στο οποίο εντάσσεται το μελετούμενο υλικό.

Ο όρος μοντελοποίηση αναφέρεται στην κατασκευή ενός συνόλου μαθηματικών σχέσεων (ή εξισώσεων), οι οποίες ονομάζονται *μαθηματικό μοντέλο*. Οι μαθηματικές σχέσεις του μοντέλου είναι δυνατόν να περιγράψουν το μελετώμενο σύστημα (στο οποίο εντάσσεται η λειτουργική μονάδα), διατηρώντας τις αντιστοιχίες μεταξύ των συστατικών



στοιχείων του φυσικού συστήματος και μοντέλου των μεταξύ τους λειτουργικών σχέσεων (Gertsev and Gertseva, 2004).

4.3.3.3. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ

Η τρίτη φάση της LCA αφορά την αναγνώριση των περιβαλλοντικών επιδράσεων του κατασκευασμένου μοντέλου (Jullien et al., 2006). Ουσιαστικά πρόκειται για την αναγωγή των θεωρητικών και υπολογιστικών εργαλείων σε πραγματικές συνθήκες και η διάκριση ή αναγνώριση των επιπτώσεων. Η φάση αυτή έχει μια μαθηματική (η οποία αναφέρεται σε μαθηματικές τεχνικές σύγκρισης όπως η **κανονικοποίηση** και η **στάθμιση**) και μια περιβαλλοντική συνιστώσα (η οποία προσδίδει συγκεκριμένη φυσική αναφορά στο μοντέλο, για παράδειγμα εμφάνιση φαινομένων όπως η αύξηση συγκεντρώσεων CO₂ και το φαινόμενο του θερμοκηπίου).

4.3.3.4. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η τέταρτη φάση συνιστά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, την εξαγωγή συμπερασμάτων και (ενδεχομένως) την υποβολή εισιγήσεων. Εδώ είτε ενισχύονται οι υφιστάμενες θεωρίες, οι οποίες αποτέλεσαν αρχικές υποθέσεις, είτε επαναδιατυπώνονται αμφίβολα πορίσματα, είτε προβάλλονται καινούριες ερμηνίες, οι οποίες αποτελούν αφορμή για την περεταίρω έρευνα και την κατασκευή νέων θεωρητικών υποβάθρων (Jullien et al., 2006, Santos et al., 2009).

4.3.4. ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Από την παραπάνω παρουσίαση της LCA προκύπτει ότι η τεχνική αυτή δεν είναι αρκετά ευμετάβλητη, από τη στιγμή που εξαρτάται από τις παραγωγικές παραμέτρους του κάθε υλικού και από το χωρικό σύστημα στο οποίο αυτό εντάσσεται. Ένα πρόβλημα που εμφανίζεται στη χρήση της LCA είναι η ανάγκη αναθεώρησης των υφιστάμενων γνώσεων για τα υλικά, λόγω των εξελισσόμενων περιβαλλοντικών συστημάτων (που περιέχουν τη λειτουργική μονάδα). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο κύκλος ζωής του μαρμάρου, το οποίο θεωρείται, μέχρι σήμερα, πολύ ανθεκτικό υλικό. Αυτή η γνώση, όμως, στις μέρες μας τείνει να αναθεωρηθεί, εξαιτίας των σύγχρονων ατμοσφαιρικών μεταβολών (όπως ατμοσφαιρική ρύπανση και όξινη βροχή) που προκαλούν στο μάρμαρο φαινόμενα ταχύτατης γυψοποίησης και αποσάθρωσης. Τα δομικά υλικά δεν έχουν



πιστοποιηθεί στις νέες περιβαλλοντικές συνθήκες πράγμα καθιστά τον προσδιορισμό του χρόνου ζωής τους ρευστό. Συμπερασματικά, η χρήση των εργαλείων LCC και LCA φαίνεται να αποτελεί μελέτη περιπτώσεων (case study), με περιορισμένες επαγωγικές δυνατότητες (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Βέβαια, υπό συνθήκες, καθίσταται δυνατή η εξαγωγή κάποιων γενικών συμπερασμάτων, όπως το ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις για υλικά με μικρό κύκλο ζωής καταγράφονται κατά πολύ μεγαλύτερες από αντίστοιχα υλικά με μεγάλο κύκλο ζωής (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005). Η ορθολογική χρήση της κατανάλωσης των πρώτων υλών για την παραγωγή δομικών υλικών, η εξοικονόμηση ενέργειας, η ελαχιστοποίηση των τοξικών και βλαπτικών παραγόντων των υλικών, η βιοσυμβατότητα και διατήρηση των πόρων, η βελτιστοποίηση της ζωής των προϊόντων (επέκταση και ενδυνάμωση χρήσης), η παράταση της ζωής των υλικών και η οργανωμένη διαχείριση για τη βιοαποικοδόμηση ή επαναξιοποίηση αποτελούν γενικά εξαγόμενα των LCA's τα οποία εμπίπτουν, σγχρόνως, στο ευρύτερο παλίσιο επιταγών της αειφόρου δόμησης (Santos et al., 2009).

Ενδεικτικά αναφέρεται (Cooper και Fava, 2006) ότι η LCA χρησιμοποιείται συνήθως για να υποστηρίξει τα **στρατηγικά σχέδια επιχειρήσεων** κατά 18%, την **έρευνα και ανάπτυξη (Research & Development, R&D)** σε ποσοστό επίσης 18%, το **σχεδιασμό της παραγωγικής διαδικασίας** κατά 15%, την **εκπαίδευση** σε ποσοστό 13% και για τον προσδιορισμό επωνυμίας προϊόντων κατά 11%.

Ένας διεθνής όρος, ο οποίος προέρχεται από την LCA και έχει καθιερωθεί στη διεθνή βιβλιογραφία είναι η ενεργειακή ανάλυση κύκλων ζωής (**Life Cycle Energy Assessment, LCEA**) (Crawford et al., 2006, Huberman and Pearlmutter, 2008, Kofoworola and Gheewala, 2009). Η LCEA αποτελεί το ενεργειακό ανάλογο της LCA και από τη φάση εξόρυξης των πρώτων υλών ενός υλικού μέχρι τη φάση διάθεσής του στην αγορά αποτελεί συγγενικό όρο με την ενσωματωμένη ενέργεια, η οποία περιγράφεται αναλυτικότερα σε επόμενη παράγραφο. Ο όρος για την LCEA, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν, ήταν απλώς **ενεργειακή ανάλυση**.



5. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

5.1. ΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ Η ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ

Η επιλογή του κατάλληλου υλικού ή υλικών για την κατασκευή ενός τεχνικού έργου, παρόλη την τυποποίηση που έχει καθιερωθεί σήμερα (είναι ευρέως διαδεδομένοι οι όροι *συμβατική δόμηση* ή *συμβατικό κτίσμα* ή *συμβατικά υλικά*), δε θεωρείται εύκολη διαδικασία. Προϋποθέτει σε βάθος γνώση των ιδιοτήτων των υλικών πριν την ενσωμάτωσή τους στην κατασκευή, επαρκή γνώση της μεταγενέστερης συμπεριφοράς των υλικών ως μέρος του συσσωματώματος της κατασκευής και πλήρη γνώση των κάθε είδους διαδράσεων με το περιβάλλον (Λεγάκης, 1987).

Γίνεται επομένως εμφανές ότι δεν υφίστανται μονοσήμαντα κριτήρια για την επιλογή ή όχι ενός δομικού υλικού στην κατασκευή και πολύ περισσότερο το χαρακτηρισμό του υλικού αυτού ως «οικολογικό» (Λεγάκης, 1987, Κορωναίος και Σαργέντης, 2005). Η επιλογή των υλικών από τον εκάστοτε μηχανικό, τα οποία επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν σε κάποια από τις οικοδομικές εκφάνσεις (κατασκευή, συντήρηση, εξοπλισμός κτηρίου) αποτελεί παράγοντα, ο οποίος συνυπολογίζει ένα σύνολο από οικονομικές, περιβαλλοντικές, ενεργειακές, τεχνικές και άλλες (πχ. κοινωνικές) παραμέτρους (Λεγάκης, 1987).

Ο κύκλος των εργασιών, οι οποίες είναι συνδεδεμένες με τον τρόπο παραγωγής, τη μεταφορά και τη διάθεση στην αγορά των δομικών υλικών καθίσταται ευρύς, με αποτέλεσμα, τα κριτήρια επιλογής των υλικών να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο κόστος, στο χρόνο εκτέλεσης και στο περιβαλλοντικό αντίκτυπο του έργου. Τα υλικά, που ενσωματώνονται σε μια κατασκευή (και ιδιαίτερα στις ανώτατες διαστρωματώσεις ή επιφάνειες αυτής, οι οποίες εκτίθενται άμεσα στις συνθήκες του περιβάλλοντα χώρου) καθορίζουν τις συνθήκες υγιεινής (του κτιρίου), όπως η ποιότητα του εσωτερικού αέρα, η θερμική συμπεριφορά της κατασκευής, η οπτική συμπεριφορά των χώρων, δηλαδή ο φυσικός φωτισμός, ο ηλιασμός και η σκίαση (Τσιώτας, 2001), με αποτέλεσμα να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη βιολογική και φυσική υγεία των χρηστών. Η διαδικασία παραγωγής των υλικών, τα στάδια γήρανσης, η διάρκεια ζωής τους και, τελικά, η αποβολή των υλικών από την κατασκευή (απόρριψη σε χώρους ταφής) επιφέρει ουσιαστικές συνέπειες στο ευρύτερο περιβάλλον (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



Στα υλικά που αναπτύσσονται με εφαρμογή των σύγχρονων επιστημονικών πορισμάτων, καταβάλλεται προσπάθεια να έχουν οικολογική συμπεριφορά, ώστε να μην προκύπτουν αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Ευκαταίο στόχο αποτελεί η συμπεριφορά των δομικών υλικών όχι μόνο να μην είναι επιβλαβής στο περιβάλλον, αλλά, αντίθετα, να έχει εποικοδομητικό ρόλο σε αυτό (να ωφελεί αντί να βλάπτει), να αποτελεί, δηλαδή, μια «**πράσινη κατασκευή**» (Woolley et al., 1997).

Επειδή όμως η πραγματικότητα καθιστά δύσκολη την άμεση μετάβαση στην «**πράσινη δόμηση**» (*green building*) (κατά το βαθμό σημαντικότητας, με τον οποίο σημαίνεται ο περιβαλλοντικός συναγερμός) και επειδή η «πράσινη» νοοτροπία στη δόμηση προς το παρόν αποτελεί ιδεατή κατάσταση για την τρέχουσα γνώση στην τεχνολογία υλικών, ο μηχανικός οφείλει να συνυπολογίζει στα κριτήρια μελέτης του για μια κατασκευή, τις παρακάτω παραμέτρους, ώστε να εισάγει σε κάθε νεοαναγειρόμενο κτίριο και την «πράσινη», οικολογική ή αειφορική διάσταση (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005):

- Όσο συντομότερη είναι η παραγωγική αλυσίδα ενός υλικού (λιγότερα στάδια από το χώρο εξόρυξης της πρώτης ύλης μέχρι τη συσκευασία του υλικού) και, εξίσου, όσο μικρότερη είναι η απόσταση για τη διάθεση του υλικού στην αγορά και την ενσωμάτωσή του στο έργο, τόσο πιο φιλικό είναι το υλικό στο περιβάλλον. Η παραπάνω παραγωγική πορεία του υλικού μετράται με ένα φυσικό μέγεθος, το οποίο ονομάζεται **ενσωματωμένη ενέργεια** (αναφέρεται στο υλικό) (Woolley et al., 1997, Thormark, 2002, Κορωναίος και Σαργέντης, 2005, Fernandez, 2006) και περιγράφεται αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο.

- Την επιλογή της διάρκειας ζωής των υλικών κατέχει σημαντικό ρόλο στον οικολογικό χαρακτηρισμό τους. Τα υλικά με μεγάλο χρόνο (ή διάρκεια ή **κύκλο ζωής**) είναι προφανές ότι καθίστανται περισσότερο οικολογικά διότι παρατείνουν την ανάγκη αντικατάστασής τους με νέα.

- Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και ιδιαίτερα η **τοξικότητα** των υλικών (βλ. για τοξικότητα σε ακόλουθο κεφάλαιο). Τα τοξικά υλικά πρέπει, αυστηρά, να μην τοποθετούνται σε εσωτερικές εγκαταστάσεις και να αποφεύγονται σε εξωτερικές κατασκευές με μεγάλο χρόνο ανθρώπινης παραμονής.

- Άλλες παραμέτρους που σχετίζονται με την οικολογική συμπεριφορά των υλικών, όπως ο βαθμός θερμικής αγωγιμότητας αυτών (Λίτινας και Γιαννακόπουλος,



1999), οι εκπομπές των υλικών σε CO₂ και NO_x κατά την διάρκεια παραγωγής τους (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

- Τέλος οφείλεται να λαμβάνεται υπόψη η ικανότητα ενός δομικού υλικού να *επαναχρησιμοποιείται* (μέρος αυτού) ή να *ανακυκλώνεται* (βλ. για εν λόγω έννοιες επόμενο κεφάλαιο), ώστε το δομικό υλικό να μην καθίσταται στο τέλος της ωφέλιμης διάρκειας ζωής του απόβλητο και να απορρίπτεται στους χώρους ταφής (Κούγκολος, 2007).

5.2. ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η *ενσωματωμένη ενέργεια* (ή *embodied energy*, όπως έχει επικρατήσει να είναι ο διεθνής αντίστοιχος όρος του μεγέθους) είναι το μέγεθος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το συνολικό ποσό ενέργειας που δαπανάται για να δημιουργηθεί μια δεδομένη ποσότητα προϊόντος (συγκεκριμένα δομικού υλικού), μέχρι να αποκτήσει τη μορφή, την οποία έχει ακριβώς πριν από τη χρήση του στο έργο. Ουσιαστικά (αν πραγματοποιηθεί αναγωγή στη μάζα), πρόκειται για το συνολικό ποσό της ενέργειας ανά μονάδα μάζας του υλικού (δηλαδή για το άθροισμα των επί μέρους ενεργειών ανά μονάδα μάζας), η οποία δαπανάται (ή καταναλώνεται) από τη στιγμή της εξόρυξης της πρώτης ύλης μέχρι τη μεταφορά του στο χώρο διάθεσής του στην αγορά (περιλαμβάνοντας τις ενδιάμεσες φάσεις της δημιουργίας του προϊόντος στη γραμμή παραγωγής), πριν την εφαρμογή του στο έργο (Woolley et al., 1997, Thormark, 2002, Κορωναίος και Σαργέντης, 2005, Fernandez, 2006).

Ο μαθηματικός ορισμός της ενσωματωμένης ενέργειας αποδίδεται με τη βοήθεια του συμβολισμού του αθροίσματος (Νεγρεπόντης et al., 1999) από τη σχέση:

$$Q_{ολ} = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (11)$$

όπου $Q_{ολ}$ = η (συνολική) ενσωματωμένη ενέργεια του υλικού και

Q_i = τα επιμέρους ποσά ενέργειας ανά μονάδα μάζας, τα οποία δαπανούνται στο στάδιο (ή φάση) i της παραγωγικής διαδικασίας, όταν η παραγωγική αλυσίδα αποτελείται συνολικά από n στάδια (φάσεις).



Οι μονάδα μέτρησης της ενσωματωμένης ενέργειας, όπως προειπώθηκε είναι μονάδα ενέργειας ανά μονάδα μάζας και συνηθισμένη έκφρασή της για ένα υλικό είναι $MJoules/kg = 10^6 Joules/kg$ (Thormark, 2002).

Για παράδειγμα, έστω ότι ένα υλικό από τη στιγμή εξόρυξης της πρώτης ύλης του μέχρι τη στιγμή εναπόθεσης στο χώρο διάθεσής του στην αγορά περνά από τέσσερις σταθμούς παραγωγής, συμπεριλαμβανομένης και της εξόρυξης (σχήμα 9), με αντίστοιχα ποσά *επιμέρους* ή *μερικής*, κατά το μαθηματικό ορισμό του μερικού αθροίσματος, (Νεγρεπόντης et al., 1999) ενσωματωμένης ενέργειας (ανά μονάδα μάζας υλικού) τα ακόλουθα:

Q_0 = απαιτούμενη ενέργεια εξόρυξης

QT_1 = απαιτούμενη ενέργεια μεταφοράς από το σταθμό 0 στο σταθμό 1

Q_1 = απαιτούμενη ενέργεια παραγωγής στο σταθμό 1

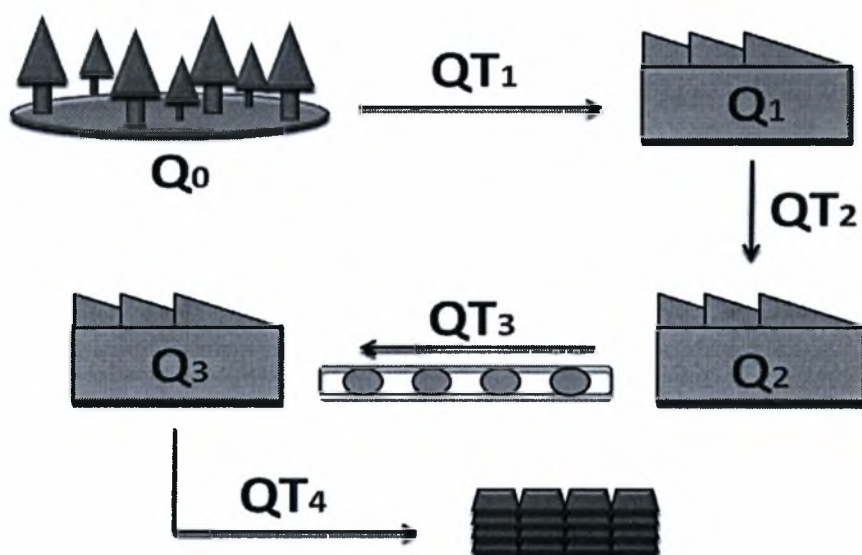
QT_2 = απαιτούμενη ενέργεια μεταφοράς από το σταθμό 1 στο σταθμό 2

Q_2 = απαιτούμενη ενέργεια παραγωγής στο σταθμό 2

QT_3 = απαιτούμενη ενέργεια μεταφοράς από το σταθμό 2 στο σταθμό 3

Q_3 = απαιτούμενη ενέργεια παραγωγής στο σταθμό 3

QT_4 = απαιτούμενη ενέργεια μεταφοράς από το σταθμό 3 στο χώρο διάθεσης (αγορά).



Σχήμα 9. Διάγραμμα ροής για τα τέσσερα στάδια της παραγωγικής αλυσίδας ενός δομικού υλικού, από το σημείο εξόρυξής του μέχρι το χώρο διάθεσής του στην αγορά. Οι επιμέρους ενέργειες (ανά μονάδα μάζας) παραγωγής (Q_i , με $i=0,...,3$) και μεταφοράς (QT_i , με $i=1,...,4$) όταν προστίθενται δίνουν την ενσωματωμένη ενέργεια του υλικού (Απόδοση: Δημήτρης Τσιώτας)



Επομένως, τα συνολικά ενεργειακά στάδια της παραγωγικής αλυσίδας είναι $n = 8$ και η συνολική, ενσωματωμένη ενέργεια του υλικού, για την περίπτωση του παραδείγματος, ισούται με:

$$\begin{aligned}\text{Ενσ. Ενέργεια} &= Q_{\text{ολ}} = \sum_{i=1}^8 Q_i = \\ &= Q_0 + Q_{T1} + Q_1 + Q_{T2} + Q_2 + Q_{T3} + Q_3 + Q_{T4} = \\ &= Q \text{ MJ/kg}\end{aligned}\tag{12}$$

Η ενσωματωμένη ενέργεια ενός υλικού συσχετίζεται άμεσα με το περιβάλλον, διότι τα υλικά με μεγάλη ενσωματωμένη ενέργεια (που υπονοεί μακροσκελή παραγωγική διαδικασία και μεγάλη απόσταση από το σημείο εξόρυξης μέχρι την αγορά) προκαλούν γενικά κατά την παραγωγική αλυσίδα αυξημένες εκπομπές CO₂ (και άλλων κατά περίπτωση καυσαερίων), συντελώντας περισσότερο στο φαινόμενο της θερμικής ρύπανσης (παράγραφος 5.4.3) Επομένως για τις περιβαλλοντικές επιδράσεις των δομικών υλικών η μελέτη της ενσωματωμένης ενέργειας καθίσταται μείζονος σημασίας (Woolley et al., 1997, Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Η ενσωματωμένη ενέργεια δεν είναι μέγεθος που χαρακτηρίζει μονοσήμαντα ένα υλικό, γεγονός που οφείλεται στην εκάστοτε γραμμή παραγωγής. Η ενσωματωμένη ενέργεια αποτελεί μέγεθος που εξαρτάται πρωτίστως από την επεξεργασία που δέχεται το υλικό. Σε αυτόν το λόγο οφείλεται και το γεγονός ότι η ενσωματωμένη ενέργεια, η οποία περιέχεται σε διαφορετικές μορφές του ίδιου υλικού, είναι διαφορετική (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Ένα υλικό, που παράγεται σε μία χώρα με συγκεκριμένη παραγωγική διαδικασία (έστω τεχνολογικά ανεπτυγμένη), ενδέχεται να έχει ενσωματωμένη ενέργεια, η οποία να διαφέρει σε σημαντικό βαθμό από την αντίστοιχη ενσωματωμένη ενέργεια του ίδιου υλικού, που παράγεται σε άλλη χώρα με διαφορετική παραγωγική διαδικασία (έστω τεχνολογικά αναπτυσσόμενη χώρα). Εξαιρουμένης όμως της γενικής περίπτωσης, που προαναφέρθηκε, πρέπει να σημειωθεί ότι η εσωτερική ενέργεια ενός υλικού δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένη ούτε για μια δεδομένη χώρα, αλλά ούτε, ακόμη, για υλικά, που υποβάλλονται στην ίδια παραγωγική διαδικασία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στον υπολογισμό της ενσωματωμένης ενέργειας περιλαμβάνεται και η ενέργεια μεταφοράς του υλικού στην τελική του θέση (αγορά). Επομένως ίδια υλικά (που έχουν ακολουθήσει



την ίδια τυποποιημένη παραγωγική διαδικασία) θα έχουν διαφορετική ενσωματωμένη ενέργεια όταν διατίθενται σε διαφορετικές αγορές (για παράδειγμα το ένα διατίθεται στην εγχώριο αγορά και το άλλο εξάγεται). Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση του ξύλου (το οποίο ως ανανεώσιμη πρώτη χαρακτηρίζεται γενικά από μικρή ενσωματωμένη ενέργεια), όταν προέρχεται από τον Αμαζόνιο έχει πολύ μεγαλύτερη ενσωματωμένη ενέργειά σε σχέση με αυτό που υλοτομείται στην Ελλάδα (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

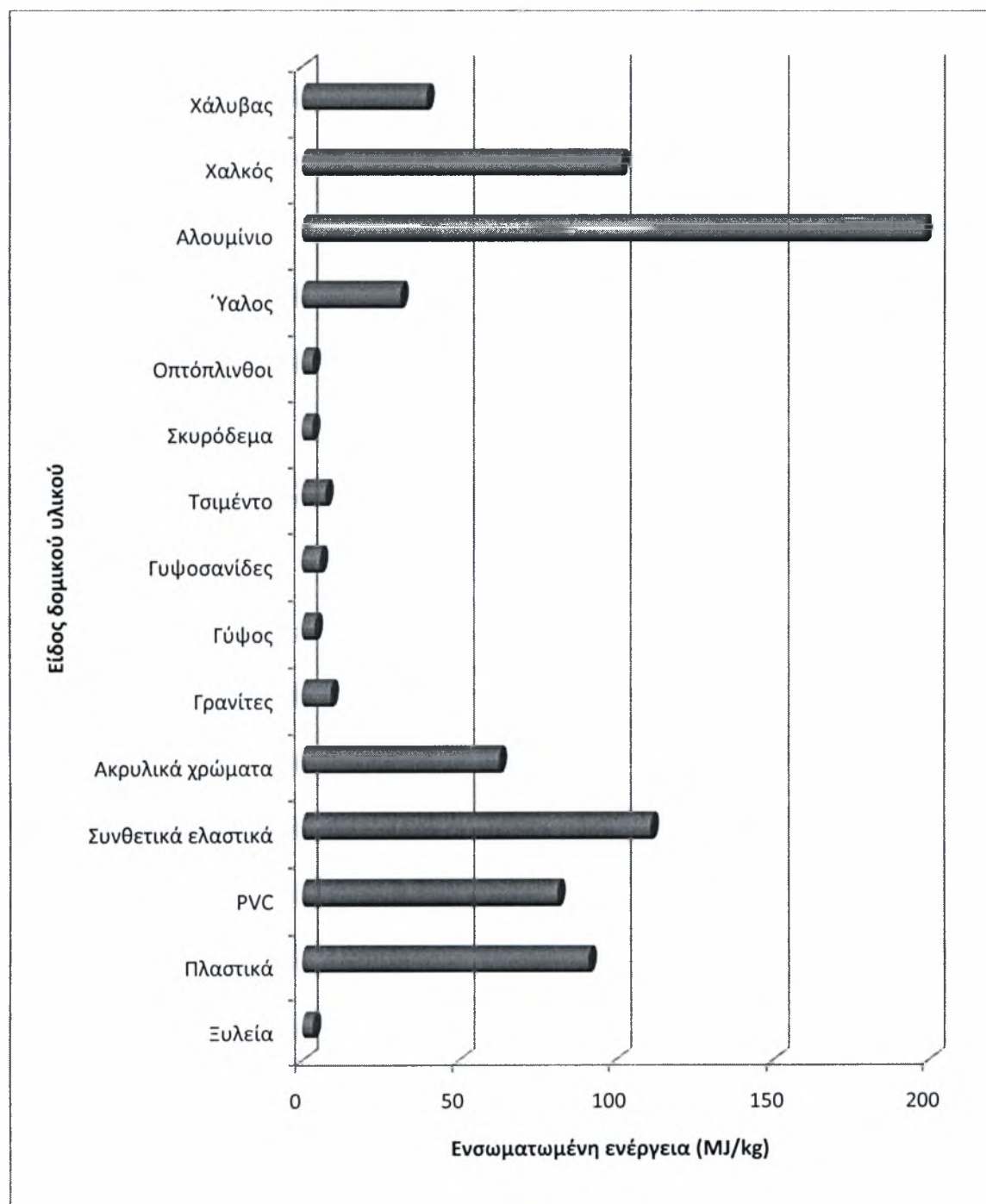
Με βάση τα παραπάνω, η έννοια της ενσωματωμένης ενέργειας δύναται να επεκταθεί και στη συνολική κατασκευή (κτίριο). Κατ' αντιστοιχία με την ενσωματωμένη ενέργεια ενός υλικού, **ενσωματωμένη ενέργεια μιας τυπικής κατασκευής** (κτίριο) είναι το ποσό της ενέργειας, το οποίο χρησιμοποιείται για την ανέγερση της τυπικής κατασκευής (κτίριο), ώστε αυτή να καθίσταται έτοιμη προς χρήση. Προϋπόθεση για να είναι το εν λόγω μέγεθος καλά ορισμένο είναι ο σαφής προσδιορισμός της έννοιας «τυπική κατασκευή» (Thormark, 2002. Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Τα ακόλουθα γραφήματα (γραφήματα 12, 13 και 14), παρέχουν ενδεικτικές τιμές ενσωματωμένης ενέργειας για διάφορα υλικά, προς αποκόμιση μιας γενικής αίσθησης της τάξης του μεγέθους για κάθε περίπτωση υλικού. Ο υπολογισμός των εν λόγω ενεργειών έχει ακολουθήσει αρκετές εξαπλουστευτικές παραδοχές και οι τιμές που εμφανίζονται δύνανται μόνο να παρέχουν συγκριτικά αποτελέσματα (έχουν ποιοτικό χαρακτήρα) αφού η ενσωματωμένη ενέργεια αποτελεί ευμετάβλητο μέγεθος, με τιμή διαφορετική για κάθε διαφορετική περίπτωση παραγωγικής αλυσίδας. Ενδεικτικά αναφέρεται για διάφορα υλικά το ποσό της ενσωματωμένης ενέργειάς (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

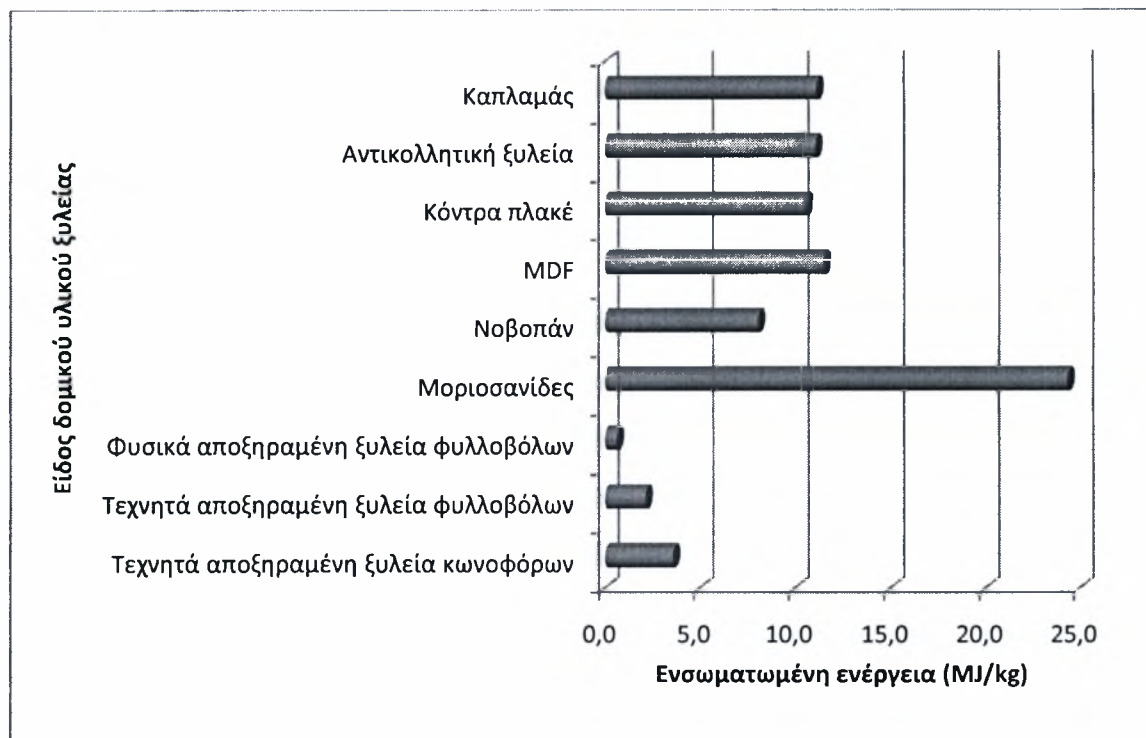
Από την παρατήρηση των παρακάτω γραφημάτων είναι δυνατή η εξαγωγή μερικών χρήσιμων συμπερασμάτων. Αρχικά, η οικονομική χρήση της ποσότητας των υλικών, τα οποία τοποθετούνται σε μια κατασκευή (Page, 1974), αποτελεί παράγοντα μείωσης της ενσωματωμένης ενέργειας της συνολικής κατασκευής. Για παράδειγμα, τα υλικά, τα οποία αγοράζονται σε πλεόνασμα δίχως να τοποθετούνται στο έργο, αποτελούν απόβλητα και επιβαρύνουν τη συνολική ενσωματωμένη ενέργεια της κατασκευής. Ομοίως τα κτίρια, στα οποία παρατηρείται σχεδιαστική σπατάλη χώρων χωρίς αυτές να καλύπτουν υφιστάμενες ή εκτιμώμενες μελλοντικές ανάγκες προκύπτουν αφενός ως απόβλητα και αφετέρου δαπανάται σημαντική ενέργεια (ενσωματωμένη) για την



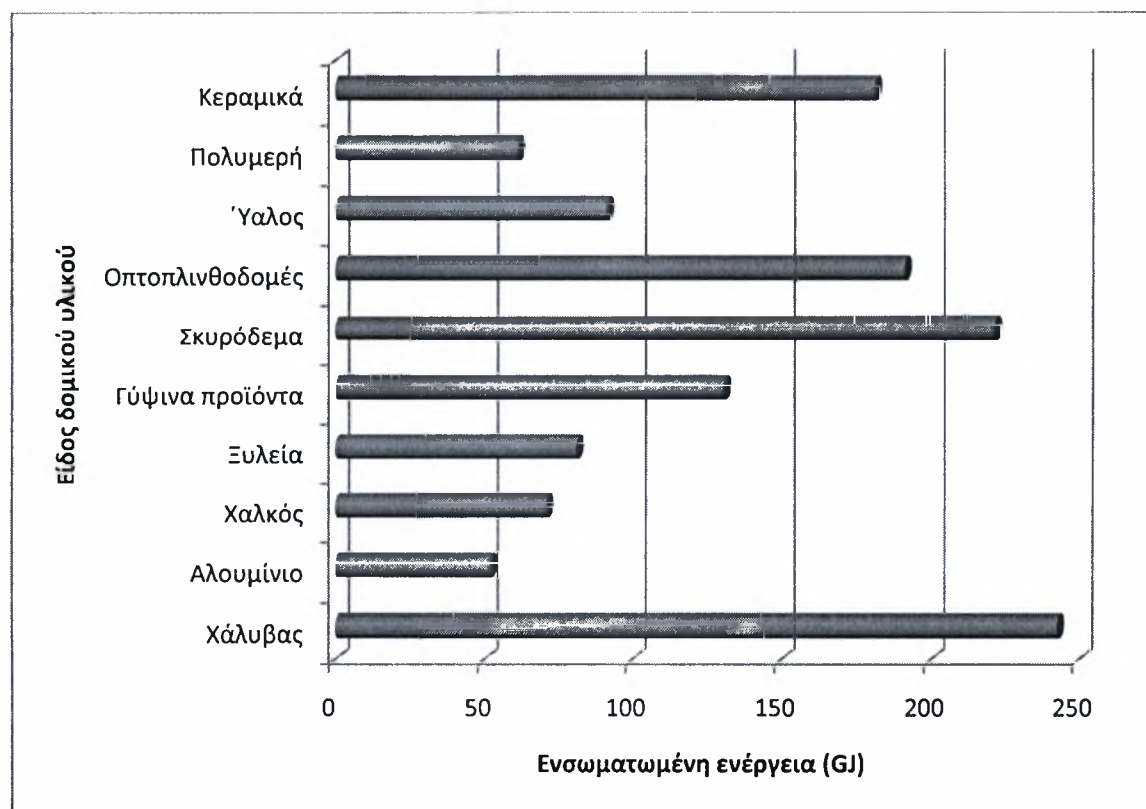
κατασκευή τους. Από τα παραπάνω καθίσταται προφανής ο καθοριστικός ρόλος των ειδικών μελετητών μηχανικών για τη μείωση της ενσωματωμένης ενέργειας της κατασκευής (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



Γράφημα 12. Τιμές ενσωματωμένης ενέργειας για συνήθη υλικά (Πηγή: Κορωναίος και Σαργέντης, 2005, απόδοση γραφήματος: Δημήτρης Τσιώτας)



Γράφημα 13. Τιμές ενσωματωμένης ενέργειας για προϊόντα ξύλου (Πηγή: Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005, απόδοση γραφήματος: Δημήτρης Τσιώτας)



Γράφημα 14. Τιμές ενσωματωμένης ενέργειας για συνήθη υλικά σε ένα τυπικό κτίριο (Πηγή: Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005, απόδοση γραφήματος: Δημήτρης Τσιώτας)



Έπειτα, τα υλικά, τα οποία φαίνεται να μην επιβαρύνουν το περιβάλλον, στον τομέα της συλλογής των πρώτων υλών (δηλαδή η μερική ενσωματωμένη ενέργεια στο στάδιο αυτό είναι μικρή), ενδέχεται να επιφέρουν οικολογική επιβάρυνση στα στάδια της παραγωγικής τους διαδικασίας, όπως η κατεργασία και η μεταφορά. Για παράδειγμα τα μέταλλα και το γυαλί (παρόλο που η εξόρυξη των πρώτων υλών τους δε χαρακτηρίζεται από μεγάλη τιμή ενσωματωμένης ενέργειας) καθίστανται επιζήμια, ενεργειακά, κατά την παραγωγή τους διότι απαιτούνται υψηλά ποσά ενέργειας ενώ οι φυσικοί λίθοι που απαιτούν μικρή σχετικά ενέργεια κατά την παραγωγή τους απαιτούν σχετικά μεγάλη ενέργεια για τη μεταφορά τους (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η μεταφορά ενός υλικού από τη θέση παραγωγής του στη θέση εφαρμογής του αποτελεί επίσης βασικό κριτήριο, το οποίο επηρεάζει την οικολογική θέση του υλικού στην κατάταξή του με βάση την ενσωματωμένη ενέργεια. Όταν ο μηχανικός επιλέγοντας υλικά, τα οποία παράγονται κοντά στον τόπο της κατασκευής τότε αυτόματα μειώνεται το ποσό της καύσιμης ύλης (και ενέργειας) που απαιτείται για τη μεταφορά τους στο έργο. Επομένως, καθίσταται επιθυμητό να λαμβάνονται υπόψη οι χωροταξικές παράμετροι στην επιλογή των δομικών υλικών, οι οποίες, συνήθως, έχουν ενσωματωθεί στην ιδιαίτερη κατασκευαστική παράδοση του κάθε τόπου. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι η μεταφορά υλικών σιδηροδρομικώς καθίσταται μέχρι και οκτώ φορές οικονομικότερη (και συνεπώς οικολογικότερη) από την αντίστοιχη μεταφορά μέσω οδικού δικτύου (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

5.3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

5.3.1. ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ

Επιδιώκοντας μια προσπάθεια εισαγωγικής προσέγγισης με την έννοια της τοξικότητας, παρατίθεται ο πρώιμος ορισμός ότι η τοξικότητα είναι η ιδιότητα ορισμένων ουσιών (η μελέτη, ακολούθως, θα περιοριστεί σε αυτές που εμπεριέχονται στα δομικά υλικά) να προκαλούν ανεπιθύμητες δράσεις στην ανθρώπινη υγεία (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005, Κούγκολος, 2007).

Πρέπει να διευκρινιστεί, όμως, από το αρχικό αυτό σημείο, ότι η υιοθέτηση της άποψης ότι κάποιες ουσίες είναι τοξικές, ενώ κάποιες άλλες δεν είναι, ενδέχεται να αποβεί παραπλανητική, διότι δεν υφίσταται σαφής διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στις



επιβλαβείς τοξικές ουσίες και στις μη. Ο Παράκελσος (1493- 1541), Ελβετός γιατρός, αλχημιστής και φιλόσοφος, ο οποίος αποτελεί τον εισηγητή της επιστημονικής τοξικολογίας, είχε χαρακτηριστικά δηλώσει ότι «...**όλες οι ουσίες είναι δηλητήρια. Δεν υπάρχει καμιά που να μην είναι δηλητήριο. Η σωστή δόση ξεχωρίζει το φάρμακο από το δηλητήριο**».

Αυτή η θέση αποτελούσε μια αλήθεια γνωστή εδώ και αιώνες. Ένα λαϊκό απόφθεγμα, το οποίο χρησιμοποιούταν συχνά από χωρικούς στην Ελλάδα πιστοποιεί ότι η ρήση του Παράκελσου αποτελούσε βιωμένη γνώση. Το απόφθεγμα αυτό διατυπώνονταν στην πρόταση ότι «...το δηλητήριο σε μικρή δόση είναι φάρμακο...» (Κούγκολος, 2007). Μέχρι τον 19^ο αιώνα, κατά τον οποίο η φαρμακολογία δεν είχε αναπτυχθεί ιδιαίτερα, ήταν πολύ συνηθισμένο, αντί για φάρμακα, να λαμβάνονται μικρές δόσεις από δηλητήρια (π.χ. αρσενικό, διχρωμικό κάλιο κ.ά.). Βέβαια ήταν ήδη πολύ γνωστό ότι μεγάλες δόσεις από φάρμακα μπορεί να κάνουν ζημιά στην υγεία (Κούγκολος, 2007).

Από την άλλη, βεβαίως, είναι λογικό να θεωρούνται τοξικές οι ουσίες εκείνες που σε μικρή δόση ή σε μικρή συγκέντρωση μπορούν να προκαλέσουν θάνατο ή άλλη βλάβη στην ανθρώπινη υγεία. Για παράδειγμα, το κυανιούχο κάλιο, οι διοξίνες, ο υδράργυρος θεωρούνται (και δίκαια) πολύ τοξικές ουσίες, υπό την αίρεση, πάντοτε, της ρήσης του Παράκελσου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το απεσταγμένο νερό. Το απεσταγμένο νερό δεν περιέχει καμιά «τοξική» ουσία, κι όμως, αν λαμβάνεται κατ' εξακολούθηση και μόνο απεσταγμένο νερό είναι δυνατόν να προκληθούν σοβαρές βλάβες στην υγεία, ακόμη και θάνατος, εξαιτίας όχι μόνο της έλλειψης των απαραίτητων (ωφέλιμων) στοιχείων για τον οργανισμό (νάτριο, ασβέστιο, μαγνήσιο κλπ.) αλλά και αποβολής αυτών που περιέχονται στον οργανισμό (με τον ιδρώτα και τα ούρα) (Κούγκολος, 2007).

Επομένως, τίθεται σαφές ότι ο **λόγος γύρω από τις τοξικές ουσίες αφορά πάντα τη δόση ή τη συγκέντρωση της τοξικής ουσίας**. Προκειμένου για ουσίες που προσλαμβάνονται από έναν οργανισμό της ξηράς (π.χ. ένα θηλαστικό) η δόση μετράται ως **mg** τοξικής ουσίας **ανά kg** βάρους του οργανισμού. Θεωρείται δηλαδή, και η ορθότητα αυτού καθίσταται στο γενικό της πλαίσιο, ότι ένα ποντίκι, το οποίο ζυγίζει 2kg, μπορεί να αντέξει διπλάσια ποσότητα δηλητηρίου από ένα ποντίκι, που ζυγίζει 1kg. Για έναν υδρόβιο όμως οργανισμό (ψάρια, ζωοπλαγκτόν, φυτοπλαγκτόν) κριτήριο



τοξικότητας αποτελεί το υδατικό διάλυμα της ουσίας, δηλαδή η συγκέντρωση της ουσίας στο νερό (σε **mg/L** ή **μg/L** της ουσίας) (Κούγκολος, 2007).

Είναι συνηθισμένο να ορίζεται η τοξικότητα χρησιμοποιώντας ως κριτήριο το θάνατο κάποιων οργανισμών. Για παράδειγμα, όταν κάποια σημαντική ποσότητα από ένα βαρύ μέταλλο εισχωρήσει σε μια λίμνη και αυξήσει τη συγκέντρωση του μετάλλου στο νερό, τότε μια άμεση αίσθηση τοξικότητας αποτελεί η φυσική παρατήρηση των θανάτων ψαριών. Ένας οργανισμός, όμως, είναι δυνατόν να υποστεί βλάβες σε κάποια λειτουργία του και με χαμηλότερες συγκεντρώσεις τοξικών ουσιών, οι οποίες βλάβες δεν θα τον οδηγήσουν στο θάνατο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αναπαραγωγική λειτουργία. Συγκέντρωση χαμηλότερη από την τιμή, η οποία μπορεί να προκαλέσει θάνατο, είναι δυνατόν να μειώσει ή να αφαιρέσει την ικανότητα για αναπαραγωγή. Επομένως, είναι δυνατόν να οριστεί, εναλλακτικά, ότι τοξική είναι μία δόση ή συγκέντρωση ουσίας που προκαλεί αναστολή σε κάποια φυσιολογική λειτουργία ενός οργανισμού (Κούγκολος, 2007).

5.3.2. Η ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - «ΑΡΡΩΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ»

Στις κατασκευές, η τοξικότητα των υλικών περιορίζεται στις συνέπειες, στις οποίες προκαλούν τα υλικά από την αλλοίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, η οποία είθισται να αποκαλείται «εσωτερική ρύπανση» (Δρίβας, 2005γ), του κτιρίου και στις αντίστοιχες συνέπειες που προκαλούν στην ανθρώπινη υγεία με την (υπό οποιασδήποτε μορφής) επαφή τους από τον εργάτη ή (μετέπειτα) το χρήστη του κτιρίου. Η ποιότητα του αέρα του εσωτερικού χώρου ενός κτιρίου εξαρτάται, προφανώς, από τα υλικά κατασκευής, εξαιτίας της αλληλεπίδρασης των μορίων του αέρα με τις επιφάνειες των δομικών υλικών (στις οποίες έρχονται σε επαφή). Για παράδειγμα, τα υλικά χρώσης (χρώματα ή βαφές), οι συγκολλητικές ουσίες και πολλά ακόμη υλικά, τα οποία εφαρμόζονται στην τελική φάση της κατασκευής (στο λεγόμενο φινιρίσμα), περιέχουν πτητικές οργανικές ενώσεις (ενώσεις) 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 (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Τα προβλήματα του αέρα του εσωτερικού χώρου του κτιρίου συνοψίζονται στον όρο «**άρρωστο κτίριο**» (Δρίβας, 2005γ, Κορωναίος και Σαργέντης, 2005). Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τα νεόκτιστα κτίρια που δεν προορίζονται για



βιομηχανική χρήση αλλά για να στεγάσουν υπηρεσίες ή κατοικίες και τα οποία παρουσιάζουν προβλήματα «εσωτερικής ρύπανσης» (Δρίβας, 2005γ).

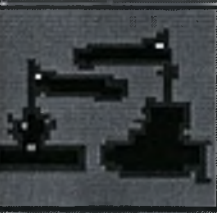
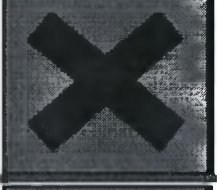
Επίσης ο όρος «*σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου*» χρησιμοποιείται για να εκφράσει την κακή κατάσταση της υγείας τουλάχιστον του 50% των ενοίκων, η οποία χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένα ενοχλήματα που αποδίδονται αποκλειστικά και μόνο στην εσωτερική ρύπανση του αέρα του κτιρίου, η οποία οφείλεται κυρίως στη φορμαλδεΐδη (HCHO), στο μονοξείδιο του άνθρακα (CO), στα οξείδια του αζώτου (NO-NO₂), σε αιωρούμενα σωματίδια (όπως ο αμύαντος), σε τεχνητές ορυκτές ίνες (πετροβάμβακας, υαλοβάμβακας) και σε πτητικές οργανικές ουσίες (από χρώματα, πολυμερή, κόλλες κ.τ.λ) (Δρίβας, 2005γ).

5.3.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΞΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΣΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Το 37% των δομικών προϊόντων είναι επιβλαβή στην υγεία (κατά μέση τοξικότητα) ενώ το 2% χαρακτηρίζονται τοξικά ή πολύ (λίαν) τοξικά. Στην κατηγορία των επιβλαβών για την υγεία συμπεριλαμβάνονται τα προϊόντα, τα οποία περιέχουν ουσίες ύποπτες για καρκινογένεση που έχουν τη δυνατότητα να μεταλλάσσονται. Αποδεδειγμένα το 8% των δομικών προϊόντων εμπίπτει στην κατηγορία των διαβρωτικών και ερεθιστικών ουσιών, οι οποίες φέρουν στην συσκευασία τους το σχετικό σήμα, που προβλέπεται από την οδηγία 67/548/ΕΟΚ (βλ. παράρτημα Ι) για τις επικίνδυνες ουσίες (πίνακας 5) (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Πίνακας 5. Ταξινόμηση και σήμανση επικίνδυνων ουσιών (Πηγή: www.fireservice.gr , απόδοση πίνακα: Δημήτρης Τσιώτας)	
Σήμα	Επεξήγηση
	E: Εκρηκτικές (Explosive)



Σήμα	Επεξήγηση
	<i>Εύφλεκτες</i> (Flammable) <i>F+</i> : <i>Εξαιρετικά εύφλεκτες</i> <i>F</i> : <i>Πολύ εύφλεκτες</i>
	<i>O</i> : <i>Οξειδωτικές</i> (Oxidant) Πρόκληση εγκαυμάτων, αντιδρά με άλλες ουσίες παράγοντας αναθυμιάσεις, δυναμώνει τη φωτιά
	<i>C</i> : <i>Διαβρωτικές</i> (Corrosive) Πρόκληση σοβαρών εγκαυμάτων σε δέρμα-μάτια, διάβρωση υλικών
	<i>Τοξικές</i> (Toxic) <i>T+</i> : <i>Πολύ τοξικές</i> <i>T</i> : <i>Τοξικές</i>
	<i>Xn</i> : <i>Επιβλαβείς</i> (Harmful) <i>Xi</i> : <i>Ερεθιστικές</i> (Irritant)
	<i>N</i> : <i>Επικίνδυνες ουσίες για το περιβάλλον</i> (Dangerous for the environment)

Ένα υλικό ενδέχεται να εμφανίζει τοξικότητα και κατά τη διάρκεια παραγωγής του. Οι οδηγίες 76/464/ΕΟΚ και 80/68/ΕΟΚ (βλ. παραρτήματα II και III), οι οποίες αναφέρονται στην προστασία των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων, αντίστοιχα, από ουσίες που θεωρούνται επικίνδυνες υποχρεώνουν τα Κράτη - Μέλη να μηδενίσουν τη διοχέτευση ουσιών του καταλόγου I σε υδάτινους υποδοχείς και να περιορίσουν τη απόρριψη σε αυτούς ουσιών του καταλόγου II (πίνακας 6). Οι παραπάνω οδηγίες έχουν υποχρεωτικό χαρακτήρα και στο κομμάτι που αφορά τη διεξαγωγή ελέγχων για την



απόρριψη υλικών, τα οποία κρίνονται ύποπτα για ρύπανση του υπόγειου υδροφορέα με ουσίες του καταλόγου I (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Πίνακας 6.
Ταξινόμηση επικίνδυνων ουσιών βάσει καταλόγου I & II, των
οδηγιών 76/464/ΕΟΚ και 80/68/ΕΟΚ
(Πηγή: Κορωναίος και Σαργέντης, 2005, απόδοση πίνακα:
Δημήτρης Τσιώτας)

Κατάλογος I	Κατάλογος II
οργανοχλωρικές ενώσεις	Μέταλλα: Zn, cu, Ni, Cr, Se, As, An, Mo, Ti, Sn, Ba, Be, B, U, Va, Co, Th, Te, Ag
οργανοφωσφορικές ενώσεις	Τα βιοκτόνα και τα παράγωγά τους
καρκινογόνες ουσίες	Ουσίες που αλλοιώνουν την οσμή και τη γεύση του νερού.
υδράργυρος και ενώσεις υδραργύρου	Τοξικές ή δυσδιάσπαστες ενώσεις Si και ουσίες από τις οποίες ενδέχεται να παραχθούν, ακόμα και αν αυτές είναι βιολογικά ακίνδυνες
κάδμιο και ενώσεις καδμίου	Ανόργανες φωσφορικές ενώσεις, φώσφορος
δυσδιάσπαστα ορυκτέλαια και υδρογονάνθρακες πετρελαίου	Δυσδιάσπαστα ορυκτέλαια και υδρογονάνθρακες πετρελαίου
δυσδιάσπαστες συνθετικές ουσίες	Κυανιούχες κα φθοριούχες ενώσεις
	Ουσίες που επηρεάζουν αρνητικά το ισοζύγιο οξυγόνου και ειδικά η αμμωνία και οι νιτρώδεις ενώσεις.

Οι επιπτώσεις των ουσιών που αναγράφονται στους δύο καταλόγους του πίνακα 3 υγεία έχουν κατηγοριοποιηθεί σε οξεία τοξικότητα, σε χρόνια τοξικότητα, σε αλλεργική δράση, σε δερματικούς ερεθισμούς, σε μεταλλαξιογόνο δράση, σε καρκινογόνο δράση, σε αναπαραγωγικές ανωμαλίες και εμβρυοτοξικότητα και σε τοξική δράση στο ανοσοποιητικό και νευρικό σύστημα (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



Τα δομικά υλικά, τις περισσότερες φορές εμφανίζονται, οργανικές αλογονωμένες ενώσεις, οι οποίες περιέχονται στους διαλύτες που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές του καταλόγου Ι του πίνακα 7. Βέβαια, πρέπει να τονιστεί ότι, βασική προϋπόθεση για την αναγνώριση και την κατηγοριοποίηση της τοξικότητας και των λοιπών νοσογόνων ιδιοτήτων ενός δομικού προϊόντος αποτελεί η γνώση της σύστασής του (το σύνολο των συστατικών υλικών ή ενώσεων που το αποτελούν). Στις περισσότερες περιπτώσεις, όμως, η πλήρης γνώση της εν λόγω σύστασης δεν καθίσταται εφικτή διότι δεν καθίστανται πάντοτε διαθέσιμες οι απαιτούμενες πληροφορίες για τις ουσίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται ή εμπεριέχονται στα δομικά υλικά και ενδέχεται να εμφανίζουν τοξική συμπεριφορά. Εξαιρουμένων των δεδομένων δυσκολιών έχει αναγνωριστεί τοξική δράση σε κάποια από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα δομικά υλικά. Ο πίνακας 4 εμφανίζει τα δημοφιλέστερα δομικά υλικά με τοξικές ιδιότητες (κατάλογος Ι) και τα συνηθέστερα πεδία ανεύρεσής τους στην κατασκευή (κατάλογος ΙΙ) (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Πίνακας 7.

Συνήθη δομικά υλικά με τοξικές ενδείξεις και παρουσία αυτών
(Πηγή: Κορωναίος και Σαργέντης, 2005, απόδοση πίνακα: Δημήτρης Τσιώτας)

Κατάλογος Ι	Κατάλογος ΙΙ
αμίαντος	παλαιά κτήρια
βενζόλιο	βενζίνη
πριονίδια ξύλου	ξυλουργικές εργασίες
νικέλιο	ηλεκτροσυγκολήσεις
χρωμικός ψευδάργυρος	αντισκωριακές στρώσεις
κάδμιο	επιχρίσματα
ενώσεις χρωμίου	βερνίκια ξύλου
διοξίνες	καμένα κτήρια
χρωμικός μόλυβδος	επιχρίσματα
διχλωρομεθάνιο	διαλύτες
φορμαλδεϋδη	συγκολλητικό
συνθετικές ίνες	μονώσεις
PCB	λαμπτήρες αερίου



Κατάλογος I	Κατάλογος II
χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες	διαλύτες

5.3.4. Η ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η τοξικότητα, πρέπει να αναφερθεί ότι, πέραν από τις δεδομένες βλαπτικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία, αποτελεί επιθυμητή ιδιότητα σε περιπτώσεις που σχετίζονται με την καταπολέμηση επιβλαβών οργανισμών που προκαλούν φθορές στα δομικά υλικά. Χαρακτηριστικό αποτελεί το παράδειγμα των βιοκτόνων, τα οποία χρησιμοποιούνται στη δημιουργία συντηρητικών ξυλείας, στη δημιουργία μυκητοκτόνων βαφών επιχρισμάτων και ως βιοσταθεροποιητές συνθετικών υλικών, οι οποίες σταθεροποιούν την οργανική αλλοίωση, ο οποία ονομάζεται και **βιοδιάσπαση** ή **βιοαποικοδόμηση** των υλικών. Τέτοιες βιοσταθεροποιητικές ουσίες αναφέρονται ενδεικτικά οι πλαστικοποιητές, οι φωτοσταθεροποιητές και τα ενισχυτικά της αντοχής. Βασικές συστατικές ουσίες, οι οποίες συναντώνται στις περισσότερες περιπτώσεις των βιοκτόνων αποτελούν η φορμαλδεΰδη, οι φαινολικές ενώσεις και ανόργανες και οργανικές ενώσεις κασσίτερου (Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005).

5.3.5. ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ

Το μεγαλύτερο ποσοστό των δομικών υλικών περιέχουν περισσότερα του ενός συστατικά (στοιχεία και ουσίες), τα οποία αλληλεπιδρούν και δρουν συσσωρευτικά (Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005). Στην περίπτωση, στην οποία τα συστατικά αυτά έχουν τοξική δράση, η κατάσταση συνύπαρξης (συνδυασμένη τοξικότητα) των συστατικών υλικών περιγράφεται από μια εκ των ακόλουθων περιπτώσεων (Κούγκολος, 2007):

- **Αθροιστική ή Προσθετική δράση.** Το συνδυασμένο αποτέλεσμα τις τοξικότητας των ουσιών προκύπτει ως το βαθμωτό άθροισμα της τοξικότητας των δυο (ή περισσότερων) συστατικών ουσιών. Αυτό σημαίνει ότι οι συστατικές τοξικές ουσίες είναι ουδέτερες μεταξύ τους και η παρουσία (και η δράση) της μιας δεν επηρεάζει την παρουσία (και τη δράση της άλλης).

- **Ανταγωνιστική δράση ή επίδραση.** Στην περίπτωση αυτή το συνδυασμένο αποτέλεσμα τις τοξικότητας των ουσιών προκύπτει μικρότερο από το αναμενόμενο



προσθετικό. Η εν λόγω κατάσταση οφείλεται στο γεγονός, ότι η τοξική δράση της μιας συστατικής ουσίας εξουδετερώνει ένα μέρος (ή και την ολότητα) της τοξικότητας της άλλης ουσίας.

- **Συνεργιστική δράση ή επίδραση.** Στην περίπτωση αυτή το συνδυασμένο αποτέλεσμα τις τοξικότητας των ουσιών εμφανίζεται μεγαλύτερο από το αναμενόμενο αθροιστικό αποτέλεσμα. Εδώ οι δυο συστατικές ουσίες φαίνεται ότι αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με ισχυρότερη από την προσθετική σχέση (πολλαπλασιαστικά ή εκθετικά).

5.3.6. ΜΕΤΡΑ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η τοξικότητα μιας ουσίας μετράται με την ποσότητα ή συγκέντρωση της **θανατηφόρας δόσης των 50%**, της οποίας ο αντίστοιχος διεθνής όρος είναι **Lethal dose values (LD₅₀)**. Ουσιαστικά η παραπάνω έννοια αναφέρεται στην ποσότητα (ή στη συγκέντρωση) της τοξικής ουσίας, που απαιτείται για να προκληθεί ο θάνατος του 50% των πειραματόζων που μελετούνται. Οι μονάδες μέτρησης της LD₅₀ περιγράφεται σε ppm (parts per million) ανά γραμμάριο ή κιλό βάρους του πειραματόζωου (Κούγκολος, 2007).

Ένα εξίσου ενδιαφέρον μέτρο τοξικότητας αποτελεί η **ανώτατη μη δραστική συγκέντρωση (no observed effect concentration, NOEC)**. Το μέτρο αυτό αναφέρεται στην ποσότητα (ή στη συγκέντρωση) της (προς μελέτη τοξικής) ουσίας, η οποία δεν καθίσταται επιβλαβής, δηλαδή δεν προκαλεί κανενός είδους βλάβη στα πειραματόζωα (Κούγκολος, 2007).

Η ανώτατη μη δραστική συγκέντρωση αποτελεί σημαντικό μέτρο τοξικότητας, διότι χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της **ανώτατης επιτρεπτής ημερήσιας δόσης** και της **ανώτατης επιτρεπτής ημερήσιας πρόσληψης**, τα οποία είναι μέτρα που αποσκοπούν στην ποσοτική περιγραφή της τοξικότητας για την περίπτωση του ανθρώπου. Η ανώτατη επιτρεπτή ημερήσια δόση αφορά την αναγωγή της ανώτατης μη δραστικής συγκέντρωσης σε χρονική κλίμακα (ημέρα) και σε μονάδα βάρους του οργανισμού. Μετράται (μονάδα μέτρησης) σε mg/kg μάζας σώματος του πειραματόζωου. Από την ανώτατη επιτρεπτή ημερήσια δόση, με την εισαγωγή κάποιων συντελεστών ασφαλείας για την περίπτωση του ανθρώπου υπολογίζεται η ανώτατης επιτρεπτής ημερήσιας πρόσληψης. Πιο συγκεκριμένα θεωρείται ότι ο άνθρωπος είναι 10



φορές πιο ευαίσθητος από τα πειραματόζωα και εισάγεται στους υπολογισμούς και ένας δεκαπλάσιος ($\times 10$) συντελεστής υπέρ της ασφάλειας (Κούγκολος, 2007).

5.4. ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

5.4.1. ΟΙΚΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ

Όπως καθίσταται αντιληπτό, η τοξικολογία σήμερα αποτελεί επιστήμη με ευρύ αντικείμενο, το οποίο διευρύνεται με ρυθμό ανάλογο αυτού της τεχνολογικής προόδου. Η εν λόγω διεύρυνση έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία επιμέρους κλάδων τοξικολογίας, οι οποίοι εξειδικεύονται σε ορισμένα πεδία εφαρμογών. Ένας σχετικά πρόσφατος κλάδος (ο οποίος αναπτύχθηκε τα τελευταία 30-40 χρόνια) της τοξικολογίας, αλλά ευρέως γνωστός, είναι η **οικοτοξικολογία** (*ecotoxicology*). Η οικοτοξικολογία μελετά εκείνα τα αντικείμενα ενδιαφέροντος της τοξικολογίας, που αφορούν τα οικοσυστήματα. Επομένως, πρόκειται για τον επιστημονικό κλάδο της τοξικολογίας, ο οποίος αναφέρεται στις επιδράσεις των τοξικών ουσιών (υπό γενική έννοια) στους οργανισμούς του οικοσυστήματος (Κούγκολος, 2007).

Σε ό,τι αφορά τον τομέα των δομικών υλικών, δεν υφίσταται διαφοροποίηση των ισχυόντων περιορισμών μεταξύ τοξικότητας και οικοτοξικότητας για κάποιο δομικό προϊόν, από τη στιγμή που τα πορίσματα της οικοτοξικότητας για τις βιοκοινότητες και τα οικοσυστήματα αφορούν και τα ευρύτερα οικοσυστήματα. Επομένως, σε αντιστοιχία με τη δυσκολία απόκτησης πλήρους γνώσης πάνω στην τοξική δράση μιας ουσίας (και ειδικότερα ενός δομικού υλικού), υφίσταται δυσκολία και στην κατάρτιση βέβαιων πορισμάτων για την οικοτοξική δράση των δομικών υλικών (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

5.4.2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΟΙΚΟΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ

Οι παραπάνω δυσκολίες είναι δυνατόν να υπερσκελιστούν, σε σημαντικό ποσοστό, με τη βοήθεια της μελέτης (ή ανίχνευσης) χαρακτηριστικών, που συσχετίζονται με τις οικοτοξικές ιδιότητες και αποτελούν, έμμεσα, ενδείξεις (**δείκτες**) οικοτοξικότητας. Τέτοιους δείκτες, **συμπεριλαμβανομένης και της τοξικής δράσης**, αποτελούν τα παρακάτω χαρακτηριστικά (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005):



• η **κινητικότητα** της ουσίας στα διάφορα μέσα. Η κινητικότητα εξαρτάται από την ικανότητα διάλυσης της ουσίας σε υδατικό περιβάλλον (συνήθως νερό), τη **σχετική πυκνότητα του υγρού**, το **ιξώδες**, την **πίεση** και τη **σχετική πυκνότητα των ατμών**.

• ο **χρόνος παραμονής στο περιβάλλον** ή **χημική αδράνεια**. Ο χρόνος αυτός αποτελεί συνάρτηση της χημικής σταθερότητας, η οποία εξαρτάται από τη σταθερότητα των δεσμών (Wendehorst, 1981) της ουσίας, (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005) ή, γενικότερα, από τις φυσικοχημικές της ιδιότητες (Κούγκολος, 2007) και από τη δυνατότητα διάσπασης της ουσίας σε φυσικά περιβάλλοντα με διεργασίες που υφίσταται, όπως η οξείδωση, η φωτόλυση και η βιοαποικοδόμηση (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005, Κούγκολος, 2007).

• η **τάση βιοσυσσώρευσης** ή **βιοσυσσωρευτική τάση**, η οποία εξαρτάται, βασικά, από το χρόνο παραμονής στο περιβάλλον. Ο όρος **βιοσυσσώρευση** χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη δράση χημικών και μη ουσιών, οι οποίες έχουν την ιδιότητα να εναποτίθενται αθροιστικά, δηλαδή να συσσωρεύονται, στα μέρη της τροφικής αλυσίδας, δίχως να υπάρχει η δυνατότητα διάσπασης και απομάκρυνσής τους με φυσικό τρόπο. Η τελευταία φυσική ικανότητα, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ονομάζεται **βιοδιάσπαση** ή **βιοαποικοδόμηση** (Κουϊμτζής et al., 1998).

• η **τασιενεργός δράση**. Ο όρος τασιενεργός δράση (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005) αναφέρεται στην ιδιότητα ορισμένων ουσιών να μειώνουν την επιφανειακή τάση υγρών σωμάτων και να προσροφούνται στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ στερεών και υγρών. Γενικά αποτελούν ουσίες που ενυδατώνουν υδροφοφικές επιφάνειες. Οι ουσίες, για παράδειγμα, με μεγάλες τιμές τασιενεργού δράσης (ονομάζονται και **επιφανειοδραστικές**), όταν προστίθενται σε ένα υγρό εξασθενούν την επιφανειακή τους τάση.

Οι προαναφερόμενοι δείκτες (κινητικότητα, χρόνος παραμονής στο περιβάλλον, τασιενεργός δράση και τοξικότητα), όταν ξεπερνούν τις οριακές (κατά περίπτωση) τιμές ανοχής, αποτελούν ανεπιθύμητες ιδιότητες για το περιβάλλον. Ενδέχεται όμως, σε ορισμένες περιπτώσεις (στη χρήση τους στην κατασκευή), να είναι επιθυμητή η παρουσία τους (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Για παράδειγμα ιδιότητες όπως η μεγάλη κινητικότητα, η πτητικότητα (η ικανότητα εξάτμισης), η χημική αδράνεια και σταθερότητα, αποτελούν επιθυμητές



ιδιότητες για υλικά όπως οι διαλύτες (π.χ. χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, όπως διχλωρομεθάνιο) (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι ουσίες με υψηλές τιμές χημικής σταθερότητας (χρόνου παραμονής στο περιβάλλον) χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία των κατασκευών για τη σταθεροποίηση των υλικών (όπως η προστασία των υλικών από τα φαινόμενα της οξείδωσης και της διάβρωσης), για την απόδοση πυράντοχων (αντοχή σε φωτιά και υψηλές θερμοκρασίες) χαρακτηριστικών στο ξύλο και στα συνθετικά υλικά και για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων (όπως η ελαστικότητα, η πλαστιμότητα κ.ά.) στα συνθετικά προϊόντα, τις διαφανείς βαφές (βερνίκια) και τα υλικά σύνδεσης (κόλλες). Τέτοιου είδους ιδιότητες παρουσιάζουν τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB's), τα οποία εμφανίζουν, παράλληλα, χαρακτηριστικά βιοσυσσώρευσης, τοξικότητας, καρκινογένεσης και πρόκλησης φαινομένων μετάλλαξης.

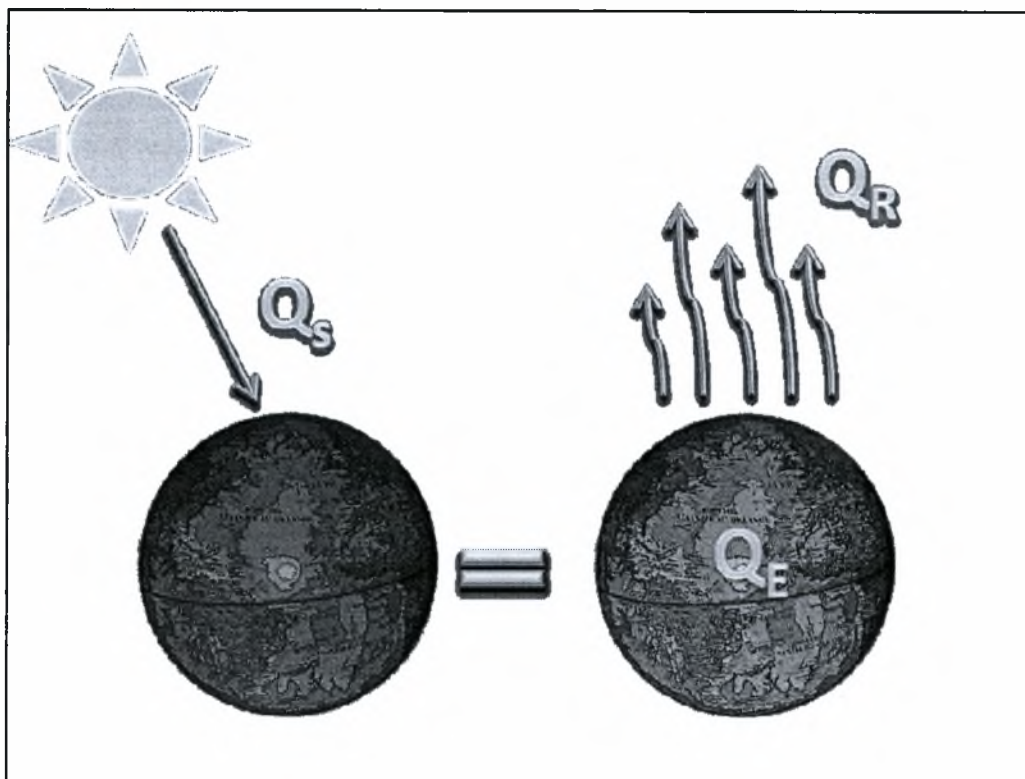
Επίσης ως προϊόντα που περιλαμβάνουν τασιενεργές ουσίες αποτελούν τα προϊόντα καθαρισμού και οι γαλακτοματοποιητές, τα οποία είναι ρευστά υλικά που χρησιμοποιούνται ως αναμεικτικά διαφορετικών υλικών, ως υλικά αύξησης του εργασίμου, ως μέσα διαστρωμάτωσης (για το διαχωρισμό των στρώσεων μεταξύ δυο υλικών). Γαλακτοματοποιητές χρησιμοποιούνται, για παράδειγμα, για την μείωση του ιξώδους (αύξηση της ρευστότητας ή γενικότερα αύξηση της εργασιμότητας) του σκυροδέματος και για τη βελτίωση των μηχανικών του αντοχών. Τέτοιες ουσίες αναφέρονται, ενδεικτικά, τα ορυκτέλαια (σε καθαρή μορφή ή πρόσθετα), τα γαλακτώματα ορυκτελαίου σε νερό και του νερού σε ορυκτέλαιο. Οι τασιενεργές ουσίες εμφανίζουν έντονη οικοτοξική δράση, ιδιαίτερα σε υδάτινο περιβάλλον, διότι προκαλούν μείωση των επιφανειακών υδάτινων τάσεων, με αποτέλεσμα να εξοντώνουν τους μικροοργανισμούς, οι οποίοι δρουν στην επιφάνειά του υδάτινου φορέα (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

5.4.3. ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η έννοια της **θερμικής ρύπανσης** αναφέρεται στη διατάραξη της, μέχρι πρόσφατα, υφιστάμενης ισορροπίας ανάμεσα στην ηλιακή, προσπίπτουσα στη γη, ακτινοβολία (δηλαδή στην ακτινοβολία που διέρχεται από τον ήλιο στη γη) και στην ανακλώμενη ακτινοβολία της γης (το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που εκπέμπει η γη πίσω) στο διάστημα. Οι δυο παραπάνω ενεργειακές δράσεις στην κατάσταση ισορροπίας που

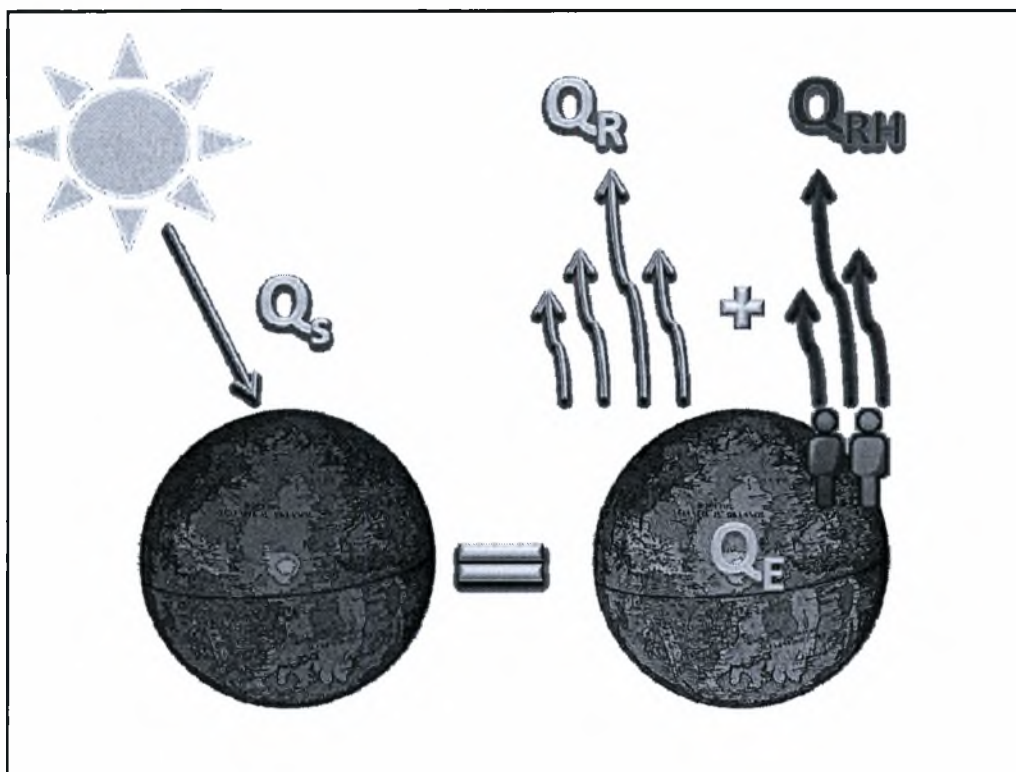


συνθέτους είναι γνωστές ως **ενεργειακό ισοζύγιο ηλιακής ακτινοβολίας** (σχήμα 10) ή **θερμικό ισοζύγιο** (Θεοχαράτος και Ιακωβίδης, 2000). Η δεδομένη θερμική ισορροπία του πλανήτη, δημιούργησε στο παρελθόν τις απαιτούμενες συνθήκες για το σχηματισμό και την ανάπτυξη της ζωής, με τη μορφή που τη γνωρίζουμε σήμερα.



Σχήμα 10. Θεματική απεικόνιση του παγκόσμιου θερμικού ισοζυγίου, όπου Q_s =η προσπίπτουσα από τον ήλιο θερμότητα, Q_E =η απορροφημένη από τη γη θερμότητα, Q_R =η ανακλώμενη θερμότητα από τη γη στο διάστημα εξαιτίας των φυσικών διεργασιών (Απόδοση: Δημήτρης Τσιώτας)

Στο πρόσφατο παρελθόν, το οποίο σηματοδοτήθηκε από τη βιομηχανική επανάσταση και έπειτα, η έντονη ανθρωπογενής δραστηριότητα παραγωγής ενέργειας παρενέβη στην εν λόγω ισορροπία, προκαλώντας μια μετατόπιση. Η μετατοπισμένη ενεργειακή κατάσταση αποτελεί ένα καινούριο ενεργειακό ισοζύγιο, δηλαδή μια νέα ισορροπία, στην οποία έχει συνυπολογιστεί η ανθρωπογενής ενεργειακή δραστηριότητα. Η ενεργειακή μετατόπιση αυτή, η οποία ανιχνεύεται στις μέρες μας, καλείται **θερμική ρύπανση** (σχήμα 11). Η θερμική ρύπανση αποτελεί τη μετατροπή της ενέργειας με υψηλό θερμικό περιεχόμενο (εντροπία) σε μη αξιοποιήσιμη ενέργεια (θερμότητα) εξαιτίας των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, οι οποίες συνεπάγονται τις αυτονόητες ενεργειακές απώλειες, βασικά εξαιτίας των τριβών (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



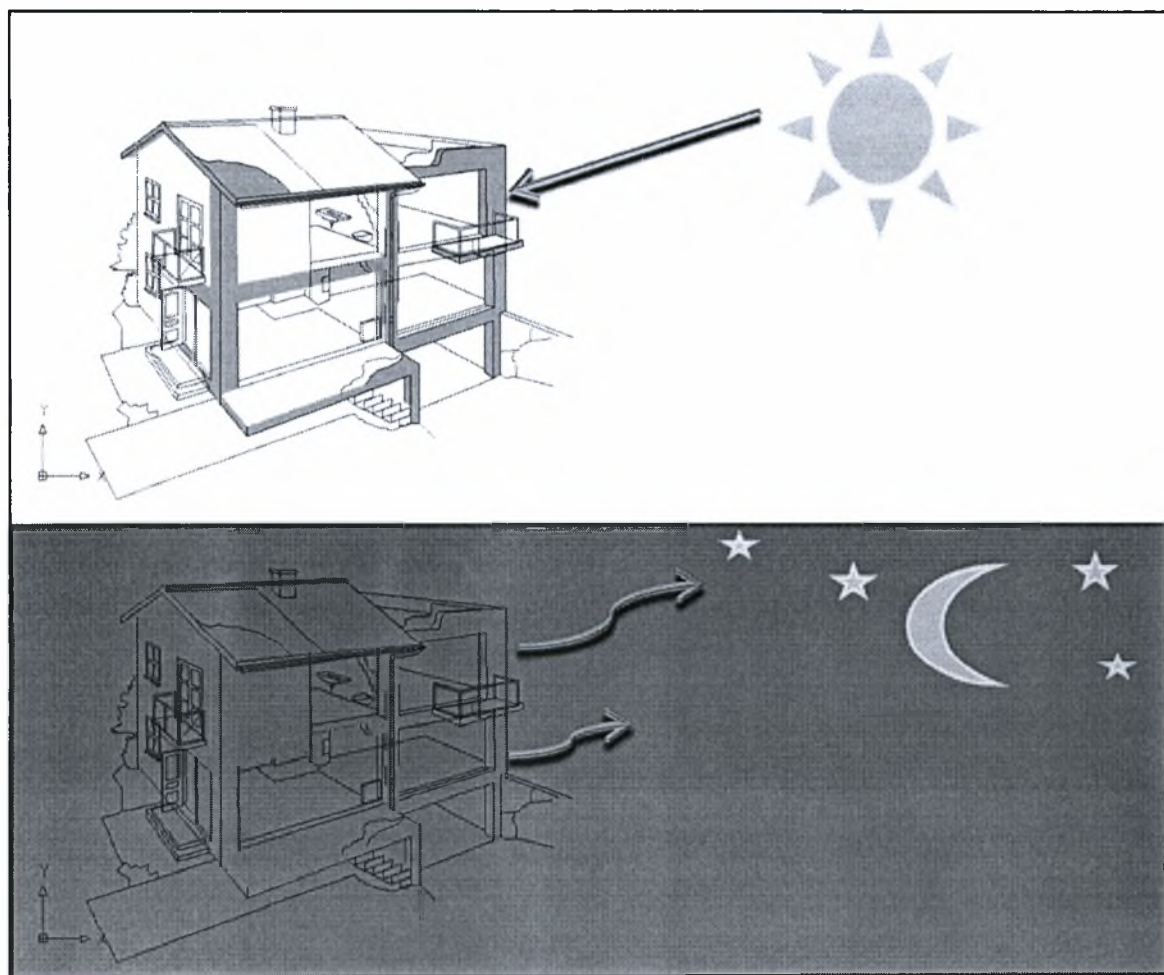
Σχήμα 11. Θεματική απεικόνιση του μετατοπισμένου παγκόσμιου θερμικού ισοζυγίου. Συμβολίζονται όπου Q_S =η προσπίπτουσα από τον ήλιο θερμότητα, Q_E =η απορροφημένη από τη γη θερμότητα, Q_R =η ανακλώμενη θερμότητα από τη γη στο διάστημα εξαιτίας των φυσικών διεργασιών και Q_{RH} =η ανακλώμενη θερμότητα από τη γη στο διάστημα εξαιτίας των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (Απόδοση: Δημήτρης Τσιώτας)

Στην περίπτωση που η εκπομπή θερμικής ενέργειας προέρχεται από τις δομημένες μάζες, που είναι συγκεντρωμένες στις αστικές περιοχές, τότε το φαινόμενο που προκαλείται είναι γνωστό ως **θερμική νησίδα**. Το φαινόμενο της θερμικής νησίδας ερμηνεύει τη συμπεριφορά των υλικών μεγάλης θερμοχωρητικότητας, τα οποία αποθηκεύουν στη μάζα τους τη θερμική ενέργεια του ηλίου (κατά τη διάρκεια της ημέρας) και την εκπέμπουν πίσω στο περιβάλλον (κατά τη διάρκεια της νύχτας) όταν το αίτιο θέρμανσης (ήλιος) σταματά να δρα. Η παραπάνω διαδικασία, λαμβάνοντας υπόψη τις εκτεταμένες δομημένες επιφάνειες του πλανήτη, διαταράσσει το παγκόσμιο θερμικό ισοζύγιο. Τα υλικά, που συμβάλλουν στη θερμική νησίδα, λειτουργούν κατά αντίστοιχο τρόπο με τους συσσωρευτές (μπαταρίες) και ονομάζονται **θερμοαποθήκες** (σχήμα 12). Πρέπει να σημειωθεί ότι, η δράση της εκπομπής της αποθηκευμένης θερμότητας λαμβάνει χώρα και την ημέρα, αλλά σε αμελητέα μεγέθη (χωρίς να διαταράσσεται το



θερμικό ισοζύγιο), διότι το θερμαντικό αίτιο (ήλιος) συμπληρώνει τις θερμικές απώλειες (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Εκτός από τα υλικά, συμπεριφορά θερμοαποθήκης εμφανίζει και η ίδια η γη, διότι τη διάρκεια της νύχτας αποβάλλει το ποσό της (ηλιακής) ενέργειας που δεν καταναλώθηκε με ωφέλιμο τρόπο. Όμως, η εν λόγω θερμική συμπεριφορά της γης, όντας φυσικά ρυθμιζόμενη διεργασία, καθίσταται ουδέτερη ως προς το θερμικό ισοζύγιο (δεν προκαλεί μετατοπίσεις στη δεδομένη θερμική ισορροπία). Οι ενεργοβόρες ανθρωπογενείς δραστηριότητες (συμπεριλαμβανομένων και αυτών της κατασκευής) συμβάλουν στην αύξηση της θερμότητας του πλανήτη, η οποία (εφόσον δεν καθίσταται εφικτό να δραπετεύσει προς το διάστημα παγκοσμίως) ενδέχεται να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα κλιματικών αλλαγών (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

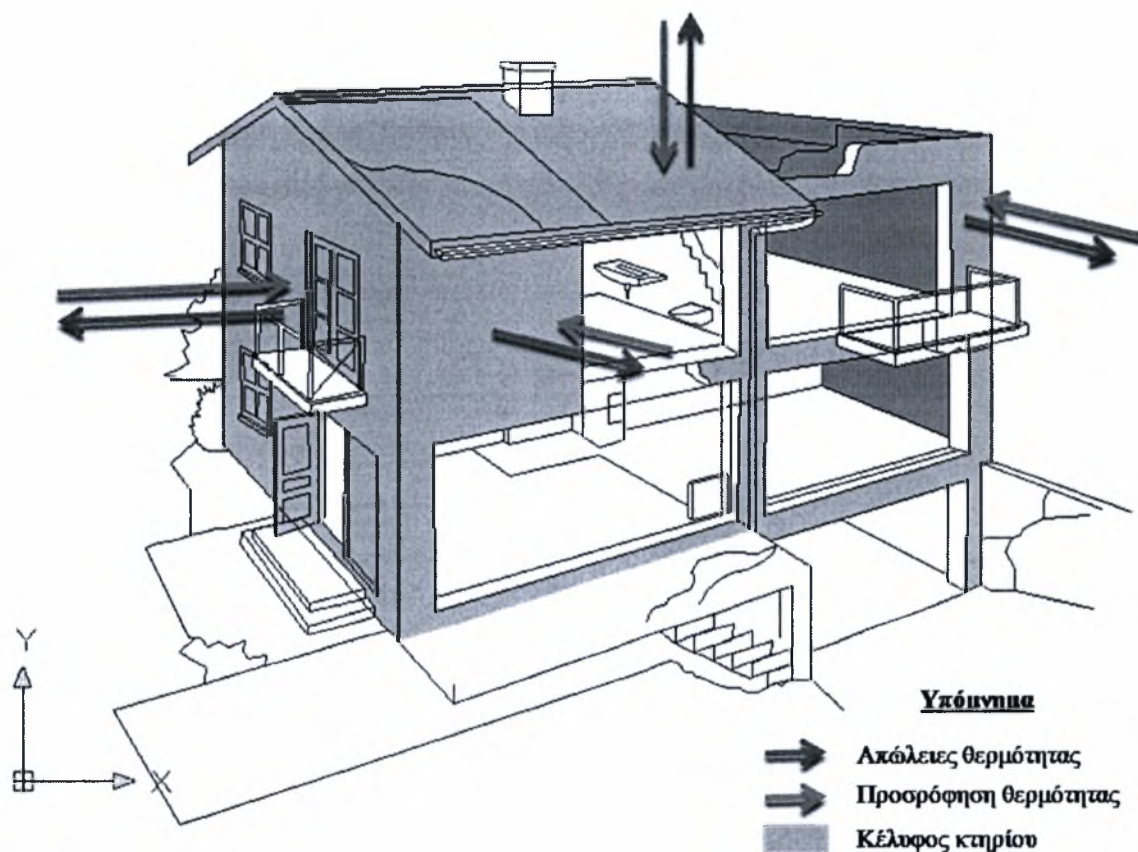


Σχήμα 12. Σχηματική αναπαράσταση του φαινομένου της θερμικής νησίδας. Τα υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας αποθηκεύουν τη θερμική ενέργεια του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας και την εκπέμπουν στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της νύχτας (σχεδίαση: Δημήτρης Τσιώτας).



5.4.3.1. Η ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Το κτίριο, αποτελώντας έναν οργανισμό με ενσωματωμένα (διαφορετικών ειδών) δομικά υλικά, μπορεί να θεωρηθεί ως σώμα το οποίο έχει μια συνολική θερμική αγωγιμότητα (η οποία εξαρτάται από τη συνδυασμένη δράση των θερμικών αγωγιμοτήτων των επιμέρους υλικών). Όταν το κτίριο θερμαίνεται, κατά το μηχανισμό που απεικονίζεται σχηματικά στο σχήμα 12, αποβάλλει θερμική ενέργεια στο περιβάλλον από τις επιφάνειες που εκτίθενται σε άμεση επαφή με τον εξωτερικό περιβάλλοντα χώρο (ατμοσφαιρικός αέρας, έδαφος). Οι επιφάνειες αυτές, αποτελούν το *υλικό περίβλημα του κτιρίου*, το οποίο ονομάζεται *κέλυφος* (σχήμα 13) (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



Σχήμα 13. Σχηματική αναπαράσταση του κελύφους ενός τυπικού κτηρίου και των θερμικών αλληλεπιδράσεών του με το περιβάλλον (σχεδίαση: Δημήτρης Τσιώτας).

Το κέλυφος ενός κτιρίου, αποτελεί *ιδεατή υλική επιφάνεια*, η οποία δεν αποτελείται από ένα μόνο δομικό υλικό. Για παράδειγμα, σε ένα τυπικό κτήριο το κέλυφός του αποτελείται από τις επιφάνειες της επιστέγασής του (την κεραμοσκεπή, ή την πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα του δώματος ή την επίστρωση της μόνωσης αν



διατίθεται) από τις επιφάνειες εξωτερικής πλαγιοκάλυψης (οι οποίες ενδέχεται να είναι από οπτοπλινθοδομή, από ξηρά δόμηση, από ξυλεία, από αλουμίνιο, από συνθετικά πετάσματα τύπου πάνελ κλπ) και τις επιφάνειες της θεμελίωσης (συνήθως αποτελούμενες από φέροντα υλικά, όπως σκυρόδεμα ή λίθους). Όπως γίνεται αντιληπτό η επιλογή των υλικών κατασκευής ενός κτιρίου διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη θερμική και ενεργειακή και, συνεπώς, στην οικολογική συμπεριφορά του κτιρίου (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Ως απόρροια των νόμων της θερμοδυναμικής προκύπτει το συμπέρασμα ότι η θερμική συμπεριφορά του κτιρίου εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κελύφους του και μάλιστα σε θετική αναλογία. Δηλαδή, ένα κτίριο με μεγάλη επιφάνεια κελύφους θα εμφανίζει περισσότερες θερμικές απώλειες (μη αξιοποιημένη ενέργεια που αποβάλλεται) στο περιβάλλον (σχήμα 13). Στην κτιριοδομία έχουν αναπτυχθεί τεχνικές με ενσωμάτωση στην κατασκευή υλικών με επιθυμητά μικρή τιμή θερμικής αγωγιμότητας (ή διαφορετικά που εμφανίζουν **θερμική αντίσταση**), τα οποία τοποθετούνται στο κελύφους και μειώνουν τις θερμικές απώλειες. Τα υλικά αυτά είναι γνωστά ως **θερμομονωτικά υλικά** (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Η επιλογή θερμομονωτικών υλικών για την ενσωμάτωσή τους στην κατασκευή αποτελεί μια ενδεδειγμένη τεχνικά λύση, η οποία έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στο παρελθόν. Ο τοποθέτηση των κατάλληλων θερμομονωτικών υλικών σε πάσχουσες ή εκτεθειμένες επιφάνειες του κελύφους ελέγχει την θερμική συμπεριφορά αυτού και περιορίζει τις θερμικές απώλειες. Τα θερμομονωτικά υλικά εγκαθίστανται εντός ή εκτός του κελύφους του κτιρίου και το θωρακίζουν από τις ανεξέλεγκτες απώλειες θερμότητας. Η επιλογή θερμομονωτικών υλικών στη δόμηση, αποτελεί την πρώτη και δημοφιλέστερη επιλογή, που διαθέτει ο μηχανικός στο οπλοστάσιό του για την αντιμετώπιση των θερμικών απωλειών, αλλά όχι τη μοναδική. Οι αρχές της οικονομικότητας των κατασκευών, της περιβαλλοντικής ευαισθησίας και της αειφόρου δόμησης έχουν παρακινήσει το ερευνητικό ενδιαφέρον των επιστημόνων στην αρχιτεκτονική και στην κτιριοδομία, ώστε να σήμερα να υφίσταται ένας αυτόνομος επιστημονικός κλάδος, ο οποίος μελετά την ενεργειακή αξιοποίηση στο σχεδιασμό των κατασκευών με εναλλακτικές μεθόδους και τεχνικές, φιλικές προς το περιβάλλον, η **βιοκλιματική αρχιτεκτονική**. Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική, ως νοοτροπία δόμησης, βρίσκει σποραδική εφαρμογή ήδη από την αρχαιότητα (τότε, που η βέλτιστη αξιοποίηση των



περιβαλλοντικών ενεργειακών διαδράσεων αποτελούσε ανάγκη και όχι τεχνική επιλογή), αλλά μόλις πρόσφατα έχει καθιερωθεί ως επιστημονικός κλάδος για τον ενεργειακό σχεδιασμό του κτιρίου (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Όπως προαναφέρθηκε, τα δομικά υλικά, τα οποία συνιστούν το κέλυφος ενός κτιρίου, ανάλογα με τις θερμικές τους ιδιότητες, δύνανται να λειτουργήσουν ως **θερμοαποθήκες**. Αν η παραπάνω ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας των υλικών εκφραστεί συνολικά, για όλο το κτίριο, τότε το μέγεθος που προκύπτει για τη μέτρηση αυτής της (θερμοαποθηκευτικής) ικανότητας καλείται **θερμική μάζα του κτηρίου**. Η θερμική μάζα του κτιρίου συνήθως δεν διαφοροποιείται από τη μάζα του κελύφους του, η οποία περιλαμβάνει τη μάζα των δαπέδων, των τοιχοδομών και των οροφών. Το μέγεθος της θερμικής μάζας, πλέον των θερμικών ιδιοτήτων των δομικών υλικών που την απαρτίζουν, εξαρτάται επίσης και από τη μορφή του κτιρίου (σχήμα, γεωμετρικά χαρακτηριστικά) και το γεωγραφικό προσανατολισμό του. Η θερμική μάζα του κτιρίου αποτελεί το βασικό παράγοντα δημιουργίας του φαινομένου της θερμικής νησίδας (απορρόφηση θερμότητας κατά τη διάρκεια της μέρας και αποβολή της κατά τη νύχτα). Τέλος, μέτρο της «ικανότητας» της θερμικής μάζας αποτελεί η ημερήσια θερμοχωρητικότητα, η οποία αναφέρεται στη θερμοχωρητικότητα ενός δομικού υλικού σε ημερήσια κλίμακα (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι υλικά με μεγάλη θερμική μάζα αποτελούν το νερό, οι φυσικοί λίθοι, το έδαφος, το σκυρόδεμα και τα προϊόντα οπτής αργίλου, όπως είναι οι οπτόπλινθοι και τα κεραμικά (πίνακας 8).

Πίνακας 8. Θερμική μάζα διαφόρων υλικών (Πηγή: Κορωναίος και Σαργέντης, 2005, απόδοση πίνακα: Δημήτρης Τσιώτας)	
Υλικό	Θερμική μάζα $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$
Νερό	4186
Σκυρόδεμα	2060
Συμπαγή εδαφικά υλικά	1740
Οπτόπλινθοι	1360

Το κτίριο κατά τη χρήση του καταναλώνει μεγάλα ποσά ενέργειας. Η εν λόγω ενέργεια αποτελεί τη σημαντικότερη, ίσως, παράμετρο της συμπεριφοράς του κτιρίου



απέναντι στο περιβάλλον. Εκτιμάται, με δεδομένες τις σύγχρονες χρήσεις ενός κτιρίου, ότι η ενέργεια που καταναλώνει ένα τυπικό κτίριο κατά τη διάρκεια ενός αιώνα είναι πέντε φορές μεγαλύτερη από το σύνολο της ενσωματωμένης ενέργειας των επιμέρους υλικών που συνιστούν την κτιριακή κατασκευή (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι, η **μακροπρόθεσμη ενεργειακή συντήρηση του κτιρίου** αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα για την αειφόρο και οικολογική κατασκευή, το οποίο διαπραγματεύεται περισσότερο με τα πορίσματα των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών που εγκαθίστανται στο κτίριο. Οι θερμικές αλληλεπιδράσεις, οι οποίες συνίστανται στις ανταλλαγές ακτινοβόλου ενέργειας του κτιρίου με τον ήλιο και το περιβάλλον, είναι κρίσιμες και επηρεάζονται από τη θερμική μάζα των υλικών. Οι σωστοί συνδυασμοί θερμικής μόνωσης, θερμικής μάζας και ο επαρκής σχεδιασμός, υγραμόνωσης και αερισμού αποτελούν βασικές συνιστώσες επιμήκυνσης της διάρκειας ζωής της κατασκευής υπό τη σκέπη των βικλιματικών επιταγών (Page, 1974).

5.4.4. Η ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η βιομηχανική παραγωγή των δομικών υλικών, είναι μια διαδικασία, η οποία απαιτεί τη δαπάνη ποσοτήτων ενέργειας. Η παραπάνω θέση καθίσταται αυταπόδεικτη, άλλωστε, κάτω από την περιγραφή του μεγέθους της ενσωματωμένης ενέργειας, που παρουσιάστηκε παραπάνω. Το ποσό της απαιτούμενης ενέργειας για την παραγωγή ενός δομικού υλικού, αποτελεί **ένα έμμεσο μέτρο των επιπτώσεων, που προκαλεί το υλικό αυτό στο περιβάλλον**. Η ενσωματωμένη ενέργεια συνδέεται, όμως, με την **καύση των πρώτων υλών**, οι οποίες αναλώνονται για την παραγωγή ενέργειας και **με την εκπομπή των αερίων**, τα οποία αποτελούν τα προϊόντα της καύσης και βασικότερο εκ των οποίων είναι το διοξείδιο του άνθρακα (*carbon dioxide, CO₂*).

Η ποσότητα του CO₂ στην ατμόσφαιρα (με εξαίρεση την εκπομπή της ποσότητας CO₂ που οφείλεται στην ανθρώπινη δράση) ρυθμίζεται με φυσικό τρόπο (η φυσική ποσότητα μπορεί να θεωρηθεί ως το ισοζύγιο του CO₂ στον πλανήτη) και αποτελεί απόρροια των διεργασιών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά τους βιολογικούς κύκλους (όπως είναι για παράδειγμα η αναπνοή των θηλαστικών και η φωτοσύνθεση). Οι εν λόγω ποσότητες του CO₂, ανεξαρτήτως αν παρουσιάζονται αυξομειούμενες στο ρου της ιστορίας, θεωρούνται ουδέτερες ποσότητες για το περιβάλλον. Για παράδειγμα (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005), μέχρι την περίοδο πριν τη βιομηχανική επανάσταση,



η ανακύκλωση του άνθρακα στη φύση καθίσταται σχεδόν τέλεια και ο κύκλος του σταθερός. Σε προηγούμενες, αντίθετα, γεωλογικές περιόδους ο κύκλος του άνθρακα δεν ήταν τέλειος, με αποτέλεσμα τη μείωση του αερίου CO₂ στην ατμόσφαιρα και την αύξηση των αποθηκευμένων ποσοτήτων του CO₂ στο έδαφος.

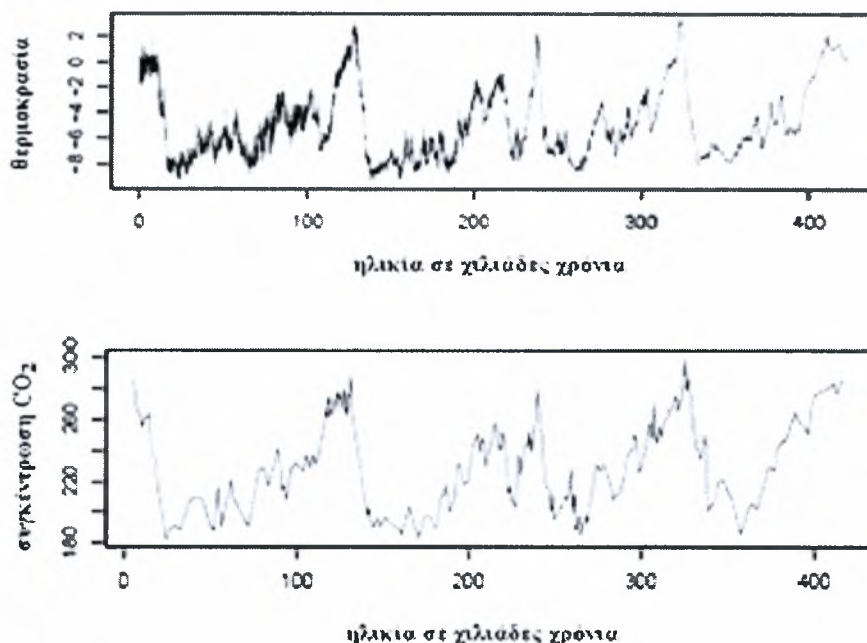
Οι επιπλέον ποσότητες CO₂, οι οποίες οφείλονται στις *ανθρωπογενείς δράσεις* (Τερκενλής et al., 2007), συνιστούν ποσά, που *δύνανται να θεωρηθούν ρύποι* για το περιβάλλον και ενδέχεται να διαταράξουν τους φυσικά καθορισμένους κύκλους (Κούγκολος, 2007). Η μέτρηση, επομένως, των επιπρόσθετων ποσών CO₂ δύναται να περιγράψει και να μετρήσει το μέγεθος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, να αποτελέσει δηλαδή *δείκτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων* (Singh & Kumar, 1997).

Ενδεικτικά, αναφέρεται ένα παράδειγμα στατιστικής επεξεργασίας της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα, με σκοπό τη μελέτη της πρόσφατης θέρμανσης, η οποία καταγράφεται παγκοσμίως. Η εν λόγω μελέτη αποσκοπούσε να απαντήσει στο αν οι αυξημένες συγκεντρώσεις CO₂ συνιστούν όντως σε κλιματική αλλαγή ή αποτελούν απλά ένα τυχαίο φαινόμενο διαχρονικής κυκλικότητας. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τα παγόβουνα, διότι οι συγκεντρώσεις, σε αυτά, CO₂ και δευτερίου είναι δυνατό να προσφέρουν ένα πολύτιμο πολυετές αρχείο θερμοκρασίας – συγκεντρώσεων CO₂ του πλανήτη (Wood, 2008).

Οι φυσαλίδες του αέρα, οι οποίες έχουν παγιδευτεί στο παρελθόν μέσα στον πάγο του παγόβουνου έχουν, κατά προσέγγιση, την ίδια ηλικία με το παγόβουνο (στην πραγματικότητα είναι λίγο νεότερες, δεδομένου ότι οι φυσαλίδες διαφεύγουν αρχικά μέχρι να καλοσχηματιστεί το παγόβουνο και να τις εγκλωβίσει κάτω από την επιφάνειά του). Η ανάλυση των φυσαλίδων περιγράφει την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO₂ στο χρόνο που διαμορφώθηκε ο πάγος. Ο πάγος μπορεί επίσης, μέσω της μελέτης των εγκλωβισμένων ποσοτήτων δευτερίου, να παράσχει πληροφορίες για τη διαχρονική πορεία της θερμοκρασίας του αέρα (της ατμόσφαιρας) κατά την περίοδο σχηματισμού του. Το δευτέριο είναι σωματίδιο ελεύθερο στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα η περιεκτικότητα σε δευτέριο του πάγου να δίνει τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας όταν διαμορφώθηκε ο πάγος. Στο σταθμό της Βοστόκ, στην Ανταρκτική πραγματοποιήθηκε ανάλυση σε παγόβουνο 4Km βάθους και έχει συγκεντρωθεί αρχείο με τα εν λόγω δεδομένα. Από τα δεδομένα αυτά, είναι δυνατό να αναδημιουργηθούν οι θερμοκρασίες



στην ανταρκτική ατμόσφαιρα και οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις CO₂, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 414.000 ετών (γράφημα 15) (Wood, 2008).

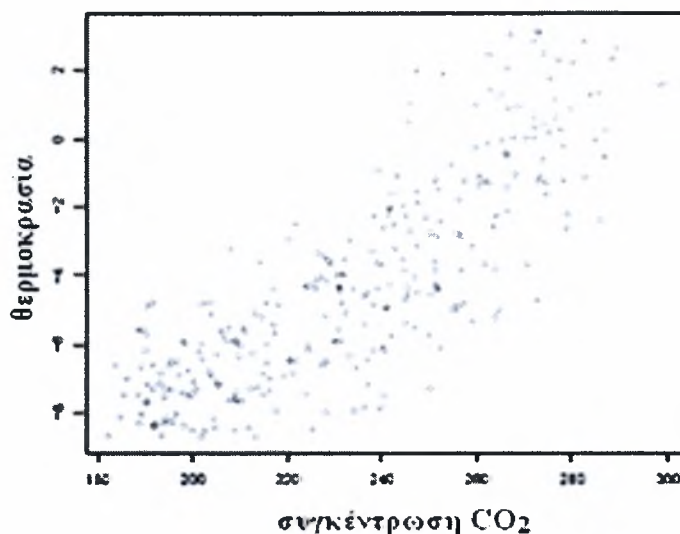


Γράφημα 15. Χρονογραφήματα θερμοκρασίας - συγκεντρώσεων CO₂ του πλανήτη για τα τελευταία 414.000 χρόνια (πηγή: Wood, 2008).

Παρατηρώντας τα γραφήματα διαπιστώνει κανείς, αρχικά, ότι οι συγκεντρώσεις του CO₂ δεν ξεπερνούν τη σημερινή τιμή των 360ppm, για όλη τη διάρκεια των τελευταίων 414.000 χρόνων, πράγμα που τεκμαίρει ότι **η παγκόσμια αύξηση των συγκεντρώσεων του CO₂ είναι γεγονός** και όχι απαισιόδοξη σενarioλογία (εικόνα 1). Έπειτα, παρατηρείται ότι πράγματι υφίσταται (θετική) συσχέτιση μεταξύ συγκεντρώσεων CO₂ και θερμοκρασίας, όπως φαίνεται στο διάγραμμα διασποράς του γραφήματος 16 (Wood, 2008).

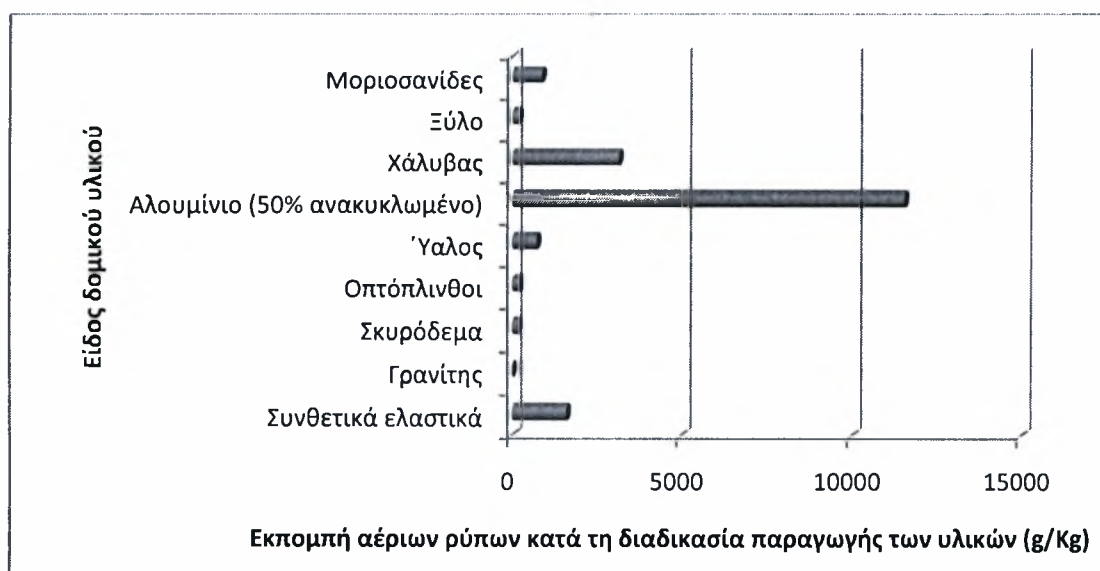


Εικόνα 1. Χαρακτηριστική γελοιογραφία που καυτηριάζει το φαινόμενο της παγκόσμιας θέρμανσης του πλανήτη (Πηγή: Woolley et al., 1997, μετάφραση: Δημήτρης Τσιώτας).



Γράφημα 16. Διάγραμμα διασποράς (scatter plot) το οποίο απεικονίζει τη θετική συσχέτιση θερμοκρασίας και συγκεντρώσεων CO₂ (πηγή: Wood, 2008).

Με δεδομένες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (αύξηση της θερμοκρασίας) που φαίνεται να προκαλούνται από την αύξηση των συγκεντρώσεων του CO₂ στην ατμόσφαιρα του πλανήτη, καθίσταται αναγκαία η παρακολούθηση των εκπομπών διοξειδίου κατά την παραγωγή των δομικών υλικών (γράφημα 17, εικόνα 2). Τα υλικά, τα οποία κατά την παραγωγή τους εκπέμπουν μικρές ποσότητες CO₂, δύνανται να θεωρηθούν οικολογικά και να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό πράσινης δόμησης (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



Γράφημα 17. Ραβδόγραμμα εκπομπής αέριων ρύπων (CO₂) κατά τη διαδικασία παραγωγής των δομικών υλικών (Πηγή: Κορωναίος και Σαργέντης, 2005, απόδοση γραφήματος: Δημήτρης Τσιώτας).



Για την ενίσχυση της θέσης ότι η ενσωματωμένη ενέργεια συνδέεται με την εκπομπή ρύπων πραγματοποιήθηκε (στο πλαίσιο εκπόνησης της εργασίας) η μαθηματική συσχέτιση των διατιθέμενων τιμών **ενσωματωμένης ενέργειας** (σε MJ/kg) και **εκπομπής αέριων ρύπων** (σε g/kg), με τα δεδομένα των διατιθέμενων πηγών (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005). Συγκροτήθηκε ο συγκριτικός πίνακας των τιμών (πίνακας 9), υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης (Κιόχος, 1993, Μαχαίρα και Μπόρα, 1998) των δυο μεταβλητών (πίνακας 10) και προσαρμόστηκε γραμμή παλινδρόμησης (Κιόχος, 1993, Μαχαίρα και Μπόρα, 1998) στα δεδομένα (γράφημα 18). Παρόλο το μικρό μέγεθος του δείγματος, καθίσταται φανερή η συσχέτιση των δυο μεγεθών.

Πίνακας 9.

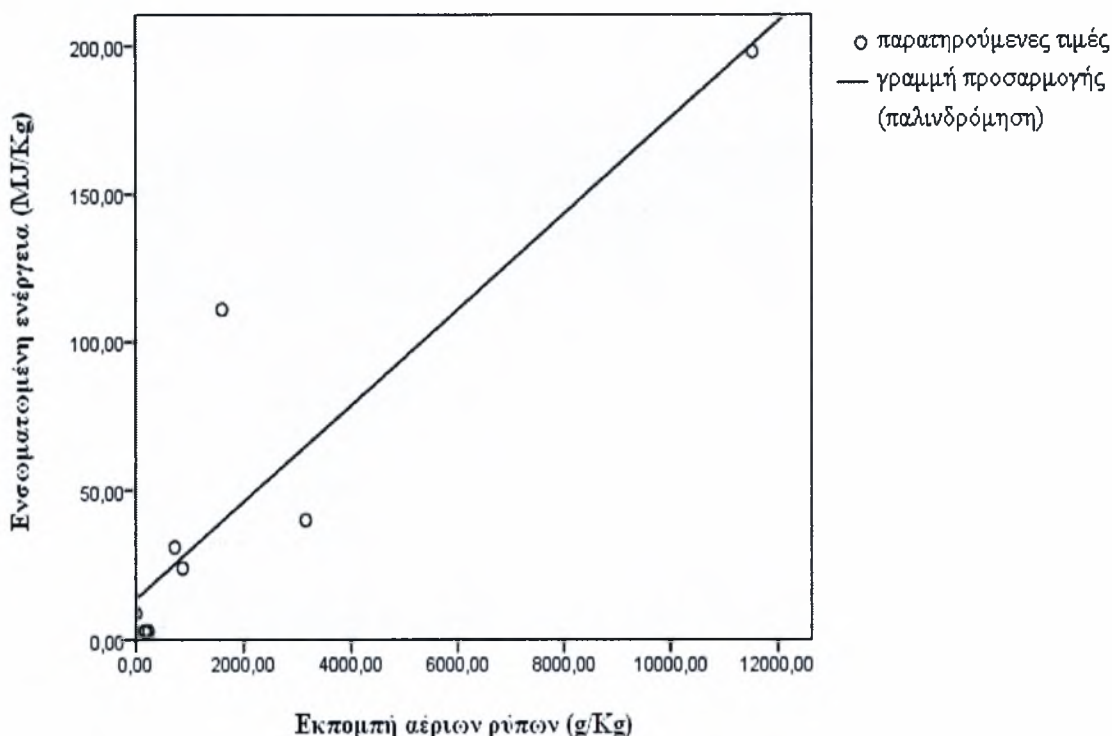
Συγκριτικός πίνακας τιμών ενσωματωμένης ενέργειας και εκπομπών αέριων ρύπων για συνήθη δομικά υλικά
(Πηγή: Κορωναίος και Σαργέντης, 2005, απόδοση πίνακα:
Δημήτρης Τσιώτας)

	Ενσωματωμένη ενέργεια (MJ/Kg)	Εκπομπή αέριων ρύπων (g/Kg)
Ξυλεία	3	186
Συνθετικά ελαστικά	111	1604
Γρανίτες	9	0
Σκυρόδεμα	3	158
Οπτόπλινθοι	3	235
Ύαλος	31	722
Αλουμίνιο	198	11530
Χάλυβας	40	3152
Μοριοσανίδες	24	871

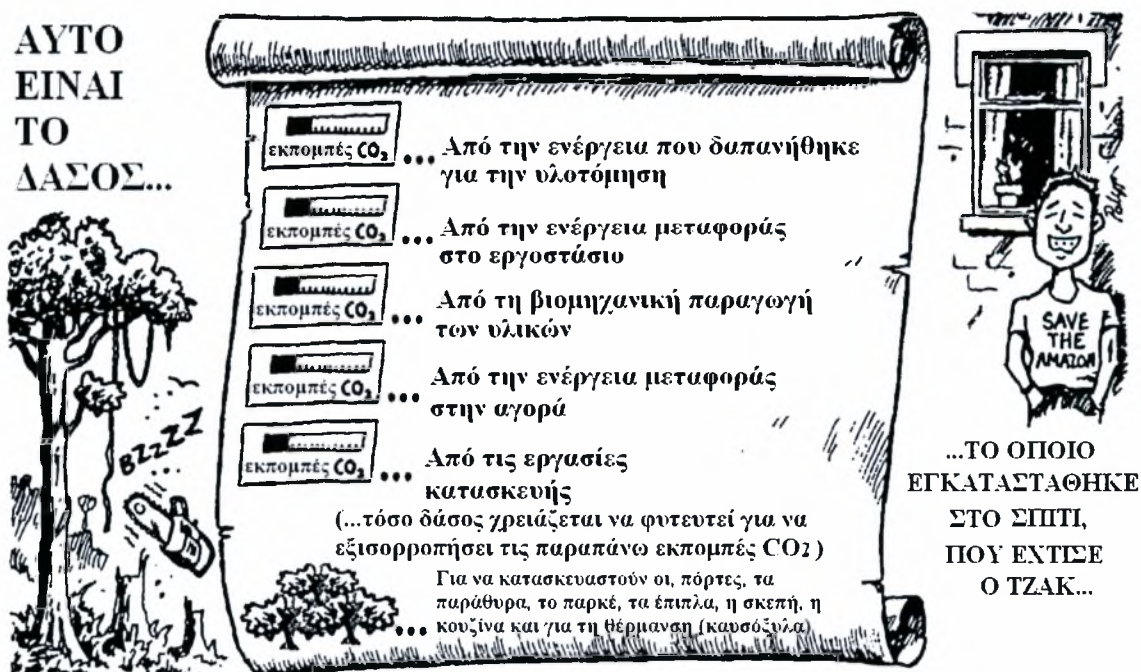
Πίνακας 10.

Πίνακας συντελεστή προσδιορισμού για τη γραμμική προσαρμογή
στα δεδομένα του πίνακα 9
(υπολογιστική εφαρμογή: Δημήτρης Τσιώτας)

R	R ²	Προσαρμοσμένο R ²	Τυπικό σφάλμα εκτίμησης
,905	,819	,793	30,113



Γράφημα 18. Η προσαρμογή γραμμής παλινδρόμησης στα δεδομένα του πίνακα 9 (εφαρμογή: Δημήτρης Τσιώτας).



Εικόνα 2. Χαρακτηριστική γελοιογραφία, η οποία προκαλεί προβληματισμό πάνω στο θέμα των εκπομπών CO₂ που διοχετεύονται στο περιβάλλον για την κατασκευή ενός κτιρίου (Πηγή: Woolley et al., 1997, ελεύθερη απόδοση - μετάφραση: Δημήτρης Τσιώτας).



5.4.5. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το *φαινόμενο του θερμοκηπίου* (*greenhouse effect*) είναι ένα φαινόμενο κλιματικής αλλαγής, το οποίο οφείλεται στην αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) εξαιτίας των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Ένα μεγάλο ποσοστό της ανακλώμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας (σχήμα 14), που εκπέμπεται από τη Γη, απορροφάται από το CO_2 της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να «εγκλωβίζεται» ένα σημαντικό ποσοστό ενέργειας που θα έπρεπε να διαφύγει στα ανώτερα στρώματα. Αυτή η διατάραξη του ισοζυγίου της ακτινοβολούμενης ενέργειας έχει αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη (Κούγκολος, 2007).



Σχήμα 14. Σχηματική απόδοση του φαινομένου του θερμοκηπίου (σχεδίαση: Δημήτρης Τσιώτας).

Η κλασσική ερμηνεία της θέρμανσης ενός τεχνητού θερμοκηπίου συνδέεται με τις φασματικές ιδιότητες του υλικού του κελύφους, από το οποίο είναι φτιαγμένο το θερμοκήπιο (γυαλί, πολυμερή υλικά κλπ). Είναι επιθυμητό, το υλικό των τοιχωμάτων του να επιτρέπει την είσοδο της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (υπεριώδης) για τη θέρμανση του εδάφους και να απορροφά την ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (υπέρυθρη), ώστε να είναι δυνατό να την επανεκπέμπει πίσω στο έδαφος (Θεοχαράτος και Ιακωβίδης, 2000).



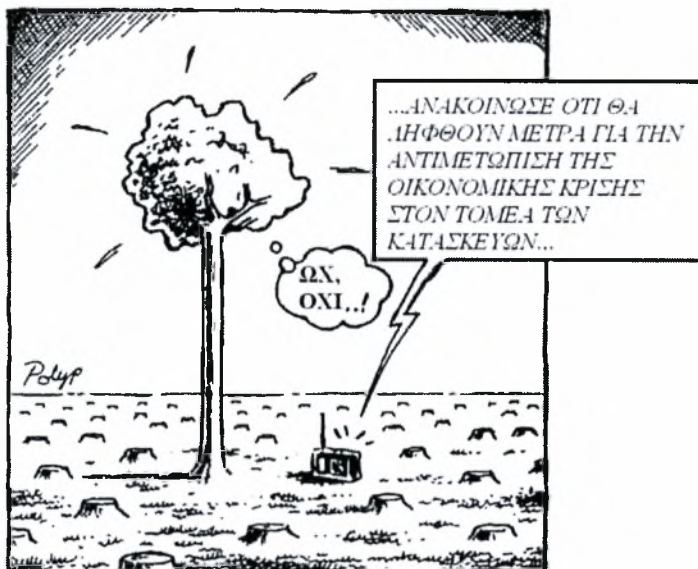
Τα διάσπαρτα στην ατμόσφαιρα αέρια (τα οποία ως κατά το πλείστον περιλαμβάνουν CO₂) δρουν κατ' αντίστοιχο τρόπο με τα υλικά του κελύφους ενός θερμοκηπίου, απορροφώντας σε μεγάλο ποσοστό την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, η οποία ανακλάται από τη γη προς το διάστημα. Η παραπάνω δράση των αερίων θερμοκηπίου (Κούγκολος, 2007) εμποδίζει τη διαφυγή της ανακλώμενης από τη γη ηλιακής ενέργειας (γενικότερα θερμότητας), με αποτέλεσμα η «παγιδευμένη» ακτινοβολία να επανεκπέμπεται στη γη και να προκαλεί επιπλέον θέρμανσή της (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

5.4.6. Η ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

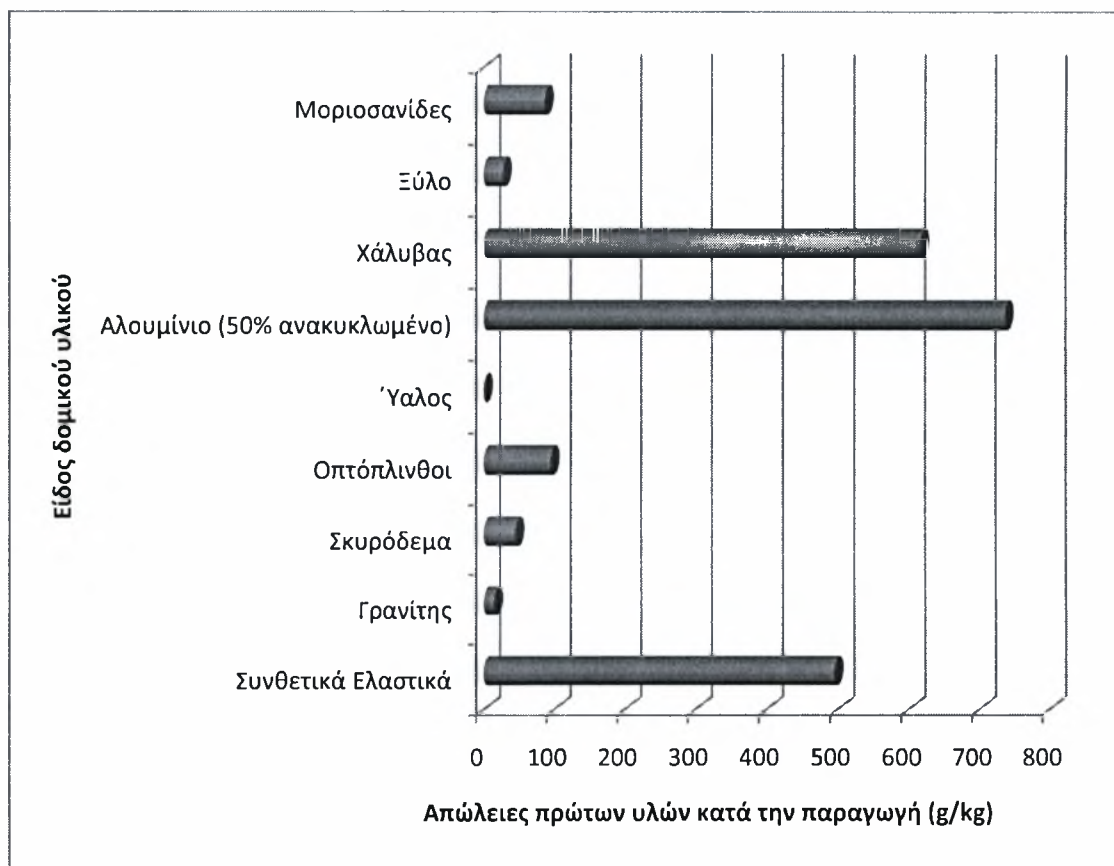
Όπως προαναφέρθηκε ο τομέας των κατασκευών απορροφά το 40% των αδρανών υλικών και άμμου και το 25% του παρθένου ξύλου, τα οποία εξορύσσονται και υλοτομούνται ετησίως σε παγκόσμιο επίπεδο. Επίσης οι κτιριακές κατασκευές απορροφούν το 40% της παραγόμενης ενέργειας και το 16% του υδάτινου αποθέματος που παράγεται ετησίως στον πλανήτη (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Τα παραπάνω μεγέθη παρουσιάζουν το μέγεθος των περιβαλλοντικών προβλημάτων εξόρυξης και υλοτόμησης πρώτων υλών από το φυσικό περιβάλλον. Τα φυσικά δάση υλοτομούνται με ρυθμούς εντατικότερους από αυτούς που επιτάσσει η ικανότητα αναγέννησης τους (εικόνα 3) και τα λατομεία, με το πέρας του κύκλου ζωής τους, καθίστανται νεκρός χώρος στο φυσικό περιβάλλον, χωρίς δυνατότητα (πλην ελαχίστων περιπτώσεων) αποκατάστασης. Η παραπάνω κατάσταση συνδυαζόμενη με τις απώλειες των πρώτων υλών κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας των δομικών υλικών συνθέτει (σε καθολική βάση) το μέγεθος του προβλήματος. Οι απώλειες των πρώτων υλών κατά την παραγωγή δομικών υλικών (όπως και κάθε μετασχηματισμός ή μεταποιητικός μηχανισμός, που λαμβάνει χώρα στη φύση) αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της παραγωγής (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Στο παρακάτω γράφημα 19 παρουσιάζονται οι απώλειες πρώτων υλών κατά την παραγωγή ορισμένων (συνήθων) δομικών υλικών εκφρασμένες σε γραμμάρια (g) μάζας απωλειών ανά κιλό (kg) εξορυσσόμενου (κατευθείαν από το χώρο εξόρυξης ή των φυσικών δανείων) υλικού.



Εικόνα 3. Χαρακτηριστική γελοιογραφία, η οποία δημιουργεί προβληματισμό για την εξάντληση των πρώτων υλών, που αποδίδεται στην κατασκευή (Πηγή: Woolley et al., 1997, ελεύθερη απόδοση - μετάφραση: Δημήτρης Τσιώτας).



Γράφημα 19. Ραβδόγραμμα απωλειών πρώτων υλών κατά τη διαδικασία παραγωγής για συνήθη οικοδομικά υλικά (Πηγή: Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005, σχεδίαση: Δημήτρης Τσιώτας).



5.5. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

5.5.1. ΟΡΙΣΜΟΣ

Ο όρος *ανακύκλωση ενός προϊόντος* (η αναφορά γίνεται για ένα προϊόν, που έχει ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής του) (Bever, M., 1976, Davidson and Wilson, 1982, Kaufer, 1987, Nijhof, 1994, Tomas and Wirtz, 1994, Thormark, 2002, Zaharieva et al., 2003, Conroy et al., 2006, Tam & Tam, 2006, Santos et al., 2009) χρησιμοποιείται για να εκφράσει το σύνολο των τεχνολογικών μεθόδων και των βιομηχανικών εφαρμογών, οι οποίες συνίστανται στην επεξεργασία του προϊόντος, με σκοπό να του επαναπροσδώσουν χρησιμότητα. Η ανακύκλωση (ο διεθνής της συμβολισμός φαίνεται στο σχήμα 15) συνθέτει έναν καινούργιο (δεύτερο) κύκλο ζωής για το αγαθό, ο οποίος αποτελεί συνέχεια της πορείας της υλικής του μάζας (στο μεγαλύτερο ποσοστό αυτής), η οποία διήνησε τον αρχικό κύκλο ζωής, αλλά ενδέχεται (ο νέος κύκλος) να αναφέρεται σε διαφορετική χρήση από αυτή που είχε αρχικά το προϊόν.



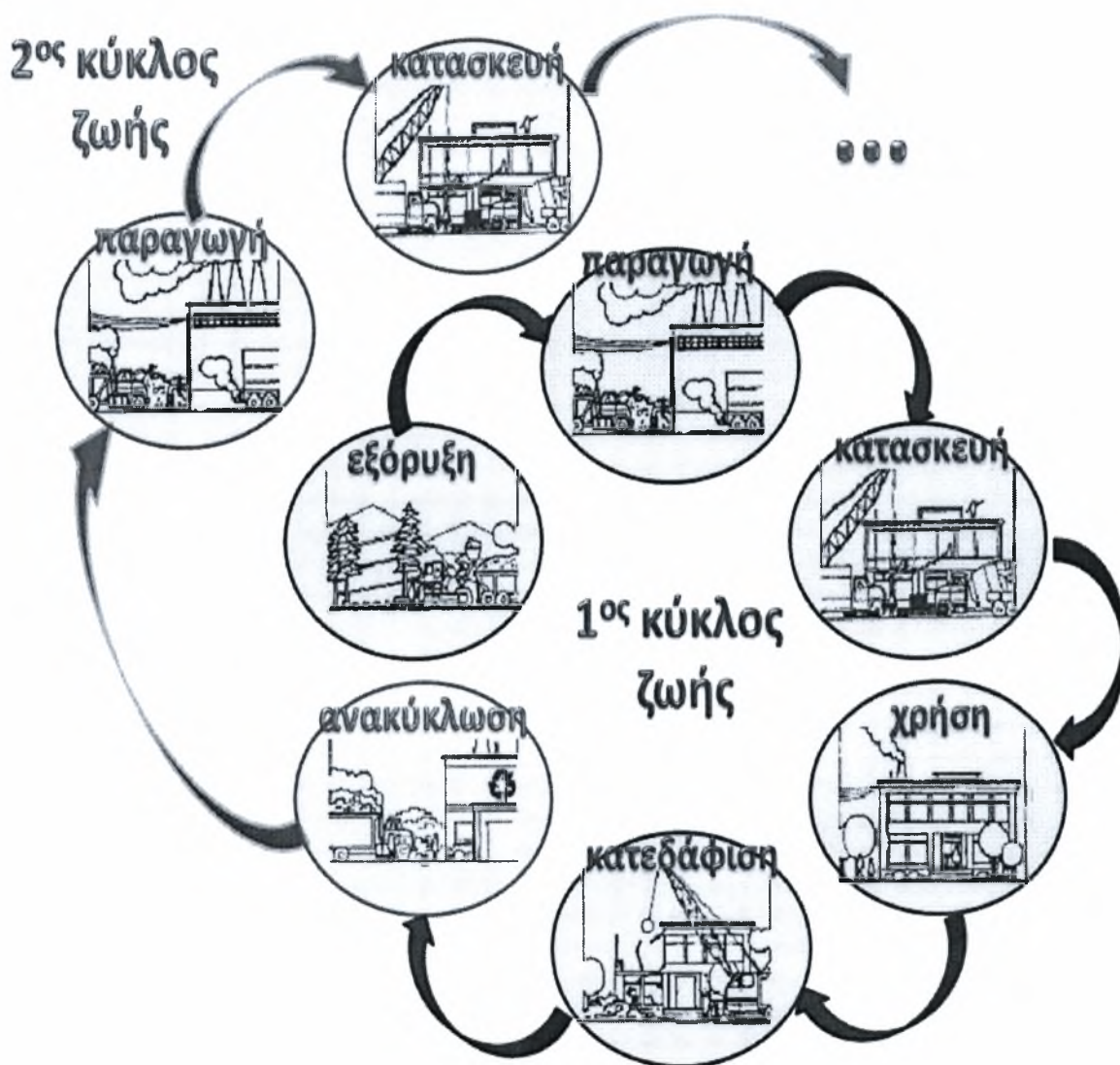
Σχήμα 15. Το διεθνές σύμβολο της ανακύκλωσης (Πηγή: MsOffice, 2007).

Η ανακύκλωση, ως διαδικασία επανάληψης του κύκλου ζωής ενός υλικού, αποτέλεσε διαδικασία εμπνευσμένη μέσα από τους μηχανισμούς, υπό τους οποίους λειτουργεί η φύση. Πρόκειται για μία απόπειρα μίμησης από τον άνθρωπο των κύκλων της φύσης, οι οποίοι αποτελούν υποδείγματα αποτελεσματικής λειτουργίας και σταθερότητας (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005). Ως πρώτο διδάξα, επομένως, της ανακυκλωτικής νοοτροπίας, οφείλει να αναγνωρίσει, αδιαμφισβήτητα, κανείς τη φύση, η οποία έχει διατηρήσει αναλλοίωτη την ύλη και τη ζωή στον πλανήτη από τη στιγμή της δημιουργίας της. Ο κύκλος του νερού, οι κύκλοι των αερίων μαζών (για παράδειγμα του οξυγόνου ή του διοξειδίου), οι κύκλοι της φωτοσύνθεσης των φυτών και, κατ' επέκταση, οι βιολογικοί κύκλοι της ζωής και θανάτου των οργανισμών, συνθέτουν τις σελίδες του βιβλίου της ανακύκλωσης, το οποίο γράφει αδιάκοπα η φύση. Η *αρχή διατήρησης της*



ενέργειας και η *αρχή διατήρησης της μάζας* (Serway, 1990), με τα οποία οικοδόμησε ο άνθρωπος το στερέωμα της σύγχρονης θετικής επιστημονικής γνώσης, αποτελούν βασικά αξιωματικά εργαλεία της Φυσικής, τα οποία έχουν εμφωλευμένη στο εννοιολογικό τους περιεχόμενο την ιδέα της ανακύκλωσης.

Για ένα δομικό προϊόν η ανακύκλωση αποτελεί επίσης συνέχιση του κύκλου ζωής του με την αρχική του ή με εναλλακτική μορφή (σχήμα 16). Τα δομικά υλικά, τα οποία έχουν εξαντλήσει τη διάρκεια του κύκλου ζωής και αποτελούν πρώτη ύλη για την ανακύκλωση θεωρούνται *δομικά απόβλητα (building wastes)*. Τα δομικά απόβλητα που έχουν υποστεί τη διαδικασία της ανακύκλωσης ονομάζονται *ανακυκλωμένα* ή *δευτεροβάθμια δομικά προϊόντα* (Zaharieva et al., 2003).



Σχήμα 16. Διάγραμμα ροής, στο οποίο απεικονίζονται τα στάδια του κύκλου ζωής για ένα δομικό υλικό (Πηγή: Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005, απόδοση: Δημήτρης Τσιώτας).



5.5.2. ΤΟ ΗΘΙΚΟ ΔΙΛΗΜΜΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Πρωταρχική παράμετρος στην εφαρμογή ανακυκλωμένων δομικών υλικών στην κατασκευή αποτελεί η αντιμετώπιση της διάρκειας (μήκος κύκλου) ζωής και της αξιοπιστίας των ανακυκλωμένων υλικών (Page, 1974).

Η ιστορία έδειξε ότι, η αίσθηση της αφθονίας, με την οποία αντιμετώπισε ο άνθρωπος την παραγωγή των πρώτων υλών, καθιέρωσε την τάση του ανθρώπου να **χτίζει πάνω από εκεί που κατεδαφίζει**, παρά να ανακυκλώνει τα συντρίμια. Οι δεδομένες τεράστιες απαιτήσεις για οικοδομικά υλικά, εντούτοις, προτείνουν ότι πρέπει να εξετάζονται με προσοχή οι δυνατότητες ανακύκλωσης των υλικών. Δυστυχώς, κάθε πρόσφατη ανάπτυξη στην επιστήμη υλικών, η οποία βρίσκει εφαρμογή στον τομέα των κατασκευών εμφανίζεται να καθιστά την ανακύκλωση λιγότερο πιθανή. Για παράδειγμα, τα σύνθετα δομικά υλικά είναι δύσκολο να χωριστούν στα βασικά συστατικά τους. Οι προστατευτικές επιστρώσεις, όπως η επιψευδαργύρωση (το γαλβάνισμα) του σιδήρου, καθίστανται δύσκολο να επανεπεξεργαστούν, εξαιτίας λόγω της προσβολής που υφίσταται η επιφάνεια των μετάλλων. Επίσης τα κονιάματα (τα οποία αποκτούν έπειτα από χημικές διεργασίες την τελική τους μορφή) και τα υλικά, που υφίστανται όπτηση (όπως οι οπτόπλινθοι), είναι δύσκολο (ως αδύνατο και εν τέλει ασύμφορο) να διαχωριστούν στα αρχικά τους συστατικά, λόγω της μετασχηματισμένης εσωτερικής τους δομής (Page, 1974).

Η υψηλή απόδοση, που επιδιώκει η Τεχνολογία των Υλικών, έχει οδηγήσει στη δημιουργία σύνθετων (βιομηχανοποιημένων) υλικών με επιθυμητές ιδιότητες, αλλά με εξαιρετική δυσκολία στην ανακύκλωσή τους. Ένα κτίριο, το οποίο ανεγείρεται με μεταλλικά φέροντα υλικά, παρουσιάζει δυνατότητα ανακύκλωσης. Ένα αντίστοιχο κτίριο, το οποίο κατασκευάστηκε με (για παράδειγμα) με προεντεταμένο σκυρόδεμα και με συνθετικά υλικά πλήρωσης, παρουσιάζει σημαντικό πρόβλημα ανακύκλωσης. Στο σημείο αυτό **τίθεται το ηθικό δίλημμα**. Η δόμηση οφείλει να **εναρμονίσει την παραγωγική της δομή για να φιλοξενήσει στους μηχανισμούς της** (με θεσμικό τρόπο) **τις αρχές της ανακύκλωσης ή να πορευτεί στην ανέγερση ανθεκτικότερων** (και επομένως μακροβιότερων) **κατασκευών** με σύγχρονα ενισχυμένα (και πλήρως βιομηχανοποιημένα) δομικά υλικά (Page, 1974);

Το παραπάνω δίλημμα αναφέρεται σε δύο είδη παραγωγικού μηχανισμού των κατασκευών. Στην πρώτη περίπτωση, αυτή της ανακύκλωσης, ο μηχανισμός βασίζεται



στη σχετικά σύντομη διάρκεια ζωής της κατασκευής (η οποία υποννοεί τη χρήση φιλικότερων στο περιβάλλον και ανακυκλώσιμων δομικών υλικών) και απαιτεί εναλλακτικό οικονομικό προγραμματισμό, σε ένα έργο. Εντούτοις, εάν υιοθετηθεί αυτή η θέση, θα πρέπει να απορριφθούν πολλές από τις προόδους της επιστήμης υλικών, που επετεύχθησαν από με το συνδυασμό των ιδιοτήτων διαφορετικών υλικών στα σύνθετα υλικά, η οποία είναι καλά καθιερωμένη (Page, 1974).

Ίσως η παραγματοποίηση ενός είδους ενδελεχούς εξέτασης στο παγκόσμιο απόθεμα «*κοιτασμάτων των οικοδομικών πρώτων υλών*» και η επιλεκτική (ανά περίπτωση σημαντικότητας) εφαρμογή των μεθόδων ανακύκλωσης σε υλικά ελαττούμενων πρώτων υλών (αυτή η περίπτωση αιτιολογεί ακόμη και τη χρήση ανακυκλωμένων υλικών μειωμένης απόδοσης από τα αρχικά), να αποτελεί ρεαλιστικότερη και πιο φιλική στο περιβάλλον δράση σε σχέση με την απαίτηση εφαρμογής καθολικών μεθόδων ανακύκλωσης στην κατασκευή. Στην αντίθετη περίπτωση η ανακύκλωση των δομικών υλικών θα τείνει να γίνει έρμαιο των κερδοφορικών κριτηρίων της βιομηχανίας των κατασκευών, αποτελώντας απλώς μια συφερότερη οικονομικά παραγωγική διαδικασία (Page, 1974).

5.5.3. ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Ο ολοένα και αυξανόμενος όγκος των επιστημονικών μελετών και ερευνών στην ανακύκλωση επιβάλλει (για τη διευκόλυνση στη μελέτη και την βέλτιστη κατανόηση των πορισμάτων) τη διάκριση των υλικών ανακύκλωσης σε κατηγορίες. Η διάκριση των υλικών ανακύκλωσης, που παρατίθεται παρακάτω, πραγματοποιείται με κριτήριο την προέλευση της ανακυκλώσιμης ύλης και την μετέπειτα χρήση των προϊόντων.

Τα ανακυκλωμένα υλικά, ανάλογα με την προέλευση της ανακυκλώσιμης πρώτης ύλης, διακρίνονται σε *ανακυκλωμένα πρωτογενώς* και *δευτερογενώς*. Ανακυκλωμένα πρωτογενώς ονομάζονται τα υλικά, τα οποία ανακυκλώνονται από προϊόντα κατεδάφισης (μπάζα), ενώ δευτερογενώς καλούνται τα αντίστοιχα ανακυκλωμένα προϊόντα, τα οποία αποτελούν προϊόντα που προκύπτουν από την απόρριψη ύλης κατά τη βιομηχανική παραγωγή άλλων προϊόντων (όπως οι σκωρίες, τα αποξέσματα ξυλείας κλπ) (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Η ανακύκλωση των οικοδομικών αποβλήτων παρέχει στην βιομηχανία παραγωγής δομικών υλικών δυο κατηγορίες προϊόντων, με κριτήριο τη μετέπειτα χρήση τους σε ένα

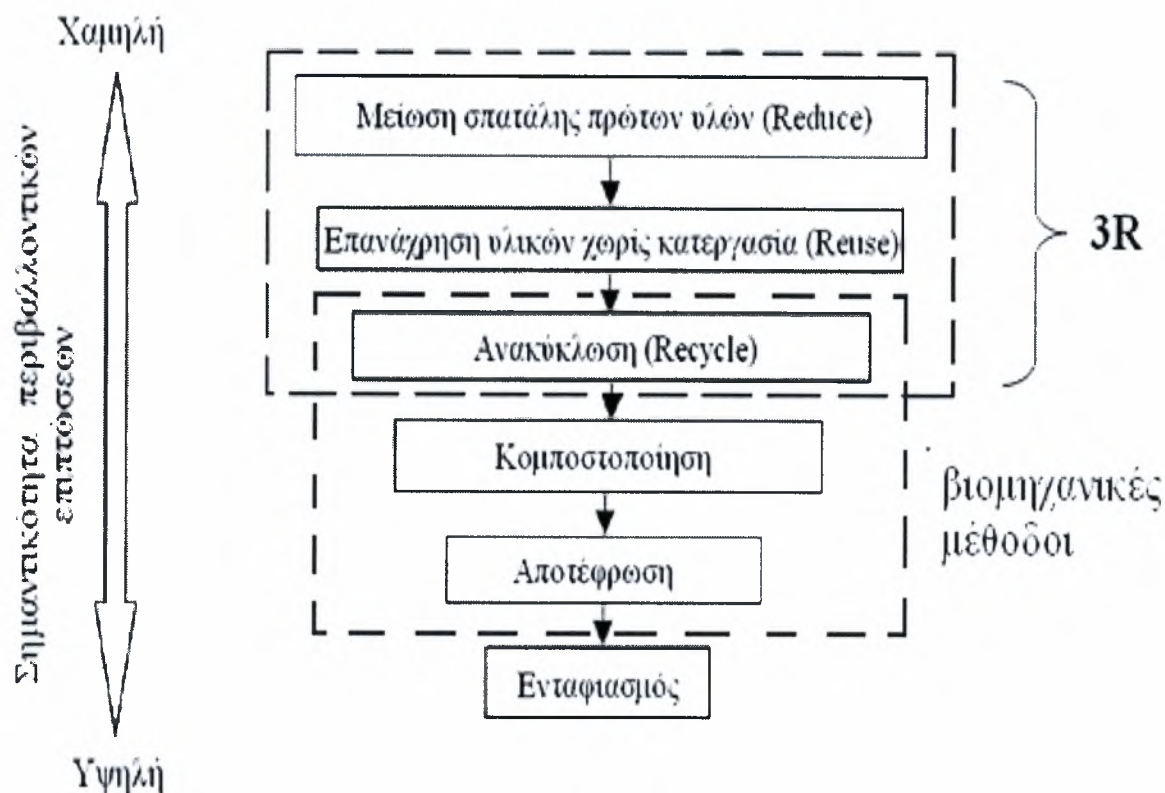


τεχνικό έργο. Τα δευτεροβάθμια (ή ανακυκλωμένα) δομικά υλικά **ιδίων απαιτήσεων με τα αρχικά** και τα ανακυκλωμένα δομικά υλικά **μειωμένων απαιτήσεων** σε σχέση με τα αρχικά. Στην πρώτη περίπτωση η χρήση των ανακυκλωμένων προϊόντων στο έργο απαιτεί τις ίδιες ποιοτικές σταθερές (στις φυσικές και μηχανικές τους ιδιότητες) με τα αρχικά οικοδομικά υλικά (παράδειγμα η ανακύκλωση υλικών οδοποιίας), ενώ στη δεύτερη περίπτωση η ανακύκλωση προσδίδει στα υλικά εναλλακτική από την αρχική χρήση με χαμηλότερες απαιτήσεις (παράδειγμα η ανακύκλωση οπτόπλινθων για παραγωγή υλικών επιχωμάτωσης) (Zaharieva et al., 2003).

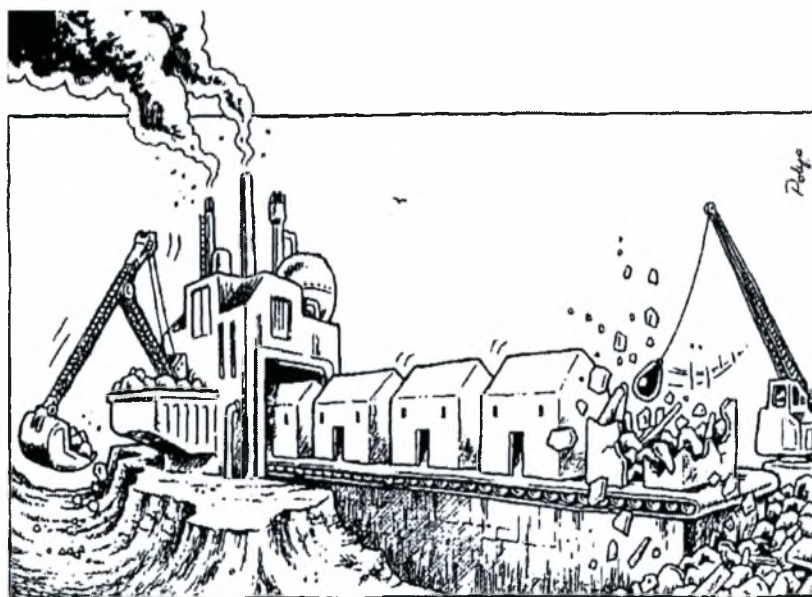
5.5.4. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΙΑ

Η προώθηση των ιδεών της περιβαλλοντικής διαχείρισης και η καθιέρωση της νοοτροπίας της βιώσιμης ανάπτυξης, έχουν ασκήσει παγκοσμίως (και αιτιολογημένα) την απαιτούμενη πίεση για την έγκριση των κατάλληλων μεθόδων προστασίας του περιβάλλοντος στις βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων και του τομέα της κατασκευής. Η κατασκευή δεν αποτελεί από τη φύση της φιλική δραστηριότητα προς το περιβάλλον, διότι συνιστά έναν ανθρωπογενή μετασχηματισμό του φυσικού τοπίου σε δομημένο τοπίο και (με το πέρας του κύκλου ζωής της κατασκευής) έναν μετασχηματισμό της δομημένης μάζας σε ανεπιθύμητη (για το φυσικό περιβάλλον) απόβλητη δομική μάζα (εικόνα 4) (Tam and Tam, 2006).

Σύμφωνα με την ιεράρχηση, η οποία έχει προταθεί στον τομέα της διαχείρισης των δομικών αποβλήτων (Tam and Tam, 2006), οι τρόποι διαχείρισης των (δομικών) αποβλήτων δύνανται να κατηγοριοποιηθούν, ανάλογα με τη σοβαρότητα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων τους, σε έξι επίπεδα (σχήμα 17). Η κατηγοριοποίηση αυτή έχει κλίμακα από χαμηλή σε υψηλή και αφορά τη **μείωση των δομικών αποβλήτων**, την **επαναχρησιμοποίηση** (ή **επανάχρηση**), την **ανακύκλωση**, την **κομποστοποίηση**, την **αποτέφρωση** και τον **ενταφιασμό**. Όπως γίνεται αντιληπτό από την εν λόγω ιεράρχηση, η ανακύκλωση των δομικών αποβλήτων αποτελεί τη φιλικότερη, προς το περιβάλλον, μέθοδο διαχείρισης αποβλήτων, η οποία εμπεριέχει βιομηχανική επεξεργασία. Η ανακύκλωση, επίσης συγκαταλέγεται στις τρεις αειφορικές στρατηγικές ελαχιστοποίησης αποβλήτων, οι οποίες (όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο της παρούσας) είναι γνωστές, διεθνώς, ως **3R's** (Tam and Tam, 2006).



Σχήμα 17. Η ιεραρχία στη διαχείριση αποβλήτων κατασκευής και κατεδάφισης (Πηγή: Tam and Tam, 2006, μετάφραση: Δημήτρης Τσιώτας).



Εικόνα 4. Χαρακτηριστικό σκίτσο που καυτηριάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της βιομηχανίας των κατασκευών (Πηγή: Woolley et al., 1997).

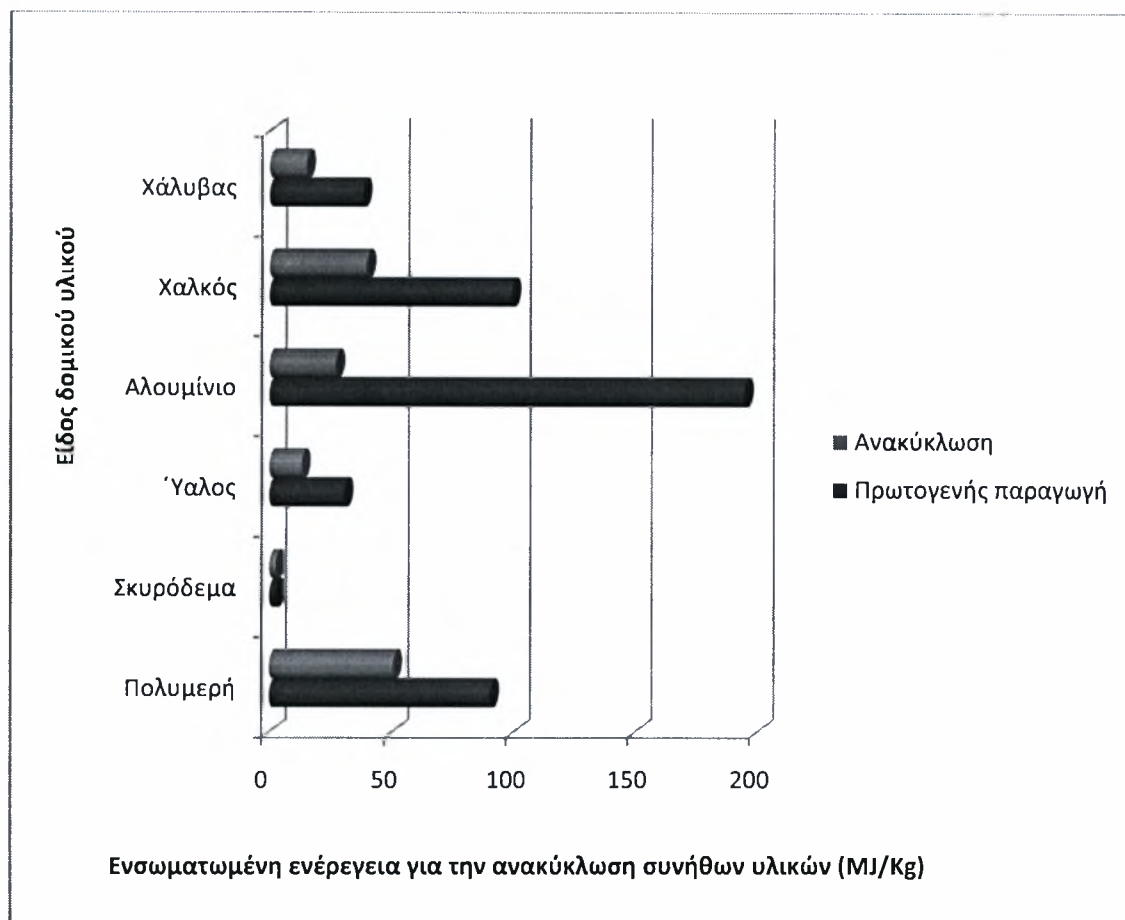
Η ανακύκλωση αποτελεί, επομένως, την απάντηση σε μια από τις βασικές προκλήσεις των ημερών μας, η οποία επικεντρώνεται στη διατήρηση (ή διάσωση για τους λιγότερο αισιόδοξους) των φυσικών πόρων για τις μελλοντικές γενεές,



δημιουργώντας μια σταθερότερη (και περισσότερο μακροπρόθεσμη) ισορροπία στον τομέα των βιομηχανικών δραστηριοτήτων μεταξύ της περιβαλλοντικής συντήρησης και των απαιτούμενων δαπανών, που απαιτείται να πραγματοποιηθούν για την προώθηση των μηχανισμών της οικονομίας (Jullien et al., 2006).

Η ιδέα που επικρατούσε μέχρι πρόσφατα καθιστούσε την ανακύκλωση των υλικών πιο συμφέρουσα (θεωρούταν ότι απαιτούνται μικρότερα ποσά ενέργειας για όλες τις περιπτώσεις των υλικών) συγκριτικά με την παραγωγή του ίδιου υλικού με τη χρήση πρώτων υλών, οι οποίες λαμβάνονται πρωτογενώς από τη φύση. Η άποψη αυτή, έπειτα από ένα μεγάλο όγκο επιστημονικών μελετών, που πραγματοποιήθηκαν στον τομέα αυτό, έχει καταστεί κατανοητό σήμερα ότι δεν έχει καθολική ισχύ, αλλά ανά περίπτωση υλικού είναι δυνατό να χαρακτηριστεί αν η ανακύκλωση είναι ωφέλιμη ή όχι (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Σε γενικό πλαίσιο θεώρησης είναι δυνατό όμως να διατυπωθεί ότι, στα υλικά, τα οποία εμφανίζουν ικανότητα ανακύκλωσης και χαρακτηρίζονται από μεγάλη τιμή ενσωματωμένης ενέργειας παραγωγής και μικρή τιμή ενσωματωμένης ενέργειας ανακύκλωσης (γράφημα 20), η ανακύκλωση θεωρείται προσφορότερη έναντι της παραγωγής με πρωτογενή εξόρυξη. Ως γενική αρχή δύναται να σημειωθεί ότι υλικά, τα οποία που προκύπτουν από βραχεία βιομηχανική παραγωγική διαδικασία εμφανίζουν μεγαλύτερη ικανότητα ανακύκλωσης. Το παραπάνω γενικό συμπέρασμα μπορεί να επιδεχθεί την ερμηνεία ότι τα δομικά υλικά, τα οποία προκύπτουν έπειτα από υψηλό βαθμό ανθρωπογενούς κατεργασίας (για παράδειγμα αναφέρονται τα υλικά, τα οποία υποβάλλονται σε υψηλές θερμοκρασίες και σε σύνθετες χημικές αντιδράσεις) είναι δύσκολο, όταν περατώσουν τον κύκλο ζωής τους (και υποστούν γήρανση) να ανακυκλωθούν. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελούν τα πολυμερή (πλαστικά) υλικά, των οποίων η ανακύκλωση απαιτεί εξίσου σύνθετες διεργασίες, όπως η παραγωγή τους. Τα υλικά που προέρχονται άμεσα από τη φύση, αποτελούν τη βέλτιστη περίπτωση υλικών και εδώ, διότι βιοδιασπώνται και γηράσκουν ομαλά, σύμφωνα με τους φυσικούς μηχανισμούς και το βιοδιάγραμμα της φύσης (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



Γράφημα 20. Σχηματική αναπαράσταση του κελύφους ενός τυπικού κτηρίου και των θερμικών αλληλεπιδράσεών του με το περιβάλλον (Πηγή: Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005, σχεδίαση: Δημήτρης Τσιώτας).

5.5.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Η ανακύκλωση, ως διαδικασία, εμφανίζει μια σειρά προτερημάτων, τα σημαντικότερα εκ των οποίων περιγράφονται ακολούθως (Κούγκολος, 2007):

- Μείωση των εξορυσσόμενων πρώτων υλών. Όταν πραγματοποιείται χρήση ανακυκλωμένων πρώτων υλών, τότε απαιτείται μικρότερη ποσότητα της αντίστοιχης πρώτης ύλης, η οποία χρειάζεται να εξορυχθεί πρωτογενώς από το φυσικό περιβάλλον, για τη δημιουργία των υλικών αυτών, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ρυθμοί ερημοποίησης του περιβάλλοντος.
- Φιλική προς το περιβάλλον δράση. Η ανακύκλωση αποτελεί μια παραγωγική συνιστώσα, η οποία αποπνέεται από τις αρχές της αειφορίας (WCED, 1987) και αποτελεί έμπρακτη έκφραση σεβασμού προς τον παγκόσμιο οικοδεσπότη μας, το περιβάλλον.



- Μείωση των αποβλήτων. Με την ανακύκλωση των υλικών περιορίζεται ο όγκος των παραγόμενων απορριμμάτων, με αποτέλεσμα να ανακουφίζεται η φέρουσα ικανότητα βιοαποδόμησης των χώρων απόρριψης.
- Περιορίζεται ο όγκος κατόρυξης. Η ανακύκλωση συμβάλει στην εξοικονόμηση ωφέλιμου όγκου στους χώρους ενταφιασμού των απορριμμάτων (Κούγκολος, 2007), με αποτέλεσμα να εξοικονομείται χώρος για την κατόρυξη άλλου είδους αποβλήτων και να απαιτείται και μικρότερη ποσότητα εδαφικού υλικού ενταφιασμού.
- Εξοικονόμηση κόστους πρώτων υλών. Η ανακύκλωση συμβάλει στην εξοικονόμηση του κόστους των πρώτων υλών, στην περίπτωση που το κόστος ανακύκλωσης ενός υλικού είναι μικρότερο από το αντίστοιχο κόστος πρωτογενούς παραγωγής του ίδιου υλικού. Επομένως, στην παραπάνω περίπτωση, η ανακύκλωση συνεισφέρει στη μείωση του κόστους κατασκευής.
- Δημιουργία νέων αγορών. Η ανακύκλωση αποτελεί παραγωγική διαδικασία, η οποία για την εφαρμογή της απαιτεί την παρουσία νέων παραγωγικών συντελεστών (Βουδούρης και Μαλλιαράκης, 1996), η οποία απαιτεί νέες υποδομές, κεφάλαιο, εργατικό δυναμικό, με αποτέλεσμα να δημιουργεί νέες υπηρεσίες και ωφέλειες, συνιστώντας ένα νέο αγοραστικό πυρήνα με νέες δυναμικές.

5.5.6. ΔΙΕΘΝΗ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Η αύξηση της οικονομικής ευημερίας των κρατών και η ανάπτυξη της τεχνολογίας, συνδυαζόμενες με το σταθερά αυξανόμενο μέσο βιοτικό επίπεδο του πολίτη και τις επακόλουθες αλλαγές στις καταναλωτικές συνήθειες, έχει αυξήσει τον όγκο και την ποικιλία παραγωγής αποβλήτων κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Ο αυξανόμενος ρυθμός, επίσης, της αστικής κατοίκησης και δόμησης επιβάλλει την απόδοση προτεραιότητας στη διατήρηση των πόρων, της εξοικονόμησης ενέργειας και της ελαχιστοποίησης των αποβλήτων (Tomas and Wirtz, 1994).

Στις περισσότερες χώρες της ΕΕ η διαδικασία της ανακύκλωσης στην κατασκευή αποτελεί τεχνολογία, που κατακτήθηκε και εφαρμόζεται μόλις κατά τη διάρκεια των πρόσφατων δεκαετιών. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 15 ετών η ανακύκλωση των **δομικών αποβλήτων** έχει αναπτυχθεί με εντατικούς ρυθμούς σε πολλές χώρες της δυτικής Ευρώπης, στις ΗΠΑ και στην Ιαπωνία. Η εν λόγω ανάπτυξη, πέρα της δεδομένης περιβαλλοντικής ευαισθησίας, που προβάλεται ρητά, υπονοεί και το γεγονός ότι η ανακύκλωση αποτελεί μια σύγχρονη **κερδοφόρα βιομηχανική δραστηριότητα**. Η



διαδικασία της ανακύκλωσης αρχίζει με τον προγραμματισμό ενός σχεδίου κατασκευής ή κατεδάφισης και τερματίζει με τον ποιοτικό έλεγχο των επανεπεξεργασμένων υλικών, που επιστρέφονται στην αγορά ως δομικά προϊόντα (Zaharieva et al., 2003).

Στην ΕΕ υφίσταται σήμερα ένα αξιόλογο πλήθος βιομηχανικών μονάδων ανακύκλωσης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι είναι καταγεγραμμένες 220 μονάδες ανακύκλωσης στη Γερμανία, 120 στη Μεγάλη Βρετανία, 80 στη Γαλλία, 65 στο Βέλγιο και 20 στη Δανία. Οι εθνικοί και οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί, εναρμονίζοντας το περιεχόμενό τους στα διεθνή θεσμικά κείμενα και κανονισμούς για την αειφορία, συμβάλουν συστηματικά στην καθιέρωση της εν λόγω δραστηριότητας. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τη γαλλική νομοθεσία για «τον περιορισμό των αποβλήτων και την ανάκτηση υλικών» (13 Ιουλίου 1992), έχει απαγορευτεί σε χώρους ενταφιασμού η απόρριψη δομικών υλικών, τα οποία ανακυκλώνονται, από το 2002. Το ίδιο έτος η κυβέρνηση της Μεγάλης Βρετανίας θεσμοθετεί την είσπραξη φορολογίας για την απόθεση ανακυκλούμενων υλικών (υλικών που έχουν τη δυνατότητα ανακύκλωσης) σε χωματερές και την επιβολή εισφορών για την απόρριψη αδρανών απόβλητων υλικών επίσης σε χωματερές (Huang et al., 2007).

Η ανακύκλωση δομικών υλικών έργων οδοποιίας στις χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης, εμφανίζεται να βρίσκεται αρχικό στάδιο, σε αντίθεση με τις αναπτυγμένες χώρες της ΕΕ, έχοντας να αντιμετωπίσει ένα σημαντικό δομικών αποβλήτων. Τα εν λόγω οδικά δομικά απόβλητα έχουν παραχθεί, εξαιτίας των εντατικών προγραμμάτων εκσυγχρονισμού και ανακατασκευής των οδικών αξόνων, τα οποία έχουν αρχίσει στη δεκαετία του '90. Οι οικονομικοί περιορισμοί, η έλλειψη τεχνικών προδιαγραφών πάνω στην ανακύκλωση των δομικών υλικών και η νοοτροπία του συντηρητισμού, η οποία διαπνέει τον κλάδο των οικοδομικών και τεχνικών έργων, αποτελούν σημαντικά εμπόδια που επιβάλλεται να ξεπεραστούν για την καθιέρωση των μεθόδων ανακύκλωσης στις χώρες αυτές. Στη Βουλγαρία, για παράδειγμα, η θεσμική καθιέρωση της ανακύκλωσης παρακωλύεται από τις δυσκολίες στην επικοινωνία με τις τοπικές αρχές, τις διοικητικές επιχειρήσεις των αποβλήτων και τους σχεδιαστές πολιτικής (Zaharieva et al., 2003).

Οι τεχνικές ανακύκλωσης στην κατασκευή είναι δυνατόν να ελαττώσουν την ενσωματωμένη ενέργεια των δομικών υλικών σε ποσοστό 95%, πράγμα που μεταφράζεται σε μέγιστο περιβαλλοντικό όφελος, διότι η απόρριψη ενός υλικού σε



χώρους ενταφιασμού συνεπάγεται και την ταυτόχρονη απώλεια της ενσωματωμένης του ενέργειας (Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005).

Παρακάτω (πίνακας 10) εμφανίζονται τα εθνικά ποσοστά μερικών χωρών για την ανακύκλωση συνήθων δομικών υλικών και οι υφιστάμενες τεχνικές και τα παραγόμενα προϊόντα (πίνακας 11) ανακυκλώσιμων δομικών υλικών. Σε επίπεδο ελλαδικού χώρου παρουσιάζεται θεματικός χάρτης (χάρτης 1) με τις πυκνότητες συγκεντρώσεων ανά νομό των εταιρειών ανακύκλωσης, οι οποίες είναι καταχωρημένες στους καταλόγους του χρυσού οδηγού (Αύγουστος 09).

Πίνακας 10.

Εθνικά ποσοστά μερικών χωρών για την ανακύκλωση συνήθων δομικών υλικών
(Πηγή: Tam and Tam, 2006, μετάφραση-απόδοση πίνακα: Δημήτρης Τσιώτας)

Χώρα	Έτος	Χαρτί (%)	Πλαστικά (%)	Μέταλλα (%)	Υαλικά (%)
Αυστραλία	1995	51	30	65	42
Ιαπωνία	2000	58	14	75	78
ΗΠΑ	1999	42	6	35	23
Γερμανία	1999	169 ^(*)	108	105	88
Μεγάλη Βρετανία	1998	38	3	43	22

^(*) Ποσοστά μεγαλύτερα του 100% αναφέρονται σε ανακύκλωση του ίδιου υλικού για περισσότερους από έναν κύκλους

Πίνακας 11.

Χρησιμοποιούμενες τεχνικές και προϊόντα ανακύκλωσης ανά ανακυκλώσιμο δομικό υλικό
(Πηγή: Tam and Tam, 2006, μετάφραση-απόδοση πίνακα: Δημήτρης Τσιώτας)

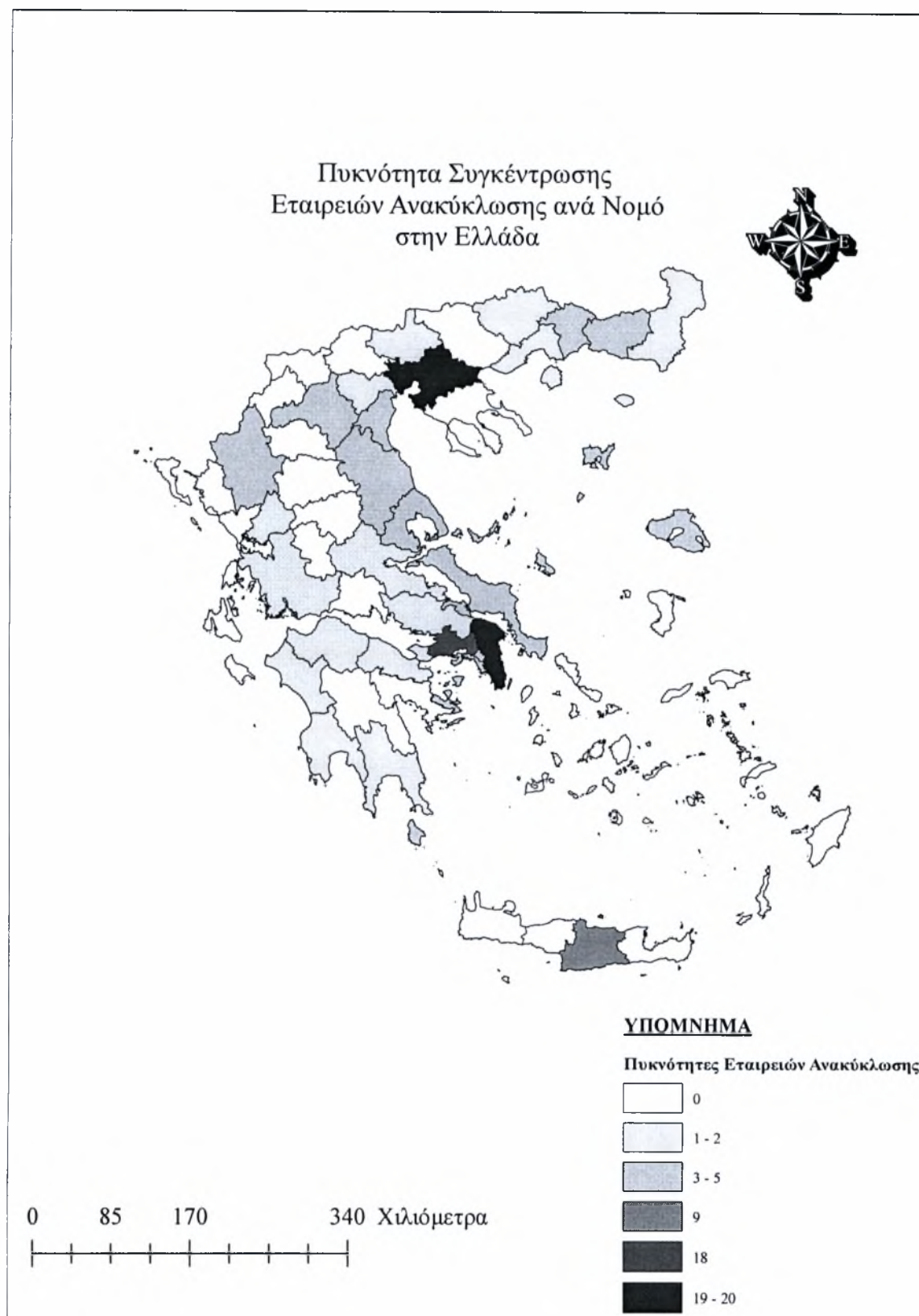
Υλικό	Τεχνικές Ανακύκλωσης	Προϊόντα Ανακύκλωσης
Άσφαλτος	Ψυχρή ανακύκλωση	Ανακυκλωμένη άσφαλτος
	Θερμική αναγέννηση	Ασφαλτοσκυρόδεμα
	Διαδικασία της Μινεσότα	
	Διαδικασία παράλληλου τυμπάνου	
	Διαδικασία επιμηκυμένου τυμπάνου	
	Μικροκυματικό σύστημα ανακύκλωσης ασφάλτου	
	Μέθοδος «finfalt»	
	Επιφανειακή αναγέννηση	



Υλικό	Τεχνικές Ανακύκλωσης	Προϊόντα Ανακύκλωσης
Κεραμικά	Αποτέφρωση	Στάχτη οπτής ιλύος
	Θραύση για παραγωγή αδρανών	Υλικό πλήρωσης αδρανή
		Ανακυκλωμένα αδρανή
Σκυρόδεμα	Θραύση για παραγωγή αδρανών	Σκυρόδεμα με αναπληρωμένο τσιμέντο (αναπληρώνεται το τσιμέντο από το υγιές τμήμα του κατεδαφισμένου σκυροδέματος)
		Προϊόντα λιθοριπών
		Υλικά πλήρωσης
		Ανακυκλωμένος χάλυβας
Σιδηρούχα μέταλλα	Τήξη	
	Απευθείας επανάχρηση	
Υαλικά	Απευθείας επανάχρηση	Ανακυκλωμένοι υαλοπίνακες
	Κονιορτοποίηση	Ίνες υάλου
	Εφύαλωση	Υλικά πλήρωσης
	Θραύση για παραγωγή αδρανών	Υαλοκέραμοι, πλακίδια,
	Αποτέφρωση	Υαλόπλινθοι
		Υαλοσφαιρίδια ασφάλτου
		Ανακυκλωμένα (υαλο)αδρανή
		(Υαλο)αδρανή σκυροδέματος
Οπτοπλινθοδομές	Θραύση για παραγωγή αδρανών	Αδρανή
	Πύρωση στους 900°C και αποτέφρωση	Οπτόπλινθοι
		Οπτόπλινθοι αλάτων νατρίου πυριτίου
Μη σιδηρούχα μέταλλα	Τήξη	Ανακυκλωμένα μέταλλα
Χαρτικά	Κάθαρση	Χαρτικά
Πολυμερή	Μετατροπή σε πούδρα (κονιορτοποίηση) μέσω κρυογενούς εκγλύφανσης	Πετάσματα (πάνελ)
	Αποκοπή	Ανακυκλωμένα πολυμερή
	Θραύση για παραγωγή αδρανών	Πλαστική επεξεργασία ξυλείας
	Αποτέφρωση	Αδρανή
		ασφαλτικά
		Διακοσμητικές εδαφικές επιστρώσεις
Ξυλεία	Απευθείας επαναχρησιμοποίηση	Δομική ξυλεία
	Κοπή	Έπιπλα οικιακής χρήσης και κουζίνας
	Εκφούρνηση με διοξείδιο	Παραγωγή μορίων ή αποξεσμάτων (πριονιδιού)
	Εξαέρωση ή πυρόλυση	Παραγωγή ξυλοπολτού
	Απόξεση	Καύσιμη ύλη
	Συμπίεση με πρέσες	Παραγωγή χημικών
		Παραγωγή μοριοσανίδων (μελαμίνες)



Υλικό	Τεχνικές Ανακύκλωσης	Προϊόντα Ανακύκλωσης
		Συγκολλητή ξυλεία (κόντρα πλακέ)
		Παραγωγή πλαστικής ξυλείας (MDF, HDF, βακελίτες)
		Παραγωγή γεωινών
		Μονωτικά φύλλα (πάνελ)



Χάρτης 1. Πυκνότητα συγκέντρωσης εταιρειών ανακύκλωσης ανά νομό στον ελληνικό χώρο (Προέλευση δεδομένων: www.xo.gr, 2009, χαρτογράφηση: Δημήτρης Τσιώτας).



6. ΦΥΣΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ

6.1. ΓΕΝΙΚΑ

Με τον όρο *φυσικοί λίθοι* εννοούνται τα λίθινα (πέτρινα) στοιχεία, τα οποία αποτελούν εδαφικά προϊόντα που προέρχονται από φυσικά πετρώματα, έπειτα από κατεργασία, η οποία λαμβάνει χώρα σε μικρό ή μεγάλο βαθμό (Wenderhorst, 1981). Τα προϊόντα, που προέρχονται από φυσικούς λίθους, διατηρούν το σύνολο των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των μητρικών τους των πετρωμάτων. Γενικά τα δομικά προϊόντα, που προέρχονται από φυσικούς λίθους χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη αντοχή τους (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Οι περιοχές εξόρυξης των φυσικών λίθων ονομάζονται *λατομεία*. Ο όρος λατομείο προέρχεται (Μανδάλα, 1988) από τις συνθετικές λέξεις *λας* (=λίθος) και *τέμνω* (κόβω).

Τα παραπάνω προϊόντα δύνανται να κατηγοριοποιηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

α. Ανάλογα με την οικοδομική τους χρήση σε *αδρανή* (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999) και σε *δομικούς λίθους* (Wenderhorst, 1981), τα οποία περιγράφονται παρακάτω.

β. Ανάλογα με το είδος επεξεργασίας τους σε *αργούς λίθους*, *λαξευτούς λίθους* και *ογκόλιθους* (Wenderhorst, 1981).

Η ετυμολογική ανάλυση της έννοιας «*αργός*», συνάγει ότι λέξη είναι σύνθετη και αποτελείται από τα συνθετικά (αργός=) *α* (στερητικό) + *έργο* (= κατεργασία) (Μανδάλα, 1988). *Αργοί λίθοι* ονομάζονται οι φυσικοί λίθοι, οι οποίοι παράγονται στα λατομεία και χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές χωρίς ή με ελάχιστη επεξεργασία (Wenderhorst, 1981).

Οι *λαξευτοί λίθοι* παράγονται στα λατομεία, όμως επιδέχονται επιμελημένη επεξεργασία, μερική (ημιλαξευτοί λίθοι, όταν υφίσταται επεξεργασία η μια πλευρά της πρόσοψής τους) ή πλήρη (λαξευτοί), ανάλογα με το είδος της κατασκευαστικής εργασίας (Wenderhorst, 1981).

Οι *ογκόλιθοι* είναι φυσικοί λίθοι μεγάλου ή μεσαίου μεγέθους, συνήθως με διάμετρο μεγαλύτερη των 50cm (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999) και η μορφή τους είναι τραχεία και αποστρογγυλεμένη. Το σχήμα και η ποιότητά τους καθιστά απαγορευτική τη χρήση τους σε συνήθεις οικοδομικές εργασίες. Είθισται να χρησιμοποιούνται ως λιθορριπές σε λιμενικά έργα (Wenderhorst, 1981, Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).



γ. Ανάλογα με την προέλευση του πετρώματος, που αποτελεί τη βάση τους σε εκκριξηγενή ή πυριγενή (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005) πετρώματα, ιζηματογενή πετρώματα και μεταμορφωσιγενή πετρώματα (Wendehorst, 1981, Fernandez, 2006).

Τα εκκριξηγενή πετρώματα είναι αυτά που σχηματίστηκαν από τη στερεοποίηση μαγματικής ύλης ή σε μεγάλο βάθος, οπότε και ονομάζονται πλουτώνια πετρώματα (πχ. ο γρανίτης), ή μέσα από καρστικές σχισμές, τα οποία αποκαλούνται φλεβιτικά πετρώματα (πχ. ο πορφυρίτης), ή στην επιφάνεια της γης, που καλούνται ηφαιστιακά (πχ. ο βασάλτης) (Wendehorst, 1981).

Τα ιζηματογενή πετρώματα σχηματίστηκαν με μηχανικό τρόπο από την απόθεση υλικών διαλυμένου υλικού (γύψος, ταβερτίνης), από συντρίμμια παλαιότερων πετρωμάτων (ψαμμίτης), από απόθεση ηφαιστειακής τέφρας (τόφος) ή οστράκων (κογχυλιογενής ασβεστόλιθος) ή από τη βιολογική λειτουργία διαφόρων ζώων (κοραλλιογενής ασβεστόλιθος), από φυσικά κατάλοιπα (άνθρακας) ή από συσσώρευση λεπτού υλικού που παρασύρθηκε από τον άνεμο (Wendehorst, 1981).

Τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα προέρχονται από τις δυο προαναφερόμενες κατηγορίες κατόπιν από γεωλογικές αλλοιώσεις και μετασχηματισμούς και εμφανίζουν πολλές από τις ιδιότητες των δυο παραπάνω κατηγοριών (Wendehorst, 1981).

δ. Ανάλογα με το μηχανισμό σχηματισμού τους σε στρωτούς και άστρωτους (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Ουσιαστικό κριτήριο για τον παραπάνω διαχωρισμό αποτελεί ο γενεσιουργός μηχανισμός των πετρωμάτων ακολουθιά στρωματοποίηση ή όχι. Ο παραπάνω λόγος είναι σημαντικός, διότι διακρίνονται κοινά χαρακτηριστικά στη σύσταση, στη διάταξη του ιστού και στις μηχανικές ιδιότητες των λίθων εκ των δυο κατηγοριών. Έτσι, συνήθως στους στρωτούς λίθους κατατάσσονται τα ιζηματογενή (στρωσιγενή) πετρώματα και τα υπόλοιπα στους άστρωτους.

Οι στρωτοί λίθοι (σχιστόλιθοι) προέρχονται είτε από πυριγενή είτε από υδατογενή πετρώματα. Διακρίνονται από τη σαφή στρωματική διάταξη των μορίων τους. Τα χαρακτηριστικά των σχιστολίθων είναι η κατά στρώσεις διάταξή τους και η δημιουργία επιφανειών σχισμού. Αποσχίζονται εύκολα σε λεπτές πλάκες μέχρι πάχους 0,5cm. Συνήθως οι πλάκες έχουν πάχος από 3-5 (cm). Το χρώμα τους είναι στις αποχρώσεις του γκρι, μαύρου και καστανοκόκκινου. Έχουν μεγάλη αντοχή σε θλίψη και σε υψηλές θερμοκρασίες. Χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα για την επίστρωση αυλών. Στο παρελθόν χρησιμοποιούνταν για τη στέγαση οικιών σε περιοχές όπου βρισκόντουσαν σε αφθονία. Ανάλογα με τη σύστασή τους διακρίνονται σε αργιλικούς,

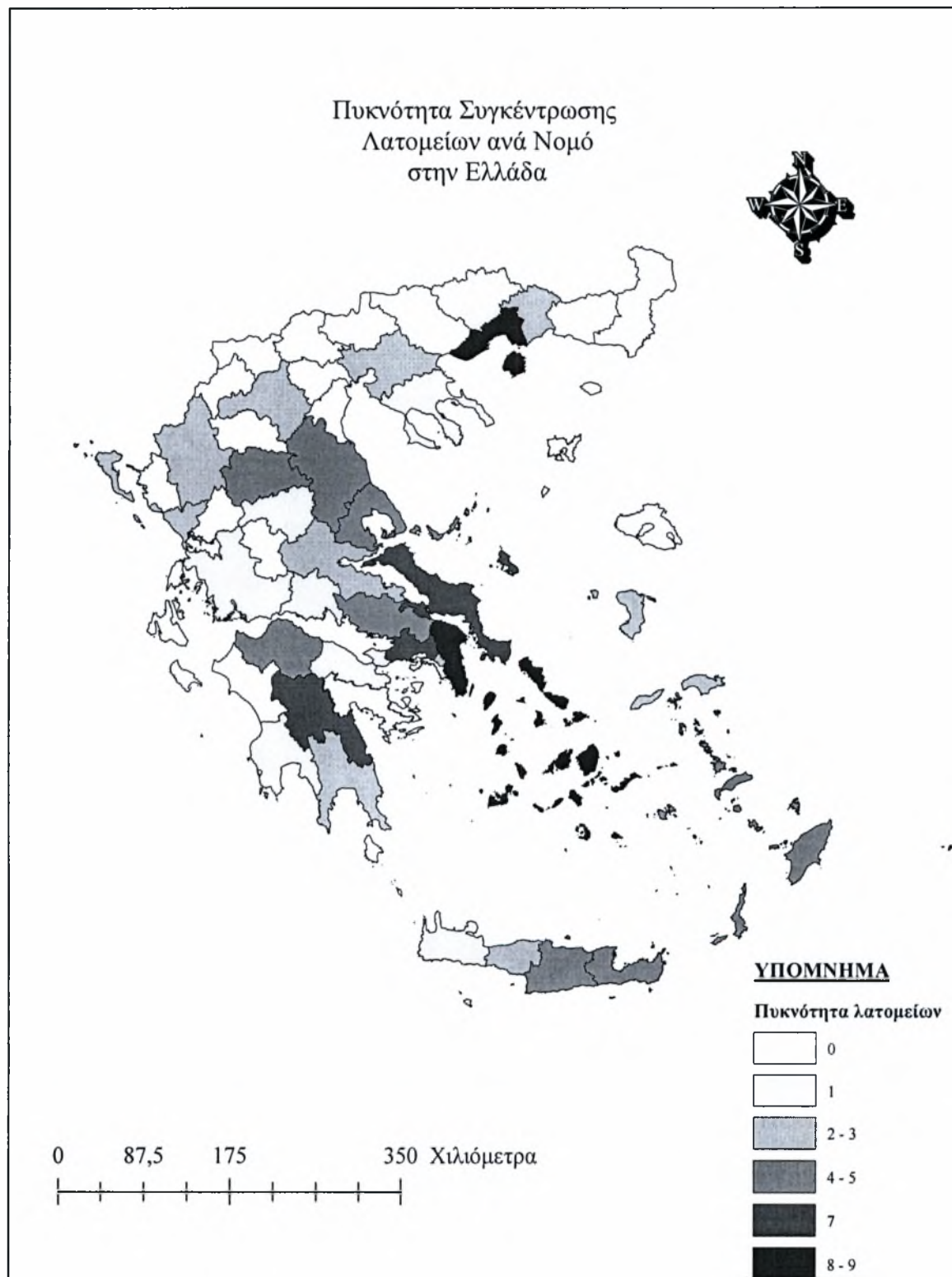


ασβεστομαρμαρυγιακούς και **ασβεστολιθικούς**. Οι πλέον διαδεδομένοι είναι οι αργιλικοί, οι οποίοι στην Ελλάδα συναντώνται στην Ήπειρο, Εύβοια, Αμοργό, Πάρο και στο Πήλιο (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

Η **χρήση** των λίθων αποτελεί δημοφιλή επιλογή στην εφαρμογή των μεθόδων της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, από τη στιγμή που τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται από **μεγάλη θερμική μάζα** και έχουν θερμοαποθηκευτική συμπεριφορά στο κτίριο. Το εν λόγω χαρακτηριστικό αποτελεί επιθυμητή ιδιότητα στις περιπτώσεις κατασκευής κτιρίων, τα οποία εκτίθενται σε ακραίες καιρικές συνθήκες από τη στιγμή που η θερμική μάζα του κτηρίου αποτελεί εξισορροπητικό παράγοντα (εκπομπή της αποθηκευμένης στο εσωτερικό του υλικού θερμότητας όταν πέφτει η θερμοκρασία περιβάλλοντος και αντιστρόφως) στις θερμοκρασιακές εναλλαγές του εξωτερικού περιβάλλοντος (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Ως μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους, οι οποίες συνιστούν οικολογική επιβάρυνση της χρήσης των λίθων στην κατασκευή, αναφέρεται η κατανάλωση μεγάλων ποσών ενέργειας για τη μεταφορά τους, από το χώρο εξόρυξης (λατομεία) στους χώρους διάθεσης (αγορές), με το συνεπακόλουθο άμεσο κόστος σε καύσιμη ύλη και το αντίστοιχο έμμεσο περιβαλλοντικό κόστος σε εκπομπές ρύπων (CO₂). Στο χάρτη 2 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των πυκνοτήτων (ανά Νομό) των λατομείων στον ελλαδικό χώρο. Σημαντική, επίσης περιβαλλοντική συνέπεια, της δόμησης με φυσικούς λίθους αποτελεί η καταστροφή του φυσικού τοπίου των **δανειοθαλάμων** (χώροι εξόρυξης) στον τόπο εξόρυξης τους. Η εντατική εξόρυξη λίθων από τα λατομεία μετασχηματίζει το φυσικό τοπίο με **αντεπίστροφα**, προκαλώντας καταστροφές που αποτρέπουν τη δυνατότητα επανένταξής του στην αρχική φυσική κατάσταση (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Ανάλογα με την ευκολία κατεργασίας (βαθμό κατεργασίας ή επεξεργασίας) και τις εγγενείς φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων προκύπτει το πεδίο χρήσης και εφαρμογής των φυσικών λίθων. Συνολικά, στην οικοδομική (Καλογεράς et al., 1993) το πεδίο εφαρμογών των δομικών λίθων καθίσταται αρκετά ευρύ. Η συνηθέστερες από τις χρήσεις των φυσικών δομικών πετρωμάτων λαμβάνουν χώρα σε κατασκευές φέροντα οργανισμού, σε επενδύσεις εξωτερικής και εσωτερικής τοιχοποιίας και σε κατασκευές δαπέδων (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).



Χάρτης 2. Πυκνότητα συγκέντρωσης λατομείων ανά Νομό στον ελλαδικό χώρο
(Προέλευση δεδομένων: www.xo.gr, 2009, χαρτογράφηση: Δημήτρης Τσιώτας).



6.2. ΑΔΡΑΝΗ

Αδρανή είθισται να χαρακτηρίζονται εκείνα τα λίθινα προϊόντα που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές οδοποιίας και εδράσεων στην οικοδομική. Σύμφωνα με την Προσωρινή Εθνική Τεχνική Προδιαγραφή (ΠΕΤΕΠ) 05-03-03-00 του Ινστιτούτου Οικονομίας Κατασκευών (ΙΟΚ) του ΥΠΕΧΩΔΕ, αδρανή υλικά θεωρούνται τα θραυστά υλικά από λίθους λατομείων, το αμμοχάλικο θραυστό ή μη, από ποταμούς, χείμαρρους, ρέματα και ορυχεία.

Συνήθεις κατηγοριοποιήσεις που είθισται να χρησιμοποιούνται για τα αδρανή υλικά είναι, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους σε **χονδρόκοκκα** και **λεπτόκοκκα** (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999), ανάλογα με το μηχανισμό σχηματισμού των κόκκων τους σε **φυσικά** και **θραυστά** και με βάση το κριτήριο αν συλλέγονται πρωτογενώς από τους χώρους εξόρυξης, οπότε και καλούνται **φυσικά** αδρανή (Wenderhorst, 1981) και **τεχνητά** (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

6.2.1. ΦΥΣΙΚΑ ΑΔΡΑΝΗ ή ΓΑΙΩΔΗ ΥΛΙΚΑ

Τα **φυσικά αδρανή** (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999) ή **γαιώδη** ή **εδαφικά** υλικά (ΠΕΤΕΠ 05-03-01-00) αποκτούν τη μορφή, με την οποία χρησιμοποιούνται επί τόπου στο έργο, με φυσικό τρόπο (χρονοβόροι γεωλογικοί μηχανισμοί), δίχως να υποβληθούν σε μηχανικές μεθόδους θραύσης (κατεργασία). Διακρίνονται, ανάλογα με το μέγεθος του κόκκου τους (κοκκομετρία) σε **άμμο** και σε **σκύρα** (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

Το μέγεθος των κόκκων της άμμου κυμαίνεται από 0,25-4,75 (mm). Η πολύ λεπτή άμμος με μέγεθος κόκκου μικρότερο των 0,075mm ονομάζεται **παιπάλη** (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ, 1997) ως **άμμος** ορίζεται το κλάσμα, των οποίων οι κόκκοι διέρχονται από το κόσκινο με κωδικό n8 ή 3/8 σε ποσοστό 100% και από το κόσκινο με κωδικό n4 ή No4 σε ποσοστό τουλάχιστον 95%.

Τα **σκύρα** έχουν μέγεθος που κυμαίνεται από 4-75 (mm). Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους τα διακρίνουμε, με αύξουσα παράθεση, σε **γαρμπίλι**, **χαλίκι** και **κροκάλα** (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999) με μέγεθος κόκκων **1,5cm**, **1,5-3cm** και **3-7cm** αντίστοιχα (Λεγάκης, 1988).



6.2.1.1. ΑΜΜΟΣ ΠΟΤΑΜΟΥ

α. Περιγραφή

Η άμμος ποταμού είναι εκείνο το φυσικό αδρανές, το **μέγεθος των κόκκων** της οποίας κυμαίνεται από 0,25-4,75 (mm) και προέρχεται από τις κοίτες των ποταμών. (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Η μέθοδος παραγωγής της άμμου ποταμού περιορίζεται στη συλλογή της από τους δανειοθαλάμους (ποταμοί, χείμαρροι) και στην πλύση των εδαφικών υλικών, για την απαλλαγή του προϊόντος από μη επιθυμητά ξένα σώματα. Η **μέση εκτιμώμενη τιμή της ενσωματωμένης ενέργειας αδρανών** (υπό την αίρεση των περιορισμών, που την καθιστούν μεταβαλλόμενη), ανέρχεται στα **0,10MJ/kg** (Woolley et al., 1997). Η άμμος ποταμού εκτιμάται ότι έχει **χαμηλή τιμή εσωτερικής ενέργειας** (σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά της αυτής κατηγορίας), η οποία οφείλεται στις στοιχειώδεις εργασίες καθαρισμού και μεταφοράς της, προς και από το σταθμό επεξεργασίας. Ενδεικτική τιμή ενσωματωμένης ενέργειας της εν λόγω άμμου είναι **0,02MJ/kg**.

γ. Χρήσεις

Η άμμος ποταμού χρησιμοποιείται συνηθέστερα ως συνδετικό υλικό σε **κονιάματα** (βλ. αντίστοιχο κεφάλαιο παρόντος), σε **εργασίες πεζοδρόμησης** (εικόνα 4), ως **υλικό κατάδειξης οδεύσεων δικτύων ευκολιών** και, γενικά, σε εργασίες **πλήρωσης και επίχωσης**.



Εικόνα 5 Άμμος ποταμού κατά την εφαρμογή της ως υλικό έδρασης σε εργασίες πεζοδρόμησης (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).



δ. Συντήρηση

Η άμμος ποταμού, αποτελεί φυσικό δομικό υλικό, το οποίο *δε χρειάζεται συντήρηση* για τη διατήρηση των χαρακτηριστικών του, εντός του ωφέλιμου κύκλου ζωής του. Το μόνο πρόβλημα εμφανίζεται στις εφαρμογές, στις οποίες η άμμος χρησιμοποιείται σε ελεύθερη απόθεση ή άδετη (χωρίς να αποτελεί συστατικό κονιάματος), εξαιτίας του μικρού μεγέθους των κόκκων της. Στην περίπτωση αυτή η ενδεχόμενη απομάκρυνσή της (από το έργο) καθίσταται εύκολη, εξαιτίας των φυσικών εξωτερικών συνθηκών (επιφανειακή απομάκρυνση κόκκων από τον άνεμο, έκπλυση από τα όμβρια ύδατα κλπ) με αποτέλεσμα *η συντήρηση να έγκειται στην επαναπλήρωσή της* (τοποθέτηση συμπληρωματικού υλικού).

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Μοναδική βλαπτική δράση, που δύναται να αναγνωρισθεί εδώ, είναι η *εισπνοή των μικρών κόκκων άμμου* στους χώρους εξόρυξης και κατασκευής, η οποία οφείλεται στις κάθε είδους μηχανικές αναδεύσεις του υλικού κατά την εκτέλεση των εργασιών. Η εν λόγω περίπτωση ενδέχεται να αποτελεί, μακροπρόθεσμα, επιβαρυντικό παράγοντα στο προσωπικό που εργάζεται σε αντίστοιχους χώρους, γι' αυτό επιβάλλεται η χρήση μέτρων ατομικής προστασίας (προσωπίδα, γυαλιά κλπ).

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Η περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκύπτει κατά τη χρήση της άμμου ποταμού είναι η *ανεπανόρθωτη καταστροφή του τοπίου στον τόπο των δανείων* (Woolley et al., 1997, Κορωναίος και Σαργέντης, 2005), ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη το φτωχό υδρογραφικό δίκτυο των ποταμών στη χώρα μας.

ζ. Ανακύκλωση

Η άμμος ποταμού, επειδή αποτελεί φυσικό υλικό, ακολουθεί τους μηχανισμούς ανακύκλωσης που επιβάλλονται από τη φύση στο εδαφομορφολογικό ανάγλυφο. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα μικρά γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κόκκων της άμμου (ποταμού) της επιτρέπουν να αναμειγνύεται εύκολα στην εδαφική μάζα του περιβάλλοντος της κατασκευής, με αποτέλεσμα να *καθίσταται σχεδόν αδύνατος ο διαχωρισμός της για επαναχρησιμοποίηση*.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Το οικολογικό πλεονέκτημα της χρήσεως άμμου ποταμού στα τεχνικά έργα και στις κατασκευές έγκειται στο γεγονός ότι αποτελεί καθ' ολοκληρίαν *φυσικό προϊόν*, το



οποίο συνεργάζεται άψογα με τα υπόλοιπα εδαφικά στοιχεία, με την προϋπόθεση ότι δε χρησιμοποιείται σε κονιάματα.

6.2.1.2. ΑΜΜΟΣ ΘΑΛΑΣΣΗΣ

α. Περιγραφή

Η άμμος θαλάσσης αποτελεί είδος άμμου (όπως ορίστηκε παραπάνω), το οποίο *προέρχεται από φυσικά δάνεια των παράκτιων περιοχών*. Πρόκειται ουσιαστικά για άμμο που συλλέγεται από παραλίες.

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Εκτιμάται ότι έχει τιμή *λίγο μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της άμμου ποταμού*, διότι, εξαιτίας των αλάτων, που εμπεριέχει, καθίσταται (στις περισσότερες των περιπτώσεων) υποχρεωτική η πλύση του υλικού πριν από τη χρήση της στο έργο. Ενδεικτική τιμή της *0,05MJ/kg*.

γ. Χρήσεις

Η άμμος θαλάσσης χρησιμοποιείται συνήθως σε *κονιάματα*, στην *κατάδειξη οδεύσεων δικτύων ευκολιών* και σε *έργα διαμόρφωσης περιβάλλοντα χώρου*. Σύμφωνα με τα οριζόμενα στον ΚΤΣ του 1997 είναι δυνατή η χρήση φυσικών αδρανών από τη θάλασσα, για την παρασκευή οπλισμένου σκυροδέματος (η αναφορά γίνεται στην άμμο θαλάσσης ως συστατικό της τσιμεντοκονίας και λιγότερο σε παράκτια σκύρα που χρησιμοποιούνται ως αδρανή σκυροδέματος), ακόμη και όταν αυτά δεν έχουν πλυθεί, εφόσον η περιεκτικότητά τους σε χλωριούχα άλατα, εκφρασμένη σε ισοδύναμο ποσοστό άνδρου χλωριούχου ασβεστίου (CaCl_2), δεν υπερβαίνει το 1% του βάρους του τσιμέντου (βλέπε για τσιμέντο κεφ. κονιαμάτων). Στην κατασκευή όμως προεντεταμένου σκυροδέματος απαγορεύεται η χρήση φυσικών αδρανών από θάλασσα, που δεν έχουν πλυθεί.

δ. Συντήρηση

Όμοια με την άμμο ποταμού, λαμβάνοντας υπόψη ότι τα φερόμενα στην άμμο άλατα αποτελούν διαβρωτικό παράγοντα, γι' αυτό απαιτείται έκπλυσή τους.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Όμοια με την άμμο ποταμού.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Ως περιβαλλοντικές συνέπειες, που προκύπτουν κατά τη χρήση της άμμου θαλάσσης στις κατασκευαστικές εφαρμογές, δύναται να αναφερθούν η *ερημοποίηση*



των αιγιαλών στον τόπο των δανείων και η **διαβρωτική λειτουργία** των φερόμενων σε αυτή αλάτων. Για τη δεύτερη περίπτωση, όταν η άμμος θαλάσσης χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό κονιαμάτων τότε (γενικά) μειώνει τον κύκλο ζωής τους, καθιστώντας το συντομότερα απόβλητο. Επίσης, όταν χρησιμοποιείται ως φυσικό επίχωμα συντελεί στα φαινόμενα υφαλμύρωσης των εδαφών.

ζ. Ανακύκλωση

Όμοια με την άμμο ποταμού.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Όμοια με την άμμο ποταμού.

6.2.2. ΘΡΑΥΣΤΑ ΑΔΡΑΝΗ

Θραυστά ονομάζονται τα αδρανή που λαμβάνουν την τελική μορφή τους με μηχανικό θρυματισμό (θράυση) πετρωμάτων, σε ειδικούς χώρους εξόρυξης, τα λατομεία ή νταμάρια (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

6.2.2.1. ΑΜΜΟΣ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ

α. Περιγραφή

Η άμμος λατομείου (εικόνα 5) ονομάζεται το θραυστό αδρανές, που έχει μέγεθος κόκκων μεταξύ 0,25-4,75 (mm) και παράγεται με τεχνητή κατεργασία στα λατομεία (νταμάρια) (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).



Εικόνα 5. Άμμος λατομείου (το στυλό στη φωτογραφία αποτελεί συγκριτικό δείκτη κλίμακας) (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δ. Τσιώτα).



β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Η επιπλέον ενέργεια (σε σχέση με τα αντίστοιχα φυσικά αμμόδη δομικά υλικά, που προαναφέρθηκαν), η οποία επιβαρύνει την άμμο λατομείου αναφέρεται στην ενέργεια, που δαπανάται για την **εξόρυξη** (καύσιμα μηχανών εξόρυξης) και στην **ενέργεια λειτουργίας των θραυστηρίων** (βιομηχανικές διατάξεις, οι οποίες θρυμματίζουν τους ογκόλιθους που εξορύσσονται) (Woolley et al., 1997). Η άμμος λατομείου, επομένως, φαίνεται να εμφανίζει μεγαλύτερες (θεωρητικές) τιμές από τα ομόλογά της φυσικά υλικά, οι οποίες γύρω στα **0,10MJ/kg**. Βέβαια, ανάλογα με την εγγύτητα του έργου σε κάποια περιοχή εξόρυξης, οι προαναφερόμενες διαφορές ενδέχεται να απαλείφονται.

γ. Χρήσεις

Η άμμος λατομείου χρησιμοποιείται ως **υλικό κονιαμάτων**, για **εξυγιάνσεις εδαφών**, **στην οδοποιία** και ως **καταδεικτικό υλικό οδεύσεων δικτύων ευκολιών** (εικόνα 6).



Εικόνα 7. Χρήση άμμου λατομείου ως καταδεικτικό υλικό όδευσης εξωτερικού δικτύου ύδρευσης (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δ. Τσιώτα).

δ. Συντήρηση

Όπως τα προαναφερόμενα στα αμμόδη φυσικά υλικά.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Όπως τα προαναφερόμενα στα αμμόδη φυσικά υλικά.



στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Η ρύπανση του περιβάλλοντος, η οποία προκαλείται από τα φυσικά θραυστά αμμόδη, εκφράζεται με τον χαρακτηριστικό, έμμεσο, τρόπο στην τιμή της ενσωματωμένης τους ενέργειας. Επιπλέον πρέπει να καταμετρηθεί (ως αρνητική περιβαλλοντική επίδραση) και η καταστροφή του φυσικού τοπίου εξόρυξης (Woolley et al., 1997), λαμβάνοντας υπόψη τα τεράστια ποσά υλικών που χρησιμοποιούνται καθημερινά στις εφαρμογές (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

ζ. Ανακύκλωση

Όταν καθίσταται εφικτή η επανασυλλογή της (σε καθαρή μορφή) τότε το υλικό επαναχρησιμοποιείται ως έχει και δεν ανακυκλώνεται.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Ως έμμεσο οικολογικό πλεονέκτημα είναι δυνατόν να αναφερθεί η εναλλακτική περιβαλλοντική ωφέλεια, της άμμου λατομείου. Το εν λόγω υλικό, όντας οικονομικό, καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα εργασιών, οι οποίες, ελλείψει αυτού, θα πραγματοποιούνταν με άλλα δομικά υλικά, τα οποία θα αποτελούσαν επιβαρυντικότερο παράγοντα για το περιβάλλον.

6.2.2.2. ΣΚΥΡΑ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ

α. Περιγραφή

Τα **σκύρα λατομείου** αποτελούν θραυστά υλικά με μέγεθος που κυμαίνεται από 4-75 (mm) και διακρίνονται σε **γαρμπίλι**, **χαλίκι** (εικόνα 7) και **κροκάλα** (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Η εικόνα 8 παρουσιάζει απόσπασμα εργασιών έδρασης θεμελίωσης με χρήση κροκάλας σε εκσκαφή βάθους 1,5m.



Εικόνα 8. Χαλίκι λατομείου. Το στυλό αποτελεί σχετική ένδειξη κλίμακας (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).



Εικόνα 9. Κροκάλα λατομείου (αρ.) και λεπτομέρεια (δεξ.) σε εφαρμογή επιφάνειας έδρασης θεμελίων (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Όμοια με τις προηγούμενες περιπτώσεις η ενσωματωμένη ενέργεια των (θραυστών) σκύρων λατομείου περιλαμβάνει την *ενέργεια εξόρυξης*, την *ενέργεια θραύσης και σχηματισμού* και την *ενέργεια μεταφοράς* στο έργο. Εξαιτίας των υψηλών ποσοστών απώλειας της αρχικής εξορυσσόμενης μάζας στο τελικό προϊόν, εκτιμάται ότι η τιμή των σκύρων λατομείου είναι αισθητά μεγαλύτερη από των προηγούμενων αμμοδών δομικών υλικών (Woolley et al., 1997). Υπενθυμίζεται ότι οι τιμές της ενσωματωμένης ενέργειας παρουσιάζουν χωρική μεταβλητότητα, η οποία (σε δεδομένες συνθήκες) ενδέχεται να καταστήσει την τιμή της ενσωματωμένης ενέργειας των σκύρων λατομείου μικρότερη από τις προαναφερόμενες άμμους. Ενδεικτική τιμή ενσωματωμένης ενέργειας των εν λόγω υλικών από *0,12-0,25MJ/kg*.

γ. Χρήσεις

Τα σκύρα λατομείου χρησιμοποιούνται ως αδρανή σκυροδεμάτων, για την κατασκευή εδράσεων (συνήθως υδατοπερατών), ως βοηθητικά υλικά θεμελιώσεων, στις κατώτερες στρώσεις οδοποιίας και σε λιθορριπές.

δ. Συντήρηση

Όπως με τα υπόλοιπα λίθινα προϊόντα



ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Περιορίζονται σε σχέση με τα προαναφερόμενα στην εισπνοή των μικρών κόκκων άμμου στους χώρους εξόρυξης από το, προσωπικό που εργάζεται σε αντίστοιχους χώρους.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Η εκπομπή αέριων ρύπων, η οποία συνδέεται με την ενσωματωμένη ενέργεια, και η δεδομένη καταστροφή του φυσικού τοπίου στους σταθμούς εξόρυξης (Woolley et al., 1997, Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

ζ. Ανακύκλωση

Όταν καθίσταται εφικτή η επανασυλλογή τους (στην περίπτωση που δεν αποτελούν συστατικό κονιαμάτων) τότε πραγματοποιείται επανάχρηση.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Το έμμεσο πλεονέκτημα της εναλλακτικής ωφέλειας για το περιβάλλον (αν χρησιμοποιούνταν άλλο, μη πετρώδες, υλικό για δεδομένο όγκο εργασίας θα ήταν πιο επιβλαβές) και το γεγονός ότι αποτελούν φυσικά υλικά, τα οποία δε ρυπαίνουν το περιβάλλον.

6.2.2.3. ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΑ ΘΡΑΥΣΤΑ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ (3Α)

α. Περιγραφή

Τα **διαβαθμισμένα θραυστά λατομείου** (ή διαφορετικά **3Α**, όπως έχει επικρατήσει να είναι η εμπορική του ονομασία) αποτελούν δομικό υλικό, το οποίο αποτελείται από θραυστά αδρανή λατομείου, τριών διαφορετικών ειδών κοκκομετρίας (μεγεθών, σε αντιστοιχία γνωστών αδρανών, άμμου, γαρμπιλιού και σκύρων). Ουσιαστικά η ονομασία 3Α αποτελεί σύντμηση της έκφρασης «**Τρία Αδρανή**», τα οποία αποτελούν τα συστατικά του υλικού. Το εν λόγω υλικό (εικόνα 9), χάρη στη διαβαθμισμένη σύνθεσή του, συνδυάζει τα πλεονεκτήματα και των τριών συστατικών του. Όταν συμπυκνώνεται δεν εμφανίζει πόρους (ιδιότητα οφειλόμενη στην άμμο), διαστρώνεται εύκολα (χάρη στις ποσότητες γαρμπιλιού που περιέχει) και εμφανίζει αξιόλογη φέρουσα ικανότητα (οφειλόμενη στη συνεργασία των σκύρων με τα υπόλοιπα συστατικά).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Η τιμή της ενσωματωμένης ενέργειας του 3Α καθίσταται ελαφρώς υψηλότερη από τα προαναφερόμενα υλικά, εξαιτίας της ιδιαιτερότητάς του ότι αποτελείται από αδρανή



τριών διαφορετικών μεγεθών κόκκου, με αποτέλεσμα οι παραγωγικές κατεργασίες να λαμβάνουν χώρα σχεδόν εις τριπλούν.



Εικόνα 49. Διαβαθμισμένο θραυστό λατομείου (3Α). Το στυλό αποτελεί σχετική ένδειξη κλίμακας (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).

γ. Χρήσεις

Συνηθέστερη χρήση του υλικού στην οδοποιία στην κατασκευή επιφανειών έδρασης ασφαλικών στρώσεων κυκλοφορίας. Δύναται να χρησιμοποιηθεί και ως επιφανειακή στρώση σε χωμάτινες οδούς.

δ. Συντήρηση

Ουδεμία άμεσης φύσης, η οποία να αφορά τη διατήρηση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού. Όπως προαναφέρθηκε, στην περίπτωση που εκτίθεται άμεσα στις περιβαλλοντικές συνθήκες, ενδέχεται το υλικό (λόγω της πολυκαιρίας και των μακροχρόνιων φορτίσεων) σταδιακά να υποχωρεί, οπότε και απαιτείται διάστρωση συμπληρωματικής ποσότητας.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Περιορίζονται στα προαναφερόμενα για το προσωπικό εργασίας στα λατομεία και ελάχιστα στον τόπο του έργου.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Όπως για τα προηγούμενα υλικά.

ζ. Ανακύκλωση

Επανάχρηση, υπό τις προαναφερόμενες προϋποθέσεις.



η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Φυσικό υλικό, με αξιόλογες μηχανικές ιδιότητες.

6.2.3. ΤΕΧΝΗΤΑ ΑΔΡΑΝΗ

α. Περιγραφή

Τεχνητά αδρανή ονομάζονται τα αδρανή υλικά, τα οποία δεν προκύπτουν από φυσική εξόρυξη πετρωμάτων, αλλά από δευτεροβάθμια επεξεργασία κατεδαφιστέων (ή αποβαλλόμενων από το κτίριο) δομικών υλικών. Πρόκειται για ανακυκλώσιμα ή επαναχρησιμοποιήσιμα δομικά υλικά ποικίλης προέλευσης, τα οποία θραύονται για τη χρήση τους ως αδρανή (Λίτινας και Γιανακκόπουλος, 1999). Από τον πίνακα 11 του κεφαλαίου 5 της παρούσας (Tam and Tam, 2006) προκύπτει ότι στη σύγχρονη βιομηχανία της ανακύκλωσης **πρώτες ύλες (raw materials)** για την παραγωγή τεχνητών αδρανών αποτελούν το **σκυρόδεμα**, τα **κεραμικά**, τα **υαλικά**, τα **προϊόντα κατεδάφισης τοιχοποιιών** και τα **πολυμερή**, όταν καθίστανται αποβλητά από την κατασκευή.

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Ως ποσό ενσωματωμένης ενέργειας των τεχνητών αδρανών θεωρείται η **ενσωματωμένη ενέργεια της δευτεροβάθμιας παραγωγικής κατεργασίας** (από τη στιγμή, που τα υλικά αποβάλλονται από την οικοδομή και μέχρι το σημείο που επαναποτελούν δομικό προϊόν) ή, διαφορετικά, η **ενσωματωμένη ενέργεια ανακύκλωσης του υλικού**, το οποίο ανακυκλώνεται για τη χρήση του ως τεχνητό αδρανές. Υπενθυμίζεται το γράφημα 20 (κεφ. 5), από το οποίο προκύπτουν ενδεικτικές τιμές για μερικά υλικά πρώτων υλών των τεχνητών αδρανών. Θα αποτελούσε ατόπημα (ή εκούσιο σφάλμα όσων δεν συντάσσονται με τη νοοτροπία της ανακύκλωσης) να συμπεριληφθεί στον υπολογισμό της ενσωματωμένης ενέργειας των τεχνητών αδρανών και το αντίστοιχο ποσό της ενσωματωμένης ενέργειας του υλικού κατά τον πρώτο κύκλο της ζωής του (σχήμα 16, κεφ. 5). Η παραπάνω, προσωπική, θέση στοιχειοθετείται με το επιχείρημα ότι κάθε υλικό, κατά τη διάρκεια χρήσης του στο έργο, με τη χρησιμότητα που παράγει αποσβαίνει (θετικά ή αρνητικά) την ενεργειακή επένδυση (η οποία εκφράζεται με το μέγεθος της ενσωματωμένης ενέργειας) που του έχει πραγματοποιηθεί.

γ. Χρήσεις

Τα τεχνητά αδρανή υποκαθιστούν τα φυσικά (θραυστά ή μη) σε όλες τις εργασίες κατασκευής, ανάλογα με τις μηχανικές ιδιότητες που αποκτούν (ιδίων ή μειωμένων απαιτήσεων) Τα τεχνητά αδρανή, που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία, έχουν ίδιες



μηχανικές απαιτήσεις με τα αντίστοιχα φυσικά, ενώ αδρανή, τα οποία χρησιμοποιούνται σε εργασίες επιχωμάτωσης χωρίς φορτίσεις, δύνανται να είναι μειωμένων μηχανικών απαιτήσεων (Zaharieva et al., 2003).

δ. Συντήρηση

Δίχως ιδιαιτερότητες, όπως τα προηγούμενα.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Δίχως ιδιαιτερότητες, με τις αυτονόητες που προκύπτουν για το προσωπικό εργασίας κατά την παραγωγή.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Ως επιδράσεις στο περιβάλλον των τεχνητών αδρανών παραμένουν οι δεδομένες των υλικών των πρώτων υλών τους. Η χρονική υστέρηση απόρριψης, όμως, κατά ένα κύκλο ζωής, των πρωτογενών υλικών θεωρείται (αδιαμφισβήτητα) ωφέλιμη για το περιβάλλον.

ζ. Ανακύκλωση

Υφίσταται θεωρητική δυνατότητα. Εξαιτίας, όμως, του γεγονότος, ότι η ανακύκλωση δομικών υλικών δεν αποτελεί καθιερωμένη δράση (δεδομένων των ασύλληπτων ποσοτήτων των οικοδομικών υλικών, που απορρίπτονται στους χώρους ενταφιασμού σε παγκόσμια κλίμακα), δεν έχει τεθεί στον παγκόσμιο επιστημονικό διάλογο θέμα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας ανακυκλωμένων αδρανών.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Ο οικολογικός απολογισμός της χρήσης ανακυκλωμένων αδρανών χαρακτηρίζεται θετικός, εξαιτίας της παράτασης του χρόνου ζωής, που προσφέρουν στα πρωτογενή υλικά.

6.3. ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ

Ως δομικοί λίθοι εννοούνται τα δομικά υλικά, τα οποία προέρχονται από φυσικά πετρώματα, έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις (και τις περισσότερες φορές και δεδομένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά) συγκριτικά με τα αδρανή και χρησιμοποιούνται σε ποικίλες οικοδομικές εφαρμογές (Wendehorst, 1981).



6.3.1. ΓΡΑΝΙΤΗΣ

α. Περιγραφή

Ο γρανίτης αποτελεί φυσικό δομικό λίθο, ο οποίος αποτελείται από τρία πετρώματα, το *χαλαζία*, τον *άστριο* και τη *μαρμαρυγία*. Οι αναλογίες των εν λόγω πετρωμάτων στη δομή της μάζας του γρανίτη είναι και αυτές, που καθορίζουν τα διάφορα είδη γρανιτών και ποιότητάς τους. Ο γρανίτης αποτελεί λίθο με εσωτερική ομοιομορφία, συνοχή και ομοιογένεια. Εμφανίζει μεγάλη μηχανική αντοχή, διάρκεια ζωής και σκληρότητα. Αποτελεί πολυτελές δομικό υλικό, λόγω του γεγονότος ότι λειαίνεται (αποκτά επιφάνεια δίχως τραχύτητα) και στιλβώνεται (του προσδίδεται γυαλάδα) εύκολα (Λίτινας και Γιανακκόπουλος, 1999).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Η μέση τιμή της *ενσωματωμένης ενέργειας γρανιτών* (υπό την αίρεση που προαναφέρθηκε) *ανέρχεται στα 8-10MJ/kg* (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005). Η εν λόγω τιμή καθίσταται υψηλή σε σχέση με τη μέση τιμή της ενσωματωμένης ενέργειας των λίθων, η οποία εκτιμάται στα 4MJ/kg (Woolley et al., 1997).

γ. Χρήσεις

Οι χρήσεις του γρανίτη παρουσιάζονται με αριθμούς, αν ανατρέξει κανείς σε στατιστικά στοιχεία (τα παρακάτω στοιχεία αφορούν κοινές ποσότητες γρανιτών και μαρμάρων). Κατά την τρέχουσα περίοδο η παγκόσμια αγορά γρανιτών (και μαρμάρων παράγει) 65 εκατομμύρια τόνους ετησίως, από τους οποίους το 80% των ολοκληρωμένων προϊόντων αποτελούν προϊόντα κεραμοποιίας (γρανιτικά πλακίδια τοίχων και δαπέδων και κάθε είδους επιστρώσεις), το 15% απορροφάται στην κατασκευή μνημάτων και παρεμφερών μνημείων και το υπόλοιπο 5% χρησιμοποιείται για λοιπά προϊόντα γενικής χρήσης (Santos et al., 2009).

δ. Συντήρηση

Οι ιδιαίτερες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του προϊόντος το καθιστούν να μην απαιτεί συντήρηση. Προληπτική συντήρηση ο καθαρισμός των επιφανειών.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Δεν έχουν καταγραφεί.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Μόνο οι αυτονόητες επιδράσεις, οι οποίες προκύπτουν από την εξόρυξη, αλλά, λαμβάνοντας υπόψη τον πολυτελή χαρακτήρα του εν λόγω δομικού υλικού, η ένταση (ρυθμοί) της εξόρυξης δεν καθίσταται προς το παρόν ανησυχητική.



ζ. Ανακύκλωση

Ο γρανίτης, εξαιτίας του υψηλού κόστους του και του γεγονότος ότι τοποθετείται στη δόμηση εξωτερικών επιφανειών (φινιρίσματα), συνήθως αφαιρείται μετά προσοχής και επαναχρησιμοποιείται ως έχει, με γεωμετρική μόνο κατεργασία. Προτείνεται (Santos et al., 2009) στις περιπτώσεις εξαγωγής από την οικοδομή θρυμματισμένων μερών (γρανίτη), να χρησιμοποιείται ως τεχνητό αδρανές (σε ανάμιξη με υπόλοιπα αφαιρεθέντα δομικά υλικά).

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Είναι φυσικό υλικό με μεγάλη διάρκεια ζωής (Santos et al., 2009). Επίσης στα θετικά οικολογικά του στοιχεία συμπεριλαμβάνεται και η μικρή τιμή απωλειών υλικού κατά την παραγωγή του (γράφημα 19, κεφ. 5) (Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005).

6.3.2. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ

α. Περιγραφή

Οι ασβεστόλιθοι αποτελούν τα περισσότερα διαδεδομένα πετρώματα στον ελλαδικό χώρο, τα οποία εμφανίζονται σε πλεονάζουσες ποσότητες. Βασικό συστατικό των ασβεστολιθικών πετρωμάτων αποτελεί το **ανθρακικό ασβέστιο** (CaCO_3), το οποίο συμμετέχει στη σύστασή τους σε ποσοστό 75% κατ' όγκο. Στο υπόλοιπο 25% του όγκου των ασβεστόλιθων συνήθως συναντώνται το **ανθρακικό μαγνήσιο** (MgCO_3), το οξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και το οξείδιο του **αργίλου** (Al_2O_3) (Λεγάκης, 1988). Οι ασβεστόλιθοι, ανάλογα με τη σύσταση της δομής τους, διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τους **πορώδεις** (όταν το εσωτερικό τους έχει πόρους, για παράδειγμα η κίσηρη) και τους **συμπαγείς** (όταν το εσωτερικό τους είναι συνεκτικό, δίχως κενούς θύλακες, όπως το μάρμαρο) (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Η ενσωματωμένη ενέργεια των ασβεστολιθικών πετρωμάτων χαρακτηρίζεται επαρκώς από τη μέση τιμή της ενσωματωμένης ενέργειας των λίθων. Ασβεστολιθικά πετρώματα συναντώνται σε όλα τα ορεινά μορφώματα της Ελλάδας, όπως στην Πίνδο, στον Υμηττό, στην Πεντέλη κλπ (Λεγάκης, 1988).

γ. Χρήσεις

Εξαιτίας του γεγονότος ότι ο ασβεστόλιθος είναι ευπαθής στη φωτιά (κατά την πύρωσή του αποδεσμεύεται το CO_2) και στα οξέα (διάβρωση του πετρώματος σε συνδυασμό με υγρό περιβάλλον) οι χρήσεις του (πρέπει να) περιορίζονται σε μη



φέρουσες κατασκευές. Συνήθως χρησιμοποιείται αυτούσιος για επιστρώσεις δαπέδων, επενδύσεις και θερμομονώσεις (Wendehorst, 1981). Από τον ασβεστόλιθο προέρχεται και ο ασβέστης, ο οποίος αποτελεί υδρόφιλη κονία, που χρησιμοποιείται σε επιχρίσματα.

δ. Συντήρηση

Για την προστασία των ασβεστολιθικών δομικών υλικών πραγματοποιείται επίχριση (ή επάλειψη) του υλικού με κερί (κέρωμα), παραφίνη, λινέλαιο ή φθοροπυριτικά άλατα (Wendehorst, 1981).

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Δεν καταγράφονται.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Αναφέρονται στην ένταση εξόρυξης.

ζ. Ανακύκλωση

Όταν καθίσταται δυνατή η αφαίρεση από την κατασκευή ακέραιων πλακών είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίησή τους. Διαφορετικά προτείνεται (Santos et al., 2009) η θραύση και χρήση τους ως αδρανή.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Αποτελούν φυσικά πετρώματα, εύκολα εξορύξιμα, τα οποία ανευρίσκονται σε πολλά σημεία της Ελλάδας. Η ύπαρξη πολλών κοιτασμάτων στον ελλαδικό χώρο σε συνδυασμό με την (αντίστοιχη) ευκολία επεξεργασίας τους και την υποτυπώδη χρήση προσθετικών συντήρησης, επιτρέπει το χαρακτηρισμό τους ως οικολογικά υλικά.

6.3.3. ΚΙΣΣΗΡΗ

α. Περιγραφή

Η **κίσσηρη (ελαφρόπετρα)** αποτελεί ένα μαλακό, λευκό, πορώδες ηφαιστειακό πέτρωμα, ασβεστολιθικής βάσης, το οποίο σχηματίστηκε από γεωλογικά φαινόμενα ταχείας ψύξης και εξάτμισης (από τη μάζα της) λιωμένου τραχειτικού μάγματος, το οποίο αποτελεί ένα εξαιρετικά σκληρό ηφαιστιογενές πέτρωμα. Με την παραπάνω φυσική διεργασία απέκτησε αφρώδη ιστό, με μικρό φαινόμενο βάρος (έχει την ιδιότητα να επιπλέει στο νερό), αλλά μεγάλη σκληρότητα (είναι ψαθυρό υλικό) (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Η κιμωλία συναντάται στη φύση σε αργιλικά άλατα και σπανιότερα σε πυριτικά άλατα μαγνήσιου και θειικά άλατα ασβεστίου. Είναι υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση.



β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Δεν απαιτεί καμιά κατεργασία, πέρα από την απόδοση γεωμετρικού σχήματος για το σχηματισμό δομικών στοιχείων (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Τα κυριότερα λατομεία κίσσηρης βρίσκονται στη Μήλο, στα Δωδεκάνησα και στη Σαντορίνη. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα ολόκληρο μικρό νησί, που γειτνιάζει με τη Νίσυρο, αποτελείται στο μεγαλύτερο ποσοστό του από ελαφρόπετρα (Λεγάκης, 1988).

γ. Χρήσεις

Ιδανικό για κατασκευή κισσηρόλιθων (τεχνητών δομικών λίθων τύπου A-Block ή YTONG), ελαφρών σκυροδεμάτων (τα αποκαλούμενα ελαφροσκυροδέματα). Χρησιμοποιείται, επίσης (χάρη στο πορώδες του, το οποίο του προσδίδει την ιδιότητα να εγκλωβίζει όγκο αέρα στο εσωτερικό του), για τη θερμομόνωση ταρατσών (Λεγάκης, 1988). Οι λοιπές εφαρμογές της περιλαμβάνουν τη κονιορτοποιημένη (σε σκόνη) χρήση της για το σχηματισμό διαγραμμίσεων αθλητικών χώρων και την εφαρμογή της ως κιμωλία.

δ. Συντήρηση

Η κίσσηρη αποτελεί εξαιρετικά εύθρυπτο υλικό (ψαθυρό), το οποίο αποδιοργανώνεται κατά την τριβή της με άλλες επιφάνειες. Για το λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγεται η ανεπίχριστη χρήση του.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Δεν καταγράφονται πέραν των κοινών προκαλούμενων από την εισπνοή κόκκων ξένων σωματιδίων, οι οποίες αφορούν το εργατοτεχνικό προσωπικό στους χώρους εξόρυξης και λιγότερο κατασκευής.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Ουδεμία.

ζ. Ανακύκλωση

Εφόσον είναι απαλλαγμένη από στρώσεις επίχρισης, δύναται να ανακυκλωθεί εύκολα σε κονία, μετά την αφαίρεσή της από το έργο.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Είναι φυσικό υλικό, με θερμομονωτικές ιδιότητες, που αποδιοργανώνεται εύκολα όταν εφαρμόζεται μηχανική καταπόνηση.



6.3.4. ΑΛΑΒΑΣΤΡΟΣ Η' ΓΥΨΟΣ

α. Περιγραφή

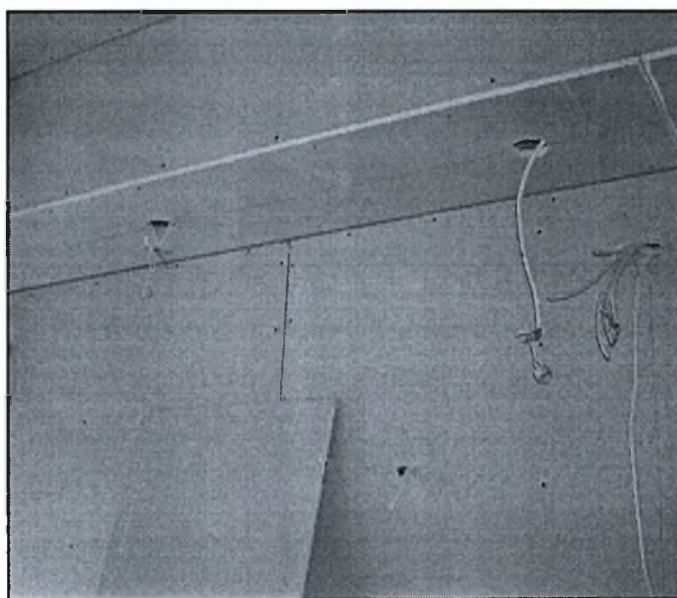
Είναι ασβεστολιθικό πέτρωμα, ιζηματογενές, με κρυσταλλική δομή, κοκκώδη υφή και καθίσταται ιδιαίτερα εύθρυπτος. Είναι ιδιαίτερα μαλακός, πράγμα που τον καθιστά και εύκολα επεξεργάσιμο. Προσβάλλεται από την υγρασία και τις καιρικές επιδράσεις (Wendehorst, 1981).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Εκτιμάται ότι είναι μικρή εξαιτίας της ασβεστολιθικής του προέλευσης και της ευκολίας στην κατεργασία του.

γ. Χρήσεις

Ιδανικό δομικό υλικό για διακοσμητικές εργασίες εσωτερικών χώρων (Wendehorst, 1981). Συνήθως χρησιμοποιείται στην ξηρά δόμηση για την κατασκευή γυψοσανίδων (εικόνα 10), οι οποίες αποτελούν αμφίπλευρες επιφάνειες χαρτιού με ενδιάμεση πλήρωση γύψου στο εσωτερικό τους.



Εικόνα 10 Κατασκευή τοιχοποιίας από στοιχεία ξηράς δόμησης (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).

δ. Συντήρηση

Αποφυγή απευθείας έκθεσης του υλικού σε υγρασία, διότι διαβρώνεται (Wendehorst, 1981). Συνήθεις τρόποι αντιμετώπισης η εφαρμογή διαφανών (βερνίκια) ή



ακρυλικών (πλαστικά) βαφών, οι οποίες του προσδίδουν ανθεκτική επιφανειακή κρούστα.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Δεν υφίστανται ενδείξεις τοξικότητας. Απαραίτητη η λήψη των απαιτούμενων μέτρων προσωπικής προστασίας κατά τις εργασίες εξόρυξης, επεξεργασίας και κατασκευής, εξαιτίας των αναδυνόμενων κόκκων σκόνης.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Δεν υφίστανται ιδιαίτερες πέραν των γενικών περί ερημοποίησης των εγκαταλειμμένων χώρων εξόρυξης.

ζ. Ανακύκλωση

Ανακυκλώνεται εύκολα, αφού κονιορτοποιηθεί.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Το οικολογικό του πλεονέκτημα είναι ότι (στη μορφή των γυψοσανίδων) υποκαθιστά με επιτυχία τα τοιχοπετάσματα από οπτόπλινθους (τουλάχιστον των εσωτερικών χώρων) με αποτέλεσμα να εξοικονομείται η διαφορά της εσωτερικής ενέργειας της τοιχοποιίας που θα κατασκευάζονταν (γράφημα 14, κεφ 5).

6.3.5. ΜΑΡΜΑΡΟ

α. Περιγραφή

Τα **μάρμαρα** αποτελούν κατηγορία **ασβεστολίθων** (CaCO_3), τα οποία έχουν **υποστεί μερική ή ολική κρυστάλλωση** στη δομή τους από διάφορα εξωτερικά αίτια. Επομένως είναι ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία υπέστησαν μεταμόρφωση (Λεγάκης, 1988). Η σχέση μεταξύ δομής και ιδιοτήτων τους προκαλεί διχασμό, ώστε (λόγω της δομής τους) διάφοροι επιστήμονες να τα θεωρούν μεταμορφωσιγενή πετρώματα, ενώ άλλοι (λόγω των ιδιοτήτων που εμφανίζουν) να τα κατατάσσουν στα ασβεστολιθικά.

Η μάζα των μαρμάρων χαρακτηρίζεται από πλούσιους εσωτερικούς χρωματιστούς διακόσμους (φλέβες ή νερά) σε εντυπωσιακά σχήματα. Η επιφάνεια του μαρμάρου χαρακτηρίζεται από εξαιρετική καλαισθησία και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται σε διακοσμήσεις και θεωρείται (μαζί με το γρανίτη) από τα πολυτιμότερα (ορυκτά) δομικά υλικά. Η επεξεργασία του (λάξευση) καθίσταται εύκολη, ακόμη και δια χειρός, με αποτέλεσμα να προτιμάται (και να προτιμήθηκε στην Ιστορία) για την κατασκευή έργων τέχνης. Η καθαρότητα της δομής του χαρακτηρίζει και την ποιότητά του. Το μάρμαρο (όπως όλοι οι ασβεστόλιθοι) δεν αντέχουν στη φωτιά (διότι αποδεσμεύεται CO_2 που



εμπεριέχεται στο υλικό) και στους ατμοσφαιρικούς ρύπους, με αποτέλεσμα να προκαλείται διάβρωση (με την έκθεσή του στα οξέα) και επιφανειακή ασβεστοποίηση (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Βρίσκεται κάτω από το μέσο όρο των δομικών λίθων, η οποία εκτιμάται στα $4MJ/kg$, λόγω των πλούσιων κοιτασμάτων στη χώρα μας και της εύκολης κατεργασίας του. Ενδεικτική τιμή $2-3MJ/kg$.

γ. Χρήσεις

Το μάρμαρο εμφανίζει την ίδια γκάμα χρήσεων με το γρανίτη και χρησιμοποιείται σε προϊόντα κεραμοποιίας (μαρμάρινα πλακίδια τοίχων και δαπέδων και κάθε είδους επιστρώσεις), στην κατασκευή μνημάτων και παρεμφερών μνημείων και σε λοιπά προϊόντα γενικής χρήσης (Santos et al., 2009).

δ. Συντήρηση

Η συντήρησή του επικεντρώνεται στα νέα περιβαλλοντικά δεδομένα, που επιβάλλονται από τη ρύπανση του περιβάλλοντος, για την προστασία από τη διάβρωση. Απαιτείται επάλειψη με διάφορα βερνίκια και ρητίνες (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Δεν καταγράφονται.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Το μάρμαρο αποτελεί ένα από τα δομικά υλικά, που δέχεται δυσμενείς επιδράσεις από το περιβάλλον. Η θεώρηση αυτού του είδους (με σημείο αναφοράς το μάρμαρο και όχι το περιβάλλον) πραγματοποιείται διότι στο παρελθόν αποτέλεσε δομικό υλικό, με το οποίο ανεγέρθησαν μνημειώδη έργα τέχνης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η καταστροφή των μαρμάρων της Ακρόπολης, εξαιτίας της ρύπανσης στην πόλη των Αθηνών, η οποία προκαλεί επιφανειακή ασβεστοποίηση (διάβρωση) των μαρμάρων (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Εκτιμάται ότι είναι μικρή εξαιτίας της ασβεστολιθικής του προέλευσης (η οποία μεταφράζεται σε πολλά σημεία εξόρυξης στον ελλαδικό χώρο) και της ευκολίας στην κατεργασία του (κατεργάζεται ακόμη και με το χέρι).



ζ. Ανακύκλωση

Όμοια με το γρανίτη. Το μάρμαρο, λόγω των πολλών χώρων εξόρυξής του, έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας της απωλεσθείσας, στα λατομεία, μαρμαροκονίας (σκόνης μαρμάρου) για τη δημιουργία βιομηχανοποιημένων κεραμικών πλακιδίων δαπέδου και τοίχου (Catarino et al., 2003).

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Όμοια με τους ασβεστόλιθους.



7. KONIAMATA

7.1. GENIKA

Κονίες ονομάζονται τα υλικά, τα οποία κάτω από κατάλληλη προεργασία δύνανται να γίνουν εύπλαστα και να αποκτήσουν συγκολλητικές ιδιότητες (Λεγάκης, 1988). Αυτή η δυνατότητα επιτυγχάνεται συνήθως κατά την ανάμιξή τους (με ή χωρίς μηχανικό εξαναγκασμό) με κάποιο ρευστό μέσο (συνήθως νερό) οπότε και μετατρέπονται σε εύπλαστο πολτό, ο οποίος έχει συγκολλητικές ιδιότητες. Ο εν λόγω (υδαρής) πολτός, αναμιγνυόμενος με άλλα υλικά (ανάλογα με τις επιθυμητές ιδιότητες), όπως για παράδειγμα με αδρανή και άμμο, παράγει το **κονίαμα** (Λεγάκης, 1988). Οι κονίες διατίθενται συνήθως με τη μορφή σκόνης. Ο πολτός, ο οποίος δημιουργείται με την ανάμιξή τους στο νερό, πήζει και μετατρέπεται σε στερεό υλικό με υπολογίσιμη μηχανική αντοχή. Στη διαδικασία πήξης ο πολτός, αρχικά, χάνει το μεγαλύτερο μέρος της πλαστικότητας και συγκολλητότητάς του (λόγω των φυσικών και χημικών μεταβολών που λαμβάνουν χώρα) και, τελικά, εμφανίζει μηχανική αντοχή και πήζει (υφίσταται σκλήρυνση) (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

Το πρώτο κονίαμα, το οποίο χρησιμοποίησε ο άνθρωπος ήταν το αργιλόχωμα, εξαιτίας της εύκολης εύρεσής του. Η συγκολλητική ουσία, που παράγεται με το αργιλόχωμα είναι η **πηλοκονία**. Η πηλοκονία έχει ασθενείς συγκολλητικές ιδιότητες, οι οποίες χάνονται με τη διαβροχή της. Η πρόοδος, όμως, της επιστήμης των υλικών σηματοδότησε την ανακάλυψη νέων ισχυρών συνδετικών υλών (όπως ο **ασβέστης**, η **άσφαλτος**, το **τσιμέντο** και οι πρόσφατες **συνθετικές ρητίνες**) με εξαιρετικά αποτελέσματα (Λεγάκης, 1988).

Ανάλογα με τη συμπεριφορά τους στο νερό, μετά την πήξη, οι κονίες διακρίνονται σε **αερικές** (όπως η άργιλος, ο πηλός, η υδράσβεστος και ο γύψος) και σε **υδραυλικές**. Οι αερικές κονίες χρειάζονται αέριο μέσο για να πήξουν και να σκληρυνθούν, ενώ οι υδραυλικές υγρό (Λεγάκης, 1988).

Μια δεύτερη, τέλος, διάκριση των κονιών αφορά το μηχανισμό παραγωγής τους, σύμφωνα με τον οποίο διακρίνονται σε **φυσικές** (όπως ο πηλός και οι ποζολανικές κονίες) και σε **τεχνητές** (όπως το τσιμέντο, η άσβεστος και ο γύψος) (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).



7.2. ΤΣΙΜΕΝΤΟ

α. Περιγραφή

Το τσιμέντο αποτελεί κονία, η οποία παρουσιάζει υδραυλικές ιδιότητες (υδραυλική κονία). Περιέχει **οξείδια ασβεστίου**, του **αργιλίου** (αλουμίνιο) και του **σιδήρου**, τα οποία ανέρχονται, συνολικά, μέχρι και στο 90% του βάρους του (Μοροπούλου et al., 2008). Το κοινό τσιμέντο (τύπου **Portland**) περιέχει **οξείδιο του πυριτίου** (SiO_2) σε ποσοστό από 20-24%, **οξείδιο του ασβεστίου** (CaO) σε ποσοστό από 60-65%, **οξείδιο του αργιλίου** (Al_2O_3) σε ποσοστό από 5-10%, **οξείδιο του σιδήρου** (Fe_2O_3) σε ποσοστό από 5-10%, **οξείδιο του μαγνησίου** (MgO) σε ποσοστό από 1-4% και **τριοξείδιο του θείου** (SO_3) σε ποσοστό από 0,5-1,75%.

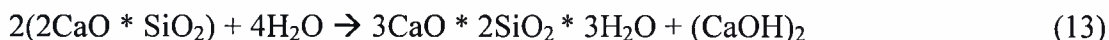
Τα συστατικά και οι προδιαγραφές κατασκευής του τσιμέντου πρέπει να εναρμονίζονται με τα οριζόμενα στο Π.Δ. 244/29.2.80 «Περί Κανονισμού Τσιμέντου για έργα από Σκυρόδεμα» (ΦΕΚ 69Α/28.3.1980).

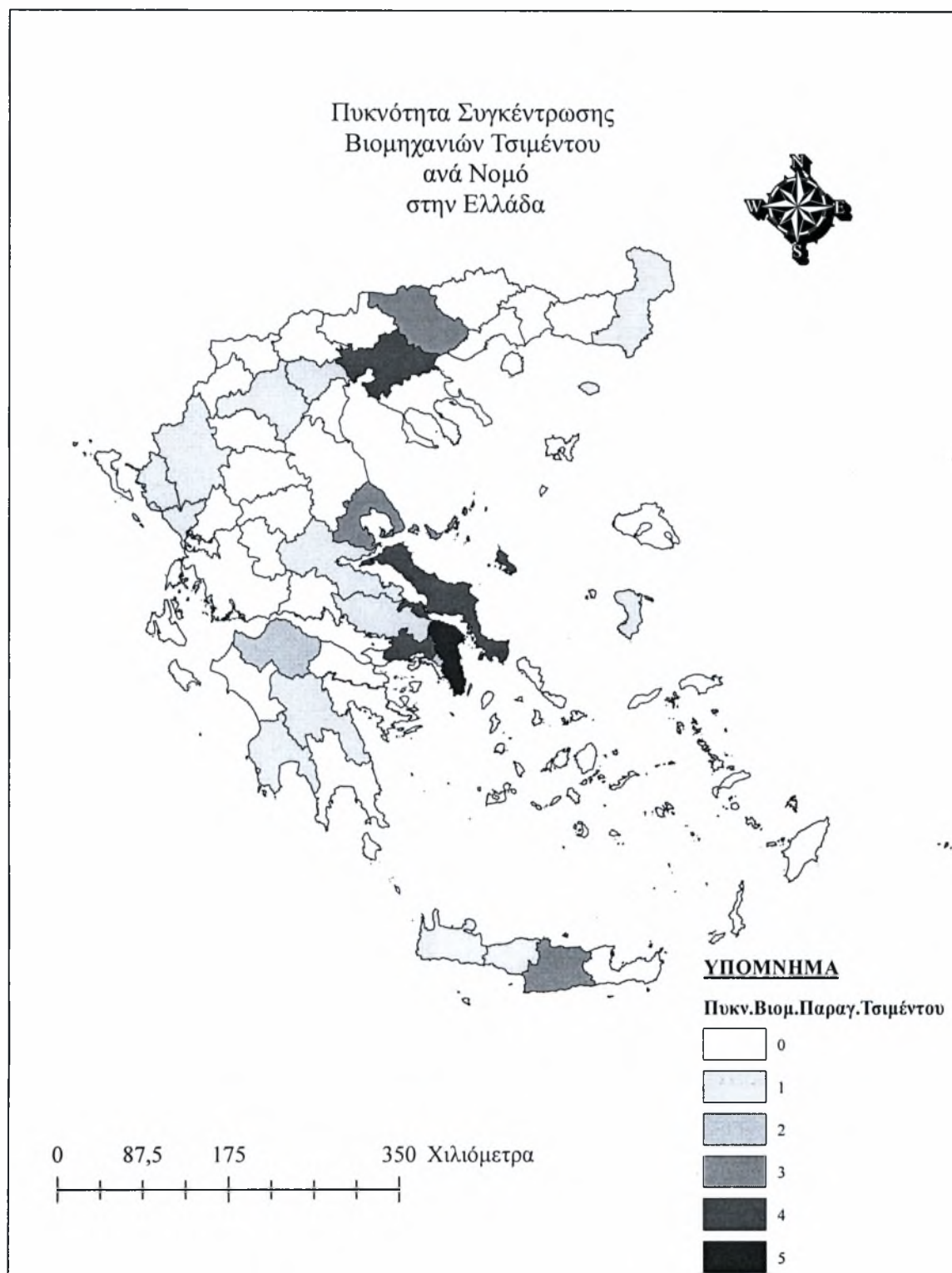
Οι τύποι των τσιμέντων που παράγονται σήμερα είναι οι ακόλουθοι (Λεγάκης, 1988):

- Τσιμέντο Portland υψηλής αντοχής: Έχει ίδια σύσταση με το κοινό, με λίγο πιο αυξημένα τα ποσοστά του οξειδίου του ασβεστίου
- Αργιλικά Τσιμέντα: Περιέχουν λιγότερο οξειδίου του ασβεστίου και περισσότερο οξείδιο του αργίλου (35%-45% αντί 5%-10%). Βασικά συστατικά του αποτελούν ο ασβεστόλιθος και ο βωξίτης.
- Λευκά και ημίλευκα Τσιμέντα Portland: Περιέχουν λιγότερο οξείδιο του σιδήρου, σε ποσοστό 1%.
- Σιδηρά Τσιμέντα: Αποτελούν αναμείγματα κοινού τσιμέντου (σε ποσοστό 70%) και σκωριών υψικαμίνου (σε ποσοστό 30%).
- Ποζολανικά Τσιμέντα: Αποτελούν αναμείγματα κοινού τσιμέντου με ποζολάνες, οι οποίες είναι κονίες ηφαιστειακής προέλευσης, με βάση το οξείδιο του πυριτίου.

Ο χάρτης 3 απεικονίζει τις πυκνότητες ανά Νομό των βιομηχανιών παραγωγής τσιμέντου στην Ελλάδα.

Η υδραυλική αντίδραση σκλήρυνσης του τσιμέντου περιγράφεται από τη σχέση (Berge, 1999):





Χάρτης 3. Πυκνότητα συγκέντρωσης βιομηχανιών τσιμέντου ανά Νομό στον ελλαδικό χώρο (Προέλευση δεδομένων: www.xo.gr, 2009, χαρτογράφηση: Δημήτρης Τσιώτας).



Εξαιτίας του μεγάλου πλήθους των εφαρμογών του τσιμέντου υπάρχουν πολλές τεχνικές ενίσχυσής του, οι οποίες του προσδίδουν επιθυμητές ιδιότητες κατά περίπτωση. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το **τετραβορικό νάτριο** ή **βόρακας** ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) χρησιμοποιείται ως **επιβραδυντικό πήξης του τσιμέντου**, διότι όταν ενσωματώνεται στο τσιμεντοκονίαμα αποδεσμεύει τα εγκλωβισμένα μόρια νερού του και μετατρέπεται σε άνυδρο τετραβορικό νάτριο ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), με αποτέλεσμα να προκαλεί ενυδάτωση και να καθυστερεί την πήξη του τσιμέντου (Wenderhorst, 1981).

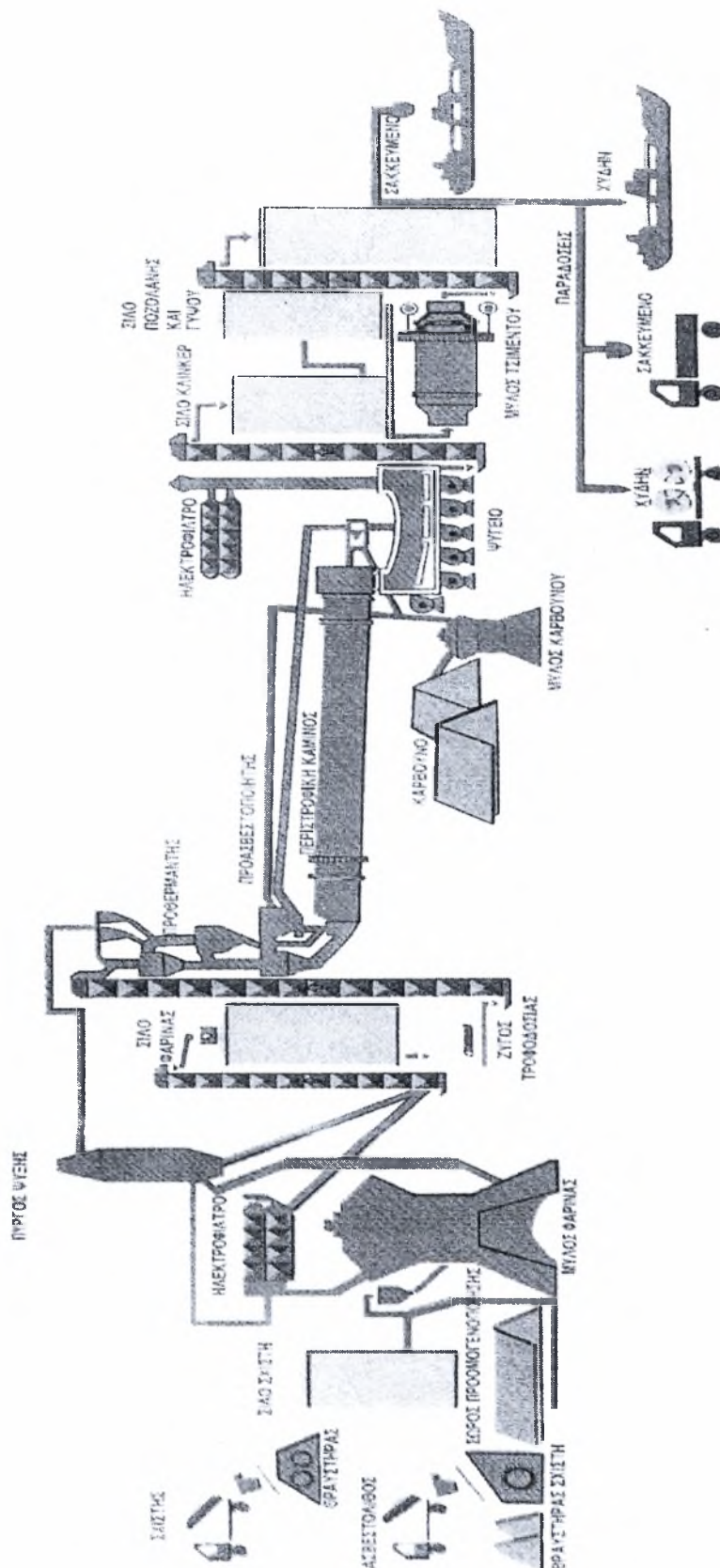
β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Η παραγωγή του τσιμέντου αποτελεί μια διαδικασία, η οποία είναι δαπανηρή ενεργειακά και εκπέμπει στο περιβάλλον υψηλά ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα (Μοροπούλου et al., 2008). Κατά τη διαδικασία παραγωγής του τσιμέντου οι εκπομπές **ρύπων** (οι οποίοι αποτελούνται κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα, CO_2 , και οξείδια του αζώτου, NO_x) στην ατμόσφαιρα οφείλονται, κατά βάση, στην ενέργεια, η οποία καταναλώνεται στις εργοστασιακές διεργασίες και ελάχιστα στη μεταφορά των πρώτων υλών (Μοροπούλου et al., 2008).

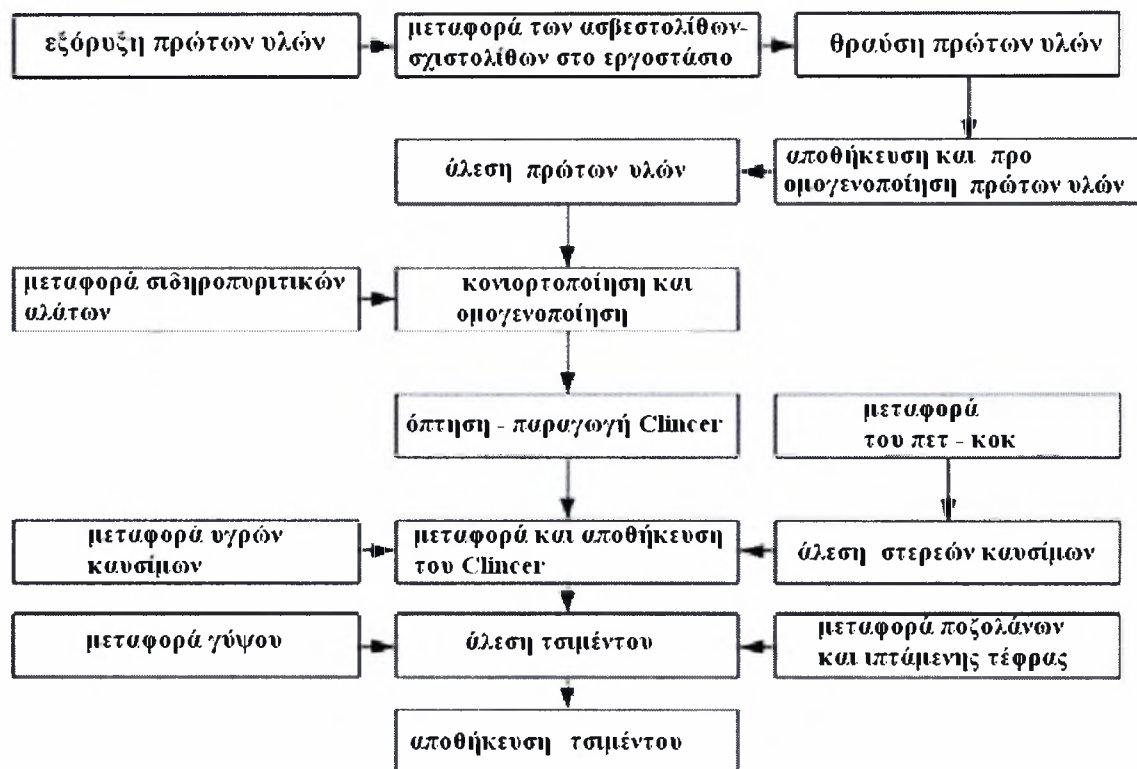
Ο κύκλος παραγωγής του τσιμέντου περιλαμβάνει τις ακόλουθες φάσεις που εικονίζονται (σχηματικά στην εικόνα 11 και διαγραμματικά στο σχήμα 18), οι οποίες είναι (Μοροπούλου et al., 2008):

- **Εξόρυξη** των πρώτων υλών (raw materials extraction),
- **Μεταφορά** (transportation) και **θραύση** (η οποία λαμβάνει χώρα σε μέγεθος μικρότερο των 30mm) των πρώτων υλών (crushing),
- **Αποθήκευση** (storage) και **προ-ομογενοποίηση** (pre-homogenization). Η φάση αυτή ουσιαστικά περιλαμβάνει τις εργασίες ανάμιξης και άλεσης των πρώτων υλών. Οι πρώτες ύλες θρυματίζονται και μεταφέρονται σε ειδικούς αποθηκευτικούς χώρους, στους οποίους περατώνεται η ομογενοποίηση (homogenization).
- Βαθμιαία **θέρμανση**, η οποία λαμβάνει χώρα στη συνέχεια, (μέσω κυκλωνικού συστήματος) σε θερμοκρασία γύρω στους 900°C και, ακολούθως,
- **Όπτηση** σε περιστρεφόμενους κλιβάνους σε θερμοκρασία 1400°C, οπότε και παράγεται ένα ανάμειγμα, που είναι γνωστό ως **κλίνκερ** (clinker production).

Το κλίνκερ αποτελεί βασικό συστατικό του τσιμέντου, χαρακτηριστικό για την τελική ποιότητά του, το οποίο αναμιγνύεται με γύψο και με φυσικά και τεχνητά πρόσθετα (Μοροπούλου et al., 2008).



Εικόνα 19. Σχηματική διάταξη βιομηχανικής γραμμής παραγωγής τσιμέντου (Πηγή: Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).



Σχήμα 18. Διάγραμμα ανάλυσης κύκλου παραγωγής τσιμέντου (Πηγή: Μοροπούλου et al., 2008, μετάφραση: Δημήτρης Τσιώτας).

Η τιμή της ενσωματωμένης ενέργειας του τσιμέντου εκτιμάται στα **7-8MJ/kg** (Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005).

γ. Χρήσεις

Το εύρος των χρήσεων του τσιμέντου καθίσταται τεράστιο. Ενδεικτικά αναφέρεται (Wenderhorst, 1981, Λεγάκης, 1988, Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999) ότι χρησιμοποιείται σε διαστρώσεις βάσεων δαπέδου, σε επιχρίσματα, ως συνδετικό υλικό κατασκευής τοιχοποιιών, στην παραγωγή σκυροδέματος (με το επίσης εκτενές πεδίο εφαρμογής του), σε εργασίες οδοποιίας, στην κατασκευή τεχνητών δομικών λίθων

δ. Συντήρηση

Το τσιμέντο πριν από την εφαρμογή τους στο έργο πρέπει να διαφυλάσσεται από την έκθεσή του στην υγρασία, διότι κροκιδώνεται (σβολιάζει) και καθίσταται ακατάλληλο (Λεγάκης, 1988). Κατά τη σκλήρυνσή του πρέπει να διαφυλάσσεται η απότομη εξάτμιση της επιφανειακής του υγρασίας, διότι ρηγματώνεται. Για το λόγο αυτό καλύπτεται με φυτικές ή τεχνητές διαπερατές μεμβράνες. Στη συνέχεια δεν απαιτεί προληπτική συντήρηση. Όταν γηράσκει γίνεται εύθρυπτο και αποδιοργανώνεται επιφανειακά.



ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Στους χώρους βιομηχανικής παραγωγής του τσιμέντου, το προσωπικό εκτίθεται στην εισπνοή αιωρούμενων σωματιδίων τσιμέντου, διότι η κατεργασία του τσιμέντου (όντας κονία) προκαλεί διαφυγή αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους ενδέχεται να έχουν τοξική συμπεριφορά. Επίσης οι χώροι βιομηχανικής παραγωγής εκτίθενται στους ρύπους, οι οποίοι αναφέρθηκαν στην ενσωματωμένη ενέργεια. Το προσωπικό εφαρμογής στο έργο εκτίθεται σε μικρότερο ποσοστό. Απαραίτητη η λήψη των μέτρων προσωπικής ασφάλειας και η τήρηση, από τους εργοδότες, των προβλεπόμενων μέτρων γενικής ασφαλείας και πρόληψης.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Η παραγωγή του τσιμέντου αποτελεί ενεργοβόρο διαδικασία, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλά ποσοστά εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα (Μοροπούλου et al., 2008). Το τσιμέντο αποτελεί υλικό με μεγάλη θερμική μάζα, το οποίο, εξαιτίας της δημοφιλούς χρήσης του, θεωρείται ως το κυρίως υπαίτιο (μαζί με το σκυρόδεμα και το ασφαλοσκυρόδεμα) για το φαινόμενο της **θερμικής νησίδας**.

Από μελέτη εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Μοροπούλου et al., 2008), η οποία πραγματοποιήθηκε για ερευνητικούς σκοπούς, διαπιστώθηκε ότι η τσιμεντοειδής σύσταση σε κονιάματα, προκαλεί μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση σε φαινόμενα όπως η **αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη (global warming effect, GW)**, η **οξίνιση (acidification)**, ο **ευτροφισμός (eutrophication)** και η **χειμερινή αιθαλομίχλη (winter smog)** (Κούγκολος, 2007), σε σχέση με αντίστοιχα κονιάματα υδρασβέστου.

ζ. Ανακύκλωση

Το τσιμέντο αποτελεί δομικό υλικό, το οποίο σκληραίνεται έπειτα από χημικές διεργασίες ανάμειξης, με αποτέλεσμα να καθίσταται σχεδόν αδύνατο να ανακυκλωθεί στα συστατικά του. Επίσης δύσκολη είναι η επαναχρησιμοποίησή του σε νέες κατασκευές (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005). Η μέθοδος ανακύκλωσης, η οποία αξιοποιεί τα κατεδαφιστέα στοιχεία από τσιμέντο, συνίσταται στη θραύση αυτών σε αδρανή (Tam and Tam, 2006).

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Το μέγεθος της παγκόσμιας χρήσης του εν λόγω υλικού, το οποίο φτάνει σε όρια κατάχρησης, δεν αφήνει περιθώρια (ίσως άδικα, διότι το εν λόγω υλικό έχει αποτελέσει το συστατικό, πάνω στο οποίο οικοδομήθηκε ο σύγχρονος μεταβιομηχανικός πολιτισμός) για λάβει χώρα συζήτηση περί οικολογικού πλεονεκτήματος...



7.3.ΑΣΒΕΣΤΗΣ

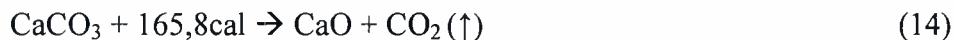
α. Περιγραφή

Ο **ασβέστης** (ή **άσβεστος**) αποτελεί **αερική κονία**, η οποία προέρχεται από το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) (Λεγάκης, 1988). Έχει χρώμα λευκό και εξαιρετικές συγκολλητικές ιδιότητες.

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Η θερμοκρασία των καμίνων, στην οποία υποβάλλεται για όπτηση η άσβεστος θεωρείται υψηλή και κυμαίνεται στους 800°C - 1100°C . Η τιμή της θερμοκρασίας παραγωγής της ασβέστου, βέβαια, παρόλο που καθίσταται υψηλή, είναι χαμηλότερη από την αντίστοιχη τιμή θερμοκρασίας παραγωγής του τσιμέντου (το οποίο αποτελεί υποκατάστατο υλικό του ασβέστη σε πολλές οικοδομικές εργασίες), με αποτέλεσμα η τιμή της ενσωματωμένης ενέργειας της να είναι μικρότερη από του τσιμέντου (Woolley et al., 1997).

Κατά την πύρωση (στους 800°C - 1100°C) **διασπάται** το ανθρακικό ασβέστιο σε **ενεργό ασβέστιο (οξειδίο του ασβεστίου)** σύμφωνα με την αντίδραση (Berge, 1999):



Το οξείδιο του ασβεστίου (CaO), αποτελεί τον κοινό **ασβέστη**, ο οποίος ονομάζεται και **κεκαυμένη άσβεστος** και είναι εξαιρετικά υδρόφιλο υλικό με λευκό χρώμα. Όταν η κεκαυμένη άσβεστος αναμιχθεί με νερό (**σβήνεται**), τότε μετατρέπεται στο γνωστό ασβεστοπολτό, ο οποίος αποτελεί το γνωστό δομικό υλικό που χρησιμοποιείται στην οικοδομή. Ενδεχομένως από τη διαδικασία αυτή παραγωγής να οφείλει και την ονομασία του ο ασβέστης, η ετυμολογική ανάλυση του οποίου φανερώνει ότι προέρχεται από τα συνθετικά **α** (στερητικό) + **σβήνω**. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα για τη σβήση του ασβέστη περιγράφεται στη σχέση 14. Ο σβησμένος ασβέστης ονομάζεται και **υδράσβεστος** (Λεγάκης, 1988):



Στο χάρτη 4 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή πυκνότητας συγκεντρώσεων των εταιρειών παραγωγής ασβέστη στην Ελλάδα. Τα στοιχεία ελήφθησαν από τις



επιχειρήσεις που είναι καταχωρημένες στους καταλόγους του χρυσού οδηγού του ΟΤΕ τον Αύγουστο 2009.

γ. Χρήσεις

Συνήθως χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό για επιστρώσεις δαπέδων και κατασκευή τοιχοποιιών (Wendehorst, 1981), για κατασκευή επιχρισμάτων (είτε ως βασικό υλικό ασβεστοκονιάματος είτε ως συγκολλητική ουσία άλλου κονιάματος) και για εφαρμογή υδατοπερατών λευκών χρωματισμών (συνήθως σε οροφές κτιρίων).

δ. Συντήρηση

Δεν απαιτείται συντήρηση.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Η κεκαυμένη άσβεστος εμφανίζει, εξαιτίας του υδρόφιλου χαρακτήρα της, τοξική συμπεριφορά, η οποία έγκειται στην αφυδατωτική της δράση. Αποτελεί ιδιαίτερα τοξική ουσία όταν έρχεται σε επαφή με τα μάτια, τα οποία είναι όργανα που λειτουργούν σε υγρό περιβάλλον. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται πλύση με άφθονο νερό και επίσκεψη σε Ιατρό. Η κατάποση, επίσης, προκαλεί σημαντικές αναταραχές.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

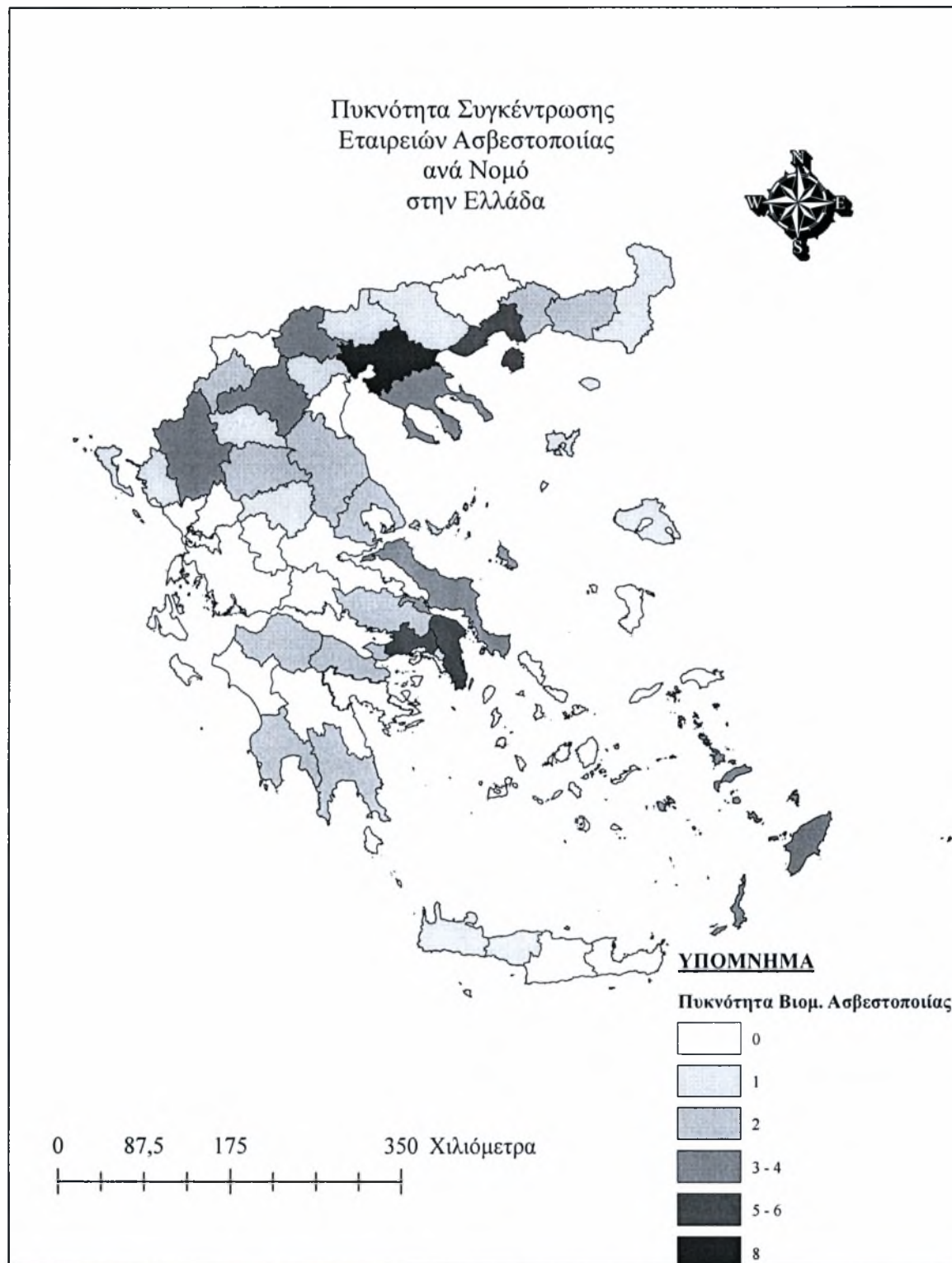
Αποτελεί φυσικό υλικό, δίχως ιδιαίτερες περιβαλλοντικές επιδράσεις, πέραν αυτών που υπονοούνται στην ενσωματωμένη ενέργειά του.

ζ. Ανακύκλωση

Δεν καταγράφεται διαδικασία ή αναγκαιότητα ανακύκλωσης (ή επαναχρησιμοποίησης) της άσβεστου, ενδεχομένως εξαιτίας της πλήρως φυσικής δομής της και του χαμηλού (σχετικά) κόστους παραγωγής της.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Το οικολογικό πλεονέκτημα που παρέχει η άσβεστος εμφανίζεται σε σύγκριση με τα εναλλακτικά της προϊόντα στην οικοδομή, βασικότερο των οποίων είναι το τσιμέντο. Η άσβεστος είναι πιο εύπλαστο κονίαμα από το τσιμέντο, λιγότερο εύθρυπτο και έχει καλύτερη συνεργασία με υλικά όπως η λίθος, τα κεραμικά και το ξύλο. (Woolley et al., 1997). Είναι πορώδες υλικό, που επιτρέπει την «αναπνοή» των δομικών στοιχείων που επικαλύπτει, ώστε να αποτελεί πρόταση βιοκλιματικής εφαρμογής σε επιχρίσματα.



Χάρτης 4. Πυκνότητα συγκέντρωσης εταιρειών παραγωγής ασβέστη ανά Νομό στον ελλαδικό χώρο (Προέλευση δεδομένων: www.xo.gr, 2009, χαρτογράφηση: Δημήτρης Τσιώτας).



7.4. ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ (ΣΟΒΑΔΕΣ)

α. Περιγραφή

Με τον όρο ειδικά **ασβεστοκονιάματα** (ή **σοβάδες**) ονομάζονται τα κονιάματα που περιέχουν ως βάση ασβέστη. Τέτοια είναι το κοινό **ασβεστοκονίαμα**, τα **ασβεστογυψοκονιάματα**, τα **μαρμαροκονιάματα**, τα **θηραϊκοκονιάματα** και τα **πολυμερή ασβεστοκονιάματα**.

Τα **ασβεστογυψοκονιάματα** περιέχουν στη σύστασή τους (για την κατασκευή 1m³ κονιάματος) 0,62m³ **ασβεστοπολτού**, 75kg κοινού **γύψου**, 0,38m³ **άμμου** και 0,20m³ **νερού**. Τα **μαρμαροκονιάματα** περιέχουν 0,46m³ **ασβεστοπολτού**, 1500kg **λευκής μαρμαρόσκονης** και 0,20m³ **νερού**. Τα **θηραϊκοκονιάματα** περιέχουν τις ίδιες κατ' όγκο αναλογίες με προσθήκη αλεύρου θηραϊκής γης (Λεγάκης, 1988). Τέλος, τα **πολυμερή ασβεστοκονιάματα** (τα οποία ονομάζονται και ακρυλικές κόλλες, εικόνα 12) περιέχουν πολυμερή (πλαστικά πρόσμεικτα) τα οποία, κατά περίπτωση, προσδίδουν διάφορες μηχανικές ιδιότητες.



Εικόνα 13. Ακρυλική κόλλα πλακιδίων κατά την εφαρμογή της, ως συνδετικού υλικού, σε εργασίες επίστρωσης πλακιδίων τοίχου (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).

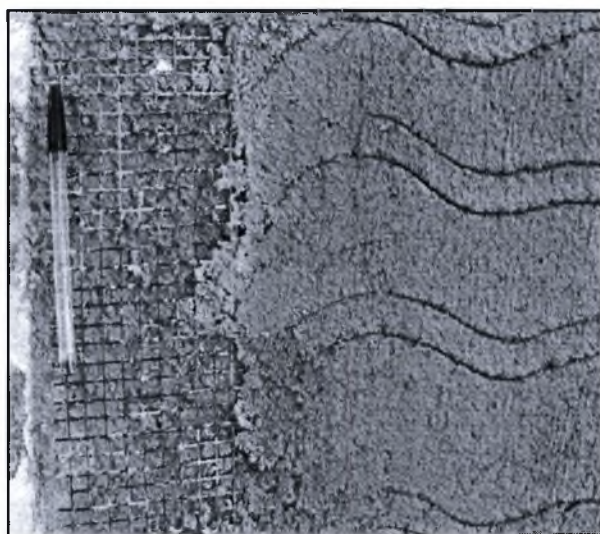
β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Όπως για την ασβεστο με ελάχιστα πιο ανεβασμένες τιμές εξαιτίας των επιπρόσθετων συστατικών υλικών.



γ. Χρήσεις

Τα ασβεστογυψοκονιάματα χρησιμοποιούνται συνήθως για την επίχριση οροφών, τα μαρμαροκονιάματα για την κατασκευή εξωτερικής στρώσης επίχρισης (τρίτο χέρι ή φινίρισμα) στις τοιχοποιίες, ενώ τα θηραϊκοκονιάματα (εξαιτίας της υψηλής υδραυλικότητας που εμφανίζουν) ως συνδετικό υλικό για την κατασκευή τοιχοδομών υπογείων (Λεγάκης, 1988). Κατά περίπτωση οι σοβάδες χρησιμοποιούνται ως επιχρίσματα (εικόνα 13) και ως συνδετικά υλικά λοιπών εργασιών.



Εικόνα 13. Επίχρισμα σοβάς τοιχοποιίας (δεύτερο χέρι) στο οποίο διακρίνεται οπλισμός από ναλόπλεγμα (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).

δ. Συντήρηση

Όπως για την άσβεστο.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Όμοια με την άσβεστο.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Αποτελούν υλικά με μικρότερες περιβαλλοντικές επιδράσεις (σε φαινόμενα όπως η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, η οξίνιση, ο ευτροφισμός και η χειμερινή αιθαλομίχλη), σε σχέση με αντίστοιχα κονιάματα που περιέχουν τσιμέντο (Μοροπούλου et al., 2008).

ζ. Ανακύκλωση

Όμοια με την άσβεστο.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Όμοια με την άσβεστο.



8. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ

8.1. ΤΣΙΜΕΝΤΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

α. Περιγραφή

Με τον όρο **τσιμεντοσκυρόδεμα** ή απλώς **σκυρόδεμα** (εικόνα 14) ονομάζεται το κονίαμα, το οποίο εμπεριέχει **άμμο λατομείου** (σε ποσότητες περίπου 50% κατ' όγκο), **σκύρα** (σε ποσότητες περίπου 80% κατ' όγκο, ενδέχεται η άμμος και τα σκύρα να τοποθετούνται ανακατεμένα, συνθέτοντας το αμμοχάλικο) **τσιμέντο** (σε ποσότητες 250-350⁺ kg/m³) και **νερό** (περίπου στο ¼ του όγκου του). Η ποσότητα τσιμέντου στο κυβικό σκυροδέματος είναι αυτή, η οποία καθορίζει και τον τύπο της αντοχής του (Λεγάκης, 1988). Κατά την εφαρμογή στο έργο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην επιλογή του τύπου σκυροδέματος ότι ο μέγιστος κόκκος του σκυροδέματος δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το 1/3 του πάχους του στοιχείου που θα κατασκευαστεί από αυτό το σκυρόδεμα (ΚΤΣ, 1997).



Εικόνα 15 Υδαρές (νωπό) σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20 (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δ. Τσιώτα).



Το σκυρόδεμα εμφανίζει εξαιρετική αντοχή σε θλίψη, ικανοποιητική αντοχή σε φωτιά και μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Από το 1930 και έπειτα η χρήση του σκυροδέματος εξαπλώθηκε παγκοσμίως με τεράστιους ρυθμούς. Στις μέρες μας αποτελεί κυρίαρχο δομικό υλικό στην οικοδομή, που αποτελεί ξεχωριστό κεφάλαιο στην επιστήμη της Τεχνολογίας των Υλικών (Berge, 1999). Στις μέρες μας αποτελεί κυρίαρχο δομικό υλικό στην οικοδομή, που αποτελεί ξεχωριστό κεφάλαιο στην επιστήμη της Τεχνολογίας των Υλικών.

Οι τύποι σκυροδεμάτων που διακρίνονται είναι:

- Λεπτοσκυροδέματα. Αποτελούν σκυροδέματα με μικρό μέγεθος κόκκων στα σκύρα, που περιέχουν, μέχρι 1,5cm (Λεγάκης, 1988). Τέτοιου είδους σκυρόδεμα αποτελεί (ενδεικτικά) το γαρμπιλοσκυρόδεμα, το οποίο περιέχει γαρμπίλι.
- Χαλικοσκυροδέματα. Είναι σκυροδέματα με μεγάλο μέγεθος κόκκων στα σκύρα, μέχρι 7cm (Λεγάκης, 1988).
- Κίσηροσκυροδέματα. Αντί για αδρανή ασβεστολιθικής προελεύσεως, περιλαμβάνουν σκύρα από κίσηρη (ελαφρόπετρα) (Λεγάκης, 1988).
- Περλιτοσκυροδέματα. Είναι σκυροδέματα, τα οποία σε αντικατάσταση των αδρανών ασβεστολιθικής προελεύσεως, περιέχουν σκύρα περλίτη (Λεγάκης, 1988).
- Ασφαλτοσκυροδέματα. Το ασφαλτοσκυρόδεμα (καταχρηστικά ονομάζεται άσφαλτος) περιέχει ως συνδετικό υλικό ρευστή άσφαλτο και όχι τσιμέντο, όπως το κοινό σκυρόδεμα. Αυτού του τύπου το σκυρόδεμα περιγράφεται αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο.
- Οπλισμένο ή Σιδηροφόρο Σκυρόδεμα (*Reinforced Concrete*). Είναι σκυρόδεμα, που εμπεριέχει στη δομή του ράβδους από δομικό χάλυβα (Λεγάκης, 1988). Η εν λόγω σύζευξη των υλικών, πραγματοποιήθηκε λόγω των συμπληρωματικών μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος (ανθεκτικό σε θλίψη) και του δομικού χάλυβα (ανθεκτικός σε εφελκυσμό και κάμψη) και λόγω της κοινής φυσικής συμπεριφοράς των δομικών υλικών σε θερμική διαστολή.
- Προκατασκευασμένο Σκυρόδεμα (*Prefabricated Concrete*). Αποτελεί σκυρόδεμα κοινής σύστασης, το οποίο κατασκευάζεται εργοστασιακά και όχι επιτόπου στο έργο (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



• Προεντεταμένο Σκυρόδεμα (*Prestressed Concrete*). Είναι οπλισμένο σκυρόδεμα, στον οπλισμό (δομικό χάλυβα) του οποίου έχει εφαρμοστεί αρχική φόρτιση (Τάσιος et al., 1995).

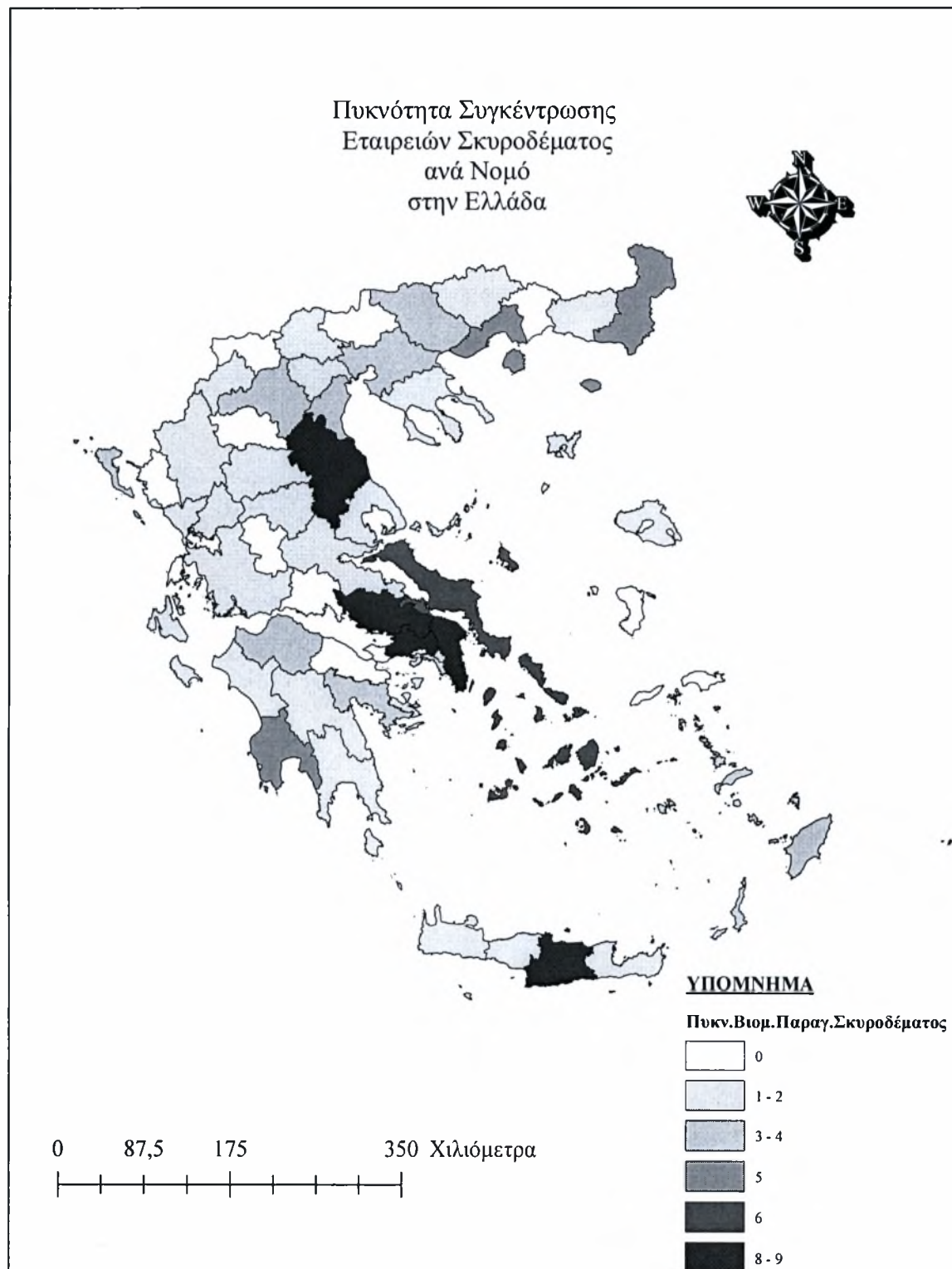
• Σκυρόδεμα με πρόσμικτα (*Admixtured Concrete*). Είναι σκυρόδεμα, στο οποίο προστίθενται (κατά περίπτωση, ανάλογα με τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες και με τις δεδομένες περιβαλλοντικές συνθήκες του έργου) **ρευστοποιητικές** (αυξάνουν την εργασιμότητα του σκυροδέματος), **αερακτικές** (αυξάνουν την αντοχή σε παγετό), **επιβραδυντικές** (επιβραδύνουν τη διεργασία ενυδάτωσης του σκυροδέματος), **επιταχυντικές** (επιταχύνουν τη διεργασία ενυδάτωσης του σκυροδέματος), **στεγανωτικές** (μειώνουν το πορώδες) και **αντιδιαβρωτικές** (αναστέλλουν τη διάβρωση του δομικού χάλυβα οπλισμού) ουσίες (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Μια αξιοπρόσεκτη παρατήρηση είναι ότι, η ενσωματωμένη ενέργεια του σκυροδέματος (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005), η οποία σύμφωνα με το γράφημα 12 του κεφαλαίου 5 εκτιμάται περίπου 3-4MJ/kg, καθίσταται μικρότερη από το άθροισμα των ποσών των ενσωματωμένων ενεργειών των συστατικών του υλικών (ενδεικτικά αναφέρεται, σύμφωνα με το γράφημα 12 του κεφαλαίου 5, ότι για το τσιμέντο μόνο παίρνει τιμές γύρω στα 7MJ/kg). Η κατάσταση αυτή δικαιολογείται αν αναλογιστεί κανείς ότι η περιεκτικότητα του καθαρού τσιμέντου στο σκυρόδεμα κυμαίνεται από 15-20% στον όγκο του (το ποσοστό προκύπτει αν οι τιμές βάρους τσιμέντου/όγκο σκυροδέματος, που προαναφέρθηκαν στην περιγραφή, διαιρεθούν με το ειδικό βάρος του τσιμέντου). Έπειτα από αυτή την αναγωγή, είναι δυνατό να διαπιστωθεί ότι η μερική (Νεγρεπόντης et al., 1999, Mardsen and Tromba, 2005) συνεισφορά της ενσωματωμένης ενέργειας στον όγκο του σκυροδέματος εκτιμάται:

$$15-20\% * 7\text{MJ/kg} = 1,05-1,4 \text{ MJ/kg} \quad (16)$$

Για να αποφευχθεί το εσφαλμένο συμπέρασμα ότι το ποσό της ενσωματωμένης ενέργειας των 3-4MJ/kg του σκυροδέματος (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005), καθίσταται ανάξιο λόγου, υπενθυμίζεται ότι χρησιμοποιούμενη ποσότητα σκυροδέματος συνολικά στο κτίριο (γράφημα 12, κεφ.5) το καθιστά ένα από τα δομικά υλικά με τη μεγαλύτερη ενσωματωμένη ενέργεια. Την επιβαρυνμένη, ενεργειακά, παρουσία του σκυροδέματος συμπληρώνει και η πληροφορία (γράφημα 19, κεφ.5) των απωλειών πρώτων υλών του σκυροδέματος κατά την παραγωγή του.



Χάρτης 5. Πυκνότητα συγκέντρωσης εταιρειών παραγωγής και μεταφοράς σκυροδέματος ανά Νομό στον ελλαδικό χώρο (Προέλευση δεδομένων: www.xo.gr, 2009, χαρτογράφηση: Δημήτρης Τσιώτας).



γ. Χρήσεις

Το σκυρόδεμα έχει ευρύ πεδίο χρήσεων, το οποίο καθίσταται γνωστό και σε ανθρώπους μη ειδικούς με την κατασκευή. Η βασική του χρήση έγκειται στα δομικά μέρη των κατασκευών, τα οποία αναλαμβάνουν φορτίσεις και ονομάζονται **φέροντα στοιχεία**. Τέτοια είναι για ένα κτίριο τα θεμέλια (όπως κοιτόστρωση, πέδιλα, πεδילוδοκοί, πασσαλοεσχάρες κλπ), τα υποστυλώματα, οι δοκοί, οι πλάκες. Σε γενικότερο πλαίσιο το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται στην κατασκευή γεφυρών, λιμανιών, φραγμάτων, δεξαμενών, τεχνητών λίθων (κράσπεδα, τσιμεντοσωλήνες, πλακών) (Λεγάκης, 1988). Θα μπορούσε να ισχυριστεί κανείς ότι το σκυρόδεμα αποτελεί το δομικό υλικό, με το οποίο οικοδομήθηκε ο σύγχρονος μεταβιομηχανικός πολιτισμός.

δ. Συντήρηση

Όπως το τσιμέντο.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Όπως το τσιμέντο.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Πέρα από τις δεδομένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (που υπονοούνται στο μέγεθος) της ενσωματωμένης ενέργειας, το σκυρόδεμα (μαζί με το ασφαλτοσκυρόδεμα) αποτελεί το βασικό δομικό υλικό, το οποίο συμβάλλει στο φαινόμενο της **θερμικής νησίδας** (βλ. κεφ.5 παρούσας). Αυτό οφείλεται στο γεγονός της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του σκυροδέματος και των εκτεταμένων επιφανειών στον πλανήτη, που είναι δομημένες από αυτό.

Το μεγαλύτερο μέρος των δομικών αποβλήτων, πγκοσμίως προέρχεται από σκυρόδεμα (Zaharieva et Al, 2003). Εκτιμάται ότι 50.000.000 τόνοι σκυροδέματος, περίπου, απορρίπτονται ετησίως στους χώρους ενταφιασμού στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Κορωναίος-Σαργέντης, 2005).

Σε σύγκριση με το κοινό σκυρόδεμα, το προκατασκευασμένο εμφανίζεται να είναι λιγότερο βλαπτικό για το περιβάλλον, διότι μειώνονται οι απώλειες υλικού κατά τη χύτευση (το σκυρόδεμα χυτεύεται με ακρίβεια στους τύπους), εξοικονομείται η κοπή ξυλείας για την κατασκευή του ξυλότυπου και διευκολύνεται η παραγωγή του (η μέθοδος ακολουθεί μια σειρά τυποποίησης) (Κορωναίος-Σαργέντης, 2005).

ζ. Ανακύκλωση

Το σκυρόδεμα αποτελεί υλικό ανόργανης δομής και μη τοξικής το καθιστά ανακυκλώσιμο. Η ανάγκη για ανακύκλωση του σκυροδέματος καθίσταται αυξανόμενη



δεδομένων των ανυπολόγιστων ποσοτήτων σκυροδέματος, που απορρίπτονται παγκοσμίως και δεν ανακυκλώνονται. Το κόστος απόρριψης των αποβλήτων σκυροδεμάτων καθίσταται τεράστιο και από περιβαλλοντική και από οικονομική σκοπιά. Επομένως η διαδικασία ανακύκλωσης του σκυροδέματος στοχεύει στην παρεμπόδιση του περιβάλλοντος από τα φαινόμενα περαιτέρω ρύπανσης, στην εξοικονόμηση των αποθεμάτων των αποβλήτων (τα οποία απορρίπτονται στους χώρους ενταφιασμού) και στη μείωση εξόρυξης φυσικών πόρων (Zaharieva et al., 2003).

Για την ιστορία αναφέρεται ότι από το 1977 εφαρμόζονταν στις ΗΠΑ, από τους κερδοσκόπους εργολάβους, η χρήση ανακυκλωμένου σκυροδέματος, με θράυση των παλαιών κατεδαφιστέων στοιχείων και η επανενσωμάτωσή τους σε νέο σκυρόδεμα (με χύτευση τσιμέντου). Τα παραπάνω γεγονότα αποδεικνύουν ότι η ανακύκλωση του σκυροδέματος δύναται να αποτελέσει καρδοφόρα διαδικασία (Davidson and Wilson, 1982).

Έχει αποδειχθεί, σε εργαστηριακό επίπεδο, ότι ο διαχωρισμός του οπλισμού από το σκυρόδεμα, αποτελεί εφικτή αλλά οικονομικά ασύμφορη διαδικασία (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005). Η συνηθέστερη, όμως, τεχνική ανκύκλωσης του σκυροδέματος συνίσταται στη θράυση του για παραγωγή αδρανών (Zaharieva et al., 2003, Tam and Tam, 2006). Τα παραγόμενα υλικά, που προκύπτουν από τη διαδικασία ανακύκλωσης του σκυροδέματος, είναι ανακυκλωμένα αδρανή (Tam and Tam, 2006, Μουτσιόπουλος et al., 2008) (τα οποία χρησιμοποιούνται σε εργασίες οδοστρωσίας), αδρανή σκυροδέματος με αναπληρωμένο τσιμέντο (στο εν λόγω υλικό αναπληρώνεται το τσιμέντο στα ανακυκλωμένα αδρανή), προϊόντα λιθοριπών και υλικά πλήρωσης και επίχωσης (Tam and Tam, 2006, Εφραιμίδης, 2008, Μουτσιόπουλος et al., 2008).

Επίσης (Μουτσιόπουλος et al., 2008), τα ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν σε εργασίες πεζοδρόμησης, ως υλικά διήθησης πρωτοβάθμιας επεξεργασίας σε βιολογικούς καθαρισμούς. Το σημαντικό συμπέρασμα, που προκύπτει από τη μελέτη της διαδικασίας ανακύκλωσης παλαιών σκυροδεμάτων, είναι ότι αυτά δύνανται να αποτελέσουν αδρανή υλικά με παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες με τα πρωτογενή και σε πολλές περιπτώσεις με ισχυρότερη μηχανική συμπεριφορά (Εφραιμίδης, 2008).

Στην Ελλάδα πραγματοποιείται χρήση της ιπτάμενης τέφρας (η οποία αποτελεί απόβλητο υλικό της αλυσίδας παραγωγής λιγνίτη), η οποία αρχίζει να χρησιμοποιείται ευρέως χρησιμοποιείται ως αδρανές σκυροδέματος, σε εφαρμογές, όμως, στις οποίες δεν



αφορούν άμεση έκθεση με τον άνθρωπο (δεν χρησιμοποιείται στην κατασκευή κτηρίων, εξαιτίας της τοξικότητάς της). Το 1998 κατασκευάστηκε το μεγαλύτερο φράγμα στον κόσμο από σκυρόδεμα ιπτάμενης τέφρας στην τοπωνυμική περιοχή «Πλατανόβρυση» στο Νέστο. Τέλος μελετάται η εφαρμογή αυτού του τύπου σκυροδέματος ως αδρανές στην οδοποιία (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Τα συγκροτήματα ανακύκλωσης είναι δυνατό να είναι **αυτοφερόμενα** για και να χρησιμοποιούνται στο εργοτάξιο (επί τόπου του έργου) και **μόνιμα**, τα οποία να αποτελούν αυτόνομες επιχειρήσεις ανακύκλωσης σκυροδέματος με δεδομένη έδρα (Εφραιμίδης, 2008).

Τα **αυτοφερόμενα συγκροτήματα ανακύκλωσης σκυροδέματος**, έχουν ικανότητα επεξεργασίας από **100 μέχρι 400 m³/h** προϊόντων καθαίρεσης (μπαζών). Η διάταξή τους περιλαμβάνει θραυστήρα πρόθραυσης των καθαιρεθέντων προϊόντων σκυροδέματος, μεταφορέα απόθεσης (συνήθως πλευρικό, ο οποίος περιλαμβάνει μαγνήτες) ακατάλληλων υλικών, θραυστήρα δευτερογενούς θραύσης, συγκρότημα διαλογής (κοσκινίσματος) και ταινιολωρίδα επαναφοράς του αναμεμιγμένου υλικού από το κόσκινο στο θραυστήρα για συμπληρωματική θραύση (Εφραιμίδης, 2008).

Τα εν λόγω συγκροτήματα μειώνουν το κόστος κατασκευής και την ατμοσφαιρική ρύπανση μεταφοράς των υλικών από το έργο στο λατομείο (και αντίστροφα). Το συγκριτικά χαμηλό κόστος τους δύναται να αποσβεστεί σε ένα μεγάλο έργο. Επιπλέον πλεονεκτήματα της χρήσης αυτοφερόμενων συγκροτημάτων ανακύκλωσης σκυροδέματος αναφέρονται (Εφραιμίδης, 2008) η εξοικονόμηση των εξόδων μεταφοράς των δομικών αποβλήτων στους χώρους ενταφιασμού και μεταφοράς αδρανών (νέων φυσικών πρώτων υλών) στο εργοτάξιο και η μείωση των άεργων (νεκρών) χρόνων του έργου (αναμονής οχημάτων,) και συνεπακόλουθη αύξηση της παραγωγής.

Τα μόνιμα συγκροτήματα ανακύκλωσης σκυροδέματος αποτελούν ολοκληρωμένα εργοστάσια παραγωγής, τα οποία περιλαμβάνουν μηχανήματα καθαρισμού, θραύσης, μηχανικής ή μαγνητικής διαλογής, διαχωρισμού, κοσκινίσματος, πλύσης του λεπτόκοκκου υλικού και ελέγχου της παραγωγής. Η τερματική βαθμίδα παραγωγής, η οποία έγκειται στο πλύσιμο της άμμου, αποτελεί το ποιοτικό πλεονέκτημα των ανακυκλωμένων αδρανών σε σχέση με τα φυσικά θραυστά. Η διαλογή των ανάμικτων υλικών και η απομάκρυνσή των ακατάλληλων λαμβάνει χώρα ή δια χειρός (κλασσική μέθοδος) ή μηχανικά (με χρήση νέων τεχνολογιών οπτικής αναγνώρισης). Η δεύτερη



μέθοδος διαλογής έχει δοκιμαστεί επιτυχώς στο διαχωρισμό από το σκυρόδεμα ξύλου, χαρτιού, πλαστικών, PVC, γύψου και εδαφικών προσμίξεων (Εφραιμίδης, 2008).

Η συνδυασμένη μέθοδος ανακύκλωσης (αυτοφερόμενα και στο εργοστάσιο) αποτελεί τεχνική βελτιστοποίησης των προαναφερόμενων μεθόδων. Συνδυάζει την καθαρότερη επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων (με έλεγχο του ανεπιθύμητου ποσοστού παιπάλης και των διαφόρων ρυπαντικών προσμίξεων) από το πλησιέστερο εργοστάσιο και την παραγωγή για κάλυψη των άμεσων επιτόπου αναγκών. (Εφραιμίδης, 2008).

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Δεδομένης της ίδιας τιμής ενσωματωμένης ενέργειας παραγωγής και ανακύκλωσης του σκυροδέματος το οικολογικό πλεονέκτημα για το σκυρόδεμα (δεδομένων των μελλοντικών κατασκευαστικών απαιτήσεων) έγκειται, εφόσον εφαρμοστεί ανακύκλωση, στην εξοικονόμηση πρώτων υλών και στη μείωση των δομικών αποβλήτων.

8.2. ΑΣΦΑΛΤΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

α. Περιγραφή

Το **ασφαλτοσκυρόδεμα** (*asphalt concrete*) (εικόνα 15) αποτελεί κονίαμα, το οποίο περιλαμβάνει ως συγκολλητικό (η συνδετικό) υλικό την άσφαλτο (*asphalt* ή *bitumen*). Η υπόλοιπη σύσταση του κονιάματος περιλαμβάνει χονδρόκοκκα αδρανή, άμμο και παιπάλη. Η σύσταση των υλικών διαφοροποιείται ανάλογα με τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες του ασφαλτοσκυροδέματος (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Για παράδειγμα, η σύσταση του ασφαλτοσκυροδέματος επιβάλλεται να είναι διαφορετική στην περίπτωση κατασκευής μιας ορεινής οδού (η οποία εκτίθεται σε φαινόμενα έντονων θερμοκρασιακών μεταβολών και παγετού), διαφορετική στην περίπτωση κατασκευής μιας παράκτιας οδού (στην οποία υφίστανται συνθήκες προσβολής στα άλατα) και διαφορετική στην αντίστοιχη περίπτωση κατασκευής μιας χερσαίας πεδινής οδού (Λεγάκης, 1988).

Τα **ασφαλτικά υλικά**, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του ασφαλτοσκυροδέματος, αποτελούν **φυσικές** ή **τεχνητές ασφάλτους** (οι οποίες είναι υλικά πετρελαϊκής βάσης) και **πίσσες των λιθανθράκων** (Λεγάκης, 1988). Είναι υλικά με εξαιρετικές συγκολλητικές και ελαστικές ιδιότητες, υδατοστεγανά και ρευστοποιούνται με τη θέρμανσή τους (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

Οι **φυσικές άσφαλτοι** προέρχονται κατευθείαν από τη φύση. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, κοιτάσματά τους συναντώνται στην Κασπία Θάλασσα, στη Βενεζουέλα



και στη νήσο Τρινιτάντ. Οι τεχνητές ασφαλτοι διακρίνονται στην ασφαλτο οδοστρώσας, στα **ασφαλτικά γαλακτώματα** (διακρίνονται σε αλκαλικά και όξινα) και στις **πίσσες**, οι οποίες (πίσσες) αποτελούν θερμοπλαστικά εργοστασιακά υποπροϊόντα απόσταξης λιθανδράκων (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Μια συνήθης εμπειρική πρακτική επιβάλλει το ποσοστό της ασφαλικής συγκολλητικής κονίας να ισούται με το 4% ως 10% του βάρους των αδρανών που χρησιμοποιούνται (Λεγάκης, 1988).



Εικόνα 16. Στιγμιότυπο εργασίας διάστρωσης ασφαλτοσκυροδέματος με ειδικό μηχάνημα (finisher) (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).

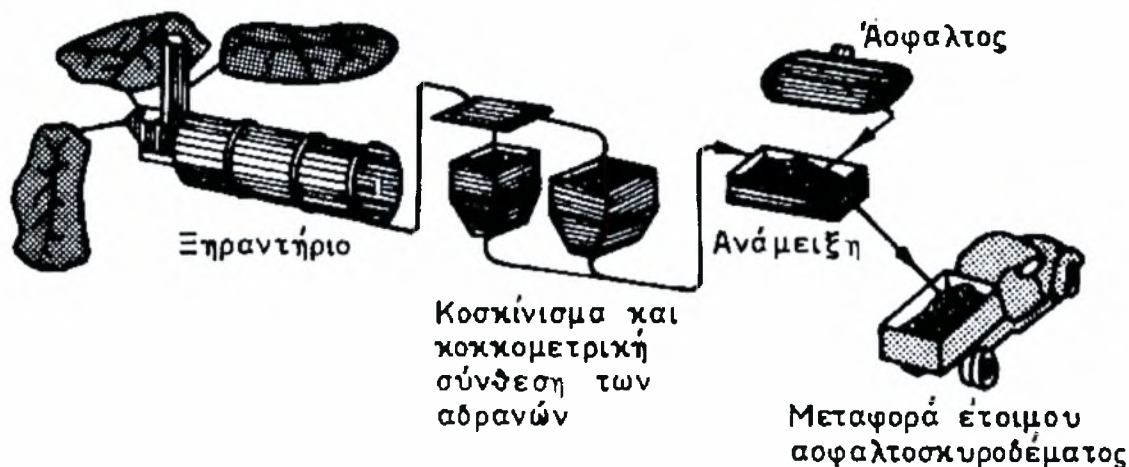
β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Το ασφαλτοσκυρόδεμα παρασκευάζεται με ανάμιξη των συστατικών του υλικών, τα οποία έχουν υποστεί προθέρμανση. Μια τυπική διάταξη ενός εργοστασιακού συγκροτήματος παρασκευής ασφαλτοσκυροδέματος φαίνεται στο σχήμα 19. Αρχικά, τα αδρανή αναμιγνύονται κατά τις επιθυμητές αναλογίες με ταυτόχρονη προθέρμανση, σε ειδικό ξηραντήριο, το οποίο διατηρεί θερμοκρασία γύρω στους 100-150°C. Στη συνέχεια το ανάμειγμα διέρχεται μέσα από κόσκινα (κοσκίνισμα) και έπειτα αναμιγνύεται με την ασφαλική συγκολλητική ουσία (Λεγάκης, 1988). Από τη χρονική στιγμή της φόρτωσης του έτοιμου ασφαλτοσκυροδέματος μέχρι τη χρονική στιγμή διάστρωσής του στον τόπο του έργου το ασφαλτοσκυρόδεμα πρέπει να έχει θερμοκρασία από 120-135°C και για το λόγο όταν η απόσταση του συγκροτήματος παρασκευής και του έργου είναι μεγάλη,



απαιτείται επαναθέρμανση (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Η τιμή της ενσωματωμένης ενέργειας του ασφαλτοσκυροδέματος εκτιμάται στα $3-4\text{MJ/kg}$.

Αδρανή υλικά σε
τρεις διαβαθμίσεις



Σχήμα 19. Σχηματική διάταξη εργοταξιακής παρασκευής ασφαλτοσκυροδέματος (Πηγή: Λεγάκης, 1988).

γ. Χρήσεις

Τα ασφαλτοσκυροδέματα χρησιμοποιούνται κυρίως στην οδοποιία για την κατασκευή των ανώτερων στρώσεων των οδών, δηλαδή του ασφαλτικού τάπητα (βάση) και της στρώσεως κυκλοφορίας (Λεγάκης, 1988). Γενικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των λεγόμενων *εύκαμπτων οδοστρωμάτων*.

δ. Συντήρηση

Οι ασφαλτοτάπητες με τον καιρό και τις επαναλαμβανόμενες φορτίσεις υφίστανται *γήρανση*. Η γήρανση συνίσταται στην υποχώρηση του συγκολλητικού ασφαλτικού υλικού στο κονίαμα, σε σημείο ώστε να διακρίνονται εμφανώς τα περιεχόμενα αδρανή του τάπητα. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται *απόξεση* (εικόνα 16) της παλαιάς στρώσης κυκλοφορίας (*φρεζάρισμα*) και *επαναδιάστρωση* νέου ασφαλτοτάπητα κυκλοφορίας (εικόνα 15).

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Κατά τη διαδικασία παρασκευής του ασφαλτοσκυροδέματος παράγονται *πτητικές οργανικές ενώσεις* (*Volatile Organic Combinations* ή *VOC*) και *πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες* (*ΠΑΥ*, με διεθνή ορολογία *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* ή *PAH*), οι οποίοι απελευθερώνονται και αμέσως μετά την τοποθέτηση



της ασφάλτου στο έργο (Jullien et al., 2006, Κούγκολος, 2007). Οι ΠΑΥ εμφανίζουν καρκινογόνο και μεταλλαξιογόνο δράση. Περιλαμβάνουν συμπυκνωμένους αρωματικούς δακτύλιους στο μόριό τους, η θέση και το πλήθος των οποίων (των δακτυλίων) χαρακτηρίζουν την αλληλεπίδρασή τους με τα βιολογικά συστήματα και την εν γένει περιβαλλοντική τους συμπεριφορά (Κούγκολος, 2007). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στα μέτρα ατομικής προστασίας για το προσωπικό, που εργάζεται σε συγκροτήματα παρασκευής ασφαλτοσκυροδέματος και ασφαλτικών υλικών, αλλά και στο προσωπικό, το οποίο εργάζεται στη διάστρωση ασφαλτοσκυροδέματος.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Οι επιδράσεις στο περιβάλλον του ασφαλτοσκυροδέματος αναφέρονται στις εκπομπές ρύπων από τη διαδικασία που εννοείται στην ενσωματωμένη ενέργεια, στη συμβολή του στο φαινόμενο της **θερμικής νησίδας** και στην έντονη δράση των ΠΑΥ.

Οι ΠΑΥ στην ατμόσφαιρα απορροφούν σε μεγάλο ποσοστό την υπεριώδη ακτινοβολία (η διεθνής της ονομασία είναι **Ultra Violet** ή **UV**) στα μήκη κύματος από 300-420nm, αντιδρούν με τα οξείδια του αζώτου σχηματίζοντας νιτροπαράγωγα (τα οποία έχουν μεταλλαξιογόνες ιδιότητες), αντιδρούν με το όζον σχηματίζοντας οξείδια και με λοιπά οξειδωτικά της ατμόσφαιρας σχηματίζοντας καρκινογόνες ενώσεις (Κούγκολος, 2007).

ζ. Ανακύκλωση

Το ασφαλτοσκυρόδεμα αποτελεί δομικό υλικό το οποίο δλυνεται να ανακυκλωθεί ολοκληρωτικά. Η διαδικασία ανακύκλωσής του συνίσταται στην απόξεση (φρεζάρισμα) του παλαιού ασφαλτοτάπητα και συλλογή των ανακυκλώσιμων πρώτων υλών (εικόνα 16). Όταν απαιτείται λαμβάνουν χώρα θέρμανση, στην οποία διαχωρίζονται τα αδρανή από τα ασφατικά υπολείματα. Έπειτα επαναδιατίθενται για ανάμιξη με άμμο και εμπλουτισμό με νέο συνδετικό υλικό. Το συνδετικό υλικό μπορεί να είναι είτε τσιμεντοκονία (για την παραγωγή άκαμπτου σκυροδέματος δαπέδων) είτε ασφατικό (για την κατασκευή ασφατικού υλικού) (Tam and Tam, 2006).

Οι τεχνολογίες ανακύκλωσης ασφαλτοσκυροδέματος που εφαρμόζονται διεθνώς περιγράφονται συνοπτικά ακολούθως (Tam and Tam, 2006):

- Ψυχρά ανακύκλωση. Σε αυτή τη μέθοδο προστίθεται, δίχως θερμική προεργασία των αποξεσμένων (φρεζαρισμένων) ασφατικών αδρανών, το συνδετικό υλικό και τα υπόλοιπα συστατικά στις κοινές εργοστασιακές εγκαταστάσεις παραγωγής.



Εικόνα 17. Στιγμιότυπο εργασίας απόξεσης (φρεζαρίσματος) ασφαλτοτάπητα για τη διάστρωση νέας ασφαλτικής στρώσης. Το παλιό υλικό συλλέγεται σε ανατρεπόμενα οχήματα και μεταφέρεται προς ανακύκλωση (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).

- Η Θερμική αναγέννηση. Καταλήγει στην επανάκτηση των αρχικών φυσικών ιδιοτήτων και χημικής σύστασης του ασφαλτικού συνδετικού υλικού.

- Η διαδικασία της Μινεσότας. Σε αυτή τη μέθοδο υπερθερμαίνονται τα φρεζαρισμένα ασφαλτικά αδρανή, σε μεγαλύτερη θερμοκρασία από την αντίστοιχη (στους 180°C), επιτυγχάνοντας την αναδόμηση των παλαιών υλικών.

- Η διαδικασία παράλληλων τυμπανων. Η διαδικασία αυτή διαχωρίζει την προθέρμανση των φρεζαρισμένων ασφαλτικών αδρανών (ανακυκλώσιμης πρώτης ύλης) σε δυο διαφορετικές διατάξεις (εξού και ο όρος παράλληλα τύμπανα) στεγνωτήρων και θερμαστών.

- Η διαδικασία επιμηκυνμένων τυμπανων. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει μια αλυσίδα σταδίων, κατά την οποία λαμβάνει χώρα τυμπάνων ξήρανση και θέρμανση φυσικών αδρανών, προσθήκη ανακυκλώσιμης πρώτης ύλης (ασφαλτικά φρεζαρισμένα αδρανή), προσθήκη ασφαλτικού συνδετικού υλικού, προσθήκη των υπόλοιπων συστατικών και ανάμιξή τους.



- Μικροκυματικό σύστημα ανακύκλωσης ασφάλτου. Περιλαμβάνει τη σύνθλιψη της ανακυκλώσιμης πρώτης ύλης.
- Η διαδικασία «finfalt». Αναφέρεται σε μετακινούμενο συγκρότημα ανακύκλωσης ασφάλτου.
- Επιφανειακή αναγέννηση. Αφορά τις τεχνικές ανακύκλωσης ασφάλτου επί τοπου στο οδόστρωμα.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Το μόνο οικολογικό πλεονέκτημα που μπορεί να χρεωθεί στη χρήση του ασφαλτοσκυροδέματος είναι η παγκοσμίως καθιερωμένη μέθοδος ανακύκλωσής του.



9. ΜΕΤΑΛΛΑ - ΚΡΑΜΜΑΤΑ

9.1. ΓΕΝΙΚΑ

Τα **μέταλλα** (*metals*) είναι στοιχεία του περιοδικού πίνακα (Wendehorst, 1981) τα οποία εμφανίζουν κοινές ιδιότητες (σχήμα 20). Έχουν κρυσταλλική δομή (με μέγεθος κρυστάλλων από 0,02 mm -0,2mm), έχουν αυξημένες μηχανικές αντοχές (θλίψη, εφελκυσμό, κάμψη, διάτμηση, στρέψη), αποτελούν καλούς αγωγούς της θερμότητας, είναι συγκολλητά, ελατά, όλκιμα, ελαστικά και εύτηκτα (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Τα υλικά, τα οποία αποτελούν ενώσεις διαφόρων μετάλλων ονομάζονται **κράματα** (*alloys*) (Bever, 1976, Wendehorst, 1981, Fernadez, 2006, Tam and Tam, 2006).

Ακολουθώντας στην απόδοση του όρου «μέταλλα» θα δίδεται πιο ευρεία έννοια (σε κατάχρηση της αυστηρής ονοματολογίας που επιβάλλει ο περιοδικός πίνακας των στοιχείων της Χημείας), η οποία θα περιλαμβάνει και τις ενώσεις των μετάλλων (στοιχείων) με αμέταλλα (στοιχεία). Για παράδειγμα, και το οξείδιο του δισθενούς σιδήρου (FeO) παρακάτω θα περιλαμβάνεται στον όρο μέταλλα. Ο λόγος, για τον οποίο πραγματοποιείται η εν λόγω εννοιολογική υιοθέτηση, είναι ότι τα οικοδομικά μεταλλικά υλικά των κατασκευών δεν συναντώνται (σχεδόν) ποτέ σε ελεύθερη στοιχειακή μορφή (Wendehorst, 1981).

Τα μέταλλα (υπό τη γενική έννοια, εννοουμένων και των κραμάτων τους), όπως προκύπτει από τη διεθνή βιβλιογραφία, κατηγοριοποιούνται με βάση το στοιχείο σιδήρου (Fe) σε **σιδηρούχα** (Bever, 1976, Wendehorst, 1981, Fernadez, 2006, Tam and Tam, 2006) και **μη σιδηρούχα** (Bever, 1976, Fernadez, 2006, Tam and Tam, 2006).

Τα **σιδηρούχα μέταλλα** περιέχουν στη σύστασή τους το (στοιχείο) σίδηρος ως βάση (δηλαδή σε κυρίαρχες ποσοστιαίες ποσότητες) και κάποιες άλλες προσμίξεις, άλλων στοιχείων, μετάλλων (όπως μαγγάνιο, χαλκός, νικέλιο, χρώμιο, βολφράμιο) ή αμετάλλων (όπως άνθρακας, πυρίτιο, φώσφορος, θείο). Τα παραπάνω κράματα του σιδήρου είναι γνωστά και με τη γενική ονομασία **χάλυβες** και αποτελούνται από το **χυτοσίδηρο**, το **χάλυβα** και τον **ειδικό χάλυβα**. Μερικά από τα προαναφερόμενα στοιχεία παρασκευάζονται σε αυτή τους τη μορφή (αποτελούν τεχνητά ή εργαστηριακά κράματα), με σκοπό να αποκτήσει ο σίδηρος ορισμένες επιθυμητές, κατά περίπτωση, μηχανικές ιδιότητες. Μερικά όμως στοιχεία είναι και ανεπιθύμητα και χρήζουν απομάκρυνσης από το υλικό (Wendehorst, 1981).



Αριθμός ομάδας										
Περίοδος	a I b	a II b	a III b	a IV b	a V b	a VI b	a VII b	VIII	0	
1.	1 H (ατομικός αριθμός) 1,008 (συμβολο)								2 He 4,00	
2.	3 Li 6,94	4 Be 9,01	5 B 10,82	6 C 12,01	7 N 14,008	8 O 16,000	9 F 19,00		10 Ne 20,18	
3.	11 Na 22,99	12 Mg 24,32	13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,97	16 S 32,06	17 Cl 35,46		18 Ar 39,94	
4.	19 K 39,10	20 Ca 40,08	21 Sc 44,96	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,94	28 Ni 58,71
5.	37 Rb 85,48	38 Sr 87,63	39 Y 88,92	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,95	43 Tc 99	44 Ru 101,1	45 Rh 102,91	46 Pd 106,4
6.	55 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57 La 138,92	72 Hf 178,50	73 Ta 180,95	74 W 183,86	75 Re 186,22	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,09
7.	87 Fr 223	88 Ra 226,05	89 Ac 227	90 Th 232,05	91 Pa 231	92 U 238,07		85 At 210	86 Rn 222	

Σχήμα 20. Ο περιοδικός πίνακας των στοιχείων (δεν περιλαμβάνονται οι λανθανίδες και τα υπερουράνια). Στη χρωματισμένη επιφάνεια φαίνονται τα μέταλλα (Πηγή: Wendehorst, 1981).



Τα **μη σιδηρούχα μέταλλα** δεν αποτελούν χάλυβες (σύμφωνα με την έννοια που διατυπώθηκε προηγουμένως), αλλά περιέχουν στη δομή τους ως βασικό στοιχείο άλλα στοιχειακά μέταλλα. Τέτοια είναι το αργίλιο (ή αλουμίνιο), ο χαλκός, ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος και άλλα (Bever, 1976, Fernadez, 2006, Tam and Tam, 2006).

9.2. ΣΙΔΗΡΟΣ

α. Περιγραφή

Ο καθαρός σίδηρος, με λατινική ονομασία *Ferroum* και με χημικό συμβολισμό (Fe), δε χρησιμοποιείται κατά κανόνα στις κατασκευές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, παρόλο που αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα μέταλλα, σπάνια συναντάται σε καθαρή μεταλλική μορφή (πχ. στους μετεωρίτες). Το παραπάνω γεγονός καθιστά δύσκολη την αμιγή χρήση του, σε αντίθεση με τη χρήση διαφόρων ενώσεών του, όπως οξειδίων του σιδήρου (ενώσεων με οξυγόνο) ή σουλφιδίων (ενώσεων με ρίζες υδροξυλίου), η οποία είναι ευρέως διαδεδομένη. Στην καθαρή του κατάσταση του ο σίδηρος είναι μαλακό, λαμπερό, αργυρόχρωμο μέταλλο, ανθεκτικό στον αέρα, αλλά ιδιαίτερα ευάλωτο στην επαφή του με υγρά (υποβάλλεται εύκολα σε οξείδωση, σκουριά). Τα κράματά του, όπως προαναφέρθηκε, ονομάζονται **χάλυβες** (Wendehorst, 1981).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Ο σίδηρος εξορύσσεται από ένα μεγάλο αριθμό ορυκτών μετάλλων, τα οποία βρίσκονται ευρέως στη φύση. Τέτοια είναι (ενδεικτικά) ο λεμονίτης, ο μαγνητίτης, ο σιδηρίτης και ο σιδηροπυρίτης. Εκτιμάται ότι η τιμή της ενσωματωμένης ενέργειας του σιδήρου είναι γύρω στα **30MJ/kg**.

γ. Χρήσεις

Οι πιο σημαντικές ενώσεις του σιδήρου, οι οποίες συναντώνται στην κατασκευή είναι (Wendehorst, 1981):

- Το οξείδιο του τρισθενούς σιδήρου. Έχει χημικό τύπο (Fe_2O_3) και ονομάζεται **αιματίτης**. Ο αιματίτης έχει χρώμα καστανοκόκκινο και χρησιμοποιείται ως χρωστική ουσία στις βαφές και ως μέσο λειάνσεως.
- Το οξείδιο του δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου. Το οξείδιο του δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου (Fe_3O_4) ονομάζεται **μαγνητίτης** και είναι το πιο ανθεκτικό οξείδιο του σιδήρου.



- Το υδροξείδιο του δισθενούς σιδήρου. Το υδροξείδιο του δισθενούς σιδήρου ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), στη μορφή του λευκής σκουριάς χρησιμοποιείται ως πρόσμικτο κονιαμάτων.
- Το υδροξείδιο του τρισθενούς σιδήρου. Το υδροξείδιο του τρισθενούς σιδήρου ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) στη μορφή καστανής σκωρίας χρησιμοποιείται επίσης ως πρόσμικτο κονιαμάτων.

δ. Συντήρηση

Αφορά την προστασία του από την οξείδωση με την εφαρμογή αντισκωριακών βαφών.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Η εισπνοή ρινισμάτων (αποξέσματα μικρού κόκκου) σε εργασίες κατεργασίας και κοπής επιβαρύνουν την υγεία.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Αναφέρονται στα παραγόμενα ποσά ρύπων κατά την παραγωγή (ενσωματωμένη ενέργεια).

ζ. Ανακύκλωση

Πραγματοποιείται με επαναχύτευση. Στις περιπτώσεις, στις οποίες ο σίδηρος αποτελεί πρόσμικτο συστατικό κονιών ή χρωμάτων δεν υφίστανται τεχνικές και σκοπιμότητα ανακύκλωσης.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

9.3. ΔΟΜΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ

α. Περιγραφή

Ο χάλυβας αποτελεί κράμα του στοιχείου σιδήρου και άνθρακα. Το ποσοστό του άνθρακα στο σώμα του χάλυβα έχει μέγιστη τιμή 1,7% κατ όγκο (Λεγάκης, 1975). Εκτός από τον άνθρακα ο χάλυβας ενδέχεται να περιέχει και άλλα πρόσμικτα (ενδεικτικά άζωτο, αργίλιο, βανάδιο, θείο, μαγγάνιο) (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999), αλλά σε πολύ μικρές ποσότητες.

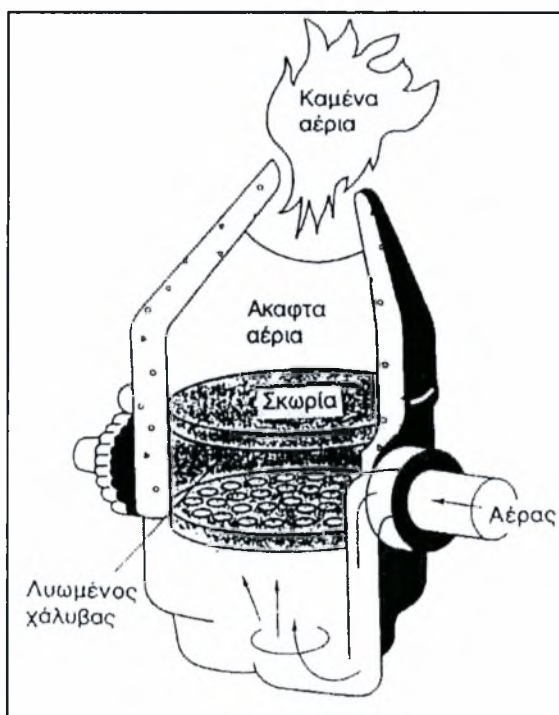
β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Η τιμή της ενσωματωμένης ενέργειας του χάλυβα κυμαίνεται στα **40MJ/kg**. Σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές άλλων (μη σιδηρούχων) μετάλλων, η τιμή της εμφανίζεται χαμηλότερη. Αν όμως η ενσωματωμένη ενέργεια του χάλυβα συγκριθεί με αντίστοιχες τιμές άλλων δομικών υλικών, τα οποία υποκαθιστούν τη χρήση του στην οικοδομή (όπως



για είναι το ξύλο, η τιμή της ενσωματωμένης ενέργειας του οποίου κυμαίνεται στα 3MJ/kg), τότε η εν λόγω τιμή καθίσταται σημαντικά μεγάλη (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

Οι μέθοδοι παραγωγής χάλυβα είναι η μέθοδος **Bessemer-Thomas**, η μέθοδος **βασικής καμίνου οξυγόνου**, η μέθοδος **καμίνου ανοιχτής εστίας** και η μέθοδος της **ηλεκτρικής καμίνου**. (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Η μέθοδος **Bessemer-Thomas** περιλαμβάνει τήξη του χάλυβα (σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 1450°C) με μια πυρίμαχη κάμινο (Λεγάκης, 1975). Από τη βάση της διοχετεύεται (σε μορφή αέρα) οξυγόνο (σχήμα 21), το οποίο αντιδρά με τις προσμίξεις άνθρακα και ελέγχει (με αυτόν τον τρόπο) την περιεκτικότητα άνθρακα στο χάλυβα.



Σχήμα 21. Κάμινος Bessemer-Thomas (Πηγή: Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

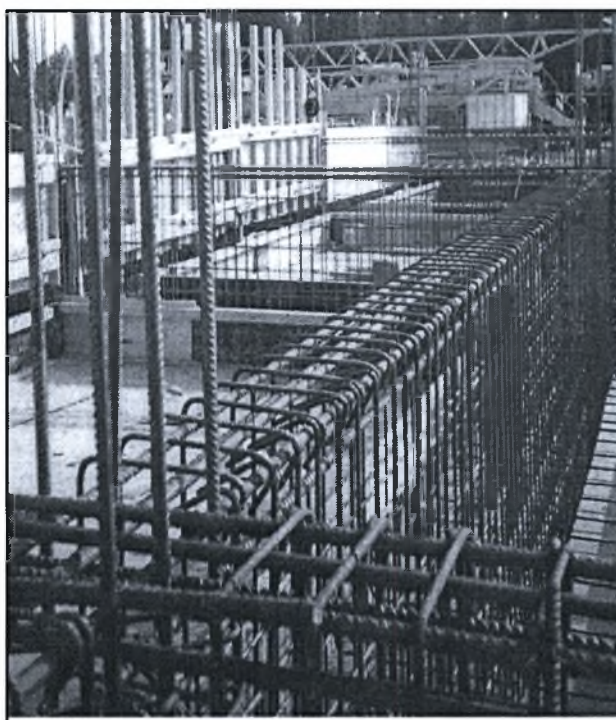
Η μέθοδος **της καμίνου οξυγόνου** αποτελεί την πιο καθιερωμένη μέθοδο. Είναι παραλλαγή της προηγούμενης μεθόδου στον τρόπο διοχέτευσης του οξυγόνου, το οποίο πλέον παροχετεύεται απευθείας από τον μετατροπέα και όχι από τη βάση της καμίνου. Η μέθοδος **της καμίνου με ανοιχτή εστία** λειτουργεί σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες (1500-1700°C) και δίνει τη δυνατότητα παραγωγής περισσότερο ομογενοποιημένου χάλυβα, αλλά με μεγαλύτερο κόστος. Τέλος, η μέθοδος της **ηλεκτρικής καμίνου**, πέραν των



ηλεκτρικών διατάξεων πύρωσης απαιτεί θερμοκρασίες γύρω στους 2000°C και γι' αυτό χρησιμοποιείται στην παραγωγή ειδικών χαλύβων (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

γ. Χρήσεις

Η χρήση του δομικού χάλυβα είναι πολύ διαδεδομένη στις κατασκευές. Η βασικότερη από όλες αφορά το στατικό κομμάτι των κατασκευών, όπου ο χάλυβας χρησιμοποιείται για την κατασκευή οπλισμού σκυροδέματος (εικόνα 17) και την κατασκευή φερόντων στοιχείων (υποστυλώματα, δοκοί) σε μεταλλικές κατασκευές (Λεγάκης, 1975, Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999). Επίσης χρησιμοποιείται για την κατασκευή μεταλλικών γεφυρών, εντατήρων (μεταλλικά καλώδια), σωλήνων, για την παραγωγή χαλυβδοελασμάτων (λαμαρίνες) (Λεγάκης, 1975).



Εικόνα 18. Δομικός χάλυβας σε ράβδους (βέργες) για το σχηματισμό οπλισμού θεμελίωσης πεδילוδοκών (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).

δ. Συντήρηση

Για την αποφυγή διάβρωσης του χάλυβα πραγματοποιείται εφαρμογή επιφανειακών επιστρώσεων με κράματα νικελίου και χρωμίου (*επινικέλωση*) ή ψευδαργύρου (*γαλβανισμός*) ώστε να αποκτήσει ανθεκτική επιφανειακή μεταλλική κρούστα (Κορωνάιος και Σαργέντης 2005). Ο γαλβανισμός εκτιμάται πως «κοστίζει» σε ενσωματωμένη ενέργεια περίπου 5MJ/kg. Επίσης, συνηθισμένη συντήρηση χαλύβων είναι η εφαρμογή *προστατευτικών βαφών* (αντισκωριακών, μινίων).



ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

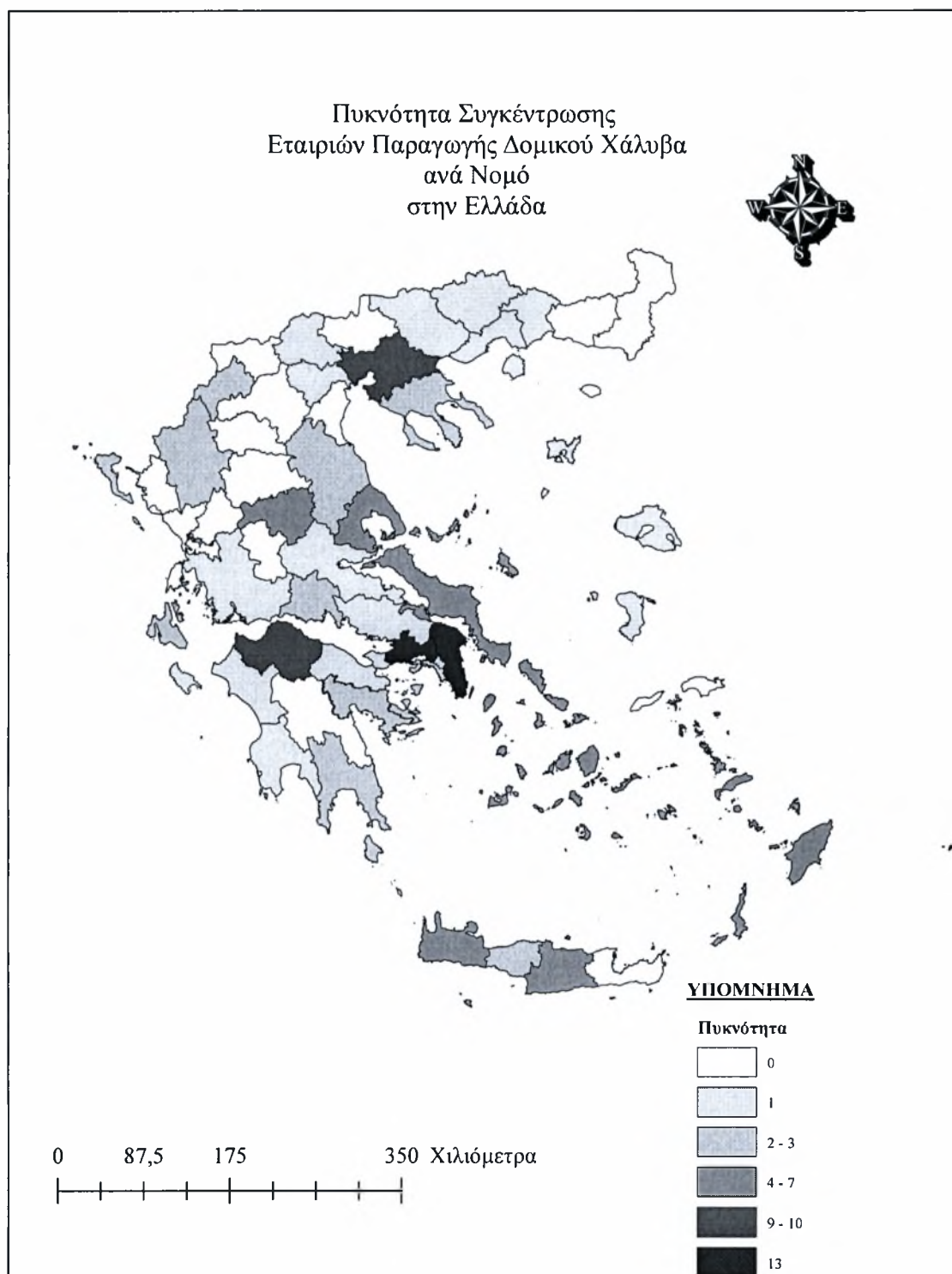
Αναφέρονται στην εισπνοή από τις εκπομπές ρύπων κατά τη διάρκεια παραγωγής (Κορωνάιος και Σαργέντης 2005).

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Η παραγωγή χάλυβα προκαλεί εκπομπή μεγάλων ποσών ρύπων, επιβαρύνοντας τα περιβαλλοντικά φαινόμενα που σχετίζονται με αυτούς (όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου). Το 1980 η βιομηχανία χάλυβα στις ΗΠΑ παρήγαγε το 28% του ετήσιου εκπεμπόμενου CO₂ και το 95% του αντίστοιχου εκπεμπόμενου οξειδίου του θείου, το οποίο ευθύνεται για το φαινόμενο της όξινης βροχής. Επίσης, εξαιτίας της μεγάλης θερμοαγωγιμότητάς του (ενδεικτικά αναφέρεται ότι είναι 400 φορές μεγαλύτερη από το ξύλο) παρουσιάζει σημαντικές απώλειες θερμότητας (δημιουργία θερμικών γεφυρών), οι οποίες μεταφράζονται σε περιβαλλοντικό και οικονομικό κόστος θέρμανσης (Κορωνάιος και Σαργέντης 2005).

ζ. Ανακύκλωση

Η ανακύκλωση του χάλυβα είναι επαρκώς διαδεδομένη διαδικασία. Στις περισσότερες χώρες, παγκοσμίως, περισσότερο από το 80% των απορριπτέων χαλύβων (το λεγόμενο **σκραπ** ή **scrap**) που προκύπτει ανακυκλώνεται, ενώ σχεδόν το 100% του απορριπτέου υλικού μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ανακυκλώσιμο (Tam & Tam, 2006). Αυτό οφείλεται στην ευκολία επανάκτησης των ανακυκλώσιμων πρώτων υλών και στην αισθητά μειωμένη ενσωματωμένη ενέργεια ανακύκλωσης χάλυβα, ενδεικτικές τιμές 15MJ/kg και 40 MJ/kg αντίστοιχα (Κορωνάιος και Σαργέντης 2005), σε σχέση με την ενέργεια παραγωγής του. Τα παραπάνω στοιχεία καθιστούν την ανακύκλωση του χάλυβα μια κερδοφόρο διαδικασία. Ο χάλυβας ενδύκνεται, εφόσον καθίσταται δυνατό, να επαναχρησιμοποιείται. Όταν ανακυκλώνεται επανατήκεται για την παραγωγή νέου χάλυβα και η εν λόγω πορεία μπορεί να επαναληφθεί σε περισσότερους του ενός κύκλων (Tam & Tam, 2006).



Χάρτης 6. Πυκνότητα συγκέντρωσης εταιρειών παραγωγής δομικού χάλυβα ανά Νομό στον ελλαδικό χώρο (Προέλευση δεδομένων: www.xo.gr, 2009, χαρτογράφηση: Δημήτρης Τσιώτας).



η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Η ικανότητα ανακύκλωσης του χάλυβα και η παγκόσμια διάδοσή της αποτελεί το οικολογικό του πλεονέκτημα (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

9.4. ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΣ

α. Περιγραφή

Ο χυτοσίδηρος αποτελεί κράμα σιδήρου το οποίο περιέχει **άνθρακα** σε αναλογία πάνω από 1,7% του όγκου του, πυρίτιο (Si) σε ποσοστό που κυμαίνεται από 1,5-3,5%, **μαγγάνιο** (Mn) σε ποσοστό από 0,5-1%, **φώσφορο** (P) σε ποσοστό 0,05-0,7% και **θείο** (S) από 0,05-0,15%. Διακρίνονται ο **τεφρός** (όταν ο άνθρακας αποτελεί ελεύθερη πρόσμιξη στο σώμα του χυτοσιδήρου), ο **λευκός** (όταν ο άνθρακας είναι χημικά ενωμένος με το σίδηρο, Fe₃C) και ο **διάστικτος** χυτοσίδηρος (ο οποίος αποτελεί ενδιάμεση κατάσταση) (Λεγάκης, 1975).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Εκτιμάται ότι η τιμή της ενσωματωμένης ενέργειας του χυτοσιδήρου είναι περίπου **32MJ/kg**.

γ. Χρήσεις

Ο χυτοσίδηρος εξαιτίας της μεγάλης σκληρότητάς του (με συνακόλουθο αποτέλεσμα τις μικρές αντοχές του σε μη θλιπτικές φορτίσεις) χρησιμοποιείται στην κατασκευή χυτών στύλων, βάσεων υποστυλωμάτων, σωλήνων υγρών και αερίων (Λεγάκης, 1975), συνδέσμων σωληνώσεων (εικόνα 18) λεβήτων και χυτοσιδηρών καλυμμάτων και εσχάρων (όπως για φρεάτια).



Εικόνα 18. Χυτοσιδηροί σύνδεσμοι δικτύου ύδρευσης (zippro) (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).



δ. Συντήρηση

Όμοια με το χάλυβα.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Όμοια με το χάλυβα.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Όμοια με το χάλυβα.

ζ. Ανακύκλωση

Όμοια με το χάλυβα.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Όμοια με το χάλυβα.

9.5. ΕΙΔΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ (ΑΤΣΑΛΙ)

α. Περιγραφή

Ο ειδικός ή ανοξείδωτος χάλυβας ή ατσάλι (*stainless steel* ή *inox*) αποτελεί κράμα του χάλυβα με άλλα μέταλλα, όπως το νικέλιο, το χρώμιο και το μαγγάνιο (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Το ατσάλι παρασκευάζεται με τη μέθοδο της *ηλεκτρική καμίνου*, στους 2000°C (Λίτινας και Γιαννακόπουλος, 1999), πράγμα που προσδίδει στην ενσωματωμένη ενέργειά του υψηλότερες τιμές, σε σχέση με τα υπόλοιπα σιδηρούχα μέταλλα.

γ. Χρήσεις

Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που απαιτούνται υψηλές αντοχές χάλυβα.

δ. Συντήρηση

Δε χρειάζεται συντήρηση διότι δεν υφίσταται οξείδωση.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Όμοια με το χάλυβα.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Όμοια με το χάλυβα.

ζ. Ανακύκλωση

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Όμοια με το χάλυβα.



9.6. AMIANTΟΣ

α. Περιγραφή

Ο όρος **αμιάντος** (*asbestos*) αποδίδεται συλλογικά για την ονομασία ορισμένων ορυκτών ινώδους μορφής, τα οποία, υπό την αυστηρή χημική τους ονομασία, αποτελούν **ένυδρα πυριτικά άλατα του μαγνησίου** (Δρίβας, 2005α, Κούγκολος, 2007). Ανάλογα με το είδος των παραπάνω αλάτων, μπορεί να περιέχουν **ασβέστιο** (*Ca*), **σίδηρο** (*Fe*) ή **νάτριο** (*Na*) καθώς και 2-4% ελεύθερο **πυρίτιο** (*Si*) (Δρίβας, 2005α). Ο αμιάντος είναι μέταλλο με μεγάλη μηχανική αντοχή, είναι ελαστικός, ανθεκτικός στα οξέα, σε υψηλές θερμοκρασίες και στην τριβή (Δρίβας, 2005, Κούγκολος, 2007).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα αμιάντου συναντώνται στον Καναδά, στη Ρωσία και στη Νότια Αφρική. Τα ευρωπαϊκά κοιτάσματα αμιάντου απαντώνται στην Ιταλία, στην Ελλάδα και στην Κύπρο. Στην Ελλάδα το μεγαλύτερο εργοστασιακό συγκρότημα εξόρυξης αμιάντου, το οποίο βρίσκεται στο Ζιδάνι Κοζάνης, έχει πλέον κλείσει. Η Ελλάδα αποτέλεσε στο παρελθόν μια από τις σημαντικότερες χώρες εξόρυξης και παραγωγής αμιάντου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το 1995 κατείχε την 7η με ετήσια δυναμική παραγωγής αμιάντου 100.000 τόνους (Δρίβας, 2005α).

γ. Χρήσεις

Η χρήση του αμιάντου στη δεκαετία του '80 υπήρξε πολύ διαδεδομένη, εξαιτίας των πολύ καλών ιδιοτήτων που εμφάνιζε στην αντοχή σε φωτιά (πυράντοχες ιδιοτήτων). Ο αμιάντος χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν (και χρησιμοποιείται σήμερα σε ειδικές μόνο χρήσεις, στις οποίες δεν υφίσταται ανθρώπινη παρουσία) ως επένδυση φούρνων και χυτηρίων, σε σωληνώσεις ύδρευσης, σε καπνοδόχους (στη μεταλλική του μορφή), ως οπλισμός πολυμερών (πλαστικών) πλακιδίων δαπέδου, σε πρίζες, σε καλώδια (Δρίβας, 2005α), ακόμη και σε μονώσεις (Κούγκολος, 2007). Μια επίσης διαδεδομένη χρήση του είναι ως ενισχυτικό (ινοοπλισμός) τσιμεντοκονιάματος σε υλικά από αμιαντοτσιμέντο (**ελληνίτ** ή **eternit**) (Obiakor, 1981, Δρίβας, 2005α, Κούγκολος, 2007), τα οποία τα συναντάμε σε φύλλα επιστεγάσων, σε φύλλα πλαγιοκαλύψεων, σε στοιχεία θέρμανσης (όπως καπνοδόχοι) και σε σωληνώσεις αποχέτευσης (στοιχείων αμιαντοτσιμέντου).

Στην Ελλάδα, ο αμιάντος εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα σε καπνοδόχους (εικόνα 19) και σε στέγες (Κούγκολος, 2007).



Εικόνα 9α Στέγη δώματος νεοανεγειρόμενης οικοδομής (2005) με καμινάδα από προκατασκευασμένα στοιχεία αμιαντοτσιμέντου (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).

δ. Συντήρηση

Ανθεκτικό υλικό, το οποίο δεν απαιτεί συντήρηση για τη χρήση του.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Ο αμιάντος αποτελεί τοξικό υλικό εξαιτίας των ινών του. Οι ίνες αμιάντου, ιδιαίτερα αυτές που έχουν μήκος από 10 μέχρι και 40 μικρά (μm) και διάμετρο 3μm με 5μm (Δρίβας, 2005α), έχουν εξαιρετικά σταθερή συμπεριφορά. Οι ίνες αυτές δεν εμφανίζουν ικανότητα δημιουργίας συσσωμάτων, με αποτέλεσμα να διατηρούν τη μορφή τους και να επανέρχονται στην ατμόσφαιρα, ακόμη και μετά από τη διήθηση ή την καθίζησή τους (Κούγκολος, 2007). Όταν εισπνέονται, διέρχονται, μέσω των βλεννογόνων, στις κυψελίδες του πνεύμονα και αποκτούν ένα πολύπτυχο κάλυμμα, το οποίο έχει μορφή «ροπαλού» ή «κομπολογιού» και χρώμα κίτρινο ως κόκκινο-καφέ. Οι επικαλυμμένες αυτές ίνες, οι οποίες ονομάζονται **σωματίδια αμιάντου** (Δρίβας, 2005α), παγιδεύονται και παραμένουν στον πνεύμονα για απεριόριστο χρονικό διάστημα. Αυτή η δράση έχει ως αποτέλεσμα την πρόκληση μορφολογικών αλλοιώσεων στους πνεύμονες και γενική βλάβη της υγείας (Κούγκολος, 2007).

Η ασθένεια, η οποία προκαλείται από την εισπνοή ινών αμιάντου ονομάζεται **αμιάντωση**, η οποία αποτελεί διάχυτο πνευμονική ίνωση. Παρόλο που καθίσταται γνωστή εδώ και 70 σχεδόν χρόνια ως νοσολογική οντότητα, ο παθογενετικός μηχανισμός της παραμένει σχεδόν άγνωστος. Εκδηλώνεται μετά από 20-30 χρόνια έκθεσης σε αμιάντο όλων των μορφών και καταλήγει σε θάνατο (Δρίβας, 2005α). Τα συμπτώματα, που τη χαρακτηρίζουν, είναι δυσκολία στην αναπνοή, διάβρωση του ιστού των



πνευμόνων και εκτεταμένη πάχυνση του στρώματος που καλύπτει τους πνεύμονες. Ο αμιάντος αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αιτίες εμφανίσεως καρκίνου του μεσοθηλιώματος, δηλαδή καρκίνου των πνευμόνων και του περιτόναιου (Κούγκολος, 2007). Η καρκινογένεση από αμιάντο ακολουθεί το στάδιο της έναρξης και το στάδιο της προαγωγής (Δρίβας, 2005α).

Σε πολλές περιοχές της χώρας μας υφίσταται δίκτυο ύδρευσης από σωληνώσεις αμιάντου. Σήμερα καταβάλλονται προσπάθειες αντικατάστασης των τμημάτων αμιάντου στο δίκτυο τουλάχιστον στις σωληνώσεις ύδρευσης, αλλά σημειώνεται ότι κλινικές έρευνες έχουν δείξει ότι η είσοδος του αμιάντου στο πεπτικό σύστημα δεν προκαλεί τις σοβαρές βλάβες που προκαλεί στο αναπνευστικό. Έχει προταθεί κλινικά η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση κατάποσης αμιάντου μα μην ξεπερνά τις 7,106ίνες/L, για ίνες μεγέθους μέχρι 10μm (Κούγκολος, 2007).

Το Π.Δ. 70Α/1988 (Φ.Ε.Κ. 54/Α/22.4.1987) με τίτλο «Προστασία των εργαζομένων που εκτίθενται σε αμιάντο κατά την εργασία» (σχήμα 22), προσδιορίζει τις υποχρεώσεις του εργοδότη απέναντι στο εργατικό προσωπικό και ορίζει τη μεθοδολογία για τον έλεγχο του περιβάλλοντος εργασίας και την ιατρική παρακολούθηση των εργαζόμενων (Δρίβας, 2005α).



Σχήμα 22. Σήμανση υλικών, τα οποία περιέχουν αμιάντο (Πηγή: Δρίβας, 2005α).

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Οι επιδράσεις του αμιάντου στο περιβάλλον είναι οικοτοξικές. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το νερό του ποταμού Αλιάκμονα (που μεταφέρεται σήμερα στο δίκτυο ύδρευσης της Θεσσαλονίκης) εμπεριέχει σημαντικές ποσότητες ινών αμιάντου, εξαιτίας του γεγονότος ότι διαρρέει μία γεωγραφική περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, στην οποία υφίστανται κοιτάσματα αμιάντου (Κούγκολος, 2007).



ζ. Ανακύκλωση

Η μεγάλη χρήση του αμιάντου στο παρεθόν κατέστησε επικοιδομητικό τον επιστημονικό διάλογο για την ανακύκλωση του υλικού από τις αρχές της δεκαετίας του '80 (Obiakor, 1981). Ο αμιάντος ανακυκλώνονταν για την επαναδιάθεσή του σε μεταλλική μορφή και για την παραγωγή τεχνητών δομικών στοιχείων με θερμομονωτικές ιδιότητες. Στις μέρες μας δεν υφίσταται σκοπιμότητα για την επιστημονική προαγωγή των μεθόδων ανακύκλωσης του περελθόντος για τον αμιάντο.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Δεν είναι δυνατό να αναγνωρισθεί με τα σύγχρονα επιστημονικά δεδομένα.

9.7. ΜΟΛΥΒΔΟΣ

α. Περιγραφή

Ο **μόλυβδος (Pb)** αποτελεί μέταλλο που και αυτός βρίσκεται στη φύση με τη μορφή ενώσεων (τα ονομαζόμενα μεταλλεύματα). Οι μορφή στην οποία συναντάται συνηθέστερα είναι ο **γαληνίτης** (πυριτικός μόλυβδος, **PbS**) και σπανιότερα ο κερουσίτης (**PbCO₃**). Ο μόλυβδος εντάσσεται στην κατηγορία των βαρέων μετάλλων του περιοδικού πίνακα των στοιχείων (βλ. σχήμα 20). έχει χρώμα σταχτογάλαζο, είναι μαλακός, έχει ειδικό βάρος 13 φορές μεγαλύτερο του νερού (Δρίβας, 2005β) και επεξεργάζεται εύκολα σε ελάσματα (ιδιότητα που οφείλει στη μικρή του σκληρότητα και ελατότητα). Το σημείο τήξης του μολύβδου είναι στους 330°C, και το σημείο βρασμού του στους 1500 - 1600 (°C). Στη θερμοκρασία των 1500-1600 (°C) ο μόλυβδος εκπέμπει ατμούς και αναθυμιάσεις (Δρίβας, 2005β).

Πριν την έκθεσή του στον αέρα ο μόλυβδος παρουσιάζει έντονη αργυρόχρωμη λάμψη. Όταν όμως έρχεται σε επαφή με τον αέρα η μεταλλική λάμψη της επιφανείας λαμβάνει την τελική (σταχτόχρωμη και ελαφρά μπλε) μορφή της, εξαιτίας της δημιουργίας μιας λεπτής στρώσης οξειδίου του μολύβδου (**PbO**). Το απιονισμένο και ελεύθερο από αέρα νερό δεν προσβάλλει χημικά τον μόλυβδο. Στην περίπτωση, όμως, που το νερό περιέχει αέρα, τότε ο μόλυβδος μετατρέπεται σταδιακά σε υδροξείδιο του μολύβδου κατά την αντίδραση (Wendehorst, 1981):



Η σκληρότητα του νερού δυσχεραίνει την προσβολή του μολύβδου από αυτό, διότι πραγματοποιείται επιφανειακός σχηματισμός του βασικού άλατος του ανθρακικού μολύβδου (**Pb(OH)₂*2PbCO₃**) και του θεικού μολύβδου (**PbSO₄**), τα οποία δημιουργούν



ένα προστατευτικό φιλμ (προστατευτική μεμβράνη). Τέλος, ο μόλυβδος δεν προσβάλλεται το θεικό και το υδροχλωρικό οξύ και παρουσιάζει διαλυτότητα στο νιτρικό, στο ανθρακικό και σε μια σειρά οργανικών οξέων (Wendehorst, 1981).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Η ευκολία στην ελατότητα του μολύβδου προβάλλεται και στην τιμή της ενσωματωμένης του ενέργειας. Η ενσωματωμένη ενέργεια του μολύβδου είναι μικρότερη του χάλυβα και εκτιμάται σε $35MJ/kg$ περίπου.

γ. Χρήσεις

Οι σπουδαιότερες ενώσεις του μολύβδου είναι το *οξειδίο του μολύβδου* (PbO), το *διοξειδίο του μολύβδου* (PbO_2) και το γνωστό *μίνιο* (Pb_3O). Το μίνιο είναι κόκκινη σκόνη και αποτελεί σπουδαίο υλικό χρωματισμού και προστασίας έναντι της διάβρωσης (σκουριάς) των μετάλλων (Wendehorst, 1981). Ο μόλυβδος χρησιμοποιείται επίσης για την παραγωγή μολυβδούχων χρωμάτων και βερνικιών, σμάλτου για την κεραμική, συσσωρευτών, ηλεκτροδίων συγκόλλησης, ηλεκτρικών καλωδίων, κρυστάλλων και υαλικών και ως σταθεροποιητικό στην βιομηχανία πλαστικών (Δρίβας, 2005β). Λόγω στις ιδιότητές του έχει χρησιμοποιηθεί και στην υδραυλική για κατασκευή σωληνώσεων ύδρευσης (σπάνια στην Ελλάδα), αποχέτευσης, οσμοπαγίδων (σιφώνια) και ειδών υγιεινής (λουτήρες). Σημαντική, τέλος, είναι η χρήση του μολύβδου στη βιομηχανία καυσίμων (Κούγκολος, 2007).

δ. Συντήρηση

Δεν απαιτεί συντήρηση.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Ο μόλυβδος (μαζί με το κάδμιο και το αρσενικό) συνιστά ένα από τα πιο τοξικά βαριά μέταλλα (Κούγκολος, 2007). Όταν απορροφάται από τον οργανισμό, λειτουργεί συσσωρευτικά (Κούγκολος, 2007), προκαλώντας αναιμία και άλλα οστεϊκά προβλήματα. Συνιστάται να αποφεύγεται η χρήση του σε υλικά χρώσης (Κορωνάιος και Σαργέντης, 2005). Δηλητηρίαση, οφειλόμενη στο μόλυβδο, μπορεί να προκληθεί από την αναπνοή ατμών και σκόνης μολύβδου και με την κατάποσή του σε μεταλλική σωματιδιακή μορφή. Τα αιωρούμενα σωματίδια του μολύβδου έχουν μέγεθος που κυμαίνεται από 0,16-0,43 (μm), με αποτέλεσμα να ανήκουν στην κατηγορία των σωματιδίων που προσλαμβάνονται εύκολα από τον ανθρώπινο οργανισμό (Κούγκολος, 2007). Οι σκόνες μολύβδου δημιουργείται κατά τις εργασίες ανάκτησης του μετάλλου, από τη μεταφορά των καταλοίπων και από την τριβή των επιφανειών μολύβδου (όπως ο καθαρισμός των



φούρνων). Οι σκόνες προσκολλώνται εύκολα, προκαλώντας ρύπανση στη επιφάνειες που τον συγκρατούν (Δρίβας, 2005β, Κούγκολος, 2007).

Υπολογίζεται ότι ο μόλυβδος, ο οποίος λαμβάνεται μέσω της αναπνοής, συνιστά το 25% του συνολικού λαμβανομένου. Οι συγκεντρώσεις μολύβδου στην ατμόσφαιρα δε δημιουργούν κλινικά συμπτώματα, αλλά η χρόνια έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις δημιουργεί συσσώρευση αλλοιώσεων, η οποία εμφανίζει τα πρώτα συμπτώματα σε προχωρημένο στάδιο (Κούγκολος, 2007).

Η έκθεση του ανθρώπου στο μόλυβδο ανιχνεύεται από τη συγκέντρωση του μολύβδου στο αίμα. Στους ενήλικες παρατηρούνται τοξικά φαινόμενα όταν η συγκέντρωση μολύβδου στο αίμα είναι πάνω από 800μg/L αλλά συχνά και 400μg/L. Στα παιδιά η τοξικότητα του μολύβδου εμφανίζεται από συγκεντρώσεις των 50μg/L. Οι διανοητικές λειτουργίες των παιδιών επηρεάζονται ακόμα και όταν οι τιμές συγκέντρωσης του μολύβδου είναι μικρότερες από αυτές που συνδέονται με συμπτώματα δηλητηρίασης. Η μέση τιμή μολύβδου στα παιδιά των πόλεων της Δυτικής Ευρώπης είναι 200μg/L. Το πρόβλημα του μολύβδου για τη δημόσια υγεία γίνεται πιο επιτακτικό δεδομένης της δύσκολης απομακρύνσής του από τον ανθρώπινο οργανισμό (Κούγκολος, 2007).

Τέλος αναφέρεται (για την ιστορία) προβλήματα τοξικότητας του μολύβδου έχουν εμφανισθεί και στο παρελθόν. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι δηλητηριάσεις από μόλυβδο παρατηρήθηκαν στη Ρωμαϊκή εποχή, γιατί τα δίκτυα ύδρευσης κατασκευάζονταν από μόλυβδο (Κούγκολος, 2007).

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Το μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα, το οποίο σχετίζεται με το μόλυβδο, οφείλεται στον τομέα της αυτοκίνησης. Υπολογίζεται ότι το 1968 στις ΗΠΑ οι συνολικές εκπομπές μολύβδου ανέρχονταν σε 186.000tn (τόνους), το μεγαλύτερο μέρος των οποίων οφειλόταν στην κυκλοφορία των αυτοκινήτων. Επίσης, εκτιμάται ότι βενζίνη με περιεκτικότητα 0,5 g/L σε τετρααιθυλιούχο μόλυβδο απελευθερώνει μέχρι 25-30 (mg) σωματιδίων μολύβδου ανά m³ καυσαερίων (το 75% του μολύβδου που περιέχεται στη βενζίνη εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα. Ο αιωρούμενος στην ατμόσφαιρα μόλυβδος αποτελεί έντονο πρόβλημα τοπικής κλίμακας. Από μετρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν στη Γαλλία, φάνηκε ότι οι συγκεντρώσεις κατοικημένων περιοχών, οι οποίες γειτνιάζαν σε κυκλοφοριακές αρτηρίες, ήταν 75% πιο αυξημένες από άλλες περιαστικές (Κούγκολος, 2007).



ζ. Ανακύκλωση

Η τοξικότητα του μολύβδου δεν επιτρέπει την αναφορά σε σύγχρονες μεθόδους ανακύκλωσης.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Δεν είναι δυνατό να αναγνωρισθεί με τα σύγχρονα επιστημονικά δεδομένα.

9.8. ΑΡΓΙΛΙΟ (ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ)

α. Περιγραφή

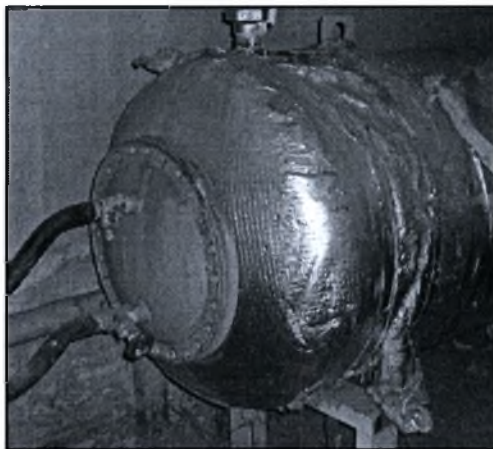
Το **αργίλιο** (*Al*) λόγω αποτελεί μέταλλο με μεγάλη ικανότητας αντίδρασης με άλλα στοιχεία. Για το λόγο αυτό εμφανίζεται πάντοτε στη φύση με τη μορφή ενώσεων και σε καμία περίπτωση σε στοιχειακή μορφή. Παρουσιάζει μεγάλη ανθεκτικότητα, η οποία οφείλεται στην αυτοπροστασία του έναντι της οξειδωσης γεγονός με το σχηματισμό λεπτό επιφανειακής στρώσης οξειδίου του αργιλίου (Wendehorst, 1981).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Το αλουμίνιο παράγεται από το βωξίτη κάτω από μια πολύ ενεργοβόρα διαδικασία. Η τιμή της ενσωματωμένης του ενέργειας εκτιμάται στα 195MJ/kg (Κορωναίος και Σαργέντης 2005). Η ανοδίωση του προσδίδει άλλα 27-30MJ/kg και η μικροκυματική του βαφή επιπλέον 18-20MJ/kg.

γ. Χρήσεις

Το αλουμίνιο αποτελεί το δομικό υλικό που υποκατέστησε επιτυχώς τη χρήση άλλων δομικών μετάλλων, όπως είναι ο χάλυβας, ο χαλκός, ακόμη και ο μολύβδος (Page, 1974). Σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως στην παραγωγή κουφωμάτων, διαχωριστικών τοιχοπετασμάτων, επενδύσεων ελαφρών στοιχείων δόμησης (τύπου πάνελ), επενδύσεων στοιχείων θερμομόνωσης (εικόνα 20), ως υλικό συγκολλήσεων και σε πολλές άλλες χρήσεις υποκατάστασης δομικών μετάλλων (κυρίως για ελαφρές κατασκευές). Σημαντική είναι και η οικοδομική χρήση του με τη μορφή κραμάτων, όπως το ντουραλουμίνιο και το μαγνάλιο. Το οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3), γνωστό ως **αλουμίνα** και άλατα αυτού χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία κεραμικών και πορσελάνης (Wendehorst, 1981). Αξίζει να αναφερθεί ότι η οικοδομική χρήση του αλουμινίου καλύπτει το 22% της συνολικής βιομηχανικής του παραγωγής (Tomas and Wirtz, 1994).



Εικόνα 24. Βραστήρας (boiler) με θερμομόνωση στρώματος υαλοβάμβακα με επικάλυψη ελασμάτων αλουμινίου (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).

δ. Συντήρηση

Δεν απαιτεί, λόγω της μεγάλης ανθεκτικότητάς του (Wendehorst, 1981).

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Το αργίλιο είναι συστατικό που εμφανίζεται στις περισσότερες τροφές και μάλιστα χρησιμοποιείται (ως κροκιδωτικό μέσον) και στην επεξεργασία του πόσιμου νερού. Παρόλα αυτά η παρουσία του έχει συνδεθεί με δύο σοβαρές ασθένειες, την ασθένεια «Αλτςχάϊμερ» (Alzheimer) και την «dialysis dimentia» (Κούγκολος, 2007).

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Οι δεδομένες περιβαλλοντικές επιδράσεις που εκφράζονται μέσω της μεγάλης τιμής της ενσωματωμένης ενέργειάς του και η αλλοίωση του τοπίου από την εξόρυξη (Κορωναίος και Σαργέντης 2005). Στα περιβαλλοντικά μειονεκτήματα του αλουμινίου πρέπει να συμπεριληφθεί και το μεγάλο ποσοστό απώλειας πρώτων υλών κατά την παραγωγή, ακόμη και την ανακύκλωσή του (Nijhof, 1994).

ζ. Ανακύκλωση

Το αλουμίνιο είναι ανακυκλώσιμο δομικό υλικό (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005) και η μεγάλη διάρκεια του κύκλου ζωής του επιτρέπει την επαναλαμβανόμενη ανακύκλωσή του, χωρίς την υποβάθμιση του πρωτογενούς υλικού. Η μέθοδος ανακύκλωσης στηρίζεται στην επανάτηξη της δευτεροβάθμιας πρώτης ύλης (scrap) (Tomas and Wirtz, 1994). Η ανακύκλωση του αλουμινίου αποτελεί μια παγκοσμίως διαδεδομένη διεργασία, η οποία χαρακτηρίζεται από μικρότερη τιμή ενσωματωμένης ενέργειας σε σχέση με την αντίστοιχη παραγωγής (γράφημα 20, κεφ.5). Η χρήση δευτεροβάθμιου (ή ανακυκλωμένου) αλουμινίου απαιτεί μόνο το 5% της ενέργειας σε



σύγκριση με αυτή του αρχικού μετάλλου, με αποτέλεσμα να εξοικονομείται ενέργεια και να παγιώνεται η μέθοδος παραγωγής ανακυκλωμένου αλουμινίου (Nijhof, 1994).

Αν ληφθεί υπόψη ο κύκλος ζωής του αλουμινίου τότε το αλουμίνιο δύναται να χαρακτηριστεί ως καλώς ανακυκλώσιμο δομικό υλικό, του οποίου το ποσοστό ανακύκλωσης κυμαίνεται στο 80%. Η διεργασία ανακύκλωσής του καθιστά την τιμή της ενσωματωμένης ενέργειάς του σε σχεδόν ίδια επίπεδα με αυτής του χάλυβα. Από τις ποσότητες αλουμινίου που ανακυκλώνεται περίπου το 25% επιστρέφει στην κατασκευή (Tomas and Wirtz, 1994).

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Η επαναλαμβανόμενη ικανότητα ανακύκλωσής του με αισθητά μικρότερη τιμή ενσωματωμένης ενέργειας από την πρωτογενή παραγωγή (Nijhof, 1994, Tomas and Wirtz, 1994, Κορωναίος και Σαργέντης, 2005)

9.9. ΧΑΛΚΟΣ

α. Περιγραφή

Ο **χαλκός** (**Cu**) αποτελεί μέταλλο που βρίσκεται ελεύθερος στη φύση, με αποτέλεσμα να θεωρείται «ημιευγενές» μέταλλο. Στη μορφή ενώσεων συναντάται σε οξειδία (ενώσεις με οξυγόνο) και σουλφίδια (ενώσεις υδροξυλίου). Ο μεταλλικός χαλκός έχει ανοιχτό κόκκινο χρώμα, είναι σχετικά μαλακός, ελατός και όλκιμος, αλλά χαρακτηρίζεται και από εξαιρετική αντοχή. Εμφανίζει την καλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα μετά τον άργυρο. Η έκθεσή του στον αέρα του προκαλεί επιφανειακή οξείδωση, δημιουργώντας οξείδιο του χαλκού (Cu_2O), το οποίο οξείδιο προσκολλάται στερεά στο μέταλλο και του προσδίδει το γνωστό κόκκινο χρώμα. Η αντίδρασή του με CO_2 σχηματίζει τον βασικό ανθρακικό χαλκό ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$) που ονομάζεται και πατίνα. Συνήθεις ενώσεις του χαλκού είναι (Wendehorst, 1981) το οξείδιο του χαλκού (CuO) και ο θειικός χαλκός (CuSO_4), ο οποίος κρυσταλλώνεται με 5 μόρια νερού σε μεγάλους μπλε διαφανείς κρυστάλλους (στη γαλαζόπετρα) (Wendehorst, 1981).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Μεγάλα κοιτάσματα χαλκού συναντώνται στην Αυστραλία, στη Χιλή και στη Βόρεια Αμερική (Wendehorst, 1981). Η ενσωματωμένη του ενέργεια εκτιμάται στα 70MJ/kg.



γ. Χρήσεις

Συνήθης εφαρμογή του χαλκού σε σωληνώσεις ύδρευσης, κεντρικής θέρμανσης, κλιματισμού (εικόνα 21), σε αγωγούς ηλεκτρικού δικτύου και σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις.



Εικόνα 22. Σωλήνας κλιματισμού από χαλκό με μονωτικό περίβλημα από πολυβινυλοχλωρίδιο (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).

δ. Συντήρηση

Αφορά την προστασία του έναντι της οξείδωσης. Συνήθης τεχνική είναι η εφαρμογή στρώσης κασσιτέρου, η οποία ονομάζεται *επικασσιτέρωση* ή *γάνωμα*.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Τα άλατα του χαλκού, όταν διέρχονται στο πεπτικό σύστημα, προκαλούν δυσφορία, ευρύτερες ανωμαλίες, ακόμη και φλεγμονές. Ο άνθρωπος έρχεται σε επαφή με τον χαλκό μέσα από την παρουσία του στο δίκτυο ύδρευσης (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Οι δεδομένες, που περικλείονται στην έννοια της ενσωματωμένης ενέργειας.

ζ. Ανακύκλωση

Ο χαλκός, όπως όλα σχεδόν τα μέταλλα, είναι ανακυκλώσιμο υλικό με χαμηλό κόστος ανακύκλωσης (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Ουδέτερο υλικό με συνετή χρήση.



9.10. ΝΙΚΕΛΙΟ

α. Περιγραφή

Το **νικέλιο** (*Ni*) είναι ένα αργυρόλευκο μέταλλο, το οποίο μετατρέπεται εύκολα σε ελάσματα, συγκολλείται με οξυγόνο (οξυγονοκόλληση), είναι σκληρό, παρουσιάζει ελαφρά μαγνητικές ιδιότητες και χαρακτηρίζεται από ανθεκτικότητα στον ατμοσφαιρικό αέρα και στο νερό. Διαλύεται εύκολα στο αραιό νιτρικό και στο οξικό οξύ (Wendehorst, 1981).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Η διεργασία της επινικέλωσης προκαλεί αύξηση της ενσωματωμένης ενέργειας 4MJ/kg περίπου.

γ. Χρήσεις

Η βασική χρήση του νικελίου εντοπίζεται στη χαλυβουργία, επειδή η προσθήκη ακόμη και ελάχιστης ποσότητα νικελίου στο χάλυβα αυξάνει σε μεγάλο βαθμό τη σκληρότητά και την ανθεκτικότητά του. Η προσθήκη νικελίου (μαζί με άλλα ενισχυτικά μέταλλα) αποτελεί τεχνική παραγωγής ανοξείδωτου χάλυβα (ατσαλιού). Επίσης το νικέλιο χρησιμοποιείται και ως προστατευτική επίστρωση σε διάφορα μέταλλα, η οποία συνήθως ακολουθείται και με επίστρωση χρωμίου. Η διεργασία αυτή είναι γνωστή ως **νικέλωμα** και πραγματοποιείται με ηλεκτρόλυση (Wendehorst, 1981).

δ. Συντήρηση

Δεν απαιτεί ιδιαίτερη συντήρηση.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Οι κοινές των μετάλλων.

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Εμφανίζει ουδέτερη συμπεριφορά, πέραν των εννοούμενων στην ενσωματωμένη ενέργεια.

ζ. Ανακύκλωση

Η ποσότητες νικελίου που συναντώνται είναι μικρές, με αποτέλεσμα η ανακύκλωση του εν λόγω υλικού να μην αποτελεί ανεξάρτητη διαδικασία.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Έγκειται στο γεγονός ότι η προσθήκη ακόμη και ελάχιστης ποσότητα νικελίου στο χάλυβα αυξάνει σε μεγάλο βαθμό τη σκληρότητά και την ανθεκτικότητά του (Wendehorst, 1981). Επομένως αποτελεί ένα περιβαλλοντικά οικονομικό υλικό.



9.10. ΚΑΔΜΙΟ

α. Περιγραφή

Το **κάδμιο** (**Cd**) αποτελεί μέταλλο παρόμοιο, σε χαρακτηριστικά, με τον ψευδάργυρο. Στη φύση συναντάται μαζί με τον ψευδάργυρο (Κουϊμτζής et al., 1998).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Το κάδμιο παράγεται ως παραπροϊόν της χύτευσης του ψευδαργύρου (Κουϊμτζής et al., 1998).

γ. Χρήσεις

Χρησιμοποιείται στη στοιχειακή του μορφή για την ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση άλλων μετάλλων και ως σταθεροποιητής στο πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC). Στην ιοντική του μορφή χρησιμοποιείται στη βιομηχανία χρωμάτων. Χαρακτηριστικό προϊόν αποτελεί το κίτρινο χρώμα του καδμίου. Τα άλατα του καδμίου CdS και CdSe βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στη βιομηχανία χρώσης των πλαστικών. Τέλος χρήσεις καδμίου αναφέρονται και σε φωτοβολταϊκές διατάξεις (Κουϊμτζής et al., 1998).

δ. Συντήρηση

Σταθερό μέταλλο, δε χρειάζεται συντήρηση.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Το κάδμιο μαζί με το αρσενικό και το μόλυβδο αποτελούν τα πιο τοξικά βαρέα μέταλλα (Κούγκολος, 2007). Η τοξική δράση του καδμίου έχει συνδεθεί με την πρόκληση της ασθένειας «itai-itai» (Κουϊμτζής et al., 1998, Κούγκολος, 2007). Η εν λόγω ασθένεια οφείλεται στη βιοσυσώρευση του καδμίου στον ανθρώπινο οργανισμό. Η τοξικότητα του καδμίου οφείλεται στη χημική συγγένειά του με το ασβέστιο, με αποτέλεσμα να το υποκαθιστά στους οργανισμούς και να προκαλεί πόνους (itai στα Ιαπωνικά σημαίνει πονάει) κυρίως στα κόκκαλα (Κούγκολος, 2007).

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Αφορούν τους έμβιους οργανισμούς εξαιτίας της ιδιότητας του καδμίου να υποκαθιστά το ασβέστιο (Κούγκολος, 2007).

ζ. Ανακύκλωση

Όμοια με το νικέλιο.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Το κάδμιο υποκαθίσταται επιτυχώς από τον ψευδάργυρο, οπότε δεν δύναται να αναγνωριστεί κάποιο οικολογικό πλεονέκτημα.



9.12. ΧΡΩΜΙΟ

α. Περιγραφή

Το **χρώμιο** (Cr) όταν βρίσκεται σε στοιχειακή μορφή είναι μέταλλο με λαμπερό χρώμα (παρόμοιο με του αργύρου), ελατό και σφυρηλατήσιμο. Στη φύση συναντώνται μόνο ενώσεις του χρωμίου. Σε συνήθεις θερμοκρασιακές συνθήκες δεν οξειδώνεται ούτε από τον αέρα ούτε από το νερό (Wendehorst, 1981).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Εκτιμάται σε παρόμοια επίπεδα με το νικέλιο.

γ. Χρήσεις

Το χρώμιο χρησιμοποιείται συνήθως για την προστασία άλλων μετάλλων, λόγω στην ιδιότητά του να μην οξειδώνεται. Πολλά μέταλλα όταν καλυφθούν από μια στρώση χρωμίου προστατεύονται αποτελεσματικά από την οξείδωση (σκούριασμα). Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **επιχρωμίωση** και πραγματοποιείται ηλεκτρολυτικώς, αφού προηγηθεί επινικέλωση του χαλύβδινου τμήματος του μετάλλου (η οποία υπενθυμίζεται ότι λαμβάνει χώρα με ηλεκτρόλυση). Το χρώμιο χρησιμοποιείται επίσης και στη χρωματοβιομηχανία για τη δημιουργία βαφών. Ενδεικτικά παρασκευάσματα, που αναφέρονται είναι το πράσινο χρωμίου, το πράσινο του οξειδίου του χρωμίου, το διαρκές πράσινο, κόκκινο και το πορτοκαλί του χρωμίου (Wendehorst, 1981).

δ. Συντήρηση

Ισχυρό έναντι στην οξείδωση (Wendehorst, 1981), δεν απαιτεί συντήρηση.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Το εξασθενές χρώμιο (π.χ. διχρωμικά ιόντα) αποτελεί τοξική ουσία, που οποία ενδέχεται να εμφανίζεται σε υδάτινους φορείς (Κούγκολος, 2007).

στ. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Εμφανίζει ουδέτερη συμπεριφορά, πέραν των εννοούμενων στην ενσωματωμένη ενέργεια.

ζ. Ανακύκλωση

Χρησιμοποιείται σε μικρές ποσότητες, με αποτέλεσμα η ανακύκλωση του χρωμίου να πραγματοποιείται σε συνδυασμό με το κυρίως μέταλλο που προστατεύει.

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί περιβαλλοντικά οικονομικό υλικό, όμοια με το νικέλιο.



9.13. ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ

α. Περιγραφή

Ο *ψευδάργυρος* (Zn) είναι μέταλλο που εμφανίζεται στη φύση με τη μορφή χημικών ενώσεων. Έχει λευκό χρώμα με ελαφρά κυανή απόχρωση και σε συνθήκες θερμοκρασιακές συνθήκες είναι αρκετά εύθραυστος. Όταν ο ψευδαργύρος έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα σχηματίζει στην επιφάνειά του μια ελαφριά, αλλά ανθεκτική, μεμβράνη (κρούστα). Η κρούστα αυτή είναι ουσιαστικά ένα στρώμα οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO) ή βασικού ανθρακικού ψευδαργύρου (Zn(OH)₂) (Wendehorst, 1981). Σε αυτή την ιδιότητα του ψευδαργύρου οφείλεται και η διεργασία της *επιψευδαργύρωσης*, η οποία είναι γνωστή ως *γαλβάνισμα*.

Σημαντικές ενώσεις του ψευδαργύρου είναι το *οξείδιο του ψευδαργύρου* (ZnO) (ψευδαργυρίτης), ο *θειούχος ψευδάργυρος* (ZnS), ο *ανθρακικός ψευδάργυρος* (ZnCO₃), ο οποίος ονομάζεται σμιθσωνίτης ή καλαμίνα και ο *χλωριούχος ψευδάργυρος* (ZnCl₂) (Wendehorst, 1981).

β. Ενσωματωμένη Ενέργεια

Η τιμή της ενσωματωμένης ενέργειας του ψευδαργύρου σε μεταλλική μορφή εκτιμάται στα **50MJ/kg**. Στην επιφανειακή του χρήση όμως (κατά το γαλβάνισμα) αυτός προσδίδει επιπλέον **3MJ/kg** ενσωματωμένης ενέργειας στο κυρίως μέταλλο, που επικαλύπτει.

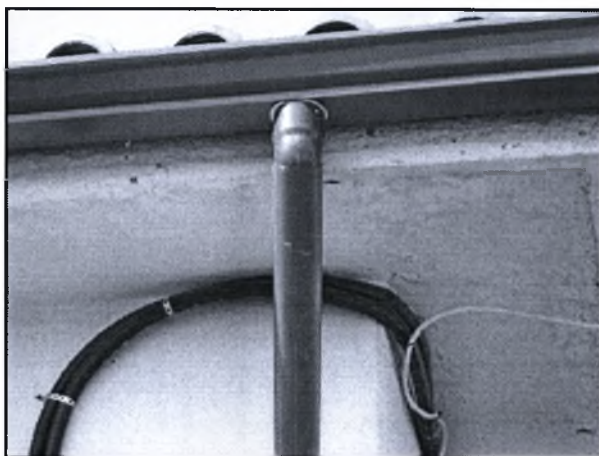
γ. Χρήσεις

Ο ψευδάργυρος χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα στην κατασκευή ελασμάτων (λαμαρίνες), επιστεγάσεις, πλαγιοκαλύψεις, επενδύσεις, για κατασκευή υδροροών (εικόνα 22) και για το γαλβανισμό μετάλλων και για την κατασκευή κραμάτων (Wendehorst, 1981). Η επικρατούσα ονομασία του ψευδαργύρου στην οικοδομή και στο εμπόριο είναι *τσίγκος*.

Σπουδαίο κράμα του ψευδαργύρου με το χαλκό είναι ο ορείχαλκος ή μπρούντζος (Cu, Zn), ο οποίος χρησιμοποιείται στην κατασκευή χειρολαβών. Άλλο γνωστό κράμα του ψευδαργύρου με νικέλιο και χαλκό είναι ο νεοάργυρος (Cu, Ni, Zn). Από τις ενώσεις του ψευδαργύρου ο θειούχος ψευδάργυρος (ZnS) χρησιμοποιείται μαζί με το θειικό βάριο για την κατασκευή ανόργανων χρωμάτων λιθοπόνιων (πιγμέντα). Ο ανθρακικός ψευδάργυρος (ZnCO₃) στη μορφή υδατικών διαλυμάτων χρησιμοποιείται για τον εμποτισμό ξυλείας και ως καθαριστικό επιφανειών πριν από τη συγκόλληση



(Wendehorst, 1981). Οι λοιπές ενώσεις ψευδαργύρου απαντώνται ως συντηρητικά ξύλου (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).



Εικόνα 23. Μεταλλική υδροροή από διαμορφωμένα ελάσματα χάλυβα και εξωτερική ακρυλική βαφή (Πηγή: προσωπικό αρχείο Δημήτρη Τσιώτα).

δ. Συντήρηση

Ισχυρό έναντι στην οξείδωση (Wendehorst, 1981), δεν απαιτεί συντήρηση.

ε. Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Δεν οφείλεται στην ίδια δράση, αλλά στο γεγονός ότι συναντάται στη φύση μαζί με τον ψευδάργυρο (Κουϊμτζής et al., 1998), με αποτέλεσμα η εξόρυξη ψευδαργύρου να προκαλεί εκπομπές καδμίου, το οποίο καθίσταται τοξικό. Ο ψευδάργυρος αντίθετα δεν εμφανίζει τοξικότητα, αντίθετα στη μορφή ιχνοστοιχείων καθίσταται ωφέλιμος για τον ανθρώπινο οργανισμό (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

ε. Επιδράσεις στο Περιβάλλον

Οι εννοούμενες στην τιμή της ενσωματωμένης ενέργειας.

στ. Ανακύκλωση

Ο ψευδάργυρος είναι ανακυκλώσιμο υλικό, αλλά οι μικρές ποσότητες που χρησιμοποιείται καθιστά την ανακύκλωσή του δαπανηρή και, προς το παρόν, ασύμφορη διαδικασία (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).

η. Οικολογικό Πλεονέκτημα

Οι προστατευτικές ιδιότητες που προσδίδει στα μέταλλα, συνδυαζόμενες με την απουσία τοξικής συμπεριφοράς.



10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία επιχειρήθηκε η παρουσίαση των βασικών μεγεθών (ανάλυση κύκλου ζωής, ενσωματωμένη ενέργεια, τοξικότητα, επιδράσεις στο περιβάλλον), τα οποία συνιστούν το θεματικό αντικείμενο της περιβαλλοντικής μελέτης των δομικών υλικών στην κατασκευή. Η κατασκευή αποτελεί ένα πολύπλοκο παραγωγικό σύστημα, το οποίο συντίθεται από τρία διατεταγμένα υποσυστήματα, το υποσύστημα της **παραγωγής**, της **χρήσης** και της **απόρριψης**.

Το υποσύστημα της παραγωγής δέχεται ως εισροές τεράστια ποσά φυσικών πρώτων υλών και πόρων (όπως ξυλεία, ορυκτά και βιομάζα) και τα μετασχηματίζει στο καταναλωτικό αγαθό της κατασκευής (κτίρια, δίκτυα, εγκαταστάσεις), με ταυτόχρονη δαπάνη μεγάλων ποσών ενέργειας και εργατικών ωρών. Στη συνέχεια το αγαθό της κατασκευής μεταβαίνει στο υποσύστημα της χρήσης, στο οποίο διοχετεύονται νέα ποσά πρώτων υλών και ενέργειας (αποτελώντας καινούριες εισροές), προκειμένου να διατηρηθεί η χρησιμότητα του αγαθού. Με την ολοκλήρωση της χρήσης του το αγαθό εκπίπτει στο (τελικό) υποσύστημα της απόρριψης, που συνιστά τον υποδοχέα στον οποίο συσσωρεύονται τεράστιες ποσότητες απόβλητης μάζας. Η απόβλητη δομική μάζα, ως μη πρωτογενές υλικό, είναι αποκομμένη από τους εγγενείς μηχανισμούς ανακύκλωσης της φύσης, συνιστώντας το σύγχρονο και μεγάλο πρόβλημα που υπογράφει η κατασκευή στο βιβλίο του περιβάλλοντος.

Στις ημέρες μας το πεδίο επιστημονικού διαλόγου για τη διαχείριση της απόβλητης μάζας των κατασκευών φαίνεται ότι έχει φτάσει σε τέτοιο επίπεδο ωριμότητας, ώστε να είναι σε θέση να προτείνει με επάρκεια τεχνικές, οι οποίες εντάσσουν την περιβαλλοντική συνιστώσα στο οικονομοκεντρικό σύστημα της βιομηχανίας των κατασκευών. Βέβαια, δεν έχει αποσαφηνιστεί αν αυτό το επίπεδο ωριμότητας επετεύχθη χάρη στην πηγαία ωρίμανση του ανθρώπου (η οποία προέρχεται από την αυτογνωσία που του προσδίδει η πρόοδος της επιστημονικής γνώσης) ή εξαιτίας της επιβαλλόμενης από τη φύση αναγκαιότητας, μέσα από την εμφανή υποβάθμισή της.

Ανεξάρτητα από το αίτιο (περιβαλλοντική αυτογνωσία ή περιβαλλοντικός φόβος), η **εφαρμογή των αρχών της αειφόρου δόμησης** αρχίζει να γίνεται παγκόσμια πραγματικότητα. Με υποδειγματική πρωτοπορία, πολλές χώρες σε Αμερική και Ευρώπη έχουν ενσωματώσει μέτρα αειφορικής διαχείρισης στους θεσμικούς ρυθμιστικούς τους μηχανισμούς, αναφορικά με τον τομέα των κατασκευών. Η χώρα μας οφείλει, σε αυτή τη



χρονική βαθμίδα, να διακρίνει τις προοπτικές που χαράσσονται στον τομέα της περιβαλλοντικής διαχείρισης και να προβεί στη σταδιακή καθιέρωση αντίστοιχων μέτρων (σύμφωνα με τους ιδιορυθμούς της), ώστε να προλάβει οποιασδήποτε μορφής αναγκαστική εφαρμογή τους, στο πλαίσιο εναρμόνισης διεθνών πολιτικών.

Τα συμπεράσματα και οι προτάσεις, που αναδεικνύονται στην παρούσα εργασία και αφορούν **τα μέτρα προαγωγής της αειφόρου δόμησης στη χώρα μας**, συνοψίζονται ακολούθως:

10.1. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΜΕΡΙΜΝΑΣ

Ως αρχικός αποδέκτης των αειφορικών επενδύσεων στη δόμηση επιλέγεται ο τομέας της ατομικής πρωτοβουλίας, τόσο σε επίπεδο ειδικών (όπως μηχανικών, εργολάβων κλπ) όσο και σε επίπεδο χρηστών (φυσικά πρόσωπα που απολαμβάνουν τη χρησιμότητα του αγαθού της κατασκευής). Η εν λόγω θέση διατυπώνεται πριν από την επίκληση οποιωνδήποτε προτάσεων θεσμικής φύσης, διότι θεωρείται ότι η υλοποίηση των θεσμικών μέτρων (που προτείνονται ακολούθως) υποβάλλεται στις δεδομένες χρονοκαθυστερήσεις, που οφείλονται στην αδράνεια ενός συστήματος απέναντι σε καινοτόμες αλλαγές.

Σε επίπεδο **ατομικής μέριμνας χρήστη** προτείνεται (και παρακαλείται) ο κάθε αγοραστής - χρήστης του αγαθού της κατασκευής να αναζητά την αγορά και να προβαίνει στη χρηματοδότηση κατασκευών, οι οποίες πραγματοποιούνται με τεχνικές οικολογικής δόμησης.

Σε επίπεδο **ατομικής μέριμνας ειδικών** προτείνεται ο εκάστοτε κατασκευαστής να εφαρμόζει στην καθημερινή επαγγελματική του δράση (κατά την κρίση και ευσυνειδησία του) τις **αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού** και της **αειφόρου δόμησης**. Κάποιες από αυτές είναι:

- Η εφαρμογή των αρχών του μακρόπνοου ή προσαρμοστικού (Page, 1974) και καινοτόμου (Gosproдини, 2004) σχεδιασμού των κτιρίων, ο οποίος καθίσταται διαχρονικός και ευέλικτος σε ενδεχόμενες αναπροσαρμογές της χρήσης τους (Page, 1974).
- Ο περιορισμός της σπατάλης των υλικών, όπου αυτό καθίσταται εφικτό (Page, 1974).
- Η τοποθέτηση υλικών με μεγάλη θερμοχωρητικότητα σε επιφάνειες που δύνανται να αξιοποιήσουν την ηλιακή θερμότητα, η έξυπνη διαχείριση των ροών αέρα



του κτιρίου, η αξιοποίηση των ανακλαστικών ιδιοτήτων των υλικών για βέλτιστο φυσικό φωτισμό (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005). Οι σωστοί συνδυασμοί θερμικής μόνωσης, θερμικής μάζας και ο επαρκής σχεδιασμός υγρομόνωσης και αερισμού αποτελούν βασικές συνιστώσες επιμήκυνσης της διάρκειας ζωής της κατασκευής υπό τη σκέπη των βιοκλιματικών επιταγών (Page, 1974).

- Η τοποθέτηση (υποκατάστατων) υλικών με μεγάλο κύκλο ζωής (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).
- Η επιλογή εντόπιων υλικών και γενικά υλικών με μικρή ενσωματωμένη ενέργεια (για περιπτώσεις υποκατάστατων υλικών) (Woolley et al., 2003).
- Η αποφυγή τοποθέτησης στο έργο τοξικών υλικών.
- Η τοποθέτηση (υποκατάστατων) ανακυκλώσιμων υλικών (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).
- Η κατά το δυνατόν χρήση μη πόσιμου ή ανακυκλωμένου νερού στα κονιάματα (Woolley et al., 2003).
- Για τη μόνωση των κατασκευών βέλτιστη οικολογική επιλογή αποτελούν το φυσικό μαλλί (Woolley et al., 2003, Fernandez, 2006), οι ίνες κυτταρίνης, η κίσσηρης, οι αχυροσανίδες, τα ελαφριά πετάσματα, το ξυλόμαλλο και ως δεύτερη επιλογή τα αφρώδη υαλικά (Woolley et al., 2003).
- Για τις εργασίες τοιχοποιίας των κατασκευών βέλτιστες οικολογικές επιλογές αποτελούν οι ανακυκλωμένοι τεχνητοί δομικοί λίθοι, οι οπτόπλινθοι, οι κισσηρόπλινθοι, ο λίθος και ως συνδετικό υλικό πρέπει να αποφεύγονται οι τσιμεντοκονίες, ενώ συνιστώνται τα παράγωγα του ασβέστη (Woolley et al., 2003).
- Η χρήση προκατασκευασμένου σκυροδέματος (Κορωναίος και Σαργέντης, 2005).
- Η υποκατάσταση των φερόντων στοιχείων με ξύλο, όπου καθίσταται δυνατόν και η χρήση σύμμεικτων κατασκευών για τον περιορισμό των ποσοτήτων σκυροδέματος.
- Η χρήση εναλλακτικών λύσεων επιστέγασης όπως οι κεντητές στέγες (Page, 1974).
- Η χρήση στο έργο οικολογικών υλικών (χρωμάτων, πολυμερών κλπ), τα οποία είναι βιοδιασπώμενα.



10.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΘΕΣΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ

10.2.1. ΘΕΣΜΟΘΕΤΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΑΚΤΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Οι προτάσεις ατομικής μέριμνας, οι οποίες διατυπώθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο είναι δυνατόν να μεταφερθούν σε θεσμικό επίπεδο με την έκδοση κανονισμών και τεχνικών οδηγιών, οι οποίες να ρυθμίζουν την έμπρακτη λήψη μέτρων αειφόρου δόμησης στην κατασκευή.

10.2.2. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟ ΕΡΓΟ

Προτείνεται η θέσπιση θεσμικού πλαισίου, το οποίο θα ρυθμίζει τη διαχείριση των πλεοναζόντων δομικών υλικών, των απορριπτόμενων δομικών υλικών και γενικά των υλικών που θεωρούνται δομικά απορρίματα (ή απόβλητα) κατά τη φάση εκτέλεσης ενός έργου. Το εν λόγω πλαίσιο δύναται να αφορά τη **σύσταση κλιμακίου διαχείρισης δομικών αποβλήτων στο έργο**, το οποίο θα έχει τις αρμοδιότητες της περισυλλογής των δομικών αποβλήτων, του διαχωρισμού των απορριπτέων και των ανακυκλώσιμων και της μεταφοράς τους στα κατάλληλα συγκροτήματα και προορισμούς διάθεσης και αξιοποίησης. Προτείνεται η διαδικασία σύστασης του εν λόγω κλιμακίου να συμπεριλαμβάνεται στη διαδικασία έγκρισης άδειας ανέγερσης ενός έργου. Σε μεγάλα έργα και σε έργα κατεδάφισης το εν λόγω κλιμάκιο προτείνεται να είναι απαραίτητως αυτόνομο (σε διοίκηση και μέλη), ενώ σε μικρά έργα (για παράδειγμα σε έργα ανέγερσης μεμονωμένων ιδιωτικών οικιών) δύναται η λειτουργία του να καλύπτεται από την Επίβλεψη, με τον προσδιορισμό των επιπρόσθετων αρμοδιοτήτων στο εργατικό προσωπικό.

Επίσης προτείνεται να συμπεριλαμβάνεται στην υποβολή του τεύχους της μελέτης ενός έργου και **μελέτη διαχείρισης δομικών αποβλήτων**. Η εν λόγω μελέτη (σε αντίστοιχη φιλοσοφία με το Σχέδιο και το Φάκελο Ασφάλειας και Υγείας) θα ορίζει τη χωροθέτηση του κλιμακίου διαχείρισης των δομικών αποβλήτων (με κατάδειξη της θέσης σε χωροταξικό σχέδιο) και τη λειτουργία του. Η μελέτη διαχείρισης δομικών αποβλήτων θα περιλαμβάνει υπόμνημα των αποβλήτων, τα οποία αναμένεται να παραχθούν στο έργο, διάκρισή τους σε ανακυκλώσιμα και μη και πρόταση αξιοποίησης τους. Επίσης στη μελέτη θα αποτυπώνονται (με διαγράμματα ροής) οι σταθμοί περισυλλογής των αποβλήτων, οι θέσεις ή σταθμοί διαχωρισμού τους (ανά είδος, για



παράδειγμα ανακυκλώσιμα, επαναξιοποιήσιμα, απορριπτόμενα) και απομάκρυνσής τους από το έργο. Προτείνεται η εν λόγω μελέτη να συντάσσεται από μελετητή μηχανικό με μετεκπαίδευση (ή ειδίκευση) σχετική με τη διαχείριση περιβάλλοντος και ελλείπει αυτής να συνυπογράφεται από περιβαλλοντολόγο μηχανικό.

10.2.3. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Σε αντιστοιχία με ειλημμένα μέτρα ευρωπαϊκών χωρών προτείνεται η ρύθμιση της απόρριψης των δομικών υλικών, τα οποία εμφανίζουν δυνατότητα ανακύκλωσης. Αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με **απαγόρευση της απόρριψης κάποιων τύπων δομικών αποβλήτων** (όπως αδρανή, καθαιρεθέντα οπτοπλινθοδομών, μετάλλων και σκυροδεμάτων) ή με την **επιβολή φορολογίας (ανά ποσότητα δομικών αποβλήτων)** για την απόρριψη σε χωματερές (ή χώρους υγειονομικής ταφής απορριμάτων, ΧΥΤΑ) δομικών απορριμάτων, η επαναλαμβανόμενη μορφή της οποίας (εφόσον αφορά ποσότητα αποβλήτων) θα καταστήσει συμφέρουσα την προμήθεια (από τις εργοληπτικές επιχειρήσεις) του απαραίτητου εξοπλισμού ανακύκλωσης δομικών αποβλήτων.

Προτείνεται επίσης η **παροχή κινήτρων σε επιχειρηματίες** για την συγκρότηση μονάδων ανακύκλωσης δομικών υλικών, η οποία θα είναι είτε **άμεση** (με τη μορφή επιχορηγήσεων στην αγορά εξοπλισμού) είτε **έμμεση** (με τη μορφή φοροαπαλλαγών). Για την εφαρμογή της εν λόγω πρότασης θα πρέπει να έχει προηγηθεί καταγραφή των ελληνικών δυνατοτήτων ανακύκλωσης δομικών αποβλήτων για ενίσχυση των πασχόντων τομέων και την ίδρυση όσων δεν υφίστανται.

10.3. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑ

Τη σημαντικότερη επένδυση για την υιοθέτηση της νοοτροπίας της αειφόρου κατασκευής αποτελεί η διάδοση των αρχών της μέσα από την εκπαίδευση. Στην περίπτωση της καθιέρωσης της αειφόρου νοοτροπίας στη δόμηση, για την οποία απαιτείται η αναπροσαρμογή των παγιωμένων κερδοφορικών τακτικών του τομέα, η αειφορική μεταρρύθμιση μέσω της εκπαίδευσης δεν καθίσταται πιο μακροπρόθεσμο μέτρο από τα υπόλοιπα προτεινόμενα. Προτείνεται, επομένως, η **εισαγωγή στο αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών**, των συναφών με την κατασκευή πολυτεχνικών τμημάτων, των **μαθημάτων της αειφόρου κατασκευής, της πράσινης δόμησης, της διαχείρισης των δομικών αποβλήτων και της οικολογίας των δομικών υλικών**. Επίσης



προτείνεται η ειδίκευση των μηχανικών σε προπτυχιακό επίπεδο σπουδών της διαχείρισης των δομικών αποβλήτων ή η σύσταση μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών με αντίστοιχη θεματολογία.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Βουδούρης, Δ., Μαλλιαράκη, Μ., (1996) *Μίκρο-Μάκρο Οικονομική, Θεωρία και Πρακτική*, Β΄ Έκδοση, Αθήνα, Εκδόσεις Α. Σταμούλης
2. Θεοχαράτος, Γ., Ιακωβίδης, Κ., (2000) *Στοιχεία Φυσικής Μετεωρολογίας*, Αθήνα, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΚΠΑ
3. Καλογεράς, Ν., Κίρποτιν, Χ., Μακρής, Γ., Παπαϊωάννου, Ι., Ραυτόπουλος, Σ., Τζιτζας, Μ., Τουλιάτος, Π., (1993) *Θέματα Οικοδομικής*, Αθήνα 1993, Εκδόσεις Συμμετρία
4. Κιόχος, Π, (1993) *Στατιστική*, Αθήνα, Εκδόσεις Interbooks
5. Κούγκολος, Α., (2007) *Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική*, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα
6. Κουϊμτζής, Θ., Φυτιάνου, Κ., Σαμαρά, Κ., (1998) *Χημεία Περιβάλλοντος*, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις UNIVERSITY STUDIO PRESS
7. Λεγάκης, Α., (1975) *Δομικά Υλικά, Τόμος Β΄*, Αθήνα, Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου
8. Λεγάκης, Α., (1987) *Δομικά Υλικά, Τόμος Α΄*, Αθήνα, Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου
9. Λεγάκης, Α., (1988) *Τεχνολογία Δομικών Υλικών, Τόμος Α΄*, Αθήνα, Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου
10. Λιανός, Θ., Χρήστου, Γ., (1995) *Πολιτική Οικονομία*, Αθήνα, Εκδόσεις ΟΕΔΒ
11. Λίτινας, Ν., Γιανακκόπουλος, Φ., (1999) *Τεχνολογία Δομικών Υλικών*, Αθήνα, Εκδόσεις Κορυφή Α.Ε
12. Μανδάλα, Μ., (1988) *Μείζον Ελληνικό Λεξικό*, Αθήνα, Εκδόσεις Τεγόπουλος – Φυτράκης
13. Μαχαίρα, Φ., Μπόρα, Ε., (1998) *Στατιστική, Θεωρία, Εφαρμογές*, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Ζήτη



14. Νεγρεπόντης, Σ., Γιωτόπουλος, Σ., Γιαννακούλας, Ε., (1999) *Απειροστικός Λογισμός, Τόμος Ι*, Αθήνα, Εκδόσεις Συμμετρία
15. Πετράκη, Α., Κωττή, Γ., (2000), *Σύγχρονη Μακροοικονομική*, Αθήνα, Εκδόσεις Μπένου
16. Τάσιος, Θ., Γιαννόπουλος, Κ., Τρέζος, Κ., Τσουκαντάς, Σ., (1995) *Προεντεταμένο Σκυρόδεμα (Με βάση το Νεό Ελληνικό Κανονισμό Σκυροδέματος)*, Αθήνα, Εκδόσεις Πολυτεχνειακό
17. Τερκενλής, Θ., Ιωσηφίδης, Θ., Χωριανόπουλος, Ι., (2007) *Ανθρωπογεωγραφία*, Αθήνα, Εκδόσεις Κριτική
18. Τσιώτας, Δ., (2001) *Αυτοματοποιημένη μέθοδος Φυσικού Φωτισμού και Ηλιασμού στον Κτιριοδομικό Σχεδιασμό (διπλωματική εργασία)*, Δεκέλεια, Έκδοση για τη Σχολή Ικάρων
19. Alonso, M., Finn, E., (1981) *Θεμελιώδης Πανεπιστημιακή Φυσική, Τόμος Ι, Μηχανική και Θερμοδυναμική*, Ρεσβάνης, Α., Φίλιππας, Τ., (επ), Αθήνα, Εκδόσεις Κορφιάτη
20. Anink, D., Boonstra, C., Mak, J., (1996) *Handbook of Sustainable Building, An Environmental Preference Method for Selection of Materials for use in Construction and Refurbishment*, London, James & James (Science Publishers) Limited Publications

ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑΣ

21. Marsden, J., Tromba, A., (2005) *Διανυσματικός λογισμός*, Γιαννόπουλος, Α. (επ), Ηράκλειο, Εκδόσεις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
22. Serway, R., (1990) *Physics for Scientists & Engineers*, Volume III, Saunders College Publishing, Third Edition, Ρεσβάνης, Α. (επ), Αθήνα, Εκδόσεις Κορφιάτη
23. Wendehorst, R., (1981) *Δομικά Υλικά*, 21^η εκδ, Τουλιάτος, Δ., Λεονταρίτης, Μ., Παπαγιάννης, Δ., Μπίσμπος, Χ., (επ.), Αθήνα, Εκδόσεις Μ. Γκιούρδα

ΞΕΝΗ

24. Berge, B., (1999) *Ecology of Building materials*, Henley, F., (ed), Oxford, Architectural Press Publications



25. Bever, M., (1976) "The recycling of metals I. Ferrous metals", *CONSERVATION & RECYCLING*, **1**, pp. 55-69
26. Bever, M., (1976) "The recycling of metals II. Nonferrous metals", *CONSERVATION & RECYCLING*, **1**, pp.137-147
27. Burgan, B., Sansom, M., (2006) "Sustainable steel construction", *JOURNAL OF CONSTRUCTIONAL STEEL RESEARCH*, **62**, pp. 1178–1183
28. Catarino, L., Sousa, J., Martins, I., Vieira, M., Oliveira, M., (2003) "Ceramic products obtained from rock wastes", *JOURNAL OF MATERIALS PROCESSING TECHNOLOGY*, **143**, pp. 843–845
29. Conroy, A., Halliwell, S., Reynolds, T., (2006) "Composite recycling in the construction industry", *COMPOSITES: PART A*, **37**, pp. 1216–1222
30. Cooper, S., Fava, J, (2006) "Life Cycle Assessment Practitioner Survey: Summary of Results", *JOURNAL OF INDUSTRIAL ECOLOGY*, **10** (4) , pp. 1216–1222
31. Crawford, R., Treloar, G., Fuller, R., Bazilia, M., (2006) "Life-cycle energy analysis of building integrated photovoltaic systems (BiPVs) with heat recovery unit", *RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, **10**, pp. 559–575
32. Davidson, T., Wilson, D., (1982) "U.S. Building - Demolition wastes: quantities and potential for resource recovery", *CONSERVATION & RECYCLING*, **5** (2), pp. 113 – 132
33. Ding, G., (2008), "Sustainable construction - The role of environmental assessment tools", *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, **86**, pp. 451–464
34. Fernandez, J., (2006) *Material Architecture, emergent materials for innovative buildings and ecological construction*, Oxford, Architectural Press Publications
35. Gertsev, V., Gertseva, V., (2004) "Classification of mathematical models in ecology", *ECOLOGICAL MODELLING*, **178**, pp. 329-334
36. Godfard, J., Croome, D., Jeronimidis, G., (2005) "Sustainable building solutions: a review of lessons from the natural world", *BUILDING AND ENVIRONMENT*, **40**, pp. 319–328
37. Gospodini, A., (2004) "Urban Morphology and Place Identity in European Cities: Built Heritage and Innovative Design", *JOURNAL OF URBAN DESIGN*, **9** (2), pp. 225-248



38. Huang, Y., Bird, R., Heidrich, O., (2007) "A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements", *RESOURCES, CONSERVATION AND RECYCLING*, **52**, pp. 58–73
39. Huberman, N., Pearlmutter, D., (2008) "A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert", *ENERGY AND BUILDINGS*, **40** (5), σελ. 837-848
40. Jullien, A., Moneron, P., Quaranta, G., Gaillard, D., (2006) "Air emissions from pavement layers composed of varying rates of reclaimed asphalt", *RESOURCES, CONSERVATION AND RECYCLING*, **47**, pp. 356–374
41. Kaufer, H., (1987) "Active recycling of plastics", *CONSERVATION & RECYCLING*, **10** (2), σελ. 153-167
42. Kofoworola, O., Gheewala, S., (2009) "Life cycle energy assessment of a typical office building in Thailand", *ENERGY AND BUILDINGS*, **41** (10), pp. 1076-1083
43. Maslow, A., (1943) "A theory of human motivation", *PSYCHOLOGICAL REVIEW*, **50**, pp. 370-396
44. Nijhof, G., (1994) "Aluminium separation out of household waste using the Eddy Current technique and re-use of the metal fraction", *RESOURCES, CONSERVATION AND RECYCLING*, **10**, pp. 161-169
45. Obiakor, E., (1981) "Bricks and asbescrete building blocks from asbestos - cement factory wastes", *CONSERVATION & RECYCLING*, **4** (3), pp. 123 – 128
46. Page, J., (1974) "Conservation of building materials and the future of the built environment", *RESOURCES POLICY*, **1** (2), pp. 82-94
47. Santos, A., Sampaio, C., Vezzoli, C., (2009) "Cascade approach on recycling for marble and granite product design", *MATERIALS AND DESIGN*, **30**, pp. 287–291
48. Serpell, A., Alarcon, L., (1998) "Construction process improvement methodology for construction projects", *INTERNATIONAL JOURNAL PROJECT MANAGEMENT*, **16** (4), pp. 215-21.
49. Singh, P., Kumar, N., (1997) "Impact assesement of climate change on the hydrological response of a snow and glacier melt runoff dominated Himalayan river", *JOURNAL OF HYDROLOGY*, **193**, pp. 316-350



50. Snelson, D., Kinuthia, J., Davies, P., Chang, S., (2009) "Sustainable construction: Composite use of tyres and ash in concrete", *WASTE MANAGEMENT*, **29**, pp. 360–367
51. Tam, V., Tam, C., (2006), "A review on the viable technology for construction waste recycling", *RESOURCES, CONSERVATION AND RECYCLING*, **47**, pp. 209-22
52. Thomas, M., Wirtz, A., (1994) "The ecological demand and practice for recycling of aluminium", *RESOURCES, CONSERVATION AND RECYCLING*, **10**, pp. 193-204
53. Thormark, C., (2002) "A low energy building in a lifecycle – embodied energy, energy need for operation and recycling potential", *INTERNATIONAL JOURNAL OF BUILDING AND ENVIRONMENT*, **37**(4), pp. 429–35.
54. White, L., Lee, G., (2007) "Operational Research and sustainable development: Tackling the social dimension", *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*, **193**, pp. 683-692
55. Woolley, T., Kimmins, S., Harrison, P., Harrison, R., (1997) *Green Building Handbook*, London, E & FN Spon Publications
56. Zaharieva, R., Dimitrova, E., Bodin, F., (2003) "Building waste management in Bulgaria: challenges and opportunities", *WASTE MANAGEMENT*, **23**, pp. 749–761

ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΩΝ

57. Εφραιμίδης, Χ., (2008) «Παραγωγή αδρανών υλικών από ανακύκλωση παλαιών σκυροδεμάτων», παρουσιάστηκε στο 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, 21-23 Μαΐου, Τ.Ε.Ε, Αθήνα
58. Μοροπούλου, Α., Κορωναίος, Χ., Καρόγλου, Μ., Αγγελικοπούλου, Ε., Μπακόλας, Α., Ντόμπρος, Α., (2008) «Ανάλυση κύκλου ζωής κονιαμάτων», παρουσιάστηκε στο 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, 21-23 Μαΐου, Τ.Ε.Ε, Αθήνα
59. Μουτσιόπουλος, Ν., Ιακώβου, Ε., Παπαδόπουλος, Α., Αχίλλας, Χ., Αηδόνης, Δ., Αναστασέλος, Δ., Μπανιάς, Γ., (2008) «Εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης δομικών υλικών στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους», παρουσιάστηκε στο 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, 21-23 Μαΐου, Τ.Ε.Ε, Αθήνα

ΔΙΑΔΙΚΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



60. Κορωναίος, Α., Σαργέντης, Φ., (2005) *Δομικά Υλικά & Οικολογία* [on line], διαθέσιμο στη URL:

<http://www.ntua.gr/vitruvius/ecomat.pdf>,

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο [τελευταία επίσκεψη: 6 Μαρτίου 2009]

61. Wood, S. (2008-2009) *A first course in Statistics (διδασκτικές σημειώσεις)* [on line], διαθέσιμο στη URL:

<http://www.maths.bath.ac.uk/~sw283/SIP/climate.pdf>,

Bath University of the UK [τελευταία επίσκεψη: 9 Μαΐου 2009]

ΥΛΙΚΟ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ

62. Δρίβας, Σ., (2005α) «Ασθένειες από αμίαντο», στο ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε, (2005) *Νομοθεσία (1861-2005), Νομολογία (1955-2004), Θέματα Υ.Α.Ε*, Αθήνα, Ηλεκτρονική έκδοση (CD ROM) του Κέντρου Τεκμηρίωσης Πληροφόρησης του ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε

63. Δρίβας, Σ., (2005β) «Μόλυβδος και Εργασία», στο ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε, (2005) *Νομοθεσία (1861-2005), Νομολογία (1955-2004), Θέματα Υ.Α.Ε*, Αθήνα, Ηλεκτρονική έκδοση (CD ROM) του Κέντρου Τεκμηρίωσης Πληροφόρησης του ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε

64. Δρίβας, Σ., (2005γ) «Το σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου (Sick building syndrome)», στο ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε, (2005) *Νομοθεσία (1861-2005), Νομολογία (1955-2004), Θέματα Υ.Α.Ε*, Αθήνα, Ηλεκτρονική έκδοση (CD ROM) του Κέντρου Τεκμηρίωσης Πληροφόρησης του ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ – ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ – ΘΕΣΜΙΚΑ ΚΕΙΜΕΝΑ

65. Προσωρινή Εθνική Τεχνική Προδιαγραφή (Π.Ε.ΤΕ.Π) 05-03-03-00, *Στρώσεις οδοστρωμάτων από ασύνδετα αδρανή υλικά*, Έκδοση 1^η, ΙΟΚ, Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε

66. Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ), (1997)

67. World Commission on Environment and Development (W.C.E.D), (1987), *Our common future (The bruntland report)*, Oxford University Press Publications, pp. 43



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Η ΟΔΗΓΙΑ 67/548/ΕΟΚ

Τίτλος: «Οδηγία 67/548/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 27ης Ιουνίου 1967 περί προσεγγίσεως των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων που αφορούν στην ταξινόμηση, συσκευασία και επισήμανση των επικινδύνων ουσιών ».

Επίσημη Εφημερίδα: αριθ. 196 της 16/08/1967 σ. 0001 – 0098

Φινλανδική ειδική έκδοση: Κεφάλαιο 15 τόμος 1 σ. 0019

Δανική ειδική έκδοση: Σειρά Ι Κεφάλαιο 1967 σ. 0211

Σουηδική ειδική έκδοση: Κεφάλαιο 15 τόμος 1 σ. 0019

Αγγλική ειδική έκδοση: Σειρά Ι Κεφάλαιο 1967 σ. 0234

Ελληνική ειδική έκδοση: Κεφάλαιο 13 τόμος 1 σ. 0034

Ισπανική ειδική έκδοση: Κεφάλαιο 13 τόμος 1 σ. 0050

Πορτογαλική ειδική έκδοση : Κεφάλαιο 13 τόμος 1 σ. 0050

ΟΔΗΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ

της 27ης Ιουνίου 1967

περί προσεγγίσεως των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων περί ταξινομήσεως, συσκευασίας και επισημάνσεως των επικινδύνων ουσιών (67/548/ΕΟΚ)

ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΟΣ,

Έχοντας υπόψη:

τη συνθήκη περί ιδρύσεως της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας , και ιδίως το άρθρο 100,

την πρόταση της Επιτροπής,

τη γνώμη της Συνελεύσεως (1),

τη γνώμη της Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής (2),

Εκτιμώντας:

ότι κάθε ρύθμιση που αφορά τη θέση σε κυκλοφορία στην αγορά επικινδύνων ουσιών και παρασκευασμάτων πρέπει να έχει ως σκοπό την προστασία του πληθυσμού και ιδίως των εργαζομένων που τις χρησιμοποιούν.



ότι οι διαφορές μεταξύ των εθνικών διατάξεων των έξι Κρατών μελών περί ταξινομήσεως, συσκευασίας και επισημάνσεως των επικινδύνων ουσιών και παρασκευασμάτων έχουν ως αποτέλεσμα να παρεμποδίζουν τις συναλλαγές αυτών των ουσιών και παρασκευασμάτων στην Κοινότητα και έχουν ως εκ τούτου άμεση επίπτωση στη δημιουργία και λειτουργία της κοινής αγοράς.

ότι είναι αναγκαίο, κατά συνέπεια, να εξαλειφθούν τα εμπόδια αυτά και για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός είναι απαραίτητη η προσέγγιση των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων περί κατατάξεως, συσκευασίας και επισημάνσεως.

ότι είναι απαραίτητο να τηρηθεί επιφύλαξη λόγω των προπαρασκευαστικών εργασιών που πρέπει ακόμη να γίνουν, σε μεταγενέστερες οδηγίες ως προς την προσέγγιση των διατάξεων που είναι σχετικές με τα επικίνδυνα παρασκευάσματα και να περιορισθεί, ως εκ τούτου, η παρούσα οδηγία στην προσέγγιση των διατάξεων που είναι σχετικές με τις επικίνδυνες ουσίες.

ότι λόγω της εκτάσεως του τομέως τούτου και των αναριθμητών λεπτομερών μέτρων που θα απαιτηθούν για την προσέγγιση του συνόλου των διατάξεων των σχετικών με τις επικίνδυνες ουσίες, θα είναι χρήσιμο να προβλεφθεί κατά πρώτον η προσέγγιση των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων που είναι σχετικές προς την ταξινόμηση, συσκευασία και επισήμανση των επικινδύνων ουσιών επιφυλασσόμενης σε μεταγενέστερες οδηγίες της προσεγγίσεως των διατάξεων που είναι σχετικές με την χρήση των ανωτέρω επικινδύνων ουσιών και παρασκευασμάτων εφόσον αναγνωρίζεται ότι οι διαφορές μεταξύ αυτών των διατάξεων έχουν άμεση επίπτωση στη δημιουργία ή τη λειτουργία της κοινής αγοράς.

ότι η προσέγγιση των εθνικών διατάξεων που προβλέπεται από την παρούσα οδηγία δεν προδικάζει την εφαρμογή των διατάξεων των άρθρων 31 και 32 της συνθήκης,

ΕΞΕΔΩΣΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΟΔΗΓΙΑ:

Άρθρο 1

1. Η παρούσα οδηγία αποβλέπει στην προσέγγιση των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των Κρατών μελών που αφορούν:

- στην ταξινόμηση ,



- στη συσκευασία , και

- στην επισήμανση

των επικινδύνων ουσιών εφόσον αυτές διατίθενται στην αγορά στα Κράτη μέλη της Κοινότητας.

2 . Η παρούσα οδηγία δεν θίγει διατάξεις σχετικές με:

α) φάρμακα, ναρκωτικά και ραδιενεργές ουσίες .

β) τη μεταφορά των επικινδύνων ουσιών σιδηροδρομικώς, οδικώς, δια χερσαίων υδατίνων οδών, δια θαλάσσης ή αεροπορικώς.

γ) πυρομαχικά και αντικείμενα που περιέχουν εκρηκτικές ύλες υπό την μορφή εναυσμάτων ή καυσίμων κινητήρων.

3. Η παρούσα οδηγία δεν έχει εφαρμογή επί επικινδύνων ουσιών εφόσον αυτές εξάγονται προς τρίτες χώρες.

4. Τα άρθρα 5 έως 7 της παρούσης οδηγίας δεν έχουν εφαρμογή επί δοχείων που περιέχουν αέρια συμπιεσμένα, υγροποιημένα ή διαλελυμένα υπό πίεση.

Άρθρο 2

1. Στο πλαίσιο της παρούσης οδηγίας νοούνται ως:

α) ουσίες

τα χημικά στοιχεία και ενώσεις τους όπως παρουσιάζονται στην φυσική τους κατάσταση ή ως παράγονται από τη βιομηχανία.

β) παρασκευάσματα

τα μίγματα ή διαλύματα που αποτελούνται από δύο ή περισσότερες ουσίες .

2. Θεωρούνται ως « επικίνδυνα » στο πλαίσιο της παρούσης οδηγίας οι ουσίες και τα παρασκευάσματα:

α) εκρηκτικές

ουσίες και παρασκευάσματα που δύνανται να εκραγούν υπό την επίδραση φλογός ή που είναι πλέον ευαίσθητα σε κρούσεις ή τριβές από το δινιτροβενζόλιον.

β) οξειδωτικές

ουσίες και παρασκευάσματα τα οποία σε επαφή με άλλες ουσίες και ιδίως ευφλεκτές, παρουσιάζουν ισχυρή εξώθερμη αντίδραση.

γ) λίαν εύφλεκτες ουσίες και παρασκευάσματα:



- που δύνανται να θερμανθούν και τελικώς ν' αναφλεγούν στον αέρα σε συνήθη θερμοκρασία άνευ προσφοράς ενεργείας, ή

- σε στερεά κατάσταση, που δύναται να αναφλεγούν ευκόλως δια βραχείας επιδράσεως μιας πηγής αναφλέξεως και που συνεχίζουν να καίγονται ή να αναλίσκονται και μετά την απομάκρυνση της πηγής αναφλέξεως, ή

- σε υγρά κατάσταση των οποίων το σημείο αναφλέξεως είναι κατώτερο των 21°C ,
ή

- σε αέρια κατάσταση που αναφλέγονται στον αέρα υπό συνήθη πίεση, ή

- που σε επαφή μετά του ύδατος ή της υγρασίας του αέρα , παράγουν ευκόλως αναφλέξιμα αέρια σε επικίνδυνες ποσότητες.

δ) ευφλεκτές

ουσίες και παρασκευάσματα σε υγρά κατάσταση των οποίων το σημείο αναφλέξεως ευρίσκεται μεταξύ 21°C και 55°C.

ε) τοξικές

ουσίες και παρασκευάσματα που δια της εισπνοής, καταπόσεως ή δια της διεισδύσεως δια του δέρματος δύνανται να προκαλέσουν σοβαρούς κινδύνους για την υγεία, οξείς ή χρονίους , ακόμη και τον θάνατο.

στ) επιβλαβείς

ουσίες και παρασκευάσματα που δια της εισπνοής, καταπόσεως ή δια της διεισδύσεως δια του δέρματος δύνανται να προκαλέσουν κινδύνους περιορισμένης σοβαρότητας για την υγεία.

ζ) διαβρωτικές

ουσίες και παρασκευάσματα που ερχόμενα σε επαφή μετά ζώντων ιστών δύνανται να έχουν καταστρεπτική επίδραση επ' αυτών.

η) ερεθιστικές

ουσίες και παρασκευάσματα μη διαβρωτικά που ερχόμενα σε άμεση επαφή παρατεταμένη ή επαναλαμβανόμενη με το δέρμα ή τους βλεννογόνους δύνανται να προκαλέσουν φλεγμονή.

Άρθρο 3

Η ταξινόμηση των επικινδύνων ουσιών σύμφωνα με τον υψηλότερο βαθμό και την ειδική φύση των κινδύνων βασίζεται στις κατηγορίες τις προβλεπόμενες στο άρθρο 2.



Άρθρο 4

Το παράρτημα Ι της παρούσης οδηγίας περιέχει τον κατάλογο των επικινδύνων ουσιών ταξινομημένων συμφώνως προς τις διατάξεις του άρθρου 3.

Άρθρο 5

Τα Κράτη μέλη λαμβάνουν όλα τα χρήσιμα μέτρα ώστε οι επικίνδυνες ουσίες να μην δύνανται να διατίθενται στην αγορά παρά μόνον εάν οι συσκευασίες τους, όσον αφορά την στερεότητα και την στεγανότητά τους, ανταποκρίνονται στους ακόλουθους όρους, νοουμένου ότι κάθε συσκευασία που ανταποκρίνεται στους όρους αυτούς θεωρείται ως επαρκής.

1. Οι συσκευασίες πρέπει να είναι επιμελημένες και κλειστές κατά τρόπο που να εμποδίζεται κάθε απώλεια του περιεχομένου με εξαίρεση τις περιπτώσεις όπου έχουν προδιαγραφεί ειδικά συστήματα ασφαλείας.

2. Τα υλικά από τα οποία αποτελείται η συσκευασία και το σύστημα κλεισίματος δεν πρέπει να προσβάλλονται από το περιεχόμενο ούτε να σχηματίσουν με αυτό επικίνδυνες ή βλαβερές ενώσεις.

3. Οι συσκευασίες και τα συστήματα κλεισίματος πρέπει σε όλα τα σημεία να είναι ανθεκτικά κατά τρόπο αποκλείοντα κάθε χαλάρωση και ν' ανταποκρίνονται ασφαλώς στις συνήθεις απαιτήσεις των χειρισμών.

Άρθρο 6

1. Τα Κράτη μέλη λαμβάνουν όλα τα χρήσιμα μέτρα ώστε οι επικίνδυνες ουσίες να μην δύνανται να διατίθενται στην αγορά παρά μόνον εάν οι συσκευασίες τους όσον αφορά στην επισήμανση ανταποκρίνονται στους ακόλουθους όρους.

2. Κάθε συσκευασία πρέπει να φέρει επισήμανση περιλαμβάνουσα:

- την ονομασία της ουσίας,
- την προέλευση της ουσίας,
- τα σύμβολα και τις ενδείξεις των κινδύνων που παρουσιάζει η χρησιμοποίηση της ουσίας,
- υπόμνηση περί των ιδιαίτερας επικινδύνων καταστάσεων που προκύπτουν εκ των κινδύνων αυτών.



α) η ονομασία της ουσίας πρέπει να είναι μία εκ των περιλαμβανομένων στον κατάλογο του Παραρτήματος I της παρούσης οδηγίας.

β) η ένδειξη της προελεύσεως πρέπει να περιέχει το όνομα και τη διεύθυνση του παραγωγού, του διανομέως ή του εισαγωγέως.

γ) τα σύμβολα και οι ενδείξεις των κινδύνων που πρέπει να χρησιμοποιούνται είναι:

- εκρηκτικό: μία εκρηγνυομένη βόμβα (E)
- οξειδωτικό: μία φλόγα πάνω από ένα κύκλο (O)
- ευκόλως αναφλέξιμο: μία φλόγα (F)
- τοξικό: η ένδειξη μιας νεκροκεφαλής επί διασταυρουμένων οστών (T)
- βλαβερό: σταυρός του Αγίου Ανδρέου (Xn)
- διαβρωτικό: το σήμα ενός δρώντος οξέος (C)
- ερεθιστικό: σταυρός του Αγίου Ανδρέου (Xi) .

Τα σύμβολα πρέπει να είναι σύμφωνα με το παράρτημα II της παρούσης οδηγίας τυπώνονται μαύρα επί πορτοκαλο-κιτρίνης επιφανείας.

δ) Η φύση των ιδιαιτέρως επικινδύνων καταστάσεων που συνεπάγεται η χρησιμοποίηση των ουσιών πρέπει να περιγράφεται δια μιας ή περισσότερων τυποποιημένων φράσεων, οι οποίες πρέπει να είναι σύμφωνες με τις ενδείξεις που περιέχονται στον κατάλογο του Παραρτήματος I και περιλαμβάνονται στο Παράρτημα III της παρούσης οδηγίας.

3. Εάν η συσκευασία συνοδεύεται με οδηγίες προφυλάξεως που αναφέρονται στην χρήση των ουσιών, αυτές θα πρέπει να είναι σύμφωνες με το Παράρτημα IV της παρούσης οδηγίας σε συσχετισμό με το περιεχόμενο του καταλόγου του Παραρτήματος I.

Άρθρο 7

1. Όταν τα στοιχεία που απαιτούνται κατά το άρθρο 6 εμφανίζονται σε ετικέτα, η ετικέτα αυτή πρέπει να επικολλάται επί μιας ή περισσότερων πλευρών της συσκευασίας κατά τρόπον ώστε να είναι αναγνώσιμα οριζοντίως, εφόσον η συσκευασία τοποθετείται κατά τρόπο κανονικό. Οι διαστάσεις της ετικέτας πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσες προς τις διαστάσεις του κανονικού τύπου A8 (52 - 74 mm) και δύναται να μην είναι μεγαλύτερες εκείνων του κανονικού τύπου A5 (148 - 210mm). Κάθε σύμβολο πρέπει να



καταλαμβάνει τουλάχιστον ένα δέκατο της επιφανείας της ετικέτας. Η ετικέτα πρέπει να επικολλάται καθ' όλην την επιφάνειάν της επί της αμέσου συσκευασίας της ουσίας.

2. Ετικέτα δεν απαιτείται εφόσον η ίδια η συσκευασία φέρει κατά τρόπον εμφανή τα στοιχεία όπως καθορίζονται στην παράγραφο 1.

3. Τα επί της συσκευασίας ή ετικέτας στοιχεία πρέπει να τυπώνονται με χαρακτήρες ευανάγνωστους και ανεξίτηλους, ώστε τα σύμβολα και οι ενδείξεις των κινδύνων και η μνεία των ιδιαίτερος επικινδύνων καταστάσεων να καθίστανται επαρκώς εμφανείς.

4. Τα Κράτη μέλη δύνανται κατά την διάθεση στην αγορά των επικινδύνων ουσιών εντός του εδάφους τους , να χρησιμοποιήσουν για την σύνταξη του περιεχομένου της ετικέτας την ή τις εθνικές τους γλώσσες.

5. Οι απαιτήσεις των παραγράφων 1 έως 4 περί επισημάνσεως θεωρούνται ότι πληρούνται εφόσον ο περιέκτης που αποστέλλεται φέρει ετικέτα σύμφωνη προς τα ισχύοντα περί αποστολής και εφόσον επί της ετικέτας αυτής εμφανίζεται το σύμβολο του κινδύνου που καθορίζεται στο άρθρο 6, παράγραφος 2γ). Η διάταξη αυτή δεν εφαρμόζεται σε περιέκτες περικλειόμενους εντός άλλων περιεκτών.

Άρθρο 8

Τα Κράτη μέλη δύνανται να επιτρέπουν:

α) όπως επί των συσκευασιών των οποίων οι περιορισμένες διαστάσεις δεν επιτρέπουν επισήμανση συμφώνως προς το άρθρο 7 παράγραφος 1 και 2, η επιβαλλόμενη υπό του άρθρου 6 επισήμανση να δύναται να γίνεται κατ' άλλο πρόσφορο τρόπο.

β) όπως, κατά παρέκκλιση των διατάξεων των άρθρων 6 και 7, οι συσκευασίες των επικινδύνων ουσιών που δεν είναι ούτε εκρηκτικές ούτε τοξικές μη φέρουν ετικέτα ή όπως επισημαίνονται κατ' άλλο τρόπο εφόσον περιέχουν ποσότητες τόσοι περιορισμένες ώστε να μην δικαιολογείται φόβος υπάρξεως κινδύνου για τους εργαζόμενους και τους τρίτους .

Άρθρο 9



Τα Κράτη μέλη γνωστοποιούν στην Επιτροπή όλες τις νομοθετικές, κανονιστικές και διοικητικές διατάξεις που θεσπίζουν στον τομέα που διέπεται από την παρούσα οδηγία.

Άρθρο 10

Τα Κράτη μέλη λαμβάνουν τα μέτρα που είναι αναγκαία για την συμμόρφωση προς την παρούσα οδηγία, ούτως ώστε να τύχει εφαρμογής από της 1ης Ιανουαρίου 1970 το αργότερο, και ενημερώνουν περί τούτου αμέσως την Επιτροπή.

Άρθρο 11

Η παρούσα οδηγία απευθύνεται στα Κράτη μέλη.

Έγινε στις Βρυξέλλες, στις 27 Ιουνίου 1967.

Για το Συμβούλιο

Ο Πρόεδρος

R. VAN ELSLANDE

(1) ΕΕ αριθ. 209 της 11. 12. 1965, σ. 3133/65.

(2) ΕΕ αριθ. 11 της 20. 1. 1966, σ. 143/66.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Τα παραρτήματα I , III και IV έχουν τροποποιηθεί με μεταγενέστερες πράξεις (βλ. οδηγία 76/907/ΕΟΚ της Επιτροπής της 14ης Ιουλίου 1976 , ΕΕ Ν 360 της 30. 12. 1976).



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

Η ΟΔΗΓΙΑ 76/464/ΕΟΚ

Οδηγία 76/464/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 4ης Μαΐου 1976 περί ρυπάνσεως που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον της Κοινότητας

Επίσημη Εφημερίδα: αριθ. L 129 της 18/05/1976 σ. 0023 – 0029

Ελληνική ειδική έκδοση: Κεφάλαιο 15 τόμος 1 σ. 0138

Ισπανική ειδική έκδοση: Κεφάλαιο 15 τόμος 1 σ. 0165

Πορτογαλική ειδική έκδοση: Κεφάλαιο 15 τόμος 1 σ. 0165

Φινλανδική ειδική έκδοση: Κεφάλαιο 15 τόμος 2 σ. 0046

Σουηδική ειδική έκδοση: Κεφάλαιο 15 τόμος 2 σ. 0046

ΟΔΗΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 4ης Μαΐου 1976 περί ρυπάνσεως που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον της Κοινότητας

ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΤΩΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ,

Έχοντας υπόψη:

τη συνθήκη περί ιδρύσεως της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας, και ιδίως τα άρθρα 100 και 235,

την πρόταση της Επιτροπής,

τη γνώμη της Συνελεύσεως(1),

τη γνώμη της Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής(2),

Εκτιμώντας:

ότι είναι επιτακτικώς αναγκαία μία γενική και ταυτόχρονη δράση των Κρατών μελών για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος της Κοινότητας κατά της ρυπάνσεως, ιδίως αυτής που προκαλείται από ορισμένες ανθεκτικές τοξικές και βιοσυσσωρεύσιμες ουσίες-

ότι πολλές συμβάσεις ή σχέδια συμβάσεων, μεταξύ των οποίων και η σύμβαση για την πρόληψη της θαλασσίας ρυπάνσεως από χερσαίες πηγές, το σχέδιο συμβάσεως για



την προστασία του Ρήνου από τη χημική ρύπανση, όπως και το σχέδιο της Ευρωπαϊκής Συμβάσεως για την προστασία του ρου των διεθνών υδάτων από την ρύπανση, έχουν σκοπό την προστασία του ρου των διεθνών υδάτων και του θαλασσίου περιβάλλοντος από την ρύπανση- ότι είναι σκόπιμο να εξασφαλισθεί η εναρμονισμένη εφαρμογή των εν λόγω συμβάσεων-

ότι, οποιαδήποτε διαφορά μεταξύ των διατάξεων, που εφαρμόζονται ήδη ή καταρτίζονται στα διάφορα Κράτη μέλη, σχετικά με την απόρριψη ορισμένων ουσιών επικινδύνων για το υδάτινο περιβάλλον δύναται να δημιουργήσει άνισους όρους ανταγωνισμού και να έχει ως εκ τούτου άμεση επίπτωση στη λειτουργία της κοινής αγοράς- ότι είναι λοιπόν σκόπιμο να γίνει στον τομέα αυτόν προσέγγιση νομοθεσιών όπως προβλέπεται στο άρθρο 100 της συνθήκης-

ότι, είναι αναγκαίο να συνοδευθεί η προσέγγιση των νομοθεσιών από κοινοτική δράση που θα αποβλέπει στην πραγματοποίηση, με μια ευρύτερα ρύθμιση, ενός από τους στόχους της Κοινότητας στον τομέα της προστασίας του περιβάλλοντος και της βελτιώσεως της ποιότητας της ζωής- ότι πρέπει λοιπόν να προβλεφθούν γι' αυτό ορισμένες ειδικές διατάξεις- ότι, επειδή οι απαιτούμενες για το σκοπό αυτό εξουσίες δεν προβλέπονται από τη συνθήκη πρέπει να γίνει επίκληση του άρθρου 235 της συνθήκης-

ότι το πρόγραμμα δράσεως των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων στον τομέα του περιβάλλοντος(3) προβλέπει έναν ορισμένο αριθμό μέτρων για την προστασία των γλυκών και των θαλασσίων υδάτων από ορισμένους ρύπους-

ότι για την εξασφάλιση αποτελεσματικής προστασίας του υδατίνου περιβάλλοντος της Κοινότητας, είναι αναγκαία η σύνταξη ενός πρώτου καταλόγου, που θα ονομάζεται κατάλογος I και θα περιέχει ορισμένες μεμονωμένες ουσίες επιλεγόμενες κυρίως βάσει της τοξικότητός τους, της ανθεκτικότητός τους στο περιβάλλον και της ικανότητός τους να βιοσυσσωρεύονται, εκτός εκείνων των ουσιών που είναι βιολογικώς αβλαβείς ή εκείνων που μετατρέπονται γρήγορα σε ουσίες βιολογικώς αβλαβείς καθώς και ενός δευτέρου καταλόγου, που θα ονομάζεται κατάλογος II, και θα περιέχει ουσίες που έχουν επιβλαβή αποτελέσματα για το υδάτινο περιβάλλον που πάντως μπορούν να περιορισθούν σε μία ορισμένη περιοχή και που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά και τη θέση των υδάτων στα οποία αυτές αποβάλλονται- ότι η αποβολή τέτοιων ουσιών θα έπρεπε να υπόκειται σε προηγούμενη άδεια που να καθορίζει τους κανόνες απορρίψεως-



ότι, πρέπει να εξαλειφθεί η ρύπανση που προκαλείται από την αποβολή διαφόρων επικινδύνων ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο I- ότι το Συμβούλιο πρέπει εντός ορισμένης προθεσμίας και κατόπιν προτάσεως της Επιτροπής, να ορίσει τις οριακές τιμές των προτύπων αποβολής τις οποίες δεν πρέπει να υπερβαίνουν, τις μεθόδους μετρήσεως καθώς και τα χρονικά όρια εντός των οποίων πρέπει να συμμορφωθούν οι διενεργούντες τέτοιες απορρίψεις-

ότι τα Κράτη μέλη πρέπει να εφαρμόζουν τις εν λόγω οριακές τιμές, με εξαίρεση τις περιπτώσεις κατά τις οποίες ένα Κράτος μέλος δύναται να αποδείξει στην Επιτροπή, σύμφωνα με την οριζόμενη από το Συμβούλιο διαδικασία ελέγχου, ότι επιτεύχθηκαν οι ποιοτικοί στόχοι που καθορίστηκαν απο το Συμβούλιο κατόπιν προτάσεως της Επιτροπής, και ότι διαφυλάσσονται αυτοί συνεχώς με την δράση που αναπτύσσει, μεταξύ άλλων, το εν λόγω Κράτος μέλος σε όλη την γεωγραφική περιοχή που μπορεί να προσβληθεί από τις απορρίψεις-

ότι είναι αναγκαίο να ελαττωθεί η ρύπανση των υδάτων που προκαλείται από τις ουσίες του καταλόγου II- ότι για το σκοπό αυτό τα Κράτη μέλη πρέπει να καταρτίζουν προγράμματα που να περιλαμβάνουν ποιοτικούς στόχους για τα ύδατα σύμφωνα με τις τυχόν υπάρχουσες οδηγίες του Συμβουλίου- ότι τα πρότυπα αποβολής που εφαρμόζονται για τις ουσίες αυτές πρέπει να υπολογίζονται σε σχέση με τους εν λόγω ποιοτικούς στόχους-

ότι η παρούσα οδηγία, υπό την επιφύλαξη ορισμένων εξαιρέσεων και τροποποιήσεων, πρέπει να εφαρμόζεται στις απορρίψεις που γίνονται μέσα στα υπόγεια ύδατα, εν όψει ειδικής κοινοτικής ρυθμίσεως για το θέμα-

ότι ένα ή περισσότερα Κράτη μέλη μεμονωμένα ή από κοινού, πρέπει να λάβουν αυστηρότερα μέτρα από τα προβλεπόμενα στην παρούσα οδηγία-

ότι πρέπει να συνταχθεί κατάλογος απορρίψεως ορισμένων ιδιαίτερος επικινδύνων ουσιών που αποβάλλονται στο υδάτινο περιβάλλον της Κοινότητας, ώστε να γίνει γνωστή η προέλευσή τους-

ότι μπορεί να γίνει αναγκαία η αναθεώρηση και, αν χρειασθεί, η συμπλήρωση των καταλόγων I και II βάσει της αποκτηθείσης πείρας και κατά περίπτωση με τη μεταφορά ορισμένων ουσιών από τον κατάλογο II στον κατάλογο I,

ΕΞΕΔΩΣΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΟΔΗΓΙΑ:



Άρθρο 1

1. Υπό την επιφύλαξη του άρθρου 8 η παρούσα οδηγία εφαρμόζεται:

- στα εσωτερικά επιφανειακά ύδατα,
- στα εσωτερικά παράκτια ύδατα,
- στα υπόγεια ύδατα.

2. Κατά την έννοια της παρούσης οδηγίας νοούνται:

α) "εσωτερικά ύδατα επιφανείας", όλα τα στάσιμα ή ρέοντα γλυκά ύδατα επιφανείας που ευρίσκονται στο έδαφος ενός ή περισσότερων Κρατών μελών-

β) "εσωτερικά παράκτια ύδατα", τα ύδατα που ευρίσκονται επί της προς την ξηρά πλευράς της βασικής γραμμής από την οποία μετράται το πλάτος των χωρικών υδάτων, και που εκτείνονται στην περίπτωση υδατίνων ροών μέχρι του ορίου των γλυκών υδάτων-

γ) "όριο γλυκών υδάτων", το μέρος του ρου των υδάτων όπου, κατά την άμπωτη και σε περίοδο χαμηλής ροής των γλυκών υδάτων, η αλμυρότητα αυξάνει σημαντικά από την παρουσία θαλασσίου ύδατος-

δ) "απορρίψη", η εισαγωγή στα ύδατα που προβλέπονται στην παράγραφο I, ουσιών που απαριθμούνται στους καταλόγους I και II του παραρτήματος, εξαιρέσει:

των απορρίψεων βυθοκόρων πλοίων,

- των εργασιών απορρίψεως από πλοία μέσα στα χωρικά ύδατα,
- της καταβυθίσεως αποβλήτων πλοίων μέσα στα χωρικά ύδατα-

ε) "ρύπανση", η άμεση ή έμμεση απόρριψη από τον άνθρωπο ουσιών ή ενεργείας μέσα στο υδάτινο περιβάλλον, με συνέπειες που μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία, να καταστρέψουν τους βιολογικούς πόρους για το υδάτινο οικοσύστημα, να παραβιάσουν την αναψυχή ή να παρεμποδίσουν άλλες νόμιμες χρήσεις των υδάτων.

Άρθρο 2

Τα Κράτη μέλη λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα για την εξάλειψη της ρυπάνσεως των υδάτων που προβλέπονται στο άρθρο I, που προέρχεται από τις επικίνδυνες ουσίες που περιλαμβάνονται στις οικογένειες και τις ομάδες των ουσιών του καταλόγου I του παραρτήματος καθώς και για τη μείωση της ρυπάνσεως των εν λόγω υδάτων που



προέρχεται από τις επικίνδυνες ουσίες οι οποίες περιλαμβάνονται στις οικογένειες και τις ομάδες των ουσιών του καταλόγου II του παραρτήματος, σύμφωνα με την παρούσα οδηγία οι διατάξεις της οποίας αποτελούν το πρώτο μόνο βήμα για την επίτευξη του ως άνω στόχου.

Άρθρο 3

Ως προς τις ουσίες που ανήκουν στις οικογένειες και τις ομάδες των ουσιών που απαριθμούνται στον κατάλογο I, που ονομάζονται κατωτέρω "ουσίες του καταλόγου I":

1. Οποιαδήποτε απόρριψη μέσα στα ύδατα, που προβλέπονται στο άρθρο 1 και που μπορεί να περιέχει μία από τις ουσίες αυτές, υπόκειται σε προηγούμενη άδεια που χορηγείται από την αρμοδία αρχή του ενδιαφερομένου Κράτους μέλους-

2. Η ανωτέρω άδεια καθορίζει τα πρότυπα αποβολής των ουσιών αυτών μέσα στα ύδατα, που προβλέπονται στο άρθρο I και όταν είναι αναγκαίο για την εφαρμογή της παρούσης οδηγίας, τα πρότυπα αποβολής των ουσιών αυτών μέσα στους υπονόμους-

3. Ως προς τις ήδη υφιστάμενες απορρίψεις των ουσιών αυτών μέσα στα ύδατα που προβλέπονται στο άρθρο I, οι διενεργούντες απορρίψεις πρέπει να τηρούν τους όρους που προβλέπονται από την άδεια, εντός της προθεσμίας που καθορίζει αυτή. Η εν λόγω προθεσμία δεν μπορεί να υπερβαίνει τα όρια που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 6 παράγραφος 4-

4. Η άδεια χορηγείται μόνο για περιορισμένη χρονική διάρκεια. Μπορεί να ανανεώνεται εν όψει των ενδεχομένων τροποποιήσεων των οριακών τιμών που προβλέπονται στο άρθρο 6.

Άρθρο 4

1. Τα Κράτη μέλη εφαρμόζουν σύστημα μηδενικής απορρίψεως για τις απορρίψεις των ουσιών του καταλόγου I μέσα στα υπόγεια ύδατα.

2. Τα Κράτη μέλη εφαρμόζουν για τα υπόγεια ύδατα τις διατάξεις της παρούσης οδηγίας τις σχετικές με τις ουσίες που ανήκουν στις οικογένειες και τις ομάδες των ουσιών που απαριθμούνται στον κατάλογο II, και που ονομάζονται κατωτέρω "ουσίες του καταλόγου II".



3. Οι παράγραφοι 1 και 2 δεν εφαρμόζονται ούτε για τα οικιακά λύματα ούτε για τις εγχύσεις στο έδαφος που πραγματοποιούνται μέσα στα βαθιά αλατούχα και αχρησιμοποίητα στρώματα.

4. Οι διατάξεις της παρούσης οδηγίας που αφορούν τα υπόγεια ύδατα παύουν να εφαρμόζονται με την έναρξη ισχύος της ειδικής οδηγίας περί των υπογείων υδάτων.

Άρθρο 5

1. Τα πρότυπα αποβολής που ορίζονται από τις άδειες που εκδίδονται κατ' εφαρμογή του άρθρου 3, καθορίζουν:

α) τη μέγιστη επιτρεπομένη ποσότητα μιας ουσίας κατά την απόρριψη. Σε περίπτωση διαλύσεως η οριακή τιμή που προβλέπεται στο άρθρο 6 παράγραφος 1 διαιρείται δια του συντελεστού της διαλύσεως-

β) τη μέγιστη επιτρεπομένη ποσότητα μιας ουσίας την απορριπτομένη κατά την διάρκεια μιας ή περισσότερων καθορισμένων χρονικών περιόδων. Αν είναι ανάγκη, η μέγιστη αυτή ποσότητα δύναται επίσης να εκφρασθεί, σε μονάδα βάρους του ρύπου ανά μονάδα του χαρακτηριστικού μεγέθους της ρυπαντικής δραστηριότητας (π.χ. μονάδα βάρους ανά μονάδα πρώτης ύλης ή ανά μονάδα προϊόντος).

2. Για κάθε άδεια η αρμόδια αρχή του ενδιαφερομένου Κράτους μέλους, δύναται, αν είναι αναγκαίο να καθορίσει αυστηρότερα πρότυπα αποβολής από αυτά που προκύπτουν από την εφαρμογή των οριακών τιμών που καθορίστηκαν από το Συμβούλιο δυνάμει του άρθρου 6, ιδίως εν όψει της τοξικότητας, της ανθεκτικότητας και της βιοσυσσωρεύσεως της ουσίας για την οποία πρόκειται, στο περιβάλλον μέσα στο οποίο πραγματοποιείται η αποβολή.

3. Δεν χορηγείται η άδεια, αν ο διενεργών την αποβολή δηλώσει ότι δεν είναι σε θέση να τηρήσει τα επιβαλλόμενα πρότυπα αποβολής ή αν η αρμόδια αρχή του ενδιαφερομένου Κράτους μέλους διαπιστώσει την αδυναμία αυτή.

4. Αν δεν τηρούνται τα πρότυπα αποβολής, η αρμοδία αρχή του ενδιαφερομένου Κράτους μέλους λαμβάνει όλα τα κατάλληλα μέτρα για να εξασφαλίσει την τήρηση των όρων της αδείας, και αν απαιτείται για να απαγορεύσει την αποβολή.

Άρθρο 6



1. Το Συμβούλιο, αποφαινόμενο μετά από πρόταση της Επιτροπής, θεσπίζει για τις διάφορες επικίνδυνες ουσίες που περιλαμβάνονται στις οικογένειες ή ομάδες των ουσιών του καταλόγου I, τις οριακές τιμές τις οποίες δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα πρότυπα αποβολής. Οι οριακές αυτές τιμές καθορίζονται:

α) από τη μέγιστη επιτρεπομένη συγκέντρωση μιας επιτρεπομένης ουσίας κατά την αποβολή-

β) όπου απαιτείται από τη μέγιστη ποσότητα μίας τέτοιας ουσίας εκφραζομένης σε μονάδα βάρους του ρύπου ανά μονάδα του χαρακτηριστικού μεγέθους της ρυπαντικής δραστηριότητας (π.χ. μονάδα βάρους ανά μονάδα πρώτης ύλης ή ανά μονάδα προϊόντος).

Αν χρειάζεται, οι οριακές τιμές που ισχύουν για τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα καθορίζονται κατά τομέα και κατά τύπο προϊόντος.

Οι οριακές τιμές που ισχύουν για τις ουσίες του καταλόγου I καθορίζονται κυρίως βάσει:

- της τοξικότητας,
- της ανθεκτικότητας στο περιβάλλον,
- της βιοσυσσωρεύσεως,

λαμβάνομένων υπόψη των καλυτέρων διαθεσίμων τεχνικών μέσων.

2. Το Συμβούλιο, αποφαινόμενο μετά από πρόταση της Επιτροπής, καθορίζει ποιοτικούς στόχους για τις ουσίες του καταλόγου I.

Οι στόχοι αυτοί καθορίζονται ιδίως βάσει της τοξικότητας, της ανθεκτικότητας στο περιβάλλον και της συσσωρεύσεως των εν λόγω ουσιών στους ζώντες οργανισμούς και στα ιζήματα, όπως τούτο προκύπτει από τα τελευταία αναμφισβήτητα επιστημονικά στοιχεία λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορές των χαρακτηριστικών του θαλασσίου και του γλυκού ύδατος.

3. Οι οριακές τιμές που καθορίζονται σύμφωνα με την παράγραφο I εφαρμόζονται, εξαιρέσει των περιπτώσεων που το Κράτος μέλος δύναται να αποδείξει στην Επιτροπή, σύμφωνα με διαδικασία ελέγχου που ορίζεται από το Συμβούλιο με πρόταση της Επιτροπής, ότι οι ποιοτικοί στόχοι που καθορίζονται σύμφωνα με την παράγραφο 2, ή ακόμη αυστηρότεροι κοινοτικοί ποιοτικοί στόχοι, επετεύχθησαν και διαφυλάσσονται συνεχώς με τη δράση, που αναπτύσσει μεταξύ των άλλων το εν λόγω Κράτος μέλος σε όλη τη γεωγραφική περιοχή που μπορεί να προσβληθεί από τις αποβολές.



Η Επιτροπή αναφέρει στο Συμβούλιο τις περιπτώσεις κατά τις οποίες εφήρμοσε τη μέθοδο ποιοτικών στόχων. Ανά πενταετία το Συμβούλιο επανεξετάζει, βάσει προτάσεως της Επιτροπής και σύμφωνα με το άρθρο 148 της συνθήκης, τις περιπτώσεις εφαρμογής της εν λόγω μεθόδου.

4. Για τις ουσίες που περιλαμβάνονται στις οικογένειες και τις ομάδες των ουσιών που προβλέπονται στην παράγραφο 1, το Συμβούλιο θεσπίζει σύμφωνα με το άρθρο 12, τα όρια των προθεσμιών που προβλέπονται στο άρθρο 3 σημείο 3, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά των σχετικών βιομηχανικών τομέων και ενδεχομένως τους τύπους των προϊόντων.

Άρθρο 7

1. Για τη μείωση της ρυπάνσεως των υδάτων, που προβλέπονται στο άρθρο 1, από τις ουσίες του καταλόγου II, τα Κράτη μέλη καταρτίζουν προγράμματα για την πραγματοποίηση των οποίων εφαρμόζουν ιδίως τα μέσα που προβλέπονται στις παραγράφους 2 και 3.

2. Για όλες τις απορρίψεις που πραγματοποιούνται στα ύδατα του προβλέπονται στο άρθρο 1, οι οποίες δύνανται να περιέχουν ουσίες του καταλόγου II, απαιτείται προηγουμένη άδεια της αρμοδίας αρχής του ενδιαφερομένου Κράτους μέλους, που καθορίζει τα πρότυπα αποβολής. Τα πρότυπα αυτά βασίζονται στους ποιοτικούς στόχους που καθορίζονται σύμφωνα με την παράγραφο 3.

3. Τα προγράμματα που προβλέπονται στην παράγραφο 1, περιλαμβάνουν ποιοτικούς στόχους για τα ύδατα, οι οποίοι θεσπίζονται σύμφωνα με τις τυχόν οδηγίες του Συμβουλίου.

4. Τα προγράμματα δύνανται επίσης να περιλαμβάνουν ειδικές διατάξεις για τη σύνθεση και τη χρήση ουσιών ή ομάδων ουσιών καθώς και προϊόντων, λαμβάνουν δε υπόψη τις τελευταίες οικονομικώς εφικτές τεχνικές εξελίξεις.

5. Τα προγράμματα θέτουν τα χρονικά όρια πραγματοποιήσεώς τους.

6. Τα προγράμματα και τα αποτελέσματα της εφαρμογής τους ανακοινώνονται περιληπτικώς στην Επιτροπή.

7. Η Επιτροπή, μαζί με τα Κράτη μέλη, οργανώνει συστηματικούς συγκριτικούς ελέγχους των προγραμμάτων για την εξασφάλιση επαρκούς συντονισμού κατά την



πραγματοποίησή τους. Αν η Επιτροπή το κρίνει αναγκαίο, υποβάλλει για τον σκοπό αυτό στο Συμβούλιο προτάσεις επί του θέματος.

Άρθρο 8

Τα Κράτη μέλη λαμβάνουν όλα τα κατάλληλα μέτρα για την εφαρμογή των μέτρων που θα λάβουν δυνάμει της παρούσης οδηγίας ώστε να μην αυξηθεί η ρύπανση των υδάτων για τα οποία δεν εφαρμόζεται το άρθρο 1. Επί πλέον, απαγορεύουν κάθε πράξη που έχει ως αντικείμενο ή αποτέλεσμα την ανατροπή των διατάξεων της παρούσης οδηγίας.

Άρθρο 9

Η εφαρμογή των μέτρων που λαμβάνονται δυνάμει της παρούσης οδηγίας, σε καμιά περίπτωση δεν δύναται να καταλήξει σε άμεση ή έμμεση αύξηση της ρυπάνσεως των υδάτων που προβλέπονται στο άρθρο 1.

Άρθρο 10

Ένα ή περισσότερα Κράτη μέλη δύνανται να λάβουν, κατά περίπτωση, από κοινού ή μεμονωμένα, μέτρα αυστηρότερα από αυτά που προβλέπονται στην παρούσα οδηγία.

Άρθρο 11

Η αρμοδία αρχή προβαίνει στη σύνταξη καταστάσεως των απορρίψεων που πραγματοποιούνται στα ύδατα, που προβλέπονται στο άρθρο 1, και δύνανται να περιέχουν ουσίες του καταλόγου I για τις οποίες εφαρμόζονται τα πρότυπα αποβολής.

Άρθρο 12

1. Το Συμβούλιο, αποφαινεται με ομοφωνία εντός εννέα μηνών, επί κάθε προτάσεως της Επιτροπής που υπεβλήθη κατ' εφαρμογή του άρθρου 6, και επί των προτάσεων που αφορούν τις εφαρμοζόμενες μεθόδους μετρήσεως.

Προτάσεις που αφορούν μία πρώτη σειρά ουσιών καθώς επίσης και τις εφαρμοζόμενες μεθόδους μετρήσεως και τις προθεσμίες που προβλέπονται στο άρθρο 6 παράγραφος 4, υποβάλλονται από την Επιτροπή εντός προθεσμίας δύο ετών από της κοινοποίησεως της παρούσης οδηγίας.



2. Η Επιτροπή διαβιβάζει, αν είναι δυνατόν, εντός προθεσμίας 27 μηνών από της κοινοποιήσεως της παρούσης οδηγίας τις πρώτες προτάσεις που υπεβλήθησαν σύμφωνα με το άρθρο 7 παράγραφος 7. Το Συμβούλιο αποφαινεται με ομοφωνία εντός προθεσμίας εννέα μηνών.

Άρθρο 13

1. Για τους σκοπούς αυτής της οδηγίας, τα Κράτη μέλη παρέχουν στην Επιτροπή κατόπιν αιτήσεως της που υποβάλλεται κατά περίπτωση, όλες τις αναγκαίες πληροφορίες και ιδίως:

- τις λεπτομέρειες περί των αδειών που χορηγήθηκαν δυνάμει του άρθρου 3 και 7 παράγραφος 2,
- τα αποτελέσματα της καταστάσεως που προβλέπονται στο άρθρο 11,
- τα αποτελέσματα της επιβλέψεως που έγινε από το εθνικό δίκτυο,
- τις συμπληρωματικές πληροφορίες περί των προγραμμάτων που προβλέπονται στο άρθρο 7.

2. Οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται κατ' εφαρμογή του παρόντος άρθρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για το σκοπό για τον οποίο εξητήθησαν.

3. Η Επιτροπή και οι αρμόδιες αρχές των Κρατών μελών, καθώς και οι ανώτεροι υπάλληλοι και οι άλλοι υπάλληλοί τους οφείλουν να μην αποκαλύπτουν τις πληροφορίες που συγκέντρωσαν κατ' εφαρμογή της παρούσης οδηγίας και οι οποίες από τη φύση τους καλύπτονται από το επαγγελματικό απόρρητο.

4. Οι διατάξεις των παραγράφων 2 και 3 δεν εμποδίζουν τη δημοσίευση γενικών στοιχείων ή μελετών που δεν περιέχουν ατομικές πληροφορίες περί επιχειρήσεων ή ενώσεων επιχειρήσεων.

Άρθρο 14

Το Συμβούλιο, αποφαινόμενο κατόπιν προτάσεως της Επιτροπής, η οποία ενεργεί με δική της πρωτοβουλία ή κατόπιν αιτήσεως ενός Κράτους μέλους, αναθεωρεί και, εφ'όσον υπάρχει ανάγκη, συμπληρώνει τους πίνακες I και II βάσει της πείρας που απεκτήθη, κατά περίπτωση μεταφέρει ορισμένες ουσίες από τον κατάλογο II στον κατάλογο I.



Άρθρο 15

Η παρούσα οδηγία απευθύνεται στα Κράτη μέλη.

Έγινε στις Βρυξέλλες, στις 4 Μαΐου 1976.

Για το Συμβούλιο

Ο Πρόεδρος

G. THORN

(1) ΕΕ αριθ. Α 5 της 8.1.1975, σ. 62.

(2) ΕΕ αριθ. Α 108 της 15.5.1975, σ. 76.

(3) ΕΕ αριθ. Α 112 της 20.12.1973, σ. 3.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Νο 1 των οικογενειών και των ομάδων ουσιών

Ο πίνακας I περιλαμβάνει ορισμένες μεμονωμένες ουσίες που αποτελούν μέρος των ακολούθων οικογενειών και ομάδων ουσιών οι οποίες πρέπει να επιλέγονται κυρίως βάσει της τοξικότητός των, της ανθεκτικότητός των στο περιβάλλον, της βιοσυσσωρεύσεώς των, εξαιρέσει των βιολογικώς αβλαβών ή αυτών που μετατρέπονται γρήγορα σε ουσίες βιολογικώς αβλαβείς:

1. Αλογονούχες οργανικές ενώσεις και ουσίες από τις οποίες δύνανται να προκύψουν τέτοιου είδους ενώσεις μέσα στο υδάτινο περιβάλλον.
2. Οργανοφωσφορικές ενώσεις.
3. Οργανοκασσιτερικές ενώσεις.
4. Ουσίες που έχουν αποδεδειγμένα καρκινογόνο ιδιότητα μέσα στο υδάτινο περιβάλλον ή μέσω αυτού(1).
5. Υδράργυρος και ενώσεις του.
6. Κάδμιο και ενώσεις του.
7. Ανθεκτικά ορυκτέλαια και ανθεκτικοί υδρογονάνθρακες πετρελαϊκής προελεύσεως και οτιδήποτε αφορά την εφαρμογή των άρθρων 2, 8, 9 και 14 της παρούσης οδηγίας.
8. Ανθεκτικές συνθετικές ύλες, που μπορούν να επιπλέουν, να αιωρούνται ή να ρέουν όπως και να καθιστούν δυσχερή κάθε χρήση των υδάτων.



Κατάλογος II οικογενειών και ομάδων ουσιών

Ο κατάλογος II περιλαμβάνει:

- ουσίες που αποτελούν μέρος των οικογενειών και ομάδων ουσιών που απαριθμούνται στον κατάλογο I και για τις οποίες οι οριακές τιμές που προβλέπονται στο άρθρο 6 της οδηγίας δεν έχουν καθορισθεί,

- ορισμένες μεμονωμένες ουσίες και ορισμένες κατηγορίες ουσιών που αποτελούν μέρος των οικογενειών και των ομάδων ουσιών που αναφέρονται κατωτέρω,

και οι οποίες μέσα σε υδάτινο περιβάλλον έχουν βλαβερή επίδραση που δύναται πάντως να περιορισθεί σε ορισμένη ζώνη και που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του αποδέκτη και της τοποθεσίας στην οποία ευρίσκονται.

Οικογένειες και ομάδες ουσιών που αναφέρονται στη δεύτερη περίπτωση

1. Μεταλλοειδή και μέταλλα καθώς και οι ενώσεις αυτών:

1. Ψευδάργυρος

2. Χαλκός

3. Νικέλιο

4. Χρώμιο

5. Μόλυβδος

6. Σελήνιο

7. Αρσενικό

8. Αντιμόνιο

9. Μολυβδένιο

10. Τιτάνιο

11. Κασσίτερος

12. Βάριο

13. Βηρύλλιο

14. Βόριο

15. Ουράνιο

16. Βανάδιο

17. Κοβάλτιο

18. Θάλλιο

19. Τελλούριο

20. Άργυρος



2. Βιοκτόνα και τα παράγωγά τους που δεν εμφανίζονται στον κατάλογο I.
3. Ουσίες με επιβλαβή επίδραση στη γεύση και/ή στην οσμή των προϊόντων που καταναλώνονται από τον άνθρωπο που προέρχονται από το υδάτινο περιβάλλον όπως και οι ενώσεις που μπορούν να παράγουν τέτοια ουσία μέσα στα ύδατα.
4. Ενώσεις οργανοπυριτικές, τοξικές ή ανθεκτικές και ουσίες που μπορούν να παράγουν τέτοιου είδους ενώσεις μέσα στα ύδατα, εξαιρέσει των βιολογικώς αβλαβών που μετατρέπονται γρήγορα μέσα στο νερό σε αβλαβείς ουσίες.
5. Ανόργανοι ενώσεις του φωσφόρου και φωσφόρος.
6. Ορυκτέλαια και υδρογονάνθρακες πετρελαϊκής προελεύσεως μη ανθεκτικοί στο περιβάλλον.
7. Κυανιούχοι ενώσεις, φθοριούχοι ενώσεις.
8. Ουσίες που ασκούν δυσμενή επίδραση επί της ισορροπίας του οξυγόνου, ιδίως: αμμωνία, νιτρώδη.

Δήλωση που αφορά το άρθρο 8

Τα Κράτη μέλη υποχρεούνται να επιβάλλουν, προκειμένου περί εκχύσεως, μέσω σωληνώσεων υδάτων αποχετεύσεως στην ανοικτή θάλασσα, διατάξεις που δύναται να είναι αυστηρότερες από τις προβλεπόμενες από την παρούσα οδηγία.

(1) Εφ'όσον ορισμένες ουσίες που περιέχονται στον κατάλογο II, έχουν καρκινογόνο ιδιότητα, περιλαμβάνονται στην κατηγορία 4 του παρόντος καταλόγου.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Η ΟΔΗΓΙΑ 80/68/ΕΟΚ

Τίτλος: «*Οδηγία 80/68/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 17ης Δεκεμβρίου 1979 περί προστασίας των υπογείων υδάτων από τη ρύπανση που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες*».

Επίσημη Εφημερίδα: αριθ. L 020 της 26/01/1980 σ. 0043 – 0048

Ελληνική ειδική έκδοση: Κεφάλαιο 15 τόμος 1 σ. 0240

Ισπανική ειδική έκδοση: Κεφάλαιο 15 τόμος 2 σ. 0162

Πορτογαλική ειδική έκδοση: Κεφάλαιο 15 τόμος 2 σ. 0162

Φινλανδική ειδική έκδοση: Κεφάλαιο 15 τόμος 2 σ. 0211

Σουηδική ειδική έκδοση: Κεφάλαιο 15 τόμος 2 σ. 0211

ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΤΩΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ,

Έχοντας υπόψη:

τη συνθήκη περί ιδρύσεως της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας και ιδιαίτερα τα άρθρα 100 και 235,

την πρόταση της Επιτροπής(1),

(1) ΕΕ αριθ. Α 37 της 14.2.1978, σ. 3.

τη γνώμη της Συνελεύσεως(2),

(2) ΕΕ αριθ. Α 296 της 11.12.1978, σ. 35.

τη γνώμη της Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής(3),

(3) ΕΕ αριθ. Α 283 της 27.11.1978, σ.39.

Εκτιμώντας:

ότι επιβάλλεται η δραστηριοποίηση με σκοπό την προστασία των υπογείων υδάτων της Κοινότητας από τη ρύπανση, κυρίως δε απ' αυτή που προέρχεται από ορισμένες ουσίες τοξικές, ανθεκτικές ή βιοσυσσωρευόμενες

ότι το πρόγραμμα δράσεως των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων στον τομέα του περιβάλλοντος του 1973(4) το οποίο συμπληρώθηκε από εκείνο του 1977(5), προβλέπει



έναν ορισμένο αριθμό μέτρων με σκοπό την προστασία των υπογείων υδάτων από ορισμένους ρύπους

(4) ΕΕ αριθ. Α 112 της 20.12.1973, σ.3.

(5) ΕΕ αριθ. Α 139 της 13.6.1977, σ. 3.

ότι η οδηγία 76/464/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 4ης Μαΐου 1976 περί της ρυπάνσεως που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που αποβάλλονται στο υδάτινο περιβάλλον της Κοινότητας(6) προβλέπει στο άρθρο 4 την εφαρμογή μιας ειδικής οδηγίας για τα υπόγεια ύδατα

(6) ΕΕ αριθ. Ν 129 της 18.5.1976, σ. 23.

ότι μία δυσαρμονία ανάμεσα στις διατάξεις που ήδη εφαρμόζονται ή είναι σε στάδιο προπαρασκευής στα διάφορα κράτη μέλη σχετικά με την απόρριψη ορισμένων επικινδύνων ουσιών στα υπόγεια ύδατα μπορεί να δημιουργήσει άνισους όρους ανταγωνισμού και να έχει, γι' αυτό, άμεση επίπτωση στη λειτουργία της κοινής αγοράς ότι πρέπει επομένως να γίνει σ' αυτό τον τομέα η προσέγγιση των νομοθεσιών που προβλέπεται από το άρθρο 100 της συνθήκης

ότι κρίνεται αναγκαίο να συνδυασθεί η προσέγγιση αυτή των νομοθεσιών με δράση της Κοινότητας στον τομέα της προστασίας του περιβάλλοντος και της βελτιώσεως της ποιότητας ζωής ότι πρέπει επομένως να προβλεφθούν γι' αυτό ορισμένες ειδικές διατάξεις ότι επειδή οι εξουσίες που απαιτούνται για το σκοπό αυτό δεν έχουν προβλεφθεί από τη συνθήκη, πρέπει να χρησιμοποιηθεί το άρθρο 253 της συνθήκης

ότι πρέπει να εξαιρεθούν από το πεδίο εφαρμογής της παρούσας οδηγίας, αφενός, τα οικιακά απόβλητα που προέρχονται από ορισμένες απομονωμένες κατοικίες, αφετέρου, τα απόβλητα που περιέχουν ουσίες που αναφέρονται στου καταλόγους Ι ή ΙΙ σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και ποσότητες, λόγω του μικρού κινδύνου ρυπάνσεως και της δυσκολίας ελέγχου αυτών των αποβλήτων ότι πρέπει να εξαιρεθούν επίσης τα απόβλητα υλικών που περιέχουν ραδιενεργές ουσίες, τα οποία θα αποτελέσουν αντικείμενο ειδικής κοινοτικής ρυθμίσεως

ότι είναι αναγκαίο, για να εξασφαλισθεί αποτελεσματική προστασία των υπογείων υδάτων της Κοινότητας, να παρεμποδισθεί η απόρριψη των ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο Ι και να περιορισθεί η απόρριψη των ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο ΙΙ



ότι είναι σκόπιμο να γίνεται διάκριση μεταξύ, αφενός, των άμεσων απορρίψεων επικινδύνων ουσιών στα υπόγεια ύδατα και αφετέρου, των ενεργειών που είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε έμμεση απόρριψη αυτών των ουσιών

ότι, εξαιρουμένων των άμεσων απορρίψεων των ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο Ι, και οι οποίες απαγορεύονται εκ των προτέρων, κάθε απόρριψη πρέπει να υπόκειται σε καθεστώς χορηγήσεως άδειας ότι μια τέτοια άδεια δεν μπορεί να δίνεται παρά μόνο μετά από έρευνα του χώρου απορρίψεως

ότι είναι σκόπιμο να προβλεφθούν εξαιρέσεις στο καθεστώς της απαγορεύσεως απορρίψεως στα υπόγεια ύδατα ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο Ι, μετά από έρευνα στο χώρο απορρίψεως και προηγούμενη άδεια, εάν η απόρριψη πραγματοποιείται σε υπόγεια ύδατα που είναι μονίμως ακατάλληλα για κάθε άλλη χρήση, κυρίως για χρήσεις οικιακές ή γεωργικές

ότι πρέπει να υπόκειται σε ειδικό καθεστώς η τεχνητή αναπλήρωση των υπογείων υδάτων τα οποία προορίζονται για εφασδιασμό του πληθυσμού με πόσιμο νερό

ότι είναι σκόπιμο να ελέγχουν οι αρμόδιες αρχές των κρατών μελών την τήρηση των όρων που επιβάλλονται από την άδεια, καθώς και τις επιπτώσεις των απορρίψεων στα υπόγεια ύδατα

ότι είναι σημαντικό να γίνεται καταγραφή των αδειών απορρίψεως των ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο Ι και των άμεσων απορρίψεων των ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο ΙΙ, και που έχουν πραγματοποιηθεί στα υπόγεια ύδατα, καθώς και των αδειών τεχνητής αναπληρώσεως των υπογείων υδάτων, με σκοπό τη δημόσια διαχείριση των υπογείων υδάτων

ότι, στο μέτρο που η Ελληνική Δημοκρατία θα γίνει μέλος της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας την 1η Ιανουαρίου 1981, σύμφωνα με την πράξη τη σχετική με τους όρους εντάξεως της Ελληνικής Δημοκρατίας και με τις προσαρμογές των συνθηκών, κρίνεται αναγκαίο να παραταθεί, σε ό,τι την αφορά, από δύο σε τέσσερα χρόνια η προθεσμία που παραχωρείται στα κράτη μέλη για να θέσουν σε ισχύ τις νομοθετικές, κανονιστικές και διοικητικές διατάξεις που είναι αναγκαίες για να συμμορφωθούν με την παρούσα οδηγία, δεδομένης της ανεπάρκειας της τεχνικής και διοικητικής υποδομής της,

ΕΞΕΔΩΣΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΟΔΗΓΙΑ:



Άρθρο 1

1. Η παρούσα οδηγία έχει αντικείμενο την πρόληψη της ρυπάνσεως των υπογείων υδάτων από ουσίες που ανήκουν στις οικογένειες και ομάδες ουσιών, που απαριθμούνται στους καταλόγους Ι και ΙΙ, και τη μείωση ή τη διάθεση, στο μέτρο του δυνατού, των συνεπειών της σημερινής ρυπάνσεως τους.

2. Υπό την έννοια της παρούσας οδηγίας νοούνται ως:

α) «υπόγεια ύδατα», όλα τα ύδατα που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στη ζώνη κορεσμού, τα οποία είναι σε άμεση επαφή με το έδαφος ή το υπέδαφος

β) «άμεση απόρριψη», η διοχέτευση στα υπόγεια ύδατα ουσιών που αναφέρονται στους καταλόγους Ι και ΙΙ χωρίς διέλευση από το έδαφος ή το υπέδαφος

γ) «έμμεση απόρριψη», η διοχέτευση στα υπόγεια ύδατα ουσιών που αναφέρονται στους καταλόγους Ι και ΙΙ μετά από διέλευση από το έδαφος ή το υπέδαφος

δ) «ρύπανση» η άμμεσος ή έμμεσος απόρριψη ουσιών ή ενέργειας που πραγματοποιείται από τον άνθρωπο στα υπόγεια ύδατα, και η οποία έχει συνέπειες που μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία ή τον εφοδιασμό με ύδωρ, να βλάψουν το έμβιο δυναμικό και το υδατικό οικολογικό σύστημα ή να παρεμποδίσουν άλλες νόμιμες χρήσεις των υδάτων.

Άρθρο 2

Η παρούσα οδηγία δεν εφαρμόζεται:

α) στις απορρίψεις οικιακών αποβλήτων που προέρχονται από μεμονωμένες κατοικίες, οι οποίες δεν έχουν συνδεθεί με αποχετευτικό δίκτυο και βρίσκονται έξω από τις προστατευόμενες ζώνες συλλογής ύδατος που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση

β) στις απορρίψεις για τις οποίες διαπιστώνεται από την αρμόδια αρχή του αντίστοιχου κράτους μέλους ότι περιέχουν ουσίες που αναφέρονται στους καταλόγους Ι ή ΙΙ σε ποσότητα και συγκέντρωση αρκετά μικρές, ώστε να αποκλείεται κάθε παρών ή μελλοντικός κίνδυνος υποβαθμίσεως της ποιότητας των υπογείων υδάτων

γ) στις απορρίψεις υλικών που περιέχουν ραδιενεργές ουσίες.



Άρθρο 3

Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα για να:

α) εμποδίσουν την εισαγωγή στα υπόγεια ύδατα των ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο Ι

β) περιορίσουν την εισαγωγή στα υπόγεια ύδατα των ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο ΙΙ ώστε να αποφευχθεί η ρύπανση των υδάτων από τις ουσίες αυτές.

Άρθρο 4

1. Για να ανταποκριθούν στην υποχρέωση που αναφέρεται στο άρθρο 3 α) τα κράτη μέλη:

- απαγορεύουν κάθε άμεση απόρριψη ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο Ι,
- υποβάλλουν σε προκαταρκτική έρευνα τις ενέργειες για την διάθεση και την απόθεση, με σκοπό τη διάθεση των ουσιών οι οποίες είναι δυνατό να οδηγήσουν σε έμμεση απόρριψη. Βάσει των αποτελεσμάτων αυτής της έρευνας τα κράτη μέλη απαγορεύουν αυτές τις ενέργειες ή δίνουν άδεια, υπό τον όρο ότι έχουν τηρηθεί όλες οι αναγκαίες τεχνικές προφυλάξεις για να εμποδιστεί ή έμμεση απόρριψη,

- λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα τα οποία κρίνουν αναγκαία με σκοπό να αποφευχθεί κάθε έμμεση απόρριψη ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο Ι, η οποία οφείλεται σε ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν επάνω ή μέσα στο έδαφος και που είναι διαφορετικές από αυτές που αναφέρονται στη δεύτερη περίπτωση. Πληροφορούν σχετικά την Επιτροπή η οποία, με βάση αυτές τις πληροφορίες, μπορεί να υποβάλει στο Συμβούλιο προτάσεις για αναθεώρηση της παρούσας οδηγίας.

2. Ωστόσο, εάν μία προκαταρκτική έρευνα δείξει ότι τα υπόγεια ύδατα, στα οποία προβλέπεται η απόρριψη ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο Ι, είναι οριστικά ακατάλληλα για κάθε άλλη χρήση, ιδίως για οικιακές ή αγροτικές χρήσεις, τα κράτη μέλη μπορούν να επιτρέψουν την απόρριψη των ουσιών αυτών, υπό τον όρο ότι η παρουσία των ουσιών δεν εμποδίζει την εκμετάλλευση των εδαφικών πόρων.

Αυτές οι άδειες δεν μπορούν να δοθούν παρά μόνο αν όλες οι τεχνικές προφυλάξεις έχουν τηρηθεί έτσι ώστε οι ουσίες αυτές να μην μπορούν να φθάσουν σε άλλα υδατικά συστήματα ή να βλάψουν άλλα οικοσυστήματα.

3. Τα κράτη μέλη, μετά από προκαταρκτική έρευνα, μπορούν να επιτρέψουν τις απορρίψεις που προκύπτουν από την επανέγχυση στο ίδιο υδατικό στρώμα, των υδάτων



από γεωθερμικές χρήσεις, των υδάτων που αντλούνται από ορυχεία ή λατομεία ή των υδάτων που αντλούνται κατά τη διάρκεια ορισμένων κατασκευαστικών εργασιών.

Άρθρο 5

1. Για να ανταποκριθούν στην υποχρέωση που αναφέρεται στο άρθρο 3 υπό β) τα κράτη μέλη υποβάλλουν σε προκαταρκτική έρευνα:

- κάθε άμεση απόρριψη ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο ΙΙ, σε τρόπο ώστε να περιορίσουν τέτοιες απορρίψεις,

- τις ενέργειες διαθέσεως ή αποθέσεως με σκοπό τη διάθεση αυτών των ουσιών που είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε έμμεση απόρριψη.

Βάσει των αποτελεσμάτων αυτής της έρευνας, τα κράτη μέλη μπορούν να δίνουν άδεια υπό τον όρο ότι έχουν τηρηθεί όλες οι τεχνικές προφυλάξεις που επιτρέπουν την αποφυγή της ρυπάνσεως των υπογείων υδάτων απ' αυτές τις ουσίες.

2. Επιπλέον τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα τα οποία κρίνουν αναγκαία με σκοπό να περιορίσουν κάθε άμεση απόρριψη ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο ΙΙ, η οποία οφείλεται σε ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν επάνω ή μέσα στο έδαφος που είναι διαφορετικές απ' αυτές που αναφέρονται στην παράγραφο 1.

Άρθρο 6

Κατά παρέκκλιση των άρθρων 4 και 5, η τεχνητή αναπλήρωση των υπογείων υδάτων για τη δημόσια διαχείριση των υδάτων αυτών υπόκεινται σε ειδική άδεια, η οποία δίνεται για κάθε περίπτωση χωριστά από τα κράτη μέλη. Η άδεια αυτή δίνεται μόνο υπό τον όρο ότι δεν υπάρχει κίνδυνος ρυπάνσεως των υπογείων υδάτων.

Άρθρο 7

Οι προκαταρκτικές έρευνες που αναφέρονται στα άρθρα 4 και 5 πρέπει να περιλαμβάνουν μία μελέτη των υδρογεωλογικών συνθηκών της αντίστοιχης ζώνης, της εκάστοτε διυλιστικής ικανότητας του εδάφους και του υπεδάφους, των κινδύνων ρυπάνσεως και αλλοιώσεως της ποιότητας των υπογείων υδάτων από την απόρριψη, και να καθορίζουν κατά πόσο από την άποψη του περιβάλλοντος η απόρριψη στα ύδατα αυτά αποτελεί κατάλληλη λύση.



Άρθρο 8

Οι άδειες που αναφέρονται στα άρθρα 4, 5 και 6 δεν μπορούν να δοθούν από τις αρμόδιες αρχές των κρατών μελών παρά μόνο μετά από εξακρίβωση του γεγονότος ότι η εποπτεία των υπογείων υδάτων και κυρίως της ποιότητός τους είναι εξασφαλισμένη.

Άρθρο 9

Όταν επιτρέπεται ή άμεση απόρριψη σύμφωνα με το άρθρο 4 παράγραφος 2 και 3, ή με το άρθρο 5, ή όταν μία ενέργεια για τη διάθεση των χρησιμοποιημένων υδάτων που οδηγεί αναπόφευκτα σε έμμεση απόρριψη, επιτρέπεται σύμφωνα με το άρθρο 5 η άδεια πρέπει κυρίως να καθορίζει:

- τον τόκο της απορρίψεως,
- την τεχνική της απορρίψεως,
- τις απαραίτητες προφυλάξεις, λαμβάνοντας υπόψη ιδιαίτερα τη φύση και τη συγκέντρωση των ουσιών που βρίσκονται στα απόβλητα, τα χαρακτηριστικά του αποδέκτη καθώς και την εγγύτητα ζωνών συλλογής υδάτων, ιδιαίτερα πόσιμου, θερμού και μεταλλικού ύδατος,
- τη μέγιστη αποδεκτή ποσότητα μιας ουσίας στα απόβλητα κατά τη διάρκεια μιας η περισσότερων καθορισμένων περιόδων και τους κατάλληλους όρους τους σχετικούς με τη συγκέντρωση αυτών των ουσιών,
- τις εγκαταστάσεις που επιτρέπουν τον έλεγχο των αποβλήτων που εκκενώνονται στα υπόγεια ύδατα,
- αν είναι αναγκαίο, τα μέτρα που επιτρέπουν την παρακολούθηση των υπογείων υδάτων και κυρίως της ποιότητός τους.

Άρθρο 10

Όταν μία ενέργεια διαθέσεως ή αποθέσεως με σκοπό τη διάθεση, η οποία είναι δυνατόν να οδηγήσει σε έμμεση απόρριψη, επιτρέπεται σύμφωνα με τα άρθρα 4 και 5, η άδεια πρέπει κυρίως να καθορίζει:

- τον τόπο όπου γίνεται αυτή η ενέργεια,
- τις μεθόδους διαθέσεως ή αποθέσεως που χρησιμοποιούνται,
- τις απαραίτητες προφυλάξεις, λαμβάνοντας υπόψη κυρίως τη φύση και τη συγκέντρωση των ουσιών που υπάρχουν στα προς διάθεση ή προς απόθεση υλικά, τα



χαρακτηριστικά του αποδέκτη καθώς και την εγγύτητα ζωνών συλλογής υδάτων, ιδιαίτερα πόσιμου, θερμού και μεταλλικού ύδατος,

- τη μέγιστη αποδεκτή ποσότητα, κατά τη διάρκεια μιας ή περισσότερων καθορισμένων περιόδων των υλικών προς διάθεση ή προς απόθεση, τα οποία περιέχουν ουσίες που αναφέρονται στους καταλόγους I ή II και, αν είναι δυνατόν, αυτών των ίδιων των ουσιών, καθώς και τους κατάλληλους όρους τους σχετικούς με τη συγκέντρωση αυτών των ουσιών,

- στις περιπτώσεις που αναφέρονται στο άρθρο 4 παράγραφος 1 και στο άρθρο 5 παράγραφος 1, τις τεχνικές προφυλάξεις που πρέπει να εφαρμοσθούν για να εμποδισθεί κάθε απόρριψη στα υπόγεια ύδατα ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο I, και για να αποφευχθεί κάθε ρύπανση αυτών των υδάτων από τις ουσίες που αναφέρονται στον κατάλογο II,

- αν είναι αναγκαίο, τα μέτρα που επιτρέπουν την παρακολούθηση των υπογείων υδάτων και κυρίως της ποιότητός τους.

Άρθρο 11

Οι άδειες που αναφέρονται στα άρθρα 4 και 5 δεν μπορούν να παραχωρηθούν παρά μόνο για περιορισμένη περίοδο επανεξετάζονται τουλάχιστον κάθε τέσσερα χρόνια. Μπορούν να παραταθούν, τροποποιηθούν ή ανακληθούν.

Άρθρο 12

1. Αν ο αιτούμενος μία άδεια κατά την έννοια των άρθρων 4 ή 5 δηλώσει ότι δεν είναι σε θέση να τηρήσει τους όρους που θα του επιβληθούν ή αν η αρμόδια αρχή του αντίστοιχου κράτους μέλους διαπιστώσει αυτή την αδυναμία, η άδεια δεν δίνεται.

2. Αν οι όροι που επιβάλλονται για μία άδεια δεν τηρηθούν, η αρμόδια αρχή του αντίστοιχου κράτους μέλους παίρνει τα αναγκαία μέτρα ώστε οι όροι αυτοί να ικανοποιηθούν αν είναι αναγκαίο, ανακαλεί την άδεια.

Άρθρο 13

Οι αρμόδιες αρχές των κρατών μελών ελέγχουν την τήρηση των όρων που επιβάλλονται για τις άδειες καθώς και τις επιπτώσεις των απορρίψεων στα υπόγεια ύδατα.



Άρθρο 14

Για τις απορρίψεις ουσιών που αναφέρονται στους καταλόγους Ι ή ΙΙ οι οποίες υπάρχουν κατά την κοινοποίηση της παρούσας οδηγίας, τα κράτη μέλη μπορούν να προβλέψουν μία μέγιστη προθεσμία τεσσάρων ετών μετά την έναρξη της ισχύος των διατάξεων που προβλέπονται από το άρθρο 12 παράγραφος 1, με τη λήξη της οποίας οι απορρίψεις αυτές πρέπει να είναι σύμφωνες με την παρούσα οδηγία.

Άρθρο 15

Οι αρμόδιες αρχές των κρατών μελών τηρούν αρχείο των αδειών που αναφέρονται στο άρθρο 4 για τις απορρίψεις ουσιών του καταλόγου Ι, των αδειών που αναφέρονται στο άρθρο 5 για τις άμεσες απορρίψεις ουσιών του καταλόγου ΙΙ και των αδειών που αναφέρονται στο άρθρο 6.

Άρθρο 16

1. Για την εφαρμογή της παρούσας οδηγίας τα κράτη μέλη διαβιβάζουν στην Επιτροπή, μετά από αίτησή της, που γίνεται για καθεμία περίπτωση, όλες τις αναγκαίες πληροφορίες και ιδιαίτερα αυτές που αφορούν:

α) τα αποτελέσματα των προκαταρκτικών ερευνών που προβλέπονται από τα άρθρα 4 και 5

β) τις λεπτομέρειες που έχουν σχέση με τις χορηγούμενες άδειες

γ) τα αποτελέσματα της παρακολουθήσεως και των ελέγχων που πραγματοποιούνται

δ) τα αποτελέσματα των καταγραφών που προβλέπονται από το άρθρο 15.

2. Οι πληροφορίες που συλλέγονται σε εφαρμογή του παρόντος άρθρου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν παρά μόνο για το σκοπό για τον οποίο έχουν ζητηθεί.

3. Η Επιτροπή και οι αρμόδιες αρχές των κρατών μελών καθώς και οι υπάλληλοι και το λοιπό προσωπικό τους είναι υποχρεωμένοι να μην κοινοποιούν τις πληροφορίες που συνέλεξαν κατά την εφαρμογή της παρούσας οδηγίας και οι οποίες καλύπτονται, από τη φύση τους, από επαγγελματικό απόρρητο.

4. Οι παράγραφοι 2 και 3 δεν αντιτίθενται στη δημοσίευση γενικών πληροφοριών ή μελετών που δεν περιέχουν ενδείξεις ατομικές για τις επιχειρήσεις ή ενώσεις επιχειρήσεων.



Άρθρο 17

Στην περίπτωση απορρίψεων σε διασυννοριακά υπόγεια ύδατα, η αρμόδια αρχή του κράτους μέλους που σκοπεύει να επιτρέψει τις απορρίψεις αυτές πληροφορεί τα άλλα ενδιαφερόμενα κράτη μέλη πριν από τη χορήγηση άδειας. Με αίτηση ενός από τα ενδιαφερόμενα κράτη μέλη και πριν από τη χορήγηση άδειας μπορούν να λάβουν χώρα διαβουλεύσεις στις οποίες μπορεί να συμμετάσχει η Επιτροπή.

Άρθρο 18

Η εφαρμογή των μέτρων που λαμβάνονται με βάση την παρούσα οδηγία δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να έχει σαν αποτέλεσμα την άμεση ή έμμεση πρόκληση ρυπάνσεως των υδάτων που αναφέρονται στο άρθρο Ι.

Άρθρο 19

Ένα ή περισσότερα κράτη μέλη μπορούν, αν χρειάζεται, να εφαρμόσουν ατομικά ή από κοινού πιο αυστηρά μέτρα απ'αυτά που προβλέπονται από την παρούσα οδηγία.

Άρθρο 20

Το Συμβούλιο, αποφασίζοντας μετά από πρόταση της Επιτροπής, και λαμβάνοντας υπόψη την πείρα που έχει αποκτηθεί, αναθεωρεί η στην ανάγκη συμπληρώνει τους καταλόγους Ι και ΙΙ, μεταφέροντας, αν χρειάζεται, ορισμένες ουσίες από τον κατάλογο ΙΙ στον κατάλογο Ι.

Άρθρο 21

1. Τα κράτη μέλη θέτουν σε ισχύ τις αναγκαίες νομοθετικές, κανονιστικές και διοικητικές διατάξεις για να συμμορφωθούν με την παρούσα οδηγία σε μία προθεσμία δύο ετών από την κοινοποίησή της. Πληροφορούν σχετικά αμέσως την Επιτροπή.

Η προθεσμία αυτή ωστόσο παρατείνεται για τέσσερα χρόνια σε ό,τι αφορά την Ελληνική Δημοκρατία, με την επιφύλαξη της εντάξεώς της την 1η Ιανουαρίου 1981.

κείμενο των βασικών διατάξεων εσωτερικού δικαίου που υιοθετούν στον τομέα που διέπεται από την παρούσα οδηγία.



3. Αμέσως μόλις τεθούν σε ισχύ από ένα κράτος μέλος οι διατάξεις που αναφέρονται στην παράγραφο Ι, οι διατάξεις της οδηγίας 76/464/ΕΟΚ που αναφέρονται στα υπόγεια ύδατα παύουν να εφαρμόζονται.

Άρθρο 22

Η παρούσα οδηγία απευθύνεται στα κράτη μέλη.

Έγινε στις Βρυξέλλες στις 17 Δεκεμβρίου 1976.

Για το Συμβούλιο

Ο Πρόεδρος

S. BARRETT

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ Ι ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΩΝ ΚΑΙ ΟΜΑΔΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Ο κατάλογος Ι περιλαμβάνει τις μεμονωμένες ουσίες που ανήκουν στις οικογένειες και ομάδες ουσιών που απαριθμούνται πιο κάτω, με εξαίρεση τις ουσίες που θεωρούνται ακατάλληλες για τον κατάλογο Ι, σε συνάρτηση με το μικρό κίνδυνο τοξικότητας, ανθεκτικότητας και βιοσυσσωρεύσεως.

Τέτοιες ουσίες, οι οποίες λόγω τοξικότητας, ανθεκτικότητας και βιοσυσσωρεύσεως είναι κατάλληλες για τον κατάλογο ΙΙ, πρέπει να κατατάσσονται στον κατάλογο ΙΙ.

1. Οργανοαλογόνες ενώσεις και ουσίες που μπορούν να προκαλέσουν τη δημιουργία τέτοιων ενώσεων στο υδάτινο περιβάλλον

2. Οργανοφωσφορικές ενώσεις

3. Οργανοκασσιτερικές ενώσεις

4. Ουσίες που έχουν ιδιότητες καρκινογόνες, μεταλλαξιογόνες ή τερατογόνες σε υδάτινο περιβάλλον ή διά μέσου αυτού(1)

(1) Στο μέτρο ορισμένες ουσίες, που περιέχονται στον κατάλογο ΙΙ έχουν ιδιότητες καρκινογόνες, μεταλλαξιογόνες ή τερατογόνες, συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία 4 του παρόντος καταλόγου.

5. Υδράργυρος και ενώσεις υδραργύρου

6. Κάδμιο και ενώσεις καδμίου

7. Ανόργανα άλατα και υδρογονάνθρακες



8. Κυανιούχα.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΙΙ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΩΝ ΚΑΙ ΟΜΑΔΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Ο κατάλογος ΙΙ περιλαμβάνει τις ουσίες και τις κατηγορίες ουσιών που ανήκουν στις οικογένειες και ομάδες ουσιών που απαριθμούνται πιο κάτω και που θα μπορούσαν να έχουν βλαπτικό αποτέλεσμα για τα υπόγεια ύδατα.

1. Τα ακόλουθα μεταλλοειδή και μέταλλα, καθώς και οι ενώσεις τους:

- 1) Ψευδάργυρος
- 2) Χαλκός
- 3) Νικέλιο
- 4) Χρώμιο
- 5) Μόλυβδος
- 6) Σελήνιο
- 7) Αρσενικό
- 8) Αντιμόνιο
- 9) Μολυβδένιο
- 10) Τιτάνιο
- 11) Κασσίτερος
- 12) Βάριο
- 13) Βηρύλλιο
- 14) Βόριο
- 15) Ουράνιο
- 16) Βανάδιο
- 17) Κοβάλτιο
- 18) Θόλλιο
- 19) Τελλούριο
- 20) Άργυρος.

2. Βιοκτόνα και παράγωγά τους που δεν περιλαμβάνονται στον κατάλογο Ι.

3. Ουσίες που έχουν βλαπτικό αποτέλεσμα στη γεύση ή/και στην οσμή των υπογείων υδάτων, καθώς και ενώσεις που είναι δυνατόν να προκαλέσουν τη δημιουργία τέτοιων ουσιών στα ύδατα και να τα κάνουν ακατάλληλα για την ανθρώπινη κατανάλωση.



4. Τοξικές ή ανθεκτικές οργανοπυριτικές ενώσεις και ουσίες που μπορούν να προκαλέσουν τη δημιουργία τέτοιων ενώσεων στα ύδατα, με εξαίρεση εκείνες που είναι βιολογικά αβλαβείς ή εκείνες που μετασχηματίζονται γρήγορα μέσα στο ύδωρ σε ουσίες αβλαβείς.

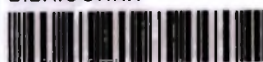
5. Ανόργανες ενώσεις του φωσφόρου και απλός φωσφόρος.

6. Φθοριούχα.

7. Αμμώνιο και νιτρώδη.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000104423