



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ**

**ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ  
ΟΛΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Η ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΚΑΙ Η ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥ ΜΕ ΤΗΝ  
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Α. ΚΑΠΕΤΑΝΟΣ**

**ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2002**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας δεν θα ήταν επιτυχής, αν κάποιοι δε συνέβαλλαν καθοριστικά στην προσπάθειά μου, προσφέροντας την εμπειρία και τις γνώσεις τους. Τους ανθρώπους αυτούς θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω δημόσια, αναφέροντας τα ονόματά τους στις επόμενες γραμμές.

Πρώτα θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον υπεύθυνο καθηγητή κύριο Σ. Καρβούνη για την εποικοδομητική συνεργασία που είχαμε και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. κ. Δ. Γεωργακέλλο για την καθοριστική συμβολή του στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος της διπλωματικής εργασίας, μέσω της εμπειρίας και των πολύτιμων γνώσεων του σχετικά με τη μέθοδο της εκτίμησης του κύκλου ζωής, καθώς και τον καθηγητή κ. Χ. Τσουτρέλη και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Δ. Καλιαμπάκο, οι οποίοι με ξεχωριστό τρόπο ο καθένας τους, συνέβαλλαν σε μεγάλο βαθμό στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Θερμά ευχαριστώ και τον καθηγητή κ. Α. Τσιραμπίδη, που ανταποκρινόμενος άμεσα στο αίτημά μου, απέστειλε βιβλιογραφία σχετική με τη διπλωματική εργασία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω εξίσου θερμά:

- Τον διευθυντή του τμήματος Τυποποίησης του ΕΛΟΤ κ. Δ. Αγαπαλίδη, ο οποίος διέθεσε σημαντικό μέρος από τον πολύτιμο χρόνο του προκειμένου να με ενημερώσει και να μου δώσει στοιχεία και βιβλία απαραίτητα για την ολοκλήρωση της εργασίας μου.
- Τον διευθυντή του περιοδικού “Ελληνικό Μάρμαρο” κ. Φ. Γαβριελάτο για την πολύτιμη βοήθεια που προσέφερε στο θεωρητικό μέρος που αφορούσε τον κλάδο του μαρμάρου.
- Τον Μηχανικό Μεταλλείων–Μεταλλουργό του λατομείου μαρμάρου “Διονύ-σου Πεντέλης Α.Ε.Β.Ε. ”κ. Ι. Τσιμιδάκη, για τη συνεισφορά του στην προσπάθεια της ποιοτικής εφαρμογής της τεχνικής της εκτίμησης του κύκλου ζωής, με την παροχή όλων των αναγκαίων στοιχείων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αμέριστη ηθική συμπαράσταση που μου πρόσφεραν, το φίλο μου Ανδρέα για την πολύτιμη συμβολή του στην ολοκλήρωση της εικόνας της διπλωματικής εργασίας, καθώς και τους φίλους μου Παναγιώτη και Σπύρο για τις εύστοχες παρατηρήσεις και προτάσεις τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Κωνσταντίνος      Α.      Καπετάνος

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ της ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

### Η Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής του Μαρμάρου και η συσχέτισή του με την Ποιότητα του Περιβάλλοντος

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εκτίμηση του κύκλου ζωής του μαρμάρου και τη συσχέτισή του με την ποιότητα του περιβάλλοντος. Το αντικείμενό της θεωρείται πολύ επίκαιρο, αφού αφορά ένα θέμα υψίστης σημασίας για το μεταλλευτικό κλάδο, ο οποίος οφείλει να προσαρμοστεί στις διεθνώς διαμορφούμενες συνθήκες για μεγαλύτερη προστασία του περιβάλλοντος.

Ένα χρήσιμο εργαλείο που συνεισφέρει σε σημαντικό βαθμό στην ορθότερη περιβαλλοντική διαχείριση είναι η *Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής (ΕΚΖ)*. Πρόκειται για μια σχετικά καινούρια, αλλά αναμφισβήτητα πολλά υποσχόμενη και διαρκώς εξελισσόμενη, επιστημονική μέθοδο, η οποία έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια για να βοηθήσει στην καλύτερη αντιμετώπιση των οξυμένων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Είναι κυρίως ποσοτική τεχνική, αλλά χρησιμοποιεί ποιοτικά στοιχεία, στις περιπτώσεις εκείνες στις οποίες είναι αδύνατη η εφαρμογή της. Πρόκειται όμως για μια πολύπλοκη και κοπιαστική διαδικασία, κυρίως όσον αφορά στα δεδομένα που χρειάζεται.

Το μάρμαρο αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες ορυκτές πρώτες ύλες του υπεδάφους της χώρας μας και ο κλάδος του είναι ένας από τους πιο δυναμικούς και με μεγάλη συνεισφορά στην ανάπτυξη της ελληνικής οικονομίας. Η εξόρυξή του όμως επιβαρύνει σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα τη διαρκώς αυξανόμενη αντίδραση της κοινής γνώμης. Η εφαρμογή επομένως της εκτίμησης του κύκλου ζωής στον κλάδο του μαρμάρου μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που σχετίζονται με την εξόρυξή του.

Μέσα στους στόχους λοιπόν της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνονται:

- ♦ Η πλήρης και σαφής περιγραφή της μεθοδολογίας και του πλαισίου εφαρμογής της εκτίμησης του κύκλου ζωής.
- ♦ Η ποιοτική εφαρμογή της τεχνικής της εκτίμησης του κύκλου ζωής σε ένα λατομείο μαρμάρου.
- ♦ Η εκτίμηση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής, τα οποία αν αξιοποιηθούν δεόντως, μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των λατομείων μαρμάρου που θεωρούνται ως ρυπογόνες μονάδες.

Για τη συλλογή των αναγκαιών, για την πραγματοποίηση της διπλωματικής εργασίας, πληροφοριών, χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τριών ειδών πηγές:

- Βιβλία, άρθρα από επιστημονικά περιοδικά και δημοσιευμένα άρθρα ή έρευνες στο διαδίκτυο.
- Ανεπίσημες συνεντεύξεις με πρόσωπα εξειδικευμένα στην εφαρμογή της μεθοδολογίας της εκτίμησης του κύκλου ζωής.
- Άμεση επαφή με τους εμπλεκόμενους φορείς (στη συγκεκριμένη περίπτωση με το λατομείο μαρμάρου "Διονύσου Πεντέλης Α.Ε.Β.Ε.") για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων μέσα από προσωπικές συνεντεύξεις. Πρόκειται για μια ιδιαίτερος χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία, γεγονός που οφείλεται στην πολυπλοκότητα του προς μελέτη αντικειμένου και στον περιορισμένο διαθέσιμο ελεύθερο χρόνο των εργαζομένων και της ανώτατης διοίκησης για την παροχή των αναγκαιών πληροφοριών.

Μια πλήρης μελέτη εκτίμησης κύκλου ζωής αποτελείται από τρία μέρη ή στοιχεία, τα οποία είναι, ως ένα βαθμό, αυτόνομα, αλλά όχι ανεξάρτητα μεταξύ τους, αφού αλληλοσχετίζονται, επηρεάζοντας το ένα το άλλο. Τα στοιχεία αυτά, που απαρτίζουν το τεχνικό πλαίσιο στο οποίο στηρίζεται όλη η μεθοδολογία, είναι η *Ανάλυση Καταγραφόμενων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών (Life Cycle Inventory Analysis)*, η *Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Life Cycle*

*Impact Assessment*) και η *Ερμηνεία Αποτελεσμάτων Κύκλου Ζωής (Life Cycle Interpretation)*. Εκτός από τα προηγούμενα τρία στοιχεία, μερικοί υποστηρίζουν ότι χρειάζεται να συμπεριληφθεί και ένα τέταρτο στοιχείο, το οποίο ονομάζεται *Ορισμός Στόχου και Αντικειμενικού Σκοπού (Goal and Scope Definition)*. Το στοιχείο αυτό ορίζει το πλαίσιο εργασίας για τη διεξαγωγή της μελέτης εκτίμησης κύκλου ζωής. Εδώ προσδιορίζεται ο στόχος της μελέτης, το αντικείμενό της, ορίζεται το σύστημα του εξεταζόμενου προϊόντος, η λειτουργική μονάδα και καθορίζεται η διαδικασία για την ποιοτική εξασφάλιση της μελέτης. Στο στάδιο της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών καταγράφεται κάθε τι το οποίο, είτε εισέρχεται από το περιβάλλον (πρώτες ύλες, ενέργεια κλπ.), είτε εξέρχεται σε αυτό (προϊόντα, αέριοι και λοιποί ρύποι, παραπροϊόντα, απορρίμματα κλπ.), ως αποτέλεσμα κάθε είδους δραστηριότητας που σχετίζεται με το εξεταζόμενο προϊόν από τη γέννηση έως το θάνατό του. Στο στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων αναλύονται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον καθώς και οι κάθε είδους επιδράσεις σε αυτό, οι οποίες οφείλονται στις εισροές και εκροές που διαπιστώθηκαν στο προηγούμενο στάδιο, ενώ το στάδιο της ερμηνείας των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει τον προσδιορισμό, την περιγραφή, τον έλεγχο, την εκτίμηση και την παρουσίαση των πληροφοριών που προέρχονται από τα αποτελέσματα των σταδίων της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών και της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του εξεταζόμενου συστήματος. Ένα άλλο στοιχείο που μπορεί να περιλαμβάνεται στο στάδιο αυτό είναι η *Εκτίμηση των Βελτιώσεων (Improvement Assessment)*, στο οποίο προσδιορίζονται, εξετάζονται και εκτιμούνται οι πιθανές βελτιώσεις που μπορεί να επιτευχθούν, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προηγούμενων σταδίων.

Η βασική αρχή της μεθόδου εκτίμησης του κύκλου ζωής είναι ότι ρύπανση του περιβάλλοντος μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε στάδιο της ζωής ενός προϊόντος και ότι, αλλαγές σε κάποιο από τα στάδια αυτά είναι πιθανόν να έχουν θετικές ή αρνητικές συνέπειες στα υπόλοιπα στάδια, στον τόμο τόσο της δημιουργίας οποιασδήποτε μορφής ρύπανσης, όσο και κατανάλωσης ενέργειας και πρώτων υλών. Έτσι, η εκτίμηση του κύκλου ζωής μπορεί να βοηθήσει στο να εξακριβωθεί, με αντικειμενικό τρόπο, εάν κάποια προτεινόμενη αλλαγή σε ένα προϊόν ή μια διεργασία έχει, ενδεχομένως, αρνητικές συνέπειες.

Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας εκτίμησης του κύκλου ζωής είναι τα εξής:

- ♦ Οι μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής πρέπει να εξετάζουν συστηματικά τις περιβαλλοντικές πλευρές συστημάτων προϊόντων, από την απόκτηση των πρώτων υλών μέχρι την τελική απόρριψή τους.
- ♦ Το βάθος της ανάλυσης και το χρονικό πλαίσιο της μελέτης μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό, ανάλογα με τον καθορισμό του στόχου και του αντικειμενικού σκοπού της μελέτης.
- ♦ Το αντικείμενο, οι υποθέσεις, η περιγραφή των ποιοτικών στοιχείων, οι πηγές των δεδομένων, η χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της εκτίμησης του κύκλου ζωής πρέπει να είναι ξεκάθαρα και κατανοητά.
- ♦ Η μεθοδολογία εκτίμησης του κύκλου ζωής πρέπει να λαμβάνει υπόψη καινούρια επιστημονικά ευρήματα και συνεπαγόμενες βελτιώσεις στο επίπεδο της τεχνικής.
- ♦ Δεν υπάρχει επιστημονική βάση για τη μείωση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης του κύκλου ζωής σε ένα μόνο αριθμό, γεγονός που οφείλεται στην πολυπλοκότητα των διάφορων σταδίων της εκτίμησης αυτού του κύκλου ζωής.

Μέσα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που συγκεντρώθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και την προσπάθεια ποιοτικής εφαρμογής της μεθοδολογίας εκτίμησης κύκλου ζωής σε ένα λατομείο μαρμάρου, διαπιστώνεται ότι η τεχνική αυτή παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που χρήζουν αναφοράς. Με τη διενέργεια τέτοιων μελετών οι ερευνητές μπορούν να:

- Βοηθηθούν, λαμβάνοντας υπόψη και άλλους παράγοντες, όπως κόστος και απόδοση, στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την επιλογή του προϊόντος ή της διαδικασίας με τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Αναπτύξουν μια συστημική εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνεπειών και να αναλύσουν τις ανταλλαγές που συμβαίνουν στο περιβάλλον και σχετίζονται με το εξεταζόμενο προϊόν ή διαδικασία.
- Ποσοτικοποιήσουν τις περιβαλλοντικές εκπομπές που συμβαίνουν σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής.

- Εντοπίσουν σημαντικές αλλαγές στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μεταξύ των σταδίων του κύκλου ζωής.
- Εκτιμήσουν τις επιπτώσεις, αφενός της κατανάλωσης υλικών και αφετέρου των περιβαλλοντικών εκπομπών, στον άνθρωπο και στο οικοσύστημα.
- Συγκρίνουν τις επιπτώσεις στον άνθρωπο και στο οικοσύστημα δύο ή περισσότερων ανταγωνιστικών προϊόντων ή διαδικασιών.
- Προσδιορίσουν τις επιπτώσεις του εξεταζόμενου προϊόντος ή διαδικασίας σε ένα ή περισσότερα θέματα περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος.

Εκτός όμως από τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη διενέργεια μελετών εκτίμησης κύκλου ζωής, αυτές παρουσιάζουν και ορισμένες αδυναμίες. Μια βασική αδυναμία που προκύπτει από τη μελέτη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και τη διεθνή εμπειρία, είναι ότι οι περισσότερες μελέτες εκτίμησης κύκλου ζωής αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από το στάδιο της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών. Επιπλέον, το σύστημα που αναλύεται σε αρκετές από τις μελέτες δεν περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του εξεταζόμενου προϊόντος αλλά περιορίζεται μόνο σε κάποια στάδια αυτού, σταματώντας συνήθως στην παραγωγή των προϊόντων ή αγνοώντας τις δραστηριότητες απόκτησης των πρώτων υλών. Επίσης, σε άλλες μελέτες παρατηρείται ότι οι περιβαλλοντικές παράμετροι που καταγράφονται δεν αναφέρονται στο σύνολο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς στην ανάλυση περιλαμβάνονται συνήθως μόνο η κατανάλωση ενέργειας ή και η αποδέσμευση ενός μικρού αριθμού αποβλήτων. Τα παραπάνω έχουν ως συνέπεια η προσδιοριζόμενη περιβαλλοντική απόδοση των εξεταζόμενων προϊόντων να μην είναι η πραγματική και επομένως η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων να είναι περιορισμένη.

Μια επίσης πολύ σημαντική διαπίστωση είναι ότι δεν υπάρχει μια μοναδική μέθοδος για τη διενέργεια μελετών εκτίμησης κύκλου ζωής, ενώ οι περισσότερες από τις ήδη υπάρχουσες είτε εμφανίζουν διάφορες ατέλειες είτε είναι ασαφείς.

Άλλα μειονεκτήματα, εκτός από τα προαναφερθέντα, που εμφανίζουν οι συγκεκριμένες μελέτες είναι τα εξής:

- ♦ Οι μελέτες αυτές είναι πολύπλοκες, καθώς περιλαμβάνουν πολλά στάδια και πολύ απαιτητικές, όσον αφορά στους πόρους, στα δεδομένα και στο χρόνο που χρειάζονται για τη διενέργειά τους. Ένα πρόβλημα που διαπιστώνεται σε πολλές τέτοιες μελέτες είναι η περιορισμένη διαθεσιμότητα των στοιχείων που απαιτούνται για την ανάπτυξή τους. Έτσι, παρατηρείται το φαινόμενο στην ίδια μελέτη να χρησιμοποιούνται τόσο γενικά στοιχεία που συνήθως αποδίδουν μέσες τιμές της βιομηχανίας, όσο και στοιχεία που προέρχονται από ιδιωτικές μετρήσεις ή ακόμα και στοιχεία που στηρίζονται σε εκτιμήσεις και προβλέψεις, γεγονός που επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.
- ♦ Η επίδραση που ασκούν στα αποτελέσματα της ανάλυσης οι βασικές παραδοχές που γίνονται. Οι παραδοχές αυτές σχετίζονται με διάφορα θέματα, όπως ο καθορισμός κατάλληλης μονάδας στην περίπτωση σύγκρισης διάφορων προϊόντων, η μέθοδος επιμερισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (όταν παράγονται στην ίδια διαδικασία περισσότερα του ενός προϊόντα), ο προσδιορισμός άγνωστων στοιχείων της ανάλυσης (π.χ. ένα άγνωστο παραπροϊόν) κ.λ.π.
- ♦ Η φύση των υποθέσεων και επιλογών που γίνονται σε τέτοιες μελέτες (π.χ. ο καθορισμός των ορίων του συστήματος, η επιλογή των πηγών των δεδομένων και των κατηγοριών επιπτώσεων) μπορεί να είναι υποκειμενική.
- ♦ Τα υποδείγματα που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή υλικών, ενέργειας και εκπομπών ή την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων εξαρτώνται από τις υποθέσεις που τα αφορούν και μπορεί να μην είναι διαθέσιμα για όλες τις πιθανές εφαρμογές.
- ♦ Τα αποτελέσματα τέτοιων μελετών που αναφέρονται σε παγκόσμια και περιφερειακά θέματα μπορεί να μην είναι κατάλληλα για τοπικές εφαρμογές, δηλαδή οι περιφερειακές ή παγκόσμιες συνθήκες μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικές των τοπικών συνθηκών.
- ♦ Η έλλειψη χρονικών διαστάσεων καθώς και διαστάσεων του χώρου από τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των επιπτώσεων, δημιουργεί αβεβαιότητα στα αποτελέσματα των επιπτώσεων, η οποία ποικίλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του χώρου και του χρόνου κάθε κατηγορίας επιπτώσεων.

Ένα άλλο πολύ χρήσιμο συμπέρασμα που αφορά στην εκτίμηση του κύκλου ζωής, είναι ότι πρόκειται για μια μέθοδο, η οποία έχει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής. Μπορεί να συμβάλλει στη διαμόρφωση περιβαλλοντικών νόμων, να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να παραμείνουν

ανταγωνιστικές και να βελτιώσουν τα προϊόντα τους και να διευκολύνει, μέσω των πληροφοριών που παρέχει, τους καταναλωτές στην επιλογή προϊόντων.

Σχετικά τώρα με την εφαρμογή της μεθόδου σε ένα λατομείο μαρμάρου, το κύριο συμπέρασμα που προκύπτει, μέσα από την προσπάθεια αυτή, αφορά στη μεγάλη δυσκολία πρακτικής εφαρμογής της τεχνικής, καθώς στην ανάλυση υπεισέρχεται ένας σημαντικός αριθμός παραμέτρων που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό από τα παραπάνω ότι η τεχνική της εκτίμησης του κύκλου ζωής έχει ήδη να αρχίσει να διαδραματίζει ένα σπουδαίο ρόλο στη διαχείριση του περιβάλλοντος, γεγονός που οδηγεί αναμφισβήτητα στη διαπίστωση ότι στο μέλλον θα αποκτήσει ακόμα μεγαλύτερη αξία στην προσπάθεια για αντικειμενική αξιολόγηση και διαχείριση των διαφορών δραστηριοτήτων και προϊόντων.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Εισαγωγικές Έννοιες.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (Environmental Management Systems) 2</b>	<b>2</b>
1.2.1 Ιστορικό ανάπτυξης των Προτύπων Συστημάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης .....	2
1.2.2 Ορισμός Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης.....	2
1.2.3 Πλεονεκτήματα της εφαρμογής ενός Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης.....	4
<b>1.3 Η σειρά Προτύπων Συστημάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης ISO 14000 και το Διεθνές Πρότυπο ISO 14001 .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4 Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας .....</b>	<b>6</b>
<b>1.5 Ανασκόπηση των βιβλιογραφικών και των λοιπών πηγών συλλογής πληροφοριών.....</b>	<b>6</b>
<b>1.6 Παραπομπές βιβλιογραφίας.....</b>	<b>7</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>9</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Εισαγωγή.....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 Ορισμός, Αρχές και Σκοπός της Εκτίμησης του Κύκλου Ζωής .....</b>	<b>12</b>
<b>3.3 Διάφορες μορφές της Εκτίμησης του Κύκλου Ζωής.....</b>	<b>15</b>
<b>3.4 Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής και Διεθνή Πρότυπα .....</b>	<b>16</b>
<b>3.5 Περιγραφή της μεθοδολογίας και των σταδίων της Εκτίμησης του Κύκλου Ζωής .....</b>	<b>19</b>
<b>3.6 Ορισμός Στόχου και Αντικειμενικού Σκοπού (Goal and Scope Definition) .....</b>	<b>21</b>
<b>3.7 Ανάλυση των Καταγραφόμενων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών του Κύκλου Ζωής (Inventory Analysis) .....</b>	<b>26</b>



3.7.1	Απλοποιημένες διαδικασίες για την Ανάλυση των Καταγραφόμε-νων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών του Κύκλου Ζωής .....	29
3.7.2	Ερμηνεία των αποτελεσμάτων της Ανάλυσης των Καταγραφόμε-νων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών του Κύκλου Ζωής (Περιο-ρισμοί της Ανάλυσης των Καταγραφόμενων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών του Κύκλου Ζωής).....	33
<b>3.8</b>	<b>Εκτίμηση των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment) 34</b>	
3.8.1	Βασικά Χαρακτηριστικά της Εκτίμησης των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής.....	34
3.8.2	Στοιχεία της Εκτίμησης των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής .....	35
3.8.3	Ανάλυση Ποιότητας Δεδομένων.....	39
<b>3.9</b>	<b>Ερμηνεία των Αποτελεσμάτων του Κύκλου Ζωής.....</b>	<b>39</b>
3.9.1	Στοιχεία της Ερμηνείας των Αποτελεσμάτων του Κύκλου Ζωής .....	40
<b>3.10</b>	<b>Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μελέτης Εκτίμησης Κύκλου Ζωής .....</b>	<b>43</b>
<b>3.11</b>	<b>Χρήσεις της μελέτης Εκτίμησης Κύκλου Ζωής.....</b>	<b>44</b>
<b>3.12</b>	<b>Παραπομπές Βιβλιογραφίας .....</b>	<b>48</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΜΑΡΜΑΡΟ .....</b>	<b>58</b>	
<b>4.1</b>	<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>58</b>
<b>4.2</b>	<b>Γεωλογικός και τεχνολογικός ορισμός του μαρμάρου.....</b>	<b>58</b>
4.2.1	Είδη μαρμάρων.....	59
<b>4.3</b>	<b>Ορυκτολογική-Χημική σύσταση των μαρμάρων.....</b>	<b>62</b>
4.3.1	Ορυκτολογική σύσταση.....	62
4.3.2	Χημική σύσταση.....	62
<b>4.4</b>	<b>Φυσικομηχανικές-Τεχνικές ιδιότητες των μαρμάρων.....</b>	<b>64</b>
4.4.1	Φυσικές ιδιότητες των μαρμάρων .....	65
4.4.2	Μηχανικές ιδιότητες των μαρμάρων.....	66
4.4.3	Τεχνικές ιδιότητες των μαρμάρων.....	66
<b>4.5</b>	<b>Ελληνική Νομοθεσία για την εκμετάλλευση των μαρμάρων .....</b>	<b>68</b>
<b>4.6</b>	<b>Χρήσεις των μαρμάρων .....</b>	<b>68</b>
<b>4.7</b>	<b>Εμπόριο των μαρμάρων .....</b>	<b>69</b>
<b>4.8</b>	<b>Ποιοτική εφαρμογή της μεθόδου της εκτίμησης του κύκλου ζωής σε ένα λατομείο μαρμάρου.....</b>	<b>70</b>
<b>4.9</b>	<b>Παραπομπές Βιβλιογραφίας .....</b>	<b>80</b>

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>83</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....</b>	<b>90</b>
<b>ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>92</b>
<b>A ΣΥΓΓΡΑΜΜΑΤΑ.....</b>	<b>92</b>
A1. ΕΛΛΗΝΙΚΑ.....	92
A2. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΑ.....	93
<b>B ΤΙΤΛΟΙ ΑΡΘΡΩΝ ΠΕΡΙΟΔΙΚΩΝ ΚΑΙ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΩΝ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ .....</b>	<b>94</b>
B1. ΕΛΛΗΝΙΚΑ.....	94
B2. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΑ.....	96
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....</b>	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: ΜΑΡΜΑΡΟΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ .....</b>	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: ΠΙΝΑΚΕΣ.....</b>	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....</b>	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: ΕΜΠΟΡΙΟ ΜΑΡΜΑΡΩΝ.....</b>	

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας δεν θα ήταν επιτυχής, αν κάποιοι δε συνέβαλλαν καθοριστικά στην προσπάθειά μου, προσφέρο-ντας την εμπειρία και τις γνώσεις τους. Τους ανθρώπους αυτούς θεωρώ υπο-χρέωσή μου να ευχαριστήσω δημόσια, αναφέροντας τα ονόματά τους στις επό-μενες γραμμές.

Πρώτα θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον υπεύθυνο καθηγητή κύριο Σ. Καρβούνη για την εποικοδομητική συνεργασία που είχαμε και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον Λέκτορα κ. Δ. Γεωργακέλλο για την καθοριστική συμβολή του στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος της διπλωματικής εργασίας, μέσω της εμπειρίας και των πολύτιμων γνώσεων του σχετικά με τη μέθοδο της εκτίμησης του κύκλου ζωής, καθώς και τον καθηγητή κ. Χ. Τσουτρέλη και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Δ. Καλιαμπάκο, οι οποίοι με ξε-χωριστό τρόπο ο καθένας τους, συνέβαλλαν σε μεγάλο βαθμό στην ολοκλήρω-ση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Θερμά ευχαριστώ και τον καθηγητή κ. Α. Τσιραμπίδη, που ανταποκρινόμενος άμεσα στο αίτημά μου, απέστειλε βι-βλιογραφία σχετική με τη διπλωματική εργασία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω εξίσου θερμά:

- Τον διευθυντή του τμήματος Τυποποίησης του ΕΛΟΤ κ. Δ. Αγαπαλίδη, ο οποίος διέθεσε σημαντικό μέρος από τον πολύτιμο χρόνο του προκειμένου να με ενημερώσει και να μου δώσει στοιχεία και βιβλία απαραίτητα για την ολοκλήρωση της εργασίας μου.
- Τον διευθυντή του περιοδικού “Ελληνικό Μάρμαρο” κ. Φ. Γαβριελάτο για την πολύτιμη βοήθεια που προσέφερε στο θεωρητικό μέρος που αφορούσε τον κλάδο του μαρμάρου.
- Τον Μηχανικό Μεταλλείων–Μεταλλουργό του λατομείου μαρμάρου “Διονύ-σου Πεντέλης Α.Ε.Β.Ε.” κ. Ι. Τσιμιδάκη, για τη συνεισφορά του στην προ-σπάθεια της ποιοτικής εφαρμογής της τεχνικής της εκτίμησης του κύκλου ζωής, με την παροχή όλων των αναγκαίων στοιχείων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αμέριστη ηθική συ-μπαράσταση που μου πρόσφεραν, το φίλο μου Ανδρέα για την πολύτιμη συμ-βολή του στην ολοκλήρωση της εικόνας της διπλωματικής εργασίας, καθώς και τους φίλους μου Παναγιώτη και Σπύρο για τις εύστοχες παρατηρήσεις και προ-τάσεις τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

**Κωνσταντίνος Α. Καπετάνος**

**ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΙΝΑΚΩΝ**

ΠΙΝΑΚΕΣ	ΤΙΤΛΟΣ	ΣΕΛΙΔΑ
3.1	Έντυπο συλλογής δεδομένων για το στάδιο των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής	53
4.1	Θεμελιώδη και επουσιώδη ορυκτά συστατικά των ανθρακικών πετρωμάτων	101
4.2	Χημική σύσταση (κ.β.%) διάφορων δειγμάτων μαρμάρων που έχουν αναλυθεί	Παράρτημα II
4.3	Κατανομή ιχνοστοιχείων (ppm) δειγμάτων μαρμάρων που αναλύθηκαν	Παράρτημα II
4.4	Απαιτούμενες ιδιότητες μαρμάρων σύμφωνα με σχέδια προτύπων του ΕΛΟΤ	105
4.5	Βαθμός σπουδαιότητας των φυσικομηχανικών–τεχνικών ιδιοτήτων των μαρμάρων ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται	115
1	Παγκόσμια πρωτογενής παραγωγή μαρμάρων σε χιλιάδες τόνους	Παράρτημα IV
2	Παραγωγή μαρμάρου σε τόνους	Παράρτημα IV
3	Εξέλιξη των εξαγωγών μαρμάρων (1980-1999)	Παράρτημα IV
4	Εξέλιξη των εισαγωγών μαρμάρων (1980-1999)	Παράρτημα IV

**ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

ΣΧΗΜΑΤΑ	ΤΙΤΛΟΣ	ΣΕΛΙΔΑ
3.1	<b>Το σύστημα του κύκλου ζωής ενός προϊόντος</b>	21
3.2	<b>Τα στάδια της εκτίμησης του κύκλου ζωής σύμφωνα με το ISO 14040</b>	34
3.3	<b>Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος</b>	37
3.4	<b>Τα στοιχεία της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής</b>	45
3.5	<b>Απλοποιημένες διαδικασίες για την ανάλυση καταγρα-φόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής</b>	49
3.6	<b>Τα στοιχεία του σταδίου της εκτίμησης των επιπτώσεων</b>	62
3.7	<b>Συσχέτιση των στοιχείων του σταδίου ερμηνείας των αποτελεσμάτων με τα άλλα στάδια της εκτίμησης κύκλου ζωής</b>	69
3.8	<b>Τα στάδια του κύκλου ζωής του μαρμάρου</b>	80
4.1	<b>Τα στάδια του κύκλου ζωής του μαρμάρου</b>	117
4.2	<b>Αναλυτική απεικόνιση των δύο πρώτων σταδίων του κύκλου ζωής του μαρμάρου</b>	136

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### Εισαγωγικές Έννοιες

Στη σημερινή εποχή, η έντονη βιομηχανική δραστηριότητα, που είναι συνέπεια της αλματώδους τεχνολογικής εξέλιξης, και ο σύγχρονος τρόπος ζωής έχουν σαν αποτέλεσμα τη σταδιακά αυξανόμενη επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Κάτω από αυτές τις δυσμενείς για το περιβάλλον συνθήκες και λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης σε θέματα περιβαλλοντικής φύσεως που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια καθώς και τις δυσοίωνες προβλέψεις των ειδικών για το μέλλον του πλανήτη, λόγω της διατάραξης της ισορροπίας του, αρχίζει να γίνεται ολοένα και περισσότερο αποδεκτή η έννοια της *Περιβαλλοντικής Ηθικής* από τις βιομηχανίες και τις επιχειρήσεις παροχής υπηρεσιών, οι οποίες προσπαθούν να χρησιμοποιούν διαδικασίες και τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον. Επομένως, η περιβαλλοντική ηθική, όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την Προστασία και κατά συνέπεια και με την *Ποιότητα του Περιβάλλοντος* (*Environmental Quality*).

Ο όρος *Περιβάλλον* περιλαμβάνει όλες τις εξωτερικές συνθήκες και τους βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες (χημικά και ενέργεια) που επηρεάζουν έναν οργανισμό ή ένα άλλο συγκεκριμένο σύστημα, περιλαμβανομένων και των γειτονικών φυσικών στοιχείων, του κλίματος και των επιδράσεων των άλλων ζωντανών οργανισμών [1]. Η *Ποιότητα του Περιβάλλοντος* είναι η καταλληλότητα αυτού για να ζήσουν, να αναπαραχθούν και να αναπτυχθούν οι ζώντες οργανισμοί αλλά και να διατηρηθούν όλα τα άλλα στοιχεία με τα οποία οι ζώντες οργανισμοί συσχετίζονται μέσα σε αυτό [2].

Το μέσο, προκειμένου να διατηρηθεί η ποιότητα, είναι η σωστή *Διαχείριση του Περιβάλλοντος* (*Environmental Management*). Η διαχείριση του περιβάλλοντος περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων που αφορούν τη χρήση του εδάφους, των φυτών, του αέρα και του νερού από τον άνθρωπο. Εστιάζει στην ολιστική προσέγγιση των φαινομένων και αναπτύσσει δεξιότητες που συντονίζονται από πληροφορίες, προκειμένου να αντιμετωπισθούν προβλήματα του αλλοιωμένου από τον άνθρωπο περιβάλλοντος, πάνω σε διεπιστημονική βάση, από ποσοτικής ή και ποιοτικής απόψεως. Στη διαχείριση του περιβάλλοντος εφαρμόζονται όλες οι θεμελιώδεις αρχές της διαχείρισης των επιχειρήσεων, που είναι ο προγραμματισμός, η οργάνωση, η παρακίνηση, ο έλεγχος και η ανάδραση.

Σύμφωνα με τον Tom Peters, η σωστή διαχείριση του περιβάλλοντος δείχνει τον τρόπο με τον οποίο μια επιχείρηση μπορεί να εξοικονομεί φυσικούς πόρους, ενώ συγχρόνως να επιτυγχάνει τους στόχους της για κέρδος. Σκοπός της είναι η επίτευξη *Βιώσιμης (Αειφόρου) Ανάπτυξης* (*Sustainable Development*), δηλαδή μιας ανάπτυξης που να ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να διακυβεύει τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να καλύπτουν τις δικές τους ανάγκες<sup>1</sup>. Η βιώσιμη ανάπτυξη είναι μια μακροπρόθεσμη, βασισμένη σε αξίες, αλληλοσυσχετιζόμενη διαδικασία, η οποία αφορά την επιτυχή ολοκλήρωση οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών στόχων για την εξασφάλιση όχι μόνο της σημερινής αλλά και της μελλοντικής ποιότητας ζωής [5].

Τα Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (*Environmental Management Systems*) αποτελούν τα απαραίτητα εργαλεία που συμβάλλουν στην επίτευξη του στόχου της βιώσιμης ανάπτυξης και η εφαρμογή τους αρχίζει να κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος μεταξύ των επιχειρήσεων, οι οποίες, με την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων, περιλαμβάνουν στη στρατηγική τους στοιχεία περιβαλλοντικής διαχείρισης, αναγνωρίζοντας έτσι τις άμεσες ή έμ-μεσες επιδράσεις των δραστηριοτήτων τους στο περιβάλλον και στο κοινωνικό σύνολο. Στη συνέχεια αναφέρονται κάποιες πληροφορίες για τα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης και για τους λόγους εφαρμογής τους.

---

<sup>1</sup> *Sustainable Development*: Ο όρος αυτός χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από την Gro Harlem Brundtland, μετέπειτα πρωθυπουργό της Νορβηγίας, στο Παγκόσμιο Συνέδριο για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (*World Committee on Environment and Development*) το 1987, προκειμένου να παρακινήσει τις επιχειρήσεις να προχωρήσουν στη δημιουργία Συστημάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης [3]. Μέχρι τα τέλη του επόμενου χρόνου, πάνω από 50 ανεπτυγμένες χώρες υποστήριξαν δημοσίως αυτή την τοποθέτηση. Το γεγονός αυτό ώθησε τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών στη σύγκληση ενός Συνεδρίου για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (*United Nation Conference on Environment and development*) στο Ρίο Ντε Τζανέιρο τον Ιούνιο του 1992, κατά τη διάρκεια του οποίου υλοποιήθηκε η δημιουργία ενός ευρέως αποδεκτού Προτύπου για τη διαχείριση του περιβάλλοντος [4].

## Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (Environmental Management Systems)

### Ιστορικό ανάπτυξης των Προτύπων Συστημάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης

Το πρώτο διεθνές πρότυπο για τα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης ήταν το BS 7750, το οποίο αναπτύχθηκε και δημοσιεύθηκε από το Βρετανικό Ινστιτούτο Τυποποίησης (British Standards Institute BSI) το 1992. Το πρότυπο αυτό αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη της σειράς των διεθνών προτύπων περιβαλλοντικής διαχείρισης ISO 14000 από το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης<sup>2</sup> (International Organization for Standardization ISO), καθώς επίσης και του αντί-στοιχου προτύπου της Ευρωπαϊκής Ένωσης EMAS (Eco-Management and Audit Scheme).

Επειδή και το ISO 14000 και το EMAS βασίζονται στο BS 7750, και τα τρία πρότυπα είναι σχεδόν όμοια στην προσέγγισή τους. Έτσι, εάν μια επιχείρηση είναι οργανωμένη σύμφωνα με το πρότυπο BS 7750, θα απαιτηθεί μικρή σχετικά προσπάθεια για να εκπληρώσει τις απαιτήσεις του ISO 14000 ή του EMAS [7].

### Ορισμός Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων πολλές επιχειρήσεις παγκοσμίως ε-φάρμοσαν συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης προκειμένου να προσδιορίσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους και να θέσουν σαφείς στόχους για τη συνεχή βελτίωση της περιβαλλοντικής τους απόδοσης. Μέχρι πρόσφατα, η διαχείριση του περιβάλλοντος αποτελούσε αρμοδιότητα ενός μόνο ατόμου, που είχε σαν στόχο τη συμμόρφωση της επιχείρησης με την περιβαλλοντική νομο-θεσία και τη μείωση των ενδεχόμενων κινδύνων. Η διαχείριση του περιβάλλοντος όμως πρέπει να αποτελεί ευθύνη ολόκληρης της επιχείρησης και προϋποθέτει τη δέσμευση όλης της διοίκησης.

Ένα σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης είναι ένα σύνολο διαδικασιών και διεργασιών διοίκησης, το οποίο επιτρέπει σε μια επιχείρηση να αναλύει, να ε-λέγχει και να μειώνει τις άμεσες και μακροπρόθεσμες επιδράσεις των δραστη-ριοτήτων, των προϊόντων και των υπηρεσιών της στο περιβάλλον και στην υγεία και ευημερία των ανθρώπων που εξαρτώνται από αυτό. Διασφαλίζει τάξη και συνέπεια στις χρησιμοποιούμενες από την επιχείρηση μεθοδολογίες μέσω της κατανομής των πόρων, της ανάθεσης ευθυνών και της συνεχούς εκτίμησης των διαδικασιών και διεργασιών. Το σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης δια-δραματίζει ουσιαστικό ρόλο στην ικανότητα της επιχείρησης να αναπτύσσεται και να διατηρεί το περιβάλλον σε αρμονία με τις εθνικές και διεθνείς απαιτήσεις και θεωρείται ότι επιτυγχάνει το στόχο του όταν η επιχείρηση θέτει τη διαχείριση του περιβάλλοντος σαν κύρια προτεραιότητά της. Γενικά, τα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης παρέχουν στις επιχειρήσεις το πλαίσιο προκειμένου να:

- Εφαρμόζουν κατάλληλη περιβαλλοντική πολιτική.
- Καθορίζουν τις νομοθετικές απαιτήσεις και τις περιβαλλοντικές πλευρές που σχετίζονται με τις δραστηριότητες, τα προϊόντα και τις υπηρεσίες τους.
- Ενθαρρύνουν τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό για όλες τις δραστηριότητές τους, από την απόκτηση των πρώτων υλών μέχρι τη διανομή των προϊόντων τους.
- Αναπτύσσουν κατάλληλη διαδικασία διοίκησης για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων τους.
- Αναπτύσσουν τη δέσμευση στην προστασία του περιβάλλοντος τόσο της διοίκησης όσο και του προσωπικού.
- Αναπτύσσουν και να συντηρούν ένα πρόγραμμα ετοιμότητας και άμεσης

<sup>2</sup> Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης είναι μια παγκόσμια ομοσπονδία που ιδρύθηκε το 1947 με σκοπό την προώθηση της ανάπτυξης διεθνών προτύπων για τις κατασκευές, το εμπόριο και τις επικοινωνίες. Αποτελείται από 116 μέλη που αντιπροσωπεύουν 70 χώρες και 46 οργανισμούς. Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης αναπτύσσει πρότυπα για όλες τις βιομηχανίες, εκτός από τους τομείς των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών. Όλα τα πρότυπά του είναι εθελοντικά, δηλαδή δεν υπάρχουν νομικές απαιτήσεις που να υποχρεώνουν τις χώρες να τα υιοθετήσουν και αναθεωρούνται τουλάχιστον κάθε 5 χρόνια [6].

αντίδρασης σε διάφορες καταστάσεις.

- Εξασφαλίζουν τους κατάλληλους πόρους για την επίτευξη των περιβαλλο-ντικών στόχων τους σε μια συνεχή βάση.
- Αναπτύσσουν ένα σύστημα ελέγχου των διαδικασιών τους, προκειμένου να διατηρούν την απόδοση της παραγωγικής διαδικασίας σε υψηλά επίπεδα.
- Αξιολογούν την περιβαλλοντική απόδοση σε σχέση με την πολιτική και τους στόχους τους και να αναζητούν τις κατάλληλες βελτιώσεις όπου απαιτείται.
- Αναπτύσσουν μια διαδικασία εκτίμησης και επιθεώρησης των συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης που εφαρμόζουν, με στόχο τον προσδιορισμό ευκαιριών βελτίωσης.
- Αναπτύσσουν κατάλληλους τρόπους επικοινωνίας με όλους τους ενδιαφε-ρόμενους (εσωτερικούς και εξωτερικούς).
- Ενθαρρύνουν τους προμηθευτές τους για την ανάπτυξη συστημάτων περι-βαλλοντικής διαχείρισης [8].

Τα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης μπορεί να είναι εφαρμόσιμα σε όλα τα είδη επιχειρήσεων, ανεξάρτητα του μεγέθους, τόσο στον ιδιωτικό όσο και στο δημόσιο τομέα. Τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης περιλαμβάνουν τα εξής:

- ◆ Την υιοθέτηση γραπτής περιβαλλοντικής πολιτικής.
- ◆ Τον προσδιορισμό και την αναθεώρηση των περιβαλλοντικών στόχων της επιχείρησης.
- ◆ Τον προσδιορισμό των δραστηριοτήτων της και των περιβαλλοντικών επι-δράσεων τους.
- ◆ Τον καθορισμό περιβαλλοντικών στόχων για τη μείωση των περιβαλλο-ντικών επιδράσεων και τη συμμόρφωση της επιχείρησης με την περιβαλλο-ντική νομοθεσία.
- ◆ Την εφαρμογή κατάλληλων προγραμμάτων για την επίτευξη αυτών των στόχων.
- ◆ Την παρακολούθηση και μέτρηση της προόδου όσον αφορά στην επίτευξη αυτών των στόχων.
- ◆ Την εξασφάλιση συνεχούς ενημέρωσης, εκπαίδευσης και ανάπτυξης των ικανοτήτων των εργαζόμενων πάνω σε περιβαλλοντικά θέματα.
- ◆ Την εκτίμηση της προόδου του συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης,



προκειμένου να εντοπιστούν ευκαιρίες βελτίωσης της περιβαλλοντικής απόδοσης [9].

### **Πλεονεκτήματα της εφαρμογής ενός Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης**

Σήμερα, κάτω από το αυξανόμενο ενδιαφέρον της κοινής γνώμης για θέματα περιβαλλοντικής φύσεως, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, όλο και περισσότερες επιχειρήσεις αναπτύσσουν και εφαρμόζουν συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης. Η εφαρμογή ενός συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης σε μια επιχείρηση της παρέχει τα κατάλληλα εργαλεία προκειμένου να καταγράψει τις διαδικασίες της, να διαχειρίζεται τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αποτελεσματικά και αποδοτικά και να βελτιώνει με αυτό τον τρόπο την περιβαλλοντική απόδοσή της.

Τα οφέλη που αποκομίζουν οι επιχειρήσεις από την ανάπτυξη και εφαρμογή τέτοιων συστημάτων και τα οποία μπορεί να διαφέρουν από επιχείρηση σε επιχείρηση είναι τα ακόλουθα:

- Μείωση των δαπανών.
- Μείωση των κινδύνων (λιγότερα ατυχήματα).
- Μείωση των περιβαλλοντικών επιδράσεων, πρόληψη της ρύπανσης και συ-νεχής βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης.
- Αύξηση της επιχειρησιακής αποδοτικότητας και των κερδών που απορ-ρέουν από αυτή.
- Αύξηση της μετοχικής αξίας των επιχειρήσεων.
- Αύξηση της αξιοπιστίας και της εμπιστοσύνης των πελατών.
- Απόκτηση νέων πελατών και διεύρυνση σε νέες αγορές.
- Απόκτηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος στο διεθνές εμπόριο.
- Δημιουργία σαφούς και καλά καταγραμμένης διαδικασίας για τη θέσπιση περιβαλλοντικών στόχων που αφορούν κυρίως τη βελτίωση της περιβαλλο-ντικής απόδοσης.
- Δημιουργία θετικής δημόσιας εικόνας και βελτίωση των σχέσεων με τους εξωτερικούς πελάτες μέσω της συμμόρφωσης με την περιβαλλοντική νομο-θεσία.
- Βελτίωση της εμπιστοσύνης της ανώτατης διοίκησης.
- Βελτίωση της επικοινωνίας και των δημοσίων σχέσεων.
- Ευκολία απόκτησης δανείων από τράπεζες, οι οποίες θεωρούν τα συστή-ματα περιβαλλοντικής διαχείρισης σαν απόδειξη για την προσπάθεια επίτευξης του στόχου της βιώσιμης ανάπτυξης.
- Πρόκληση ενδιαφέροντος για απασχόληση σε εργατικό δυναμικό υψηλής ποιότητας.
- Μεγαλύτερη υπευθυνότητα των εργαζόμενων στη διαχείριση του περιβάλ-λοντος.

- Εξεύρεση περιβαλλοντικών λύσεων μέσω της συνεργασίας του προσωπικού και όλων των ιεραρχιών διοίκησης [10].

Αξίζει να αναφερθεί ότι η επιτυχημένη εφαρμογή ενός συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως ο τρόπος λειτουργίας της επιχείρησης, το είδος και η πολυπλοκότητα των δραστηριοτήτων της, το είδος και ο βαθμός έντασης των περιβαλλοντικών επιδράσεων της καθώς και η συμμετοχή και η δέσμευση της ανώτατης διοίκησης και των εργαζομένων.

## **Η σειρά Προτύπων Συστημάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης ISO 14000 και το Διεθνές Πρότυπο ISO 14001**

Η σειρά προτύπων ISO 14000 εκδόθηκε το Σεπτέμβριο του 1996 από το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης και αναγνωρίζεται από όλους τους μεγάλους οργανισμούς, όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Εμπορίου. Βασίζεται κατά ένα μεγάλο βαθμό στο προγενέστερο βρετανικό πρότυπο BS 7750. Πρόκειται για μια σειρά εθελοντικών προτύπων γενικής χρήσεως που παρέχει την κατάλληλη δομή στις επιχειρήσεις για να διαχειρίζονται με αποτελεσματικό τρόπο τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Απαιτεί την τακτική εκτίμηση και αναθεώρηση των περιβαλλοντικών στόχων, λαμβάνοντας πάντα υπ' όψιν την εφαρμοζόμενη περιβαλλοντική πολιτική, προκειμένου να εξασφαλίζεται η συνεχής βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης.

Η σειρά προτύπων ISO 14000 μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τον τομέα στον οποίο αυτά εστιάζονται. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα πρότυπα που εστιάζονται σε θέματα του οργανισμού και στις διαδικασίες του, ενώ στη δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται τα πρότυπα που εστιάζονται σε προϊόντα. Οι δύο κατηγορίες αποτελούνται αναλυτικά από τα ακόλουθα πρότυπα:

### **Πρότυπα που εστιάζονται στον οργανισμό και στις διαδικασίες**

- ◆ Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης EMS (ISO 14001, 14004).
- ◆ Περιβαλλοντική Επιθεώρηση (ISO 14010, 14011, 14012, 14013, 14014).
- ◆ Εκτίμηση Περιβαλλοντικής Απόδοσης (ISO 14014, 14015, 14031).

### **Πρότυπα που εστιάζονται σε προϊόντα**

- Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (ISO 14040, 14041, 14042, 14043).
- Περιβαλλοντική Σήμανση (ISO 14020, 14021, 14022, 14023, 14024, 14025).
- Περιβαλλοντικές Απόψεις στα Πρότυπα Προϊόντων (ISO Guide 64, πρώην ISO 14060).

Μια άλλη ταξινόμηση της σειράς προτύπων ISO 14000 τα κατατάσσει σε δύο βασικούς τύπους, τα *καθοδηγητικά πρότυπα* και τα *πρότυπα προδιαγραφών*. Όλα τα πρότυπα, εκτός από το ISO 14001, είναι καθοδηγητικά. Αυτό σημαίνει ότι πρόκειται κυρίως για περιγραφικά έγγραφα παρά για εντεταλμένες απαιτήσεις (prescriptive requirements). Οι επιχειρήσεις δεν πιστοποιούνται κατά τη σειρά προτύπων ISO 14000, αλλά μόνο κατά το πρότυπο προδιαγραφών ISO 14001.

Το ISO 14001 εκδόθηκε το Σεπτέμβριο του 1996. Αποτελεί τη βάση της σειράς προτύπων ISO 14000 και είναι το μοναδικό πρότυπο της σειράς που προσφέρει τη δυνατότητα πιστοποίησης. Σχεδιάστηκε για να βελτιώνει την περιβαλλοντική απόδοση των επιχειρήσεων, μέσω της δημιουργίας και της εφαρμογής ενός συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης. Το πρότυπο αυτό συνοδεύεται από ένα άλλο πρότυπο, το ISO 14004, το οποίο παρέχει οδηγίες σχετικά με την ανάπτυξη και την εφαρμογή του συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης. Το ISO 14001 δεν εστιάζει στις επιδόσεις της επιχείρησης που το εφαρμόζει ή στα προϊόντα της, αν και οι εμπνευστές του το ανέπτυξαν με σκοπό τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης. Δεν καθορίζει περιβαλλοντικούς στόχους, όρια περιβαλλοντικής απόδοσης ή οριακές τιμές για τους παραγόμενους ρύπους και δεν αξιώνει την επίτευξη μηδενικών εκπομπών ή χαμηλότερων, από τα νομοθετημένα όρια συμμόρφωσης, τιμών ρυπαντών. Επίσης, δεν απαιτεί τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών, ούτε τη δημοσίευση των περιβαλλοντικών αποδόσεων και των αποτελεσμάτων των επιθεωρήσεων και δεν επιβάλλει την πιστοποίηση κατά ISO 14001 στην επιχείρηση, εκτός αν κρίνεται απαραίτητο. Αντίθετα, πρόκειται για ένα εθελοντικό πρότυπο προδιαγραφών το οποίο παρέχει το κατάλληλο πλαίσιο εργασίας για τη σωστή διαχείριση των περιβαλλοντικών θεμάτων και περιγράφει τις

γενικές απαιτήσεις που πρέπει να εκπληρώνει μια επιχείρηση, προκειμένου να πιστοποιηθεί, χωρίς όμως να υπαγορεύει συγκεκριμένες μεθόδους ή εργαλεία. Το ISO 14001 εκφράζει μια μετάβαση προς ένα ολιστικό τρόπο διοίκησης, μέσω του οποίου προλαμβάνονται διάφορες καταστάσεις και ενθαρρύνεται η συνολική συμμετοχή των εργαζομένων. Βασίζεται κυρίως στην παρακίνηση των εργαζομένων παρά στην τιμωρία ενδεχόμενων λαθών. Προτρέπει τους εργαζόμενους να καθορίσουν το ρόλο τους στην επιχείρηση και απαιτεί από την ανώτατη διοίκηση την παροχή όλων των αναγκαίων πόρων για την υλοποίηση της περιβαλλοντικής πολιτικής. Το ISO 14001 μπορεί να εφαρμοστεί από οποιαδήποτε επιχείρηση, ανεξαρτήτως μεγέθους, οπουδήποτε στον κόσμο και στηρίζεται στις αρχές του κύκλου του Deming (Σχεδιασμός, Εφαρμογή, Έλεγχος, Διορθωτική Δράση).

Το πρότυπο αποτελείται από πέντε τομείς που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και από δύο προαιρετικές αλλά προτεινόμενες πρακτικές διαχείρισης, οι οποίες είναι οι εξής:

1. Δέσμευση και Περιβαλλοντική Πολιτική.
2. Αρχική Εκτίμηση της λειτουργίας της επιχείρησης σε σχέση με τις αρχές του ISO 14001 (προαιρετικό στάδιο).
3. Σχεδιασμός Περιβαλλοντικής Πολιτικής.
4. Εφαρμογή Περιβαλλοντικής Πολιτικής.
5. Έλεγχος και Διορθωτικές Κινήσεις.
6. Επιθεώρηση-Αναθεώρηση του Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης.
7. Επικοινωνία με το εξωτερικό περιβάλλον (προαιρετικό στάδιο) [11].

## Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εκτίμηση του κύκλου ζωής του μαρμάρου και τη συσχέτισή του με την ποιότητα του περιβάλλοντος. Το αντικείμενό της θεωρείται πολύ επίκαιρο, αφού αφορά ένα θέμα υψίστης σημασίας για το μεταλλευτικό κλάδο, ο οποίος οφείλει να προσαρμοστεί στις διεθνώς διαμορφούμενες συνθήκες για μεγαλύτερη προστασία του περιβάλλοντος.

Ένα χρήσιμο εργαλείο που συνεισφέρει σε σημαντικό βαθμό στη σωστή εφαρμογή των συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης είναι η Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής (EKZ). Η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι ένα σύνολο συστηματικών διεργασιών με σκοπό τη συλλογή και εξέταση των στοιχείων εισόδου και εξόδου των ενεργειακών ισοζυγίων και των ισοζυγίων μάζας, καθώς και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με αυτά και προσδιορίζονται απευθείας μέσω της λειτουργίας του προϊόντος ή του συστήματος εξυπηρέτησης που εξετάζεται, κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής. Πρόκειται δηλαδή για ένα εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων, που σκοπό έχει να εκτιμήσει τις επιπτώσεις από τη χρήση ενέργειας και την επεξεργασία υλικών, συμπεριλαμβανομένης της απόρριψης αποβλήτων στο περιβάλλον και να αξιολογήσει τις δυνατότητες επίτευξης περιβαλλοντικών βελτιώσεων σε συνδυασμό με την ορθολογική χρήση πρώτων υλών και ενέργειας.

Το μάρμαρο αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες ορυκτές πρώτες ύλες του υπεδάφους της χώρας μας και ο κλάδος του είναι ένας από τους πιο δυναμικούς και με μεγάλη συνεισφορά στην ανάπτυξη της ελληνικής οικονομίας. Η εξόρυξή του όμως επιβαρύνει σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα τη διαρκώς αυξανόμενη αντίδραση της κοινής γνώμης. Η εκτίμηση επομένως του κύκλου ζωής του μαρμάρου μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που σχετίζονται με την εξόρυξή του και κατά συνέπεια και της υφιστάμενης κοινωνικής αντίθεσης.

## Ανασκόπηση των βιβλιογραφικών και των λοιπών πηγών συλλογής πληροφοριών

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

- Βιβλία, άρθρα από επιστημονικά περιοδικά και δημοσιευμένα άρθρα ή έρευνες στο διαδίκτυο. Συγκεντρώθηκε σημαντικό υλικό κυρίως μέσω της αναζήτησης στο διαδίκτυο.

- Ανεπίσημες συνεντεύξεις με πρόσωπα εξειδικευμένα στην εφαρμογή της μεθοδολογίας της εκτίμησης του κύκλου ζωής.
- Άμεση επαφή με τους εμπλεκόμενους φορείς (στη συγκεκριμένη περίπτωση με το λατομείο μαρμάρου “Διονύσου Πεντέλης Α.Ε.Β.Ε.”) για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων μέσα από προσωπικές συνεντεύξεις. Πρόκειται για μια ιδιαίτερος χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία, γεγονός που οφείλεται στην πολυπλοκότητα του προς μελέτη αντικειμένου και στον περιορισμένο διαθέσιμο ελεύθερο χρόνο των εργαζομένων και της ανώτατης διοίκησης για την παροχή των αναγκαίων πληροφοριών.

### Παραπομπές βιβλιογραφίας

- [1] **Καρβούνης Σ.**, Σημειώσεις για το μάθημα “Ποιότητα Περιβάλλο-ντος”, **Πανεπιστήμιο Πειραιά, Πειραιάς, 1999, σσ. 3-6.**
- [2] **Καρβούνης Σ., ό.π., σσ. 3-6.**
- [3] Graedel T. E., Allenby B. R., *Industrial Ecology*, Prentice Hall, Engle-wood Cliffs, New Jersey, 1995, **σελ. 65.**
- [4] Cascio J., *The ISO 14000 Handbook*, CEEM Information Systems, Mil-waukee, Wisconsin, 1996, **σελ. 12.**
- [5] **Καρβούνης Σ., ό.π., σσ. 13-14, 19, 21-24.**
- [6] -Baker M. B., McKiel M., *ISO 14000 Questions and Answers*, 4<sup>th</sup> Edition, CEEM Information Services, Virginia, 1997, **σελ. 3.**  
-Cascio J., **ό.π., σσ. 4-5.**
- [7] Sturm A., *ISO 14001–Implementing an Environmental Management System*, Ellipson AG, Switzerland, 1998, **σελ. 7.**
- [8] -Amaral D., Andrews R. N. L., Darnall N., Gallagher D. R., “Environmental Management Systems: Opportunity for Improved Environmental and Business Strategy?”, *Environmental Quality Management*, 2000, **σσ. 1-2.**  
-Baker M. B., McKiel M., **ό.π., σσ. 3-4.**  
-Cascio J., **ό.π., σσ. 8-10.**  
-Glover M. A., Stapleton P. J., *Environmental Management Systems: An Implementation Guide for Small and Medium–Sized Organizations*, 2<sup>nd</sup> Edition, NSF International, U.S.A., 2001, **σελ. 8.**  
-Szwilski T. B., “Using environmental management systems to systematically improve operational performance and environmental protection”, *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 14, No 3, 2000, **σελ. 184.**
- [9] Massachusetts Department of Environmental Protection, “Overview of EMS”, <http://www.state.ma.us/dep/bspt/ems/overview.htm>, 3 April 2001, **σελ.1.**
- [10] -Andrews R. N. L., Darnall N., Gallagher D. R., “ Environmental Management Systems: A Sustainable Strategy for a Sustainable World?”, Eighth International Conference of the Greening of Industry Network: Sustainability: Ways of Knowing, Ways of Acting, November 1999, **σσ. 14-15.**

- Baker M. B., McKiel M., **ό.π.**, **σσ.** 4-5.
  - Cascio J., **ό.π.**, **σσ.** 10-11.
  - Glover M. A., Stapleton P. J., **ό.π.**, **σσ.** 4-5, 7.
  - Massachusetts Department of Environmental Protection, **ό.π.**, **σσ.** 1-2.
  - Sturm A., **ό.π.**, **σσ.** 9-10.
- [11] -Advanced Waste Management Systems, Inc., "What is ISO 14000?", <http://www.awm.net/iso/what.html>, 6 August 2001, **σσ.** 1-2.
- Baker M. B., McKiel M., **ό.π.**, **σσ.** 5-10.
  - Cascio J., **ό.π.**, **σσ.** 15-17, 19, 24, 26, 28-29.
  - Erickson S. L., King B. J., Fundamentals of Environmental Management, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999, **σσ.** 236-239.
  - Institute for Environmental Research and Education, "ISO 14000 Standards", <http://www.iere.org/ISO14000.html>, 2 August 2001, **σελ.** 1.
  - Jackson S. L., The ISO 14001 Implementation Guide, Creating an Integrated Management System, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997, **σελ.** 18.
  - Sturm A., **ό.π.**, **σσ.** 7-8.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Μέσα στους στόχους της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνονται:

- ◆ Η πλήρης και σαφής περιγραφή της μεθοδολογίας και του πλαισίου εφαρμογής της εκτίμησης του κύκλου ζωής.
- ◆ Η ποιοτική εφαρμογή της τεχνικής της εκτίμησης του κύκλου ζωής σε ένα λατομείο μαρμάρου (Ιδιαίτερο ρόλο στην επιλογή της ποιοτικής εφαρμογής της τεχνικής διαδραματίζει η ύπαρξη πολλών εναλλακτικών μεθόδων εξόρυξης του μαρμάρου, γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη έως αδύνατη την ανάπτυξη ενός ενιαίου μοντέλου με δυνατότητα εφαρμογής σε όλες τις πιθανές περιπτώσεις, κυρίως λόγω των αποκλίσεων που εμφανίζονται ανάλογα με την εφαρμοζόμενη μέθοδο εξόρυξης. Επίσης, η “υιοθέτηση” της ποιοτικής και όχι της ποσοτικής ανάλυσης δικαιολογείται, αν ληφθούν υπόψη, αφενός το γεγονός ότι μια τέτοια προσπάθεια γίνεται για πρώτη φορά στον κλάδο του μαρμάρου με ό,τι δυσκολίες αυτό συνεπάγεται, όπως τυχόν προβλήματα που οφείλονται π.χ. στη μη διαθεσιμότητα των αναγκαίων στοιχείων και αφετέρου οι περιορισμοί που τίθενται από το χρονικό διάστημα διεκπεραίωσης της διπλωματικής εργασίας).
- ◆ Η εκτίμηση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής, τα οποία αν αξιοποιηθούν δεόντως, μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των λατομείων μαρμάρου που θεωρούνται ως ρυπογόνες μονάδες. Κάτι τέτοιο θα φανερώσει τη δυνατότητα αρμονικής συνεργασίας των δύο αυτών δραστηριοτήτων, αφενός μεν της βιομηχανικής δραστηριότητας γενικότερα και της μεταλλευτικής ειδικότερα και αφετέρου της προστασίας του περιβάλλοντος.

Όσον αφορά στο περιεχόμενο της διπλωματικής εργασίας, αυτή απαρτίζεται από έξι κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο έχει ως σκοπό να βοηθήσει τον αναγνώστη να κατανοήσει καλύτερα το αντικείμενο με το οποίο η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ασχολείται. Έτσι, στην αρχή παρουσιάζονται κάποιες εισαγωγικές έννοιες, όπως Περιβάλλον, Ποιότητα Περιβάλλοντος, Διαχείριση Περιβάλλοντος, Βιώσιμη (Αειφόρος) Ανάπτυξη και στη συνέχεια δίνονται πληροφορίες για τα Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (Ιστορικό ανάπτυξης των προτύπων συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης, ορισμός τους, πλεονεκτήματα από την εφαρμογή τους), για τη σειρά προτύπων ISO 14000 και για το διεθνές πρότυπο ISO 14001. Τέλος, περιγράφεται το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά στη μεθοδολογία με την οποία προσεγγίζεται η εκτίμηση του κύκλου ζωής του μαρμάρου στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, καθώς επίσης και στο περιεχόμενο αυτής.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται με το σαφέστερο και περιεκτικότερο δυνατό τρόπο η μεθοδολογία της εκτίμησης του κύκλου ζωής (Ορισμός της εκτίμησης του κύκλου ζωής, περιγραφή των αρχών, του σκοπού, των διάφορων μορφών, των σταδίων από τα οποία αποτελείται, των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων που εμφανίζει, των κυριότερων χρήσεών της).

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αρχικά χρήσιμες πληροφορίες για τον κλάδο του μαρμάρου, προκειμένου να σχηματίσει ο αναγνώστης μια πλήρη εικόνα του συγκεκριμένου κλάδου και στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται η ποιοτική εφαρμογή της μεθόδου της εκτίμησης του κύκλου ζωής σε ένα λατομείο μαρμάρου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η εξαγωγή των όποιων συμπερασμάτων από την ποιοτική εφαρμογή της εκτίμησης του κύκλου ζωής στο μάρμαρο, ενώ στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι περιοχές που εμφανίζουν ενδιαφέρον για μελλοντική έρευνα και μπορούν να συμβάλουν με τον τρόπο τους στη βελτιστοποίηση της συγκεκριμένης τεχνικής και επομένως και στη διατήρηση της Ποιότητας του Περιβάλλοντος.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

### Εισαγωγή

Η βιομηχανική παραγωγή υλικών αγαθών σχετίζεται με την κατεργασία και την μεταποίηση διάφορων υλικών, οι οποίες πραγματοποιούνται σύμφωνα με τους νόμους και τους κανόνες της Φυσικής, της Χημείας, της Μηχανικής και άλλων επιστημών. Το γεγονός αυτό έχει σαν συνέπεια τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Για την πραγματοποίηση των διάφορων διεργασιών είναι απαραίτητη η κατανάλωση ενέργειας.
- Παράλληλα με την παραγωγή των αγαθών παράγονται και διάφορων μορφών απόβλητα.

Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό, σε αντίθεση με την επικρατούσα αντίληψη, δεν είναι εφικτή η πραγματοποίηση μιας δραστηριότητας ή διεργασίας χωρίς την κατανάλωση ενέργειας και την παραγωγή αποβλήτων, που έχουν σαν αποτέλεσμα την επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Το μόνο που μπορεί να γίνει στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι μια προσπάθεια ελαχιστοποίησης της καταναλισκόμενης ενέργειας και της αποδέσμευσης των παραγόμενων αποβλήτων. Πρώτο βήμα προς την κατεύθυνση αυτή είναι η ορθή ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών της υφιστάμενης κατάστασης, ώστε να αποτελέσει μέτρο σύγκρισης για κάθε μελλοντική προσπάθεια βελτίωσης [1].

Η διαδικασία όμως της καταγραφής, προκειμένου να προσδιοριστεί η καλύτερη επιλογή από περιβαλλοντικής άποψης, παρουσιάζει πολλές δυσκολίες. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την παραγωγή ενός προϊόντος δεν περιορίζονται μόνο στις εκπομπές ρύπων κατά την παραγωγική διαδικασία. Για να γίνει αυτό περισσότερο αντιληπτό, παρατίθεται στη συνέχεια ένα παρά-δειγμα παρασκευής απλών καρφιών που χρησιμοποιούνται σε οικοδομικές κατασκευές.

Το εργοστάσιο παραγωγής καρφιών αγοράζει σιδερένια σύρματα διάφορων μεγεθών, τα κόβει σε κατάλληλα μήκη, τα λειαίνει και τα σφυρηλατεί στις άκρες και στο τέλος τα συσκευάζει σε πακέτα έτοιμα προς μεταφορά. Μια απλοϊκή εξέταση της παραγωγικής διαδικασίας θα έδειχνε ότι τα μοναδικά απόβλητα είναι τα μεταλλικά ρινίσματα που προέρχονται από την επεξεργασία των καρφιών. Μια λεπτομερέστερη όμως ανάλυση αποκαλύπτει και τη χρήση λαδιών μηχανής στα διάφορα στάδια, τη χρήση νερού και ηλεκτρισμού για την ψύξη και τη λειτουργία αντίστοιχα του εξοπλισμού καθώς και την παροχή θερμότητας και φωτισμού στο εργοστάσιο. Η παραγωγή του ηλεκτρισμού που χρησιμοποιείται έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Υπάρχουν επίσης απόβλητα που συνδέονται με τη συσκευασία των καρφιών καθώς και με την επεξεργασία του σιδήρου που χρησιμοποιείται στην παραγωγική διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα κατά την εξόρυξη και παραγωγή του σιδήρου καταναλώνονται πόροι, χρησιμοποιείται ενέργεια και δημιουργείται ρύπανση. Κατά τη μεταφορά του σιδήρου στο εργοστάσιο παραγωγής καρφιών και κατά τη μεταφορά των καρφιών στους εμπόρους και καταναλωτές καταναλώνεται επιπλέον ενέργεια και παράγονται επίσης ρύποι. Στο τέλος, μετά την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής του κτιρίου στο οποίο χρησιμοποιήθηκαν τα καρφιά, αυτά αποτελούν στερεά απόβλητα που πρέπει να αντιμετωπιστούν κατάλληλα [2].

Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι προκειμένου να αξιολογηθεί η φιλικότητα ενός προϊόντος προς το περιβάλλον, πρέπει να ληφθεί υπόψη, εκτός από τη διαδικασία παραγωγής του συγκεκριμένου προϊόντος, η διανομή και μεταφορά του, η χρήση και η απόρριψή του.

Το συνεχώς αυξανόμενο διεθνώς ενδιαφέρον της κοινής γνώμης για θέματα που σχετίζονται με την Προστασία και κατά συνέπεια με την Ποιότητα του Περιβάλλοντος και ειδικότερα η ευαισθητοποίηση που παρατηρείται σχετικά με την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τη συστηματική βιομηχανική δραστηριότητα και το σύγχρονο τρόπο ζωής οφείλονται στην υψηλή συνειδητοποίηση της σημασίας της περιβαλλοντικής διαχείρισης και έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία σημαντικών πιέσεων για την ανάπτυξη μεθόδων που στοχεύουν στη συστηματική και αντικειμενική διερεύνηση και ανάλυση των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών των διάφορων παραγωγικών δραστηριοτήτων. Μια από τις ολιστικές τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί γι' αυτό το σκοπό είναι η Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment) ή Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis) ή LCA όπως επικράτησε στη διεθνή βιβλιογραφία [3].

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού, αφού δοθεί ο ορισμός της εκτίμησης του κύκλου ζωής και αναφερθούν οι αρχές, ο σκοπός, οι διάφορες μορφές της και τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί για αυτή, θα γίνει μια προσπάθεια σύντομης αλλά ουσιαστικής περιγραφής της μεθοδολογίας και των στοιχείων της. Στο τέλος θα αναφερθούν οι διάφορες εφαρμογές της συγκεκριμένης μεθόδου. Σκοπός του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι να περιγράψει το θεωρητικό υπόβαθρο της μεθοδολογίας της εκτίμησης



του κύκλου ζωής με όσο το δυνατό πιο απλό, κατανοητό, περιεκτικό και ταυτόχρονα πλήρη τρόπο και να βοηθηθεί έτσι στην προσπάθεια ποιοτικής εφαρμογής της συγκεκριμένης τεχνικής που θα ακολουθηθεί σε ένα από τα επόμενα κεφάλαια.

## Ορισμός, Αρχές και Σκοπός της Εκτίμησης του Κύκλου Ζωής

Πριν από τον ορισμό της εκτίμησης του κύκλου ζωής, είναι χρήσιμο να αναφερθούν κάποια στοιχεία για την έννοια του Κύκλου Ζωής και της Διαχείρισης του Κύκλου Ζωής.

Η έννοια του Κύκλου Ζωής είναι μια ολιστική 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 συγκομιδή 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. Με τη βοήθεια του κύκλου ζωής, οι περιβαλλοντικές αυτές επιπτώσεις μπορούν να αποδοθούν στις εισροές (υλικά, νερό και ενέργεια) και εκροές (στερεά, υγρά και αέρια απόβλητα) που δημιουργούνται σε κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας.

Η έννοια του κύκλου ζωής μπορεί επίσης να βοηθήσει κυβερνήσεις, επιχειρήσεις και μη κυβερνητικές οργανώσεις στη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με το περιβάλλον, το σχεδιασμό και τη βελτίωση των προϊόντων τους και να αποτελέσει ένα επιστημονικό εργαλείο συγκέντρωσης ποσοτικών δεδομένων και βαθμολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων, διαδικασιών και υπηρεσιών τους.

Η Διαχείριση του Κύκλου Ζωής είναι μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που ασχολείται με την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που παράγονται στη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας.

Μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε σύστημα ή δραστηριότητα, αν και χρησιμοποιείται κυρίως σε προϊόντα. Υιοθετώντας μια τέτοια αντίληψη, οι επιχειρήσεις μπορούν να αποκτήσουν ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα, όπως είναι η μείωση κόστους και η βελτιωμένη δημόσια εικόνα. Η διαχείριση του κύκλου ζωής μπορεί επίσης να ενισχύσει άλλες προσεγγίσεις Περιβαλλοντικής Διαχείρισης που ήδη εφαρμόζονται. Για παράδειγμα, τα Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης αναπτύσσονται από πολλές επιχειρήσεις για να καταστήσουν σαφή την Περιβαλλοντική Πολιτική τους. Το ενδιαφέρον εστιάζεται κυρίως στις λειτουργίες που αναπτύσσονται μέσα στην εταιρεία. Αλλά ένας ολοένα αυξανόμενος αριθμός εταιρειών δεσμεύεται περιβαλλοντικά να αντιμετωπίσει τις επιπτώσεις των προϊόντων του με τη χρησιμοποίηση της διαχείρισης του κύκλου ζωής.

Η διαχείριση του κύκλου ζωής χρησιμοποιεί διάφορα εργαλεία για την υλοποίηση των στόχων της, όπως Εκτίμηση Κύκλου Ζωής, Σχεδιασμός για το Περιβάλλον, Υπολογισμός Κόστους Κύκλου Ζωής, Περιβαλλοντική Σήμανση, Εκτίμηση Περιβαλλοντικής Επίδοσης κ.ά [4].

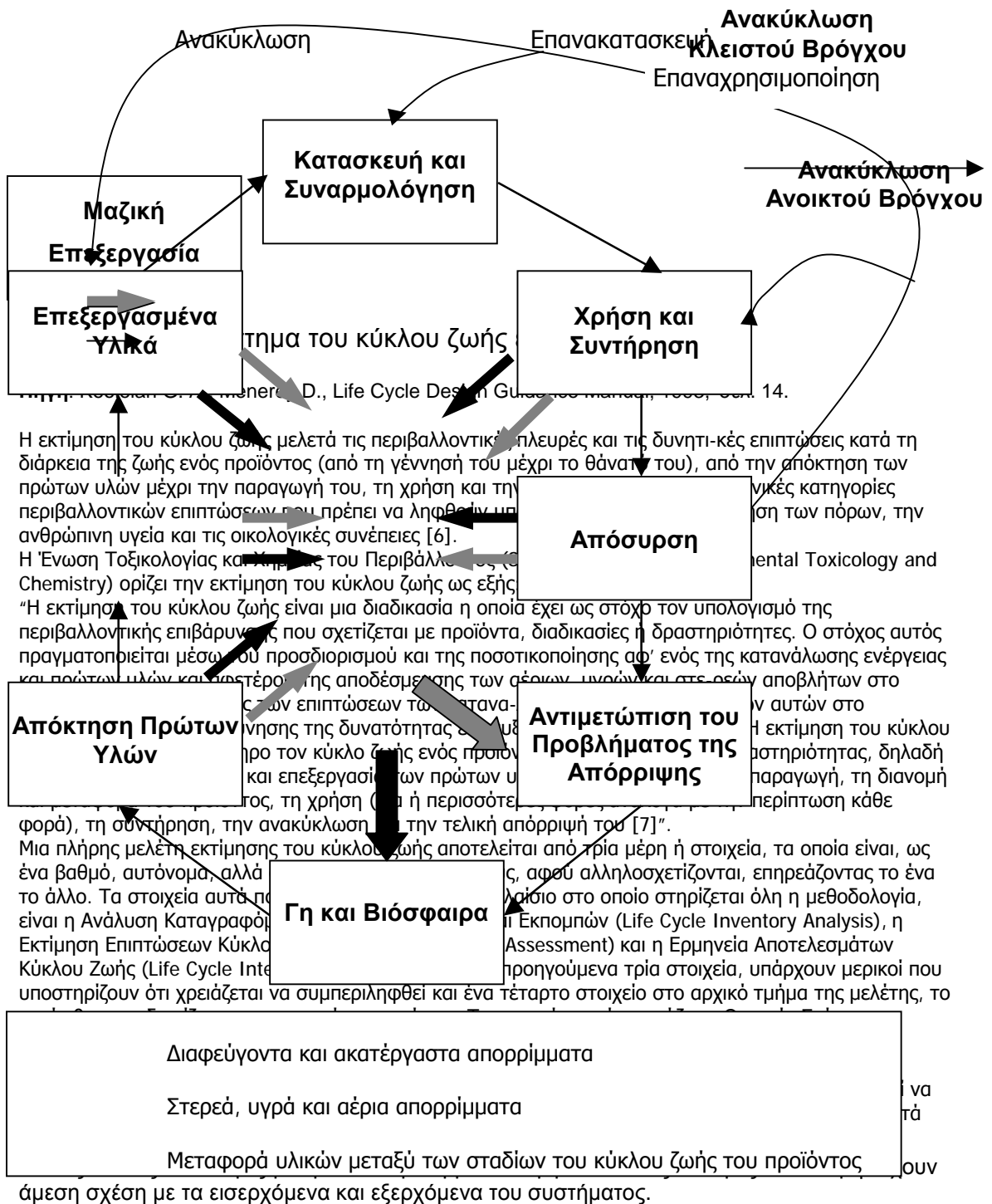
Η Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (ΕΚΖ) είναι μια σχετικά νέα επιστημονική μέθοδος<sup>3</sup>, διαρκώς εξελισσόμενη, που αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια για να βοηθήσει στην καλύτερη αντιμετώπιση των οξυμένων περιβαλλοντικών προβλημάτων και να συντελέσει στην ορθότερη διαχείριση του περιβάλλοντος. Πρόκειται για μια πολύπλοκη και κοπιαστική διαδικασία, κυρίως όσον αφορά στα δεδομένα που χρειάζεται. Είναι κυρίως ποσοτική τεχνική, 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. Για τη μέθοδο αυτή έχουν προταθεί αρκετοί ορισμοί όπου συνήθως ο ένας συμπληρώνει τον άλλο.

Σύμφωνα λοιπόν με το Διεθνές Πρότυπο ISO 14040: 1997, ως εκτίμηση του κύκλου ζωής ορίζεται η συλλογή και η εκτίμηση των εισροών, εκροών και των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός συστήματος προϊόντος κατά τη διάρκεια όλου του κύκλου ζωής του. Το σύστημα του κύκλου ζωής ενός προϊόντος απεικονίζεται στο σχήμα 3.1. Είναι μια από τις πολλές τεχνικές περιβαλλοντικής διαχείρισης (π.χ. εκτίμηση επικινδυνότητας, εκτίμηση περιβαλλοντικών επιδόσεων και επιπτώσεων, διενέργεια περιβαλλοντικής επιθεώρησης) και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών πλευρών και δυνητικών επιπτώσεων που συνδέονται με ένα προϊόν<sup>4</sup>, μέσω:

<sup>3</sup> Η Εκτίμηση κύκλου ζωής έκανε για πρώτη φορά την εμφάνισή της τις τελευταίες δεκαετίες. Αν και χρησιμοποιήθηκε από βιομηχανίες, κρατικούς φορείς και άλλους οργανισμούς της Ευρώπης, των Ηνωμένων Πολιτειών και μερικών άλλων χωρών με τη μια ή την άλλη μορφή, το ενδιαφέρον για τη μέθοδο αυτή ως εργαλείο Περιβαλλοντικής Διαχείρισης άρχισε να αυξάνεται μόλις τα τελευταία χρόνια. Η σύγχρονη εκτίμηση κύκλου ζωής αρχίζει να εφαρμόζεται ευρύτερα στη δεκαετία του 1960, λόγω της εμφάνισης του προβλήματος της μείωσης των πρώτων υλών και της διαθέσιμης ενέργειας, οπότε έπρεπε να βρεθούν τρόποι για την όσο το δυνατόν αντικειμενικότερη καταγραφή της απαιτούμενης ενέργειας και των αναγκαίων πρώτων υλών που θα χρειάζονταν στο μέλλον [5].

<sup>4</sup> Σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο ISO 14040: 1997, ο όρος “προϊόν” όταν χρησιμοποιείται μόνος έχει ευρύτερη έννοια και μπορεί να περιλαμβάνει εκτός από συστήματα προϊόντων και συστήματα υπηρεσιών.

- ♦ Της καταγραφής σε ένα κατάλογο<sup>5</sup> των εισροών και των εκροών που σχετίζονται με το σύστημα του προϊόντος.
- ♦ Της εκτίμησης των δυνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με αυτά τα εισερχόμενα και εξερχόμενα.
- ♦ Της ερμηνείας των αποτελεσμάτων των φάσεων της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών και της εκτίμησης των επιπτώσεων, σε σχέση με τους αντικειμενικούς στόχους της μελέτης.



είναι πιθανόν να έχουν θετικές ή αρνητικές συνέπειες στα υπόλοιπα στάδια, στον τομέα τόσο της δημιουργίας οποιασδήποτε μορφής ρύπανσης, όσο και κατανάλωσης ενέργειας και πρώτων υλών. Έτσι, η εκτίμηση του κύκλου ζωής μπορεί να βοηθήσει στο να εξακριβωθεί, με αντικειμενικό τρόπο, εάν κάποια προτεινόμενη αλλαγή σε ένα προϊόν ή μια διεργασία έχει, ενδεχομένως, αρνητικές συνέπειες [9]. 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 αλυσίδας<sup>6</sup>. Η κατάσταση αυτή μπορεί να προβλεφθεί με τη βοήθεια της εκτίμησης του κύκλου ζωής και μάλιστα να καταγραφεί ποσοτικά.

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, η εκτίμηση κύκλου ζωής είναι μια μεθοδολογία η οποία έχει σαν κύριο σκοπό τον αντικειμενικό υπολογισμό και την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων των προϊόντων, διεργασιών και δραστηριοτήτων, καθώς και την εκτίμηση των δυνατοτήτων επίτευξης περιβαλλοντικών βελτιώσεων, σε συνδυασμό με την ορθολογική χρήση πρώτων υλών και ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό και την ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών της χρήσης ενέργειας, πρώτων υλών και της κάθε είδους περιβαλλοντικής ρύπανσης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του εξεταζόμενου προϊόντος, διεργασίας ή δραστη-ριότητας. Πέρα από τον κύριο αυτό σκοπό, υπάρχουν και άλλοι επιμέρους στόχοι που τίθενται κάθε φορά και, ανάλογα με την περίπτωση, μπορεί να είναι:

- Ο προσανατολισμός στη λήψη αποφάσεων για το περιβάλλον με βάση επιστημονικές μεθοδολογίες και όχι αυθαίρετες εκτιμήσεις.
- Η θέσπιση περιβαλλοντικών κανόνων και ο καθορισμός αντίστοιχων προ-τεραιοτήτων στη σχεδίαση και παραγωγή διάφορων προϊόντων.
- Η εκτίμηση ενός υλικού σε σχέση με ένα άλλο σε διάφορες εφαρμογές (π.χ. στη συσκευασία) και γενικά ο προσδιορισμός του ρόλου διάφορων υλικών στις σύγχρονες στρατηγικές διαχείρισης του περιβάλλοντος.
- Η δημιουργία ενός επιστημονικού υπόβαθρου με βάση το οποίο θα αποδεικνύεται η αναγκαιότητα υιοθέτησης οικονομικών μέτρων, εφόσον υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον από προϊόντα ή δραστηριότητες (π.χ. φορολόγηση ορισμένων απορριμμάτων ή αέριων ρυπαντών όπως το CO<sub>2</sub>).
- Η ανάδειξη της καλύτερης μεθόδου ανάκτησης των υλικών και γενικά διαχείρισης των αποβλήτων σε σχέση με όλες τις δυνατές εναλλακτικές λύσεις.
- Η δημιουργία μιας αξιόπιστης βάσης ανταλλαγής πληροφοριών στον τομέα της περιβαλλοντικής διαχείρισης, ώστε να είναι ευκολότερη η συνεργασία μεταξύ των διάφορων φορέων με σκοπό περιβαλλοντικά οφέλη.

---

<sup>6</sup> Σαν παράδειγμα αναφέρεται η λύση της αποτέφρωσης που επιλέγεται για τη διαχείριση των στερεών αστικών και λοιπών απορριμμάτων. Αυτό όμως απαιτεί μεγάλες μονάδες καύσης απορριμμάτων που εκπέμπουν στον ατμοσφαιρικό αέρα μεγάλες ποσότητες αέριων ρυπαντών και μάλιστα πολλές φορές εξαιρετικά επικίνδυνων. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού αναπτύχθηκε ειδική τεχνολογία ελέγχου και περιορισμού των ρυπαντών αυτών, η οποία με τη σειρά της έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία υγρών ρυπαντών που, αν δεν ελεγχθούν, μολύνουν τα ύδατα.

- Ο εφοδιασμός των επιχειρήσεων με επιχειρήματα που θα τις διευκολύνουν στο πεδίο του οικολογικού μάρκετινγκ (eco-marketing ή green marketing), υπό την προϋπόθεση ότι, σε μια τέτοια περίπτωση, η μεθοδολογία της εκτίμησης του κύκλου ζωής είναι ομοιόμορφη και τυποποιημένη για να μην γίνεται καταστρατήγηση και αντιδεοντολογική χρήση των διάφορων στοιχείων.
- Η ανατροπή υφιστάμενων δυσμενών περιβαλλοντικών απόψεων της κοινής γνώμης για διάφορα προϊόντα ή δραστηριότητες, οι οποίες πιθανόν να είναι λανθασμένες (π.χ. η επικρατούσα σε πολλούς αντίληψη για τη βιομηχανία πλαστικών).
- Η δημιουργία της βάσης για την εφαρμογή προγραμμάτων Ολικής Ποιότητας Περιβάλλοντος (Environmental Total Quality Programs).
- Η θέσπιση των επιστημονικών κριτηρίων που χρησιμοποιούνται για την απονομή του οικολογικού σήματος (eco-label) στα διάφορα προϊόντα.
- Η ενημέρωση των πολιτών σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούν τα προϊόντα που χρησιμοποιούν και οι δραστηριότητες που ασκούν. Αυτή επιτυγχάνεται είτε με την κοινοποίηση των αποτελεσμάτων μελετών εκτίμησης του κύκλου ζωής σε κάθε ενδιαφερόμενο φορέα (κρατικές αρχές, οικολογικές ομάδες, κλπ.), είτε με την εφαρμογή της οικολογικής σήμανσης στα προϊόντα (οικολογική ετικέτα ή οικολογικό σήμα), είτε με την πιστοποίηση αυτών για την περιβαλλοντική τους ποιότητα (certification).
- Η εκτίμηση επενδυτικών σχεδίων αναφορικά με την επίδρασή τους στο περιβάλλον.

Συνοψίζοντας τα προηγούμενα μπορεί να αναφερθεί ότι στόχος της εκτίμησης του κύκλου ζωής είναι η μέτρηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ενός οικονομικού συστήματος κατά τη διάρκεια της ζωής του με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσοτική προσέγγιση [10].

### **Διάφορες μορφές της Εκτίμησης του Κύκλου Ζωής**

Όπως συμβαίνει συνήθως 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*<sup>7</sup> (*Life Cycle Analysis-LCA*), *Οικολογικό Ισοζύγιο (Eco-Balance)*, *Οικολογικό "Προφίλ" (Eco-Profile)*, *"Ανάλυση από τη Γέννηση ως το Θάνατο" (Cradle-to-Grave Analysis)*, *Ανάλυση Οικολογικού "Προφίλ" Φυσικών Πόρων*

<sup>7</sup> 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).

(Resource Analysis και Resource and Environmental Profile Analysis-REPA) και Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων<sup>8</sup> (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 μεθόδων που ξεχωρίζουν κυρίως από το γεγονός ότι επιδιώκουν διαφορετικούς σκοπούς. 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 το να επιχειρούν την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από ολόκληρο τον κύκλο ζωής μιας συγκεκριμένης οικονομικής δραστηριότητας. Αυτή η κατηγορία χωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες, δηλαδή σε δύο διαφορετικά είδη εργαλείων: στην *Ανάλυση Ροής Περιεχομένου (Substance Flow Analysis-SFA)* και στην *Εκτίμηση ή Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment or Life Cycle Analysis)*. Στην ανάλυση ροής περιεχομένου η προσοχή επικεντρώνεται σ' ένα συγκεκριμένο περιεχόμενο στοιχείο, 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 τις αξιολογήσεις κύκλου ζωής, η *Οικολογική Εκτίμηση (Ecological Assessment)* και η *Περιβαλλοντική Εκτίμηση (Environmental Assessment)*. Η οικο-λογική 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 επιδράσεις στην παραγωγή, στο περιβάλλον και στην υγιεινή της εργασίας, ενώ αποτελούν τμήμα των οικολογικών εκτιμήσεων, μπορούν να συμπεριληφθούν και σε περιβαλλοντικές εκτιμήσεις, εάν ο άνθρωπος θεωρηθεί ως τμήμα της φύσης. Οι πιο γνωστές έννοιες που περιλαμβάνονται στην κατηγορία των οικολογικών εκτιμήσεων είναι η *Ανάλυση Γραμμής Προϊόντος (Product Line Analysis)* και η *Εκτίμηση Τεχνολογίας (Technological Assessment)*, όπου και οι δύο περιέχουν στην ανάλυσή τους κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Στην κατηγορία των περιβαλλοντικών εκτιμήσεων οι σημαντικότεροι τύποι μελετών είναι, από τη μια η *Οικολογική Εξέταση (Eco-Test)* και το *Οικολογικό Σήμα (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 απεριόριστο μεγάλο αριθμό περιβαλλοντικών κριτηρίων καταλήγοντας σε αντίστοιχα μεγάλο αριθμό αποτελεσμάτων, τα οποία, είτε πα-ρουσιάζονται χωρίς περαιτέρω επεξεργασία, είτε συγκεντρώνονται σε λίγες (ή και μόνο μια) περιβαλλοντικές παραμέτρους [11].

## Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής και Διεθνή Πρότυπα

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Organization for Standardization), έχει αναπτύξει τη σειρά προτύπων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης ISO 14000. Αυτά τα πρότυπα, όπως έχει αναφερθεί αναλυτικά και στην εισαγωγή, μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα πρότυπα που εστιάζονται στην επιχείρηση και έχουν σαν επίσημο έγγραφο το πρότυπο ISO 14001, το οποίο αφορά στα Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (Environmental Management Systems-EMS), ενώ η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα πρότυπα που εστιάζονται στο προϊόν και έχουν σαν βάση τη σειρά προτύπων ISO 14040 που αναφέρεται στην εκτίμηση του κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment). Τα πρότυπα της σειράς ISO 14040 έχουν σχεδιαστεί, όπως όλα τα πρότυπα, προκειμένου να βοηθούν:

- ◆ Τους υπεύθυνους που αναλαμβάνουν μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής να ακολουθούν μια συγκεκριμένη διαδικασία.
- ◆ Τους υποστηρικτές τέτοιων μελετών να αισθάνονται σιγουριά για το ότι η μελέτη τους θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις ενός διεθνούς αναγνωρισμένου προτύπου.
- ◆ Τους εσωτερικούς (υπεύθυνοι για το σχεδιασμό των προϊόντων, υπεύθυνοι

<sup>8</sup> Ο συγκεκριμένος όρος μοιάζει αλλά δεν πρέπει να συγχέεται με τον όρο Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Environmental Impact Assessment), ο οποίος αποδίδει διαφορετικές καταστάσεις.

παραγωγής, ανώτερη διοίκηση) και εξωτερικούς (κυβερνήσεις, καταναλωτές, μετόχους, οικονομικά ιδρύματα) ενδιαφερόμενους για μια επιχείρηση να αξιολογούν και να ερμηνεύουν τα αποτελέσματα των μελετών εκτίμησης του κύκλου ζωής [12].

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

### **ISO 14040 (1997): Περιβαλλοντική Διαχείριση-Εκτίμηση Κύκλου Ζωής– Αρχές και Πλαίσιο (Environmental Management–Life Cycle Assessment–Principles and Framework)**

Αυτό το πρότυπο δεν περιγράφει με λεπτομέρειες την τεχνική της εκτίμησης του κύκλου ζωής, αλλά δίνει γενικές οδηγίες και παρουσιάζει τις βασικές αρχές, το γενικό πλαίσιο και μερικές μεθοδολογικές απαιτήσεις για τη διεξαγωγή μιας τέτοιας 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. Καταγράφει τις φάσεις της εκτίμησης του κύκλου ζωής και επισημαίνει ότι αυτές δεν αποτελούν γραμμικές διαδικασίες, αλλά αλληλο-συνδέονται μεταξύ τους. Όσον αφορά στη μεθοδολογία της εκτίμησης του κύκλου ζωής, το πρότυπο παρέχει γενικές κατευθύνσεις σχετικά με τον ορισμό 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.

Το διεθνές αυτό πρότυπο αναγνωρίζει ότι η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι ακόμα σε ένα πρώιμο στάδιο ανάπτυξης. Ορισμένες φάσεις της τεχνικής εκτίμησης του κύκλου ζωής, όπως η εκτίμηση των επιπτώσεων, βρίσκονται ακόμα στα πρώτα τους βήματα. Προκειμένου να αναπτυχθεί περισσότερο το επίπεδο της πρακτικής της εκτίμησης του κύκλου ζωής, σημαντικό έργο απαιτείται να γίνει και πρακτική εμπειρία να αποκτηθεί. Είναι λοιπόν βασικό τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης τεχνικής να ερμηνεύονται και να εφαρμόζονται κατάλληλα [13].

### **ISO 14041 (1998): 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 έγγραφο έγινε Διεθνές Πρότυπο το φθινόπωρο του 1998. Αυτό το Διεθνές Πρότυπο ασχολείται με δύο φάσεις της εκτίμησης του κύκλου ζωής, τον ορισμό του στόχου και του αντικειμενικού σκοπού και την ανάλυση των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών, όπως αυτές ορίζονται στο ISO 14040. Ένας σημαντικός σκοπός του συγκεκριμένου προτύπου είναι να παρουσιάσει μια μεθοδολογία για τη διενέργεια μελετών ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής. Η ύπαρξη μεγάλης εμπειρίας στη βιομηχανία σχετικά με τέτοιου είδους μελέτες έχει σαν συνέπεια το πρότυπο αυτό να είναι ένα από τα πιο εκτενή στη σειρά ISO 14000.

Το πρότυπο ISO 14041 περιλαμβάνει τους ακόλουθους τομείς:

1. Σκοπός.
2. Τυποποιητικές παραπομπές.
3. Ορισμοί.
4. Εισαγωγή, που περιέχει οδηγίες σχετικά με συστήματα προϊόντων, στοι-χειώδεις διαδικασίες και κατηγορίες δεδομένων.
5. Ορισμός του στόχου και του αντικειμενικού σκοπού που

περιλαμβάνει τον καθορισμό του σκοπού της μελέτης, της εξεταζόμενης λειτουργίας και λει-τουργικής μονάδας, των αρχικών ορίων του συστήματος, των απαιτήσεων των δεδομένων, τον προσδιορισμό των πρώτων υλών, των βοηθητικών υλικών καθώς και του τρόπου διενέργειας της κριτικής ανασκόπησης.

6. Ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής, η οποία περιλαμβάνει οδηγίες για την προετοιμασία της συλλογής δεδομένων, τη βελτίωση των ορίων του συστήματος, τις διαδικασίες υπολογισμού, την επικύρωση των δεδομένων, το συσχετισμό των δεδομένων με τη στοιχειώδη διαδικασία και τη λειτουργική μονάδα, το άθροισμα των δεδομένων και τις διαδικασίες κατανομής σε περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης.
7. Αναφορά των αποτελεσμάτων της μελέτης ανάλυσης καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής.

Υπάρχουν επίσης και δύο παραρτήματα, όπου στο πρώτο παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εντύπου συλλογής δεδομένων, ενώ στο δεύτερο παραδείγματα διάφορων διαδικασιών κατανομής [14].

### **ISO 14042 (2000): Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Environmental Management–Life Cycle Assessment–Life Cycle Impact Assessment)**

Αυτό το έγγραφο περιέχει γενικές αρχές, οδηγίες και διαδικασίες για την κατανόηση και εκτίμηση της σημασίας των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στις μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής. Παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά και τους περιορισμούς του συγκεκριμένου σταδίου, καθώς επίσης και τη συσχέτισή του με τα άλλα στάδια της εκτίμησης του κύκλου ζωής [15]. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, το τεχνικό πλαίσιο για την εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής περιλαμβάνει τις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

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

Τα πρότυπα που αναφέρονται στην ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών και στην εκτίμηση των επιπτώσεων κύκλου ζωής θα πρέπει να εξετάζονται παράλληλα και όχι ανεξάρτητα, προκειμένου να εξασφαλίζουν τη συμβατότητα των οδηγιών για τη συλλογή των δεδομένων [16].

### **ISO 14043 (2000): 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 αποτελεσμάτων κύκλου ζωής, αλλά παρουσιάζει μια συστηματική διαδικασία για την ερμηνεία των πληροφοριών που παρέχονται από την ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών και/ή 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 κύκλου ζωής περιέχει τέσσερα στοιχεία:

- ◆ Τη σύνθεση της ανάλυσης καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών και της εκτίμησης των επιπτώσεων.
- ◆ Τη σύγκριση των εργαλείων βελτίωσης.
- ◆ Τα συμπεράσματα.
- ◆ Τις συστάσεις.

Το πρότυπο αυτό παρέχει οδηγίες σχετικά με τα συμπεράσματα και τις συστάσεις που αναφέρονται στα ευρήματα της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής και που έχουν σαν σκοπό την βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης του εξεταζόμενου προϊόντος [17].

Εκτός από τα παραπάνω πρότυπα, υπάρχει και μια τεχνική αναφορά που ονομάζεται *ISO/TR 14049 (2000): 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 παρα-δείγματα πρακτικής για τη διενέργεια ανάλυσης καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής.

## **Περιγραφή της μεθοδολογίας και των σταδίων της Εκτίμησης του Κύκλου Ζωής**

Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας εκτίμησης του κύκλου ζωής είναι τα εξής:

- Οι μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής θα πρέπει να εξετάζουν συστηματικά και με τον κατάλληλο τρόπο τις περιβαλλοντικές πλευρές συστημάτων προϊόντων, από την απόκτηση των πρώτων υλών μέχρι την τελική απόρριψή τους.
- Το βάθος της ανάλυσης και το χρονικό πλαίσιο της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό, ανάλογα με τον καθορισμό του στόχου και του αντικειμενικού σκοπού της μελέτης.
- Το αντικείμενο, οι υποθέσεις, η περιγραφή των ποιοτικών στοιχείων, η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται και τα αποτελέσματα της εκτίμησης του κύκλου ζωής θα πρέπει να είναι ξεκάθαρα και κατανοητά. Οι πηγές των δεδομένων θα πρέπει επίσης να καταγράφονται και να κοινοποιούνται με σαφήνεια και με τον κατάλληλο τρόπο.
- Η μεθοδολογία εκτίμησης του κύκλου ζωής θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη καινούρια επιστημονικά ευρήματα και συνεπαγόμενες βελτιώσεις στο επίπεδο της τεχνικής.
- Δεν υπάρχει επιστημονική βάση για τη μείωση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης του κύκλου ζωής σε ένα μόνο αριθμό, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη πολύπλοκων καταστάσεων στα διάφορα στάδια της εκτίμησης αυτού του κύκλου ζωής.
- Δεν υπάρχει μια μοναδική μέθοδος για τη διενέργεια μελετών εκτίμησης



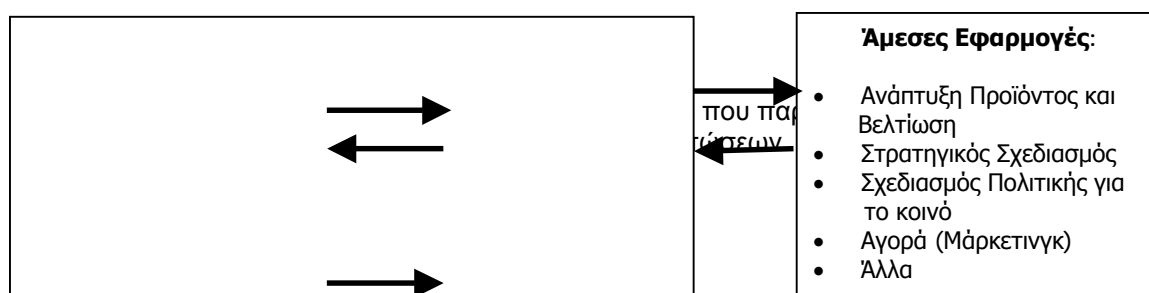
του κύκλου ζωής. Οι επιχειρήσεις θα πρέπει να έχουν την ευελιξία να υλοποιούν τέτοιες μελέτες, σύμφωνα με το πρότυπο, ανάλογα με τις απαιτήσεις του πελάτη και τη μελλοντική εφαρμογή του εξεταζόμενου προϊόντος [18].

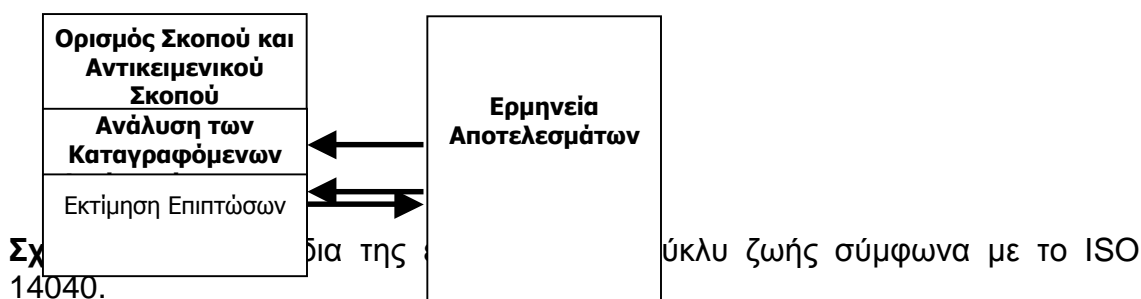
Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μια πλήρης μελέτη εκτίμησης του κύκλου ζωής αποτελείται από τα ακόλουθα τρία στάδια: την *Ανάλυση των Καταγραφόμενων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Inventory Analysis)*, την *Εκτίμηση των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment)* και την *Ερμηνεία των Αποτελεσμάτων του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Interpretation)*.

Αν και όλοι σχεδόν οι ερευνητές συμφωνούν με την ύπαρξη τουλάχιστον αυτών των τριών σταδίων, η συντριπτική πλειοψηφία των μελετών εκτίμησης του κύκλου ζωής, μέχρι σήμερα, δεν περιλαμβάνει και τα τρία. Αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από το στάδιο των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών και μόνο. Οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό είναι οι ακόλουθοι:

- ◆ Το στάδιο της καταγραφής αυτής πρέπει να προηγείται οπωσδήποτε των δύο άλλων, με αποτέλεσμα να είναι σπάνιες οι περιπτώσεις των μελετών εκτίμησης του κύκλου ζωής που να μην περιλαμβάνουν την καταγραφή της κατάστασης. Αντιθέτως, κάτι τέτοιο δεν χρειάζεται πάντοτε για τα στάδια της εκτίμησης των επιπτώσεων και της ερμηνείας των αποτελεσμάτων, γεγονός που έχει σαν συνέπεια πολλές φορές να αποφεύγονται.
- ◆ Η μεθοδολογία πάνω στην οποία στηρίζεται το στάδιο των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών του κύκλου ζωής έχει αναπτυχθεί σε σημαντικό βαθμό, με αποτέλεσμα να υπάρχει σήμερα το κατάλληλο θεωρητικό υπόβαθρο για την εκπόνηση σχετικών αξιόπιστων μελετών. Αντίθετα, δεν φαίνεται να συμβαίνει το ίδιο και στην περίπτωση των δύο άλλων σταδίων<sup>9</sup>, η ανάπτυξη των οποίων παρουσιάζει πολλά σημεία που παραμένουν ακόμη ασαφή.
- ◆ Πολλές φορές το στάδιο της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών αρκεί για να φανούν ευκαιρίες μείωσης της ρύπανσης και της κατανάλωσης ενέργειας και πρώτων υλών. Στην περίπτωση αυτή τα άλλα δύο στάδια χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν ότι οι ενδεχόμενες αλλαγές θα φέρουν τα καλύτερα αποτελέσματα, χωρίς ταυτόχρονα να δημιουργήσουν άλλου είδους περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Εκτός από τα παραπάνω τρία στάδια από τα οποία αποτελείται η εκτίμηση του κύκλου ζωής, μερικοί υποστηρίζουν, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, ότι χρειάζεται να προστεθεί και ένα τέταρτο: ο *Ορισμός Στόχου και Αντικειμενικού Σκοπού (Goal and Scope Definition)* και προτείνουν να ενσωματωθεί με εκείνο της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών [19].





Πηγή: International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14040:1997, Περιβαλλοντική Διαχείριση-Εκτίμηση Κύκλου Ζωής-Μεθοδολογία", Ιούνιος 1997, σελ. 10.

Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζονται τα στάδια εκτίμησης του κύκλου ζωής σύμφωνα με το ISO 14040. Τα διπλά βέλη υποδηλώνουν την αλληλεπίδραση μεταξύ τους<sup>10</sup>. Στη συνέχεια ακολουθεί αναλυτικότερη περιγραφή όλων των παραπάνω σταδίων.

### Ορισμός Στόχου και Αντικειμενικού Σκοπού (Goal and Scope De-finition)

Το στάδιο αυτό απαιτεί μεγάλη προσοχή γιατί ορίζει το πλαίσιο εργασίας για τη διεξαγωγή της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής. Εδώ προσδιορίζεται ο στόχος της μελέτης, το αντικείμενό της, ορίζεται το σύστημα του εξεταζόμενου προϊόντος, η λειτουργική μονάδα και καθορίζεται η διαδικασία για την ποιοτική εξασφάλιση της μελέτης. Κατά τον προσδιορισμό του στόχου και του αντικειμενικού σκοπού θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι διαθέσιμοι πόροι καθώς και το ποιος θεωρείται υπεύθυνος για τη διενέργεια της μελέτης. Θα πρέπει επίσης να εντοπίζονται τα δεδομένα και οι πληροφορίες που απαιτούνται για την υποστήριξη της καταγραφής της υφιστάμενης κατάστασης, της εκτίμησης των επιπτώσεων και της ερμηνείας των αποτελεσμάτων<sup>11</sup>.

Ο στόχος της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής πρέπει να διευκρινίζει τους λόγους διεξαγωγής της μελέτης, την επιδιωκόμενη χρήση των αποτελεσμάτων<sup>12</sup> 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. Όπως γίνεται αντιληπτό, το αντικείμενο θα πρέπει, να είναι καλά προσδιορισμένο, ώστε να εξασφαλίζει ότι το εύρος, το βάθος και η λεπτομέρεια της μελέτης είναι επαρκή και συμβατά με τον προκαθορισμένο στόχο. Όλα τα όρια, η εκάστοτε μεθοδολογία, οι κατηγορίες δεδομένων και οι υποθέσεις θα πρέπει να διατυπώνονται ξεκάθαρα και με σαφήνεια, συμπεριλαμβανόμενης σε αυτά και της γεωγραφικής έκτασης (τοπική, εθνική, περιφερειακή, ηπειρωτική και παγκόσμια) και του χρόνου (διάρκεια ζωής προϊόντος, χρονικός ορίζοντας κατεργασίας και επιδράσεων).

Αξίζει στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι μια επαναλαμβανόμενη τεχνική. Κατά τη διεξαγωγή της, διάφορες πλευρές του αντικειμενικού σκοπού μπορεί να απαιτούν τροποποιήσεις, προκειμένου να επιτευχθεί ο αρχικός στόχος της μελέτης. Σε μερικές περιπτώσεις, ο ίδιος ο στόχος μπορεί να αναθεωρηθεί λόγω απρόβλεπτων περιορισμών ή επιπρόσθετων πληροφοριών [22].

<sup>10</sup> 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 [20].

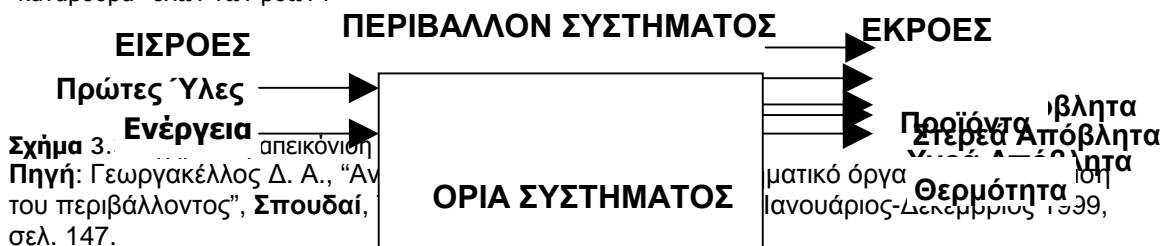
<sup>11</sup> Για παράδειγμα, για την εκτίμηση των επιπτώσεων θα πρέπει, σε αυτό το στάδιο, να καθοριστούν οι κατηγορίες των επιπτώσεων και η συλλογή των δεδομένων να είναι συμβατή με το σκοπό της εκτίμησης των επιπτώσεων.

<sup>12</sup> 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 [21].

Στη συνέχεια της ενότητας αυτής προσδιορίζονται αναλυτικότερα τα βασικά εκείνα στοιχεία που πρέπει να περιγράφονται στον ορισμό του στόχου και του αντικειμενικού σκοπού της μελέτης και που είναι απαραίτητα για την πραγ-ματοποίηση του σταδίου της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής.

## Σύστημα Προϊόντος (Product System)

Προκειμένου να καταγραφούν οι εισροές και οι εκροές από και προς το περιβάλλον για τον προσδιορισμό των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώ-σεων ενός προϊόντος, είναι απαραίτητο να καθορισθεί ένα *σύστημα αναφοράς*. Στην εκτίμηση του κύκλου ζωής με τον όρο *σύστημα* εννοείται το σύνολο διάφορων διαδικασιών που συνδέονται υλικά ή ενεργειακά (π.χ. διαδικασία κατασκευής, διαδικασία μεταφοράς) και οι οποίες όλες μαζί συνθέτουν μια συγκεκριμένη λειτουργία, όπως ο κύκλος ζωής του προϊόντος. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η έννοια της λειτουργίας είναι πολύ σημαντική, γιατί εάν πρόκειται να συγκριθούν δύο συστήματα, αυτά πρέπει να εκτελούν την ίδια λειτουργία. Επειδή κάθε σύστημα είναι ένα φυσικό σύστημα, πρέπει να υπα-κούει στους νόμους της Φυσικής. Έτσι, όλη η διαδικασία στηρίζεται στις θεμελιώδεις αρχές της Θερμοδυναμικής, στην αρχή διατήρησης της μάζας και στους άλλους νόμους της Φυσικής, ενώ παράλληλα ο τρόπος συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων μοιάζει με εκείνον της κατάρτισης των ισολο-γισμών 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 3.3 παρουσιάζεται η σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος. Στο σχήμα αυτό, ο όρος *σύστημα* δηλώνει το τμήμα εκείνο της ζωής του προϊόντος το οποίο εξετάζεται κάθε φορά. Όπως φαίνεται, το σύστημα απεικονίζεται ως ένα τετράγωνο σχήμα στο οποίο περιλαμβάνεται το σύνολο των διαδικασιών που πρόκειται να αναλυθούν. Το περιγράμμα 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.



Στη συνέχεια, το σύστημα αυτό προ-μεταξύ τους με ισοζύγια μάζας και ενέργειας που προηγείται, ενώ η έξοδος του συστήματος λογίζεται είσοδος για την επόμενη διαδικασία. Η επιλογή των υποσυστημάτων καθορίζεται από τη διαθεσιμότητα των δεδομένων για καθένα από αυτά. Μια τυπική διαίρεση ενός πλήρους κύκλου ζωής σε υποσυστήματα περιλαμβάνει τις διαδικασίες απόκτησης των απαραίτητων πρώτων υλών και ενέργειας, κατασκευής (παραγωγής) του προϊόντος, διανομής και μεταφοράς του, χρήσης, ανακύκλωσης και τελικής απόρριψής του. Βέβαια, ανάλογα με το στόχο της ανάλυσης και τα διαθέσιμα δεδομένα, καθένα από τα υποσυστήματα αυτά μπορεί να υποδιαιρεθεί σε άλλα επιμέρους κ.ο.κ. Επίσης, σε ένα μεγάλο αριθμό μελετών, ορισμένα από τα στα-δια της απόκτησης πρώτων υλών (συνήθως των ανανεώσιμων) και της τελικής διάθεσης των απορριμμάτων (συνήθως αυτά τα στάδια που σχετίζονται με τη μετατροπή τους σε οργανική και άλλη ύλη) δεν περιλαμβάνονται στη μελέτη, με αποτέλεσμα να υποεκτιμάται η σημασία αυτών των δραστηριοτήτων στη διε-ρεύνηση του πραγματικού περιβαλλοντικού φορτίου [23]. Κάθε εισροή πρώτης ύλης, ενέργειας, βοηθητικού υλικού ή καυσίμου σε οποιαδήποτε θέση του εξεταζόμενου συστήματος, πρέπει να συνοδεύεται από τα αντίστοιχα ολικά περιβαλλοντικά φορτία που προκαλεί, έτσι ώστε αυτά να συνυπολογίζονται αναλογικά στο συνολικό φορτίο του προϊόντος που μελετάται. Έτσι, η παρα-πάνω αλυσίδα των διαδοχικών υποσυστημάτων που συνθέτουν το κυρίως σύστημα, εμφανίζει σε διάφορες θέσεις της παρόμοιους υποκλάδους που αντιστοιχούν στον κύκλο ζωής των εισερχόμενων υλικών και ενέργειας. Μετά την οριστική διαμόρφωση του τελικού συστήματος και των υποσυστημάτων του, κάθε υποσύστημα εξετάζεται ξεχωριστά, προκειμένου να προσδιοριστούν όλες οι εισροές και οι εκροές από αυτό. Όταν τα στοιχεία αυτά συγκεντρωθούν για κάθε επιμέρους υποσύστημα, τότε αθροίζονται βάσει ισοζυγίων μάζας και ενέργειας, ώστε να εκτιμηθεί η συνολική περιβαλλοντική επίδραση του προϊόντος ή της διαδικασίας που εξετάζεται. Εκτός από τον προσδιορισμό του συστήματος, άλλα στοιχεία που διαδρα-ματίζουν σημαντικό ρόλο και για το λόγο αυτό πρέπει να καθορίζονται με σαφήνεια από την αρχή, είναι η λειτουργική μονάδα του προϊόντος, με βάση την οποία θα πραγματοποιηθούν η εκτίμηση και ενδεχομένως η σύγκριση της περιβαλλοντικής επίδοσης των προϊόντων, το επίπεδο της τεχνολογίας που ισχύει κατά την εκτίμηση του

κύκλου ζωής (μέσο, υψηλότερο δυνατό, πραγματικό κλπ.), το σύστημα παραγωγής και διανομής ενέργειας και καυσίμων, το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων κλπ [24].

## Όρια Συστήματος (System Boundaries)

Τα όρια του συστήματος καθορίζουν τις στοιχειώδεις διαδικασίες<sup>13</sup> (unit processes) που θα 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 θα συμπεριληφθούν τελικά σε αυτή. Επίσης, δεν χρειάζεται να αναλωθούν φυσικοί πόροι για τη μέτρηση εισροών και εκροών που δε θα αλλάξουν σημαντικά τα συνολικά συμπεράσματα της μελέτης. Τα όρια του συστήματος πρέπει πάντοτε να είναι καθορισμένα εκ των προτέρων με ακρίβεια<sup>14</sup> και να παραμένουν σταθερά σε όλη τη διάρκεια της εκτίμησης. Σε πολλές περιπτώσεις όμως, τα αρχικά όρια είναι δυνατόν να βελτιωθούν στη συνέχεια. Προσδιορίζονται 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 μεταβιβαστούν 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 [26].

## 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* είναι η μέτρηση της επίδοσης των εκροών των λειτουργιών του συστήματος προϊόντος<sup>15</sup>. Έχοντας ορίσει τη λειτουργική μονάδα, στη συνέχεια πρέπει να προσδιοριστεί ο τύπος και να μετρηθεί η ποσότητα του προϊόντος που είναι απαραίτητη 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 αποτελεί ένα μέτρο αναφοράς στη μελέτη εκτίμησης του κύκλου ζωής, με το οποίο να συσχετίζονται οι εισροές και εκροές. Αυτό το μέτρο αναφοράς είναι απαραίτητο για να εξασφαλιστεί 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 [28].

## Περιγραφή Κατηγοριών Δεδομένων (Description of Data Categories)

Τα δεδομένα που απαιτούνται για μια μελέτη εκτίμησης κύκλου ζωής εξαρτώνται από το στόχο της μελέτης. Τέτοια δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν από τις τοποθεσίες παραγωγής που συνδέονται με τις στοιχειώδεις διαδικασίες, ή μπορούν να αποκτηθούν ή να υπολογιστούν από δημοσιευμένες πηγές. Στην πράξη, όλες οι κατηγορίες δεδομένων μπορεί να περιέχουν ένα μείγμα μετρημένων, υπολογισμένων ή εκτιμώμενων δεδομένων. 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, εισροές πρώτων υλών, βοηθητικές και άλλες φυσικές

<sup>13</sup> Η στοιχειώδης διαδικασία είναι το μικρότερο τμήμα ενός συστήματος προϊόντος για το οποίο έχουν συλλεχθεί στοιχεία κατά τη διάρκεια μιας εκτίμησης κύκλου ζωής [25].

<sup>14</sup> Σε πολλές περιπτώσεις αυτό δε συμβαίνει, γιατί πρακτικά δεν είναι δυνατόν να συμπεριληφθεί στη μελέτη κάθε, σχετική με το εξεταζόμενο προϊόν, λεπτομέρεια.

<sup>15</sup> Για παράδειγμα, ως λειτουργική μονάδα ενός συστήματος χρωμάτων μπορεί να οριστεί η μονάδα επιφάνειας που είναι προστατευμένη για μια καθορισμένη χρονική περίοδο. 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 [27].

εισροές.

- Προϊόντα.
- Εκπομπές στον αέρα, στο νερό, στο έδαφος, άλλες περιβαλλοντικές εκπομπές.

Ανάμεσα σε αυτές τις κατηγορίες, μεμονωμένες κατηγορίες δεδομένων πρέπει να περιγράφονται λεπτομερώς για να ικανοποιήσουν το στόχο της μελέτης. Για παράδειγμα, στις εκπομπές στον αέρα, κατηγορίες δεδομένων όπως το μονο-ξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του θείου και του αζώτου, κλπ., μπορούν να προσδιορίζονται ξεχωριστά.

Η εισερχόμενη και εξερχόμενη ενέργεια πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν 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 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 εισερχόμενα και εξερχόμενα δεδομένα μπορεί να συλλεχθούν περιλαμβάνουν, για παράδειγμα, θόρυβο και δονήσεις, χρήση γης, ακτινοβολία, οσμή και απόβλητα θερμότητας [29].

### **Κριτήρια για τον αρχικό συνυπολογισμό εισροών και εκροών (Criteria for initial inclusion of inputs and outputs)**

Κατά τον ορισμό του αντικειμενικού σκοπού, επιλέγεται η αρχική ομάδα εισροών και εκροών για την ανάλυση 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 προσ-διορίζονται πιο ολοκληρωμένα, αφού συλλεχθούν συμπληρωματικά δεδομένα κατά τη διάρκεια της μελέτης και αργότερα υποβληθούν σε μια ανάλυση ευαισθησίας.

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

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται στην πρακτική της εκτίμησης του κύκλου ζωής για τον καθορισμό των εισροών που πρόκειται να μελετηθούν, περι-λαμβάνουν *κριτήρια μάζας*, *ενέργειας* και *σχέσης με το περιβάλλον*. Η πραγματοποίηση του αρχικού προσδιορισμού των εισροών βασισμένη μόνο στη συμβολή της μάζας μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την παράλειψη σημαντικών εισροών από τη μελέτη. Επομένως, η ενέργεια και η σχέση με το περιβάλλον πρέπει επίσης να χρησιμοποιούνται σαν 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 προϊόντος που προτυποποιείται.
- ◆ *Κριτήρια ενέργειας*: Ομοίως, όταν χρησιμοποιείται η ενέργεια σαν κριτήριο, μια σωστή απόφαση απαιτεί το συνυπολογισμό όλων των εισροών που συνεισφέρουν αθροιστικά περισσότερο από ένα καθορισμένο ποσοστό στην εισερχόμενη ενέργεια του συστήματος προϊόντος που προτυποποιείται.
- ◆ *Κριτήρια σχέσης με το περιβάλλον*: Όσον αφορά στα κριτήρια σχέσης με το περιβάλλον, αποφάσεις πρέπει να λαμβάνονται έτσι, ώστε να περιλαμ-

βάνουν εισροές που συνεισφέρουν περισσότερο από ένα καθορισμένο συμπληρωματικό ποσοστό στην υπολογισμένη ποσότητα κάθε ξεχωριστής κατηγορίας δεδομένων. Για παράδειγμα, εάν τα οξειδία του θείου είχαν επιλεγεί ως μια κατηγορία δεδομένων, θα μπορούσε να καθιερωθεί ένα κριτήριο που να περιλαμβάνει τις εισροές που συνεισφέρουν περισσότερο από ένα προκαθορισμένο ποσοστό στις συνολικές εκπομπές οξειδίου του θείου του συστήματος προϊόντος που προτυποποιείται.

Τα κριτήρια αυτά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των εκροών που πρέπει να αναζητηθούν στο περιβάλλον [30].

### **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 τη συγκρότησή τους σε ένα ενιαίο σύνολο. Οι απαιτήσεις ποιότητάς τους προδιαγράφουν σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά των απαιτούμενων για τη μελέτη δεδομένων και πρέπει να περιλαμβάνουν τις εξής παραμέτρους:

- *Χρονική κάλυψη:* Αναφέρεται στην επιθυμητή ηλικία των δεδομένων (π.χ. μέσα στα 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, ηπειρωτική, παγκόσμια).
- *Κάλυψη τεχνολογίας:* Αναφέρεται στο μίγμα της χρησιμοποιούμενης τεχνο-λογίας.

Η ποιότητα των δεδομένων επηρεάζεται επίσης από τους εξής παράγοντες:

- ◆ *Την πηγή των δεδομένων:* Οι πηγές μπορεί να είναι *πρωτογενείς* (όπως για τα δεδομένα που συλλέγονται για ειδικές διαδικασίες) ή *δευτερογενείς* (όπως για αυτά που συλλέγονται από αναφορές ή άλλες δημοσιευμένες πηγές). Αυτές προέρχονται από επιχειρηματικές και κρατικές εκθέσεις, δεδομένα εργαστηριακών δοκιμών, βιβλία αναφοράς, δημοσιεύσεις και βάσεις δεδομένων, κατάλογοι θεσμοθετημένων ορίων, από συμβούλους και εμπο-ρικούς συνδέσμους και από παρόμοιες μελέτες.
- ◆ *Τη μέθοδο συλλογής τους:* Η συλλογή τους μπορεί να γίνει σε διάφορα επίπεδα, όπως μέσες τιμές (μηνιαίες ή ετήσιες) και μικτά, σταθερά ή κανονι-κοποιημένα δεδομένα.
- ◆ *Τον τρόπο παραγωγής τους:* Τα δεδομένα μπορούν να παραχθούν με διάφορους τρόπους, όπως ακριβείς μετρήσεις, εκτιμήσεις και δείγματα,

μοντέλα και υπολογισμούς.

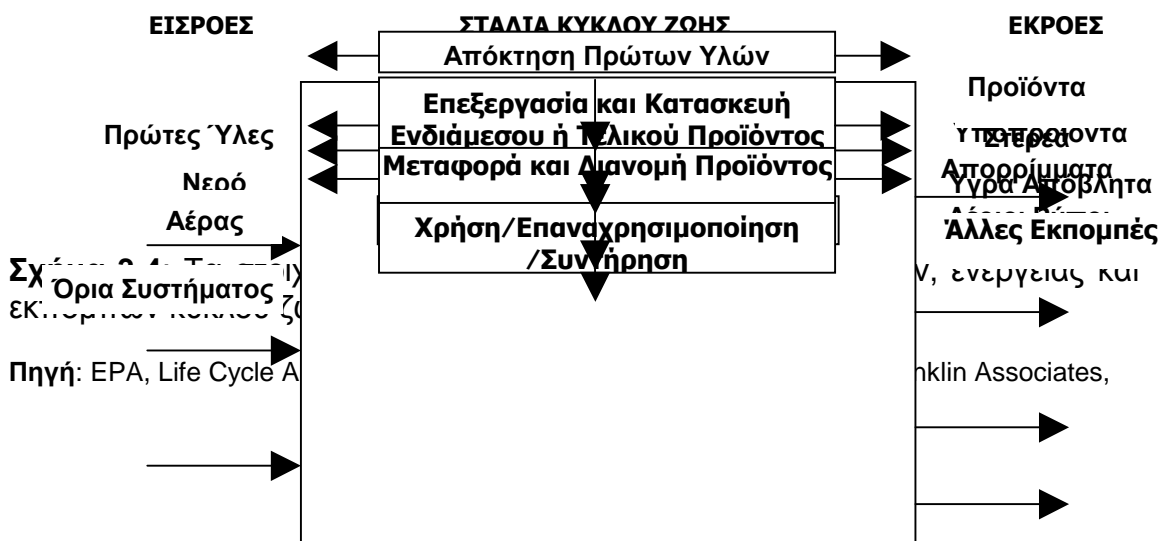
- ♦ *Το κόστος και ο χρόνος για τη συλλογή των δεδομένων:* Η ποιότητά τους εξαρτάται από την προσπάθεια και το χρόνο που έχει αφιερωθεί στη μελέτη, όπως και από τη διαθεσιμότητά τους.

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

- *Ακρίβεια:* Είναι το μέτρο της μεταβλητότητας των τιμών των δεδομένων για κάθε κατηγορία δεδομένων (π.χ. απόκλιση από το μέσο όρο).
- *Πληρότητα:* Εκφράζει το ποσοστό των σημείων, από τον πιθανά υπαρκτό αριθμό σημείων, που παρέχουν βασικής σημασίας δεδομένα για κάθε κατηγορία δεδομένων.
- *Αντιπροσωπευτικότητα:* Είναι η ποιοτική εκτίμηση του βαθμού στον οποίο η ομάδα δεδομένων αντανακλά τον πληθυσμό ενδιαφέροντος (π.χ. γεωγρα-φική και χρονική κάλυψη, κάλυψη τεχνολογίας).
- *Συνέπεια:* Πρόκειται για την ποιοτική εκτίμηση του βαθμού ομοιομορφίας, ο οποίος αναφέρεται στην εφαρμογή της μελέτης.
- *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 αναπαραγάγει τα αποτελέσματα της μελέτης [31].

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

Το συγκεκριμένο στάδιο της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής, που θεωρείται το πιο ανεπτυγμένο από όλα, είναι 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, απορρίμματα κλπ.), ως αποτέλεσμα κάθε είδους δραστηριότητας που σχετίζεται με το εξεταζόμενο προϊόν από τη γέννηση έως το θάνατό του. Τα δεδομένα αυτά στη συνέχεια αποτελούν τις εισροές στο επόμενο στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων [32]. Στη συνέχεια ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των διάφορων υποσυστημάτων που αναλύ-ονται συνήθως σε μια ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπο-μπών κύκλου ζωής και τα οποία απεικονίζονται στο σχήμα 3.4.



Ltd., Prairie Village, Kansas, February 1993, σελ. 17.

Graedel T. E., Allenby B. R., Industrial Ecology, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1995, σελ. 110.

## Απόκτηση Πρώτων Υλών

Στο στάδιο αυτό συλλέγονται δεδομένα σχετικά με όλες τις δραστηριότητες που απαιτούνται για την απόκτηση των πρώτων υλών, συμπεριλαμβανομένης της μεταφοράς τους στο σημείο κατασκευής (παραγωγής) του προϊόντος. Τυπικά, οι πρώτες ύλες δεν αφορούν μόνο το κύριο προϊόν, αλλά και την πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή συσκευασία του. Η ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών πρέπει να περιέχει όλες τις εισροές ενέργειας, υλικών και απαραίτητου εξοπλισμού για την απόκτηση κάθε πρώτης ύλης χωριστά. Επειδή όμως το γεγονός αυτό αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την πολυπλοκότητα της ανάλυσης, είναι απαραίτητο να καθορίζονται κριτήρια για την εξάλειψη ασήμαντων συνεισφορών στο εξεταζόμενο σύστημα. Πρακτικά αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την καθιέρωση ενός ορίου<sup>16</sup>.

Η απόκτηση πρώτων υλών επιδρά με ποικίλους τρόπους στα διάφορα οικοσυστήματα, αλλά μόνο οι επιπτώσεις εκείνες που μπορούν να ποσοτικοποιηθούν πρέπει να περιλαμβάνονται στην ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών. Αντίθετα, επιπτώσεις που δεν είναι εφικτό να μετρηθούν εύκολα, όπως η καταστροφή του φυσικού τοπίου, είναι καλύτερα να αντιμετωπίζονται στο επόμενο στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων, που είναι και πιο υποκειμενικό.

Όσον αφορά τώρα στους ανανεώσιμους και μη ανανεώσιμους πόρους, επειδή δεν είναι δημοσίως διαθέσιμα ποσοτικά δεδομένα, οποιεσδήποτε προσπάθειες για την ποσοτικοποίησή τους, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών, είναι υποκειμενικές. Η δημιουργία μιας λίστας στην οποία αναγράφονται ίσως βοηθήσει στο επόμενο στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων.

Η απόκτηση ενέργειας αποτελεί τμήμα του υποσυστήματος (σταδίου) της απόκτησης πρώτων υλών, αλλά εξαιτίας της πολυπλοκότητας που υπάρχει, απαιτεί ξεχωριστή ανάλυση. Τα συλλεγόμενα δεδομένα πρέπει να περιλαμβάνουν όλες τις απαιτήσεις ενέργειας και τις παραγόμενες εκπομπές για την απόκτηση, μεταφορά και επεξεργασία των καυσίμων. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της βενζίνης, όταν χρησιμοποιείται ως καύσιμο, δεν πρέπει να αναφέρονται μόνο οι εκπομπές στο περιβάλλον από την καύση της, αλλά και η κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή της, καθώς και οι εκπομπές κατά την εξόρυξη και επεξεργασία της πρώτης της ύλης (αργό πετρέλαιο).

## Επεξεργασία και Κατασκευή (Παραγωγή) Τελικού ή Ενδιάμεσου Προϊόντος

Τα δεδομένα που συλλέγονται για αυτό το υποσύστημα αναφέρονται σε όλες τις εισροές ενέργειας, νερού και υλικών καθώς και στις εκπομπές στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των πρώτων υλών και της παραγωγής ενδιάμεσου ή τελικού προϊόντος. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν επίσης τις εισροές και τις αντίστοιχες εκπομπές που αναφέρονται στη διαδικασία της πρωτογενούς και δευτερογενούς συσκευασίας.

Πολλές φορές, κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας παράγονται υποπροϊόντα (δηλαδή εκροές που δεν είναι ούτε προϊόντα ούτε εισροές σε άλλο σημείο του ίδιου συστήματος). Τα υποπροϊόντα περιλαμβάνονται στη μελέτη εκτίμησης του κύκλου ζωής μέχρι να διαχωριστούν από το εξεταζόμενο προϊόν. Οι πρώτες ύλες, η ενέργεια και οι εκπομπές στο περιβάλλον πρέπει να κατανέμονται στο κύριο προϊόν και στα υποπροϊόντα, σε αναλογία με το βάρος ή τον όγκο τους. Όταν κάποιο άχρηστο υλικό ενός υποσυστήματος χρησιμοποιείται σαν εισροή μέσα στο ίδιο υποσύστημα, οι πρώτες ύλες που απαιτούνται από το εξωτερικό περιβάλλον μειώνονται. Αντίθετα, εάν χρησιμοποιείται σε ένα άλλο υποσύστημα, θεωρείται υποπροϊόν και στην περίπτωση αυτή πρέπει να ακολουθείται η προαναφερθείσα κατανομή. Σε πολλές περιπτώσεις το άχρηστο υλικό αποβάλλεται και τότε θεωρείται στερεό απόρριμμα.

## Μεταφορά και Διανομή Προϊόντος

Η ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών της διαδικασίας μεταφοράς του προϊόντος αφορά, εκτός από τη μεταφορά του προϊόντος στις αποθήκες εμπορευμάτων και στους καταναλωτές, και τη συσκευασία του καθώς και όλες τις μεταφορές που γίνονται εσωτερικά στο εργοστάσιο παραγωγής, όπως για παράδειγμα τις μεταφορές των πρώτων υλικών ή των ενδιάμεσων προϊόντων. Η διαδικασία αυτή μπορεί να απλοποιηθεί πολύ εύκολα με τη χρησιμοποίηση διάφορων προτύπων για τη μέση απόσταση και τον τυπικό τρόπο μεταφοράς. Όσον αφορά στην ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και

<sup>16</sup> Για παράδειγμα, κάθε στοιχείο που συνεισφέρει λιγότερο από το 5% των εισροών πρέπει να αγνοείται από την ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών.



εκπομπών της διανομής, αυτή περιλαμβάνει τον έλεγχο στις αποθήκες των εμπορευμάτων και τον έλεγχο των τηρούμενων καταλόγων. Ένα σημαντικό σημείο για το οποίο πρέπει να καθορίζονται σαφή όρια στο στάδιο της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών του κύκλου ζωής, είναι το εάν η απόκτηση και η συντήρηση του χρησιμοποιού-μενου εξοπλισμού για τη μεταφορά και τη διανομή θα αναλύεται στο συγκεκρι-μένο στάδιο.

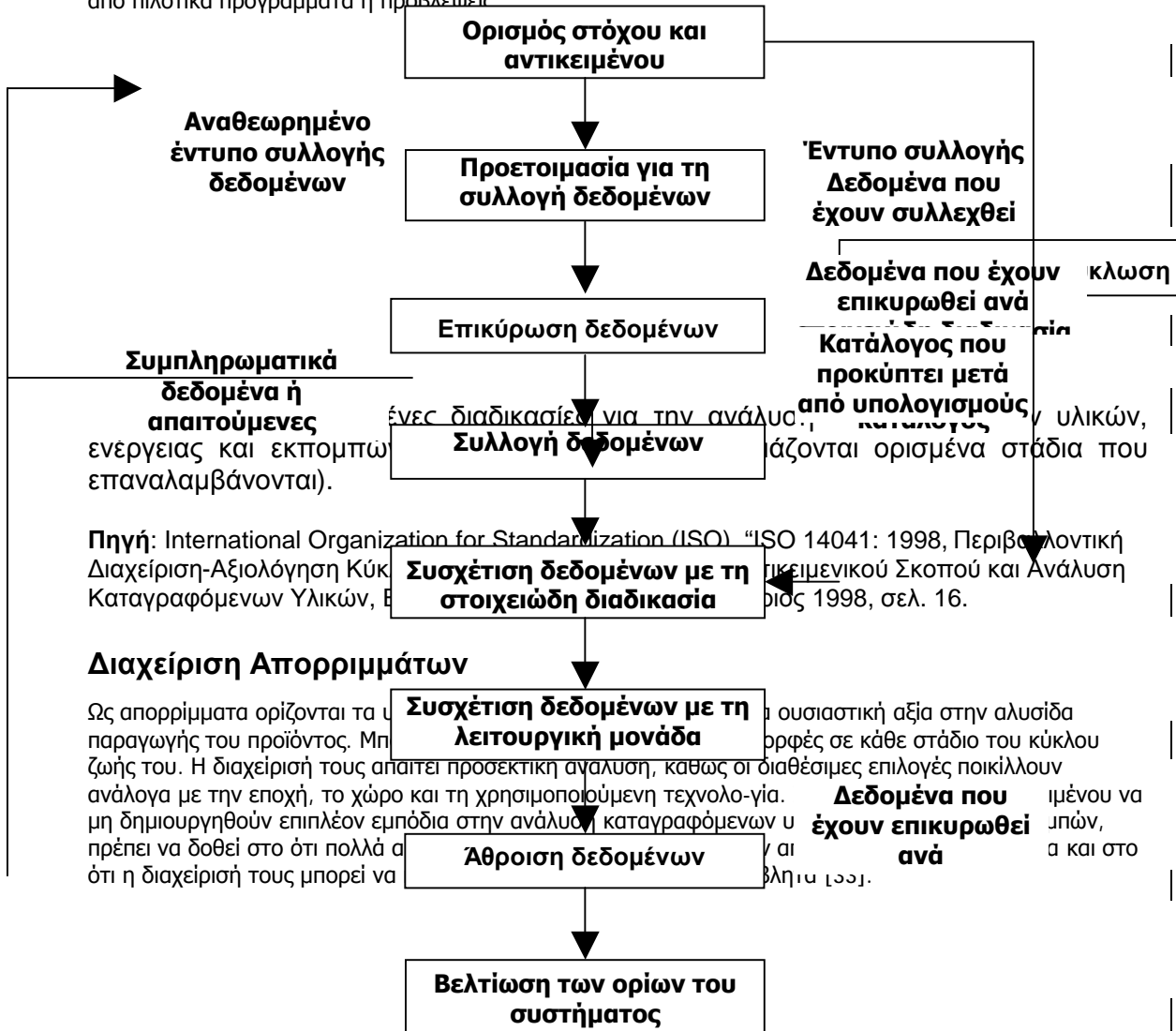
### Χρήση/Επαναχρησιμοποίηση/Συντήρηση

Σε αυτό το υποσύστημα τα δεδομένα που συλλέγονται σχετίζονται με τη χρήση, την επαναχρησιμοποίηση και την συντήρηση (επιδιόρθωση) του προϊόντος. Στοιχεία που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο συγκεκριμένο στάδιο είναι ο χρόνος χρήσης του προϊόντος πριν την απόρριψή του, οι ενδεχόμενες επιλογές για την επαναχρησιμοποίησή του, οι εισροές που χρησιμοποιούνται στη διαδι-κασία συντήρησής του και η συχνότητα των επιδιορθώσεων.

### Ανακύκλωση

Η τεχνολογία που αφορά στην ανακύκλωση αναμένεται να βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό στο μέλλον. Οι εξελίξεις αυτές θα αυξήσουν τους ρυθμούς ανακύκλωσης και τον αριθμό των ανακυκλώσιμων προϊόντων, αλλάζοντας έτσι τις επιλογές σχετικά με την ανακύκλωση τόσο του κλειστού όσο και του ανοικτού βρόχου. *Ανακύκλωση ανοικτού βρόχου* σημαίνει ότι ένα προϊόν ανακυκλώνεται σε ένα διαφορετικό προϊόν το οποίο απορρίπτεται μετά τη χρήση του. Στην περίπτωση αυτή, οι πόροι και οι εκπομπές στο περιβάλλον που σχετίζονται με την ανακύ-κλωση και την τελική απόρριψη του ανακυκλώμενου υλικού κατανέμονται ισομερώς στα δύο προϊόντα.

Η *ανακύκλωση κλειστού βρόχου* αναφέρεται σε υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν επανειλημμένα μέσα στο ίδιο προϊόν. Αυτό σημαίνει ότι όσο περισσότερες φορές ένα υλικό ανακυκλώνεται, τόσο λιγότερες πρώτες ύλες απαιτούνται και τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των κύκλων στους οποίους πρέπει να γίνει κατανομή πόρων και εκπομπών στο περιβάλλον. Οι περιβαλλο-ντικές επιπτώσεις σε μια τέτοια περίπτωση θα είναι μηδαμινές. Για τα περισσό-τερα προϊόντα δεν υπάρχει η κατάλληλη υποδομή για την παροχή πληρο-φοριών σχετικά με την ανακύκλωσή τους, γεγονός που οδηγεί στη χρήση δεδομένων που εξάγονται από πιλοτικά προγράμματα ή προβλέψεις.



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

Η ανάλυση των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής ασχολείται, όπως αναφέρθηκε και στην αρχή, με τις μεθόδους συλλογής δεδομένων και υπολογισμού. Για την πραγματοποίηση του συγκεκριμένου σταδίου απαιτούνται κάποιες απλοποιημένες διαδικασίες, οι οποίες παρουσιάζονται στο σχήμα 3.5 και περιγράφονται λεπτομερέστερα στη συνέχεια. Ο ορισμός στόχου και αντικειμενικού σκοπού έχει αναλυθεί σε προηγούμενη ενότητα.

### **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. Αφού η συλλογή δεδομένων πρόκειται να καλύψει αρκετές θέσεις αναφοράς μέσα 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 διαδικασιών που περιγράφουν όλες τις στοιχειώδεις διαδικασίες που πρόκειται να προτυποποιηθούν, συμπεριλαμβανόμενων των μεταξύ τους σχέσεων.
- ◆ 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 δεδομένων, προκειμένου να μπορεί να κατανοεί το προσωπικό στις θέσεις αναφοράς ποιες πληροφορίες είναι απαραίτητες για τη μελέτη εκτίμησης του κύκλου ζωής.
- ◆ 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.

### **Συλλογή δεδομένων**

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

Η συλλογή των δεδομένων είναι μια δύσκολη διαδικασία<sup>17</sup> και απαιτεί ολοκληρωμένη γνώση για κάθε στοιχειώδη διαδικασία. Προκειμένου να παραλειφθούν διπλοί υπολογισμοί ή παραλείψεις, η κάθε στοιχειώδης διαδικασία πρέπει να καταγράφεται περιγραφικά. Αυτό σημαίνει την ποσοτική και ποιοτική περιγραφή των εισροών και εκροών που είναι απαραίτητα, προκειμένου να καθοριστεί η αρχή, το τέλος και η λειτουργία της κάθε στοιχειώδους διαδικασίας. Όταν η στοιχειώδης διαδικασία έχει πολλαπλές εισροές (π.χ. πολλαπλές εισροές σε 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. Πρέπει επίσης να δίνονται λεπτομέρειες για τη σχετική διαδικασία συλλογής τους, τη χρονική περίοδο που συλλέχθηκαν καθώς και για άλλους δείκτες ποιότητάς τους, ενώ εάν αυτά τα δεδομένα δεν είναι σύμφωνα με τις αρχικές απαιτήσεις ποιότητας, αυτό πρέπει να διευκρινίζεται. Ένα παράδειγμα εντύπου συλλογής δεδομένων παρουσιάζεται στον πίνακα 3.1.

<sup>17</sup> Αυτό συμβαίνει γιατί το κόστος μπορεί να είναι απαγορευτικό ή τα πρωτογενή δεδομένα που χρειάζονται να μην είναι διαθέσιμα.

## Διαδικασίες Υπολογισμού

Μετά τη συλλογή των δεδομένων ακολουθούν οι διαδικασίες υπολογισμού, ώστε να εξαχθούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλι-κών, 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.

### Επικύρωση δεδομένων

Κατά τη διαδικασία συλλογής των δεδομένων πρέπει να διεξάγεται ένας έλεγχος της εγκυρότητάς τους. Για παράδειγμα, η επικύρωση μπορεί να περι-λαμβάνει τη δημιουργία ισοζυγίου μάζας, ισοζυγίου ενέργειας και/ή συγκριτικές αναλύσεις συντελεστών εκπομπής. Προφανείς ανωμαλίες που εμφανίζονται από τέτοιες διαδικασίες επικύρωσης, απαιτούν εναλλακτικές τιμές δεδομένων που να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις ποιότητας των δεδομένων.

Η αντιμετώπιση των ελλিপών δεδομένων που παρουσιάζονται σε κάθε κατη-γορία δεδομένων και σε κάθε θέση αναφοράς, πρέπει να καταλήγει σε:

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

**Πίνακας 3.1:** Έντυπο συλλογής δεδομένων για το στάδιο των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΡΜΑΡΟ		
Κατανάλωση Ενέργειας (MJ/1tn)		
	Ποσότητα	Μονάδες
Κατανάλωση Πρώτων Υλών (Kgr/1tn)		
	Ποσότητα	Μονάδες
Παραγωγή Αέριων Αποβλήτων (gr/1tn)		
	Ποσότητα	Μονάδες

<b>Παραγωγή Υγρών Αποβλήτων (gr/1tn)</b>		
	Ποσότητα	Μονάδες
<b>Παραγωγή Στερεών Αποβλήτων (cm<sup>3</sup>/1tn)</b>		
	Ποσότητα	Μονάδες

### *Συσχέτιση δεδομένων με τη στοιχειώδη διαδικασία*

Για κάθε στοιχειώδη διαδικασία, πρέπει να καθορίζεται η κατάλληλη ροή αναφοράς (π.χ. 1 kg υλικού ή 1 MJ ενέργειας). Οι μετρούμενες ποσότητες εισερχόμενων και εξερχόμενων δεδομένων της στοιχειώδους διαδικασίας πρέπει να υπολογίζονται σε σχέση με αυτή τη ροή αναφοράς<sup>18</sup>.

### *Συσχέτιση δεδομένων με τη λειτουργική μονάδα και άθροιση δεδομένων*

Οι στοιχειώδεις διαδικασίες, βασιζόμενες στο διάγραμμα ροής και στα όρια του συστήματος, συνδέονται μεταξύ τους ώστε να επιτρέπουν υπολογισμούς στο συνολικό σύστημα. Αυτό επιτυγχάνεται με την κανονικοποίηση των ροών και των στοιχειωδών διαδικασιών στη λειτουργική μονάδα, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα όλα τα εισερχόμενα και εξερχόμενα δεδομένα του συστήματος να αναφέρονται σε αυτή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται κατά την άθροιση των εισροών και εκροών. Το επίπεδο της άθροισης πρέπει να είναι επαρκές για να ικανοποιεί το στο-χο της μελέτης και οι κατηγορίες δεδομένων πρέπει να αθροίζονται μόνο εάν συσχετίζονται με ισοδύναμες ουσίες και παρόμοιες περιβαλλοντικές επιδράσεις. Στην περίπτωση που απαιτούνται πιο λεπτομερείς αθροιστικοί κανόνες, αυτοί πρέπει να αιτιολογούνται στο στάδιο ορισμού του στόχου και του αντικειμενικού σκοπού ή να εξετάζονται στο επόμενο στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων.

### *Βελτίωση των ορίων του συστήματος*

Τα αρχικά όρια του συστήματος πρέπει να αναθεωρούνται κατάλληλα, σύμφωνα με τον ορισμό του αντικειμενικού σκοπού. Για αυτό το λόγο, οι αποφάσεις που αφορούν στα δεδομένα που πρόκειται να συμπεριληφθούν στη μελέτη πρέπει να βασίζονται σε μια ανάλυση ευαισθησίας<sup>19</sup>, προκειμένου να

<sup>18</sup> Η ροή αναφοράς είναι η μέτρηση των αναγκαίων εκροών από διάφορες διαδικασίες σε ένα δεδομένο σύστημα προϊόντος και η οποία απαιτείται για να εκτελεστεί η λειτουργία που εκφράζεται από τη λειτουργική μονάδα [34].

<sup>19</sup> Είναι μια συστηματική διαδικασία για την εκτίμηση των επιδράσεων των επιλεγμένων μεθόδων και δεδομένων στο αποτέλεσμα της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής [35].

προσδιοριστεί η σημασία τους. Η ανάλυση ευαισθησίας εξυπηρετεί στον περιορισμό των εισερχόμενων και εξερχόμενων δεδομένων σε αυτά που θεωρείται ότι είναι σημαντικά για το στόχο της μελέτης. Μια τέτοια ανάλυση μπορεί να καταλήξει σε:

- ◆ Αποκλεισμό των σταδίων εκείνων του κύκλου ζωής ή των στοιχειωδών διαδικασιών που παρουσιάζουν έλλειψη σπουδαιότητας.
- ◆ Αποκλεισμό των εισροών και εκροών που στερούνται σοβαρότητας.
- ◆ Συνυπολογισμό νέων στοιχειωδών διαδικασιών, εισροών και εκροών που έχουν αποδειχθεί σημαντικά στην ανάλυση ευαισθησίας.

### **Κατανομή των ροών και των εκπομπών στο περιβάλλον**

Η ανάλυση των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών του κύκλου ζωής βασίζεται, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, στην ικανότητα σύνδεσης στοιχειωδών διαδικασιών μέσα σε ένα σύστημα, χρησιμοποιώντας υλικά ή ροές ενέργειας<sup>20</sup>. Στην πράξη, λίγες βιομηχανικές διαδικασίες αποδίδουν μια μόνο εκροή ή βασίζονται σε μια γραμμική σχέση εισροών και εκροών. Οι περισσότερες αποδίδουν παραπάνω από ένα προϊόντα και ανακυκλώνουν τα ενδιάμεσα προϊόντα ή τα προϊόντα για απόρριψη σαν πρώτες ύλες. Για αυτό το λόγο, οι ροές υλικών και ενέργειας καθώς και οι σχετικές περιβαλλοντικές εκπομπές πρέπει να κατανέμονται στα διάφορα προϊόντα σύμφωνα με πλήρως καθορισμένες διαδικασίες.

#### **Αρχές κατανομής**

Η ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής βασίζεται σε ισοζύγια υλικών και ενέργειας μεταξύ εισροών και εκροών. Για αυτό, οι διαδικασίες κατανομής πρέπει να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν περισσότερο τέτοιες θεμελιώδεις σχέσεις μεταξύ εισροών και εκροών. Οι παρακάτω αρχές είναι εφαρμόσιμες σε υποπροϊόντα, σε υπηρεσίες (π.χ. μεταφορά, διαχείριση αποβλήτων), σε περίπτωση κατανομής εσωτερικής ενέργειας και σε ανακύκλωση, είτε με ανοικτό είτε με κλειστό βρόχο:

- Η μελέτη πρέπει να καθορίζει τις διαδικασίες που είναι κοινές με άλλα συστήματα και να ασχολείται με αυτές σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία κατανομής.
- Το άθροισμα των κατανεμημένων εισροών και εκροών μιας στοιχειώδους διαδικασίας πρέπει να είναι ίσο με τις μη κατανεμημένες εισροές και εκροές της διαδικασίας.
- Όταν αρκετές εναλλακτικές διαδικασίες κατανομής φαίνονται εφαρμόσιμες, πρέπει να διεξάγεται μια ανάλυση ευαισθησίας για να αιτιολογείται η οποιαδήποτε επιλογή.

#### **Διαδικασία κατανομής**

Η παρακάτω βήμα προς βήμα διαδικασία πρέπει να εφαρμόζεται, βασιζόμενη στις αρχές που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

*Βήμα 1<sup>ο</sup>*<sup>21</sup>: Όποτε είναι εφικτό, η κατανομή πρέπει να αποφεύγεται με τους εξής τρόπους:

- ◆ Υποδιαιρώντας τη στοιχειώδη διαδικασία σε δύο ή περισσότερες υποδιαδικασίες και συλλέγοντας τα εισερχόμενα και εξερχόμενα δεδομένα που σχετίζονται με αυτές τις υποδιαδικασίες.
- ◆ Επεκτείνοντας το σύστημα ώστε να περιλαμβάνει τις συμπληρωματικές

<sup>20</sup> Ως ροή ενέργειας θεωρούνται οι διάφορες εισροές και εκροές μιας στοιχειώδους διαδικασίας, μετρημένες σε μονάδες ενέργειας [36].

### Λειτουργίες που σχετίζονται με τα υποπροϊόντα.

*Βήμα 2<sup>ο</sup>:* Όταν η κατανομή δεν μπορεί να αποφευχθεί, οι εισροές και οι εκροές του συστήματος πρέπει να κατανέμονται στα διάφορα προϊόντα ή λειτουργίες του με ένα τρόπο που να φανερώνει τις φυσικές σχέσεις μεταξύ τους.

*Βήμα 3<sup>ο</sup>:* Όταν οι φυσικές σχέσεις δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για κατανομή, οι εισροές και οι εκροές πρέπει να κατανέμονται μεταξύ των προϊόντων και των λειτουργιών με τρόπο που να φανερώνει άλλες σχέσεις με-ταξύ τους. Για παράδειγμα, εισερχόμενα και εξερχόμενα δεδομένα κατανέμονται μεταξύ υποπροϊόντων ανάλογα με την οικονομική αξία των προϊόντων. Μερικές εκροές μπορεί να είναι μερικών υποπροϊόντα και μερικώς απορρίμματα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι αναγκαίο να καθορίζεται η αναλογία μεταξύ υποπροϊόντων και απορριμμάτων, αφού οι εισροές και οι εκροές πρέπει να κατανέμονται μόνο στο τμήμα των υποπροϊόντων.

Οι διαδικασίες κατανομής πρέπει να εφαρμόζονται ομοιόμορφα σε παρόμοιες εισροές και εκροές του εξεταζόμενου συστήματος. Για παράδειγμα, εάν η κατά-νομή γίνεται σε προϊόντα που εγκαταλείπουν το σύστημα, τότε η διαδικασία κατανομής πρέπει να είναι παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται όταν τέτοια προϊόντα εισέρχονται στο σύστημα.

Οι αρχές και οι διαδικασίες κατανομής που αναφέρθηκαν προηγουμένως είναι εφαρμόσιμες και σε περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης, οι οποίες όμως χρειάζονται συμπληρωματική επεξεργασία, για τους εξής λόγους:

- Η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση μπορεί να υποδηλώνουν ότι οι εισροές και οι εκροές που σχετίζονται με τις στοιχειώδεις διαδικασίες είναι πιθανό να μοιράζονται σε περισσότερα από ένα συστήματα.
- Η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση μπορεί να αλλάζουν τις αρχικές ιδιότητες των υλικών σε μετέπειτα χρήση.
- Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στις περιπτώσεις αυτές για τον ορισμό των ορίων του συστήματος που αφορούν διαδικασίες ανάκτησης [37].

### **Ερμηνεία των αποτελεσμάτων της Ανάλυσης των Καταγραφόμενων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών του Κύκλου Ζωής (Περιορισμοί της Ανάλυσης των Καταγραφόμενων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών του Κύκλου Ζωής)**

Στη φάση της ερμηνείας των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής τα δεδομένα αξιολογούνται σε σχέση με το στόχο και τον αντικειμενικό σκοπό της μελέτης, τη συλλογή συμπληρωματικών δεδομένων, ή και τα δύο. Συνήθως, η φάση αυτή καταλήγει σε μια βελτιωμένη κατανόηση των δεδομένων που πρόκειται να παρουσιαστούν. Κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, πρέπει να εξετάζονται τα παρακάτω σημεία:

- ◆ Το κατά πόσο είναι κατάλληλοι οι ορισμοί των ορίων, των λειτουργιών του συστήματος και της λειτουργικής μονάδας.
- ◆ Οι περιορισμοί που καθορίζονται από την εκτίμηση της ποιότητας των δεδομένων και την ανάλυση ευαισθησίας.

Αφού η ανάλυση των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών αποτελεί μια συλλογή και ανάλυση των εισερχόμενων και εξερχόμενων δεδομένων και όχι μια εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με αυτά, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της πρέπει να γίνεται με προσοχή και δεν μπορεί να αποτελεί από μόνη της τη βάση για την εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με τις σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων πρέπει να περιλαμβάνει μια εκτίμηση της ποιότητας των δεδομένων και μια ανάλυση ευαισθησίας σε σημαντικές εισροές, εκροές και επιλογές μεθοδολογίας, προκειμένου να γίνεται κατανοητή η αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών, η οποία οφείλεται στις αθροιστικές επιδράσεις που ενδέχεται να ασκεί πάνω τους η μεταβλητότητα των δεδομένων. Η ανάλυση αβεβαιότητας, όπως εφαρμόζεται στην ανάλυση των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών κύκλου ζωής, είναι μια τεχνική που βρίσκεται στο αρχικό της στάδιο. Σύμφωνα με αυτή, η αβεβαιότητα μπορεί να

<sup>21</sup> Τυπικά το πρώτο βήμα δεν αποτελεί μέρος της διαδικασίας κατανομής.

προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας κλίμακες και/ή κατανομές πιθανοτήτων. Όταν είναι εφικτό, μια τέτοια ανάλυση πρέπει να πραγματοποιείται για να εξηγήει και να στηρίζει καλύτερα τα συμπεράσματα της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών [38].

## Εκτίμηση των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment)

Η εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής αποτελεί το τρίτο στάδιο της εκτίμησης του κύκλου ζωής και πρέπει να συνεργάζεται ικανοποιητικά με τα άλλα δύο, προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος της μελέτης. Ο σκοπός του είναι να εξετάζει περιβαλλοντικά ένα σύστημα προϊόντος, να εκτιμά τα αποτελέσματα της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών, προκειμένου να γίνεται καλύτερα κατανοητή η περιβαλλοντική τους σημασία και να εκτιμά την ένταση και τη σημασία των ενδεχόμενων περιβαλλοντικών επιπτώσεων (potential environmental impacts) που οφείλονται στις εισροές και εκροές που διαπιστώθηκαν στην ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών. Η επιλογή των επιπτώσεων, των χρησιμοποιούμενων μεθόδων και το επίπεδο της λεπτομέρειας εξαρτώνται από το στόχο και το αντικείμενο της μελέτης [39]. Ωστόσο, το στάδιο αυτό δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί πλήρως και οι γνώμες για το πώς πρέπει να ερμηνεύονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών, ως ένα βαθμό, διαφοροποιούνται. Κάτι τέτοιο, βέβαια, ήταν αναμενόμενο αφού η στάθμιση γεγονότων χωρίς εμφανή σχέση μεταξύ τους κάθε άλλο παρά εύκολη ή απλή υπόθεση είναι. Έτσι, ερωτήσεις του τύπου τι έχει μεγαλύτερη επίδραση στο περιβάλλον, η όξινη βροχή ή τα αέρια που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ή ποια κατάσταση είναι χειρότερη, η ρύπανση ενός ποταμού ή η καταστροφή του στρώματος του όζοντος της ατμόσφαιρας, είναι δύσκολο να απαντηθούν καθώς πίσω από κάθε κριτήριο ή επιχείρημα ελλοχεύει το υποκειμενικό στοιχείο. Πρέπει να σημειωθεί ακόμα ότι δεν υπάρχουν γενικώς αποδεκτές μεθοδολογίες για έναν ακριβή και αποδεκτό συσχέτισμό των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών με τις ενδεχόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Το στάδιο αυτό ασχολείται με επιλεγμένα περιβαλλοντικά θέματα, που ονομάζονται *κατηγορίες επιπτώσεων (impact categories)* και χρησιμοποιεί *δείκτες κατηγοριών*<sup>22</sup> (*category indicators*) για να συνοψίζει και να εξηγήει τα αποτελέσματα της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ευκαιριών βελτίωσης του εξεταζόμενου συστήματος και την ιεράρχησή τους, για τον χαρακτηρισμό του συστήματος και των στοιχειωδών διαδικασιών του, για τη διεξαγωγή συγκρίσεων μεταξύ συστημάτων, βασιζόμενων σε επιλεγμένους δείκτες κατηγοριών και για τον εντοπισμό περιβαλλοντικών θεμάτων για τα οποία άλλες τεχνικές μπορούν να παρέχουν συμπληρωματικά περιβαλλοντικά δεδομένα και χρήσιμες πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων. Επίσης παρέχει πληροφορίες για το επόμενο στάδιο, αυτό της ερμηνείας των αποτελεσμάτων κύκλου ζωής [40].

### Βασικά Χαρακτηριστικά της Εκτίμησης των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής

Τα βασικά χαρακτηριστικά της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής είναι τα ακόλουθα:

- Το συγκεκριμένο στάδιο, σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα, αντιμετωπίζει συστηματικά τα περιβαλλοντικά και τα σχετικά με κατανάλωση πόρων θέματα ενός ή περισσότερων συστημάτων προϊόντων.
- Το στάδιο αυτό αντιστοιχεί τα αποτελέσματα της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών σε διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων. Για κάθε *κατηγορία επιπτώσεων (impact category)*, επιλέγεται ένας *δείκτης κατηγορίας επιπτώσεων (category indicator)* και υπολογίζεται το *αποτέλεσμα αυτού του δείκτη κατηγορίας (indicator result)*. Η συλλογή των αποτελεσμάτων αυτών των δεικτών, που ονομάζεται “προφίλ” της

<sup>22</sup> Η πλήρης έκφραση για αυτόν τον όρο είναι *δείκτης κατηγορίας επιπτώσεων κύκλου ζωής (life cycle impact category indicator)*. Οι δείκτες αυτοί αντιπροσωπεύουν τις ενδεχόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αναφέρονται στη λειτουργική μονάδα του εξεταζόμενου συστήματος και έχουν σαν σκοπό την ποσοτική απεικόνιση των αθροισμένων περιβαλλοντικών εκπομπών ή της κατανάλωσης πόρων για κάθε κατηγορία επιπτώσεων.

εκτίμησης των επιπτώσεων, παρέχει πληροφορίες για τα περιβαλλοντικά θέματα που σχετίζονται με τις εισροές και εκροές του εξεταζόμενου συστήματος.

- Η εκτίμηση των επιπτώσεων διαφέρει από άλλες τεχνικές (όπως η Εκτίμηση Ρίσκου, η Εκτίμηση Περιβαλλοντικής Απόδοσης, η Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων) στο ότι είναι μια προσέγγιση που εξαρτάται από τη λειτουργική μονάδα. Μπορεί να χρησιμοποιήσει όμως πληροφορίες από αυτές τις τεχνικές [41].

### **Στοιχεία της Εκτίμησης των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής**

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

- ◆ 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 εξετάζει κάθε στοιχείο της εκτίμησης των επιπτώσεων ξεχωριστά.
- ◆ Μια αξιολόγηση της ποιότητας των μεθόδων εκτίμησης των επιπτώσεων, των υποθέσεων που γίνονται και των διάφορων 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 είναι διαθέσιμα 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 από *προαιρετικά στοιχεία* (*optional elements*). Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στο σχήμα 3.6 και περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

### **Υποχρεωτικά Στοιχεία της Εκτίμησης των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής**

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

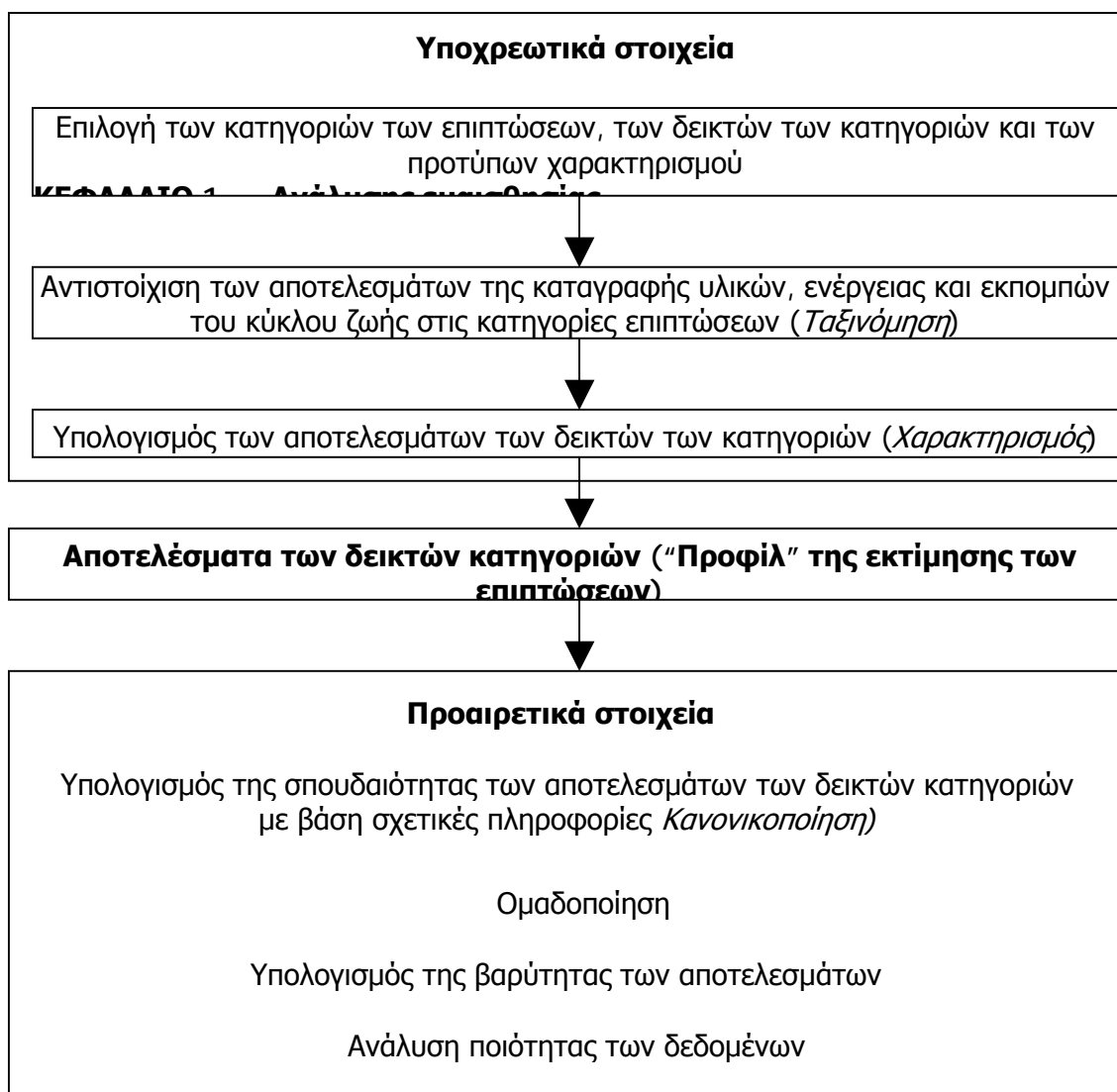
- Η Επιλογή των κατηγοριών των επιπτώσεων, των δεικτών αυτών των κατηγοριών και των προτύπων χαρακτηρισμού<sup>23</sup> (Selection of impact cate-

<sup>23</sup> 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 καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών, των δεικτών κατηγοριών και σε μερικές περιπτώσεις των *αποτελεσμάτων των κατηγοριών επιπτώσεων* (*category endpoints*). Με τον όρο *αποτέλεσμα κατηγορίας επιπτώσεων* εννοείται κάθε χαρακτηριστικό του φυσικού περιβάλλοντος, της ανθρώπινης υγείας ή των φυσικών πόρων που αποτελεί σημαντικό περιβαλλοντικό θέμα.



gories, category indicators and characterization models).

### ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ



**Σχήμα 3.6:** Τα στοιχεία του σταδίου της εκτίμησης των επιπτώσεων.

**Πηγή:** International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14042:2000, Περιβαλλοντική Διαχείριση-Αξιολόγηση Εκτίμηση Κύκλου Ζωής-Αξιολόγηση Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής", Μάρτιος 2000, σελ.8.

- Η Αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων της καταγραφής υλικών, ενέργειας και εκπομπών του κύκλου ζωής στις κατηγορίες επιπτώσεων (Ταξινόμηση) (Assignment of life cycle inventory results to the impact categories—Classification).

- Ο Υπολογισμός των αποτελεσμάτων των δεικτών των κατηγοριών (Χαρακτηρισμός) (Calculation of category indicator results-Characterization).

#### *Επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων, των δεικτών των κατηγοριών και των προτύπων χαρακτηρισμού*

Για την επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων, των δεικτών τους και των μοντέλων χαρακτηρισμού είναι απαραίτητο να τηρούνται οι παρακάτω απαιτήσεις:

- ◆ Η επιλογή τους πρέπει να είναι σύμφωνη με το στόχο και το αντικείμενο της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής και να αιτιολογείται.
- ◆ Οι πηγές για τις κατηγορίες επιπτώσεων, τους δείκτες τους και τα πρότυπα χαρακτηρισμού πρέπει να αναφέρονται.
- ◆ Οι κατηγορίες επιπτώσεων και οι δείκτες τους πρέπει να έχουν ακριβή και περιγραφικά ονόματα.
- ◆ Η επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων πρέπει να απεικονίζει μια περιεκτική ομάδα περιβαλλοντικών θεμάτων που σχετίζονται με το εξεταζόμενο σύστημα.
- ◆ Ο περιβαλλοντικός μηχανισμός, το αντίστοιχο πρότυπο χαρακτηρισμού και η καταλληλότητά του πρέπει να περιγράφονται.

Για την επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων, των δεικτών τους και των προτύπων χαρακτηρισμού χρησιμοποιούνται επιπλέον οι παρακάτω συστάσεις:

1. Οι κατηγορίες επιπτώσεων, οι δείκτες τους και τα μοντέλα χαρακτηρισμού πρέπει να είναι διεθνώς αποδεκτά και να αποφεύγουν τη διπλή αρίθμηση, εκτός και εάν απαιτείται κάτι τέτοιο από τον ορισμό στόχου και αντικειμενικού σκοπού (για παράδειγμα, όταν η μελέτη περιλαμβάνει και την ανθρώπινη υγεία και την καρκινογένεση).
2. Οι υποθέσεις που γίνονται κατά τη διάρκεια της επιλογής τους είναι απαραίτητο να ελαχιστοποιούνται.
3. Οι κατηγορίες επιπτώσεων πρέπει να απεικονίζουν τις αθροισμένες εκπομπές στο περιβάλλον ή την κατανάλωση των απαραίτητων πόρων του εξεταζόμενου συστήματος.
4. Οι δείκτες των κατηγοριών επιπτώσεων πρέπει να είναι κατάλληλοι από περιβαλλοντική άποψη.
5. Το πρότυπο χαρακτηρισμού για κάθε δείκτη κατηγορίας επιπτώσεων πρέπει να είναι, σε ένα σαφώς καθορισμένο βαθμό, επιστημονικά και τεχνικά έγκυρο και να βασίζεται σε ένα περιβαλλοντικό μηχανισμό ή/και σε εμπειρική

παρατήρηση.

### *Αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων της καταγραφής υλικών, ενέργειας και εκπομπών του κύκλου ζωής στις κατηγορίες επιπτώσεων (Ταξινόμηση)*

Η αντιστοιχία των αποτελεσμάτων της καταγραφής αυτής στις κατηγορίες επιπτώσεων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα σημεία, εκτός εάν απαιτείται κάτι διαφορετικό από τον ορισμό στόχου και αντικειμενικού σκοπού:

- ◆ Την αντιστοίχιση εκείνων των αποτελεσμάτων της καταγραφής που αναφέρονται αποκλειστικά σε μια κατηγορία επιπτώσεων.
- ◆ Τον προσδιορισμό των αποτελεσμάτων της καταγραφής που σχετίζονται με περισσότερες από μια κατηγορίες επιπτώσεων, είτε μέσω της διάκρισης των αποτελεσμάτων μεταξύ παράλληλων μηχανισμών (π.χ. το SO<sub>2</sub> κατανέμεται μεταξύ των κατηγοριών της υγείας και της όξινης βροχής) είτε μέσω της κατανομής τους σε διαδοχικούς μηχανισμούς (π.χ. το NO<sub>x</sub> αντιστοιχίζεται στο σχηματισμό τόσο του όζοντος όσο και της όξινης βροχής).

Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα της καταγραφής είναι ανεπαρκή ή χαμηλής ποιότητας, προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος της μελέτης, απαιτείται επανάληψη της συλλογής δεδομένων ή τροποποίηση του στόχου και αντικειμενικού σκοπού.

### *Υπολογισμός των αποτελεσμάτων των δεικτών κατηγοριών (Χαρακτηρισμός)*

Ο υπολογισμός των αποτελεσμάτων των δεικτών κατηγοριών επιπτώσεων στις οποίες έχουν αντιστοιχηθεί τα αποτελέσματα της καταγραφής περιλαμβάνει δύο στάδια: την επιλογή και χρήση *συντελεστών χαρακτηρισμού (characterization factors)* για τη μετατροπή των αποτελεσμάτων της καταγραφής σε κοινές μονάδες μέτρησης, και το άθροισμα αυτών των αποτελεσμάτων μέσα στην εξεταζόμενη κάθε φορά κατηγορία επιπτώσεων, διαδικασία που καταλήγει σε ένα αριθμητικό αποτέλεσμα.

### **Προαιρετικά Στοιχεία της Εκτίμησης των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής**

Τα προαιρετικά στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιούν πληροφορίες που δεν προέρχονται από το πλαίσιο εργασίας της εκτίμησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής και είναι τα εξής:

- Ο υπολογισμός της σπουδαιότητας των αποτελεσμάτων των δεικτών κατηγοριών με βάση σχετικές πληροφορίες (Κανονικοποίηση) (Calculating the magnitude of the category indicator results relative to reference information-Normalization).
- Η ομαδοποίηση (Grouping).
- Ο υπολογισμός της βαρύτητας (στάθμιση σπουδαιότητας) των αποτελεσμάτων (Weighting).

### *Υπολογισμός της σπουδαιότητας των αποτελεσμάτων των δεικτών κατηγοριών με βάση σχετικές πληροφορίες (Κανονικοποίηση)*

Ο σκοπός της κανονικοποίησης των αποτελεσμάτων των δεικτών κατηγοριών είναι να γίνεται καλύτερα κατανοητή η σπουδαιότητα κάθε αποτελέσματος του εξεταζόμενου συστήματος. Η κανονικοποίηση μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμη για τον έλεγχο ανακολουθιών, για την κυκλοφορία πληροφοριών σχετικά

με τη σπουδαιότητα των αποτελεσμάτων και για την προετοιμασία συμπληρωματικών διεργασιών, όπως η ομαδοποίηση και ο υπολογισμός της βαρύτητας των αποτελεσμάτων.

Η κανονικοποίηση γίνεται με τη διαίρεση κάθε αποτελέσματος δείκτη κατηγορίας επιπτώσεων με μια επιλεγμένη τιμή αναφοράς. Παραδείγματα τέτοιων τιμών, οι οποίες μπορεί να είναι τοπικές, παγκόσμιες, εθνικές ή περιφερειακές, αποτελούν οι συνολικές εκπομπές στο περιβάλλον ή η κατανάλωση πόρων για μια συγκεκριμένη περιοχή.

### **Ομαδοποίηση**

Η ομαδοποίηση είναι ένα προαιρετικό στοιχείο που περιλαμβάνει δύο πιθανές διαδικασίες, την ταξινόμηση των κατηγοριών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων με βάση χαρακτηριστικά τους όπως οι περιβαλλοντικές εκπομπές ή η κατανάλωση πόρων, και τη βαθμολόγηση των κατηγοριών σύμφωνα με μια δεδομένη ιεραρχία όπως υψηλής, μεσαίας και χαμηλής προτεραιότητας.

Η εφαρμογή μεθόδων ταξινόμησης και βαθμολόγησης πρέπει να είναι προφανής και σύμφωνη με τον ορισμό στόχου και αντικειμενικού σκοπού της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής.

### **Υπολογισμός της βαρύτητας (στάθμιση σπουδαιότητας) των αποτελεσμάτων (Weighting)**

Ο υπολογισμός της βαρύτητας ή η στάθμιση των αποτελεσμάτων είναι ένα προαιρετικό στοιχείο που περιλαμβάνει δύο πιθανές διαδικασίες, τη μετατροπή των αποτελεσμάτων των δεικτών κατηγοριών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή των κανονικοποιημένων αποτελεσμάτων με τη βοήθεια επιλεγμένων συντελεστών βαρύτητας και το άθροισμα των αποτελεσμάτων που προέρχονται από τη μετατροπή αυτή. Η εφαρμογή μεθόδων υπολογισμού της βαρύτητας των αποτελεσμάτων πρέπει να είναι προφανής και σύμφωνη με τον ορισμό στόχου και αντικειμενικού σκοπού της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής [42].

#### **Ανάλυση Ποιότητας Δεδομένων**

Πολλές φορές απαιτούνται συμπληρωματικές τεχνικές για την καλύτερη κατανόηση της σημασίας, της αβεβαιότητας και της ευαισθησίας των αποτελεσμάτων της εκτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής, προκειμένου να συντελούν στον εντοπισμό σημαντικών διαφορών, εάν υπάρχουν, στην αφαίρεση ασήμαντων αποτελεσμάτων και στην καθοδήγηση της επαναληπτικής διαδικασίας εκτίμησης των επιπτώσεων. Αυτές οι τεχνικές είναι οι εξής:

- ◆ **Ανάλυση βαρύτητας (Gravity Analysis):** Είναι μια στατιστική διεργασία που προσδιορίζει τα δεδομένα εκείνα που έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στα αποτελέσματα των δεικτών κατηγοριών επιπτώσεων και που πρέπει να ερευνηθούν με προτεραιότητα.
- ◆ **Ανάλυση αβεβαιότητας (Uncertainty Analysis):** Περιγράφει τη στατιστική διακύμανση στις κατηγορίες δεδομένων, προκειμένου να διαπιστώνεται εάν υπάρχουν διαφορές στα αποτελέσματα των δεικτών κατηγοριών επιπτώσεων.
- ◆ **Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis):** Μετράει το βαθμό στον οποίο διάφορες αλλαγές (π.χ. στα αποτελέσματα της καταγραφής των υλικών, ενέργειας και εκπομπών) επηρεάζουν τα αποτελέσματα των δεικτών κατηγοριών επιπτώσεων, καθώς και το βαθμό στον οποίο τροποποιήσεις στις διαδικασίες υπολογισμού επηρεάζουν το “προφίλ” της εκτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής [43].

## **Ερμηνεία των Αποτελεσμάτων του Κύκλου Ζωής**

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων, μαζί με τον ορισμό στόχου και αντικειμενικού σκοπού, μορφοποιεί τη μελέτη εκτίμησης του κύκλου ζωής, ενώ τα άλλα στάδια παρέχουν τις πληροφορίες που σχετίζονται με το εξεταζόμενο σύστημα. Το στάδιο αυτό είναι, όπως και το προηγούμενο, ελλιπώς ανεπτυγμένο για παρόμοιους λόγους. Πρόκειται για μια επαναληπτική και συστηματική διαδικασία για τον προσδιορισμό, την

περιγραφή, τον έλεγχο, την εκτίμηση και την παρουσίαση των πληροφοριών που προέρχονται από τα αποτελέσματα των σταδίων της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών και της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του εξεταζόμενου συστήματος. Ο σκοπός της είναι να αναλύει αποτελέσματα, να εξηγεί περιορισμούς, να δίνει συστάσεις, να οδηγεί σε συμπεράσματα και να διαδίδει τα όποια αποτελέσματα εξάγονται με ένα σαφή και πλήρη τρόπο, σύμφωνα με τον ορισμό στόχου και αντικειμενικού σκοπού. Ένα άλλο στοιχείο που μπορεί να περιλαμβάνεται στο στάδιο αυτό είναι η *Εκτίμηση των Βελτιώσεων (Improvement Assessment)*, στο οποίο προσδιορίζονται, εξετάζονται και εκτιμούνται οι πιθανές βελτιώσεις που μπορεί να επιτευχθούν σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προηγούμενων σταδίων. Η εκτίμηση των βελτιώσεων πραγματοποιείται εφαρμόζοντας ανάλυση των περιβαλλοντικών φορτίων μέσω προσδιορισμού των δραστηριοτήτων από τις οποίες προέρχονται, διερεύνηση και εκτίμηση των διαθέσιμων εναλλακτικών επιλογών βελτίωσης της υφιστάμενης κατάστασης και κατάταξη των παραπάνω επιλογών με βάση την αποτελεσματικότητα και την ευκολία πραγματοποίησής τους [44]. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μπορεί επίσης να φανερώνει δεσμούς που υπάρχουν μεταξύ της εκτίμησης του κύκλου ζωής και άλλων τεχνικών διαχείρισης του περιβάλλοντος [45].

### **Στοιχεία της Ερμηνείας των Αποτελεσμάτων του Κύκλου Ζωής**

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων κύκλου ζωής αποτελείται από τρία στοιχεία:

- Τον προσδιορισμό των σημαντικών θεμάτων που βασίζεται στα αποτελέσματα των προηγούμενων φάσεων του κύκλου ζωής (Identification of the significant issues based on the results of the life cycle inventory and life cycle impact assessment phases of life cycle assessment).
- Την αξιολόγησή τους μέσω ελέγχων πληρότητας, ευαισθησίας και συνέπειας (Evaluation by completeness, sensitivity and consistency checks).
- Τα συμπεράσματα, τις συστάσεις και τη σύνταξη έκθεσης (Conclusions, re-recommendations and reporting).

Τα στοιχεία αυτά περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια. Στο σχήμα 3.7 φαίνεται η συσχέτιση του σταδίου της ερμηνείας αποτελεσμάτων με τα υπόλοιπα στάδια του κύκλου ζωής.

### **Προσδιορισμός των σημαντικών θεμάτων**

Ο αντικειμενικός σκοπός του συγκεκριμένου στοιχείου είναι να χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα από τις προηγούμενες φάσεις του κύκλου ζωής και να λαμβάνει υπόψη τις συνέπειες των χρησιμοποιούμενων μεθόδων και των υποθέσεων που γίνονται, προκειμένου να προσδιορίζει τα σημαντικά θέματα.

#### *Προσδιορισμός και σύνθεση των πληροφοριών*

Υπάρχουν τέσσερις τύποι πληροφοριών που απαιτούνται για τον προσδιορισμό των σημαντικών θεμάτων:

- Τα ευρήματα των προηγούμενων σταδίων που ενώνονται και συνεξετάζονται με κατάλληλο τρόπο με τις πληροφορίες που προέρχονται από την ποιότητα των δεδομένων. Αυτές οι πληροφορίες μπορεί να έχουν τη μορφή καταλόγου δεδομένων, πινάκων, διαγραμμάτων ή άλλων τρόπων



παρουσίασης.

- Οι επιλογές σχετικά με τη μεθοδολογία, όπως για παράδειγμα οι κανόνες κατανομής και τα όρια του εξεταζόμενου συστήματος.
- Οι διάφορες τιμές που χρησιμοποιούνται στη μελέτη.
- Οι ευθύνες των διάφορων εμπλεκόμενων ομάδων, σύμφωνα με τον ορισμό στόχου και αντικειμενικού σκοπού.

### *Καθορισμός των σημαντικών θεμάτων*

Εάν τα αποτελέσματα από τα προηγούμενα στάδια ικανοποιούν τις απαιτήσεις του στόχου και αντικειμενικού σκοπού της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής, τότε είναι σημαντικό να καθορίζεται η σημασία τους. Πρόκειται για μια επα-ναληπτική διαδικασία που μπορεί να είναι απλή ή σύνθετη και για την οποία είναι διαθέσιμη μια ποικιλία ειδικών προσεγγίσεων, εργαλείων και μεθόδων. Σημαντικά θέματα μπορεί να είναι για παράδειγμα οι κατηγορίες δεδομένων για την ανάλυση καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών, (π.χ. η ενέρ-γεια, οι εκπομπές και τα απορρίμματα), οι κατηγορίες επιπτώσεων, (π.χ. η κα-τανάλωση πόρων) ή οι διάφορες συνεισφορές των σταδίων του κύκλου ζωής στα αποτελέσματα της καταγραφής υλικών, ενέργειας και εκπομπών ή της εκτίμησης των επιπτώσεων (π.χ. μεμονωμένες στοιχειώδεις διαδικασίες ή ομάδες διαδικασιών όπως η μεταφορά και η παραγωγή ενέργειας).

### **Εκτίμηση**

Ο αντικειμενικός σκοπός του στοιχείου της εκτίμησης είναι η δημιουργία και η ενίσχυση του συναισθήματος της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της κατά-γραφής υλικών, ενέργειας και εκπομπών ή της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής, συμπεριλαμβανόμενων των σημαντικών θεμάτων που έχουν προσδιο-ριστεί προηγουμένως. Η εκτίμηση πρέπει να λαμβάνει υπόψη την επιδιωκόμενη χρήση των αποτελεσμάτων της μελέτης και να είναι σύμφωνη με τον ορισμό στόχου και αντικειμενικού σκοπού. Πραγματοποιείται με τον έλεγχο πληρό-τητας, ευαισθησίας και συνέπειας που αναλύονται στη συνέχεια. Σε μερικές Πε-ριπτώσεις η ανάλυση αβεβαιότητας και η εκτίμηση της ποιότητας των δεδομέ-νων, που έχουν αναλυθεί σε προηγούμενα σημεία αυτού του κεφαλαίου, συ-μπληρώνουν τους παραπάνω ελέγχους.

### *Έλεγχος Πληρότητας*

Ο αντικειμενικός σκοπός του ελέγχου πληρότητας είναι να διασφαλίζει ότι όλα τα σχετικά δεδομένα και οι πληροφορίες που χρειάζονται για τη φάση της ερμηνείας των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής είναι διαθέσιμα και πλήρη. Στην περίπτωση που κάποια σχετική πληροφορία λείπει ή δεν είναι πλήρης, τότε πρέπει να εξετάζεται η αναγκαιότητά της. Εάν θεωρείται απαραίτητη για τον προσδιορισμό των σημαντικών θεμάτων της μελέτης, πρέπει να επανεξετά-ζονται τα προηγούμενα στάδια ή να τροποποιείται ο ορισμός στόχου και αντικειμενικού σκοπού, ενώ σε αντίθετη περίπτωση συνεχίζεται η διαδικασία της εκτίμησης.

### *Έλεγχος Ευαισθησίας*

Ο σκοπός του ελέγχου ευαισθησίας είναι να αξιολογεί την αξιοπιστία των τελικών αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων, καθορίζοντας εάν επηρεάζονται από αβεβαιότητες στα δεδομένα. Η εκτίμηση αυτή περιλαμβάνει εκτός από την ανάλυση ευαισθησίας και την ανάλυση αβεβαιότητας. Για τον έλεγχο ευαισθησίας πρέπει να ληφθούν υπόψη τα προκαθορισμένα από τον ορισμό στόχου και αντικειμενικού σκοπού θέματα, τα αποτελέσματα των προηγούμενων σταδίων της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής, οι γνώμες των ειδικών και ενδεχόμενη προηγούμενη εμπειρία. Η πιθανή αδυναμία του ελέγχου ευαισθησίας να εντοπίζει σημαντικές διαφορές δε σημαίνει ότι δεν υπάρχουν τέτοιες διαφορές, αλλά μπορεί να είναι αδύνατος ο προσδιορισμός τους λόγω των χρησιμοποιούμενων μεθόδων και των αβεβαιοτήτων των δεδομένων.

### *Έλεγχος Συνέπειας*

Ο στόχος του ελέγχου αυτού είναι να εξετάζει εάν οι υποθέσεις που γίνονται, οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι και τα δεδομένα είναι σύμφωνα με το στόχο και τον αντικειμενικό σκοπό της μελέτης.

### **Συμπεράσματα, Συστάσεις και Σύνταξη Έκθεσης**

Ο σκοπός του τρίτου στοιχείου της ερμηνείας των αποτελεσμάτων κύκλου ζωής είναι να βοηθά στην εξαγωγή συμπερασμάτων και στην παροχή συστάσεων προς το κοινό στο οποίο θα κοινοποιηθεί η μελέτη.

Η διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των σημαντικών θεμάτων, την εκτίμηση της μεθοδολογίας και των αποτελεσμάτων, την εξαγωγή συμπερασμάτων και τον έλεγχο της συνέπειάς τους με το στόχο και το αντικείμενο της μελέτης. Όσον αφορά στις συστάσεις, αυτές πρέπει να βασίζονται στα τελικά συμπεράσματα της μελέτης. Τέλος, η έκθεση παρουσιάζει μια πλήρη και αμερόληπτη περιγραφή της μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής [46].

## **Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μελέτης Εκτίμησης Κύκλου Ζωής**

Από όλα όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, γίνονται εύκολα αντιληπτά τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη διενέργεια μελετών εκτίμησης του κύκλου ζωής. Τέτοιες μελέτες, σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες όπως το κόστος και η απόδοση, βοηθούν τους υπεύθυνους για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την επιλογή του προϊόντος ή της διαδικασίας εκείνης με τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται ανιχνεύουν και καταγράφουν την πιθανή μεταφορά των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από το ένα στάδιο του κύκλου ζωής στο άλλο και βοηθούν στην πλήρη κατανόηση των ενδεχόμενων ανταλλαγών που συμβαίνουν στο περιβάλλον. Με τη διενέργεια επομένως τέτοιων μελετών οι ερευνητές μπορούν να:

- Αναπτύσσουν μια συστηματική εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνεπειών και να αναλύουν τις ανταλλαγές που συμβαίνουν στο περιβάλλον και σχετίζονται με το εξεταζόμενο προϊόν ή διαδικασία.
- Ποσοτικοποιούν τις εκπομπές στον αέρα, στο νερό και στη γη που συμβαίνουν σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής.
- Εντοπίζουν σημαντικές αλλαγές στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μεταξύ των σταδίων του κύκλου ζωής.
- Εκτιμούν τις επιπτώσεις της κατανάλωσης υλικών και των περιβαλλοντικών εκπομπών στον άνθρωπο και στο οικοσύστημα.
- Συγκρίνουν τις επιπτώσεις στον άνθρωπο και στο οικοσύστημα δύο ή περισσότερων ανταγωνιστικών προϊόντων ή διαδικασιών.
- Προσδιορίζουν τις επιπτώσεις του εξεταζόμενου προϊόντος ή διαδικασίας σε ένα ή περισσότερα θέματα περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος.

Όπως όλες οι τεχνικές, έτσι και οι μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα:

- ◆ Δεν υπάρχει μια γενικά αποδεκτή μεθοδολογία για την εκτίμηση του κύκλου ζωής, ενώ οι περισσότερες από τις ήδη υπάρχουσες παρουσιάζουν ατέλειες σε διάφορα σημεία.
- ◆ Το σύστημα που επιλέγεται και αναλύεται σε αρκετές από τις μελέτες δεν περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής των εξεταζόμενων προϊόντων αλλά περιορίζεται σε κάποια μόνο στάδια αυτού. Επίσης, σε άλλες μελέτες παρατηρείται ότι οι περιβαλλοντικές παράμετροι που καταγράφονται και αναλύονται δεν αφορούν στο σύνολο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων καθώς στην ανάλυση περιλαμβάνονται μόνο η κατανάλωση ενέργειας ή/και η αποδέσμευση ενός μικρού αριθμού απορριμμάτων. Τα παραπάνω έχουν



σα συνέπεια η προσδιοριζόμενη περιβαλλοντική απόδοση των εξεταζόμενων προϊόντων να μην είναι πραγματική και συνεπώς η αξιοπιστία και η χρησιμότητα των αποτελεσμάτων να είναι περιορισμένη.

- ◆ Η φύση των υποθέσεων και επιλογών που γίνονται σε τέτοιες μελέτες (π.χ. ο καθορισμός των ορίων του συστήματος, η επιλογή των πηγών των δεδομένων και των κατηγοριών επιπτώσεων) μπορεί να είναι υποκειμενική.
- ◆ Τα υποδείγματα που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή υλικών, ενέργειας και εκπομπών ή την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων περιορίζονται από τις υποθέσεις που τα αφορούν και μπορεί να μην είναι διαθέσιμα για όλες τις πιθανές επιπτώσεις ή εφαρμογές.
- ◆ Τα αποτελέσματα τέτοιων μελετών που επικεντρώνονται σε παγκόσμια και περιφερειακά θέματα μπορεί να μην είναι κατάλληλα για τοπικές εφαρμογές, δηλαδή οι τοπικές συνθήκες μπορεί να μην αντιπροσωπεύονται επαρκώς από τις περιφερειακές ή παγκόσμιες συνθήκες.
- ◆ Οι μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής είναι πολύπλοκες καθώς περιλαμβάνουν πολλά στάδια και πολύ απαιτητικές, όσον αφορά στους πόρους και στο χρόνο, που χρειάζονται για τη διενέργειά τους. Η ακρίβεια τους είναι δυνατόν να περιορίζεται από την ποιότητα και από τη δυνατότητα πρόσβασης ή τη διαθεσιμότητα των σχετικών δεδομένων, γεγονός που έχει επίδραση στην ορθότητα των τελικών αποτελεσμάτων (π.χ. πιθανά κενά στα δεδομένα, είδος δεδομένων, τρόπος άθροισής τους και τοπικές ιδιαιτερότητες).
- ◆ Η έλλειψη χρονικών διαστάσεων καθώς και διαστάσεων του χώρου από τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των επιπτώσεων, δημιουργεί αβεβαιότητα στα αποτελέσματα των επιπτώσεων, η οποία ποικίλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του χώρου και του χρόνου κάθε κατηγορίας επιπτώσεων.

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής δεν καθορίζει ποιο προϊόν ή διαδικασία είναι πιο αποτελεσματικό από άποψη κόστους. Οι πληροφορίες που παρέχει πρέπει να χρησιμοποιούνται σαν ένα απλό συστατικό μιας πιο περιεκτικής διαδικασίας λήψης αποφάσεων.

Γενικά, η πληροφορία που συγκεντρώνεται στα πλαίσια μιας μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής πρέπει να χρησιμοποιείται σαν ένα τμήμα μιας πολύ πιο περιεκτικής διαδικασίας λήψης αποφάσεων ή για την κατανόηση ευρύτερων ανταλλαγών. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων διαφορετικών μελετών είναι εφικτή μόνο όταν οι υποθέσεις και το περιεχόμενο κάθε μελέτης είναι τα ίδια. Οι υποθέσεις πρέπει επίσης να είναι σαφώς καθορισμένες για λόγους διαφάνειας [47].

### **Χρήσεις της μελέτης Εκτίμησης Κύκλου Ζωής**

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής αποτελεί, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένα σημαντικό εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων που συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στη διαμόρφωση περιβαλλοντικών

νόμων, βοηθάει τις επιχειρήσεις να παραμένουν ανταγωνιστικές στη διεθνή αγορά, και τους κατασκευαστές να αναλύουν τις διαδικασίες τους και να βελτιώνουν τα προϊόντα τους, ενώ διευκολύνει τους καταναλωτές παρέχοντάς τους τις πληροφορίες που χρειάζονται, όταν πρόκειται να επιλέξουν μεταξύ διαφορετικών προϊόντων [48]. Οι κυριότερες χρήσεις της εκτίμησης του κύκλου ζωής αναφέρονται στη συνέχεια.

### **Στρατηγικός Σχεδιασμός Επιχειρήσεων (Corporate Strategic Planning)**

Οι επιχειρήσεις συνήθως καθοδηγούνται στη στρατηγική τους από τις πωλήσεις των προϊόντων τους και τα κέρδη που αυτές επιφέρουν. Όμως, σήμερα αυξάνει ολοένα και περισσότερο ο αριθμός των εταιρειών που συνειδητοποιούν τη σημασία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαδικασιών και των προϊόντων τους. Σε αυτό συμβάλλει, σε μεγάλο βαθμό, και το καταναλωτικό κοινό με τη φιλική στάση και το ενδιαφέρον του για το περιβάλλον. Έτσι, οι επιχειρήσεις, διενεργώντας μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής και δημοσιοποιώντας τα αποτελέσματά τους, αφενός γνωστοποιούν στους καταναλωτές το ενδιαφέρον τους για το περιβάλλον, γεγονός που έχει θετικές επιπτώσεις στις πωλήσεις των προϊόντων τους και αφετέρου βοηθούν τους διοικούντες στη λήψη αποφάσεων για τη βελτίωση ή τροποποίηση των διαδικασιών και των προϊόντων τους, οι οποίες επηρεάζουν και άλλες εμπλεκόμενες ομάδες, όπως προμηθευτές, διανομείς, καταναλωτές.

### **Ανάπτυξη Προϊόντων (Product Development)**

Η δημιουργία αποβλήτων είτε κατά τη διάρκεια της παραγωγής είτε μετά τη χρήση ενός προϊόντος, καθώς επίσης και η κατανάλωση υπερβολικής ενέργειας, είναι εμφανή δείγματα ανεπαρκούς παραγωγικής διαδικασίας. Η κατάλληλη χρήση των αποτελεσμάτων των μελετών εκτίμησης του κύκλου ζωής μπορεί να βοηθήσει στην εξαφάνιση ή τουλάχιστον στη μείωση του μεγέθους τέτοιων προβλημάτων. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος χρησιμοποίησης αυτών των αποτελεσμάτων αφορά στον προσδιορισμό κρίσιμων σημείων στα οποία η περιβαλλοντική απόδοση ενός προϊόντος μπορεί να βελτιωθεί.

### **Επιλογή και Τροποποίηση Διαδικασιών (Process Selection and Modification)**

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής μπορεί επίσης να χρησιμοποιείται για την επιλογή μεταξύ εναλλακτικών διαδικασιών ή την τροποποίηση των ήδη υφισταμένων, προκειμένου να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή μείωση των αποβλήτων. Αυτό μπορεί να αποτελεί είτε μέρος μιας συνολικής μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής είτε μια μελέτη επικεντρωμένη στην αξιολόγηση των παραγωγικών διαδικασιών.

### **Αγορά και Διαφήμιση (Marketing and Advertising)**

Η διαφήμιση αποτελεί τον παραδοσιακό τρόπο επικοινωνίας με τον οποίο γίνονται γνωστές οι ιδιότητες των προϊόντων εκείνων που ικανοποιούν τις προσδοκίες και τις ανάγκες των καταναλωτών. Πολλές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τις μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής για να υποστηρίξουν τους ισχυρισμούς τους σχετικά με τη σωστή διαχείριση του περιβάλλοντος και να διαφημίσουν τη φιλικότητα των προϊόντων τους προς αυτό. Τις περισσότερες φορές η διαφήμιση αυτή στηρίζεται σε ένα μόνο κριτήριο, όπως η δυνατότητα ανακύκλωσης ή το ποσό των παραγόμενων αποβλήτων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Όμως, αυτοί οι ισχυρισμοί πρέπει να αντιμετωπίζονται με σκεπτικισμό, λόγω της περιορισμένης πληροφόρησης που παρέχουν και της πιθανότητας να οδηγήσουν σε παραπλάνηση.

### **Σχεδιασμός Πολιτικής για το Κοινό (Public Policy Making)–Απονομή Οικολογικού Σήματος (Eco- Labelling)**

Η πιο εμφανής εφαρμογή της εκτίμησης του κύκλου ζωής σε σχέση με το κοινό είναι η συνεχώς αυξανόμενη χρήση της απονομής οικολογικού σήματος. Η οικολογική σήμανση μπορεί να διευκολύνει το διεθνές εμπόριο μέσω της δημιουργίας ενός κοινού προτύπου απονομής οικολογικού σήματος που θα οδηγήσει σε ένα μεγαλύτερο ρυθμό συμμετοχής των επιχειρήσεων.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής η νομοθεσία για την απονομή οικολογικού σήματος βρίσκεται στα πρώτα στάδια ανάπτυξης, αλλά υπάρχει μια συνεχής πρόοδος. Η Επιτροπή Ομοσπονδιακού Εμπορίου (Federal Trade Commission) εκδίδει οδηγίες σχετικά με τη χρήση οικολογικού σήματος στη συσκευασία και στη διαφήμιση. Η εκτίμηση της φιλικότητας ενός προϊόντος προς το περιβάλλον, προκειμένου να είναι αποτελεσματική, πρέπει να γίνεται από ένα τρίτο ανεξάρτητο φορέα. Μια ανεξάρτητη μη κερδοσκοπική εταιρεία, η "Green Seal", χρησιμοποιεί μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής για να εκτιμά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις διάφορων κατηγοριών προϊόντων και να απονέμει σφραγίδα περιβαλλοντικής έγκρισης στα προϊόντα που προτιμούνται από περιβαλλοντική άποψη. Αυτά τα προϊόντα αναμένεται να

έχουν μεγαλύτερα μερίδια αγοράς<sup>22</sup>, εξαναγκάζοντας με αυτό τον τρόπο τις ανταγωνιστικές εταιρείες να αλλάξουν την στρατηγική τους, προκειμένου να αντιμετωπίσουν τον ανταγωνισμό. Μέχρι σήμερα η "Green Seal" έχει απονείμει σφραγίδα περιβαλλοντικής έγκρισης σε περισσότερα από 250 προϊόντα.

Σε αντίθεση με τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, στον Καναδά και στη Ιαπωνία η οικολογική σήμανση είναι μια αρκετά ανεπτυγμένη πρακτική. Μεταξύ των επτά πλουσιότερων χωρών του κόσμου (G-7), υπάρχουν έξι επίσημα προγράμματα απονομής οικολογικού σήματος, τα οποία είναι σε κάποιο βαθμό διαφορετικά, αλλά έχουν και αρκετά κοινά σημεία. Τα προγράμματα αυτά είναι τα εξής: Environmental Choice (Καναδάς), Green Seal (Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής), Eco Mark (Ιαπωνία), Eco-Label (Ευρωπαϊκή Ένωση), NF Environment (Γαλλία), Blue Angel (Γερμανία).

Το πρόγραμμα "Blue Angel" της Γερμανίας, το οποίο ξεκίνησε το 1978, είναι ένα εθελοντικό πρόγραμμα στο οποίο οι επιχειρήσεις που πιστοποιούνται καταβάλλουν αμοιβή και θεωρείται το μοντέλο για όλα τα άλλα προγράμματα οικολογικής σήμανσης. Απονέμει σφραγίδα περιβαλλοντικής σήμανσης στα προϊόντα εκείνα που προτιμούνται από περιβαλλοντική άποψη και τα οποία επανεξετάζονται κάθε δύο ή τρία χρόνια. Τα κριτήρια που χρησιμοποιεί περιλαμβάνουν την αποτελεσματική χρήση των καυσίμων, τη μείωση των εκπομπών που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, τη διατήρηση των φυσικών πόρων καθώς και προϊόντα με τη μικρότερη δυνατή επίδραση στο περιβάλλον.

Ο Καναδάς ξεκίνησε το δικό του πρόγραμμα που ονομάζεται "Environmental Choice Program" το 1998 και έχει πιστοποιήσει μέχρι σήμερα 1400 προϊόντα. Ο Καναδικός Σύνδεσμος Προτύπων (Canadian Standards Association), ένας ανεξάρτητος οργανισμός τυποποίησης, πιστοποιεί προϊόντα και εγκρίνει εταιρείες με βάση οδηγίες που εκδίδονται από την κυβέρνηση. Το πρόγραμμα είναι σχεδιασμένο έτσι, ώστε να αντιμετωπίζει περιβαλλοντικά θέματα, όπως αποδοτικότητα ενέργειας, επικίνδυνα υποπροϊόντα, αυξημένη χρήση ανακυκλωμένων υλικών.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, από την πλευρά της, συντονίζει τις ενέργειες των κρατών μελών της προκειμένου να υλοποιήσει το δικό της πρόγραμμα οικολογικής σήμανσης που ονομάζεται "Community Eco-Label Award Scheme". Τα κράτη μέλη αναπτύσσουν κριτήρια για ένα αριθμό προϊόντων. Η ισχύς αυτών των κριτηρίων είναι συνήθως για μια χρονική περίοδο τριών χρόνων, μετά την οποία πρέπει να αναθεωρηθούν. Ο σκοπός της ενέργειας αυτής είναι η χρησιμοποίηση κοινών κριτηρίων από όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

## Διαχείριση Αποβλήτων (Waste Management)

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής εφαρμόζεται και στη διαχείριση των αποβλήτων, κατά την οποία τα απορριπτόμενα προϊόντα χρησιμοποιούνται σαν πρώτες ύλες για την παραγωγή νέων προϊόντων ή ενέργειας. Όμως, η διαχείριση των αποβλήτων μέσω της εκτίμησης του κύκλου ζωής δημιουργεί ορισμένα προβλήματα, όπως π.χ. το ότι διάφορα είδη αποβλήτων αναμειγνύονται πριν από την έναρξη της διαδικασίας διαχείρισης, γεγονός που καθιστά απαραίτητο το χαρακτηρισμό των αποβλήτων πριν την καταγραφή.

## Συσκευασία (Packaging)

Η συσκευασία αποτελεί την πιο χαρακτηριστική εφαρμογή της εκτίμησης του κύκλου ζωής. Τέτοιες μελέτες π.χ. για τη συσκευασία του γάλακτος, μπουκαλιών μπύρας και για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του PVC έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές χώρες για την υποστήριξη των σχετικών αποφάσεων. Ένα πρόβλημα όμως που δημιουργείται αρκετά συχνά αφορά στην αντικειμενικότητα αυτών των μελετών, γεγονός που οφείλεται στο ότι στον συγκεκριμένο κλάδο υπάρχουν ισχυρά οικονομικά συμφέροντα και οποιαδήποτε αλλαγή στη συσκευασία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα αυτό.

## Μελλοντικές Εφαρμογές (Future Applications)

Οι μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής είναι εφικτό να ενοποσιούνται με άλλα εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων σε όλους σχεδόν τους τομείς που παρουσιάζουν σημαντικά περιβαλλοντικά θέματα. Αυτό συμβαίνει γιατί αυξάνεται όλο και περισσότερο η πληροφόρηση που σχετίζεται με αυτές, γεγονός που μπορεί να επεκτείνει τις εφαρμογές τους και να καταστήσει τα αποτελέσματά τους πιο ακριβή.

Η ικανότητα εφαρμογής της εκτίμησης του κύκλου ζωής στο μέλλον εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα διεξαγωγής μιας σοβαρής μελέτης, γεγονός που απαιτεί τη διαθεσιμότητα όλων των αναγκαίων δεδομένων. Αυτή, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των σχετικών προτύπων, εγγυάται ότι η μελλοντική χρήση της εκτίμησης του κύκλου ζωής θα είναι περισσότερο αποδοτική από ότι είναι σήμερα [50].

Διαπιστώνεται λοιπόν από τα παραπάνω ότι, παρά τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η εκτίμηση του κύκλου ζωής, και το γεγονός ότι βρίσκεται σε ένα πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, αποτελεί ένα σημαντικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος αρκεί να εφαρμόζεται και να χρησιμοποιείται σωστά. Όμως,

<sup>22</sup> Πρόσφατες έρευνες αποδεικνύουν ότι τέσσερις στους πέντε καταναλωτές είναι πιθανό να αγοράσουν ένα προϊόν με σφραγίδα περιβαλλοντικής έγκρισης (Green Seal Label), όταν διαλέγουν μεταξύ προϊόντων ίδιας ποιότητας και τιμής [49].

αρκετή πρόοδος απαιτείται να γίνει ακόμη προκειμένου να αναπτυχθεί ένα πλαίσιο εργασίας που να ανταποκρίνεται στις ανάγκες της σημερινής εποχής.

Ένας από τους τομείς όπου μπορεί να εφαρμοστεί η μελέτη εκτίμησης του κύκλου ζωής και να συμβάλει στη σωστή διαχείριση του περιβάλλοντος είναι μεταξύ των άλλων και η παραγωγή του μαρμάρου, γεγονός που αποτελεί άλλωστε και το στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στο σχήμα 3.8 παρουσιάζονται τα στάδια του κύκλου ζωής του μαρμάρου, τα οποία αναλύονται λεπτομερέστερα στο τέλος του επόμενου κεφαλαίου της διπλωματικής εργασίας, στο οποίο δίνονται γενικές πληροφορίες για το μάρμαρο.



Σχήμα 3.8: Τα στάδια του κύκλου ζωής του μαρμάρου.

### Παραπομπές Βιβλιογραφίας

- [1] -Γεωργακέλλος Δ. Α., "Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος", Σπουδαί, Τόμος 49, Τεύχος 1-4, Πειραιάς, Ιανουάριος–Δεκέμβριος 1999, σελ. 126.

- Association of plastics manufacturers in Europe, European Centre for plastics in the environment, "Eco-balance methodology for commodity thermoplastics", Brussels, December 1992, **σελ. 1.**
- [2] Bishop P. L., Pollution Prevention: Fundamentals and Practice, McGraw-Hill, U.S.A., 2000, **σελ. 251.**
- [3] **Γεωργακέλλος Δ. Α., "Συσκευασία και Περιβάλλον: Εφαρμογή της μεθοδολογίας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στα υλικά συσκευασίας", Πειραιάς, Οκτώβριος 1998, σελ. 102.**
- [4] -Ecocycle, "What is Life Cycle Management?", <http://www.ec.gc.ca/ecocycle/english/whatislcm.cfm>, 6 July 2001, **σσ. 1-2.**
- Ecocycle, "Environmental Life Cycle Management: A guide for better business decisions", <http://www.ec.gc.ca/ecocycle/english/lcmguide2.cfm>, 6 July 2001, **σσ 1-4.**
- [5] **Γεωργακέλλος Δ. Α., "Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος", Σπουδαί, Τόμος 49, Τεύχος 1-4, Πειραιάς, Ιανουάριος-Δεκέμβριος 1999, σελ. 129.**
- [6] -International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14040:1997, Περιβαλλοντική Διαχείριση-Εκτίμηση Κύκλου Ζωής-Αρχές και Πλαίσιο", Ιούνιος 1997, **σσ. 3, 7.**
- European Environment Agency, "Definitions", <http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap321.htm>, 3 August 2001.
- [7] **-Γεωργακέλλος Δ. Α., "Η χρήση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στο κοινοτικό σύστημα απονομής οικολογικού σήματος", Πειραιάς, 2000, σελ. 132.**
- Graedel T. E., Allenby B. R., Industrial Ecology, Prentice Hall, Engle-wood Cliffs, New Jersey, 1995, **σελ. 108.**
- Environmental Protection Agency of United States (EPA), Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, Franklin Associates, Ltd., Prairie Village, Kansas, February 1993, **σσ. 1, 4-5.**
- Environmental Protection Agency (EPA), "Why LCA", <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/whylca.htm>, 7 August 2001, **σελ.1.**
- European Environment Agency, "Definitions", <http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap321.htm>, 3 August 2001.
- Garner A., Keoleian G. A., "Industrial Ecology: An Introduction", University of Michigan, November 1995, **σσ. 12-13.**
- [8] **-Γεωργακέλλος Δ. Α., "Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος", Σπουδαί, Τόμος 49, Τεύχος 1-4, Πειραιάς, Ιανουάριος-Δεκέμβριος 1999, σσ. 134-135.**
- Γεωργακέλλος Δ. Α., "Συσκευασία και Περιβάλλον: Εφαρμογή της μεθοδολογίας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στα υλικά συσκευασίας", Πειραιάς, Οκτώβριος 1998, σσ. 103-104.**
- Γεωργακέλλος Δ. Α., "Η χρήση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στο κοινοτικό σύστημα απονομής οικολογικού σήματος", Πειραιάς, 2000, σσ. 132-133.**
- International Organization for Standardization (ISO), **ό.π., σελ. 10.**
- Bishop P. L., **ό.π., σελ. 257.**
- Graedel T. E., Allenby B. R., **ό.π., σελ. 109.**

- [9] **Γεωργακέλλος Δ. Α.**, “Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεταφορών στις μελέτες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής”, Δελτίο Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Ηλεκτρολόγων Μηχανολόγων, **Νο 306, Αθήνα, Απρίλιος 1998, σελ. 1.**
- [10] **Γεωργακέλλος Δ. Α.**, “Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος”, Σπουδαί, Τόμος 49, Τεύχος 1-4, Πειραιάς, Ιανουάριος–Δεκέμβριος 1999, **σσ. 127-128.**
- [11] **Γεωργακέλλος Δ. Α.**, **ό.π., σσ. 130-132.**
- [12] -Ecocycle, “ISO LCA update”, <http://www.ec.gc.ca/ecocycle/english/issue6e.cfm?tmpl=p8>, 24 January 2001, **σσ. 1-3.**  
-Jackson S. L., The ISO 14001 Implementation Guide, Creating an Integrated Management System, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997, **σελ. 20.**
- [13] -Cascio J., The ISO 14000 Handbook, ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, 1996, **σσ. 276-278.**  
-International Organization for Standardization (ISO), **ό.π., σελ. 4.**
- [14] -Cascio J., **ό.π., σσ. 279-280.**  
-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”, Οκτώβριος 1998, **σελ. 4.**
- [15] International Organization for Standardization (ISO), “ISO 14042:2000, Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής”, Μάρτιος 2000, **σελ. 6.**
- [16] Cascio J., **ό.π., σελ. 280.**
- [17] -Cascio J., **ό.π., σσ. 280-281.**  
-International Organization for Standardization (ISO), “ISO 14043:2000, Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Ερμηνεία Αποτελεσμάτων Κύκλου Ζωής”, Μάρτιος 2000, **σελ. 5.**
- [18] -Cascio J., **ό.π., σσ. 277-278.**  
-International Organization for Standardization (ISO), “ISO 14040:1997, Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Αρχές και Πλαίσιο”, Ιούνιος 1997, **σσ. 9-10.**
- [19] -**Γεωργακέλλος Δ. Α.**, “Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος”, Σπουδαί, Τόμος 49, Τεύχος 1-4, Πειραιάς, Ιανουάριος–Δεκέμβριος 1999, **σσ. 134-135.**  
-Bishop P. L., **ό.π., σελ. 257.**
- [20] European Environment Agency, “Methodological framework”, <http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap30.htm>, 2 August 2001.
- [21] **Μπούρα Α., Μουσιόπουλος Ν.**, “Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA) ως ερ-γαλείου περιβαλλοντικής διαχείρισης”, Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονικές Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., **Αθήνα, Νοέμβριος–Δεκέμβριος 1998, σελ. 107.**
- [22] -**Γεωργακέλλος Δ. Α.**, “Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος”, Σπουδαί, Τόμος 49, Τεύχος 1-4, Πειραιάς, Ιανουάριος–Δεκέμβριος 1999, **σελ. 135.**

- Γεωργακέλλος Δ. Α., **“Η χρήση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στο κοινοτικό σύστημα απονομής οικολογικού σήματος”**, Πειραιάς, 2000, σελ. 133.
- Μπούρα Α., Μουσιόπουλος Ν., ό.π., σσ. 106-107.
- Bishop P. L., ό.π., σσ. 257-258.
- Graedel T. E., Allenby B. R., ό.π., σελ. 115.
- Environmental Protection Agency of United States (EPA), Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, Franklin Associates, Ltd., Prairie Village, Kansas, February 1993, σελ. 8.
- European Environment Agency, “Scope”, <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap332.htm>, 3 August 2001, σελ. 1.
- International Organization for Standardization (ISO), **“ISO 14040:1997, Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Αρχές και Πλαίσιο”**, Ιούνιος 1997, σσ. 11-12.
- 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”**, Οκτώβριος 1998, σσ. 10-11.
- [23] -Γεωργακέλλος Δ. Α., **“Η χρήση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στο κοινοτικό σύστημα απονομής οικολογικού σήματος”**, Πειραιάς, 2000, σελ. 133.
- Baumgartner T., Rubik F., “Evaluation Techniques for Eco-Balances and Life Cycle Assessment”, European Environment, No 3, 1993, σσ. 18-22.
- [24] -Γεωργακέλλος Δ. Α., **“Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος”**, Σπουδαί, Τόμος 49, Τεύχος 1-4, Πειραιάς, Ιανουάριος–Δεκέμβριος 1999, σελ. 133.
- Γεωργακέλλος Δ. Α., **“Η χρήση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στο κοινοτικό σύστημα απονομής οικολογικού σήματος”**, Πειραιάς, 2000, σσ. 133-134.
- Γεωργακέλλος Δ. Α., **“Συγκριτική εκτίμηση της περιβαλλοντικής απόδοσης φιαλών νερού της ελληνικής αγοράς με τη μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής”**, Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονικές Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., σειρά IV, Τόμος 18, Τεύχος 2, Πειραιάς, Ιούλιος–Δεκέμβριος 1998, σσ. 36-37.
- Μπούρα Α., Μουσιόπουλος Ν., ό.π., σσ. 108-109.
- Association of plastics manufacturers in Europe, European Centre for plastics in the environment, “Eco-balance methodology for commodity thermoplastics”, Brussels, December 1992, σσ. 3-5, 10.
- Environmental Protection Agency of United States (EPA), Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, Franklin Associates, Ltd., Prairie Village, Kansas, February 1993, σελ. 28.
- International Organization for Standardization (ISO), **“ISO 14040:1997, Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Αρχές και Πλαίσιο”**, Ιούνιος 1997, σελ. 8.
- 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”, Οκτώβριος 1998, σσ. 8-9.**
- Svoboda S., “Note on Life Cycle Analysis”, University of Michigan, March 1995, σσ. 2-3.
- [25] International Organization for Standardization (ISO), “ISO 14040:1997, **Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Αρχές και Πλαίσιο**”, Ιούνιος 1997, σελ. 9.
- [26] -Γεωργακέλλος Δ. Α., “**Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος**”, Σπουδαί, Τόμος 49, Τεύχος 1-4, Πειραιάς, Ιανουάριος–Δεκέμβριος 1999, σελ. 133.
- European Environment Agency, “System boundaries”, <http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap334.htm>, 3 August 2001.
- International Organization for Standardization (ISO), “ISO 14040:1997, **Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Αρχές και Πλαίσιο**”, Ιούνιος 1997, σσ. 12-13.
- 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**”, Οκτώβριος 1998, σελ. 12.
- [27] **Μπούρα Α., Μουσιόπουλος Ν., ό.π., σελ. 107.**
- [28] -Γεωργακέλλος Δ. Α., “**Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος**”, Σπουδαί, Τόμος 49, Τεύχος 1-4, Πειραιάς, Ιανουάριος–Δεκέμβριος 1999, σελ. 135.
- European Environment Agency, “Functional unit”, <http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap333.htm>, 3 August 2001.
- International Organization for Standardization (ISO), “ISO 14040:1997, **Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Αρχές και Πλαίσιο**”, Ιούνιος 1997, σσ. 7, 12.
- 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**”, Οκτώβριος 1998, σελ. 11.
- [29] -Environmental Protection Agency of United States (EPA), Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, Franklin Associates, Ltd., Prairie Village, Kansas, February 1993, σελ. 65.
- 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**”, Οκτώβριος 1998, σσ. 10, 13.
- [30] International Organization for Standardization (ISO), ό.π., σσ. 13-14.
- [31] -**Μπούρα Α., Μουσιόπουλος Ν., ό.π., σσ. 107-108.**

- Centre for Design at RMIT, "Data Quality for Life Cycle Assessment", <http://www.cfd.rmit.edu.au/outcomes/papers/LCA-DataQ.html>, 2 August 2001, **σσ.** 3-4, 7-10.
- Environmental Protection Agency of United States (EPA), Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, Franklin Associates, Ltd., Prairie Village, Kansas, February 1993, **σσ.** 29-32, 59-65.
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14040:1997, **Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Αρχές και Πλαίσιο**", Ιούνιος 1997, **σελ.** 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**", Οκτώβριος 1998, **σσ.** 14-15.
- [32] -Γεωργακέλλος Δ. Α., "Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος", Σπουδαί, Τόμος 49, Τεύχος 1-4, Πειραιάς, Ιανουάριος–Δεκέμβριος 1999, **σελ.** 134.
- Bishop P. L., **ό.π.**, **σελ.** 259.
- Graedel T. E., Allenby B. R., **ό.π.**, **σελ.** 109.
- Environmental Protection Agency of United States (EPA), Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, Franklin Associates, Ltd., Prairie Village, Kansas, February 1993, **σελ.** 7.
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14040:1997, **Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Αρχές και Πλαίσιο**", Ιούνιος 1997, **σελ.** 6.
- [33] -Environmental Protection Agency of United States (EPA), Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, Franklin Associates, Ltd., Prairie Village, Kansas, February 1993, **σσ.** 9-10, 16-19.
- Svoboda S., **ό.π.**, **σσ.** 3-5.
- [34] -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**", Οκτώβριος 1998, **σελ.** 7.
- [35] International Organization for Standardization (ISO), **ό.π.**, **σελ.** 7.
- [36] International Organization for Standardization (ISO), **ό.π.**, **σελ.** 7.
- [37] -European Environment Agency, "Data collection", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap341.htm>, 2 August 2001, **σσ.** 1-2.
- European Environment Agency, "Refining system boundaries", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap342.htm>, 2 August 2001.
- European Environment Agency, "Calculation procedures", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap343.htm>, 2 August 2001.
- European Environment Agency, "Validation of data", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap344.htm>, 3 August 2001.

- European Environment Agency, "Relating data", <http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap345.htm>, 3 August 2001.
- European Environment Agency, "Allocation and recycling", <http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap346.htm>, 3 August 2001, σσ.1-3.
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14040:1997, Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Αρχές και Πλαίσιο", Ιούνιος 1997, σελ. 15.
- 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", Οκτώβριος 1998, σσ. 16-21.
- [38] 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", Οκτώβριος 1998, σσ. 4, 22.
- [39] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14040:1997, Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Αρχές και Πλαίσιο", Ιούνιος 1997, σελ. 8.
- [40] -Γεωργακέλλος Δ. Α., "Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος", Σπουδαί, Τόμος 49, Τεύχος 1-4, Πειραιάς, Ιανουάριος–Δεκέμβριος 1999, σελ. 136.
- Γεωργακέλλος Δ. Α., "Συσκευασία και Περιβάλλον: Εφαρμογή της μεθοδολογίας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στα υλικά συσκευασίας", Πειραιάς, Οκτώβριος 1998, σσ. 103, 105.
- Environmental Protection Agency of United States (EPA), Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, Franklin Associates, Ltd., Prairie Village, Kansas, February 1993, σσ. 7-8.
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14040:1997, Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Αρχές και Πλαίσιο", Ιούνιος 1997, σσ. 15-16.
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14042:2000, Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής", Μάρτιος 2000, σελ. 5.
- [41] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14042:2000, Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής", Μάρτιος 2000, σελ. 7.
- [42] -Γεωργακέλλος Δ. Α., "Η χρήση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στο κοινοτικό σύστημα απονομής οικολογικού σήματος", Πειραιάς, 2000, σσ. 135-136.
- Μπούρα Α., Μουσιόπουλος Ν., ό.π., σσ. 110-111.
- European Environment Agency, "Life cycle impact assessment", <http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap35.htm>, 3 August 2001.
- European Environment Agency, "Selection of impact categories", <http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap351.htm>, 3 August 2001.

- European Environment Agency, "Assignment of LCA results (Classification)", <http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap352.htm>, 3 August 2001.
- European Environment Agency, "Calculating the magnitude of category indicator results relative to reference value(s)", <http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap354.htm>, 3 August 2001.
- European Environment Agency, "Grouping", <http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap355.htm>, 3 August 2001.
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14042:2000, **Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής**", Μάρτιος 2000, σσ. 8-14.
- PRé Consultants, "Impact Assessment", [http://www.pre.nl/life\\_cycle\\_assessment/impact\\_assessment.htm](http://www.pre.nl/life_cycle_assessment/impact_assessment.htm), 24 January 2001, σσ. 1-5.
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), "Evolution and development of the conceptual framework and methodology of life cycle impact assessment", January 1998, σσ. 4-10.
- [43] -European Environment Agency, "Data quality analysis", <http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap357.htm>, 3 August 2001.
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14042:2000, **Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής**", Μάρτιος 2000, σελ. 15.
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), **ό.π.**, σελ. 10.
- [44] **Γεωργακέλλος Δ. Α.**, "Η χρήση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στο κοινοτικό σύστημα απονομής οικολογικού σήματος", Πειραιάς, 2000, σσ. 136-137.
- [45] -**Γεωργακέλλος Δ. Α.**, "Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος", Σπουδαί, Τόμος 49, Τεύχος 1-4, Πειραιάς, Ιανουάριος–Δεκέμβριος 1999, σσ. 134, 136.
- Μπούρα Α., Μουσιόπουλος Ν.**, **ό.π.**, σελ. 111.
- Environmental Protection Agency of United States (EPA), Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, Franklin Associates, Ltd., Prairie Village, Kansas, February 1993, σελ. 8.
- European Environment Agency, "Interpretation", <http://service.eea.eu.int/envirowindows/lca/kap36.htm>, 3 August 2001.
- Graedel T. E., Allenby B. R., **ό.π.**, σελ. 109.
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14040:1997, **Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Αρχές και Πλαίσιο**", Ιούνιος 1997, σελ. 16.
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14043:2000, **Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Ερμηνεία Αποτελεσμάτων Κύκλου Ζωής**", Μάρτιος 2000, σσ. 5, 7.
- [46] -Centre of Environmental Science (CML), Leiden University, "Life Cycle Assessment, an operational guide to the ISO standards: LCA in perspective", <http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/lca2/Part1.pdf>, 7 August 2001, σσ. 6-7.

- European Environment Agency, "Identification of significant environmental issues", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap361.htm>, 3 August 2001.
- European Environment Agency, "Evaluation", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap362.htm>, 3 August 2001, σσ. 1-2.
- European Environment Agency, "Conclusions and recommendations", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap363.htm>, 3 August 2001.
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14043:2000, Περιβαλλοντική Διαχείριση-Εκτίμηση Κύκλου Ζωής-Ερμηνεία Αποτελεσμάτων Κύκλου Ζωής", Μάρτιος 2000, σσ. 7-12.
- [47] -Γεωργακέλλος Δ. Α., "Συσκευασία και Περιβάλλον: Εφαρμογή της μεθοδολογίας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στα υλικά συσκευασίας", Πειραιάς, Οκτώβριος 1998, σσ. 113-115.
- Environmental Protection Agency (EPA), "LCA 101", <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca101.htm>, 7 August 2001, σσ.6-7.
- Environmental Protection Agency (EPA), "Why LCA", <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/whylca.htm>, 7 August 2001, σσ.6-7.
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14040:1997, Περιβαλλοντική Διαχείριση-Εκτίμηση Κύκλου Ζωής-Αρχές και Πλαίσιο", Ιούνιος 1997, σσ. 4-5.
- Svoboda S., ό.π., σσ. 20-21.
- [48] Μπούρα Α., Μουσιόπουλος Ν., ό.π., σελ. 105.
- [49] Bishop P. L., ό.π., σελ. 285.
- [50] -Bishop P. L., ό.π., σσ. 277-287.
- Centre of Environmental Science (CML), Leiden University, ό.π., σσ. 4-6.
- European Environment Agency, "Product development", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap221.htm>, 2 August 2001, σσ.1-2.
- European Environment Agency, "Marketing", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap222.htm>, 2 August 2001, σσ.1-3.
- European Environment Agency, "Strategic planning", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap223.htm>, 2 August 2001, σσ.1-2.
- European Environment Agency, "Public policy making", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap23.htm>, 2 August 2001.
- European Environment Agency, "Environmental labelling", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap231.htm>, 2 August 2001, σσ.1-2.
- European Environment Agency, "Green procurement", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap232.htm>, 2 August 2001, σσ.1-2.
- European Environment Agency, "Other governmental applications", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap233.htm>, 2 August 2001, σσ.1-2.
- European Environment Agency, "Future applications", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap24.htm>, 2 August 2001.
- Environmental Protection Agency (EPA), "Why LCA", <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/whylca.htm>, 7 August 2001, σσ.3-6, 7-8.

-International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14040:1997, Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Αρχές και Πλαίσιο", Ιούνιος 1997, σελ. 3.

## ΤΟ ΜΑΡΜΑΡΟ

### Εισαγωγή

Το μάρμαρο είναι ένα από τα κυριότερα προϊόντα του υπεδάφους 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, μπορούμε να πούμε ότι το μάρμαρο συναγωνίζεται τις κυριότερες ορυκτές ύλες που παράγονται στην Ελλάδα, όπως είναι ο βωξίτης, τα νικελιούχα μεταλλεύματα, ο λευκόλιθος, ο χρωμίτης, κλπ.

Ο κλάδος του μαρμάρου έχει όμως δύο ακόμα χαρακτηριστικά που τον κάνουν να ξεχωρίζει από τους υπόλοιπους κλάδους της λατομικής και μεταλλευτικής βιομηχανίας της χώρας μας. Το ένα από τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η μεγάλη εξάπλωση της λατομικής δραστηριότητας στον τομέα του μαρμάρου σε όλο σχεδόν τον Ελλαδικό χώρο, καθώς και τα μεγάλα αποθέματα των μαρμαρικών κοιτασμάτων<sup>24</sup>. Το άλλο χαρακτηριστικό του κλάδου είναι ο δυναμισμός του, που γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτός από την μεγάλη ανάπτυξη που παρουσίασε τα τελευταία κυρίως χρόνια<sup>25</sup> [1].

Μέσα από αυτό το κεφάλαιο θα γίνει προσπάθεια σύντομης αλλά ουσιώδους γνωριμίας με τη σημαντική αυτή ορυκτή ύλη της χώρας μας, μέσω της αναφο-ράς των τύπων μαρμάρου, των φυσικομηχανικών και τεχνικών ιδιοτήτων, της ορυκτολογικής και χημικής ανάλυσης, των εφαρμογών του, και της σημερινής κατάστασης του κλάδου του μαρμάρου όσον αφορά στις εισαγωγές και εξα-γωγές, με σκοπό βέβαια την καλύτερη κατανόηση της εφαρμογής της εκτίμησης του κύκλου ζωής στο υλικό αυτό.

### Γεωλογικός και τεχνολογικός ορισμός του μαρμάρου

Η λέξη *μάρμαρο* κατά την Ομηρική εποχή είχε την έννοια μεγάλου ογκόλιθου, ανεξάρτητα από τη σύσταση και το είδος του πετρώματος. Αργότερα διαδόθηκε πολύ η χρήση του λευκού ασβεστολιθικού πετρώματος που αποτελείται από κρυστάλλια ασβεστίτη και ονομαζόταν “λίθος” ή “λευκή λίθος”, γιατί κατά κανόνα κυριαρχούσε η λευκή παραλλαγή. Από το 400 π.Χ. το ασβεστολιθικό αυτό πέτρωμα πήρε την ονομασία “μάρμαρο”. Οι Ρωμαίοι το ονόμαζαν “marmor”<sup>26</sup> και με τη λέξη αυτή χαρακτηρίζαν κάθε πέτρωμα που χρησιμοποιούσαν για διακόσμηση οικοδομών και μνημείων.

Σύμφωνα με τη Γεωλογία (Πετρολογία), με τον όρο “μάρμαρα” εννοούμε τα πετρώματα εκείνα που προέρχονται από μερική ή καθολική μεταμόρφωση ανθρακικών ιζημάτων, δηλαδή πρόκειται για πετρώματα που έχουν προέλθει από ασβεστόλιθο με ανακρυστάλλωση του ορυκτού του, ασβεστίτη. Ο ασβεστό-λιθος είναι ένα ιζηματογενές πέτρωμα<sup>27</sup> που σχηματίζεται αρχικά σαν ασβεστολι-θική ιλύς στον πυθμένα μιας θάλασσας. Η ασβεστολιθική ιλύς με την πάροδο του χρόνου αποκτά μεγάλο πάχος (εκατοντάδες ή και χιλιάδες μέτρα) και σκληραίνει, μετατρέπόμενη σε ασβεστόλιθο. Στον ασβεστόλιθο οι κόκκοι του ασβεστίτη είναι πολύ μικροί και δεν γίνονται ορατοί παρά μόνο τοπικά ή σε φλεβώσεις. Όταν όμως ο ασβεστόλιθος βρεθεί σε βαθύτερα μέρη του φλοιού της γης, εκεί όπου επικρατούν υψηλότερες πιέσεις και θερμοκρασίες από τις συνήθεις, υφίσταται την λεγόμενη *μεταμόρφωση*, δηλαδή μεταμορφώνεται σε ένα άλλο πέτρωμα που αποτελείται και αυτό από ασβεστίτη, αλλά έχει αλλάξει ιστό, δηλαδή κοκκομετρική σύσταση. Τότε οι αρχικοί μικροί κόκκοι, με μια διεργασία που ονομάζεται

<sup>24</sup> Λατομεία μαρμάρου και οι συνδεδεμένες με αυτά εγκαταστάσεις επεξεργασίας του υπάρχουν σε 43 νομούς της χώρας, ενώ τα αποθέματα των κοιτασμάτων μαρμάρου χαρακτηρίζονται από τους ειδικούς ως πρακτικώς ανεξάντλητα.

<sup>25</sup> Παρά το γεγονός ότι το μάρμαρο είναι ένα υλικό του οποίου η ύπαρξη και η χρήση είναι γνωστή από την αρχαιότητα, η παραγωγή του έχει σχεδόν πενταπλασιαστεί τα τελευταία χρόνια, ενώ ανάλογη πρόοδο παρουσιάζουν και οι εξαγωγές των μαρμαρικών προϊόντων (κατεργασμένων και ακατέργαστων).

<sup>26</sup> Η ονομασία αυτή προήλθε από την ελληνική γλώσσα και διαδόθηκε και στις άλλες γλώσσες με παραλλαγές (π.χ. marmo στην Ιταλική γλώσσα, marmor στη Γερμανική, marble στην Αγγλική, marbre στη γαλλική, mármol στην Ισπανική, marmo στη Ρωσική).

<sup>27</sup> Τα ιζηματογενή πετρώματα είναι μια από τις τρεις βασικές κατηγορίες ταξινόμησης των πετρωμάτων (ιζηματογενή, εκρηξιγενή και μεταμορφωμένα). Περιλαμβάνουν πετρώματα που σχηματίστηκαν από την αποσάθρωση (την καταστροφή λόγω συγκεκριμένων φυσικοχημικών διεργασιών) άλλων πετρωμάτων, εκρηξιγενών ή μεταμορφωμένων, που προϋπήρχαν σε άλλες περιοχές. Τα προϊόντα της αποσάθρωσης (εύθρυπτα ή ευδιάλυτα υλικά) απομακρύνθηκαν από την αρχική τους θέση, κυρίως με το νερό της βροχής και μεταφέρθηκαν σε κατάλληλους για ιζηματογένεση χώρους (γεωσύγκλινα), όπου αποτέθηκαν και άρχισαν έτσι να δημιουργούνται τα πετρώματα αυτής της κατηγορίας [2].

*ανακρυστάλλωση*, ενώνονται και σχηματίζουν μεγαλύτερους που είναι ορατοί ακόμα και με γυμνό μάτι. Το καινούριο πέτρωμα που σχηματίζεται με αυτή τη διαδικασία είναι το *μάρμαρο* [3].

Με την εμπορική ονομασία “μάρμαρο” χαρακτηρίζονται, εκτός από τα κατεξοχήν ή τα γνήσια μάρμαρα, δηλαδή αυτά που η γεωλογική επιστήμη χαρακτηρίζει σαν μάρμαρα και μια σειρά από άλλα πετρώματα, τα οποία επιδέχονται κοπή σε σχετικά λεπτές πλάκες, λείανση και στίλβωση, ώστε να χρησιμοποιηθούν ως διακοσμητικά ή δομικά υλικά. Τέτοια πετρώματα είναι οι ασβεστόλιθοι, οι δολομίτες, οι σερπεντινίτες, ορισμένα κροκκαλοπαγή, το αλάβαστρο κ.ά.

Πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός από τα πετρώματα αυτά που χαρακτηρίζονται με την εμπορική ονομασία “μάρμαρο”, χρησιμοποιούνται, κυρίως σε χώρες του εξωτερικού, για τις ίδιες ή παρεμφερείς χρήσεις, διάφορα πυριγενή πετρώματα<sup>28</sup>, τα οποία είναι γνωστά με το γενικό όρο “γρανίτες”. Όπως συμβαίνει και με τα “μάρμαρα”, στα πετρώματα που χαρακτηρίζονται με την εμπορική ονομασία “γρανίτες”, περιλαμβάνονται και άλλα πετρώματα εκτός από τους γνήσιους γρανίτες [5].

### **Είδη μαρμάρων**

Τα διάφορα πετρώματα που εξορύσσονται και χρησιμοποιούνται από τη μαρμαρική βιομηχανία στην Ελλάδα και τα οποία χαρακτηρίζονται συνήθως με τον εμπορικό όρο “μάρμαρο”, είναι τα εξής:

### **Γνήσια Μάρμαρα**

Ως γνήσια μάρμαρα χαρακτηρίζονται εκείνα που ανταποκρίνονται στον ορισμό του μαρμάρου, όπως τον δίνει η γεωλογία (πετρολογία), δηλαδή είναι τα πετρώματα που προέρχονται από τη μεταμόρφωση ανθρακικών ή δολομιτικών ιζημάτων και ασβεστόλιθων. Στο πρώτο στάδιο της μεταμόρφωσης των ασβεστόλιθων προκύπτουν οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, που με την περαιτέρω μεταμόρφωσή τους σχηματίζουν τα μάρμαρα. Η αρχική σύσταση των ασβεστό-λιθων από τους οποίους προέρχονται τα μάρμαρα, καθώς και ο βαθμός της μεταμόρφωσής τους, είναι οι κυριότεροι παράγοντες με βάση τους οποίους τα μάρμαρα διακρίνονται σε ποιότητες.

Το κύριο ορυκτολογικό συστατικό του μαρμάρου είναι ο ασβεστίτης, με χημικό τύπο  $\text{CaCO}_3$ , που σχηματίζει κρυστάλλια με τέλειο σχισμό κατά τρεις διευθύνσεις, παράλληλες με τις έδρες ενός ρομβόεδρου. Ο σχισμός αυτός προκαλεί τις τοπικές ανακλάσεις του φωτός στις σχισμογενείς έδρες των κρυστάλλων του ασβεστίτη, που ονομάζονται “μαρμαρυγή”. Η σκληρότητα MOHS του ασβεστίτη είναι 3 και το ειδικό του βάρος 2,7, οπότε το μάρμαρο είναι ένα σχετικά μαλακό πέτρωμα. Εκτός από ασβεστίτη, το μάρμαρο μπορεί να περιέχει σε μικρό ή μεγάλο ποσοστό και δολομίτη ( $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$ ), ο οποίος όμως το καθιστά περισσότερο εύθραυστο και το κάνει να σπιλβώνεται δυσκολότερα και να φθείρεται ταχύτερα.

Στην περίπτωση αυτή το μάρμαρο ονομάζεται *δολομιτικό μάρμαρο*. Εκτός από τα παραπάνω δύο ανθρακικά ορυκτά, το γνήσιο μάρμαρο μπορεί να περιλαμβάνει και άλλα ορυκτά, είτε πυριτικά όπως χαλαζίας, μοσχοβίτης, φλογωπίτης, σερικήτης, πυρόξενος, χλωρίτης κ.ά. είτε άλλα ορυκτά όπως αιματίτης, λειμονίτης, σιδηροπυρίτης, μαγνητίτης, γραφίτης κ.ά. Τα ορυκτά αυτά, που συνήθως περιέχονται στο μάρμαρο σε μικρές ποσότητες, του προσδίδουν διάφορες αποχρώσεις. Όταν τα πυριτικά ορυκτά αφθονούν, το μάρμαρο παίρνει πράσινο, τεφροπράσινο ως τεφρό χρώμα και ονομάζεται *πυριτικό μάρμαρο*. Μερικές φορές το μάρμαρο περιέχει τα πυριτικά ορυκτά σε παράλληλες στρώσεις, οι οποίες, σε μια επίπεδη επιφάνεια, εμφανίζονται σαν πράσινες ως τεφροπράσινες ή σταχτιές ταινίες και οι οποίες εναλλάσσονται με λευκές ταινίες από καθαρό ασβεστίτη. Το μάρμαρο αυτό καλείται *σιπολλίνη*.

Ανάλογα με το μέγεθος των κρυσταλλικών κόκκων τους, τα μάρμαρα διακρίνονται σε λεπτοκοκκώδη (μέγεθος κόκκων 0,01-0,5 mm), σε μεσοκοκκώδη (μέγεθος κόκκων 0,5-2 mm) και σε χονδροκοκκώδη (μέγεθος κόκκων 2-6 mm). Τα λεπτοκοκκώδη μάρμαρα θεωρείται ότι έχουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή από τα χονδροκοκκώδη, η οποία όμως εξαρτάται και από την ιστολογική κατασκευή τους.

Ανάλογα με το είδος, τη διανομή και το ποσοστό συμμετοχής των μη ανθρακικών ορυκτολογικών συστατικών, τα μάρμαρα παρουσιάζουν τεφρούς, κυανο-τέφρους ως τεφροπράσινους χρωματισμούς. Το χρώμα των γνήσιων μαρμάρων είναι συνήθως λευκό ή λευκότεφρο και οφείλεται στα άχρα ορυκτά όπως ο ασβεστίτης, ο χαλαζίας, οι άστριοι κ.ά. Τα καθαρά και λεπτόκοκκα ασβεσπιτικά μάρμαρα, λευκά ή χιονόλευκα, είναι πολύ σπάνια<sup>29</sup>. Όταν το φως ανακλάται ολικά ή διαχέεται πάνω στην επιφάνεια του μαρμάρου, τότε αυτό παρουσιάζει λευκό χρώμα. Οι ποικίλοι τόνοι του τεφρού χρώματος οφείλονται στην παρουσία χαλαζία, αστρίων και μαρμαρυγιών. Τα μάρμαρα μερικές φορές έχουν και μαύρο, πρασινωπό, κίτρινο ή καστανό, ερυθρό χρώμα, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις παρουσιάζουν αποχρώσεις κατά ζώνες. Το μαύρο χρώμα των μαρμάρων οφείλεται συνήθως στην παρουσία οργανικών ουσιών ή σιδηρο-ξειδίων ή μαγγανιούχων οξειδίων [7].

<sup>28</sup> Εκρηξιγενή ή πυριγενή πετρώματα είναι όλα τα πετρώματα που σχηματίστηκαν από την άνοδο και κρυστάλλωση του μάγματος που βρίσκεται εγκλωβισμένο σε εστίες στα βαθύτερα στρώματα του στερεού φλοιού της γης [4].

<sup>29</sup> Τέτοιου είδους μάρμαρα είναι της Πεντέλης και της Πάρου στον ελληνικό χώρο και της Καράρα στην Ιταλία. Η θαυμάσια εμφάνιση των μαρμάρων αυτών οφείλεται στη διαφάνειά τους καθώς και στην ιδιότητά τους να ανακλούν το φως. Στα περιζήτητα διεθνώς λευκά μάρμαρα ανήκει και ο δολομίτης της Θάσου (χιονόλευκο χρώμα) [6].



## Οι Ασβεστόλιθοι

Οι ασβεστόλιθοι έχουν την ίδια χημική και ορυκτολογική σύσταση με τα γνήσια μάρμαρα, διαφέρουν όμως ως προς την κοκκομετρική τους σύνθεση, αφού οι κόκκοι τους έχουν διαστάσεις μικρότερες από 0,01 mm και δεν είναι ορατοί ούτε μακροσκοπικά ούτε με το μικροσκόπιο. Επίσης οι ασβεστόλιθοι δεν διαθέτουν τη χαρακτηριστική μαρμαρυγή των γνήσιων μαρμάρων και έχουν μικρότερη μηχανική αντοχή από αυτά.

Το κύριο ορυκτολογικό συστατικό του ασβεστόλιθου είναι ο ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ). Ο τυπικός ασβεστόλιθος περιέχει ασβεστίτη σε ποσοστό τουλάχιστον 90% και μέχρι 10% δολομίτη και ονομάζεται *μαγνησιούχος ασβεστόλιθος*, ενώ όταν ο δολομίτης περιέχεται σε μεγαλύτερη ποσότητα, το πέτρωμα ονομάζεται *δολομιτικός ασβεστόλιθος*. Τα υπόλοιπα ορυκτολογικά συστατικά των ασβεστό-λιθων είναι αργιλικά ορυκτά, ανθρακούχες ουσίες, πυριτία, χαλαζίας ή χαλκηδό-νιος, άστριοι, δολομίτης, αιματίτης-λείμωνίτης, σιδηρίτης και σιδηροπυρίτης, οξειδία του μαγγανίου κ.ά.

Το χρώμα των ασβεστόλιθων ποικίλλει ανάλογα με τις προσμίξεις που περιέχουν και σχετίζεται σε πολλές περιπτώσεις και με το χρώμα της ιζηματο-γένεσης. Έτσι π.χ. οι μαύροι ασβεστόλιθοι σχηματίστηκαν σε αβαθή νερά, κοντά σε παράκτιες ζώνες όπου παρασύρθηκαν διάφοροι χερσαίοι οργανισμοί. Οι κόκκινοι και ροδόχροοι οφείλουν το χρώμα τους σε οξειδία του σιδήρου (αιματίτη), ενώ οι γκριζοκίτρινοι στην παρουσία διθειούχου σιδήρου.

Τα κυριότερα είδη ασβεστόλιθων που ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι:

- ◆ *Οι σπιφροί ασβεστόλιθοι:* Αυτοί αποτελούνται γενικά από κρυστάλλους ασβεστίτη διαμέτρου μικρότερης από 10 μικρά (μ). Σποραδικά όμως παρουσιάζουν και μεγαλύτερους κρυστάλλους ασβεστίτη μεμονωμένους ή συγκεντρωμένους σε φλεβίδια.
- ◆ *Οι λιθογραφικοί ασβεστόλιθοι:* Μοιάζουν με τους προηγούμενους με τη διαφορά ότι περιέχουν και αργιλικά και πυριτικά ορυκτά σε ποσοστό 5-6%<sup>30</sup>.
- ◆ *Οι κονδυλώδεις ασβεστόλιθοι:* Οι ασβεστόλιθοι αυτοί μοιάζουν εκ πρώτης όψεως με κροκκαλοπαγή<sup>31</sup>. Περιέχουν κονδύλους σε μέγεθος καρυδιού, δηλαδή συγκρίματα καθαρού ασβεστιτικού υλικού ακανόνιστου σχήματος, ενώ η περιβάλλουσα μάζα περιέχει και αργιλικά ορυκτά. Το χρώμα τους συνήθως είναι κόκκινο ως καστανό<sup>32</sup>.
- ◆ *Οι ωολιθικοί ασβεστόλιθοι:* Αυτοί αποτελούνται από σφαιροειδή μέχρι ελλειψοειδή ή ωοειδή σωμάτια που ονομάζονται ωόλιθοι και έχουν συνήθως τις διαστάσεις κεφαλιού καρφίτσας, ενίοτε όμως και μεγαλύτερες.
- ◆ *Οι βιογενείς ασβεστόλιθοι:* Στους βιογενείς ασβεστόλιθους εγκλείονται περισσότερο ή λιγότερο καλά διατηρημένα λείψανα απολιθωμένων οργανισμών και κυρίως οι σκληροί σχηματισμοί αυτών, δηλαδή τα κελύφη και οι σκελετοί. Οι σχηματισμοί αυτοί περιέχονται είτε ολόκληροι είτε υπό μορφή

<sup>30</sup> Στην Ελλάδα τέτοιοι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται στην Ακαρνανία ("μάρμαρο" Αστακού), Ήπειρο και Λευκάδα.

<sup>31</sup> Τα διάφορα κροκκαλοπαγή είναι πετρώματα που αποτελούνται από στρογγυλεμένους λίθους, μεγέθους 5 ως 25 εκατοστά περίπου, συγκολλημένους μεταξύ τους με φυσική ορυκτά κόλλα (ασβεστολιθικό ή πυριτικό συγκολλητικό υλικό) [8].

<sup>32</sup> Στην κατηγορία αυτή ανήκουν π.χ. τα "μάρμαρα" της Δόμβραιναιας.

θραυσμάτων<sup>33</sup>. Οι ασβεστόλιθοι βιογενούς προέλευσης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους απολιθώματα έχουν και αντίστοιχες ονομασίες, όπως π.χ. αμμωνιτοφόροι ασβεστόλιθοι όταν τα απολιθώματα είναι αμμωνίτες.

- ◆ *Οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι:* Αυτοί είναι μεταβατικές μορφές μεταξύ ασβεστόλιθων και γνήσιων μαρμάρων και αποτελούνται από στιφρή ασβεστολιθική μάζα που περιέχει και ορατούς με το μικροσκόπιο κρυστάλλους ασβεστίτη.
- ◆ *Οι τραβερτίνες:* Αυτοί είναι ασβεστόλιθοι που έχουν αποτεθεί από εξάτμιση πηγαίων ή ποτάμιων υδάτων. Η καθίζηση επιταχύνθηκε από την παρουσία υδροχαρών φυτών, τα οποία παρέμειναν ως εγκλείσματα και τα οποία αργότερα αποσυντέθηκαν, αφήνοντας τους αντίστοιχους πόρους και κοιλότητες που αποτελούν το χαρακτηριστικό γνώρισμα του τραβερτίνη. Οι τραβερτίνες συνήθως έχουν χρώμα κιτρινωπό, μερικές φορές όμως και ερυθρωπό που οφείλεται στην παρουσία υδροξειδίων του σιδήρου<sup>34</sup>.
- ◆ *Το “όνυχοειδές μάρμαρο”:* Το “όνυχοειδές μάρμαρο” ή απλώς “όνυχας” μοιάζει αλλά δεν έχει καμία άλλη σχέση με τον ομώνυμο ημιπολύτιμο λίθο που όπως είναι γνωστό είναι ένας χαλκηδόνιος. Το συμπαγές αυτό πέτρωμα παρουσιάζει ταινιώδη όψη λόγω των έγχρωμων και διαφανών στρώσεων ασβεστίτη και/ή αραγωνίτη. Οι κρύσταλλοι ασβεστίτη σχηματίστηκαν από όμβρια νερά, πλούσια σε ανθρακικό ασβέστιο, που κυκλοφορούσαν μέσα σε ανθρακικά πετρώματα. Τα κοιτάσματα του πετρώματος αυτού δημιουργήθηκαν σε κενούς χώρους ή έγκοιλα ανθρακικών πετρωμάτων, ή με τη μορφή σταλακτιτών και σταλαγμιτών μέσα σε σπηλιές και είναι μικρά σε όγκο<sup>35</sup>.

### **Οι σερπεντινίτες και τα συγγενή πετρώματα**

Σχηματίζονται από μεταμόρφωση περιδοτιτών και αποτελούνται κυρίως από σερπεντίνη. Άλλα συστατικά τους μπορεί να είναι ο τάλκης, ο χλωρίτης, ο ασβεστίτης και ο μαγνητίτης<sup>36</sup>. Όταν ο ασβεστίτης βρίσκεται σε υψηλή περιεκτικότητα, το πέτρωμα ονομάζεται *οφιτοασβεστίτης*. Πολλές φορές τα πετρώματα αυτά έχουν την απαιτούμενη μηχανική αντοχή, η οποία οφείλεται σε πολλές περιπτώσεις σε μεταγενέστερη ανακρυστάλλωση και είναι και επιδε-κτικά στιλβώσεως, ώστε να είναι κατάλληλα για χρήσεις ανάλογες των μαρμάρων.

<sup>33</sup> Στην Ελλάδα γνωστοί βιογενείς ασβεστόλιθοι είναι το “μάρμαρο” της Βυτίνας, το “μάρμαρο” της Επιδαύρου, το “σουσαμί μάρμαρο” των Ιωαννίνων κ.ά.

<sup>34</sup> Στην Ελλάδα τραβερτίνες βρίσκονται στην περιοχή της Έδεσσας, στα νησιά Σάμο και Σκύρο κ.ά.

<sup>35</sup> Κοιτάσματα “όνυχα” υπάρχουν στην Κρήτη, γίνεται όμως εισαγωγή και από το Πακιστάν και την Αργεντινή.

<sup>36</sup> Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα πράσινα “μάρμαρα” της Τήνου και το πράσινο “μάρμαρο” του Ομορφοχωρίου.

## Γρανίτες

Με την εμπορική ονομασία “γρανίτες” χαρακτηρίζονται όλα τα πλουτώνια πετρώματα<sup>37</sup> που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ανάλογο τρόπο με τα “μάρμαρα”, χωρίς να είναι πάντοτε πραγματικοί γρανίτες. Στην Ελλάδα μέχρι στιγμής τα πετρώματα αυτά σχεδόν εξ’ ολοκλήρου εισάγονται από το εξωτερικό, ενώ σιγά σιγά έχουν αρχίσει οι πρώτες προσπάθειες για την εκμετάλλευσή τους<sup>38</sup>. Οι γρανίτες παρουσιάζουν γενικά μεγαλύτερη μηχανική αντοχή από τα μάρμαρα, καθώς και μεγαλύτερη αντοχή 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 απουσία πλαγιόκλαστων και στους ασβεσταλκαλικούς, όπου οι αλκαλικοί άστριοι εμφανίζονται γενικά σε μικρές αναλογίες [10].

Στο Παράρτημα Ι αναφέρονται οι κυριότερες μαρμαροφόρες περιοχές της Ελλάδας.

## Ορυκτολογική-Χημική σύσταση των μαρμάρων

### Ορυκτολογική σύσταση

Ο προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης δίνει ενδεικτικά στοιχεία για την ικανότητα επεξεργασίας του υλικού και τη συμπεριφορά του σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Τα σημαντικότερα ορυκτά συστατικά των ανθρακικών πετρωμάτων είναι ο ασβεστίτης, ο χαλαζίας, ο μοσχοβίτης, ο βιοτίτης, οι καλιοϋχοί άστριοι και τα πλαγιόκλαστα. Άλλα επουσιώδη ορυκτά (εκτός από την περίπτωση των δολομιτικών μαρμάρων) είναι ο δολομίτης, ο αραγωνίτης, ο χλω-ρίτης, ο μαγνησίτης, ο καολινίτης, ο τάλκης, ο σερπεντίνης, ο γραφίτης, το επί-δοτο, ο σιδηροπυρίτης, ο μαγνητίτης, ο αιματίτης, ο ολιβίνης κ.ά. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται κατά σειρά αφθονίας τα θεμελιώδη και τα επουσιώδη ορυκτά συστατικά των ανθρακικών πετρωμάτων (είδος των οποίων αποτελούν τα μάρμαρα) με το βαθμό σκληρότητας, το επικρατέστερο χρώμα και την κύρια κρυσταλλική τους ανάπτυξη [11].

### Χημική σύσταση

Η χημική σύσταση, σε συνδυασμό με την ορυκτολογική σύσταση, δίνει σαφή και ολοκληρωμένη εικόνα του μαρμάρου, προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα ποικίλα θέματα κοπής, επεξεργασίας και χρήσεων του. Σε σχέση με τη μέση

**Πίνακας 4.1:** Θεμελιώδη και επουσιώδη ορυκτά συστατικά των ανθρακικών πετρωμάτων.

Ορυκτό	Σκληρότητα	Χρώμα	Κρυσταλλική μορφή
<b>Ασβεστίτης</b>	3	άχρωμο, λευκό	ρομβοεδρική
<b>Αραγωνίτης</b>	4	άχρωμο, λευκό	βελονοειδής
<b>Δολομίτης</b>	3,5-4	λευκό ως καστανό	ρομβοεδρική
<b>Μαγνησίτης</b>	3,5-4	λευκό	στιφρή
<b>Χουντίτης</b>	3,5	λευκό	στιφρή
<b>Ανκερίτης</b>	3,5-4	λευκό ως καστανό	ρομβοεδρική
<b>Σιδηρίτης</b>	4	καστανό	βοτρυοειδής
<b>Ροδοχρωσίτης</b>	4	ρόδινο	πρισματική
<b>Χαλαζίας/ Χαλκηδόνιος</b>	7	άχρωμο, λευκό	βραχυπρισματική
<b>Ορθόκλαστο</b>	6	λευκό, σαρκόχρωμο	πλακώδης
<b>Πλαγιόκλαστο</b>	6	λευκό, σαρκόχρωμο	φυλλώδης
<b>Μοσχοβίτης/ Σερικίτης</b>	2,5-3	αργυρόλευκο	φυλλώδης

<sup>37</sup> Πλουτώνια πετρώματα είναι αυτά που σχηματίστηκαν με τη στερεοποίηση του μάγματος υπό συνθήκες υψηλής πίεσης (υπερκείμενα πετρώματα), βραδείας ψύξης και χωρίς διαφυγή των αερίων του μάγματος. Κύριο γνώρισμά τους είναι η τέλεια κρυστάλλωση της μάζας τους, γι’ αυτό και χαρακτηρίζονται και ως ολοκρυσταλλικά πετρώματα [9].

<sup>38</sup> Στην Ελλάδα, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν γρανίτες σε πολλές περιοχές (Καβάλα, Δράμα, Σέρρες, Χαλκιδική, Ξάνθη, Τήνος, Μύκονος, Ικαρία κ.ά.), δεν γίνεται εξόρυξη λόγω του υψηλού κόστους εξόρυξης και επεξεργασίας.

<b>Χλωρίτης</b>	2-2,5	πράσινο	φυλλώδης
<b>Καολινίτης</b>	2-2,5	λευκό, κίτρινο	φυλλώδης
<b>Τάλκης</b>	1	ανοικτοπράσινο	φυλλώδης
<b>Σερπεντίνης</b>	3,5-4	σκουροπράσινο	πλακώδης
<b>Γραφίτης</b>	1-2	τεφρόμαυρο	φυλλώδης
<b>Φλογοπίτης</b>	2,5-3	ερυθροκάστανο	φυλλώδης
<b>Επίδοτο</b>	6	πρασινόμαυρο	μακροπρισματική
<b>Ζοϊσίτης</b>	6	ανοικτοπράσινο	μακροπρισματική
<b>Σιδηροπυρίτης</b>	6-6,5	κίτρινο	κυβική
<b>Μαγνητίτης</b>	5,5-6,5	μαύρο	οκταεδρική
<b>Χρωμίτης</b>	5,5	καστανόμαυρο	οκταεδρική
<b>Αιματίτης</b>	5,5-6,5	καστανέρυθρο	πλακώδης
<b>Λειμωνίτης</b>	5	καστανοκίτρινο	νεφροειδής
<b>Βρουσίτης</b>	2,5	λευκό ως πράσινο	φυλλώδης, ινώδης
<b>Ολιβίνης</b>	6,5-7	λαδοπράσινο	βραχυπρισματική
<b>Γρανάτης</b>	6,5-7,5	ερυθροκάστανο	δωδεκαεδρική
<b>Διοψίδιος</b>	5,5-6,5	πράσινο	βραχυπρισματική
<b>Τρεμολίτης</b>	5-6	τεφρό	νηματώδης
<b>Βολλαστονίτης</b>	4,5-5	λευκό	ινώδης

**Πηγή:** Τσιραμπίδης Α.Ε., **Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα**, Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσσαλονίκη, 1996, σελ. 94.

σύσταση των παγκόσμιων ανθρακικών πετρωμάτων, τα ελληνικά μάρμαρα είναι πολύ καθαρότερα, δηλαδή δεν περιέχουν ξένες προσμίξεις. Τόσο στα δολομιτικά όσο και στα ασβεστιτικά μάρμαρα, για καθένα από τα οξείδια των στοιχείων Al, Fe, Mn, Ti, Na και K, η αναλογία τους (κατά βάρος %) είναι <0,02%. Η χημική σύσταση (κ.β.%) διάφορων δειγμάτων μαρμάρων που έχουν αναλυθεί παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.2. Επιπλέον, η παρουσία επιβλαβών για την υγεία του ανθρώπου ή για το περιβάλλον στοιχείων ή ιχνοστοιχείων βρίσκεται σε πολύ κατώτερα όρια από τα διεθνή όρια. Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζεται η κατανομή των ιχνοστοιχείων (ppm) δειγμάτων μαρμάρων που αναλύθηκαν. Οι πίνακες 4.2 και 4.3 παρατίθενται στο Παράρτημα ΙΙ. Η αφθονία των ιχνοστοιχείων, όπως διαπιστώνεται, είναι μεγαλύτερη στα ασβεστιτικά μάρμαρα παρά στα δολομιτικά. Τόσο στους δολομίτες (στήλες 1-5) όσο και στα ασβεστιτικά μάρμαρα (στήλες 6-12), το αφθονότερο ιχνοστοιχείο είναι το Sr με τιμές 25 ως 63 ppm και 113 ως 243 ppm αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι περίπου 2-20 φορές μικρότερες του παγκόσμιου μέσου όρου των ανθρακικών πετρωμάτων για το συγκεκριμένο ιχνοστοιχείο (610 ppm). Επίσης οι συγκεντρώσεις άλλων επιβλαβών ιχνοστοιχείων (π.χ. Cr, Ni, Zn, Ba, Pb, U κ.ά.) είναι πολύ κατώτερες του παγκόσμιου μέσου όρου των ίδιων πετρωμάτων. Σε αρκετά δείγματα που αναλύθηκαν, κάποια από τα παραπάνω ιχνοστοιχεία δεν ανιχνεύτηκαν [12].

Εξαιρέση αποτελεί η περίπτωση του τεφροπράσινου κρυσταλλικού ασβεστό-λίθου της περιοχής Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας, ο οποίος, εκτός των ορυκτολογικών συστατικών του (98% ασβεστίτης, 2% δολομίτης, ίχνη μοσχοβίτη, χαλαζία, αστρίων, χλωρίτη, τάλκη, αργιλικών ορυκτών (καολινίτη, σμεκτίτη) και μεταλλικών ορυκτών), περιέχει και αρκετά ιχνοστοιχεία. Μεταξύ των ιχνοστοιχείων (ppm) αυτών επικρατούν τα Sr (376), Zn (29), Ni (26), Cr (11) και Ba (10), από τα οποία το Sr περιέχεται σε πολύ μικρότερη αναλογία σε σχέση με τον παγκόσμιο μέσο όρο του. Όμως υπάρχουν και ορισμένα ιχνοστοιχεία, όπως το As και το Se, των οποίων η περιεκτικότητα είναι πολύ υψηλότερη σε σχέση με τον παγκόσμιο μέσο όρο τους σε ανθρακικά πετρώματα (As: 8 ppm έναντι παγκόσμιου Μ.Ο. 1 ppm, Se: 7 ppm έναντι παγκόσμιου Μ.Ο. 0,08 ppm, Cd: 0,03 ppm έναντι 0,09 ppm, Cu: 6 ppm έναντι 4 ppm, Co: 2,5 ppm έναντι 0,1 ppm, Zn: 29 ppm έναντι 20 ppm, Sn: 1,3 ppm έναντι 0,3<sup>39</sup> ppm, κ.ά.). Έτσι, το Sr παρουσιάζεται αυξημένο κατά 70 φορές στον κρυσταλλικό ασβεστόλιθο, το Sn κατά 13 φορές, το Cd κατά 9 φορές και το As κατά 8 φορές. Το μεγαλύτερο ποσοστό του As πιθανώς θα απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα σαν φάση εξάτμισης κατά τη διάρκεια του καθαρισμού εν θερμώ του συγκεκριμένου κρυσταλλικού ασβεστόλιθου. Οι παγκόσμιες εκπομπές του As είναι 18,9 Kt/y από ανθρώπινες πηγές και 12,2 Kt/y από φυσικές πηγές

<sup>39</sup> Αφορά τάξη μεγέθους.

(σύνολο 31,1 Kt/y). Πολλές χώρες θεωρούν το As σαν έναν από τους ρυπαντές υψηλής προ-τεραιότητας, αλλά τα όρια για τις εκπομπές του στην ατμόσφαιρα ποικίλουν πολύ στις διάφορες χώρες και για διαφορετικές ανθρώπινες δραστηριότητες. Είναι δυνατό να μειωθούν με τη χρήση καινούριας τεχνολογίας. Λαμβάνοντας επομένως υπόψη τις επιζήμιες επιπτώσεις του As, ειδικά στην υγεία, η εξάτμιση του As κατά τον καθαρισμό εν θερμώ του κρυσταλλικού ασβεστόλιθου του Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας, μπορεί να θεωρηθεί μεγάλης περιβαλλοντικής σημασίας και χρήζει ιδιαίτερης αντιμετώπισης [13].

## Φυσικομηχανικές-Τεχνικές ιδιότητες των μαρμάρων

Τα μάρμαρα χρησιμοποιούνται στην οικοδομική για διακοσμητικούς κυρίως λόγους. Η ποιότητα συνεπώς παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή των μαρ-μάρων (και γενικά των διακοσμητικών πετρωμάτων), επηρεάζει την καταλλη-λότητα για χρήση τους σε διάφορες εφαρμογές και καθορίζεται από μια σειρά παραγόντων, όπως η χρωματική και αισθητική τους εμφάνιση, η παρουσία ή όχι φλεβιδίων, η διάταξη και το χρώμα τους, η παρουσία και η συχνότητα εγκλεισμάτων (κονδύλων, λατύπων κ.ά.) και “λεκέδων”. Εκτός όμως από τα παραπάνω χαρακτηριστικά που καθορίζουν την αισθητική αξία των μαρμάρων και θεωρούνται σαν υποκειμενικά<sup>40</sup>, εξαιρετικά σημαντικό ρόλο παίζουν οι φυσικομηχανικές και τεχνικές τους ιδιότητες. Η γνώση τους θεωρείται απαραίτητη, τόσο για τον αντικειμενικό προσδιορισμό της ποιότητας, την πρόβλεψη της καταλληλότερης χρήσης και της συμπεριφοράς τους στην οικοδομή ή αλλού με την πάροδο του χρόνου, όσο και για τον καθορισμό της εμπορικής ή αγοραστικής τους αξίας με τελικό στόχο την καλύτερη προβολή τους στην αγορά. Τα τελευταία χρόνια οι φυσικομηχανικές και τεχνικές ιδιότητες των μαρμάρων χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για τον καθορισμό της συμπεριφοράς τους κατά την εξόρυξη, κοπή και κατεργασία τους.

Οι ιδιότητες των μαρμάρων και των άλλων διακοσμητικών πετρωμάτων προσδιορίζονται με δοκιμές στις οποίες υπόκεινται διάφορα δοκίμια μαρμάρων. Οι εργαστηριακές αυτές δοκιμές θα πρέπει να γίνονται με βάση κάποιο από τα διεθνή πρότυπα (standards). Τα τρία κυριότερα πρότυπα σε παγκόσμιο επίπεδο είναι το Ιταλικό U.N.I., το Γερμανικό D.I.N<sup>41</sup>, το Βρετανικό B.S. και το Αμερι-κάνικο A.S.T.M. Όσον αφορά στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τα τελευταία χρόνια προετοιμάζονται οι νέες ευρωπαϊκές προδιαγραφές EN για τα φυσικά δια-κοσμητικά πετρώματα μέσω της Τεχνικής Επιτροπής CEN/TC 246, έχουν τεθεί σε εφαρμογή οι πρώτες προδιαγραφές και παράλληλα προετοιμάζονται και οι υπόλοιπες, οι οποίες θα είναι υποχρεωτικές για όλα τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στην Ελλάδα υπάρχουν σχέδια προτύπων που πρόκειται να εκδοθούν από τον ΕΛΟΤ και βρίσκονται υπό επεξεργασία. Ο Πίνακας 4.4 παρουσιάζει σχέδια προτύπων του ΕΛΟΤ που περιλαμβάνουν προδιαγραφές για τα μάρμαρα, ανάλογα με τη χρήση.

Οι μέχρι σήμερα διεθνώς παραδεκτές και απαραίτητες φυσικομηχανικές και τεχνικές ιδιότητες των μαρμάρων περιγράφονται στη συνέχεια [15].

<sup>40</sup> Αυτό συμβαίνει γιατί αυτοί οι τρεις παράγοντες δεν μπορούν να ελεγχθούν με κάποιες δοκιμές ή να εκφραστούν με κάποιους αριθμούς.

<sup>41</sup> Στη Γερμανία δεν υπάρχει ειδική προδιαγραφή που να αφορά εκτέλεση οικοδομικών έργων ή συγκεκριμένες εφαρμογές ειδικά για μάρμαρα [14].

**Πίνακας 4.4:** Απαιτούμενες ιδιότητες μαρμάρων σύμφωνα με σχέδια προτύπων του ΕΛΟΤ.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	
	Εξωτερικές επενδύσεις	Δαπεδοστρώσεις
Υδαταπορρόφηση, max	0,5%*	0,5%*
Φαινομ. Ειδικό Βάρος (gr/cm <sup>3</sup> )		
Ασβεστόλιθου	2,6	2,6
Δολομίτη	2,8	2,8
Σερπεντίνη	2,7	2,7
Τραβερίνη	2,3	2,3
Αντοχή σε θλίψη, min	7500 psi	50 MPa
	ή 510 kgr/cm <sup>2</sup>	510 kgr/cm <sup>2</sup>
Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη, min	1000 psi	6,7 MPa
	ή 68 kgr/cm <sup>2</sup>	68 kgr/cm <sup>2</sup>
Αντοχή σε φθορά από τριβή, max	-	25 cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> **

\* Αν η υδαταπορρόφηση είναι μεγαλύτερη από 0,5% πρέπει να γίνεται δοκιμή αντοχής στον παγετό.

\*\* Μέθοδος ελέγχου: ΕΛΟΤ.

Πηγή: Αποστολίδης Ν.Χ., **Εκμετάλλευση Μαρμάρων**, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1991, σελ. σελ. 33.

## Φυσικές ιδιότητες των μαρμάρων

### Ειδικό βάρος και φαινόμενο ειδικό βάρος (A.S.T.M. C 97-47 / DIN 521103 /1A/ DIN 521021)

*Ειδικό βάρος* είναι ο λόγος του βάρους του πετρώματος προς τον όγκο του. Επειδή όμως το μάρμαρο είναι φυσικό στερεό υλικό, δεν είναι εξ' ολοκλήρου συμπαγές, αλλά περιέχει πόρους, κοιλότητες και κενά ανάμεσα στους κόκκους ή στους κρυστάλλους. Γι' αυτό το λόγο υπάρχουν δύο όγκοι, ο *φαινόμενος όγκος*  $V_{\phi}$ , που είναι ο όγκος του πετρώματος μαζί με τα κενά και ο *πραγματικός ή απόλυτος όγκος*  $V_{\pi}$ , που είναι ο όγκος του πετρώματος χωρίς τα κενά. Κατά συνέπεια υπάρχουν και δύο ειδικά βάρη, το *φαινόμενο ειδικό βάρος*  $E_{\phi} = B/V_{\phi}$  και το *πραγματικό ειδικό βάρος*  $E_{\pi} = B/V_{\pi}$ . Το πραγματικό ειδικό βάρος είναι πάντοτε μεγαλύτερο από το φαινόμενο, το οποίο όμως είναι πιο χρήσιμο στην πράξη<sup>42</sup>. Άλλες φυσικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται για ειδικούς σκοπούς είναι:

- Το *πορώδες*, που είναι ο όγκος κενών του πετρώματος προς τον συνολικό όγκο,  $\pi = V_{κ}/V_{ολ}$  (όταν το πορώδες εκφράζεται σε ποσοστό % ονομάζεται *ποσοστό πόρων* ή *συντελεστής πορώδους*).
- Ο *λόγος κενών*, που είναι ο λόγος του όγκου των κενών προς τον όγκο των στερεών συστατικών του πετρώματος,  $\kappa = V_{κ}/V_{ολ}-V_{κ}$ .
- Το *συμπαγές*<sup>43</sup>, που είναι ο λόγος του φαινόμενου ειδικού βάρους προς το πραγματικό,  $\Sigma = E_{\phi}/E_{\pi}$ .

### Υδαταπορρόφηση-Συντελεστής εμποτισμού (A.S.T.M. C-97)

<sup>42</sup> Το φαινόμενο ειδικό βάρος πρέπει να είναι γνωστό, επειδή βάση αυτού και του όγκου του υλικού, προκύπτει το βάρος που λαμβάνεται υπόψη στους στατικούς υπολογισμούς.

<sup>43</sup> Δεν ξεπερνά ποτέ την μονάδα και για τα μάρμαρα κυμαίνεται από 0,90 ως 0,998.

*Υδαταπορρόφηση* είναι η ιδιότητα των πετρωμάτων να πληρώνονται με νερό. Είναι η φυσική ιδιότητα που καθορίζει την καταλληλότητα ενός μαρμάρου για εξωτερικές χρήσεις, όταν αυτό είναι εκτεθειμένο στις υγρές καιρικές συνθήκες (δαπεδοστρώσεις, ορθομαρμαρώσεις), καθώς και για χρήσεις σε χώρους με έντονη παρουσία υγρών στοιχείων (μπάνια, κουζίνες, τουαλέτες). Ο υπολογισμός της έχει πρακτική σημασία σε μάρμαρα με υψηλό πορώδες (δολομιτικά, τραβερτίνες, κ.ά.), αφού το νερό που γεμίζει τους πόρους, μπορεί να αυξήσει το ογκομετρικό βάρος στο οποίο στηρίζεται ο κυβισμός των ογκομαρμάρων. Η υδαταπορρόφηση υπολογίζεται από τον τύπο  $U = B_u - B_x / B_x$ , όπου  $B_u$  είναι το υγρό βάρος του δοκιμίου,  $B_x$  το ξηρό βάρος του και εκφράζει τη διαφορά της μάζας του κορεσμένου με νερό δοκιμίου και του ξηρού. Όταν η υδαταπορρόφηση εκφράζεται επί τοις % ή επί τοις ‰ ονομάζεται *συντελεστής εμποτισμού κατά βάρος*.

## Μέτρο ελαστικότητας

Ως *μέτρο ελαστικότητας* ή *μέτρο του Young* (*Young's modulus*) ορίζεται ο λόγος της αξονικής τάσης  $\sigma$  προς την αξονική παραμόρφωση  $\epsilon$  που προκαλεί η τάση αυτή. Υπολογίζεται από τον τύπο  $E = \sigma / \epsilon$ , έχει πάντα θετική τιμή και μετριέται σε  $\text{Kgf/cm}^2$  ή  $\text{tn/m}^3$ . Η γνώση του μέτρου ελαστικότητας είναι σημαντική όταν τα μάρμαρα προορίζονται για εξωτερικές χρήσεις και όταν οι μαρμαρόπλακες πρέπει να ενισχυθούν στην κάτω επιφάνειά τους [16].

## Μηχανικές ιδιότητες των μαρμάρων

### Αντοχή σε θλίψη ή αντοχή σε μονοαξονική ή ανεμπόδιστη θλίψη ή θλιπτική αντοχή $R_c$ (A.S.T.M. C 170-50 / DIN 52105)

Η θλιπτική αντοχή είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα των μαρμάρων, κυρίως εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικές κατασκευές και σε καλύψεις. Σαν θλιπτική αντοχή ορίζεται ο λόγος του συνολικού φορτίου  $P$  που ασκείται σε ένα δοκίμιο, τη στιγμή της θραύσης του, προς το εμβαδόν  $S$  της διατομής του δοκιμίου ( $R_c = P/S$ ). Η θλιπτική αντοχή μετριέται σε δοκίμια με τη φυσική τους υγρασία, γιατί αυτά είναι αντιπροσωπευτικά της κατάστασης του μαρμάρου υπό φυσικές συνθήκες ή όταν τα μάρμαρα προορίζονται για χρήση σε χώρες με έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές, σε δοκίμια που έχουν υποστεί 20 κύκλους ψύξης-απόψυξης.

### Αντοχή σε παγετό

Η αντοχή σε παγετό ή αντοχή σε θλίψη μετά από ψύξη-απόψυξη είναι μια σημαντική ιδιότητα για μάρμαρα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικούς χώρους και σε χώρες με έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Εάν το υλικό μετά την ψύξη του και κατά τη διάρκεια της δοκιμής παρουσιάσει φθορές (ραγίσματα, ξεφλουδίσματα, ρωγμές, κ.ά.), ή η μέση αντοχή του σε θλίψη μειωθεί κατά 20%, σε σχέση με αυτή που έχει χωρίς να ψυχθεί, τότε χαρακτηρίζεται "παγόπληκτο" και θεωρείται ακατάλληλο για εξωτερική χρήση. Επίσης, η δοκιμή για τη μέτρηση της ιδιότητας αυτής είναι απαραίτητο να γίνεται όταν η απορροφητικότητα του πετρώματος υπερβαίνει το 0,5%. Έτσι, μάρμαρα που παρουσιάζουν κενούς χώρους (π.χ. τραβερτίνες) έχουν μειωμένη αντοχή λόγω της πλήρωσης των κενών πόρων με νερό.

### Αντοχή σε εφελκυσμό (από κάμψη) ή εφελκυστική αντοχή από κάμψη (A.S.T.M. C-99, DIN 52112)

Η ιδιότητα αυτή είναι απολύτως αναγκαία όταν τα μάρμαρα προορίζονται για εξωτερικές επενδύσεις και σκάλες, ενώ είναι σημαντική ιδιότητα στην περιπτώση που τα μάρμαρα χρησιμοποιούνται για εσωτερικές και εξωτερικές επιστρώσεις δαπέδων και καλύψεις. Υπολογίζεται από τον τύπο  $R = 3wl/2bd^2$ , όπου  $w$  είναι το φορτίο θραύσης,  $l$  η απόσταση των σημείων στηρίξης του δοκιμίου,  $b$  το πλάτος του δοκιμίου και  $d$  το πάχος του<sup>44</sup> και κυμαίνεται από 1/5 μέχρι το 1/25 της αντοχής σε θλίψη [18].

## Τεχνικές ιδιότητες των μαρμάρων

### Αντοχή σε φθορά από τριβή (A.S.T.M. C 241-51 / DIN 52108)

Η αντοχή σε φθορά<sup>45</sup> από τριβή είναι η σημαντικότερη ιδιότητα που λαμβάνεται υπόψη, όταν τα μάρμαρα χρησιμοποιούνται για δαπεδοστρώσεις (εσωτερικές και εξωτερικές), ιδίως σε χώρους μεγάλης κυκλοφορίας ανθρώπων, καθώς επίσης και για την κατασκευή σκαλοπατιών. Η ιδιότητα αυτή εξετάζεται και στα μωσαϊκά για την ομοιόμορφη φθορά των οποίων πρέπει να επιλέγεται το ανάλογο συνδετικό υλικό. Η

<sup>44</sup> Η μέτρηση γίνεται στη φυσική κατάσταση του δοκιμίου, καθώς και σε υγρή και ξηρή κατάσταση [17].

<sup>45</sup> Ως φθορά ορίζεται η προοδευτική απώλεια υλικού από την επιφάνεια ενός σταθερού σώματος που προκαλείται από μηχανικά αίτια [19].

αντοχή σε φθορά από τριβή του υλικού πρέπει να είναι ανάλογη με την καταπόνηση που προσδοκείται να υποστεί. Έτσι τα δάπεδα διακρίνονται σε:

- ♦ Μεγάλης κυκλοφορίας (σταθμοί, αίθουσες αεροδρομίων κ.ά.), τα οποία έχουν μεγάλη καταπόνηση και για τα οποία συνιστώνται υλικά όπως γρανίτες, χαλαζίτες, πορφυρίτες, συμπαγείς και κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι.
- ♦ Μεσαίας κυκλοφορίας (τράπεζες, εμπορικά κέντρα, γραφεία κ.ά.), για τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ασβεστιτικά μάρμαρα.
- ♦ Μικρής κυκλοφορίας (διαμερίσματα), όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πετρώματα λιγότερο ανθεκτικά σε τριβή.

Όταν τα μάρμαρα περιέχουν σε σημαντικές ποσότητες υλικά όπως δολομίτης, οξειδία του σιδήρου ή του αργιλίου και πυριτικά ορυκτά, η αντοχή τους σε φθορά από τριβή αυξάνεται σε σχέση με αυτή των καθαρά ασβεστιτικών μαρμάρων.

### Μικροσκληρότητα Κνοορ

Η μη δυνατότητα μέτρησης της σκληρότητας στα μάρμαρα με τις γνωστές κλίμακες (Mohs, Vickers, Rosiwal κ.ά.) αντιμετωπίζεται τα τελευταία χρόνια με τη μέθοδο μέτρησης της μικροσκληρότητας Κνοορ, η οποία συσχετίζεται άμεσα με την αντοχή στη φθορά από τριβή. Η ιδιότητα αυτή εκφράζει τη σχέση του συγκεκριμένου φορτίου που ασκεί η ακίδα του διαμαντιού, τύπου ΚΝΟΟΡ και της επιφάνειας του αποτυπώματος που αφήνει, σε μια γυαλισμένη επιφάνεια διακοσμητικού πετρώματος.

### Αντοχή σε κρούση

Η αντοχή σε κρούση εκφράζει την αντοχή των πετρωμάτων στη θραύση και γενικότερα σε φθορές που υφίστανται από ελεύθερη πτώση αντικειμένων. Ορίζεται σαν το ελάχιστο ύψος από το οποίο πρέπει να πέσει μια σφαίρα βάρους 1 Kgr πάνω σε πλάκα μαρμάρου διαστάσεων 20X20X3 cm, που είναι τοποθετημένη σε στρώμα πάχους 10 cm και να προκαλέσει τη θραύση της. Είναι μια σημαντική ιδιότητα όταν τα μάρμαρα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για δαπεδοστρώσεις σε χώρους όπου υπάρχει πιθανότητα να πέσουν βαριά αντικείμενα πάνω στο πάτωμα (μαγειρεία, εργαστήρια, κ.ά.).

### Αντοχή στην επίδραση αραιών διαλυμάτων οξέων ή αντοχή σε χημική διάβρωση (A.S.T.M. C-217)

Η ιδιότητα αυτή είναι πολύ σημαντική στην περίπτωση που τα μάρμαρα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικές επενδύσεις. Η δοκιμή για τη μέτρησή της αποκτά ιδιαίτερη σημασία στη σημερινή εποχή, όπου η εκτεταμένη ρύπανση της ατμόσφαιρας προκαλεί μεγάλες φθορές στα μάρμαρα. Κατά δοκιμή αυτή δοκιμάζεται η αντοχή του μαρμάρου σε αραιό διάλυμα  $H_2SO_4$ , το οποίο, ως κυριότερο συστατικό της όξινης βροχής, είναι ο κύριος παράγοντας καταστροφής των μαρμάρων.

### Συντελεστής θερμικής διαστολής (DIN 18515)

Ο συντελεστής θερμικής διαστολής εκφράζει την επιμήκυνση σε mm ανά τρέχον μέτρο μαρμάρου που προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας κατά ένα βαθμό Κελσίου και υπολογίζεται σε  $mm/m^{46}$ . Τα μάρμαρα στην πράξη υποφέρουν περισσότερο από μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές παρά από τον παγετό. Η γνώση της ιδιότητας αυτής είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, όταν τα μάρμαρα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικούς χώρους και μάλιστα σε χώρες με έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές, γιατί επιτρέπει την πρόληψη των καταστροφών που οφείλονται στη διαστολή-συστολή των πλακών μαρμάρου, αν και σήμερα το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τη χρήση ειδικών κονιαμάτων και συγκολλητικών ουσιών.

### Σταθερότητα χρώματος-Χρωστική διεισδυτικότητα

Το χρώμα των πετρωμάτων οφείλεται κυρίως σε ορισμένα συστατικά που περιέχονται σε μικρές ποσότητες<sup>47</sup>. Δεν επηρεάζει καμία από τις φυσικο-μηχανικές ιδιότητές τους και επομένως δεν είναι

<sup>46</sup> Η επιμήκυνση μιας πλάκας μαρμάρου συνηθισμένων διαστάσεων δεν υπερβαίνει το ένα mm, ακόμα και όταν η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι 100 βαθμοί Κελσίου.

<sup>47</sup> Τέτοια συστατικά είναι διάφορα πυριτικά ορυκτά, οξειδία και υδροξείδια του σιδήρου, του αργιλίου και του μαγγανίου, διάφορες οργανικές ενώσεις, ενώσεις του θείου, χαλκού κ.ά.



ενδεικτικό της ποιότητας, απλώς παίζει ρόλο στην εξωτερική εμφάνισή τους. Επηρεάζεται από το ηλιακό φως και τη μολυσμένη ατμόσφαιρα. Έχει μεγάλη σημασία για την καθιέρωση ενός μαρμάρου στην αγορά, γιατί αν ένα μάρμαρο διατίθεται στην αγορά με διαφορετικές αποχρώσεις κάθε φορά, τότε η ζήτησή του μπορεί να μειωθεί στο ελάχιστο.

Η χρωστική διεισδυτικότητα είναι μια ιδιότητα που αρχίζει να αξιοποιείται πολύ τα τελευταία χρόνια για τη βαφή των διακοσμητικών πετρωμάτων με ανόργανα χρώματα. Εξαρτάται από την απορροφητικότητα και το είδος της χρωστικής, ενώ πρέπει να αντιμετωπίζεται και το πρόβλημα του ξεθωριάσματος [20].

## Ελληνική Νομοθεσία για την εκμετάλλευση των μαρμάρων

Νομικά, εξόρυξη θεωρείται κάθε απόσπαση πετρώματος από τη φυσική του θέση. Η εξόρυξη μπορεί να διενεργείται είτε για την κατασκευή κάποιου έργου, είτε για την απόληψη των προϊόντων της εξορύξεως. Αυτά, ανάλογα με τη χρήση τους, διακρίνονται σε μεταλλεύματα και σε λατομικά ορυκτά. Τα λατομικά ορυκτά διακρίνονται στα αδρανή υλικά, στα μάρμαρα και στα βιομηχανικά ορυκτά. Στα λατομικά ορυκτά περιλαμβάνονται και οι δομικοί λίθοι και οι σχιστολιθικές πλάκες.

Το νομικό πλαίσιο για την εκμετάλλευση των μεταλλευμάτων διαφέρει ουσιαστικά από το αντίστοιχο για την εκμετάλλευση των λατομικών ορυκτών. Η βασική τους διαφορά είναι το γεγονός ότι το δικαίωμα της εκμετάλλευσης των μεταλλευμάτων ανήκει στο κράτος, το οποίο το παραχωρεί με νομοθετημένες διαδικασίες σε φυσικά ή νομικά πρόσωπα. Από την άλλη, ο ιδιοκτήτης του εδάφους έχει το δικαίωμα της εκμετάλλευσης των λατομικών ορυκτών, το οποίο μπορεί να εκχωρήσει με μίσθωση του λατομικού χώρου. Ο διαχωρισμός αυτός δεν υπάρχει μόνο στην Ελληνική Μεταλλευτική Νομοθεσία, αλλά και στις σχετικές νομοθεσίες των περισσότερων κρατών [21].

Στο Παράρτημα III αρχικά παρατίθεται το νομοθετικό πλαίσιο που αφορά στην εκμετάλλευση των μαρμάρων στην Ελλάδα και στη συνέχεια ακολουθεί μια αναφορά στα κυριότερα προβλήματα που δημιουργούνται από το θεσμικό πλαίσιο και μια σύντομη κριτική του.

## Χρήσεις των μαρμάρων

Το αν ένα μάρμαρο είναι κατάλληλο για μια κατασκευή δεν κρίνεται ποτέ από μια μόνο ιδιότητά του, αλλά αφού ληφθεί σοβαρά υπόψη και ερμηνευθεί σωστά ο συνδυασμός τους. Επίσης, η καταλληλότητα ενός μαρμάρου πρέπει να κρίνεται και με βάση παρατηρήσεις για τη συμπεριφορά του σε διάφορες κατασκευές από προηγούμενα χρόνια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μια σειρά χαρακτηριστικών του δεν είναι δυνατόν να μετρηθούν με δοκιμές.

Στην σημερινή εποχή οι εφαρμογές των μαρμάρων στις διάφορες κατασκευές είναι πολυάριθμες. Αυτός ο λόγος ωθεί όλο και περισσότερους ανθρώπους, σε όλο τον κόσμο, να καταφεύγουν στη χρήση τους, όχι μόνο για το αισθητικό αποτέλεσμα που προσφέρουν, αλλά και για το ότι πληρούν τις οικονομικές, τεχνικές και οικολογικές απαιτήσεις. Οι πολυτελείς μαρμάρινες δαπεδοστρώσεις διακοσμούν με εντυπωσιακό τρόπο οποιοδήποτε χώρο, όπως απλές κατοικίες, αίθουσες σχολείων, αεροδρομίων, σταθμών, τράπεζες, νοσοκομεία, ξενοδοχεία κ.ά. Επίσης, όλο και περισσότερες εσωτερικές και εξωτερικές ορθομαρμα-ρώσεις καθώς και κομψοτεχνήματα συνδυασμένα με άλλα υλικά, κατασκευάζονται από μάρμαρο, ενώ υπάρχουν και παραδείγματα πετυχημένων εφαρμογών τους στην εσωτερική διακόσμηση. Στην εσωτερική αγορά η χρήση του μαρμάρου, αλλά και των άλλων διακοσμητικών πετρωμάτων, στις διάφορες κατασκευές, είναι πολύ διαδεδομένη και η Ελλάδα κατέχει την πρώτη θέση στον κόσμο στην κατανάλωση μαρμάρου ανά κάτοικο.

Οι κύριες χρήσεις των μαρμάρων και οι ιδιότητες που έχουν ιδιαίτερη σημασία για κάθε μια από αυτές, είναι οι ακόλουθες:

### Εσωτερικές Επενδύσεις

Ο διακοσμητικός παράγοντας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή των μαρμάρων για εσωτερικές επενδύσεις, γεγονός που οφείλεται στο ότι δεν υπάρχει επίδραση των καιρικών συνθηκών στην περίπτωση αυτή. Τα μάρμαρα θα πρέπει να επιδέχονται επίσης και τέλειο γυάλισμα, ιδιότητα που ικανοποιούν τα πολύ συμπαγή και ομοιογενή πετρώματα. Για ειδικές χρήσεις, όπως επενδύσεις λουτρών και κουζινών, στην επιλογή του υλικού θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αντίστασή του στις συνεχείς επιθέσεις του ζεστού νερού και των ατμών<sup>48</sup>.

### Εξωτερικές Επενδύσεις

Στην επιλογή των μαρμάρων για εξωτερικές επενδύσεις καθοριστική σημασία έχει η σκληρότητα, το χρώμα και η επεξεργασία της επιφάνειας του υλικού. Για την εκτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των μαρμάρων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικές επενδύσεις, είναι απαραίτητη η γνώση της

<sup>48</sup> Πετρώματα κατάλληλα για τέτοιες χρήσεις είναι αυτά που συνδυάζουν υψηλό δείκτη συμπαγούς με μικρό συντελεστή εμποτισμού.

ομοιογένειας και του συμπαγούς του υλικού, της αντοχής σε παγετό, του συντελεστή εμποτισμού και της γραμμικής θερμικής διαστολής. Πρέπει να σημειωθεί ότι υψηλές τιμές του πορώδους δεν αποτελούν αρνητική ένδειξη για τη συγκεκριμένη χρήση.

### **Εσωτερικές Δαπεδοστρώσεις**

Η αντοχή σε φθορά από τριβή και από πρόσκρουση, η αντοχή σε παγετό, καθώς και η γνώση του συμπαγούς και της ομοιογένειας του υλικού, είναι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην επιλογή μαρμάρων για εσωτερικές δαπεδοστρώσεις.

### **Εξωτερικές Δαπεδοστρώσεις**

Στην επιλογή των μαρμάρων για δαπεδοστρώσεις εξωτερικού χώρου, όσον αφορά στα φυσικά χαρακτηριστικά, σημαντικό ρόλο παίζει η γνώση των παραμέτρων που σχετίζονται με τις αντοχές σε φθορά από τριβή και πρόσκρουση και της αντοχής σε παγετό. Οι παράμετροι αυτοί θα πρέπει να αξιολογηθούν μαζί με τα γενικά χαρακτηριστικά της ομοιογένειας και του συμπαγούς του πετρώματος. Επίσης ιδιαίτερη μελέτη χρήζει ο παράγοντας της αντίστασης του πετρώματος στη δημιουργία λείων επιφανειών.

### **Σκάλες**

Στην επιλογή των μαρμάρων για σκάλες, που στηρίζονται εν μέρει, μεγάλη σημασία αποδίδεται στην ιδιότητα της εφελκυστικής αντοχής από κάμψη. Όσον αφορά στα γενικά χαρακτηριστικά της επιλογής του υλικού, ανάλογα με το χώρο τοποθέτησης, ισχύουν όσα αναφέρονται και για τις άλλες χρήσεις.

### **Γλυπτική**

Στη γλυπτική χρησιμοποιούνται γνήσια μάρμαρα, λευκά ως τεφρόλευκα, λεπτοκοκκώδη ως μεσοκοκκώδη, καθώς και άλλα κοκκώδη πετρώματα, όπως γρανίτες, διορίτες, κ.ά. Επίσης το “ονυχοειδές μάρμαρο” χρησιμοποιείται για την κατασκευή μικρών γλυπτών έργων τέχνης όπως ανθοδοχείων, σταχτοδοχείων, φωτιστικών σωμάτων, αγαλματιδίων κ.ά.

### **Αυτοτελείς Μικροκατασκευές**

Στην περίπτωση αυτή τα μάρμαρα χρησιμοποιούνται για τη διακόσμηση οικο-δομών, αυλών, κήπων, δημόσιων χώρων (κίονες, βρύσες, πάγκοι, μνημεία), εκ-κλησιών κ.ά. Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζεται ο βαθμός σπουδαιότητας που έχουν ορισμένες από τις φυσικομηχανικές και τεχνικές ιδιότητες των μαρμάρων, ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται. Στον Πίνακα αυτό φαίνεται ξεκάθαρα η μεγάλη σημασία των ιδιοτήτων των μαρμάρων στην επιλογή της κατάλληλης χρήσης τους. Έτσι μάρμαρα με μεγάλη υδαταπορρόφηση είναι ακατάλληλα για εξωτερικές ορθομαρμαρώσεις και εντελώς ακατάλληλα για εξωτερικές δαπεδο-στρώσεις. Ομοίως μάρμαρα με μικρή αντοχή σε κρούση μπορούν να χρησιμο-ποιηθούν σε ορθομαρμαρώσεις, αλλά είναι ακατάλληλα για δαπεδοστρώσεις και κυρίως επιστρώσεις σκαλιών [22].

## **Εμπόριο των μαρμάρων**

Ο κλάδος του μαρμάρου αποτελεί έναν από τους πλέον υγιείς κλάδους της ελληνικής οικονομίας. Η Ελλάδα σήμερα είναι μια από τις πρώτες χώρες παγκοσμίως όσον αφορά το μέγεθος παραγωγής μαρμάρου. Αναλυτικά στοιχεία για την παγκόσμια παραγωγή μαρμάρων, την κατάσταση του κλάδου στην Ελλάδα, τις εισαγωγές και εξαγωγές μαρμάρων παρατίθενται στο Παράρτημα IV.

**Πίνακας 4.5:** Βαθμός σπουδαιότητας των φυσικομηχανικών–τεχνικών ιδιοτήτων των μαρμάρων ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται.

Φυσικομηχανικές-Τεχνικές ιδιότητες	Εξωτερικές ορθομαρμαρώσεις	Εσωτερικές ορθομαρμαρώσεις	Εξωτερικές δαπεδοστρώσεις	Εσωτερικές δαπεδοστρώσεις	Κρεμαστές σκάλες	Επικαλύψεις στεγών
Βάρος ανά μονάδα όγκου	**	**	**	**	**	**
Υδαταπορρόφηση	**	*	***	**	**	***
Αντοχή σε θλίψη	**	*	**	**	**	**
Αντοχή σε παγετό	***		***			***
Αντοχή σε κάμψη	***	*	**	**	***	**
Αντοχή σε φθορά από τριβή	*	*	***	***	***	*
Αντοχή σε κρούση	*	*	***	***	***	**
Συντελ. Θερμικής διαστολής	**	*	***	*	*	*
Μικροσκληρότητα Κνοορ	*	*	***	***	***	*

\*\*\* = μεγάλος βαθμός σπουδαιότητας

\*\* = μέτριος βαθμός σπουδαιότητας

\* = μικρός βαθμός σπουδαιότητας

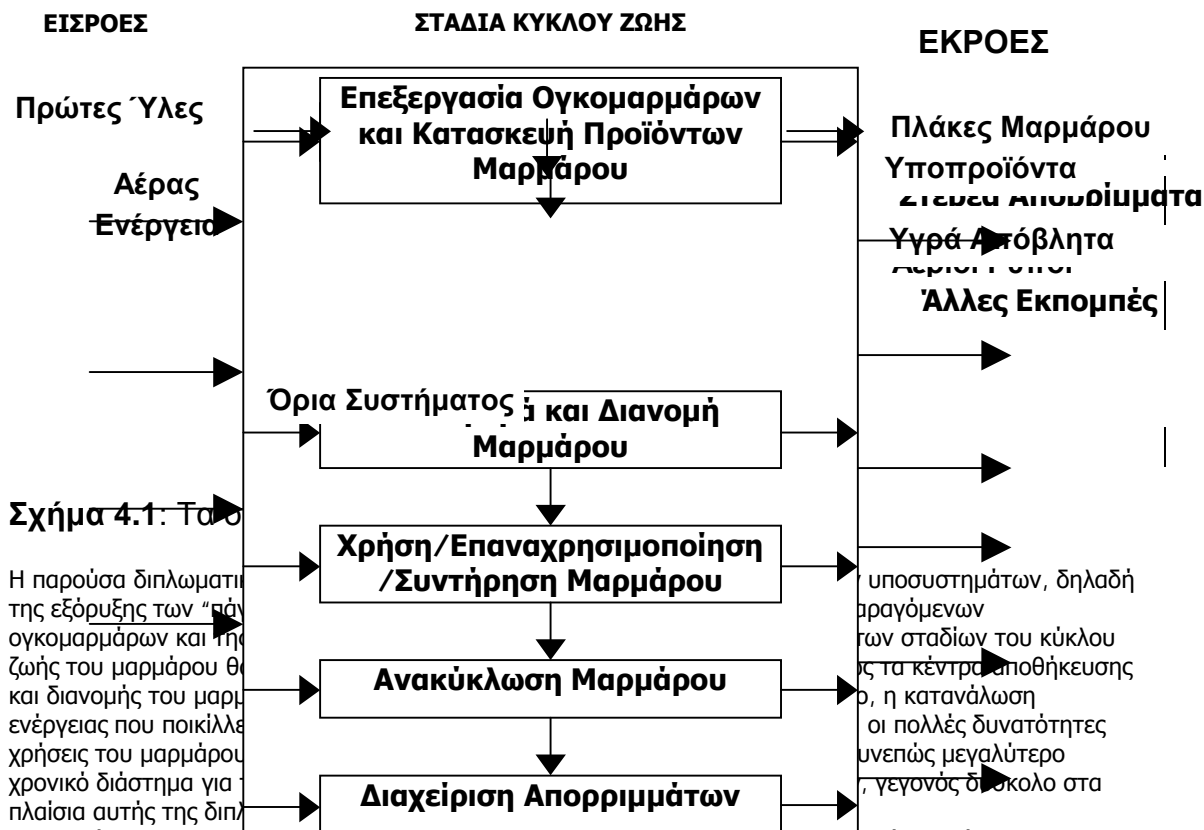
Πηγή: Τσιραμπίδης Α.Ε., Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα, Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσσαλονίκη, 1996, σελ. 104.

## Ποιοτική εφαρμογή της μεθόδου της εκτίμησης του κύκλου ζωής σε ένα λατομείο μαρμάρου

Στόχος της συγκεκριμένης εκτίμησης του κύκλου ζωής του μαρμάρου είναι η όσο το δυνατόν περιεκτικότερη και ουσιαστική μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας του μαρμάρου. Αξίζει να αναφερθεί ότι η εν λόγω προσπάθεια προσέγγισης περιορίζεται μόνο στο στάδιο της ανάλυσης των καταγεγραμμένων υλικών, ενέργειας και εκπομπών του κύκλου ζωής του μαρμάρου. Αυτό οφείλεται αφενός στο ότι το συγκεκριμένο στάδιο προηγείται πάντα από τα υπόλοιπα και επαρκεί για να γίνουν φανερές ευκαιρίες μείωσης της ρύπανσης και της κατανάλωσης ενέργειας και πρώτων υλών κατά την παραγωγική διαδικασία του μαρμάρου και αφετέρου στο ότι η μεθοδολογία του συγκεκριμένου σταδίου έχει αναπτυχθεί σε μεγαλύτερο βαθμό από αυτή των υπόλοιπων δύο (όπως τονίζεται και στην παράγραφο του προηγούμενου κεφαλαίου που περιγράφει τη μεθοδολογία και τα στάδια της εκτίμησης του κύκλου ζωής).

Στην παρούσα ενότητα γίνεται μια προσπάθεια ποιοτικής εφαρμογής της τεχνικής της εκτίμησης του κύκλου ζωής του μαρμάρου. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή της ποιοτικής και όχι της ποσοτικής προσέγγισης της μεθόδου οφείλεται σε πολλούς λόγους, ο σημαντικότερος των οποίων είναι η ύπαρξη εναλλακτικών μεθόδων εξόρυξης του μαρμάρου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπεισέρχονται στη μελέτη διαφορετικοί παράγοντες που ποικίλλουν ανάλογα με την εφαρμοζόμενη τεχνική εξόρυξης και οι οποίοι δυσχεραίνουν τη δημιουργία ενός ενιαίου μοντέλου με δυνατότητα εφαρμογής σε όλες τις περιπτώσεις. Άλλες αιτίες που συνηγορούν στην ποιοτική εφαρμογή της μεθόδου είναι οι δυσκολίες που απορρέουν από το γεγονός ότι η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται για πρώτη φορά στον κλάδο του μαρμάρου, όπως η έλλειψη των αναγκαίων δεδομένων, η δυσκολία στη συνεργασία των εμπλεκόμενων φορέων για την παροχή των απαραίτητων πληροφοριών, λόγω του φόρτου εργασίας τους και ενδεχομένως της μη κατανόησης της σπουδαιότητας εφαρμογής του συγκεκριμένου εργαλείου περιβαλλοντικής διαχείρισης και των σημαντικών ωφελειών που θα προκύψουν από αυτή, καθώς και το περιορισμένο χρονικό διάστημα που διατίθεται για τη διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας. Τα διάφορα στάδια (υποσυστήματα) του κύκλου ζωής του μαρμάρου απεικονίζονται στο σχήμα 4.1. Το σύστημα, το οποίο περιγράφει τον κύκλο ζωής του μαρμάρου, ξεκινάει με την εξόρυξη των “πάγκων” (μεγάλων τεμαχίων) μαρμάρου, οι οποίοι τεμαχίζονται σε ογκομάρμαρα. Στη συνέχεια ακολουθεί η φόρτωση και η μεταφορά των ογκομαρμάρων από την πλατεία του λατομείου στο εργοστάσιο επεξεργασίας για την κατασκευή των διάφορων προϊόντων μαρμάρου. Τα προϊόντα μαρμάρου κατόπιν

μεταφέρονται και διανέμονται στους πελάτες. Μετά τη χρήση και τη συντήρησή τους για ορισμένο χρονικό διάστημα (κάποια χρόνια), τα προϊόντα μαρμάρου μπορούν είτε να επαναχρησιμοποιηθούν είτε να απορριφθούν σαν απορρίμματα. Σημαντικό ρόλο στη λειτουργία ολόκληρου του συστήματος διαδραματίζει και η διαδικασία της φόρτωσης, μεταφοράς και απόρριψης του άχρηστου πετρώματος και των αποβλήτων που παράγονται από την εξόρυξη και επεξεργασία των ογκομαρμάρων.



Σχήμα 4.1: Το

Η παρούσα διπλωματική της εξόρυξης των “πάγκων” ογκομαρμάρων και της ζωής του μαρμάρου θη και διανομής του μαρμάρου ενέργειας που ποικίλλει χρήσεις του μαρμάρου χρονικό διάστημα για πλαίσια αυτής της διπλ. Προκειμένου να προσδιοριστούν οι συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις του μαρμάρου μέσω της καταγραφής των εισροών και εκροών από και προς το περιβάλλον, είναι απαραίτητο να καθοριστεί αρχικά ένα σύστημα αναφοράς, το οποίο και θα αξιολογηθεί. Στην συγκεκριμένη περίπτωση σαν σύστημα αναφοράς θεωρείται το σύνολο των διαδικασιών εκείνων που συνδέονται υλικά ή ενεργειακά και συνθέτουν τον κύκλο ζωής του μαρμάρου. Σαν τέτοιες διαδικασίες, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, επιλέγονται η διαδικασία της εξόρυξης των “πάγκων” μαρμάρου και της επεξεργασίας των ογκομαρμάρων και της κατασκευής των διάφορων προϊόντων και υποπροϊόντων. Στη συνέχεια ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των δύο πρώτων σταδίων (υποσυστημάτων) του κύκλου ζωής του μαρμάρου και η καταγραφή των διάφορων εισροών και εκροών που σχετίζονται με αυτά.

### Εξόρυξη των “πάγκων” μαρμάρου

Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων μαρμάρου μπορεί να γίνει με υπαίθριες και σπανιότερα με υπόγειες μεθόδους. Τα κριτήρια με τα οποία γίνεται η επιλογή μεταξύ υπόγειας και υπαίθριας μεθόδου είναι τα ίδια που ισχύουν και για τις εκμεταλλεύσεις άλλων κοιτασμάτων και τα οποία είναι κατά κύριο λόγο η σχέση αποκαλύψεως<sup>49</sup> και δευτερευόντως η ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος (ενδεχομένως επιβάλλεται η επιλογή της υπόγειας εκμετάλλευσης έναντι της υπαίθριας για περιβαλλοντικούς λόγους). Στην Ελλάδα όλες οι εκμεταλλεύσεις μαρμάρου είναι κυρίως υπαίθριες, ενώ η υπόγεια εκμετάλλευση είναι στην πλειοψηφία των περιπτώσεων άγνωστη. Η συγκεκριμένη ανάλυση αναφέρεται στην υπαίθρια εκμετάλλευση κοιτασμάτων μαρμάρου.

<sup>49</sup> Η σχέση αποκαλύψεως είναι η σχέση του όγκου (ή του βάρους) των υπερκείμενων άγονων πετρωμάτων καθώς και του πετρώματος που είναι ακατάλληλο για παραγωγή ογκομαρμάρων, τα οποία πρέπει να απομακρυνθούν για να αποκαλυφθεί το κοίτασμα, προς τον όγκο ή το βάρος του χρήσιμου υλικού που θα εξορυχθεί. Πρόκειται δηλαδή για τη σχέση του άχρηστου, γενικά, πετρώματος που πρέπει να εξορυχθεί, προς το σύνολο των ογκομαρμάρων που θα εξορυχθούν. Όταν η σχέση αυτή υπερβαίνει κάποιο όριο, τότε μπορεί να συμφέρει καλύτερα να γίνει υπόγεια εκμετάλλευση.

Οι κυριότερες εργασίες που περιλαμβάνει η εξορυκτική διαδικασία είναι αρχικά η διάνοιξη των δρόμων προσπέλασης προς το κοίτασμα, η αποκάλυψη του κοιτάσματος, η περιχάραξη-προετοιμασία των μετώπων και ακολουθεί η κύρια διαδικασία της εξόρυξης των “πάγκων” μαρμάρου.

Η πρώτη εργασία που πρέπει να εκτελεσθεί κατά τη φάση της προετοιμασίας ενός κοιτάσματος μαρμάρου για εκμετάλλευση, είναι η κατασκευή των δρόμων προσπέλασης. Πρέπει αρχικά να κατασκευαστεί ένας δρόμος προσπέλασης που να συνδέει το λατομείο με το υπάρχον οδικό δίκτυο. Κατόπιν πρέπει να κατασκευαστούν δρόμοι που να οδηγούν στις διάφορες βαθμίδες εξόρυξης των “πάγκων” μαρμάρου ή των υπερκείμενων άγονων, καθώς και προς το χώρο απόρριψης του άχρηστου πετρώματος και να διαμορφωθεί μια πλατεία στην οποία θα γίνεται η συγκέντρωση των ογκομαρμάρων που προκύπτουν από τον τεμαχισμό των “πάγκων”, πριν τη φόρτωση και τη μεταφορά τους στο εργοστάσιο επεξεργασίας. Στη συνέχεια ακολουθεί η αποκάλυψη του κοιτάσματος, η οποία παρουσιάζει ιδιαίτερη σπουδαιότητα, γιατί αφενός συντελεί στη μέγιστη απόληψη του κοιτάσματος και αφετέρου οι εκτελούμενες εργασίες επηρεάζουν άμεσα την υγεία ενός σημαντικού μέρους του. Συνίσταται στην αρχική αποκάλυψη, δηλαδή την εξόρυξη εκείνων των υπερκείμενων άγονων που είναι απαραίτητο να απομακρυνθούν για να αρχίσει η εξόρυξη και στη συνεχιζόμενη αποκάλυψη, εκείνη δηλαδή που είναι αναγκαία για να συνεχιστεί η εκμετάλλευση του μαρμαροφόρου ορίζοντα. Κατά την αποκάλυψη πρέπει γενικά να γίνεται περιορισμένη χρήση εκρηκτικών υλών, για να αποφεύγεται η τουλάχιστον να περιορίζεται η καταπόνηση των υγιών “πάγκων” μαρμάρου από τις δονήσεις των εκρήξεων. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται κυρίως για το σκοπό αυτό ποικίλλουν ανάλογα με το είδος των υπερκείμενων στρωμάτων και μπορεί να είναι ερπυστριοφόροι φορτωτές ή προωθητήρες, υδραυλικοί γρύλλοι ή σφήνες με χαλύβδινα παρεμβάσματα ή μηχανικά άροτρα.

Το επόμενο στάδιο είναι η περιχάραξη και προετοιμασία των μετώπων για την εξόρυξη. Ανάλογα με τα κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά του μαρμάρου και την εφαρμοζόμενη τεχνολογία, η συγκεκριμένη φάση είναι αυτοτελής ή ενώνεται με τη φάση της εξόρυξης. Ο στόχος της είναι ο προσδιορισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των “πάγκων”, από τους οποίους θα εξορυχθούν στη συνέχεια τα ογκομαρμάρα και η προετοιμασία των μετώπων εξόρυξης, αφού διαπιστωθεί προηγουμένως ότι το μάρμαρο δεν έχει ελαττώματα. Επίσης προσδιορίζονται οι επιφάνειες που ορίζουν τις διαστάσεις των επιμέρους όγκων που θα εξορυχθούν και δημιουργούνται οι ελεύθερες επιφάνειες που απαιτούνται για την εξόρυξη του πρώτου “πάγκου” μαρμάρου.

Η φάση της εξόρυξης των “πάγκων” μαρμάρου είναι η σπουδαιότερη στο όλο κύκλωμα της μαρμαροβιομηχανίας. Το κύριο προϊόν που παράγεται κατά την εκμετάλλευση ενός λατομείου μαρμάρου είναι τα ογκομαρμάρα<sup>50</sup> ή γενικότερα οι ογκόλιθοι, οι οποίοι προκύπτουν από τον τεμαχισμό των “πάγκων”. Η εξόρυξη στις επιφανειακές εκμεταλλεύσεις γίνεται με τη διαμόρφωση των μετώπων εξόρυξης σε βαθμίδες. Σε μια ορθολογιστική εκμετάλλευση η κατεύθυνση δημιουργίας των μετώπων γίνεται από το ανώτερο μέρος της λατομικής περιοχής προς το κατώτερο. Η χρήση εκρηκτικών υλών πρέπει να είναι πολύ περιορισμένη και αν είναι δυνατόν να αποφεύγεται τελείως, για να μη δημιουργούνται ρωγμές στο πέτρωμα. Οι μέθοδοι εξόρυξης που εφαρμόζονται σε ένα λατομείου μαρμάρου, έχουν σαν αντικείμενο τη λύση της συνέχειας του πετρώματος προς παραγωγή ογκομαρμάρων, με όσο το δυνατόν λιγότερο τραυματισμό και ρωγμάτωση του εν λόγω πετρώματος. Για την επιλογή των καταλληλότερων τρόπων εξόρυξης συνεκτιμώνται διάφοροι παράμετροι, όπως η παρουσία ή μη μεγάλων “πάγκων”, η ύπαρξη ή μη φυσικών ρωγματώσεων ή ρηγμάτων, η σκληρότητα του μαρμάρου, η διατρητικότητα του, η επιδεκτικότητά του να σχίζεται ευκολότερα προς ορισμένες διευθύνσεις, η ύπαρξη αρκετού νερού για χρήση και η δυνατότητα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την απόσπαση μεγάλων “πάγκων” μαρμάρου από τη θέση τους, γίνεται καταρχήν εκμετάλλευση των φυσικών ασυνεχειών (στρωμάτωση, κατάκλαση, κλπ.) που παρουσιάζει το πέτρωμα σε ένα, δύο ή και τρία, κάθετα μεταξύ τους, επίπεδα. Εφόσον η ύπαρξη αυτών των ασυνεχειών επιτρέπει την παραγωγή ορθογωνισμένων όγκων, ή τουλάχιστον όγκων με μορφή παραλληλεπίπεδου, χωρίς να χρειαστεί να κοπεί το πέτρωμα, τότε οι όγκοι που ορίζονται από τις φυσικές αυτές ασυνέχειες αποσπώνται από τη θέση τους με τη βοήθεια σφηνών, γρύλλων, ερπυστριοφόρων φορτωτών ή προωθητήρων.

Όταν προς μια ή και δύο διευθύνσεις η απόσταση μεταξύ των παράλληλων ασυνεχειών είναι μεγάλη ή όταν δεν υπάρχουν επίπεδα ασυνέχειας, ή όταν οι ασυνέχειες έχουν ανώμαλη επιφάνεια ή είναι συγκολλημένες με συνδετικό υλικό, τότε απαιτείται λύση της συνέχειας του πετρώματος με διάφορα μέσα. Οι ειδικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό είναι οι εξής:

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

- Χρησιμοποίηση αλυσοπρίονων.
- Χρησιμοποίηση συρματοκοπής. Υπάρχουν δύο είδη συρματοκοπής, η κλασσική συρματοκοπή και η συρματοκοπή με σύρμα διαμαντέ.
- Χρησιμοποίηση ειδικών κοπτικών εργαλείων, που η λειτουργία τους βασίζεται στην εκτόξευση νερού υπό πίεση ή σε θερμική ενέργεια (jet φλόγας ή νερού).

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη προσπάθεια εκτίμησης του κύκλου ζωής του μαρμάρου είναι η συρματοκοπή με σύρμα διαμαντέ<sup>51</sup> που είναι, μαζί με το “γάζωμα” με διατρήματα, οι πιο συνηθισμένες στην Ελλάδα. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει είναι μεγάλο πεδίο εφαρμογής (χρησιμοποιείται και σε άλλες φάσεις εκτός από την εξόρυξη), μεγαλύτερη παραγωγικότητα, ευχρηστία και ευελιξία, μικρότερο κόστος μηχανολογικού εξοπλισμού και παραγωγής ογκομαρμάρων, μείωση των εργασιών ορθογωνισμού στην επόμενη φάση, αύξηση της αποληψιμότητας του κοιτάσματος, μεγαλύτερη ασφάλεια λόγω μη χρησιμοποίησης εκρηκτικών, καλύτερες γενικά συνθήκες εργασίας για το προσωπικό, καλύτερη εποπτεία του κοιτάσματος (δυνατότητα ελέγχου της ποιότητας των εξορυσσόμενων ογκομαρμάρων) και λιγότερη εξάρτηση από εξειδικευμένο προσωπικό.

Η μέθοδος της συρματοκοπής εφαρμόζεται κυρίως σε κοιτάσματα που έχουν υποστεί μικρής εκτάσεως τεκτονισμό και συνεπώς έχουν μεγάλο συντελεστή απόληψης και προϋποθέτει καταρχήν την ύπαρξη ομοιογενούς πετρώματος, χωρίς πυκνές ασυνέχειες. Με τη συρματοκοπή δημιουργείται λύση της συνεχείας των “πάγκων” μαρμάρου από το μητρικό πέτρωμα. Αποκόπτονται κατά κανόνα μεγάλες επιφάνειες και κατά συνέπεια και μεγάλοι “πάγκοι” μαρμάρου. Κατά τη μέθοδο αυτή, η κοπή των “πάγκων” γίνεται με τη φθορά που προκαλείται από τη συνεχή κίνηση ενός σύρματος διαμαντέ πάνω στην επιφάνεια του πετρώματος. Η τεχνητή ελεύθερη επιφάνεια που δημιουργείται με αυτό τον τρόπο, συνδυάζεται με τις ρωγμές του μαρμάρου ή με άλλες τομές συρματοκοπής για να επιτευχθεί τελικά η απόσπαση του “πάγκου”.

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 περιστροφή της τροχαλίας χρησιμοποιείται συνήθως ηλεκτρικός ή υδραυλικός κινητήρας, ή και 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. Όταν γίνονται τομές σε τρεις, αντί για δύο, κάθετες μεταξύ τους επιφάνειες, ενδείκνυται να προηγείται η οριζόντια τομή, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος εγκλωβισμού του σύρματος. Η αρχική εντομή μπορεί να δημιουργηθεί και με άλλους τρόπους, εκτός από την όρυξη των δύο διατρημάτων που αναφέρθηκε, όπως με το συνδυασμό συρματοκοπής και χρήσης αλυσοπρίονου ή “γαζώματος” για την κοπή της μιας ή και των δύο άλλων πλευρών του εξορυσσόμενου “πάγκου” μαρμάρου.

Μετά τη δημιουργία των τομών, ο “πάγκος” μαρμάρου πρέπει να αποκολληθεί από τη θέση που καταλαμβάνει στο μητρικό πέτρωμα, στην οποία συγκρατείται ακόμα κυρίως από το ίδιο το βάρος του. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται είτε φορτωτής, ο οποίος ωθεί τον “πάγκο” με το άκρο του κάδου του ή τον σύρει με ένα συρματοσκόινο, είτε χρησιμοποιούνται ειδικοί γρύλλοι ή ειδικά “μπαλόνια” που διαστέλλονται με πεπιεσμένο αέρα. Όταν ο εξορυσσόμενος όγκος έχει μεγάλο ύψος σε σχέση με τις άλλες διαστάσεις του και κατά την αποκόλλησή του μπορεί να ανατραπεί, τότε τοποθετείται στο σημείο πτώσης ένα στρώμα χώματος (μπάζων), προκειμένου να αποφευχθεί ο καταταμαχισμός του όγκου κατά την πτώση του. Μετά την αποκόλλησή του, ο “πάγκος” μεταφέρεται στην πλατεία του λατομείου, εκτός αν είναι πολύ μεγάλων διαστάσεων και δεν είναι δυνατή η μετακίνησή του με τα υπάρχοντα μέσα, οπότε προηγούμενως

<sup>50</sup> Τα ογκομάρμαρα είναι τετραγωνισμένοι όγκοι μαρμάρου (δηλαδή μορφής ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου), οι οποίοι έχουν μήκη ακμών από 1 μέχρι 3 μέτρα περίπου και επομένως έχουν βάρος που κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 5 και 15 τόνων.

<sup>51</sup> Το σύρμα διαμαντέ αποτελείται από ένα συρματοσκόινο διαμέτρου περίπου 5 mm, 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 ενδιάμεσοι 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.

τεμαχίζεται επιτόπου σε μικρό-τερους όγκους με κάποιον από τους γνωστούς τρόπους (συρματοκοπή, γάζωμα, αερόσφυρες). Στη μαρμαροβιομηχανία οι βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή των κατάλληλων μεταφορικών μέσων είναι η φύση του μεταφερόμενου προϊόντος και το είδος των απαραίτητων μετακινήσεων. Για τη μεταφορά των εξορυσσόμενων “πάγκων” μαρμάρου από τη θέση εξόρυξης στην πλατεία, χρησιμοποιούνται φορτωτές (συνήθως ερπυστριοφόροι) ή υδραυλικοί εκσκαφείς (τσάπες) εφοδιασμένοι με ένα ειδικό “νύχι” στο άκρο του βραχίονα τους. Επίσης χρησιμοποιούνται ειδικοί περιστρεφόμενοι σταθεροί γερανοί (derricks), οι οποίοι έχουν μεγάλη ανυψωτική ικανότητα [23].

Η δραστηριότητα της μεταφοράς είναι βασικό στοιχείο στον κύκλο ζωής του μαρμάρου (μετακίνηση των “πάγκων” του μαρμάρου στην πλατεία του λατομείου, μεταφορά των ογκομαρμάρων που προκύπτουν από τον τεμαχισμό των “πάγκων” από την πλατεία στο εργοστάσιο επεξεργασίας, συλλογή των απορριμμάτων που παράγονται στα διάφορα στάδια), όπως και όλων γενικά των προϊόντων, γιατί υπεισέρχεται σε πάρα πολλά σημεία του κύκλου ζωής τους. Επίσης, η μετακίνηση των προϊόντων μαρμάρου μετά την έξοδό τους από το εργοστάσιο επεξεργασίας και η διανομή τους στους πελάτες, διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση του κύκλου ζωής του, έστω και αν δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όπως έχει προαναφερθεί. Συνεπώς οι επιπτώσεις που προκαλούνται στο περιβάλλον από τη δραστηριότητα της μεταφοράς και κυρίως η κατανάλωση ενέργειας και η εκπομπή αέριων ρυπαντών, πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στην προσπάθεια εκτίμησης του κύκλου ζωής του μαρμάρου.

Όσον αφορά στην καταγραφή της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, οι ενεργειακές απαιτήσεις των μεταφορών αποτελούν ένα ιδιαίτερα σημαντικό τμήμα των συνολικών απαιτήσεων και ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος των μεταφορικών μέσων. Ωστόσο, η εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών που οφείλονται στη μεταφορά, δεν είναι εύκολη διαδικασία, καθώς χρειάζεται να συνυπολογιστούν οι εξής τρεις παράγοντες:

- ◆ Το ενεργειακό περιεχόμενο των καυσίμων που καταναλώνονται άμεσα από τα διάφορα μεταφορικά μέσα καθώς και η απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή των καυσίμων αυτών. Η ενέργεια αυτή είναι συνήθως ανάλογη της διανυόμενης απόστασης και επηρεάζεται από παράγοντες όπως το φορτίο, το είδος του ταξιδιού, η ηλικία του μεταφορικού μέσου, το επίπεδο της συντήρησής του, κλπ.
- ◆ 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 δηλαδή ως η 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 καταγεγραμμένων υλικών, ενέργειας και εκπομπών.

Η κατανάλωση καυσίμου στις οδικές μεταφορές, είτε είναι ντίζελ είτε βενζίνη, είναι ευαίσθητη σε μια σειρά από παράγοντες, όπως η ταχύτητα, το μεταφερόμενο φορτίο, το είδος του οχήματος και του καυσίμου, κλπ. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την ενεργειακή απόδοση των μέσων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του μαρμάρου, ο οποίος όμως είναι εξαιρετικά δύσκολο να ληφθεί με ακρίβεια υπόψη γιατί δεν υπάρχουν αξιόπιστα στοιχεία, είναι οι κυκλοφοριακές συνθήκες και γενικά ο τρόπος οδήγησης. Όσον αφορά στην ενέργεια κατασκευής και συντήρησης των οχημάτων, είναι η 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, ενώ η ενέργεια κατασκευής και συντήρησης του οδικού δικτύου καθώς και η ενέργεια που απαιτείται για την ομαλή και αποδοτική λειτουργία του χρησιμολογούμενου οδικού δικτύου καθώς και για την ύπαρξη μιας σειράς από άλλες ευκολίες, όπως χώροι στάθμευσης, σημάνσεις, φωτισμοί δρόμων. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, ο υπολογισμός των ενεργειών αυτών, ιδιαίτερα στην περίπτωση του κύκλου ζωής του μαρμάρου, όπου απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός μεταφορών στον οποίο εμπλέκονται πολλά μεταφορικά μέσα, είναι μια εξαιρετικά πολύπλοκη και δύσκολη διαδικασία, η οποία όμως μπορεί να

εξελιχθεί στο μέλλον σε μεγάλο βαθμό, αν ληφθεί υπόψη το ότι η εκτίμηση του κύκλου ζωής έχει τεράστιες δυνατότητες ανάπτυξης.

Εκτός από την κατανάλωση ενέργειας και καυσίμων, η δραστηριότητα της μεταφοράς αποτελεί μια σημαντική πηγή ρύπανσης του περιβάλλοντος, καθώς είναι υπεύθυνη για περιβαλλοντική υποβάθμιση, σαν αποτέλεσμα της εκπομπής διαφόρων αέριων ρύπων, όπως διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), οργανικών πτητικών ενώσεων (VOC), υδρογονανθράκων (HC), κλπ. Τα επίπεδα εκπομπών των διαφόρων ρύπων εξαρτώνται από αρκετούς παράγοντες, όπως η συντήρηση του οχήματος, το είδος του δρόμου, ο τρόπος οδήγησης κλπ. Σε μια μελέτη εκτίμησης κύκλου ζωής του μαρμάρου που υπεισέρχεται σε μεγαλύτερο βάθος, η περιβαλλοντική επιβάρυνση από τη δραστηριότητα της μεταφοράς περιλαμβάνει και άλλους αέριους ρύπους, όπως χλωροφθοράνθρακες, σκόνη και σωματίδια, υγρά απόβλητα, όπως λάδια, χρώματα και στερεά απορρίμματα, όπως χαρτί, πλαστικές ύλες, ελαστικά. Πρόκειται δηλαδή για απόβλητα που αποδεσμεύονται κατά την κατασκευή και συντήρηση των οχημάτων και που πολύ δύσκολα καταγράφονται, για αυτό το λόγο σπάνια συμπεριλαμβάνονται στις διάφορες μελέτες εκτίμησης κύκλου ζωής. Επιπλέον, οι μεταφορές είναι η πηγή για τη δημιουργία και άλλων προβλημάτων με κοινωνικό κυρίως κόστος, όπως ο θόρυβος και τα ατυχήματα, τα οποία επίσης σπάνια εξετάζονται και αξιολογούνται [24].

Μετά τη μεταφορά τους στην πλατεία του λατομείου, οι “πάγκοι” μαρμάρου τεμαχίζονται σε ογκομάρμαρα εμπορικών διαστάσεων κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα παραγόμενα ογκομάρμαρα να μην έχουν ελαττώματα. Πολλές φορές στην πλατεία του λατομείου ολοκληρώνεται ο ορθογωνισμός των όγκων εκείνων που κατά την εξόρυξή τους δεν είχαν ήδη ορθογωνιστεί από όλες τις πλευρές (με μέσα όπως “γάζωμα” με αερόσφυρες, συρματοκοπή πλατείας), αν και συνήθως η διαδικασία του ορθογωνισμού πραγματοποιείται στο εργοστάσιο επεξεργασίας. Στην περίπτωση αυτή, τα ογκομάρμαρα που δεν είναι άμεσα εμπορεύσιμα και που ονομάζονται “ξοφάρια” ή “μώλοι”, φορτώνονται στα φορτηγά αυτοκίνητα στην κατάσταση που βρίσκονται, αρκεί να έχουν τουλάχιστον μια επίπεδη πλευρά ώστε να εδράζονται καλά στην πλατφόρμα του φορτηγού, ή τεμαχίζονται σε μικρότερους όγκους, όταν απαιτείται, ώστε να είναι δυνατή η φόρτωση και μεταφορά τους. Η φόρτωση των όγκων στα φορτηγά αυτοκίνητα γίνεται είτε απευθείας με φορτωτή ή εκσκαφέα, σηκώνοντας τον όγκο με τον κάδο ή δεμένο με αλυσίδα, αν πρόκειται για σχετικά μικρούς όγκους, είτε με φορτωτή μέσω “ράμπας”, μπροστά στην οποία στέκεται το φορτηγό αυτοκίνητο και ο φορτωτής σηκώνει τον όγκο στην καρότσα, αν πρόκειται για μεγαλύτερους όγκους, ή ακόμα και με γερανό μεγάλης ανυψωτικής ικανότητας (derrick). Τα φορτηγά αυτοκίνητα με τα οποία γίνεται η μεταφορά των όγκων στο εργοστάσιο επεξεργασίας, είναι ειδικά διασκευασμένα με επίπεδη κλίση (πλατφόρμα) [25]. Στο συγκεκριμένο υποσύστημα του κύκλου ζωής του μαρμάρου, εκτός από την κατανάλωση ενέργειας και καυσίμου στις οδικές μεταφορές, σημαντικές εισροές που πρέπει επίσης να καταγραφούν στο στάδιο της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών, είναι και η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού του λατομείου (εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη διάνοιξη των δρόμων προσπέλασης, για την αποκάλυψη του κοιτάσματος, για την προετοιμασία των μετώπων εξόρυξης, εξοπλισμός εξόρυξης των ογκομαρμάρων), η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται για την ψύξη της επιφάνειας κοπής και την απομάκρυνση των διαφόρων θραυσμάτων, καθώς και τα διάφορα ανταλλακτικά του μηχανολογικού εξοπλισμού (π.χ. σύρματα διαμαντέ, ανταλλακτικά των οχημάτων), τα οποία όμως είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστούν. Παράλληλα με τα εμπορεύσιμα ογκομάρμαρα, άλλες εκροές της εξορυκτικής διαδικασίας που αποτελούν σημαντικά υποπροϊόντα ενός λατομείου μαρμάρου, είναι τα “ξοφάρια” ή “μώλοι”, που έχουν αναφερθεί και προηγουμένως, καθώς και οι λατύπες. Τα “ξοφάρια” ή “μώλοι” είναι ακατέργαστοι όγκοι ακανόνιστου σχήματος, σχετικά μεγάλων διαστάσεων, από τους οποίους είναι δυνατή η παραγωγή πλακών στο εργοστάσιο επεξεργασίας. Λόγω όμως του ακανόνιστου σχήματός τους, τα “ξοφάρια” παρουσιάζουν μεγαλύτερο ποσοστό απωλειών κατά την παραγωγή των τελικών προϊόντων από αυτά, μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας και μεγαλύτερη φθορά κοπτικών εργαλείων ανά παραγόμενο  $\text{m}^2$  πλακών. Από την άλλη, οι λατύπες είναι τα απορρίμματα που παράγονται κατά την εξόρυξη των ογκομαρμάρων. Πρόκειται για κομμάτια μαρμάρου ακανόνιστου σχήματος (θραύσματα μαρμάρου) που έχουν όμως μικρότερο όγκο από τα “ξοφάρια”, τόσο μικρό που δεν συμφέρει η παραγωγή πλακών, έστω και των ελάχιστων διαστάσεων, από αυτές.

Άλλα στερεά απορρίμματα που παράγονται κατά την εξορυκτική διαδικασία και που πρέπει να καταγραφούν, είναι τα μη εμπορεύσιμα ογκομάρμαρα και τα στείρα της εκμετάλλευσης, στα οποία, εκτός από τις λατύπες, περιλαμβάνονται και οι ποσότητες του άχρηστου πετρώματος και των χωμάτων που προέρχονται τόσο από την διάνοιξη των δρόμων προσπέλασης, την αποκάλυψη των μαρμαροφόρων στρωμάτων και την προετοιμασία των μετώπων εξόρυξης, όσο και από την ίδια τη διαδικασία της εξόρυξης των ογκομαρμάρων. Οι ποσότητες των στείρων υλικών είναι πολύ μεγάλες, υπερβαίνοντας πολλές φορές το 80% του συνολικού εξορυσσόμενου υλικού και συνήθως αποτίθενται σε κάποια παραπλήσια στο λατομείο έκταση, δεσμεύοντας έτσι πολύτιμο χώρο και προκαλώντας περαιτέρω αλλαγές στο τοπίο. Στην κατηγορία των στερεών απορριμμάτων μπορούν να συμπεριληφθούν επίσης τα χρησιμοποιημένα ανταλλακτικά και τα κατεστραμμένα μηχανήματα που εγκαταλείπονται μετά τη χρήση τους, τα οποία παρουσιάζουν όμως μεγάλες δυσκολίες καταγραφής.

Εκτός από τις εκπομπές αέριων ρύπων που οφείλονται στη δραστηριότητα της μεταφοράς, σημαντικές εκροές που προκαλούν περιβαλλοντικά προβλήματα είναι η αέρια ρύπανση με τη μορφή σκόνης που



δημιουργείται κατά τη διάρκεια της εξόρυξης όταν δεν λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα και ο θόρυβος από τα μηχανήματα που προκαλείται κατά τη διάρκεια της εξορυκτικής διαδικασίας (ή οι δονήσεις στην περίπτωση χρήσης εκρηκτικών υλών). Μια άλλη περιβαλλο-ντική επίπτωση που πολύ δύσκολα καταγράφεται είναι και η οπτική ρύπανση. Κατά τη διάρκεια της εξορυκτικής δραστηριότητας προκαλούνται μεταβολές στο τοπίο με την αλλοίωση των ακανόνιστων μορφών του φυσικού αναγλύφου και τη δημιουργία κανονικών μορφών, την εμφάνιση άκαμπτων ευθύγραμμων τμημάτων σε αντικατάσταση των ομαλών καμπυλών του φυσικού τοπίου, την εμφάνιση ανοικτών και έντονων χρωμάτων των εκσκαφών σε αντιπαράθεση με τα σκούρα χρώματα των φυσικών στοιχείων και την αλλαγή της υφής του τοπίου. Οι αντιθέσεις αυτές είναι εντονότερες, όταν από τη θέση παρατήρησης, μπορεί να συγκριθεί ο χώρος εξόρυξης με το αδιατάρακτο φυσικό περιβάλλον [26].

### **Επεξεργασία των ογκομαρμάρων και κατασκευή προϊόντων μαρμάρου**

Μετά την εξόρυξη των ογκομαρμάρων ή των “ξοφαριών”, ακολουθεί η επεξεργασία τους για την παραγωγή των διάφορων προϊόντων μαρμάρου. Το στάδιο της επεξεργασίας αποτελεί πολύ σημαντικό τμήμα της σύγχρονης μαρμαροβιομηχανίας, καθώς σήμερα η ζήτηση τελικών προϊόντων μαρμάρου υψηλής πιστό-τητας στις διαστάσεις και υψηλής απόδοσης στη λείανση και στίλβωση παρο-σιάζει συνεχή αύξηση. Η επεξεργασία αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι γίνεται σε τρεις φάσεις:

- Τον ορθογωνισμό των τυχόν ακανόνιστων ή ελαττωματικών όγκων για την παραγωγή κανονικά ορθογωνισμένων όγκων με μια ή περισσότερες λείες επιφάνειες.
- Το σχίσσιμο ή των κατά οποιονδήποτε τρόπο τεμαχισμό των ογκομαρμάρων ή “ξοφαριών” για την παραγωγή κάποιων ενδιάμεσων προϊόντων, όπως οι πλάκες, τα μπαστούνια, κλπ., τα οποία είναι κατάλληλα προς περαιτέρω επεξεργασία για να παραχθούν τα τελικά προϊόντα.
- Την περαιτέρω επεξεργασία των ενδιάμεσων προϊόντων για την παραγωγή των τελικών προϊόντων.

Η πρώτη φάση μπορεί να γίνει εν μέρει ή εξ' ολοκλήρου στο λατομείο (εφόσον υπάρχουν εκεί τα κατάλληλα μηχανήματα), αλλιώς γίνεται ή συμπληρώνεται στο εργοστάσιο επεξεργασίας. Η δεύτερη πραγματοποιείται στο εργοστάσιο επεξεργασίας, ενώ η τρίτη φάση μπορεί να γίνει στο εργοστάσιο σε συνέχεια της δεύτερης ή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μικρότερα εργαστήρια (μαρμα-ρογλυφεία), τα οποία αγοράζουν ενδιάμεσα προϊόντα από τα εργοστάσια και τα επεξεργάζονται για την παραγωγή τελικών προϊόντων. Οι τρεις αυτές φάσεις περιγράφονται συνοπτικά στη συνέχεια.

#### ***Ο ορθογωνισμός των όγκων***

Ο ορθογωνισμός των όγκων αποτελεί την πρώτη επεξεργασία που υφίστανται οι εξορυσσόμενοι όγκοι οι οποίοι προορίζονται για σχίσσιμο, επειδή δεν είναι συνήθως ορθογωνισμένοι από όλες τις πλευρές ή έχουν εξωτερικά ελαττώματα που πρέπει να αφαιρεθούν. Ο ορθογωνισμός μπορεί να γίνει με διάφορα μέσα, όπως “γάζωμα” με αερόσφυρες ή υδραυλικές σφύρες, που αποτελεί τον απλούστερο και συνθηθέστερο τρόπο ορθογωνισμού, χρήση συρματοκοπής διαμαντέ, χρήση μονόλαμου, χρήση μονόσυρμου, χρήση “κόφτη” με μεγάλο δίσκο.

Όταν ο ορθογωνισμός εκτελείται με μονόλαμο, μονόσυρμο ή “κόφτη”, τότε ο προς ορθογωνισμό όγκος τοποθετείται πάνω σε ειδικά βαγόνια και γίνεται συνεχής ψύξη της κοπόμενης επιφάνειας και του κοπτικού μέσου με καταιονισμό νερού.

#### ***Το 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 ορθο-γωνισμένων όγκων σε μηχανήματα που διαθέτουν κατακόρυφους και ορι-ζόντιους δίσκους κοπής.

Όσον αφορά στον πρώτο τρόπο κοπής, τα τελάρια είναι μηχανήματα που διαθέτουν ένα αριθμό από παράλληλες αδαμαντοφόρες λάμες (ο αριθμός τους κυμαίνεται από 25 μέχρι 80, ανάλογα με το μέγεθος του μηχανήματος) στις κατάλληλες αποστάσεις, ώστε κατά την κοπή να προκύπτουν πλάκες πάχους 2 ή 3

cm. Πρόκειται δηλαδή για ένα είδος πολλαπλού πριονιού, οι λάμες του οποίου κινούνται παλινδρομικά, επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο το σχίσιμο των όγκων, που τοποθετούνται πάνω σε ένα βαγόνι, σε πλάκες. Οι λάμες φέρουν ένα αριθμό από κοπτικά σώματα, τα οποία καλύπτονται από ένα κράμα μαλακού μετάλλου, μέσα στο οποίο είναι τοποθετημένη σκόνη βιομηχανικών διαμαντιών και στηρίζονται από ένα πλαίσιο, με τη βοήθεια του οποίου γίνεται η τάνυσή τους μηχανικά ή και υδραυλικά. Το μέγεθος των όγκων που μπορεί να δεχθεί ένα τελάρο, εξαρτάται από το μέγεθος του μηχανήματος. Όταν οι όγκοι είναι μικροί, τοποθετούνται πάνω στο βαγόνι και δύο ή τρεις όγκοι σε σειρά, ή δύο όγκοι παράλληλα. Ο δεύτερος τρόπος κοπής χρησιμοποιεί μηχανήματα που διαθέτουν ένα ή και περισσότερους παράλληλους κατακόρυφους δίσκους καθώς και ένα οριζόντιο. Με τους κατακόρυφους δίσκους κόβονται μια ή περισσότερες πλάκες πάχους από 8mm μέχρι 3cm, ή ορθογώνια πρίσματα (“μπαστούνια”) πάχους 15 ή 20 cm, ενώ με τον οριζόντιο δίσκο κόβεται η κάτω πλευρά των πλακών ή του πρίσματος, η οποία έτσι απελευθερώνεται από τον υπόλοιπο όγκο. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να τεμαχισθεί όλος ο υπό επεξεργασία όγκος.

### *Η παραγωγή των τελικών προϊόντων*

Η συγκεκριμένη φάση μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο τα τελικά προϊόντα της επεξεργασίας παίρνουν το οριστικό τους σχήμα, ενώ στο δεύτερο στάδιο γίνεται το “φινιρίσμα”, δηλαδή η λείανση και η στίλβωση των ορατών επιφανειών τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι το δεύτερο αυτό στάδιο δεν εκτελείται απαραίτητα πάντα, δεδομένου ότι πολλές φορές τα τελικά προϊόντα πωλούνται χωρίς να έχουν υποστεί το στάδιο αυτό, το οποίο τότε πραγματοποιείται μετά την τοποθέτησή τους στις οικοδομές ή όπου αλλού τοποθετηθούν.

Στο πρώτο στάδιο γίνεται η κοπή των τελικών προϊόντων μαρμάρου στις επιθυμητές διαστάσεις. Αν τα ενδιάμεσα προϊόντα είναι πλάκες που έχουν σχιστεί σε τελάρο, 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 μηχανήματα 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 μηχανήματα με πολλαπλούς παράλληλους δίσκους στις αντίστοιχες αποστάσεις. Οι επιμήκειες πλάκες που παράγονται και με τους δύο τρόπους κόβονται στη συνέχεια σε τετράγωνα ή ορθογώνια πλάκες με μικρότερο μήκος σε ειδικό μηχανήματα 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. 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.

Οι πλάκες που προέρχονται από το κοπτικό μηχανήματα έχουν ανάγκη πολλές φορές από “καλιμπράρισμα”, μια επεξεργασία λείανσεως που έχει σα σκοπό να καταστήσει τις πλάκες ισοπαχείς σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Επίσης έχουν ανάγκη από προκαταρκτική λείανση, η οποία αποβλέπει στην εξομάλυνση των ανωμαλιών και εξογκωμάτων που παρατηρούνται στις επιφάνειες των πλακών, ώστε να μπορέσει να ακολουθήσει το επόμενο στάδιο, η τελική λείανση και στίλβωση. Για το “καλιμπράρισμα” και την προκαταρκτική λείανση χρησιμοποιούνται χειροκίνητες ή αυτόματες λειαντικές μηχανές που διαθέτουν λειαντικές κεφαλές, στα άκρα των οποίων είναι προσαρμοσμένοι περιστρεφόμενοι αδαμα-ντοφόροι δίσκοι (“πλατώ”). Εκτός από το “καλιμπράρισμα”, σε πολλές περιπτώσεις (ιδίως στα λεπτά πλακίδια) γίνεται και το λεγόμενο “μπιζουτάρισμα”, που είναι η εξομάλυνση των ακμών των πλακιδίων με τρόχισμα υπό γωνία 45 μοιρών. Για την εργασία αυτή χρησιμοποιούνται σμυριδοτροχοί ή μικρές λειαντικές κεφαλές και η διαδικασία γίνεται στο ίδιο μηχανήματα με το “καλιμπράρισμα”.

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 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, να μην τρίβει ή χαράζει την επιφάνεια του μαρμάρου και να μην προκαλεί μικρο-ρωγμές, όπου μπορεί να συγκεντρωθεί ακαθαρσία και να προκληθεί αποχρωματισμός. Σαν τέτοιο υλικό χρησιμοποιείται συνήθως το ανθρακοπυρίτιο. Ο περισσότερο εφαρμοζόμενος τρόπος λείανσεως είναι σήμερα η υγρή λείανση με λειαντικές πέτρες. Οι λειαντικές πέτρες που χρησιμοποιούνται σήμερα αποτελούνται από μια μάζα μαγνησίτη ή συνθετικής ρητίνης, μέσα στην οποία είναι διεσπαρμένοι κόκκοι ανθρακοπυρίτιου. Οι πέτρες αυτές τοποθετούνται επάνω στις περιστρεφόμενες μεταλλικές κεφαλές και μέσω αυτών πιέζονται πάνω στην υπό επεξεργασία επιφάνεια. Η λείανση πραγματοποιείται σε διαδοχικά στάδια κατά τα οποία μειώνεται προοδευτικά το μέγεθος των κόκκων του ανθρακοπυρίτιου αλλά και η περιεκτικότητα της λειαντικής πέτρας σε αυτό. Μετά την τελική λείανση ακολουθεί η τελική επεξεργασία που ονομάζεται τελική στίλβωση και είναι η δημιουργία στιλπνής επιφάνειας, η οποία 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 οξαλικό οξύ σε υδατικό πολτό. Στη συνέχεια η κατεργαζόμενη 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. Μια τελική επεξεργασία γίνεται πολλές φορές με κέρωμα, δηλαδή στίλβωση με τη χρήση ειδικής αλοιφής που περιέχει κεριά, στίλβωτική σκόνη και χρώμα [27].

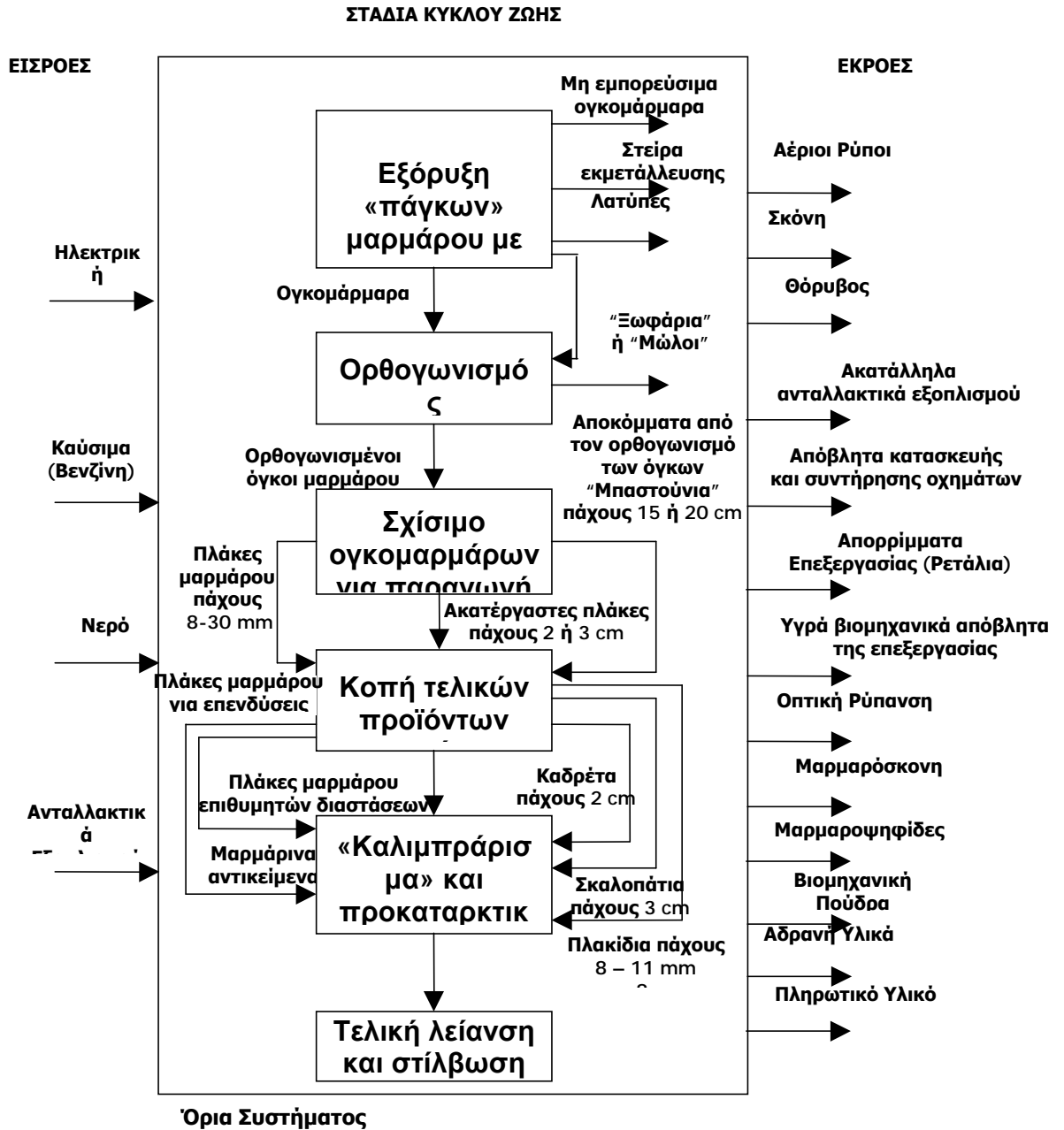
Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια εκτίμησης του κύκλου ζωής του μαρμάρου διαδραματίζει η διακίνηση των ογκομαρμάρων και των τελικών προϊόντων μαρμάρου στο εργοστάσιο επεξεργασίας. Για το λόγο αυτό, πρέπει να καταγράφονται όλες οι εισροές και εκροές που σχετίζονται με τη δραστηριότητα της μεταφοράς (η κατανάλωση ενέργειας και καυσίμων, η εκπομπή αέριων ρύπων, η αποδέσμευση αποβλήτων κατά την κατασκευή και συντήρηση των οχημάτων), για την οποία ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στην ανάλυση του προηγούμενου σταδίου της εξόρυξης. Τα μέσα που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη διακίνηση είναι γερανογέφυρες διαφόρων διαστάσεων και ανυψωτικής ικανότητας, ειδικοί τροχοφόροι γερανοί και βαγόνια. Μετά και το τέλος της επεξεργασίας, τα εμπορεύσιμα ογκομάρα καθώς και τα τελικά προϊόντα μαρμάρου, τα οποία συσκευάζονται συνήθως σε παλέτες, μεταφέρονται με περνοφόρα οχήματα (κάρκ) στις αποθήκες, έτοιμα προς διάθεση.

Όπως και στο προηγούμενο υποσύστημα του κύκλου ζωής του μαρμάρου, άλλες σημαντικές εισροές 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), τα διάφορα ανταλλακτικά που χρειάζονται, τα οποία όμως είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστούν, καθώς 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. Επίσης το νερό, αναμειγμένο με τους κόκκους του μαρμάρου, δημιουργεί ένα υδαρές μείγμα, που λόγω της φθοροποιού ικανότητάς του, προκαλεί μια βαθμιαία φθορά του μαλακού κράματος μέσα στο οποίο είναι τοποθετημένη η σκόνη των διαμαντιών και έτσι έρχονται στην επιφάνεια νέοι κόκκοι διαμαντιών.

Εκτός από τις ακατέργαστες πλάκες μαρμάρου σε διάφορα πάχη (συνήθως 2 και 3 cm) που προέρχονται από το σχίσιμο των ογκομαρμάρων στα σχιστήρια (τελάρια) και οι οποίες, αν και είναι στην πραγματικότητα ενδιάμεσα προϊόντα, αποτελούν αντικείμενο εμπορίας και εξάγονται υπό τη μορφή αυτή στο εξωτερικό, υπάρχουν και άλλες σημαντικές εκροές της διαδικασίας της επεξεργασίας. Σαν τέτοιες θεωρούνται πλάκες ορισμένων διαστάσεων (κατόπιν παραγγελίας) για επενδύσεις τοίχων και δαπέδων, επενδύσεις μνημείων, ποδιές για πόρτες και παράθυρα, σκαλοπάτια πάχους 3 cm και διαφόρων διαστάσεων, πλάκες (καδρέτα) πάχους 2 cm και τυποποιημένων διαστάσεων (30X30 cm, 40X40 cm, 30X60 cm, κλπ.), πλακίδια επενδύσεων τοίχων πάχους 8-11 mm και μαρμάρινα αντικείμενα διάφορων ειδικών χρήσεων (νεροχύτες, μνημεία, τζάκια, καλλιτεχνήματα, κλπ.). Επίσης, στις εκροές ανήκουν και τα διάφορα υποπροϊόντα που παράγονται από την επεξεργασία της λατύπης, η οποία δημιουργείται κατά την εξόρυξη των ογκομαρμάρων, όπως μαρμαρό-σκονη, βιομηχανική πούδρα, μαρμαροψηφίδες, αδρανή υλικά για παραγωγή σκυροδέματος και πληρωτικό υλικό (filler) που προστίθεται σε διάφορα προϊόντα (χαρτί, πλαστικά, ελαστικά).

Η διαδικασία της επεξεργασίας των ογκομαρμάρων δημιουργεί όμως περιβαλλοντικά προβλήματα μέσω των διάφορων απορριμμάτων που παράγει, τα οποία δεν πρέπει να αγνοούνται. Έτσι, στο στάδιο της ανάλυσης των καταγρα-φόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών, εκτός από τα αποκόμματα 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 τελάρια, κοπτικά άκρα στα μηχανήματα κοπής, ακατάλληλες λόγω γήρανσης λειαντικές πέτρες, ανταλλακτικά των οχημάτων).

Όσον αφορά στα υγρά απορρίμματα, σε αυτά περιλαμβάνονται κυρίως τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα που προκύπτουν κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας. Όπως είναι φυσικό, οι μεγάλες ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία, δημιουργούν σημαντικά βιομηχανικά απόβλητα, που περιέχουν κατά κύριο λόγο αδρανή στερεά, τα οποία προκαλούν όχληση στο περιβάλλον και πρέπει γι' αυτό το λόγο να απομακρυνθούν. Σαν παράδειγμα αναφέρεται η λάσπη, η οποία περιέχει ποικίλους μολυντές, όπως έλαια, λιπα-ντικά, χημικά κροκιδωτικά κλπ. Στα υγρά απόβλητα ανήκει και η “μουργκάνα”, που είναι ένα μείγμα αποτελούμενο από νερό, μαρμαρόσκονη, υπολείμματα των συρμάτων κοπής, κλπ., το οποίο προκύπτει από τη χρήση της συρμα-τοκοπής. Το υλικό αυτό, εξαιτίας της λεπτομερούς μορφής του, όταν ξηρανθεί επικάθεται πάνω στα φυτά, προκαλώντας έτσι την καταστροφή της χλωρίδας. Δεν πρέπει επίσης να αγνοείται ο θόρυβος και η ποσότητα της σκόνης που παράγονται κατά την επεξεργασία. Στο σχήμα 4.2 που ακολουθεί απει-κονίζονται τα δύο στάδια του κύκλου ζωής του μαρμάρου που αναλύθηκαν προηγουμένως, καθώς και οι διάφορες εισροές και εκροές που σχετίζονται με αυτά [28].



**Σχήμα 4.2:** Αναλυτική απεικόνιση των δύο πρώτων σταδίων του κύκλου ζωής του μαρμάρου.

## Παραπομπές Βιβλιογραφίας

- [1] **Αποστολίδης Ν.Χ.**, Εκμετάλλευση Μαρμάρων, **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών Ε.Μ.Π.**, **Αθήνα**, 1991, **σελ. 1.**
- [2] **Ελληνικό Μάρμαρο**, **ό.π.**, **σελ. 19.**
- [3] **Παπαγεωργάκης Ι.–Καθηγητής Κοιτασματολογίας και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας Ε.Μ.Π.**, “**Τα πετρώματα της μαρμαρικής τέχνης και η εκμετάλλευσή τους**”, **Ελληνικό Μάρμαρο**, **Αθήνα**, **Νοέμβριος–Δεκέμβριος 1977**, **σελ. 21.**
- [4] **Ελληνικό Μάρμαρο**, **ό.π.**, **σελ. 28.**
- [5] **-Αποστολίδης Ν.Χ.**, **ό.π.**, **σελ. 5.**  
**-Γιούτα–Μήτρα Π.**, **ό.π.**, **σελ. 6.**  
**-Καλιαμπάκος Δ.**, Σημειώσεις, Περιβάλλον ΙΙ: Προστασία περιβάλλοντος στη μεταλλευτική δραστηριότητα, **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών Ε.Μ.Π.**, **Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας & Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής**, **Αθήνα**, 2001, **σελ. 41.**  
**-Παπαγεωργάκης Ι.**, **ό.π.**, **σσ. 21-22.**  
**-Conti G., Lisanti V., Mannoni T., Montani C., Pinzari M., Ragone M., Ricci A., Semel G.**, **ό.π.**, **σσ. 11-14.**
- [6] **Τσιραμπίδης Α.**, “**Πετρογραφικά χαρακτηριστικά, ορυκτολογική και χημική σύσταση και τύποι ελληνικών μαρμάρων**”, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Το ελληνικό μάρμαρο (Έρευνα–Παραγωγή–Εξαγωγή–Αξιοποίηση υποπροϊόντων–Αποκατάσταση λατομείων–Νομοθετικό πλαίσιο), **Θεσσαλονίκη**, **Φεβρουάριος 2000**, **σελ. 77.**
- [7] **-Αποστολίδης Ν.Χ.**, **ό.π.**, **σσ. 5-6.**  
**-Γιούτα–Μήτρα Π.**, **ό.π.**, **σελ. 161.**  
**-Ελληνικό Μάρμαρο**, **ό.π.**, **σελ. 39.**  
**-Καλιαμπάκος Δ.**, **ό.π.**, **σελ. 41.**  
**-Παπαγεωργάκης Ι.**, **ό.π.**, **σελ. 22.**  
**-Τσιραμπίδης Α.Ε.**, **ό.π.**, **σσ. 59-61.**
- [8] **Ελληνικό Μάρμαρο**, **ό.π.**, **σελ. 20.**
- [9] **Ελληνικό Μάρμαρο**, **ό.π.**, **σελ. 30.**
- [10] **-Αποστολίδης Ν.Χ.**, **ό.π.**, **σσ. 7, 9, 11.**  
**-Γιούτα–Μήτρα Π.**, **ό.π.**, **σσ. 161-163.**  
**-Ελληνικό Μάρμαρο**, **ό.π.**, **σσ. 22-32.**  
**-Παπαγεωργάκης Ι.**, **ό.π.**, **σσ. 22-26.**  
**-Τσιραμπίδης Α.Ε.**, **ό.π.**, **σσ. 41-61.**
- [11] **-Γιούτα–Μήτρα Π.**, **ό.π.**, **σσ. 89-91.**  
**-Τσιραμπίδης Α.Ε.**, **ό.π.**, **σσ. 93-95.**
- [12] **Τσιραμπίδης Α.**, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου, **ό.π.**, **σσ. 67-69.**
- [13] **-Καντηράνης Ν., Τσιραμπίδης Α., Φιλιππίδης Α., Χρησταράς Β., Κασώ-λη–Φουρναράκη Α.**, “**Μελέτη του κρυσταλλικού ασβεστόλιθου Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας**”, Πρακτικά 1<sup>ου</sup> Συνεδρίου της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας, **Κοζάνη**, **Φεβρουάριος 2000**, **σσ. 184-195.**

- Καντηράνης Ν.**, Διατριβή Ειδίκευσης: “Πετρολογική, γεωχημική και τεχνολογική μελέτη των Ιουρασικών ανθρακικών πετρωμάτων Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας”, **Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης**, 1998, **σελ.** 69.
- Clarke, L., B. and Sloss, L., L., Trace elements–emissions from coal combustion and gasification, IEA Coal res., London, 1992, **σελ.** 111.
- Faelten, S., The complete book of Minerals for Health, Rodale Press, Pennsylvania, 1981, **σελ.** 534.
- Kabata–Pendias, A. and Pendias, H., Trace Elements in Soils and Plants, CRC Press, Boca Raton, 1992, **σελ.** 365.
- Kantiranis N., Filippidis A., Tsirambidis A., Christaras B. & Kassoli–Four–naraki, “Volatilization of arsenic during calcination of crystalline limestone from Agios Panteleimonas, Florina, Macedonia, Greece”, Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference on Environmental Pollution, Toxic Metals, Thessaloniki, September 1998, **σσ.** 73-78.
- Mason, B. and Moore, C., B., Principles of Geochemistry, J. Wiley & Sons, 4<sup>th</sup> Edition, New York, 1982, **σελ.** 344.
- Nriagu, J., O., “Global Metal Pollution: poisoning the biosphere?”, Environment, 32(7), 1990, **σσ.** 7-33.
- Sengupta, M., Environmental Impacts of Mining, Lewis, Boca Raton, 1993, **σελ.** 494.
- [14] **Αποστολίδης Ν.Χ.**, **ό.π.**, **σελ.** 41.
- [15] **-Αποστολίδης Ν.Χ.**, **ό.π.**, **σσ.** 30-32.
- Βιδάκης Ε.**, **Πατηνιώτης Ν.**, “Τεχνικά χαρακτηριστικά των μαρμάρων–Καθορισμός της ποιότητας σε σχέση με τη χρήση τους”, **Ι.Γ.Μ.Ε.**, **Αθήνα**, **Ιανουάριος** 1988, **σσ.** 1-3.
- Γιούτα–Μήτρα Π.**, **ό.π.**, **σσ.** 93-95.
- Ελληνικό Μάρμαρο**, **ό.π.**, **σσ.** 43-44.
- Τσιραμπίδης Α.Ε.**, **ό.π.**, **σσ.** 81-82.
- [16] **-Αποστολίδης Ν.Χ.**, **ό.π.**, **σελ.** 34.
- Βιδάκης Ε.**, **Πατηνιώτης Ν.**, **ό.π.**, **σσ.** 4-6.
- Γιούτα–Μήτρα Π.**, **ό.π.**, **σσ.** 95-100.
- Ελληνικό Μάρμαρο**, **ό.π.**, **σσ.** 44-45.
- Παπαϊωάννου Ν.**, **Βιδάκης Ε.**, “Έλεγχος Ποιότητας–Κριτήρια–Προδια-γραφές διακοσμητικών πετρωμάτων”, Ημερίδα: Προβλήματα εκμετάλλευσης και διαχείρισης λατομικών υλικών, **Αθήνα**, **Μάιος** 1995, **σσ.** 5, 12-13.
- Τσιραμπίδης Α.Ε.**, **ό.π.**, **σσ.** 83-86.
- [17] **Παπαϊωάννου Ν.**, **Βιδάκης Ε.**, Ημερίδα: Προβλήματα εκμετάλλευσης και διαχείρισης λατομικών υλικών, **ό.π.**, **σελ.** 10.
- [18] **-Αποστολίδης Ν.Χ.**, **ό.π.**, **σσ.** 34-35.
- Βιδάκης Ε.**, **Πατηνιώτης Ν.**, **ό.π.**, **σσ.** 6-8.
- Γιούτα–Μήτρα Π.**, **ό.π.**, **σσ.** 100-106.
- Ελληνικό Μάρμαρο**, **ό.π.**, **σσ.** 45-46.
- Λασκαρίδης Κ.**, **Παπαϊωάννου Ν.**, **Κουσερής Ι.**, “Επιλογή των διακοσμητικών πετρωμάτων με κριτήριο τις φυσικομηχανικές τους ιδιότητες”, Πρα-κτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Το ελληνικό μάρμαρο (Έρευνα–Παραγωγή–Εξαγωγές–Αξιοποίηση

- υποπροϊόντων–Αποκατάσταση λατομείων–Νομοθετικό πλαίσιο), **Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2000, σσ. 90-92.**
- Παπαϊωάννου Ν., Βιδάκης Ε.,** Ημερίδα: Προβλήματα εκμετάλλευσης και διαχείρισης λατομικών υλικών, **ό.π., σσ. 9-10.**
- Τσιραμπίδης Α.Ε.,** **ό.π., σσ. 86-89.**
- [19] **Λασκαρίδης Κ., Παπαϊωάννου Ν., Κουσερής Ι.,** **ό.π., σελ. 92.**
- [20] -**Αποστολίδης Ν.Χ.,** **ό.π., σσ. 36-40.**
- Βιδάκης Ε., Πατηνιώτης Ν.,** **ό.π., σσ. 8-11.**
- Γιούτα–Μήτρα Π.,** **ό.π., σσ. 107-113.**
- Ελληνικό Μάρμαρο,** **ό.π., σσ. 46-47.**
- Λασκαρίδης Κ., Παπαϊωάννου Ν., Κουσερής Ι.,** **ό.π., σσ. 92-96.**
- Παπαϊωάννου Ν., Βιδάκης Ε.,** Ημερίδα: Προβλήματα εκμετάλλευσης και διαχείρισης λατομικών υλικών, **ό.π., σσ. 10-12.**
- Τσιραμπίδης Α.Ε.,** **ό.π., σσ. 89-93.**
- [21] **Λειβαδάρος Ρ.,** Εκμετάλλευση–Επεξεργασία διακοσμητικών λίθων, Νομικό Πλαίσιο, **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1998, σσ. 1-2.**
- [22] -**Γιούτα–Μήτρα Π.,** **ό.π., σσ. 113-116.**
- Ελληνικό Μάρμαρο,** **ό.π., σσ. 16-17, 68-80.**
- Παπαϊωάννου Ν., Βιδάκης Ε.,** Ημερίδα: Προβλήματα εκμετάλλευσης και διαχείρισης λατομικών υλικών, **ό.π., σσ. 6-8.**
- Τζωρτζίδης Ι., “Μάρμαρα και κατασκευές-Ανταγωνιστικά Υλικά”,** Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Το ελληνικό μάρμαρο (Ερευνα–Παραγωγή–Εξαγωγές– Αξιοποίηση υποπροϊόντων–Αποκατάσταση λατομείων–Νομοθετικό πλαίσιο), **Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2000, σσ. 117-126.**
- Τσιραμπίδης Α.Ε.,** **ό.π., σσ. 102-106, 130-142.**
- Conti G., Lisanti V., Mannoni T., Montani C., Pinzari M., Ragone M., Ricci A., Semel G.,** **ό.π., σσ. 195-210.**
- [23] -**Αποστολίδης Ν.Χ.,** **ό.π., σσ. 47-59, 65-69, 71.**
- Αποστολίδης Ν.Χ.,** Συμπληρωματικές Σημειώσεις του μαθήματος Υπαίθριων Εκμεταλλεύσεων, **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1990, σσ. 18, 20-22.**
- Μοσκοφόγλου Π., “Εισαγωγή στην εκμετάλλευση μαρμαροφόρου κοιτάσματος”,** Ελληνικό Μάρμαρο, 68, **Αθήνα, Μάρτιος–Απρίλιος 1988, σσ. 45-50, 52.**
- [24] **Γεωργακέλλος Δ. Α., “Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεταφορών στις μελέτες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής”,** Δελτίο Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Ηλεκτρολόγων Μηχανολόγων, **Νο 306, Αθήνα, Απρίλιος 1998, σσ. 40, 42-44.**
- [25] **Αποστολίδης Ν.Χ.,** **ό.π., σσ. 71-72.**
- [26] -**Αποστολίδης Ν.Χ.,** **ό.π., σελ. 49.**
- Καλιαμπάκος Δ.,** **ό.π., σσ. 46-47, 53.**
- [27] -**Αποστολίδης Ν.Χ.,** **ό.π., σσ. 74-86.**
- Γιούτα–Μήτρα Π.,** **ό.π., σσ. 123-133.**
- Τσιραμπίδης Α.Ε.,** **ό.π., σσ. 168-173.**
- [28] -**Αποστολίδης Ν.Χ.,** **ό.π., σσ. 89-93.**
- Τσιραμπίδης Α.Ε.,** **ό.π., σσ. 229-232.**

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέσα από την ανασκόπηση όλης της βιβλιογραφίας που συγκεντρώθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και την προσπάθεια ποιοτικής εφαρμογής της μεθοδολογίας εκτίμησης κύκλου ζωής σε ένα λατομείο μαρμάρου, προκύπτουν ορισμένες πολύ χρήσιμες επιστημονικές και συμπεράσματα που αφορούν στη συγκεκριμένη τεχνική και τις διαμορφούμενες συνθήκες μέσα στις οποίες αυτή καλείται να εφαρμοστεί και να αποδώσει.

Το κύριο συμπέρασμα που συνάγεται είναι το ότι πρόκειται για μια σχετικά καινούρια, αλλά αναμφισβήτητα πολλά υποσχόμενη και διαρκώς εξελισσόμενη, επιστημονική μέθοδο, η οποία έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια για να βοηθήσει στην καλύτερη αντιμετώπιση των οξυμένων περιβαλλοντικών προβλημάτων και συνεπώς στην ορθότερη διαχείριση του περιβάλλοντος. Είναι κυρίως ποσοτική τεχνική, αλλά χρησιμοποιεί ποιοτικά στοιχεία, στις περιπτώσεις εκείνες στις οποίες είναι αδύνατη η εφαρμογή της, για να παρουσιάσει μια όσο το δυνατόν πιο πλήρη εικόνα των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων του υπό μελέτη προϊόντος ή διαδικασίας.

Οι κύριοι στόχοι στους οποίους αποβλέπει κανείς με τη διεξαγωγή μιας μελέτης εκτίμησης κύκλου ζωής είναι:

- Η παροχή μιας όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένης εικόνας των αλληλοεπιδράσεων 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.

Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας εκτίμησης του κύκλου ζωής είναι τα εξής:

- ◆ Οι μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής πρέπει να εξετάζουν συστηματικά τις περιβαλλοντικές πλευρές συστημάτων προϊόντων, από την απόκτηση των πρώτων υλών μέχρι την τελική απόρριψή τους.
- ◆ Το βάθος της ανάλυσης και το χρονικό πλαίσιο της μελέτης μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό, ανάλογα με τον καθορισμό του στόχου και του αντικειμενικού σκοπού της μελέτης.
- ◆ Το αντικείμενο, οι υποθέσεις, η περιγραφή των ποιοτικών στοιχείων, οι πηγές των δεδομένων, η χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της εκτίμησης του κύκλου ζωής πρέπει να είναι ξεκάθαρα και κατανοητά.
- ◆ Η μεθοδολογία εκτίμησης του κύκλου ζωής πρέπει να λαμβάνει υπόψη καινούρια επιστημονικά ευρήματα και συνεπαγόμενες βελτιώσεις στο επίπεδο της τεχνικής.
- ◆ Δεν υπάρχει επιστημονική βάση για τη μείωση των αποτελεσμάτων της



εκτίμησης του κύκλου ζωής σε ένα μόνο αριθμό, γεγονός που οφείλεται στην πολυπλοκότητα των διάφορων σταδίων της εκτίμησης αυτού του κύκλου ζωής.

Όπως όλες οι επιστημονικές τεχνικές, έτσι και η εκτίμηση του κύκλου ζωής παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που χρήζουν αναφοράς. Με τη διενέργεια τέτοιων μελετών οι ερευνητές μπορούν να:

- Βοηθηθούν, λαμβάνοντας υπόψη και άλλους παράγοντες, όπως κόστος και απόδοση, στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την επιλογή του προϊόντος ή της διαδικασίας με τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται καταγράφουν την πιθανή μεταφορά περιβαλλοντικών επιπτώσεων από το ένα στάδιο του κύκλου ζωής στο άλλο και βοηθούν στην κατανόηση των πιθανών αλλαγών που συμβαίνουν στο περιβάλλον.
- Αναπτύξουν μια συστημική εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνεπειών και να αναλύσουν τις ανταλλαγές που συμβαίνουν στο περιβάλλον και σχετίζονται με το εξεταζόμενο προϊόν ή διαδικασία.
- Ποσοτικοποιήσουν τις περιβαλλοντικές εκπομπές που συμβαίνουν σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής.
- Εντοπίσουν σημαντικές αλλαγές στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μεταξύ των σταδίων του κύκλου ζωής.
- Εκτιμήσουν τις επιπτώσεις, αφενός της κατανάλωσης υλικών και αφετέρου των περιβαλλοντικών εκπομπών, στον άνθρωπο και στο οικοσύστημα.
- Συγκρίνουν τις επιπτώσεις στον άνθρωπο και στο οικοσύστημα δύο ή περισσότερων ανταγωνιστικών προϊόντων ή διαδικασιών.
- Προσδιορίσουν τις επιπτώσεις του εξεταζόμενου προϊόντος ή διαδικασίας σε ένα ή περισσότερα θέματα περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος.

Εκτός όμως από τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη διενέργεια μελετών εκτίμησης κύκλου ζωής, αυτές παρουσιάζουν και ορισμένες αδυναμίες. Όπως έχει αναφερθεί και στο τρίτο κεφάλαιο, η τεχνική αυτή αποτελείται από τρία, ως ένα βαθμό, αυτόνομα αλλά όχι ανεξάρτητα μεταξύ τους, στάδια, την Ανάλυση των Καταγραφόμενων Υλικών, Ενέργειας και Εκπομπών του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Inventory Analysis), την Εκτίμηση των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment) και την Ερμηνεία των Αποτελεσμάτων του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Interpretation), ενώ πολλοί υποστηρίζουν ότι χρειάζεται να συμπεριληφθεί και ένα τέταρτο στάδιο, ο Ορισμός Στόχου και Αντικειμενικού Σκοπού (Goal and Scope Definition). Μια βασική επισήμανση όμως που προκύπτει από τη μελέτη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και τη διεθνή εμπειρία, είναι ότι οι περισσότερες μελέτες εκτίμησης κύκλου ζωής αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από το στάδιο της ανάλυσης των καταγραφόμενων υλικών, ενέργειας και εκπομπών. Αυτό συμβαίνει, αφενός γιατί το στάδιο αυτό προηγείται πάντα των άλλων δύο, οπότε αυτά πολλές φορές αποφεύγονται, αφού έχει ήδη καταγραφεί η υφιστάμενη κατάσταση και αφετέρου γιατί το στάδιο της καταγραφής έχει αναπτυχθεί σε μεγαλύτερο βαθμό από τα άλλα δύο, με αποτέλεσμα να αποτελεί τη βάση για την εκπόνηση οποιασδήποτε μελέτης και τις περισσότερες φορές να αρκεί για να

παρουσιαστούν ευκαιρίες μείωσης της ρύπανσης και της κατανάλωσης ενέργειας και πρώτων υλών. Στην περίπτωση αυτή τα άλλα δύο στάδια εξασφαλίζουν απλώς την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων. Επιπλέον, το σύστημα που αναλύεται σε αρκετές από τις μελέτες δεν περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του εξεταζόμενου προϊόντος αλλά περιορίζεται μόνο σε κάποια στάδια αυτού, σταματώντας συνήθως στην παραγωγή των προϊόντων ή αγνοώντας τις δραστηριότητες απόκτησης των πρώτων υλών. Επίσης, σε άλλες μελέτες παρατηρείται ότι οι περιβαλλοντικές παράμετροι που καταγράφονται και αναλύονται δεν αναφέρονται στο σύνολο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς στην ανάλυση περιλαμβάνονται συνήθως μόνο η κατανάλωση ενέργειας ή και η αποδέσμευση ενός μικρού αριθμού αποβλήτων. Τα παραπάνω έχουν ως συνέπεια η προσδιοριζόμενη περιβαλλοντική απόδοση των εξεταζόμενων προϊόντων να μην είναι η πραγματική και επομένως η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων να είναι περιορισμένη. Μια άλλη πολύ σημαντική διαπίστωση είναι ότι δεν υπάρχει μια μοναδική μέθοδος για τη διενέργεια μελετών εκτίμησης κύκλου ζωής, ενώ οι περισσότερες από τις ήδη υπάρχουσες είτε εμφανίζουν διάφορες ατέλειες είτε είναι ασαφείς. Στη συντριπτική πλειοψηφία των μελετών δεν υπάρχει εκτίμηση των επιπτώσεων και ερμηνεία των αποτελεσμάτων του κύκλου ζωής. Η υλοποίηση τέτοιων μελετών εναπόκειται, σε μεγάλο ποσοστό, στην ευελιξία των επιχειρήσεων, οι οποίες πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις ανάγκες του πελάτη και τη μελλοντική εφαρμογή του εξεταζόμενου προϊόντος. Άλλα μειονεκτήματα, εκτός από τα προαναφερθέντα, που εμφανίζουν οι συγκεκριμένες μελέτες είναι τα εξής:

- ◆ Οι μελέτες αυτές είναι πολύπλοκες, καθώς περιλαμβάνουν πολλά στάδια και πολύ απαιτητικές, όσον αφορά στους πόρους, στα δεδομένα και στο χρόνο που χρειάζονται για τη διενέργειά τους. Η ακρίβειά τους μπορεί να περιορίζεται από την ποιότητα των δεδομένων ή από τη δυνατότητα πρόσβασης σε αυτά, γεγονός που έχει επίδραση στην ορθότητα των τελικών αποτελεσμάτων. Ένα πρόβλημα που διαπιστώνεται σε πολλές τέτοιες μελέτες είναι η περιορισμένη διαθεσιμότητα των στοιχείων που απαιτούνται για την ανάπτυξή τους. Έτσι, παρατηρείται το φαινόμενο στην ίδια μελέτη να χρησιμοποιούνται τόσο γενικά στοιχεία που συνήθως αποδίδουν μέσες τιμές της βιομηχανίας, όσο και στοιχεία που προέρχονται από ιδιωτικές μετρήσεις ή ακόμα και στοιχεία που στηρίζονται σε εκτιμήσεις και προβλέψεις. Το γεγονός αυτό, όπως είναι φυσικό, επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης και δημιουργεί αμφιβολίες και αμφισβητήσεις. Βέβαια, η χρήση γενικών στοιχείων συντελεί στην αύξηση των διαθέσιμων δεδομένων, αφού έτσι περιορίζεται το πρόβλημα που προκύπτει από το γεγονός ότι τα στοιχεία που προέρχονται από ιδιωτικές μετρήσεις είναι τις περισσότερες φορές απόρρητα. Όμως, τα γενικά στοιχεία είναι συνήθως περιορισμένης ακρίβειας και επηρεάζουν αρνητικά την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του συγκεκριμένου προβλήματος είναι η εφαρμογή ανάλυσης ευαισθησίας στα δεδομένα των μελετών εκτίμησης κύκλου ζωής.
- ◆ Η επίδραση που ασκούν στα αποτελέσματα της ανάλυσης οι βασικές παραδοχές που γίνονται. Οι παραδοχές αυτές σχετίζονται με διάφορα θέματα, όπως ο καθορισμός κατάλληλης μονάδας στην περίπτωση

σύγκρισης διάφορων προϊόντων, η μέθοδος επιμερισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (όταν παράγονται στην ίδια διαδικασία περισσότερα του ενός προϊόντα), ο προσδιορισμός άγνωστων στοιχείων της ανάλυσης (π.χ. ένα άγνωστο παραπροϊόν) κ.λ.π. Προκειμένου η επίδραση των παραδοχών αυτών να είναι η μικρότερη δυνατή, αυτές θα πρέπει να αναφέρονται με σαφήνεια και να προσεγγίζουν όσο γίνεται την πραγματικότητα. Σε διαφορετική περίπτωση, απαιτείται η εφαρμογή ανάλυσης ευαισθησίας για να διαπιστωθούν οι επιδράσεις της κάθε παραδοχής στα αποτελέσματα της ανάλυσης.

- ◆ Η φύση των υποθέσεων και επιλογών που γίνονται σε τέτοιες μελέτες (π.χ. ο καθορισμός των ορίων του συστήματος, η επιλογή των πηγών των δεδομένων και των κατηγοριών επιπτώσεων) μπορεί να είναι υποκειμενική.
- ◆ Τα υποδείγματα που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή υλικών, ενέργειας και εκπομπών ή την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων εξαρτώνται από τις υποθέσεις που τα αφορούν και μπορεί να μην είναι διαθέσιμα για όλες τις πιθανές εφαρμογές.
- ◆ Τα αποτελέσματα τέτοιων μελετών που αναφέρονται σε παγκόσμια και περιφερειακά θέματα μπορεί να μην είναι κατάλληλα για τοπικές εφαρμογές, δηλαδή οι περιφερειακές ή παγκόσμιες συνθήκες μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικές των τοπικών συνθηκών.
- ◆ Η έλλειψη χρονικών διαστάσεων καθώς και διαστάσεων του χώρου από τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των επιπτώσεων, δημιουργεί αβεβαιότητα στα αποτελέσματα των επιπτώσεων, η οποία ποικίλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του χώρου και του χρόνου κάθε κατηγορίας επιπτώσεων.

Παρά τα μειονεκτήματα όμως που παρουσιάζει η εκτίμηση του κύκλου ζωής, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στη διαχείριση του περιβάλλοντος, αρκεί να χρησιμοποιείται σωστά. Για να είναι όμως η εφαρμογή της αποτελεσματική, θα πρέπει να τηρούνται οι κανόνες που διέπουν τη χρήση της και οι οποίοι είναι οι ακόλουθοι:

- Η επιλογή των σταδίων του κύκλου ζωής πρέπει να είναι προσεκτική και σύμφωνη με την πραγματική κατάσταση, προκειμένου να αποφεύγονται εσφαλμένα αποτελέσματα.
- Απαιτείται ακριβής περιγραφή του εξεταζόμενου συστήματος του προϊόντος.
- Απαιτείται προσδιορισμός της μονάδας του προϊόντος με βάση την

οποία θα γίνει η ανάλυση.

- Απαιτείται να λαμβάνεται πάντα υπόψη η χρονική υστέρηση που υπάρχει ανάμεσα στη συνειδητοποίηση των νέων προβλημάτων και τη διαθεσιμότητα των σχετικών πληροφοριών, η οποία οδηγεί στην υποεκτίμηση αυτών των προβλημάτων.
- Στην περίπτωση χρησιμοποίησης στοιχείων από προηγούμενες μελέτες πρέπει να αναφέρεται και να εκτιμάται κάθε πιθανή επίδραση αυτού του γεγονότος στα αποτελέσματα.
- Ο κατάλογος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που αναλύονται πρέπει συνεχώς να εμπλουτίζεται για να είναι αντιπροσωπευτικός των περιβαλλοντικών προβλημάτων που υπάρχουν τη δεδομένη χρονική στιγμή.
- Οι παραδοχές που αναφέρονται στα ενεργειακά συστήματα πρέπει να γίνονται με μεγάλη προσοχή, γιατί επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Πρέπει πάντα να χρησιμοποιούνται τα πιο πρόσφατα δεδομένα και να αναφέρεται το χρησιμοποιούμενο επίπεδο τεχνολογίας.
- Πρέπει να σημειώνεται κάθε φορά η χρήση συγκεκριμένων συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων και να αποφεύγεται η μεταφορά των σχετικών δεδομένων από μια χώρα σε μια άλλη, γιατί υπάρχουν διαφορές στη δομή αυτών των συστημάτων.

Ένα άλλο πολύ χρήσιμο συμπέρασμα που αφορά στην εκτίμηση του κύκλου ζωής, είναι ότι πρόκειται για μια μέθοδο, η οποία έχει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής. Μπορεί να συμβάλει στη διαμόρφωση περιβαλλοντικών νόμων, να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να παραμείνουν ανταγωνιστικές και να βελτιώσουν τα προϊόντα τους και να διευκολύνει, μέσω των πληροφοριών που παρέχει, τους καταναλωτές στην επιλογή προϊόντων. Έτσι, εκτός από τον κλάδο του μαρμάρου όπου εφαρμόζεται στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, η εκτίμηση του κύκλου ζωής μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς και στους παρακάτω τομείς:

### **Στρατηγικός Σχεδιασμός Επιχειρήσεων (Corporate Strategic Planning)**

Σήμερα αυξάνει ολοένα και περισσότερο ο αριθμός των επιχειρήσεων που συνειδητοποιούν τη σημασία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαδικασιών και των προϊόντων τους. Σε αυτό βέβαια συμβάλλει, σε μεγάλο βαθμό, και το καταναλωτικό κοινό με τη φιλική στάση και το ενδιαφέρον του για το περιβάλλον. Έτσι, οι επιχειρήσεις, με τη διενέργεια μελετών εκτίμησης κύκλου ζωής και τη δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων τους, αφενός βοηθούν τους διοικούντες στη λήψη αποφάσεων για τη βελτίωση ή την τροποποίηση των διαδικασιών και των προϊόντων τους, οι οποίες επηρεάζουν και άλλες εμπλεκόμενες ομάδες, όπως προμηθευτές, διανομείς, καταναλωτές και αφετέρου γνωστοποιούν στους καταναλωτές το ενδιαφέρον τους για το περιβάλλον, γεγονός που επιδρά θετικά στις πωλήσεις των προϊόντων τους.

### **Ανάπτυξη Προϊόντων (Product Development)**

Η κατάλληλη χρήση των αποτελεσμάτων των μελετών εκτίμησης του κύκλου ζωής μπορεί να βοηθήσει στην εξαφάνιση ή τουλάχιστον στη μείωση του μεγέθους διάφορων προβλημάτων, που αποτελούν εμφανή δείγματα ανεπαρκούς παραγωγικής διαδικασίας, όπως η δημιουργία αποβλήτων κατά τη διάρκεια

της παραγωγής ή μετά τη χρήση ενός προϊόντος, καθώς επίσης και η κατανάλωση υπερβολικής ενέργειας. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος χρησιμο-ποίησης αυτών των αποτελεσμάτων αφορά στον προσδιορισμό κρίσιμων σημείων στα οποία η περιβαλλοντική απόδοση ενός προϊόντος είναι εφικτό να βελτιωθεί.

### **Επιλογή και Τροποποίηση Διαδικασιών (Process Selection and Modification)**

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την επιλογή μεταξύ εναλλακτικών διαδικασιών ή την τροποποίηση των ήδη υφισταμένων, προκειμένου να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή μείωση των αποβλήτων. Αυτό μπορεί να αποτελεί είτε μέρος μιας συνολικής μελέτης εκτίμησης του κύκλου ζωής, είτε μια μελέτη εστιασμένη μόνο στην αξιολόγηση των παραγωγικών διαδικασιών.

### **Αγορά και Διαφήμιση (Marketing and Advertising)**

Η διαφήμιση αποτελεί τον παραδοσιακό τρόπο επικοινωνίας με τον οποίο γίνονται γνωστές οι ιδιότητες των διάφορων προϊόντων που ενδιαφέρουν τους καταναλωτές. Πολλές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τις μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής προκειμένου να υποστηρίξουν τους ισχυρισμούς τους σχετικά με τη σωστή διαχείριση του περιβάλλοντος και να διαφημίσουν τη φιλικότητα των προϊόντων τους προς αυτό. Τις περισσότερες φορές όμως η διαφήμιση αυτή στηρίζεται σε ένα μόνο κριτήριο, όπως η δυνατότητα ανακύκλωσης ή το ποσό των παραγόμενων αποβλήτων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των προϊόντων. Γι' αυτό το λόγο, οι ισχυρισμοί αυτοί πρέπει να αντιμετωπίζονται πάντα με σκεπτικισμό, καθώς πολύ εύκολα μπορεί να οδηγήσουν σε παραπλάνηση, μέσω της περιορισμένης πληροφόρησης που παρέχουν.

### **Σχεδιασμός Πολιτικής για το Κοινό (Public Policy Making)–Απονομή Οικολογικού Σήματος (Eco- Labelling)**

Η πιο εμφανής εφαρμογή της εκτίμησης του κύκλου ζωής σε σχέση με το κοινό είναι η συνεχώς αυξανόμενη χρήση της απονομής οικολογικού σήματος. Η οικολογική σήμανση μπορεί να διευκολύνει το διεθνές εμπόριο μέσω της δημιουργίας ενός κοινού προτύπου απονομής οικολογικού σήματος, το οποίο θα οδηγήσει σε ένα μεγαλύτερο ρυθμό συμμετοχής των επιχειρήσεων. Στην περίπτωση αυτή, οι μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διάφορων κατηγοριών προϊόντων και την απονομή σφραγίδας περιβαλλοντικής έγκρισης στα προϊόντα που προτιμούνται από περιβαλλοντική άποψη. Αυτά τα προϊόντα αναμένεται να έχουν μεγαλύτερα μερίδια αγοράς, εξαναγκάζοντας με αυτό τον τρόπο τις ανταγωνιστικές επιχειρήσεις να αλλάξουν την στρατηγική τους, προκειμένου να επιβιώσουν στο διεθνώς εξελισσόμενο ανταγωνιστικό περιβάλλον.

### **Διαχείριση Αποβλήτων (Waste Management)**

Η εκτίμηση του κύκλου ζωής χρησιμοποιείται και στη διαχείριση των αποβλήτων, κατά την οποία τα απορριπτόμενα προϊόντα χρησιμοποιούνται σαν πρώτες ύλες για την παραγωγή νέων προϊόντων ή ενέργειας. Όμως, η διαχείριση των αποβλήτων μέσω της εκτίμησης του κύκλου ζωής δημιουργεί ορισμένα προβλήματα, όπως π.χ. το ότι υπάρχουν διάφορα είδη αποβλήτων που αναμειγνύονται πριν από την έναρξη της διαδικασίας διαχείρισης, γεγονός που καθιστά επιτακτική την ανάγκη χαρακτηρισμού των αποβλήτων πριν την καταγραφή.

### **Συσκευασία (Packaging)**

Η συσκευασία αποτελεί την πιο χαρακτηριστική εφαρμογή της εκτίμησης του κύκλου ζωής. Τέτοιες μελέτες (π.χ. για τη συσκευασία του γάλακτος, μπουκαλιών μπίρας) έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές χώρες για την υποστήριξη των σχετικών αποφάσεων. Ένα πρόβλημα όμως που δημιουργείται αρκετά συχνά αφορά στην αντικειμενικότητα αυτών των μελετών, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη ισχυρών οικονομικών συμφερόντων στον συγκεκριμένο κλάδο, τα οποία επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από οποιαδήποτε αλλαγή στη συσκευ-ασία.

### **Μελλοντικές Εφαρμογές (Future Applications)**

Οι μελέτες εκτίμησης του κύκλου ζωής μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλα εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων σε όλους σχεδόν τους τομείς που παρουσιάζουν σημαντικά περιβαλλοντικά θέματα. Αυτό συμβαίνει γιατί αυξάνεται όλο και περισσότερο η πληροφόρηση που σχετίζεται με αυτές, γεγονός που διευκολύνει σε σημαντικό βαθμό την επέκταση των εφαρμογών τους. Η εφαρμογή της εκτίμησης του κύκλου ζωής στο μέλλον εξαρτάται βέβαια σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα διεξαγωγής μιας σοβαρής μελέτης, η οποία, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των σχετικών προτύπων, εγγυάται ότι η μελλοντική χρήση της τεχνικής αυτής θα προσφέρει περισσότερα στην ποιότητα του περιβάλλοντος από ό,τι σήμερα.

Σχετικά τώρα με την εφαρμογή της μεθόδου της εκτίμησης του κύκλου ζωής σε ένα λατομείο μαρμάρου, το κύριο συμπέρασμα που προκύπτει, μέσα από την προσπάθεια αυτή, αφορά στη μεγάλη δυσκολία πρακτικής εφαρμογής της μεθόδου, καθώς στην ανάλυση υπεισέρχεται ένας σημαντικός αριθμός

παραμέτρων που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη. Το γεγονός αυτό συνέβαλλε σε μεγάλο βαθμό αφενός στην επιλογή της ποιοτικής, αντί της ποσοτικής, προσέγγισης του θέματος και αφετέρου στην ανάλυση μόνο των δύο πρώτων υποσυστημάτων του κύκλου ζωής του μαρμάρου, καθώς η διεξοδική μελέτη ολόκληρου του κύκλου ζωής του, αποτελεί ένα σημαντικό και με πολυάριθμες δυσκολίες θέμα, που δεν μπορεί να εξαντληθεί στα χρονικά πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Σαν πιο σημαντική από αυτές τις παραμέτρους μπορεί να θεωρηθεί η ύπαρξη πολλών εναλλακτικών μεθόδων εξόρυξης του μαρμάρου, γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη έως αδύνατη την ανάπτυξη ενός ενιαίου μοντέλου με δυνατότητα εφαρμογής σε όλες τις πιθανές περιπτώσεις. Επιπλέον, στη δυσκολία πρακτικής υλοποίησης μιας τέτοιας μελέτης συντελεί και το γεγονός ότι μια τέτοια προσπάθεια γίνεται για πρώτη φορά στον κλάδο του μαρμάρου με ό,τι δυσκολίες αυτό συνεπάγεται, όπως τυχόν προβλήματα που οφείλονται π.χ. στη μη διαθεσιμότητα των αναγκαίων στοιχείων. Στο σημείο αυτό δεν πρέπει να λησμονούνται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου κλάδου που έχει ιδιαίτερα στενά περιθώρια δράσης και αντιμετωπίζεται με μεγάλη δυσπιστία από την κοινή γνώμη, γεγονός που δυσχεραίνει σε μεγάλο βαθμό την υιοθέτηση, εκ μέρους του, τεχνικών, για την αποτελεσματικότητα των οποίων δεν είναι σωστά πληροφορημένος.

Μια άλλη σημαντική διαπίστωση από την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής σε ένα λατομείο μαρμάρου αφορά στον ιδιαίτερα σπουδαίο ρόλο που διαδραματίζει η δραστηριότητα της μεταφοράς στον κύκλο ζωής του μαρμάρου. Η δραστηριότητα αυτή δεν περιορίζεται μόνο στο εσωτερικό του λατομείου και του εργοστασίου επεξεργασίας (μετακίνηση των “πάγκων” μαρμάρου στην πλατεία του λατομείου, μεταφορά των ογκομαρμάρων που προκύπτουν από τον τεμαχισμό των “πάγκων” από την πλατεία στο εργοστάσιο επεξεργασίας, συλλογή των απορριμμάτων που παράγονται στα διάφορα στάδια), αλλά περιλαμβάνει και τη μετακίνηση των προϊόντων μαρμάρου μετά την έξοδο τους από το εργοστάσιο επεξεργασίας για τη διανομή τους στους πελάτες. Δεδομένου, λοιπόν, ότι η δραστηριότητα αυτή υπεισέρχεται σε πάρα πολλά σημεία του κύκλου ζωής του μαρμάρου, αλλά και κάθε προϊόντος, ο υπολογισμός τόσο της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας όσο και των υπόλοιπων περιβαλλοντικών επιπτώσεων με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και αξιοπιστία, είναι απαραίτητος σε κάθε μελέτη εκτίμησης του κύκλου ζωής. Αποτελεί όμως μια εξαιρετικά πολύπλοκη και δύσκολη διαδικασία. Διαπιστώνεται λοιπόν από τα παραπάνω ότι η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι ένα σημαντικό εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης που αναπτύσσεται ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Η αξιοπιστία του όμως εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από:

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

Όσο η εκτίμηση του κύκλου ζωής γίνεται ευρύτερα γνωστή και διαδίδεται η χρήση της, τόσο οι ενστάσεις και η δυσπιστία που υπάρχει σχετικά με τα αποτελέσματά της θα αμβλύνονται, με φυσικό επακόλουθο η τεχνική αυτή να αποκτήσει ακόμα μεγαλύτερη αξία στην προσπάθεια για αντικειμενική αξιολόγηση και διαχείριση των διάφορων δραστηριοτήτων και προϊόντων.

## ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η κατανόηση των αρχών λειτουργίας των σταδίων της εκτίμησης του κύκλου ζωής και της σπουδαιότητας που η συγκεκριμένη τεχνική διαδραματίζει στη διαχείριση του περιβάλλοντος, αποτελεί μια πρωτοποριακή ιδέα για τα ελληνικά δεδομένα και μια πρόκληση για όσους υποστηρίζουν και υιοθετούν τις αρχές της Ολικής Ποιότητας (Total Quality) και της Ολικής Ποιότητας Περιβάλλοντος (Total Environmental Quality). Ύστερα λοιπόν από όσα αναφέρθηκαν τόσο στην ανάλυση της συγκεκριμένης τεχνικής όσο και στα συμπεράσματα, μεγάλο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η προσπάθεια πρακτικής εφαρμογής, με ποσοτικοποιημένες μετρήσεις, της συγκεκριμένης μεθοδολογίας σε ένα λατομείο μαρμάρου, λαμβάνοντας βέβαια υπόψη όλες τις δυσκολίες που συνεπάγεται ένα τέτοιο εγχείρημα και οι οποίες έχουν επισημανθεί στα συμπεράσματα.

Σε ότι αφορά τώρα στις προοπτικές της μεθόδου, αυτή, όπως έχει γίνει κατανοητό, δεν έχει φτάσει ακόμα στο ανώτατο σημείο ανάπτυξης. Έτσι, τρεις είναι κυρίως οι τομείς για τους οποίους υπάρχει προοπτική εξέλιξης και στους οποίους, ενδεχομένως, να επικεντρωθεί η ερευνητική προσπάθεια στο μέλλον. Πρώτον, η τεχνική αυτή μπορεί να διαδραματίσει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο αποδεικνύοντας την ισχύ, την εγκυρότητα και τη νομιμότητα λύσεων που έχουν προταθεί ή επιλεγεί ήδη, πράγμα που σημαίνει ότι, ενώ για συνήθη θέματα θα ακολουθούνται οι γνωστές πρακτικές, σε ειδικές περιπτώσεις θα χρησιμοποιούνται λεπτομερείς μελέτες εκτίμησης κύκλου ζωής.

Ένας άλλος σημαντικός τομέας με προοπτική εξέλιξης είναι και η έρευνα για την ανάπτυξη πρακτικών κανόνων σχετικά με το στάδιο της καταγραφής, λαμβάνοντας μάλιστα υπόψη ορισμένα βασικά αγαθά και υπηρεσίες, ή η έρευνα για την ανάπτυξη απλούστερων μεθόδων, εάν αυτό είναι εφικτό. Στο σημείο αυτό πρέπει να ξεκαθαριστεί ότι αν κατά τη φάση πραγματοποίησης μιας τέτοιας μελέτης αποφασιστεί ή να μη δοθεί μεγάλο βάρος σε κάποιους τομείς, ή ακόμα και να παραλειφθούν, ή να περιοριστούν οι στόχοι της μελέτης παραλείποντας κάποια στάδια του κύκλου ζωής του εξεταζόμενου προϊόντος, αυτό δεν αποτελεί παράδειγμα απλούστερης μεθόδου. Γεγονός πάντως είναι ότι σήμερα δεν φαίνεται ορατή κάποια απλούστερη μέθοδος παρά μόνο κάποιες προβλέψεις, όπως για παράδειγμα η χρήση δεικτών (π.χ. δείκτης συνολικής ενέργειας που αντιπροσωπεύει και αντικατοπτρίζει την ποσότητα των εκπομπών προς το περιβάλλον), ή η χρήση οικονομικών πινάκων εισροών-εκροών (π.χ. για την ανάλυση διαδικασιών ανώτερου βαθμού).

Τέλος, η περαιτέρω ερευνητική προσπάθεια πρέπει να έχει ως στόχο την πλήρη τυποποίηση της μεθοδολογίας της εκτίμησης του κύκλου ζωής. Ειδικότερα, πρέπει να περιγραφεί το στοιχείο της καταγραφής με ένα ενιαίο και γενικό μαθηματικό μοντέλο, το οποίο να μπορεί να εφαρμοστεί στην εκτίμηση του κύκλου ζωής κάθε προϊόντος ή διαδικασίας, ενώ θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως βάση για την ανάπτυξη του αντίστοιχου λογισμικού (software) για ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Τα πακέτα λογισμικού που ήδη χρησιμοποιούνται σήμερα βοηθούν στη συλλογή και ανάλυση όλων των δεδομένων. Έχουν ως σκοπό την παροχή βοήθειας στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη βελτιστοποίηση ή τη σύγκριση διαδικασιών και την εκτίμηση περιβαλλοντικών αναγκών, εξετάζοντας διάφορες παραμέτρους, όπως κόστος και σχεδιασμό. Δυστυχώς όμως, συνήθως, επικεντρώνονται μόνο σε ένα ή δύο στάδια από τον κύκλο ζωής του εξεταζόμενου προϊόντος ή διαδικασίας. Σημαντική εξέλιξη αναμένεται να παρουσιάσει και η έρευνα για την ανάπτυξη αξιόπιστων και λεπτομερών βάσεων δεδομένων στον τομέα της περιβαλλοντικής διαχείρισης (databases), από τις οποίες θα προέρχονται τα αναγκαία στοιχεία για την πραγματοποίηση των μελετών εκτίμησης κύκλου ζωής στη χώρα μας (π.χ. βάση δεδομένων για τη διαχείριση των απορριμμάτων στην Ελλάδα, ή βάση δεδομένων για τη δραστηριότητα της μεταφοράς υλικών και προϊόντων στην Ελλάδα, από την οποία θα αντλούνται όλα τα απαραίτητα στοιχεία που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεταφορών κλπ.). Σκοπός είναι να διευκολυνθεί, με τη χρήση των συγκεκριμένων εργαλείων, η υλοποίηση τέτοιων μελετών που συχνά αποτελεί μια εξαιρετικά χρονοβόρο, πολύπλοκη και πολυδιάστατη διαδικασία και να είναι έτσι ευκολότερη η συνεργασία μεταξύ των διάφορων φορέων με σκοπό περιβαλλοντικά οφέλη. Μάλιστα, η ανάπτυξη τέτοιων βάσεων δεδομένων κρίνεται απόλυτα επιβεβλημένη, καθώς θα συντελέσει στην ορθή χρήση και στην επωφελή αξιοποίηση της εκτίμησης του κύκλου ζωής στη χώρα μας και κατά συνέπεια στην καλύτερη διαχείριση του περιβάλλοντος. Επιπλέον, πρέπει να επιδιωχθεί η ανάπτυξη μελετών εκτίμησης κύκλου ζωής συγκεκριμένων διαδικασιών που πραγματοποιούνται στην Ελλάδα και οι οποίες θα μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν ως υποσυστήματα στις μελέτες εκτίμησης κύκλου ζωής άλλων ευρύτερων συστημάτων.

Αξίζει, στο σημείο αυτό, να αναφερθεί ότι υπάρχει και μια σειρά καίριων ερωτημάτων που πρέπει να απαντηθούν προκειμένου να αναπτυχθεί μια κοινή πρότυπη μεθοδολογία και τα οποία χρήζουν περαιτέρω έρευνας. Τα ερωτήματα αυτά είναι τα εξής:

- Πρέπει να περιλαμβάνονται στην εκτίμηση κύκλου ζωής και άλλες μη περιβαλλοντικές παράμετροι π.χ. οικονομικές, κοινωνικές, εργασιακές;
- Πώς καλύπτεται το κενό μεταξύ των στόχων μιας μελέτης εκτίμησης

κύκλου ζωής και των χαρακτηριστικών τους στοιχείων, όπως για παράδειγμα γεωγραφική ενότητα, χρόνος;

- Πώς αξιολογούνται οι διαδικασίες που περιλαμβάνονται στην εκτίμηση του κύκλου ζωής, αφού υπάρχει διαφορά στα μεταξύ τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα;
- Πώς γίνονται τα συστήματα αξιολόγησης πιο λειτουργικά; (επιλογή κοινών δεικτών)

Από όλα τα προαναφερθέντα γίνεται αντιληπτό, ότι η αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου εργαλείου περιβαλλοντικής διαχείρισης εναπόκειται σε ένα μεγάλο ποσοστό στην προσωπική ευσυνειδησία, στο ζήλο και στην επαγγελματική συνείδηση των υπεύθυνων που ασχολούνται με το συγκεκριμένο θέμα. Ιδιαίτερα στην περίπτωση εφαρμογής της τεχνικής στον κλάδο του μαρμάρου, προκειμένου να αντιμετωπιστεί η δυσπιστία και η καχυποψία που χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο κλάδο, πρέπει να αλλάξει η νοοτροπία και η φιλοσοφία όλων των εμπλεκόμενων φορέων. Είναι αναγκαίο να συνειδητοποιήσουν όλοι, αρχικά οι κατέχοντες τις διευθυντικές θέσεις στα λατομεία και στη συνέχεια όλο το προσωπικό, τη συνεισφορά της εκτίμησης του κύκλου ζωής στην ποιότητα του περιβάλλοντος, γεγονός που θα ωφελήσει οπωσδήποτε και τις ίδιες τις επιχειρήσεις του κλάδου. Έτσι θα μπορέσουν να συνεργαστούν αρμονικά μεταξύ τους για την επίτευξη των καθορισμένων στόχων, δίνοντας ιδιαίτερη σημασία στα χαρακτηριστικά εκείνα που απαιτούνται για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου, όπως η ποιότητα των δεδομένων. Για να επιτευχθεί το αναγκαίο κλίμα συνεργασίας, είναι απαραίτητη η ενημέρωση, όλων των εμπλεκόμενων στον κλάδο του μαρμάρου, για το πλαίσιο λειτουργίας και της απαιτήσεις της συγκεκριμένης μεθόδου καθώς και για τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη από την εφαρμογή της. Η ενημέρωση αυτή μπορεί να γίνει μέσω ημερίδων, επιμορφωτικών σεμιναρίων και κατάλληλα σχεδιασμένων κύκλων επιμορφωτικών προγραμμάτων, σε συνεργασία με ιδιωτικούς φορείς που διαθέτουν εμπειρία σε θέματα περιβαλλοντικής διαχείρισης. Μόνο με αυτό τον τρόπο ο κλάδος του μαρμάρου θα μπορέσει να προσαρμοστεί στα καινούρια δεδομένα που διαμορφώνονται και να επιβιώσει στο έντονα ανταγωνιστικό περιβάλλον που αναπτύσσεται διεθνώς. Ανεξάρτητα, πάντως, από τα παραπάνω, η εκτίμηση του κύκλου ζωής έχει ήδη αρχίσει να προσφέρει ένα πολύ σημαντικό επιστημονικό υπόβαθρο για τη σωστή διαχείριση του περιβάλλοντος και η σημασία της αναμένεται να αποκτήσει μεγαλύτερη βαρύτητα στο μέλλον, ιδιαίτερα για επιχειρήσεις που δεν περιορίζονται μόνο στην εξασφάλιση βραχυπρόθεσμου κέρδους, αλλά που ενστερνίζονται τις αρχές της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας (Total Quality Management), καταβάλλουν μεγάλες προσπάθειες για την εφαρμογή των αρχών αυτών στις διάφορες δραστηριότητές τους και εστιάζουν το ενδιαφέρον τους πρωτίστως στην ικανοποίηση των αναγκών των πελατών τους.



## ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### A ΣΥΓΓΡΑΜΜΑΤΑ

#### A1. ΕΛΛΗΝΙΚΑ

1. **Αποστολίδης Ν.Χ.**, Εκμετάλλευση Μαρμάρων, **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1991, σσ. 1, 3, 5-7, 9, 11-32, 34-41, 47-59, 65-69, 71-72, 74-86, 89-93.**
2. **Αποστολίδης Ν.Χ.**, Συμπληρωματικές Σημειώσεις του μαθήματος Υπαίθριων Εκμεταλλεύσεων, **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1990, σσ. 1-36.**
3. **Γιούτα–Μήτρα Π.**, Διπλωματική Εργασία: “Έλεγχος ποιότητας των ελληνικών μαρμάρων ως κίνητρο βελτίωσης των εξαγωγών”, **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Τομέας Μεταλλευτικής, Αθήνα, 1999, σσ. 6-10, 15-19, 45-55, 89-91, 93-116, 123-133, 161-163, 248-250.**
4. **Ελληνικό Μάρμαρο**, Οδηγός Αγοράς Μαρμάρου 2000-2001, **Εκδόσεις “Ελληνικό Μάρμαρο”, Αθήνα, 2001, σσ. 16-17, 19-20, 22-32, 39, 43-47, 52-53, 56-58, 68-80.**
5. **Ε.Ο.Μ.Μ.Ε.Χ.**, Μελέτη του κλάδου του μαρμάρου, **Ανάδοχος: Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1984, σσ. 11-86.**
6. **Ι.Σ.Α.Ρ.**, Κλαδική Μελέτη: “Μάρμαρα–Γρανίτες”, **Αθήνα, 2000, σσ. 2-4, 39, 55-74, 123-127.**
7. **Καλιαμπάκος Δ.**, Σημειώσεις, Περιβάλλον ΙΙ: Προστασία περιβάλλοντος στη μεταλλευτική δραστηριότητα, **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας & Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής, Αθήνα, 2001, σσ. 41-63.**
8. **Καντηράνης Ν.**, Διατριβή Ειδίκευσης: “Πετρολογική, γεωχημική και τεχνολογική μελέτη των Ιουρασικών ανθρακικών πετρωμάτων Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας, **Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1998, σελ. 69.**
9. **Καρβούνης Σ.**, Σημειώσεις για το μάθημα “Ποιότητα Περιβάλλοντος”, **Πανεπιστήμιο Πειραιά, Πειραιάς, 1999, σσ. 1-58.**
10. **Λειβαδάρος Ρ.**, Εκμετάλλευση–Επεξεργασία διακοσμητικών λίθων, Νο-μικό Πλαίσιο, **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1998, σσ. 1-13.**
11. **Τσιραμπίδης Α.Ε.**, Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα, **Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσσαλονίκη, 1996, σσ. 41-61, 59-61, 81-93, 93-95, 102-106, 121-124, 126-142, 165-173, 193-206, 229-235, 248-254.**
12. **Χειμωνίτη–Τερροβίτη Στ.**, Το μάρμαρο: Προβλήματα και προοπτικές, **Κέντρο Προγραμματισμού και Οικονομικών Ερευνών, Αθήνα, 1986, σσ. 30-33, 40-53.**

**A2. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΑ**

1. Baker M. B., McKiel M., ISO 14000 Questions and Answers, 4<sup>th</sup> Edition, CEEM Information Services, Virginia, 1997, **σσ.** 1-10.
2. Bishop P. L., Pollution Prevention: Fundamentals and Practice, McGraw-Hill, U.S.A., 2000, **σσ.** 251-292.
3. Cascio J., The ISO 14000 Handbook, CEEM Information Systems, Milwaukee, Wisconsin, 1996, **σσ.** 1-29, 275-292.
4. Clarke, L., B. and Sloss, L., L., Trace elements-emissions from coal combustion and gasification, IEA Coal res., London, 1992, **σελ.** 111.
5. Conti G., Lisanti V., Mannoni T., Montani C., Pinzari M., Ragone M., Ricci A., Semel G., Marble in the world, Società Editrice Apuana, 1<sup>st</sup> Edition, Carrara, Italy, 1986, **σσ.** 11-20, 63-67, 195-210.
6. Environmental Protection Agency of United States (EPA), Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, Franklin Associates, Ltd., Prairie Village, Kansas, February 1993, **σσ.** 1-108.
7. Erickson S. L., King B. J., Fundamentals of Environmental Management, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999, **σσ.** 236-239, 241-243.
8. Faelten, S., The complete book of Minerals for Health, Rodale Press, Pennsylvania, 1981, **σελ.** 534.
9. Glover M. A., Stapleton P. J., Environmental Management Systems: An Implementation Guide for Small and Medium-Sized Organizations, 2<sup>nd</sup> Edition, NSF International, U.S.A., 2001, **σσ.** 1-8.
10. Graedel T. E., Allenby B. R., Industrial Ecology, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1995, **σελ.** 65, 93-134, 149-182, 190-230, 233-235, 243-250, 276-292, 342-349, 363-393.
11. Jackson S. L., The ISO 14001 Implementation Guide, Creating an Integrated Management System, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997, **σσ.** 3-21.
12. Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., Trace Elements in Soils and Plants, CRC Press, Boca Raton, 1992, **σελ.** 365.
13. Keoleian G. A., Menerey D., Life Cycle Design Guidance Manual, 1993, **σελ.** 14.
14. Mason, B. and Moore, C., B., Principles of Geochemistry, J. Wiley & Sons, 4<sup>th</sup> Edition, New York, 1982, **σελ.** 344.
15. Sengupta, M., Environmental Impacts of Mining, Lewis, Boca Raton, 1993, **σελ.** 494.
16. Sturm A., ISO 14001-Implementing an Environmental Management System, Ellipson AG, Switzerland, 1998, **σσ.** 7-12.
17. Whitelaw K., The ISO 14001 Environmental System Handbook, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1997, **σσ.** 1-17, 27-35.

**B ΤΙΤΛΟΙ ΑΡΘΡΩΝ ΠΕΡΙΟΔΙΚΩΝ ΚΑΙ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΩΝ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ****B1. ΕΛΛΗΝΙΚΑ**

1. **Βαρσακέλης Ν.**, “**Στρατηγική Μάρκετινγκ του ελληνικού μαρμάρου**”, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Το ελληνικό μάρμαρο (Έρευνα–Παραγωγή–Εξαγωγές–Αξιοποίηση υποπροϊόντων–Αποκατάσταση λατομείων–Νομοθετικό πλαίσιο), **Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2000, σσ. 153-162.**
2. **Βιδάκης Ε., Πατηνιώτης Ν.**, “**Τεχνικά χαρακτηριστικά των μαρμάρων–Καθορισμός της ποιότητας σε σχέση με τη χρήση τους**”, **Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα, Ιανουάριος 1988, σσ. 1-11.**
3. **Γεωργακέλλος Δ. Α.**, “**Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Ένα συστηματικό όργανο στη διαχείριση του περιβάλλοντος**”, Σπουδαί, Τόμος 49, Τεύχος 1-4, Πειραιάς, **Ιανουάριος–Δεκέμβριος 1999, σσ. 126-150.**
4. **Γεωργακέλλος Δ. Α.**, “**Η χρήση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στο κοινοτικό σύστημα απονομής οικολογικού σήματος**”, Πειραιάς, 2000, **σσ. 126-140.**
5. **Γεωργακέλλος Δ. Α.**, “**Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεταφορών στις μελέτες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής**”, Δελτίο Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Ηλεκτρολόγων Μηχανολόγων, **Νο 306, Αθήνα, Απρίλιος 1998, σσ. 40-47.**
6. **Γεωργακέλλος Δ. Α.**, “**Συγκριτική εκτίμηση της περιβαλλοντικής απόδοσης φιαλών νερού της ελληνικής αγοράς με τη μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής**”, Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονικές Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., σειρά IV, Τόμος 18, Τεύχος 2, Πειραιάς, **Ιούλιος–Δεκέμβριος 1998, σσ. 35-44.**
7. **Γεωργακέλλος Δ. Α.**, “**Συγκριτική εκτίμηση των αποτελεσμάτων της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής με τη μέθοδο του Πολυγώνου**”, Πρακτικά Συνεδρίου του Τ.Ε.Ε.: HELECO, **Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 1999, σσ. 247-255.**
8. **Γεωργακέλλος Δ. Α.**, “**Συσκευασία και Περιβάλλον: Εφαρμογή της μεθοδολογίας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στα υλικά συσκευασίας**”, Πειραιάς, **Οκτώβριος 1998, σσ. 102-117.**
9. **Διαμαντοπούλου Α.**, “**Το μάρμαρο στην αρχαία ελληνική τέχνη**”, Ελληνικό Μάρμαρο, 65, **Αθήνα, Ιούλιος–Αύγουστος 1987, σσ. 57-65.**
10. **Ερευνητική Ομάδα του Εργαστηρίου Μεταλλευτικής Τεχνολογίας του Τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π.**, “**Μια ενδιαφέρουσα κριτική του υφιστάμενου περιβαλλοντικού νομοθετικού πλαισίου για τα λατομεία**”, Διακοσμητικά Πετρώματα, Εκδόσεις: Ελληνικό Μάρμαρο, 10, **Αθήνα, Ιανουάριος 2000, σσ. 91-98.**
11. **Καντηράνης Ν., Τσιραμπίδης Α., Φιλιππίδης Α., Χρησταράς Β., Κασώλη–Φουρναράκη Α.**, “**Μελέτη του κρυσταλλικού ασβεστόλιθου Αγίου Παντελεή-μονα Φλώρινας**”, Πρακτικά 1<sup>ου</sup> Συνεδρίου της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας, **Κοζάνη, Φεβρουάριος 2000, σσ. 184-195.**
12. **Κολοτούρος Κ.**, “**Οι εισαγωγές μαρμάρων το 1999 ξεπέρασαν τις εισαγωγές γρανιτών. Έφτασαν συνολικά τα 6,6 δις δρχ.**”, Διακοσμητικά Πετρώματα, Εκδόσεις: Ελληνικό Μάρμαρο, 11, **Αθήνα, Μάιος 2000, σσ. 33-37.**

13. **Κολοτούρος Κ.**, “Οι εξαγωγές μαρμάρων υποχώρησαν το 1999 κάτω από το επίπεδο των 30 δις δρχ. Μειώθηκαν κατά 15,3% σε αξία σε σύγκριση με το 1998”, Διακοσμητικά Πετρώματα, Εκδόσεις: Ελληνικό Μάρμαρο, 11, **Αθήνα, Μάιος 2000, σσ. 17-28.**
14. **Λασκαρίδης Κ., Παπαϊωάννου Ν., Κουσερής Ι.**, “Επιλογή των διακοσμητικών πετρωμάτων με κριτήριο τις φυσικομηχανικές τους ιδιότητες”, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Το ελληνικό μάρμαρο (Έρευνα–Παραγωγή–Εξαγωγές–Αξιοποίηση υποπροϊόντων– Αποκατάσταση λατομείων–Νομοθετικό πλαίσιο), **Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2000, σσ. 87-96.**
15. **Μοσκοφόγλου Π.**, “Εισαγωγή στην εκμετάλλευση μαρμαροφόρου κοιτάσματος”, Ελληνικό Μάρμαρο, 68, **Αθήνα, Μάρτιος–Απρίλιος 1988, σσ. 43-52.**
16. **Μπούρα Α., Μουσιόπουλος Ν.**, “Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA) ως εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης”, Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονικές Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., **Αθήνα, Νοέμβριος–Δεκέμβριος 1998, σσ. 105-113.**
17. **Παπαγεωργιάκης Ι.–Καθηγητής Κοιτασματολογίας και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας Ε.Μ.Π.,** “Τα πετρώματα της μαρμαρικής τέχνης και η εκμετάλλευσή τους”, Ελληνικό Μάρμαρο, **Αθήνα, Νοέμβριος–Δεκέμβριος 1977, σσ. 21-30.**
18. **Παπαδόπουλος Δ.**, “Νομοθετικό πλαίσιο Ελλάδος για τα μάρμαρα”, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Το ελληνικό μάρμαρο (Έρευνα–Παραγωγή–Εξαγωγές–Αξιοποίηση υποπροϊόντων– Αποκατάσταση λατομείων–Νομοθετικό πλαίσιο), **Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2000, σσ. 193-203.**
19. **Παπαϊωάννου Ν., Βιδάκης Ε.**, “Έλεγχος Ποιότητας–Κριτήρια–Προδιαγραφές διακοσμητικών πετρωμάτων”, Ημερίδα: Προβλήματα εκμετάλλευσης και διαχείρισης λατομικών υλικών, **Αθήνα, Μάιος 1995, σσ. 6-13.**
20. **Παπαστεργιόπουλος Γ.**, “Εξαγωγές μαρμάρων”, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Το ελληνικό μάρμαρο (Έρευνα –Παραγωγή–Εξαγωγές–Αξιοποίηση υποπροϊόντων–Αποκατάσταση λατομείων–Νομοθετικό πλαίσιο), **Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2000, σσ. 163-172.**
21. **Σκορδίλης Α.**, “Η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής των υλικών συσκευασίας”, Πρακτικά 2<sup>ης</sup> Διεθνούς Έκθεσης και Συνεδρίου για την Τεχνολογία Περιβάλλοντος: HELECO '95 (2<sup>nd</sup> International Exhibition and Conference of Environmental Technology), Τ.Ε.Ε., **Τόμος 1, Αθήνα, Νοέμβριος 1995, σσ. 74-80.**
22. **Τζωρτζίδης Ι.**, “Μάρμαρα και κατασκευές-Ανταγωνιστικά Υλικά”, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Το ελληνικό μάρμαρο (Έρευνα–Παραγωγή–Εξαγωγές–Αξιοποίηση υποπροϊόντων – Αποκατάσταση λατομείων–Νομοθετικό πλαίσιο), **Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2000, σσ. 117-126.**
23. **Τσιραμπίδης Α.**, “Πετρογραφικά χαρακτηριστικά, ορυκτολογική και χημική σύσταση και τύποι ελληνικών μαρμάρων”, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Το ελληνικό μάρμαρο (Έρευνα–Παραγωγή–Εξαγωγές–Αξιοποίηση υποπροϊόντων–Αποκατάσταση λατομείων–Νομοθετικό πλαίσιο), **Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2000, σσ. 63-78.**
24. **Χατζηστάθης Α.**, “Λατομεία–Περιβαλλοντικές επιπτώσεις–Αποκατάσταση”, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Το ελληνικό μάρμαρο (Έρευνα–Παραγωγή–Εξαγωγές–Αξιοποίηση υποπροϊόντων–Αποκατάσταση λατομείων–Νομοθετικό πλαίσιο), **Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2000, σσ. 183-192.**

**B2. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΑ**

1. Advanced Waste Management Systems, Inc., "What is ISO 14000?", <http://www.awm.net/iso/what.html>, 6 August 2001, σσ. 1-3.
2. Amaral D., Andrews R. N. L., Darnall N., Gallagher D. R., "Environmental Management Systems: Opportunity for Improved Environmental and Business Strategy?", Environmental Quality Management, 2000, σσ. 1-11.
3. Andrews R. N. L., Darnall N., Gallagher D. R., "Environmental Management Systems: A Sustainable Strategy for a Sustainable World?", Eighth International Conference of the Greening of Industry Network: Sustainability: Ways of Knowing, Ways of Acting, November 1999, σσ. 1-15.
4. Association of plastics manufacturers in Europe, European Centre for plastics in the environment, "Weighing up the Environmental Balance", σσ. 1-10.
5. Association of plastics manufacturers in Europe, European Centre for plastics in the environment, "Eco-balance methodology for commodity thermoplastics", Brussels, December 1992, σσ. 1-8, 10-11, 16-18.
6. Baumgartner T., Rubik F., "Evaluation Techniques for Eco-Balances and Life Cycle Assessment", European Environment, No 3, 1993, σσ. 18-22.
7. Carnegie Mellon University, "Frequently asked questions about Economic Input-Output Life Cycle Assessment Software", <http://www.eiolca.net/methods.html>, 24 January 2001, σσ. 1-7.
8. Centre for Design at RMIT, "Introduction to Life Cycle Assessment", <http://www.cfd.rmit.edu.au/lca/LCAintro.html>, 14 September 2001, σσ. 1-7.
9. Centre for Design at RMIT, "Data Quality for Life Cycle Assessment", <http://www.cfd.rmit.edu.au/outcomes/papers/LCA-DataQ.html>, 2 August 2001, σσ. 1-11.
10. Centre of Environmental Science (CML), Leiden University, "Life Cycle Assessment, an operational guide to the ISO standards: LCA in perspective", <http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/lca2/Part1.pdf>, 7 August 2001, σσ. 1-11.
11. Department of Civil and Environmental Engineering, Tufts University, "Life Cycle Assessment, Trends, Methodologies and Current Implementation", <http://www.life-cycle.org/thesis.htm>, 2 August 2001, σσ. 1-4.
12. Ecocycle, "LCM across the Life Cycle-Considering your role in the total life cycle of products and services", <http://www.ec.gc.ca/ecocycle/english/issue4e.cfm?tmpl=p3>, 24 January 2001, σσ. 1-3.
13. Ecocycle, "The Life Cycle concept: background", <http://www.ec.gc.ca/ecocycle/english/issue1e.cfm?tmpl=p8>, 24 January 2001, σσ. 1-2.
14. Ecocycle, "ISO LCA update", <http://www.ec.gc.ca/ecocycle/english/issue6e.cfm?tmpl=p8>, 24 January 2001, σσ. 1-4.
15. Ecocycle, "What is Life Cycle Management?", <http://www.ec.gc.ca/ecocycle/english/whatislcm.cfm>, 6 July 2001, σσ. 1-2.
16. Ecocycle, "Environmental Life Cycle Management: A guide for better business decisions", <http://www.ec.gc.ca/ecocycle/english/lcmguide2.cfm>, 6 July 2001, σσ. 1-4.

17. Ecocycle, "LCA Scope and Boundary Setting", <http://www.ec.gc.ca/ecocycle/english/issue1e.cfm?tmpl=p4>, 3 August 2001, σσ. 1-2.
18. Ecocycle, "Use of LCA on the Rise in Europe", <http://www.ec.gc.ca/ecocycle/english/issue5e.cfm?tmpl=p3>, 3 August 2001, σσ. 1-3.
19. Ecocycle, "A Perspective on ISO 14000", <http://www.ec.gc.ca/ecocycle/english/issue7e.cfm?tmpl=p3>, 6 August 2001, σσ. 1-3.
20. Environmental Protection Agency (EPA), "LCA 101", <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca101.htm>, 7 August 2001, σσ. 1-47.
21. Environmental Protection Agency (EPA), "Why LCA", <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/whylca.htm>, 7 August 2001, σσ. 1-9.
22. European Environment Agency, "Methodological framework", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap30.htm>, 2 August 2001.
23. European Environment Agency, "Life Cycle Assessment framework—phases of an LCA", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/fig31.htm>, 2 August 2001.
24. European Environment Agency, "Levels of sophistication in LCA for different applications", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap21.htm>, 2 August 2001.
25. European Environment Agency, "Conceptual LCA—Life Cycle Thinking", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap211.htm>, 2 August 2001.
26. European Environment Agency, "Simplified LCA", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap212.htm>, 2 August 2001, σσ. 1-2.
27. European Environment Agency, "Product development", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap221.htm>, 2 August 2001, σσ. 1-2.
28. European Environment Agency, "Marketing", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap222.htm>, 2 August 2001, σσ. 1-3.
29. European Environment Agency, "Strategic planning", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap223.htm>, 2 August 2001, σσ. 1-2.
30. European Environment Agency, "Public policy making", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap23.htm>, 2 August 2001.
31. European Environment Agency, "Environmental labelling", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap231.htm>, 2 August 2001, σσ. 1-2.
32. European Environment Agency, "Green procurement", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap232.htm>, 2 August 2001, σσ. 1-2.
33. European Environment Agency, "Other governmental applications", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap233.htm>, 2 August 2001, σσ. 1-2.
34. European Environment Agency, "Future applications", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap24.htm>, 2 August 2001.
35. European Environment Agency, "Definitions", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap321.htm>, 3 August 2001.
36. European Environment Agency, "Goal and scope definition", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap33.htm>, 3 August 2001.
37. European Environment Agency, "Goal", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap331.htm>, 3 August 2001.

38. European Environment Agency, "Scope", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap332.htm>, 3 August 2001, σσ. 1-2.
39. European Environment Agency, "Functional unit", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap333.htm>, 3 August 2001.
40. European Environment Agency, "System boundaries", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap334.htm>, 3 August 2001.
41. European Environment Agency, "Data quality", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap335.htm>, 3 August 2001, σσ. 1-2.
42. European Environment Agency, "Critical review process" <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap336.htm>, 3 August 2001.
43. European Environment Agency, "Inventory analysis", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap34.htm>, 2 August 2001.
44. European Environment Agency, "Data collection", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap341.htm>, 2 August 2001, σσ. 1-2.
45. European Environment Agency, "Refining system boundaries", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap342.htm>, 2 August 2001.
46. European Environment Agency, "Calculation procedures", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap343.htm>, 2 August 2001.
47. European Environment Agency, "Validation of data", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap344.htm>, 3 August 2001.
48. European Environment Agency, "Relating data", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap345.htm>, 3 August 2001.
49. European Environment Agency, "Allocation and recycling", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap346.htm>, 3 August 2001, σσ. 1-3.
50. European Environment Agency, "Life cycle impact assessment", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap35.htm>, 3 August 2001.
51. European Environment Agency, "Selection of impact categories", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap351.htm>, 3 August 2001.
52. European Environment Agency, "Assignment of LCA results (Classification)", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap352.htm>, 3 August 2001.
53. European Environment Agency, "Calculating the magnitude of category indicator results relative to reference value(s)", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap354.htm>, 3 August 2001.
54. European Environment Agency, "Grouping", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap355.htm>, 3 August 2001.
55. European Environment Agency, "Data quality analysis", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap357.htm>, 3 August 2001.
56. European Environment Agency, "Interpretation", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap36.htm>, 3 August 2001.
57. European Environment Agency, "Identification of significant environmental issues", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap361.htm>, 3 August 2001.
58. European Environment Agency, "Evaluation", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap362.htm>, 3 August 2001, σσ. 1-2.

59. European Environment Agency, "Conclusions and recommendations", <http://service.eea.eu.int/enviowindows/lca/kap363.htm>, 3 August 2001.
60. Fecker I., "How to calculate an ecological balance?", St. Gallen, 1992, σσ. 1-4, 8-20.
61. Garner A., Keoleian G. A., "Industrial Ecology: An Introduction", University of Michigan, November 1995, σσ. 1-32.
62. Institute for Environmental Research and Education, "ISO 14000 Standards", <http://www.iere.org/ISO14000.html>, 2 August 2001, σσ. 1-2.
63. Institute for Environmental Research and Education, "LCA for Mere Mortals", <http://www.iere.org/mortals.html>, 2 August 2001, σσ. 1-6.
64. Institute for Environmental Research and Education, "Session I–Global Views of LCA", <http://www.iere.org/InLCA/session1.htm>, 2 August 2001, σσ. 1-9.
65. International Institute for Sustainable Development, "Life Cycle Assessment–Technique", <http://www.iisd.ca/business/lifecycle.htm>, 24 January 2001, σσ. 1-3.
66. International Institute for Sustainable Development, "Design for Environment–Technique", <http://www.iisd.ca/business/designenvironment.htm>, 24 January 2001, σσ. 1-2.
67. International Institute for Sustainable Development, "Life Cycle Assessment–Example", <http://www.iisd.ca/business/lcaexample.htm>, 24 January 2001, σσ. 1-3.
68. International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14040:1997, Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Αρχές και Πλαίσιο", Ιούνιος 1997, σσ. 1-21.
69. 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", Οκτώβριος 1998, σσ. 1-32.
70. International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14042:2000, Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής", Μάρτιος 2000, σσ. 1-16.
71. International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14043:2000, Περιβαλλοντική Διαχείριση–Εκτίμηση Κύκλου Ζωής–Ερμηνεία Αποτελεσμάτων Κύκλου Ζωής", Μάρτιος 2000, σσ. 1-23.
72. Massachusetts Department of Environmental Protection, "Overview of EMS", <http://www.state.ma.us/dep/bspt/ems/overview.htm>, 3 April 2001, σσ. 1-3.
73. Northeast Business Environmental Network, "EMS Matrix", <http://www.nben.org/HTMLSrc/Forum/EMSMatrix.html>, 3 April 2001, σσ. 1-4.
74. PRé Consultants, "What is LCA", [http://www.pre.nl/life\\_cycle\\_assessment/life\\_cycle\\_assessment.htm](http://www.pre.nl/life_cycle_assessment/life_cycle_assessment.htm), 24 January 2001, σσ. 1-2.
75. PRé Consultants, "Life Cycle Inventory", [http://www.pre.nl/life\\_cycle\\_assessment/life\\_cycle\\_inventory.htm](http://www.pre.nl/life_cycle_assessment/life_cycle_inventory.htm), 24 January 2001, σσ. 1-4.
76. PRé Consultants, "Impact Assessment", [http://www.pre.nl/life\\_cycle\\_assessment/impact\\_assessment.htm](http://www.pre.nl/life_cycle_assessment/impact_assessment.htm), 24 January 2001, σσ. 1-5.
77. PricewaterhouseCoopers-Ecobilan, "Life Cycle Assessment (LCA)", [http://www.ecobalance.com/services/lca/gb\\_lcaidx.html](http://www.ecobalance.com/services/lca/gb_lcaidx.html), 6 August 2001.
78. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), "Evolution and development of the conceptual framework and methodology of life cycle impact assessment", January 1998, σσ. 1-14.



79. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), "Evaluation and Reporting Guidelines for Life Cycle Assessments Case– Studies", <http://www.setac.org/files/repwg-cs.pdf>, 3 August 2001, σσ. 1-31.
80. Sousa I., Wallace D., Borland N., Deniz J., "A learning surrogate LCA model for integrated product design", Cambridge, Massachusetts, USA, σσ. 1-12.
81. Svoboda S., "Note on Life Cycle Analysis", University of Michigan, March 1995, σσ. 1-9.
82. Szwilski T. B., "Using environmental management systems to systematically improve operational performance and environmental protection", International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 14, No 3, 2000, σσ. 183-191.
83. Tocar M., Kucera M., "Environmental Management Policy in the ISO 14000 Standard Series", <http://www.rec.org/REC/Publications/BISWorkshops/Nov1995/FeeBased/Slk-paper5.html>, 24 January 2001, σσ. 1-3.
84. Kantiranis N., Filippidis A., Tsirambidis A., Charstaras B. & Kassoli–Four-naraki, "Volatilization of arsenic during calcination of crystalline limestone from Agios Panteleimonas, Florina, Macedonia, Greece", Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference on Environmental Pollution, Toxic Metals, Thessaloniki, September 1998, σσ. 73-78.
85. Nriagu, J., O., "Global Metal Pollution: poisoning the biosphere?", Environment, 32(7), 1990, σσ. 7-33.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΜΑΡΜΑΡΟΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΠΙΝΑΚΕΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV: ΕΜΠΟΡΙΟ ΜΑΡΜΑΡΩΝ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΜΑΡΜΑΡΟΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Η ύπαρξη μεγάλης ποικιλίας κοιτασμάτων μαρμάρου έχει σαν επακόλουθο την κατανομή λατομείων μαρμάρου και εργοστασίων επεξεργασίας τους σε όλο σχεδόν τον Ελλαδικό χώρο. Συγκεκριμένα αναφέρεται λατομική δραστηριότητα για μάρμαρα σε 43 νομούς της χώρας. Μερικές περιοχές όμως παρουσιάζουν αυξημένη εκμετάλλευση μαρμάρου. Το 80% των λατομείων βρίσκεται σε τέσσερις κύριες και δύο μικρότερες λατομικές περιοχές, απ' όπου προέρχεται και το 85% της συνολικής παραγωγής. Οι πρώτες είναι οι περιοχές Δράμας-Καβάλας-Θάσου, Αργολίδας-Τροιζηνίας, Ιωαννίνων και Αττικής, ενώ οι δεύτερες είναι οι περιοχές Κοζάνης-Βέροιας-Νάουσας και Λάρισας-Βόλου. Εκτός από τα προαναφερθέντα σημαντικά κέντρα παραγωγής και επεξεργασίας μαρμάρων, αξιόλογες εκμεταλλεύσεις γίνονται και σε άλλες περιοχές, όπως στα νησιά του Αιγαίου (Τήνος, Νάξος, Πάρος), στην Κρήτη και στην Εύβοια. Λεπτομερής περιγραφή των κυριότερων μαρμαροφόρων περιοχών ακολουθεί παρακάτω:

### ΔΡΑΜΑ-ΚΑΒΑΛΑ-ΘΑΣΟΣ (ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗ)

Η περιοχή αυτή αποτελεί το πιο σημαντικό κέντρο εξόρυξης μαρμάρου της χώρας. Υπάρχουν σύγχρονες μονάδες πρωτογενούς παραγωγής και επεξεργασίας<sup>52</sup> και 115 περίπου ενεργά λατομεία, τα οποία έχουν συνολική παραγωγή ογκομαρμάρων που υπερβαίνει τους 1.300.000 τόνους περίπου το χρόνο. Στην ευρύτερη περιοχή κατανέμονται τα μεταμορφωμένα ανθρακικά (ασβεστιτικά και δολομιτικά) πετρώματα. Το 80% περίπου του συνόλου των ελληνικών εξαγωγών προέρχεται από τη συγκεκριμένη περιοχή, με το χιονόλευκο μάρμαρο της Θάσου<sup>53</sup> να καλύπτει μια μεγάλη ποσότητα των εξαγωγών αυτών και να κατατάσσεται σαν ένα από τα πλέον ζητούμενα μάρμαρα στις διεθνείς αγορές (Αραβικές χώρες, Βόρεια Ευρώπη, Ανατολή κ.ά.).

Οι πιο σημαντικοί τύποι μαρμάρου που παράγονται στην περιοχή αυτή είναι οι ακόλουθοι: Τα μάρμαρα μεγάλου πάχους με παρεμβολές μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων και γνευσιοσχιστόλιθων των βουνών Μενοικίου, Φαλακρού, Παγγαίου και Λεκάνης, τα λευκά και ημίλευκα δολομιτικά και ασβεστιτικά μάρμαρα της Θάσου, Νέστου, Λιμνιάς, Νικησιανής, Πηγών, Βώλακα, Γρανίτη, Ελαφοχωριού, Στενωπού, Δύσβατου, Βαθυλάκου, τα κρυσταλλικά μάρμαρα ("κρυσταλλίνες") της Θάσου, Καβάλας και Νικησιανής, οι τραβερτίνες του νομού Σερρών.

### ΑΡΓΟΛΙΔΑ-ΤΡΟΙΖΗΝΙΑ

Αποτελούν την κυριότερη μαρμαροφόρο περιοχή της Πελοποννήσου και μια από τις τέσσερις κυριότερες της χώρας μας, στην οποία λειτουργούν περίπου 50 λατομεία μαρμάρου. Οι πιο σημαντικές μαρμαροφόρες περιοχές εντοπίζονται στη Ναυπλία, Ερμιόνιδα και Τροιζηνία. Τα εξορυσσόμενα μάρμαρα έχουν χρώμα μπεζ και προέρχονται από άστρωτους ή παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους που επιτρέπουν την εξόρυξη, μεγάλων σε διαστάσεις, όγκων.

### ΙΩΑΝΝΙΝΑ (ΗΠΕΙΡΟΣ)

Στην περιοχή των Ιωαννίνων πραγματοποιείται η εξόρυξη των χαρακτηριστικών μπεζ ασβεστόλιθων, οι οποίοι αποτελούν το είδος των μαρμάρων εκείνων που χρησιμοποιείται κυρίως στις ελληνικές κατασκευές, λόγω της αισθητικής εμφάνισής και της χαμηλής τιμής τους. Η λατομική δραστηριότητα αναπτύσσεται κυρίως σε δύο περιοχές. Η μια περιοχή, στην οποία λειτουργούν περίπου 70-80 λατομεία, βρίσκεται δυτικά των Ιωαννίνων και περιλαμβάνει τα χωριά Μάρμαρα, Πετράλωνα, Λοφίσκος, Ανάργυροι, Γραμμένο, κ.ά. ενώ η δεύτερη περιοχή, που έχει περίπου 50 λατομεία, περιλαμβάνει τα χωριά Κληματιά, Ροδόπη, Ζίτσα, Καρίτσα κ.ά. Στην περιοχή των χωριών Μάρμαρα-Πετράλωνα εμφανίζεται κυρίως η παραλλαγή "σουσάμι" που ονομάζεται έτσι λόγω της παρουσίας πολυάριθμων κελυφών που μοιάζουν με σπόρους σουσαμιού. Η συνολική παραγωγή κυμαίνεται στους 60.000 τόνους ετησίως και εξαγωγές πραγματοποιούνται περιστασιακά καθώς υπάρχει μεγάλη ζήτηση του συγκεκριμένου είδους στην ελληνική αγορά.

### ΑΤΤΙΚΗ

Το λεκανοπέδιο, αλλά και η ευρύτερη περιοχή της Αττικής, αποτελεί μια από τις πλουσιότερες περιοχές της Ελλάδας σε γνήσια μάρμαρα και ένα από τα αρχαιότερα κέντρα εξόρυξης και κατεργασίας του μαρμάρου. Σύμφωνα με ιστορικές πηγές, η περιοχή της Πεντέλης είναι το αρχαιότερο κέντρο εξόρυξης, από το οποίο εξορύσσεται το περίφημο λευκό μάρμαρο Διονύσου-Πεντέλης. Το μάρμαρο αυτό θεωρείται ως το

<sup>52</sup> Τα πιο σημαντικά εργοστάσια επεξεργασίας είναι περισσότερα από 15, ενώ το απασχολούμενο προσωπικό υπερβαίνει τα 5.000 άτομα.

<sup>53</sup> Το χιονόλευκο μάρμαρο της Θάσου είναι γνωστό από τους αρχαίους Έλληνες και από την ευρεία χρήση του κατά τους Ρωμαϊκούς χρόνους.

καλύτερο από τα ελληνικά μάρμαρα και για το λόγο αυτό έχει την υψηλότερη τιμή στην αγορά. Χρησιμοποιήθηκε στην αρχαιότητα για την κατασκευή σημαντικών μνημείων, όπως ο Παρθενώνας, το Ερέχθειο, τα Προπύλαια της Ακρόπολης. Η εκμετάλλευσή του διακόπηκε στη νότια πλευρά του για περιβαλλοντικούς λόγους το 1976. Σήμερα, στην ευρεία περιοχή της Πεντέλης, συστηματική εξόρυξη πραγματοποιείται στο όρος Ικάριο, στην τοποθεσία Διόνυσος, σε μικρή απόσταση βόρεια της Πεντέλης<sup>54</sup>, καθώς έχει σταματήσει οποιαδήποτε άλλη λατομική δραστηριότητα. Στην περιοχή της Αττικής επίσης συνεχίζεται η εξόρυξη του γνωστού μαρμάρου της Αγίας Μαρίνας, το οποίο χρησιμοποιείται σε διάφορες κατασκευές.

## **ΚΟΖΑΝΗ-ΒΕΡΟΙΑ-ΝΑΟΥΣΑ (ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ)**

Από τις περιοχές αυτές εξορύσσονται λευκά-ημίλευκα και έγχρωμα μάρμαρα υψηλής ποιότητας (Τρανόβαλτος Κοζάνης, Κουμαριά-Καστανιά Βέροιας, κ.ά.). Το λευκό-ημίλευκο μάρμαρο του Τρανόβαλτου Κοζάνης άρχισε να εξορύσσεται στις αρχές της δεκαετίας του '50 και έφτασε στη μέγιστη παραγωγή του στις δεκαετίες '60-'70. Σήμερα λειτουργούν σε μια περιορισμένη έκταση περίπου 20 λατομεία τα οποία παράγουν όχι περισσότερους από 65.000 τόνους συνολικά ετησίως.

Το μάρμαρο της Βέροιας θεωρείται σαν ένα από τα πιο φημισμένα γνήσια μάρμαρα της Ελλάδας. Είναι λευκό, ημίλευκο ως γκριζόλευκο μικροκρυσταλλικό ασβεσπιτικό μάρμαρο με μεγάλη ζήτηση, τόσο στην εγχώρια αγορά όσο και στη διεθνή, λόγω των εξαιρετικών ποιοτικών του χαρακτηριστικών και της υψηλής του λευκότητας. Η συνολική ετήσια παραγωγή του δεν ξεπερνά τους 40.000 τόνους. Στην περιοχή Νάουσας και στις περιοχές των χωριών Φυτιάς και Αρκοχωρίου νοτιότερα εξορύσσεται ένα πράσινο σερπεντινομάρμαρο, γνωστό ως "μάρμαρο Νάουσας".

Σε άλλες περιοχές της Δυτικής Μακεδονίας έχει αναπτυχθεί αξιοσημείωτη εκμετάλλευση του πράσινου μαρμάρου της Ημαθίας. Επίσης στην περιοχή Κούπας-Σκρα του νομού Κιλκίς υπάρχει σημαντικό κοίτασμα τραβερτινή.

## **ΛΑΡΙΣΑ-ΒΟΛΟΣ (ΘΕΣΣΑΛΙΑ)**

Η περιοχή της Λάρισας-Βόλου παρουσιάζει μια μεγάλη ποικιλία λευκών, ημίλευκων, ροδόχρωων και έγχρωμων μαρμάρων. Τα λευκά, ροζ και γκριζόλευκα μάρμαρα που εξορύσσονται παρουσιάζουν σημαντική ζήτηση στην εγχώρια και στη διεθνή αγορά. Ειδικότερα η περιοχή του Βόλου έχει εξελιχθεί σε ένα σημαντικό κέντρο εντατικής εξόρυξης μαρμάρου, η συνολική παραγωγή του οποίου κυμαίνεται περίπου στους 95.000 τόνους ετησίως. Οι σημαντικότερες περιοχές εξόρυξης είναι το Τισαίον όρος στα νότια του νομού, όπου λειτουργούν 4-5 λατομεία<sup>55</sup>, η Σούρπη και ο Πτελεός<sup>56</sup> [2].

## **Παραπομπές**

- [1] I.C.A.P., Κλαδική Μελέτη: "Μάρμαρα-Γρανίτες", **Αθήνα**, 2000, **σελ.** 39.
- [2] -**Αποστολίδης Ν.Χ.**, Εκμετάλλευση Μαρμάρων, **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών Ε.Μ.Π.**, **Αθήνα**, 1991, **σσ.** 12-29.
- Ε.Ο.Μ.Μ.Ε.Χ.**, Μελέτη του κλάδου του μαρμάρου, **Ανάδοχος: Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών Ε.Μ.Π.**, **Αθήνα**, 1984, **σσ.** 11-86.
- Καλιαμπάκος Δ.**, Σημειώσεις, Περιβάλλον II: Προστασία περιβάλλο-ντος στη μεταλλευτική δραστηριότητα, **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών Ε.Μ.Π.**, **Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας & Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής**, **Αθήνα**, 2001, **σελ.** 43.
- Τσιραμπίδης Α.Ε.**, Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα, **Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών**, **Θεσσαλονίκη**, 1996, **σσ.** 121-124.

---

<sup>54</sup> Η πρωτογενής παραγωγή ογκομαρμάρου διαμορφώθηκε στα 22.600 m<sup>3</sup> το 1998 έναντι 21.500 m<sup>3</sup> περίπου το 1997 [1].

<sup>55</sup> Το μάρμαρο του Τισαίου όρους, στο νότιο άκρο της χερσονήσου της Μαγνησίας, είναι μεγάλης οικονομικής αξίας και η εκμετάλλευσή του χρονολογείται από τους αρχαίους χρόνους.

<sup>56</sup> Τα ροδόχροα μάρμαρα των περιοχών Σούρπης και Πτελεού είναι μικροκρυσταλλικά μάρμαρα με χαρακτηριστικό ροδόχροο και καστανό χρώμα. Η ειδική αισθητική εμφάνισή τους οφείλεται σε πράσινες ταινιώσεις ή στίγματα. Έχουν μεγάλη οικονομική αξία.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΠΙΝΑΚΕΣ**

**Πίνακας 4.2:** Χημική σύσταση (κ.β.%) διάφορων δειγμάτων μαρμάρων που έχουν αναλυθεί.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>CO<sub>2</sub></b>	44,66	45,94	45,80	46,90	46,55	43,54	43,49	43,14	43,36	43,32	43,54	42,75
<b>CaO</b>	35,46	32,06	34,04	32,04	33,05	53,25	53,41	54,42	56,10	57,07	55,77	55,60
<b>MgO</b>	18,89	20,96	19,52	20,88	21,06	2,95	1,24	0,71	0,76	0,30	0,75	0,63
<b>SiO<sub>2</sub></b>	0,27	0,28	0,28	0,30	0,30	0,24	0,23	0,24	0,24	0,20	0,20	0,75
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,01	0,06	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
<b>MnO</b>	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>Σύνολο</b>	99,32	99,35	99,73	100,15	101	100,03	98,43	98,54	100,48	100,9	100,27	99,77

**Προέλευση:**

1=Σαλιάρη, 2=Τρεις Γκρεμοί, 3=Ποταμιά, 4=Γρανίτης, 5=Βώλακας, 6=Άγιος Γεώργιος, 7=Λιμενάρια, 8=Θεολόγος, 9=Στενωπός, 10=Νέστος, 11=Λεκάνη, 12=Ξηροπόταμος.

**Πηγή:** Τσιραμπίδης Α., "Πετρογραφικά χαρακτηριστικά, ορυκτολογική και χημική σύσταση και τύποι ελληνικών μαρμάρων", **Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Το ελληνικό μάρμαρο (Έρευνα-Παραγωγή-Εξαγωγές-Αξιοποίηση υποπροϊόντων-Αποκατάσταση λατομείων-Νομοθετικό πλαίσιο)**, Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2000, σελ. 67.

**Πίνακας 4.3:** Κατανομή ιχνοστοιχείων (ppm) δειγμάτων μαρμάρων που αναλύθηκαν.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	M.O.
<b>Sc</b>	δ.α.	δ.α.	1,15	0,83	0,88	3,69	1,29	2,11	0,86	4,15	0,70	3,53	1
<b>Cr</b>	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	1,08	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,44	5,76	11
<b>Ni</b>	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	1,09	3,07	δ.α.	0,02	0,59	0,22	6,10	20
<b>Zn</b>	δ.α.	0,71	δ.α.	δ.α.	0,58	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	20
<b>Sr</b>	62,59	25,84	52,99	32,28	24,96	130,77	137,42	113,44	114,92	166,52	243,41	162,87	610
<b>Y</b>	0,13	1,35	0,08	2,11	1,41	3,59	0,81	2,48	2,60	0,14	0,04	5,61	6,4
<b>Nb</b>	0,14	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,3
<b>Sn</b>	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,00	0,02	δ.α.	0,13	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,1
<b>Ba</b>	0,72	0,43	δ.α.	0,11	0,33	2,82	1,89	3,39	0,53	0,37	0,65	1,57	10
<b>Hf</b>	0,01	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,3
<b>Ta</b>	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,05	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,01
<b>W</b>	0,70	δ.α.	δ.α.	6,82	4,90	δ.α.	3,98	1,12	2,68	11,11	δ.α.	13,36	0,6
<b>Pb</b>	δ.α.	0,22	0,09	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,35	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	9
<b>U</b>	0,03	δ.α.	0,00	0,08	0,06	0,02	0,03	0,01	0,05	0,09	0,00	0,11	2,2
<b>La</b>	δ.α.	0,16	δ.α.	0,39	δ.α.	2,01	δ.α.	0,42	0,44	δ.α.	δ.α.	2,22	6,3
<b>Ce</b>	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,38	10
<b>Pr</b>	0,02	0,09	0,01	0,10	0,01	0,20	0,02	0,05	0,05	δ.α.	δ.α.	0,28	1,5
<b>Nd</b>	δ.α.	0,27	0,04	0,42	0,03	1,18	0,07	0,28	0,32	δ.α.	δ.α.	1,35	6,2
<b>Sm</b>	0,07	0,05	δ.α.	0,10	0,04	0,07	0,02	0,06	0,02	0,00	δ.α.	0,21	1,4
<b>Eu</b>	0,02	0,02	0,00	0,03	0,02	0,04	0,09	0,04	0,05	0,01	0,00	0,09	0,3
<b>Gd</b>	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,10	δ.α.	0,24	δ.α.	0,08	0,08	δ.α.	δ.α.	0,28	1,4
<b>Tb</b>	0,00	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,03	0,02	δ.α.	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,01	0,2
<b>Dy</b>	0,09	0,12	0,02	0,20	0,20	0,33	0,06	0,20	0,16	0,02	0,05	0,33	1,1
<b>Ho</b>	0,01	δ.α.	0,00	0,02	0,02	0,09	0,00	0,03	0,02	0,01	δ.α.	0,05	0,3
<b>Er</b>	0,07	0,03	δ.α.	0,14	0,12	0,15	0,04	0,15	0,04	δ.α.	0,02	0,23	0,7
<b>Tm</b>	0,05	0,01	0,00	0,01	0,04	0,06	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	0,04	0,1
<b>Yb</b>	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0,05	0,07	0,20	0,01	0,12	0,07	δ.α.	δ.α.	0,13	0,7
<b>Lu</b>	0,01	δ.α.	δ.α.	0,01	δ.α.	0,02	0,04	0,01	0,00	δ.α.	δ.α.	0,05	0,2

**Προέλευση:**

1=Σαλιάρη, 2=Τρεις Γκρεμοί, 3=Ποταμιά, 4=Γρανίτης, 5=Βώλακας, 6=Άγιος Γεώργιος, 7=Λιμενάρια, 8=Θεολόγος, 9=Στενωπός, 10=Νέστος, 11=Λεκάνη, 12=Ξηροπόταμος, M.O.=Παγκόσμιος μέσος όρος ανθρακικών πετρωμάτων, δ.α.=δεν ανιχνεύτηκε.

**Πηγή:** Τσιραμπίδης Α., **Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου**, σελ. 68.

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Σήμερα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση δεν υφίσταται ενιαία νομοθεσία που να αναφέρεται στους κανόνες έρευνας και εκμετάλλευσης των ορυκτών πόρων στις 15 χώρες-μέλη της. Στην Ελλάδα τρία είναι τα υπεύθυνα Υπουργεία που εμπλέκονται στη διαδικασία χορήγησης των αδειών έρευνας και εκμετάλλευσης των ορυκτών πόρων μας: το Υπουργείο Ανάπτυξης (πρώην Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας), το Υπουργείο Γεωργίας και το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. Υπάρχουν όμως και άλλες κρατικές υπηρεσίες καθώς και η Τοπική Αυτοδιοίκηση, που στην προσπάθειά τους να προστατεύσουν το φυσικό περιβάλλον και να ελαχιστοποιήσουν τις επιπτώσεις από τις λατομικές δραστηριότητες, παρεμβαίνουν σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό στην έγκριση ή λειτουργία ενός λατομείου στην περιοχή της αρμοδιότητάς τους.

Το ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο που αφορά στον κλάδο του μαρμάρου περιλαμβάνει τα εξής:

- ◆ Ν.Δ. 210/1973 περί μεταλλευτικού κώδικα, ο οποίος περιέχει τις διατάξεις σχετικά με τα διοικητικά θέματα της έρευνας και της εκμετάλλευσης των μεταλλευμάτων.
- ◆ Ν. 669/1977 (ΦΕΚ 241/Α/11-9-1977) περί εκμετάλλευσης λατομείων.
- ◆ Ν. 998/1979 (ΦΕΚ 289/Α/29-12-1979) περί προστασίας των δασών και των δασικών εκτάσεων της χώρας.
- ◆ Π.Δ. 285/1979 (ΦΕΚ 83/Α/26-4-1979) περί εκμίσθωσης δημόσιων λατομείων μαρμάρων και βιομηχανικών ορυκτών.
- ◆ Π.Δ. 183037/5115/1980 (ΦΕΚ 820/Β) με τις Κ.Υ.Α. των Υπουργών Συντονισμού, Γεωργίας, Βιομηχανίας-Ενέργειας περί καθορισμού των προδιαγραφών συντάξεως μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την έρευνα και την εκμετάλλευση λατομείων και μεταλλείων στα δάση και του τρόπου αντιμετώπισής τους.
- ◆ Ν. 1428/1984 (ΦΕΚ 43/Α/11-4-1984) περί εκμετάλλευσης λατομείων αδρανών υλικών και άλλες διατάξεις.
- ◆ Τον ισχύοντα Κανονισμό Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών Κ.Μ.Λ.Ε. (ΦΕΚ 931/Β/31-12-1984) περί κοινής ρύθμισης των θεμάτων ασφάλειας των μεταλλευτικών και λατομικών εργασιών.
- ◆ Ν. 1650/1986 (ΦΕΚ 160/Α/16-10-1986) για την προστασία του περιβάλλοντος.
- ◆ Κ.Υ.Α. 69269/5387/90 (ΦΕΚ 678/Β/25-10-1990) για την κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, για το περιεχόμενο μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων κ.ά.
- ◆ Ν. 2115/1993 (ΦΕΚ 15/Α/15-2-1993) που έχει βελτιώσει με τροποποιήσεις, αντικαταστάσεις και συμπληρώσεις όλους τους προηγούμενους. Αφορά

αδρανή υλικά αλλά περιλαμβάνει και διατάξεις που αναφέρονται στα λατομεία μαρμάρου<sup>57</sup> (άρθρο 21, άρθρο 8, παράγραφος 3) σύμφωνα με τις οποίες: «απαιτείται η κατάθεση στον αρμόδιο νομάρχη από τον ενδιαφερόμενο εγγυητικής επιστολής εκπληρώσεως των υποχρεώσεων που απορρέουν από τις εγκεκριμένες ή θεωρημένες, από τις αρμόδιες κατά την κείμενη νομοθεσία υπηρεσίες, μελέτες αποκαταστάσεως του περιβάλλοντος. Το ύψος του ποσού της εγγυητικής επιστολής καθορίζεται ίσο με το ποσό που αναφέρεται στις παραπάνω θεωρημένες ή εγκεκριμένες μελέτες σχετικά με τις δαπάνες αποκαταστάσεως του περιβάλλοντος και προσαυξάνεται κατά 40% ανά πενταετία. Σε περίπτωση μη συμμορφώσεως του εκμεταλλευτή προς τις άνω υποχρεώσεις, ανεξάρτητα από τις προβλεπόμενες από τις διατάξεις του παρόντος νόμου κυρώσεις, η εγγυητική επιστολή καταπίπτει προς όφελος του δημοσίου, το δε ποσό διατίθεται στις υπηρεσίες του Υπουργείου Γεωργίας για την περιβαλλοντολογική αποκατάσταση των λατομικών χώρων». Το ποσό αποκατάστασης, με έγγραφο του ΥΠΕΧΩΔΕ και πιο συγκεκριμένα της Διεύθυνσης Περιβάλλοντος και του Τμήματος Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, ορίζεται στις 250.000 δρχ./στρέμμα, εκτός από την Αττική και τη Θάσο, όπου ορίζεται στις 300.000 δρχ./στρέμμα, με αναπροσαρμογή +40% μετά την πρώτη πενταετία για όλη τη διάρκεια της μίσθωσης.

- ◆ Ν. 2702/7-4-1999 (ΦΕΚ 70/Α/7-4-1999), άρθρο 7 περί της παράτασης ισχύος των αδειών εκμετάλλευσης λατομείων μαρμάρου και βιομηχανικών ορυκτών και άρθρο 8 περί παράνομης εκμετάλλευσης αδρανών υλικών, μαρμάρων ή βιομηχανικών ορυκτών.
- ◆ Υ.Α. 10/Φ68/οικ.3042/1993 (ΦΕΚ 917/Β), η οποία προβλέπει τους όρους και τις διαδικασίες εκμίσθωσης, εκμετάλλευσης και διαχείρισης των δημόσιων λατομείων αδρανών και λοιπών υλικών.
- ◆ Ν. 2516/97 περί της λειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας μαρμάρων και άλλων διακοσμητικών λίθων.
- ◆ Π.Δ. 84/84 με το οποίο απαγορεύεται η ίδρυση νέων μονάδων επεξεργασίας διακοσμητικών πετρωμάτων στην Αττική και στα νησιά Αίγινα και Σαλαμίνα,

---

<sup>57</sup> Κατά γενικότερη ομολογία όμως, η επιβάρυνση που προκαλούν τα λατομεία μαρμάρου στο περιβάλλον είναι μικρότερη από την επιβάρυνση που δημιουργούν τα λατομεία αδρανών υλικών.



παρά μόνο σε περιοχές Επαγγελματικής Εγκατάστασης και με όριο ισχύος τους 50 HP. Μονάδες τέτοιας ισχύος είναι προφανές ότι μπορούν να είναι μόνο μαρμαρογλυφεία.

Τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο κλάδος του μαρμάρου και των οποίων η ύπαρξη οφείλεται στο υπάρχον θεσμικό πλαίσιο είναι τα ακόλουθα:

1. *Ανανέωση των αδειών εκμετάλλευσης λατομείων* που έχουν εκδοθεί σύμφωνα με το Ν. 669/1977. Σύμφωνα με το νόμο αυτό, η διάρκεια της άδειας είναι 15 έτη και οι περισσότερες από τις παλιές άδειες λήγουν σε προσεχή έτη, χωρίς να έχουν εξαντληθεί τα κοιτάσματα. Το αίτημα των λατόμων, λαμβάνοντας υπόψη τη χρονοβόρο διαδικασία για την ανανέωση της άδειας, αφορά στη ρύθμιση του θεσμικού πλαισίου, έτσι ώστε η άδεια εκμετάλλευσης να λήγει ταυτόχρονα με τη λήξη της εκμετάλλευσης.
2. *Εκκρεμείς αιτήσεις για έρευνα ή μίσθωση με απευθείας σύμβαση δημόσιων μαρμαροφόρων εκτάσεων*, οι οποίες δεσμεύουν σημαντικές μαρμαροφόρες περιοχές, χωρίς να γίνεται αποδέσμευση του κοιτάσματος. Το αίτημα των φορέων του κλάδου αφορά στην αποδέσμευση αυτών των περιοχών.
3. *Χρονοβόρα διαδικασία έκδοσης αδειών εκμετάλλευσης*. Η συγκεκριμένη διαδικασία απαιτεί τη γνωμοδότηση πολλών κρατικών υπηρεσιών, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα να παρουσιάζονται καθυστερήσεις της τάξης των 2 ετών. Οι φορείς του κλάδου ζητούν την πιστή εφαρμογή της διάταξης που προβλέπει προθεσμία 2 μηνών για τη γνωμάτευση αυτών των υπηρεσιών (Ν. 669/77). Σε διαφορετική περίπτωση η απάντηση θα θεωρείται θετική.
4. *Υψηλό κόστος εγγυητικών επιστολών*. Αυτό έχει σαν συνέπεια την αύξηση του κόστους παραγωγής, ειδικά για εταιρείες που διαθέτουν περισσότερα του ενός λατομεία. Η διαμορφωθείσα κατάσταση οδηγεί στην αύξηση των εισαγωγών μαρμάρου σε σχέση με την εκμετάλλευση των μαρμαροφόρων κοιτασμάτων. Ωστόσο, το ΥΠ.ΑΝΑ. με εγκύκλιο του, αντιμετώπισε το συγκεκριμένο πρόβλημα, δεχόμενο τη σταδιακή καταβολή της εγγυητικής επιστολής εντός της 15ετίας της εκμετάλλευσης.
5. *Προστασία του περιβάλλοντος και αποκατάσταση χώρου*. Η προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί ένα θέμα ζωτικής σημασίας που απασχολεί όλες τις ανεπτυγμένες χώρες. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η νομοθεσία για τα λατομεία σε σχέση με το περιβάλλον γίνεται όλο και πιο

αυστηρή, με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση οποιασδήποτε αναπτυξιακής προσπάθειας σε αυτό τον τομέα. Η ελληνική νομοθεσία, ακολουθώντας την γενικότερη ευρωπαϊκή πολιτική για το περιβάλλον, αντιμετωπίζει με αυστηρότητα το όλο θέμα και δεν επιτρέπει την εύκολη εκμετάλλευση λατομικών περιοχών. Αυτό το γεγονός επιδρά αρνητικά στη λατομική δραστηριότητα, δημιουργεί αντίξοες συνθήκες στις υπάρχουσες εκμεταλλεύσεις και αποτρέπει τη δημιουργία νέων.

6. *Περιορισμένα προγράμματα προβολής των ελληνικών μαρμάρων* στη διεθνή αγορά. Έχει παρατηρηθεί έλλειψη οργανωμένης προβολής των ελληνικών μαρμάρων σε χώρες του εξωτερικού, με συνέπεια να μην αυξάνεται η εξαγωγική δραστηριότητα των ελληνικών επιχειρήσεων και έτσι να μην υποστηρίζονται τα ελληνικά μάρμαρα, παρ' όλα τα συγκριτικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν σε σχέση με τα αντίστοιχα των άλλων χωρών.

Άλλα προβλήματα που έχουν αναφερθεί είναι το μεγάλο κόστος μεταφοράς και διάθεσης στο εξωτερικό, καθώς και η υψηλή τιμή των χρησιμοποιούμενων καυσίμων (πετρέλαιο) στα λατομεία, με αποτέλεσμα την επιβάρυνση του κόστους παραγωγής και επομένως και της τελικής τιμής των προϊόντων [1].

Η αναφορά των παραπάνω προβλημάτων αναδεικνύει σε σημαντικό βαθμό την ανεπάρκεια και την ακαταλληλότητα του ισχύοντος θεσμικού πλαισίου, το οποίο αποδεικνύεται αντιφατικό και δυσπρόσιτο. Με τις γραφειοκρατικές, αντιορθο-λογικές, αναχρονιστικές και χρονοβόρες διαδικασίες που προβλέπει, αφενός αποθαρρύνει την ανάληψη νόμιμων πρωτοβουλιών από επιχειρηματίες που πραγματικά επιθυμούν μια υγιή ανάπτυξη με σωστές επενδύσεις, αφετέρου ενθαρρύνει τις ευκαιριακές, τυχοδιωκτικές ενέργειες των ιδιωτών, συντελώντας έτσι στην ανακύκλωση του φαύλου κύκλου. Μ' αυτό τον τρόπο όμως δημιουργεί προβλήματα μη ορθολογικής εκμετάλλευσης του ορυκτού πλούτου και κατά συνέπεια δεν αποδίδει τα αναμενόμενα στην αποτελεσματική διαχείριση του περιβάλλοντος.

Για όλους τους παραπάνω λόγους προτείνεται να επανεξεταστεί το ισχύον πλαίσιο, ως προς τη γενικότερη φιλοσοφία του αλλά και ως προς ορισμένες επιμέρους διατάξεις, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα από τη μέχρι σήμερα εφαρμογή του, τους κανόνες της σύγχρονης μεταλλευτικής επιστήμης και τεχνικής και τη διεθνή σχετική εμπειρία, έχοντας σαν βασικές κατευθύνσεις:

- Την αναμόρφωση ορισμένων αναχρονιστικών διατάξεων σύμφωνα με τα διεθνώς αποδεκτά επιστημονικά δεδομένα.
- Την επαναδιατύπωση ορισμένων διατάξεων γενικής ισχύος κατά τρόπο που να προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία στις επιλογές, έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες όχι μόνο κάθε κλάδου (μεταλλεία, λατομεία αδρανών, λατομεία μαρμάρου) αλλά και κάθε κοιτάσματος.

Για την επιτυχία της προσπάθειας αναμόρφωσης του νομοθετικού πλαισίου, πρέπει να γίνουν βήματα στην αλλαγή της νοοτροπίας των εμπλεκόμενων φορέων, να λειτουργήσει ένας αποτελεσματικός ελεγκτικός μηχανισμός και να αναμορφωθεί ο μηχανισμός των προστίμων και των εγγυητικών επιστολών με κατάλληλες ρυθμίσεις, που θα εξασφαλίζουν την περιβαλλοντική προστασία και την αναβάθμιση των λατομικών χώρων. Είναι επίσης αναγκαία η κωδικοποίηση του υφιστάμενου νομοθετικού πλαισίου σε ένα ενιαίο νομοθετικό κείμενο, καθώς ο μεγάλος αριθμός των αντικαταστάσεων και τροποποιήσεων των επιμέρους άρθρων καθιστούν ιδιαίτερα δυσχερή τη χρήση της κείμενης νομοθεσίας [2].

## Παραπομπές

- [1] -**Γιούτα–Μήτρα Π.**, Διπλωματική Εργασία: “Έλεγχος Ποιότητας των ελληνικών μαρμάρων ως κίνητρο βελτίωσης των εξαγωγών”, **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Τομέας Μεταλλευτικής, Αθήνα, 1999, σσ. 248-250.**  
-**Ι.Σ.Α.Ρ.**, Κλαδική Μελέτη: “Μάρμαρα–Γρανίτες”, **Αθήνα, 2000, σσ. 125-127.**  
-**Λειβαδάρος Ρ.**, Εκμετάλλευση–Επεξεργασία διακοσμητικών λίθων, Νομικό Πλαίσιο, **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1998, σσ. 1-13.**  
-**Παπαδόπουλος Δ.**, “**Νομοθετικό πλαίσιο Ελλάδος για τα μάρμαρα**”, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Το ελληνικό μάρμαρο (Έρευνα–Παραγωγή–Εξαγωγές– Αξιοποίηση υποπροϊόντων–Αποκατά-σταση λατομείων–Νομοθετικό πλαίσιο), **Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2000, σσ. 193-203.**  
-**Τσιραμπίδης Α.Ε.**, Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα, **Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσσαλονίκη, 1996, σσ. 248-254.**
- [2] -**Ερευνητική Ομάδα του Εργαστηρίου Μεταλλευτικής Τεχνολογίας του Τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π.**, “**Μια ενδιαφέρουσα κριτική του υφιστάμενου περιβαλλοντικού νομοθετικού πλαι-σίου για τα λατομεία**”, Διακοσμητικά Πετρώματα, Εκδόσεις: Ελληνικό Μάρμαρο, 10, **Αθήνα, Ιανουάριος 2000, σσ. 91-98.**  
-**Χειμωνίτη–Τερροβίτη Στ.**, Το μάρμαρο: Προβλήματα και προοπτικές, **Κέντρο Προγραμματισμού και Οικονομικών Ερευνών, Αθήνα, 1986, σσ. 30-33.**

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: ΕΜΠΟΡΙΟ ΜΑΡΜΑΡΩΝ

Οι μεγαλύτερες χώρες παραγωγής μαρμάρου παγκοσμίως είναι η Ιταλία, η Κίνα, η Ισπανία και η Ινδία. Η Ιταλία μάλιστα κυριαρχεί σε όλες τις αγορές του εξωτερικού με σημαντικά ποσοστά. Ιδιαίτερα στην Ευρώπη σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και η Ελλάδα με την Πορτογαλία. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι δέκα πρώτες χώρες παραγωγής μαρμάρου καθώς και η παγκόσμια πρωτογενής παραγωγή μαρμάρου για τα έτη 1992-1996. Από τον Πίνακα αυτό διαπιστώνεται ότι η Ελλάδα βρίσκεται σήμερα στην έβδομη θέση, όσον αφορά στην παγκόσμια παραγωγή μαρμάρου.

**Πίνακας 1: Παγκόσμια πρωτογενής παραγωγή μαρμάρων σε χιλιάδες τόνους.**

ΧΩΡΕΣ	1996	1995	1994	1993	1992
Κίνα	11.000	11.070	9.000	8.500	2.545
Ιταλία	8.600	8.653	8.370	7.750	7.300
Ισπανία	4.500	4.670	4.047	3.846	2.980
Ινδία	4.500	4.500	4.424	3.578	3.050
N. Κορέα	2.200	2.397	2.311	2.000	1.445
Βραζιλία	2.000	2.000	1.977	1.821	1.673
<b>Ελλάδα</b>	<b>1.900</b>	<b>2.000</b>	<b>2.500</b>	<b>2.400</b>	<b>2.250</b>
Πορτογαλία	1.100	1.100	1.150	1.050	1.114
Ιράν	1.000	1.000	800	-	-
Γαλλία	1.000	998	1.271	1.144	1.018
Λοιπές Χώρες	11.481	11.506	11.144	10.913	10.600
<b>Σύνολο</b>	<b>49.281</b>	<b>49.894</b>	<b>47.294</b>	<b>43.002</b>	<b>33.975</b>

**Πηγή:** Έκδοση "Ελληνικό Μάρμαρο" STONE SECTOR 1996, I.M.M. CARRARA S.p.A.

Τα τελευταία χρόνια η παγκόσμια πρωτογενής παραγωγή μαρμάρων εμφανίζει σημαντική αύξηση. Από 34 εκατομμύρια τόνους περίπου το 1992, η παραγωγή ανήλθε σε 49 εκατ. τόνους το 1995, αύξηση που αντιστοιχεί σε ποσοστό 44,1%. Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως στη δυναμική ανάπτυξη της παραγωγής χωρών εκτός Ευρώπης, όπως η Κίνα, η Ινδία και η Ν. Κορέα. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα η Ευρωπαϊκή μαρμαροβιομηχανία να στραφεί σε εξωκοινοτικές αγορές, κάνοντας επενδύσεις στο χώρο της εξόρυξης (λατομεία), για να αποκτήσει την πρώτη ύλη για την παραγωγή προϊόντων και εφαρμογών χαμηλότερης ποιότητας και κατηγορίας τιμής. Παρά το γεγονός αυτό, η Ευρώπη, λόγω του φυσικού μονοπωλίου που κατέχει σε μάρμαρα ανώτερης ποιότητας (λευκά και ανοιχτόχρωμα), εξακολουθεί να παρέχει στην παγκόσμια αγορά την πρώτη ύλη για πιο εξειδικευμένες εργασίες και εφαρμογές.

Όσον αφορά στην Ελλάδα, η βιομηχανία μαρμάρου έχει μακρόχρονη παράδοση, χάρη στη μεγάλη ποικιλία κοιτασμάτων μαρμάρου πολύ καλής ποιότητας που διαθέτει. Στον κλάδο του μαρμάρου υπάρχουν περίπου 4.000 επιχειρήσεις που ασχολούνται με την εξόρυξη, την επεξεργασία, το εμπόριο, τις εξαγωγές, την κατασκευή καλλιτεχνημάτων και την τοποθέτηση μαρμάρων και διακοσμητικών πετρωμάτων και απασχολούν πάνω από 60.000 άτομα. Η ετήσια παραγωγή των λατομείων μαρμάρου, παρ' όλες τις διακυμάνσεις που υπάρχουν, πα-ρουσιάζει αυξητικές τάσεις, έχοντας υπερδιπλασιαστεί την τελευταία 20ετία. Τα τελευταία χρόνια έχει φτάσει τους 2.000.000 τόνους, ενώ η δυναμικότητα των εργοστασίων κοπής και κατεργασίας εκτιμάται ότι υπερβαίνει κατά πολύ τους 2.500.000 τόνους. Τα περισσότερα από τα εργοστάσια διαθέτουν κύριο και βοηθητικό εξοπλισμό σύγχρονης τεχνολογίας και μπορούν να παράγουν τελικά προϊόντα μαρμάρου κάθε είδους, όπως λεπτά πλακίδια τυποποιημένων διαστάσεων, είδη υγιεινής, διακοσμητικά προϊόντα μαρμάρου, μνημεία, καλλιτεχνήματα, κ.ά., καθώς και προϊόντα ειδικών διαστάσεων. Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει την πρωτογενή παραγωγή μαρμάρου τα τελευταία χρόνια. Παρατηρείται βέβαια μια σχετική ύφεση, που είναι αποτέλεσμα συγκεκριμένων προβλημάτων του κλάδου.

**Πίνακας 2: Παραγωγή μαρμάρου σε τόνους.**

ΕΤΟΣ	ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΑΡΜΑΡΟΥ
1990	1.820.000
1991	2.000.000
1992	2.250.000
1993	2.400.000
1994	2.500.000

1995	2.000.000
1996	1.900.000

**Πηγή:** Έκδοση “Ελληνικό Μάρμαρο”.

Η ελληνική βιομηχανία μαρμάρου έχει και εξαγωγικό προσανατολισμό<sup>58</sup>. Ο αριθμός των εξαγωγών έχει αυξηθεί σημαντικά την τελευταία 20ετία, λόγω της υψηλής ποιότητας των ελληνικών μαρμάρων και της αυξημένης ανταγωνιστικότητάς τους, που ανταποκρίνεται απόλυτα στις απαιτήσεις της ξένης αγοράς. Οι ελληνικές εξαγωγές μαρμάρων, από 35.945 τόνους αξίας περίπου 62 εκατ. δρχ. το 1971, το 1998 ανέρχονται περίπου σε 270.000 τόνους ετησίως, αξίας 34 δις. δρχ. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι ελληνικές εξαγωγές μαρμάρου τα τελευταία χρόνια. Βάσει των στοιχείων του Πίνακα αυτού, παρατηρείται ότι οι εξαγωγές μαρμάρου σε ποσότητα (τόνους) παρουσίασαν αυξομειώσεις κατά την εξεταζόμενη περίοδο, τόσο συνολικά όσο και ανά κατηγορία.

Το μεγαλύτερο μέρος των εξαγωγών αποτελείται κυρίως από τα λευκά και ημίλευκα μάρμαρα, όπως τα λευκά της Θάσου, της Ανατολικής Μακεδονίας, του Διονύσου-Πεντέλης κ.ά., η συμμετοχή των οποίων στο σύνολο των εξαγωγών κυμάνθηκε μεταξύ 67%-79% κατά το χρονικό διάστημα 1995-1998. Τα μάρμαρα αυτά εξάγονται σε διάφορες μορφές όπως πλάκες και πλακίδια τυποποιημένων διαστάσεων, διάφορα καλλιτεχνήματα, καδρέτα, κ.ά., ενώ σε μικρές ποσότητες εξάγονται ογκομάρμαρα και πλάκες τελάρου. Επίσης, εξάγονται αρκετές ποσότητες χρωματιστών μαρμάρων από διάφορες περιοχές και κυρίως γκρι, πράσινα και μαύρα. Οι εξαγωγές ελληνικών μαρμάρων κατευθύνονται σε όλο τον κόσμο, από τη Δυτική Ευρώπη μέχρι τις Η.Π.Α., την Κίνα και τις Αραβικές χώρες, αλλά επικεντρώνονται κυρίως προς την Κίνα, τη Σ. Αραβία, τη Γερμανία και τις Η.Π.Α., καθώς και σε χώρες της Μ. Ανατολής που έχουν παρόμοια προς τη Σ. Αραβία καταναλωτική συμπεριφορά.

---

<sup>58</sup> Εξάγεται περίπου το 25% της εγχώριας παραγωγής και το 95% των εξαγωγών αφορούν κατεργασμένα προϊόντα.



Από την άλλη, οι εισαγωγές των μαρμάρων, σαν συνέπεια της μειωμένης παραγωγής πρώτων υλών αλλά και της αυξημένης ανάγκης της αγοράς για καινούρια υλικά, αυξάνονται όλο και περισσότερο. Οι κύριες χώρες από τις οποίες προέρχονται οι εισαγωγές είναι η Ιταλία, η Αίγυπτος, η Τουρκία και οι χώρες της Βαλκανικής. Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τις συνολικές εισαγωγές μαρμάρων. Το μεγαλύτερο μέρος των εισαγωγών κατά το χρονικό διάστημα 1991-1999 αφορά τα ακατέργαστα μάρμαρα, το ποσοστό συμμετοχής των οποίων στο σύνολο των εισαγωγών κυμάνθηκε μεταξύ 70%-88% την περίοδο 1996-1998. Οι εισαγωγές ακατέργαστων μαρμάρων, οι οποίες περιλαμβάνουν τους όγκους μαρμάρου, κυμάνθηκαν σε υψηλά επίπεδα από το 1996 μέχρι και σήμερα, σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια (1991-1995). Η αύξηση αυτή οφείλεται μεταξύ άλλων στα δημόσια έργα που πραγματοποιήθηκαν στη χώρα μας τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ενώ κάποια άλλα βρίσκονται ακόμα υπό εξέλιξη. Επίσης οι εισαγωγές κατεργασμένων μαρμάρων σχεδόν διπλασιάστηκαν τις περιόδους 1997/1996 και 1998/1997. Όσον αφορά στις προοπτικές εξέλιξης του κλάδου του μαρμάρου, λαμβάνοντας υπόψη τους τύπους και την ποιότητα των ελληνικών μαρμάρων, τα υπάρχοντα κοιτάσματα λευκών μαρμάρων, καθώς και τη γεωγραφική θέση της Ελλάδας που έχει στρατηγική σημασία και την κάνει προσιτή στις διεθνείς αγορές του μαρμάρου, εκτιμάται ότι ο συγκεκριμένος κλάδος εμφανίζει μεγάλα περιθώρια περαιτέρω ανάπτυξης και κατάκτησης μεγαλύτερων μεριδίων στις διεθνείς αγορές [1].

**Πίνακας 4: Εξέλιξη των εισαγωγών μαρμάρων (1991-1999).**

ΕΤΟΣ	ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΑ		ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΑ		ΣΥΝΟΛΟ	
	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΑΞΙΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΑΞΙΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΑΞΙΑ
1991	3.652	143.561	833	88.605	4.485	232.166
1992	2.866	194.227	1.563	227.004	4.429	421.231
1993	2.618	212.588	2.099	323.933	4.717	536.521
1994	5.558	294.192	1.387	283.892	6.945	578.084
1995	8.042	464.205	2.172	331.974	10.214	796.179
1996	21.775	989.113	2.868	438.175	24.643	1.427.288
1997	29.499	1.905.526	6.774	1.118.831	36.273	3.024.357
1998	29.926	1.725.415	12.558	1.160.443	42.484	2.885.858
1999*	31.536	1.641.744	3.364	468.197	34.900	2.109.941

Πηγή: Επεξεργασία στοιχείων Ε.Σ.Υ.Ε.

1999\*: Τα στοιχεία του 1999 αφορούν την περίοδο 1.1-30.9.1999.

Ποσότητα: Σε τόνους.

Αξία: Σε χιλ. δρχ.

## Παραπομπές

[1] **-Βαρσακέλης Ν., "Στρατηγική Μάρκετινγκ του ελληνικού μαρμάρου",** Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Το ελληνικό μάρμαρο (Έρευνα-Παραγωγή-Εξαγωγές- Αξιοποίηση υποπροϊόντων Αποκατάσταση λατομείων-Νομοθετικό πλαίσιο), **Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2000, σσ. 153-162.**

**-Γιούτα-Μήτρα Π.,** Διπλωματική Εργασία: "Έλεγχος Ποιότητας των ελληνικών μαρμάρων ως κίνητρο βελτίωσης των εξαγωγών", **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Τομέας Μεταλλευτικής, Αθήνα, 1999, σσ. 15-19, 45-55.**

**-Ελληνικό Μάρμαρο,** Οδηγός Αγοράς Μαρμάρου 2000-2001, **Εκδόσεις "Ελληνικό Μάρμαρο", Αθήνα, 2001, σσ. 56-58.**

**-Ι.Σ.Α.Ρ.,** Κλαδική Μελέτη: "Μάρμαρα-Γρανίτες", **Αθήνα, 2000, σσ. 3-4, 55-74, 123-124.**

**-Καλιαμπάκος Δ.,** Σημειώσεις, Περιβάλλον ΙΙ: Προστασία περιβάλλο-ντος στη μεταλλευτική δραστηριότητα, **Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών Ε.Μ.Π., Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας & Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής, Αθήνα, 2001, σσ. 41-46.**

**-Κολοτούρος Κ., "Οι εξαγωγές μαρμάρων υποχώρησαν το 1999 κάτω από το επίπεδο των 30 δις δρχ. Μειώθηκαν κατά 15,3% σε αξία σε σύγκριση με το 1998",** Διακοσμητικά Πετρώματα, Εκδόσεις: Ελληνικό Μάρμαρο, 11, **Αθήνα, Μάιος 2000, σσ. 17-28.**

-Κολοτούρος Κ., **“Οι εισαγωγές μαρμάρων το 1999 ξεπέρασαν τις εισαγωγές γρανιτών. Έφτασαν συνολικά τα 6,6 δις δρχ.”**, Διακοσμητικά Πετρώματα, Εκδόσεις: Ελληνικό Μάρμαρο, 11, **Αθήνα, Μάιος 2000, σσ. 33-37.**

-Παπαστεργιόπουλος Γ., **“Εξαγωγές μαρμάρων”**, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου: Το ελληνικό μάρμαρο (Έρευνα–Παραγωγή–Εξαγωγές–Αξιοποίηση υποπροϊόντων–Αποκατάσταση λατομείων–Νομοθετικό πλαίσιο), **Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2000, σσ. 163-172.**

-Τσιραμπίδης Α.Ε., **Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα**, Εκδόσεις **Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσσαλονίκη, 1996, σσ. 193-206.**

-Χειμωνίτη–Τερροβίτη Στ., **Το μάρμαρο: Προβλήματα και προοπτικές**, Κέντρο **Προγραμματισμού και Οικονομικών Ερευνών, Αθήνα, 1986, σσ. 40-53.**

-Conti G., Lisanti V., Mannoni T., Montani C., Pinzari M., Ragone M., Ricci A., Semel G., **Marble in the world**, Società Editrice Apuana, 1<sup>st</sup> E-dition, Carrara, Italy, 1986, **σσ. 63-67.**