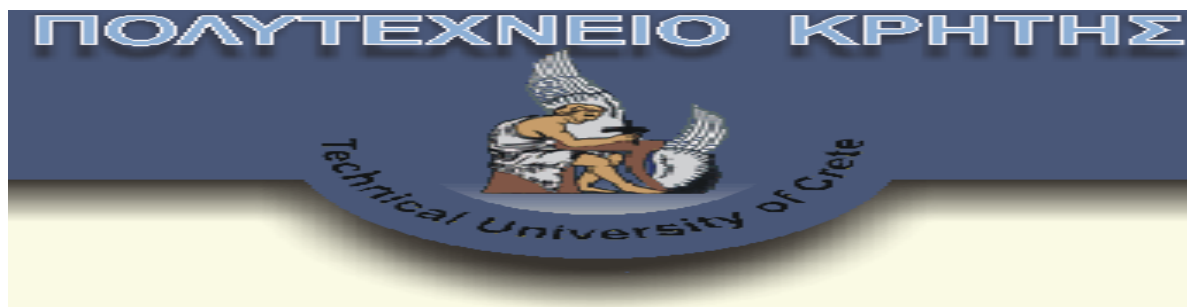




ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

ΣΜΠΟΝΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ



**Εξεταστική Επιτροπή: Κορνίτσας Κων/νος, Επιβλέπων Καθηγητής
Αγιουτάντης Ζαχαρίας, Καθηγητής
Γαλετάκης Μιχαήλ, Επίκ. Καθηγητής**

ΧΑΝΙΑ 2008

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Κομνίτσα, για την εξαιρετικά σημαντική συμβολή του, σε αυτό το εγχείρημα, μιας και χωρίς αυτή η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας δε θα ήταν εφικτή.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους γονείς μου, Ευάγγελο και Ευανθία για την αγάπη τους και την υποστήριξη που μου παρείχαν σε κάθε μου επιλογή, καθώς και για τη συνεισφορά τους τόσο ηθική, όσο και υλική κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στα Χανιά.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα όλους τους καθηγητές για τις γνώσεις που μου προσέφεραν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	7
2 ΤΟ ΜΑΡΜΑΡΟ ΩΣ ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΟ ΠΕΤΡΩΜΑ.....	9
2.1 ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ	9
2.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	9
2.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ	11
2.4 ΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ.....	12
2.4.1 Κυριότερα είδη ασβεστολίθων	12
2.6 ΓΡΑΝΙΤΕΣ.....	14
3 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ.....	15
3.1 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ	15
3.1.1 Ορυκτολογική σύσταση.....	15
3.1.2 Χημική σύσταση	15
3.2 ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ.....	15
3.2.1 Φυσικές ιδιότητες	17
3.2.1.1 Ειδικό βάρος	17
3.2.1.2 Υδατοαπορροφητικότητα - συντελεστής εμποτισμού	17
3.2.1.3 Πορώδες - Συντελεστής ανοικτού πορώδους.....	17
3.2.2 Μηχανικές ιδιότητες μαρμάρων	18
3.2.2.1 Αντοχή σε θλίψη.....	18
3.2.2.2 Αντοχή σε εφελκυσμό-αντοχή σε κάμψη	20
3.2.2.3 Μέτρο ελαστικότητας.....	20
3.2.3 Τεχνικές ιδιότητες.....	20
3.2.3.1 Αντοχή σε φθορά από τριβή	20
3.2.3.2 Αντοχή σε πρόσκρουση	20
3.2.3.3 Μικροσκληρότητα Κnoop	22
3.2.3.4 Συντελεστής θερμικής διαστολής	22
3.2.4 Περιβαλλοντικές δοκιμές	22
4 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ.....	25
4.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	25
4.1.1 Γεωλογική έρευνα και προσδιορισμός λατομικής περιοχής	25
4.1.2 Προκαταρκτικές εργασίες, δοκιμαστική εξόρυξη	26
4.2 ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ.....	26
4.3 ΟΡΙΣΜΟΙ	27
4.4 ΜΕΛΕΤΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ	27
4.4.1 Τύποι εξόρυξης	29
4.4.1.1 Υπόγεια εξόρυξη.....	29
4.4.1.2 Επιφανειακή εξόρυξη	30
4.4.2 Έργα υποδομής, προσπέλαση, προετοιμασία μετώπων, εξόρυξη	31
4.4.3 Μέσα εξόρυξης	33
4.4.3.1 Αερόσφουρες.....	33
4.4.3.2 Συρματοκοπή	34
4.4.3.3 Αλυσοπρίονα	35
4.4.3.4 Κοπή με λέιζερ CO ₂	36
4.5 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	36

4.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΓΚΟΜΑΡΜΑΡΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	36
4.6.1 <i>Ορθογωνισμός των όγκων.....</i>	37
4.6.2 <i>Σχίσσιμο των όγκων.....</i>	37
4.6.3 <i>Παραγωγή τελικών προϊόντων.....</i>	37
4.7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ	40
4.8 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΒΑΗΤΩΝ	43
4.9 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΙΝΩΝ ΑΠΟΒΑΗΤΩΝ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ.....	43
5 Ο ΚΛΑΔΟΣ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	45
5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	45
5.2 Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΕΙΣΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΩΝ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ	46
5.2.1 <i>Ελληνικές εισαγωγές μαρμάρου</i>	46
5.2.2 <i>Εξαγωγές μαρμάρου της Ε.Ε.</i>	50
5.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΠΟΚΑΛΥΠΤΟΜΕΝΟΥ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΥ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΟΣ	54
5.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ	55
Γενικά	56
Ειδικά	56
5.5 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΙΤΑΛΙΑ	57
5.6 Η ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	58
6 ‘ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ’ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ	61
6.1 ΓΕΝΙΚΑ	61
6.2 ΜΟΡΦΕΣ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	64
6.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ	66
6.3.1 <i>ISO 14040 (1997): Περιβαλλοντική Διαχείριση-Εκτίμηση Κύκλου Ζωής</i>	67
6.3.2 <i>ISO 14041 (1998): Περιβαλλοντική Διαχείριση-Εκτίμηση Κύκλου Ζωής-Ορισμός Στόχου και Αντικειμενικού Σκοπού και Ανάλυση Καταγραφόμενων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών</i>	68
6.3.3 <i>ISO 14042 (2000): Περιβαλλοντική Διαχείριση-Εκτίμηση Κύκλου Ζωής-Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής.....</i>	68
6.3.4 <i>ISO 14043 (2000): Περιβαλλοντική Διαχείριση-Εκτίμηση Κύκλου Ζωής-Ερμηνεία Αποτελεσμάτων Κύκλου Ζωής.....</i>	69
6.4 ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΧΟΥ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΥ ΣΚΟΠΟΥ	70
6.4.1 <i>Σύστημα Προϊόντος (Product System)</i>	71
6.4.2 <i>Όρια Συστήματος (System Boundaries)</i>	73
6.4.3 <i>Λειτουργία και Λειτουργική Μονάδα Συστήματος (Function and Functional Unit)</i>	73
6.4.4 <i>Περιγραφή Κατηγοριών Δεδομένων (Description of Data Categories)</i>	74
6.4.5 <i>Κριτήρια για τις αρχικές εισροές και εκροές (Criteria for initial inclusion of inputs and outputs).....</i>	75
6.4.6 <i>Απαιτήσεις Ποιότητας Δεδομένων (Data Quality Requirements)</i>	76
6.4.7 <i>Ανάλυση των Καταγραφόμενων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών του Κύκλου Ζωής (Inventory Analysis)</i>	77
6.5 ΑΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΟΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	78
6.5.1 <i>Προετοιμασία για τη συλλογή δεδομένων</i>	78
6.5.2 <i>Συλλογή δεδομένων.....</i>	80
6.5.3 <i>Διαδικασίες υπολογισμού.....</i>	81
6.5.3.1 <i>Επικύρωση δεδομένων.....</i>	81

6.5.4 Στοιχεία της Εκτίμησης των επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής.....	82
6.5.5 Υποχρεωτικά Στοιχεία της Εκτίμησης των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής.....	84
6.7 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΦΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.	
6.5.6 Βελτίωση του Κύκλου Ζωής.....	84
6.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ	86
7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΑΡΜΑΡΙΝΩΝ-ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΠΛΑΚΙΔΙΩΝ.....	89
7.1 ΓΕΝΙΚΑ	89
7.2 ΚΥΚΛΟΙ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	90
7.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ.....	94
8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	107

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την αρχική εκτίμηση του κύκλου ζωής του μαρμάρου. Το αντικείμενό της αφορά ένα θέμα μεγάλης σημασίας για τον εξορυκτικό κλάδο, αφού το μάρμαρο αποτελεί μια από τις σημαντικότερες ορυκτές πρώτες ύλες της χώρας μας. Ο κλάδος του μαρμάρου είναι ένας από τους πιο δυναμικούς με μεγάλη συνεισφορά στην ανάπτυξη της ελληνικής οικονομίας. Η εξόρυξή του όμως επιβαρύνει σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον, γεγονός που προκαλεί τη διαρκώς αυξανόμενη αντίδραση της κοινής γνώμης. Η εφαρμογή επομένως της εκτίμησης κύκλου ζωής του μαρμάρου μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που σχετίζονται με την εξόρυξή του.

Αρχικό στόχος είναι η γνωριμία με το μάρμαρο ως διακοσμητικό υλικό, οι χρήσεις του, ο τρόπος επεξεργασίας και η θέση που καταλαμβάνει στην διεθνή και εγχώρια αγορά. Βασικοί στόχοι είναι πρώτον, η περιγραφή της μεθοδολογίας της εκτίμησης του κύκλου ζωής, δεύτερον η ποιοτική εφαρμογή της σ' ένα λατομείο μαρμάρου και τρίτον, η εκτίμηση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της, παράγοντες οι οποίοι αν αξιοποιηθούν κατάλληλα μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των λατομείων των μαρμάρων και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Τέλος, για την καλύτερη κατανόηση του θέματος, λαμβάνοντας υπόψη την έλλειψη αξιόπιστων στοιχείων από τη βιομηχανία μαρμάρου, τη δυσκολία συνεργασίας με τους εμπλεκόμενους φορείς για την παροχή των απαραίτητων πληροφοριών καθώς και το περιορισμένο χρονικό διάστημα που διατίθεται για την διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας, γίνεται σύγκριση ανάμεσα στον κύκλο ζωής ενός μαρμάρινου και ενός κεραμικού πλακιδίου.

Για τη συλλογή των αναγκαίων πληροφοριών για την πραγματοποίηση της διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν πηγές από:

- Βιβλία, επιστημονικά περιοδικά, δημοσιευμένα άρθρα και έρευνες στο διαδίκτυο.
- Ανεπίσημες συναντήσεις με πρόσωπα εξειδικευμένα στον κλάδο του μαρμάρου.
- Άμεση επαφή με τους εμπλεκόμενους φορείς (στη συγκεκριμένη περίπτωση με το λατομείο μαρμάρου «Διονύσου Πεντέλης Α.Ε.Β.Ε.»).

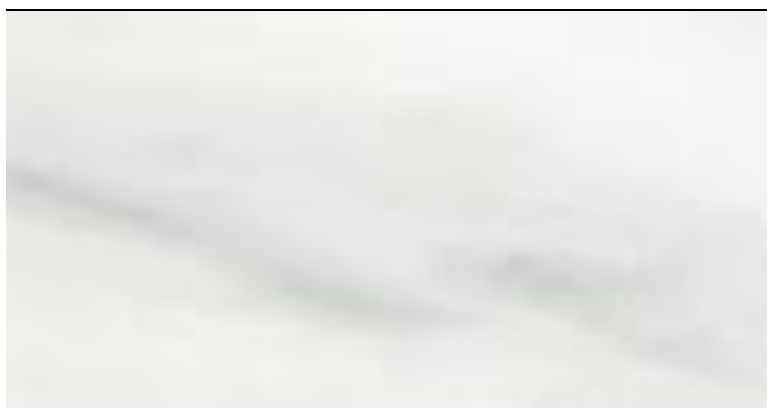
Η βασική αρχή της μεθόδου εκτίμησης του κύκλου ζωής είναι ότι η ρύπανση του περιβάλλοντος μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε στάδιο της ζωής ενός προϊόντος και οι αλλαγές σε κάποιο από τα στάδια αυτά είναι πιθανόν να έχουν θετικές ή αρνητικές επιπτώσεις στα μετέπειτα στάδια, στην κατανάλωση ενέργειας και πρώτων υλών όπως επίσης και στη ρύπανση του περιβάλλοντος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Το ελληνικό μάρμαρο είναι φημισμένο για την ποιότητά του σε ολόκληρο τον κόσμο εδώ και εκατοντάδες χρόνια. Στην Ελλάδα υπάρχει μεγάλη ποικιλία λευκών μαρμάρων εκλεκτής ποιότητας όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1 (ΣΜΕ, 2006).

Σύμφωνα με την Γεωλογία 'μάρμαρα' θεωρούνται τα ανθρακικά πετρώματα που προκύπτουν από την ανακρυστάλλωση ασβεστολιθικών πετρωμάτων κατά τη μεταμόρφωση (Χρηστίδης, 2006).



Εικόνα 1.1: Λευκό μάρμαρο Διονύσου, (ποιότητα Α')

Αποτελούνται κυρίως από CaCO_3 (ποσοστό 90%) (Οδηγός Αγοράς Μαρμάρου, 2004) και η ορυκτολογική τους σύσταση περιλαμβάνει συνήθως τις ακόλουθες χημικές ενώσεις: CaO , MgO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , TiO_2 και P_2O_5 (Mustafa και Eyup, 2007).

Από το πρώτο στάδιο της μεταμόρφωσης των ασβεστόλιθων προκύπτουν οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι που με την περαιτέρω μεταμόρφωσή τους δημιουργούν τα μάρμαρα. Τα μάρμαρα γενικά, είναι μονόμικτα πετρώματα, δηλαδή συνίστανται από ένα και μόνο ορυκτό, τον ασβεστίτη, ενώ όταν περιέχεται σ' αυτά και δολομίτης ονομάζονται δολομιτικά.

Διευκρινίζεται ότι ο πετρογραφικός όρος 'μάρμαρο' δεν πρέπει να συγχέεται με τον τεχνικό όρο 'μάρμαρο', ο οποίος αποδίδεται σε κάθε πέτρωμα που με στίλβωση δίνει λείες επιφάνειες για διακόσμηση (Οδηγός Αγοράς Μαρμάρου, 2004).

Η αρχική σύσταση των ασβεστόλιθων από τους οποίους προήλθαν τα μάρμαρα, καθώς και ο βαθμός της μεταμόρφωσής τους είναι οι κυριότεροι παράγοντες με βάση τους οποίους τα μάρμαρα διακρίνονται σε διάφορες ποιότητες.

Έχουν, ως επί το πλείστον, λευκό/ημίλευκο χρώμα, ενώ μερικές φορές εμφανίζουν, μαύρο, πρασινωπό, ερυθρό κ.λπ. Στις περισσότερες περιπτώσεις παρουσιάζουν αποχρώσεις σε ζώνες. Το μαύρο χρώμα τους οφείλεται συνήθως στην παρουσία οργανικών ενώσεων ή σιδηροξειδίων ή μαγγανιούχων οξειδίων. Τα μάρμαρα έχουν αντοχή σε μονοαξονική θλίψη που κυμαίνεται μεταξύ 400 - 1.200 kg/cm² ή 39.24 - 117.72 MPa

Το μάρμαρο είναι ένα από τα κυριότερα προϊόντα της χώρας μας. Λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική αξία τόσο της παραγωγής όσο και των εξαγωγών, αλλά και το συνολικό αριθμό του εργατικού δυναμικού που απασχολείται στον συγκεκριμένο κλάδο, συμπεραίνεται ότι το μάρμαρο συναγωνίζεται τις κυριότερες ορυκτές ύλες που παράγονται στην Ελλάδα, όπως βωξίτης, νικελιούχα μεταλλεύματα, λευκόλιθοι, χρωμίτης, μπεντονίτης κ.λπ. όπως βλέπουμε στο κεφάλαιο 5 (Αποστολίδης, 1991).

Η μεγάλη εξάπλωση της λατομικής δραστηριότητας του κλάδου του μαρμάρου σε όλο σχεδόν τον Ελλαδικό χώρο, καθώς και τα μεγάλα αποθέματα κοιτασμάτων μαρμάρου¹, το κάνουν να ξεχωρίζει από τους υπόλοιπους κλάδους της λατομικής και της μεταλλευτικής βιομηχανίας της χώρας μας. Στην Ελλάδα λειτουργούν 24 μεταλλεία, 68 λατομεία βιομηχανικών ορυκτών, 270 αδρανών υλικών και 240 μαρμάρων το μεγαλύτερο μέρος των οποίων βρίσκεται στην περιφέρεια της Μακεδονίας και της Θράκης (Τσιραμπίδης, 2006).

Στη συνέχεια θα γίνει προσπάθεια σύντομης αλλά ουσιαστικής γνωριμίας με τη σημαντική αυτή ορυκτή ύλη της χώρας μας, παρουσιάζοντας τους τύπους μαρμάρου, τις φυσικοχημικές και τεχνικές ιδιότητες του, και τη σημερινή κατάσταση του κλάδου όσον αφορά τις εισαγωγές και εξαγωγές με σκοπό την καλύτερή κατανόηση του κύκλου ζωής για το υλικό αυτό.

¹ Λατομεία μαρμάρου και οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας υπάρχουν σε 43 νομούς της χώρας, ενώ τα αποθέματα θεωρούνται από τους ειδικούς ως πρακτικώς ανεξάντλητα.

2 ΤΟ ΜΑΡΜΑΡΟ ΩΣ ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΟ ΠΕΤΡΩΜΑ

2.1 Είδη και τύποι διακοσμητικών πετρωμάτων

Ως διακοσμητικά πετρώματα θεωρούνται αυτά που επιδέχονται κοπή σε πλάκες, λείανση ή/και στίλβωση. Στη βιομηχανία διακοσμητικών πετρωμάτων και στο εμπόριο ως "μάρμαρα" χαρακτηρίζονται γενικά τα ασβεστολιθικά και δολομιτικά πετρώματα (μάρμαρο, ασβεστόλιθοι και άλλα ιζηματογενή πετρώματα).

Με γεωλογικούς όρους, τα πετρώματα που χρησιμοποιούνται ως διακοσμητικά και δομικά υλικά μπορούν να διακριθούν στις παρακάτω τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- ιζηματογενή
- εκρηξιγενή
- μεταμορφωμένα

Στην Ελλάδα σήμερα, μπορεί να βρει κανείς μια μεγάλη ποικιλία ειδών και τύπων διακοσμητικών πετρωμάτων από όλο τον κόσμο. Υπάρχουν τα περίφημα ελληνικά μάρμαρα, γνωστά από την αρχαιότητα, καθώς και περισσότερα από 200 είδη γρανιτών, οι οποίοι στο σύνολο τους εισάγονται σε μορφή όγκων και ακατέργαστων ή στίλβωμένων πλακών. Ως προς την παραγωγή μαρμάρου τις πρώτες θέσεις στην Ευρώπη κατέχουν η Ιταλία, η Ισπανία, και η Ελλάδα (Οδηγός Αγοράς Μαρμάρου, 2004).

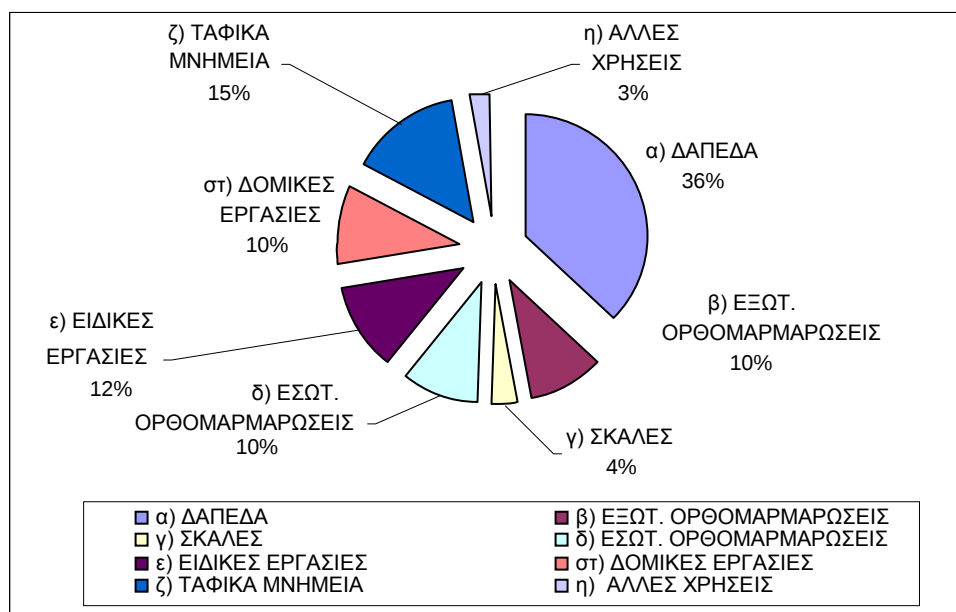
2.2 Επιλογή των μαρμάρων στην αρχιτεκτονική

Τα φυσικά διακοσμητικά πετρώματα, δηλαδή τα μάρμαρα, οι γρανίτες κ.λπ., είναι υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα στο παρελθόν και κερδίζουν και πάλι τον κατασκευαστικό κλάδο, πρωταγωνιστώντας ανάμεσα σε πολλά δομικά υλικά. Οι εφαρμογές τους στα σύγχρονα κτίρια δε γίνονται μόνο για το αισθητικό αποτέλεσμα που προσφέρουν, αλλά κυρίως διότι πληρούν τις οικονομικές, τεχνικές, αισθητικές και οικολογικές απαιτήσεις. Επίσης, τα μάρμαρα επιτυγχάνουν καλύτερη σχέση 'ποιότητας-τιμής' σε σύγκριση με άλλα δομικά υλικά.

Μελέτη του Ινστιτούτου Battelle της Γερμανίας (Οδηγός Αγοράς Μαρμάρου, 2002), η οποία συνέκρινε 10 διαφορετικά υλικά, με σκοπό να χρησιμοποιηθούν σε πέντε τύπους κτιρίων για δαπεδοστρώσεις, κατέληξε στο συμπέρασμα, ότι παρόλο που τα μάρμαρα είναι ακριβά υλικά, το γεγονός ότι δεν απαιτείται ιδιαίτερη διαδικασία για την προστασία τους και την καθαριότητα τους, καθώς επίσης και λόγω της αντοχής που επιδεικνύουν, είναι ανταγωνιστικά και σε βάθος χρόνου μπορούν να αποδειχθούν οικονομικότερα.

Τα κριτήρια για το σχεδιασμό και την επιλογή των κατάλληλων μαρμάρων, σε ένα μεγάλο έργο/κτίριο, καθορίζονται από το γεγονός ότι με τη χρήση τους πρέπει να δίνεται μια οριστική λύση, δηλαδή να μεγιστοποιείται η διάρκεια ζωής (Οδηγός Αγοράς Μαρμάρου, 2002).

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται το ποσοστό που καταλαμβάνουν τα μάρμαρα ανάλογα με τις χρήσεις για τις οποίες προορίζονται.



Πηγή: Εργαστήριο Λίθος, ΙΓΜΕ, 2006.

Σχήμα 1.1: Χρήσεις μαρμάρων.

Από το σχήμα 1.1 προκύπτει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό (36%) των μαρμάρων χρησιμοποιείται για τη δαπεδόστρωση.

Η τελική επιλογή τους πρέπει να καθορίζεται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή για την οποία προορίζονται (πχ. δαπεδόστρωση, ορθομαρμάρωση κ.λπ.), μετά από λεπτομερή εξέταση όλων των φάσεων του έργου και των τεχνικών - σχεδιαστικών λύσεων.

Οι παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν την τελική επιλογή, σύμφωνα με το εργαστήριο 'Λίθος', ΙΓΜΕ, είναι κυρίως οι ακόλουθοι:

- Δυνατότητα κατάλληλης τεχνολογικής επεξεργασίας, του επιλεγμένου υλικού, έτσι ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή επιφάνεια, καθώς και η ποιοτική και ποσοτική διασφάλιση που θα χρειαστεί, συνολικά για το έργο.
- Χημικές-φυσικομηχανικές ιδιότητες του μαρμάρου, οι οποίες πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές ώστε να μην επηρεαστεί μελλοντικά από τις κλιματικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής όπου θα τοποθετηθεί.
- Συνολικό κόστος της επένδυσης.

Από τα προαναφερθέντα προκύπτει, ότι απαιτείται η πιστοποίηση της ποιότητας, μετά από εξέταση των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων του. Από τις ιδιότητες αυτές εξαρτάται η ικανότητά του να αντισταθεί στη ρύπανση του περιβάλλοντος και στις μηχανικές επιβαρύνσεις, λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής ενός έργου. Ο έλεγχος και η πιστοποίηση της καταλληλότητας του υλικού γίνεται μόνο μέσα από πλήρη εργαστηριακή έρευνα (Λασκαρίδης και Πατρώνης, 2006).

2.3 Ιδιότητες του μαρμάρου

Όλα τα υλικά υπόκεινται σε εργαστηριακές δοκιμές καταπόνησης, με σκοπό τον προσδιορισμό των μηχανικών, φυσικών, τεχνικών και περιβαλλοντικών ιδιοτήτων τους. (Ugur και Demirdag, 2005). Οι εργαστηριακές δοκιμές γίνονται βάσει διεθνών προδιαγραφών όπως, A.S.T.M. (American Standards for Testing Materials), D.I.N. (Deutsche Industrie Normen), U.N.I. (Union Norme Italiane), E.N. (Europe Norm) και B.S. (British Standards) (Οδηγός Αγοράς Μαρμάρου, 2004).

Η γνώση λοιπόν, των φυσικομηχανικών και τεχνικών ιδιοτήτων των μαρμάρων παρέχει τη δυνατότητα να μπορεί να προβλεφθεί η συμπεριφορά τους στην οικοδομή, με την πάροδο του χρόνου. Πρέπει να τονισθεί ότι η επιλογή τους για οποιαδήποτε εφαρμογή είναι συνάρτηση διαφόρων παραμέτρων, οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να συνδυάζονται, ούτως ώστε να υπάρξει ένα σωστό, ασφαλές και καλαίσθητο αποτέλεσμα.

Σε γενικές γραμμές οι βασικές προϋποθέσεις για την κατασκευή ενός τεχνικά και αισθητικά τέλει έργου χρησιμοποιώντας μάρμαρο, το οποίο θα αντέξει στο χρόνο, είναι δυο:

- Η αυστηρή επιλογή του κατάλληλου τύπου μαρμάρου, με βάση τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά του και την εφαρμογή για την οποία προορίζονται, γεγονός που προϋποθέτει τον ακριβή εργαστηριακό έλεγχο τους.
- Ο σωστός σχεδιασμός και η μελέτη του έργου, πριν την έναρξη των εργασιών, (Οδηγός Αγοράς Μαρμάρου, 2002).

Σήμερα, υπάρχουν όλες οι προϋποθέσεις ώστε το μάρμαρο να αποκτήσει μεγαλύτερο μερίδιο στη διεθνή και εγχώρια αγορά δομικών υλικών. Επιβάλλεται η συνεχής προβολή του, δεδομένου ότι αντιμετωπίζει οξύτατο ανταγωνισμό από άλλα υλικά, όπως το ξύλο, τα κεραμικά και άλλα συνθετικά δομικά υλικά, χωρίς παρόλα αυτά να αμφισβητείται η αισθητική του αξία.

Ο ανταγωνισμός αυτός είναι αποτέλεσμα της ανεπαρκούς ή κακής πληροφόρησης ως προς τις φυσικομηχανικές και τεχνικές ιδιότητές του και την ικανότητα εκπλήρωσης κάθε κατασκευαστικής απαίτησης. Επίσης, πρέπει να υιοθετηθούν περισσότερο αντικειμενικά κριτήρια, αναφορικά με την περιβαλλοντική προστασία, γιατί η ανάπτυξη μπορεί να συμβαδίζει με τη διασφάλιση του φυσικού περιβάλλοντος όπως

ακριβώς και η πρόοδος μπορεί να συμβαδίζει με την ποιότητα ζωής (Τσιραμπίδης και Καντηράνης, 2006).

2.4 Οι ασβεστόλιθοι

Οι ασβεστόλιθοι έχουν την ίδια χημική σύσταση με τα μάρμαρα διαφέρουν όμως ως προς τον ιστό, την υφή και την κοκκομετρική τους σύσταση. Επίσης έχουν μικρότερη μηχανική αντοχή από τα μάρμαρα. Το ειδικό βάρος τους είναι 2.7 g/cm^3 και η σκληρότητα τους κατά Mohs, 3. Η αντοχή τους σε μομοαξονική θλίψη κυμαίνεται μεταξύ ευρέων ορίων ($500 - 2000 \text{ kg/cm}^2$ ή $49.05 - 196.2 \text{ MPa}$) ως συνέπεια των διαφόρων γεωλογικών διεργασιών που έχουν επιδράσει κατά τη διάρκεια και μετά από τη δημιουργία τους.

Έχουν ως κύριο ορυκτολογικό τους συστατικό τον ασβεστίτη (CaCO_3), επομένως η χημική σύσταση ενός καθαρού ασβεστολιθικού πετρώματος είναι CaO 56%, CO_2 44%. Συνήθως, όμως, οι ασβεστόλιθοι περιέχουν διάφορες προσμίξεις οξειδίων και υδροξειδίων του αργιλίου, του σιδήρου κ.ά., η παρουσία των οποίων επηρεάζει και το χρωματισμό τους. Όταν οι ασβεστόλιθοι περιέχουν 5-15% MgO καλούνται μαγνησιούχοι ασβεστόλιθοι, ενώ όταν η περιεκτικότητά τους σε MgO είναι πάνω από 15% καλούνται δολομιτικοί (Οδηγός Αγοράς Μαρμάρου, 2004).

2.4.1 Κυριότερα είδη ασβεστόλιθων

- Οι στιφροί ασβεστόλιθοι: Αυτοί αποτελούνται από κρυστάλλους με διάμετρο μικρότερη από 10 (μ). Μπορούν να έχουν και μεγαλύτερους κρυστάλλους ασβεστίτη μεμονωμένους ή συγκεντρωμένους σε φλεβίδια.
- Οι λιθογραφικοί ασβεστόλιθοι: Είναι παρόμοιοι με τους προηγούμενους αλλά περιέχουν αργιλικά και πυριτικά ορυκτά σε ποσοστό 5-6%.
- Οι κονδυλώδεις ασβεστόλιθοι: Εκ πρώτης όψεως μοιάζουν με κροκαλοπαγή². Το μέγεθος των κονδύλων που περιέχουν έχει μέγεθος καρυδιού, αποτελείται από συγκρίματα καθαρού ασβεστιτικού υλικού, ακανόνιστου σχήματος, ενώ η κύρια μάζα περιέχει και αργιλικά ορυκτά. Το χρώμα τους είναι κόκκινο έως καστανό.
- Οι ωολιθικοί ασβεστόλιθοι: Αποτελούνται από σφαιροειδή, ελλειψοειδή ή ωοειδή σωματίδια, τους ωόλιθους, οι οποίοι έχουν το μέγεθος κεφαλιού καρφίτσας ή και μεγαλύτερο.

² Κροκαλοπαγή είναι πετρώματα που αποτελούνται από στρογγυλεμένους λίθους, μεγέθους 5-25 cm οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με ασβεστολιθικό ή πυριτικό συγκολλητικό υλικό.

- Οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι: Αποτελούν μεταβατικές μορφές μεταξύ ασβεστόλιθων και γνήσιων μαρμάρων³ και αποτελούνται από σφιγρή ασβεστολιθική μάζα που περιέχει ορατούς με το μικροσκόπιο κρυστάλλους ασβεστίτη.
- Οι τραβερτίνες: Είναι ασβεστιτικό υλικό που αποτίθεται σε λιμναία περιβάλλοντα γύρω από φυτικά λείψανα. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η πορώδης υφή που οφείλεται στο φυτικό υπόβαθρο. Ο τραβερτίνης χρησιμοποιείται κυρίως για διακοσμητικούς σκοπούς. Τα ιζήματα τραβερτίνη σχηματίστηκαν σε περιοχές με γλυκά νερά, δηλαδή σε νερά αβαθών λιμνών, πηγών, θερμών πηγών ή παρόχθιων ζωνών ποταμών ή χειμάρρων.
- Οι ασβεστόλιθοι χημικής προέλευσης: Σχηματίστηκαν όπως και οι τραβερτίνες, σε γλυκά νερά πλούσια σε όξινο ανθρακικό ασβέστιο όπου έγινε καθίζησή τους, σε μορφή ουδέτερου ανθρακικού άλατος και σχηματίστηκαν στρώματα εύθρυπτα και πορώδη (το ανθρακικό ασβέστιο σε μορφή αραγωνίτη).
- Ο όνυχας: (όπως λέγεται εμπορικά το ονυχομάρμαρο 'onyx marble') κατατάσσεται στην κατηγορία των ασβεστολίθων χημικής προέλευσης. Είναι συμπαγές πέτρωμα που παρουσιάζει ταινιωτή όψη λόγω των έγχρωμων και διαφανών στρώσεων ασβεστίτη ή/και αραγωνίτη και το οποίο μπορεί να στιλβωθεί. Τα κοιτάσματα αυτά δημιουργήθηκαν σε κενούς χώρους ή έγκοιλα ανθρακικών πετρωμάτων, ή με τη μορφή σταλαγμιτών και σταλακτιτών μέσα σε σπηλιές και είναι μικρά σε όγκο.
- Οι βιογενείς ασβεστόλιθοι: Σχηματίστηκαν από όστρακα, κελύφη ή παντός είδους ασβεστιτικά σκελετικά στοιχεία που υπήρχαν σε θάλασσες, τα οποία παρασύρθηκαν από ρεύματα και συσσωρεύτηκαν εκλεκτικά κατά περιοχές σε παχιά στρώματα. Τα στρώματα αυτά με την πάροδο των γεωλογικών αιώνων σχημάτισαν με τη διαγένεση τα βιογενούς προέλευσης ασβεστολιθικά πετρώματα.

Εκτός από τον ασβεστίτη, το μάρμαρο μπορεί να περιέχει σε μικρό ή μεγάλο ποσοστό δολομίτη, ο οποίος όμως το καθιστά περισσότερο εύθραυστο και το κάνει να στιλβώνεται δυσκολότερα και να φθείρεται ταχύτερα. Το ορυκτό *δολομίτης* είναι διπλό ανθρακικό άλας του ασβεστίου και του μαγνησίου ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), δηλαδή η χημική σύσταση ενός καθαρού δολομιτικού πετρώματος είναι:

- CaCO_3	54,35%
- MgCO_3	45,05%

³ Ως γνήσια μάρμαρα χαρακτηρίζονται εκείνα που ανταποκρίνονται στον ορισμό του μαρμάρου όπως τον δίνει η γεωλογία, δηλαδή είναι τα πετρώματα που προέρχονται από τη μεταμόρφωση ανθρακικών ή δολομιτικών ιζημάτων και ασβεστόλιθων

Οι δολομίτες μοιάζουν με τους ασβεστόλιθους, σχηματίστηκαν σε θαλάσσιες λεκάνες, όπως και οι ασβεστόλιθοι, όπου αποτέθηκαν είτε εξ αρχής ως δολομίτες είτε ως δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και μετατράπηκαν με την πάροδο του χρόνου σε δολομίτες (δολομιτίωση). Επομένως ο σχηματισμός των δολομιτών μπορεί να είναι είτε πρωτογενής είτε δευτερογενής.

Επιπλέον οι *μάργες*, είναι ασβεστολιθικά αργιλούχα ιζήματα, δηλαδή η σύστασή τους βρίσκεται μεταξύ εκείνης των ασβεστόλιθων και των αργίλων. Γενικά, όταν η περιεκτικότητα της αργίλου σε ανθρακικό ασβέστιο είναι μεγαλύτερη του 60% τότε το ίζημα χαρακτηρίζεται ως *μάργα*. Σε μια τυπική μάργα η χημική σύσταση είναι συνήθως: ανθρακικό ασβέστιο 74%, άργιλος 22% και διάφορες προσμίξεις (χαλαζίας, μαρμαρυγίας, σιδηροπυρίτης κ.λπ.) 4%.

Μεταξύ των μαργών και των ασβεστόλιθων, ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε ανθρακικά μπορούν να διακριθούν πολλοί τύποι πετρωμάτων με διαφοροποιημένη χημική σύσταση, όπως ασβεστούχος μάργα, μαργαϊκός ασβεστόλιθος, αργιλούχος μάργα, δολομιτική μάργα κ.ά., (Οδηγός Αγοράς Μαρμάρου, 2004).

2.5 Γρανίτες

Με την εμπορική ονομασία ‘γρανίτες’ χαρακτηρίζονται όλα τα πλουτώνια πετρώματα⁴. Στην Ελλάδα γίνεται κυρίως εισαγωγή γρανιτών ενώ έχουν αρχίσει και προσπάθειες για εκμετάλλευση και των ελληνικών κοιτασμάτων⁵. Οι γρανίτες παρουσιάζουν γενικά μεγαλύτερη αντοχή από τα μάρμαρα, καθώς και καλύτερες επιδόσεις σε ατμοσφαιρικές επιδράσεις, παρά το γεγονός ότι είναι ευπαθείς στην επίδραση ορισμένων εξωτερικών παραγόντων, όπως π.χ., της θερμοκρασίας. Διακρίνονται σε αλκαλικούς, που περιέχουν 30% χαλαζία και χαρακτηρίζονται από την απουσία πλαγιокλάστων και στους ασβεστοαλκαλικούς, όπου οι αλκαλικοί άστριοι εμφανίζονται σε μικρότερες αναλογίες (Αποστολίδης κ.ά., 1991).

⁴Πλουτώνια πετρώματα είναι αυτά που σχηματίστηκαν με τη στερεοποίηση του μάγματος υπό συνθήκες υψηλής πίεσης (υπερκεείμενα πετρώματα), βραδείας ψύξης και χωρίς διαφυγή των αερίων του μάγματος. Κύριο γνώρισμά τους είναι η τέλεια κρυστάλλωσή τους, για το λόγο αυτό χαρακτηρίζονται και ως ολοκρυσταλλικά πετρώματα (Το Ελληνικό Μάρμαρο, 1989)

⁵ Στην Ελλάδα υπάρχουν γρανίτες σε πολλές περιοχές (Καβάλα, Δράμα, Σέρρες, Χαλκιδική, Ξάνθη, Τήνος, Μύκονος, Ικαρία κ.ά.) παρόλα αυτά δεν γίνεται εξόρυξη, εξαιτίας του υψηλού κόστους εξόρυξης και επεξεργασίας.

3 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ

3.1 Ορυκτολογική και χημική σύσταση των μαρμάρων

3.1.1 Ορυκτολογική σύσταση

Ο προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης των μαρμάρων παρέχει ενδεικτικές πληροφορίες για την ικανότητα της επεξεργασίας και τη συμπεριφορά τους σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Τα σημαντικότερα ορυκτά είναι ο ασβεστίτης, ο χαλαζίας, ο μοσχοβίτης, ο βιοτίτης, οι καλιούχοι άστριοι και τα πλαγιόκλαστα.

Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται κατά σειρά αφθονίας τα θεμελιώδη και τα επουσιώδη ορυκτά κάποιων ανθρακικών πετρωμάτων ανάλογα με το βαθμό σκληρότητας, το επικρατέστερο χρώμα και την κύρια κρυσταλλική τους ανάπτυξη.

3.1.2 Χημική σύσταση

Η χημική σε συνδυασμό με την ορυκτολογική σύσταση παρέχει σαφή και ολοκληρωμένη εικόνα ενός μαρμάρου, για την πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση σε θέματα κοπής, επεξεργασίας και χρήσεων. Σε σχέση με τη μέση σύσταση των παγκόσμιων αποθεμάτων μαρμάρου, τα ελληνικά είναι αρκετά καθαρά, δεν περιέχουν δηλαδή μεγάλο αριθμό ξένων προσμίξεων. Τόσο στα δολομιτικά όσο και στα ασβεστίτικα μάρμαρα η περιεκτικότητα για καθένα από τα οξείδια των στοιχείων Al, Fe, Mn, Ti, Na και K είναι <0.02% (Τσιραμπίδης, 2000).

3.2 Φυσικομηχανικές ιδιότητες των μαρμάρων

Ο προσδιορισμός των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των μαρμάρων γίνεται με πετρογραφικές μεθόδους, ενώ απαιτούνται επίσης δοκιμές τεχνικής καταλληλότητας σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα. Όσον αφορά στην Ευρωπαϊκή Ένωση, υπάρχουν οι ευρωπαϊκές προδιαγραφές Ε.Ν. για τα μάρμαρα (Τεχνική Επιτροπή CEN/TC 246) οι οποίες είναι υποχρεωτικές για τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Το Ελληνικό Μάρμαρο, 1989).

Οι δοκιμές καταπόνησης θα πρέπει να εκτελούνται και κάθετα προς την επιφάνεια που παρουσιάζει το καλύτερο αποτέλεσμα ώστε να θεωρούνται κατάλληλες. Επιπλέον για να μην παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές στα αποτελέσματα των δοκιμών τεχνικής καταλληλότητας που γίνονται σε παρόμοιους τύπους μαρμάρου από το ίδιο μαρμαροφόρο κοίτασμα θα πρέπει τα δοκίμια να είναι αντιπροσωπευτικά (Αγιουτάντης, 2002).

Πίνακας 3.1: Θεμελιώδη και επουσιώδη ορυκτά των ανθρακικών πετρωμάτων.

Ορυκτό	Σκληρότητα	Χρώμα	Κρυσταλλική Μορφή
Ασβεστίτης	3	άχρωμο, λευκό	τριγωνική
Αραγωνίτης	4	άχρωμο, λευκό	ρομβοεδρική
Δολομίτης	3.5-4	λευκό ως καστανό	ρομβοεδρική
Μαγνησίτης	3.5-4	λευκό	στιφρή
Χουντίτης	3.5	λευκό	στιφρή
Ανκερίτης	4	λευκό ως καστανό	ρομβοεδρική
Σιδηρίτης	4	καστανό	βοτρυοειδής
Ροδοχρωσίτης	4	ρόδινο	πρισματική
Χαλαζίας/Χαλκηδόνιος	7	άχρωμο, λευκό	βραχυπρισματική
Ορθόκλαστο	6	λευκό, σαρκόχρωμο	πλακώδης
Πλαγιόκλαστο	6	λευκό, σαρκόχρωμο	φυλλώδης
Μοσχοβίτης/Σερικίτης	2.5-3	αργυρόλευκο	φυλλώδης
Χλωρίτης	2-2.5	πράσινο	φυλλώδης
Καολινίτης	2-2.2	λευκό, κίτρινο	φυλλώδης
Τάλκης	1	ανοικτοπράσινο	φυλλώδης
Σερπεντίνης	3.5-4	σκουροπράσινο	πλακώδης
Γραφίτης	1.0-2.0	τεφρομαύρο	φυλλώδης
Φλογοπίτης	2.5-3	ερυθροκάστανο	φυλλώδης
Επίδοτο	6	πρασινόμαυρο	μακροπρισματική
Ζοϊσίτης	6	ανοικτοπράσινο	μακροπρισματική
Σιδηροπυρίτης	6-6.5	κίτρινο	κυβική
Μαγνητίτης	5.5-6.5	μαύρο	οκταεδρική
Χρωμίτης	5.5	καστανόμαυρο	οκταεδρική
Αιματίτης	5.5-6.5	καστανέρθυρο	πλακώδης
Λειμωνίτης	5	καστανοκίτρινο	νεφροειδής
Βρουσίτης	2.5	λευκό ως πράσινο	φυλλώδης, ινώδης
Ολιβίνης	6,5-7	λαδοπράσινο	βραχυπρισματική
Γρανάτης	6.5-7.5	ερυθροκάστανο	δωδεκαεδρική
Διοψίδιος	5.5-6.5	πράσινο	βραχυπρισματική
Τρεμολίτης	0.5-0.6	τεφρό	νηματώδης
Βολλαστονίτης	4.5-5	λευκό	ινώδης

Πηγή: Τσιραμπίδης, 1996.

3.2.1 Φυσικές Ιδιότητες

3.2.1.1 Ειδικό βάρος

Είναι ο λόγος του βάρους του πετρώματος προς τον όγκο του. Επειδή όμως τα μάρμαρα έχουν πόρους, κοιλότητες και κενά, γι' αυτό το λόγο υπάρχουν δύο μετρούμενοι όγκοι: ο φαινόμενος (V_ϕ), που είναι ο όγκος του μαρμάρου μαζί με τα κενά και ο πραγματικός (V_π), που είναι ο όγκος του χωρίς τα κενά.

Επομένως υπάρχουν δύο ειδικά βάρη για κάθε μάρμαρο, το φαινόμενο ειδικό βάρος $E_\phi = B/V_\phi$ και το πραγματικό ειδικό βάρος $E_\pi = B/V_\pi$. Αυτό που τα χαρακτηρίζει είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος και εκφράζεται σε kg/cm^3 ή t/m^3 .

Με την ίδια διαδικασία που προσδιορίζεται το φαινόμενο ειδικό βάρος, μπορεί να προσδιοριστούν και άλλοι δείκτες του όπας:

- ο βαθμός πυκνότητας (σχέση του ξηρού φαινόμενου ειδικού βάρους προς το ειδικό βάρος).
- το συμπαγές (Σ), (λόγος του ειδικού φαινόμενου βάρους προς το πραγματικό βάρος), $\Sigma = E_\phi/E_\pi$, το οποίο δεν ξεπερνά ποτέ την μονάδα και για τα μάρμαρα κυμαίνεται από 0.90 έως 0.998.
- ο λόγος του όγκου των κενών προς τον όγκο των στερεών συστατικών του, $\kappa = V_\kappa/V_{ολ} - V_\pi$.

οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις.

Το φαινόμενο ειδικό βάρος είναι μια ιδιότητα η οποία είναι απαραίτητη για όλες τις κατασκευές, αφού σε συνδυασμό με το πάχος των μαρμάρων καθορίζει την επιβαλλόμενη της κατασκευής. Τα μάρμαρα (ασβεστιτικά) έχουν $E_\phi = 2.71 - 2.72 \text{ kg/cm}^3$ ή t/m^3 .

3.2.1.2 Υδατοαπορροφητικότητα - συντελεστής εμποτισμού (Σ_ϵ)

Με τον όρο υδατοαπορροφητικότητα ορίζεται η ιδιότητα των πετρωμάτων να πληρούνται με νερό. Ως υδατοαπορροφητικότητα των μαρμάρων ορίζεται η διαφορά της μάζας μεταξύ του κορεσμένου με νερό δοκιμίου και του ξηρού. Όταν εκφράζεται επί τοις % ονομάζεται συντελεστής εμποτισμού Σ_ϵ . Η ιδιότητα αυτή καθορίζει την καταλληλότητά του για εξωτερικές χρήσεις. Τα γνήσια μάρμαρα παρουσιάζουν συντελεστή εμποτισμού $\Sigma_\epsilon = 0.7 - 1.2\%$.

3.2.1.3 Πορώδες - Συντελεστής ανοικτού πορώδους

Σε κάθε μάρμαρο υπάρχουν κοιλότητες (πόροι) ποικίλης μορφής και μεγέθους. Ως πορώδες 'π' ορίζεται ο λόγος του όγκου των κενών ή πόρων του πετρώματος V_κ προς το συνολικό όγκο, $V_{ολ}$.

$$\pi = \frac{Vk}{Vol}$$

Όσο μεγαλύτερο πορώδες έχει ένα μάρμαρο, τόσο περισσότερο εμποτίζεται από διάφορα υγρά, τα οποία σε περίπτωση θερμοκρασιακών μεταβολών μπορούν να προκαλέσουν διάρρηξη ή αποκόλλησή του.

Στον πίνακα 3.2, παρουσιάζονται μερικές ενδεικτικές τιμές των ιδιοτήτων, διαφόρων φυσικών διακοσμητικών πετρωμάτων.

3.2.2 Μηχανικές ιδιότητες

3.2.2.1 Αντοχή σε θλίψη

Η αντοχή σε θλίψη είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα των μαρμάρων, κυρίως όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικές χρήσεις. Είναι η αντίσταση που παρουσιάζει στις μηχανικές επιδράσεις οι οποίες τείνουν να το παραμορφώσουν ή να το θλίψουν.

Ως αντοχή σε θλίψη (R_c) ενός πετρώματος ορίζεται ο λόγος του συνολικού φορτίου (P) που ασκείται σ' ένα δοκίμιο προς το εμβαδόν της διατομής του (S)

$$R_c = \frac{P}{S}, \text{ μετράται σε kg/cm}^2$$

και εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά της σύστασης και της δομής του.

Η αντοχή σε θλίψη μετριέται σε δοκίμια με τη φυσική τους υγρασία, γιατί αυτά είναι αντιπροσωπευτικά της κατάστασης σε φυσικές συνθήκες ή όταν τα μάρμαρα προορίζονται για χρήση σε χώρες με έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές, σε δοκίμια που έχουν υποστεί 20 κύκλους ψύξης-απόψυξης.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή σε θλίψη ενός μαρμάρου είναι:

- το πορώδες και η πυκνότητα
- το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων
- η ανισοτροπία
- η ορυκτολογική σύσταση

Κατά την καταπόνησή του, το μάρμαρο περνάει από διάφορες καταστάσεις, την ελαστική, σε χαμηλές τιμές τάσεων, την πλαστική, που ακολουθεί την ελαστική περιοχή στο διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης και το εύρος της ποικίλει ανάλογα με το υλικό και ακολουθεί η ψαθυρή ή εύθρυπτη περιοχή που χαρακτηρίζεται από την έναρξη των φαινομένων αστοχίας (Αγιουτάντης, 2002).

Η ελάχιστη αντοχή σε θλίψη που απαιτείται να έχει ένα μάρμαρο σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές⁶, για διάφορες χρήσεις, είναι 510 kg/cm² ή 50 MPa.

Πίνακας 3.2: Μέσες τιμές φυσικών ιδιοτήτων διαφόρων διακοσμητικών πετρωμάτων.

I. Φαινόμενο ειδικό βάρος	kg/cm³
Δολομιτικά μάρμαρα	2.82
Σερπεντίνες και οφειτοασβεστίτες	2.78
Μάρμαρα ασβεστιτικά	2.71
Γρανίτες	2.6
Τραβερτίνες - πορώλιθοι	2.400
II. Πορώδες	(% κ.ό.)
Άργιλοι	44 - 50 εξαιρετικά πορώδη
Ψαμμίτες	7 - 34 εξαιρετικά πορώδη
Ηφαιστειακοί τόφφοι	20 - 30 πορώδη
Τραβερτίνες	5-10 αρκετά πορώδη
Συμπαγείς ασβεστόλιθοι	0,4 - 2,0 λίγο πορώδη
Γρανίτες	0,4 -1,5 λίγο πορώδη
Βασάλτες συμπαγείς	0,2 - 0,9 συμπαγή
Σερπεντινίτες	0,1 -0,6 συμπαγή
III. Υδατοαπορροφητικότητα	E* (% κ.β.)
Συμπαγείς ασβεστόλιθοι και γνήσια μάρμαρα	0,06-0,34
Γρανίτες και συγγενή πετρώματα	0,35
Κοινοί ασβεστόλιθοι και οφειτοασβεστίτες	0,4-0,45
Πορώδεις ασβεστόλιθοι και τραβερτίνες	1,15

Πηγή: Ελληνικός Οδηγός Μαρμάρου, 2004.

⁶ Διεθνείς προδιαγραφές, A.S.T.M. (American Standards for Testing Materials), D.I.N. (Deutsche Industrie Normen), U.N.I. (Union Norme Italiana), E.N. (Europe Norm) και B.S. (British Standards)

3.2.2.2 Αντοχή σε εφελκυσμό - σε κάμψη

Ως αντοχή σε κάμψη ορίζεται η αντίσταση που προβάλλουν τα πετρώματα στις δυνάμεις εκείνες που προσπαθούν να τα κάμψουν και ισοδυναμεί με την μέγιστη τάση που ασκείται στο κάτω μέρος της πλάκας όταν αυτή υφίσταται καμπτική καταπόνηση.

$$R_t = (3Pl)/2dh^2, \text{ μετράται σε kg/cm}^2 \text{ ή MPa}$$

όπου: P είναι το φορτίο σε kg, l το μήκος μεταξύ των ακίδων, d το πλάτος και h το ύψος σε cm.

Η αντοχή των μαρμάρων στην κάμψη από εφελκυσμό είναι ο λόγος της ροπής κάμψης κατά τη θραύση του δοκιμίου και της ροπής αντίστασης. Η αντοχή σε κάμψη των πετρωμάτων εξαρτάται επίσης από τα χαρακτηριστικά της σύστασης και της δομής τους.

Το ελάχιστο όριο αντοχής σε κάμψη που πρέπει να έχει ένα μάρμαρο για να είναι κατάλληλο για δαπεδόστρωση είναι σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές, 68 kg/cm² ή 6.7 MPa.

3.2.2.3 Μέτρο ελαστικότητας (E)

Όταν ένα μάρμαρο βρεθεί κάτω από την επίδραση εξωτερικής τάσης ή συνδυασμού τάσεων, υφίσταται παραμόρφωση η οποία προκαλεί αλλαγή των διαστάσεων, του όγκου και του σχήματός του.

Μέτρο ελαστικότητας E ή μέτρο του Young είναι μια σταθερά του πετρώματος και ισούται με το λόγο της μεταβολής της τάσης προς την αντίστοιχη μεταβολή της αξονικής, ανοιγμένης παραμόρφωσης :

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Το μέτρο ελαστικότητας χρησιμοποιείται κυρίως για τον υπολογισμό της ελαστικότητας των πλακών, που θα τοποθετηθούν οριζοντίως ή επικλινώς.

3.2.3 Τεχνικές ιδιότητες

3.2.3.1 Αντοχή σε φθορά από τριβή

Η ιδιότητα αυτή εκφράζει την αντίσταση των μαρμάρων στην τριβή (από διέλευση ανθρώπων, οχημάτων κ.λπ.). Ως φθορά ορίζεται η προοδευτική απώλεια υλικού από την επιφάνεια ενός σταθερού σώματος που προκαλείται μέσω μηχανικών αιτιών.

3.2.3.2 Αντοχή σε πρόσκρουση

Η δοκιμή αυτή εκφράζει την αντοχή των μαρμάρων σε θραύση και ειδικότερα σε φθορές που υφίστανται από ελεύθερη πτώση αντικειμένων. Η αντίσταση σε

πρόσκρουση εκφράζεται ως το ελάχιστο ύψος σε cm, από το οποίο σφαίρα ορισμένου βάρους πέφτει και προκαλεί σπάσιμο του προς μελέτη υλικού.

Στον πίνακα 3.3 αναφέρονται ενδεικτικές τιμές αντοχής σε θλίψη διαφόρων διακοσμητικών πετρωμάτων.

Πίνακας 3.3: Ενδεικτικές τιμές αντοχής σε θλίψη

Είδη πετρωμάτων	Αντοχή σε θλίψη, MPa
Γρανίτες και συγγενή πετρώματα	196.2
Οφειτοασβεστίτες	147
Γνήσια μάρμαρα & συμπαγείς ασβεστόλιθοι	147 - 88.3
Καταπονημένοι ασβεστόλιθοι και διάφορα λατυποπαγή & τραβερτίνες	88.3 - 64

Πηγή: Ελληνικός Οδηγός Μαρμάρου, 2004.

Στον πίνακα 3.4 αναφέρονται ενδεικτικές τιμές αντοχής σε κάμψη, πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται ως διακοσμητικά υλικά.

Πίνακας 3.4: Ενδεικτικές τιμές αντοχής σε κάμψη

Είδη πετρωμάτων	Αντοχή σε κάμψη, MPa
Ψαμμίτες	3 - 9.9
Τραβερτίνες	3.9 - 9.9
Ασβεστόλιθοι	4.9 – 19
Μάρμαρα	5.9 – 20
Γρανίτες	7.4 – 20
Βασάλτες	9.9 – 24.5

Πηγή: Ελληνικός Οδηγός Μαρμάρου, 2004.

3.2.3.3 Μικροσκληρότητα Κνοορ

Η ιδιότητα αυτή εκφράζει τη σχέση του συγκεκριμένου φορτίου που εξασκεί η ακίδα του διαμαντιού, τύπου KNOOP και της επιφάνειας του αποτυπώματος που αφήνει, σε μία γυαλισμένη επιφάνεια μαρμάρου. Μαζί με την ορυκτολογική σύσταση και τον πετρογραφικό προσδιορισμό του, παρέχει στοιχεία για τη συμπεριφορά του μαρμάρου σε φθορά, επεξεργασία κ.λπ.

3.2.3.4 Συντελεστής θερμικής διαστολής

Ο συντελεστής θερμικής διαστολής εκφράζει την επιμήκυνση σε mm ανά τρέχον μέτρο μαρμάρου από την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C. Η γνώση της ιδιότητας αυτής είναι ιδιαίτερα σημαντική, όταν το μάρμαρο χρησιμοποιείται σε χώρες με έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές.

3.2.4 Περιβαλλοντικές δοκιμές

Σχεδόν όλα τα μάρμαρα, μετά την εξόρυξη, επεξεργασία και τοποθέτησή τους σε ανοικτούς χώρους, δέχονται την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών, με αποτέλεσμα την εν μέρει διάβρωσή τους και συνεπώς την ελάττωση της αντοχής τους.

Τα μάρμαρα που θα χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικούς χώρους όπου συνεχώς θα είναι εκτεθειμένα σε φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς παράγοντες, πρέπει να εξετάζονται ως προς την ανθεκτικότητά τους.

Οι περιβαλλοντικές δοκιμές περιλαμβάνουν:

- **Αντοχή στον παγετό** (κύκλοι ψύξης - απόψυξης). Η εξέταση των μαρμάρων ως προς την αντοχή στον παγετό, δίνει πληροφορίες για την ανθεκτικότητά τους στην αποσάθρωση και είναι καθοριστική για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς τους όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε κλίματα υγρά και ψυχρά. Η αντοχή στον παγετό εξαρτάται άμεσα από το συντελεστή εμποτισμού του.
- **Αντοχή στη διάβρωση** (επιταχυνόμενη γήρανση). Η γνώση της αντοχής στη διάβρωση των μαρμάρων από ατμοσφαιρικές επιδράσεις είναι καθοριστική για τη συμπεριφορά τους όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικούς χώρους.

Η επίδραση του οξυγόνου της ατμόσφαιρας, η οποία προκαλεί οξειδώσεις σε αρκετά ορυκτά, η διαλυτική δράση του νερού της βροχής, καθώς και των ατμοσφαιρικών ρυπαντών όπως CO₂, CO₃, NO₂, Cl, δημιουργούν την επικίνδυνη φωτοχημική αιθαλομίχλη και τα διαβρωτικά για τα μάρμαρα οξέα (ανθρακικό, θειικό, νιτρικό, υδροχλωρικό), που είναι οι κύριες χημικές επιδράσεις της ατμόσφαιρας.

Η επιταχυνόμενη γήρανσή τους, συνδέεται επίσης με την υπεριώδη ακτινοβολία και τις βίαιες εναλλαγές των καιρικών φαινομένων.

Στον πίνακα 3.5 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο βαθμός σημαντικότητας των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των διακοσμητικών πετρωμάτων ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται (Το Ελληνικό Μάρμαρο, 1989)

Πίνακας 3.5: Βαθμός σπουδαιότητας φυσικοχημικών ιδιοτήτων των διακοσμητικών πετρωμάτων ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται.

	Ακατέργαστα προϊόντα	Ημι- κατεργασμένα προϊόντα	Τελικά προϊόντα για τις ακόλουθες χρήσεις:							
			1		2		3	4		
			α	β	α	β				
Πετρογραφικός προσδιορισμός	***	***	***	***	***	***	***	***	**	
Μέγεθος και σχήμα	***	***	***	***	***	***	***	***	***	
Φαινόμενο ειδικό βάρος	***	***	***	***	***	***	***	***	***	
Αντοχή στη θλίψη	***	**	**	*	**	**	**	***	*	
Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη	***	***	***	*	**	**	**	***	***	
Μέτρο ελαστικότητας	***	**	***	*	**	*	*	***	*	
Αντοχή στην πρόσκρουση	***	***	**	**	***	***	***	***	***	
Μικροσκληρότητα κατά Knoop	***	**	*	*	***	***	**	**	*	
Συντελεστής εμποτισμού	***	***	***	**	***	**	**	**	***	
Συντελεστής θερμικής διαστολής	**	**	***	*	**	**	**	**	**	
Αντοχή στον παγετό	***	**	***	*	***	*	**	**	***	
Αντοχή στην τριβή	***	***	**	**	***	***	***	***	*	
Αντοχή στη διάβρωση	***	***	***	*	***	*	***	***	**	

* μικρός βαθμός σημαντικότητας,
** μέτριος βαθμός σημαντικότητας ,
*** μεγάλος βαθμός σημαντικότητας

1α επενδύσεις εξωτερικές, 1β επενδύσεις εσωτερικές,
2α δαπεδοστρώσεις εξωτερικές, 2β δαπεδοστρώσεις εσωτερικές,
3 σκάλες, 4 στέγες.

Πηγή: Ελληνικός Οδηγός Μαρμάρου,2004.

4 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

4.1 Παραγωγή

Η παραγωγική διαδικασία του κλάδου του μαρμάρου περιλαμβάνει δύο στάδια. Την πρωτογενή παραγωγή, δηλαδή την εξόρυξη ογκομαρμάρων (λατομεία) και την δευτερογενή παραγωγή δηλαδή την κοπή και επεξεργασία (σχιστήρια).

Στη συνέχεια θα γίνει προσπάθεια ποιοτικής εφαρμογής της τεχνικής της εκτίμησης του κύκλου ζωής του μαρμάρου, καθώς και αναφορά για τις διαδικασίες και τις φάσεις που πρέπει να ακολουθηθούν για την έναρξη και την ορθολογική λειτουργία ενός λατομείου.

4.1.1 Γεωλογική έρευνα και προσδιορισμός λατομικής περιοχής

Πρωταρχική φάση στην προσπάθεια αξιοποίησης του μαρμάρου είναι η έρευνα. Αυτή παρέχει τα στοιχεία που είναι απαραίτητα ώστε να γίνει σωστός σχεδιασμός και οργάνωση της εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος μαρμάρου. Όταν εντοπιστεί κάποια ενδιαφέρουσα περιοχή, αρχίζει η διαδικασία για να εκτιμηθεί κατά πόσο το υπάρχον κοίτασμα είναι εκμεταλλεύσιμο ή όχι.

Τα πρώτα στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη για μια καταρχήν εκτίμηση της εκμεταλλευσιμότητας του κοιτάσματος είναι:

- Το χρώμα και η γενικότερη αισθητική εικόνα του μαρμάρου.
- Η γεωλογία της περιοχής με βάση τα υπάρχοντα στοιχεία και ο υπολογισμός των αποθεμάτων.
- Ο τεκτονισμός του μαρμάρου.
- Η τοποθεσία και η μορφολογία της περιοχής, δηλαδή η δυνατότητα πρόσβασης στο κοίτασμα.

Εάν τα πρώτα δεδομένα είναι θετικά, τότε γίνεται λεπτομερής γεωλογική και κοιτασματολογική χαρτογράφηση συνήθως σε κλίμακα 1/5000, της στενής αλλά και της σχετικά ευρύτερης περιοχής, ώστε να προσδιοριστούν όσο είναι δυνατόν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα όρια του κοιτάσματος.

Όταν συγκεντρωθούν και επεξεργαστούν τα κοιτασματολογικά και τεκτονικά στοιχεία της περιοχής, επιλέγονται μία ή περισσότερες θέσεις για τις οποίες θα γίνουν αιτήσεις για έρευνα και εκμετάλλευση σύμφωνα με τις διατάξεις της ισχύουσας νομοθεσίας και στη συνέχεια κατατίθενται τα απαιτούμενα στοιχεία και οι αναγκαίες μελέτες έρευνας.

4.1.2 Προκαταρκτικές εργασίες, δοκιμαστική εξόρυξη

Όταν δοθεί η άδεια έρευνας στη λατομική περιοχή, αρχίζουν οι προκαταρκτικές εργασίες. Βασική επιδίωξη είναι η επιβεβαίωση ή όχι των αρχικών στοιχείων και υποθέσεων που έχουν γίνει κάνοντας δοκιμαστικές εξορύξεις.

Στις προκαταρκτικές εργασίες περιλαμβάνονται, η διάνοιξη στοιχειώδους δρόμου προσπέλασης προς το λατομικό χώρο και κάποιες πρόχειρες βοηθητικές εγκαταστάσεις για την κάλυψη βασικών αναγκών.

Πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε εργασία κανονικής εξόρυξης θα πρέπει να διαπιστωθεί ότι συντρέχουν ορισμένες βασικές προϋποθέσεις για τη λειτουργία του λατομείου όπως:

- εξόρυξη ποιότητας μαρμάρου εμπορεύσιμης και ανταγωνιστικής στην εγχώρια και στην ξένη αγορά, δηλαδή προϊόντα καλού αισθητικού αποτελέσματος με καλές ποιοτικές προδιαγραφές από πλευράς φυσικοχημικών ιδιοτήτων.
- εξασφάλιση συνέχειας στην παραγωγή, που είναι συνάρτηση της πιστοποίησης ικανοποιητικών αποθεμάτων.
- συνολικό κόστος εξόρυξης μικρότερο από τις τιμές πώλησης του μαρμάρου, ώστε να είναι οικονομικά συμφέρουσα η εκμετάλλευση.

4.2 Εκμετάλλευση

Οι εργασίες της έρευνας που έχουν ήδη προηγηθεί έχουν δώσει τα απαραίτητα στοιχεία με βάση τα οποία κρίνεται ότι το κοίτασμα είναι εκμεταλλεύσιμο.

Για να αρχίσει η εκμετάλλευση απαιτείται προηγουμένως η σύνταξη λεπτομερούς μελέτης στην οποία θα διερευνώνται όλοι οι παράγοντες και οι τεχνικές δυνατότητες, ο συνδυασμός των οποίων θα φέρει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα παρέχοντας ικανοποιητική εξόρυξη μαρμάρου και ασφαλείς συνθήκες εργασίας.

Στη συνέχεια θα αναφερθούν τα βασικά στοιχεία για το σχεδιασμό και την οργάνωση της εκμετάλλευσης.

Πριν κρίνεται σκόπιμο να παρατεθούν αναγκαίοι ορισμοί εννοιών οι οποίοι θα αναφερθούν στη συνέχεια.

4.3 Ορισμοί

Κλίση βαθμίδας, ονομάζεται η γωνία που σχηματίζει η πρόσοψη της βαθμίδας με το οριζόντιο επίπεδο.

Κλίση πρανούς λατομείου, ονομάζεται η γωνία που σχηματίζει το πρανές με το οριζόντιο επίπεδο.

Μέγιστη ή οριακή ή τελική κλίση πρανούς του λατομείου, ονομάζεται η κλίση εκείνη μέχρι την οποία μπορεί να φθάσει ακίνδυνα η εκμετάλλευση κατά την τελική της φάση.

Σχέση αποκάλυψης ορίζεται ο αριθμός των μονάδων όγκου υπερκειμένων που πρέπει να απομακρυνθούν για να αποκαλυφθεί μία μονάδα όγκου εκμεταλλεύσιμου κοιτάσματος.

Οριακή ή μέγιστη ή οικονομική σχέση αποκάλυψης (A_o) ορίζεται η «στιγμιαία» εκείνη σχέση που παρέχει το ελάχιστο αποδεκτό για την εταιρεία κέρδος και εκφράζεται από την εξίσωση 4.1:

$$A_o = \frac{E\alpha - k - U_\varepsilon}{U_\lambda} \quad (4.1)$$

όπου: $E\alpha$ είναι η εμπορική αξία του μαρμάρου, k είναι το κέρδος, U_ε είναι το κόστος εξόρυξης και U_λ είναι το κόστος απομάκρυνσης της λατύπης.

Επιτρεπόμενη σχέση αποκάλυψης (A_ε) είναι η τιμή της οριακής σχέσης αποκάλυψης για την οποία το κέρδος της εταιρείας είναι μηδέν. Αυτή ορίζεται από την εξίσωση 4.2 όταν το k είναι 0.

$$A_\varepsilon = \frac{E\alpha - U_\varepsilon}{U_\lambda} \quad (4.2)$$

όπου: $E\alpha$ είναι η εμπορική αξία του μαρμάρου, U_ε είναι το κόστος εξόρυξης και U_λ είναι το κόστος απομάκρυνσης της λατύπης.

4.4 Μελέτη εκμετάλλευσης

Στην πρώτη φάση της μελέτης εκμετάλλευσης, με βάση τα στοιχεία του συγκεκριμένου προς εκμετάλλευση κοιτάσματος, καθορίζονται η οριακή σχέση αποκάλυψης και η τελική κλίση του πρανούς του λατομείου, έτσι ώστε να προκύψουν τελικώς τα γεωμετρικά όρια της εκμετάλλευσης για τα οποία υπάρχει το πιο συμφέρον οικονομικό αποτέλεσμα.

Η κλίση του πρανούς του λατομείου είναι συνάρτηση του ύψους, του πλάτους του δαπέδου και της κλίσης της πρόσοψης των βαθμίδων. Όσο μεγαλύτερη είναι η τελική κλίση του λατομείου στη δεδομένη εκμετάλλευση, τόσο ευνοϊκότερη γίνεται η σχέση αποκάλυψης, και τόσο μεγαλύτερη γίνεται η απολήψιμη ποσότητα του κοιτάσματος.

Τη σχέση αποκάλυψης, επηρεάζουν η θέση του κοιτάσματος ως προς την επιφάνεια του εδάφους, η μορφή του, καθώς επίσης και το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής. Η σχέση αποκάλυψης αυξάνεται συνεχώς μέχρι να φθάσει την οριακή τιμή, οπότε η εκμετάλλευση γίνεται οικονομικά ασύμφορη και διακόπτεται.

Εκτός από τα διαθέσιμα θεωρητικά μοντέλα, χρειάζονται και παρατηρήσεις υπαίθρου και πιθανόν εργαστηριακά και πειραματικά δεδομένα.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ευστάθεια των πρανών και την κλίση των βαθμίδων είναι:

- Οι ασυνέχειες που υπάρχουν στη μάζα του πετρώματος (ρήγματα, ρωγμές και διαστρώσεις)
- Η πυκνότητα των ασυνεχειών
- Η γωνία μεταξύ των ασυνεχειών και του πρανούς
- Το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών
- Οι καιρικές συνθήκες στην περιοχή

Αφού καθοριστούν λοιπόν τα όρια του κοιτάσματος στο οποίο θα γίνει εξόρυξη, τότε πλέον προκύπτουν τα προς εκμετάλλευση αποθέματα, το διάγραμμα εσωτερικών μεταφορών και ο χώρος εναπόθεσης των στείρων υλικών.

Στη δεύτερη φάση της μελέτης εκμετάλλευσης, καθορίζεται το πιο συμφέρον πρόγραμμα παραγωγής για τις επικρατούσες συνθήκες. Από το πρόγραμμα αυτό, για την εκπόνηση του οποίου χρειάζεται αρκετή εμπειρία γύρω από οικονομικά θέματα, καθορίζονται το μέγεθος του απαιτούμενου μηχανολογικού εξοπλισμού, το απαιτούμενο προσωπικό καθώς και άλλα χρήσιμα στοιχεία (π.χ. κεφάλαια κίνησης, απόσβεση επενδύσεων κλπ.).

Για να ξεκινήσει η εξόρυξη θα πρέπει να καθοριστούν:

- η επιλογή της μεθόδου εξόρυξης
- η προσπέλαση από το υπάρχον οδικό δίκτυο και ο προγραμματισμός εσωτερικού δικτύου προς τα μέτωπα εξόρυξης
- η θέση εναπόθεσης των στείρων υλικών

- η οργάνωση της αποκάλυψης, προετοιμασίας και εξόρυξης σε κάθε μέτωπο
- ο κατάλληλος μηχανολογικός εξοπλισμός
- το αναγκαίο ανά ειδικότητα προσωπικό

4.4.1 Τύποι εξόρυξης

Υπάρχουν δύο τύποι εξόρυξης, η *επιφανειακή* και η *υπόγεια*. Η επιλογή του τύπου εξόρυξης εξαρτάται κυρίως από τη θέση του κοιτάσματος, τη μορφολογία της εδαφικής επιφάνειας, το πάχος του μανδύα αποσάθρωσης και των υπερκείμενων στρωμάτων και τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες.

Κατά την εξόρυξη μεγάλων όγκων μαρμάρου υπάρχει πάντα ο κίνδυνος να δημιουργηθούν ανεπιθύμητες ρωγματώσεις στο πέτρωμα καθώς η σκληρότητα των πετρωμάτων δημιουργεί αρκετά τεχνικά προβλήματα (Ersoy, 2004).

4.4.1.1 Υπόγεια εξόρυξη

Η εξόρυξη γίνεται υπόγεια είτε όταν το κοιτάσμα αποτελείται από ένα ή περισσότερα στρώματα που βυθίζονται με μεγάλη κλίση (π.χ. λυχνίτης Πάρου), είτε όταν το μορφολογικό ανάγλυφο είναι πολύ απότομο (π.χ. Καρράρα Ιταλίας), ή ακόμη όταν το πάχος των υπερκείμενων, μη εκμεταλλεύσιμων πετρωμάτων είναι πολύ μεγάλο, σε βαθμό που να θεωρείται αντισυμβατική η εξόρυξη με επιφανειακή αποκάλυψη (π.χ. Ardesia, Ιταλία). Τέλος η εξόρυξη μπορεί να γίνει υπόγεια όταν οι κλιματολογικές συνθήκες είναι πολύ δυσμενείς λόγω μεγάλου υψομέτρου (π.χ. λευκό μάρμαρο στη Lasa Ιταλίας).



Πηγή: Σμπόνια, 2006.

Εικόνα 4.1: Υπόγεια εξόρυξη μαρμάρου, λατομείο Διονύσου Πεντέλης Α.Ε.Β.Ε., περιοχή Διόνυσος Αττικής.



Πηγή: Σμπόνια, 2006.

Εικόνα 4.2: Υπόγεια εξόρυξη μαρμάρου, λατομείο Διονύσου Πεντέλης Α.Ε.Β.Ε., περιοχή Διόνυσος Αττικής.

Άλλες φορές η υπόγεια εκμετάλλευση υπαγορεύεται από λόγους προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος, όπως είναι η περίπτωση του μαρμάρου Portoro Ιταλίας, που εξορύσσεται στο νησί Palmaria απέναντι από την πόλη La Spezia.

4.4.1.2 Επιφανειακή εξόρυξη

Πιο συχνά επιλέγεται η επιφανειακή εξόρυξη, η οποία είναι πιο εύκολη, λιγότερο επικίνδυνη, δεν απαιτεί μεγάλη εμπειρία, χρειάζεται μικρότερες επενδύσεις και μπορεί να πετύχει μεγάλες παραγωγές με μικρότερο κόστος.



Πηγή: Σμπόνια, 2006

Εικόνα 4.3: Επιφανειακή εξόρυξη μαρμάρου, λατομείο Διονύσου Πεντέλης Α.Ε.Β.Ε., περιοχή Διόνυσος Αττικής.

4.4.2 Έργα υποδομής, προσπέλαση, προετοιμασία μετώπων, εξόρυξη

Οι εργασίες που λαμβάνουν χώρα σε υπαίθριες εξορύξεις, είναι σε γενικές γραμμές οι παρακάτω, με δυνατότητα διαφοροποίησης: καλή διαμόρφωση του δρόμου προσπέλασης προς το λατομείο, υδροδότηση του λατομικού χώρου και κατασκευή υδατοδεξαμενής για τις απαραίτητες ποσότητες νερού που καταναλώνονται (προσωπικό, μηχανήματα), μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος ή τοποθέτηση ηλεκτρογεννήτριας, θεμελίωση και κατασκευή μόνιμων κτιριακών εγκαταστάσεων για τη φύλαξη των εκρηκτικών, τη στέγαση των μηχανημάτων, τη δημιουργία εστιατορίου και ιματισθικών σε κατάλληλες θέσεις και με τέτοιο τρόπο ώστε να μην εμποδίζονται οι εργασίες εκμετάλλευσης.

Κατόπιν πρέπει να εντοπιστούν οι θέσεις δημιουργίας των μετώπων εξόρυξης και να ανοιχθούν οδικές προσπελάσεις. Η αποκάλυψη του κοιτάσματος από τα υπερκείμενα υλικά ξεκινά και προχωρά από τα ανώτερα προς τα κατώτερα υψόμετρα, όπως προχωρά και η εξόρυξη. Στην αρχή της εκμετάλλευσης δίνεται βάρος στις εργασίες αποκάλυψης, παράλληλα με την εξόρυξη που αρχίζει στις ανώτερες βαθμίδες, ώστε η προπαρασκευή να προηγείται αρκετά της κύριας εξόρυξης και ταυτόχρονα να μελετώνται όλοι οι παράγοντες για να μειώνεται στο ελάχιστο η πιθανότητα σφάλματος των εκτιμήσεων.

Ο τρόπος και τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν για την αποκάλυψη εξαρτώνται από το είδος των υπερκείμενων πετρωμάτων και τον τρόπο που αυτά συνδέονται με τα στρώματα του μαρμάρου. Η απομάκρυνση των στείων υλικών τόσο κατά την αποκάλυψη όσο και κατά την εξόρυξη γίνεται με φορτηγό ή/και φορτωτή. Ο χώρος απόθεσής τους πρέπει να επιλεγεί μακριά από τους χώρους εκμετάλλευσης, ώστε να μην καλύπτει μέρος του προς εκμετάλλευση κοιτάσματος, να μη δημιουργεί προβλήματα στις εν γένει εργασίες του λατομείου (π.χ. απόθεση σε περιοχές κάτω από τις οποίες περνάει δρόμος προσπέλασης), και να δημιουργεί όσο γίνεται λιγότερα προβλήματα στο περιβάλλον.

Μετά την αποκάλυψη του κοιτάσματος ακολουθεί η προετοιμασία των μετώπων εξόρυξης, η διαμόρφωση των βαθμίδων, κ.λπ. Η εξόρυξη στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις γίνεται με τη διαμόρφωση των μετώπων παραγωγής σε βαθμίδες. Οι βαθμίδες ονομάζονται ανοικτές ή κλειστές αναλόγως με το αν διαμορφώνονται στην πλαγιά λόφου ή αν εξελίσσονται σε βάθος, σε μια οριζόντια επίπεδη περιοχή.

Η χρησιμοποίηση αλυσοπρίονων για τον ορθογωνισμό των ογκομαρμάρων έχει μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως είναι το μικρό λειτουργικό κόστος και οι επίπεδες επιφάνειες που προκύπτουν από την κοπή, επάνω στις οποίες μπορούν να φανούν τα διάφορα ελαττώματα του μαρμάρου.

Η χρησιμοποίηση της συρματοκοπής με σύρμα διαμαντέ⁷ για τον ορθογωνισμό των ογκομαρμάρων έχει υψηλότερο κόστος αλλά μαζί με το ‘γάζωμα’⁸ με διατρήματα είναι τα πιο συνηθισμένα στην Ελλάδα.

Κατά τη διαδικασία της εξόρυξης οι πιο συνηθισμένοι τρόποι απόσπασης των ογκολίθων είναι οι εξής:

- *απλά μέσα*
 - α) Το οριζόντιο κόψιμο γίνεται με τη χρήση συρόμενης αερόσφυρας (ντουκαδόρου), για την διάτρηση των ογκολίθων κατά το οριζόντιο επίπεδο, και την αποκοπή («σήκωμα») του πετρώματος με τη χρήση εκρηκτικών.
 - β) Το κατακόρυφο κόψιμο γίνεται με συνεχή σειρά διατρημάτων ανά 10-20 cm σε ένα κατακόρυφο επίπεδο και χρήση κατά περίπτωση ακαριαίας θρυαλίδας ή σφηνών για την αποκοπή του ογκολίθου από το υπόλοιπο πέτρωμα.
- *σύγχρονα μέσα*
 - α) Το κατακόρυφο κόψιμο γίνεται, είτε με τη χρήση συρματοκοπής με σύρμα διαμαντέ, είτε κοινής συρματοκοπής, η οποία κόβει το μάρμαρο σε τετραγωνικούς όγκους.
 - β) Το οριζόντιο κόψιμο γίνεται είτε με συρματοκοπή με σύρμα διαμαντέ, είτε με κοινή συρματοκοπή, είτε με αλυσοπρίονο ή με τη χρήση συρόμενης αερόσφυρας (ντουκαδόρου) και εκρηκτικών (Το Ελληνικό Μάρμαρο, 1989).

Στη σχισμή που δημιουργείται διοχετεύεται νερό και άμμος. Το νερό μειώνει τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται από τις τριβές στο αδαμαντοφόρο σύρμα, ενώ η άμμος χρησιμοποιείται για να βελτιώνει τη λειαντική λειτουργία. Ο τεμαχισμός των ογκολίθων γίνεται συνήθως κατά τη μεγάλη διάσταση με συρματοκοπή ή διατρητικό φορτίο και κατά τη μικρή διάσταση με αδαμαντοφόρο σύρμα ή αερόσφυρες.

Η κύρια επίπτωση από αυτήν την φάση είναι ουσιαστικά η παραγωγή ακανόνιστων τεμαχίων, ρεταλιών και θρυμματισμένων κομματιών που προέρχονται από τις

⁷ Το σύρμα διαμαντέ αποτελείται από ένα συρματόσχοινο διαμέτρου περίπου 5mm, 7x7 κλώνων, στο οποίο είναι περασμένος (υπό μορφή χανδρών) ένας μεγάλος αριθμός κοπτικών σωμάτων (ανά μέτρο σύρματος είναι τοποθετημένα 30-50 κοπτικά σώματα) διαμέτρου 10 mm περίπου. Για να τηρούνται σταθερές οι αποστάσεις μεταξύ των κοπτικών σωμάτων τοποθετούνται ανάμεσα ορειχάλκινοι ή πλαστικοί δακτύλιοι και ελατήρια. Τα κοπτικά σώματα αποτελούνται από ένα χαλύβδινο πυρήνα, πάνω στον οποίο έχει τοποθετηθεί σκόνη διαμαντιών μέσα σε μάζα από μαλακό μέταλλο.

⁸ Γάζωμα με διατρήματα είναι όρυξη παράλληλων διατρημάτων σε ένα ή περισσότερα επίπεδα κατά τα οποία γίνεται στη συνέχεια η κοπή. Η κοπή επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, όπως τη χρήση σφηνών, υδραυλικών διαστολέων ή εκρηκτικών υλών.

εργασίες εξόρυξης, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπλαση του εδάφους ή σε άλλες χρήσεις. Η χρησιμοποίηση ακαριαίας θρυαλλίδας, μαύρης πυρίτιδας και σφηνών, καταπονούν μηχανικά το πέτρωμα και μειώνουν την εμπορική αξία των παραγομένων μαρμάρων.

Στα εργοστάσια, οι όγκοι ταξινομούνται ανάλογα με το είδος και τον τρόπο κοπής τους. Η τεχνολογία για την κοπή των ογκομαρμάρων σε πλάκες, χαρακτηρίζεται από την ικανότητα της κοπής τους σε μικρότερα μεγέθη (το μήκος και το πλάτος τους είναι ίδιο με εκείνο του τελικού προϊόντος, ενώ το πάχος είναι πέντε έως έξι φορές μεγαλύτερο από αυτό του τελικού προϊόντος). Σε αυτή την φάση τα στερεά απόβλητα περιλαμβάνουν λάσπη και τεμάχια μαρμάρου.

Η τελευταία λειτουργία είναι η κοπή τους σε τυποποιημένα μεγέθη, προκειμένου να αποκτήσουν τα προϊόντα τις απαραίτητες διαστάσεις. Οι διαδικασίες στίλβωσης και γυαλίσματος μπορούν να πραγματοποιηθούν σε εργοστάσια αλλά και μετά την τοποθέτησή τους. Συνήθως θεωρείται ότι το πρώτο γυάλισμα και στίλβωμα πραγματοποιείται στη φάση της παραγωγής των μαρμάρων (Nicoletti, 2001).

4.4.3 Μέσα εξόρυξης

Τα μέσα που κυρίως χρησιμοποιούνται στην εξόρυξη είναι οι αερόσφυρες, η συρματοκοπή και το αλυσοπρίονο.

Για την επιλογή των καταλληλότερων τρόπων εξόρυξης συνεκτιμώνται διάφοροι παράμετροι, όπως η παρουσία ή μη μεγάλων πάγκων, η ύπαρξη φυσικών ρωγματώσεων, ρήγματα, η σκληρότητα του μαρμάρου, η διατρητικότητα του, η επιδεκτικότητα να σχίζεται ευκολότερα προς ορισμένες διευθύνσεις, η ύπαρξη νερού για χρήση και τέλος η δυνατότητα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

4.4.3.1 Αερόσφυρες

Η χρήση τους γίνεται εύκολα σε όλες σχεδόν τις κατηγορίες μαρμάρων στην Ελλάδα και δίνει τη δυνατότητα να γίνει εξόρυξη εκμεταλλευόμενη τον τεκτονισμό που έχουν τα μαρμαροφόρα κοιτάσματα. Η εφαρμογή της δεν χρειάζεται ειδικευμένο προσωπικό και γίνεται με απλά μέσα, χωρίς την ανάγκη μεγάλου αρχικού κεφαλαίου και άλλων ειδικών εγκαταστάσεων. Δεν πρέπει να παραβλέπεται η επιπλέον καταπόνηση του μαρμάρου, ο μικρότερος ρυθμός παραγωγής και το μεγαλύτερο κόστος καθώς και το ότι το τελικό προϊόν θέλει περισσότερο ορθογωνισμό.

Οι αερόσφυρες (πιστόλες), που αποτελούν το βασικό διατρητικό εργαλείο στο λατομείο, είναι όλες κρουστικές και λειτουργούν με πεπιεσμένο αέρα. Οι υδραυλικές σφύρες που λειτουργούν με λάδι χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερο στα λατομεία, παρόλο που έχουν αρκετά πλεονεκτήματα, όπως μειωμένο θόρυβο, λιγότερες δονήσεις, οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας, μεγαλύτερη (περίπου 70%) διατρητική ικανότητα κλπ.

Οι διατρητικές μηχανές χρησιμοποιούνται για να ανοίγουν στο πέτρωμα κατακόρυφες οπές, διαμέτρου 90, 140, 220 και 320 mm και βάθους μέχρι 15 m. Οι οπές αυτές χρησιμοποιούνται είτε για την τοποθέτηση των αυτόματων μηχανισμών

κοπής καθόδου του σύρματος της συρματοκοπής, είτε για ερευνητικούς σκοπούς. Στην πρώτη περίπτωση η διάμετρος της οπής είναι συνήθως 220mm και η κορώνα θρυμματίζει ολοσχερώς το πέτρωμα. Στη δεύτερη περίπτωση η διάμετρος της οπής είναι μικρότερη (90 mm) και η κορώνα βοηθάει στην εξαγωγή «καρότου», η μελέτη του οποίου δίνει πληροφορίες για την ποιότητα του μαρμάρου σε βάθος.

Η αύξηση της παραγωγής και η ελάττωση του κόστους εξαρτώνται κυρίως από την επιλογή ενός καλού αεροσυμπιεστή, η ποιότητα και η απόδοση του οποίου εξαρτάται από το σύστημα λίπανσής του. Η καλή λίπανση βελτιώνει τη λειτουργία του αεροσυμπιεστή, μειώνει το κόστος συντήρησης και την κατανάλωση ενέργειας και καυσίμου και γενικά αυξάνει το χρόνο ζωής του. Ένα σοβαρό ζήτημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί στο λατομείο είναι η μεταφορά του πεπιεσμένου αέρα, συχνά σε μεγάλες αποστάσεις, χωρίς να μειωθεί η πίεση και η απόδοση των αεροσφυρών. Είναι γνωστό ότι κατά τη ροή του αέρα μέσα στις σωληνώσεις παρατηρείται πτώση πίεσης, που οφείλεται στην τριβή του αέρα με τα τοιχώματα του σωλήνα.

Αυτή η μικρή πτώση της πίεσης εξαρτάται από τη διάμετρο, το μήκος και την κατάσταση της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα. Όταν ο πεπιεσμένος αέρας μεταφέρεται σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 20 m, είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται μεταλλικοί αντί ελαστικοί σωλήνες, γιατί έχουν πολύ μικρότερο συντελεστή τριβής. Ελαστικοί σωλήνες χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που ο αεροσυμπιεστής είναι συνήθως πετρελαιοκίνητος και μπορεί να μετακινείται κοντά στο μέτωπο εξόρυξης. Σε όλες τις περιπτώσεις μεταφοράς πεπιεσμένου αέρα είναι πρακτικά χρήσιμο να κατασκευάζεται στο τέλος της σωληνώσεως αεριοφυλάκιο, από το οποίο τροφοδοτούνται με αέρα οι ελαστικοί σωλήνες (Σταυρακάκης, 1992)

4.4.3.2 Συρματοκοπή

Ένα άλλο μέσο κοπής είναι η συρματοκοπή η οποία τα τελευταία χρόνια γνώρισε σημαντικές βελτιώσεις (πολλές ταχύτητες, αυτόματο κατέβασμα του σύρματος κλπ.). Με τη συρματοκοπή δίνεται η δυνατότητα να κοπούν μεγάλοι όγκοι μαρμάρων ενώ με κατάλληλο συνδυασμό με τις ρωγματώσεις του κοιτάσματος αυξάνεται η ποσότητα και βελτιώνεται η ποιότητα του εξορυσσόμενου μαρμάρου.

Η συρματοκοπή ή καλύτερα η εγκατάσταση της συρματοκοπής περιλαμβάνει πρώτα απ' όλα το ελικοειδές σύρμα, το οποίο κάνοντας μια σύνθετη κίνηση σε ευθεία γραμμή παρασύρει στην πορεία του χαλαζιακή άμμο και κόβει έτσι το μάρμαρο. Το ελικοειδές σύρμα, έχει πάχος 3,5 - 5,5 mm και μήκος 1.000 m για να μπορεί να ψύχεται και να μη χρειάζεται να αντικαθίσταται συχνά λόγω φθοράς. Το πάχος του σύρματος εξαρτάται από την επιδεκτικότητα του μαρμάρου στην κοπή. Όσο πιο σκληρό είναι το πέτρωμα τόσο μικρότερη πρέπει να είναι η διάμετρος του σύρματος.

Επίσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι για καλύτερο κόψιμο καταναλίσκεται περισσότερη ενέργεια. Η διάρκεια ζωής του σύρματος εξαρτάται από την ορυκτολογική σύσταση και τα ιστολογικά χαρακτηριστικά του μαρμάρου, καθώς και από τον τύπο της χρησιμοποιούμενης άμμου.

Όταν κοπεί το σύρμα από οποιαδήποτε αιτία, μπορεί να γίνει ασφαλής και γρήγορη συγκόλλησή του με ειδική ηλεκτροσυγκολλητική μηχανή. Η αντικατάσταση του φθαρμένου σύρματος με καινούργιο, μπορεί να γίνει ταχύτατα με ειδικό μηχανισμό (anaspertice). Πρέπει να επισημανθεί ιδιαίτερα ότι εκείνο που κόβει το πέτρωμα δεν είναι το σύρμα αλλά η άμμος. Έτσι όσο περισσότερο χαλαζιακή (όχι απλά πυριτική) είναι η άμμος, τόσο καταλληλότερη θεωρείται.

Για να αρχίσει η κοπή το σύρμα περνιέται από δύο κάθετα μεταξύ τους διατρήματα (π.χ. ένα κατακόρυφο και ένα οριζόντιο ή δύο οριζόντια υπό γωνία 90 μοιρών) και τα ελεύθερα άκρα του σύρματος συνδέονται μεταξύ τους με κοχλιώσεις, έτσι ώστε να αποτελέσουν μια κλειστή στεφάνη. Στη συνέχεια με τη βοήθεια ενός κινητήριου μηχανισμού που περιστρέφει μια ειδική τροχαλία, η οποία παρασύρει το σύρμα, επιτυγχάνεται η συνεχής κίνηση του τελευταίου μέσα στη σχισμή που έχει δημιουργηθεί στο μάρμαρο.

Ο κινητήριος μηχανισμός είναι τοποθετημένος σε ειδικές σιδηροτροχιές με ένα οδοντωτό κανόνα μεταξύ τους. Για την τροχαλία χρησιμοποιείται συνήθως ηλεκτρικός ή υδραυλικός κινητήρας ή κινητήρας Diesel. Με τη βοήθεια ενός οδοντωτού τροχού επιτυγχάνεται η συνεχής τάνυση του σύρματος, ώστε να ασκείται η αναγκαία πίεση στο πέτρωμα. Η επιφάνεια κοπής ψύχεται συνεχώς με νερό.

Τέλος, σημειώνεται ότι η συρματοκοπή δεν χρησιμοποιείται μόνο στις περιπτώσεις αποκοπής μεγάλων και υγιών ογκολίθων, αλλά και στις περιπτώσεις που το πέτρωμα είναι ευαίσθητο στις ωστικές καταπονήσεις, ανεξάρτητα από την ύπαρξη αρκετών φυσικών ρωγματώσεων.

Η απόδοση της συρματοκοπής με σύρμα διαμαντέ που κυμαίνεται μεταξύ 3 και 10 m²/h, εξαρτάται από τον τύπο της μηχανής, την κοκκομετρία του διαμαντιού, τις μηχανικές ιδιότητες του μαρμάρου και την ταχύτητα του αδαμαντοσύρματος. Η διάρκεια ζωής ενός αδαμαντοσύρματος, αν χρησιμοποιηθεί σωστά όταν κόβει ένα μέσης σκληρότητας μάρμαρο (π.χ. χιονόλευκο μάρμαρο της Θάσου), μπορεί να φθάσει τα 500m² (Σταυρακάκης, 1992).

4.4.3.3 Αλυσοπρίονα

Σε μερικά λατομεία μαλακών κυρίως πετρωμάτων χρησιμοποιούνται αλυσοπρίονα. Όλοι οι τύποι των αλυσοπρίονων φέρουν βραχίονα ωφέλιμου μήκους κατακόρυφης και οριζόντιας κοπής μέχρι 3m, στον οποίο προσαρμόζεται ειδική αλυσίδα κοπής. Τα κοπτικά άκρα της αλυσίδας που έχουν κυλινδρικό ή πρισματικό σχήμα, είναι κατασκευασμένα από συνθετικά διαμάντια τοποθετημένα σε μεταλλικό σύνδεσμο. Τα κυλινδρικά κοπτικά άκρα χρησιμοποιούνται για την κοπή μαλακών πετρωμάτων και τα πρισματικά για σκληρότερα πετρώματα.

Τα πρισματικά άκρα προσαρμόζονται μηχανικά (με βίδα) στην αλυσίδα, ώστε η κοπτική τους ακμή να μπορεί να αλλάξει προσανατολισμό τέσσερις φορές, αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής τους και μειώνοντας τα αντίστοιχο κόστος. Η βασική διαφορά μεταξύ των αλυσοπρίονων που χρησιμοποιούνται στην επιφανειακή

και την υπόγεια εξόρυξη είναι οι διαφορετικός τρόπος στήριξης και μετακίνησης του σώματος της μηχανής, πάνω στο οποίο στηρίζεται ο βραχίονας με την αλυσίδα κοπής. Το αλυσοπρίονο είναι ένα μηχανήμα με μεγάλες παραγωγικές δυνατότητες (της τάξης των 10 m²/h) αλλά με αρκετά μειονεκτήματα, όπως είναι η υψηλή τιμή αγοράς του, το περιορισμένο βάθος κοπής κ.ά. (Το Ελληνικό Μάρμαρο, 1989).

4.4.3.4 Κοπή με λείζερ

Μια καινούργια μέθοδος για την κοπή του μαρμάρου είναι η κοπή με λείζερ. Για την εφαρμογή της λαμβάνονται υπόψη τόσο τα χαρακτηριστικά του μαρμάρου, όσο και η απόδοση της ακτίνας του λείζερ.

Όλο και υψηλότερης απόδοσης λείζερ χρησιμοποιούνται για τις διαδικασίες της διάτρησης και της κοπής. Το αναλυτικό μοντέλο της προσομοίωσης για τη διαδικασία της κοπής του μαρμάρου με λείζερ υλοποιείται σε έναν υπολογιστή. Το μοντέλο υλοποίησης καθορίζεται από το σχήμα και τις διαστάσεις του πετρώματος, (Turchetta, 2005).

4.5 Μηχανολογικός εξοπλισμός

Ο αποκολλημένος όγκος μαρμάρου 'block'⁹, μεταφέρεται στην πλατεία του λατομείου, εκτός αν είναι μεγάλων διαστάσεων όπου και δεν είναι δυνατή η μετακίνησή του με τα υπάρχοντα μέσα, όποτε πραγματοποιείται επιτόπου τεμαχισμός σε μικρότερους όγκους.

Η μεταφορά τους στην πλατεία γίνεται με μηχανολογικό εξοπλισμό, φορτωτές, τσάπες, φορτηγά, αεροσυμπιεστές, wagon drill κ.λπ.. Επίσης χρησιμοποιούνται ειδικοί περιστρεφόμενοι σταθεροί γερανοί (derricks), οι οποίοι έχουν μεγάλη ανυψωτική ικανότητα. Θα πρέπει όμως να γίνει προσεκτική εκτίμηση διαφόρων παραγόντων, έτσι ώστε να γίνει η καλύτερη επιλογή για το καλύτερο αποτέλεσμα με τη μικρότερη οικονομική επιβάρυνση (Τσιραμπίδης, 2000).

Χρειάζεται προγραμματισμός και κατάλληλη επιλογή του εξοπλισμού λαμβάνοντας πάντα υπόψη, εκτός από την οικονομική αξία, τη δυνατότητα απόδοσης, την παλαιότητα, την πιθανότητα συχνών βλαβών κ.λπ. Σημαντικός παράγοντας για την καλή λειτουργία και απόδοση όλων των μηχανημάτων είναι η καλή και συχνή συντήρηση (Το Ελληνικό Μάρμαρο, 1989).

4.6 Επεξεργασία ογκομαρμάρων και παραγωγή προϊόντων

Μετά την εξόρυξη των 'block', ακολουθεί η επεξεργασία για την παραγωγή των διαφόρων προϊόντων του μαρμάρου. Το στάδιο αυτό αποτελεί πολύ σημαντικό τμήμα της σύγχρονης μαρμαροβιομηχανίας.

Η επεξεργασία μπορεί να θεωρηθεί ότι γίνεται σε τρεις φάσεις:

⁹ Όγκος μαρμάρου από την εξόρυξη κυμαίνονται από 0.5 – 600 m³. Οι τυπικές διαστάσεις τέτοιων όγκων είναι 3.00 m (μήκος) * 1.90 m (ύψος) * 1.60 m (φάρδος).

- Τον ορθογωνισμό των τυχόν ακανόνιστων ή ελαττωματικών όγκων.
- Το σχίσσιμο ή τεμαχισμό των ογκομαρμάρων για την παραγωγή ενδιάμεσων προϊόντων, όπως πλάκες κ.ά.
- Την περαιτέρω επεξεργασία των ενδιάμεσων προϊόντων για την παραγωγή των τελικών.

4.6.1 Ορθογωνισμός των όγκων

Ο ορθογωνισμός αποτελεί την πρώτη επεξεργασία που υφίστανται οι εξορυσσόμενοι όγκοι οι οποίοι προορίζονται για σχίσσιμο, επειδή συνήθως έχουν εξωτερικά ελαττώματα που πρέπει να αφαιρεθούν. Ο ορθογωνισμός γίνεται με διάφορα μέσα όπως τη χρήση συρματοκοπής με σύρμα διαμαντέ, τη χρήση "κόφτη" με μεγάλο δίσκο αλλά και με αερόσφυρες ή υδραυλικές σφύρες, που αποτελούν τον απλούστερο και συνηθέστερο τρόπο ορθογωνισμού.

4.6.2 Σχίσσιμο των όγκων

Για την εκτέλεση της δεύτερης φάσης της επεξεργασίας, από την οποία προκύπτουν τα ενδιάμεσα προϊόντα, εφαρμόζονται δύο τρόποι, το σχίσσιμο των ορθογωνισμένων όγκων σε ειδικά σχιστήρια (τελάρια) και η κοπή των ορθογωνισμένων όγκων σε μηχανήματα που διαθέτουν κατακόρυφους και οριζόντιους δίσκους κοπής.

Όσον αφορά το πρώτο τρόπο κοπής τα τελάρια είναι μηχανήματα που διαθέτουν ένα αριθμό από παράλληλες αδαμαντοφόρες λάμες (ο αριθμός κυμαίνεται από 25 μέχρι 80, ανάλογα με το μέγεθος του μηχανήματος) σε κατάλληλες αποστάσεις, ώστε κατά την κοπή να προκύπτουν πλάκες πάχους 2 ή 3 cm. Οι όγκοι τοποθετούνται πάνω σε ένα βαγόνι και οι λάμες κινούνται παλινδρομικά επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο το σχίσσιμο.

Ο δεύτερος τρόπος κοπής χρησιμοποιεί μηχανήματα που διαθέτουν ένα ή και περισσότερους κατακόρυφους δίσκους καθώς και ένα οριζόντιο. Με τους κατακόρυφους δίσκους κόβονται μία ή και περισσότερες πλάκες πάχους από 8 mm μέχρι 3 cm, ή ορθογώνια πρίσματα 'μπαστούνια' πάχους 15 ή 20 cm.

4.6.3 Παραγωγή τελικών προϊόντων

Η συγκεκριμένη φάση περιλαμβάνει δύο στάδια. Στο πρώτο τα τελικά προϊόντα επεξεργασίας παίρνουν το οριστικό τους σχήμα, ενώ στο δεύτερο γίνεται το 'φινίρισμα', δηλαδή η λείανση και στίλβωση των ορατών επιφανειών τους.

Στο πρώτο στάδιο γίνεται η κοπή των τελικών προϊόντων μαρμάρου στις επιθυμητές διαστάσεις. Αν τα ενδιάμεσα προϊόντα είναι πλάκες που έχουν σχιστεί σε τελάρια, τότε αυτές κόβονται στις τελικές τους διαστάσεις σε μηχανήματα εφοδιασμένο με

περιστρεφόμενο αδαμαντοφόρο δίσκο ("κόφτη") που βρίσκεται σε κατακόρυφο επίπεδο.

Ο δίσκος έχει τη δυνατότητα να προωθείται οριζοντίως, παραμένοντας πάντα στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο, ενώ η πλάκα του μαρμάρου τοποθετείται πάνω σε μια σταθερή οριζόντια τράπεζα. Αν αντί για τελάρο χρησιμοποιείται μηχανήμα με οριζόντιο και κατακόρυφο δίσκο, τότε τα ορθογώνια πρίσματα ("μπαστούνια") που έχουν παραχθεί, σχίζονται σε πλάκες κατάλληλου πάχους (από 8 μέχρι 30 mm), σε ειδικό μηχανήμα με πολλαπλούς παράλληλους δίσκους στις αντίστοιχες αποστάσεις.

Οι επιμήκεις πλάκες που παράγονται και με τους δύο τρόπους κόβονται στη συνέχεια σε τετράγωνα ή ορθογώνιες πλάκες με μικρότερο μήκος σε ειδικό μηχανήμα με δίσκο κοπής ("κεφαλοκόφτη"). Μετά την κοπή των πλακών μαρμάρου στις επιθυμητές διαστάσεις τους ακολουθεί η τελική φάση της κατεργασίας, της οποίας σκοπός είναι να προσδώσει στην επιφάνεια του μαρμάρου μια λεία και στιλπνή μορφή, διότι μόνο με τον τρόπο αυτό μπορούν να αξιοποιηθούν πλήρως τα αισθητικά χαρακτηριστικά του.



Πηγή: Σμπόνια, 2006.

Εικόνα 4.4: Χώρος επεξεργασίας μαρμάρου, λατομείο Διονύσου Πεντέλης Α.Ε.Β.Ε., περιοχή Διόνυσος Αττικής.

Η τελική αυτή φάση γίνεται πάντα στο εργοστάσιο επεξεργασίας ή στο μαρμαρογλυφείο και πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο γίνεται το 'καλιμπράρισμα' και η προκαταρκτική λείανση των πλακών και στο δεύτερο στάδιο γίνεται η τελική λείανση και η στίλβωση. Μετά την προκαταρκτική λείανση, ακολουθεί η τελική λείανση και τέλος η στίλβωση. Λείανση είναι η δημιουργία επιφάνειας που επιτρέπει σχετικά μικρή αντανάκλαση του φωτός και είναι απαραίτητη για να αναδειχθεί και να τονισθεί το χρώμα και οι αποχρώσεις των πλακών του μαρμάρου.

Για τη λείανση απαιτείται αποξεστικό υλικό καθαρισμού ελαφρώς αλκαλικό που δεν περιέχει καυστικά ή τραχιά συστατικά και το οποίο πρέπει να διαλύεται σε σκληρό

νερό, δεν τρίβει ή χαράζει την επιφάνεια του μαρμάρου και δεν προκαλεί μικρορωγμές, όπου μπορεί να συγκεντρωθούν ακαθαρσίες και να προκληθεί αποχρωματισμός.

Ως τέτοιο υλικό χρησιμοποιείται συνήθως το ανθρακοπυρίτιο. Ο συνηθισμένος τρόπος λείανσης είναι σήμερα η υγρή λείανση με λειαντικές πέτρες που αποτελούνται από μια μάζα μαγνησίτη ή συνθετική ρητίνη, μέσα στην οποία είναι διεσπαρμένοι κόκκοι ανθρακοπυριτίου. Οι πέτρες αυτές τοποθετούνται επάνω στις περιστρεφόμενες μεταλλικές κεφαλές και μέσω αυτών πιέζονται πάνω στην υπό επεξεργασία επιφάνεια.



Πηγή: Σμπόνια, 2006.

Εικόνα 4.5: Μηχάνημα λείανσης μαρμάρου, λατομείο Διονύσου Πεντέλης Α.Ε.Β.Ε., περιοχή Διόνυσος Αττικής.

Η λείανση πραγματοποιείται σε διαδοχικά στάδια κατά τα οποία μειώνεται προοδευτικά το μέγεθος των κόκκων του ανθρακοπυριτίου αλλά και η περιεκτικότητα της λειαντικής πέτρας σε αυτό. Μετά την τελική λείανση ακολουθεί η τελική επεξεργασία που ονομάζεται τελική στίλβωση η οποία δημιουργεί στιλπνή επιφάνεια, που τονίζει το χρώμα και τα σχέδια του μαρμάρου. Η στίλβωση δεν είναι πάντα απαραίτητη ή και εφικτή, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μαρμάρου. Πριν από αυτή, η επιφάνεια του μαρμάρου πλένεται με το υλικό καθαρισμού που είναι συνήθως διάλυμα οξαλικού οξέος.

Στη συνέχεια η κατεργασμένη επιφάνεια ξεπλένεται με καθαρό νερό με τη βοήθεια μαλακού υφάσματος για απομάκρυνση του υλικού καθαρισμού και τρίβεται με κεφαλές που φέρουν μαλακό μάλλινο ύφασμα ("στούπα") για να στεγνώσει. Η χρήση οξαλικού οξέος αναφέρεται και ως αδιαβροχοποίηση. Η τελική επεξεργασία περιλαμβάνει πολλαπλό κέρωμα, δηλαδή στίλβωση με χρήση ειδικής αλοιφής που περιέχει κερί, στιλβωτική σκόνη και χρώμα (Αποστολίδης. κ.ά.).

4.7 Εκτίμηση των επιπτώσεων κατά τη μεταφορά

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια εκτίμησης του κύκλου ζωής του μαρμάρου διαδραματίζει η μεταφορά των ογκομαρμάρων και των τελικών προϊόντων στο εργοστάσιο επεξεργασίας. Για το λόγο αυτό πρέπει να καταγράφονται όλες οι εισροές και οι εκροές που σχετίζονται με τη μεταφορά (κατανάλωση ενέργειας και καυσίμων, η εκπομπή αέριων ρύπων, η αποδέσμευση αποβλήτων κατά την κατασκευή και συντήρηση των οχημάτων). Τα μέσα που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι γερανογέφυρες διαφόρων διαστάσεων και ανυψωτικής ικανότητας, τροχοφόροι γερανοί και βαγόνια.

Μετά το τέλος της επεξεργασίας, τα εμπορεύσιμα ογκομάρα και τα τελικά προϊόντα μαρμάρου, τα οποία συνήθως συσκευάζονται σε παλέτες μεταφέρονται με περionoφόρα οχήματα (κλαρκ) στις αποθήκες. Η μεταφορά των προϊόντων μετά την έξοδο τους από το εργοστάσιο επεξεργασίας και η διανομή τους διαδραματίζει, επίσης πολύ σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση του κύκλου ζωής, εφόσον οι ενεργειακές απαιτήσεις των μεταφορών αποτελούν σημαντικό τμήμα των συνολικών απαιτήσεων και ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος των μεταφορικών μέσων.

Συνεπώς οι επιπτώσεις που προκαλούνται στο περιβάλλον από τη μεταφορά μετά την έξοδο τους από το εργοστάσιο επεξεργασίας και τη διανομή τους, κυρίως από την η κατανάλωση ενέργειας και την εκπομπή αέριων ρυπαντών, πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στην διαδικασία εκτίμησης του κύκλου ζωής του μαρμάρου.

Όσον αφορά την καταγραφή της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του μαρμάρου, η εκτίμηση δεν είναι εύκολη και χρειάζεται να συνυπολογιστούν οι εξής τρεις παράγοντες:

- Το ενεργειακό περιεχόμενο των καυσίμων που καταναλώνονται άμεσα από τα διάφορα μέσα καθώς και η απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή των καυσίμων.
- Η ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή και συντήρηση των μεταφορικών μέσων και η οποία είναι το άθροισμα μιας σειράς από συνιστώσες και παράγοντες.
- Η απαιτούμενη ενέργεια για τη δημιουργία και συντήρηση των συστημάτων υποδομής (δηλαδή του οδικού δικτύου) που χρειάζονται για την πραγματοποίηση των μεταφορών.

Οι ενεργειακές απαιτήσεις του συνολικού συστήματος των οδικών μεταφορών μπορούν να θεωρηθούν ως συνισταμένη των ενεργειακών απαιτήσεων των τριών παραπάνω συνιστωσών, οι οποίες αποτελούν σημαντικές εισροές στον κύκλο ζωής του μαρμάρου και πρέπει να καταγράφονται στο στάδιο της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών.

Η κατανάλωση ενέργειας στις οδικές μεταφορές είτε με diesel είτε με βενζίνη, είναι ευαίσθητη σε μια σειρά από παράγοντες όπως η ταχύτητα, το μεταφερόμενο φορτίο, το είδος του οχήματος, του καυσίμου κ.λπ. Άλλος ένας παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση των μέσων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του μαρμάρου, ο οποίος είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια γιατί δεν υπάρχουν αξιόπιστα στοιχεία είναι οι κυκλοφοριακές συνθήκες.

Η ενέργεια κατασκευής και συντήρησης των οχημάτων, περιλαμβάνει την ενέργεια που καταναλώνεται για την κατασκευή των οχημάτων, την παραγωγή λιπαντικών και τη λίπανση των οχημάτων, την κατασκευή και τοποθέτηση ελαστικών, τη συντήρηση των οχημάτων και την κατασκευή των ανταλλακτικών τους, κ.ά. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ο υπολογισμός των ενεργειακών αυτών απαιτήσεων είναι εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία, η οποία μπορεί να βελτιωθεί στο μέλλον, αν ληφθεί υπόψη ότι η εκτίμηση του κύκλου ζωής έχει τεράστιες δυνατότητες ανάπτυξης.

Εκτός από την κατανάλωση ενέργειας και καυσίμων, η δραστηριότητα της μεταφοράς αποτελεί σημαντική πηγή ρύπανσης του περιβάλλοντος, καθώς είναι υπεύθυνη για την περιβαλλοντική υποβάθμιση, ως αποτέλεσμα της εκπομπής διαφόρων αέριων ρύπων, όπως το διοξείδιο του θείου (SO_2), των οξειδίων του αζώτου (NO_x), το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα (CO , CO_2), των οργανικών πτητικών ενώσεων (VOC), των υδρογονανθράκων (HC), κ.λπ. Τα επίπεδα εκπομπών των διαφόρων ρύπων εξαρτώνται από αρκετούς παράγοντες όπως η συντήρηση του οχήματος, το είδος του δρόμου, ο τρόπος οδήγησης κ.λπ. (Αποστολίδης, 1998).

Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζεται γραφικά μια νέα γραμμή παραγωγής προϊόντων μαρμάρου:

4.8 Επιπτώσεις στο περιβάλλον και παραγωγή αποβλήτων

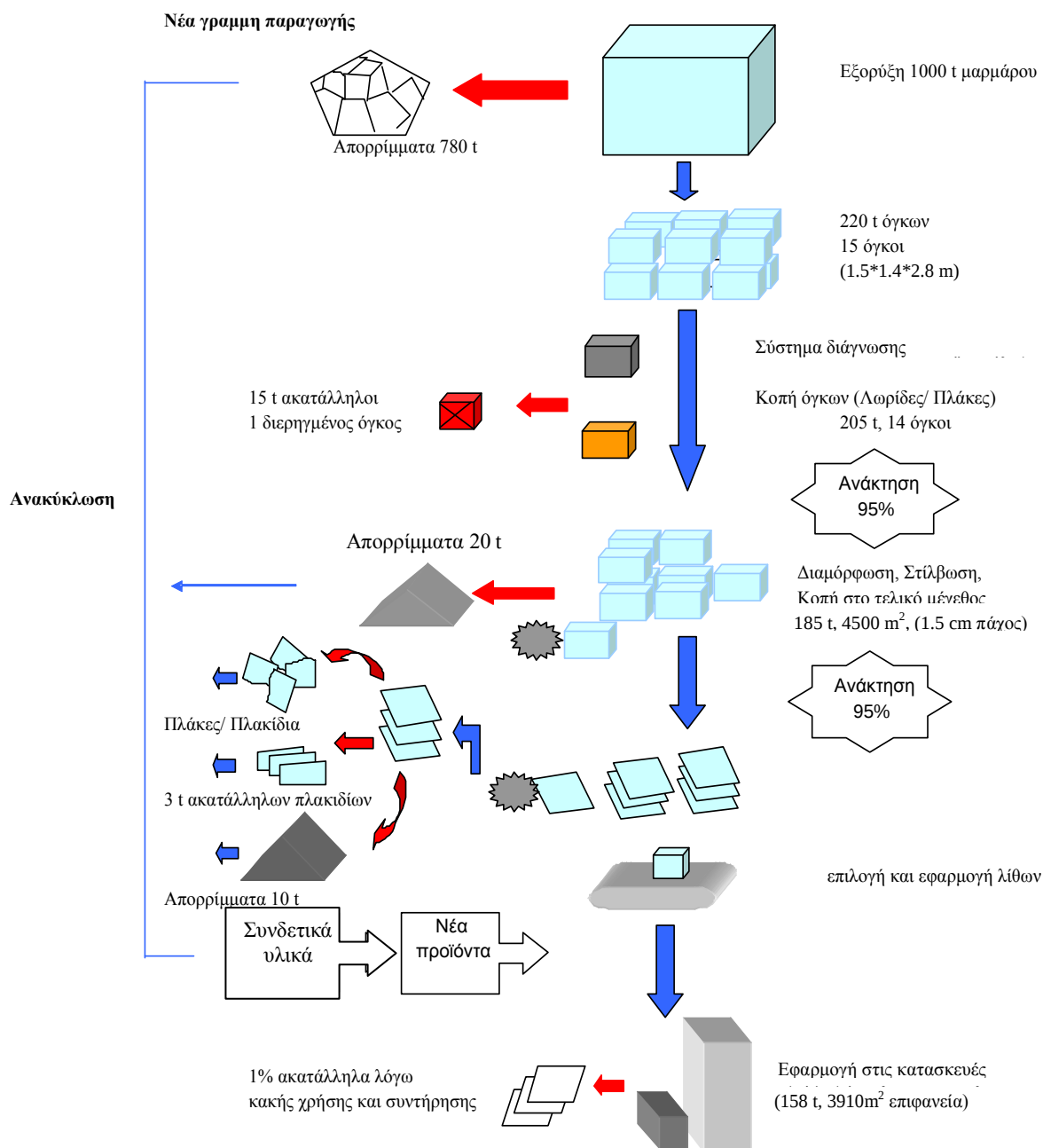
Οι κύριες επιπτώσεις στο περιβάλλον από τα απόβλητα που παράγονται κατά τη λειτουργία των λατομείων μαρμάρου μπορούν να διακριθούν σε δύο κύριες κατηγορίες, στις μόνιμες και στις προσωρινές. (Το Ελληνικό Μάρμαρο, 1989).

Ως *μόνιμες* μπορεί να θεωρηθούν :

- η μεταβολή της τοπογραφίας και η αλλαγή της μορφολογίας του εδάφους που έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση του τοπίου και την ερήμωσή του
- η εξαφάνιση της φυτικής γης και η εκδίωξη των θηραμάτων (καταστροφή πανίδας και χλωρίδας)
- διαταραχή της ισορροπίας από ρύπανση των υδάτων

Οι τοπογραφικές αλλαγές και οι διαρρήξεις πραγματοποιούνται σε μικρές περιοχές κατά τη διάρκεια της εξόρυξης, οι οποίες πρόκειται να αναδιαμορφωθούν εκ νέου από εργασίες αποκατάστασης σε μεταγενέστερο στάδιο. Επομένως, οι

περιβαλλοντική επίπτωση της μορφολογίας τείνει να θεωρηθεί ως προσωρινή τα τελευταία χρόνια.



Λασκαρίδης 2006.

Πηγή: MARMIN 2006

Σχήμα 4.1: Νέα Γραμμή Παραγωγής.

Ως προσωρινές μπορεί να θεωρηθούν :

- Η ρύπανση της ατμόσφαιρας
- Η ηχορύπανση
- Η οπτική ρύπανση

Η οπτική ρύπανση είναι το αποτέλεσμα της αλλοίωσης και της παραγωγής λεπτομερών που παράγονται στον τόπο εξόρυξης. Εντούτοις, τα απόβλητα του μαρμάρου υπό μορφή σκόνης, και θρυμμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποπροϊόντα.

Γενικά τα απόβλητα από την επεξεργασία του μαρμάρου περιλαμβάνουν μη-ραδιενεργά υποπροϊόντα και δεν προκαλούν άμεσα κλιματικές αλλαγές. Το ποσοστό των αποβλήτων κατά τη διάρκεια της παραγωγής σε ένα λατομείο είναι της τάξης του 40–60% του γενικού όγκου της παραγωγής.

4.9 Το πρόβλημα της σκόνης και οι επιπτώσεις των μαρμάρινων αποβλήτων στα υπόγεια νερά

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της βιομηχανίας του μαρμάρου είναι η παραγωγή σκόνης ($< 0.2 \text{ mm}$) κατά την διαδικασία της κοπής του. Όταν ένα 'block' 1m^3 κόβεται σε πλάκες πάχους 2 cm , το ποσοστό παραγωγής σκόνης είναι περίπου 25%-30% του βάρους του (Ersoy, 2004). Αυτή η αναλογία αυξάνεται με τα προϊόντα πάχους 1 cm και μειώνεται με τα προϊόντα πάχους 3 cm .

Όσον αφορά τα υγρά απόβλητα, σε αυτά περιλαμβάνονται κυρίως αυτά που παράγονται κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας. Όπως είναι φυσικό, οι μεγάλες ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία, δημιουργούν μεγάλες ποσότητες υγρών απόβλητων, που περιέχουν κατά κύριο λόγο αδρανή στερεά, τα οποία ρυπαίνουν το περιβάλλον.

Ως παράδειγμα αναφέρεται η λάσπη, η οποία περιέχει διάφορους ρυπαντές, όπως έλαια, λιπαντικά, χημικά κροκιδωτικά κ.λπ. Στα υγρά απόβλητα ανήκει και η "μουργκάνα", που είναι ένα μείγμα αποτελούμενο από νερό, μαρμαρόσκονη, υπολείμματα των συρμάτων κοπής, κλπ., το οποίο παράγεται από τη χρήση της συρματοκοπής.

Το υλικό αυτό, εξαιτίας της λεπτομερούς μορφής του, όταν ξεραθεί επικάθεται πάνω στα φυτά, προκαλώντας έτσι την καταστροφή της χλωρίδας. Επιπλέον οι σχετικά μεγάλοι κόκκοι καθιζάνουν λόγω βαρύτητας ενώ οι κόκκοι που είναι μικρότεροι από 0.1 mm παρασύρονται με το νερό. Ο καθαρισμός του νερού από τη σκόνη απαιτεί κροκίδωση και διήθηση ενώ στη συνέχεια το νερό μπορεί να ανακυκλωθεί.

Εάν το νερό που ανακυκλώνεται περιέχει κόκκους μεγαλύτερους από 50μm μπορεί να προκληθούν προβλήματα κατά τη στίλβωση καθώς και φράξιμο των σωλήνων μεταφοράς. Η επιλογή του κατάλληλου κροκιδωτικού για τον πλήρη καθαρισμό του νερού εξαρτάται από παράγοντες όπως pH, ιοντική ισχύς, θερμοκρασία και τα χαρακτηριστικά του κροκιδωτικού υλικού όπως μοριακό βάρος, πυκνότητα φορτίου και μοριακή δομή (Ersoy, 2004).

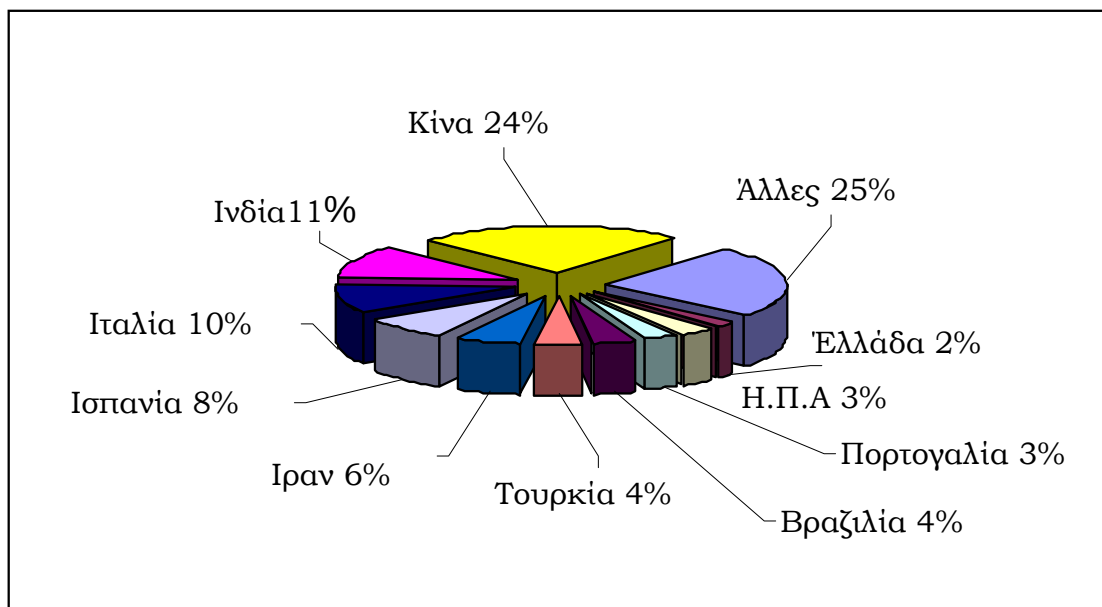
Από αναλυτική έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε περιοχή της Τουρκίας για περίοδο 30 ετών προέκυψε ότι τα απόβλητα της βιομηχανίας μαρμάρου προκαλούν αύξηση της σκληρότητας του νερού. Οι συγκεντρώσεις Ca και Mg από 5,50 και 6,90 mg/l το 1970, αυξήθηκαν σε 14,28 και 17,48 mg/l αντίστοιχα, το 2001. Η συγκέντρωση Cl, η οποία είναι ένας άλλος σημαντικός δείκτης της ποιότητας του νερού, αυξήθηκε την ίδια περίοδο από 1,12 mg/l σε 6,31 mg/l (Yavuz Celik και Sabah, 2007). Δεν πρέπει επίσης να αγνοείται ο θόρυβος.

Ο ΚΛΑΔΟΣ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

5.1 Γενικά στοιχεία

Ο κλάδος του μαρμάρου αποτελεί έναν από τους πλέον παραγωγικούς τομείς της ελληνικής οικονομίας. Τα τελευταία χρόνια, μεταξύ των εκμεταλλεύσιμων ορυκτών πόρων, το μάρμαρο βρίσκεται στη δεύτερη θέση μετά τους λιγνίτες σε αξία παραγωγής.

Όσον αφορά την παραγωγή μαρμάρου η Ελλάδα κατέχει μια από τις πρώτες θέσεις στην Ευρώπη (Οδηγός Αγοράς Μαρμάρου, 2004). Στη γενικότερη παραγωγή διακοσμητικών πετρωμάτων η Ελλάδα παρουσιάζει μια σχετική σταθερότητα και βρίσκεται στη 10η θέση στην παγκόσμια κατάταξη (Σχήμα 5.1), (Τσιραμπίδης και Καντηράνης, 2006).



Πηγή: Τσιραμπίδης, 2006.

Σχήμα 5.1: Παγκόσμια παραγωγή διακοσμητικών πετρωμάτων.

Αναφέρεται ότι το 2003 η παγκόσμια παραγωγή διακοσμητικών πετρωμάτων έφτασε τα 140 εκατ. t με συνολική αξία περίπου 35 δισεκ. €. Οι κυριότερες παραγωγικές χώρες είναι η Κίνα (14 εκατ. t), η Ινδία, η Ιταλία και η Ισπανία, με συνολικό ποσοστό παραγωγής 53% (Τσιραμπίδης, 2006).

Σήμερα, η βιομηχανία μαρμάρου στην Ελλάδα περιλαμβάνει περίπου 3.500 επιχειρήσεις (εξόρυξη, επεξεργασία, εμπορία), μεταξύ των οποίων αρκετές είναι μεγάλες και καθιερωμένες μονάδες που την τελευταία 20ετία πραγματοποίησαν σημαντικές επενδύσεις.

Η μαρμαροβιομηχανία ως μια αμιγής παραγωγική βιομηχανία υπολογίζεται ότι απασχολεί άμεσα και έμμεσα περίπου 40.000 άτομα σε ολόκληρη την χώρα. Το 60% της συνολικής παραγωγής και δραστηριότητας αναπτύσσεται στη Μακεδονία. Το σημαντικότερο κέντρο λευκών μαρμάρων βρίσκεται στους Νομούς Δράμας και Καβάλας (συμπεριλαμβανομένης και της Θάσου που είναι παγκόσμια γνωστή για τους χιονόλευκους δολομίτες της) (Τσιραμπίδης, 2005).

Τα τελευταία χρόνια όμως η παραγωγή μαρμάρων στην Ελλάδα φθίνει συνεχώς, με αποτέλεσμα να εισάγεται περίπου το 1/3 σε ακατέργαστους όγκους για την κάλυψη των εγχώριων αναγκών. Έτσι, δεν δημιουργούνται σημαντικές νέες εκμεταλλεύσεις στη χώρα, εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις. Επιπλέον, αρκετές μεγάλες επιχειρήσεις μαρμάρων αναπτύσσουν δραστηριότητες στο εξωτερικό, εξαιτίας της ασφυκτικής κατάστασης που επικρατεί στην Ελλάδα για αδειοδοτήσεις νέων περιοχών και της αλληλοεμπλοκής πολλών υπηρεσιών.

Οι ελληνικές εισαγωγές μαρμάρου, κατά την περίοδο 1999-2003, αυξήθηκαν σημαντικά (σχεδόν τριπλασιάστηκαν) και από 8 εκατ. € που ήταν το 1999 εκτοξεύθηκαν στα 25 εκατ. € το 2003. Οι εξαγωγές αντίθετα, εμφανίζουν διακυμάνσεις κατά την διάρκεια της περιόδου 2001-2005. Αξίζει να επισημανθεί ότι αν και σημείωσαν ανάκαμψη από 14 εκατ. € το 2002, σε 24 εκατ. € το 2003, στη συνέχεια σημείωσαν σταδιακή πτώση μέχρι το 2005 στα 21 εκατ. €. Οι Η.Π.Α. το 2003 πραγματοποίησαν εισαγωγές μαρμάρων και γρανιτών από την Ιταλία σε ποσοστό 40% και 41%, αντίστοιχα. Οι εξαγωγές μαρμάρων της Ελλάδας προς αυτή τη μεγάλη αγορά, δεν ξεπερνούν το 3-4% το χρόνο.

5.2 Η πορεία των ελληνικών εισαγωγών και εξαγωγών του μαρμάρου

5.2.1 Ελληνικές εισαγωγές μαρμάρου

Οι εισαγωγές από την Τουρκία, έχουν αυξηθεί σημαντικά και από 900 χιλιάδες € που ήταν το 1999 αυξήθηκαν σε 9 εκατ. € το 2003. Σταθερή αύξηση υπάρχει και στις εισαγωγές από την Π.Γ.Δ.Μ., οι οποίες κατέγραψαν μέση ετήσια αύξηση της τάξης του 60,2% και από το Μαρόκο με μέση ετήσια αύξηση της τάξης του 42,9%. Αντίθετα, οι ελληνικές εισαγωγές από τη Βουλγαρία μειώθηκαν ραγδαία το 2002, ενώ το 2003 σημείωσαν μικρή αύξηση.

Στον πίνακα 5.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι Ελληνικές εισαγωγές μαρμάρου ανά χώρα σε χιλιάδες €.

Πίνακας 5.1: Ελληνικές εισαγωγές μαρμάρου ανά χώρα, σε χιλιάδες €.

	1999	2000	2001	2002	2003
Τουρκία	895	2.087	3.873	5.939	8.827
Π.Γ.Δ.Μ.	1.161	1.58	2.176	4.908	7.637
Μαρόκο	641	1.144	1.35	1.947	2.673
Βουλγαρία	210	541	2.092	1.246	1.569
Ιταλία	1.58	1.12	962	951	1.52
Αίγυπτος	1.311	1.079	1.289	1.415	1.119
Ιράν	523	593	613	821	315
Πορτογαλία	245	253	64	113	201
Πακιστάν	132	213	210	432	197
Ινδία	59	69	60	318	184
Λίβανος	3	8	75	128	162
Βραζιλία	417	20	12	10	130
Κύπρος	47	97	87	209	95
Σερβία-Μαυροβούνιο	44	7	5	3	72
Ισπανία	44	221	117	223	56
Ρουμανία	27	244	658	21	44
Σύνολο	8.043	9.451	13.766	19.211	24.963

Πηγή: Eurostat 2005

Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζεται η Ελληνική παραγωγή μεταλλευμάτων βιομηχανικών ορυκτών, προϊόντων βιομηχανικής κατεργασίας-εμπλουτισμού, μεταλλουργικών προϊόντων και μαρμάρων σε χιλιάδες t από το 2001 έως το 2006.

Πίνακας 5.2: Ελληνική παραγωγή μεταλλευμάτων βιομηχανικών ορυκτών, προϊόντων βιομηχανικής κατεργασίας-εμπλουτισμού, μεταλλουργικών προϊόντων και μαρμάρων (προϊόντων, όγκων), σε χιλιάδες t.

Προϊόντα	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Αλουμίνα ένυδρη	710	750	763	786	782	780
Αλουμίνιο	163	165	166	166	165	163
Ανθρακικό ασβέστιο-Τάλκης- δολομίτης	198	160	170*	181	200	30.5
Άστριοι	80	85	81	79	99	56
Βωξίτης	2.052	2.492	2.418	2.444	2.495	2.194
Γύψος	809	890	933	912	915	940
Δίπυρος μαγνησία	30	46	44	46	67	51
Καυστική μαγνησία	113	105	97	86	73	69
Κίσσηρης	802	810	893	835	852	801
Λευκόλιθος	483	480	390	413	410	374
Λιγνίτης	66.650	70.550	69.340	71.900	69.064	64.100
Μάρμαρα προϊόντα από εξόρυξη	2.821	1.897	2.158	1.738	1.700*	1.650*
Μάρμαρα όγκοι	525	468	583	362	400*	350*
Μπεντονίτης (ορυκτός)	1.258	1.057	1.157	1.185	1.125	1.122
Μπεντονίτης (ενεργοποιημένος)	835	825	842	856	880	962
Περλίτης κατεργασμένος	550	570	580	630	600	700
Νικέλιο (περιέχ. σε κράμα)	18	19	18	18	19	17
Χαλαζίας	11	14	16	16	15	14
Ποξολάνη	1.308	1300	1113	1.268	1.459	1.525

* τάξη μεγέθους

Πηγή: ΣΜΕ 2006

Στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται οι Ελληνικές εξαγωγές σε χιλιάδες €, προϊόντων βιομηχανικής κατεργασίας-εμπλουτισμού, μεταλλουργικών προϊόντων και μαρμάρων από το 2001 έως το 2005.

Πίνακας 5.3: Ελληνικές Εξαγωγές προϊόντων βιομηχανικής κατεργασίας-εμπλουτισμού, μεταλλουργικών προϊόντων και μαρμάρων (όγκων), σε χιλιάδες €.

Προϊόντα	2001	2002	2003	2004	2005
Αλουμίνια	80.67	77.26	68.995	89.887	97.952
Αλουμίνιο	128.215	110.374	95.034	99.946	109.815
Ανθρακικό ασβέστιο-Τάλκης-Δολομίτης	4.5	4.839	5.32	5.4	5.8*
Άστριοι	1.492	1.202	922	858	187
Βωξίτης	29.749	28.4	25.7	36.051	41.887
Γύψος	246	252	650	640	425
Δίπτυρος μαγνησία	5.456	7.9	6.65	7.775	10.818
Καυστική μαγνησία	14.962	15.538	12.244	11.046	8.327
Κίσηρης	5.618	5.367	5.385	4.099	4.4
Λευκόλιθος	1.139	1.26	985	1.151	1.164
Μάρμαρα (όγκοι)	14.273	17.491	24.107	21.093	20.789
Μπεντονίτης (ορυκτός)	330	550	1.094	1000	1000
Μπεντονίτης (ενεργοποιημένος)	52.5	51	49.9	56.3	57.5
Περλίτης κατεργασμένος	14.377	23.761	24.6	26.04	27.01
Νικέλιο (κράμα)	122.7	149.8	159.097	216.256	287.185
Χαλαζίας	500	660	414	483	445

*Στοιχείο κατ' εκτίμηση

Πηγή: ΣΜΕ 2006

Με βάση τα στοιχεία του 2005, προηγούνται το σιδηρονικέλιο με 287 εκατ. € ο βωξίτης με τα προϊόντα του με 249 εκατ. € και ακολουθεί ο κατεργασμένος περλίτης και τα μάρμαρα με 27 εκατ. € και 21 εκατ. € αντίστοιχα (Σ.Μ.Ε. 2006).

5.2.2 Εξαγωγές μαρμάρου της Ε.Ε

Όσον αφορά στις εξαγωγές μαρμάρου του συνόλου των χωρών της Ε.Ε. προκύπτει ότι οι σημαντικότερες χώρες προορισμού είναι η Κίνα, οι Η.Π.Α., και η Ν. Κορέα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μεγαλύτερη μέση ετήσια αύξηση καταγράφηκε στις εξαγωγές προς την Ν. Κορέα (2000-2001) και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (2001-2002), ενώ η μεγαλύτερη μέση ετήσια πτώση σημειώθηκε στο Χονγκ-Κονγκ (2001-2002). Επίσης εντύπωση προκαλεί το γεγονός ότι το 95% των εξαγωγών που προορίζονται για την Κίνα, προέρχονται από την Ισπανία (41,6%), την Ιταλία (27,2%) και την Ελλάδα (26,2%) (www.economics.gr).

Στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται οι εξαγωγές μαρμάρου της Ε.Ε. ανά χώρα σε 000€ και τους πίνακες 5.4 και 5.5 παρουσιάζονται οι ελληνικές εξαγωγές μαρμάρου ανά χώρα σε 000€ και t, αντίστοιχα.

Πίνακας 5.3: Συνολικές εξαγωγές μαρμάρου Ε.Ε ανά χώρα, σε χιλιάδες €

<i>Χώρες</i>	1999	2000	2001	2002	2003
Κίνα	30.53	52.233	59.137	58.922	74.991
ΗΠΑ	43.195	64.998	77.178	85.911	50.161
Ν. Κορέα	3.13	8.249	13.541	15.533	17.005
Ην. Αραβικά Εμιράτα	3.739	5.919	6.511	12.154	14.727
Ιαπωνία	12.67	17.778	18.534	13.043	13.141
Σαουδική Αραβία	6.408	7.415	9.113	16.773	13.023
Χονγκ-Κονγκ	33.815	32.8	31.598	16.981	12.651
Ινδία	6.429	13.186	9.114	15.599	11.157
Ταϊβάν	24.059	27.616	16.071	12.622	9.148
Λίβανος	10.481	9.161	10.127	7.142	7.135
Βραζιλία	8.396	8.969	8.946	7.161	6.71
Αυστραλία	2.363	2.955	2.973	4.307	5.538
Τυνησία	5.668	5.486	6.354	7.021	5.339
Ινδονησία	1.211	1.528	2.558	4.181	5.018
Λιβύη	2.212	3.316	5.959	5.405	4.813
Αίγυπτος	13.149	11.586	10.108	7.777	4.727
Σιγκαπούρη	7.053	7.583	6.899	5.108	4.274
Μαρόκο	2.213	2.853	3.275	3.836	4.199
Αλγερία	1.774	2.373	1.825	3.22	4.036
Μεξικό	2.642	4.315	1.841	4.611	3.568
Συρία	87	5.11	4.969	3.921	3.019
Καναδάς	1.834	3.27	2.912	2.379	2.839
Ιορδανία	2.228	3.18	3.967	3.681	2.808
Ουγγαρία	455	401	498	477	2.676
Κουβέιτ	1.318	2.03	2.475	3.179	2.422
Ισραήλ	2.766	3.237	3.758	5.113	2.382
Κολομβία	663	1.505	1.447	1.658	2.176
Ρωσία	1.45	1.277	1.313	1.646	2.017
Δομινικανή Δημοκρατία	1.422	2.48	1.735	2.165	2
Σρι-Λάνκα	54	76	50	261	1.909
Πορτογαλία	1.433	1.971	3.977	4.363	1.882
Αλβανία	1.03	1.39	1.808	2.049	1.693
Μαλαισία	825	1.449	1.462	1.54	1.64
Καζακστάν	27	173	108	69	1.624
Ταϊλάνδη	230	559	107	182	1.279
Μάλτα	1.126	1.337	1.171	1.786	1.167
Σύνολο	345.72	442.85	458.12	459.72	417.27

Πηγή: Eurostat 2005.

Πίνακας 5.4: Ελληνικές εξαγωγές μαρμάρου ανά χώρα, χιλιάδες €

Χώρες	1999	2000	2001	2002	2003
Κίνα	2.227	8.685	11.735	13.823	19.669
Ιταλία	3.225	3.634	3.107	1.581	2.789
Ισπανία	313	1.181	2.148	2.31	1.914
Χονγκ-Κονγκ	3.043	4.428	3.781	1.889	1.514
Σαουδική Αραβία	581	606	374	1.128	1.416
Αλβανία	847	1.213	1.521	1.512	1.184
Γαλλία	131	177	79	310	915
Βουλγαρία	368	771	877	872	815
Ιαπωνία	423	1.086	543	787	702
Ταϊβάν	3.165	3.987	2.045	1.309	662
Ολλανδία	229	302	152	52	637
Γερμανία	1.364	1.548	1.134	618	509
ΗΠΑ	307	520	294	158	493
Λίβανος	618	727	854	570	458
ΠΓΔΜ	34	47	97	171	414
Ν. Κορέα	26	121	29	101	414
Κύπρος	435	1.06	399	459	355
Ινδία	351	1.484	846	282	348
Ρωσία	410	524	450	280	311
Ην. Αραβικά Εμιράτα	128	92	153	103	215
Συρία	0	110	356	254	210
Ην. Βασίλειο	370	278	319	239	188
Σιγκαπούρη	93	148	399	111	187
Τυνησία	7	155	9	4	186
Μαλαισία	28	22	116	42	177
Μπανγκλαντές	133	169	109	120	150
Ουκρανία	213	350	243	151	148
Σλοβενία	30	9	0	45	132
Αίγυπτος	193	167	125	75	109
Ταϊλάνδη	0	0	0	0	99
Βραζιλία	66	148	81	449	95
Πολωνία	97	158	70	49	92
Κουβέιτ	78	0	45	31	91
Σερβία-Μαυροβούνιο	43	172	150	210	66
Ινδονησία	16	121	22	88	59
Αυστρία	56	149	219	197	56
Γουινέα	0	0	0	0	55
Μαρόκο	35	113	35	0	52
Σύνολο	21.082	36.249	34.332	31.375	38.276

Πηγή: Eurostat 2005

Πίνακας 5.5: Ελληνικές εξαγωγές μαρμάρου ανά χώρα, σε t:

Χώρες	1999	2000	2001	2002	2003
Κίνα	8.857	40.224	62.338	86.824	142.32
Αλβανία	12.982	19.369	27.568	33.564	32.914
Βουλγαρία	11.997	21.148	27.168	27.894	32.583
Χονγκ-Κονγκ	10.679	15.42	15.938	10.232	9.463
Ισπανία	1.408	3.837	7.505	9.322	6.972
Ιταλία	7.456	6.729	5.205	2.826	5.207
ΠΓΔΜ	642	931	1.217	2.016	4.625
Σαουδική Αραβία	2.552	3.621	2.268	4.42	4.34
Συρία	0	1.624	4.074	1.767	2.787
Ταϊβάν	14.132	15.915	6.802	5.263	2.738
Λίβανος	7.71	5.903	5.366	3.87	2.343
Αίγυπτος	1.178	1.519	873	1.284	2.249
Σερβία-Μαυροβούνιο	708	3.665	3.363	3.843	1.366
Ιαπωνία	702	2.996	976	1.015	1.334
Ινδία	1.188	6.124	3.073	934	1.33
Μαλαισία	109	85	673	248	1.289
Σλοβενία	197	60	0	442	1.242
Γερμανία	2.765	2.945	2.537	1.195	1.146
Τυνησία	43	1.864	250	99	1.125
Γαλλία	171	176	65	224	1.11
Μπανγκλαντές	780	962	786	528	1.04
Κύπρος	1.396	4.849	1.375	1.532	1.03
Ταϊλάνδη	0	0	0	0	782
N. Κορέα	63	200	65	244	651
Ρωσία	1.004	1.136	1.12	572	573
ΗΠΑ	438	629	331	207	568
Ουκρανία	578	551	511	394	419
Ην. Αραβικά Εμιράτα	147	560	329	172	372
Σιγκαπούρη	192	334	873	171	360
Ρουμανία	106	77	356	619	345
Σύνολο	96.511	176.56	189.27	206.69	267.56

Πηγή: Eurostat 2005

5.3 Δείκτης Συγκριτικού Πλεονεκτήματος

Η αξιολόγηση του βαθμού βαρύτητας που έχουν οι εξαγωγές του μαρμάρου στον ευρύτερο τομέα των εξαγωγών μιας χώρας και η σύγκρισή του με το βαθμό βαρύτητας των εξαγωγών άλλων χωρών θεωρείται εξαιρετικά σημαντική (www.economics.gr).

Η αξιολόγηση αυτή πραγματοποιείται με το δείκτη του αποκαλυπτόμενου ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος, μέθοδος Balassa (1965), και ορίζεται από τον λόγο των εξαγωγών X_{ij} ενός προϊόντος (j) μιας χώρας (i) σε σχέση με τις εξαγωγές του ίδιου προϊόντος, άλλων χωρών X_{wj} προς τις συνολικές εξαγωγές της χώρας X_{it} σε σχέση με τις συνολικές εξαγωγές άλλων χωρών X_{wt} . (www.economics.gr).

Ο δείκτης του αποκαλυπτόμενου ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος (Revealed Comparative Advantage Index) για τη χώρα (i) 'Ελλάδα' και το προϊόν (j) 'Μάρμαρο' σε σχέση με τις αντίστοιχες εξαγωγές της Ιταλίας και της Ισπανίας, προσδιορίζεται ως εξής:

$$R.C.A. = \frac{X_{ij} / X_{wj}}{X_{it} / X_{wt}}$$

όπου : X_{ij} = Εξαγωγές μαρμάρου Ελλάδας ανά χώρα i
 X_{wj} = Εξαγωγές μαρμάρου Ιταλίας-Ισπανίας ανά χώρα i
 X_{it} = Συνολικές εξαγωγές Ελλάδας
 X_{wt} = Συνολικές εξαγωγές Ιταλίας-Ισπανίας

i = χώρα,

j = προϊόν

w = παγκόσμια οικονομία ή χώρες που περιλαμβάνονται στην συγκεκριμένη ανάλυση (w) 'π.χ. Ιταλία-Ισπανία'

t = σύνολο εξαγωγών

Αν η τιμή του δείκτη είναι μεγαλύτερη της μονάδας, προκύπτει ότι οι εξαγωγές μαρμάρου της χώρας μας έχουν μεγαλύτερη συμμετοχή στο σύνολο των ελληνικών εξαγωγών σε σχέση με τις εξαγωγές μαρμάρου της Ιταλίας και της Ισπανίας. Αν η τιμή του δείκτη είναι μικρότερη της μονάδας, η Ελλάδα έχει συγκριτικό μειονέκτημα έναντι των δύο αυτών χωρών.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι Δείκτες του Συγκριτικού πλεονεκτήματος της Ελλάδας έναντι της Ιταλίας και της Ισπανίας.

Πίνακας 5.6: Δείκτης Συγκριτικού Πλεονεκτήματος

	1999	2000	2001	2002	2003
Ελλάδα - Ιταλία	3.25	4.33	4.78	4.72	6.03
Ελλάδα - Ισπανία	1.35	1.86	1.89	1.86	2.37

Από τις τιμές του πίνακα συμπεραίνεται ότι οι εξαγωγές μαρμάρου εμφανίζονται πιο σημαντικές για το συνολικό εμπόριο της Ελλάδας από ότι για το συνολικό εμπόριο της Ιταλίας και της Ισπανίας. Πιο συγκεκριμένα ο δείκτης συγκριτικού πλεονεκτήματος της Ελλάδας είναι 6.03 έναντι της Ιταλίας και 2.37 έναντι της Ισπανίας για το 2003.

5.4 Προβλήματα του κλάδου

Σήμερα, με τον ισχυρότατο οικονομικό ανταγωνισμό το μάρμαρο αντιμετωπίζει πολλά προβλήματα, γι' αυτό είναι αναγκαία η έγκαιρη χάραξη μιας ολοκληρωμένης εθνικής πολιτικής. Το μάρμαρο εξακολουθεί να αντιμετωπίζεται με σχετική προχειρότητα από τους κατασκευαστές και επιφυλακτικότητα από τους πελάτες.

Έτσι, ορισμένα υπεργολαβικά συνεργεία, αγνοούν βασικές λεπτομέρειες κατεργασίας και εφαρμογής του μαρμάρου, με αποτέλεσμα να υπάρχει πλήθος κακοτεχνιών τόσο σε δάπεδα και ορθομαρμαρώσεις.. Αποκολλήσεις πλακών, καταστροφή αρμών, δάπεδα με μη ευθύγραμμους αρμούς ή μη επίπεδα τοποθετημένες πλάκες, είναι μερικοί από τους λόγους που οδηγούν ορισμένους πελάτες σε επιφυλακτικότητα και σε επιλογή άλλων υλικών.

Χρειάζεται διαρκής εκπαίδευση και ενημέρωση όλων των εργατοτεχνιτών που ασχολούνται με την εφαρμογή του μαρμάρου στα κτιριακά έργα. Η αντίστοιχη ενημέρωση των μηχανικών που εμπλέκονται στη μελέτη, επίβλεψη ή επιστασία των έργων αυτών, είναι επίσης απαραίτητη.

Σε μια εποχή που η τεχνολογία προσφέρει ευρύτατο φάσμα δυνατοτήτων για άψογη εργασία, τόσο με ακριβή και αξιόπιστα εργαλεία όσο και με υψηλής ποιότητας υλικά τοποθέτησης, στερέωσης και αρμολόγησης, τέτοιες κακοτεχνίες είναι αδικαιολόγητες. Χρειάζεται εκσυγχρονισμός και αναμόρφωση του θεσμικού πλαισίου που αφορά την εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου και ιδιαίτερα των μαρμάρων.

Νομοθετικά κενά τόσο της χώρας μας όσο και της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εμποδίζουν την ορθολογική ανάπτυξη του κλάδου. Η εμπλοκή πολλών υπουργείων ή άλλων φορέων του δημοσίου στην έκδοση των απαραίτητων αδειών για την λειτουργία ενός λατομείου και μιας μονάδας επεξεργασίας, θεωρείται επίσης σημαντικό πρόβλημα.

Επιβάλλεται επίσης η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στο φυσικό περιβάλλον από την εκμετάλλευση των μαρμάρων. Η προστασία του περιβάλλοντος και η αποκατάστασή του μετά την ολοκλήρωση των λατομικών εργασιών δεν είναι κατοχυρωμένες στον επιθυμητό βαθμό, ούτε ο έλεγχος των επίσημων οργάνων του Κράτους είναι ουσιαστικός και αποτελεσματικός.

Θεωρείται λοιπόν απαραίτητη η συνεργασία του επιστημονικού και τεχνικού προσωπικού των φορέων του δημοσίου (π.χ. Ι.Γ.Μ.Ε., Πανεπιστήμια κ.ά.) και των επιχειρήσεων που θα συμβάλλει στην αύξηση της αποληψιμότητας, στην ποιοτική βελτίωση, στη μεγιστοποίηση της ανταγωνιστικότητας των ελληνικών μαρμάρων και επομένως στην ενίσχυση της εθνικής οικονομίας.

Τα προβλήματα της μαρμαροβιομηχανίας συνδέονται κυρίως με τα δομικά χαρακτηριστικά της οικονομικής ανάπτυξης της χώρας μας και αναλύονται ως:

Γενικά

- Η γραφειοκρατία της δημόσιας διοίκησης
- Η επιβάρυνση του κόστους παραγωγής ιδιαίτερα από εξωγενείς παράγοντες (π.χ. χαμηλή ποιότητα υποδομών)
- Η χαμηλότερη απόδοση στην παραγωγή, διανομή και χρήση της ενέργειας σε σχέση με άλλες χώρες
- Το χαμηλό επίπεδο εφαρμογών της πληροφορικής
- Το χαμηλό επίπεδο έρευνας και ανάπτυξης
- Οι αναντιστοιχίες ανάμεσα στην προσφορά και ζήτηση εξειδικευμένου ανθρώπινου δυναμικού και οι δυσλειτουργίες στην αγορά εργασίας

Ειδικά

- Οι ιδιαίτερα χαμηλές περιβαλλοντικές επιδόσεις. Δεν γίνεται πάντα αποκατάσταση των λατομικών χώρων
- Το δαιδαλώδες νομοθετικό πλαίσιο και η χρονοβόρα αδειοδότηση λειτουργίας ενός λατομείου. Πολύ περιορισμένες είναι οι νέες μισθώσεις
- Ο οξύτατος ανταγωνισμός από άλλα υλικά, όπως το ξύλο, τα κεραμικά

πλακίδια και άλλα συνθετικά υλικά

Για την αύξηση της εξαγωγικής δραστηριότητας της χώρας απαιτείται να βελτιωθούν οι εξής τομείς:

- δημιουργία δομών ενίσχυσης/επιβράβευσης της εξωστρέφειας και στήριξης των εξαγωγών
- συστηματική εκπαίδευση ανθρώπινου δυναμικού
- στενή συνεργασία δημόσιου και ιδιωτικού τομέα βασισμένη σε στόχους και στρατηγική
- αποκρατικοποιήσεις.
- μείωση φορολογικών συντελεστών
- πάταξη της γραφειοκρατίας και της διαφθοράς(www.economics.gr).

5.5 Η κατάσταση στην Ιταλία

Η Ιταλία με το 25% της παραγωγής ελέγχει το 75% της παγκόσμιας αγοράς. Επιπλέον αναφέρεται ότι:

Το Ιταλικό Ινστιτούτο Εξωτερικού Εμπορίου με έδρα τη Ρώμη απασχολεί 1600 ειδικούς επιστήμονες σε 38 γραφεία της Ιταλίας και 75 γραφεία εξωτερικού, 4 εκ των οποίων στις Η.Π.Α.

Με έρευνες αγοράς σε κάθε χώρα και σε κάθε χρονική περίοδο είναι έτοιμο να προβάλλει οποιοδήποτε Ιταλικό προϊόν με τον πιο ελκυστικό τρόπο. Οργανώνει ημερίδες στο εξωτερικό και επισκέψεις δημοσιογράφων στην Ιταλία, ειδικών επαγγελματιών ή επιστημόνων και εμπόρων.

Υπάρχει άριστη συνεργασία με τον κατασκευαστικό κόσμο. Απονέμονται αρχιτεκτονικά βραβεία κάθε χρόνο στη διεθνή έκθεση της CARRARA.

Έχουν μεγάλη παράδοση στη χρησιμοποίηση της πέτρας από την περίοδο της Αναγέννησης.

Έχουν δική τους βιομηχανία παραγωγής σύγχρονων μηχανημάτων εξόρυξης και επεξεργασίας μαρμάρου.

Οι Ιταλοί της διασποράς με τις οργανώσεις τους έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην προώθηση των Ιταλικών προϊόντων.

5.6 Η νομοθεσία

Στην Ελλάδα τρία Υπουργεία είναι υπεύθυνα για τη χορήγηση των αδειών έρευνας και εκμετάλλευσης των ορυκτών πόρων της χώρας μας: Υπ. Ανάπτυξης, Υπ. Γεωργίας και Υπ. Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. Οι κρατικές υπηρεσίες και η τοπική αυτοδιοίκηση στην προσπάθειά τους να διαφυλάξουν το φυσικό περιβάλλον ή να περιορίσουν στο ελάχιστο τις επιπτώσεις από τις λατομικές δραστηριότητες, επεμβαίνουν καθοριστικά στην έγκριση ή λειτουργία ενός λατομείου στην περιοχή τους.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση δεν υπάρχει ενιαία νομοθεσία σχετική με τους κανόνες έρευνας και εκμετάλλευσης των ορυκτών πόρων στις 27 χώρες-μέλη της. Τα τελευταία χρόνια η Τεχνική Επιτροπή CEN/TC 246 (Τσιραμπίδης και Καντηράνης, 2006) ετοιμάζει και προωθεί για κρίση, στις χώρες-μέλη, σχέδια προτύπων για τα φυσικά διακοσμητικά πετρώματα.

Παράλληλα, οι σύγχρονες απαιτήσεις των καταναλωτών, επέβαλλαν και τη διασφάλιση της ποιότητας των προϊόντων μαρμάρου. Από τα διάφορα πρότυπα που κατά καιρούς έχουν κυκλοφορήσει, τα επικρατέστερα είναι οι σειρές ISO 9000, 14000 και 14040. Το θεσμικό πλαίσιο που καθορίζει τις διαδικασίες έρευνας και εκμετάλλευσης των μαρμαροφόρων περιοχών της Ελλάδος παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.6 (Τσιραμπίδης και Καντηράνης, 2006).

Πίνακας 5.7: Νόμοι (Ν), Νομοθετικά Διατάγματα (Ν.Δ.), Προεδρικά Διατάγματα (Π.Δ.) και Υπουργικές Αποφάσεις (Υ.Α.) για την έρευνα και εκμετάλλευση λατομικών προϊόντων και μαρμάρων.

Νόμος	Περιεχόμενο
N.Δ. 4433	Περί Μεταλλευτικών Ερευνών...διατάξεων (1964)
N.Δ. 210	Περί Μεταλλευτικού Κώδικος (ΦΕΚ 277Α/1973)
N. 272	Περί ιδρύσεως Ινστιτούτου Γεωλογικών....(ΙΓΜΕ) (ΦΕΚ 50Α/1976)
N. 273	Περί τροποποιήσεως του Ν.Δ. 4433 (ΦΕΚ 50Α/1976)
N. 274	Περί τροποποιήσεως του Μεταλλευτικού Κώδικος (ΦΕΚ 50Α/1976)
N. 386	Περί εκμεταλλεύσεως λατομείων....Πεντελικού όρους (ΦΕΚ 188Α/1976)
N. 669	Περί εκμεταλλεύσεως λατομείων (ΦΕΚ 241Α/1977)
Π.Δ. 285	Περί εκμισθώσεως δημοσίων λατομείων....μαρμάρων (ΦΕΚ 83Α/1979)
N. 998	Περί προστασίας των δασών....χώρας (ΦΕΚ 289Α/1979)
Υ.Α.	Περί επικυρώσεως τεχνικών....περιβάλλοντος (ΦΕΚ 820Β/1980)
N. 1428	Εκμετάλλευση λατομείων αδρανών....διατάξεις (ΦΕΚ 43Α/1984)
Υ.Α.	Κανονισμός Μεταλλευτικών & Λατομικών εργασιών (ΦΕΚ 931Β/1984)
N. 1650	Για την προστασία του περιβάλλοντος (ΦΕΚ 160Α/1986)
Υ.Α.	Περιεχόμενο Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΦΕΚ 678Β/1990)
N. 2115	Τροποποίηση, αντικατάσταση και συμπλήρωση....Ν. 1428 (ΦΕΚ 15Α/1993)
Υ.Α.	Όροι και διαδικασία εκμισθώσεως, αδρανών υλικών (ΦΕΚ 917Β/1993)
N. 2702	Διάφορες ρυθμίσεις και άλλες διατάξεις (ΦΕΚ 70Α/1999)
N. 2837	Ρύθμιση θεμάτων ανταγωνισμού και άλλες διατάξεις (ΦΕΚ 178Α/2000)
N. 3010	Εναρμόνιση Ν. 1650 με οδηγίες 96/61 & 97/11 Ε.Ε. (ΦΕΚ 91Α/2002)
N. 3299	Κίνητρα Ιδιωτικών Επενδύσεων....Σύγκλιση (ΦΕΚ 261Α/2004)
N. 3335	Έλεγχος..... Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Ανάπτυξης (ΦΕΚ 95Α/2005)(6p4-5)

6 ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ' ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

6.1 Γενικά

Η βιομηχανική παραγωγή προϊόντων περιλαμβάνει την κατεργασία και μεταποίηση διαφόρων υλικών, οι οποίες πραγματοποιούνται σύμφωνα με τους κανόνες της Φυσικής, της Χημείας, της Μηχανικής και άλλων επιστημών.

Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια:

- Την κατανάλωση ενέργειας για την πραγματοποίηση των διεργασιών
- Την παραγωγή αποβλήτων σε διάφορες ποσότητες

Είναι προφανές ότι δεν είναι εφικτή η πραγματοποίηση μιας δραστηριότητας ή μιας διεργασίας χωρίς την κατανάλωση ενέργειας και την παραγωγή αποβλήτων, με αποτέλεσμα να προκαλείται επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Η έννοια του κύκλου ζωής είναι μια προσέγγιση που αναφέρεται σε προϊόντα, υπηρεσίες και διαδικασίες. Σύμφωνα με αυτή, όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, από την εξόρυξη των πρώτων υλών, τη μεταφορά τους, τη διαδικασία παραγωγής του προϊόντος, τη συσκευασία, τη διανομή και μεταφορά, τη χρήση και την ανακύκλωση μέχρι την απόρριψή του, έχουν περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις.

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής αν και χρησιμοποιήθηκε παλαιότερα από βιομηχανίες, κρατικούς φορείς και άλλους οργανισμούς της Ευρώπης, των Ηνωμένων Πολιτειών και μερικών άλλων χωρών, παρουσιάζει αυξημένο ενδιαφέρον, ως εργαλείο Περιβαλλοντικής Διαχείρισης, μόλις τα τελευταία χρόνια.

Η σύγχρονη εκτίμηση του κύκλου ζωής πρωτοεμφανίστηκε στη δεκαετία του 1960, λόγω της έλλειψης πρώτων υλών και διαθέσιμης ενέργειας οπότε έπρεπε να βρεθούν τρόποι για την όσο το δυνατόν αντικειμενικότερη καταγραφή της απαιτούμενης ενέργειας και των αναγκαίων πρώτων υλών που θα απαιτούνταν στο μέλλον (Γεωργακέλλος, 1999).

Με τη βοήθεια του κύκλου ζωής, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να περιγραφούν τόσο στις εισροές (υλικά, νερό και ενέργεια) όσο και στις εκροές (στερεά, υγρά και αέρια, απόβλητα) που δημιουργούνται σε κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας.

Η έννοια του κύκλου ζωής μπορεί να βοηθήσει κυβερνήσεις, επιχειρήσεις, και γενικά όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς στη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με το περιβάλλον, το σχεδιασμό και τη βελτίωση των προϊόντων τους και επιπλέον να αποτελέσει ένα επιστημονικό εργαλείο συγκέντρωσης ποσοτικών δεδομένων και

ποσοτικοποιήσεις των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων, διαδικασιών και υπηρεσιών τους.

Η διαχείριση του κύκλου ζωής είναι μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που έχει στόχο την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της ζωής ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας. Το ενδιαφέρον εστιάζεται κυρίως στις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται σε κάθε εταιρεία ή οργανισμό. Σήμερα όλο και μεγαλύτερος αριθμός εταιρειών προσπαθούν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των προϊόντων τους με τη χρησιμοποίηση της διαχείρισης του κύκλου ζωής.

Τα στάδια περιλαμβάνουν Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής, Περιβαλλοντικό Σχεδιασμό, Υπολογισμό Κόστους Κύκλου Ζωής, Περιβαλλοντική Σήμανση, Εκτίμηση Περιβαλλοντικής Επίδοσης κ.ά. (www.ec.gc.ca).

Όπως προαναφέρθηκε η *Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής* (EKZ) είναι μια σχετικά νέα διαδικασία, που εξελίσσεται διαρκώς, αναπτύχθηκε και μπορεί να συμβάλλει στην επίγνωση οξυμένων περιβαλλοντικών προβλημάτων και στην ορθολογικότερη διαχείριση του περιβάλλοντος. Είναι μια πολύπλοκη διαδικασία κυρίως όσον αφορά τα δεδομένα που χρειάζεται.

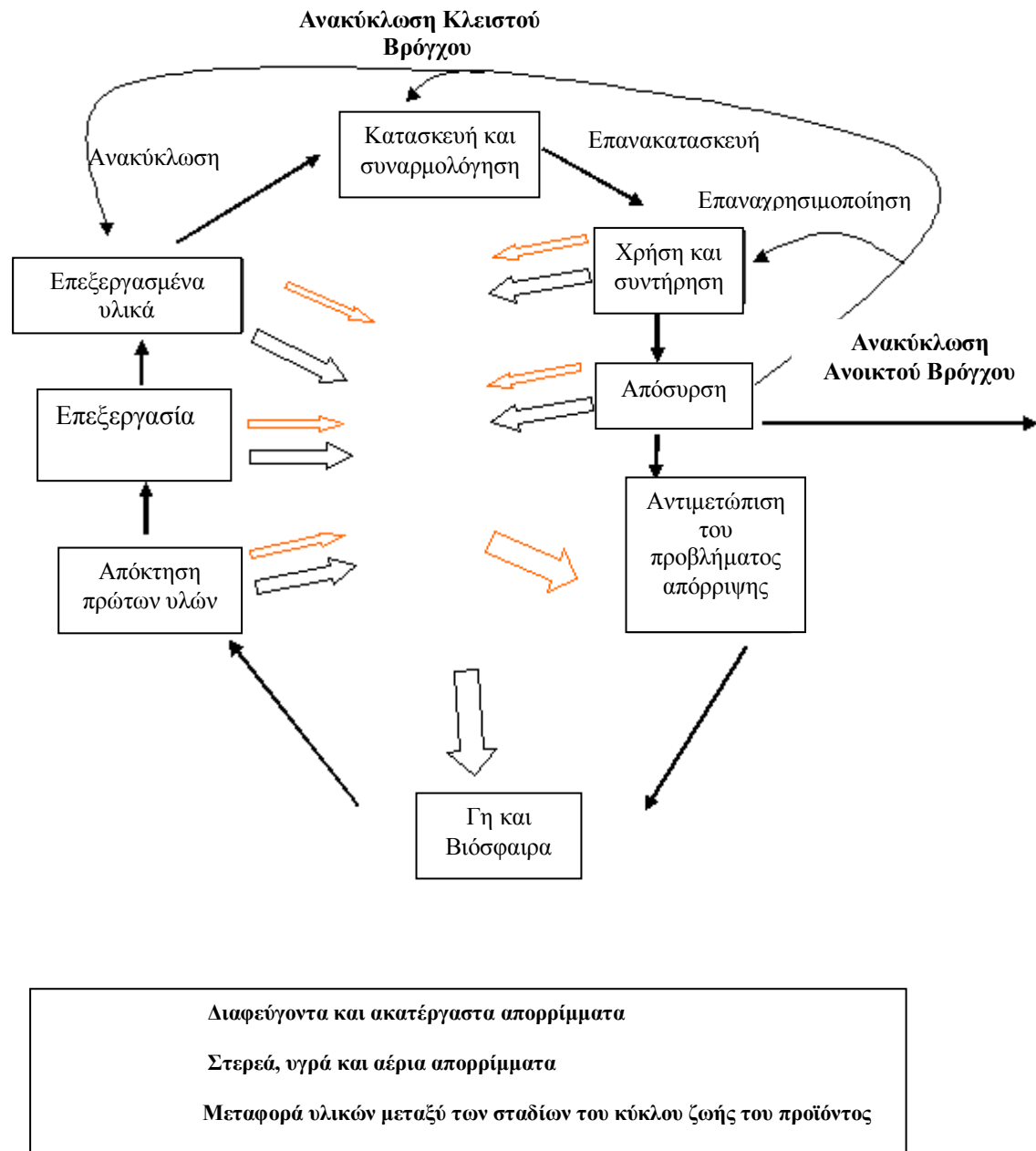
Η τεχνική είναι κυρίως ποσοτική αλλά όπου δεν μπορεί να εφαρμοστεί με ακρίβεια, χρησιμοποιεί ποιοτικά χαρακτηριστικά προκειμένου να παρουσιάσει μια όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη εικόνα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του εξεταζόμενου προϊόντος ή διεργασίας. Για τη μέθοδο αυτή έχουν προταθεί αρκετοί ορισμοί που συνήθως ο ένας συμπληρώνει τον άλλον.

Σύμφωνα με το Διεθνές Περιβαλλοντικό Πρότυπο ISO 14040 ως εκτίμηση του κύκλου ζωής ορίζεται η εκτίμηση των εισροών, εκροών και των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός συστήματος κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του.

Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος, απεικονίζεται στο σχήμα 6.1:

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής μελετά τις περιβαλλοντικές παραμέτρους και τις δυνητικές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια της ζωής ενός προϊόντος από την απόκτηση των πρώτων υλών μέχρι την παραγωγή, τη χρήση και την τελική του διάθεση. Οι γενικές κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που πρέπει να ληφθούν υπόψη περιλαμβάνουν τη χρήση των πόρων, την ανθρώπινη υγεία και τις οικολογικές επιπτώσεις (International Organization for Standardization, 1997).

Ο στόχος αυτός πραγματοποιείται μέσω του προσδιορισμού και της ποσοτικοποίησης αφενός της κατανάλωσης ενέργειας και πρώτων υλών και αφετέρου της παραγωγής αερίων, υγρών και στερεών αποβλήτων, της εκτίμησης των επιπτώσεων των καταναλώσεων και των αποβλήτων στο περιβάλλον και της διερεύνησης της δυνατότητας επίτευξης σχετικών βελτιώσεων.



Πηγή: Keoleian and Menery, 1993.

Σχήμα 6.1: Απεικόνιση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος.

Περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, μιας διαδικασίας ή δραστηριότητας, δηλαδή την εξόρυξη ή αποκομιδή και επεξεργασία των πρώτων υλών, την παραγωγή, τη διανομή και μεταφορά του προϊόντος, τη χρήση (μία ή περισσότερες φορές), τη συντήρηση, την ανακύκλωση και την τελική απόρριψή του (Γεωργακέλλος, 2000). Μια πλήρης μελέτη εκτίμησης του κύκλου ζωής περιλαμβάνει τρία στάδια, τα οποία είναι, ως ένα βαθμό, αυτόνομα, αλλά όχι εντελώς ανεξάρτητα μεταξύ τους, αφού αλληλοσχετίζονται επηρεάζοντας το ένα το άλλο.

Τα στάδια αυτά που απαρτίζουν το πλαίσιο στο οποίο βασίζεται η μεθοδολογία, είναι η Καταγραφή Χρησιμοποιούμενων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών (Life Cycle Inventory Analysis), η Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment) και η Ερμηνεία των Αποτελεσμάτων Κύκλου Ζωής (Life Cycle Interpretation). Υπάρχει και ένα τέταρτο στάδιο που πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη, το οποίο προσδιορίζει το συγκεκριμένο σκοπό της. Το στάδιο αυτό ονομάζεται Ορισμός Στόχου και Αντικειμενικού Σκοπού (Goal and Scope Definition) (Γεωργακέλλος, 1999).

Η βασική αρχή της μεθόδου εκτίμησης του κύκλου ζωής είναι ότι η ρύπανση του περιβάλλοντος μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε στάδιο της ζωής ενός προϊόντος και ότι οι αλλαγές σε κάποιο από τα στάδια αυτά πιθανόν να έχουν θετικές ή αρνητικές επιπτώσεις στα υπόλοιπα, στον τομέα τόσο της πρόκλησης οποιασδήποτε μορφής ρύπανσης, όσο και κατανάλωσης ενέργειας και πρώτων υλών.

Έτσι, μπορεί να συμβάλλει στο να εξακριβωθεί, με αντικειμενικό τρόπο, εάν κάποια προτεινόμενη αλλαγή σε ένα προϊόν ή μια διεργασία έχει ενδεχομένως αρνητικές επιπτώσεις. Τα διάφορα περιβαλλοντικά προγράμματα εστιάζονται συνήθως στην ρύπανση ενός μόνο μέσου (αέρα, υδάτων ή εδάφους), με αποτέλεσμα, συχνά οι προσπάθειες για μείωση της ρύπανσης του μέσου αυτού να οδηγούν σε αύξηση της ρύπανσης κάποιου άλλου μέσου, συνήθως με τη μορφή αλυσίδας¹⁰ (Γεωργακέλλος, 1998).

6.2 Μορφές της Εκτίμησης του Κύκλου Ζωής

Όπως συμβαίνει με κάθε νέα προσπάθεια της επιστήμης, η εκτίμηση του κύκλου ζωής, έχει εμφανιστεί στη διεθνή βιβλιογραφία με διάφορα ονόματα και παραλλαγές, που οφείλονται είτε σε μικροδιαφορές στη μεθοδολογία είτε απλώς σε διαφορετική ονομασία του ίδιου πράγματος.

Έτσι εκτός από *Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment-LCA)* αναφέρεται και ως *Ανάλυση Κύκλου Ζωής*¹¹ (*Life Cycle Analysis-LCA*), *Οικολογικό Ισοζύγιο (Eco-*

¹⁰ Ως παράδειγμα αναφέρεται η λύση της αποτέφρωσης που επιλέγεται για τη διαχείριση των στερεών αστικών και λοιπών απορριμμάτων. Αυτή όμως απαιτεί μεγάλες μονάδες καύσης που εκπέμπουν στον ατμοσφαιρικό αέρα μεγάλες ποσότητες αερίων ρυπαντών και μάλιστα πολλές φορές εξαιρετικά επικίνδυνων. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού αναπτύχθηκαν μέθοδοι περιορισμού των ρυπαντών, που με τη σειρά τους έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία υγρών ρυπαντών που αν δεν ελεγχθούν ρυπαίνουν τα ύδατα.

¹¹ Για τον όρο Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment) εκφράζονται από ορισμένους επιφυλάξεις σχετικά με το κατά πόσο συμπίπτει πλήρως με τον όρο Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis).

Balance), Οικολογικό "Προφίλ" (*Eco-Profile*), "Ανάλυση από την παραγωγή ως το τέλος της ζωής ενός προϊόντος" (*Cradle-to-Grave Analysis*), Περιβαλλοντική Ανάλυση Φυσικών Πόρων (*Resource and Environmental Profile Analysis-REPA*) και Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων¹² (*Environmental Impact Analysis*).

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής εντάσσεται στην κατηγορία των *Ολοκληρωμένων Περιβαλλοντικών Εργαλείων (Μέσων)* (*Integrative Environmental Tools*), η οποία παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία παραλλαγών. Γενικά, πάντως, διακρίνονται δύο διαφορετικοί τύποι προσεγγίσεων που ξεχωρίζουν κυρίως από το γεγονός ότι επιδιώκουν διαφορετικούς στόχους.

Έτσι, από τη μια πλευρά υπάρχουν τα αναλυτικά εκείνα μέσα που δίνουν έμφαση σε μια συγκεκριμένη οικονομική δραστηριότητα (π.χ. η κατασκευή ενός έργου), η οποία αποτελεί το άμεσο αντικείμενο. Σε αυτή την περίπτωση υπάγονται η *Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων* (*Environmental Impact Assessment - EIA*) και η *Εκτίμηση Κινδύνου* (*Risk Assessment-RA*). Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν εργαλεία που διευρύνουν αυτό το σκοπό, με προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από ολόκληρο τον κύκλο ζωής μιας συγκεκριμένης οικονομικής δραστηριότητας.

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει δύο υποκατηγορίες: την *Ανάλυση Ροής* (*Substance Flow Analysis-SFA*) και την *Εκτίμηση ή Ανάλυση Κύκλου Ζωής* (*Life Cycle Assessment or Life Cycle Analysis*). Στην ανάλυση ροής των υλικών η προσοχή επικεντρώνεται σ' ένα συγκεκριμένο περιεχόμενο, η ροή του οποίου αναλύεται διαμέσου όλων των διεργασιών και προϊόντων της δραστηριότητας και ως προς κάθε περιβαλλοντική επίπτωση. Από την άλλη, η εκτίμηση του κύκλου ζωής εστιάζει την προσοχή της σε ένα συγκεκριμένο προϊόν ή διεργασία, εξετάζοντας κάθε εισροή και εκροή. Οι δύο αυτές υποκατηγορίες είναι συμπληρωματικές και πολλές φορές εμφανίζονται ταυτόχρονα.

Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινιστούν δύο έννοιες, που σχετίζονται άμεσα με την εκτίμηση του κύκλου ζωής, η *Οικολογική Εκτίμηση* (*Ecological Assessment*) και η *Περιβαλλοντική Εκτίμηση* (*Environmental Assessment*). Η οικολογική εκτίμηση είναι μια γενικότερη έννοια που συνδέει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις με τις κοινωνικές και τις οικονομικές, σε αντίθεση με την περιβαλλοντική εκτίμηση που είναι πιο περιορισμένη έννοια και εστιάζεται μόνο στο περιβάλλον.

Η διάκριση ανάμεσα σε αυτές τις δύο έννοιες είναι λεπτή και όχι πάντοτε εύκολη. Ειδικότερα, οι επιπτώσεις στην παραγωγή, στο περιβάλλον και στην υγιεινή της εργασίας, ενώ αποτελούν τμήμα των οικολογικών επιπτώσεων, μπορούν να συμπεριληφθούν και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, εάν ο άνθρωπος θεωρηθεί ως τμήμα της φύσης. Οι πιο γνωστές έννοιες που περιλαμβάνονται στην κατηγορία των οικολογικών επιπτώσεων είναι η *Ανάλυση Γραμμής Παραγωγής* (*Product Line Analysis*) και η *Τεχνολογική Εκτίμηση* (*Technological Assessment*), όπου και οι δύο περιέχουν στην ανάλυσή τους κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις.

¹² Ο συγκεκριμένος όρος μοιάζει αλλά δεν πρέπει να συγχέεται με τον όρο Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (*Environmental Impact Analysis*).

Στην κατηγορία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων οι σημαντικότεροι τύποι μελετών είναι από τη μια ο *Οικολογικός Έλεγχος (Eco-Test)* και η *Οικολογική Ετικέτα (Eco - Label)* ή *Ετικέτα Προϊόντος (Product Label)*, όπου η ανάλυση περιλαμβάνει ένα μικρό αριθμό (1-4) περιβαλλοντικών κριτηρίων και από την άλλη η *Εκτίμηση ή Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment or Life Cycle Analysis)*, όπου η ανάλυση περιλαμβάνει ένα απεριόριστα μεγάλο αριθμό περιβαλλοντικών κριτηρίων καταλήγοντας σε αντίστοιχα μεγάλο αριθμό αποτελεσμάτων, τα οποία είτε παρουσιάζονται χωρίς περαιτέρω επεξεργασία, είτε συγκεντρώνονται σε λίγες (ή και μόνο μια) περιβαλλοντικές συνιστώσες (Γεωργακέλλος, 1999).

Σε γενικές γραμμές, ο προσδιορισμός του κύκλου ζωής (LCA) καλύπτει όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός συστήματος προϊόντων. Αυτό περιλαμβάνει την εξαγωγή των πόρων, την επεξεργασία των υλικών και των καυσίμων, την παραγωγή των χρησιμοποιούμενων συστατικών, την κατασκευή, τη χρησιμοποίηση και τη συντήρηση του προϊόντος, και τέλος την τελική διάθεσή του.

Στην πράξη υπάρχει περιορισμός, σε πόρους και χρόνο ώστε να καταστεί μια μελέτη εύχρηστη, πρακτική και οικονομική. Η πρώτη ανάγκη κατά την υλοποίηση ενός συστήματος εκτίμησης κύκλου ζωής LCA είναι να προσδιορισθεί με σαφήνεια ο σκοπός. Η μελέτη καθορίζεται έτσι ώστε να προσδιορισθεί ο σκοπός, μέσα από διάφορους περιορισμούς. Παράλληλα καθορίζεται το κάθε πεδίο και τα όριά του. Με τον καθορισμό των ορίων στο φυσικό κύκλο ζωής αναλύονται με λεπτομέρεια οι πληροφορίες που συλλέγονται.

Το σύστημα πρέπει επίσης να περιλαμβάνει την ενέργεια και τα βοηθητικά υλικά τα οποία στηρίζουν την κύρια παραγωγή και την παραγωγή των βοηθητικών υλικών. Ολόκληρο το διάγραμμα ροής του κύκλου ζωής μοιάζει με δέντρο με πολλές ρίζες και κλαδιά. Κάποια από αυτά μπορεί να είναι αλληλοεξαρτώμενα περιπλέκοντας περισσότερο την ανάλυση. Οι αποφάσεις χρησιμοποιούνται για να καθορισθεί το είδος της ενέργειας και των βοηθητικών εισροών που είναι σημαντικές ώστε να προσδιορισθεί ο βαθμός των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή ιδιαίτερες επιπτώσεις.

Συνήθως, μερικές διεργασίες στο σύστημα του κύκλου της ζωής παράγουν περισσότερες από μια χρήσιμες εκροές. Τα δευτερογενή προϊόντα δεν είναι άμεσου ενδιαφέροντος, αλλά η παραγωγή τους συμβάλλει στον προσδιορισμό των συνολικών περιβαλλοντικών φορτίων. Η τεχνική του διαχωρισμού των ομοειδών φορτίων, είναι μια δραστηριότητα οριοθέτησης που καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο τα δευτερογενή προϊόντα αντιμετωπίζονται όταν εξέρχονται από το σύστημα.

6.3 Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής και Διεθνή Πρότυπα

Ο διεθνής οργανισμός τυποποίησης (International Organization for Standardization) έχει αναπτύξει τη σειρά των περιβαλλοντικών προτύπων ISO 14000.

Όπως διευκρινίζεται, αυτά τα πρότυπα μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: στη μία ανήκουν τα πρότυπα που αφορούν κυρίως επιχειρήσεις και περιλαμβάνουν τα Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (EMS-Environmental Management System) ISO 14001, ενώ στην άλλη ανήκουν τα πρότυπα που εστιάζονται στο προϊόν και έχουν ως βάση τη σειρά ISO 14040 η οποία αναφέρεται στην εκτίμηση του κύκλου ζωής (LCA - Life Cycle Assessment). Ενώ είχε δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στα πρότυπα EMS από τον Σεπτέμβριο του 1996, πολλές επιχειρήσεις αναγνωρίζουν μόνο τα τελευταία χρόνια τα στρατηγικά οφέλη από τις προσεγγίσεις των δύο συστημάτων στην περιβαλλοντική διαχείριση.

Τα πρότυπα της σειράς ISO 14040 έχουν σχεδιαστεί, όπως όλα τα πρότυπα, προκειμένου να βοηθήσουν:

- Τους υπεύθυνους που αναλαμβάνουν μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής να ακολουθούν μια συγκεκριμένη διαδικασία.
- Τους υποστηρικτές τέτοιων μελετών να αισθάνονται σιγουριά ότι η μελέτη τους θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις ενός διεθνούς αναγνωρισμένου προτύπου.
- Τους υπεύθυνους μέσα στις επιχειρήσεις για το σχεδιασμό προϊόντων (παραγωγή, ανώτερη διοίκηση) και άλλους φορείς (κυβερνήσεις, καταναλωτές, μετόχους, οικονομικά ιδρύματα), ώστε να αξιολογούν και να ερμηνεύουν τα αποτελέσματα των μελετών εκτίμησης του κύκλου ζωής (www.ec.gc.ca).

Τα πρότυπα που αναφέρονται στην εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι τα ακόλουθα:

6.3.1 ISO 14040: Περιβαλλοντική Διαχείριση - Εκτίμηση Κύκλου Ζωής Αρχές και Πλαίσιο (Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework)

Το πρότυπο αυτό καθορίζει τις γενικές οδηγίες και παρουσιάζει τις βασικές αρχές, το γενικό πλαίσιο και μερικές μεθοδολογικές απαιτήσεις για την υλοποίηση μιας μελέτης με ένα υπεύθυνο και διάφανο τρόπο. Πρόσθετες πληροφορίες που αφορούν στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται, δίνονται στα συμπληρωματικά Διεθνή Πρότυπα ISO 14041, ISO 14042, ISO 14043. Το ISO 14040 βασίζεται στο μοντέλο για την εκτίμηση του κύκλου ζωής που έχει αναπτυχθεί από την SETAC (Society Environmental Toxic and Analytic Chemistry).

Όσον αφορά στη μεθοδολογία εκτίμησης του κύκλου ζωής, το πρότυπο παρέχει γενικές κατευθύνσεις σχετικά με τον καθορισμό του στόχου και του αντικειμενικού σκοπού της μελέτης, τον καθορισμό της λειτουργικής μονάδας και των ορίων του εξεταζόμενου συστήματος, τον προσδιορισμό της ποιότητας των δεδομένων, τη διεξαγωγή συγκρίσεων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων, την πιστοποίηση της ποιότητας της μελέτης μέσω μιας κριτικής ανασκόπησης, τη διενέργεια ανάλυσης καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών, εκτίμησης επιπτώσεων και

ερμηνείας αποτελεσμάτων κύκλου ζωής και τέλος τη σύνταξη αναφοράς και τη διεξαγωγή κριτικής ανασκόπησης (Cascio, 1996).

6.3.2 ISO 14041: Περιβαλλοντική Διαχείριση - Εκτίμηση Κύκλου Ζωής - Ορισμός Στόχου και Αντικειμενικού Σκοπού και Ανάλυση Καταγραφόμενων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών (Environmental Management - Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Inventory Analysis)

Το συγκεκριμένο Διεθνές Πρότυπο ολοκληρώθηκε το φθινόπωρο του 1998 και ασχολείται με δύο φάσεις της εκτίμησης του κύκλου ζωής, τον καθορισμό του στόχου και του αντικειμενικού σκοπού, την ανάλυση των υλικών, ενέργειας και εκπομπών, όπως αυτές ορίζονται στο ISO 14040.

Ένας σημαντικός σκοπός του συγκεκριμένου προτύπου είναι να παρουσιάσει μια μεθοδολογία για την εκπόνηση μελετών ανάλυσης των υλικών, ενέργειας και εκπομπών του κύκλου ζωής. Η ύπαρξη μεγάλης εμπειρίας στη βιομηχανία σχετικά με τέτοιου είδους μελέτες έχει ως συνέπεια το πρότυπο αυτό να είναι ένα από τα πιο εκτενή της σειράς ISO 14000.

Το πρότυπο ISO 14041 περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Σκοπός
- Ορισμοί
- Εισαγωγή, που περιέχει οδηγίες
- Ορισμός του στόχου και του αντικειμενικού σκοπού
- Ανάλυση υλικών, ενέργειας και εκπομπών του κύκλου ζωής, η οποία περιλαμβάνει οδηγίες για την προετοιμασία της συλλογής δεδομένων και τη βελτίωση των ορίων του συστήματος
- Αναφορά των αποτελεσμάτων της μελέτης ανάλυσης υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής (Cascio, 1996).

6.3.3 ISO 14042: Περιβαλλοντική Διαχείριση - Εκτίμηση Κύκλου Ζωής- Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Impact Assessment)

Αυτό το πρότυπο περιέχει γενικές αρχές, οδηγίες και διαδικασίες για την κατανόηση και εκτίμηση της σημασίας των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στις μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής (International Organization for Standardization, 2000).

Το τεχνικό πλαίσιο για την εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής περιλαμβάνει τις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

- Την *Ταξινόμηση (Classification)*, δηλαδή την αντιστοίχιση των δεδομένων της ανάλυσης υλικών, ενέργειας και εκπομπών με τις κατηγορίες των επιπτώσεων.
- Τον *Χαρακτηρισμό (Characterization)*, δηλαδή την περιγραφή των κατηγοριών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Την *Αξιολόγηση (Evaluation)*.

Τα πρότυπα που αναφέρονται στην ανάλυση υλικών, ενέργειας και εκπομπών και στην εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής θα πρέπει να χρησιμοποιούνται παράλληλα και όχι ανεξάρτητα, προκειμένου να εξασφαλίζουν τη συμβατότητα των οδηγιών για τη συλλογή των δεδομένων (Cascio, 1996).

6.3.4 ISO 14043: Περιβαλλοντική Διαχείριση - Εκτίμηση Κύκλου Ζωής - Ερμηνεία Αποτελεσμάτων Κύκλου Ζωής (Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Interpretation)

Το πρότυπο αυτό δεν περιγράφει συγκεκριμένες μεθοδολογίες για το στάδιο της ερμηνείας των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής, αλλά παρουσιάζει μια συστηματική διαδικασία για την ερμηνεία των πληροφοριών που παρέχονται από την ανάλυση υλικών, ενέργειας και εκπομπών ή/και την εκτίμηση των επιπτώσεων ενός συστήματος, σε συνδυασμό με τον καθορισμένο στόχο και τον αντικειμενικό σκοπό της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής.

Σύμφωνα με το συγκεκριμένο πρότυπο, το στάδιο της ερμηνείας των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής περιέχει τέσσερα στάδια:

- Τη σύνθεση της ανάλυσης υλικών, ενέργειας και εκπομπών και την εκτίμηση των επιπτώσεων
- Τη σύγκριση των εργαλείων βελτίωσης
- Τα συμπεράσματα
- Τις προτάσεις

Το πρότυπο αυτό παρέχει οδηγίες σχετικά με τα συμπεράσματα και τις συστάσεις που αναφέρονται στα ευρήματα της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής που έχουν ως σκοπό την βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης του εξεταζόμενου προϊόντος (Cascio, 1996).

Εκτός από τα παραπάνω πρότυπα, υπάρχει και μια τεχνική αναφορά που ονομάζεται ISO/TR 14049: *Περιβαλλοντική Διαχείριση - Εκτίμηση Κύκλου Ζωής - Παραδείγματα εφαρμογής του Προτύπου ISO 14041 (Environmental Management - Life Cycle Assessment - Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis)*, η οποία παρουσιάζει παραδείγματα πρακτικών για τη διενέργεια ανάλυσης υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής.

Αν και όλοι σχεδόν οι ερευνητές συμφωνούν με την ύπαρξη τουλάχιστον αυτών των σταδίων, η συντριπτική πλειοψηφία των μελετών εκτίμησης του κύκλου ζωής, μέχρι σήμερα, δεν τα περιλαμβάνει όλα. Περιλαμβάνει σχεδόν αποκλειστικά το στάδιο της ανάλυσης των υλικών, ενέργειας και εκπομπών.

Οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό είναι οι ακόλουθοι:

- Το στάδιο της καταγραφής αυτής πρέπει οπωσδήποτε να προηγείται των δύο άλλων, με αποτέλεσμα να είναι σπάνιες οι περιπτώσεις των μελετών εκτίμησης του κύκλου ζωής που να μην το περιλαμβάνουν. Αντιθέτως, κάτι τέτοιο δεν απαιτείται πάντοτε για τα στάδια της εκτίμησης των επιπτώσεων και της ερμηνείας των αποτελεσμάτων.
- Η μεθοδολογία πάνω στην οποία βασίζεται το στάδιο των υλικών, ενέργειας και εκπομπών του κύκλου ζωής έχει αναπτυχθεί σε σημαντικό βαθμό, με αποτέλεσμα να υπάρχει σήμερα το κατάλληλο θεωρητικό υπόβαθρο για την εκπόνηση αξιόπιστων μελετών. Αντίθετα, δεν φαίνεται να ισχύει το ίδιο και στην περίπτωση των δύο άλλων σταδίων¹³, η ανάπτυξη των οποίων παρουσιάζει πολλά σημεία που παραμένουν ακόμη ασαφή.
- Πολλές φορές το στάδιο της ανάλυσης των υλικών, ενέργειας και εκπομπών αρκεί ώστε να προσδιοριστούν τρόποι μείωσης της ρύπανσης όπως και της κατανάλωσης ενέργειας και πρώτων υλών.

Στην περίπτωση αυτή τα άλλα δύο στάδια χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν ότι οι ενδεχόμενες αλλαγές θα φέρουν καλύτερα αποτελέσματα, χωρίς ταυτόχρονα να δημιουργήσουν άλλου είδους περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Γεωργακέλλος, 1999).

Στο σχήμα 6.2 παρουσιάζονται τα στάδια της εκτίμησης του κύκλου ζωής σύμφωνα με το ISO 14040. Τα διπλά βέλη υποδηλώνουν την αλληλεπίδραση μεταξύ τους.¹⁴

6.4 Ορισμός Στόχου και Αντικειμενικού Σκοπού (Goal and Scope Definition)

¹³ Το στάδιο της ερμηνείας των αποτελεσμάτων είναι αυτό που παρουσιάζει τη μικρότερη ανάπτυξη σε σχέση με το στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων.

¹⁴ Η εκτίμηση των επιπτώσεων μπορεί να αποκαλύψει την έλλειψη στοιχείων. Αυτό σημαίνει ότι η ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών πρέπει να βελτιωθεί ή ότι η ερμηνεία των αποτελεσμάτων ίσως είναι ανεπαρκής για την ικανοποίηση των απαιτήσεων της συγκεκριμένης μελέτης, γεγονός που με τη σειρά του σημαίνει ότι ο ορισμός του στόχου και του αντικειμενικού σκοπού πρέπει να αναθεωρηθεί (European Environment Agency, 2001).

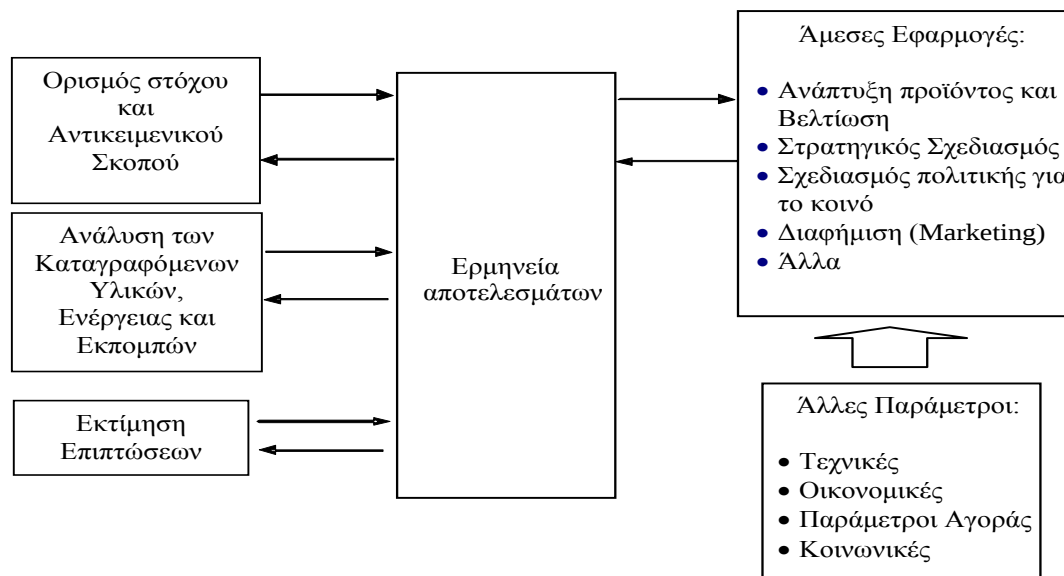
Ο στόχος της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής πρέπει να διευκρινίζει τους λόγους εκπόνησης της μελέτης, την επιδιωκόμενη χρήση των αποτελεσμάτων¹⁵ και το κοινό στο οποίο προβλέπεται να κοινοποιηθεί η μελέτη.

Το αντικείμενο της μελέτης πρέπει να περιγράφει με σαφήνεια το σύστημα του υπό μελέτη προϊόντος και τα όριά του, δηλαδή τι ακριβώς περιλαμβάνει αυτό και τι πρόκειται να αξιολογηθεί, τις λειτουργίες του συστήματος ή των συστημάτων στην περίπτωση συγκριτικών μελετών, τη λειτουργική μονάδα, τα είδη των επιπτώσεων και τη μεθοδολογία αξιολόγησής τους, τις απαιτήσεις των δεδομένων, τις αναγκαίες υποθέσεις και τους αναγκαστικούς περιορισμούς καθώς και τις αρχικές απαιτήσεις για την ποιότητα των δεδομένων (Γεωργακέλλος, 1998).

6.4.1 Σύστημα Προϊόντος (Product System)

Προκειμένου να καταγραφούν οι εισροές και οι εκροές από και προς το περιβάλλον για τον προσδιορισμό των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος, είναι απαραίτητο να καθοριστεί ένα *σύστημα αναφοράς*.

Στην εκτίμηση του κύκλου ζωής με τον όρο *σύστημα* εννοείται το σύνολο των διαφόρων διαδικασιών που συνδέονται υλικά ή ενεργειακά (π.χ. κατασκευή, μεταφορά) και οι οποίες όλες μαζί συνθέτουν μια συγκεκριμένη λειτουργία.



Πηγή: International Organization for Standardization (ISO), Ιούνιος 1997.

Σχήμα 6.2: Στάδια εκτίμησης του κύκλου ζωής σύμφωνα με το ISO 14040.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η έννοια της λειτουργίας είναι πολύ σημαντική, γιατί εάν πρόκειται να συγκριθούν δύο συστήματα, αυτά πρέπει να

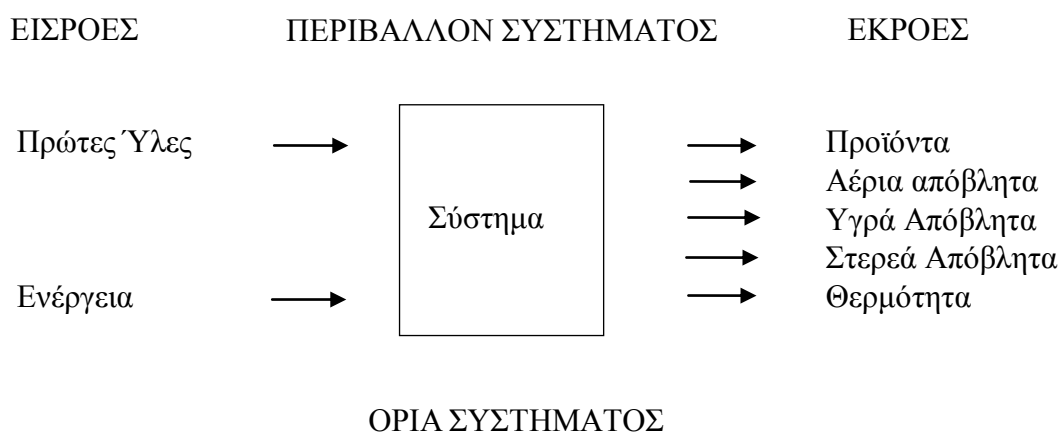
¹⁵ Μια βασική θεώρηση είναι εάν τα αποτελέσματα της εκτίμησης του κύκλου ζωής θα χρησιμοποιηθούν σε εσωτερικές εφαρμογές σε μια εταιρεία για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης του συστήματος, ή εάν θα χρησιμοποιηθούν εξωτερικά και θα επηρεάσουν το δημόσιο συμφέρον (Μπούρα και Μουσιόπουλος, 1998).

εκτελούν την ίδια λειτουργία. Όλη η διαδικασία στηρίζεται στις θεμελιώδεις αρχές της Θερμοδυναμικής, στην αρχή διατήρησης της μάζας και σε άλλους νόμους της Φυσικής, ενώ παράλληλα ο τρόπος συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων μοιάζει με εκείνον της κατάρτισης των ισολογισμών και των καταστάσεων αποτελεσμάτων χρήσεως των επιχειρήσεων.

Όπως δηλαδή σε μια επιχείρηση γίνεται προσπάθεια καταγραφής και μελέτης της ροής των χρημάτων και γενικά των κεφαλαίων, έτσι και με την εκτίμηση του κύκλου ζωής γίνεται προσπάθεια καταγραφής της ροής ενέργειας και πρώτων υλών, αλλά και της εκροής ρυπαντών σε κάθε φάση της ζωής ενός προϊόντος. Στο σχήμα 6.3 παρουσιάζεται η σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος.

Ο όρος *σύστημα* αναφέρεται στο τμήμα εκείνο της ζωής του προϊόντος το οποίο εξετάζεται κάθε φορά. Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3, το σύστημα απεικονίζεται ως ένα τετράγωνο το οποίο περικλείεται από το σύνολο των διαδικασιών που πρόκειται να αναλυθούν.

Το περίγραμμα του τετραγώνου επισημαίνει τα όρια του συστήματος και διαχωρίζει το σύστημα από τον περιβάλλοντα χώρο που ονομάζεται *περιβάλλον του συστήματος*. Το περιβάλλον του συστήματος είναι η 'πηγή' όλων των ροών που εισέρχονται στο σύστημα και η "καταβόθρα" όλων των ροών που εξέρχονται από αυτό (Γεωργακέλλος, 2000).



Πηγή: Γεωργακέλλος, 1999.

Σχήμα 6.3: Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος.

6.4.2 Όρια Συστήματος (System Boundaries)

Τα όρια του συστήματος καθορίζουν τις στοιχειώδεις διαδικασίες¹⁶ (unit processes) που περιλαμβάνονται στην εκτίμηση του κύκλου ζωής. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μπορεί να περιλαμβάνουν από μερικά στάδια (υποσυστήματα) έως όλη τη ζωή του υπό εξέταση προϊόντος ή διεργασίας.

Επειδή όμως, συνήθως, δεν υπάρχει αρκετός χρόνος, δεδομένα ή φυσικοί πόροι για την πραγματοποίηση μιας ιδανικής μελέτης, πρέπει να αποφασιστεί ποιες στοιχειώδεις διαδικασίες τελικά θα συμπεριληφθούν στη μελέτη. Επιπλέον, δεν χρειάζεται να αναλωθούν φυσικοί πόροι για τον προσδιορισμό εισροών και εκροών που δε θα αλλάζουν σημαντικά τα τελικά συμπεράσματα της μελέτης.

Τα όρια του συστήματος πρέπει πάντοτε να είναι καθορισμένα εκ των προτέρων με ακρίβεια¹⁷ και να παραμένουν σταθερά σε όλη τη διάρκεια της εκτίμησης. Σε πολλές περιπτώσεις όμως, τα αρχικά όρια είναι δυνατόν να βελτιωθούν στη συνέχεια, ενώ επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, όπως η επιδιωκόμενη εφαρμογή της μελέτης, οι υποθέσεις που έχουν γίνει, οι περιορισμοί των δεδομένων και του κόστους και το κοινό στο οποίο πρόκειται να κοινοποιηθούν τα αποτελέσματα της μελέτης. Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των ορίων του συστήματος πρέπει να προσδιορίζονται και να τεκμηριώνονται στο αντικείμενο της μελέτης (International Organization for Standardization, 1997).

6.4.3 Λειτουργία και Λειτουργική Μονάδα Συστήματος (Function and Functional Unit).

Το αντικείμενο της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής πρέπει να προδιαγράφει σαφώς τις λειτουργίες του υπό μελέτη συστήματος. Επειδή ένα σύστημα μπορεί να έχει μεγάλο αριθμό πιθανών λειτουργιών, η επιλεγμένη λειτουργία εξαρτάται από τους τελικούς στόχους και το αντικείμενο της μελέτης.

Η σχετική λειτουργική μονάδα πρέπει να είναι προσδιορισμένη, μετρήσιμη, σύμφωνη με το στόχο και το αντικείμενο της μελέτης και σχετική με τα δεδομένα εισόδου και εξόδου. Μια *λειτουργική μονάδα* περιλαμβάνει μέτρηση της απόδοσης των εκροών των λειτουργιών του συστήματος προϊόντος¹⁸.

¹⁶ Η στοιχειώδης διαδικασία είναι το μικρότερο τμήμα ενός συστήματος προϊόντος για το οποίο έχουν συλλεχθεί στοιχεία κατά τη διάρκεια μιας εκτίμησης κύκλου ζωής, International Organization for Standardization (ISO), 1997.

¹⁷ Σε πολλές περιπτώσεις αυτό δε συμβαίνει, γιατί πρακτικά δεν είναι δυνατόν να συμπεριληφθεί στη μελέτη κάθε, σχετική με το εξεταζόμενο προϊόν, λεπτομέρεια.

¹⁸ Για παράδειγμα, ως λειτουργική μονάδα ενός συστήματος χρωμάτων μπορεί να οριστεί η μονάδα επιφάνειας που είναι προστατευμένη για μια καθορισμένη χρονική περίοδο παραγωγής. Άλλα παραδείγματα λειτουργικών μονάδων είναι η μονάδα επιφάνειας μιας περιοχής που καλύπτεται με χρώμα σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, η συσκευασία που χρησιμοποιείται για τη διάθεση μιας δεδομένης ποσότητας αναψυκτικού, ή η ποσότητα καθαριστικών που απαιτούνται για την καθαριότητα ενός νοικοκυριού (Μπούρα και Μουσιόπουλος, 1998).

Έχοντας ορίσει τη λειτουργική μονάδα, πρέπει στη συνέχεια να προσδιοριστεί ο τύπος και η ποσότητα του προϊόντος που είναι απαραίτητα για την πραγματοποίηση της επιλεγμένης λειτουργίας. Το αποτέλεσμα αυτής της μέτρησης είναι η *ροή αναφοράς*. Στη συνέχεια, η ροή αναφοράς χρησιμοποιείται για να υπολογιστούν οι εισροές και οι εκροές του συστήματος.

Ο πρωταρχικός σκοπός μιας λειτουργικής μονάδας είναι να αποτελέσει ένα μέτρο αναφοράς στη μελέτη εκτίμησης του κύκλου ζωής, με το οποίο να συσχετίζονται οι εισροές και εκροές. Αυτό το μέτρο αναφοράς είναι απαραίτητο ώστε να εξασφαλίζεται η δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής, που είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, προκειμένου να υπάρχει μια κοινή βάση, στην περίπτωση εκτίμησης διαφορετικών συστημάτων (Γεωργακέλλος, 1999).

6.4.4 Περιγραφή Κατηγοριών Δεδομένων (Description of Data Categories)

Τα δεδομένα που απαιτούνται για μια μελέτη εκτίμησης του κύκλου ζωής εξαρτώνται από το στόχο της μελέτης. Δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν από τις θέσεις παραγωγής που συνδέονται με τις στοιχειώδεις διαδικασίες, ή μπορούν να αποκτηθούν και να υπολογιστούν από δημοσιευμένες πηγές.

Στην πράξη, όλες οι κατηγορίες των δεδομένων μπορεί να περιέχουν ένα σύνολο μετρήσεων, υπολογισμών ή εκτιμήσεων. Τα δεδομένα που συλλέγονται από μέτρηση, υπολογισμό ή εκτίμηση χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν ποσοτικά οι εισροές και εκροές μιας στοιχειώδους διαδικασίας.

Οι βασικές κατηγορίες στις οποίες μπορούν να ταξινομηθούν τα διάφορα δεδομένα είναι οι εξής:

- Εισροές ενέργειας, πρώτων υλών, βοηθητικές και άλλες φυσικές εισροές
- Προϊόντα
- Εκπομπές στον αέρα, στο νερό, στο έδαφος, άλλες περιβαλλοντικές εκπομπές

Εκτός από αυτές τις κατηγορίες, πρέπει να περιγράφονται λεπτομερώς μεμονωμένες κατηγορίες δεδομένων για να ικανοποιήσουν πλήρως το στόχο της μελέτης. Για παράδειγμα, όσον αφορά στις εκπομπές στον αέρα, κατηγορίες δεδομένων όπως το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του θείου και του αζώτου κλπ., μπορούν να προσδιορίζονται ξεχωριστά.

Η εισερχόμενη και η εξερχόμενη ενέργεια πρέπει να αντιμετωπίζεται ως οποιαδήποτε άλλη εισροή και εκροή. Οι διάφοροι τύποι εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας πρέπει να περιλαμβάνουν εισροές και εκροές σχετικά με την παραγωγή και διανομή καυσίμων αλλά και την ενέργεια τροφοδοσίας που χρησιμοποιείται εντός του εξεταζόμενου συστήματος.

Οι εκπομπές στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος αντιστοιχούν συχνά σε εκροές από σημείο ή πηγές διάχυσης. Η κατηγορία αυτή θα πρέπει επίσης να περιλαμβάνει εκπομπές που διαφεύγουν, όταν αυτές είναι σημαντικές. Άλλες κατηγορίες δεδομένων για τις οποίες μπορεί να συλλεχθούν εισερχόμενα και εξερχόμενα δεδομένα, περιλαμβάνουν για παράδειγμα θόρυβο και δονήσεις, χρήση γης, ακτινοβολία, οσμή και θερμικές απώλειες (Environmental Protection Agency, 1993).

6.4.5 Κριτήρια για τις αρχικές εισροές και εκροές (Criteria for initial inclusion of inputs and outputs)

Κατά τον ορισμό του αντικειμενικού σκοπού, επιλέγεται η αρχική ομάδα εισροών και εκροών για την ανάλυση των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών. Συχνά δεν είναι πρακτικό να μοντελοποιείται κάθε εισροή και εκροή του συστήματος, γιατί ο προσδιορισμός τους αποτελεί μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία.

Ο αρχικός προσδιορισμός γίνεται κατά κανόνα χρησιμοποιώντας διαθέσιμα δεδομένα. Οι εισροές και οι εκροές στη συνέχεια πρέπει να προσδιορίζονται πιο ολοκληρωμένα, αφού συλλεχθούν συμπληρωματικά δεδομένα ενώ αργότερα μπορεί να πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας.

Για τα εισερχόμενα υλικά, η ανάλυση αρχίζει με μια αρχική επιλογή των εισροών που θα μελετηθούν οι οποίες πρέπει να σχετίζονται με κάθε μια από τις στοιχειώδεις διαδικασίες που πρόκειται να μοντελοποιηθούν. Αυτή η προσπάθεια μπορεί να βασιστεί σε δεδομένα που συλλέγονται από συγκεκριμένες περιοχές ή από δημοσιευμένες πηγές.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται κατά την εκτίμηση του κύκλου ζωής για τον καθορισμό των εισροών που πρόκειται να μελετηθούν, περιλαμβάνουν *κριτήρια μάζας, ενέργειας και επιπτώσεις στο περιβάλλον*.

Η πραγματοποίηση του αρχικού προσδιορισμού των εισροών βασισμένη μόνο στη συμβολή της μάζας μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την παράλειψη σημαντικών εισροών.

Επομένως, η ενέργεια και η σχέση με το περιβάλλον πρέπει επίσης να χρησιμοποιούνται ως κριτήρια σε αυτή τη διαδικασία. Για τα κριτήρια αυτά πρέπει να αναφερθούν τα παρακάτω:

- *Κριτήρια μάζας:* Όταν χρησιμοποιείται ως κριτήριο η μάζα, μια σωστή απόφαση απαιτεί το συνυπολογισμό όλων των εισροών που συνεισφέρουν αθροιστικά, περισσότερο από ένα καθορισμένο ποσοστό στην εισερχόμενη μάζα του συστήματος που μελετάται.
- *Κριτήρια ενέργειας:* Ομοίως, όταν χρησιμοποιείται η ενέργεια ως κριτήριο, μια σωστή απόφαση απαιτεί το συνυπολογισμό όλων των εισροών που συνεισφέρουν αθροιστικά, περισσότερο από ένα καθορισμένο ποσοστό στην εισερχόμενη ενέργεια του συστήματος.

- *Κριτήρια επιπτώσεων στο περιβάλλον:* Όσον αφορά στα κριτήρια αυτά, οι αποφάσεις πρέπει να λαμβάνονται έτσι, ώστε να περιλαμβάνουν εισροές που συνεισφέρουν περισσότερο από ένα καθορισμένο συμπληρωματικό ποσοστό στην υπολογισμένη ποσότητα κάθε ξεχωριστής κατηγορίας. Για παράδειγμα, εάν τα οξείδια του θείου είχαν επιλεγεί ως μια κατηγορία επιπτώσεων, θα μπορούσε να καθιερωθεί ένα κριτήριο που να περιλαμβάνει τις εισροές που συνεισφέρουν περισσότερο από ένα καθορισμένο ποσοστό στις συνολικές εκπομπές του θείου του συστήματος προϊόντος που μελετάται.

Τα κριτήρια αυτά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των εκροών στο περιβάλλον (International Organization for Standardization (ISO), 1997).

6.4.6 Απαιτήσεις Ποιότητας Δεδομένων (Data Quality Requirements)

Η ποιότητα των δεδομένων πρέπει να αναφέρεται τόσο στην ποσοτική όσο και στην ποιοτική πλευρά τους, καθώς και στις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή και την ομαδοποίησή τους. Οι απαιτήσεις ποιότητας προδιαγράφουν σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά των απαιτούμενων για τη μελέτη δεδομένων και πρέπει να περιλαμβάνουν τις εξής παραμέτρους:

- *Χρονική κάλυψη:* Αναφέρεται στην επιθυμητή χρονική διάρκεια των δεδομένων (π.χ. τα τελευταία πέντε χρόνια) και στην ελάχιστη χρονική διάρκεια στην οποία αυτά πρέπει να συλλεχθούν.
- *Γεωγραφική κάλυψη:* Αναφέρεται στην γεωγραφική περιοχή από την οποία πρέπει να συλλέγονται τα δεδομένα για τις στοιχειώδεις διαδικασίες, ώστε να ικανοποιούν το στόχο της μελέτης (π.χ. τοπική, περιφερειακή, εθνική, παγκόσμια).
- *Κάλυψη τεχνολογίας:* Αναφέρεται η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία.

Η ποιότητα των δεδομένων επηρεάζεται επίσης από τους εξής παράγοντες:

- *Την πηγή των δεδομένων:* Οι πηγές μπορεί να είναι πρωτογενείς (όπως τα δεδομένα που συλλέγονται για ειδικές διαδικασίες) ή δευτερογενείς (όπως αυτά που συλλέγονται από αναφορές ή άλλες δημοσιευμένες πηγές). Αυτές περιλαμβάνουν δεδομένα από επιχειρηματικές και κρατικές εκθέσεις, εργαστηριακές δοκιμές, βιβλία, δημοσιεύσεις και βάσεις δεδομένων, καταλόγους θεσμοθετημένων ορίων, συμβούλους και εμπορικούς συνδέσμους και από άλλες μελέτες.
- *Τη μέθοδο συλλογής τους:* Η συλλογή τους μπορεί να αφορά διάφορα επίπεδα, όπως μέσες τιμές (μηνιαίες ή ετήσιες) και σταθερά ή κανονικοποιημένα δεδομένα.

- *Τον τρόπο παραγωγής τους:* Τα δεδομένα μπορούν να παραχθούν με διάφορους τρόπους, όπως ακριβείς μετρήσεις, εκτιμήσεις και δείγματα, μοντέλα και υπολογισμούς.
- *Το κόστος και ο χρόνος συλλογής των δεδομένων:* Η ποιότητά τους εξαρτάται από την προσπάθεια και το χρόνο που έχει αφιερωθεί στη μελέτη, αλλά και από τη διαθεσιμότητά τους.

Σε όλες τις μελέτες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, σε λεπτομερή βαθμό, και οι παρακάτω επιπλέον απαιτήσεις ποιότητας των δεδομένων:

- *Απόκλιση:* Είναι το μέτρο της μεταβλητότητας των τιμών των δεδομένων για κάθε κατηγορία (π.χ. απόκλιση από το μέσο όρο).
- *Πληρότητα:* Εκφράζει το ποσοστό των σημείων, από τον πιθανά υπαρκτό αριθμό, που παρέχουν βασικής σημασίας δεδομένα για κάθε κατηγορία.
- *Αντιπροσωπευτικότητα:* Είναι η ποιοτική εκτίμηση του βαθμού στον οποίο η ομάδα των δεδομένων αντιπροσωπεύει τον πληθυσμό ενδιαφέροντος (π.χ. γεωγραφική και χρονική κάλυψη, κάλυψη τεχνολογίας).
- *Συνέπεια:* Πρόκειται για την ποιοτική εκτίμηση του βαθμού ομοιομορφίας, ο οποίος αναφέρεται στη μελέτη.
- *Δυνατότητα αναπαραγωγής:* Είναι η ποιοτική εκτίμηση της έκτασης που ένας ανεξάρτητος επαγγελματίας μπορεί με βάση τις πληροφορίες για τη μεθοδολογία και τις τιμές των δεδομένων, να αναπαράγει τα αποτελέσματα της μελέτης (Μπούρα και Μουσιόπουλος, 1998).

6.4.7 Ανάλυση των Καταγραφόμενων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών του Κύκλου Ζωής (Inventory Analysis).

Το συγκεκριμένο στάδιο της εκτίμησης του κύκλου ζωής θεωρείται το πιο αναπτυγμένο, και περιλαμβάνει μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία κατά την οποία καταγράφεται και ποσοτικοποιείται κάθε τι το οποίο είτε εισέρχεται από το περιβάλλον (πρώτες ύλες, ενέργεια κλπ.) είτε εξέρχεται σε αυτό (προϊόντα, αέριοι και λοιποί ρύποι, παραπροϊόντα, απόβλητα κλπ.) ως αποτέλεσμα της κάθε είδους δραστηριότητας που σχετίζεται με το εξεταζόμενο προϊόν από την παραγωγή ως το τέλος της ζωής του. Τα δεδομένα αυτά στη συνέχεια αποτελούν τις εισροές για το επόμενο στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων (International Organization for Standardization, 1997).

Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των διαφόρων υποσυστημάτων που περιλαμβάνονται συνήθως σε μια ανάλυση των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών του κύκλου ζωής, τα οποία απεικονίζονται στο σχήμα 6.4.

6.5 Απλοποιημένες διαδικασίες για την Ανάλυση των Καταγραφόμενων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών του Κύκλου Ζωής

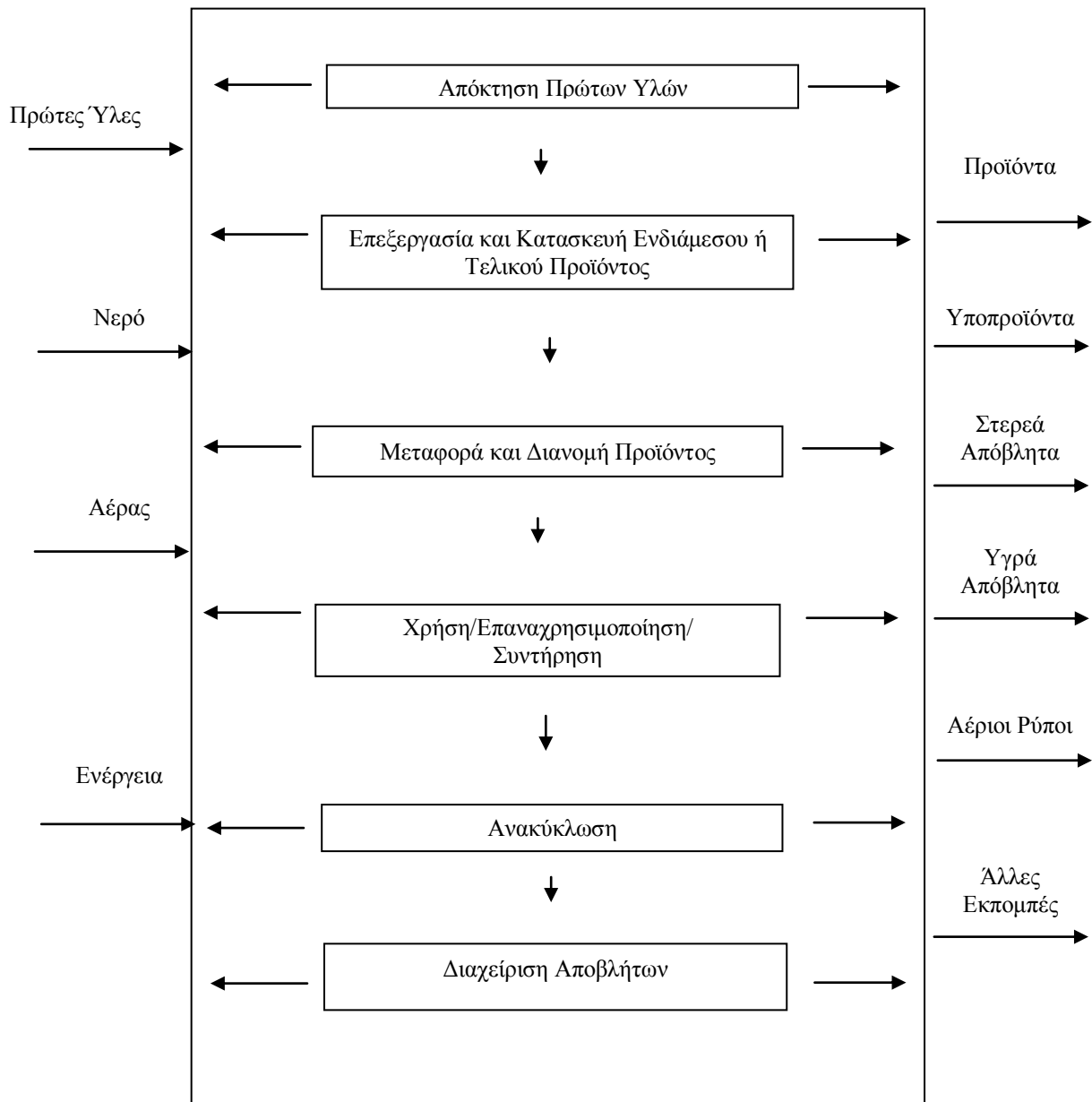
Η ανάλυση των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών του κύκλου ζωής περιλαμβάνει τις μεθόδους συλλογής δεδομένων και υπολογισμών. Για την πραγματοποίηση του συγκεκριμένου σταδίου απαιτούνται απλοποιημένες διαδικασίες, οι οποίες παρουσιάζονται στο σχήμα 6.5 και περιγράφονται λεπτομερέστερα στη συνέχεια.

6.5.1 Προετοιμασία για τη συλλογή δεδομένων

Το αντικείμενο της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής καθορίζει το αρχικό σύνολο των στοιχειωδών διαδικασιών που πρόκειται να μοντελοποιηθούν και των σχετικών κατηγοριών δεδομένων.

Επειδή η συλλογή δεδομένων περιλαμβάνει αρκετές θέσεις αναφοράς στο χώρο παραγωγής του προϊόντος, τα στάδια που απαιτούνται, προκειμένου να εξασφαλιστεί η κατανόηση του εξεταζόμενου συστήματος προϊόντος, πρέπει να περιλαμβάνουν:

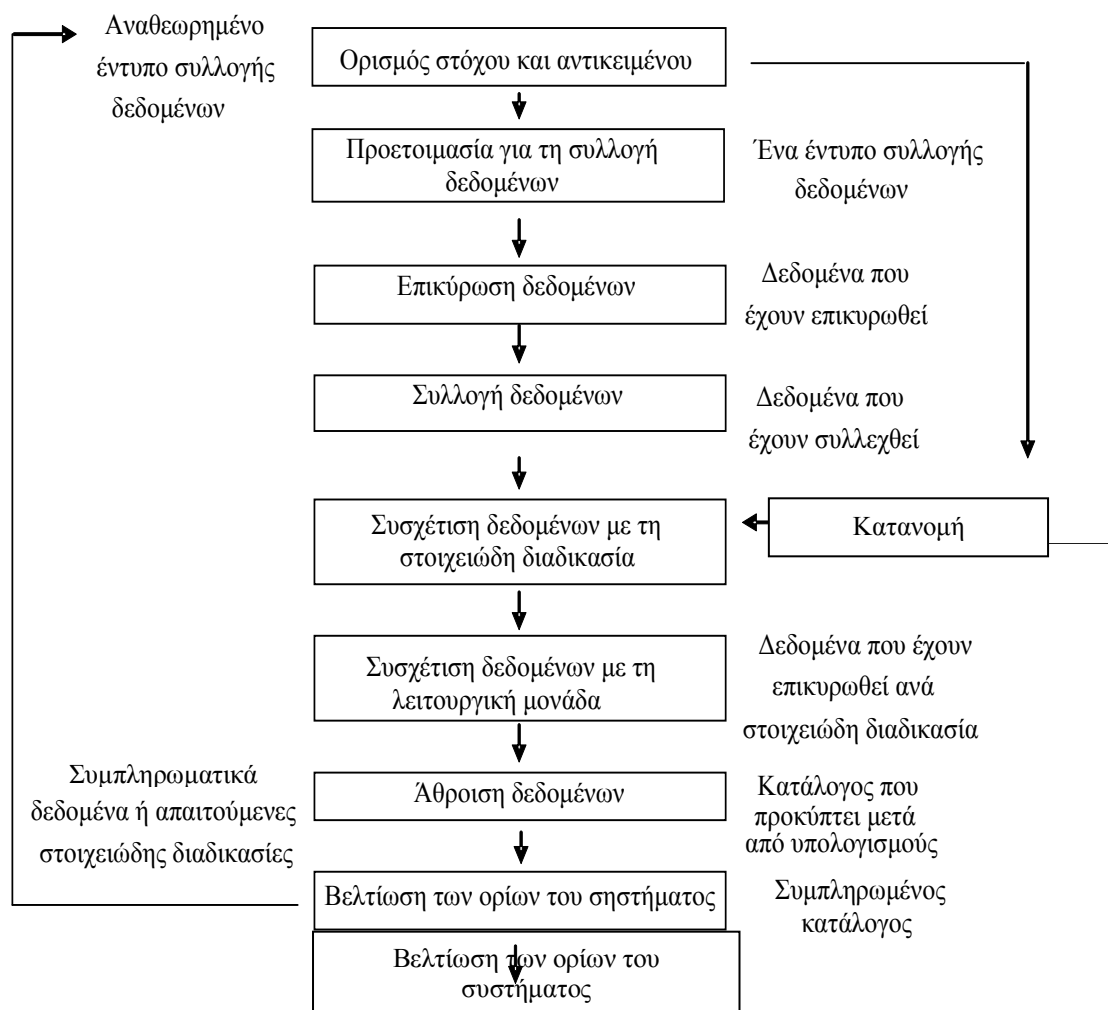
- Το σχεδιασμό συγκεκριμένων διαγραμμάτων ροών που περιγράφουν όλες τις στοιχειώδεις διαδικασίες που πρόκειται να προτυποποιηθούν, συμπεριλαμβανόμενων των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων.
- Τη λεπτομερή περιγραφή κάθε στοιχειώδους διαδικασίας και τον αντίστοιχο κατάλογο των κατηγοριών δεδομένων.
- Τη δημιουργία καταλόγου που θα καθορίζει τις μονάδες μέτρησης.
- Την περιγραφή των τεχνικών συλλογής δεδομένων και των τεχνικών υπολογισμού για κάθε κατηγορία, προκειμένου να μπορεί να κατανοεί το προσωπικό στις θέσεις αναφοράς, ποιες πληροφορίες είναι απαραίτητες.
- Την παροχή οδηγιών στις θέσεις αναφοράς προκειμένου να καταγράφονται με ακρίβεια όλες οι ειδικές περιπτώσεις, ανωμαλίες ή άλλα στοιχεία που συνδέονται με τα παρεχόμενα δεδομένα.



Όρια Συστήματος

Πηγή: EPA, Graedel και Allenby, 1995.

Σχήμα 6.4: Στοιχεία της ανάλυσης καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής.



Πηγή: International Organization for Standardization (ISO), 1998.

Σχήμα 6.5: Απλοποιημένες διαδικασίες για την ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής (δεν παρουσιάζονται ορισμένα στάδια που επαναλαμβάνονται).

6.5.2 Συλλογή δεδομένων

Οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των δεδομένων ποικίλλουν ανάλογα με τη στοιχειώδη διαδικασία που εξετάζεται κάθε φορά, την επιδιωκόμενη εφαρμογή, τη σύνθεση και τα προσόντα των συμμετεχόντων στη μελέτη και την ανάγκη ικανοποίησης των απαιτήσεων της ιδιοκτησίας και της εμπιστευτικότητας των δεδομένων.

Η συλλογή των δεδομένων είναι μια δύσκολη διαδικασία¹⁹ και απαιτεί ολοκληρωμένη γνώση για κάθε στοιχειώδη μονάδα. Προκειμένου να παραλειφτούν διπλοί υπολογισμοί ή παραλείψεις, η κάθε στοιχειώδης διαδικασία πρέπει να περιγράφεται με ακρίβεια.

Αυτό σημαίνει ποσοτική και ποιοτική περιγραφή των εισροών και εκροών που είναι απαραίτητες, προκειμένου να καθοριστεί η αρχή, το τέλος και η λειτουργία της κάθε στοιχειώδους διαδικασίας. Όταν η στοιχειώδης διαδικασία έχει πολλαπλές εισροές (π.χ. εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων) ή πολλαπλές εκροές, τα δεδομένα που σχετίζονται με τις διαδικασίες κατανομής πρέπει να αναφέρονται και να καταγράφονται. Όλα τα συλλεγόμενα δεδομένα πρέπει να εκφράζονται σε κοινές μονάδες μέτρησης.

Οι ενεργειακές εισροές και εκροές πρέπει να μετρούνται σε μονάδες ενέργειας, ενώ όπου είναι εφαρμόσιμο, η μάζα ή ο όγκος του καυσίμου πρέπει επίσης να καταγράφεται. Όταν τα δεδομένα συλλέγονται από δημοσιευμένα έντυπα, είναι απαραίτητο να υπάρχει παραπομπή στην πηγή.

Επίσης πρέπει να δίνονται λεπτομέρειες για τη σχετική διαδικασία συλλογής τους, τη χρονική περίοδο που συλλέχθηκαν καθώς και για άλλους δείκτες ποιότητας, ενώ εάν τα δεδομένα δεν είναι σύμφωνα με τις αρχικές απαιτήσεις ποιότητας, αυτό πρέπει να διευκρινίζεται. Ένα παράδειγμα εντύπου συλλογής δεδομένων παρουσιάζεται στον πίνακα 6.1 (International Organization for Standardization (ISO), 1998).

6.5.3 Διαδικασίες υπολογισμού

Μετά τη συλλογή των δεδομένων ακολουθούν οι διαδικασίες υπολογισμού, ώστε να εξαχθούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών του κύκλου ζωής του συστήματος προϊόντος που πρόκειται να προτυποποιηθεί και τα οποία αναφέρονται σε κάθε μια στοιχειώδη διαδικασία του συστήματος αυτού.

Τα στάδια που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό των δεδομένων περιγράφονται στη συνέχεια.

6.5.3.1 Επικύρωση δεδομένων

Κατά τη διαδικασία συλλογής των δεδομένων πρέπει να διεξάγεται έλεγχος της εγκυρότητάς τους. Για παράδειγμα, η επικύρωση μπορεί να περιλαμβάνει τη δημιουργία ισοζυγίου μάζας, ισοζυγίου ενέργειας και/ή συγκριτικές αναλύσεις συντελεστών εκπομπής.

¹⁹ Αυτό συμβαίνει γιατί το κόστος μπορεί να είναι απαγορευτικό ή τα πρωτογενή δεδομένα που χρειάζονται να μην είναι διαθέσιμα.

Προφανείς ανωμαλίες που εμφανίζονται από τέτοιες διαδικασίες επικύρωσης, απαιτούν εναλλακτικές τιμές δεδομένων που συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις ποιότητας των δεδομένων. Η αντιμετώπιση των ελλειπών δεδομένων που παρουσιάζονται σε κάθε κατηγορία δεδομένων και σε κάθε θέση αναφοράς, πρέπει να καταλήγει σε:

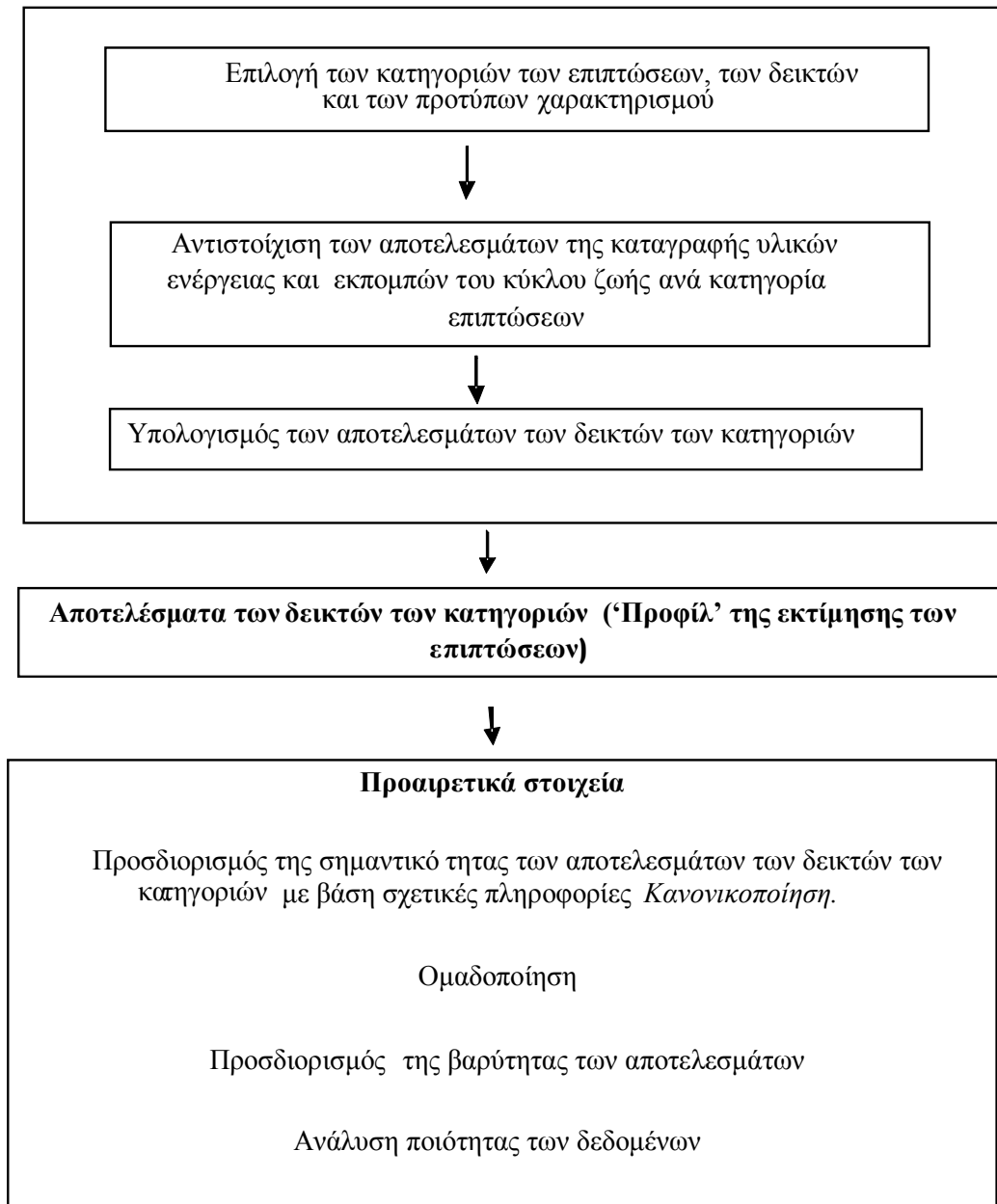
- "μη μηδενική" τιμή δεδομένων, η οποία αιτιολογείται.
- "μηδενική" τιμή δεδομένων, εάν αιτιολογείται.
- υπολογισμένη τιμή, βασισμένη στις τιμές που έχουν αναφερθεί από στοιχειώδεις διαδικασίες που χρησιμοποιούν παρόμοια τεχνολογία.

6.5.4 Στοιχεία Εκτίμησης των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής

Ο διαχωρισμός της φάσης της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής σε διαφορετικά στάδια είναι απαραίτητος, λόγω των παρακάτω πλεονεκτημάτων:

- Κάθε στοιχείο της φάσης της εκτίμησης των επιπτώσεων είναι ευδιάκριτο και μπορεί να καθορίζεται με σαφήνεια.
- Το στάδιο του ορισμού στόχου και αντικειμενικού σκοπού μιας μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής μπορεί να ξεετάζει κάθε στοιχείο της εκτίμησης των επιπτώσεων ξεχωριστά.
- Η αξιολόγηση της ποιότητας των μεθόδων εκτίμησης των επιπτώσεων, των υποθέσεων που γίνονται και των διαφόρων αποφάσεων μπορεί να διενεργείται για κάθε στοιχείο του σταδίου της εκτίμησης των επιπτώσεων.
- Οι διαδικασίες για την εκτίμηση των επιπτώσεων, οι υποθέσεις που γίνονται, οι διάφορες άλλες λειτουργίες, η χρήση τιμών και η υποκειμενικότητα σε κάθε στοιχείο της εκτίμησης των επιπτώσεων, πρέπει να είναι διαθέσιμες για κριτική ανασκόπηση και αναφορά.

Για τους παραπάνω λόγους, το γενικό πλαίσιο του σταδίου της εκτίμησης των επιπτώσεων αποτελείται από αρκετά *υποχρεωτικά στοιχεία (Mandatory elements)* που μετατρέπουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών σε αποτελέσματα δεικτών κατηγοριών επιπτώσεων, καθώς και σε *προαιρετικά στοιχεία (optional elements)*. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στο σχήμα 6.6 και περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.



Πηγή: International Organization for Standardization, 2008.

Σχήμα 6.6: Εκτίμηση των επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής.

6.5.5 Υποχρεωτικά Στοιχεία της Εκτίμησης των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής

Τα υποχρεωτικά στοιχεία της εκτίμησης των επιπτώσεων συμβάλλουν στη συλλογή των αποτελεσμάτων των δεικτών των κατηγοριών για τις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων και είναι τα ακόλουθα:

- Η επιλογή των κατηγοριών των επιπτώσεων, των δεικτών αυτών των κατηγοριών και των προτύπων χαρακτηρισμού²⁰ (Selection of impact categories, category indicators and characterization models).
- Η αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων της καταγραφής υλικών, ενέργειας και εκπομπών του κύκλου ζωής ανά κατηγορία επιπτώσεων (Ταξινόμηση) (Assignment of life cycle inventory results to the impact categories - Classification).
- Υπολογισμός των αποτελεσμάτων των δεικτών των κατηγοριών (Χαρακτηρισμός) (Calculation of category indicator results - Characterization), (International Organization for Standardization (ISO), 2000).

6.5.6 Βελτίωση του Κύκλου Ζωής

Η έννοια της βελτίωσης του κύκλου ζωής πραγματικά κάνει μια μελέτη εκτίμησης κύκλου ζωής αποδοτικότερη αλλά δεν θεωρείται ιδιαίτερα απλή. Πρέπει να ληφθούν αρχικά τα στοιχεία, και στη συνέχεια να γίνει μελέτη και αξιολόγηση των επιπτώσεων που είναι ένας μακροχρόνιος και σύνθετος στόχος.

Η ιδέα της βελτίωσης έχει ως στόχο να μελετηθεί η εκτίμηση του κύκλου ζωής, εκτός από τους ειδικούς και από μια ευρύτερη ομάδα που μπορεί να κάνει μια πιο άμεση προσέγγιση λαμβάνοντας πιο πρακτικές αποφάσεις και κάνοντας τις περιβαλλοντικές βελτιώσεις γρηγορότερες, ευκολότερες και φτηνότερες.

Η πρόκληση είναι να δημιουργηθεί ένα φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα χωρίς την υποτίμηση της τεχνολογικής ακρίβειας και της αξιοπιστίας. Ο Οργανισμός Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας (SETAC) και η Υπηρεσία Προστασίας των Η.Π.Α. (EPA) μελετούν επίσης τα προγράμματα βελτίωσης της εκτίμησης του κύκλου ζωής.

²⁰ Κάθε κατηγορία επιπτώσεων έχει το δικό της περιβαλλοντικό μηχανισμό. Τα πρότυπα χαρακτηρισμού απεικονίζουν το μηχανισμό αυτό, περιγράφοντας τη σχέση μεταξύ των αποτελεσμάτων του σταδίου της ανάλυσης των καταγεγραμμένων υλικών, ενέργειας και εκπομπών, των δεικτών κατηγοριών και των *ορίων κάθε κατηγορίας* (category endpoints).

Η έμφαση κυρίως δίδεται στην υψηλή αξία του Κύκλου Ζωής ως εργαλείο, που χρησιμοποιείται για τη βελτίωση των προϊόντων και για τη στρατηγική διαδικασία λήψης αποφάσεων (www.ec.gc.ca).

Πίνακας 6.1: Κύριες κατηγορίες οικο-δεικτών περιβαλλοντικών επιπτώσεων:

ADP:	Abiotic Depletion Potential	Μείωση αβιοτικού δυναμικού	Sn-eq
GWP:	Global Warming Potential	Δυναμικό παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας	CO ₂ -eq
ODP:	Ozone Depletion Potential	Δυναμικό μείωσης του όζοντος	CFC-11-eq
HTP:	Human Toxicity Potential	Δυναμικό τοξικότητας για τον άνθρωπο	1.4-DCB-eq/kg
FAETP:	Fresh-Water Aquatic Eco-Toxicity Potential	Δυναμικό οικο-τοξικότητας φυσικών υδάτων	1.4-DCB-eq
MAETP:	Marine Aquatic Eco-Toxicity Potential	Δυναμικό οικο-τοξικότητας των θαλάσσιων υδάτων	1.4-DCB-eq
TAETP:	Terrestrial Eco-Toxicity Potential	Δυναμικό οίκο- τοξικότητας εδαφών	1.4-DCB-eq
PCOP:	Photochemical Ozone Creation Potential	Δυναμικό δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος	C ₂ H ₂ -eq/kg
AP:	Acidification Potential	Δυναμικό δημιουργίας οξύτητας	SO ₂ -eq/kg
EP:	Eutrophication Potential	Δυναμικό ευτροφισμού	PO ₄ -eq/kg

6.6 Εκτίμηση του κύκλου ζωής του μαρμάρου

Σκοπός της εκτίμησης του κύκλου ζωής του μαρμάρου είναι η αξιολόγηση και η σύγκριση του κύκλου ζωής όλων των προϊόντων και των αποβλήτων από τα διάφορα στάδια σε μια εις βάθος περιβαλλοντική μελέτη.

Στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια αρχικής εκτίμησης του κύκλου ζωής του μαρμάρου, επειδή όπως προαναφέρθηκε δεν υπάρχουν πολλά και αξιόπιστα δεδομένα από τη βιομηχανία.

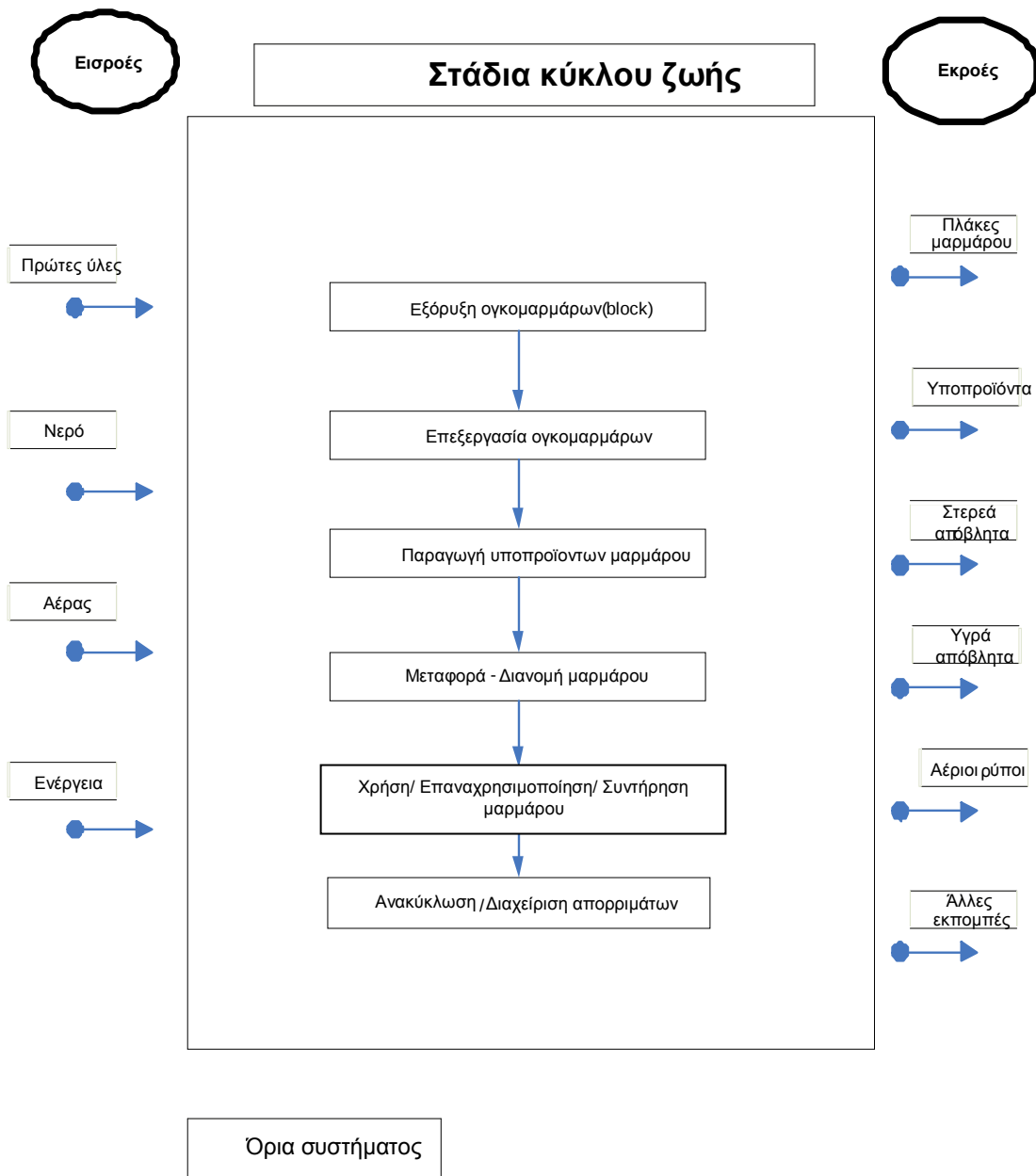
Το σχήμα 6.7 παρουσιάζει τα στάδια του κύκλου ζωής του μαρμάρου με τις αντίστοιχες εισροές ή εκροές.

Σημαντικές εισροές του υποσυστήματος του κύκλου ζωής του μαρμάρου, που πρέπει να καταγραφούν στο στάδιο της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών είναι η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού του εργοστασίου επεξεργασίας (μηχανήματα ορθογωνισμού και σχισίματος των όγκων, μηχανήματα κοπής, λείανσης και στίλβωσης των προϊόντων μαρμάρου).

Κάποιοι παράμετροι είναι τα διάφορα ανταλλακτικά που χρειάζονται, τα οποία όμως είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστούν, όπως είναι και η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται για την ψύξη του μηχανολογικού εξοπλισμού (π.χ. των μηχανημάτων ορθογωνισμού των ογκομαρμάρων και των αδαμαντοφόρων εργαλείων κοπής) και για την απομάκρυνση των κόκκων μαρμάρου από την επιφάνεια κοπής.

Η διαδικασία της επεξεργασίας των ογκομαρμάρων δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα μέσω των διάφορων απορριμμάτων που παράγονται και δεν πρέπει να αγνοούνται.

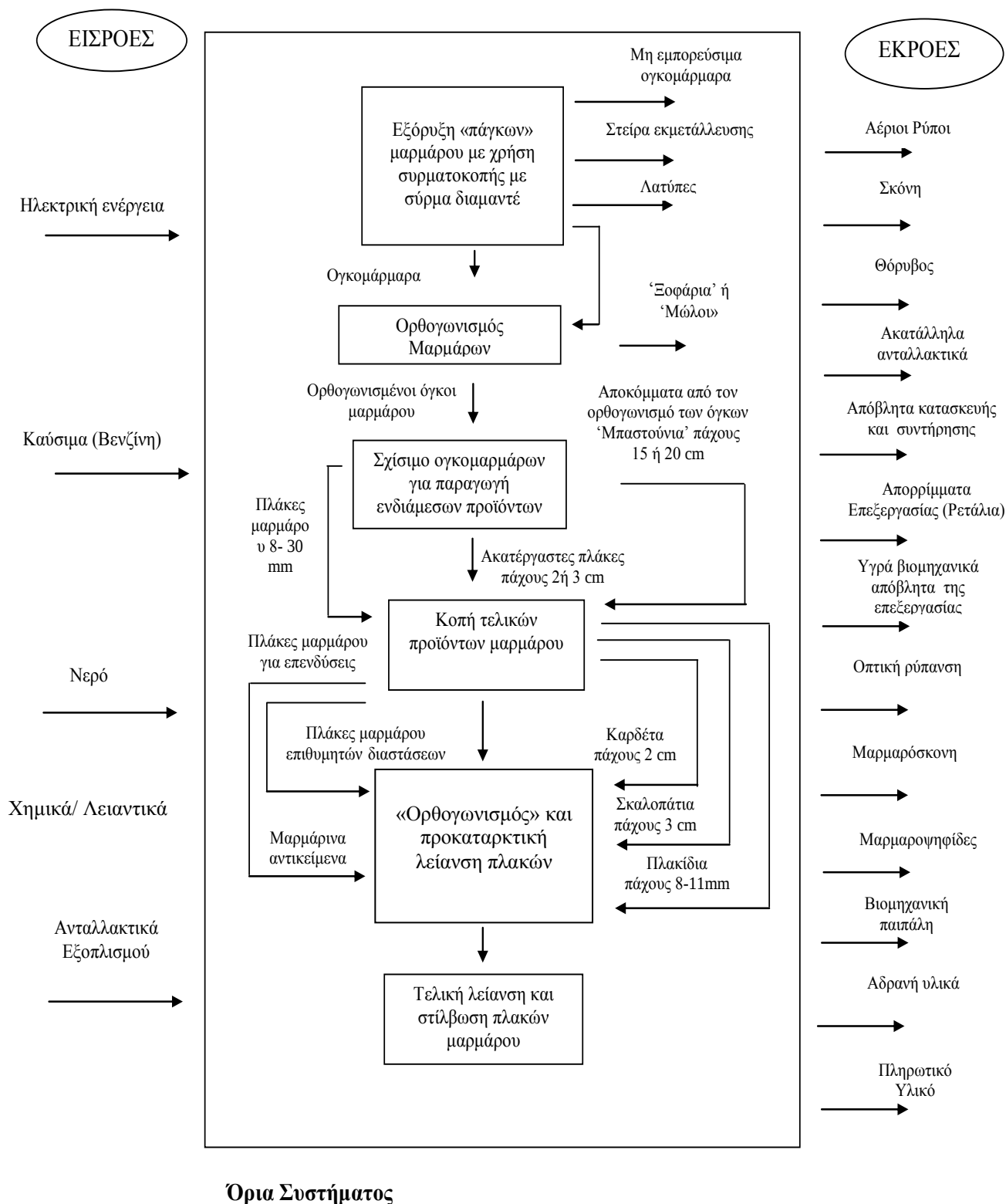
Έτσι, στο στάδιο της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών, εκτός από τα τεμάχια από τον ορθογωνισμό των όγκων, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα απορρίμματα της επεξεργασίας (ρετάλια), τα οποία μπορούν επίσης να αξιοποιηθούν, καθώς και τα διάφορα ακατάλληλα εξαρτήματα του μηχανολογικού εξοπλισμού του εργοστασίου επεξεργασίας που παρουσιάζουν όμως μεγάλες δυσκολίες καταγραφής (π.χ. λάμες στα τελάρα, κοπτικά άκρα στα μηχανήματα κοπής, ακατάλληλες λόγω γήρανσης λειαντικές πέτρες, ανταλλακτικά των οχημάτων).



Πηγή: Concoli, 1993.

Σχήμα 6.7: Τα στάδια του κύκλου ζωής του μαρμάρου

Στο σχήμα 6.8 που ακολουθεί απεικονίζονται τα πρώτα στάδια του κύκλου ζωής του μαρμάρου καθώς και οι διάφορες εισροές και εκροές που σχετίζονται με αυτά (Αποστολίδης, 1991).



Σχήμα 6.8: Αναλυτική απεικόνιση των πρώτων σταδίων του κύκλου ζωής του μαρμάρου.

7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΑΡΜΑΡΙΝΩΝ-ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΠΛΑΚΙΔΙΩΝ

7.1 Γενικά

Για την καλύτερη κατανόηση του θέματος και λόγω της έλλειψης αξιόπιστων στοιχείων από τη βιομηχανία μαρμάρου στη συνέχεια γίνεται σύγκριση του κύκλου ζωής ενός μαρμάρινου και ενός κεραμικού πλακιδίου.

Σκοπός είναι η σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων για τα δύο αυτά οικοδομικά υλικά ευρείας χρήσεως. Τα συστήματα ανάλυσης που επιλέχθηκαν, είναι πλακάκι εμβαδού 1m^2 με διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 40 χρόνια.

Τα γενικά χαρακτηριστικά του μαρμάρινου πλακιδίου και των εγκαταστάσεων μέσω των οποίων παράγεται είναι:

- Πάχος 1,8 cm, μέσο βάρος $48,6 \text{ kg/m}^2$.
- Οι εγκαταστάσεις κατεργασίας βρίσκονται σε απόσταση 50 km από το λατομείο.
- Τα απόβλητα ανακυκλώνονται εκτός των εγκαταστάσεων, μετά από την απαραίτητη επεξεργασία.
- Η απόσταση μεταφοράς της ύλης από τη δεξαμενή καθίζησης στο χώρο διάθεσης, μετά από επεξεργασία στις φιλτρόπρεσες (διαδικασία για να μειωθεί η υγρασία), είναι 10 km.
- Ο μέσος όρος ζωής των πλακιδίων είναι 40 χρόνια, κατά τη διάρκεια της οποίας λαμβάνουν χώρα δύο διαδικασίες συντήρησης (στίλβωση και γυάλισμα) καθώς και 40 λειτουργίες κηρώματος με ηλεκτρική μηχανή ισχύος 0,4 kW.
- Τα μαρμάρινα πλακίδια διακινούνται αφού συσκευαστούν σε ξύλινα κιβώτια, χρησιμοποιώντας περίπου $0,75 \text{ kg}$ ξύλου/ m^2 πλακιδίου.

Τα γενικά χαρακτηριστικά του κεραμικού πλακιδίου είναι:

- Το μέσο βάρος είναι 18 kg/m^2 .
- Οι πρώτες ύλες εισήχθησαν από διάφορες χώρες και οι εγκαταστάσεις κατεργασίας βρίσκονται στην περιοχή του Sassuolo, Emilia-Romagna (Βόρεια Ιταλία).
- Τα απόβλητα ανακυκλώνονται εντός των εγκαταστάσεων.

- Η σύσταση των καπναερίων προσδιορίζεται κοντά στη μονάδα. Οι τιμές αφορούν τη μέση σύσταση λαμβάνοντας υπόψη και άλλα εργοστάσια της περιοχής.
- Ο μέσος όρος ζωής των πλακιδίων έχει υπολογιστεί σε 20 χρόνια, με βάση τις καταναλωτικές προτιμήσεις και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Συνεπώς τα κεραμικά πλακίδια πρέπει να αντικατασταθούν μια φορά, ώστε να είναι κατάλληλα και ικανά για σύγκριση καθ' όλη την περίοδο των 40 χρόνων.

7.2 Κύκλοι ζωής των δύο συστημάτων

Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας για τις διάφορες φάσεις της ζωής ενός μαρμαρίνου πλακιδίου, ενώ στον Πίνακα 7.2 η κατανάλωση ενέργειας για τις διάφορες φάσεις της ζωής ενός κεραμικού πλακιδίου.

Πίνακας 7.1: Κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή 1m² πλακιδίου μαρμάρου.

Φάση κύκλου ζωής [α]	Ηλεκτρική ενέργεια (kWh) [b]	Θερμική ενέργεια MJ [c]	Ηλεκτρική ενέργεια + Θερμική ενέργεια (MJ) ^a [d=(b*9.2)+c]
<i>προ-παραγωγή</i>	5.94	9.1	63.75
εξαγωγή μαρμάρου	5.94	1.67	56.32
μεταφορά	0	7.43	7.43
<i>παραγωγή</i>	6.48	0	59.61
κοπή ακατέργαστων μπλοκ	1.67	0	15.36
κοπή καθορισμένων μπλοκ	1.94	0	17.85
λείανση-γυάλισμα	2.87	0	26.4
<i>χρήση</i>	3.78	0	34.77
διάθεση αποβλήτων	0	3.73	3.73
Σύνολο	16.2	12.83	161.86

^a 1 kWh=9.2MJ

Πηγή: (Nicoletti κ.ά., 2002).

Πίνακας 7.2: Κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή 1m² κεραμικού πλακιδίου.

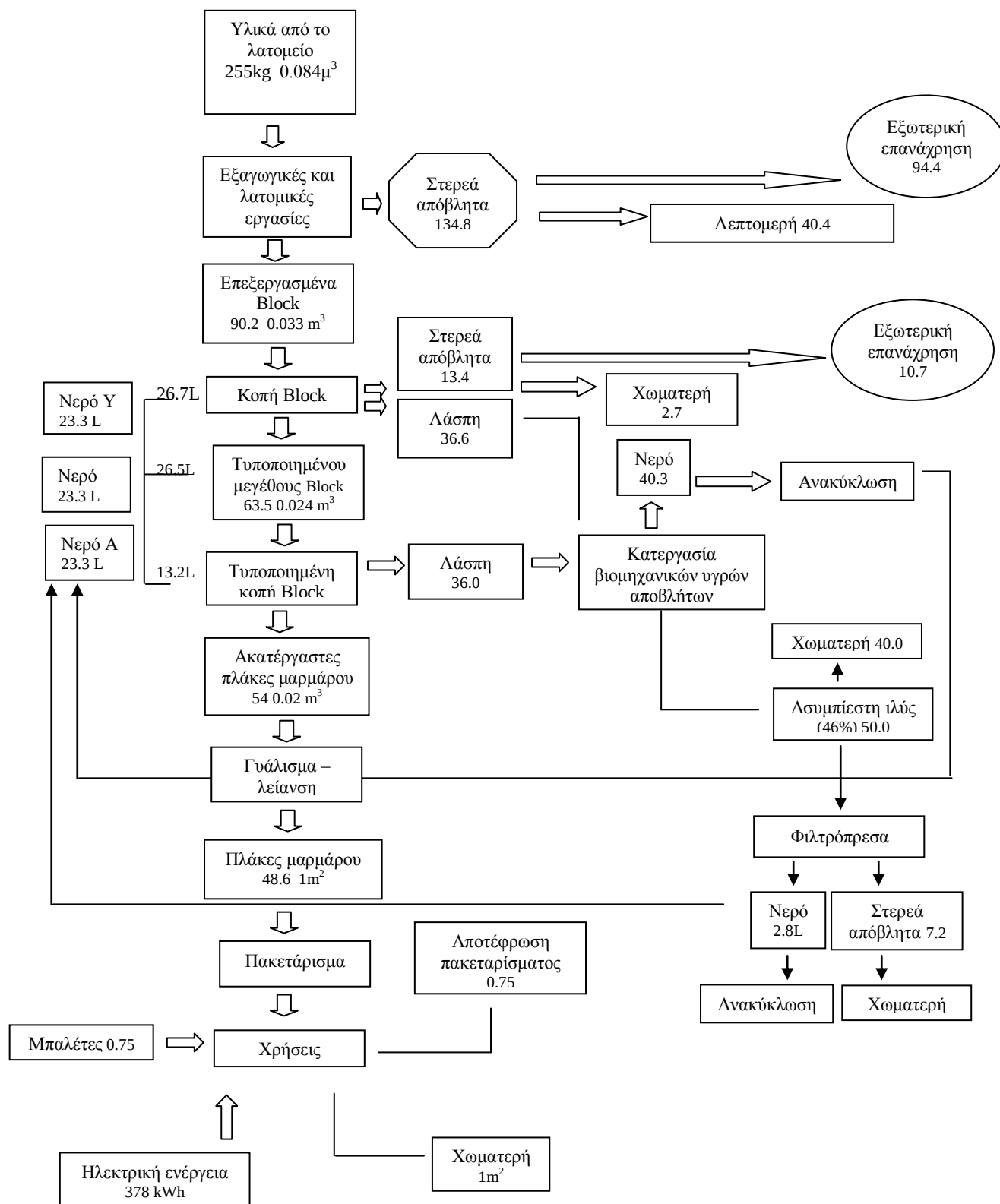
κύκλος ζωής φάση [α]	Ηλεκτρική ενέργεια (kWh) [b]	Θερμική ενέργεια MJ [c]	Ηλεκτρική ενέργεια + Θερμική ενέργεια (MJ) ^a [d=(b*9.2)+c]
<i>προ-παραγωγή</i>	2.92	2.24	29.09
πρώτες ύλες	0.57	0.36	5.6
μεταφορά πρώτων υλών	0.47	1.54	5.86
παραγωγή ή αγορά υλικών στίλβωσης	1.87	0.09	17.29
μεταφορά υλικών στίλβωσης	0.01	0.25	0.34
<i>κυρίως παραγωγή</i>	1.81	49.33	65.97
ανάμιξη	1.07	40.52	50.36
διαμόρφωση	0.45	0	4.14
στέγνωμα	0.29	8.81	11.47
<i>παραγωγή στιλβωτικών</i>	0.16	2.64	4.09
λειτουργία πρώτων υλών	0.03	0	0.27
τήξη υλικών	0.04	2.64	3
λειτουργία υλικών	0.09	0	0.82
<i>παραγωγή πλακιδίων</i>	0.74	52.92	59.72
επισμάλτωση	0.18	0	1.65
πύρωση	0.56	52.92	58.07
<i>χρήση</i>	0	0	0
<i>διάθεση αποβλήτων</i>	0	2.77	2.77
Σύνολο	5.63	109.9	161.64

^a 1 kWh=9.2MJ

b τα δεδομένα επεξεργασίας από έρευνα του ASSOPIASTRELLE .

Πηγή: (Nicoletti κ.ά., 2002).

Αναλυτική καταγραφή του κύκλου ζωής ενός μαρμάρινου και ενός κεραμικού πλακιδίου καθώς και των συγγενών υλικών του παρουσιάζονται στα σχήματα 7.1, 7.2 και 7.3.

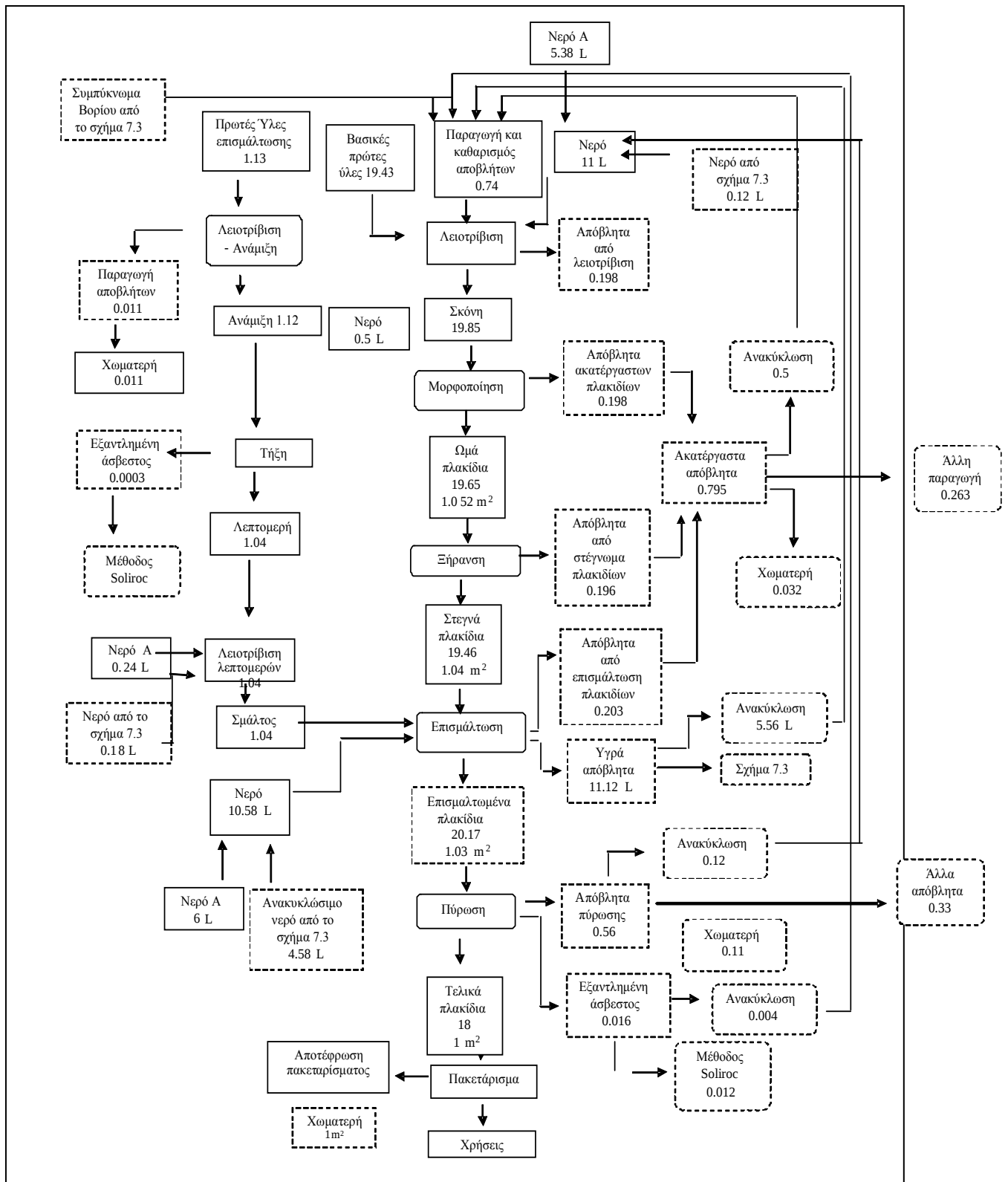


Νερό A: ανακυκλωμένο νερό

Νερό Y: νερό

Πηγή: (Nicoletti κ.ά., 2002).

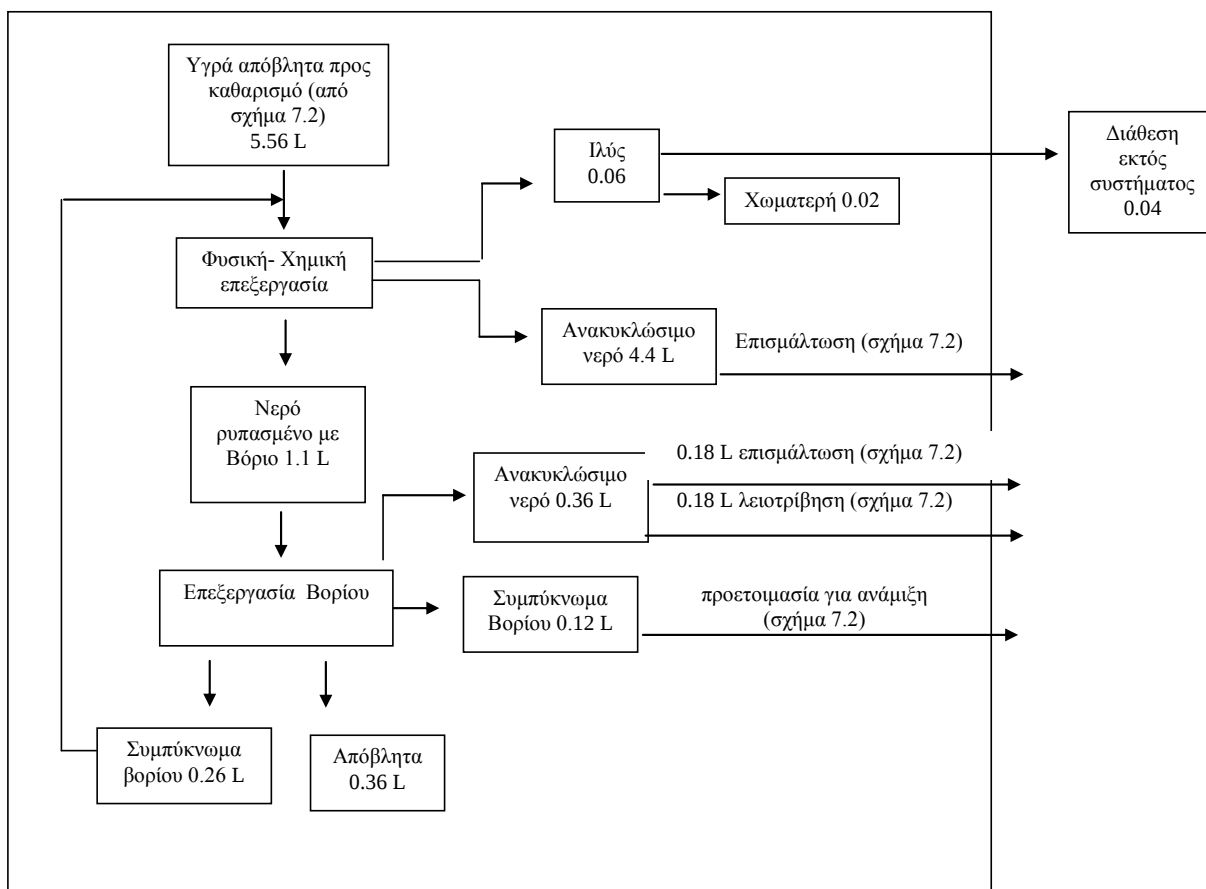
Σχήμα 7.1: Κύκλος ζωής του μαρμαρίνου πλακιδίου (ροή μάζας σε kg) .



Νερό Α: ανακυκλωμένο νερό
Νερό Υ: νερό

Πηγή: (Nicoletti κ.ά., 2002).

Σχήμα 7.2: Κύκλος ζωής του κεραμικού πλακιδίου (ροή μάζας σε kg).



Πηγή: (Nicoletti κ.ά., 2002).

Σχήμα 7.3: Απόβλητα νερού για το κεραμικό σύστημα.

7.3 Εκτίμηση των επιπτώσεων

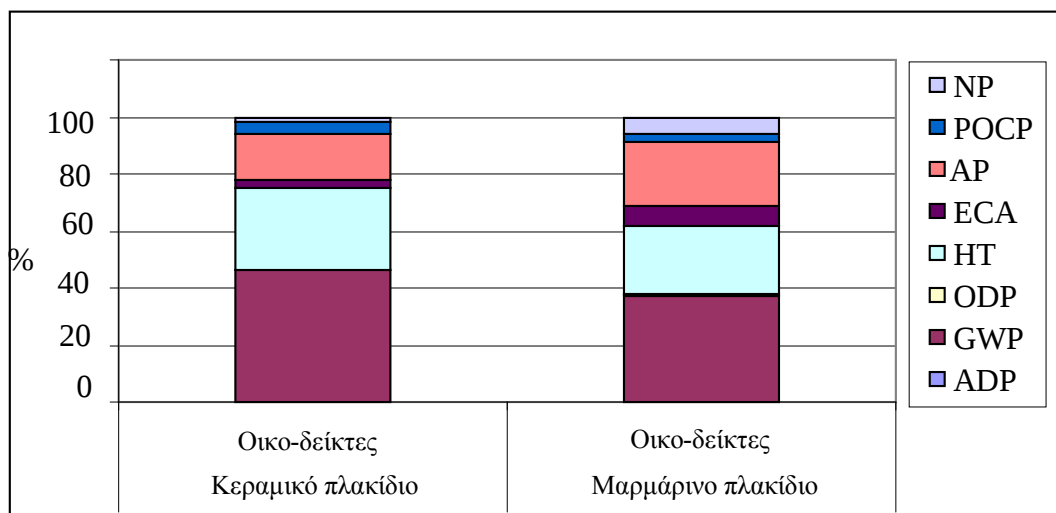
Στον πίνακα 7.3 παρουσιάζονται οι τιμές κάθε οικο-δείκτη και για τα δύο συστήματα καθώς και το ποσοστό συμβολής του κάθε οικο-δείκτη στις κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Πίνακας 7.3: Οικο-δείκτες ανά κατηγορία επιπτώσεων (%).

Κατηγορίες επιπτώσεων	Μαρμάρινο πλακίδιο		Κεραμικό πλακίδιο	
οικο-δείκτες	τιμή	%	τιμή	%
ADP	4.09E-16	0	2.53E-16	0
GWP	7.10E-13	37	1.93E-12	46
ODP	1.43E-14	1	8.33E-15	0
HT	4.47E-13	24	1.24E-12	29
ECA	1.36E-13	7	1.36E-13	3
AP	4.23E-13	22	6.70E-13	16
POCP	5.49E-14	3	1.46E-13	4
NP	1.18E-13	6	8.14E-14	2
Σύνολο	1.90E-12	100	4.21E-12	100

Πηγή: (Nicoletti κ.ά., 2002).

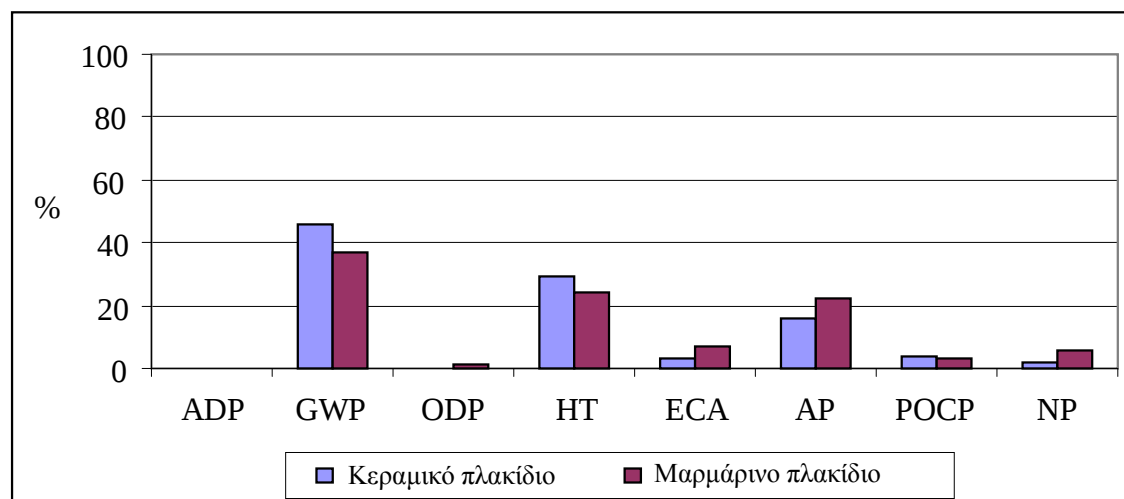
Στο σχήμα 7.4 παρουσιάζονται τα δεδομένα του πίνακα 7.3 σε μορφή διαγράμματος.



Πηγή: (Nicoletti κ.ά., 2002).

Σχήμα 7.4: Σύγκριση οικο-δεικτών μαρμαρίνου και κεραμικού πλακιδίου.

Στο σχήμα 7.5, γίνεται σύγκριση των τιμών του πίνακα 7.3.

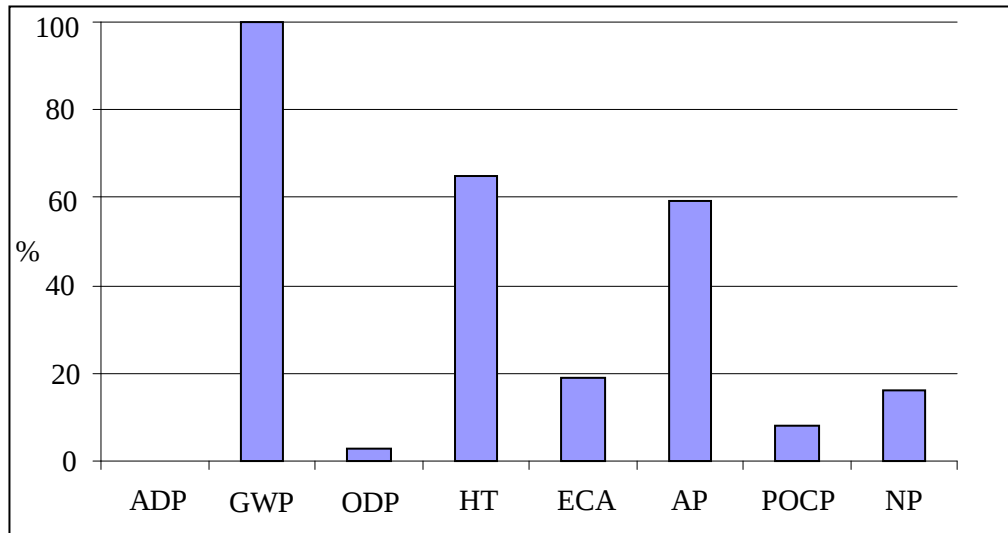


Πηγή: (Nicoletti κ.ά., 2002).

Σχήμα 7.5: Σύγκριση των οικο-δεικτών των δύο συστημάτων.

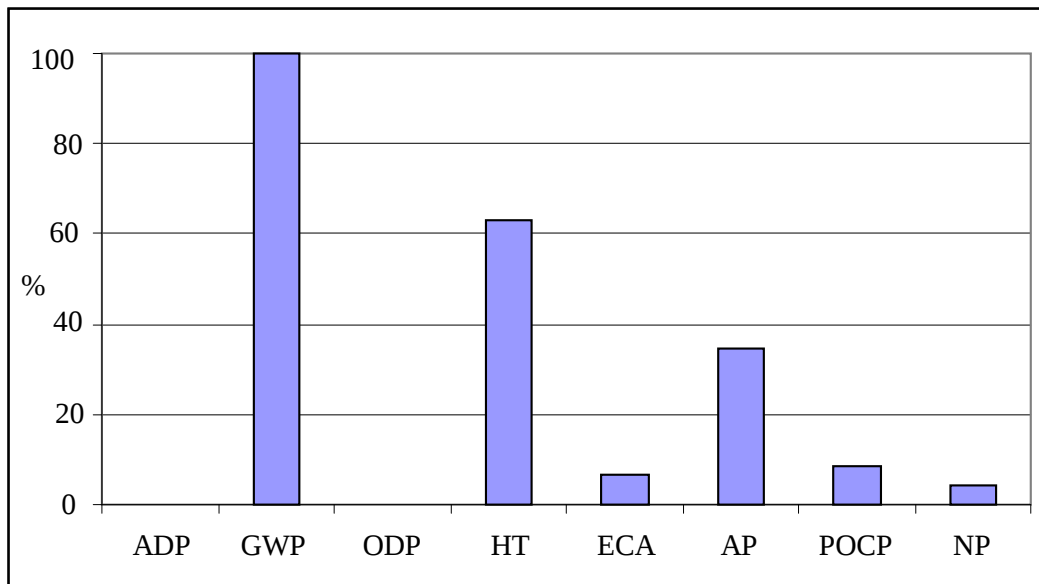
Οι οικο-δείκτες με τις μεγαλύτερες επιπτώσεις και για δύο συστήματα είναι: GWP (Global Warming Potential), HT (Human Toxicity) και AP (Acidification Potential). Η συνεισφορά των τριών αυτών οικο-δεικτών στο σύνολο των επιπτώσεων είναι 83% για το μαρμάρινο και 91% για το κεραμικό πλακίδιο.

Στα σχήματα 7.6 και 7.7 παρουσιάζονται οι κανονικοποιημένες τιμές τους, για το μαρμάρينو και για το κεραμικό πλακίδιο αντίστοιχα, σε σχέση με τον οικο-δείκτη που παρουσιάζει τις μεγαλύτερες επιπτώσεις και για τον οποίο θεωρείται τιμή 100%. Δηλαδή η συνεισφορά του οικο-δείκτη HT για το μαρμάρينو πλακίδιο είναι το 64.9% και για το κεραμικό 63.0%, της συνεισφοράς του GWP.



Πηγή: (Nicoletti κ.ά., 2002).

Σχήμα 7.6: Κανονικοποιημένοι οικο-δείκτες για το μαρμάρينو πλακίδιο.



Πηγή: (Nicoletti κ.ά., 2002).

Σχήμα 7.7: Κανονικοποιημένοι οικο-δείκτες για το κεραμικό πλακίδιο.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει συνοπτικά τις ενεργειακές καταναλώσεις (ηλεκτρική σε kWh, θερμική σε MJ και τις ενεργειακές απαιτήσεις %) για τις κύριες φάσεις του κύκλου ζωής του μαρμάρινου πλακιδίου.

Πίνακας 7.4: Απόσπασμα του πίνακα 7.1, με τις ενεργειακές απαιτήσεις των κύριων φάσεων του κύκλου ζωής του μαρμάρινου πλακιδίου.

Μαρμάρينو πλακίδιο	Ηλεκτρική ενέργεια σε kWh	Θερμική ενέργεια σε MJ	Ηλεκτρική+ Θερμική ενέργεια σε MJ	Ενεργειακές απαιτήσεις %
<i>προ-παραγωγή</i>	5.94	9.1	63.75	39.39
<i>παραγωγή</i>	6.48	0	59.61	36.83
<i>χρήση</i>	3.78	0	34.77	21.48
<i>διάθεση αποβλήτων</i>	0	3.73	3.73	2.3
Σύνολο	16.2	12.83	161.86	100

*1kWh=9.2MJ

Η παραπάνω ταξινόμηση των ποσοστιαίων ενεργειακών απαιτήσεων των διαφόρων φάσεων του κύκλου ζωής του μαρμάρινου πλακιδίου μπορεί να κατηγοριοποιηθεί περαιτέρω συσχετίζοντας την %συμβολή των οικο-δεικτών στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε κάθε φάση.

Πίνακας 7.5: Ποσοστιαία συμβολή των οικο-δεικτών στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια των διαφόρων φάσεων του κύκλου ζωής του μαρμάρινου πλακιδίου.

Οικο-δείκτες	προ- παραγωγή	%	παραγωγή	%	χρήσεις	%	διάθεση αποβλήτων	%
ADP	0	0	0	0	0	0	0	0
GWP	14.57	36.989	13.62	37.03	7.94	37.03	0.86	37.23
ODP	0.39	0.990	0.36	0.98	0.21	0.98	0.02	0.87
HT	9.46	24.016	8.83	24.01	5.15	24.02	0.55	23.81
ECA	2.75	6.981	2.57	6.99	1.5	7.00	0.16	6.93
AP	8.67	22.011	8.1	20.02	4.72	20.01	0.51	22.08
POCP	1.18	2.996	1.1	2.99	0.64	2.99	0.07	3.03
NP	2.37	6.017	2.2	5.98	1.28	5.97	0.14	6.06
Σύνολο	39.39	100	36.78	100	21.44	100	2.31	100

Στη συνέχεια ακολουθεί, αντίστοιχα πίνακας για το κεραμικό πλακίδιο. Ο πίνακας 7.6 παρουσιάζει συνοπτικά τις ενεργειακές καταναλώσεις (ηλεκτρική σε kWh, θερμική σε MJ και τις ενεργειακές απαιτήσεις %) για τις κύριες φάσεις του κύκλου ζωής του κεραμικού πλακιδίου.

Πίνακας 7.6: Απόσπασμα του πίνακα 7.2 με τις τις ενεργειακές απαιτήσεις των κύριων φάσεων του κύκλου ζωής του κεραμικού πλακιδίου.

Κεραμικό πλακίδιο	Ηλεκτρική ενέργεια σε kWh	Θερμική ενέργεια σε MJ	Ηλεκτρική+ Θερμική ενέργεια σε MJ	Ενεργειακές απαιτήσεις %
<i>προ-παραγωγή</i>	2.92	2.24	29.09	18
<i>κυρίως παραγωγή</i>	1.81	49.33	65.97	40.8
<i>παραγωγή στιλβωτικών</i>	0.16	2.64	4.09	2.5
<i>παραγωγή πλακιδίων</i>	0.74	52.92	59.72	37
<i>χρήσεις</i>	0	0	0	0
<i>διάθεση αποβλήτων</i>	0	2.77	2.77	1.7
Σύνολο	5.63	109.9	161.64	100

*1kWh=9.2MJ

Η παραπάνω ταξινόμηση των ποσοστιαίων ενεργειακών απαιτήσεων των διαφόρων φάσεων του κύκλου ζωής (προ-παραγωγή, κυρίως παραγωγή, παραγωγή στιλβωτικών, παραγωγή πλακιδίων, χρήσεις, διάθεση αποβλήτων) του κεραμικού πλακιδίου μπορεί να κατηγοριοποιηθεί περαιτέρω παρουσιάζοντας την % συμβολή των οικο-δεικτών στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε κάθε φάση.

Πίνακας 7.7: Ποσοστιαίες επιπτώσεις των οικο-δεικτών κατά τη διάρκεια των διαφόρων φάσεων του κύκλου ζωής του κεραμικού πλακιδίου.

Οικο- δείκτες	προ- παραγωγή	%	κυρίως παραγωγή	%	παραγωγή στιλβωτικών	%	παραγωγή πλακιδίων	%	χρήσεις	%	διάθεση αποβλήτων	%
ADP	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GWP	8.28	46.00	18.76	45.98	1.15	38.33	17.02	46.00	0	0	0.78	46
ODP	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HT	5.22	29.00	12	29.00	0.73	24.33	10.73	29.00	0	0	0.49	29
ECA	0.54	3.00	1	3.01	0.08	2.67	1.11	3.00	0	0	0.05	3
AP	2.88	16.00	7	16.00	0.4	13.33	5.92	16.00	0	0	0.27	16
POCP	0.72	4.00	2	4.00	0.1	3.33	1.42	3.84	0	0	0.07	4
NP	0.36	2.00	0.82	2.01	0.05	1.67	0.74	2.00	0	0	0.03	2
Σύνολο	18	100	41	100	3	84	37	100	0	0	1.7	100

Από την προηγούμενη ανάγνωση προκύπτει ότι για το μαρμάρινο πλακίδιο η φάση που παρουσιάζει τα υψηλότερα αρνητικά ποσοστά των οίκο-δεικτών είναι η προ-παραγωγή ενώ για το κεραμικό η κυρίως παραγωγή.

Για να μπορεί να γίνει μια πιο άμεση σύγκριση ανάμεσα στις φάσεις των δύο συστημάτων, η φάση της παραγωγής για το κεραμικό πλακίδιο, θα συγκαταλέγει τις εξής τρεις κύριες διαδικασίες:

- προετοιμασία πρώτων υλών
- παραγωγή υλικών στίλβωσης
- παραγωγή στιλβωμένων πλακιδίων

Τέλος στον πίνακα 7.8 παρουσιάζεται η σύσταση των εκπομπών αερίων για κάθε σύστημα.

Πίνακας 7.8: Σύσταση εκπομπών αερίων των δύο συστημάτων (%).

Εκπομπές αερίων	Κεραμικό πλακίδιο %	Μαρμάρινο πλακίδιο %
CO ₂	46	36
As	10	0
SO ₂	9	29
NO _x	8	10
SO _x	8	2
NO ₂	6	0
NM VOC	1	6
Pb	5	0
Ni	0	3
V	0	2
Σύνολο	93	88

Πηγή: (Nicoletti κ.ά., 2002).

Από την προηγούμενη ανάγνωση συμπεραίνεται ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και των δύο συστημάτων οφείλονται κυρίως στην κατανάλωση ενέργειας. Στην περίπτωση του κεραμικού πλακιδίου προκύπτουν πρόσθετες καταγραφές εκπομπών, εξαιτίας της σύστασης των πρώτων υλών για την παραγωγή του υλικού στίλβωσης. Οι ουσίες αυτές είναι ενώσεις αρσενικού, που χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία του μίγματος των υαλοβερνικωμάτων και απελευθερώνονται σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι μεγάλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την παραγωγή των κεραμικών πλακιδίων οφείλονται στις τοξικές συγκεντρώσεις από των αέριων εκπομπών.

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέσα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που συγκεντρώθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας προκύπτουν ορισμένες πολύ χρήσιμες επισημάνσεις και συμπεράσματα που αφορούν τον κύκλο ζωής του μαρμάρου, την τεχνική της εκτίμησης του κύκλου ζωής του καθώς και αρκετές πληροφορίες για την κατάσταση και τη θέση που κατέχει το μάρμαρο στην εγχώρια αλλά και στην διεθνή αγορά.

Το κύριο συμπέρασμα είναι ότι πρόκειται για μια πολύ σημαντική πρώτη ύλη με μεγάλα περιθώρια ορθότερης περιβαλλοντικής διαχείρισης και καλύτερη αντιμετώπιση των οξυμένων περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκύπτουν από την εξόρυξη, την επεξεργασία και τη μεταφορά του.

Από την ανάλυση της κατάστασης του κλάδου του μαρμάρου στην Ελλάδα και στο εξωτερικό, προκύπτει ότι τα τελευταία χρόνια η παραγωγή στη χώρα μας φθίνει συνεχώς με αποτέλεσμα να σημειώνεται ραγδαία αύξηση των εισαγωγών. Συνεπώς κρίνεται αναγκαίο να γίνει μια πιο συστηματική προβολή του, δεδομένου ότι αντιμετωπίζει οξύτατο ανταγωνισμό από συνθετικά δομικά υλικά.

Επιπλέον δεν δημιουργούνται σημαντικές νέες εκμεταλλεύσεις στη χώρα, εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις αρκετές μεγάλες επιχειρήσεις μαρμάρων αναπτύσσουν δραστηριότητες στο εξωτερικό, εξαιτίας της ασφυκτικής κατάστασης που επικρατεί στην Ελλάδα για αδειοδοτήσεις νέων περιοχών και της αλληλοεμπλοκής πολλών υπηρεσιών.

Οι ελληνικές εισαγωγές μαρμάρου, κατά την περίοδο 1999-2003, αυξήθηκαν σημαντικά από 8 εκατ. € που ήταν το 1999 εκτοξεύθηκαν στα 25 εκατ. € το 2003. Οι εξαγωγές αντίθετα, εμφανίζουν διακυμάνσεις κατά την διάρκεια της περιόδου 2001-2005. Σημείωσαν ανάκαμψη από 14 εκατ. € το 2002, σε 24 εκατ. € το 2003, στη συνέχεια σημείωσαν σταδιακή πτώση μέχρι το 2005 στα 21 εκατ. €.

Στη συνέχεια έγινε μια αρχική προσέγγιση της τεχνικής της εκτίμησης του κύκλου ζωής, η οποία είναι μια ποσοτική τεχνική που μπορεί όμως να χρησιμοποιεί ποιοτικά στοιχεία όπου απαιτείται.

Οι κύριοι στόχοι κατά τη διεξαγωγή μιας μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής είναι:

- Η παροχή μιας όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένης εικόνας των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ενός προϊόντος ή μιας δραστηριότητας και του περιβάλλοντος.
- Η συνεισφορά στην κατανόηση της αλληλεξάρτησης που χαρακτηρίζει τη φύση των συνολικών περιβαλλοντικών συνεπειών που προκύπτουν από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

- Η λήψη αποφάσεων με τη βοήθεια πληροφοριών, που καθορίζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών των δραστηριοτήτων και αναγνωρίζουν δυνατότητες για περιβαλλοντικές βελτιώσεις.

Η μέθοδος αυτή έχει ένα πολύ ευρύ πεδίο εφαρμογής και μπορεί να συμβάλλει στο να επιλύσουν οι βιομηχανικές επιχειρήσεις του μαρμάρου, διάφορα προβλήματα τα οποία αποτελούν εμφανή δείγματα ανεπαρκούς παραγωγικής διαδικασίας, όπως δημιουργία αποβλήτων κατά τη διάρκεια της παραγωγής ή μετά τη χρήση, καθώς επίσης και κατανάλωση υπερβολικής ενέργειας.

Μια ακόμα σημαντική διαπίστωση από την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής σε ένα λατομείο μαρμάρου αφορά στον ιδιαίτερα σπουδαίο ρόλο που διαδραματίζει η δραστηριότητα της μεταφοράς η οποία δεν περιορίζεται μόνο στο εσωτερικό του λατομείου αλλά περιλαμβάνει και τη μετακίνηση των προϊόντων μαρμάρου.

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι ένα σημαντικό εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης που εφαρμόζεται ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια.

Η αξιοπιστία του εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από:

- Τον τρόπο μοντελοποίησης και το βαθμό απλοποίησης των υπό εξέταση συστημάτων.
- Το σύνολο των παραδοχών και των υποθέσεων που χρησιμοποιούνται σε κάθε βήμα της ανάλυσης.
- Τη διαθεσιμότητα σύγχρονων και αξιόπιστων δεδομένων.

Τέλος, τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη σύγκριση ενός μαρμάρινου και ενός κεραμικού πλακιδίου είναι:

- Ο κύκλος ζωής του κεραμικού πλακιδίου έχει πιο σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον από τον κύκλο ζωής του μαρμάρινου. Οι συνολικές τιμές συμβολής των οικο-δείκτη στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι ($4.21E-12$ αντί $1.90E-12$).
- Οι πιο σημαντικές επιπτώσεις του κύκλου ζωής των δύο συστημάτων είναι η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, GWP, η τοξικότητα για τον άνθρωπο, HT, και η δημιουργία οξύτητας, AP.
- Οι φάσεις με τις υψηλότερες επιπτώσεις είναι η προ-παραγωγή για το μαρμάρينو πλακίδιο, ενώ για το κεραμικό πλακίδιο η φάση της παραγωγής.
- Οι κυριότερες εκπομπές στην ατμόσφαιρα είναι:

α) Πλακίδιο μαρμάρου: CO_2 , SO_2 , NO_x , NMVOC και μέταλλα.

β) Κεραμικό πλακίδιο: CO₂, As, SO₂, NO_x, SO_x, NO₂ και Pb.

Το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών παράγεται για το :

- α) μαρμάρινο πλακίδιο, κατά τη διάρκεια της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- β) κεραμικό πλακίδιο, κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των πρώτων υλών λόγω της περιεκτικότητάς τους σε πτητικούς ρυπαντές.

Καλύτερη περιβαλλοντική απόδοση μπορεί να επιτευχθεί κατά την παραγωγή μαρμαρίνων πλακιδίων, βελτιώνοντας την απόδοση της τεχνολογίας σε ολόκληρο το σύστημα της παραγωγής, προκειμένου να εξοικονομηθεί ενέργεια.

Βελτιώσεις κατά την παραγωγή κεραμικών πλακιδίων μπορούν να προκύψουν από περαιτέρω μείωση της κατανάλωσης θερμικής ενέργειας στις εγκαταστάσεις, η οποία θα μπορεί να συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αρσενικού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αγιουτάντης, Ζ., 2002, *Στοιχεία Γεωμηχανικής, Μηχανική Πετρωμάτων*, εκδόσεις 'ΙΩΝ', σελ. 103-105.
2. Αποστολίδης, Ν.Χ., 1991, *Εκμετάλλευση μαρμάρων*, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Αθήνα, σελ.1-35.
3. Βιδάκης, Ε., Πατηνιώτης, Ν., 1988, *Τεχνικά χαρακτηριστικά των μαρμάρων-καθορισμός της ποιότητας σε σχέση με την χρήση τους*, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα, σελ. 2-8.
4. Γεωργακέλλος, Δ., Α., 2000, *Η χρήση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στο κοινοτικό σύστημα απονομής οικολογικού σήματος*, Πειραιάς, σελ. 106-135.
5. Καλαμπιάκος Δ., 2001, *Σημειώσεις, Περιβάλλον II: Προστασία περιβάλλοντος στη μεταλλευτική δραστηριότητα*, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Αθήνα, σελ. 46-53.
6. Λασκαρίδης, Κ., Πατρώνης, Μ., 2006, Σήμανση "CE" για τελικά προϊόντα από διακοσμητικά πετρώματα. *Ο Ρόλος του εργαστηρίου 'Λίθος'(ΙΓΜΕ)*, 30^η Διεθνής Έκθεση Μαρμάρου, Marmin, σελ. 4-24.
7. Πολυχρονόπουλος, Γ., 1979, *Εκρηκτικές ύλες-τεχνική εξόρυξης των πετρωμάτων-καθαίρεση κατασκευών*, εκδόσεις Σελλούντος, Αθήνα, σελ 25-53.
8. Παπαϊωάννου, Ν., Βιδάκης, Ε., 1995, *Έλεγχος Ποιότητας-Κριτήρια-Προδιαγραφές φυσικών διακοσμητικών πετρωμάτων τους*, Ημερίδα: Προβλήματα εκμετάλλευσης και διαχείρισης λατομικών υλικών, Αθήνα, σελ. 5, 12-13.
9. Το Ελληνικό Μάρμαρο, 1989, Πανελλήνιο Συνέδριο, Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Θεσσαλονίκη, σελ. 83-217.
10. Τσιραμπίδης, Α., 2000, *Πετρογραφικά χαρακτηριστικά ορυκτολογική και χημική σύσταση και τύποι ελληνικών μαρμάρων*, Πρακτικά 2^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου: *Το ελληνικό μάρμαρο (Ερευνα- Παραγωγή- Εξαγωγές- Αξιοποίηση υποπροϊόντων- Αποκατάσταση λατομείων- Νομοθετικό πλαίσιο)*, Θεσσαλονίκη, σελ. 41-95.
11. Χρηστίδης Γ., 2006, *Κοιτασματολογία II, Βιομηχανικά Ορυκτά και πετρώματα*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, σελ. 75.
12. International Organization for Standardization (ISO), 'ISO 14040: 1997, *Περιβαλλοντική Διαχείριση- Εκτίμηση Κύκλου Ζωής –Αρχές και Πλαίσιο*, σελ. 3-13, 257.
13. International Organization for Standardization (ISO), 'ISO 14041: 1998, *Περιβαλλοντική Διαχείριση- Εκτίμηση Κύκλου Ζωής –Ορισμός στόχου και αντικειμενικού σκοπού και Ανάλυση καταγραφόμενων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών*, σελ. 4-15.
14. International Organization for Standardization (ISO), 'ISO 14042: 2000, *Περιβαλλοντική Διαχείριση- Εκτίμηση Κύκλου Ζωής –Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής*, σελ. 6-14.
15. International Organization for Standardization (ISO), 'ISO 14043: 2000, *Περιβαλλοντική Διαχείριση- Εκτίμηση Κύκλου Ζωής –Ερμηνεία Αποτελεσμάτων Κύκλου Ζωής*, σελ. 5.

16. Γεωργακέλλος, Δ., Α., 1998, *Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεταφορών στις μελέτες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής*, Δελτίο Πανελλήνιου Συλλόγου Διπλωματούχων Ηλεκτρολόγων Μηχανολόγων, No 306, Αθήνα, σελ. 1.
17. Μπούρα, Α., Μουσιόπουλος, Ν., Νοέμβριος-Δεκέμβριος 1998, *Η Ανάλυση του Κύκλου (LCA) ως εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης*, Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονικές Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., Αθήνα, σελ. 107-108.
18. Οδηγός Αγοράς Μαρμάρου, 2002, εκδόσεις Ελληνικό Μάρμαρο, σελ. 46-50.
19. Οδηγός Αγοράς Μαρμάρου, 2004, εκδόσεις Ελληνικό Μάρμαρο, σελ. 27-40. Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων, 2006, σελ.48.
20. Γεωργακέλλος, Δ., Α., 1999, *Ανάλυση του Κύκλου Ζωής: Ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος*, Σπουδαί, Τόμος 49, τεύχος 1-4, Πειραιάς, σελ. 126-135.
21. Σμύπνια Κ., 2006, *Άσκηση Υπαίθρου ΙΙΙ, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων*, σελ. 1-7.
22. Σταυρακάκης Δ., Υπερήφανος Δ., Διαμαντής Χ., 2001, *Σημειώσεις, Έρευνα, Μελέτη και Ορθολογικές Μέθοδοι Εξόρυξης Ογκομαρμάρων*, Πανελλήνιο Συνέδριο Μαρμάρου Θεσσαλονίκη, 1992, σελ. 215-220.

Ξένη βιβλιογραφία

1. Baumgartner, T., Rubik, F., 1993, *Evaluation Techniques for Eco-Balances and Life Cycle Assessment*, European Environment, No 3, σελ. 18-22.
2. Bishop P., L., *Pollution Prevention: Fundamentals and Practice*, McGraw-Hill, U.S.A., σελ. 251-259.
3. Cascio, J., 1996, *The ISO 14000 Handbook*, ASQ Quality Press Milwaukee, Wisconsin, σελ. 276-281.
4. Environmental Protection Agency (EPA), 1993, *Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles*, Franklin Associates, Ltd., Kansas, σελ. 1-7, 65.
5. Ersoy, B., 2004, *Effect of pH and polymer charge density on settling rate and turbidity of natural stone suspensions*, Turkey, σελ. 1-2.
6. Keoleian G., Garner A., 1995, *Industrial Ecology: An Introduction*, σελ. 12-13.
7. Nicoletti G., Notarnicola B., Tassielli, B., 2002, *Journal of Cleaner Production*, 10, *Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles*, σελ. 285-295.
8. Graedel T.E., Allenby B.R., Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995, New Jersey, σελ. 108-115.
9. Jackson S., L, John Wiley & Sons, Inc., 1997, *The ISO 14000 Implementation Guide, Creating an Integrated Management System*, New York, σελ. 20.
10. Turchetta, S., Carrino L., 2005, *An energy based model for laser cutting natural stone*, Italy, σελ. 1.
11. Ugur, I., Demirdag, S., 2005, *Investigation of the relation between the specific heat capacity and material properties of some natural building and facing stones Isparta*, Turkey, σελ. 1.

12. Yavuz Celik, M., Sabah, E., 2007, *Geological and technical characterization of Iscehisar (Afyon-Turkey) marble deposits and the impact of marble waste on environmental pollution*, Turkey, σελ. 3-6.

Ιστοσελίδες

1. Τσιραμπίδης, Α., Καντηράνης, Ν., 2006, Ημερίδα: *Ανταγωνιστικότητα του Ελληνικού μαρμάρου στη σύγχρονη αγορά, Προτάσεις για την προβολή του Ελληνικού Μαρμάρου*, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 30^η MAPMIN, Συνεδριακό κέντρο HELEXPO 'Ν.Γερμανός'.
[http://www.helexpo.gr/marmin_2006/30th_Marmin_6_text_Tsirambides\(AUTH\).doc](http://www.helexpo.gr/marmin_2006/30th_Marmin_6_text_Tsirambides(AUTH).doc), σελ.1-7.
2. Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων, Προϊόντα Μελών, Μάρμαρα
http://66.165.120.21/marmara_gr.html
3. [http://www.economics.gr/articleData/reports/2005-01-14_marmaro\(SEVE\). htm](http://www.economics.gr/articleData/reports/2005-01-14_marmaro(SEVE).htm), *Η πορεία των ελληνικών εξαγωγών του μαρμάρου*, Αθήνα, 2005, σελ. 1-8.
4. www.compareddefinitions.com, *Releared Comparative Advantage*
5. <http://wwweber.gr/forum/viewtopic.php?p>
6. <http://www.peoplehofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/menth3en/ch3m3en.html>
7. Ecocycle, *What is Life Cycle Management?*,
<http://www.ec.gc.ca/ecocycle/English/whatislcm.cfm>, 6 July 2001, σελ.1-2.
8. Ecocycle, Environmental, *Life Cycle Management: A guide for better business decisions*, <http://www.ec.gc.ca/ecocycle/English/lcmguide2.cfm>, 6 July 2001, σελ.1-4.
9. Ecocycle, *International View*, <http://www.ec.gc.ca/ecocycle/issue2/en/p16.cfm>, 8 January 1995, σελ. 1.
10. European Environment Agency, "Data collection",
<http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap341.htm>, 2001, σελ. 1-2.
11. European Environment Agency, "Refining system boundaries",
[http:// service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap342.htm](http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap342.htm), 2001.
12. European Environment Agency, "Calculation procedures",
[http:// servi-ce.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap343.htm](http://servi-ce.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap343.htm), 2001.
13. European Environment Agency, "Relating data", <http://service.eea.eu.int/envirowindows/6ca/kap345.htm>, 2001.
14. European Environment Agency, "Allocation and recycling", [http:// service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap34S.htm](http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap34S.htm), 3 August 2001, σελ. 1-3.

