



ΗΜΕΡΙΔΑ

ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ,
ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ, ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ
ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ
ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ

«ΑΔΡΑΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ»

ΠΡΑΚΤΙΚΑ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΣΥΝΔΙΟΡΓΑΝΩΣΗ

- ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ Α.Π.Θ.
- Ι.Γ.Μ.Ε. (Περιφερειακή Μονάδα Κεντρικής Μακεδονίας)

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2003

**«ΑΔΡΑΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ
ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ»**

ΗΜΕΡΙΔΑ
ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ,
ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ, ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ
ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ

**«ΑΔΡΑΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ
ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ»**

ΠΡΑΚΤΙΚΑ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΣΥΝΔΙΟΡΓΑΝΩΣΗ

- Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.
- Ι.Γ.Μ.Ε. (Περιφερειακή Μονάδα Κεντρικής Μακεδονίας)

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2003

ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Πρόεδρος

Γεώργιος Χριστοφίδης
Καθηγητής Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Αντιπρόεδρος

Σπύρος Νταμπίζιας
Δρ. Γεωλογίας, Ι.Γ.Μ.Ε.

Γραμματέας

Μιχάλης Βαβελίδης
Καθηγητής Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Ταμίας

Βασίλειος Μέλφος
Δρ. Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

ΧΟΡΗΓΟΙ

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΡΕΥΝΩΝ ΑΠΘ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΑΠΘ



ΙΓΜΕ



ΑΕ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΤΙΤΑΝ



ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ ΑΕ



ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.

ΤΕΜΚΑΤ ΑΕ

Λατομεία, Σκυροδέματα

ΤΕΡΝΑ ΑΕ

ΛΑΤΟΜΕΙΑ ΒΟΥΓΙΟΥΚΛΗ ΑΒΕΕ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Προσφώνηση από τον Πρόεδρο της Οργανωτικής Επιτροπής Καθηγητή Γ. Χριστοφίδη	1
Προσφώνηση από τον Αντιπρόεδρο της Ε.Γ.Ε. Καθηγητή Β. Χρηστάρα	3
Προσφώνηση από τον Διευθυντή του Ι.Γ.Μ.Ε. (Π.Μ.Κ.Μ.) Δρ. Ν. Αρβανιτίδη	5
Προσφώνηση από τον Κοσμήτορα της Σ.Θ.Ε. Καθηγητή Α. Φιλιππίδη	7
Πρόγραμμα Ημερίδας	9
Έλεγχοι για καταλληλότητα αδρανών υλικών σε έργα οδοποιίας <i>Α. Νικολαΐδης</i>	11
Ελαφρά αδρανή και χαλαζιακή άμμος: ιδιότητες – παραγωγή – είδη <i>Α. Τσιραμπίδης</i>	23
Σκληρά αδρανή στον ελληνικό χώρο. Πετρολογικοί τύποι και ορυκτολογικά – ιστολογικά χαρακτηριστικά <i>Σ. Νταμπίζις, Π. Χρυσοστομίδης, Φ. Μαλτζάρης, Ε. Καρατάσου</i>	49
Αξιολόγηση πρώτων υλών για το σχεδιασμό μιγμάτων τροφοδοσίας στη βιομηχανία τσιμέντου: Μελέτες και εφαρμογές για ιζηματογενή κοιτάσματα <i>Ι. Μάστορης, Γ. Δελαγραμμάτικας, Μ. Καρμής, Β. Μέλφος</i>	65
Τα πυριγενή πετρώματα ως δομικά υλικά: Χαρακτηριστικά και επεξεργασία <i>Α. Κορωναίος, Σ. Πανλίδου</i>	83
Ορισμός αδρανών υλικών – Διαδικασία αδειοδότησης – Κρατούσα κατάσταση σε Μακεδονία και Θράκη <i>Γ. Τριανταφυλλίδης</i>	107

**ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΕΔΡΟ
ΤΗΣ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ Α.Π.Θ.
ΓΕΩΡΓΙΟ ΧΡΙΣΤΟΦΙΔΗ**

Κύριε Κοσμήτορα της Σχολής Θετικών Επιστημών,
Κύριε Πρόεδρε του Τμήματος Γεωλογίας,
Κύριε Αντιπρόεδρε της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας,
Κύριε Διευθυντά της Περιφερειακής Μονάδας Ι.Γ.Μ.Ε. Κεντρικής Μακεδονίας,
Κύριε Εκπρόσωπε του ΓΕΩΤ.Ε.Ε.,
Κύριοι Εισηγητές,
Κυρίες και κύριοι συνάδελφοι,
Αγαπητές φοιτήτριες και αγαπητοί φοιτητές,

Εκ μέρους της Οργανωτικής Επιτροπής της ημερίδας και εκ μέρους της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, σας καλωσορίζω στη σημερινή ημερίδα, η οποία θα ασχοληθεί με τα αδρανή πετρώματα και τους δομικούς λίθους, σας ευχαριστώ που μας τιμάται με την αθρόα προσέλευσή σας και σας εύχομαι ένα ευχάριστο και παραγωγικό πρωινό.

Η Επιτροπή Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας της Ε.Γ.Ε. αποφάσισε τη διοργάνωση της σημερινής ημερίδας γιατί πιστεύει ότι θέματα αιχμής, τα οποία μπορούν να συμβάλουν τα μέγιστα στην ανάπτυξη της οικονομίας της χώρας, θα πρέπει να αναδεικνύονται. Και τα αδρανή υλικά και οι δομικοί λίθοι είναι θέμα αιχμής, και αυτό το βλέπουμε καθημερινά. Η σημασία τους στην κατασκευαστική βιομηχανία και ιδιαίτερα στον οικοδομικό τομέα και στον τομέα των συγκοινωνιακών έργων είναι πολύ σημαντική, αν αναλογιστεί κανείς την παγκόσμια παραγωγή και κατανάλωσή τους.

Στη χώρα μας η παραγωγή και η χρήση των αδρανών υλικών έχει ανέβει κατακόρυφα με όλες τις θετικές για την εθνική οικονομία επιπτώσεις. Το ίδιο όμως δεν συμβαίνει με μέρος των δομικών υλικών και πιο συγκεκριμένα με τους γρανίτες, τους οποίους εισάγουμε ενώ βρίσκονται σε αφθονία στην Ελλάδα. Παράλληλα διαπιστώνονται και αρνητικά σημεία όπως είναι η περιβαλλοντική επιβάρυνση στις περιοχές των λατομικών χώρων, η κακής ποιότητας χρήση υλικών, η σύγχυση όσον αφορά το νομικό πλαίσιο που διέπει τις διαδικασίες χωροθέτησης και εκμετάλλευσης των λατομείων και πολλά άλλα.

Η παρουσία, σήμερα, στην ημερίδα μας συναδέλφων, που έχουν ασχοληθεί με

το θέμα των αδρανών υλικών και δομικών λίθων, αποσκοπεί στην επισήμανση των αρνητικών αυτών σημείων, παράλληλα με την ανάδειξη σημαντικών παραμέτρων αναγκαίων για την διαπίστωση του κοιτασματολογικού τους ενδιαφέροντος, της καταλληλότητάς τους, των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών τους, της εμπορικής αξιοποίησής τους και των νομικών διαδικασιών οι οποίες πρέπει να ακολουθούνται.

Θέλω να πιστεύω, αγαπητοί συνάδελφοι και αγαπητοί φοιτητές, ότι η ημερίδα θα αποβεί χρήσιμη, θα δώσει πληροφορίες, θα λύσει απορίες, θα προβληματίσει και θα αποτελέσει την αφετηρία για παραπέρα ενέργειες και πρωτοβουλίες.

Η Επιτροπή Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας θα καταβάλει κάθε προσπάθεια για τη δημοσίευση, τέλος Οκτωβρίου, των εισηγήσεων σε ειδικό τόμο πρακτικών. Προς το παρόν δεν είναι εξασφαλισμένοι οι οικονομικοί πόροι. Προσπαθούμε και ευελπιστούμε να τους εξασφαλίσουμε.

Στο σημείο αυτό θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω τα μέλη της Οργανωτικής Επιτροπής και ιδιαίτερα τον κ. Μέλφο, για τη συμβολή τους στη διοργάνωση της σημερινής ημερίδας. Ευχαριστώ επίσης τους χορηγούς, με τη συμβολή των οποίων διοργανώθηκε η σημερινή ημερίδα.

**ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΤΙΠΡΟΕΔΡΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΑΠΘ
ΒΑΣΙΛΗ ΧΡΗΣΤΑΡΑ**

Κύριε Πρόεδρε και Μέλη της Οργανωτικής Επιτροπής,
Κύριε Κοσμήτορα της ΣΘΕ
Κύριε Πρόεδρε του Τμήματος Γεωλογίας
Κύριε Διευθυντά του ΙΓΜΕ, Παράρτημα Κεντρικής Μακεδονίας
Κύριοι Σύεδροι,

Η Ελληνική Γεωλογική Εταιρία (ΕΓΕ) πρόσφατα εόρτασε τα 50 χρόνια διεθνούς παρουσίας της και η διοργάνωση της ημερίδας αυτής, από την Επιτροπή Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας της ΕΓΕ, αποδεικνύει πέρα από κάθε αμφιβολία τη δυναμική δράση της στον τομέα των γεωεπιστημών και ειδικότερα στον εντοπισμό και αξιοποίηση των γεωυλικών.

Η λατομική έρευνα και η αναζήτηση και αξιοποίηση των βιομηχανικών ορυκτών και πετρωμάτων, που μεγάλο τμήμα τους βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα, αποτελούν σημαντικό κομμάτι της εθνικής οικονομίας και ανάπτυξης. Πρόκειται για σύνθετο τεχνικό – οικονομικό θέμα που περιλαμβάνει α) τον εντοπισμό και έρευνα των περιοχών ενδιαφέροντος, β) τον ακριβή υπολογισμό των αποθεμάτων και τη διαδικασία ορθολογικής εξόρυξης, γ) τον ποιοτικό έλεγχο, δ) την ανάδειξη και εμπορία του τελικού προϊόντος και τέλος την ε) την περιβαλλοντική αποκατάσταση του λατομικού χώρου.

Η θεμελίωση τεχνικών έργων επί και εντός των γεωλογικών σχηματισμών προκαλεί την ανάγκη διερεύνησης της μηχανικής (αλλά και της δυναμικής) συμπεριφοράς του υπεδάφους. Στο πλαίσιο αυτό, η γεωλογική επιστήμη μπορεί και πρέπει να συμβάλει στην ασφαλή κατασκευή έργων υποδομής καθώς και έργων οικιστικής και βιομηχανικής ανάπτυξης. Επίσης η συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση γλυκού νερού, ως αποτέλεσμα πολιτισμού και τεχνολογικής ανάπτυξης, αυξάνει συνεχώς την ανάγκη για εξειδικευμένες υδρογεωλογικές έρευνες που θα διασφαλίσουν τα απαραίτητα αποθέματα νερού. Το παράδειγμα αξιοποίησης της γεωλογικής γνώσης στην πρόσφατη κατασκευή των μεγάλων έργων της χώρας μας είναι χαρακτηριστικό για τη συμβολή της γεωλογικής έρευνας. Αλλά και η συμβολή της γεωλογίας σε έργα αποκατάστασης της πολιτιστικής κληρονομιάς δεν περνά απαρατήρητη.

Τα παραδείγματα είναι πολλά και για το λόγο αυτό σιγά-σιγά η πολιτεία

εμπλουτίζει το νομοθετικό πλαίσιο γεωλογικής έρευνας στα τεχνικά έργα. Σίγουρα οι επιστημονικές απαιτήσεις για ανάλυση των γεωλογικών παραμέτρων είναι ακόμη μεγαλύτερη, όμως το προεδρικό διάταγμα επαγγελματικής κατοχύρωσης πτυχιούχων γεωλόγων (ΦΕΚ 13/14-2-97), ο νέος οικιστικός νόμος (Ν. 2508/97, ΦΕΚ 124/Α/97) και η Υπ. Απόφ. Έγκρισης προδιαγραφών για την εκπόνηση μελετών γεωλογικής καταλληλότητας στις προς πολεοδόμηση περιοχές, περιγράφουν ένα πλαίσιο ανάγκης γεωλογικής παρέμβασης για ασφαλή κατασκευή τεχνικών έργων.

Η Γεωλογική Εταιρία, στα 50 χρόνια ζωής της, είναι πάντα ενεργά παρούσα στην επιστημονική ανάπτυξη της Γεωλογίας διοργανώνοντας Συνέδρια και Ημερίδες, αλλά και παρεμβαίνοντας προς την πολιτεία και την κοινωνία για να τεκμηριώσει επιστημονικά τις θέσεις των επαγγελματιών γεωλογικών φορέων.

Με αυτές τις λίγες σκέψεις θα ήθελα να συγχαρώ τους διοργανωτές της ημερίδας και να τους ευχηθώ να το οργανώσουν και το επόμενο έτος με την ίδια επιτυχία.

**ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΕΥΘΥΝΤΗ ΤΟΥ Ι.Γ.Μ.Ε.
(ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ)
ΔΡ ΝΙΚΟ ΑΡΒΑΝΙΤΙΔΗ**

Αρχικά ήθελα να ευχαριστήσω την οργανωτική επιτροπή για την πρόσκληση και να συγχαρώ για την πρωτοβουλία της να ασχοληθεί με ένα θέμα ιδιαίτερα σημαντικό για την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη της χώρας. Η επιτροπή Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας, Γεωχημείας της ΕΓΕ με τις επιστημονικές πρωτοβουλίες που αναλαμβάνει βρίσκεται πάντοτε στην αιχμή της επικαιρότητας. Τα αδρανή υλικά και οι δομικοί λίθοι αποτελούν το δυναμικότερο θεματικό αντικείμενο της οικονομικής γεωλογίας, με κυρίαρχο επενδυτικό και παραγωγικό ενδιαφέρον στους τομείς της κατασκευαστικής βιομηχανίας, με έμφαση στην οικοδομική δραστηριότητα και τη διευθέτηση και συντήρηση συγκοινωνιακών και άλλων τεχνικών έργων. Το 2000 η αξία της παγκόσμιας παραγωγής αδρανών υλικών και δομικών λίθων ξεπέρασε τα 100 δις ευρώ, ένα μέγεθος που αντιστοιχεί στα 10% της συνολικής αξίας διάθεσης Ορυκτών Πρώτων Υλών στον κόσμο, συμπεριλαμβανομένων του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και των στερεών καυσίμων. Την ίδια χρονιά η παγκόσμια κατανάλωση αδρανών υλικών και δομικών λίθων ανήλθε σε 22 δις τόνους, που αντιστοιχεί στο 70% της παγκόσμιας παραγωγής σε Ο.Π.Υ., συμπεριλαμβανομένων και των ενεργειακών πρώτων υλών. Με τα στοιχεία αυτά γίνεται φανερό η αξία και σημασία των υλικών που απασχολούν τη σημερινή ημερίδα στην αναπτυξιακή πορεία του πλανήτη και στις καθημερινές ανάγκες των πολιτών.

Σε ότι αφορά στο ΙΓΜΕ, τα αδρανή υλικά και οι δομικοί λίθοι βρίσκονται σε διαχρονική και διαρκή σχέση με το κοιτασματολογικό του έργο. Οι οικονομικοί γεωλόγοι του ΙΓΜΕ συμμετέχουν και υποστηρίζουν με τα επιστημονικά τους δεδομένα, τις νομαρχιακές επιτροπές χωροθέτησης λατομικών περιοχών και γνωμοδοτούν στις αρμόδιες υπηρεσίες του ΥΠ.ΑΝ. και των δέκα τριών Περιφερειών της χώρας. Στο πλαίσιο του Β' Κ.Π.Σ. έχουν συνταχθεί μελέτες για τα σκληρά αδρανή όλης της χώρας, σε ότι αφορά στην καταλληλότητά τους σαν αντιολισθηρά υλικά ή σκύρα σιδηροδρομικών γραμμών. Στην περιοχή μας έχει παραδοθεί αντίστοιχη μελέτη για λογαριασμό της Περιφέρειας Κ. Μακεδονίας, ενώ επίσης ολοκληρώθηκε μελέτη για τον εντοπισμό αντιολισθηρών πετρωμάτων κατά μήκος της Εγνατίας Οδού. Στο Γ' Κ.Π.Σ., που αφορά στην χρονική περίοδο 2003 – 2008, έχει εγκριθεί και ενταχθεί στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα», έργο με τίτλο «Ολοκληρωμένη διαχείριση διακοσμητικών πετρωμάτων, αδρανών υλικών και απορριμμάτων εκμεταλλεύσεων – Τεχνικές αξιοποίησης εγκαταλειμ-

μένων λατομείων». Στο έργο αυτό τα αδρανή υλικά και οι δομικοί λίθοι αποτελούν κυρίαρχο προγραμματικό στόχο, με έμφαση στα ποιοτικά και ποσοτικά τους χαρακτηριστικά στην κοιτασματολογική τους παρουσία και διάταξη στην χώρα και στις επιμέρους δυνατότητες εμπορικής αξιοποίησής τους σε διάφορες εφαρμογές.

Στο ίδιο πλαίσιο εντάσσεται και η επαναξιοποίηση απορριμμάτων από άλλες λατομικές δραστηριότητες, ένα θέμα που γίνεται πιο επιτακτικό μετά τις οδηγίες της Ε.Ε. για την εφαρμογή στρατηγικών βιώσιμης ανάπτυξης και στη μεταλλευτική βιομηχανία.

Η εξέλιξη αυτή αποτελεί σήμερα μια πραγματικότητα και θα πρέπει πολύ σύντομα να εξειδικευθούν οι δείκτες βιώσιμης ανάπτυξης, και στην περίπτωση εκμετάλλευσης αδρανών υλικών και δομικών λίθων. Το θέμα της σχέσης της βιώσιμης ανάπτυξης της μεταλλευτικής βιομηχανίας θα μπορούσε ίσως να συζητηθεί σε μια επόμενη ημερίδα.

Εύχομαι σε όλους τους εισηγητές καλή επιτυχία και ελπίζω η σημερινή εκδήλωση να καταγράψει και να αναδείξει το σημαντικό αναπτυξιακό ενδιαφέρον και ρόλο των αδρανών υλικών και των δομικών λίθων.

**ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΟΣΜΗΤΟΡΑ
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ Α.Π.Θ.
ΑΝΕΣΤΗ ΦΙΛΙΠΠΙΔΗ**

Κυρίες και κύριοι Σύνεδροι,

Τα αδρανή πετρώματα χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ πεδίο κατασκευαστικών εφαρμογών. Φυσική άμμος, χαλίκια και θραυσμένα τεμαχίδια πετρωμάτων είναι η βάση των δομικών στοιχείων του περιβάλλοντος στο οποίο ζει ο σημερινός άνθρωπος και έχει αναπτύξει την κοινωνία του.

Μέχρι σήμερα στη χώρα μας δεν έχουν παραχθεί αξιόλογες ποσότητες σκληρών αδρανών υλικών (γρανίτες, διορίτες, ανδειςίτες, βασάλτες, χαλαζίτες κ.ά.). Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στην ανάγκη παραγωγής σκληρών αδρανών υλικών ειδικών χρήσεων, όπως είναι για την προετοιμασία αντιολησθηρού ασφαλτοτάπητα, υποβάθρων για σιδηροδρομικές γραμμές κ.ά. Έτσι, σχεδόν όλα τα αδρανή υλικά στον ελληνικό χώρο είναι μαλακά, κυρίως ασβεστολιθικής προέλευσης (αλλά και κίσηρη, τόφφοι, ηφαιστειακή σποδός, σκωρίες κ.ά.) που ικανοποιούν μεν τις περισσότερες προδιαγραφές, υστερούν όμως στις αντοχές με αποτέλεσμα να φθείρονται γρήγορα.

Εκτός από τα φυσικά αδρανή υλικά υπάρχουν και τεχνητά που σχηματίζονται κατά την κατεργασία υλικών και πετρωμάτων για την εξαγωγή πρώτων υλών ή κατά την καύση ορυκτών πρώτων υλών. Τέτοια υλικά είναι κυρίως οι σκωρίες των ψυκαμίνων παραγωγής σιδήρου (οι οποίες είναι τριπλάσιες σε όγκο από το σίδηρο που παράγεται) και η ιπτάμενη τέφρα από την καύση των ορυκτών στερεών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στον Ελληνικό χώρο η μεγαλύτερη ποσότητα φυσικών αδρανών υλικών απορροφάται στον τομέα της κατασκευαστικής. Τεράστιες ποσότητες άμμου, χαλικιών και θραυσμένων ή επεξεργασμένων ασβεστολιθικών κυρίως πετρωμάτων σε μια μεγάλη ποικιλία διαβαθμίσεων ή διαστάσεων χρησιμοποιούνται στην οικοδομική, στα τεχνικά έργα, στην οδοποιία, στην παραγωγή υλικών με πουζολανικές ιδιότητες (π.χ. τσιμεντοβιομηχανία), στην παραγωγή ασβέστου, στις επενδύσεις κτιρίων και δημόσιων χώρων κ.ά.

Στην χώρα μας απαντούν κοιτάσματα αδρανών υλικών σε μεγάλη κλίμακα και παρουσιάζεται έντονη λατομική δραστηριότητα η οποία καλύπτει τις εγχώριες ανάγκες, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις εξάγονται σημαντικές ποσότητες αδρανών πετρωμάτων ειδικών χαρακτηριστικών (π.χ. βιομηχανία μαρμάρου). Σύμφωνα με στοιχεία της Ε.Σ.Υ.Ε. η ετήσια αξία παραγωγής λατομικών προϊό-

ντων (αδρανή υλικά, μπεντονίτης, καολίνης, περλίτης, κίσηρη και θηραϊκή γη) ξεπερνά τα 40 δις δραχμές, των μαρμάρων (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, σχιστόλιθοι) τα 20 δις δραχμές, ενώ σύμφωνα με τον Ε.Ο.Μ.Μ.Ε.Χ. η ετήσια αξία των εξαγωγών ακατέργαστων και κατεργασμένων μαρμάρων ξεπερνά και αυτή τα 20 δις δραχμές.

Η χώρα μας έχει πλουσιοπάροχα προικισθεί σε ορυκτές πρώτες ύλες. Το Ελληνικό υπέδαφος παρέχει τις δυνατότητες για πολλαπλασιασμό των πλουτοπαραγωγικών δεικτών της χώρας. Οι επιλογές των πολιτικών της χώρας μας στο τομέα του ορυκτού πλούτου είναι πεσιμιστικές και πρόχειρες. Αλλά και εμείς όμως, γεωλόγοι και μηχανικοί, έχουμε συμβάλει για τα κακώς κείμενα. Απαιτείται συνεργασία μεταξύ γεωλόγων και μηχανικών ή μεταξύ μηχανικών και γεωλόγων. Μαζί μπορούμε πολλά ακόμη να προσφέρουμε στην Εθνική Οικονομία και ανάπτυξη της χώρας, αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Εκ μέρους όλων των συναδέλφων, του προσωπικού και των φοιτητών της Σχολής Θετικών Επιστημών του Α.Π.Θ. επιτρέψτε μου να συγχαρώ του συναδέλφους της Οργανωτικής Επιτροπής και να ευχηθώ καλή επιτυχία στις εργασίες αυτής της σημαντικής ημερίδας.

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΗΜΕΡΙΔΑΣ
ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ,
ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ
ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ**

ΑΔΡΑΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ

Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
Αμφιθέατρο Α31, Παρασκευή 11 Απριλίου 2003

10:00-10:30	Έναρξη
10:30-10:50	A. Νικολαΐδης Έλεγχοι για καταλληλότητα αδρανών υλικών σε έργα οδοποιίας
10:50-11:10	A. Τσιραμπίδης Ελαφρά αδρανή και χαλαζιακή άμμος. Ιδιότητες – Παραγωγή – Είδη
11:10-11:30	Σ. Νταμπίζιας, Π. Χρυσοστομίδης, Φ. Ματζάρης, Ε. Καρατάσου Σκληρά αδρανή στον Ελληνικό χώρο. Πετρολογικοί τύποι και ορυκτολογικά - ιστολογικά χαρακτηριστικά
11:30-11:50	Συζήτηση
11:50-12:20	Διάλειμμα
12:20-12:40	I. Μάστορης, Γ. Δελαγραμμάτικας, Μ. Καρμής, Β. Μέλφος Αξιολόγηση πρώτων υλών για το σχεδιασμό μιγμάτων τροφο- δοσίας στη βιομηχανία τσιμέντου: μελέτες και εφαρμογές για ιζηματογενή κοιτάσματα
12:40-13:00	A. Κορωναίος, Σ. Παυλίδου Τα πυριγενή πετρώματα ως δομικά υλικά: χαρακτηριστικά και επεξεργασία
13:00-13:20	Γ. Τριανταφυλίδης Ορισμός αδρανών υλικών – Διαδικασία αδειοδότησης – Κρατούσα κατάσταση σε Μακεδονία και Θράκη
13:20-13:40	Συζήτηση

<p style="text-align: center;">ΗΜΕΡΙΔΑ «ΑΔΡΑΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ» Επιτροπή Οικονομική Γεωλογίας, Ορυκτολογίας, Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας</p>	<p style="text-align: center;">ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2003</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 11-22</p>
---	---	--

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΙΑ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΕΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

Α. Νικολαΐδης¹

Περίληψη

Τα αδρανή υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε έργα οδοποιίας, λόγω των πολλών πηγών προέλευσης πρέπει να ελέγχονται σε ότι αφορά τις φυσικές και μηχανικές τους ιδιότητες. Σε αντίθετη περίπτωση είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα επηρεασθεί η ποιότητα και οικονομία της κατασκευής.

Οι έλεγχοι των αδρανών υλικών μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κύριες ομάδες: α) τους περιγραφικούς ελέγχους, β) τους μη καταστροφικούς ποιοτικούς ελέγχους, γ) τους ελέγχους σκληρότητας και ανθεκτικότητας, δ) τους ελέγχους καθαρότητας και ε) τους ελέγχους πυκνότητας.

Στην παρούσα ανακοίνωση θα αναπτυχθούν εν συντομία όλοι οι έλεγχοι που επιβάλλονται να γίνονται τόσο στα αδρανή υλικά για οδοστρωσία όσο και για αυτά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ασφαλτικών μιγμάτων. Επίσης θα δοθούν, ανά περίπτωση, και τα αντίστοιχα επιτρεπτά όρια που τίθενται από τις Ελληνικές προδιαγραφές.

Abstract

The aggregate materials that are going to be used in road construction, due to the fact that they come from many sources, must be tested prior use regarding their physical and mechanical properties. Otherwise it is more than certain that the quality and the economy of the construction will be affected.

The tests of the aggregate materials can be classified in five major groups: a) the descriptive tests, b) the non-destructive tests, c) the hardness and durability tests, d) the cleanness tests and e) the density tests.

In this presentation all the necessary tests will be described in brief, in relation to the aggregate materials to be used in unbound and bituminous bound layers. Additionally, for each particular case, the permissible limits required by the Greek specifications will also be given.

1. Εργαστήριο Οδοποιίας, Τομέας Συγκοινωνιών και Οργάνωσης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη, e-mail: anik@hol.gr

Αδρανή υλικά οδοποιίας

Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των οδοστρωμάτων προέρχονται κυρίως από τη θραύση κατάλληλων πετρωμάτων ή από φυσικές αποθέσεις ποταμών, χειμάρρων, θαλάσσης ή ορυχείων με ή χωρίς θραύση. Τα αδρανή υλικά μπορεί να προέρχονται και από σκωρίες, ή από απορρίμματα ορυχείων, ή και από υλικά κατεδαφίσεων, εφ' όσον πληρούνται οι απαιτούμενες μηχανικές και φυσικές ιδιότητες. Επίσης, ως αδρανή υλικά χρησιμοποιούνται και τεχνητά αδρανή, ή κονιοροποιημένα υλικά παλαιών οδοστρωμάτων κατασκευασμένων από ασφαλτόμιγμα ή από σκυρόδεμα (υλικά ανακύκλωσης).

Τα θραυστά αδρανή πετρωμάτων παράγονται σε λατομεία από διάφορα πετρώματα με κατάλληλες μηχανικές και χημικές ιδιότητες. Τα πετρώματα κατατάσσονται σε τρεις γενικές κατηγορίες: τα πυριγενή, τα ιζηματογενή και τα μεταμορφωσιγενή.

Τα περισσότερα πυριγενή και ορισμένα μεταμορφωσιγενή πετρώματα είναι συνήθως πολύ σκληρά πετρώματα από τα οποία εξάγονται άριστης ποιότητας θραυστά αδρανή για όλες τις στρώσεις των οδοστρωμάτων και ιδιαίτερα για τη στρώση κυκλοφορίας.

Τα ιζηματογενή πετρώματα είναι “παλαιότερα” των πυριγενών πετρωμάτων. Από τα πλέον γνωστά ιζηματογενή πετρώματα είναι αυτά του ασβεστολίθου και του δολομίτου, από τα οποία εξάγονται θραυστά αδρανή κατώτερης των πυριγενών ποιότητας που όμως είναι αποδεκτά για πολλές χρήσεις στην οδοστρωσία.

Υλικά φυσικών αποθέσεων είναι τα γνωστά χαλίκια, τα αμμοχάλικα, ή η φυσική άμμος, που βρίσκονται σε ελαφρώς σταθεροποιημένη μορφή στις παλαιές κοιές ή όχθες χειμάρρων, στα υψίπεδα που δημιουργήθηκαν κατά τη μετά-παγετώνια (post-glacial) περίοδο, στις εκβολές ποταμών ή χειμάρρων ή σε παραλίες. Τα υλικά φυσικών αποθέσεων χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται ευρέως ως υλικά υποβάσεων και βάσεων. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και για την παραγωγή ασφαλτομιγμάτων αφού προηγουμένως απαλλαγούν (με προκοσκίνισμα και πλύση) από το χώμα ή την ιλύ που πιθανόν περιέχουν, και κατόπιν θραυστούν ώστε να αποκτήσουν την επιθυμητή κοκκομετρική διαβάθμιση.

Τα υλικά φυσικών αποθέσεων είναι “χαλαρά” γι’ αυτό εξορύσσονται με τη βοήθεια εκσκαφέα ή ισχυρού φορτωτή. Τα αδρανή υλικών φυσικών αποθέσεων είναι μίγμα διάφορων πετρωμάτων κυρίως ασβεστολιθικών, ψαμμιτικών και γρανιτικών. Λόγω αυτής ακριβώς της σύνθεσής τους τα θραυστά χαλίκια έχουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από αυτές των ασβεστολιθικών πετρωμάτων και θα πρέπει να προτιμούνται από τα ασβεστολιθικά για στρώση κυκλοφορίας, όταν βέβαια υπάρχει έλλειψη από άλλα σκληρότερα πετρώματα.

Σκωρίες (slags), είναι παραπροϊόντα που παράγονται κατά τη διαδικασία παραγωγής μετάλλων, όπως σιδήρου, νικελίου κλπ. Ο τύπος των σκωριών που παράγονται ποικίλλουν ως προς τη χημική σύσταση, το ειδικό βάρος και το πορώδες.

Η χρήση των σκωριών στην οδοποιία περιορίζεται συνήθως σε έργα που γίνονται κοντά στα εργοστάσια παραγωγής. Οι σκωρίες χρησιμοποιούνται κυρίως ως υποκατάστατο των αδρανών και σε ελάχιστες περιπτώσεις ως υποκατάστατο της παιπάλης (φίλλερ).

Απορρίμματα ορυχείων, είναι πετρώματα με μικρή περιεκτικότητα σε μέταλλευμα που απορρίπτονται κατά τη διαδικασία εμπλουτισμού.

Υλικά κατεδαφίσεως (μπάζα), χρησιμοποιούνται, όπως και τα απορρίμματα ορυχείων, σε στρώσεις υποβάσεων ή βάσεων, αφού γίνει κάποια προεπιλογή και θραύση.

Τεχνητά αδρανή, παράγονται κυρίως από τη διαπύρωση πετρωμάτων όπως βωξίτου, σχιστόλιθου κλπ. Ορισμένα, όπως ο πεφρυγμένος βωξίτης, χαρακτηρίζονται για την υψηλή σκληρότητά τους και χρησιμοποιούνται ως σκληρά αδρανή σε αντιολισθηρούς τάπητες. Άλλα τεχνητά αδρανή χαρακτηρίζονται από το μικρό ειδικό βάρος και χρησιμοποιούνται κυρίως στην παραγωγή ελαφρομπετόν.

Κονιορτοποιημένα υλικά παλαιών οδοστρωμάτων, προέρχονται από την ανακατασκευή παλαιών οδοστρωμάτων μετά από προεπιλογή και θραύση, χαρακτηρίζονται ως ανακυκλωμένα υλικά και χρησιμοποιούνται κυρίως σε υποβάσεις και βάσεις.

Έλεγχοι αδρανών υλικών

Οι έλεγχοι των αδρανών υλικών μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κύριες ομάδες:

- i) τους περιγραφικούς “ελέγχους”,
- ii) τους μη καταστροφικούς ποιοτικούς ελέγχους,
- iii) τους ελέγχους σκληρότητας και ανθεκτικότητας,
- iv) τους ελέγχους καθαρότητας και
- v) τους ελέγχους ειδικού βάρους ή πυκνότητας

Περιγραφικοί έλεγχοι

Οι περιγραφικοί έλεγχοι των αδρανών αφορούν την οπτική εξέταση για το χαρακτηρισμό του σχήματος και της επιφανειακής υφής των κόκκων. Έτσι πετυχαίνεται μια περιγραφική ταξινόμηση των αδρανών η οποία είναι πολύ χρήσιμη διότι δίνει πληροφορίες ως προς την εσωτερική τριβή που θα αναπτυχθεί μεταξύ των αδρανών στο μίγμα.

Το σχήμα του κόκκου επηρεάζει άμεσα τα κενά του ασφαλτομίγματος, η επιφανειακή υφή επηρεάζει άμεσα την περιεκτικότητα του μίγματος σε άσφαλτο ενώ και τα δύο μαζί επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες των ασφαλτομιγμάτων. Παραδείγματος χάριν, με γωνιώδη και τραχείας επιφάνειας αδρανή (θραυστά αδρανή) παράγονται ασφαλτομίγματα με μεγαλύτερη ευστάθεια και μέτρο δυσκαμψίας από ότι τα σφαιρικού σχήματος και λείας επιφάνειας αδρανή (φυσική άμμος και

χαλίγια).

Το σχήμα του κόκκου του αδρανούς υλικού μπορεί να είναι σφαιρικό, ακανόνιστο, πλακοειδές, γωνιώδες, επιμηκνυμένο ή πλακοειδές και επιμηκνυμένο. Η υφή του κόκκου του αδρανούς υλικού μπορεί να είναι υαλώδης, λεία, κοκκώδης, τραχεία, κρυσταλλική ή πορώδης (ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ 2002).

Μη καταστροφικοί ποιοτικοί έλεγχοι

Οι μη καταστροφικοί ποιοτικοί έλεγχοι είναι: α) η κοκκομετρική ανάλυση, β) οι έλεγχοι μορφής κόκκου και γ) ο έλεγχος απορρόφησης νερού.

α) Η κοκκομετρική ανάλυση αφορά τον καθορισμό της κατανομής των διαστάσεων των κόκκων των αδρανών. Αυτό πετυχαίνεται με το κοσκίνισμα και το διαχωρισμό των αδρανών ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων. Τελικός σκοπός της κοκκομετρικής ανάλυσης είναι ο καθορισμός της κοκκομετρικής καμπύλης των αδρανών. Για το κοσκίνισμα χρησιμοποιείται ένας αντιπροσωπευτικός αριθμός κοσκίνων που καθορίζεται από τις προδιαγραφές ανάλογα του που θα χρησιμοποιηθεί το αδρανές υλικό. Τα κόσκινα που χρησιμοποιούνται για κοκκομετρικές αναλύσεις έχουν οπές τετραγωνικού σχήματος και χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τα μήκη των ακμών των τετραγωνικών οπών.

Βασική προϋπόθεση για την ορθή εκτέλεση της δοκιμής της κοκκομετρικής ανάλυσης είναι η λήψη αντιπροσωπευτικής ποσότητας υλικού, η οποία είναι συνάρτηση της μέγιστης ονομαστικής διάστασης των αδρανών. Όσο πιο χονδρόκοκα είναι τα αδρανή τόσο μεγαλύτερες είναι οι απαιτούμενες ποσότητες δειγματοληψίας αδρανών. Από τις ποσότητες αυτές προκύπτει με τετραμερισμό ή με ειδικό δοχείο διαμερισμού η επαρκής ποσότητα για κοσκίνισμα. Οι ελάχιστες ποσότητες δειγματοληψίας καθώς και οι ελάχιστες ποσότητες για κοσκίνισμα καθορίζονται από προδιαγραφές. Η κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών υλικών γίνεται σύμφωνα με την προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 933-1.

β) Οι έλεγχοι καθορισμού της μορφής ή του σχήματος των κόκκων των αδρανών είναι οι έλεγχοι που καθορίζουν το Δείκτη πλακοειδούς (Flakiness Index), το Ποσοστό συνθλιμμένων και θραυσμένων επιφανειών, το Δείκτη σχήματος (Shape index) και το Δείκτη επιμήκνωσης (Elongation Index). Οι έλεγχοι αυτοί κατά κανόνα εκτελούνται σε θραυστά αδρανή δεδομένου ότι η μορφή των θραυστών αδρανών επηρεάζεται αποκλειστικά και μόνο από τον τρόπο θραύσης αυτών (αριθμός και είδος θραυστήρων, είδος και φύση του πετρώματος και μέγεθος του όγκου που ρίπτεται για θραύση).

Η πρώτη δοκιμή εκτελείται σύμφωνα με την προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 933-3 και ουσιαστικά καθορίζεται το μέσο ελάχιστο πάχος του συνόλου των αδρανών. Η δεύτερη δοκιμή εκτελείται σύμφωνα με την προδιαγραφή ΕΛΟΤ 933-5 και η τρίτη δοκιμή εκτελείται σύμφωνα με την προδιαγραφή EN 933-4. Η τέταρτη δοκιμή εκτελείται από ορισμένες χώρες, σύμφωνα με την προδιαγραφή BS 812, για τον

καθορισμό του μέσου μέγιστου μήκους του συνόλου των αδρανών.

γ) Ο έλεγχος απορρόφησης υγρασίας συνίσταται στον καθορισμό του ποσοστού του ύδατος που δύναται να απορροφηθεί από τα αδρανή και εκτελείται σύμφωνα με την προδιαγραφή EN 1097-6. Κατά κανόνα μέγιστη τιμή απορρόφησης υγρασίας αδρανών για ασφαλικές στρώσεις κυκλοφορίας είναι το 1,75% ή 2%.

Έλεγχοι σκληρότητας και ανθεκτικότητας

Οι έλεγχοι σκληρότητας και ανθεκτικότητας των αδρανών είναι καταστροφικοί ποιοτικοί έλεγχοι και απολύτως απαραίτητοι για τον έμμεσο καθορισμό της μηχανικής συμπεριφοράς αυτών κάτω από την καταστροφική επίδραση κυρίως της κυκλοφορίας με την πάροδο του χρόνου και της φθοράς που υφίστανται κατά τη συμπύκνωση.

Οι πλέον συνήθεις δοκιμές που εκτελούνται για τον καθορισμό της σκληρότητας και ανθεκτικότητας των αδρανών είναι:

- αντίστασης σε θρυμματισμό (τριβή και κρούση) κατά Los Angeles
- αντίστασης σε τριβή και κρούση κατά Micro-Deval
- αντίστασης σε στίλβωση (PSV)
- αντίστασης σε απότριψη (AAV)
- φθοράς σε κρούση
- ανθεκτικότητας σε αποσάθρωση (έλεγχος υγείας).

α) Η δοκιμή εκτελείται, σύμφωνα με την προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 1097-2. Κατά τη δοκιμή καθορίζεται η φθορά που επέρχεται στα διαβαθμισμένα αδρανή κάτω από την επίδραση δυνάμεων τριβής και κρούσης. Οι δυνάμεις αυτές αναπτύσσονται κατά την περιστροφή του μεταλλικού κάδου της συσκευής μέσα στον οποίο συνυπάρχουν τα προς έλεγχο αδρανή και ειδικές μεταλλικές σφαίρες.

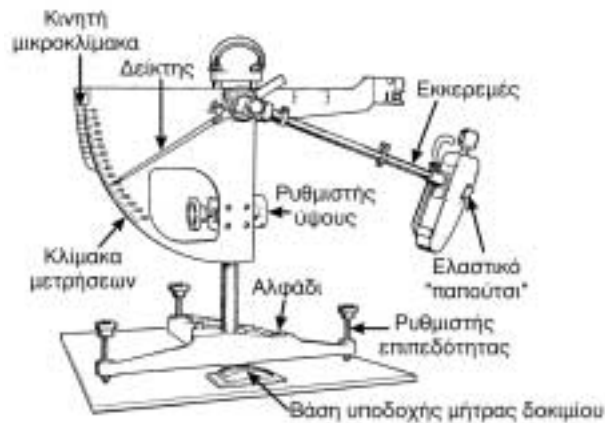
β) Η δοκιμή Micro-Deval, αναπτύχθηκε στη Γαλλία από το μηχανικό Deval και είναι παρόμοια με τον έλεγχο ανθεκτικότητας κατά Los Angeles. Η δοκιμή εκτελείται σε μονόκοκκα αδρανή συγκεκριμένου μεγέθους 14/10, ή 10/6 ή 6/4 mm. Η ποσότητα των αδρανών που χρησιμοποιείται είναι και στη δοκιμή αυτή 5000 gr, πλην όμως ο κάδος είναι μικρότερος της συσκευής Los Angeles. Οι βασικές διαφορές με τη δοκιμή Los Angeles είναι ότι: i) ο κάδος περιστρέφεται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, 5 ώρες έναντι 16 περίπου λεπτών κατά τη δοκιμή Los Angeles και ii) στο μεταλλικό κάδο εκτός των μεταλλικών σφαιρών προστίθεται συνήθως και συγκεκριμένη ποσότητα ύδατος. Κατά τη δοκιμή αυτή τα αδρανή υλικά υποβάλλονται σε μεγαλύτερη καταπόνηση από αυτή που επέρχεται κατά τη δοκιμή Los Angeles.

γ) Με τη δοκιμή αντίστασης αδρανών σε στίλβωση (ή λείανση) καθορίζεται η συμπεριφορά των αδρανών υλικών στη λειαντική δράση των ελαστικών των οχη-

μάτων. Η δοκιμή αποτελείται από δύο μέρη: στο πρώτο μέρος οι κόκκοι των αδρανών υφίστανται μια επιταχυνόμενη στίλβωση (λείανση), βλέπε Σχήμα 1.1, και στο δεύτερο μέρος το μέγεθος της στίλβωσης μετράται με κατάλληλη συσκευή μέτρησης ολισθηρότητας (το Βρετανικό εκκρεμές-British Pendulum), βλέπε Σχήμα 1.2. Η μέτρηση που λαμβάνεται, μετά από αναγωγή αυτής, ονομάζεται Δείκτης



Σχήμα 1.1 Συσκευή στίλβωσης



Σχήμα 1.2 Συσκευή αντίστασης σε ολίσθηση

αντίστασης σε στίλβωση (PSV). Η δοκιμή εκτελείται σύμφωνα με την προδιαγραφή EN 1098.

Ο καθορισμός του δείκτη PSV κρίνεται απολύτως αναγκαίος για την εξακρίβωση της καταλληλότητας των αδρανών για επιφανειακές στρώσεις οδοστρωμάτων ή ασφαλικές επαλείψεις. Αδρανή θεωρούνται σκληρά και κατάλληλα για τις παραπάνω εργασίες όταν ο δείκτης στίλβωσης PSV είναι μεγαλύτερος ή ίσος των τιμών που ορίζονται από τις προδιαγραφές. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι τιμές αυτές συσχετίζονται με τον κυκλοφοριακό φόρτο και με την επικινδυνότητα της οδού.

δ) Με τη δοκιμή αντίστασης σε απότριψη καθορίζεται η συμπεριφορά των αδρανών σε απότριψη κάτω από την επίδραση των ελαστικών των οχημάτων. Η δοκιμή εκτελείται σε μονόκοκκα/χονδρόκοκκα αδρανή και σύμφωνα με την προδιαγραφή EN 1098.

ε) Με τον έλεγχο των αδρανών σε κρούση μετράται η αντίστασή τους σε κρουστικά φορτία. Ο έλεγχος εκτελείται σε μονόκοκκα / χονδρόκοκκα αδρανή και σύμφωνα με τη προδιαγραφή ΕΛΟΤ 1097-2.

στ) Η δοκιμή ανθεκτικότητας σε αποσάθρωση, ή αλλιώς έλεγχος υγείας του πετρώματος των αδρανών, καθορίζει την ανθεκτικότητά τους σε αποσάθρωση λόγω των εναλλασσόμενων καιρικών επιδράσεων και κυρίως της ψύξης και της θέρμανσης. Με την εναλλαγή των εποχιακών θερμοκρασιών ουσιαστικά επέρχεται μεταβολή του όγκου των αδρανών υλικών και στην περίπτωση κατά την οποία τα αδρανή δεν είναι ανθεκτικά (υγιή) επέρχεται θρυμματισμός τους με καταστρεπτικά αποτελέσματα για το οδόστρωμα (απώλεια φέρουσας ικανότητας, ρηγμάτωση, οπές και αποσάθρωση).

Η προσομοίωση της μεταβολής του όγκου των αδρανών γίνεται με την κρυσταλλοποίηση αλάτων θεικού μαγνησίου κατά τη φάση της ξήρανσης των κορεσμένων αδρανών, μετά από εμβάπτιση αυτών σε διάλυμα θεικού μαγνησίου για συγκεκριμένο αριθμό ωρών. Η δοκιμή εκτελείται σύμφωνα με την προδιαγραφή EN 1367-2.

Έλεγχοι καθαρότητας

Οι έλεγχοι καθαρότητας των αδρανών εκτελούνται για τον καθορισμό ή την εξακρίβωση ύπαρξης, πολύ λεπτόκοκκου υλικού που διέρχεται από το κόσκινο 75 μm. Το υλικό αυτό χαρακτηρίζεται γενικώς παιπάλη, και συνίσταται από κόκκους διαστάσεων ιλύος και αργίλου. Η παρουσία του υλικού αυτού επηρεάζει άμεσα τη συμπεριφορά του ασφαλομίγματος και ορισμένες φορές είναι η αιτία αποφλοιώσης της ασφάλτου από τα αδρανή, ή ακόμη και αιτία διόγκωσης των ασφαλικών στρώσεων. Η ύπαρξη δε μεγάλης ποσότητας αργίλου είναι η αιτία διόγκωσης και των στρώσεων άνευ συνδετικού υλικού.

Οι συνήθεις δοκιμές που εκτελούνται στα αδρανή για τον καθορισμό της κα-

θαρότητας αυτών είναι:

- δοκιμή καθορισμού ποσότητας παιπάλης (φίλλερ)
- δοκιμή καθορισμού ισοδυνάμου άμμου
- δοκιμή καθορισμού δείκτη πλαστικότητας
- δοκιμή “μπλε” του μεθυλενίου.

α) Ο ακριβής καθορισμός της ποσότητας της παιπάλης (φίλλερ) είναι ουσιαστικής σημασίας διότι η ύπαρξή της ή μη επηρεάζει άμεσα τη συμπεριφορά τόσο του ασφαλτομίγματος όσο και του μίγματος των αδρανών υλικών στις ασύνδετες στρώσεις. Σε γενικές γραμμές, η περίσσεια παιπάλης είναι περισσότερο επιβλαβής από ότι η έλλειψη αυτής, που συνήθως είναι σπάνιο φαινόμενο.

Ειδικότερα, υψηλή περιεκτικότητα παιπάλης στα αδρανή, συμβάλλει: 1) στην αύξηση του ποσοστού της ασφάλτου για την παραγωγή του ασφαλτομίγματος και του νερού για τη βέλτιστη συμπίκνωση των στρώσεων με ασύνδετα αδρανή (βάση/υπόβαση), 2) στη μείωση της εργασιμότητας του μίγματος, 3) στην επιδείνωση της επικαλυπτικότητα των αδρανών με άσφαλτο, 4) στη μείωση της ελαστικότητας και στην αύξηση της ευθραυστότητας του ασφαλτομίγματος και 5) είναι η αιτία “σβολιάσματος” του μίγματος των αδρανών, που έχει ως επακόλουθο την παραγωγή ασφαλτομίγματος με ακάλυπτους από άσφαλτο κόκκους, ιδιαίτερα στα ψυχρά ασφαλτομίγματα.

Ο καθορισμός του ποσοστού της παιπάλης στα αδρανή ή στο μίγμα αυτών είναι απλούστατος και γίνεται με την πλήση των αδρανών υλικών, όπως περιγράφεται στην προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 933-1.

β) Η δοκιμή Ισοδυνάμου της άμμου εκτελείται με σκοπό το γρήγορο καθορισμό της σχετικής αναλογίας της λεπτότατης σκόνης, αργιλώδους μορφής, στα αδρανή που προορίζονται για υποβάσεις, βάσεις και ασφαλτομίγματα, καθώς και στα φυσικά εδάφη (κυρίως στα χαλικομιγή εδάφη ή αμμώδη εδάφη). Η ύπαρξη χαμηλού ποσοστού ισοδυνάμου άμμου χαρακτηρίζει τα υλικά ως μη “καθαρά” και είναι μια ένδειξη ότι πιθανότατα στα λεπτόκοκκα κλάσματα των αδρανών του μίγματος περιέχεται επιβλαβής ποσότητα πολύ λεπτών κόκκων διαστάσεων αργίλου. Σε αυτές τις περιπτώσεις επιβάλλεται και η εκτέλεση της δοκιμής καθορισμού της πλαστικότητας, και σε ορισμένες περιπτώσεις, η εκτέλεση της δοκιμής Μπλε του μεθυλενίου. Η δοκιμή Ισοδυνάμου άμμου εκτελείται σύμφωνα με την προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 933-8.

γ) Η δοκιμή καθορισμός του Δείκτη πλαστικότητας εκτελείται για να εξακριβωθεί εάν το μίγμα των αδρανών υλικών έχει πλαστικότητα, και ως εκ τούτου, ανάλογα με την τιμή που λαμβάνεται, πιθανότητα διόγκωσης αυτών υπό την επίδραση ύδατος και παγετού. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η δοκιμή καθορισμού του δείκτη πλαστικότητας εκτελείται ευρέως στα φυσικά εδάφη με σκοπό τον καθορισμό τόσο της κατάταξης αυτών σε ομάδες, όσο και της καταλληλότητας των εδα-

φών ως υπέδαφος (στρώση) έδρασης του οδοστρώματος. Η δοκιμή πλαστικότητας εκτελείται σύμφωνα με την προδιαγραφή του Ε 105-86/6 του ΥΠΕΧΩΔΕ.

δ) Η δοκιμή “μπλε” του μεθυλενίου χρησιμοποιείται για την επακριβή εξακριβωση της παρουσίας αργιλικών ορυκτών στα αδρανή. Τα αργιλικά ορυκτά είναι υδροφιλα και έχουν την τάση να διογκώνονται ανάλογα με την δομή τους. Η διόγκωση αυτή έχει καταστροφικές συνέπειες τόσο στο ασφαλτόμυγμα όσο και στις ασύνδετες στρώσεις του οδοστρώματος. Η δοκιμή αυτή έρχεται να συμπληρώσει τις δοκιμές ισοδυνάμου άμμου και ορίων Atterberg, διότι με αυτές καθορίζεται η ύπαρξη, μόνο, κόκκων διαστάσεων αργίλου και όχι η παρουσία ενεργών αργιλικών ορυκτών.

Η δοκιμή βασίζεται στην αρχή της προσρόφησης επί της ενεργής επιφάνειας των αργιλικών ορυκτών των μορίων του μπλε του μεθυλενίου. Κατά τη δοκιμή μετράται η ποσότητα του μπλε που χρειάζεται για τη μοριακή επικάλυψη όλων των αργιλικών συστατικών των αδρανών. Ανάλογη με την ειδική επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών (μοντιμοριλλονίτης, ιλλίτης, καολινίτης κ.λπ.) είναι και η ποσότητα του μπλε που προσροφάται. Η δοκιμή εκτελείται σύμφωνα με την προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 933-9.

Έλεγχοι ειδικού βάρους ή πυκνότητας

Ο καθορισμός του ειδικού βάρους των αδρανών είναι ουσιαστικής σημασίας στους υπολογισμούς σύνθεσης του μίγματος των αδρανών, καθώς και στους υπολογισμούς καθορισμού των κενών του μίγματος των αδρανών ή του ασφαλτομίγματος καθώς και άλλων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων αυτών.

Ως ειδικό βάρος αδρανών καθορίζεται η αναλογία του βάρους αυτών προς τον αντίστοιχο όγκο τους. Εάν στη θέση του βάρους ληφθεί η μάζα των αδρανών, τότε λαμβάνεται η πυκνότητα των αδρανών. Σε αντίθεση με το βάρος ή τη μάζα των αδρανών που λαμβάνει μία και μόνο τιμή, ο όγκος αυτών μπορεί να λάβει διαφορετικές τιμές, ανάλογα με το πορώδες των αδρανών. Έτσι διακρίνεται το απόλυτο ειδικό βάρος (ή πυκνότητα), το σχετικό ειδικό βάρος (ή πυκνότητα) και το φαινόμενο ειδικό βάρος (ή πυκνότητα).

Ο προσδιορισμός της πυκνότητας για χονδροκόκκα (>2 mm), λεπτόκοκκα (2 mm έως 0,063 mm) αδρανή και παιπάλη (<0,063 mm) γίνεται σύμφωνα με την προδιαγραφή EN 1097-6.

Ιδιότητες αδρανών υλικών έργων οδοποιίας

Η καταλληλότητα των αδρανών υλικών για έργα οδοποιίας καθορίζεται από τις τιμές που λαμβάνονται στους περισσότερους από τους προαναφερθέντες ελέγχους (δοκιμές).

Οι οριακές τιμές που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα για τους συγκεκριμένους ελέγχους δίνονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 1. Σημειώνεται ότι στον Πίνακα 1

δίνονται οι τιμές που προτείνονται από τις ισχύουσες Ελληνικές προδιαγραφές του 1966, οι νέα τιμές των προδιαγραφών που πρόκειται να αναθεωρηθούν, οι τιμές των προδιαγραφών της Εγνατίας Οδού Α.Ε. (ΕΟΑΕ) και οι τιμές μετά από αναθεώρηση της ΕΟΑΕ.

Πίνακας 1. Οριακές τιμές καταλληλότητας αδρανών υλικών για έργα οδοστρωσία και ασφαλικά μίγματα

Ιδιότητες αδρανών	Αδρανή βάσης/υπόβασης	Αδρανή υλικά ασφαλτομιγμάτων	Αδρανή ασφ/των επιφαν/κών στρώσεων
Los Angeles	50%/50% (<40%/ <50%)	40 (30 ή 40)	30%[24] έως 24%[20] {25% ή 20%}
PSV	—	—	45%[44] έως 65%[62] {45 έως 63}
AAV	—	—	14%[10] έως 8%[4] {12% και 10%}
Δείκτης πλαστικότητας	3/4 ή 5 (3/4 ή 6)	NP —	— —
Όριο Υδατότητας	25%	—	—
Ισοδύναμο άμμου	50% / 40% (40)	55% (55%)	55% {60%}
Μπλε μεθυλενίου	— (MBF 10 & MB 3)	— (MBF 10)	— {MBF 10}
Υγεία, με νάτριο (με μαγνήσιο)	12% (18%)	9% (18%)	— {18%}
Δείκτης Πλακοειδούς	— (35%)	— (25%)	{30%} {25%}

() Νέες τιμές προδιαγραφών που πρόκειται να αναθεωρηθούν

{ } Τιμές προδιαγραφών ΕΟΑΕ

[] Τιμές μετά από αναθεώρηση ΕΟΑΕ

Επίλογος

Η ποιοτική κατασκευή ενός έργου οδοποιίας εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα των αδρανών υλικών που χρησιμοποιούνται και το συνεχή εργαστηριακό έλεγχο κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Οι ισχύουσες σχετικές προδιαγραφές εργασιών οδοστρωσίας ΠΤΠ Ο 150 και

Ο 155 καθώς και των ασφαλιστικών εργασιών ΠΤΠ Α 260 και Α 265 χρειάζονται άμεση αναθεώρηση.

Οι ομάδες εργασίας αναθεώρησης των προδιαγραφών για υλικά Οδοστρώσας και για Ασφαλτικά μίγματα έχουν ολοκληρώσει τις εργασίες τους και έχουν υποβάλει τα τελικά κείμενα στον ΙΟΚ προς σχολιασμό από τους αρμόδιους φορείς.

Εκκρεμεί η αναθεώρηση για αδρανή υλικά ασφαλτομιγμάτων επιφανειακών στρώσεων. Η ομάδα εργασίας αναμένει την έγκριση έναρξης των εργασιών.

Βιβλιογραφία

- ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Α. (2002). Οδοποιία: Οδοστρώματα-Υλικά-Έλεγχος ποιότητας, Α. Νικολαΐδης, Θεσσαλονίκη
- ΕΛΟΤ EN 933-1 (1998). Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών –Μέρος 1: Προσδιορισμός του διαγράμματος της κοκκομετρίας - Μέθοδος με κόσκινο.
- ΕΛΟΤ EN 933-3 (1997). Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών- Μέρος 3: Προσδιορισμός της μορφής των κόκκων-Δείκτης πλακοειδούς
- ΕΛΟΤ EN 933-4 (2000). Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών–Μέρος 4: Προσδιορισμός της μορφής κόκκων-Δείκτης μορφής
- ΕΛΟΤ EN 933-5 (1999). Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών–Μέρος 5: Προσδιορισμός του ποσοστού % των συνθλιμμένων και θραυσμένων επιφανειών σε χονδρόκοκκα αδρανή
- EN 1097-8, Annex A (1999). Tests for mechanical and physical properties of aggregates-Part 8: Determination of polished stone value
- ΕΛΟΤ EN 1097-6. Δοκιμές για τον καθορισμό των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των αδρανών-Μέρος 6: Προσδιορισμός πυκνότητας κόκκων και απορρόφηση ύδατος
- ΕΛΟΤ EN 1097-2. Δοκιμές για τον καθορισμό των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των αδρανών-Μέρος 2: Μέθοδοι προσδιορισμού της αντίστασης σε θρυμματισμό
- EN 1097-1 (1996). Δοκιμές για τον καθορισμό των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των αδρανών-Μέρος 1: Προσδιορισμός της αντίστασης σε φθορά (micro-Deval)
- EN 1097-8 (1999). Tests for mechanical and physical properties of aggregates-Part 8: Determination of polished stone value
- EN 1367-2 (2000). Δοκιμές για θερμικές ιδιότητες και ιδιότητες αποσάθρωσης αδρανών, Μέρος 2: Δοκιμή με θειικό μαγνήσιο
- ΕΛΟΤ EN 933-8 (2000). Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών- Μέρος 8: Αξιολόγηση λεπτόκοκκου κλάσματος (παιπάλης)-Δοκιμή ισοδυνάμου άμμου
- E 105-86/6 του ΥΠΕΧΩΔΕ (1986). Μέθοδος προσδιορισμού του ορίου πλαστικότητας και του δείκτη πλαστικότητας.
- ΕΛΟΤ EN 933-9 (1999). Δοκιμές για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών ιδιοτήτων

των αδρανών- Μέρος 9: Ποιοτική αξιολόγηση λεπτόκοκκου κλάσματος-Δοζιμή
μπλε του μεθυλενίου

ΤΣΥ της ΕΑΟΕ (2000). Αδρανή υλικά για επιφανειακές στρώσεις

A 100 (2003). Προτεινόμενη αναθεώρηση των προδιαγραφών ΠΤΠ Ο 150 και Ο 155

A 200 (2003). Προτεινόμενη αναθεώρηση των προδιαγραφών ΠΤΠ Α 260 και Α 265

<p style="text-align: center;">ΗΜΕΡΙΔΑ «ΑΔΡΑΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ» Επιτροπή Οικονομική Γεωλογίας, Ορυκτολογίας, Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας</p>	<p style="text-align: center;">ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2003</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 23-47</p>
---	---	--

ΕΛΑΦΡΑ ΑΔΡΑΝΗ ΚΑΙ ΧΑΛΑΖΙΑΚΗ ΑΜΜΟΣ: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ – ΠΑΡΑΓΩΓΗ – ΕΙΔΗ

Α. Τοιραμπίδης*

Περίληψη

Τα ελαφρά αδρανή ταξινομούνται σε τέσσερις ομάδες: α. Φυσικά ελαφρά αδρανή. Παρασκευάζονται με θραύση και κοκκομετρική διαβάθμιση φυσικών πετρωμάτων όπως κίσηρης, σκωρίας, ηφαιστειακής τέφρας κ.ά. β. Επεξεργασμένα δομικά ελαφρά αδρανή. Παρασκευάζονται με πυροεπεξεργασία σχιστοπηλού, αργίλου ή αργιλικού σχιστόλιθου σε περιστρεφόμενους κλιβάνους ή μηχανές τεφροποίησης. γ. Επεξεργασμένα μονωτικά υπέρ-ελαφρά αδρανή. Παρασκευάζονται με πυροεπεξεργασία βερμικουλίτη, περλίτη και διατομίτη. δ. Παραπροϊόντα ως ελαφρά αδρανή. Παρασκευάζονται με θραύση και κοκκομετρική διαβάθμιση αφρώδους ή κοκκώδους σκωρίας υψικαμίνων και ιπτάμενης τέφρας.

Εκτός του μπεντονίτη του οποίου περίπου το 40% της συνολικής παραγωγής κατεργάζεται και ενεργοποιείται, κανένα άλλο ελαφρό αδρανές δεν ενεργοποιείται με οποιοδήποτε τρόπο στη χώρα μας. Σήμερα στην Ελλάδα δεν πραγματοποιείται παρασκευή ελαφρών αδρανών υψηλών προδιαγραφών σε βιομηχανική κλίμακα. Η ακαθάριστη αξία παραγωγής ανθρακικών σκύρων και άμμου σήμερα στην Ελλάδα ξεπερνά τα 200.000.000 €, με μέση επίσημη αύξηση τα τελευταία χρόνια 8%. Αντίστοιχα, η ακαθάριστη αξία παραγωγής άλλων ελαφρών αδρανών παρουσιάζεται σταθερή, επηρεαζόμενη κυρίως από τη ζήτηση της ελληνικής αγοράς. Οι κύριες πηγές προέλευσης της χαλαζιακής άμμου είναι τα πλούσια σε χαλαζία πυριγενή ή μεταμορφωμένα πετρώματα. Ακολουθούν σε αναλογία οι ψαμμίτες και οι κερατόλιθοι με τις διάφορες ποικιλίες τους.

Abstract

The lightweight aggregates are classified into four groups: a. Natural lightweight aggregates. They are prepared by crushing and sizing of natural rocks such as pumice, scoria, tuff etc. b. Processed structural lightweight aggregates. They are prepared by pyroprocessing of shale, clay or slate in rotary kilns or on sintering machines. c. Processed insulating ultra lightweight aggregates. They are prepared by pyroprocessing of vermiculite, perlite and diatomite. d. By product lightweight aggregates. They are prepared by crushing and sizing of foamed or

* Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., ΤΚ 541 24 Θεσσαλονίκη, e-mail: ananias@geo.auth.gr

granulated slag and fly ash.

Except the 40% of the total production of bentonite which is processed and activated, none other lightweight aggregate is being activated by any way in our country. Today in Greece, production of high quality lightweight aggregates does not take place in industrial scale. In addition, until today hard aggregates (i.e. from igneous or metamorphic rocks) have not produced, because of the processing cost and the limited demand. Thus, all the aggregate materials are of carbonate origin, which satisfy most of the outlines, but they fall short in the abrasion resistance and the production of non-slippery road courses. Today in Greece the gross production value of carbonate gravel and sand exceeds 200,000,000 €, with mean annual increase during the last years 8%. Correspondingly, the gross production value of other lightweight aggregates is constant, mainly influenced by the demand of the Greek market. The main origin sources of quartz sand are the rich in quartz igneous and metamorphic rocks. Sandstones and cherts with their different varieties follow. The quartz sand is used as filler, polishing or filtration material, as well as in various constructions. In addition, it is high fireproof (melting point 1,470° C) and is used as foundry sand.

Εισαγωγή

Ως αδρανή χαρακτηρίζονται τα φυσικά υλικά (π.χ. σκύρα, άμμοι, όστρακα, κίσηρη, σκωρία, ηφαιστειακή τέφρα, θρυμματισμένα πετρώματα κ.ά.) ή τα επεξεργασμένα (π.χ. σχιστοπηλοί, άργιλοι, αργιλικόι σχιστόλιθοι, βερμικουλίτες, περλίτες, διατομίτες κ.ά.) ή συνδυασμοί αυτών που χρησιμοποιούνται σε μίγματα ποικίλων κοκκομετρικών διαβαθμίσεων με ένα συγκολλητικό ή βιτουμενιούχο υλικό για παρασκευή σκυροδεμάτων, κονιαμάτων, προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων κ.λπ. Τα παραπάνω αδρανή υλικά προσφέρουν όγκο και υψηλότερη αντοχή στα τελικά κατασκευαστικά προϊόντα. Ονομάστηκαν αδρανή, γιατί δεν αντιδρούν χημικά με τις διάφορες συγκολλητικές ύλες. Τα φυσικά αδρανή μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν αντούσια σε οδικά ή σιδηροδρομικά υποστρώματα, σε τοίχους αντιστήριξης πρανών, σε φράγματα, σε κατασκευές αναβαθμίδων ποταμών, σε λιμενικές κατασκευές, για προστασία ακτών, σε στέγες κτιρίων, σε ταφικά μνημεία, ως ευτηκτικά σε βιομηχανικές επεξεργασίες, ως φίλτρα διήθησης ή καθαρισμού π.χ. νερών κ.ά.

Οι απαραίτητες συνθήκες για να αναπτυχθεί μια απόθεση πετρώματος για παραγωγή θραυστών υλικών είναι:

- α) Να παρουσιάζει υψηλές φυσικομηχανικές αντοχές.
- β) Να βρίσκεται σε σημαντική ποσότητα για διάρκεια εκμετάλλευσης τουλάχιστο 10 χρόνων και κατά προτίμηση περισσότερο από 20 χρόνια.
- γ) Η εξασφάλιση αγοράς για διάθεση της παραγωγής.
- δ) Το κόστος μεταφοράς να είναι ανταγωνιστικό, άρα η απόσταση μικρή από κάποιο αστικό κέντρο.
- ε) Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από την εξόρυξη, κατεργασία και μεταφορά πρέπει να είναι μέσα σε αποδεκτά όρια.
- στ) Η εξόρυξη, κατεργασία και μεταφορά του θραυστού υλικού να επιτρέπεται από τις αρμόδιες κρατικές αρχές και να είναι σύμφωνη με την ισχύουσα νομοθεσία.

Τα αδρανή διακρίνονται σε:

- α) Φυσικά ή επεξεργασμένα ελαφρά αδρανή με υψηλή σκληρότητα και φαινόμενο ειδικό βάρος μικρότερο από 2.500 kg/m^3 .
- β) Φυσικά ή τεχνητά θρυμματισμένα αδρανή με μέση έως υψηλή σκληρότητα και φαινόμενο ειδικό βάρος μεγαλύτερο από 2.500 kg/m^3 .

Σύμφωνα με τις Βρετανικές ή Γερμανικές προδιαγραφές και ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους τα φυσικά ή τεχνητά θρυμματισμένα αδρανή διακρίνονται σε: παιπάλη ($<0,075 \text{ mm}$), λεπτόκοκκα αδρανή ($0,075 - 5,00 \text{ mm}$) και αδρόκοκκα αδρανή ($>5,00 \text{ mm}$). Ο όρος χάλικες αφορά πετρώματα που έχουν θρυμματιστεί φυσικά, ενώ οι όροι σκύρα, σύντριμμα και γαρμπίλι αφορούν αδρανή που έχουν δημιουργηθεί από τεχνητή θραύση.

Πολύ σημαντικός είναι ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής τους σύνθεσης, αλλά και της πυκνότητάς τους. Η ποιότητα των διάφορων κονιαμάτων εξαρτάται κυρίως από την πυκνότητα αυτών των αδρανών. Η μέγιστη πυκνότητα πετυχαίνεται, όταν περιλαμβάνονται όλα τα κοκκομετρικά μεγέθη, από τα λεπτότερα μέχρι τα αδρομερέστερα, ώστε να καταλαμβάνουν όλα τα κενά που υπάρχουν στο ρευστό κονίαμα. Η κοκκομετρία προσδιορίζεται με μια σειρά πρότυπων κόσκινων και αφού το αρχικό υλικό ξεραθεί στους 110° C , ώστε να αφαιρεθεί όλη η υγρασία του.

Τα ποικίλα ελαφρά αδρανή υλικά μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις ομάδες:

- α) Φυσικά ελαφρά αδρανή. Παρασκευάζονται με θραύση και κοκκομετρική διαβάθμιση φυσικών πετρωμάτων όπως κίσηρης, σκωρίας, ηφαιστειακής τέφρας κ.ά.
- β) Επεξεργασμένα δομικά ελαφρά αδρανή. Παρασκευάζονται με πυροεπεξεργασία σχιστοπηλού, αργίλου ή αργιλικού σχιστόλιθου σε περιστρεφόμενους κλιβάνους ή μηχανές τεφροποίησης.
- γ) Επεξεργασμένα μονωτικά υπέρ-ελαφρά αδρανή. Παρασκευάζονται με πυροεπεξεργασία βερμικουλίτη, περλίτη και διατομίτη.
- δ) Παραπροϊόντα ως ελαφρά αδρανή. Παρασκευάζονται με θραύση και κοκκομετρική διαβάθμιση αφρώδους ή κοκκώδους σκωρίας υψικαμίνων και ιπτάμενης τέφρας.

Τα ελαφρά αδρανή, φυσικά ή επεξεργασμένα, παρουσιάζουν σχετικά μεγάλο εύρος τιμών του φαινόμενου ειδικού βάρους τους που όμως πάντα είναι χαμηλότερο από το αντίστοιχο των βαριών αδρανών (Πίν. 1).

Τα αδρανή για παρασκευή τοιμέντου αποτελούνται από φυσικά ή επεξεργασμένα αδρανή χαμηλής πυκνότητας όπως κίσηρη, σκωρία, ηφαιστειακή τέφρα, διατομίτης, σχιστοπηλός, άργιλος, βερμικουλίτης και τελικά προϊόντα καύσης ανθράκων (MASON 1989).

Τα ελαφρά αδρανή διακρίνονται από άλλα αδρανή υλικά από το μικρότερο

φαινόμενο ειδικό βάρος τους σε σχέση με θραυστό ανθρακικό πέτρωμα, άμμο, σκύρα και άλλα αδρανή πυριγενούς προέλευσης (π.χ. γρανίτες, ανδεσίτες, ρυόλιθοι, βασάλτες, περιδοτίτες κ.ά.) που έχουν βάρος μεγαλύτερο από 2.500 kg/m³ (Πίν. 1). Ο βερμικουλίτης και ο περλίτης μερικές φορές αναφέρονται ως υπέρ-ελαφρά αδρανή.

Τα χαμηλής πυκνότητας ελαφρά αδρανή χρησιμοποιούνται πρωταρχικά για μονωτικούς σκοπούς. Αυτά παρουσιάζουν σχετικά χαμηλή αντοχή στη θλίψη. Τα μέσης πυκνότητας ελαφρά αδρανή χρησιμοποιούνται για μόνωση και πλήρωση. Τα υψηλής πυκνότητας ελαφρά αδρανή παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή στη θλίψη και χρησιμοποιούνται σε πολλές κατασκευαστικές εφαρμογές.

Πίνακας 1. Φαινόμενο ειδικό βάρος ελαφρών και βαριών αδρανών υλικών.

Ελαφρό αδρανές	Φαιν. ειδ. Βάρος kg/m ³	Βαρύ αδρανές	Φαιν. ειδ. βάρος kg/m ³
Βερμικουλίτης ¹	60-190	Ανθρακικά	2.600-2.850
Περλίτης ¹	80-180	Άμμος	2.600-2.800
Κίσηρη	400-480	Σκύρα	2.600-2.800
Σκωρία	400-480	Βωξίτες	2.650-2.850
Ιπτάμενη τέφρα	550-850	Γρανίτες	2.550-2.750
Σχιστοπηλός ²	1.200-1.840	Ηφαισίτες	2.500-2.700
Άργιλος ²	1.200-1.840	Περιδοτίτες	2.600-2.800
Αργιλ. Σχιστόλιθος ²	1.200-1.840	Σχιστόλιθοι	2.820-2.900
Σχιστοπηλός ³	1.440-1.920	Σερπεντινίτες	2.680-2.780
Άργιλος ³	1.440-1.920	Χαλαζίτες	2.600-2.700
Διατομίτης	2.000-2.300		
Γύψος	2.300-2.400		
Σκωρία υψικαμίνων	2.160-2.400		

¹ πυροεπεξεργασμένος, ² πυροεπεξεργασμένος σε περιστρεφόμενο κλίβανο, ³ πυροεπεξεργασμένος σε μηχανή τροφοποίησης

Ιδιότητες

Οι κύριες φυσικές ιδιότητες που είναι ουσιώδεις για την παραγωγή θραυστού πετρώματος είναι η αντοχή, το πορώδες με το μέγεθος των πόρων και η σταθερότητα του όγκου των κενών, όταν υποβάλλεται σε ποικίλες συνθήκες διύγρωσης ή ψύξης ή τήξης. Επίσης, σημαντική θεωρείται η τάση να θραύεται σε ίσου μεγέθους περίπου κυβικού σχήματος τεμαχίδια.

Οι χημικές ιδιότητες ενός φυσικού πετρώματος θεωρούνται σημαντικές στον προσδιορισμό της ποιότητας μιας απόθεσής του για παραγωγή θραυστού υλικού. Μερικά φυσικά πετρώματα περιέχουν ορυκτά που είναι χημικά δραστικά στο τσιμέντο, στο βιτουμενιούχο σκυρόδεμα κ.ά. Επίσης, θραυστό πέτρωμα με μεγάλο

περιεχόμενο σε SiO_2 με τη μορφή φυσικού γυαλιού, χαλκηδόνιου, οπάλιου, κερατόλιθου ή λεπτοκρυσταλλικού χαλαζία, μπορεί να είναι δραστικό σε αλκαλιούχο τσιμέντο. Τα σουλφίδια (κυρίως σιδηροπυρίτης, μαρκασίτης και πυροτίτης) αντιδρούν με οξυγόνο και νερό και σχηματίζουν υδροξείδια του Fe και θειικά άλατα, άρα η παρουσία τους είναι ανεπιθύμητη στο θραυστό πέτρωμα.

Τα περισσότερα φυσικά πετρώματα καταστρέφονται σε ποικίλο βαθμό στο αποσαθρωτικό περιβάλλον. Οι άστριοι εξαλλοιώνονται σε αργιλικά ορυκτά, τα φεμικά ορυκτά σε οξείδια του Fe και άλλα δευτερογενή ορυκτά, ο ασβεσίτης και ο δολομίτης διαλύονται και τα σουλφίδια οξειδώνονται. Σχεδόν όλες αυτές οι αλλαγές μειώνουν τις αντοχές των πετρωμάτων και τείνουν να τα καταστήσουν λιγότερο ιδανικά για παραγωγή θραυστού υλικού.

Οι προδιαγραφές χρήσης ενός θραυστού πετρώματος για κατασκευαστικές εφαρμογές περιλαμβάνουν δοκιμές αντοχής στην τριβή, υγείας, κοκκομετρικής διαβάθμισης, ελέγχου παρουσίας δηλητηριωδών υλικών (π.χ. οργανική ύλη, άνθρακας, σχιστοπηλός, άργιλος, κερατόλιθος κ.ά.), χρώματος, προσδιορισμού ποσοστού λεπτομερών ($<75 \mu\text{m}$), ειδικού βάρους, υδαταπορρόφησης και σχήματος κόκκων, καθώς και δοκιμές παραγωγής σκυροδέματος και αντοχής στην ολισθηρότητα.

Πρακτικά, κάθε φυσικό χαμηλού βάρους υλικό με επιθυμητά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ελαφρό αδρανές.

Οι κύριες επιθυμητές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται ως ελαφρά αδρανή ποικίλουν ανάλογα με την τελική χρήση, συνήθως όμως περιλαμβάνουν:

- α) Μικρό βάρος. Διευκολύνει το φυσικό χειρισμό των δομικών υλικών. Όταν χρησιμοποιούνται ελαφρά αδρανή για την παραγωγή σκυροδέματος, αυξάνει η παραγωγικότητα στην κατασκευή.
- β) Θερμική και ακουστική μόνωση. Είναι το αποτέλεσμα των κενών ή πόρων στα ελαφρά αδρανή υλικά.
- γ) Αντοχή στη φωτιά. Περιορισμένη πιθανότητα φυσικής διάσπασης σε θερμοκρασίες κάτω του σημείου τήξης του αδρανούς.
- δ) Σκληρότητα. Ελάχιστη τάση ραγίσματος ή θραύσης, όταν ελαφρό αδρανές καρφώνεται ή πιέζεται σε κατασκευαστικές εφαρμογές.

Άλλες ιδιότητες που συνήθως θεωρούνται επιθυμητές είναι:

- Χαμηλή υδαταπορρόφηση.
- Υψηλή αντοχή στη θλίψη και στην ψύξη.
- Χαμηλή συρρίκνωση σε ξήρανση και χαμηλή θερμική διαστολή.
- Καλή σύμφυση με το τσιμέντο.
- Χημική αδράνεια.
- Καλές ελαστικές ιδιότητες.
- Υψηλή αντοχή στην τριβή.

Τα αδρανή για έργα οδοποιίας πρέπει:

- α) Να αποτελούνται από γωνιώδη και χαμηλού βαθμού ταξινόμησης θραύσματα (πολλοί πληθυσμοί θραυσμάτων ή τεμαχιδίων). Το <math><75\ \mu\text{m}</math> κλάσμα (παιπάλη) πρέπει να αφαιρείται.
- β) Να παρουσιάζουν υψηλές αντοχές στην κυκλοφορία των οχημάτων.
- γ) Να παρουσιάζουν υψηλές αντοχές σε ακραίες καιρικές συνθήκες (π.χ. παγετός).
- δ) Να παρουσιάζουν υψηλές φυσικομηχανικές αντοχές.

Οι αντοχές ποικίλλουν ανάλογα με την τελική χρήση του προϊόντος στο οποίο συμμετέχει το αδρανές υλικό. Προδιαγραφές για ποικίλα ελαφρά ή βαριά αδρανή υλικά κατά χρήση καθορίζονται από διάφορα διεθνή πρότυπα: Αμερικανικό (ASTM), Γερμανικό (DIN), Ιταλικό (UNI), Βρετανικό (BS), Διεθνές (ISO) και στην Ελλάδα από τις αντίστοιχες προδιαγραφές του τέως Υπουργείου Δημοσίων Έργων (ΦΕΚ 70/8.2.85) ή τον ΕΛΟΤ.

Παραγωγή

Σημαντικό ρόλο για την εγκατάσταση ενός λατομείου αδρανών παίζει η απόσταση του κυρίως από ένα μεγάλο αστικό κέντρο. Αν η απόσταση είναι μεγάλη το κόστος μεταφοράς επιβαρύνει την τιμή τους.

Ενώ η παρουσία της ακατέργαστης ύλης είναι σημαντική, οι περισσότερες μονάδες επεξεργασίας ελαφρών αδρανών απαιτούν να βρίσκονται κοντά σε μονάδες παρασκευής σκυροδεμάτων και ασφαλτικών για να είναι οικονομικά βιώσιμες. Οι πιθανοί παραγωγοί επεξεργασμένων αδρανών σχιστοπηλού, αργίλου και αργιλικού σχιστόλιθου πριν την επιλογή εγκατάστασης της μονάδας τους πρέπει να πραγματοποιήσουν ουσιαστικές δοκιμές του ακατέργαστου υλικού, μελέτες γεωλογικές και εξόρυξης και έρευνες αγοράς.

Μετά την εξόρυξη των αδρανών υλικών πολύ σημαντική θεωρείται η βελτίωσή τους. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι επεξεργασίας τους είναι: θραύση, κονιοποίηση, κοσκίνιση, λειοτριβήση, ξήρανση, χημική επεξεργασία, φρύξη κ.ά.

Οι τέφρες από την καύση των ανθράκων αποτελούν μικρό μέρος της αγοράς. Αποτελούν το στερεό υπόλειμμα που παραμένει μετά την καύση τους. Η καταπίπτουσα τέφρα περιλαμβάνει όλα τα στερεά υλικά που περνούν μέσα από τον κλίβανο άκαυστα. Σήμερα, στις περισσότερες διεργασίες κατανάλωσης άνθρακα χρησιμοποιείται κονιοποιημένος άνθρακας οπότε παράγεται ιπτάμενη τέφρα. Η παραγωγή της συνεχίζει να αυξάνει όσο αυξάνει η χρήση του κονιοποιημένου άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ελαφρών αδρανών από ιπτάμενη τέφρα κάποτε προβλήθηκε έντονα. Σήμερα όμως ελάχιστες ποσότητες χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό, επειδή δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως η ειδική τεχνολογία. Σε μια προσπάθεια να ελαττωθεί ο όγκος της ιπτάμενης τέ-

φρας που αποθέεται σε αστικές ή αγροτικές περιοχές πολλές χώρες υποχρεώνουν τις δημόσιες επιχειρήσεις τους να εξετάσουν τις εναλλακτικές χρήσεις της ιπτάμενης τέφρας που παράγουν οι μονάδες τους.

Προϊόντα όπως κίσηρη και σκωρία μπορεί να χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ποσότητες σε μερικές περιοχές, ενώ σε άλλες μπορεί να μην είναι διαθέσιμα σε ανταγωνιστικές τιμές. Αποθέσεις περλίτη και βερμικουλίτη είναι περιορισμένες κατά περιοχή, αλλά εξυπηρετούν εθνικές οικονομίες, εξαιτίας των υψηλών τιμών αγοράς τους, αλλά και επειδή μεταφέρονται πριν από την πυροεπεξεργασία τους.

Τα φυσικά ελαφρά αδρανή όπως η κίσηρη, η σκωρία και η ηφαιστειακή τέφρα, εξορύσσονται σε ανοιχτά ορυχεία με λατομικές μεθόδους που εξαρτώνται από το βαθμό συνεκτικότητας αυτών. Οι δαπάνες εξόρυξης είναι όμοιες με εκείνες της άμμου και των σκύρων. Οι τιμές πώλησης της κίσηρης είναι περίπου τετραπλάσιες εκείνων της άμμου ή των σκύρων (\$ 11 – 26/ton) (MASON 1994).

Οι τιμές για την παραγωγή βιομηχανικών ελαφρών αδρανών συσχετίζονται με το ενεργειακό κόστος, καθώς και με το κόστος μεταφοράς. Επίσης, με το κόστος των πυρίμαχων υλικών που απαιτούνται για την πυροεπεξεργασία των φυσικών υλικών. Τα τελικά προϊόντα της βιομηχανίας ελαφρών αδρανών στοχεύουν στην κατασκευή κτιρίων με χαμηλότερες ενεργειακές δαπάνες. Το γεγονός αυτό σημαίνει πως η αναγκαιότητα της διατήρησης των ενεργειακών πηγών θα συνεχίσει να αυξάνει τη ζήτηση για ελαφρά αδρανή και για φθηνότερες κατασκευές.

Παράγοντες που επηρεάζουν τον ανταγωνισμό στην αγορά θραυστών πετρωμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Εκτός του μπεντονίτη του οποίου περίπου το 40% της συνολικής παραγωγής στη χώρα μας κατεργάζεται και ενεργοποιείται, κανένα άλλο ελαφρό αδρανές δεν ενεργοποιείται με οποιοδήποτε τρόπο. Επομένως, σήμερα στην Ελλάδα δεν πραγματοποιείται παρασκευή ελαφρών αδρανών υψηλών προδιαγραφών σε βιομηχανική κλίμακα.

Επίσης, μέχρι σήμερα στη χώρα μας δεν έχουν παραχθεί σκληρά αδρανή, π.χ. από πυριγενή (πλουτωνικά ή ηφαιστειακά) ή μεταμορφωμένα πετρώματα, εξαιτίας του κόστους επεξεργασίας, αλλά και της περιορισμένης ζήτησης. Έτσι, σχεδόν όλα τα αδρανή υλικά είναι ανθρακικής προέλευσης που ικανοποιούν τις περισσότερες προδιαγραφές, αλλά υστερούν στη φθορά από τριβή και στη δυνατότητα κατασκευής αντιολισθηρών οδοστρωμάτων.

Η ακαθάριστη αξία παραγωγής ανθρακικών σκύρων και άμμου σήμερα στην Ελλάδα ξεπερνά τα 200.000.000 €, με μέση ετήσια αύξηση τα τελευταία χρόνια 8%. Αντίστοιχα, η ακαθάριστη αξία παραγωγής άλλων ελαφρών αδρανών παρουσιάζεται σταθερή, επηρεαζόμενη κυρίως από τη ζήτηση της ελληνικής αγοράς. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται η παραγωγή των κυριότερων ελαφρών αδρανών της Ελλάδος της περιόδου 1995-2000.

Πίνακας 2. Παράγοντες προαγωγής ή αναχαίτισης του ανταγωνισμού στην αγορά θραυστών πετρωμάτων (HERRICK 1994).

Παράγοντες προαγωγής ανταγωνισμού	
1.	Σύγχρονη τεχνολογία και σωστή διαχείριση
2.	Αμεροληψία στις δανειοδοτήσεις
3.	Διάθεση συμπληρωματικών θέσεων λατομίας θραυστών πετρωμάτων
4.	Διαρκής ζήτηση
5.	Δαπάνες και κέρδη εύκολα υπολογιζόμενα
6.	Καταναλωτικές εταιρίες συχνά με μεγαλύτερη οικονομική δύναμη από τον παραγωγό
7.	Διάθεση φθηνότερων υποκατάστατων
8.	Απρόσκοπτη δυνατότητα μεταφοράς
9.	Εύκολα μεταφερόμενες φορητές μονάδες εξόρυξης και επεξεργασίας
10.	Δημιουργία νέων αγορών
Παράγοντες αναχαίτισης ανταγωνισμού	
1.	Απουσία διαθέσιμων θέσεων λατομείων α) Απουσία γεωλογικών αποθεμάτων β) Εξάντληση αποθεμάτων γ) Πόλεις, οικισμοί και άλλες κατασκευές πάνω σε τέτοια αποθέματα δ) Νομοθετικές απαγορεύσεις
2.	Αυστηρές προδιαγραφές υλικού
3.	Κυριότητα λατομείου από πολλούς ιδιοκτήτες
4.	Μόνιμοι παλαιοί παραγωγοί
5.	Απαγορευτικοί κανόνες εργασίας, διαχείρισης ή νομοθεσίας
6.	Ανεπαρκής ικανότητα μεταφοράς
7.	Σταθερή αγορά

Πίνακας 3. Παραγωγή (χιλ. τόνοι) των κυριότερων ελαφρών αδρανών της Ελλάδος.

Αδρανές υλικό	Αρ. λατ. 6	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Γύψος	5	730	760	640	730	690	700
Ποξολάνη	7*	710	760	680	830	940	940
Καολίνη ¹	24**	70	60	50	40	50	40
Κίσηρη ²	7*	1.320	1.300	1.290	1.360	1.330	1.280
Μπεντονίτη ¹	24**	1.060	1.020	1.100	1.150	1.050	1.150
Μπεντονίτη ³		700	660	730	730	780	890
Περλίτη ⁴	9	530	520	440	660	780	820
Περλίτη ⁵		350	380	290	510	440	560

¹ ακατέργαστος, ² σε χιλ. m³, ³ κατεργασμένος και ενεργοποιημένος, ⁴ ακοσκίνιστος, ⁵ κοσκινισμένος, ⁶ αριθμός λατομείων, *μαζί με κίσηρη, **μαζί με μπεντονίτη.

Είδη

Βερμικουλίτης (*vermiculite*)

Είναι λευκός μέχρι καστανός και προέρχεται από εξαλλοίωση μαρμαρυγιών και χλωριτών. Είναι ένυδρο φυλλοπυριτικό ορυκτό με μεγάλη ποικιλία στη χημική του σύσταση. Συνήθως βρίσκεται ενδοστρωματωμένος με άλλα φυλλοπυριτικά ορυκτά (π.χ. μαρμαρυγίας/βερμικουλίτης, μικτή φάση που είναι γνωστή ως υδροβιοτίτης, χλωρίτης/βερμικουλίτης, μικτή φάση γνωστή ως κορρενσίτης κ.λπ.). Βρίσκεται κυρίως σε βασικά πυριγενή πετρώματα, αλλά και σε ποικίλα ποσά στα περισσότερα εδάφη των εύκρατων και υποτροπικών κλιμάτων.

Διαχωρίζεται εύκολα σε λεπτά εύκαμπτα φυλλάκια. Σε γρήγορη πύρωση στους 870 έως 1.100°C αποφυλλώνεται με αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου του από 12 έως 20 φορές και τη μείωση της πυκνότητάς του από 640-960 kg/m³ σε 56-192 kg/m³ (HARBEN 1992). Ο πυροεπεξεργασμένος βερμικουλίτης μοιάζει με τον αντίστοιχο περλίτη παρουσιάζοντας θερμοκή και ακουστική μόνωση, αντοχή στη φωτιά, χημική ουδετερότητα και όλες τις επιθυμητές ιδιότητες ελαφρού αδρανούς για ποικίλες εφαρμογές. Οι ποιοτικές απαιτήσεις για χρήση του ως αδρανούς στην παρασκευή σκυροδέματος προβλέπονται στη δοκιμή ASTM C332.

Περλίτης (*perlite*)

Υαλώδες τεφρού χρώματος ηφαιστειακό πέτρωμα με σύσταση: 70-75% SiO₂, 12-18% Al₂O₃, 4-6% K₂O και 2-5% νερό. Όταν οι κόκκοι του υποβληθούν σε γρήγορη πύρωση στους 760 έως 1.100°C αυξάνουν τον όγκο τους από 10 έως 20 φορές και μειώνεται η πυκνότητά τους από 1.160 kg/m³ σε 80-180 kg/m³ (HARBEN 1992). Ο πυροεπεξεργασμένος περλίτης μοιάζει με τον αντίστοιχο του βερμικουλίτη. Ο περλίτης είναι χημικά ουδέτερος, άκαυστος, δεν περιέχει οργανικές ουσίες, δεν προσβάλλεται από την υγρασία και τους μύκητες και πρακτικά έχει απεριόριστη διάρκεια ζωής. Χρησιμοποιείται ως θερμο- και ηχομονωτικό υλικό, ως βελτιωτικό του εδάφους, καθώς και στις βιομηχανίες χημικών προϊόντων, ψυγείων, εντομοκτόνων, λιπασμάτων κ.ά. Είναι συνηθισμένο αδρανές συστατικό του σκυροδέματος, του τσιμέντου και ορισμένων κονιαμάτων. Στην αγορά προσφέρεται με το εμπορικό όνομα Perlomin.

Στην Ελλάδα εξορύσσεται στα νησιά Μήλο και Γυαλί. Βρίσκεται επίσης στα νησιά Λέσβο, Κω και Αντίπαρο.

Κίσηση (ελαφρόπετρα) (*pumice*)

Ανοιχτόχρωμο υαλώδες ηφαιστειακό πέτρωμα με σκωριώδη υφή και φαινόμενο ειδικό βάρος 400-480 kg/m³. Αποτελείται από 70-75% SiO₂, 12-14% Al₂O₃, 1-2% Fe₂O₃ και αλάλα. Θεωρείται πολύ σημαντικό υλικό ως ελαφρό αδρανές, καθώς και ως αποξεστικό, μονωτικό ή διηθητικό υλικό. Επίσης, χρησιμοποιείται για την κατασκευή τεχνητών λίθων. Οι προδιαγραφές για χρήση της στην παρασκευή τσι-

μέντου περιγράφονται στη δοκιμή ASTM C330. Στην Ελλάδα βρίσκεται στα νησιά Θήρα, Μήλο και Γυαλί.

Σκωρία (scoria)

Ερυθρόχρωμο υαλώδες ηφαιστειακό πέτρωμα με σκωριώδη υφή. Έχει την ίδια σύσταση και τις ίδιες εφαρμογές με την κίσηρη.

Ποζολάνη (pozzolan)

Ποζολάνες ονομάζονται ηφαιστειακά υλικά πλούσια σε SiO_2 και φτωχά σε Ca. Χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στα τσιμέντα σε ποσοστά 10 έως 20%. Η ετήσια παραγωγή ποζολάνης στη Μήλο είναι κατά μέσο όρο 900.000 τόνοι

Τόφφοι (tuffs)

Έχουν μέγεθος κόκκων <3 mm και μεγάλο πορώδες. Ειδικότερα, η **ηφαιστειακή τέφρα (volcanic ash)** έχει μέγεθος κόκκων 3-0,06 mm και η **ηφαιστειακή σκόνη (volcanic dust)** $<0,06$ mm.

Το υλικό των τοφφιών μπορεί να είναι θραυσματογενές, κρυσταλλικό ή υαλώδες. Οι τοφφίτες συνήθως περιέχουν μικρά ποσά μη ηφαιστειακών υλικών, οπότε ονομάζονται αμμώδεις, ιλυώδεις ή αργιλωδείς τοφφίτες, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους. Αντίθετα, όταν το ποσό του τοφφικού υλικού είναι μικρότερο των άλλων κλαστικών υλικών, τότε τα πετρώματα αυτά ονομάζονται τοφφικοί ψαμμίτες ή τοφφικοί ιλύες ή τοφφικοί άργιλοι. Από την εξαλλοίωση των τοφφιών σχηματίζεται το αργιλικό πέτρωμα μπεντονίτης που αποτελείται κυρίως από το ορυκτό σμεκτίτης. Οι τοφφίτες συνοδεύονται συνήθως από γραουβάκες και πολλές φορές περιέχουν ζεόλιθους.

Η **θηραϊκή γη** είναι ένας χαλαρός τοφφίτης, που καλύπτει σχεδόν όλη την επιφάνεια του νησιού Θήρας, καθώς και των γειτονικών της μικρών νησιών. Αποτελείται κυρίως από άμορφο SiO_2 (περίπου 65%) και διάφορα οξειδία μετάλλων. Στο παρελθόν χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην οικοδομική (ως ποζολάνη), εξαιτίας των άριστων υδραυλικών ιδιοτήτων της.

Ιπτάμενη τέφρα (flying ash)

Το φαινόμενο ειδικό βάρος της είναι 550 (πλούσια σε CaO) έως 850 (πλούσια σε άλλα οξειδία) kg/m^3 . Η ιπτάμενη τέφρα των λιγνιτικών πεδίων Πτολεμαΐδος αποτελείται κυρίως από ασβεσίτη, χαλαζία, ανυδρίτη και πορτλανδίτη με ποσοστά το καθένα $>10\%$ στο σύνολο της κοκκομετρίας. Άλλες ορυκτές φάσεις που περιέχονται με μικρότερα ποσοστά είναι: γκελενίτης, ακερμανίτης, ατρουρίτης, ετρινίτης, γύψος κ.ά. Το CaO ως παραπροϊόν επικρατεί στα κλάσματα μεγέθους <250 μm (FILIPPIDIS & GEORGAKOPOULOS 1992). Η μέση ετήσια παραγωγή ιπτάμενης τέφρας από όλους τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της χώρας είναι 10-12 εκατομμ. τόνοι. Μόλις το 5% αυτής της παραγωγής χρησιμοποιείται στην παρασκευή τσιμέντων στη χώρα μας.

Σχιστοπηλοί (shales)

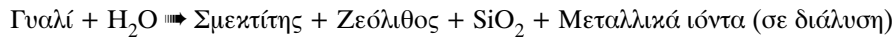
Ως πηλόλιθους χαρακτηρίζουμε τα κλαστικά ιζήματα που το μέγεθος των συστατικών τους είναι $<1/16$ mm. Οι πηλόλιθοι είναι τα πιο διαδομένα ιζηματογενή πετρώματα. Είναι κυρίως θαλάσσιας προέλευσης. Βρίσκονται σε μεγάλες αποθέσεις σε γεωσύγκλινα και τεκτονικές λεκάνες, καθώς και σε λιμνοθάλασσες, σε υποθαλάσσια κώνυον και σε παραποτάμους μεγάλων ποταμών. Χαρακτηρίζονται από την παρουσία λεπτών στρωμάτων διαφορετικής λιθολογικής σύστασης και υψηλής ή χαμηλής πυκνότητας. Οι πηλόλιθοι αποτελούν παγίδες συγκέντρωσης του υπεδάφιου νερού, των υγρών και αέριων υδρογονανθράκων όπως πετρελαίου και φυσικού αερίου, καθώς και άλλων μεταλλοφόρων διαλυμάτων. Μαζί με τις αργίλους χρησιμοποιούνται ευρύτατα σήμερα για την παραγωγή ποικίλων προϊόντων όπως απορροφητικών και λευκαντικών υλικών, κεραμικών προϊόντων (π.χ. κεραμίδια, πλίνθοι, αγγεία, πορσελάνες, πυρίμαχα κ.ά.), χρωμάτων κ.λπ.

Οι σχιστοπηλοί είναι αποσκληρυμένοι πηλόλιθοι με εμφανή σχιστότητα και ποσοστό κόκκων μεγέθους αργίλου 33-65%. Βρίσκονται πάντα με μορφή φυλλώδη (πάχος φύλλων <10 mm) και η σχιστότητά τους είναι σχεδόν παράλληλη με τη φύλλωσή τους. Αποτελούνται κυρίως από κλαστικό χαλαζία και αμιγή ή ενδοστρωματωμένα αργιλικά ορυκτά με τα προϊόντα εξαλλοίωσής τους. Άλλα ορυκτά συστατικά τους είναι: άστριοι, οξειδία σιδήρου, ασβεστίτης κ.ά. Το ποσοστό οργανικής ύλης στους σχιστοπηλούς κυμαίνεται από 0 έως 40% με μέση τιμή 1,1%. Μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανική ύλη δίνει σκούρο μέχρι μαύρο χρώμα σε αυτούς. Επιπλέον, το χρώμα τους μπορεί να είναι ερυθρό, καστανό, μαύρο, τεφρό, πράσινο ή κυανό. Τα απολιθώματα αποτελούν ιδιαίτερο γνώρισμα των περισσότερων σχιστοπηλών. Οι σχιστοπηλοί έχουν σχιστώδη θραυσμό και είναι γενικά μαλακά πετρώματα, αλλά αρκετά αποσκληρυμένα, ώστε να μη σπάζουν μετά από διάβρεξη.

Άργιλοι (clays)

Ως αργίλους χαρακτηρίζουμε τα λεπτομερέστερα κλαστικά ιζήματα που το μέγεθος των κόκκων τους είναι $<1/256$ mm. Χαρακτηρίζονται από μεγάλη πλαστικότητα και μεγάλη περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά. Επίσης, περιέχουν μικρά ποσά λεπτόκοκκου χαλαζία, αστρίων, ανθρακικών ορυκτών, οξειδίων του σιδήρου, οργανικής ύλης κ.λπ. Όταν ανακατωθούν με νερό σχηματίζουν μια κολλώδη, πλαστική, αποτυπώσιμη και αδιαπέρατη μάζα. Οι άργιλοι διατηρούν το σχήμα τους μετά από διάβρεξη και ξήρανση και στερεοποιούνται και σκληραίνουν μετά από υψηλή θέρμανση ή πύρωση. Ταξινομούνται με βάση την προέλευση, την ορυκτολογική σύσταση και το χρώμα τους. Οι ποσότητες των μη αργιλικών και αργιλικών ορυκτών στα διάφορα κλαστικά ιζήματα ποικίλλουν ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων, συνήθως όμως είναι περίπου ίδιες από δείγμα σε δείγμα με το ίδιο μέγεθος κόκκων.

Ο μπεντονίτης (bentonite) είναι μαλακό, πλαστικό και πορώδες πέτρωμα που αποτελείται κυρίως από σμεκτίτη και κολλοειδές SiO_2 . Σχηματίζεται κατά την εξαλλοίωση ηφαιστειακών υλικών. Το χρώμα του ποικίλλει από λευκό μέχρι ανοικτοπράσινο ή ανοικτοκύανο, όταν είναι νεαρής ηλικίας, γίνεται όμως ανοικτοκίτρινο στην ατμοσφαιρική έκθεση και βαθμιαία ερυθρό ή καστανό. Είναι λιπαρός ή σαπυνοειδής και έχει μεγάλη ικανότητα απορρόφησης σημαντικών ποσοτήτων νερού με παράλληλη αύξηση του όγκου του μέχρι οκτώ φορές. Η εξαλλοίωση του ηφαιστειακού υλικού σε σμεκτίτη θεωρείται υδρολυτική αντίδραση και γενικά συμβαίνει ως εξής:



Σήμερα, ο όρος μπεντονίτης χρησιμοποιείται με ευρύτερη έννοια στο εμπόριο, όπου αναφέρεται σε διάφορες αργιλικές αποθέσεις ποικίλου χρώματος που περιέχουν κυρίως σμεκτίτη και παρουσιάζουν πολύ μεγάλη επιφανειακή έκταση, εξαιτίας του ελάχιστου μεγέθους των κόκκων τους. Χαρακτηρίζονται από την ικανότητα να διογκώνονται στο νερό ή να λιώνουν και να ενεργοποιούνται από διάφορα οξέα. Χρησιμοποιούνται κυρίως στην αύξηση του ιξώδους των πετρελαιοφόρων πηλόλιθων κατά τις γεωτρήσεις σε συγκεντρώσεις περίπου 50 kg/1 m^3 νερού.

Ο καολίνης (kaolin) είναι μια λευκή, μαλακή και πλαστική άργιλος που αποτελείται από φυλλώδεις λεπτοκρυστάλλους καολινίτη. Οι καολίνες ποικίλλουν ως προς το βαθμό κρυσταλλικής τελειότητας των κρυστάλλων του καολινίτη, γεγονός που επηρεάζει τη λαμπρότητα, τη λευκότητα, την αδιαφάνεια, τη σπιντότητα και το ιξώδες, αλλά και ως προς το σχήμα των τεμαχιδίων γεγονός που επηρεάζει την ομαλότητα στην αφή, τις οπτικές ιδιότητες και τη ρεολογία. Ο καολίνης είναι ένα σχετικά φτηνό πληρωτικό υλικό που είναι ουδέτερο σε ευρύ πεδίο τιμών pH, μη λειαντικό, με λεπτομερές αλλά ελεγχόμενο μέγεθος κόκκων, με χαμηλή θερμοκή και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Ο πυροεπεξεργασμένος καολίνης παρουσιάζει λαμπρότητα 93-95% και χαμηλό ειδικό βάρος. Χρησιμοποιείται στη χαρτοβιομηχανία. Οι ποιοτικές απαιτήσεις του καολίνη είναι:

- α) Πληρωτικό υλικό: >90% καολινίτης, <2% χαλαζίας, <1% ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$), >80% λαμπρότητα.
- β) Επικαλυπτικό υλικό: >90% καολινίτης, Μ 0 χαλαζίας, 0,5-1,8% Fe_2O_3 , 0,4-1,6% TiO_2 και >85% λαμπρότητα.
- γ) Κεραμικό υλικό: 75-85% καολινίτης, <0,9% Fe_2O_3 και >85% λαμπρότητα.
- δ) Πυρίμαχο υλικό: οι πυρίμαχοι καολίνες πρέπει να αντέχουν σε θερμοκρασίες έως 1.500°C και να περιέχουν 35-45% Al_2O_3 και 45-55% SiO_2 . Είναι επιθυμητή μικρή περιεκτικότητα σε αλκάλια και Fe.

Η αγγειοπλαστική άργιλος (ball clay) είναι λεπτόκοκκη, πολύ πλαστική και μερικές φορές πυρίμαχη. Έχει πυρίμαχα χρώματα που ποικίλλουν από ανοικτό κί-

τρινο έως τεφρό. Τα συστατικά της είναι κυρίως καολινίτης και μικρά ποσοστά χαλαζία, μαρμαρυγία, ιλλίτη, σμεκτίτη, χλωρίτη και κολλοειδούς οργανικής ύλης. Παρουσιάζει υψηλή αντοχή τόσο σε υγρή όσο και σε ξηρή κατάσταση, ευρεία έκταση υαλοποίησης και υψηλή συρρίκνωση κατά την πύρωση. Χρησιμοποιείται κυρίως στην κεραμική βιομηχανία.

Αργιλικόι σχιστόλιθοι (slates)

Οι αργιλικόι σχιστόλιθοι είναι αφαντικοί στην υφή, σκληρότεροι από τους σχιστοπηλούς και εμφανίζουν σφιγρή λάμψη. Τα αργιλικά ορυκτά, οι μαρμαρυγίες, ο χαλαζίας, οι άστριοι, ο ασβεστίτης και τα οξειδία του σιδήρου είναι τα συνηθισμένα συστατικά τους. Οι λοιπόι σχιστόλιθοι είναι φανεριτικοί στην υφή που είναι συνήθως γραμμωτή και παρουσιάζουν ασθενή μέχρι καλά αναπτυγμένη στρωμάτωση των λευκοκρατικών και των μελανοκρατικών ορυκτών συστατικών τους που συνήθως ενισχύει την ισχυρή σχιστότητά τους. Ανάλογα με το επικρατέστερο φεμικό ορυκτό συστατικό τους χαρακτηρίζονται ως μαρμαρυγιακοί, χλωριτικοί, ταλκικοί, αμφιβολιτικοί, γραφιτικοί, γλαυκοφανιτικοί κ.ά. Εξόρυξη σχιστόλιθων γίνεται κυρίως στην Ελευθερούπολη, στο Πήλιο και στην Κάρυστο.

Οι σχιστοπηλοί, άργιλοι και αργιλικόι σχιστόλιθοι χρησιμοποιούνται ως ακατέργαστα υλικά στην κατασκευή δομικών πλίνθων. Αυτά πρέπει να φτάνουν μια πυροπλαστική κατάσταση σε υψηλές θερμοκρασίες με τελικό αποτέλεσμα τη δημιουργία πορώδους ύλης που διατηρεί τη φυσική της αντοχή μετά την ψύξη της.

Διατομίτης (diatomite)

Η γη διατόμων είναι λευκό, κίτρινο ή τεφρό χαλαρό πυριτικό υλικό που αποτελείται κυρίως από τα ποικίλου σχήματος κελύφη των διατόμων. Συσσωρεύεται στους πυθμένες θαλασσών, λιμνών ή ελών και περιέχει πολλές ξένες προσμίξεις όπως λείψανα σπόγγων και ραδιολαριών, αργιλικά ορυκτά, πυριτική άμμο και αλκαλικές γαίες. Ο διατομίτης είναι το αντίστοιχο συμπαγές πέτρωμα. Παρουσιάζει λαμπρότητα μέχρι 90%, χαμηλή πυκνότητα και μέτρια πυριμαχότητα, υψηλή απορροφητική ικανότητα και μεγάλη επιφάνεια κόκκων, για αυτό χρησιμοποιείται ως πληρωτικό. Η μέτρια σκληρότητά του το καθιστά ικανό ως ήπιο λειαντικό. Πύρωση στους 870 έως 1.100°C αφαιρεί την οργανική ύλη και αυξάνει τη σκληρότητά του στους 5,5-6 βαθμούς της κλίμακας Mohs, βελτιώνοντας έτσι τις ιδιότητές του διήθησης, πλήρωσης και λείανσης. Ο διατομίτης παρουσιάζει χημική ουδετερότητα και μπορεί να απορροφήσει 2 έως 3 φορές του βάρους του οποιοδήποτε υγρό ενεργώντας έτσι ως απορροφητικό ή καταλυτικό υλικό.

Ο εμπορικός διατομίτης περιέχει 85-94% SiO₂, 1-7% Al₂O₃, 0,4-2,5% Fe₂O₃, 0,1-0,5% TiO₂, 0,3-3% CaO, 0,3-1% MgO, 0,2-0,5% Na₂O, 0,3-0,9% K₂O, 0,03-0,2% P₂O₅, 0,1-0,2% διαλυτά άλατα, οργανική ύλη και μικρά ποσοστά πετρογενετικών ορυκτών.

Η γη ραδιολαριών είναι χαλαρό πυριτικό υλικό που αποτελείται κυρίως από

τα λείψανα των ραδιολαριών (ακτινόζωων). Ο ραδιολαρίτης είναι το αντίστοιχο συμπαγές πέτρωμα.

Η **τριπολίτης γη** είναι μικροκρυσταλλικό, πορώδες, ελαφρό, εύθρυπτο, λευκού μέχρι κίτρινου χρώματος πυριτικό ίζημα, τραχύ στην αφή, με λευκότητα 84-91%. Έχει σύσταση 98-99,5% SiO_2 , 0,025-1% Fe_2O_3 και μέγεθος κόκκων κατά 99% 10-75 μm . Βρίσκεται στην επιφάνεια της γης συνήθως σε κονιώδεις ή γαιώδεις μάζες. Προκύπτει από την αποσάθρωση (απόπλυση και ενυδάτωση) των κερατόλιθων ή των πυριτικών ασβεστόλιθων. Χρησιμοποιείται ως πληρωτικό και λειαντικό υλικό.

Εμφανίσεις διατομιτικών πετρωμάτων στην Ελλάδα υπάρχουν: στις λεκάνες Κορινθίων Πτολεμαΐδος και Μεγαλόπολης, στις λεκάνες Αιανής Κοζάνης και Μυτιλήνης, στη Σάμο, στην Αίγινα, στη Ζάκυνθο και στη λεκάνη Ηρακλείου Κρήτης (STAMATAKIS & NLACHOU-TSIPOURA 1990).

Γύψος (gypsum)

Στη φύση εμφανίζονται κυρίως δύο θειικά ορυκτά, η **γύψος** με τύπο $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ και ο **ανυδρίτης (anhydrite)** με τύπο CaSO_4 . Οι κρύσταλλοι της γύψου διακρίνονται από την ημιδιαφάνειά τους, τη μεταξώδη λάμψη τους, τη μικρή τους σκληρότητα, τον τέλειο σχισμό τους, τη φακοειδή όψη τους ή την όψη ουράς χελιδονιού των διδύμων τους. Οι αποθέσεις γύψου και ανυδρίτη βρίσκονται συνήθως στη φύση με μορφή κονδυλωδών συγκεντρώσεων ή με μορφή πτυχωμένων στρωμάτων μέσα σε πηλόλιθους.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό γύψου ή ανυδρίτη είναι η θερμοκρασία, η πίεση και η ενέργεια του νερού που σχετίζεται με την ιοντική του συγκέντρωση. Ο σχηματισμός του ανυδρίτη ευνοείται από υψηλές θερμοκρασίες και υψηλές ιοντικές συγκεντρώσεις, ενώ της γύψου από χαμηλότερες θερμοκρασίες και υψηλές υδροστατικές πιέσεις.

Το **αλάβαστρο (alabaster)** είναι συμπαγής, πολύ λεπτόκοκκη και σταθερή ποικιλία γύψου. Συνήθως είναι χιονόλευκη ή ημιδιαφανής, μερικές φορές όμως παίρνει χροίες του κίτρινου, καστανού, ερυθρού ή τεφρού χρώματος. Χρησιμοποιείται ως διακοσμητικός λίθος εσωτερικών χώρων, κυρίως για διακοσμητικά βάζα και αγαλματίδια.

Η γύψος όταν πυρώνεται χάνει το 75% του περιεχόμενου νερού σχηματίζοντας τον ημιϋδρίτη, $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$, γνωστό ως **γύψος του Παρισιού**. Όταν σε αυτή τη γύψο προστεθεί νερό δημιουργείται υλικό που μπορεί να απλωθεί και μορφοποιηθεί αποκτώντας σκληρότητα και πυριμαχότητα, γι' αυτό χρησιμοποιείται ως κατασκευαστική ή βιομηχανική γύψος ή στην κατασκευή γυψοσανίδων. Η μη πυροεπεξεργασμένη γύψος (ή ο ανυδρίτης) είναι πηγή Ca και θεικών που χρησιμοποιούνται ως επιβραδυντές στην παραγωγή τσιμέντου (3-6% προσθήκη στο clinker), ως συλλίπασμα και ως βελτιωτικό εδαφών. Η γύψος (ή ανυδρίτης) παρουσιάζει χημι-

κή ουδετερότητα και καλή απορροφητικότητα. Μερικές καθαρές ποιότητες γύψου παρουσιάζουν λαμπρότητα μέχρι 97% και απορροφητικότητα ελαίου 25-26 ml/100 g, για αυτό χρησιμοποιούνται ως πληρωτικά ή αραιωτικά υλικά.

Σκωρίες υψικαμίνων (slags)

Είναι παραπροϊόντα της διαδικασίας παραγωγής μετάλλων όπως σιδήρου, νικελίου κ.ά. Οι σκωρίες που παράγονται ποικίλουν ως προς τη χημική σύσταση, το ειδικό βάρος και το πορώδες. Η χρήση τους στην οδοποιία περιορίζεται συνήθως σε έργα που γίνονται κοντά στις μονάδες παραγωγής. Οι σκωρίες χρησιμοποιούνται συνήθως ως υποκατάστατο των θραυστών πετρωμάτων.

Ανθρακικά αδρανή (carbonate aggregates)

Τα επιμέρους προϊόντα περιλαμβάνουν:

- α) Τα σχετικά ακατέργαστα, αδρόκοκκα και φτηνά ανθρακικά αδρανή που χρησιμοποιούνται για ποικίλες κατασκευαστικές εφαρμογές.
- β) Τα μέσου μεγέθους κόκκων και μέσου βαθμού ποιότητας ανθρακικά αδρανή που χρησιμοποιούνται ως πληρωτικά για λεύκανση ή λαμπρότητα (>80%) και για παρασκευή στόκου ή σφραγιστικών υλικών.
- γ) Τα πολύ λεπτομερή ανθρακικά αδρανή που χρησιμοποιούνται ως πληρωτικά γνωστά ως “λειτουργικά” με ειδικές απαιτήσεις στην καθαρότητά τους: λαμπρότητα >90%, αδιαφάνεια, σχήμα κόκκων, ρεολογικές ιδιότητες και ιξώδες, απορρόφηση νερού και ελαίου και ολική πυκνότητα για παρασκευή του χάρτου, των χρωμάτων, των πλαστικών και του ελαστικού.

Μερικά σταθερά χαρακτηριστικά του φυσικού CaCO_3 είναι: πυκνότητα 2.711 kg/m³, σκληρότητα 3, ειδική θερμότητα 0,2 cal/g/°C, συντελεστής γραμμικής διαστολής $23-30 \times 10^{-6}$ cm/°C και μέσος δείκτης δυστηκτικότητας 1,59.

Στη φύση βρίσκονται πολλοί τύποι ασβεστολιθικών ή δολομιτικών πετρωμάτων που ανάλογα με το περιεχόμενό τους σε SiO_2 (χαλαζίας ή χαλκηδόνιος), δολομίτη και ασβεσίτη χαρακτηρίζονται διαφορετικά. Τα σημαντικότερα ανθρακικά αδρανή περιγράφονται παρακάτω (ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ 1993):

α) Ασβεστόλιθοι (limestones)

Η προέλευσή τους μπορεί να είναι χημική, αλλά και βιογενής. Αποτελούν το 25% του συνόλου των ιζηματογενών πετρωμάτων και η ηλικία τους φτάνει μέχρι 2,7 δισεκατομμύρια χρόνια. Έχουν χρώμα συνήθως τεφρό, εμφανίζονται όμως και με ποικίλα άλλα χρώματα. Περιέχουν τουλάχιστον 95% ασβεσίτη. Συνήθισμένα συστατικά τους σε μικρές αναλογίες είναι επίσης ο δολομίτης, ο χαλαζίας ή χαλκηδόνιος, οι άστριοι, τα αργιλικά ορυκτά, ο σιδηρίτης και ο σιδηροπυρίτης. Οι ασβεστόλιθοι σχηματίζονται από οργανικές ή ανόργανες διεργασίες και μπορεί να είναι κλαστικοί, χημικοί ή βιογενείς, κρυσταλλικοί ή ανακρυσταλλωμένοι. Αρκετοί είναι σε υψηλό βαθμό απολιθωματοφόροι.

Είναι τα κοινότερα και πιο διαδομένα ανθρακικά πετρώματα με ιδιαίτερη αξία για στρωματογραφικούς προσδιορισμούς, εξαιτίας των ποικίλων απολιθωμάτων που περιέχουν. Είναι πολύ σπουδαία από οικονομική άποψη, επειδή οι πόροι τους αποτελούν χώρους συγκέντρωσης πετρελαίων και φυσικών αερίων. Περίπου το 50% των παγκόσμιων αποθεμάτων υδρογονανθράκων βρίσκονται μέσα σε ασβεστολιθικά πετρώματα. Επίσης, πολλές φορές αποτελούν δεξαμενές συγκέντρωσης υπεδάφινων νερών. Το πορώδες, η διαπερατότητα και η ευκολία αντίδρασης των ανθρακικών ορυκτών επιτρέπουν, ώστε τα ασβεστολιθικά πετρώματα να χρησιμεύουν ως τόποι συγκέντρωσης διάφορων μεταλλευμάτων. Τα ανθρακικά θραύσματα είναι πολύ μαλακά σε σύγκριση με το χαλαζία, εκκτρίβονται σχηματίζοντας σκόνη και διαλύονται τελείως, αν υπάρχει χαλαζίας σε σημαντικά ποσά.

β) Κρητίδα (chalk)

Είναι πορώδης, μαλακός, σχετικά εύθρυπτος, λευκός μέχρι τεφρός ασβεστόλιθος θαλάσσιας προέλευσης. Αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από ασβεσίτη (90-99%) που σχηματίστηκε κυρίως σε ρηγά νερά από συσσώρευση ασβεστιτικών κελυφών μικρο-οργανισμών (κυρίως τρηματοφόρων), μέσα σε μια ασβεστιτική λεπτοκρυσταλλική μάζα. Η κρητίδα συχνά περιέχει λείψανα οργανισμών που διαβιβάζονται στον πυθμένα των θαλασσών όπως αμμωνίτες, εχινόδεσμα, πελεκύποδα κ.λπ. Ακόμη, μπορεί να περιέχει κονδύλους κερατολίθου και σιδηροπυρίτη.

γ) Τραβερίνες (travertines)

Σκληροί, λεπτοκρυσταλλικοί, συμπαγείς ή μαζώδεις και συχνά συγκριματικοί ασβεστόλιθοι χρώματος λευκού μέχρι καστανού. Σχηματίζονται από ραγδαία απόθεση CaCO_3 που είναι διαλυμένο σε επιφανειακά ή υπεδάφια νερά, γύρω από ανόργανο ή οργανικό πυρήνα. Βρίσκονται ακόμη σε ασβεστολιθικά σπήλαια με μορφή στρωματοδών αποθέσεων. Όταν το ανθρακικό υλικό που αποθέτεται είναι πορώδες και εύθρυπτο χρησιμοποιείται ο όρος τούφα. Τα ονχομάραμαρα ή όνυχες είναι παράλληλα στρωματομένοι και ημιδιαφανείς τραβερίνες ικανοί για λείανση, στίλβωση και χρήση ως διακοσμητικά ή αρχιτεκτονικά υλικά. Συνήθως είναι αποθέσεις CaCO_3 σε ψυχρά υδατικά διαλύματα.

δ) Πορόλιθοι (poroliths)

Είναι αδρόκοκκοι ασβεστόλιθοι που παρουσιάζουν πολύ μεγάλο πορώδες. Χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα κατά την αρχαιότητα ως υλικά δόμησης μνημείων και τειχών.

ε) Κοκίνα (coquina)

Είναι κλαστικός ασβεστόλιθος που αποτελείται σχεδόν εξολοκλήρου από μηχανικά ταξινομημένα και ασθενώς συγκολλημένα υπολείμματα σκελετικών στοιχείων θαλάσσιων οργανισμών. Ειδικότερα, είναι ένας μαλακός, πορώδης, εύθρυ-

πτος, αδρόκοκκος και λευκός ασβεστόλιθος που σχηματίστηκε από χαλαρά συσσωρευμένα κελύφη ή θραύσματά τους όπως είναι οι σύγχρονοι σωροί κελυφών στη Φλώριδα, όπου χρησιμοποιούνται ως υποστρώματα δρόμων και στην οικοδομική.

στ) Όστρακα (oysters)

Είναι ιζηματογενείς ανθρακικές αποθέσεις που αποτελούνται κυρίως από κελύφη θαλάσσιων οργανισμών.

ξ) Κροκαλοπαγείς ή λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι

Είναι ασβεστόλιθοι που αποτελούνται αντίστοιχα από στρογγυλεμένα ή γωϊώδη θραύσματα κυρίως ανθρακικής σύστασης.

η) Πυριτιούχοι ασβεστόλιθοι

Είναι πυκνοί, σκουρόχρωμοι και λεπτοστρωματωμένοι ασβεστόλιθοι που αντιπροσωπεύουν συνηθισμένα μίγματα ανθρακικού ασβεστίου και διοξειδίου του πυριτίου χημικής προέλευσης που έχουν αποτεθεί ταυτόχρονα.

θ) Ασβεστολιθίτες

Είναι λιθαρενίτες (πετρογραφικός τύπος ψαμμιτών) στους οποίους επικρατούν θραύσματα ανθρακικών πετρωμάτων (>50%).

ι) Δολομίτες (dolomites)

Θεωρούνται μονόμικτα ανθρακικά πετρώματα με κύριο ορυκτό συστατικό το δολομίτη του οποίου η ιδεώδης σύσταση κατά βάρος είναι: 21,9% MgO, 30,4% CaO και 47,7% CO₂. Η σύστασή του κυμαίνεται από 57% mole Ca και 43% mole Mg μέχρι την ιδανική τιμή 50% mole για κάθε στοιχείο, εξαιτίας της αντικατάστασης του Ca από το Mg. Ακόμη, είναι δυνατή η ισόμορφη αντικατάσταση των κατιόντων Ca ή Mg από άλλα δισθενή κατιόντα όπως συνήθως Fe²⁺. Οι δολομίτες έχουν χρώμα τεφρό μέχρι καστανό και είναι ανθεκτικότεροι στην επίδραση διαλυμάτων οξέων σε σχέση με τους ασβεστόλιθους. Για το λόγο αυτό αντιστέκονται περισσότερο στην καρστική διάβρωση.

Ορυκτά συστατικά ανθρακικών πετρωμάτων

Στη φύση βρίσκονται περίπου 60 ορυκτά που περιέχουν τη ρίζα CO₃²⁻ στον τύπο τους. Από αυτά ο ασβεστίτης CaCO₃ και ο πολύμορφος του αραγωνίτης είναι τα πιο κοινά στα ιζήματα νεότερης ηλικίας. Ο μαγνησιούχος ασβεστίτης δημιουργείται από τυχαία υποκατάσταση ορισμένων ιόντων Ca από ιόντα Mg στη δομή του ασβεστίτη. Ο φτωχός μαγνησιούχος ασβεστίτης περιέχει <4% MgCO₃ σε ισόμορφη παράμιξη με CaCO₃ και αποτελεί την πιο συνηθισμένη μορφή του ασβεστίτη. Ο πλούσιος μαγνησιούχος ασβεστίτης περιέχει 4-19% MgCO₃ σε ισόμορφη

παράμιξη με CaCO_3 . Είναι ασταθής και κατά τη διάρκεια σχηματισμού του ασβεστόλιθου μετατρέπεται σε φτωχό μαγνησιούχο ασβεστίτη ή σε δολομίτη. Ο χουντίτης $\text{CaMg}_3(\text{CO}_3)_4$ είναι προϊόν εξαλλοίωσης ή αποσάθρωσης δολομιτών ή άλλων μαγνησιούχων πετρωμάτων. Εμφανίζεται σε συμπαγείς και πορώδεις μάζες οι οποίες διαλύονται στο νερό. Στα παλιότερα ανθρακικά πετρώματα τα κοινότερα ορυκτά είναι ο ασβεστίτης και ο δολομίτης $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ στον οποίο η αναλογία $\text{Mg}:\text{Fe}$ είναι $>4:1$. Όταν η αναλογία $\text{Mg}:\text{Fe}$ είναι $<4:1$, τότε χαρακτηρίζεται ως ανκερίτης. Αυτός είναι αποτέλεσμα επίδρασης υδροθερμικών διαλυμάτων χαμηλών θερμοκρασιών. Ο μαγνησίτης MgCO_3 είναι σχεδόν το μοναδικό ορυκτό συστατικό του ομώνυμου πετρώματος γνωστού στο εμπόριο ως λευκόλιθος. Ο σιδηρίτης FeCO_3 βρίσκεται σε τυρφικά και πλούσια σε σίδηρο ιζήματα.

Άλλα μη ανθρακικά ορυκτά συστατικά των ανθρακικών πετρωμάτων μπορεί να είναι τα: χαλαζίας ή χαλκηδόνης, μοσχοβίτης ή σερίκίτης, φλογοπίτης, χλωρίτης, καολινίτης, τάλκης, σερπεντίνης, γραφίτης, άστριοι, μεταλλικά ορυκτά, οξειδία του σιδήρου, επίδοτο, ζοϊσίτης, τρεμολίτης, διοψίδιος, γρανάτες κ.ά. Το περιεχόμενο της οργανικής ύλης στα νεότερα ανθρακικά ιζήματα ποικίλλει αρκετά εκτεινόμενο από 0,1 έως 10% με μέση τιμή 1%.

Χρήσεις ανθρακικών πετρωμάτων

Τα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, κιμωλία, τραβερτίνες, δολομίτες και μάρμαρα) βρίσκουν σήμερα πολλές εφαρμογές και συγκαταλέγονται μεταξύ των 30 σπουδαιότερων πρώτων υλών. Στην παγκόσμια σειρά κατάταξης ανάλογα με την αξία τους οι επονομαζόμενοι βιομηχανικοί ασβεστόλιθοι για όλες τις βιομηχανικές εφαρμογές, εκτός της βιομηχανίας τσιμέντου, κατέχουν την 11η θέση. Για τη βιομηχανία τσιμέντου όμως κατέχουν την 5η θέση.

Μετά από πρόσθετο θρυμματισμό σε συγκεκριμένα μεγέθη τα ανθρακικά αδρανή μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οδικά υποστρώματα, σε υπόβαθρα σιδηροδρομικών γραμμών, σε τοίχους αντιστήριξης πρανών, σε διακοσμήσεις κήπων, σε φράγματα, σε αναβαθμίδες χειμάρρων, σε λιμενικά έργα (λιμενοβραχίονες ή κυματοθραύστες) και σε τεχνητούς υφάλους. Σήμερα, η χρησιμοποίηση ανθρακικών αδρανών για την κατασκευή οδοστρωμάτων βασικών οδικών αξόνων αποφεύγεται, γιατί γρήγορα δημιουργούν μια λεία επιφάνεια που γίνεται επικίνδυνη, όταν βρέχει. Τα ανθρακικά αδρανή υστερούν στη φθορά από τριβή και επομένως στη δυνατότητα κατασκευής αντιολισθηρών οδοστρωμάτων.

Τα ανθρακικά πετρώματα, όταν χρησιμοποιούνται ως αδρανή υλικά, παρέχουν αντοχή και σκληρότητα, ιδανικό σχήμα τεμαχιδίων και αντοχή στην αποσάθρωση. Για τις περισσότερες χρήσεις σημαντικό ρόλο παίζουν η τιμή και η προσφορά των ανθρακικών πετρωμάτων στο εμπόριο. Οι απαιτήσεις μεγέθους των τεμαχιδίων τους σε διάφορες χρήσεις παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4. Απαιτήσεις μεγέθους για διάφορες χρήσεις ανθρακικών πετρωμάτων (HARBEN 1992).

Μέγεθος τεμαχιδίων	Χρήσεις
>1 m	Λίθοι δόμησης.
>30 cm	Λίθοι δόμησης, αρδευτικών καναλιών, αναβαθμίδων ποταμών, φραγμάτων, προστασίας ακτών.
20-1 cm	Αδρανή για σκυροδέματα, υποστρώματα δρόμων και σιδηροδρομικών γραμμών, για στέγες κατοικιών.
8-3 cm	Στρώματα φιλτραρίσματος, ταφικά μνημεία.
5-0,2 cm	Υαλουργία και χημικές βιομηχανίες, άμμος ορنيθοτροφείων.
<4 cm	Ασβεστοποίηση.
<3 cm	Ευτηκτικά σε χυτήρια.
<0,2 mm	Πληρωτικά, αποξεστικά, σιλωβωτικά και υλικά σφάλτου, σκόνη ορυχείων, παρασκευή μυκητοκτόνων και εντομοκτόνων.
<0,1 mm	Αποθείωση καπνοδόχων βιομηχανικών μονάδων.

Οι κατασκευές κατέχουν την πρώτη θέση στην κατανάλωση με ευρύτητα χρήσεων και μεγάλη ποικιλία προδιαγραφών. Βασικοί τομείς εφαρμογής είναι η οικοδομική (π.χ. λίθοι δόμησης, πλάκες επίστρωσης ή επένδυσης, σκάλες, αδρανή υλικά), οδοποιία, έτοιμο σκυροδέμα κ.λπ. Όμως υπάρχουν ορισμένες φυσικές και χημικές επιδράσεις που πρέπει πάντα να παίρνονται υπόψη, όταν εξετάζεται η καταλληλότητα αυτών των πετρωμάτων για κατασκευαστικούς σκοπούς όπως (POWER 1985):

- Η αντοχή και η σκληρότητα. Συνδέονται κυρίως με την πυκνότητα, το πορώδες και το βαθμό ομογένειας μιας απόθεσης.
- Σχήμα κόκκων. Μετά τη θραύση και κονιοποίηση τα τεμαχίδια πρέπει να είναι όσο γίνεται κυβικού σχήματος, χωρίς φυλλώδη δομή ή μικρορωγμές.
- Καθαρότητα. Δεν πρέπει να περιέχουν αυτά τα πετρώματα ξένες προσμίξεις όπως άργιλο, ιλύ και έδαφος.
- Χημική καθαρότητα. Η παρουσία διαλυτών ή θεικών ορυκτών μειώνει την αντοχή του σκυροδέματος.
- Χρώμα. Παίρνεται σοβαρά υπόψη, όταν αυτά τα πετρώματα χρησιμοποιούνται για διακοσμητικούς σκοπούς ή, όταν απαιτείται υψηλή ανακλαστικότητα.

Οι κατασκευές κατέχουν τη σπουδαιότερη θέση στην κατανάλωση και της ασβέστου και ο ρόλος αυτός δεν πρέπει να αγνοείται. Επίσης, σημειώνεται η χρήση της ασβέστου στην οδοποιία, αεροδιάδρομους, αθλητικά γήπεδα, χώρους στάθμευσης κ.λπ. Για την παρασκευή της ο ασβεστόλιθος πρέπει να περιέχει >95% CaCO₃ και <1% SiO₂.

Τα περισσότερα ανθρακικά πετρώματα προσφέρονται άφθονα σε παγκόσμια κλίμακα και σε χαμηλές τιμές. Χρησιμοποιούνται ως πηγές της χημικής ασβέστου CaO και χημικής μαγνησίας MgO στις χημικές βιομηχανίες. Ως ευτηκτικά υλικά κατά την εκκαμίνευση σιδηρούχων ενώσεων, για την απομάκρυνση του SiO₂ κατά τον εξευγενισμό του αργιλίου και ως σταθεροποιητικά και ενισχυτικά υλικά στα ασβεστιονατριούχα γυαλιά. Επίσης, χρησιμοποιούνται στην κατεργασία του χαρτοπολτού για την αφαίρεση του SO₂. Ως ευτηκτικά ή πληρωτικά συστατικά σε υλικά στίλβωσης ή σμάλτου (κεραμικές βιομηχανίες). Για παραγωγή του MgO που είναι σημαντικό δύστηκτο υλικό. Το CaO μαζί με πυριτία, αλουμίνα, θεικές ενώσεις και ενώσεις σιδήρου σε ποικίλες αναλογίες παράγουν τσιμέντο κατασκευών. Επίσης, χρησιμοποιούνται στην αποθείωση καπνοδόχων βιομηχανικών μονάδων και στον καθαρισμό ποικίλων αποβλήτων, υδάτινων συστημάτων, εδαφών (π.χ. περιβαλλοντικές εφαρμογές, γεωργία). Το Ca και το Mg είναι απαραίτητα στοιχεία στην παρασκευή των λιπασμάτων. Το Ca είναι συστατικό πολλών ζωοτροφών. Πύρωση των ανθρακικών πετρωμάτων σε 1.000-1.100° C δημιουργεί την άσβεστο.

Ο δολομίτης είναι σημαντική πηγή του χημικού MgO και αυτό το οξειδίο του αντίστοιχου μετάλλου που είναι απαραίτητο σε κράματα, χρώματα και κατεργασμένα προϊόντα. Επίσης, το MgO χρησιμοποιείται στην αποθείωση του σιδήρου και του χάλυβα. Είναι αναγωγικό υλικό στην παραγωγή των Be, Ti, Zr, Hf και U. Τέλος, το MgO χρησιμοποιείται σε βιομηχανίες πυρίμαχων και φαρμακευτικών προϊόντων, υαλοργιάς και λιπασμάτων.

Ανταγωνιστικά υλικά των ανθρακικών πετρωμάτων είναι τα: καολίνη, τάλκης, μαρμαρυγιάς, βαρύτης (ως πληρωτικά) και τα: γρανίτης, ψαμμίτης, χαλαζίτης, άμμος, σκύρα, σκωρίες, ηφαιστειακή τέφρα κ.ά. (ως αδρανή).

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι κύριες ποιοτικές απαιτήσεις για χρήση των ανθρακικών πετρωμάτων σε διάφορες εφαρμογές.

Χαλαζιακή άμμος (quartz sand)

Ο χαλαζιάς είναι σχετικά φθηνός, χημικά ουδέτερος, έχει κογχοειδή θραυσμό και σκληρότητα 7. Παρουσιάζει υψηλή λευκότητα, χαμηλή απορροφητικότητα ελαίου και ικανότητα κονιοποίησης σε ειδικά μεγέθη κόκκων. Για αυτό η χαλαζιακή άμμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό πλήρωσης, λείανσης ή διήθησης, καθώς και σε ποικίλες κατασκευές. Επίσης, παρουσιάζει πυριμαχότητα (σημείο τήξης 1470° C) και χρησιμοποιείται ως άμμος χυτηρίων. Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται οι σημαντικές ποιοτικές απαιτήσεις για χρήση της χαλαζιακής άμμου σε διάφορες εφαρμογές.

Η χαλαζιακή άμμος θεωρείται προϊόν αποσάθρωσης και επεξεργασίας όλων των κατηγοριών των πετρωμάτων κυρίως από το νερό και τον άνεμο. Ο βαθμός εμπλουτισμού της σε χαλαζία και η καλή ταξινόμηση αυτής εξαρτάται από τη

Πίνακας 5. Κύριες ποιοτικές απαιτήσεις για χρήση των ανθρακικών πετρωμάτων με βάση τη χημική σύστασή τους (κ.β. %) και τις τιμές των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων τους (CARR & ROONEY 1975, BOYNTON 1980, POWER 1985, HARBEN 1992, OATES 1998).

Παραγωγή αδρανών	Μέγεθος τεμαχιδίων = 1-200 mm
Παραγωγή ασβέστου	Μέγεθος τεμαχιδίων <40 mm, >95% CaCO ₃ , <1% SiO ₂
Βελτιωτικά εδαφών	Μέγεθος τεμαχιδίων <5 mm, <5% MgO
Περιβαλλοντικές χρήσεις	Μέγεθος τεμαχιδίων <2 mm, 85-95% CaCO ₃ , <5% (MgO+A.Y.)
Τσιμεντοβιομηχανία	>65% CaCO ₃ , <5% MgO, <1,5% A.Y., <0,1% F, <3% L.O.I.
Βιομηχανία λιπασμάτων	Μέγεθος τεμαχιδίων = 0,2-2 mm, >60% CaCO ₃ , 5-20% MgO
Μεταλλουργία	Μέγεθος τεμαχιδίων <30 mm, >97% CaCO ₃ , <3% (SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +FeO+MnO), <0,02% P, <0,1% S
Κατεργασία σακχαρότευτλων	>98,5% CaCO ₃ , <0,5% SiO ₂
Αποθείωση καπνοδόχων	Μέγεθος τεμαχιδίων <0,1 mm, >95% CaCO ₃ , <2% SiO ₂ , <1% Al ₂ O ₃ , <1% Fe ₂ O ₃ , <1% MgO, <0,02% MnO, <0,1% Cl
Συμπληρώματα ζωοτροφών	>98% CaCO ₃ , ≈0 SiO ₂ , ≈0 Al ₂ O ₃ , ≈0 (As+F+Hg+Pb+H.M.)
Παραγωγή υαλοπινάκων	Μεγ. τεμαχιδίων CaO MgO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ SO ₃ A.Y. C υγρασία
	% % % % % % % %
• Ασβεστιτικό:	1-5 mm >55 <0,8 <0,35 <0,08 <0,05 <0,6 <0,1 <0,05
• Δολομιτικό:	1-5 mm >30 >21,5 <0,40 <0,25 <0,20 <0,6 <0,4 <0,05
Παραγωγή φιαλών	Μέγεθος τεμαχιδίων=1-5 mm, <0,1% Fe ₂ O ₃ , <0,001% Cr ₂ O ₃ , <0,1% υγρασία
Χαρτοβιομηχανία	Μέγεθος κόκκων <10 μm, 95-97% CaCO ₃ , >90% λευκότητα, <35 mg αποξεστικότητα, <30 ml/100 g απορροφητικότητα ελαίου
Βιομηχανία ελαστικών	Μέγεθος κόκκων <10 μm, >98% CaCO ₃ , <0,03% (Na ₂ O+K ₂ O), <0,02% MnO, <0,005% CuO, <0,2% L.O.I.
Παραγωγή ασβεστοκαρβιδίου	>97% CaCO ₃ , <1,2% SiO ₂ , <0,5% (Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃), <0,5% MgO, <0,004% P, S = ίχνη
Φαρμακευτική	>98,8% CaCO ₃ , <1% (Mg+αλκάλεια), <0,05% Fe, <0,002% H.M., <0,0005% F, <3 (ppm) As, <3 (ppm) Pb, <0,5 (ppm) Hg, <0,2% A.Y.

A.Y. = αδιάλυτο υπόλειμμα, H.M. = βαρέα μέταλλα, L.O.I. = απώλεια πύρωσης.

διάρκεια και την ένταση των παραγόντων αποσάθρωσης και μεταφοράς των θραυσμάτων ή κόκκων, καθώς και από την παρουσία πλούσιων σε χαλαζία μητρικών πετρωμάτων. Οι κύριες πηγές προέλευσης της χαλαζιακής άμμου είναι τα πλούσια σε χαλαζία πυριγενή ή μεταμορφωμένα πετρώματα. Ακολουθούν σε αναλογία οι ψαμμίτες και οι κερατόλιθοι με τις διάφορες ποικιλίες τους. Η ετήσια παραγωγή χαλαζία στην Ελλάδα (α+β ποιότητα) είναι τα τελευταία χρόνια περίπου 15.000 τόνοι.

Πίνακας 6. Κύριες ποιοτικές απαιτήσεις για χρήση της χαλαζιακής άμμου με βάση τη χημική της σύσταση (κ.β. %).

Υαλουργία	>98,5% SiO ₂ , 0,2-1,6% Al ₂ O ₃ , <0,04% Fe ₂ O ₃ , ίχνη χρωστικών στοιχείων και πυρίμαχων ορυκτών
Οπτικό γυαλί	>99,8% SiO ₂ , <0,1% Al ₂ O ₃ , <0,02% Fe ₂ O ₃
Κεραμική	Μέγεθος κόκκων <75 μm, >97,5% SiO ₂ , <0,55% Al ₂ O ₃ , <0,2% Fe ₂ O ₃
Άμμος χυτηρίων	Μέσο μέγεθος κόκκων 75 μm, >85% (σίδηρος) ή >95% (χάλυβας) SiO ₂
Πυρίμαχη άμμος	95-99% SiO ₂
Αγγειοπλαστική	>95% SiO ₂ , 1-2% Al ₂ O ₃ , <0,10% Fe ₂ O ₃ , ≈0 S

1. Ψαμμίτες (sandstones)

Είναι εκείνα τα ιζήματα με μέγεθος κλαστικών συστατικών 2-1/16 mm. Ανάλογα με το επικρατέστερο ορυκτό συστατικό τους ή το είδος της συγκολλητικής ύλης ή το είδος του υλικού πλήρωσης χαρακτηρίζονται ως χαλαζιακοί, ασβεστιτικοί, ιλυώδεις ή αργιλωδείς. Μακροσκοπικά οι αποθέσεις ψαμμιτών παρουσιάζουν κατά κανόνα χαρακτηριστική στρωμάτωση. Το χρώμα τους είναι συνήθως ανοικτό τεφρό, κίτρινο ή ερυθροκαστανό. Η υφή τους είναι κοκκώδης και τραχιά.

Τα κύρια συστατικά των ψαμμιτών είναι: κόκκοι χαλαζία, κόκκοι αστρίων, θραύσματα πετρωμάτων, υλικό πλήρωσης και συγκολλητικό υλικό. Μπορεί να περιέχουν ακόμη μωσχοβίτη, γλανκονίτη, απατίτη και βαριά ορυκτά. Η ορυκτολογική σύσταση των ψαμμιτών αντικατοπτρίζει σε μεγάλο βαθμό την πετρολογική σύσταση και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής προέλευσης των κλαστικών υλικών. Από τα συνηθισμένα ορυκτά συστατικά των πετρωμάτων, ο χαλαζίας και ο μωσχοβίτης είναι τα ανθεκτικότερα στις επιφανειακές αποσθρωτικές συνθήκες, λιγότερο σταθεροί είναι οι καλιούχοι άστριοι και τα πλαγιόκλαστα, ασταθή είναι η κερροσίλβη και ο βιοτίτης και πολύ ασταθή οι πυρόξενοι και ο ολιβίνης. Σε πολλές παλιές και ώριμες άμμους που έχουν ανακατεργαστεί πολλές φορές, οι χαλαζιακοί κόκκοι αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των συστατικών τους.

Ο συνεκτικοποιημένος ψαμμίτης μπορεί να θρυμματοποιηθεί για παραγωγή

αδρανών υλικών και αν αισθητικά είναι ελκυστικός μπορεί να κοπεί και χρησιμοποιηθεί ως διακοσμητικό πέτρωμα.

2. Κερατόλιθοι (*cherts*)

Σκληρά, εξαιρετικά συμπαγή, ημι-υαλώδη πετρώματα που αποτελούνται από κρυσταλλικό SiO_2 (κυρίως ινώδη χαλκηδόνη) με μικρότερα ποσά μικρο- ή κρυσταλλικού χαλαζία και άμορφου SiO_2 (οπάλιος). Μερικές φορές περιέχουν ξένες προσμίξεις όπως ασβεσίτη, αιματίτη, αργιλικά ορυκτά και λείψανα πυριτικών οργανισμών. Έχουν τραχύ και κογχοειδή θραυσμό και ποικίλα χρώματα. Βρίσκονται κυρίως με μορφή κονδυλωδών μαζών μέσα σε ασβεστόλιθους ή δολομίτες και σε μικρότερο ποσοστό με μορφή εκτεταμένων στρωματωμένων αποθέσεων. Το υλικό τους μπορεί να είναι οργανικής ή ανόργανης προέλευσης ή προϊόν μερικής αντικατάστασης.

Ο σχηματισμός των περισσότερων κερατόλιθων οφείλεται στη χημική ενέργεια των οργανισμών, οι σπουδαιότεροι των οποίων είναι τα διάτομα, οι ραδιολάριες και οι σπόγγοι. Ακόμη, υπαίθριες παρατηρήσεις έδειξαν ότι ορισμένες αποθέσεις κερατόλιθων δημιουργήθηκαν από άμεση καθίζηση άμορφου SiO_2 των θαλάσσιων ή λιμναίων νερών. Επίσης, η παρουσία κονδυλίων κερατόλιθου μέσα σε ασβεστολιθικά πετρώματα αποδεικνύει αντικατάσταση του CaCO_3 από SiO_2 κατά τη διάρκεια της διαγένεσης. Τέλος, το αναγκαίο SiO_2 για το σχηματισμό πυριτικών ιζημάτων μπορεί να προέρθει άμεσα ή έμμεσα από ηφαιστειακή ενέργεια. Άμεσα, από την αφύαλωση ηφαιστειακών υλικών και έμμεσα από την παρουσία οργανισμών πλούσιων σε SiO_2 (π.χ. διάτομα) σε νερά έντονης υποθαλάσσιας ηφαιστειότητας.

Ανάλογα με το είδος της ξένης πρόσμειξης διακρίνονται οι ακόλουθες ποικιλίες κερατόλιθων:

- α) **Ίασπις.** Περιέχει αιματίτη και είναι κυρίως ερυθρού χρώματος.
- β) **Πυρόλιθος.** Είναι συμπαγής κρυσταλλικός χαλαζίας, τεφρού μέχρι μαύρου χρώματος. Είναι χημικά ουδέτερος και παρουσιάζει κογχοειδή θραυσμό. Έχει πυκνότερη υφή, τελειότερο κογχοειδή θραυσμό, λιγότερο περιεχόμενο σε χαλαζία και μεγαλύτερο σημείο τήξης από τις λοιπές ποικιλίες. Η τυπική του σύσταση είναι: 97,5% SiO_2 , 0,35% Al_2O_3 , ίχνη Fe_2O_3 , 0,45% CaO , 0,2% MgO , 1,3% L.O.I. και οργανική ύλη. Χρησιμοποιείται ως υλικό λειοτρίβησης.
- γ) **Νοβακουλίτης.** Είναι λευκός, πορώδης κερατόλιθος αποτελούμενος από πολύ συνεκτικούς γωνιώδεις μικροκρυστάλλους χαλαζία. Μπορεί να περιέχει επουσιώδη ορυκτά όπως αστρίους και γρανάτες. Είναι εξαιρετικό λειαντικό και πυρίμαχο υλικό, καθώς και ελαφρό αδρανές υλικό.
- δ) **Πορσελλανίτης.** Είναι λιγότερο σκληρός, πυκνός και υαλώδης από τις λοιπές ποικιλίες. Ο πορσελλανώδης ιστός προκύπτει από τις αργιλικές και ανθρακι-

κές προσμίξεις. Σπάνια περιέχει και σιδηρίτη.

ε) Σιλεξίτης. Είναι λεπτόκοκκο πυριτικό ίζημα με $>96\%$ SiO_2 που σχηματίζεται μεταξύ των ασβεστολιθικών στρωμάτων. Χρησιμοποιείται ως υλικό λειοτριβήσης.

στ) Κρητιδικός κερατόλιθος. Είναι πορώδης κερατόλιθος ομοιόμορφης σύστασης, σφιγρός ή γαιώδης, μαλακός μέχρι σκληρός. Έχει ανώμαλη ή τραχεία επιφάνεια θραυσμού και μοιάζει με την κρητίδα.

3. Χαλαζίτες (*quartzites*)

Είναι μονόμικτα μεταμορφωμένα πετρώματα με χρώμα συνήθως τεφρόλευκο και κύριο συστατικό το χαλαζία. Σε μικρές ποσότητες μπορεί να περιέχουν μαρμαρυγίες, χλωρίτη, αστρίους, κυανίτη, γρανάτες, επίδοτο κ.ά. Οι χαλαζίτες είναι προϊόντα περιοχικής μεταμόρφωσης που προέρχονται από αρχικά ψαμμιτικά πετρώματα, χαλαζιούχους φλεβικούς σχηματισμούς ή σχηματισμούς πυριτιόλιθων.

Σκύρα (*gravel*)

Τα σκύρα (ή χάλικες) ανήκουν στα κλαστικά ιζήματα με συστατικά γωνιώδη μεγέθους >2 mm. Όταν είναι συγκολλημένα χαρακτηρίζονται ως λατυποπαγή πετρώματα. Θραύσματα πετρωμάτων >2 cm ονομάζονται φερτοί λίθοι. Στα λατυποπαγήτα κλαστικά συστατικά είναι τεμάχια πετρωμάτων, ενώ το υλικό πλήρωσης είναι συνήθως ψαμμιτικό. Όταν τα κλαστικά τεμάχια εφάπτονται μεταξύ τους το υλικό πλήρωσης απλά γεμίζει τα διάκενα που μένουν ή όταν το υλικό πλήρωσης υπερτερεί, τότε περιβάλλει κάθε κλαστικό κόκκο με αποτέλεσμα αυτός να μην εφάπτεται με τους γειτονικούς του. Το συγκολλητικό υλικό, άμορφο ή μικροκρυσταλλικό, μπορεί να είναι πυριτικό, ασβεστιτικό ή αιματιτικό.

Βιβλιογραφία

- BOYNTON R. S. (1980). Chemistry and Technology of Limestone. 2nd edn. Wiley & Sons, N. York, 577p.
- CARR D. D. & ROONEY L. F. (1975). Limestone and Dolomite. In: Lefond S.J. (Ed.), Industrial Minerals and Rocks. Amer. Inst. Min. Metall. Petrol. Engin., N. York, 757-789.
- FILIPPIDIS A. & GEORGAKOPOULOS A. (1992). Mineralogical and chemical investigation of fly ash from the main and northern lignite fields in Ptolemais, Greece. Fuel, **71**, 373-376.
- HARBEN P. W. (1992). The Industrial Minerals HandyBook. Ind. Miner., London, 148p.
- HERRICK D. H. (1994). Stone, crushed. In: Carr D.D. (Ed.), Industrial Minerals and Rocks, 6th edn. Soc. Min. Metall. Explor. Ann Arbor, Michigan, 975-986.
- MASON B. H. (1989). Construction Materials: Lightweight aggregates. In: Carr D.D. & Herz N. (Eds.), Concise Encyclopedia of Mineral Resources, 1st edn. Pergamon

Press, N. York, 75-78.

MASON B. H. (1994). Lightweight aggregates. In: Carr D.D. (Ed.), *Industrial Minerals and Rocks*, 6th edn. Soc. Min. Metall. Explor. Ann Arbor, Michigan, 343-350.

OATES J. A. H. (1998). *Lime and Limestone. Chemistry and Technology, production and uses*. Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 455p.

POWER T. (1985). Limestone specifications. Limiting constraints on the market. *Ind. Miner.*, **217**, 65-91.

STAMATAKIS M. G. & VLACHOU-TSIPOURA M. (1990). Diatomaceous rocks in Greece. In: IMM (Ed.), *Minerals, Materials and Industry*, 14th IMM Congress. Edinburgh, 185-192.

ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ Α. (1993). *Πετρολογία Ιζηματογενών Πετρωμάτων*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, 236σ.

<p style="text-align: center;">ΗΜΕΡΙΔΑ «ΑΔΡΑΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ» Επιτροπή Οικονομική Γεωλογίας, Ορυκτολογίας, Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας</p>	<p style="text-align: center;">ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2003</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 49 - 63</p>
---	---	--

**ΣΚΛΗΡΑ ΑΔΡΑΝΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ.
 ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΑ –
 ΙΣΤΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Σ. Νταμπίζιας*, Π. Χρυσοστομίδης*, Φ. Μαλτζάρης*, Ε. Καρατάσου**

Περίληψη

Αν και δεν υπάρχουν σαφή διαχωριστικά όρια όσον αφορά στα μηχανικά τους χαρακτηριστικά, σκληρά, σε αντιπαράθεση με τα συνήθη, αδρανή θεωρούνται εκείνα που έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα (durability) σε φθορά μετά από τριβές και κρούσεις. Ανάλογα όμως με την χρήση τους, όπως π.χ. για αντιολισθηρούς ασφαλοτάπητες και σκύρα του ΟΣΕ που είναι και το αντικείμενο αυτής της μελέτης, τα σκληρά αδρανή πρέπει να έχουν και άλλα μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά που προσδιορίζονται με δοκιμές καταλληλότητας και μετρήσεις.

Ο ρόλος των αδρανών στους αντιολισθηρούς τάπητες και στη βάση των σιδηροδρομικών γραμμών είναι σημαντικός. Καλής ποιότητας αντιολισθηρά αδρανή συντελούν αφ' ενός στην ελάττωση της ολισθηρότητας των ασφαλοταπήτων και αφ' ετέρου, στη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Ομοίως καλής ποιότητας αδρανή για το «χτίσιμο» της βάσης των σιδηροτροχιών, έχουν σαν αποτέλεσμα τη σταθερή με το χρόνο ευθυγράμμιση των σιδηροτροχιών, την απορόφηση των κραδασμών και την αποστράγγιση της βάσης.

Από τη μελέτη ενός μεγάλου αριθμού δειγμάτων στα πλαίσια διαφόρων ερευνητικών προγραμμάτων του ΙΓΜΕ, προκύπτει ότι τα μηχανικά χαρακτηριστικά των φυσικών αδρανών εξαρτώνται από τα πετρολογικά τους χαρακτηριστικά (ορυκτολογική σύσταση, ιστός, διακλάσεις, πορώδες κ.λπ.) και ως εκ τούτου μια πετρολογική μελέτη θα μπορούσε να αποτελέσει ένα καλό εργαλείο για τον ποιοτικό χαρακτηρισμό των αδρανών, αποφεύγοντας έτσι ένα μέρος των χρονοβόρων και υψηλού κόστους εργαστηριακών δοκιμών καταλληλότητας.

Το βασικό τμήμα των οφιολιθικών συμπλεγμάτων (γάββροι έως και μαξιλαροειδείς λάβες) και τα ενδιάμεσης σύστασης ηφαιστειακά πετρώματα που αφθονούν στον ελληνικό χώρο, έχουν καλούς έως εξαιρετικούς δείκτες καταλληλότητας για χρήσεις αντιολισθηρών και σκύρων ΟΣΕ.

* ΙΓΜΕ/Περιφερειακή Μονάδα Κ. Μακεδονίας, Φράγκων 1, ΤΚ 54626, Θεσσαλονίκη, email: sdabiz@thes.igme.gr

** Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., ΤΚ 54124, Θεσσαλονίκη

Abstract

Even though there are not strict limits regarding their mechanical characteristics, hard, as opposed to the soft (common limestone), aggregates are considered to be those with high durability in wearing / attrition by impact and abrasion forces. Depending on their usage, for example as antiskid aggregates and railway track ballast, they should have additional mechanical and physical characteristics determined by certain standard tests and measurements.

The role of the aggregates for antiskid road surfacing and as railway track ballast is very semantic. Good quality antiskid aggregates result in better antiskid performance and in longer lasting pavements. Good quality ballast on the other hand supports and maintains alignment of the railway track and provides a free draining base.

In the frame of different research programs, a large number of rock samples for antiskid road surfacing and railway track ballast applications were studied at the Institute of geology and Mineral Exploration (I.G.M.E.). It is concluded that their mechanical characteristics depend on their petrological characteristics (mineralogical composition, texture, fractures, porosity, e.t.c.) and therefore a petrographic study could be a very good tool for the determination of the quality characteristics of an aggregate avoiding thus the high cost and time expensive laboratory suitability tests.

The basic (mafic) part of the ophiolite complexes (gabbros to pillow lavas) and the intermediate in composition volcanic rocks that are abundant in Greece have, in general very good to excellent quality characteristics for antiskid and railway track ballast applications.

Εισαγωγή

Τα αδρανή χωρίζονται σε φυσικά και τεχνητά. Φυσικά είναι εκείνα που προέρχονται από τη μηχανική κατεργασία τους (θραύση), ενώ τεχνητά θεωρούνται εκείνα τα οποία εκτός της μηχανικής έχουν υποστεί και κάποιας άλλης μορφής κατεργασία, όπως π.χ. θερμική (σκουριές εκκαμινεύσεων της μεταλλουργικής βιομηχανίας).

Τα αδρανή χωρίζονται επίσης σε συνήθη και ειδικών χρήσεων. Σαν ειδικών χρήσεων αδρανή θεωρούνται εκείνα τα οποία πέρα από τυχόν ιδιαίτερα μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται ανάλογα με τη χρήση τους, έχουν υψηλή αντοχή (strength) και κυρίως ανθεκτικότητα (durability) σε φθορές μετά από διαφόρων τύπων κρούσεις και τριβές (HARRISON and BLOODWORTH 1994). Οι προδιαγραφές για τα συνήθη αδρανή (κυρίως ασβεστολιθικά αδρανή) είναι χαμηλότερες και για το λόγο αυτό ονομάζονται μαλακά αδρανή.

Όσον αφορά στο ρόλο των αντιολισθηρών αδρανών και γενικά αντιολισθηρών ασφαλτοταπήτων, ο μεν ΚΑΖΑΚΟΠΟΥΛΟΣ (1992) αναφέρει ότι «Αν η εθνική οδός Θεσσαλονίκης – Αθήνας είχε αντιολισθηρό τάπητα του οποίου τα αδρανή είχαν PSV (δείκτης αντίστασης στη λείανση) μεγαλύτερο του 50 (όπως στη Γερμανία), τότε η πιθανότητα να συμβεί ατύχημα λόγω ολίσθησης σε συνθήκες βροχής, θα ελαττωνόταν κατά 95%», οι δε ΛΟΪΖΟΣ κ.ά. (1996) δηλώνουν ότι η χρήση αντιολισθηρών αδρανών σε τμήματα του οδικού δικτύου της χώρας είχε

σαν αποτέλεσμα τη δραστική, κατά 90%, μείωση των ατυχημάτων λόγω ολισθηρότητας του ασφαλτοτάπητα.

Με πρωτοβουλία του Κεντρικού και των Περιφερειακών Εργαστηρίων Δημοσίων Έργων (ΚΕΔΕ, ΠΕΔΕ) αλλά και ιδιωτών, άρχισαν από τη δεκαετία του '70, όταν δηλαδή το πρόγραμμα των αντιολισθηρών ταπήτων ήταν ανύπαρκτο, δοκιμές καταλληλότητας σε διάφορους τύπους αδρανών (πετρωμάτων). Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '90 είχαν γίνει εκατοντάδες δοκιμών με τα αποτελέσματα για πολλές από αυτές να είναι εξαιρετικά. «Ποσότης άγνωστος, σε εκμεταλλεύσιμη πιθανώς ποσότητα», «τα δείγματα προσκομίσθηκαν από ιδιώτες», ήταν οι φράσεις που κυριαρχούσαν στα δελτία των προαναφερθέντων εργαστηρίων. Ποιος θα ήταν ο επενδυτής που θα τολμούσε να επενδύσει πολλές δεκάδες έως μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια δραχμών με τα δεδομένα αυτά; Και έτσι συνέχιζαν να μονοπωλούν την αγορά το λατομείο της Λήμνου και κατά δεύτερο λόγο το λατομείο της Αράχωβας, με σοβαρές συνέπειες όπως για παράδειγμα η δυσκολία εξεύρεσης αντιολισθηρών αδρανών, το πολύ υψηλό κόστος, η αδυναμία ποιοτικού ελέγχου κ.ά.

Πριν μια πενταετία περίπου, το ΙΓΜΕ σε συνεργασία με τη Διεύθυνση Δημοσίων Έργων των Περιφερειών και με ιδιωτικούς φορείς, άρχισε να εκτελεί συστηματική έρευνα για την αξιολόγηση σκληρών πετρωμάτων για αντιολισθηρές χρήσεις (ΠΑΛΑΙΟΚΩΣΤΑΣ και ΒΕΡΑΝΗΣ 1998, ΒΙΔΑΚΗΣ και ΠΑΠΑΤΡΕΧΑΣ 1998, ΝΤΑΜΠΙΤΖΙΑΣ κ.ά. 1999, ΝΤΑΜΠΙΤΖΙΑΣ κ.ά. 2001 κ.λπ). Τα αποτελέσματα ήταν πολύ καλά έως εξαιρετικά για διάφορους πετρολογικούς τύπους σε διάφορες περιοχές του ελληνικού χώρου. Η κατάσταση στην αγορά αντιολισθηρών αδρανών καλυτέρευσε. Άρχισαν να λειτουργούν λατομεία αντιολισθηρών αδρανών (Πολύκαστρο, Λαμία, Δομοκός, Αερινό, Γρεβενά), τα οποία με μία μόνο εξαίρεση ήταν ιδιωτικοί χώροι. Δημόσιοι χώροι με πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά (ποιοτικά, ποσοτικά, ομοιογένεια, βαθμός αποληψιμότητας, τοπογραφικό ανάγλυφο, απόσταση από το εθνικό δίκτυο, κ.ά.) παραμένουν ανενεργοί εξαιτίας της ισχύουσας νομοθεσίας και ιδίως των χρονοβόρων γραφειοκρατικών διαδικασιών, που προβλέπονται για τον ορισμό ζωνών σκληρών αδρανών (βλέπε εργασία του Γ. Τριανταφυλλίδη σ' αυτόν τον τόμο). Πρόβλημα στην αγορά συνεχίζει να υπάρχει και σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα είναι πολύ έντονο.

Το σύνολο σχεδόν του σιδηροδρομικού δικτύου της χώρας είναι «στρωμένο» με ασβεστολιθικά αδρανή (σκύρα), αδρανή που κατά κανόνα απαγορεύονται στις χώρες της Ε.Ε. λόγω της χαμηλής αντοχής των ασβεστολίθων σε φθορά μετά από κρούσεις και τριβές. Στις δημοπρασίες του ΟΣΕ για την προμήθεια σκύρων της βάσης των σιδηροτροχιών, προβλεπόταν στα μέσα της δεκαετίας του '90 **στιγμαία σκληρότητα** (DRi) ίση ή μεγαλύτερη του 12 ή του 14 (ανάλογα με τον κυκλοφοριακό φόρτο και τη μέγιστη ταχύτητα της γραμμής). Πριν δύο περίπου χρόνια ο ΟΣΕ ανέβασε το δείκτη στο 15, αποκλείοντας έτσι έμμεσα τα ασβεστολιθικά αδρανή, ενώ στις τελευταίες δημοπρασίες του απαιτεί $DRi \geq 16$. Το πρόβλημα των

σκύρων του ΟΣΕ είναι ακόμη μεγαλύτερο από αυτό των αντιολισθηρών αδρανών, οι λόγοι λίγο – πολύ οι ίδιοι. Το αποτέλεσμα πάντως είναι ο προσανατολισμός των διαφόρων κατασκευαστικών εταιριών σε εισαγωγή σκύρων από γειτονικές χώρες (Βουλγαρία, Ρουμανία, Τουρκία, Κύπρος). Εισαγωγή σκύρων (π.χ. διαβάσης) που έχουμε στην Ελλάδα σε ποσότητες ικανές να τροφοδοτήσουν τις ανάγκες όχι μόνο της χώρας μας, αλλά και την Ε.Ε. για πολλές δεκαετίες.

Αντιολισθηρά αδρανή (αδρανή αντιολισθηρών ασφαλοτάπητων)

Γενικά

Η ολισθηρότητα των οδοστρωμάτων και ιδιαίτερα των υγρών οδοστρωμάτων είναι ίσως ο σοβαρότερος παράγοντας ατυχημάτων. Μετρήσεις στην Αγγλία πριν μια εικοσαετία περίπου, έδειξαν ότι το ποσοστό των ατυχημάτων από ολίσθηση σε υγρά οδοστρώματα πλησιάζει το 30% του συνόλου των ατυχημάτων (ΚΑΖΑΚΟ-ΠΟΥΛΟΣ 1992). Με τέτοιο ποσοστό σε μια χώρα με πολύ καλό οδικό δίκτυο, με αντιολισθηρούς ασφαλοτάπητες στο σύνολο του εθνικού τους δικτύου, με πιο ασφαλή αυτοκίνητα και με λιγότερο «νευρικούς» οδηγούς, μπορεί κανείς να φανταστεί πιο θα είναι το αντίστοιχο ποσοστό στην χώρα μας, με το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου μας να είναι στρωμένο με κοινούς ασφαλοτάπητες (ΝΕΑ 1998).

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ολισθηρότητας, δηλαδή της μεγιστοποίησης του συντελεστή τριβής μεταξύ των ελαστικών των αυτοκινήτων και της επιφάνειας του οδοστρώματος, έχουν επινοηθεί διάφοροι τύποι ασφαλοτάπητων, όπως πορώδεις, ολόσωμοι, με έμπηκτες ψηφίδες κ.λπ. Ανεξάρτητα όμως από το είδος του τάπητα, τα αδρανή που συμμετέχουν πρέπει να έχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Πρώτον, πρέπει να έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα στη φθορά, ούτως ώστε να διατηρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα οι επιφανειακές προεξοχές τους στον ασφαλοτάπητα (μακροϋφή του τάπητα) και δεύτερον, να λειανώνται δύσκολα (μικροϋφή του τάπητα). Το ζητούμενο δηλαδή είναι αδρανή που θα δώσουν τάπητα με μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγάλη αντίσταση στην ολίσθηση.

Προδιαγραφές

Οι απαιτούμενες βασικές δοκιμές και μετρήσεις για τον προσδιορισμό του βαθμού καταλληλότητας των αδρανών για αντιολισθηρές χρήσεις, αναφέρονται αφ' ενός μεν στα φυσικά τους χαρακτηριστικά (κοκκομετρία, σχήμα κόκκων, ειδικό βάρος, υδατοαπορροφητικότητα) και αφ' ετέρου στα μηχανικά τους χαρακτηριστικά. Γωνιώδη και με χαμηλό δείκτη πλακοειδούς τεμάχου, με συγκεκριμένες κοκκομετρικές διαβαθμίσεις, με χαμηλό πορώδες (ειδικό βάρος) και χαμηλή υδατοαπορροφητικότητα (πορώδες περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά) είναι οι προδιαγραφές των αντιολισθηρών αδρανών που αναφέρονται στα φυσικά τους χαρακτηριστικά, ενώ στην ανθεκτικότητα, στη φθορά και στη λείανση αναφέρονται οι προδιαγραφές των μηχανικών τους χαρακτηριστικών. Με εξαίρεση τους γνευσιο-

σχιστόλιθους που παρουσιάζουν αυξημένο δείκτη πλακοειδούς και ορισμένους άλλους τύπους πετρωμάτων (κυρίως όξινα/ενδιάμεσης σύστασης ηφαιστειακά) με υψηλό πορώδες ή/και περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά, όλα τα άλλα πετρώματα πληρούν τις προδιαγραφές που αναφέρονται στα φυσικά χαρακτηριστικά των αδρανών για χρήσεις αντιολισθηρών ασφαλτοταπήτων. Αντίθετα λίγοι είναι οι πετρολογικοί τύποι που από τα μέχρι τώρα αποτελέσματα, φαίνεται ότι πληρούν τις προδιαγραφές των μηχανικών χαρακτηριστικών, οι οποίες αναφέρονται στους 4 παρακάτω δείκτες:

- Αντίσταση στη στύλβωση (δείκτης PSV – Polished Stone Value)
- Φθορά μετά από τριβή και κρούση (δείκτης LAAV – Los Angeles Abrasion Value)
- Φθορά σε απότριψη (δείκτης AAV – Aggregate Abrasion Value)
- Φθορά στην αποσάθρωση (δείκτης «Υγεία» - Soundness)

Όπως προαναφέρθηκε η αντίσταση ενός ασφαλτοτάπητα στην ολίσθηση εξαρτάται τόσο από τις επιφανειακές προεξοχές των αδρανών (μακροϋφή του τάπητα) όσο και από την επιφανειακή τραχύτητα των αδρανών που προεξέχουν (μικροϋφή του τάπητα). Όλα σχεδόν τα φρεσκοθραυσμένα αδρανή έχουν τραχεία μικροϋφή. Το ζητούμενο όμως είναι μια συνεχώς, μετά από τριβή με τα ελαστικά των αυτοκινήτων, διατηρούμενη μικροϋφή, δηλαδή ένα αδρανή με υψηλό **δείκτη αντίστασης στη στύλβωση (PSV)**. Επειδή όμως όλα τα υλικά/πετρώματα τελικά στυλβώνονται, το ζητούμενο είναι ένα δύσκολα στυλβούμενο αδρανή. Ένα αδρανή δηλαδή το οποίο μετά από τις τριβές με τα ελαστικά των αυτοκινήτων θα συνεχίσει, για μεγάλο χρονικό διάστημα, να έχει τραχεία μικροϋφή. Είναι ευνόητο ότι ένα αδρανή με δύο τουλάχιστον ορυκτά διαφορετικής σκληρότητας ή καλύτερα διαφορετικής αντίστασης στη φθορά μετά από τριβή ή και κρούση, θα έχει συνεχώς τραχεία μικροϋφή, η οποία προφανώς θα οφείλεται στη μεγαλύτερη φθορά του «μαλακού» ορυκτού από αυτήν του «σκληρού» ορυκτού. Μάλιστα δε όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά «σκληρότητας» των δύο ορυκτών τόσο πιο τραχεία θα διατηρείται η μικροϋφή του αδρανούς. Ένας ασβεστοψαμμίτης (χαλαζίας – ασβεστίτης) στην προκειμένη περίπτωση έχει πολύ καλό PSV, ενώ ένας ασβεστόλιθος (μόνον ασβεστίτης) ή ένας συμπαγής χαλαζίτης (μόνο χαλαζίας) θα πρέπει να έχει χαμηλό PSV. Ένα όμως πέτρωμα, ανεξάρτητα από το αν είναι μονόρυκτο ή μικρό έως κρυπτοκρυσταλλικό θα μπορούσε να έχει εξαιρετικό δείκτη PSV αν έχει ένα πυκνό σύστημα κλειστών επιφανειών αδυναμίας οι οποίες συντελούν στην «αποκόλληση» μικρών τεμαχίων του πετρώματος, δηλαδή σε μία συνεχώς ανανεούμενη επιφάνεια. Ένας ασβεστοψαμμίτης (αποκόλληση των κόκκων του χαλαζία), ένα ηφαιστειακό μικρο-λατυποπαγές (αποκόλληση των λατυπών) κ.ά., δίνουν εξαιρετικό PSV. Οι δύο όμως δείκτες που αναφέρονται στις φθορές (LAAV και AAV) είναι στις περιπτώσεις αυτές πολύ χαμηλοί και συνήθως εκτός προδιαγραφών.

Οι δείκτες LAAV και AAV αναφέρονται στην ανθεκτικότητα του αδρανούς σε φθορά από τα ελαστικά των αυτοκινήτων. Ο δείκτης LAAV (ή αλλιώς Los Angeles) «μετράει» τις αντοχές του αδρανούς στις κρούσεις κυρίως και στις τριβές με τα ελαστικά του αυτοκινήτου. Πεντάκιλα αδρανούς συγκεκριμένης κοκκομετρίας τοποθετούνται σε ασάλινο κύλινδρο. Ο κύλινδρος, που περιέχει ασάλινες σφαίρες, περιστρέφεται με ταχύτητα 33 στροφών το λεπτό. Μετά από 500 στροφές μετριέται το λεπτόκοκκο υλικό που προέκυψε από τις κρούσεις του αδρανούς με τις σφαίρες (κυρίως), τα τοιχώματα του κυλίνδρου και μεταξύ των τεμαχίων του αδρανούς (μια μικρή ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού παράγεται επίσης και από τις τριβές). Το επί τοις % παραγόμενο λεπτόκοκκο υλικό είναι η τιμή του δείκτη LAAV. Ο δείκτης AAV αναφέρεται στην αντοχή του αδρανούς στις τριβές με τα ελαστικά του αυτοκινήτου. Τεμάχια αδρανούς στομώνονται σε έναν υποδοχέα, ο οποίος τοποθετείται σε ειδική μηχανή απότριψης. Η απώλεια υλικού, λόγω επιφανειακής τριβής, είναι το μέτρο του δείκτη AAV.

Στη μέτρηση της ανθεκτικότητας του αδρανούς σε θρυμματισμό λόγω καιρικών αλλαγών (θερμοκρασία – βροχή) αναφέρεται ο δείκτης «υγεία». Συστολές - διαστολές και σχηματισμός πάγου στις διακλάσεις και τους πόρους του αδρανούς είναι οι κύριοι παράγοντες του θρυμματισμού. Απόθεση αλάτων (κυρίως NaCl) στους πόρους και τις διακλάσεις και άρα η δύναμη κρυστάλλωσής τους είναι ένας ακόμη παράγων σε παραλιακούς δρόμους και κυρίως σε περιοχές με ερημικό κλίμα. Ο δείκτης «υγεία» αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία και σα δείκτης αποσάθρωσης (weathering). Η χρησιμοποίηση του όρου αυτού είναι, πιστεύουμε αδόκιμη, καθόσον στο γεωλογικό όρο «αποσάθρωση» συμπεριλαμβάνονται, εκτός των προαναφερθέντων, η δράση των ριζών, η δράση των βακτηρίων και κυρίως η χημική δράση του νερού/χημικές αντιδράσεις πολύ μικρής ταχύτητας που πρακτικά δεν συμβαίνουν σε διάρκεια 10-20 ετών, που είναι η διάρκεια ζωής ενός αντιολισθηρού ασφαλτοτάπητα. Ταχύτητα αποσάθρωσης και αντοχή στην αποσάθρωση είναι όροι που έχουν νόημα μόνο στη γεωλογία.

Για τη μέτρηση της ανθεκτικότητας του αδρανούς στο θρυμματισμό επεκράτησε να γίνεται δοκιμή με θειικό άλας ($MgSO_4$ ή Na_2SO_4) επειδή όπως αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία ήταν πολύ δύσκολο να επιτευχθούν σταθερές συνθήκες διαδοχικών εμβαπτίσεων σε νερό (ψύξεων- αποψύξεων κ.λπ.) του αδρανούς. Μια δοκιμή δηλαδή που θα ήταν «δίκαιη» για το αδρανές. Η δοκιμή με το θειικό άλας (Sulfate Test) είναι και αυτή πολύπλοκη (διαδοχικές εμβαπτίσεις σε κορεσμένα διαλύματα $MgSO_4$ ή Na_2SO_4 , πλυσίματα, ξηράνσεις, κοκκομετρικές διαβαθμίσεις, ζυγίσες και υπολογισμοί) και έχει δεχθεί πολλές κριτικές και ισχυρές αμφισβητήσεις που αναφέρονται στην ακρίβεια/επαναληψιμότητα και κυρίως στη σκοπιμότητά της. Στη συγκεκριμένη δοκιμή το αδρανές θρυμματίζεται λόγω της δύναμης κρυστάλλωσης των θειικών αλάτων στις διακλάσεις και στους πόρους του. Θεωρείται δηλαδή ότι η δύναμη κρυστάλλωσης των θειικών αλάτων είναι ισότιμη με τη

δύναμη «παγοποίησης» του νερού. Μια τέτοια θεώρηση είναι εντελώς «άδικη» για το αδρανές καθόσον η δύναμη κρυστάλλωσης (force of crystallization) είναι μια δοκιμή που βγάζει πολλές φορές εκτός προδιαγραφών πετρώματα με εξαιρετικούς όλους τους άλλους δείκτες καταλληλότητας. Για παράδειγμα, διαβάσεις με τους άλλους δείκτες στην περιοχή των: LAAV=10-12, AAV=2-3 και PSV=58-60, έδωσαν με Na_2SO_4 υγεία ≥ 10 (μέχρι και 14) και άρα είναι, με βάση της ισχύουσες προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ (βλ. παρακάτω), εκτός προδιαγραφών. Ομοίως μαξιαλοροειδείς λάβες με LAAV=17-20, AAV=4-7 έδωσαν υγεία μέχρι 45 δηλ. το 45% του πετρώματος με τη δοκιμή αυτή έγινε άμμος. Η επαναληψιμότητα της δοκιμής φαίνεται επίσης ότι είναι πολύ φτωχή. Δύο δοκιμές σε ίδιο δείγμα έδωσαν εντελώς διαφορετικές τιμές (18 και 34).

Εκτός όμως από το άδικο της δύναμης κρυστάλλωσης για το αδρανές, η παρουσία αργιλικών ορυκτών ή γενικά ορυκτών με υψηλή ιοντοανταλλακτική ικανότητα (Cation Exchange Capacity-CEC) θα έχει σαν αποτέλεσμα την ανταλλαγή κατιόντων (χημική αντίδραση) νατρίου ή μαγνησίου του διαλύματος με K, Na, Ca κλπ του αδρανούς. Ποιος είναι ο ρόλος αυτής της αντίδρασης, μιας αντίδρασης που προφανώς δεν συμβαίνει με το βρόχινο νερό; Η οποιαδήποτε πάντως μεταβολή στον όγκο του αδρανούς λόγω μιας τέτοιας αντίδρασης θα είχε σαν αποτέλεσμα, με την αρωγή βέβαια και της κρυστάλλωσης των θεικών αλάτων, το θρυμματισμό του αδρανούς.

Παίρνοντας υπόψη τα παραπάνω οι ΝΤΑΜΠΙΤΖΙΑΣ κ.ά. (2001) αναφέρουν «Αν λοιπόν από καιρικά φαινόμενα η μηχανική καταπόνηση των πετρωμάτων εξ αιτίας της δοκιμής υγείας ήταν ισοδύναμη με την καταπόνηση, όχι μόνο λόγω του σχηματισμού πάγου, αλλά του συνόλου των παραγόντων της αποσάθρωσης, **τότε θα βρίσκαμε συμπαγή τεμάχια των πετρωμάτων αυτών μόνο στις προθήκες μουσειών**. Το 10% όμως των ψηλών βουνών της Πίνδου και της Όθρυος είναι λάβες που άντεξαν την αποσάθρωση αρκετών δεκάδων εκατομμυρίων χρόνων». Η σχεδιαζόμενη διάρκεια ζωής ενός ασφαλτοτάπητα είναι της τάξης των μερικών χρόνων!! Πιστεύουμε λοιπόν ότι η δοκιμή υγείας με θειικό άλας ή ακόμη οποιαδήποτε δοκιμή υγείας **δεν έχει νόημα για τα αντιολισθηρά αδρανή***. Ένα πέτρωμα με πραγματικό πρόβλημα υγείας θα είχε πολύ μεγαλύτερο πρόβλημα με τους δείκτες αντοχής στη φθορά μετά από τριβές και κρούσεις.

Στον Πίνακα 1 δίδονται οι ισχύουσες προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ που αφο-

* Μετά την παρουσίαση της εργασίας αυτής στην ημερίδα έγιναν στο ΕΚΕΠΥ (πιστοποιημένο εργαστήριο) δοκιμές υγείας σε αντιολισθηρό αδρανές βασαλτικής σύστασης. Οι δοκιμές με MgSO_4 και Na_2SO_4 έδωσαν τιμές μακράν εκτός προδιαγραφών. Μάλιστα δε η δοκιμή με MgSO_4 έδωσε μικρότερη φθορά από ότι με Na_2SO_4 !! Δοκιμές διαδοχικών ψύξεων και αποψύξεων με νερό (δηλ. σε πραγματικές συνθήκες) έδωσε εξαιρετικά έως πάρα πολύ καλά αποτελέσματα επιβεβαιώνοντας τα όσα αναφέραμε για το θέμα.

ρούν στα μηχανικά χαρακτηριστικά των αντιολισθηρών αδρανών. Πρόκειται για μια οδηγία του ΥΠΕΧΩΔΕ από το 1985. Από τις πρώτες ημέρες εφαρμογής της οδηγίας αυτής φάνηκε το πρόβλημα. Ήταν, και είναι, η υψηλή τιμή του δείκτη αντίστασης στη λείανση (PSV). Πετρώματα με άριστους δείκτες αντοχής στη φθορά (LA και AAV) δεν γινόταν αποδεκτά στην αγορά επειδή ο δείκτης PSV ήταν ελαφρά (2-3 μονάδες) χαμηλότερος της προδιαγραφής. Και έτσι συνεχιζόταν το μονοπώλιο της Λήμνου ο ανδραγάτης της οποίας έδινε συνήθως τιμές PSV ≥ 55 αλλά ταυτόχρονα έδινε και σχετικά υψηλούς δείκτες φθοράς (AAV μέχρι και 8 και LA μέχρι και 23). Το αποτέλεσμα ήταν αφενός μεν οι εξοργιστικά υψηλές τιμές (μέχρι και 15.000 δρχ/τόνο) των αδρανών και αφετέρου η καθυστέρηση των έργων λόγω έλλειψής τους στην αγορά.

Πίνακας 1. Προδιαγραφές σκληρών αδρανών Αντιολισθηρών υλικών (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. – Δεκ. 1985)

		Κυκλοφορία	Ελαφρά	Μέση	Βαριά	Πολύ βαριά
Μηχανικές Ιδιότητες	Κατηγορία	Ημερήσιος	< 500	500 – 3.000	3.000 – 8.000	> 8.000*
	Θέσης	κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα	< 75	75 – 450	450 – 1.200	> 1.200**
P.S.V. (BS812/1975)	A	Επικίνδυνες θέσεις	≥ 50	≥ 55	≥ 60	≥ 65
	B	Συνήθεις θέσεις	≥ 45	≥ 50	≥ 55	≥ 60
	Γ	Εύκολες θέσεις	–	45	–	–
L.A.A.V. ASTM (131)	Ανεξάρτητα θέσης		≤ 30	≤ 28	≤ 26	≤ 24
A.A.V. (05812/1975)	Ανεξάρτητα θέσης		≤ 14	≤ 12	≤ 10	≤ 8

* Συνήθης σύνθεση κυκλοφορίας: Μέχρι 15% φορητά με ωφέλιμο φορτίο >5 τόνων

** Ειδική σύνθεση κυκλοφορίας: Αριθμός διελεύσεων βαρέων οχημάτων ωφέλιμου φορτίου >5 τόνων

A: Επικίνδυνες Θέσεις

1. Προσεγγίσεις σε σηματοδότες, διαβάσεις πεζών και διασταυρώσεις
2. Κυκλικοί κόμβοι και προσεγγίσεις σε κόμβους
3. Τμήματα με κλίση πάνω από 5% και μήκος πάνω από 100 μ.
4. καμπύλες σε οριζοντιογραφία με ακτίνα μικρότερη από 150 μ. ή ακτίνα μεγα-

λύτρη από 150 μ. και μέχρι 300 μ. αν συνδυάζεται με κυρτή κατακόρυφη καμπύλη με ακτίνα μέχρι 800 μ. σε δρόμους με ταχύτητα πάνω από 65 Km/h.

B: Συνήθεις Θέσεις

Τμήματα ευθύγραμμα ή με ακτίνα καμπυλότητας μεγαλύτερη από 150 μ., με κλίσεις όχι μεγαλύτερες από 5% σε:

- Αυτοκινητοδρόμους
- Κεντρικές αστικές αρτηρίες και κυρίως υπεραστικούς δρόμους
- Άλλους δρόμους με βαριά κυκλοφορία

Γ: Εύκολες Θέσεις

Τμήματα γενικά ευθύγραμμα σε δρόμους με ελαφρά ή μέση κυκλοφορία, με ελαφρές κλίσεις και καμπύλες μεγάλης ακτίνας, χωρίς επικίνδυνες διασταυρώσεις και άλλα χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν επικίνδυνες συνθήκες.

Το 80-90% του εθνικού μας οδικού δικτύου απαιτεί αδρανές με $PSV \geq 55$ και άρα το 55 είναι ο αριθμός «κλειδί». Για τη Γερμανία είναι 53, για τη Γαλλία 50, για το Βέλγιο 50, για την Ισπανία μικρότερο του 50 και για την Αγγλία 60. Είναι προφανές ότι οι προδιαγραφές εναρμονίστηκαν με το τι είδους/ποιότητας αδρανή υπάρχουν **σε αφθονία** στις χώρες αυτές (π.χ. διαβάσης στη Γερμανία, ένα είδος πορφύρα στην Αγγλία).

Σε σχέση με κοινό ασβεστολιθικό τάπητα, αντιολισθηροί τάπητες με PSV των αδρανών ίσο με 55 και 50 θα είχαν σαν αποτέλεσμα την ελάττωση κατά 97% και 95% αντίστοιχα της πιθανότητας να συμβεί ατύχημα λόγω ολίσθησης σε συνθήκες βροχής. Με $PSV=60$ θα γινόταν περίπου 98% κ.ο.κ., μια πολύ μικρή δηλαδή διαφορά για τιμές $PSV > 50$ (ΚΑΖΑΚΟΠΟΥΛΟΣ 1992).

Με βάση τα παραπάνω έγιναν στο παρελθόν προτάσεις (ΚΑΖΑΚΟΠΟΥΛΟΣ 1992, ΛΟΪΖΟΣ 1996 κ.ά.) προς τους «αρμόδιους» για την αναθεώρηση των ισχυουσών προδιαγραφών (κυρίως του δείκτη PSV). Έμειναν όμως προτάσεις. Κανείς φαίνεται δεν έδωσε σημασία ή κανείς δεν πρόσεξε το συμπέρασμα των ΛΟΪΖΟΣ κ.ά. (1996), ότι η υιοθέτηση π.χ. των Γαλλικών προδιαγραφών (σύστημα συμψηφισμού των τριών δεικτών PSV , AAV , LA με ελάχιστο $PSV=50$) θα έχει **σαν αποτέλεσμα την καλύτερη απόδοση των ταπήτων από πλευράς αντίστασης στην ολίσθηση!!!** Κανείς φαίνεται δε σκέφθηκε ότι η αλλαγή των προδιαγραφών (ελάττωση του PSV ή εφαρμογή του Γαλλικού συστήματος συμψηφισμού) θα μείωνε σημαντικά το ρίσκο μιας επένδυσης της τάξης των αρκετών εκατοντάδων εκατομμυρίων δραχμών καθόσον οι περισσότερες από τις γνωστές εμφανίσεις πετρωμάτων (Νταμπίτζια κ.ά. 1999, 2001) έχουν οριακές ως προς το $PSV=55$ τιμές. Κανείς επίσης δεν έδωσε σημασία στα αναφερόμενα από τους Νταμπίτζια κ.ά. (1999) σχετικά με το Γαλλικό σύστημα, η εφαρμογή του οποίου θα έδινε για πολλούς πετρολογικούς

τύπους που απαντούν σε τεράστιες ποσότητες και σε διάφορα μέρη της Ελλάδας καλύτερα αντιολισθηρά χαρακτηριστικά απ' ότι τα αδρανή της Λήμνου.

Πετρολογικά χαρακτηριστικά – Μηχανικά χαρακτηριστικά

Η πετρολογική μελέτη δειγμάτων που έγινε στο πλαίσιο έργων του ΙΓΜΕ για τα σκληρά αδρανή, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των δοκιμών καταλληλότητας, έδειξε ότι το **PSV ενός αδρανούς εξαρτάται από:**

Το μέγεθος και την αναλογία των ανομοιογενών ως προς τη σκληρότητα συστατικών. Για παράδειγμα ένα αδρανές με 2-3 ορυκτά διαφορετικής σκληρότητας σε ίσες αναλογίες θα έδινε τόσο καλύτερο PSV όσο μεγαλύτερη η διαφορά σκληρότητας των ορυκτών του. Αν όμως η συμμετοχή του ενός ή των δύο ορυκτών είναι πολύ μικρή τότε το αδρανές δεν θα έχει καλό PSV. Έτσι εξηγείται η μεγάλη διαφορά που παρατηρείται στο PSV (από 50 έως 65) των ανδρειτών/ρυσσοδακτιών περιοχής Αλεξανδρούπολης. Πολλοί και μικρού μεγέθους φαινοκρύσταλλοι (π.χ. ανδρείτης Νίφας) δίνουν υψηλό PSV, ενώ λίγοι και μεγάλου μεγέθους φαινοκρύσταλλοι δίνουν χαμηλό PSV.

Τη συνοχή/το δέσιμο του (ιστός). Όσο πιο χαλαρός ο δεσμός των συστατικών (ορυκτών), τόσο υψηλότερος ο δείκτης PSV. Ο συμπαγής και αδρόκοκκος για παράδειγμα ψαμμίτης στη θέση «Όρυγμα Μετσόβου» που έχει 20% περίπου ασβεστίτη δίνει PSV=73!! που οφείλεται κυρίως στην αποκόλληση κόκκων χαλαζία κατά τη δοκιμή λείανσής του. Ο χαλαρός όμως δεσμός μεταξύ χαλαζία και ασβεστίτη έχει σαν αποτέλεσμα τη χαμηλή αντίσταση του ψαμμίτη αυτού στη φθορά μετά από τριβή και κρούση και κατά συνέπεια δίνει μακρά εκτός προδιαγραφών τιμές για τους δείκτες LA και AAV. Ο λεπτόκοκκος όμως και με λίγο ασβεστίτη (<10%) ψαμμίτης στη θέση «Δεμάτι» του Μετσόβου δίνει χαμηλές τιμές PSV, οριακές τιμές απότριψης (AAV) και ικανοποιητικές έως καλές τιμές φθοράς σε τριβή και κρούση (LA). Αυτό όμως δε σημαίνει ότι αδρανή με μεγάλη αντίσταση στη φθορά σε απότριψη και σε τριβή και κρούση θα έχουν υποχρεωτικά και χαμηλή αντίσταση στη στίλβωση (PSV). Ένας διαβάσης, για παράδειγμα, έχει εξαιρετικούς και τους τρεις δείκτες.

Κλειστές επιφάνειες ασυνέχειας ή αδυναμίας αυξάνουν το δείκτη PSV διαμέσου του μηχανισμού αποκόλλησης μικρών τεμαχίων κατά τη διάρκεια της λείανσης. Τα έντονα υδροθερμικά εξαλλοιωμένο για παράδειγμα, και με πυκνό σύστημα διακλάσεων/επιφανειών αδυναμίας τεκτονικό λατυποπαγές γρανιτικής σύστασης στη θέση Μαύρη Πέτρα του Ν. Καβάλας έχει εξαιρετικά χαρακτηριστικά, ενώ το σε απόσταση μερικών εκατοντάδων μέτρων ίδιας σύστασης λατυποπαγές, αλλά πιο συμπαγές και με αραιό σύστημα διακλάσεων, δίνει χαμηλές τιμές PSV.

Το μέγεθος των κρυστάλλων. Μεσόκοκκα πετρώματα έχουν συνήθως υψηλότερο δείκτη αντίστασης στη λείανση από ότι τα λεπτόκοκκα και τα αδρόκοκκα (π.χ. μεσόκοκκος – αδρόκοκκος γάββρος).

Οι δείκτες αντοχής στη φθορά (LA και AAV) ενός αδρανούς εξαρτώνται κυρίως από :

1. Την ορυκτολογική σύσταση. Σκληρά και χωρίς τέλειο σχισμό ορυκτά συντελούν σε μεγάλη αντίσταση στη φθορά.

2. Τον ιστό. Ατακτα διατεταγμένοι επιμήκεις κρύσταλλοι (π.χ. οφειτικός ιστός των διαβασών) «δένουν» το αδρανές με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή στη φθορά μετά από τριβή και κρούση (LA) και σχεδόν μηδενική φθορά στην απότριψη (AAV).

3. Τις επιφάνειες αδυναμίας. Μηδενικό έως αραιό σύστημα διακλάσεων, έλλειψη φολίδωσης, κ.λ.π. αυξάνουν την αντοχή του αδρανούς στις φθορές.

Με βάση τα παραπάνω η πετρογραφική μελέτη είναι ένα πολύ καλό και φθηνό εργαλείο για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το βαθμό καταλληλότητας ενός πετρώματος για αντιολισθηρό αδρανές. Στην περίπτωση δε που γίνει μελέτη μιας περιοχής με πετρολογικές ανομοιογένειες και εξαλλοιώσεις και ως εκ τούτου απαιτούνται πολλές δοκιμές καταλληλότητας με μεγάλο οικονομικό κόστος (το κόστος των δοκιμών καταλληλότητας για τα μηχανικά χαρακτηριστικά ενός δείγματος ανέρχεται σε περίπου 500 €), η πετρογραφική μελέτη θα μπορούσε να αποτελέσει μια καλή λύση.

Όσον αφορά στους κύριους πετρολογικούς τύπους που απαντούν στον ελληνικό χώρο, τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι υπάρχει αφθονία πετρωμάτων που πληρούν τις ισχύουσες αυστηρές προδιαγραφές του ΥΠΕ-ΧΩΔΕ. Ειδικότερα:

1. Οφιολιθικά συμπλέγματα. Καλύπτουν το 20% περίπου του ελληνικού χώρου. Τα υπερβασικά τους μέλη (δουνίτες, χαρτζβουργίτες) είναι σχεδόν πάντα σερπεντινωμένα σε ποσοστό >20% και δίνουν συνήθως τιμές PSV <50. Υγιή ή με πολύ μικρό βαθμό (<10%) σερπεντινίωσης υπερβασικά και ιδιαίτερα οι χαρτζβουργίτες με υψηλή περιεκτικότητα σε ορθοπυρόξενο (>15%), έχουν εξαιρετικούς δείκτες αντοχής στη φθορά και πλησιάζουν, όσον αφορά το PSV, το όριο του 55. Οι πυροξενίτες (κυρίως ολιβινοί κλινοπυροξενίτες και βαιμπστερίτες) είναι πολύ αδρόκοκκα πετρώματα (οι κρύσταλλοι του διοψιδίου πλησιάζουν πολλές φορές τα 4cm) και ως εκ τούτου ακατάλληλα για αντιολισθηρές χρήσεις. Τα βασικά, όμως μέλη των οφιολίθων και κυρίως οι διαβάσες και ορισμένοι τύποι γάββρων έχουν πολύ καλά έως εξαιρετικά αντιολισθηρά χαρακτηριστικά. Οι με μικρό βαθμό εξαλλοίωσης (κυρίως υδροθερμική) διαβάσες δίνουν Los Angeles από 9 έως 12, AAV από 1 έως 3 και PSV από 54 έως 59. Από το γαββρικό σύστημα, τα μεσόκοκκα, μελανοκρατικά μέλη (μονζοδιορίτες και νορίτες – χαλαζιακοί διορίτες) δίνουν εξ' ίσου καλές τιμές με το διαβάση. Οι μαξιλαροειδείς λάβες και ιδίως αυτές με μεγάλη (>20cm) διάμετρο δίνουν πολύ καλούς δείκτες καταλληλότητας με το PSV να ξεπερνά συνήθως το 60.

Το πρόβλημα με τις λάβες και ιδιαίτερα με τις μικρής διαμέτρου λάβες είναι

αφ' ενός μεν η «υγεία» τους και αφετέρου ο βαθμός αποληψιμότητας αντιολισθηρού αδρανούς. Λόγω της απότομης ψύξης τους και της αντίδρασης τους με το θαλασσινό νερό παρουσιάζουν, οι εξωτερικές κυρίως επιφλοιώσεις τους, έντονο και πυκνό σύστημα διακλάσεων και αυξημένες ποσότητες αργιλικών ορυκτών πράγμα που συντελεί σε μη αποδεκτό, με βάση τις δοκιμές με Na_2SO_4 , δείκτη υγείας.

2. Ενδιάμεση σύσταση ηφαιστειακά (ανδρασίτες, δακίτες, ρουδακίτες κλπ).

Έχουν πολύ καλούς δείκτες αντοχής στη φθορά. Ο δείκτης όμως αντιολισθηρότητας τους φαίνεται ότι εξαρτάται από την περιεκτικότητα και το μέγεθος των φαινοκρυστάλλων. Πολλοί και μικρού μεγέθους φαινοκρύσταλλοι δίνουν υψηλό PSV (συνήθως >60), ενώ λίγοι και μεγάλου μεγέθους φαινοκρύσταλλοι έχουν σαν αποτέλεσμα PSV μικρότερο του 55. Το πρόβλημα με τα ηφαιστειακά αυτά είναι οι ζώνες υδροθερμικών εξαλλοιώσεων που συντελούν αφενός μεν σε μικρό βαθμό απόληψης και αφετέρου σε έντονες διακυμάνσεις των μηχανικών χαρακτηριστικών των.

3. Γρανίτες. Έχουν, όπως αναμενόταν, χαμηλό δείκτη PSV (σχεδόν πάντα μικρότερο του 50). Η διαφορά σκληρότητας των 2 κύριων ορυκτών συστατικών του (χαλαζίας + άστριοι >90%) είναι περίπου 1 μονάδα στην κλίμακα Mohs. Επιπλέον πολλοί γρανίτες παρουσιάζουν και πρόβλημα πλακοειδούς.

4. Μεταμορφωμένα. Μεταβασίτες/πρασινίτες (μεταδιορίτες-μεταγάββροι κλπ) χωρίς έντονη σχιστότητα δίνουν πολλές φορές καλό PSV και αποδεκτούς δείκτες φθοράς. Οι χαλαζίτες δίνουν χαμηλό PSV (κοντά στο 50) και πολύ καλούς δείκτες φθοράς.

5. Ξηματογενή. Τα προβλήματα με τους ψαμίτες προαναφέρθηκαν, ενώ οι συμπαγείς μικροκοκκώδεις αρκόζες θα μπορούσαν (θεωρητικά) να δώσουν καλά αποτελέσματα.

Τέλος όσον αφορά στο νομικό καθεστώς για τη δημιουργία λατομείου σκληρών αδρανών η κατάσταση είναι τραγική. Ο ορισμός ζωνών σκληρών αδρανών δεν έγινε, από ότι γνωρίζουμε, σε κανένα Νομό. Ο πιο πιθανός λόγος φαίνεται ότι είναι το οικονομικό κόστος. Σε αντίθεση με τις ζώνες συνήθων αδρανών, η γεωλογική μελέτη για τον καθορισμό των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων για χρήσεις αντιολισθηρών αδρανών κοστίζει. Απαιτείται λεπτομερής γεωλογική έρευνα (χαρτογράφηση, ερευνητικές εκσκαφές, γεωτρήσεις, εργαστηριακές αναλύσεις) και πλήθος δοκιμών καταλληλότητας. Η δημοπράτηση ενός χώρου για τη δημιουργία λατομείου αντιολισθηρών αδρανών δεν έχει νόημα χωρίς λεπτομερή στοιχεία σχετικά με τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων. Κανείς, πιστεύουμε δεν θα επένδυε εκατοντάδες εκατομμύρια δραχμών με δεδομένα μόνο από τις επιφανειακές ενδείξεις των πετρωμάτων. Το ρίσκο είναι πολύ μεγάλο.

Εκείνο λοιπόν που απομένει για τη δημιουργία λατομείου είναι οι ιδιωτικοί χώροι που είναι συνήθως καλλιεργήσιμες εκτάσεις και άρα είτε το υποκείμενο πέ-

τρωμα είναι επιρρεπές στην αποσάθρωση (δηλ. μαλακό αδρανές) είτε καλύπτεται από μεγάλο, συνήθως, πάχους πλευρικά (κυρίως) κορήματα. Στην περίπτωση δε που οι επιφανειακές ενδείξεις ενός ιδιωτικού χώρου είναι θετικές (χαρτογράφηση της ευρύτερης περιοχής, δειγματοληψίες, αναλύσεις/δοκιμές καταλληλότητας) τότε οι οικονομικές απαιτήσεις του ιδιώτη είναι υπερβολικές. Στη συνέχεια μπαίνουν στο παιχνίδι διάφορες υπηρεσίες και φορείς. Ένας μεγάλος αριθμός αιτήσεων – μελετών – εγκρίσεων κ.λπ. κάνει πολλούς «γύρους» σε διάφορες υπηρεσίες, φορείς κλπ ώσπου να δοθεί τελικά η άδεια. Με την προϋπόθεση ότι ένα άτομο θα ασχολείται σχεδόν αποκλειστικά με το αντικείμενο αυτό και θα ξέρει τι πρέπει να «κάνει», η όλη διαδικασία παίρνει τουλάχιστον 2 χρόνια.

Συμπεράσματα

- Υπάρχει αφθονία πετρολογικών τύπων στον ελληνικό χώρο που πληρούν ακόμη και τις σημερινές, αυστηρές κατά την άποψή μας όσον αφορά στο δείκτη PSV, προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ. Τα καλύτερα, υπό προϋποθέσεις, πετρώματα για την παραγωγή αντιολισθηρών αδρανών είναι τα βασικά μέλη των οφιολίθων και τα ενδιάμεσης σύστασης ηφαιστειακά.
- Η πετρολογική μελέτη είναι ένα πολύ καλό και φθηνό εργαλείο για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το βαθμό καταλληλότητας ενός πετρώματος για την παραγωγή αντιολισθηρών αδρανών.
- Η δοκιμή «υγεία» με θειικά άλατα δεν έχει καμία σχέση με τους λόγους για τους οποίους γίνεται (αντοχή στο θρυμματισμό λόγω καιρικών μεταβολών).

Προτάσεις

- Αλλαγή της νομοθεσίας. Θα μπορούσε, για παράδειγμα, να ισχύει για τα σκληρά αδρανή ότι ισχύει και για τα βιομηχανικά ορυκτά. Θα μπορούσε επίσης να ελαττωθεί ο αριθμός των εμπλεκόμενων υπηρεσιών και φορέων.
- Νέες προδιαγραφές με χαμηλότερο PSV και αυστηρότερους δείκτες LA και AAV. Το Γαλλικό π.χ. σύστημα συμψηφισμού φαίνεται ότι είναι ένα καλό σύστημα. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι κάθε χώρα της Ε.Ε. προσάρμοσε τους δείκτες καταλληλότητας ανάλογα με το τι πετρώματα έχει σε αφθονία.
- Η δοκιμή «υγεία» με θειικά άλατα θα πρέπει είτε να απαλειφθεί, είτε να αντικατασταθεί από τη δοκιμή των διαδοχικών κύκλων ψύξης – απόψυξης.

Σκύρα σιδηροδρομικών γραμμών (Σκύρα ΟΣΕ)

Γενικά

Είναι τα αδρανή (τεμάχια 2,5-7cm) με τα οποία γίνεται η βάση πάνω στην οποία τοποθετούνται οι σιδηροδρομικές γραμμές. Τα αδρανή της βάσης είναι χαλαρά και χρησιμεύουν:

- Στην καλή και σταθερή, με το χρόνο, ευθυγράμμιση των σιδηροτροχιών.

- Στην απορρόφηση των κραδασμών κατά τη διέλευση τρένων.
- Στην ελαστικότητα του δικτύου, και
- Στην αποστράγγιση της βάσης.

Οι κραδασμοί που παράγονται κατά τη διέλευση του τρένου έχουν σαν αποτέλεσμα τριβές και κρούσεις μεταξύ των αδρανών. Αυτές με τη σειρά τους έχουν σαν αποτέλεσμα τη φθορά του αδρανούς. Το παραγόμενο λεπτόκοκκο υλικό είτε απομακρύνεται από τα νερά της βροχής δημιουργώντας έτσι κενά στη βάση με τελικό αποτέλεσμα τη μη καλή ευθυγράμμιση των σιδηροτροχιών, είτε παρασύρεται προς τα κατώτερα τμήματα της βάσης όπου και τσιμεντοποιείται με αποτέλεσμα την ελάττωση της ελαστικότητας του συστήματος και της ικανότητάς του να απορροφά τους κραδασμούς.

Το κύριο ζητούμενο δηλαδή είναι αδρανές (σκύρο) με όσο το δυνατό υψηλότερους δείκτες αντίστασης στη φθορά μετά από τριβή και κρούση.

Προδιαγραφές

Εκτός από τα φυσικά χαρακτηριστικά των σκύρων όπως κοκκομετρική σύνθεση, σχήμα κόκκων, ομοιογένεια και καθαρότητα, οι απαιτήσεις του Οργανισμού Σιδηροδρόμων Ελλάδας όσον αφορά στα μηχανικά χαρακτηριστικά των σκύρων αναφέρονται αποκλειστικά στο δείκτη **στιγμαϊάς σκληρότητας** ή άλλως δείκτη **DRi**. Η τιμή του δείκτη αυτού προκύπτει από την τοποθέτηση σε διάγραμμα δύο εργαστηριακά μετρήσιμων δεικτών του γνωστού δείκτη Los Angeles και του δείκτη Deval.

Η δοκιμή Los Angeles γίνεται όπως και για τα αντιολισθηρά αδρανή με τη διαφορά ότι οι στροφές του κυλίνδρου είναι 1000. Η δοκιμή Deval αναφέρεται και αυτή στην αντοχή του αδρανούς σε τριβές και κρούσεις. Γίνεται και αυτή σε περιστρεφόμενο κύλινδρο που δεν περιέχει όμως ασάλινες σφαίρες. Η δοκιμή Deval γίνεται σε «ξηρό» (μόνο τα σκύρα) και σε υγρό (σκύρα + νερό) περιβάλλον. Έτσι προκύπτουν δύο τιμές **Dri**. **Υγρό DRi και ξηρό DRi**.

Για το σιδηροδρομικό δίκτυο υψηλών ταχυτήτων απαιτείται εδώ και περίπου 1 χρόνο **DRi ≥ 16**. Από το διάγραμμα που προαναφέρθηκε προκύπτει ότι το Los Angeles θα πρέπει να είναι <21. Ασβεστολιθικά με τέτοια τιμή LA δεν υπάρχουν και άρα αποκλείονται έμμεσα από τις δημοπρασίες του ΟΣΕ. Όλο σχεδόν όμως το σιδηροδρομικό δίκτυο είναι στρωμένο με **ασβεστολιθικά σκύρα**.

Πετρολογικοί τύποι

Παρά το μικρό αριθμό δοκιμών καταλληλότητας που κάναμε στο ΙΓΜΕ οι πετρολογικοί τύποι που φαίνεται ότι πληρούν τις σημερινές προδιαγραφές του ΟΣΕ είναι:

- Πετρώματα που προαναφέρθηκαν σαν κατάλληλα για αντιολισθηρές χρήσεις με εξαίρεση τις μαξιλαροειδείς λάβες.

- Όλα γενικά τα μαγματικά πετρώματα (γρανίτες, γρανοδιορίτες κ.λπ.) με μικρή τεκτονική καταπόνηση.
- Τα υπερβασικά μέλη των οφιολίθων (κυρίως οι χαρζβουργίτες) με πολύ μικρό έως μηδενικό βαθμό εξαλλοίωσης.

Υπάρχει αφθονία τέτοιων πετρωμάτων στον ελληνικό χώρο αλλά για τους ίδιους ακριβώς λόγους που προαναφέρθηκαν για τα αντιολισθηρά το αποτέλεσμα είναι ότι αφενός μεν όλο σχεδόν το σιδηροδρομικό μας δίκτυο να είναι στρωμένο με ασβεστολιθικά σκύρα και αφετέρου να γίνονται εισαγωγές διαβάση!!!, γρανίτη!!! κ.λπ. από γειτονικές χώρες με τεράστιο οικονομικό κόστος. Τα τρία (3), γνωστά σ' εμάς, λατομεία παραγωγής σκύρων ΟΣΕ έχουν για διαφορετικούς λόγους το καθένα τα δικά τους προβλήματα. Οι προτάσεις μας είναι λίγο πολύ οι ίδιες που αναφέρθηκαν για τα αντιολισθηρά αδρανή.

Βιβλιογραφία

- ΒΕΡΑΝΗΣ Ν. και ΠΑΛΑΙΟΚΩΣΤΑΣ Γ. (2001). Εντοπισμός και αξιολόγηση λατομικών περιοχών με σκληρά αδρανή πετρώματα στην Περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας (αδημ. Έκθεση ΙΓΜΕ – Κοζάνη, σελ. 51)
- ΒΙΔΑΚΗΣ Ε., ΠΑΠΑΤΡΕΧΑΣ Χ. (1998). Για την καταλληλότητα των πετρωμάτων ως αδρανή υλικά ειδικών χρήσεων (αντιολισθηρά υλικά – σκύρα υλικά σιδηροδρομικών γραμμών) στην περιοχή «Ντριμάρι» κοινότητας Καλαμακίου του Ν. Φθιώτιδας ΙΓΜΕ Αθήνα, (Αδημ. Έκθεση)
- HARRISON D. and BLOODWORTH A. (1994). Construction Materials. Industrial Minerals Laboratory Manual. Technical report WG/94/12. Miner. and Petr. Series. BGS, Nottingham, UK. pp 72
- ΚΑΖΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α. (1992). Ολισθηρότητα οδών και αντιολισθηρά κατασκευαί. Συν. ΤΕΕ κεντρικής Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, σελ. 16
- ΛΟΪΖΟΣ Α., ΠΡΑΠΙΔΗΣ Μ., ΣΤΑΜΟΥΛΑΚΗΣ Γ. και ΣΙΑΜΟΠΟΥΛΟΣ Γ. (1996). Συμβολή για την αξιοποίηση νέων πηγών σκληρών αδρανών στο πλαίσιο της κατασκευής αντιολισθηρών ασφαλιστικών οδοστρωμάτων. 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο ασφαλιστικών μιγμάτων και οδοστρωμάτων, σελ.11.
- ΝΤΑΜΠΙΤΖΙΑΣ Σ., ΧΡΥΣΟΣΤΟΜΙΔΗΣ Π., ΜΑΛΤΖΑΡΗΣ Φ., ΝΥΜΦΟΠΟΥΛΟΣ Μ., ΣΤΑΪΚΟΠΟΥΛΟΣ Γ., ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ Ν., ΚΟΥΓΚΟΥΛΗΣ Χ., ΗΛΙΑΔΗΣ Α. (1999). Εντοπισμός και αξιολόγηση των σκληρών αδρανών πετρωμάτων στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας ΠΜΚΜ – ΙΓΜΕ, Θεσσαλονίκη. Αδημ. Έκθεση, σελ. 51
- ΝΤΑΜΠΙΤΖΙΑΣ Σ., ΒΕΡΑΝΗΣ Ν., ΧΡΥΣΟΣΤΟΜΙΔΗΣ Π., ΝΥΜΦΟΠΟΥΛΟΣ Μ., ΘΕΟΔΩΡΟΥΔΗΣ Α., ΗΛΙΑΔΗΣ Α., ΕΠΙΤΡΟΠΟΥ Ν., ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ Δ., ΡΑΣΣΙΟΥ Α., ΠΑΛΑΙΟΚΩΣΤΑΣ Γ., ΚΑΡΑΝΤΑΣΗ Σ. (2001). Έρευνα λατομικών περιοχών σκληρών αδρανών κατά μήκος της Εγνατίας Οδού. ΙΓΜΕ, ΠΜΚΜ. Αδημ. Έκθεση, 75 σελ.

<p style="text-align: center;">ΗΜΕΡΙΔΑ «ΑΔΡΑΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ» Επιτροπή Οικονομική Γεωλογίας, Ορυκτολογίας, Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας</p>	<p style="text-align: center;">ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2003</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 65-81</p>
---	---	--

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ
 ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ
 ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ: ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΙΑ
 ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ**

I. Μάστορης¹, Γ. Δελαγραμμάτικας², Μ. Καρμής³, Β. Μέλφος⁴

Περίληψη

Η αξιολόγηση πρώτων υλών από πλευράς ποιοτικών χαρακτηριστικών, ορυκτολογικών και φυσικομηχανικών ιδιοτήτων, είναι μεγάλης σημασίας για τη βιομηχανία τσιμέντου, καθώς επηρεάζει όλες τις αποφάσεις που αφορούν στη διαμόρφωση των μιγμάτων τροφοδοσίας, στην επιλογή των διεργασιών και της τεχνολογίας του εξοπλισμού που θα εφαρμοσθεί, και στον εν γένει σχεδιασμό των εγκαταστάσεων του εργοστασίου. Η διακύμανση του χημισμού και της ορυκτολογικής δομής των πρώτων υλών, όπως εκφράζεται από τα συνήθη στατιστικά μεγέθη με κυριότερο την τυπική απόκλιση, είναι μεταξύ των παραμέτρων αποφασιστικής σημασίας για την επιλογή των μεθόδων και συστημάτων εκμετάλλευσης, διαχείρισης και προομοιογένειας. Περαιτέρω, η παραγωγή κλίνκερ και τσιμέντου απαιτεί την εκτίμηση αυτών των παραμέτρων διακύμανσης, ώστε να προβλεφθούν τα κατάλληλα και ρεαλιστικά μίγματα τροφοδοσίας και να επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή μεταβλητότητα στα κύρια χαρακτηριστικά, με γνώμονα – ιδιαίτερα – τη σταθερότητα της αλεσμένης πρώτης ύλης τροφοδοσίας του περιστροφικού κλιβάνου. Η πρόκληση για το εργοστάσιο είναι να ενσωματώσει τα στοιχεία του σχεδιασμού και προγραμματισμού των εργασιών εκμετάλλευσης και διαχείρισης των πρώτων υλών στο συνολικό βιομηχανικό σύστημα παραγωγής.

Η παρούσα εργασία εξετάζει το θέμα αυτό από την πλευρά του σχεδιασμού του συστήματος παραγωγής και παρουσιάζει τις βασικές αρχές μιας μεθοδολογίας που στοχεύει στη βελτιστοποίηση του προγράμματος εκμετάλλευσης και των μετέπειτα διεργασιών. Για το σκοπό αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από επιλεγμένες μελέτες-εφαρμογές (case studies) σε λειτουργούντα λατομεία, με πρώτες ύλες ιζηματογενείς σχηματισμούς.

1. Υπεύθυνος Πρώτων Υλών, Τεχνική Δ/ση Ομίλου ΑΕ Τσιμέντων TITAN, Αθήνα, e-mail: mastoris@titan.gr

2. Σύμβουλος Τεχνολογίας, ΑΕ Τσιμέντων TITAN, Αθήνα

3. Mining and Minerals Engineering, Virginia Tech, Blacksburg, Virginia, U.S.A.

4. Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., ΤΚ 541 24 Θεσσαλονίκη

Abstract

The evaluation of raw materials in terms of quality profile, mineralogical character and mechanical properties is of great importance to the cement industry. The variability of their chemistry and structure is among the decisive design parameters in the choice of any mining, handling and preblending systems. Furthermore, clinker and cement production require sound estimates of the above parameters, to help produce some appropriate and realistic raw mix configurations and achieve minimum standard deviation of the major components.

This paper addresses this subject from the perspective of a cement producer and presents the principles of a methodology aimed at optimizing mine planning and process design. Finally, results from case studies on actual sedimentary deposits currently in operation are discussed.

Εισαγωγή

Γενικά περί ομοιογενοποίησης

Η ομοιογενοποίηση των μιγμάτων πρώτων υλών για την τροφοδοσία του περιστροφικού κλιβάνου (ΠΚ) παραγωγής κλίνκερ (ενδιάμεσο προϊόν για την άλεση προς παραγωγή του τσιμέντου) αποτελεί σημαντικό μέρος του σχεδιασμού των διεργασιών, διαδικασιών και συστημάτων στη σύγχρονη βιομηχανία τσιμέντου. Με βάση τα θεωρητικά μοντέλα, αλλά και την καθημερινή πρακτική, διαπιστώνεται ότι η διακύμανση στις χημικές, φυσικές και ορυκτολογικές ιδιότητες επηρεάζει άμεσα την έψηση στον ΠΚ. Επιπλέον, οι μεταβολές αυτές επιδρούν στην ποιότητα των παραγόμενων κλίνκερ και τσιμέντου, καθώς επηρεάζουν τόσο τη σταθερότητα του «δυναμικού» του τελικού προϊόντος όσο και άλλες σημαντικές ιδιότητες, όπως την ανάπτυξη και τα χαρακτηριστικά των ορυκτολογικών φάσεων του κλίνκερ, την περιεκτικότητα σε ελεύθερα άσβεστο, κ.ά. Επίσης είναι πλέον αποδεκτό ότι η οποιαδήποτε βελτίωση στην ομοιογενοποίηση του τελικού προϊόντος πρέπει να ξεκινάει από την εξόρυξη των πρώτων υλών, που γίνεται συνήθως από επιφανειακές εκμεταλλεύσεις λατομείων. Κατά συνέπεια το σύστημα της διαχείρισης, αποθήκευσης και ανάμιξης των πρώτων υλών αποτελεί βασικό πεδίο λειτουργίας κατά την παραγωγή του τσιμέντου και συνήθως προϋποθέτει υψηλό κόστος εξοπλισμού, ενώ ο σχεδιασμός του θα πρέπει να βασίζεται σε αξιόπιστες εκτιμήσεις και να είναι συμβατός με το γενικότερο σύστημα των εγκαταστάσεων του εργοστασίου.

Η ομοιογενοποίηση μπορεί να επιτευχθεί με δύο ειδών διαδικασίες, είτε με τη «σύνθεση» (*blending*) είτε με την «ανάμιξη» (*mixing*). Ο όρος «σύνθεση» (*Σημείωση: ο όρος σύνθεση χρησιμοποιείται εδώ καταχρηστικά ώστε να δηλώσει τη διαφορά από την απλή ανάμιξη*) αναφέρεται στο συνδυασμό ή/και τη συν-διαχείριση με τελικό σκοπό τη συν-κατανάλωση δύο ή περισσότερων διαφορετικών υλικών υπό μορφή διαδοχικών στρώσεων που συνθέτουν έναν σωρό. Με τον όρο «ανάμιξη» εννοείται η ξεχωριστή επεξεργασία διαφορετικών πρώτων υλών (π.χ. μέσω ξεχωριστών σωρών ή/και διαφορετικών, ενδιάμεσων σιλό αποθήκευσης) και η τελική

συν-τροφοδοσία τους επί ταινίας ή άλλου μέσου τροφοδοσίας του μύλου άλεσης (MA) της φαρίνας. Οι δύο διαδικασίες μπορούν να εφαρμοστούν ξεχωριστά ή ακόμα και να συνδυαστούν προκειμένου να εξασφαλιστεί ευελιξία και αύξηση της απόδοσης του συνολικού συστήματος διαχείρισης (HOLDERBANK 1978).

Με την εφαρμογή και των δύο παραπάνω διαδικασιών μπορεί να επιτευχθεί υψηλή απόδοση ομοιογενοποίησης (*homogenizing efficiency, HE*), που εκφράζεται συνήθως με το λόγο των εκτιμήσεων της τυπικής απόκλισης στην τροφοδοσία εισόδου προς το αντίστοιχο μέγεθος στην έξοδο. Εντούτοις, το πεδίο εφαρμογής τους περιορίζεται από τα χαρακτηριστικά και ιδιαίτερα το χρονικό εύρος της διακύμανσης, που παρουσιάζουν τόσο η χημική σύσταση των πρώτων υλών όσο και οι άλλες παράμετροι ενδιαφέροντος, η ομοιογενοποίηση των οποίων κρίνεται απαραίτητη (ορνυτολογικά χαρακτηριστικά κ.λπ.). Για το λόγο αυτό η προετοιμασία και διαχείριση για την επίτευξη ομοιογένειας των πρώτων υλών και του παραγόμενου αλεσμένου μίγματος γίνεται σε διάφορα στάδια και η επιτυχία της εφαρμογής της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο των διακυμάνσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους. Ο Πίνακας 1 συνοψίζει αυτά τα στάδια διαχείρισης, σε αντιστοιχία με τις διαδικασίες ομοιογενοποίησης και τους τύπους διακυμάνσεων (HOLDERBANK 1978). Η παρουσίαση με τον Πίνακα είναι ενδεικτική και όχι εξαντλητική των σταδίων.

Πίνακας 1. Καταλληλότητα των Διαδικασιών Ομοιογενοποίησης και Στάδια

Στάδιο Ομοιογενοποίησης	Διαδικασία Ομοιογενοποίησης	Τύπος Διακύμανσης Πρώτων Υλών
Επιλεκτική εξόρυξη	Σύνθεση	Μακροπρόθεσμες έως μεσοπρόθεσμες διακυμάνσεις
Προομοιογένεια (σωροί)	Σύνθεση	Μεσοπρόθεσμες έως μακρο- πρόθεσμες διακυμάνσεις
Δοσομετρική τροφοδοσία (μέσω σιλό και τροφοδοτών)	Σύνθεση	Μακροπρόθεσμες έως μεσο- πρόθεσμες διακυμάνσεις
Άλεση μίγματος α' υλών (παραγωγή φαρίνας ή <i>slurry</i>)	Ανάμιξη	Βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις
Ομοιογενοποίηση της αλεσμένης φαρίνας ή <i>slurry</i>	Ανάμιξη/Σύνθεση	Βραχυπρόθεσμες έως μεσο- πρόθεσμες διακυμάνσεις
Βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις:	λεπτά, ώρες	
Μεσοπρόθεσμες διακυμάνσεις:	1-5 ημέρες	
Μακροπρόθεσμες διακυμάνσεις:	5-7 ημέρες ή περισσότερο	

Η επίδραση κάθε σταδίου θα πρέπει να αξιολογείται κατάλληλα και με βάση πραγματικά στοιχεία από δειγματοληψίες και παρακολούθηση της διακύμανσης των ποιοτικών παραμέτρων, ειδικά στην περίπτωση νέων εργοστασίων, όπου απαιτείται η επιλογή και ο σχεδιασμός των μεθόδων και εγκαταστάσεων, διότι είναι δυνατόν να υπάρχει σημαντική επίδραση στη συνολική απόδοση και τη λειτουργία του μελλοντικού συστήματος παραγωγής.

Απαιτήσεις για την παραγωγή κλίνκερ

Οι πρώτες ύλες για την παραγωγή κλίνκερ ως ενδιάμεσου προϊόντος για την άλεση τσιμέντου τύπου *portland*, πρέπει – υπό ιδανικές συνθήκες – να πληρούν τις εξής προϋποθέσεις: να είναι ομοιογενείς, με χαμηλή υγρασία, να θραύονται, αλέθονται και ψήνονται (σε θερμοκρασία έως 1450 °C) με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η χημική τους σύσταση να αποτελείται κυρίως από: CaO (39-44%), SiO₂ (13-16%), Al₂O₃ (2,5-4,5%), με χαμηλή περιεκτικότητα σε MgO, ελεύθερο χαλαζία και πτητικά συστατικά όπως τα: αλκάλια, χλώριο, θεικές ενώσεις κ.ά. Για παράδειγμα, ιδανική πρώτη ύλη θα ήταν οι πλούσιες σε ασβέστιο μάργες, με τις επιθυμητές συγκεντρώσεις πυριτίου, αργιλίου και σιδήρου, με χαμηλά άλατα αλκαλικών γαιών, χαμηλό μαγνήσιο και χωρίς πτητικές ενώσεις.

Εντούτοις, στην πραγματικότητα τα εργοστάσια συνήθως εξασφαλίζουν τις πρώτες ύλες τους από λατομεία της περιοχής τους ή από κοντινούς προμηθευτές, με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος, με εξαίρεση κάποια διορθωτικά υλικά που συμμετέχουν με μικρά ποσοστά στο μίγμα. Επιπλέον, οι σημερινοί περιβαλλοντικοί περιορισμοί για τη λειτουργία επιφανειακών εκμεταλλεύσεων, μαζί με την εξάντληση των κοιτασμάτων με παραδοσιακά ικανοποιητικά ποιοτικά χαρακτηριστικά, δημιουργούν πρόσθετα προβλήματα.

Έτσι, όπως είναι φυσικό, η τάση για τη βιομηχανία τσιμέντου είναι (και θα γίνεται πιο έντονη στο μέλλον) να χρησιμοποιούνται και ανομοιογενείς πρώτες ύλες, με υψηλά ποσοστά σε πτητικά και άλλα βλαβερά συστατικά, καθώς είναι δυνατόν να είναι οι μόνες διαθέσιμες και μάλιστα με χαμηλό κόστος. Επίσης είναι πολύ σπάνιο πλέον να εξασφαλίζεται η εκμετάλλευση των «επιθυμητών» κοιτασμάτων, δηλ. αυτών που παρουσιάζουν καθορισμένη χημική και ορυκτολογική σύσταση και φυσική ομοιογένεια των βασικών οξειδίων (CaO, SiO₂ κ.λπ.). Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να εκμεταλλεύονται και να συν-διαχειρίζονται ταυτόχρονα περισσότερες πηγές πρώτων υλών με εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως επίσης να γίνονται προσθήκες διαφόρων διορθωτικών υλικών, όπως τα παραπροϊόντα από άλλες βιομηχανίες (μεταλλουργικές σκουριές, τέφρες, απόβλητα από την επεξεργασία μετάλλων κ.ά.). Τέλος, ένα σημαντικό γεγονός είναι ότι μπορούν – υπό συνθήκες – να χρησιμοποιηθούν ακόμη και παραπροϊόντα λατομείων, π.χ. υπερκείμενα από την αποκάλυψη, παιπάλη ή άλλα μη εμπορεύσιμα κλάσματα αδρανών, ή ακόμη και ρυπασμένα εδάφη. Λόγω της περιβαλλοντικής νομοθεσίας, αλλά και της αντα-

γωνιστικής τιμολόγησής τους, τέτοιες εναλλακτικές πηγές πρώτων υλών αρχίζουν τα τελευταία χρόνια να πλεονεκτούν σε σχέση με τις συμβατικές. Εδώ πρέπει να προστεθούν και οι μη ανθρακικές πρώτες ύλες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικές πηγές CaO (π.χ. σκουριές υψικαμίνων ή καμίνων τόξου), χωρίς όμως η έψήσή τους να ευθύνεται για την παραγωγή CO₂ και άρα πλεονεκτούν από πλευράς περιβαλλοντικής απόδοσης του συστήματος παραγωγής.

Επομένως ο στόχος πρέπει να είναι η προσαρμογή της βιομηχανίας τσιμέντου στις ανωτέρω αλλαγές, με αυξημένη απόδοση των διεργασιών και βελτίωση της ποιότητας. Αυτό μπορεί να συμβεί με την επίτευξη σταθερού και υψηλού «δυναμικού» του κλίνκερ, που ξεκινά από την αποδοτική ομοιογενοποίηση σε όλα τα στάδια, δηλ. από την εξόρυξη πρώτων υλών στο λατομείο, έως και την τροφοδοσία φαρίνας στον ΠΚ.

Η καταλληλότητα της χημικής σύστασης των μιγμάτων πρώτων υλών προς παραγωγή κλίνκερ για τσιμέντο τύπου *portland*, ελέγχεται από διάφορες παραμέτρους. Μεταξύ αυτών οι σημαντικότερες είναι ο βαθμός κορεσμού σε άσβεστο (*Lime Saturation Factor* ή *LSF*) και η φάση του αλίτη στο κλίνκερ (*alite*, C₃S), που εκφράζονται συνήθως ως (FUNDHAL 1979 και CHRISTENSEN 1979):

$$LSF = 100 (CaO) / (2,8 SiO_2 + 1,2 Al_2O_3 + 0,65 Fe_2O_3) \%$$

$$C_3S = 4,07 CaO - 7,6 SiO_2 - 6,72 Al_2O_3 - 1,43 Fe_2O_3 - 2,85 SO_3 \%$$

Τα πλέον αποδεκτά κριτήρια για τις παραπάνω παραμέτρους, με βάση αναφοράς την τροφοδοσία (φαρίνα) προς τον ΠΚ δίνονται στον Πίνακα 2 (HOLDERBANK 1978).

Πίνακας 2. Κριτήρια Σταθερότητας για την Τροφοδοσία (Φαρίνας) στον ΠΚ

Ποιοτικές Παράμετροι	Κριτήρια: Εκτιμήσεις Τυπικής Απόκλισης (SD)
% SiO ₂ ή CaO	≤ 0,15
% C ₃ S	≤ 2,5
% LSF	≤ 1,0

(Σημείωση: Οι τιμές της τυπικής απόκλισης (SD) είναι αποδεκτές για εύρος τιμών LSF μεταξύ 94 και 98%. Εφόσον το LSF είναι κάτω από 94% τότε μπορούν να υιοθετηθούν και υψηλότερες τιμές SD).

Το μίγμα των πρώτων υλών πρέπει να αλεστεί σε λεπτότητα που εκφράζεται ως ποσοστό 5-15% συγκρατούμενο σε κόσκινο 90 μm, ανάλογα και με το ποσοστό του περιεχόμενου ελεύθερου χαλαζία και τη γενικότερη ορυκτολογική δομή των βασικών οξειδίων.

Τεχνικές και τεχνολογίες ομοιογενοποίησης

Όταν αντιμετωπίζονται προβλήματα αξιολόγησης και καταλληλότητας του συστήματος διαχείρισης των πρώτων υλών που τροφοδοτούνται για την παραγωγή τσιμέντου, θα πρέπει οπωσδήποτε να λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω:

Ο προγραμματισμός και έλεγχος της παραγωγής του λατομείου θα πρέπει απαραίτητα να ικανοποιεί συγκεκριμένους στόχους (SMIDTH 1998):

- α) Βέλτιστη αξιοποίηση των αποθεμάτων των πρώτων υλών λαμβάνοντας υπόψη τη σταδιακή εξόφληση των αποθεμάτων, τα οικονομικά μεγέθη της διαχείρισης των λατομικών εργασιών, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων και τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς (HINTSTEINER 1992).
- β) Σταθερό μέσο όρο ποιοτικών χαρακτηριστικών των πρώτων υλών που συνήθως προσδιορίζεται μετά από σαφή διάκριση-κατάταξη των αποθεμάτων του λατομείου σε κατηγορίες «υψηλού» και «χαμηλού» και απαιτεί τη συνδυασμένη εκμετάλλευσή τους (MORTENSEN 1987).
- γ) Βέλτιστη ομοιογένεια των πρώτων υλών (KJOER 1985).

Η διαχείριση των πρώτων υλών που μεταφέρονται από το λατομείο θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- α) Κατάλληλο έλεγχο των ενδιάμεσων σωρών αποθήκευσης στους χώρους του εργοστασίου.
- β) Αποτελεσματική προομοιογενοποίηση του υλικού που παράγεται μετά τις θραύσεις και με τη βοήθεια ενός ή περισσότερων συστημάτων αποθήκευσης και προομοιογένειας. Οι αποτελεσματικότερες και ευρύτερα εφαρμοζόμενες μέθοδοι είναι: β1. Η μέθοδος *Chevron* επιμήκους σωρού προομοιογένειας (*Chevron Longitudinal Homogenizing, LHO*) με αποθέτη τύπου γέφυρας ή η κυκλική *Chevron* (*Circular Chevron Homogenizing, CHO*) με αποθέτη τύπου δίσκου και β2. Η μέθοδος *Windrow* με απολήπτη τύπου εκσκαφέα-γέφυρας που φέρει αλυσίδα με κάδους (*Bucket Chain Excavator, BCE*). Ο σχεδιασμός και καθορισμός των μιγμάτων πρώτων υλών θα πρέπει να στοχεύει στην επίτευξη της αξιοπιστίας και ευελιξίας του ποιοτικού ελέγχου των μιγμάτων τροφοδοσίας του *ΜΑ*. Για το λόγο αυτό προτιμούνται γενικά μίγματα με τέσσερα συστατικά (MIKKELSEN 1982, BRADE 1977, WEDDIG 1977), ώστε να είναι δυνατή η ρύθμιση τριών δεικτών ή στόχων.
- γ) Αξιόπιστο, συνεχή (ιδεατά *on-line*) έλεγχο των ποιοτικών χαρακτηριστικών (BORG 1999).

Η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας του σιλό ομοιογένειας και του συστήματος τροφοδοσίας του *ΠΚ*. Τα σύγχρονα σιλό ομοιογένειας σχεδιάζονται για συνεχή λειτουργία (*blending*), δηλ. συνεχή ομοιογενοποίηση της αλεσμένης *φαρίνας* με υψηλή απόδοση και επιτρέπουν τη διατήρηση χαμηλής δυναμικότητας αποθήκευσης, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το κόστος εγκατάστασης.

Μελέτες – Εφαρμογές (Case Studies)

Διενεργήθηκε μια σειρά από μελέτες επί πραγματικών εφαρμογών (*case studies*) σε ιζηματογενή κοιτάσματα λειτουργούντων λατομείων, με σκοπό την ποιοτική

κατάταξη των αποθεμάτων τους και την εξαγωγή αξιόπιστων εκτιμήσεων και προτάσεων, σχετικά με την επίδραση των εργασιών της εξόρυξης, διαχείρισης και προομοιογένειας στη σταθερότητα των τελικών μιγμάτων τροφοδοσίας των πρώτων υλών. Δημιουργήθηκε με αυτόν τον τρόπο μια ικανοποιητική γνωστική βάση που επέτρεψε τόσο την ερμηνεία των δομικών χαρακτηριστικών των κοιτασμάτων, όσο και τη συγκριτική αξιολόγηση της απόδοσης των διαφορετικών συστημάτων διαχείρισης των πρώτων υλών.

Κάθε λατομείο θεωρήθηκε ως μια ξεχωριστή περίπτωση με διαφορετικές απαιτήσεις σε επίπεδο ανάλυσης, δηλ. όσον αφορά στην ακολουθούμενη μέθοδο μοντελοποίησης και την ευκρίνεια αυτής. Εντούτοις, υπήρξε προσπάθεια ώστε να προσεγγισθούν όλες οι περιπτώσεις μελέτης με συστηματικό και ομοιόμορφο τρόπο. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιελάμβανε το συνδυασμό των παρακάτω λειτουργιών:

- αξιολόγηση της γεωλογίας της περιοχής και των δεδομένων από τις ερευνητικές γεωτρήσεις
- μοντελοποίηση των κοιτασμάτων με χρήση εναλλακτικών στατιστικών και γεωστατιστικών μεθόδων
- ενσωμάτωση του μοντέλου με το γεωλογικό περιβάλλον και κατασκευή μιας ρεαλιστικής κατάταξης των αποθεμάτων με ποιοτικά κριτήρια
- αξιοποίηση των ανωτέρω εκτιμήσεων με σκοπό τον προγραμματισμό και έλεγχο της παραγωγής, σε σχέση με τις ανάγκες διαχείρισης και προομοιογένειας των πρώτων υλών

Μια συνοπτική περιγραφή των στοιχείων του κάθε κοιτάσματος, τους συστήματος παραγωγής και των συνθηκών λειτουργίας δίνεται παρακάτω για πέντε περιπτώσεις εφαρμογών που περιέλαβε η μελέτη.

Οι ασβεστόλιθοι του λατομείου Pennsuco της Florida, USA (εργοστάσιο Pennsuco)

Το κοιτάσμα που βρίσκεται στη νοτιοανατολική Florida των ΗΠΑ, αποτελείται από έναν σχεδόν επίπεδο, απολιθωματοφόρο, ιζηματογενή σχηματισμό Πλειστοκαινικής ηλικίας. Πρόκειται για αμμούχους ασβεστόλιθους με μεγάλη οριζόντια εξάπλωση (*placers*) και μικρό συνολικό πάχος στρώματος (25-30 m), που χαμηλότερα μεταπίπτουν πιθανόν σε άμμους, ψαμμίτες κ.ά. Το κοιτάσμα εκμεταλλεύεται κύρια για την παραγωγή αδρανών. Συνολικά εξορύσσονται 10 εκατ. tn πρώτης ύλης το χρόνο.

Η περιεκτικότητα σε χαλαζία, που εμφανίζεται διάσπαρτος ή/και σε ενσρώσεις με εναλλαγές άμμων και ασβεστολιθικών ψαμμιτών, βρέθηκε ότι αυξάνεται με το βάθος. Με βάση την απότομη αλλαγή στην περιεκτικότητα σε SiO₂ και σε βάθος 10 m περίπου από την επιφάνεια — που αποτελεί και καθοδηγητικό οριζο-

ντα μεταξύ των στρωμάτων – διακρίνονται δύο (2) κύριοι οριζόντες ιζηματογένεσης (στρώματα ασβεστόλιθων): ένας ανώτερος, υψηλού ασβεστίου (~ 51% CaO και 8% SiO₂) και ένας κατώτερος, χαμηλού ασβεστίου (~ 43% CaO και 21% SiO₂). Η εξόρυξη γίνεται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου οριζοντα και με τη χρήση εκρηκτικών υλών. Η εκσκαφή διενεργείται από βηματίζοντα καδοφόρο εκσκαφέα (*walking dragline*), μέσα από την τεχνητή λίμνη που προκύπτει μετά από τις ανατινάξεις. Το εξορυγμένο υλικό διαχειρίζεται δια μέσου ξεχωριστών σωρών (*windrows*) – έναν για κάθε οριζοντα – όπου και αποτίθεται για να στεγνώσει. Από εκεί φορτώνεται και μεταφέρεται με τη βοήθεια λαστιχοφόρου εξοπλισμού και τροφοδοτείται σε σιαγωνικό θραυστήρα. Το θραυσμένο υλικό μεταφέρεται στο εργοστάσιο με ταινιόδρομους και αποτίθεται σε ενδιάμεσους σωρούς ανάλογα με την προέλευσή του (δηλ. από οριζοντα υψηλού ή χαμηλού CaO). Μέρος του ανώτερου οριζοντα χρησιμοποιείται τελικά για την τροφοδοσία του εργοστασίου τοιμέντου, ενώ το υπόλοιπο των αναγκών σε ασβέστιο και πυρίτιο καλύπτεται από διάφορα κλάσματα θραυσμένων προϊόντων του εργοστασίου αδρανών. Αυτά προέρχονται από τη θραύση, υγρή κοσκίνηση και ταξινόμηση του πετρώματος που αποτελείται από μίγμα πρώτης ύλης υψηλού και χαμηλού CaO, δηλ. από τη συνδιαχείριση πρώτης ύλης των δύο οριζόντων. Η αναλογία των δύο «*ρευμάτων*» (*streams*) πρώτων υλών (υψηλού και χαμηλού CaO), τα οποία διαχειρίζονται τελικά μέσα από διαφορετικά σιλό τροφοδοσίας των MA, κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 40/60 και 50/50 και η συνολική συμμετοχή τους στο μίγμα των πρώτων υλών του εργοστασίου ξεπερνά το 80%.

Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα από πρόσφατο ερευνητικό πρόγραμμα 13 συνολικά γεωτρήσεων πυρηνοληψίας (565 δείγματα) και τη γεωλογική μελέτη, κατασκευάστηκε ένα προκαταρκτικό μοντέλο των σχηματισμών και προέκυψαν εκτιμήσεις της τυπικής απόκλισης (*in situ*) για τις περιεκτικότητες σε SiO₂ και CaO. Η επίδραση του συστήματος εξόρυξης και διαχείρισης στην ομοιογενοποίηση του πετρώματος αξιολογήθηκε με τη βοήθεια παραμετρικής ανάλυσης. Επίσης, η επίδραση της διαχείρισης μέσω των ενδιάμεσων σωρών αξιολογήθηκε με βάση τα αποτελέσματα δειγματοληψιών για ικανό αριθμό ετών. Οι εκτιμήσεις αυτές συνοψίζονται στον Πίνακα 3. Οι πρώτες ύλες του κοιτάσματος του Pennsuco δεν θεωρούνται πλεονεκτικές για την παραγωγή κλίγκερ, εξαιτίας διαφόρων δυσμενών χαρακτηριστικών, όπως:

Όλο σχεδόν το SiO₂ βρίσκεται σε μορφή ελεύθερου χαλαζία, ο οποίος είναι γενικά δυσάλεστος και δύσψητος. Ο ασβεστόλιθος αποτελείται από κυρίως από μικρο-κρυσταλλικό ασβεστίτη (CaCO₃), ο οποίος είναι γενικά ευάλεστος. Η συνδυασμένη επίδραση των παραπάνω μπορεί να προκαλέσει ποικίλα προβλήματα κατά τη συνάλεση (λόγω του φαινομένου της «*διαφορικής*» άλεσης). Εξυπακούεται επίσης η ανάγκη για βελτιωμένη ομοιογενοποίηση του μίγματος εξαιτίας *συνδιακύμανσης (covariance)* μεταξύ CaO και SiO₂.

Πίνακας 3. Εκτιμήσεις της Τυπικής Απόγλισης (S.D.) και της Απόδοσης Ομοιογενοποίησης (HE) των βασικών οξειδίων CaO/SiO₂ για Ξηματογενή Κοιτάσματα

Μελέτες	In situ S.D. (Κοίτασμα) %	HE λόγος εμφύσης και διαχείρισης (λατομείο)	HE λόγος περατώζω διαχείρισης και προμοιογενοποίησης (εργοστάσιο)	SD στην είσοδο του μύλου άλεσης (MA) γραφίας %	Στάδια Ομοιογενοποίησης και Προτάσεις
1. Ασβεστόλιθος Pennsuro (όνο οφίζοντας υψηλού CaO)	2,6 / 4,6	3,0	υφιστάμενη 1,3	υφιστάμενη 0,67 / 1,18 0,22 / 0,39	Εκσκαφή με <i>walking dragline</i> , επιλεκτική εξόρυξη, απόθεση σε ξεχωριστούς σωρούς (<i>windrows</i>), διαχείριση μέσω ενδιάμεσων σωρών στις πλατείες του εργοστασίου. Προτείνεται: Προμοιογένεια τύπου Chertou LHO
2. Μάργα Usje	2,9 / 3,1	1,3	υφιστάμενη 1,0	προτεινόμενη 2,0	Συμβατική εξόρυξη με άροση και προώθηση (<i>bulldozer</i>), φόρτωση με <i>εσκαφέα (shovel)</i> . Προτείνεται: Επιλεκτική εξόρυξη και ανάμιξη με την εφαρμογή βελτιωμένου σχεδίου εκμετάλλευσης του λατομείου σε Τομείς «υψηλούς» και «χαμηλούς» CaO
3. Άργιλος Λούτσα Ρέμερι	3,3 / 5,1	1,6	3,5 υφιστάμενη	0,59 / 0,91 υφιστάμενη	Συμβατική εξόρυξη με άροση και προώθηση (<i>bulldozer</i>), φόρτωση με λατοχφόρο φορτωτή, διαχείριση μέσω ενδιάμεσων σωρών, προμοιογένεια τύπου <i>Windrow BCE</i> .
4. «Νέα άργιλος» Beni Suef	8,3 / 15,1	5,0	υφιστάμενη 5,0	υφιστάμενη 0,33 / 0,61 0,24 / 0,43	Εκσκαφή με <i>shovel</i> , διαχείριση μέσω ενδιάμεσων σωρών στους χώρους των εργοστασίων, διαχωρισμός της πρώτης ύλης σε δύο ρεφίματα, παράλληλη τροφοδοσία, θραύση και ανάμιξη πάλι σε ένα βεφίμα, διαχείριση μέσω σωρών αποθήκευσης και προμοιογένειας (<i>Chertou LHO</i>). Προτείνεται: Επιλεκτική εξόρυξη από πολλαπλές βαθμίδες και ανάμιξη in situ στο λατομείο
5. «Στείρα» από Άρτιμες	18 / 20	3,5	υφιστάμενη ~ 2,5	υφιστάμενη 2,1 / 2,3 1,0 / 1,1	Εκσκαφή με συμβατικά μέσα (άροση, προώθηση κ.λπ.), επιλεκτική εξόρυξη, κοσκίνηση και διαχωρισμός στο λατομείο, διαχείριση μέσω ενδιάμεσων σωρών επίπου και στις πλατείες του εργοστασίου. Προτείνεται: «Προμοιογένεια» με συμβατικά, λατοχφόρα μέσα

Απουσιάζει εντελώς η «φυσική» ομοιογένεια των σχηματισμών, τόσο σε μικρο-κλίμακα (δηλ. σε επίπεδο κρυσταλλικής δομής) όσο και ανάμεσα στα ορυκτολογικά συστατικά τους.

Λόγω έλλειψης αργιλίου και σιδήρου στο κοίτασμα (πρακτικά υπάρχουν μόνο ίχνη τους), υφίσταται η ανάγκη χρήσης πρόσθετων διορθωτικών συστατικών, όπως βωξίτης και μεταλλουργικές σκουριές, και άλεσης σε λεπτότητα ακόμη και κάτω από 15%, συγκρατούμενου σε κόσκινο 90 μm .

Έχει αποφασιστεί ότι τα «ψιλά» (*finer*) με μέγεθος κόκκου κάτω από 75 μm που προκύπτουν ως παραπροϊόν του εργοστασίου των αδρανών, θα χρησιμοποιούνται μελλοντικά – σε μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό από χημικής πλευράς – στην τροφοδοσία πρώτων υλών. Από προγράμματα δειγματοληψίας και την εμπειρία του παρελθόντος σχετικά με τα «ψιλά», προέκυψαν εκτιμήσεις της τυπικής απόκλισης για τα SiO_2 και CaO περίπου 5 και 9%, αντίστοιχα. Άρα πρόκειται για έντονα ανομοιογενές υλικό.

Για όλους τους παραπάνω λόγους προτάθηκε η εγκατάσταση συστήματος αποθήκευσης και προομοιογένειας τύπου *Chevron LHO* με απόδοση ομοιογενοποίησης (*HE*) τουλάχιστον 3. Άρα, οι εκτιμήσεις της τυπικής απόκλισης (*SD*) για τα βασικά οξείδια (SiO_2 και CaO) στην έξοδο της αποθήκης αναμένεται ότι θα είναι χαμηλότερες από 0,5% εξασφαλίζοντας *SD* στο *LSF* περίπου 1,0% στην τροφοδοσία της φαρίνας στον *ΠΚ*. Η εκτίμηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος εκμετάλλευσης, διαχείρισης και προομοιογένειας και η κατάτμηση σε στάδια ομοιογενοποίησης δίνονται στον Πίνακα 3.

Η μάργα του λατομείου Usje Σκοπίων, FYROM (εργοστάσιο Usje)

Το κοίτασμα του Usje, που αποτελείται από ασβεστούχες μάργες με ποικίλα ποιοτικά χαρακτηριστικά, είναι η βασική πηγή τροφοδοσίας των πρώτων υλών (πάνω από 75%) του γειτονικού εργοστασίου τσιμέντου Usje Σκοπίων (FYROM). Πρόκειται για ιζηματογενή σχηματισμό Μειοκαινικής ηλικίας, με καλή στρωμάτωση, που έχει επηρεασθεί από την τεκτονική της ευρύτερης περιοχής. Η μέση χημική σύσταση της μάργας είναι: 40% CaO , 14% SiO_2 , 5% Al_2O_3 και 2,5% Fe_2O_3 και θεωρείται ιδανική ως κύρια πρώτη ύλη για το σχεδιασμό των μιγμάτων τροφοδοσίας. Η συμμετοχή του ελεύθερου χαλαζία είναι γενικά χαμηλή, ενώ η ορυκτολογική σύσταση και η «φυσική» ομοιογένεια μεταξύ των διαφόρων οξειδίων-συστατικών του πετρώματος ευνοούν την αλεσιμότητα και εψησιμότητα στον *ΠΚ*.

Η βάση δεδομένων που κατασκευάστηκε από 47 γεωτρήσεις πυρηνοληψίας (με συνολικό μήκος 3.200 m) σε κάναβο 100 x 100 m, καλύπτει επιφάνεια περίπου 650.000 m^2 . Με τη βοήθεια του ειδικευμένου λογισμικού πακέτου *Maptek Vulcan* έγινε στατιστική και γεωστατιστική ανάλυση και κατασκευάστηκε μοντέλο του κοιτάσματος σε στοιχειώδεις μονάδες εκμετάλλευσης (*blocks*). Η γεωστατιστική ανάλυση δεν κατέληξε σε σαφή συσχετισμό μέσω βαριογράμματος, ούτε κατέδει-

ξε άλλο δομικό χαρακτηριστικό του κοιτάσματος. Θεωρήθηκε έτσι απαραίτητο να εφαρμοστεί απλή, γραμμική μέθοδος προσέγγισης για όλες τις αναγκαίες εκτιμήσεις. Το κοιτάσμα χωρίστηκε τελικά σε δύο τομείς, με βασικό κριτήριο την περιεκτικότητα σε ασβέστιο και με σκοπό το σχεδιασμό και προγραμματισμό της παραγωγής του λατομείου: τομέας «χαμηλού ασβεστίου» (<40% CaO) και τομέας «υψηλού ασβεστίου» (>40% CaO), με σχεδόν ίδια βάση απολήψιμων αποθεμάτων. Οι τυπικές αποκλίσεις για τις περιεκτικότητες των βασικών οξειδίων (CaO και SiO₂) υπολογίστηκαν για τους δύο τομείς σε 2,0-3,0% περίπου. Η συστηματική δειγματοληψία του θραυσμένου υλικού έδειξε ότι η επίδραση των εργασιών της εκμετάλλευσης και διαχείρισης, εκφρασμένη από το συντελεστή απόδοσης ομοιογενοποίησης, είναι περίπου 1,3.

Προτάθηκε τέλος η εφαρμογή της προγραμματισμένης, επιλεκτικής εκμετάλλευσης από τους δύο τομείς και εν συνεχεία η ανάμιξη της πρώτης ύλης επί τόπου στο λατομείο ή/και στις πλατείες του εργοστασίου ώστε να επιτευχθεί περαιτέρω ελάττωση των τυπικών αποκλίσεων με συντελεστή 2 (επιπλέον απόδοση ομοιογένειας λόγω διαχείρισης, Πίνακας 3). Έτσι μπορούν να προκύψουν αποδεκτές τυπικές αποκλίσεις, τάξης μεγέθους 1,0% για τα βασικά οξείδια CaO και SiO₂, ακόμα και χωρίς την εγκατάσταση κάποιου συστήματος αποθήκευσης-προομοιογένειας. Περαιτέρω, η μίξη όλου του θραυσμένου υλικού μέσω ξεχωριστών σιλό πριν από την τροφοδοσία στους MA θα μπορούσε να ελαττώσει την τυπική απόκλιση των βασικών οξειδίων ακόμη και κάτω από το 1,0% (Πίν. 3).

Τα αργιλόχωματα του λατομείου Λούτσα Ρέμερι Βοιωτίας (εργοστάσιο Καμαρίου)

Το κοιτάσμα αργιλοχωμάτων του λατομείου «Λούτσα Ρέμερι» βρίσκεται στην περιοχή Σκούρων, του οροπεδίου Δερβενοχωριών του Νομού Βοιωτίας και είναι Τεταρτογενούς ηλικίας. Χρησιμοποιείται ως πηγή πρώτης ύλης για την κάλυψη των αναγκών κυρίως σε πυρίτιο και αργίλιο του εργοστασίου τσιμέντου στο Καμάρι Βοιωτίας, που βρίσκεται 16 Km προς τα νοτιοανατολικά. Η εξόρυξη γίνεται αποκλειστικά με μηχανικά μέσα (άρωση και προώθηση με *bulldozer*) από επιφανειακή εκσκαφή κάτω από τη φυσική επιφάνεια του εδάφους, με τη μέθοδο των ορθών, κλειστών βαθμίδων ύψους 5 m. Το αργιλόχωμα θεωρείται σχετικά ομοιογενής σχηματισμός σε ότι αφορά τις περιεκτικότητες των βασικών οξειδίων SiO₂, Al₂O₃ και Fe₂O₃. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην αποτύπωση και έλεγχο της παρουσίας αλκαλίων που αποτελούν –πάνω από κάποια όρια– ιδιαίτερα βλαπτικά συστατικά για την παραγωγική διαδικασία και το τελικό προϊόν. Τα διαθέσιμα στοιχεία της βάσης δεδομένων από δύο γεωτρητικά προγράμματα των ετών 1996 και 1997 (7 γεωτρήσεις, συνολικά 210 m πυρήνων, σε έκταση περίπου 200.000 m²), αξιοποιήθηκαν για τη στατιστική ανάλυση και κατασκευή μοντέλου των απολήψιμων αποθεμάτων του κοιτάσματος σε *blocks*. Η εργασία ανατέθηκε

στην εταιρία εξειδικευμένου λογισμικού για τη μεταλλευτική βιομηχανία, *Data-mine Ltd.* ως μελέτη-παράδειγμα για παρουσίαση. Καθοδηγητικό ορίζοντα στην έρευνα για το κοίτασμα της Λούτσα Ρέμερι αποτελεί η διάκριση των αργιλικών σχηματισμών σε δύο στρώματα: έναν «ανώτερο» σχηματισμό αμμούχων αργίλων με υψηλότερη περιεκτικότητα σε SiO_2 και χαμηλότερη σε K_2O και την υποκειμένη άργιλο (πηλίτες κ.λπ.), με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε SiO_2 και υψηλότερη σε K_2O . Τα στοιχεία αυτά ελήφθησαν υπόψη για την επεξεργασία και βοήθησαν σημαντικά στην ευκρίνεια της μεθόδου ανάλυσης και την εξαγωγή αξιόπιστων εκτιμήσεων. Αν και εφαρμόστηκαν διάφορες γεωστατιστικές μέθοδοι «αναζήτησης», δεν βρέθηκε καμία χωρική συσχέτιση (*spatial correlation*) μεταξύ των δεδομένων, αποφασίστηκε έτσι να χρησιμοποιηθούν απλές γεωμετρικές ή/και στατιστικές μέθοδοι προσέγγισης. Οι εκτιμήσεις που προέκυψαν για τη διακύμανση των περιεκτικότητων σε SiO_2 και CaO έδωσαν μέτριες έως χαμηλές τιμές (~ 5% και 3%, αντίστοιχα). Τα αποτελέσματα συσχετίστηκαν με τις εκτιμήσεις από πρόγραμμα συστηματικής δειγματοληψίας, για περίοδο 5 συνεχόμενων ετών, με την καταγραφή των αναλύσεων από φορτία παραλαβής της πρώτης ύλης πριν την αποθήκευσή της σε ενδιάμεσους σωρούς στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου.

Η απόδοση ομοιογενοποίησης (*HE*) που οφείλεται στη μέθοδο εκμετάλλευσης και διαχείρισης εκτιμάται σε 1,6 περίπου (Πίν. 3). Επιπλέον, μετά από λεπτομερή μελέτη της λειτουργίας της μεθόδου προομοιογένειας και αποθήκευσης τύπου *Windrow BCE* που εφαρμόζεται για τις αργίλους αυτές στο εργοστάσιο του Καμαρίου, προέκυψε η εκτίμηση της απόδοσης ομοιογενοποίησης σε περίπου 3,5 επιπλέον. Λόγω της φύσης της αργίλου ως πρώτη ύλη, η οποία παρουσιάζει ικανοποιητική αλεσιμότητα και εψησιμότητα, με μέτρια περιεκτικότητα σε ελεύθερο χαλαζία και επίσης λόγω της χαμηλής συμμετοχής της στο μίγμα των πρώτων υλών (~ 5%), οι εκτιμήσεις της τυπικής απόκλισης στην είσοδο του *MA* (~ 0,9% και 0,6% για το SiO_2 και το CaO , αντίστοιχα) πρέπει να θεωρούνται αποδεκτές (Πίν. 3).

Η «νέα άργιλος» του εργοστασίου Beni Suef της Αιγύπτου

Το κοίτασμα της «νέας αργίλου» του Beni Suef βρίσκεται στην έρημο Wadi Ghorab, περίπου 140 Km νοτιοανατολικά του Καΐρου στην Αίγυπτο. Αποτελεί τη βασική πηγή πυριτίου και αργιλίου για την τροφοδοσία στις γειτονικές (10 Km) εγκαταστάσεις τσιμέντου στο Beni Suef. Το κοίτασμα αποτελείται από σχεδόν οριζόντια, ασβεστούχα στρώματα αργίλου, Ανω-ηωκαινικής ηλικίας, με σχετικά μεγάλο πάχος και καλή στρωμάτωση και με παρεμβολές στρωμάτων μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Η ορυκτολογική σύσταση της αργίλου αποτελείται από μίγμα μοντοριλονίτη, καολινίτη και ιλίτη (65%), λεπτόκοκκο ασβεσίτη (25%), γύψο (3%) και διάφορα άλλα ανεπιθύμητα (βλαπτικά) ορυκτά, όπως αστρίους και ορυκτά άλατα. Η παρουσία θείου, αλκαλίων και χλωρίου συνδέεται με το δευτερογενή

εμπλουτισμό σε άλατα των στρωμάτων, καθώς και με την τεκτονική της περιοχής και τη φύση της αργίλου. Το κοίτασμα παρουσιάζει υψηλό βαθμό γεωλογικής πολυπλοκότητας παρά το εστρωμένο, ιζηματογενές προφίλ του. Επίσης δείχνει αυξανόμενη μεταβλητότητα σε σχέση με το βάθος, σε όλα τα βασικά οξειδία και πτητικά (βλαβερά) συστατικά. Όλες οι πληροφορίες μέχρι σήμερα βασίζονται στα αποτελέσματα ενός περιορισμένου σε έκταση γεωτρητικού προγράμματος που καλύπτει 19 συνολικά γεωτρήσεις σε έκταση 2 εκατ. m² (κάναβος 400 × 400 m). Κατά συνέπεια μόνο προκαταρκτική, προσεγγιστική στατιστική ανάλυση των ποιοτικών παραμέτρων του κοιτάσματος είναι δυνατή επί του παρόντος (Πίν. 3). Για το λόγο αυτό προτάθηκε κατά αρχήν περαιτέρω έρευνα με γεωτρήσεις σε κάναβο 100 × 100 m, που θα επιτρέψει την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων σχετικά με το ποιοτικό προφίλ των διαθέσιμων αποθεμάτων και θα βοηθήσει στον προγραμματισμό της ανάπτυξης των μετώπων του λατομείου.

Η εκσκαφή γίνεται με τη βοήθεια μηχανικών εκσκαφών-πτύων (*shovels*). Το χαρακτηριστικό της στρωμάτωσης της αργίλου αξιοποιείται μόνον εν μέρει. Χονδροειδής προομοιογενοποίηση *in situ* επιτυγχάνεται με την κοπή κάθετων τεμαχίων με τη μορφή πάγκων 8-10 m, χωρίς καμία επιπρόσθετη επεξεργασία στο χώρο του λατομείου. Το προϊόν της εξόρυξης μεταφέρεται από το λατομείο στις εγκαταστάσεις θραύσης και αποθηκεύεται σε ενδιάμεση αποθήκη-σωρό τύπου *Chevron LHO*. Η απόληψη γίνεται με απολήπτη από το πλάι (*side scraper*, μέθοδος που δεν προσφέρει προομοιογενοποίηση) και η πρώτη ύλη τροφοδοτείται περαιτέρω σε δεύτερο σωρό προομοιογένειας, (τύπου *Chevron LHO*), όπου αποτίθεται σε στρώσεις από κοινού (ως μίγμα) μαζί με τη θραυσμένη παραγωγή του ασβεστόλιθου. Η συνδυασμένη απόδοση ομοιογενοποίησης για τα δύο συστήματα αποθήκευσης υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε 5,0 για την άργιλο. Μετά από συστηματική δειγματοληψία της θραυσμένης αργίλου προέκυψε ότι η επιπρόσθετη απόδοση ομοιογενοποίησης που οφείλεται στη μέθοδο εκμετάλλευσης και διαχείρισης φτάνει επίσης το 5,0. Και τα δύο προαναφερθέντα στάδια επιφέρουν συνολική μείωση της τυπικής απόκλισης των βασικών οξειδίων (CaO και SiO₂) σε αποδεκτά επίπεδα (Πίν. 3).

Εντούτοις, αξιοποιώντας τις διαθέσιμες πληροφορίες από τη βάση δεδομένων των υφιστάμενων γεωτρήσεων, προκύπτει ότι είναι δυνατόν να επιτευχθεί πρόσθετη απόδοση ομοιογενοποίησης περίπου 1,4. Αυτό απαιτεί την εφαρμογή ενός σχεδίου επιλεκτικής εξόρυξης με πολλαπλές βαθμίδες και ανάμιξη του εξορυγμένου υλικού επί τόπου στο λατομείο μέσω μικρών ενδιάμεσων σωρών. Αυτό θα οδηγούσε σε συνολική απόδοση ομοιογενοποίησης (*HE*) του συστήματος παραγωγής και διαχείρισης περίπου 35 και σε τυπική απόκλιση κάτω από 0,5% για το CaO και το SiO₂, χωρίς την ανάγκη κατασκευής πρόσθετων εγκαταστάσεων ή ιδιαίτερη αύξηση του κόστους λειτουργίας (Πίν. 3).

Τα «στείρα ενδιάμεσα» του λατομείου Άρτιμες (εργοστάσιο Πάτρας)

Το λατομείο Άρτιμες βρίσκεται 15 Km βορειοανατολικά της Πάτρας και χρησιμοποιείται ως βασική πηγή ασβεστόλιθου για την τροφοδοσία των γειτονικών εγκαταστάσεων του εργοστασίου τσιμέντου της Πάτρας. Η γεωλογική δομή της περιοχής των λατομείων είναι αρκετά σύνθετη. Οι ιζηματογενείς σχηματισμοί, Κρητιδικής ηλικίας, αποτελούνται από παρεμβολές ασβεστόλιθων και λεπτών στρωμάτων κερατολίθων με κυμαινόμενη συχνότητα. Οι περιεκτικότητες σε SiO_2 κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 2 και 15% ανάλογα με τη συγκέντρωση κερατολίθων στους σχηματισμούς. Σχετικά πρόσφατα εμφανίστηκε στο κέντρο του λατομείου ένα ασύμφωνο στρώμα αργιλικών σχιστόλιθων (*shales* ή *slates*) πλούσιων σε πυρίτιο και αργίλιο. Παρά το μικρό του όγκο (~ 1 εκατ. m^3), αυτός ο σχηματισμός που παρουσιάζει έντονο δίκτυο κατακλάσεων και σύνθετη ορυκτολογική σύσταση (αποτελείται κυρίως από μοντμοριλονίτη, μαρμαρυγίες, αστρίους και λεπτόκοκκο ασβεστίτη) διχοτομεί το λατομείο εξαιτίας της κλίσης του ($30\text{-}70^\circ$). Έτσι, είναι δυνατόν να προκαλέσει μελλοντικό πρόβλημα στο σχεδιασμό του λατομείου και την ανάπτυξη των βαθμίδων, δεδομένου ότι αυτό το υλικό απαιτεί επιλεκτική εξόρυξη, ξεχωριστή διαχείριση και ιδιαίτερο, επιμελημένο ποιοτικό έλεγχο, σε σχέση με την υπόλοιπη παραγωγή ασβεστόλιθου από τις Άρτιμες. Επιπλέον, βρέθηκε ότι είναι και εξαιρετικά ανομοιογενές υλικό. Για όλους τους παραπάνω λόγους αποφασίστηκε να ερευνηθούν όλες οι δυνατότητες βελτίωσης του υφιστάμενου συστήματος εκμετάλλευσης και διαχείρισης πριν την εισαγωγή των αργιλο-σχιστολιθικών «στείρων» ως πρώτη ύλη για την παραγωγή *φαρίνας*.

Το εξορυγμένο υλικό κοσκινίζεται στην περιοχή της εξόρυξης με σκοπό να διαχωριστούν και να απομακρυνθούν τα χοντρά, ασβεστολιθικά κομμάτια. Παράγονται έτσι επιτόπου στο λατομείο ενδιάμεσοι σωροί από εύθρυπτο, λεπτόκοκκο αργιλοπυριτικό υλικό που μεταφέρεται στη συνέχεια στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου με φορτηγά αυτοκίνητα και αποτίθεται σε πλατείες. Τέλος, αφού αναμιχθεί με άλλες πυριτικές και αργιλικές πρώτες ύλες τροφοδοτείται στους *ΜΑ* για την παραγωγή *φαρίνας*. Η απόδοση ομοιογενοποίησης του συστήματος εξόρυξης και επιτόπιας επεξεργασίας στο χώρο του λατομείου (μαζί με το διαχωρισμό των ασβεστολιθικών) υπολογίζεται σε περίπου 3,5 (Πίν. 3).

Από πρόσφατο πρόγραμμα λεπτομερούς δειγματοληψίας των ενδιάμεσων σωρών των «στείρων» προέκυψε τυπική απόκλιση για το CaO και το SiO_2 περίπου 5%. Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων της ίδιας δειγματοληψίας και μετά από παραμετρική ανάλυση, αξιολογήθηκε ότι με το υφιστάμενο σύστημα της περαιτέρω διαχείρισης στις πλατείες του εργοστασίου δεν μπορεί να επιτευχθεί υψηλότερη απόδοση ομοιογενοποίησης από 2,5 περίπου (Πίν. 3). Επειδή με τις συνθήκες αυτές το τελικό αποτέλεσμα δεν θεωρείται ικανοποιητικό (η τυπική απόκλιση στην τροφοδοσία των *ΜΑ* ξεπερνά το 2% στα βασικά οξείδια CaO και

SiO₂), προτάθηκε η εφαρμογή επιπρόσθετης «προομοιογενοποίησης» με απλά μηχανικά μέσα. Το λεπτόκοκκο υλικό θα πρέπει να διαστρώνεται στις πλατείες της περιοχής του εργοστασίου με φορτηγά και φορτωτή, έτσι ώστε να δημιουργούνται διαδοχικές, επιμήκεις «γραμμές» (*windrows*). Από τη διαδοχή καθορισμένου αριθμού παράλληλων «γραμμών» θα κατασκευάζονται τελικά οριζόντιες, επάλληλες στρώσεις μικρού πάχους. Τελικά θα διαμορφώνεται ένας επιμήκης σωρός απόθεσης με ύψος μικρότερο από 4-5 m, ανάλογα και με τις δυνατότητες του λαστιχοφόρων μέσων. Κατόπιν, η απόληψη της πρώτης ύλης με τη βοήθεια φορτωτή θα πρέπει να γίνεται κάθετα στον άξονα των «γραμμών» και – ταυτόχρονα – με τέτοιο τρόπο ώστε να σαρώνεται ολόκληρη η διαδοχή των στρώσεων. Η τεχνική αυτή προσομοιάζει τη μέθοδο προομοιογένειας *Windrow BCE* και υπολογίστηκε ότι θα μπορούσε να δώσει ισοδύναμη απόδοση ομοιογενοποίησης, δηλ. περίπου 5.

Εφόσον εφαρμοστούν τα ανωτέρω, αναμένονται αποδεκτές τυπικές αποκλίσεις για το CaO και το SiO₂ στην τροφοδοσία του MA, δηλ. περίπου 1,0% (Πίν. 3). Συνεπώς, η αργιλοπυριτική πρώτη ύλη που θα παράγεται από την εμφάνιση των «στείων ενδιάμεσων» στρωμάτων του λατομείου Άρτιμες, λαμβάνοντας υπόψη και τη χαμηλή συμμετοχή της (5% κατά μέγιστο) στο μίγμα των πρώτων υλών που συναλέθονται στους MA φαρίνας, θα μπορεί να τροφοδοτείται χωρίς κίνδυνο για τη σταθερότητα της τροφοδοσίας του ΠΚ.

Συμπέρασμα

Η αξιολόγηση πρώτων υλών από πλευράς ποιοτικών χαρακτηριστικών, ορυκτολογικών και φυσικομηχανικών ιδιοτήτων, είναι μεγάλης σημασίας για τη βιομηχανία τσιμέντου, καθώς επηρεάζει όλες τις αποφάσεις που αφορούν στη διαμόρφωση των μιγμάτων τροφοδοσίας, στην επιλογή των διεργασιών και της τεχνολογίας του εξοπλισμού που θα εφαρμοσθεί, και στον εν γένει σχεδιασμό των εγκαταστάσεων του εργοστασίου. Η παραγωγή κλίγκερ και τσιμέντου απαιτεί την εκτίμηση των παραμέτρων διακύμανσης, ώστε να προβλεφθούν τα κατάλληλα και ρεαλιστικά μίγματα τροφοδοσίας και να επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή μεταβλητότητα στα κύρια χαρακτηριστικά, με γνώμονα – ιδιαίτερα – τη σταθερότητα της αλεσμένης πρώτης ύλης τροφοδοσίας του περιστροφικού κλιβάνου. Η πρόκληση για το εργοστάσιο είναι να ενσωματώσει τα στοιχεία του σχεδιασμού και προγραμματισμού των εργασιών εκμετάλλευσης και διαχείρισης των πρώτων υλών στο συνολικό βιομηχανικό σύστημα παραγωγής.

Οι σύγχρονες μέθοδοι προομοιογένειας και οι τεχνολογικές βελτιώσεις στους τομείς της συνεχούς (*on-line*) ανάλυσης, της αξιοποίησης των σιλό ομοιογένειας και αποθήκευσης κ.λπ., αποτελούν στοιχεία «κλειδιά» για την αποτελεσματική διαχείριση των πρώτων υλών και την ομοιογενοποίηση του αλεσμένου μίγματος (*φαρίνα*) τροφοδοσίας του περιστροφικού κλιβάνου.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι εγκαταστάσεις προομοιογένειας απαιτού-

νται επίσης για να καλύψουν τις ανάγκες σε αποθήκευση, δηλ. να «αποδεσμεύσουν» το εργοστάσιο από το λατομείο, σε επίπεδο άμεσων αναγκών τροφοδοσίας. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται στη γραμμή παραγωγής αυτονομία και ανεξαρτησία – έστω περιορισμένη σε χρόνο – από τις κλιματικές συνθήκες και τυχόν βλάβες του εξοπλισμού, ενώ λύνεται σε μεγάλο βαθμό και το θέμα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η καθ'αυτήν απόφαση, συνεπώς, για την εγκατάσταση ή όχι τέτοιων αποθηκών και εγκαταστάσεων για το εργοστάσιο θεωρείται δεδομένη και δεν εξετάζεται (μόνο) στη βάση του κόστους. Μεγαλύτερης σημασίας αποτελεί η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου και συστήματος προομοιογένειας και του σχετικού εξοπλισμού.

Σε κάθε περίπτωση, η γνώση των γεωλογικών παραγόντων και η εκτίμηση παραμέτρων που προσφέρουν οι τεχνικές προσομοίωσης των κοιτασμάτων, σε συνδυασμό με τον ευέλικτο και αποτελεσματικό έλεγχο ποιότητας που ξεκινά από τα μέτωπα του λατομείου, διασφαλίζουν το βέλτιστο αποτέλεσμα από την εφαρμογή των ανωτέρω μεθόδων-εγκαταστάσεων και τεχνολογικών βελτιώσεων που στοχεύουν στην ομοιογενοποίηση. Τα κόστη που εμπλέκονται με την έρευνα των πρώτων υλών και τις μελέτες που απαιτούνται για την επεξεργασία των δεδομένων, την ανάλυση (μοντελοποίηση), το σχεδιασμό και τον προγραμματισμό των εκμεταλλεύσεων είναι συνήθως μικρά, εφόσον συγκριθούν με το τελικό αποτέλεσμα και με χρονικό ορίζοντα τη συνολική ζωή του κοιτάσματος και του εργοστασίου.

Η σταθερότητα στην τροφοδοσία του περιστροφικού κλιβάνου είναι σε κάθε περίπτωση το επιθυμητό αποτέλεσμα της σύνθεσης των ανωτέρω τεχνικών και τεχνολογιών προομοιογένειας και ομοιογενοποίησης, μαζί με την επιλογή των κατάλληλων εγκαταστάσεων και εξοπλισμού.

Βιβλιογραφία

- BORG J.L. (1999). High frequency blend control. World Cement.
- BRADY M. (1977). Prehomogenization and its application in the cement industry. In: Stacking, Bending, Reclaiming of Bulk Materials. Series on Bulk Materials Handling, Vol. 1 (1975/77), No.5, Trans Tech Publications, pp. 425-428.
- CHRISTENSEN N.H. (1979). Burnability of cement raw mixes at 1400°C / I. The effect of the chemical composition. Cement and Concrete Research, Vol. 9.
- FUNDHAL E. (1979). The burnability of cement raw mixes. Report No. 22 by F.L. Smidth & Co. NS, World Cement Technology.
- HINTSTEINER A.E. (1992). Computerized raw materials management. Report No.103 by F.L. Smidth & Co. NS. International Cement Review.
- HOLDERBANK (1978). Cement Seminar. Switzerland, Vol. 1. Materials Technology.
- KJOER V. (1985). Computerized quarry control. Report No. 84 by F.L. Smidth & Co. A/S. World Cement.

- MIKKELSEN S.O. (1982). Direct feed from store to mill. Report No. 61 by F.L. Smidth & Co. NS. Journal for Preparation and Processing, Vol.12.
- MORTENSEN A.H. (1987). Quarry: computerized mining plan. Report No. 92 by F.L. Smidth & Co. A/S. Proceedings First NCB International Seminar, New Delhi, India.
- SMIDTH F.L. & Co. A/S (1998). The International Cement Production Seminar, Denmark, Vol. I.
- WEDDIG H.J. (1977). Prehomogenization of raw materials. In: Stacking, Bending, Reclaiming of Bulk Materials. Series on Bulk Materials Handling, Vol. 1 (1975/77), No.5, Trans Tech Publications, pp. 437- 443.

<p style="text-align: center;">ΗΜΕΡΙΔΑ «ΑΔΡΑΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ» Επιτροπή Οικονομική Γεωλογία, Ορυκτολογίας, Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας</p>	<p style="text-align: center;">ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2003</p>	<p style="text-align: center;">ΣΕΛ. 83-106</p>
--	---	---

ΤΑ ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΩΣ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Α. Κορωναίος¹, Σ. Παυλίδου¹

Περίληψη

Τα πυριγενή πετρώματα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον τόσο από επιστημονική όσο και από οικονομική άποψη. Από οικονομική άποψη τα πυριγενή πετρώματα συνδέονται συχνά με κοιτάσματα μεταλλικών ή βιομηχανικών ορυκτών. Αποτελούν όμως και τα ίδια εκμεταλλεύσιμα υλικά χρησιμοποιούμενα ως θραυστά αδρανή ή ως δομικά υλικά. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται γεωλογικά, τεχνικά και οικονομικά στοιχεία αναφορικά με τη χρήση των πυριγενών πετρωμάτων ως δομικών υλικών. Δίνονται τα ορυκτολογικά και πετρογραφικά χαρακτηριστικά των συχνότερα χρησιμοποιούμενων στην Ελλάδα πυριγενών πετρωμάτων καθώς και τα επίπεδα ραδιενέργειας αυτών. Ακολούθως γίνεται αναφορά στον τρόπο επεξεργασίας τους και στα προϊόντα, ημικατεργασμένα και κατεργασμένα, που παράγονται και διαθέτονται προς πώληση. Τέλος, παρουσιάζονται οικονομικά στοιχεία που δείχνουν τη σημασία των πετρωμάτων αυτών για την οικονομία της χώρας μας, καθώς και την πορεία τους στην ελληνική αγορά κατά την τετραετία 1998-2001. Επειδή η χρήση πυριγενών πετρωμάτων ως δομικών υλικών ανταγωνίζεται, στον ελληνικό χώρο τουλάχιστον, κυρίως τα ανθρακικά πετρώματα, γίνονται συγκρίσεις με τα τελευταία τόσο στον τρόπο επεξεργασίας όσο και στα οικονομικά στοιχεία.

Abstract

Igneous rocks exhibit both scientific and economic interest. From the economic point of view these rocks are often related with ore or industrial mineral deposits. However, they can be exploitable materials used as crushed aggregates and building materials as well. In this paper, geological, technical and economic information is presented concerning their use as building materials. Mineralogical and petrographical characteristics as well as radioactivity of the igneous rocks commonly used in Greece are given in this study. Consequently, the method of their elaboration is discussed in addition to the products which are sold and could be either elaborated or semi-elaborated. Moreover, financial data are presented indicating the importance of these rocks for the Greek economy as well as their trend in the Greek

1. Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., ΤΚ 54124, Θεσσαλονίκη, e-mail: koroneos@geo.auth.gr

market during the period 1998-2001. Since the use of igneous rocks as building materials competes, at least in the Greek market, mainly that of carbonate rocks, the former are compared with the latter taking into consideration the method of elaboration and the financial data.

Εισαγωγή

Τα πυριγενή πετρώματα χρησιμοποιούνται από την αρχαιότητα παρά τη δυσκολία εξόρυξης όγκων και τη δυσκολότερη επεξεργασία τους σε σχέση με τα ανθρακικά πετρώματα που είναι λιγότερο σκληρά. Χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται ως δομικοί λίθοι, υλικό λιθοστρώσεων δρόμων και γενικά διαμόρφωσης αστικών χώρων και για την κατασκευή μεγάλων μνημείων όπως οι οβελίσκοι στο ιπποδρόμιο της Κων/πολης ή η βάση του αγάλματος του αυτοκράτορα της Ρωσίας Πέτρου του Μεγάλου στην Αγία Πετρούπολη που είναι ένας μονόλιθος φιλανδικού γρανίτη βάρους 2000 τόνων.

Τα τελευταία χρόνια τα πυριγενή πετρώματα χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο στη χώρα μας ως υλικό για δαπεδοστρώσεις, εξωτερικές επενδύσεις οικοδομών, κατασκευή στοιχείων εσωτερικών χώρων όπως πάγκοι κουζίνας, τζάκια κλπ. καθώς επίσης για την κατασκευή διακοσμητικών στοιχείων εξωτερικών χώρων όπως συντριβάνια και κομψοτεχνήματα. Εμφανίζουν μεγάλη αντοχή, ποιικιλία έντονων χρωμάτων καθώς και σταθερότητα των χρωμάτων με την πάροδο του χρόνου. Στην Ελλάδα δεν γίνεται εξόρυξη πυριγενών πετρωμάτων για τέτοιες χρήσεις και τα χρησιμοποιούμενα είναι όλα εισαγωγής. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται γεωλογικά, τεχνικά και οικονομικά στοιχεία αναφορικά με την χρήση τους ως δομικά υλικά. Αρκετά από τα στοιχεία που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία προέρχονται από τη διατριβή ειδίκευσης της Π.Σ. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στη διατριβή είναι δεκαέξι είδη γρανιτών που δόθηκαν από την Ελληνική Εταιρεία Γρανιτών και επελέγησαν με κριτήριο την εμπορικότητά τους. Έτσι, κρίνεται ότι είναι στατιστικά ασφαλές να χρησιμοποιηθούν ως παραδείγματα στη μελέτη αυτή. Σε μεγάλο βαθμό εξετάζοντας κάποιος αυτά τα πετρώματα καλύπτει το 90% του όγκου πυριγενών πετρωμάτων που διατίθεται στην Ελληνική αγορά. Στον τομέα των δομικών υλικών τα πυριγενή πετρώματα ανταγωνίζονται, στον ελληνικό χώρο τουλάχιστον, κυρίως τα ανθρακικά πετρώματα. Η Ελλάδα είναι μια κατ' εξοχήν μαρμαροπαραγωγός χώρα και η χρήση πυριγενών πετρωμάτων ως δομικών υλικών έρχεται ουσιαστικά να υποκαταστήσει ανταγωνιστικά τα ανθρακικά πετρώματα. Είναι αναπόφευκτο λοιπόν να γίνονται συγκρίσεις με τα τελευταία.

Πετρογραφία – Ορυκτολογία

Στην αγορά των πυριγενών πετρωμάτων, που χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά, κυριαρχούν τα γρανιτικά πετρώματα και ακολουθούν μονζονίτες, συηνίτες και

γάββροι. Για το λόγο αυτό στο εμπόριο τα πετρώματα αυτά είναι γνωστά με το όνομα γρανίτης. Ο εμπορικός όρος γρανίτης περιλαμβάνει λοιπόν όχι μόνο τα γρανιτικά πετρώματα υπό την πετρογραφική έννοια του όρου, αλλά ένα ευρύ φάσμα συστάσεων στο οποίο συγκαταλέγονται όξινα έως βασικά πυριγενή πετρώματα, όπως για παράδειγμα γρανίτες, συηνίτες, μονζονίτες, ανδεσίτες, διορίτες, γάββροι, ανορθοσίτες, βασάλτες κ.ά., που χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά. Τα πυριγενή πετρώματα που έχουν μαύρο χρώμα αναφέρονται στο εμπόριο ως μαύροι γρανίτες. Στο εξής ο όρος γρανίτης θα χρησιμοποιείται με την εμπορική του έννοια.

Οι γρανίτες διακρίνονται σε λεπτόκοκκους (μέγεθος κόκκων < 2 mm), μικρόκοκκους (2-3 mm), μεσόκοκκους (3-5 mm), χονδροκόκκους (5-10 mm) και αδρόκοκκους (> 10 mm). Το μέγεθος των κόκκων έχει μεγάλη σημασία στην τεχνική εφαρμογή ενός γρανίτη. Οι λεπτόκοκκοι γρανίτες έχουν μεγαλύτερη αντοχή στη θλίψη από τους αδρόκοκκους. Επίσης, οι γρανίτες με ισομεγέθεις κόκκους σε όλη τη μάζα τους, έχουν μεγαλύτερη αντοχή από εκείνους που εμφανίζουν διαφορετικά μεγέθη κόκκων ενώ οι μεγάλοι κρύσταλλοι αστρίων μειώνουν, εξαιτίας της καλής σχιστότητάς τους, την αντοχή των γρανιτών (ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ 1996).

Αναφορικά με τα πλέον εμπορικά είδη που εξετάστηκαν, και όπως προκύπτει από τη μακροσκοπική και μικροσκοπική παρατήρησή τους, όλα είναι μεσόκοκκα έως αδρόκοκκα πλουτωνικά πετρώματα ενώ μερικά από αυτά είναι πορφυροειδή. Τα περισσότερα από τα δείγματα ταξινομούνται κατά STRECKEISEN & LE MAITRE (1979) ως γρανίτες (εννέα δείγματα) ενώ τρία δείγματα είναι αλκαλι-γρανίτες, δύο χαλαζιακοί μονζονίτες, ένας χαλαζιακός μονζονίτης και ένας χαλαζιακός γάββρος.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δείγματα των γρανιτών του ελληνικού εμπορίου που μελετήθηκαν εμφανίζουν στην πλειοψηφία τους αλλοιώσεις κυρίως των αστρίων όπως καολινίωση σε ποσοστό που κυμαίνεται από 5% (Gris perla και Emerald) έως 90% (African red) και σερικιτίωση σε ποσοστό που κυμαίνεται από 5% (Yellow cecilia) έως 80% (African red). Φαίνεται λοιπόν ότι η παρουσία αλλοιώσεων στους γρανιτικούς όγκους δεν αποτελεί γενικά απαγορευτικό χαρακτηριστικό για την εκμετάλλευσή τους, όταν οι αλλοιώσεις αυτές δε συνοδεύονται από φαινόμενα αποσάθρωσης.

Το χρώμα των γρανιτών εξαρτάται από το είδος, την περιεκτικότητα και τη διάταξη των ορυκτών συστατικών και φαίνεται μετά τη λείανση. Μερικοί γρανίτες έχουν σχεδόν λευκό χρώμα, επειδή περιέχουν μεγάλο ποσοστό λευκών ορυκτών. Αν τα έγχρωμα ορυκτά συστατικά συμμετέχουν με μεγάλους και ομοιόμορφα κατανεμημένους κρυστάλλους στη μάζα, τότε το πέτρωμα εμφανίζεται με τεφρό χρώμα ενώ αν οι σκουρόχρωμοι μαρμαρυγίες δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι, αλλά συγκεντρωμένοι κατά ομάδες, τότε το πέτρωμα εμφανίζεται πολύ ανοικτότερο παρόλο που το περιεχόμενο των μαρμαρυγιών και στους δύο τύπους γρανι-

τών είναι το ίδιο. Οι ερυθροί γρανίτες οφείλουν το χρώμα τους στους αστρίους σε συνδυασμό με άλλα σιδηρούχα κυρίως ορυκτά. Το κίτρινο χρώμα μερικών γρανιτών οφείλεται στους κίτρινους αστρίους ή στη διάλυση σιδηρούχων ορυκτών.

Στην ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων που εξετάστηκαν αφθονούν οι καλιούχοι άστριοι σε ποσοστό από 24,2% (African red) έως 90,3% (Marina pearl), τα πλαγιόκλαστα (2,9% στο Yellow cecilia έως 63,4% στο Africa nero) και ο χαλαζίας (4,5% στο Africa nero έως 44,0% στο Balmoral). Από τα φεμικά συστατικά επικρατεί ο βιοτίτης εμφανίζεται στα περισσότερα δείγματα σε ποσοστό που κυμαίνεται από 1,3% (Blanco crystal) έως 10,1% (Balmoral). Αμφίβολοι εμφανίζονται σε τρία δείγματα σε ποσοστό που δεν ξεπερνά το 2,0%, και ολιβίνης υπάρχει μόνο στο Marina pearl (1,5%). Οι πυρόξενοι συμμετέχουν σε ποσοστό από 0,6% στο Emerald έως 55,0% στο Zimbabwe.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η παρουσία σιδηροπυρίτη στην ορυκτολογική σύσταση των δομικών πετρωμάτων μπορεί να προκαλέσει αντιαισθητικές κηλίδες κατά την οξείδωση των κόκκων του. Ωστόσο, η πολύ μικρή ποσότητά του στα δείγματα που μελετήθηκαν αποκλείει τη δημιουργία τέτοιων φαινομένων. Τρία από τα δείγματα που περιέχουν σιδηροπυρίτη, το Emerald, το Marina pearl και το Zimbabwe, έχουν σκούρο χρώμα και η ενδεχόμενη οξείδωση κάποιων κόκκων σιδηροπυρίτη δε θα γινόταν εύκολα αντιληπτή.

Φυσικομηχανικές ιδιότητες

Γενικά

Για την επιλογή ενός συγκεκριμένου δομικού πετρώματος σε μια κατασκευή απαιτείται πιστοποίηση της ποιότητάς του μετά από εξέταση των φυσικών, μηχανικών και τεχνικών ιδιοτήτων του, από τις οποίες εξαρτάται η ικανότητά του να αντισταθεί στις μηχανικές καταπονήσεις, αλλά και στις περιβαλλοντικές επιδράσεις, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής στην οποία θα πραγματοποιηθεί η κατασκευή. Η εξέταση αυτή γίνεται σε κατάλληλα εξοπλισμένα εργαστήρια με βάση τις διάφορες προδιαγραφές: αμερικανικές (ASTM), γερμανικές (DIN), ιταλικές (UNI), βρετανικές (BS), διεθνείς (ISO) και σύντομα και ευρωπαϊκές (EN). Στην Ελλάδα ισχύουν οι αντίστοιχες προδιαγραφές του Υπουργείου Δημοσίων Έργων (ΦΕΚ 70/8.2.85).

Σύμφωνα με τους ΛΑΣΚΑΡΙΔΗ κ.ά. (2000) οι φυσικές ιδιότητες των δομικών πετρωμάτων είναι: α) το ειδικό βάρος και β) η υδαταπορρόφηση. Οι μηχανικές ιδιότητες είναι: α) η αντοχή στη θλίψη, β) η αντοχή στην κάμψη και γ) το μέτρο ελαστικότητας. Στις τεχνικές ιδιότητες των δομικών πετρωμάτων συγκαταλέγονται: α) η αντοχή στη φθορά από τριβή, β) η αντοχή στην πρόσκρουση, γ) η μικροσκληρότητα Knoop και δ) ο συντελεστής θερμομικής διαστολής. Τέλος υπάρχουν οι ιδιότητες των δομικών πετρωμάτων που εξετάζονται με περιβαλλοντικές δοκιμές, δηλαδή: α) η αντίσταση στον παγετό και β) η αντοχή στη διάβρωση. Ειδικά για τα

γρανιτικά πετρώματα υπάρχουν ορισμένες ιδιότητες ή χαρακτηριστικά που είναι χρήσιμο να είναι γνωστά και να λαμβάνονται υπόψη πριν από την εξόρυξη και τη χρησιμοποίησή τους. Αυτά είναι: α) το μέγεθος των κόκκων, β) η συνεκτικότητα, γ) το χρώμα και δ) η παρουσία φλεβών (ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ 1996).

Σύμφωνα με την Αμερικανική Εταιρία Ελέγχου και Υλικών (American Society for Testing and Materials (ASTM 1998) «οι γρανίτες περιλαμβάνουν τα πετρώματα (εκτός από τα μάρμαρα) που εξάγονται από μια εμφάνιση σε όγκους και στη συνέχεια υφίστανται τις κατάλληλες επεξεργασίες ώστε να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά στις κατασκευές. Δε συμπεριλαμβάνονται τα τεχνητά πετρώματα που κατασκευάζονται με συγκόλληση τεμαχίων φυσικών πετρωμάτων με χρήση ρητινών».

Σύμφωνα με τα παραπάνω πρότυπα (ASTM 1998), οι γρανίτες όπως ορίζονται θα πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές που δίνονται στον Πίνακα 1. Οι προδιαγραφές αυτές έχουν οριστεί με βάση τη συσσωρευμένη εμπειρία από τη χρησιμοποίηση του υλικού. Η πράξη λοιπόν έχει δείξει ότι οι γρανίτες που πληρούν τις προδιαγραφές αυτές αποτελούν επιτυχημένες επιλογές για τα κτίρια και τις κατασκευές στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν. Παρακάτω περιγράφονται οι ιδιότητες του Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Προδιαγραφές χρήσης γρανιτικών πετρωμάτων (ASTM 1998).

Ιδιότητα	Προδιαγραφές	Μέθοδος μέτρησης ASTM
Υδαταπορρόφηση, μέγιστη τιμή (σε βάρος %)	0,4	C 97
Πυκνότητα, ελάχιστη τιμή (σε kg/m ³)	2560	C 97
Αντοχή στη θλίψη, ελάχιστη τιμή (σε Mpa)	131	C 170
Αντοχή στην κάμψη, ελάχιστη τιμή (σε Mpa)	10,34	C 99
Αντοχή στη φθορά από τριβή, ελάχιστη τιμή (καθαρός αριθμός)	25	C 241
Αντοχή στην κάμψη απλής δοκού, με τέσσερα σημεία στήριξης (flexural strength), ελάχιστη τιμή (σε Mpa)	8,27	C 880

Υδατοπορρόφηση – Συντελεστής Εμποτισμού

Με τον όρο υδαταπορρόφηση εννοούμε την ιδιότητα των πετρωμάτων να πληρώνονται με νερό. Η υδαταπορρόφηση των φυσικών δομικών πετρωμάτων είναι η διαφορά της μάζας του κορεσμένου με νερό δοκιμίου από τη μάζα του ξηρού. Όταν εκφράζεται επί τοις εκατό, ονομάζεται συντελεστής εμποτισμού. Η φυσική υγρασία ενός πετρώματος εξαρτάται από την ορυκτολογική και χημική σύσταση,

καθώς και από το πορώδες του. Πορώδες είναι ο λόγος του όγκου των κενών προς το φαινόμενο όγκο του πετρώματος.

Η υδαταπορρόφηση είναι η φυσική ιδιότητα που κυρίως καθορίζει την καταλληλότητα ενός πετρώματος για εξωτερικές χρήσεις, όπου αυτό είναι εκτεθειμένο σε υγρές καιρικές συνθήκες. Θεωρείται όμως σημαντική ιδιότητα και στην περίπτωση των εσωτερικών χρήσεων, ιδίως όταν το πέτρωμα καλύπτει χώρους με μεγάλη συγκέντρωση ανθρώπων και όπου απαιτείται να καθαρίζεται συχνά με τη χρήση υγρών καθαρισμού. Πρακτικά, οι γρανίτες που κατά τη δοκιμή προσδιορισμού της υδαταπορρόφησης σημειώνουν αύξηση βάρους μόνο κατά μερικά δέκατα επί τοις εκατό (συνήθως μέχρι 0,5%), θεωρούνται καλοί και κατάλληλοι για εφαρμογή στην οικοδομική. Ειδικά για την περίπτωση των δαπεδοστρώσεων, όταν ο συντελεστής εμποτισμού ξεπερνάει το 0,5%, το πέτρωμα θα πρέπει να υποβάλλεται και στη δοκιμή μέτρησης της αντοχής στη θλίψη μετά από ορισμένους κύκλους ψύξης, για να ελεγχθεί η συμπεριφορά του πετρώματος σε κλιματολογικές συνθήκες παγετού.

Πυκνότητα – Ειδικό Βάρος

Πυκνότητα είναι ο λόγος του βάρους του πετρώματος προς τον όγκο του. Επειδή όμως τα φυσικά δομικά πετρώματα έχουν πόρους, κοιλότητες και κενά, υπάρχουν δύο μετρούμενοι όγκοι: ο φαινόμενος, που είναι ο όγκος του πετρώματος μαζί με τα κενά και ο πραγματικός που είναι ο όγκος του πετρώματος χωρίς κενά. Επομένως, υπάρχουν δύο ειδικά βάρη για κάθε πέτρωμα, το φαινόμενο και το πραγματικό. Αυτό που χαρακτηρίζει τα πετρώματα είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος και εκφράζεται σε kg/m^3 .

Το φαινόμενο ειδικό βάρος είναι μια ιδιότητα που είναι απαραίτητο να είναι γνωστή για όλων των ειδών τις κατασκευές (εσωτερικές ή εξωτερικές επενδύσεις, εσωτερικές ή εξωτερικές δαπεδοστρώσεις, σκάλες ελεύθερης ή όχι έδρασης κ.λπ.), καθώς με βάση αυτό και το πάχος των πλακών προσδιορίζεται το βάρος κάθε τετραγωνικού μέτρου δομικού πετρώματος και επομένως το πόσο επιβαρύνεται μια κατασκευή. Ειδικά στην περίπτωση των εξωτερικών επενδύσεων με μεταλλικά στηρίγματα, το φαινόμενο ειδικό βάρος βοηθάει την επιλογή κατάλληλου στηρίγματος που θα αντέχει το βάρος της κατασκευής.

Αντοχή στη θλίψη

Ως αντοχή ενός πετρώματος στη θλίψη ορίζεται ο λόγος του συνολικού φορτίου που ασκείται σε ένα δοκίμιο προς το εμβαδόν της διατομής του δοκιμίου. Εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά της σύστασης και της δομής του δομικού πετρώματος. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη θλιπτική αντοχή ενός πετρώματος είναι: το πορώδες και η πυκνότητα, το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων, η ανισοτροπία και η ορυκτολογική σύσταση. Η αντοχή στη θλίψη θεωρείται

μια πολύ σημαντική ιδιότητα για την αξιολόγηση των δομικών πετρωμάτων για χρήση τους σε ποικίλες εφαρμογές. Επισημαίνεται ότι η αντοχή στη θλίψη των δοκιμίων που έχουν τη φυσική τους υγρασία είναι πιο αντιπροσωπευτική για την κατάσταση του υλικού σε φυσικές συνθήκες και επομένως, μας δίνει πιο σωστές πληροφορίες για τη συμπεριφορά του σε διάφορες εφαρμογές. Ειδικά για τη χρησιμοποίηση των πετρωμάτων σε εξωτερικούς χώρους και σε χώρες με έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές είναι απαραίτητο να ελέγχεται η αντοχή στη θλίψη μετά από ψύξη του υλικού. Τα πολύμεικτα πετρώματα όπως οι γρανίτες είναι λιγότερο ανθεκτικά στον παγετό από τα μονόμεικτα, εξαιτίας του διαφορετικού συντελεστή θερμομικής διαστολής των διάφορων ορυκτών.

Αντοχή στην κάμψη

Η αντοχή στον εφελκυσμό από κάμψη ενός πετρώματος είναι ο λόγος της ροπής κάμψης κατά τη θραύση του δοκιμίου προς τη ροπή αντίστασης. Ισοδυναμεί με τη μέγιστη τάση που ασκείται στο κάτω μέρος μιας πλάκας πετρώματος, όταν αυτή υφίσταται καμπυλική καταπόνηση και εξαρτάται από τη σύσταση και τη δομή του πετρώματος. Είναι γνωστό ότι τα αρχιτεκτονικά μέλη των κτιρίων υποβάλλονται σε καταπονήσεις από κάμψη και γι' αυτό είναι απολύτως αναγκαίο να ελέγχεται η ιδιότητα της αντοχής στην κάμψη όταν τα δομικά πετρώματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για εξωτερικές επενδύσεις και σκάλες ελεύθερης έδρασης. Επίσης η ιδιότητα αυτή θεωρείται σημαντική όταν τα δομικά πετρώματα προορίζονται για εσωτερικές και εξωτερικές επιστρώσεις δαπέδων.

Αντοχή στη φθορά από τριβή

Ως φθορά από τριβή ορίζεται η προοδευτική απώλεια υλικού από την επιφάνεια ενός σταθερού σώματος που προκαλείται από μηχανικά αίτια. Η ιδιότητα αυτή σχετίζεται άμεσα με τη σκληρότητα του πετρώματος και εξαρτάται κυρίως από την ορυκτολογική του σύσταση και μερικώς από την υφή και τον πιθανό βαθμό εξαλλοίωσής του. Επειδή η σκληρότητα είναι ένα φυσικό ανυσματικό μέγεθος, στα πολύμεικτα πετρώματα, που είναι ανισότροπα υλικά, μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τη διεύθυνση και επομένως είναι δύσκολος ο προσδιορισμός της. Η αντοχή στη φθορά από τριβή εκφράζει την αντίσταση των πετρωμάτων στην τριβή (από κυκλοφορία ανθρώπων, οχημάτων κ.λπ.). Έτσι, είναι η κυριότερη ιδιότητα που παίρνεται υπόψη, όταν τα πετρώματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για εξωτερικές ή εσωτερικές δαπεδοστρώσεις και για σκάλες. Είναι προφανές ότι τα «ρίχτια» που δεν υποβάλλονται στην καταπόνηση της φθοράς από τριβή μπορούν να κατασκευάζονται από πετρώματα λιγότερο ανθεκτικά στην τριβή από τα «πατήματα» που υφίστανται μεγάλη καταπόνηση από την κυκλοφορία ανθρώπων ή οχημάτων.

Γενικά, οι γρανίτες θεωρούνται σκληρά πετρώματα, εξαιτίας της παρουσίας σε αυτούς σκληρών σχετικά ορυκτών, όπως ο χαλαζίας και οι άστριοι.

Αντοχή στην κάμψη απλής δοκού με τέσσερα σημεία στήριξης

Πρόκειται για μια ιδιότητα που καθορίζει την αντοχή στην κάμψη απλής δοκού του δομικού πετρώματος που στηρίζεται σε τέσσερα σημεία και το φορτίο εφαρμόζεται με σταθερό ρυθμό μέχρι τη θραύση του δοκιμίου. Η τάση ασκείται στη δοκό κατακόρυφα και στο κέντρο της.

Τιμές φυσικομηχανικών ιδιοτήτων

Στον Πίνακα 2 δίνονται οι τιμές των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων, εκτός της αντοχής στην κάμψη απλής δοκού με τέσσερα σημεία στήριξης, οι οποίες ισχύουν για τους γρανίτες του ελληνικού εμπορίου που μελετήθηκαν (REDASTONE 1996). Τιμές για αυτές τις ιδιότητες μπορεί να αναζητήσει κανείς και στις ιστοσελίδες των εταιριών που εμπορεύονται τα προϊόντα αυτά. Οι τιμές για το δείγμα Marina

Πίνακας 2. Τιμές φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των μελετηθέντων δειγμάτων και αντίστοιχες προδιαγραφές ASTM (1998).

	Υδατοαπορρόφηση (σε βάρος %)	Πυκνότητα (σε kg/m ³)	Αντοχή στη θλίψη (σε Mpa)	Αντοχή στην κάμψη (σε Mpa)	Αντοχή στη φθορά από τριβή (καθαρός αριθμός)
Προδιαγραφές ASTM	<0,4	>2560	>131	>10,34	>25
Salvatierra	—	—	—	—	—
Rosa porrino	0,30-0,32	2610-2630	142-146	11,6-12,2	—
Blanco real	0,38-0,42	2650-2680	189-192	12,8-13,2	—
Topazio	0,25-0,30	2650-2670	168-172	10,4-11,0	—
Yellow cecilia	0,32-0,36	2640-2670	162-165	10,2-10,6	—
Blanco crystal	0,22-0,28	2620-2680	187-197	14,0-15,0	1,86mm*
Napoleon	—	—	—	—	—
Balmoral	0,14-0,18	2680-2710	188-192	14,0-14,6	—
African red	0,18-0,22	2780-2820	182-186	16,0-16,6	—
Multicolor	0,22-0,28	2695-2720	197,5-201,0	16,4-18,4	—
Baltic brown	0,18-0,22	2640-1680	188-198	12,0-13,0	—
Gris perla	0,28-0,31	2630-2680	202-108	13,5-13,8	—
Emerald	0,18-0,20	2710-2730	142-146	13,5-14,0	—
Marina pearl	0,09	—	166-227	12,0-14,5	—
Zimbabwe	0,12-0,16	3020-3040	245-250	24,0-25,0	—
Africa nero	0,08-0,12	2840-2880	225-230	22,0-23,0	—

* απώλεια υλικού από την επιφάνεια εκτριβής

pearl προέρχονται από τέτοια πηγή γιατί δεν βρέθηκε αντίστοιχό του στον κατάλογο REDASTONE ενώ δεν βρέθηκαν τιμές για τις φυσικομηχανικές ιδιότητες του Salvatierra. Συχνά στις ιστοσελίδες δεν αναφέρονται τα πρότυπα με βάση τα οποία έγιναν οι δοκιμές για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των πετρωμάτων. Έτσι, πολλές φορές οι τιμές των ιδιοτήτων εκφράζονται σε διαφορετικές μονάδες. Τα αποτελέσματα μπορούν σε ορισμένες περιπτώσεις να γίνουν ως ένα βαθμό συγκρίσιμα με μετατροπή των μονάδων, αλλά κάποιες φορές αυτό δεν είναι δυνατό. Παρατηρούμε ότι όλα τα δείγματα πληρούν τις προϋποθέσεις των προτύπων ASTM (1998) για χρήση ως δομικά υλικά.

Με βάση τις φυσικομηχανικές ιδιότητες που έχουν αναφερθεί τα γνήσια μάρμαρα κατά κανόνα παρουσιάζουν σε σύγκριση με τους γρανίτες: μικρότερη αντοχή στη θλίψη και στη φθορά από τριβή, μεγαλύτερη υδαταπορρόφηση και μεγαλύτερη αντοχή στην κάμψη και στις θερμοκρασιακές μεταβολές.

Ραδιενέργεια

Γενικά για τη ραδιενέργεια των πυριγενών πετρωμάτων

Πολύ συχνά τα πυριγενή πετρώματα που χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά θεωρούνται ραδιενεργά. Η ραδιενέργειά τους οφείλεται στην παρουσία ραδιενεργών ισοτόπων τριών κυρίως στοιχείων: U, Th και K. Πρόκειται για τα φυσικά ραδιενεργά ισότοπα ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th και ^{40}K . Το U και το Th βρίσκονται στο μάγμα με τη μορφή U^{4+} και Th^{4+} . Το U^{4+} εμφανίζεται κυρίως σε οξείδια, σε άνυδρες φωσφορικές ενώσεις και σε άνυδρες πυριτικές ενώσεις. Το Th^{4+} συμμετέχει ως βασικό στοιχείο στη δομή ορισμένων ορυκτών και εμφανίζεται σε μικρά ως ενδιάμεσα ποσά σε πολλές άλλες ορυκτές φάσεις. Τέλος το K^+ συμμετέχει στις δομές βασικών πετρογενετικών ορυκτών όπως K-άστριοι, αμφίβολοι και μαρμαρυγίες. Σύμφωνα με τον HEINRICH (1958), πρωτογενή επουσιαώδη ορυκτά που είναι κυρίως υπεύθυνα για το μεγαλύτερο ποσοστό της ραδιενέργειας των πετρωμάτων είναι: το ζirkόνιο, ο τιτανίτης, ο απατίτης, ο αλλανίτης, το ξενότιμο και ο μοναζίτης. Φαίνεται λοιπόν ότι τα πυριγενή πετρώματα μπορεί πράγματι να είναι ραδιενεργά και είναι χρήσιμο να παρατεθούν κάποια στοιχεία που βρέθηκαν (ΠΑΥΛΙΔΟΥ 2002) για τα πετρώματα της Ελληνικής αγοράς.

Δόση από ακτινοβολία

Όταν ένας οργανισμός δέχεται την επίδραση ακτινοβολίας α , β ή γ προσλαμβάνει ενέργεια που μετράται σε Becquerel (Bq). Απορροφούμενη δόση είναι η ενέργεια της ακτινοβολίας που απορροφάται από κάθε μονάδα μάζας ιστού. Μετράται σε Gray (Gy) και ισχύει η ισότητα $1\text{Gy} = 1\text{Jkg}^{-1}$ ιστού.

Ισοδύναμη δόση είναι η απορροφούμενη δόση πολλαπλασιασμένη με έναν παράγοντα (RBE = Relative Biological Effectiveness = Σχετική Βιολογική Δραστητικότητα), που εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας, ώστε να δοθεί ένα μέτρο

της βλάβης που μπορεί να προκαλέσει καθεμιά από αυτές στους ιστούς που επιδρά. Μετράται σε Sievert (Sv) και ισχύει η ισότητα $1\text{Sv} = 1\text{Jkg}^{-1}$. Ο παράγων RBE ισούται με 1 για την ακτινοβολία γ, εξαιτίας της επικινδυνότητάς της αλλά και γιατί εμφανίζει τα μεγαλύτερα ποσοστά εκπομπής από τα άλλα δύο είδη. Έτσι, η απορροφούμενη δόση είναι ταυτόσημη με την ισοδύναμη για αυτό το είδος ακτινοβολίας και το ίδιο συμβαίνει και με τις αντίστοιχες μονάδες, δηλαδή $1\text{Gy} = 1\text{Sv}$ για την ακτινοβολία γ.

Υπολογισμός της απορροφούμενης δόσης και του δείκτη ενεργότητας στα δομικά υλικά

Εξαιτίας της παρουσίας ραδιενεργών στοιχείων στα ορυκτά των πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά, αυτά εκπέμπουν ακτινοβολία α, β και γ. Η ακτινοβολία γ διαπερνάει το ανθρώπινο σώμα και προκαλεί ιονισμό των ατόμων των κυττάρων των ιστών του. Η επίδρασή της μπορεί να είναι μέχρι και θανατηφόρα για τον οργανισμό που τη δέχεται. Έτσι, κρίνεται σκόπιμο να υπολογίζεται η απορροφούμενη δόση που οφείλεται στα δομικά υλικά.

Το πιο σύγχρονο μοντέλο για τον υπολογισμό της απορροφούμενης δόσης D που δέχεται ένας άνθρωπος που διαμένει σε κατοικία χτισμένη από ένα υλικό που έχει συγκεκριμένες συγκεντρώσεις ^{40}K , ^{232}Th και ^{226}Ra (ειδικές ενεργότητες των αντίστοιχων στοιχείων) είναι αυτό που έχει οριστεί από τη Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (UNSCEAR 1993).

Το μοντέλο αυτό θεωρεί ότι η κατοικία είναι ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο διαστάσεων $3\text{m} \times 3\text{m} \times 3\text{m}$ με απείρως λεπτούς τοίχους, χωρίς πόρτες και παράθυρα και περιγράφεται από την εξίσωση:

$$D(\text{nGyh}^{-1}) = \alpha_1 C_{40\text{K}} + \alpha_2 C_{232\text{Th}} + \alpha_3 C_{226\text{Ra}} \quad \text{όπου:}$$

$$C_{40\text{K}} = \eta \text{ ειδική ενεργότητα του } ^{40}\text{K} \text{ σε } \text{Bqkg}^{-1} \quad \alpha_1 = 0,0414\text{nGyh}^{-1}/\text{Bqkg}^{-1}$$

$$C_{232\text{Th}} = \eta \text{ ειδική ενεργότητα του } ^{232}\text{Th} \text{ σε } \text{Bqkg}^{-1} \quad \alpha_2 = 0,623\text{nGyh}^{-1}/\text{Bqkg}^{-1}$$

$$C_{226\text{Ra}} = \eta \text{ ειδική ενεργότητα του } ^{226}\text{Ra} \text{ σε } \text{Bqkg}^{-1} \quad \alpha_3 = 0,461\text{nGyh}^{-1}/\text{Bqkg}^{-1}$$

Σημειώνεται ότι το ^{226}Ra προέρχεται από τη ραδιενεργό διάσπαση του U^{238} . Ως όριο ετήσιας ισοδύναμης δόσης ορίζεται το 1mSv ή τα 2mSv . Το μοντέλο δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης μιας κατοικίας κατασκευασμένης εξολοκλήρου από ένα υλικό με μία ίδια κατασκευασμένη από υλικό του οποίου οι συγκεντρώσεις ^{40}K , ^{232}Th και ^{226}Ra είναι ίσες τις μέσες περιεκτικότητες του εδάφους στα στοιχεία αυτά σε παγκόσμια κλίμακα (370 , 26 και 26Bqkg^{-1} αντίστοιχα).

Διάφορες χώρες χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους για τον προσδιορισμό της επίδρασης της ραδιενέργειας στον ανθρώπινο οργανισμό. Η ποσότητα που υπολογίζεται ονομάζεται δείκτης ενεργότητας (Activity Index, AI) και μετράται σε Bqkg^{-1} . Στον Πίνακα 3 (CHEN & LIN 1995) δίνονται οι τύποι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη ενεργότητας σε Bqkg^{-1} σε πέντε διαφορετι-

κές χώρες και τα αντίστοιχα όρια για εξωτερική έκθεση, δηλαδή για έκθεση σε ακτινοβολία που προέρχεται από τα υλικά του περιβάλλοντος. Και στους υπολογισμούς αυτούς θεωρείται ότι για την κατασκευή χρησιμοποιείται ένα μόνο υλικό, ότι οι τοίχοι είναι απείρως λεπτοί και ότι δεν υπάρχουν πόρτες και παράθυρα.

Πίνακας 3. Τύποι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη ενεργότητας σε πέντε διαφορετικές χώρες και τα αντίστοιχα όρια για εξωτερική έκθεση (CHEN & LIN 1995).

Χώρα	Υπολογισμός του δείκτη ενεργότητας (AI) σε Bqkg ⁻¹ και όριο εξωτερικής έκθεσης
Πρώην Σοβ. Ένωση	$C_{Ra}/370 + C_{Th}/260 + C_K/4810 \Theta 1$
Πρώην Δυτική Γερμανία	$C_{Ra}/370 + C_{Th}/260 + C_K/4810 \Theta 1$
Πολωνία	$C_{Ra}/370 + C_{Th}/233 + C_K/3700 \Theta 1$
Σουηδία	$C_{Ra}/999 + C_{Th}/703 + C_K/9990 \Theta 1$
Κίνα	$C_{Ra}/350 + C_{Th}/260 + C_K/4000 \Theta 1$

Φυσική Ραδιενέργεια και δόση ακτινοβολίας από τα δομικά υλικά

Οι στάθμες της φυσικής ραδιενέργειας των πιο εμπορικών δειγμάτων της ελληνικής αγοράς, μετρήθηκαν στο Εργαστήριο Ατομικής και Πυρηνικής Φυσικής του Τομέα Πυρηνικής Φυσικής και Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων του Α.Π.Θ. Στον Πίνακα 4 υπολογίζονται για τα δείγματα αυτά, η απορροφούμενη δόση (D) σε nGyh⁻¹, με βάση τη Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (UNSCEAR 1993), η αντίστοιχη ετήσια ισοδύναμη δόση (D_a) σε mSv και ο δείκτης ενεργότητας (AI) σε Bqkg⁻¹, με βάση τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται στην πρώην Σοβιετική Ένωση και την πρώην Δυτική Γερμανία, στην Πολωνία, στη Σουηδία και στην Κίνα. Για σύγκριση υπολογίζονται οι παράμετροι αυτές και για τις μέσες περιεκτικότητες του εδάφους στα στοιχεία ²²⁶Ra, ²³²Th, και ⁴⁰K. Η απορροφούμενη δόση D σε nGyh⁻¹ για διαμονή σε ένα σπίτι κατασκευασμένο από τα πετρώματα του πίνακα 4 είναι μεγαλύτερη από την απορροφούμενη δόση για διαμονή σε ένα σπίτι κατασκευασμένο από το μέσο έδαφος, για όλα τα δείγματα εκτός από το Zimbabwe και το Africa nero.

Η ετήσια ισοδύναμη δόση D_a (UNSCEAR 1993) ξεπερνάει το όριο του 1mSv για επτά δείγματα:

Salvatierra, Rosa porrino, Blanco real, Blanco crystal, Balmoral, African red και Baltic brown. Ωστόσο, με βάση τα κριτήρια των επιμέρους χωρών ο αριθμός των δειγμάτων που ξεπερνούν το όριο ποικίλει. Με βάση το κριτήριο της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και της πρώην Δυτικής Γερμανίας, που αποτελεί ένα μέτριο κριτήριο από άποψη αυστηρότητας, βρέθηκε ότι τα δείγματα των πετρωμάτων της ελληνικής αγοράς, που έχουν δείκτη ενεργότητας μεγαλύτερο από 0,87, είναι τέσσερα με κόκκινο χρώμα (Balmoral, African red, Salvatierra, Rosa porrino), και

δύο με λευκό χρώμα (Blanco real και Blanco crystal). Οι CHEN & LIN (1995) βρήκαν ότι από τα 137 δείγματα από διάφορες χώρες του κόσμου που μελέτησαν, τα 23 είχαν δείκτη ενεργότητας μεγαλύτερο από 0,9. Από αυτά, 8 είχαν σκούρο κόκκινο χρώμα, 8 ανοιχτό κόκκινο χρώμα, 4 τεφρό χρώμα και 3 καστανό χρώμα. Δηλαδή το 70% των δειγμάτων με υψηλά επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας, που μελέτησαν είχαν ανοιχτό ή σκούρο κόκκινο χρώμα.

Πίνακας 4. Στάθμες της απορροφούμενης δόσης (D) της αντίστοιχης ετήσιας ισοδύναμης δόσης (D_a) και του δείκτη ενεργότητας (AI), με βάση τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται στις διάφορες χώρες, για τα δείγματα πετρωμάτων του ελληνικού εμπορίου και για το μέσο έδαφος.

	D(nGyh ⁻¹)	D_a (mSv)	AI (Bqkg ⁻¹)			
			UNSCEAR 1993	πρώην Σοβ. Ένωση, πρώην Δυτ. Γερμανία	Πολωνία	Σουηδία
Salvatierra	157,017	1,38	0,89	1,01	0,36	0,63
Rosa porrino	153,894	1,35	0,87	1,01	0,36	0,78
Blanco real	164,168	1,44	0,94	1,06	0,38	0,67
Topazio	95,719	0,84	0,52	0,63	0,22	0,50
Yellow cecilia	69,677	0,61	0,38	0,46	0,16	0,37
Blanco crystal	181,102	1,59	1,04	1,15	0,41	0,65
Napoleon	83,409	0,73	0,46	0,55	0,20	0,48
Balmoral	364,821	3,20	2,15	2,41	0,83	1,76
African red	171,092	1,50	0,98	1,12	0,39	0,82
Multicolor	95,739	0,84	0,55	0,64	0,22	0,55
Baltic brown	119,061	1,04	0,66	0,77	0,28	0,56
Gris perla	114,535	1,00	0,63	0,74	0,27	0,50
Emerald	108,198	0,95	0,61	0,70	0,25	0,51
Marina pearl	76,198	0,67	0,42	0,50	0,18	0,37
Zimbabwe	42,901	0,38	0,25	0,28	0,10	0,21
Africa nero	2,766	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Μέσο έδαφος	43,502	0,38	0,25	0,28	0,10	0,19

Η σύγκριση των μετρήσεων με άλλα δομικά πετρώματα από όλο τον κόσμο, δείχνει ότι τα μάρμαρα παρουσιάζουν σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις ραδιενεργών ισοτόπων σε σχέση με τους γρανίτες, τόσο του ελληνικού όσο και του διεθνούς εμπορίου ενώ οι γνεύσιοι εμφανίζουν παρόμοιες συγκεντρώσεις με τους γρανίτες.

Επίσης, τα πυριγενή πετρώματα του ελληνικού εμπορίου (όπως όλα από διά-

φορες χώρες του κόσμου) έχουν σημαντικά αυξημένες στάθμες φυσικής ραδιενέργειας σε σχέση με πολλά άλλα δομικά υλικά (ZIKOVSKY & KENNEDY 1992) όπως το τσιμέντο, τα τούβλα, η γύψος, τα χαλίκια, ο υαλοβάμβακας, τα κεραμίδια, το γυαλί και το ξύλο. Το ξύλο παρουσιάζει τις μικρότερες συγκεντρώσεις ραδιενεργών ισοτόπων ενώ κάποια τσιμέντα, τούβλα και κεραμίδια εμφανίζουν υψηλές τιμές. Η γύψος και το γυαλί φαίνεται να εμφανίζουν χαμηλές στάθμες φυσικής ραδιενέργειας.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω φαίνεται ότι τα πυριγενή πετρώματα από τη φύση τους είναι υλικά με σχετικά αυξημένα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας. Τέσσερα από τα δείγματα του ελληνικού εμπορίου που μελετήθηκαν εμφανίζουν δείκτη ενεργότητας μεγαλύτερο από $0,9\text{Bqkg}^{-1}$ και δύο από αυτά πάνω από 1Bqkg^{-1} που είναι το ανώτερο επιτρεπτό όριο για ασφαλείς κατασκευές. Ωστόσο για να υπολογιστεί η δόση που δέχεται ένας άνθρωπος που ζει μέσα σε ένα κτίριο που είναι κατασκευασμένο από κάποια υλικά, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το ποσοστό συμμετοχής κάθε υλικού στην κατασκευή.

Οι CHEN & LIN (1995) προσπάθησαν με ένα παράδειγμα να βρουν αν η χρήση γρανιτικών πετρωμάτων με υψηλό δείκτη ενεργότητας σε μια κατοικία μπορεί να είναι επικίνδυνη για τους χρήστες. Χρησιμοποίησαν στο παράδειγμά τους, ένα δωμάτιο διαστάσεων $6\text{m} \times 4\text{m} \times 3\text{m}$, κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα, με πάχος τοίχου $0,2\text{m}$ και με πάτωμα από γρανίτη πάχους $0,02\text{m}$. Υπολόγισαν ότι η κατασκευή αυτή ζυγίζει συνολικά 52.000kg και το βάρος του γρανίτη αποτελεί μόνο το $2,2\%$ του συνολικού βάρους της κατασκευής. Για τον υπολογισμό του δείκτη ενεργότητας της κατασκευής χρησιμοποιείται σχέση (AEC 1992), που συνυπολογίζει τις στάθμες της φυσικής ραδιενέργειας όλων των υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή.

Θεωρώντας ότι για την επίστροψη του δαπέδου χρησιμοποιήθηκε το χειρότερο δείγμα γρανίτη των CHEN & LIN (1995), (με δείκτη ενεργότητας $1,57$), υπολογίζεται δείκτης ενεργότητας $\text{AI}=0,38$, δηλαδή κάτω από 1Bqkg^{-1} , που είναι το ανώτερο όριο για ασφαλείς κατασκευές. Ακόμη και αν το ποσοστό βάρους του γρανίτη στην κατασκευή αυξηθεί 10 φορές, η τιμή AI για την κατασκευή αυτή γίνεται $0,62$, δηλαδή παραμένει μικρότερη από 1Bqkg^{-1} . Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η χρήση στα κτίρια, γρανιτών με δείκτες ενεργότητας πάνω από το επιτρεπτό όριο 1Bqkg^{-1} , δεν προκαλεί παραβίαση του ορίου της ισοδύναμης δόσης ραδιενέργειας $1\text{mSv}\text{a}^{-1}$, εξαιτίας του μικρού ποσοστού συμμετοχής του γρανίτη στις κατασκευές.

Εξάλλου για τον υπολογισμό της δόσης ραδιενέργειας που δέχεται ένας άνθρωπος που διαμένει σε ένα σπίτι κατασκευασμένο από συγκεκριμένα υλικά, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και ο χρόνος διαμονής του μέσα σε αυτό. Αν ο παράγοντας χρόνου διαμονής είναι $0,8$, τότε η ισοδύναμη δόση που επιτρέπεται να δέχεται ο άνθρωπος αυτός για να μην ξεπερνάει το ετήσιο όριο του 1mSv είναι $0,14\mu\text{Sv}\text{h}^{-1}$.

Τρόπος επεξεργασίας των πυριγενών πετρωμάτων

Τα πυριγενή πετρώματα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα ως δομικά υλικά εισάγονται με διάφορες μορφές που αντιστοιχούν σε διαφορετικά στάδια κατεργασίας. Όμως, μόνο δυο εταιρείες όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η Ελληνική Εταιρεία Γρανιτών και η εταιρεία Παυλίδη, εισάγουν **ακατέργαστους** όγκους, που κατόπιν κατεργάζονται σε διάφορα στάδια. Οι κατεργασίες που γίνονται και τα προϊόντα που προκύπτουν από κάθε μία περιγράφονται παρακάτω.

Προετοιμασία κοπής όγκου

Οι ακατέργαστοι όγκοι, που έχουν μήκος 2,4 – 3 m και ύψος 1,2 – 1,8 m, τοποθετούνται ανά δύο ή τρεις πάνω σε βαγόνι και αφού ευθυγραμμιστούν και στερεωθούν πολύ καλά οδηγούνται στα σχιστήρια λαμών (τελάρα) για να κοπούν.

Κοπή μεγάλων όγκων

Στα τελάρα οι μεγάλοι όγκοι πετρωμάτων κόβονται σε πλάκες πάχους 2 ή 3 cm. Για το κόψιμο των πυριγενών πετρωμάτων χρησιμοποιούνται σε κάθε τελάρο 120 έως 140 χαλύβδινες λάμες αντίθετα με τις αδαμαντοφόρες λάμες που χρησιμοποιούνται στα μαρμάρια. Οι λάμες κοπής γρανιτών διαγράφουν τόξο ενώ αυτές των μαρμάρων κόβουν ευθύγραμμο. Η ταχύτητα κοπής των γρανιτών (βάθος εισχώρησης) είναι 2 – 4 cm/h, και είναι κατά πολύ μικρότερη από αυτήν των μαρμάρων που είναι 10 – 25 cm/h. Έτσι ενώ ένας όγκος μαρμάρου με διαστάσεις όπως δόθηκαν παραπάνω χρειάζεται 8 ώρες για να κοπεί ένας όμοιος όγκος γρανίτη χρειάζεται 72 ώρες. Καθώς δεν χρησιμοποιούνται αδαμαντοφόρες λάμες στους γρανίτες, για να επιτευχθεί η κοπή τους χρησιμοποιείται μίγμα από ασβέστη, νερό και γρανίλια (μεταλλικά ψήγματα) με ορισμένες αναλογίες ανάλογα με τη σκληρότητα του πετρώματος. Τα μεταλλικά ψήγματα είναι σχετικά ακριβό υλικό και γι' αυτό υπάρχει σύστημα ανάκτησής τους. Πρέπει να προστεθεί εδώ ότι οι λάμες κοπής γρανιτών σταθμίζονται κάθε φορά πριν την κοπή του όγκου και η διαδικασία αυτή απαιτεί ένα οκτάωρο περίπου. Λόγω της σκληρότητας των γρανιτών οι χαλύβδινες λάμες χρησιμοποιούνται για την κοπή δύο μόνο όγκων δηλαδή σύμφωνα με το παραπάνω μόνο 144 ώρες ενώ η χρήση των αδαμαντοφόρων λαμών για την κοπή μαρμάρων μπορεί να φτάσει μέχρι και τους 6 μήνες ενώ επιπλέον οι τελευταίες μπορούν και να αναγομωθούν. Από τη διαδικασία αυτή προκύπτουν αγυάλιστες πλάκες (**ημικατεργασμένο προϊόν**) ακαθόριστων διαστάσεων, πάχους 2 ή 3 cm ή και μεγαλύτερου.

Αναφορικά με το κόστος κοπής των γρανιτών με αυτή τη διαδικασία πρέπει να αναφερθεί ότι είναι πενταπλάσιο του κόστους κοπής μαρμάρου.

Για μικρή παραγωγή χρησιμοποιούνται και μηχανήματα κοπής με ένα αδαμαντοφόρο δίσκο διαμέτρου 1,8 m που όμως έχει βάθος κοπής 65 cm. Ένας τέτοιος τρόπος κοπής μειονεκτεί στο ότι κατά την παράλληλη μετατόπιση του όγκου για να κοπεί η επόμενη πλάκα είναι πολύ δύσκολο να κρατηθεί αυστηρά η προβλεπό-

μενη απόσταση των 2 ή 3 cm. Ακόμη για την κοπή όγκων υπάρχουν μηχανήματα που χρησιμοποιούν αδαμαντοφόρο σύρμα. Τα μηχανήματα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για πλάκες ταφικών μνημείων πάχους 10 cm ή για ξεκαθάρισμα ανώμαλων πλευρών του όγκου.

Κοπή μικρών όγκων

Μικρότεροι όγκοι πυριγενών πετρωμάτων κόβονται με τη χρήση κοφτών οριζοντίου και κάθετων δίσκων. Οι κάθετοι δίσκοι, 30 έως 40 συνήθως, έχουν διάμετρο 1 m, είναι τοποθετημένοι παράλληλα και το βάθος κοπής τους φτάνει τα 30 ή 40 cm. Όταν επιτευχθεί το βάθος κοπής ο οριζόντιος τροχός κόβει μία-μία τις λωρίδες που μεταφέρονται κατόπιν με διάταξη μεταφοράς. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται λωρίδες (**ημικατεργασμένο προϊόν**) πλάτους 1 ή 2 cm, ανάλογα με την απόσταση μεταξύ των δίσκων, πλάτους 30 ή 40 cm και μήκους όσο το μήκος του όγκου. Γενικά, τα μηχανήματα οριζόντιας-κάθετης κοπής είναι ενεργοβόρα και παράγουν υλικά με χαμηλή αξία ανά m².

Οι κόφτες οριζοντίου και κάθετων δίσκων που χρησιμοποιούνται για τα πυριγενή πετρώματα διαφέρουν από αυτούς των μαρμάρων:

- α) Οι χρησιμοποιούμενοι δίσκοι έχουν διαφορετικό σχήμα εγχοπών
- β) Στα μάρμαρα χρησιμοποιούνται μονόδισκα μηχανήματα και έτσι κόβεται μια λωρίδα ενώ στα πυριγενή χρησιμοποιούνται πολύδισκα και κόβονται 30 έως 40 λωρίδες,
- γ) Στα μάρμαρα ο κάθετος δίσκος κόβει σιγά-σιγά σε όλο το βάθος κοπής ενώ στα πυριγενή πετρώματα οι δίσκοι περνούν πολλές φορές. Κάθε φορά κατεβαίνουν 1 mm και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να φτάσουν στο επιθυμητό βάθος κοπής 30 ή 40 cm.
- δ) Ένα πολύδισκο μηχανήματα γρανίτη αποδίδει 35 m²/8 h ενώ ένα μονόδισκο μηχανήματα μαρμάρου αποδίδει 20 - 50 m²/8 h ανάλογα με την ποιότητα του μαρμάρου.

Επεξεργασία επιφάνειας

Μετά την κοπή των ημικατεργασμένων προϊόντων (πλακών ή των λωρίδων) ακολουθεί η λείανσή τους με λειαντικές μηχανές κεφαλών που χρησιμοποιούν αδαμαντοφόρες πέτρες λείανσης. Γενικά το κόστος λείανσης πλακών γρανιτών είναι διπλάσιο από αυτό των μαρμάρων.

Οι λειαντικές μηχανές λωρίδων που χρησιμοποιούνται για τα πυριγενή πετρώματα διαφέρουν από αυτές των μαρμάρων:

- α) Στα μάρμαρα χρησιμοποιούνται 12 – 16 κεφαλές ενώ στους γρανίτες 18 κεφαλές. Οι πρώτες 9 χρησιμοποιούνται για το καλμπράρισμα και οι υπόλοιπες 9 για το γυάλισμα.
- β) Οι πέτρες λείανσης στους γρανίτες είναι διαφορετικές και έχουν μεγαλύτερη ελευθερία κίνησης.

γ) Οι μηχανές λείανσης γρανιτών έχουν απόδοση $120 \text{ m}^2/8 \text{ h}$ ενώ των μαρμάρων $200 \text{ m}^2/8 \text{ h}$.

Μετά την επεξεργασία της επιφάνειας προκύπτουν γυαλισμένες πλάκες ακαθόριστων διαστάσεων, πάχους 2 ή 3 cm ή και χοντροτέρες, ή γυαλισμένες λωρίδες που θεωρούνται **ημικατεργασμένα προϊόντα**. Τα υλικά αυτά πωλούνται είτε σε αυτή τη μορφή είτε οι λωρίδες κόβονται ανά 30 ή 40 cm και δημιουργούνται τα κατεργασμένα προϊόντα.

Τα **κατεργασμένα** προϊόντα είναι γυαλισμένα πλακίδια διαστάσεων 30×30 ή 40×40 και διακρίνονται σε: α. καθρέτα πάχους 2 cm για στρώσεις δαπέδου, β. πλακίδια δαπέδου πάχους 1 ή 1,2 cm και γ. πλακίδια ειδικών διαστάσεων. Τα πλακίδια δαπέδου έχουν μικρότερες ανοχές ($\pm 0,5 \text{ mm}$ σε όλες τους τις διαστάσεις) για να κολλούνται με κόλλα ενώ τα καθρέτα έχουν μεγαλύτερες ανοχές στις διαστάσεις τους ($\pm 2 \text{ mm}$ στο πάχος και $\pm 1 \text{ mm}$ στις δυο άλλες διαστάσεις) και τοποθετούνται πάνω σε λάσπη.

Στα πλακίδια ακολουθεί αποστρωγγυλοποίηση ακμών (μπιζουτάρισμα) και τοποθετούνται σε κουτιά με φελιζόλ ενώ τα καθρέτα τοποθετούνται χύμα σε χαρτοκιβώτια. Οι ακμές και γωνίες των πλακών επίσης διαμορφώνονται με μουρελομηχανή. Το κόστος για την ίδια διαμόρφωση είναι γενικά διπλάσιο στην πλάκα γρανίτη από το μάρμαρο.

Φινιρίσμα

Οι αγυάλιστες πλάκες είναι δυνατόν ή να γυαλιστούν, όπως προαναφέρθηκε, είτε να ακολουθήσουν άλλους τρόπους επεξεργασίας έτσι ώστε τελικά η επιφάνεια να είναι αγυάλιστη, ματ με διάφορες διαβαθμίσεις, αντικέ (μετά από επεξεργασία με μεταλλικές βούρτσες), επεξεργασμένη με φλόγιστρο, ή τέλος χτυπητή.

Τελικά προϊόντα

Από την παραπάνω σειρά επεξεργασίας δημιουργούνται διάφορα προϊόντα ανάλογα με το στάδιο επεξεργασίας. Έτσι διαθέτονται:

- α) οι ακατέργαστοι όγκοι (επανεξαγωγή)
- β) τα ημικατεργασμένα προϊόντα που είναι πλάκες ακαθόριστων διαστάσεων και οι λωρίδες. Όλα αυτά μπορεί να έχουν τα φινιρίσματα που προαναφέρθηκαν. Ειδικά στην ελληνική αγορά οι πλάκες που διαθέτονται είναι γυαλισμένες.
- γ) τα κατεργασμένα προϊόντα που είναι τα καθρέτα, τα πλακίδια δαπέδου και τα πλακίδια ειδικών διαστάσεων

Η κατάσταση στην Ελλάδα αναφορικά με τη χρήση γρανιτικών πετρωμάτων

Γενικά στοιχεία

Οι γρανίτες είναι υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα στο παρελθόν και τα τελευταία χρόνια η ζήτησή τους έχει αρχίσει να αυξάνεται όλο και περισσότερο

σε σχέση με τα άλλα δομικά υλικά. Αυτό βέβαια συμβαίνει με όλα τα φυσικά προϊόντα που κατακτούν μερίδιο της αγοράς σε σχέση με τα τεχνητά (πχ. κεραμικά πλακίδια) αλλά ιδιαίτερα με τους γρανίτες διότι παρουσιάζουν πληθώρα χρωμάτων, διατηρούν τη γυαλάδα τους, είναι κατάλληλοι για εξωτερικές επενδύσεις και απαιτούν μηχανική στήριξη και όχι κόλλημα. Σήμερα η παγκόσμια παραγωγή γρανίτη βρίσκεται στα ίδια περίπου επίπεδα με την παραγωγή μαρμάρου. Πολλές χώρες εξορύσσουν γρανίτη και ανάλογα με την υποδομή σε καθεμιά από αυτές αλλά και με τη ζήτηση από το εξωτερικό, τον επεξεργάζονται και τον χρησιμοποιούν ή τον εξάγουν με διάφορες μορφές, π.χ. σε όγκους, πλάκες στίλβωμένες ή όχι, πλακίδια διαφόρων μεγεθών και τύπου επεξεργασίας κ.λπ. Η Ιταλία εκτός από το ότι εξορύσσει γρανίτες ελέγχει και το διεθνές εμπόριο των γρανιτών, όπως και των μαρμάρων. Εισάγει γρανίτες από όλο τον κόσμο, τους επεξεργάζεται και στη συνέχεια τους εξάγει και πάλι σε ολόκληρο τον κόσμο (ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ 1996).

Στην Ελλάδα, οι χρησιμοποιούμενοι γρανίτες είναι όλοι εισαγωγής. Υπάρχουν πολλές εταιρίες που εισάγουν γρανίτη από Ιταλία, Ισπανία, Νορβηγία, Αργεντινή, Βραζιλία, Κίνα, Ινδία, Νότια Αφρική και άλλες χώρες και τους διαθέτουν στην ελληνική αγορά. Η εισαγωγή γίνεται με τη μορφή ακατέργαστων όγκων μόνο από τις δυο εταιρίες που προαναφέρθηκαν και από αρκετές εταιρίες με τη μορφή γυαλισμένων πλακών και γυαλισμένων ή αγυάλιστων λωρίδων. Αυτές επεξεργάζονται κατόπιν (κοπή, στίλβωση, αποστρωγγυλοποίηση ακμών κ.λπ.) και διαθέτουν στο εμπόριο με τη μορφή μικρότερων πλακών διαφόρων διαστάσεων. Συχνά όμως εισάγονται και έτοιμα επεξεργασμένα πλακίδια που δεν απαιτούν καμία παραπέρα επεξεργασία.

Εισαγόμενα είναι επίσης και πυριγενή πετρώματα (γρανίτες, βασάλτες, ανδεδίτες) που χρησιμοποιούνται ως κυβόλιθοι για τη διαμόρφωση εξωτερικών χώρων, δρόμων, πλατειών ή διακοσμητικών στοιχείων. Μάλιστα όλα αυτά τα είδη εισάγονται στην Ελλάδα με τη μορφή με την οποία διατίθενται κατόπιν στην ελληνική αγορά, δίχως δηλαδή να γίνεται στη χώρα μας καμία περαιτέρω επεξεργασία. Τα υλικά αυτά υποκαθιστούν σε ποσοστό 20% περίπου άλλα διακοσμητικά πετρώματα που χρησιμοποιούνταν ως τώρα ενώ υποκαθιστούν επίσης σε πολύ μικρό βαθμό και τεχνητά υλικά.

Συγκεκριμένα οι κυβόλιθοι, διαμορφωμένοι συνήθως σε διαστάσεις 10x10x10 ή 10 x 10 x 5 cm, υποκαθιστούν σχιστόλιθους (Καβάλας, Πηλίου, Καρύστου) ή τσιμεντόπλακες σε δαπεδοστρώσεις εξωτερικών χώρων. Οι κυβόλιθοι αυτοί κατά 98% είναι γρανιτικά πετρώματα ενώ το υπόλοιπο 2% είναι ανδεδιτικά και βασάλτικα πετρώματα. Προέρχονται κυρίως από όμορες χώρες (Τουρκία, Βουλγαρία) αλλά και πολύ μακρινές όπως η Κίνα.

Οικονομικά στοιχεία

Κατά την περιγραφή του τρόπου επεξεργασίας των πυριγενών πετρωμάτων αναφέρθηκαν κάποια οικονομικά στοιχεία για το κάθε στάδιο επεξεργασίας τους και έγινε σύγκριση με τα αντίστοιχα στοιχεία για τα μάρμαρα.

Από οικονομικής άποψης τα πυριγενή πετρώματα που χρησιμοποιούνται ως δομικά είναι γενικά ακριβότερα υλικά από τα μάρμαρα. Ας δούμε μερικές ενδεικτικές τιμές πώλησης χαρακτηριστικών υλικών που θα μας βοηθήσουν στην παραπέρα συζήτηση των οικονομικών μεγεθών.

Η τιμή πώλησης αγυάλιστης πλάκας ισπανικού γρανίτη Salvatierra, που είναι ένας από τους φθηνότερους γρανίτες κυμαίνεται από 26,4 έως 32,3 €/m², και 30,4 έως 36,3 €/m² όταν η πλάκα είναι γυαλισμένη. Η τιμή για αγυάλιστη πλάκα μαρμάρου Καβάλας, που είναι ένα σχετικά φθηνό μάρμαρο, κυμαίνεται από 8,8 έως 11,7 €/m².

Η τιμή πώλησης γυαλισμένης πλάκας Marina pearl, που είναι ένας μέσης τιμής γρανίτης, είναι 67,5 €/m² ενώ το Emerald στοιχίζει 100,0 €/m². Η αντίστοιχη τιμή γυαλισμένης πλάκας χιονόλευκου Θάσου είναι 120,0 €/m² και του λευκού μαρμάρου Διονύσου 30,0 έως 130,0 €/m². Βέβαια υπάρχουν και πολύ ακριβότερα υλικά στην κατηγορία των γρανιτών όπως το azul macauba (χαλαζίτης) που φτάνουν τα 500,0 €/m².

Όπως είδαμε υπάρχουν διαφορές στο κόστος επεξεργασίας μεταξύ γρανίτη και μαρμάρου. Όμως οι διαφορές αυτές παίζουν μικρό ρόλο, περίπου 10-20%, στη διαμόρφωση της τελικής τιμής του προϊόντος. Το σημαντικότερο ρόλο παίζει η τιμή του αρχικού υλικού, η οποία ουσιαστικά καθορίζεται από τη σπανιότητά του αφού ο ίδιος τρόπος και τα ίδια μέσα εξόρυξης χρησιμοποιούνται και για το ακριβό και για το φθηνό υλικό.

Η τιμή πώλησης των κυβόλιθων ανά τετραγωνικό μέτρο είναι 2.5 φορές υψηλότερη από τις τοιμεντόπλακες και περίπου 1.5 φορές υψηλότερη από τους σχιστόλιθους. Στα παραπάνω βέβαια πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η τοποθέτηση των κυβόλιθων απαιτεί εξειδικευμένους τεχνίτες και περισσότερες ανθρωποώρες ανά τετραγωνικό μέτρο τοποθέτησης από τα άλλα υλικά. Πάντως η χρήση τους εμφανίζει σταθερά ανοδική πορεία. Αναφορικά με τη χρήση των πυριγενών πετρωμάτων ως διακοσμητικών στοιχείων εξωτερικών χώρων όπως βρύσες, συντριβάνια, παγκάκια κ.ά. είναι αξιοσημείωτο ότι εμφανίζει επίσης ανοδική πορεία. Σε αυτή συμβάλλει τόσο το ότι αποτελούν ένα νέο είδος στην ελληνική αγορά αλλά και το γεγονός ότι εισάγονται στην τελική τους μορφή από χώρες με πολύ χαμηλό κόστος ανθρωποώρας. Έτσι συχνά, περίτεχνα χειροποίητα διακοσμητικά στοιχεία από γρανίτη προερχόμενα από την Κίνα είναι φθηνότερα από παρόμοια κατασκευασμένα στην Ελλάδα από ελληνικό μάρμαρο.

Στατιστικά εμπορικά στοιχεία

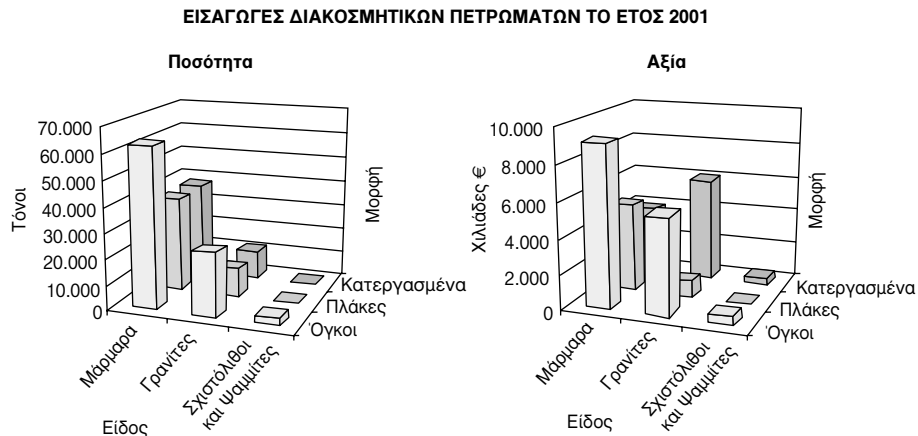
Τα στοιχεία εισαγωγών και εξαγωγών της ΕΣΥΕ για το 2001 (ΚΟΛΟΤΟΥΡΟΣ 2002) μπορούν να δώσουν μια εικόνα της οικονομικής διάστασης του θέματος. Οι γρανίτες αποτελούν μικρό ποσοστό στο σύνολο των εξαγωγών διακοσμητικών πετρωμάτων από τη χώρα μας, μόλις 2% του βάρους, ενώ το υπόλοιπο είναι 4% σχιστόλιθοι και ψαμμίτες και 94% μάρμαρα. Ελάχιστα διαφοροποιημένη είναι η εικόνα εκφραζόμενη σε ποσοστά με βάση την αξία των εξαγόμενων προϊόντων: 3% αντιστοιχεί στους γρανίτες, 2% στους σχιστόλιθους και ψαμμίτες και 95% στα μάρμαρα. Η συνολική αξία 3.873.260 € των εξαγόμενων γρανιτών προέρχεται κυρίως από κατεργασμένους γρανίτες (3.392.570 €) και πολύ λιγότερο από πλάκες (332.670 €) και όγκους (148.030 €). Προφανώς οι όγκοι γρανιτών που εξάγονται αποτελούν αντικείμενο μεταπώλησης.

Αναφορικά με τις εισαγωγές διακοσμητικών πετρωμάτων κατά το 2001, οι γρανίτες αποτελούν το 25% του συνολικού βάρους των εισαγόμενων πετρωμάτων, τα μάρμαρα το 73% και οι σχιστόλιθοι και οι ψαμμίτες το 2% (Σχ. 1). Επειδή η επεξεργασία του γρανίτη είναι αρκετά ακριβότερη από αυτή του μαρμάρου και των σχιστόλιθων και ψαμμιτών η εικόνα είναι διαφοροποιημένη εκφραζόμενη σε ποσοστά με βάση την αξία των εξαγόμενων προϊόντων: 39% αντιστοιχεί στους γρανίτες, 3% στους σχιστόλιθους και ψαμμίτες και 58% στα μάρμαρα (Σχ. 1). Η συνολική αξία 12.249.410 € των εισαγόμενων γρανιτών προέρχεται σχεδόν εξίσου από κατεργασμένους γρανίτες (5.923.550 €) και όγκους (5.459.050 €) και πολύ λιγότερο από πλάκες (886.810 €) (Σχ. 2).

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή οι γρανίτες υποκαθιστούν κυρίως τα μάρ-



Σχήμα 1. Κατανομή των εισαγωγών διακοσμητικών πετρωμάτων (μάρμαρα, γρανίτες, σχιστόλιθοι και ψαμμίτες) στην Ελλάδα για το έτος 2001 εκφραζόμενη ως ποσότητα και ως αξία. Στοιχεία από ΚΟΛΟΤΟΥΡΟΣ (2002).

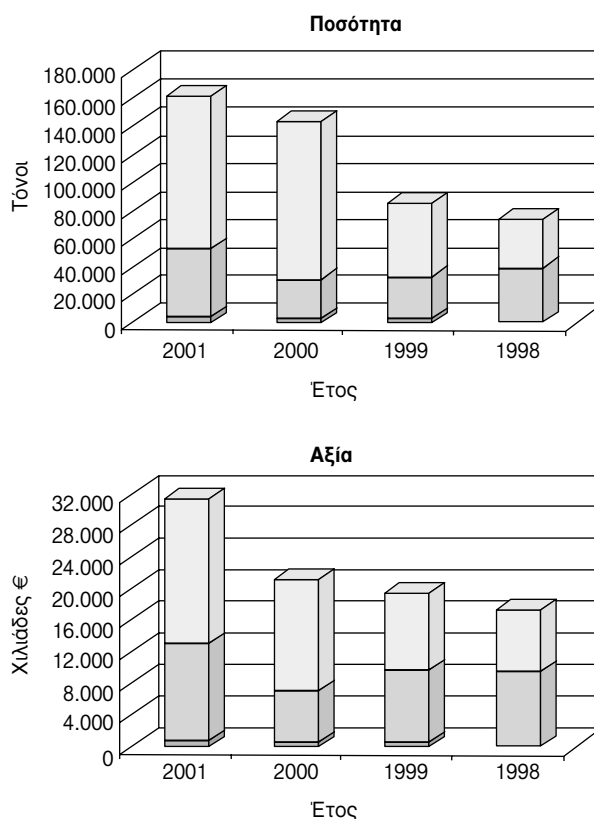


Σχήμα 2. Κατανομή των εισαγωγών διακοσμητικών πετρωμάτων (μάρμαρα, γρανίτες, σχιστόλιθοι και ψαμίτιες) ανά μορφή (όγκοι, πλάκες και κατεργασμένα) στην Ελλάδα για το έτος 2001 εκφραζόμενη ως ποσότητα και ως αξία. Στοιχεία από ΚΟΛΟΤΟΥΡΟΣ (2002).

μαρα χρησιμοποιούμενοι αντί των τελευταίων. Είναι φυσικό λοιπόν οι εξαγωγές μιας κατ' εξοχήν μαρμαροπαραγωγού χώρας όπως η Ελλάδα, όπου δεν γίνεται εξόρυξη γρανιτών, να αδυνατούν να δώσουν την εικόνα αυτής της υποκατάστασης. Όμως, καθώς οι γρανίτες είναι μόνο εισαγόμενοι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξέλιξη των εισαγωγών (στοιχεία από την τετραετία 1998-2001, ΕΣΥΕ από ΚΟΛΟΤΟΥΡΟΣ 2002) για να δούμε αν συμβαίνει και σε ποιο βαθμό υποκατάσταση των μαρμάρων από τους γρανίτες.

Φαίνεται λοιπόν ότι σ' αυτό το διάστημα (1998-2001), η ποσότητα των διακοσμητικών πετρωμάτων εκφρασμένη σε τόνους ή σε χιλιάδες € δείχνει συνεχώς αυξητική τάση (Σχ. 3). Όμως όπως φαίνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα ενώ οι ποσότητες των μαρμάρων αυξάνονται, αυτές των γρανιτών εμφανίζουν μείωση από το 1998 έως το 2000 και μεγάλη αύξηση μόνο το 2001 σε επίπεδα μάλιστα υψηλότερα του 1998. Βέβαια τα μάρμαρα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα δεν είναι μόνο τα εισαγόμενα αλλά κυρίως τα ελληνικά. Δεν μπορεί δηλαδή να συμπεράνει κανείς ότι το 2001 οι γρανίτες καλύπτουν το μισό των αναγκών που καλύπτουν τα μάρμαρα. Όμως, τουλάχιστον για την τριετία 1998-2000, είναι βέβαιο ότι δεν υπάρχει αυξητική τάση στην υποκατάσταση των μαρμάρων από τους γρανίτες. Τα στοιχεία όμως των δυο μεγάλων εταιρειών που εισάγουν γρανίτες με τη μορφή όγκων οδηγούν σε αντίθετο συμπέρασμα από το προηγούμενο. Συγκεκριμένα, οι εταιρείες αυτές παρατηρούν, τα τελευταία χρόνια, μέση ετήσια αύξηση της εισαγόμενης ποσότητας γρανιτών 25% για την περίοδο 1990-1997 και 7-12 % για την περίοδο 1998-2002 (Ελληνική Εταιρεία Γρανιτών) και περίπου 20% για την τελευταία τετραετία (Παυλίδης), η οποία βέβαια εξαρτάται από τα διάφορα έργα όπως

**ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΙΣΑΓΩΓΩΝ ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ
ΚΑΤΑ ΤΑ ΕΤΗ 1998-2001**



Σχήμα 3. Εξέλιξη των εισαγωγών διακοσμητικών πετρωμάτων (μάρμαρα, γρανίτες, σχιστόλιθοι και ψαμίμιτες) στην Ελλάδα για την τετραετία 1998-2001 εκφραζόμενη ως ποσότητα και ως αξία. Στοιχεία από ΚΟΛΟΤΟΥΡΟΣ (2002). Συμβολισμός όπως στο Σχήμα 1.

το μετρό και το αεροδρόμιο της Αθήνας, τα ολυμπιακά έργα κλπ.

Αν λοιπόν τα στοιχεία της ΕΣΥΕ και των δυο εταιρειών είναι σωστά μια πιθανή εξήγηση αυτής της αντίφασης είναι ότι για την τριετία 1998-2000 μειώθηκαν δραστικά οι εισαγωγές κατεργασμένων προϊόντων από τις υπόλοιπες εταιρείες.

Εκφράζεται πάντως η άποψη (ΚΟΛΟΤΟΥΡΟΣ 2002, υπεύθυνοι πωλήσεων Ελληνικής Εταιρίας Γρανιτών, Παυλίδης) ότι η ζήτηση του γρανίτη θα συνεχίσει να αυξάνεται καθώς το υλικό θα γίνεται πιο γνωστό στην ελληνική αγορά, θα υπάρχουν ικανοποιητικά στοκ και οι τιμές θα γίνονται ελκυστικότερες, ενώ θετικό ρόλο επίσης παίζει και η άνοδος του βιοτικού επιπέδου που επιτρέπει τη χρήση ακριβότερων υλικών στις κατασκευές. Αν μάλιστα ληφθεί υπόψη ότι η παγκόσμια

παραγωγή γρανίτη είναι ιδιαίτερα μεγάλη με αποτέλεσμα να υπάρχουν σημαντικά στοκ που συμπιέζουν τις τιμές, αναμένεται ότι οι τιμές του γρανίτη θα διαμορφώνονται σε διαρκώς ελκυστικότερα επίπεδα. Επιπλέον, οι σύγχρονες μονάδες κοπής και κατεργασίας όγκων γρανίτη που λειτουργούν τα τελευταία χρόνια στη χώρα προωθούν δυναμικά τα προϊόντα τους στην εγχώρια αγορά, ενώ είναι αρκετές και οι επιχειρήσεις που εξειδικεύονται στην εισαγωγή και διάθεση στιλβωμένων πλακών γρανίτη.

Βέβαια η αύξηση της ζήτησης δεν μπορεί να συνεχίσει για πολύ διότι η μόδα στα υλικά αλλάζει και νέα υλικά ανταγωνιστικά του γρανίτη εμφανίζονται και προωθούνται όπως π.χ. μπεξ ασβεστόλιθοι για ορθομαρμαρώσεις.

Εκμετάλλευση πυριγενών πετρωμάτων στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα υπάρχουν αρκετές εμφανίσεις γρανιτικών πετρωμάτων παρόμοιοι με αρκετούς που διατίθενται στο εμπόριο. Μάλιστα δε, κάποιοι παρουσιάζουν ιδιαίτερους χρωματισμούς όπως ο πράσινος γρανίτης της Φλώρινας – Καστοριάς, ο ρόδινος γρανίτης του Φανού και ο τεφρόμαυρος μονζονίτης της Ξάνθης.

Στη χώρα μας δε γίνεται πουθενά εξόρυξη γρανίτη, αν και έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς έρευνες που δείχνουν ότι σε ορισμένες περιοχές κάτι τέτοιο θα μπορούσε να επιχειρηθεί με συμφέροντες όρους, όπως π.χ. στο Πισοδέρι και στον Άγιο Γερμανό Φλώρινας (ΚΕΛΕΣΙΔΗΣ & ΤΣΟΜΠΟΣ 1990) και τη Βροντού Σερρών (ΧΡΥΣΟΣΤΟΜΙΔΗΣ κ.ά. 1992). Κάποιες προσπάθειες εξόρυξης που έγιναν στις αρχές της δεκαετίας του 90 στον Άγιο Γερμανό Φλώρινας και αργότερα στην περιοχή της Δράμας δεν απέδωσαν. Μάλιστα, η τελευταία προσπάθεια είχε ως αποτέλεσμα προϊόν με αρκετά μειονεκτήματα (κομμούς, ανομοιομορφία υλικού), χωρίς ιδιαίτερη αισθητική αξία και αρκετά μαλακό. Επιπλέον υπήρχε μεγάλη δυσκολία να εξορυχτούν μεγάλοι όγκοι που μπορούσαν να δώσουν πλάκες. Τα παραπάνω οδήγησαν σε εγκατάλειψη της προσπάθειας.

Ας προσπαθήσουμε εδώ να αναζητήσουμε τους λόγους γιατί δεν γίνεται εξόρυξη γρανίτη στην Ελλάδα. Η εξόρυξη γρανίτη είναι γενικά εύκολη αν και απαιτεί σαφώς διαφορετική τεχνογνωσία από αυτήν για το μάρμαρο. Αλλά η τεχνογνωσία υπάρχει όπως αποδεικνύουν οι προσπάθειες που ήδη έγιναν ή εύκολα μπορεί να έρθει και στην Ελλάδα όπως ήρθε η τεχνογνωσία της συρματοκοπής για τα μάρμαρα.

Φαίνεται λοιπόν ότι οι πιθανοί λόγοι είναι:

Η γεωλογική προσέγγιση του θέματος «έρευνα για γρανίτες» δεν είναι τόσο οικεία στις ελληνικές εταιρίες όπως για τα μάρμαρα.

Οι πρώτες ενδείξεις είναι ότι δεν υπάρχει κάποιας ιδιαίτερης αισθητικής πέτρωμα που να εγγυάται υψηλή αξία τελικού προϊόντος.

Οι τιμές πώλησης γκρίζων γρανιτών, που κυρίως υπάρχουν στην Ελλάδα, είναι χαμηλές. Τα χαμηλής αξίας υλικά πρέπει να είναι εύκολα απολήψιμα για να είναι

ανταγωνιστικά και μάλλον αυτό δεν ισχύει για τα ελληνικά δεδομένα.

Τα έξοδα μεταφοράς (οδικώς) μέσα στη Ελλάδα είναι μεγάλα.

Η εξόρυξη γίνεται με ακριβά και βαριά μηχανήματα. Άρα απαιτείται μεγάλη επένδυση στην αρχή και μεγάλη παραγωγή για να αποσβεστεί το κόστος της επένδυσης.

Όμως εκτός από τη χρήση των γρανιτών ως διακοσμητικών πετρωμάτων υπάρχουν, όπως ήδη αναφέρθηκε, και άλλες χρήσεις (κυβόλιθοι, υλικά διαμόρφωσης χώρων κλπ). Φυσικά ο όγκος των υλικών για τέτοιες χρήσεις δεν μπορεί να συγκριθεί με αυτόν που χρησιμοποιείται για διακοσμητικά πετρώματα ούτε βέβαια μεγάλες εταιρείες θα μπορούσαν να στηριχθούν σε τέτοιες δραστηριότητες μόνο. Στην Ελλάδα υπάρχουν αρκετά πυριγενή πετρώματα με χρωματισμούς που υπερκαλύπτουν σε ποικιλία τα χρησιμοποιούμενα για την παραγωγή κυβόλιθων, υλικών επίστρωσης και διαμόρφωσης χώρων, αλλά και καθαρά διακοσμητικών στοιχείων εξωτερικών χώρων. Ακόμη και αν δεχτούμε ότι τα περισσότερα πυριγενή πετρώματα της Ελλάδος είναι τεκτονισμένα και δεν μπορούν να δώσουν όγκους κατάλληλους για παραγωγή πλακών μεγάλων διαστάσεων κάλλιστα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τουλάχιστον για την παραγωγή κυβόλιθων και πολύ μικρών όγκων. Όμως ούτε αυτό γίνεται και αξίζει να αναζητηθούν οι πιθανές αιτίες πέρα από αυτές που προαναφέρθηκαν. Σαφώς η εξόρυξη πυριγενών πετρωμάτων απαιτεί σε κάθε περίπτωση διαφορετική τεχνογνωσία και διαφορετικό εξοπλισμό σε σχέση με τα απαιτούμενα για την εξόρυξη μαρμάρων και σχιστόλιθων. Η διαμόρφωση των κυβόλιθων απαιτεί αναλογικά περισσότερες ανθρωπόωρες απ' ότι η εξόρυξή τους και αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα τιμές κόστους σαφώς υψηλότερες από αυτές των εισαγόμενων. Για τον ίδιο λόγο δεν θα ήταν ανταγωνιστικές οι τιμές παραγόμενων στην Ελλάδα χειροποίητων διακοσμητικών στοιχείων από γρανίτες.

Ευχαριστίες

Θερμές ευχαριστίες απευθύνονται προς τους κ.κ. Κ. Μηνόπετρα, διευθυντή του εργοστασίου της Ελληνικής Εταιρείας Γρανιτών, Χ. Μαρμαρίδη, διευθυντή πωλήσεων της εταιρείας Παυλίδης, Θ. Δείρμεντζόγλου, διευθυντή παραγωγής της εταιρείας Παυλίδης και Π. Σταθόπουλο, ιδιοκτήτη της εταιρείας Pangea για τα στοιχεία που μας παρείχαν και για τη βοήθειά τους στην παρουσίαση της εργασίας αυτής.

Βιβλιογραφία

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) (1998).
Dimension Stone: Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.07, C 18.
- ATOMIC ENERGY COUNCIL (AEC) (1992). Standard for natural radioactivity of fly ash as building materials. Taiwan, ROC: AEC.
- CHEN, C.J. & LIN, Y.M. (1995). Assessment of building materials for compliance with

- regulations of roc. *Environment international*, 22, 221-226.
- HEINRICH, W.M.E. (1958). *Mineralogy and geology of radioactive raw materials*. McGraw-Hill Book Company, New York, 643 pp.
- ΚΕΛΕΣΙΔΗΣ, Η. & ΤΣΟΜΠΟΣ, Π. (1990). Η αξιοποίηση των γρανιτικών πετρωμάτων Πισοδερίου-Αγίου Γερμανού σαν διακοσμητικά πετρώματα. Πρακτ. Συνεδρίου «Το Ελληνικό Μάρμαρο», ΓΕΩΤ.Ε.Ε., Θεσσαλονίκη, 111-129.
- ΚΟΛΟΤΟΥΡΟΣ, Κ. (2002). Εισαγωγές – εξαγωγές διακοσμητικών πετρωμάτων. *Διακοσμητικά πετρώματα*, 18, 12-40.
- ΛΑΣΚΑΡΙΔΗΣ, Κ., ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ, Ν., ΚΕΥΣΕΡΗΣ, Ι. (2000). Επιλογή των διακοσμητικών πετρωμάτων με κριτήριο τις φυσικομηχανικές τους ιδιότητες. Πρακτ. 2^{ου} Πανελλ. Συνεδρίου «Το Ελληνικό Μάρμαρο», Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. & Δ.Ε.Θ. - ΗΕΛΕΧΡΟ, Θεσσαλονίκη, 87-96.
- ΠΑΥΛΙΔΟΥ, Σ. (2002). Εισαγόμενα πλουτωνικά πετρώματα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα ως δομικά υλικά: ορυκτολογία πετρολογία γεωχημεία ραδιενέργεια και φυσικομηχανικές ιδιότητες. Διατριβή ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 100σ.
- REDASTONE (1996). *Marble and Granite*. Redaprint, Verona, Italy.
- STRECKEISEN, A. & LE MAITRE, R. W. (1979). A chemical approximation to the modal QAPF classification of igneous rocks. *Neues. Jahrb. Mineral. Abh.*, 136, 169-206.
- ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ, Α. (1996). *Τα ελληνικά μάρμαρα και άλλα διακοσμητικά πετρώματα*. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 310σ.
- UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR) (1993). *Sources and Biological Effects of Ionising Radiation*, New York.
- ΧΡΥΣΟΣΤΟΜΙΔΗΣ, Π., ΖΑΝΝΑΣ, Ι. & ΣΟΦΟΣ, Φ. (1992). Το γρανιτικό σύμπλεγμα Βροντούς και η καταλληλότητά του στη μαρμαρινή τέχνη. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., Θεσσαλονίκη 17σ.
- ΖΙΚOVSKY, L. & KENNEDY, G. (1992). Radioactivity of building materials available in Canada. *Health Physics*, 63(4), 449-452.

ΗΜΕΡΙΔΑ «ΑΔΡΑΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ» Επιτροπή Οικονομική Γεωλογίας, Ορυκτολογίας, Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2003	ΣΕΛ. 107-117
--	--	-----------------

**ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ –
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ –
ΚΡΑΤΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΕ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗ**

Γ. Κ. Τριανταφυλλίδης¹

Περίληψη

Τα αδρανή υλικά χρησιμοποιούνται ευρύτατα στον ελλαδικό χώρο, ιδιαίτερα σε εφαρμογές του κατασκευαστικού τομέα και των δημοσίων έργων. Το νομικό πλαίσιο για την έκδοση άδειας εκμεταλλεύσεως αδρανών υλικών στηρίζεται σήμερα στο Ν. 2115/1993 και βέβαια στη διαδικασία έγκρισης των Περιβαλλοντικών Όρων, η οποία μετά το Ν. 1860/1986 αφορά κάθε βιομηχανική δραστηριότητα στην Ελλάδα ως χώρας μέλους της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το πλαίσιο αυτό συμπληρώνεται από την έγκριση της Τεχνικής Μελέτης των άρθρων 4 και 97 του ΚΜΛΕ, κάτι τι οποίο στην ουσία καλύπτει τα θέματα ασφάλειας εργαζομένων και περιοίκων μέσα από τυποποιημένη κατά το δυνατόν παραγωγική διαδικασία.

Η εισήγηση καλύπτει πέραν αυτών και μία ιστορική αναδρομή στη μεταλλευτική νομοθεσία από το 1973 και εντεύθεν, διότι πολλές σχετικές έννοιες «εισήχθησαν» και σε άλλους νόμους της περιόδου αυτής. Κατά το διάστημα αυτό συγκεκριμενοποιήθηκε η αδειοδοτική διαδικασία σε μεταλλευτικά ορυκτά, βιομηχανικά ορυκτά, μάρμαρα και αδρανή υλικά.

Abstract

The aggregate materials are commonly used in Greece, particularly in the building constructions and the public works. The issue of an authorisation for the exploitation of aggregate materials is based on the law 2115/1993 and on the approval of the Environmental Terms, which concerns each industrial activity in Greece as a member country of the European Union, according to the law 1860/1986. This legal frame is supplemented by the approval of the Technical Report (articles 4 and the 97 of KMLE), which concerns the safety of the workers and the neighbours through a standardised productive process.

In this paper a historical retrospection in the mining legislation by 1973 is also presented, because a lot of relative denotations were introduced in other laws of this period. During this time the process for an authorisation concerning ore minerals, industrial minerals, marbles and aggregate materials was more precise.

1. Εργαστήριο Τεχνολογίας Υλικών, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, ΑΠΘ, ΤΚ-541 24, Θεσσαλονίκη, e-mail: gktrian@auth.gr

Ορισμός των αδρανών υλικών

Το νομοθετικό διάταγμα **210/1973**, πολύ γνωστό ως **Μεταλλευτικός Κώδικας**, ήταν το πρώτο ιστορικά στη μεταπολεμική Ελλάδα το οποίο εισήγαγε κατάταξη από νομική άποψη των διαφόρων ορυκτών υλών προκειμένου αυτά εν συνεχεία να υποστούν εκμετάλλευση για παραγωγή συγκεκριμένων προϊόντων. Σύμφωνα με το νόμο αυτό οι ορυκτές πρώτες ύλες διακρίνονται σε **μεταλλευτικά ορυκτά** και σε **λατομικά ορυκτά**.

Ως **λατομικά ορυκτά** θεωρούνται τα μάρμαρα, οι ασβεστόλιθοι, οι δολομίτες με περιεκτικότητα σε $MgO < 21\%$, οι σχιστόλιθοι, οι μάργες, οι άργιλοι, οι καολίνες, οι ιλλίτες, οι μοντμοριλονίτες, οι μπεντονίτες, η κιμωλία, η γύψος, το αλάβαστρο, ο φλύσχης, οι τόφφοι, οι αμφιβολίτες, οι χαλαζίτες, οι οφίτες, οι ολιβίνες, οι περιδοτίτες, οι συηνίτες, οι διορίτες, οι γρανίτες, οι τραχείτες, οι ρυόλιθοι, οι δακίτες, οι ανδεσίτες, οι βασάλτες, οι περλίτες, η θηραϊκή γη και κάθε πέτρωμα παραπλήσιο προς τα ανωτέρω. Προφανώς πρόκειται για κατάταξη με βάση **γεωλογικούς όρους**.

Ο νόμος όμως αυτός, όπως και άλλοι επόμενοι οι οποίοι τον τροποποίησαν μερικά, **ασχολείται αποκλειστικά με τα μεταλλευτικά ορυκτά** και μάλιστα με τη διαδικασία αδειοδότησης περιοχών για εκμετάλλευση ανάλογων ορυκτών.

Το μεγάλο ενδιαφέρον για εκμετάλλευση πεντελικών μαρμάρων έδωσε αφορμή για την ψήφιση του **N.386/1976** ο οποίος παράλληλα ήταν **ο πρώτος νόμος αναφερόμενος και στην εκμετάλλευση λατομείων αδρανών υλικών**.

Η επόμενη αναφορά σε νόμο σχετικά με κατάταξη ορυκτών συναντάται στο **N. 669/77** «περί εκμεταλλεύσεως λατομείων». Ο νόμος αυτός πρακτικά αποτελεί συμπλήρωμα του **N. 210/1973**, **ασχολείται με τα λατομικά ορυκτά** και τα διακρίνει σε **βιομηχανικά ορυκτά, μάρμαρα και αδρανή υλικά**. Ισχύοντος του **N. 386/1976**, ο **N. 669/1977** αναφέρεται στην αδειοδότηση λατομείων βιομηχανικών ορυκτών και μαρμάρων.

Τη βάση για τη σημερινή κατάσταση στο χώρο αδειοδότησης των λατομείων αδρανών υλικών απετέλεσε ο **N. 1428/1984** ο οποίος πέραν των άλλων εισήγαγε και την έννοια της **λατομικής περιοχής αδρανών υλικών**. Ο νόμος αυτός τροποποιήθηκε σημαντικά με το **N. 2115/1993** ο οποίος ισχύει μέχρι σήμερα.

Ο **N. 1428/1984** δίνει έναν **τεχνοκρατικό ορισμό** του αδρανούς υλικού και όχι γεωλογικό, όπως ο μεταλλευτικός κώδικας. Έτσι **αδρανή υλικά είναι τα υλικά** διαφόρων διαστάσεων που προέρχονται από την εξόρυξη κατάλληλων πετρωμάτων ή την απόληψη φυσικών αποθέσεων θραυσμάτων τους και που χρησιμοποιούνται όπως έχουν ή μετά από θραύση ή λειοτριβήση ή ταξινόμηση για την κατασκευή σκυροδεμάτων ή κονιαμάτων ή με μορφή σκύρων ή μεγαλύτερων κομματιών, στην οδοποιία ή λοιπά τεχνικά έργα ή οικοδομές, καθώς και τα ασβεστολιθικά πετρώματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ασβέστη ή υδραυλικών κονιών ή συλλιπασμάτων μεταλλουργίας.

Ορίζει όμως και την έννοια του **λατομικού χώρου** (η ενιαία έκταση γης στην οποία έχει δικαίωμα εντοπισμού κοιτάσματος ή εκμετάλλευσης λατομικών ορυκτών ένας μόνον εκμεταλλευτής) και του **λατομείου** (έκταση γης μέσα στο λατομικό χώρο όπου αναπτύσσονται λατομικές εργασίες). Και βέβαια όπου ο νόμος αναφέρει μίσθωση λατομείου εννοεί μίσθωση λατομικού χώρου.

Διαδικασία αδειοδότησης

Οι λεπτομέρειες για την αδειοδότηση ενός λατομείου αδρανούς υλικού αναφέρονται λοιπόν στο **Ν. 2115/1993** τα ουσιώδη περιεχόμενα του οποίου είναι τα εξής:

1. Δικαίωμα εκμετάλλευσης έχει μόνον ο **ιδιοκτήτης γης** (ιδιώτης, ΝΠΔΔ, ΟΤΑ, δημόσιο).
2. Ο νόμος εισάγει την έννοια της **λατομικής περιοχής** η οποία πρέπει να ορισθεί για κάθε Νομαρχιακό Διαμέρισμα της χώρας προκειμένου να χωροθετηθούν λατομεία αδρανών υλικών. Ο καθορισμός της αποτελεί έργο ειδικής επιτροπής. Μπορεί ιδιοκτησιακά να είναι δημόσια ή ιδιωτική έκταση. Σ' αυτήν το δικαίωμα εκμετάλλευσης αδρανών υλικών υπερισχύει αυτού των μεταλλευτικών ορυκτών ή βιομηχανικών ορυκτών και μαρμάρων. Αναστροφή της διάταξης αυτής επιτρέπεται μετά από ειδική διαδικασία.
3. Η εκμίσθωση λατομείων κυριότητας του δημοσίου και των ΟΤΑ γίνεται μετά από **πλειοδοτικό διαγωνισμό** (για το πάγιο μίσθωμα, το αναλογικό μίσθωμα και την ελάχιστη ετήσια παραγωγή). Κατ' εξαίρεση επιτρέπεται η **απ' ευθείας μίσθωση δημοσίων λατομείων αδρανών** υλικών για κάλυψη των αναγκών έργων εθνικής ή διανομαρχιακής σημασίας (π.χ. ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ).
4. Εκμετάλλευση λατομείων αδρανών υλικών **εκτός λατομικών περιοχών** επιτρέπεται **κατ' εξαίρεση** σε τρεις περιπτώσεις:
 - α) Εάν δεν καταστεί δυνατή η λειτουργία λατομικής περιοχής
 - β) Εάν στο δεδομένο χώρο περιέχονται πετρώματα κατάλληλα για παραγωγή **αδρανών υλικών για ειδικές χρήσεις** και ιδίως για την παραγωγή τσιμέντου, ασβέστου ή αντιολισθηρών υλικών ή δομικών λίθων.
 - γ) Για κάλυψη των απαιτήσεων εθνικών ή διανομαρχιακών έργων.
5. Η εκμετάλλευση των δημοτικών, κοινοτικών και ιδιωτικών λατομείων καθώς και των λατομείων Ν.Π.Δ.Δ. επιτρέπεται μόνον μετά από **άδεια εκμεταλλεύσεως την οποία εκδίδει ο Νομάρχης**. Ειδικά για τα δημόσια λατομεία **η σύμβαση μίσθωσης επέχει θέση της άδειας εκμεταλλεύσεως**.
6. Κάθε αδειοδότηση δραστηριότητας εξορυκτικής φύσεως θα πρέπει να εξασφαλίζει:

Συνθήκες ασφάλειας του προσωπικού και των περιοίκων

Το δεδομένο αυτό νομοθετικά επιχειρείται να αντιμετωπισθεί μέσα από τις διατάξεις του **Κανονισμού Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ)**. Πρό-

κειται για μία Υπουργική Απόφαση, την Αρ. Π-5^η/Φ/17402 ΦΕΚ 931/Β'/31-12-1984. Στο στάδιο της αδειοδότησης απαιτείται η έγκριση της Τεχνικής Μελέτης των άρθρων του 4 και 97 από το ΥΠΑΝΑ.

Ως προϋπόθεση για εξέλιξη μιας διαδικασίας αδειοδότησης είναι να πληρούνται κατ' αρχήν τα προβλεπόμενα στο άρθρο 81 του ΚΜΛΕ σχετικά με τη χωροθέτηση των μεταλλευτικών και λατομικών εργασιών.

Συγκεκριμένα:

1. Στην εκπόνηση της Τεχνικής Μελέτης του άρθρου 4 για μεταλλευτικές ή λατομικές εργασίες κάτω από ή κοντά σε, οικήματα, έργα δημόσιας ωφέλειας, πυλώνες ή στύλους γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος ή τηλεπικοινωνιών, περιοχές αρχαιολογικού ή τουριστικού ενδιαφέροντος ή φυσικού κάλους, καθώς και στη διάρκεια της εκτέλεσής τους, πρέπει να προβλέπονται και να παύονται, μεταξύ των άλλων, και ειδικά μέτρα προστασίας των πιο πάνω περιοχών ή κατασκευών.

2. Για τη χωροθέτηση επιφανειακών μεταλλευτικών ή λατομικών εργασιών κοντά σε βιομηχανικά κτίσματα, οικίες, έργα κοινής ωφέλειας, πλατείες, γυμναστήρια, νεκροταφεία και λοιπούς κοινόχρηστους χώρους και εφ' όσον δεν χρησιμοποιούνται για την εκτέλεσή τους εκρηκτικές ύλες, πρέπει να αφήνεται απόσταση ασφάλειας, το λιγότερο 250 m από εκείνες που έχουν άμεσες επιπτώσεις (πχ. κατολισθήσεις πρανών, ρωγματώσεις, δονήσεις από μηχανήματα, σκόνη από εκσκαφές ή αποθέσεις) στα φυσικά χαρακτηριστικά του γειτονικού ή του ευρύτερου χώρου. Σε περίπτωση που γίνεται χρήση εκρηκτικών υλών το πιο πάνω όριο διπλασιάζεται.

3. Για τη χωροθέτηση εργασιών της παρ. 2 εδ. α' αυτού του άρθρου κοντά σε εθνικούς, επαρχιακούς και δημοτικούς δρόμους και εφ' όσον επιτρέπεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εκσκαφών σε σχέση με τη γεωμορφολογία της περιοχής, η πιο πάνω ελάχιστη απόσταση καθορίζεται σε 50 m. Τα παραπάνω δεν ισχύουν για δρόμους που έχουν ανοιχτεί για την εξυπηρέτηση του έργου και δεν έχουν καμία αστική ή κοινοτική προσπέλαση. Σε περίπτωση που γίνεται χρήση εκρηκτικών υλών το πιο πάνω όριο καθορίζεται σε 300 m.

4. Για τη χωροθέτηση των εργασιών της παρ. 2 εδ. α' του παρόντος άρθρου κοντά σε θέσεις στύλων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, υψηλής τάσης ή μέσης - χαμηλής τάσης και τηλεπικοινωνιών, η πιο πάνω ελάχιστη απόσταση καθορίζεται, αντίστοιχα, σε 70 m και 50 m. Σε περίπτωση που γίνεται χρήση εκρηκτικών υλών η ελάχιστη απόσταση καθορίζεται σε 150 m από το νοητό κατακόρυφο επίπεδο που περνάει από τις γραμμές μεταφοράς. Τα προβλεπόμενα από τα παραπάνω εδάφια α' και β' δεν ισχύουν για τις γραμμές μεταφοράς που εξυπηρετούν τη λειτουργία του έργου, με την προϋπόθεση ότι δεν επηρεάζουν την ασφάλεια και λειτουργία των εξωτερικών δικτύων.

5. Κατ' εξαίρεση, για περιπτώσεις περιορισμένης χρήσης εκρηκτικών υλών σε

περιστασιακές ή υποβοηθητικές ή μικρής έκτασης και διάρκειας εργασίες (πχ. διάνοιξη δρόμων, κατάρριψη επισφαλών όγκων από το φρύδι πρανούς) η ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση από κτίσματα που κατοικούνται, έργα κοινής ωφέλειας και κοινόχρηστους δρόμους καθορίζεται σε 50 m. Ειδικά για διάνοιξη δρόμων προσπέλασης από κύριο δρόμο επιτρέπεται η περιορισμένη χρήση εκρηκτικών υλών και για αποστάσεις μικρότερες από 100 m, μετά από ειδική άδεια της Αστυνομικής Αρχής και αφού παρθούν με φροντίδα της Διεύθυνσης του Έργου και όλα τα απαραίτητα για την ασφάλεια των περιοίκων και διερχομένων πρόσθετα μέτρα.

6. Για τη χωροθέτηση των υπόγειων εργασιών πρέπει να γίνεται κατάλληλος σχεδιασμός στην τεχνική μελέτη του άρθρου 4, καθώς και εκτέλεσή τους, ώστε ανάλογα με την έκταση του κοιτάσματος, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων, τη μέθοδο για την υπόγεια εκμετάλλευση και το βάθος των εργασιών, να μη δημιουργούνται επιπτώσεις στην επιφάνεια (πχ ρωγμές, καθιζήσεις, κατολισθήσεις).

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται για τη χωροθέτηση των εξόδων στην επιφάνεια των υπόγειων εργασιών λιγνητορυχείων, ανθρακορυχείων και εύφλεκτων μεταλλείων, ώστε να μη δημιουργούνται κίνδυνοι σε κτίσματα, οικισμούς, έργα κοινής ωφέλειας, εγκαταστάσεις, δασικές εκτάσεις κλπ.

Οι πιο πάνω προϋποθέσεις συνοψίζονται από τον αρμόδιο Τοπογράφο Μηχανικό κατά τη σύνταξη του αρχικού Τοπογραφικού Διαγράμματος κλίμακας 1:5.000 (αντίγραφο χάρτου της ΓΥΣ με ισοϋψείς καμπύλες) στο οποίο ρητά αναφέρεται ότι «πληρούνται οι προϋποθέσεις του άρθρου 81 του ΚΜΛΕ σε απόσταση 1000 m από τη λατομική έκταση (ιδιαίτερα για λατομικές ζώνες αδρανών υλικών)».

Αποκατάσταση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Το θέμα αυτό είναι ιδιαίτερα σοβαρό και μεγάλης έκτασης για να αναλυθεί στο περιορισμένο χρονικό διάστημα το οποίο διατίθεται στην ημερίδα. Ιστορικά ο πρώτος νόμος ο οποίος έθεσε επί τάπητος το ζήτημα της αποκατάστασης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ήταν ο **N. 998/1979 «περί προστασίας των δασών και των δασικών εκτάσεων της Χώρας»**. Κινούμενος στις συνταγματικές επιταγές ο νόμος αυτός επέτρεπε την επέμβαση για εξορυκτική δραστηριότητα μέσα σε δάσος ή δασική έκταση υπό την προϋπόθεση σύνταξης, υποβολής και έγκρισης της μελέτης επιπτώσεων στο περιβάλλον και αποκατάστασής τους (ΜΠΕ) από την έρευνα και εκμετάλλευση λατομείων και μεταλλείων. Η έκδοση της **ειδικής άδειας για επέμβαση σε δασική έκταση** ήταν η τελική φάση πριν την έναρξη των εξορυκτικών εργασιών. Οι προδιαγραφές για τις μελέτες αυτές δόθηκαν στην **Υπουργική Απόφαση των Υπουργών Συντονισμού, Γεωργίας και Βιομηχανίας 183037/5115 στις 28.8.1980**.

Δεδομένου ότι οι εξορυκτικές επεμβάσεις στη μεγάλη τους πλειοψηφία επιχει-

ρούνται μέσα σε δάση ή δασικές εκτάσεις, η εφαρμογή του Ν. 998/1979 ήταν καθοριστική και το καθεστώς αυτό διατηρείται εύσχημα μέχρι σήμερα.

Η εν τω μεταξύ προσχώρηση της Ελλάδας στην ΕΟΚ επέβαλε την εναρμόνιση της περιβαλλοντικής νομοθεσίας στα ισχύοντα στις χώρες μέλη και στο πλαίσιο αυτό ψηφίσθηκε ο νόμος **1650/1986** «Για την προστασία του περιβάλλοντος». Από διαδικαστική άποψη ο νόμος αυτός προέβλεπε καινοτομικά την **Έγκριση των Περιβαλλοντικών Όρων** προκειμένου να προχωρήσει οποιαδήποτε επέμβαση στο περιβάλλον χωρίζοντας τα έργα και δραστηριότητες σε τρεις κατηγορίες.

Ο νόμος αυτός ενεργοποιήθηκε με την **Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 69269/5387/25-10-1990** η οποία οριοθέτησε την κατάταξη των έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, έδωσε το περιεχόμενο των ΜΠΕ και των Ειδικών Περιβαλλοντικών Μελετών. Στις 2-11-1990 με νέα ΚΥΑ οριστικοποιήθηκε ο τρόπος ενημέρωσης των πολιτών στα Νομαρχιακά συμβούλια κατά τη διαδικασία Έγκρισης των Περιβαλλοντικών Όρων.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα για την αδειοδότηση ενός λατομείου αδρανών υλικών έπρεπε να υποβληθεί η ΜΠΕ στην αρμόδια Υπηρεσία του ΥΠΕΧΩΔΕ στην Αθήνα η οποία μετά από όλο τον απαιτούμενο κύκλο εξέδιδε την Απόφαση Έγκρισης των Περιβαλλοντικών Όρων με συνυπογραφή του ΥΠΑΝΑ και του Υπουργείου Γεωργίας για επεμβάσεις σε δασικές εκτάσεις ή δάση.

Το καθεστώς αυτό λειτούργησε μέχρι τα τέλη του 2002 έως τις αρχές του 2003 οπότε επήλθαν **τροποποιήσεις στην περιβαλλοντική νομοθεσία** σύμφωνα με τις Οδηγίες **97/11 Ε.Ε. και 96/61 Ε.Ε.**, και συγκεκριμένα:

- Ψηφίσθηκε ο Ν. 3010/2002 με τον οποίο έγιναν τροποποιήσεις σε άρθρα του Ν. 1650/86 προκειμένου αυτός να εναρμονισθεί με τις προαναφερθείσες Οδηγίες της ΕΕ.
- Ακολούθησαν τρεις ΚΥΑ οι οποίες ρύθμισαν θέματα αποκέντρωσης προς τις Περιφέρειες της διαδικασίας Έγκρισης των Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ), τη διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και ΕΠΟ σύμφωνα με το άρθρο 2 του Ν. 3010/2002 και τέλος τα θέματα κατάταξης δημόσιων και ιδιωτικών έργων σε κατηγορίες σύμφωνα με το άρθρο 1 του Ν. 3010/2002.

Έτσι και σε συνδυασμό με τα όσα προαναφέρθηκαν για τη χωροθέτηση των λατομείων αδρανών υλικών η Έγκριση των Περιβαλλοντικών Όρων ακολουθεί τους εξής δρόμους **ανάλογα με τη μορφή χωροθέτησης των λατομείων αδρανών υλικών:**

1. Για λατομεία εντός λατομικής ζώνης υποβάλλεται ΜΠΕ σύμφωνα με τον Πίνακα 2 της ΚΥΑ 69269/90 και τα κατάλληλα τμήματα της μελέτης του Ν. 998/79 στις ΔΠΕΧΩ των Περιφερειών από όπου και εκδίδεται τελικά η ΕΠΟ.
2. Για λατομεία εκτός λατομικής ζώνης υποβάλλεται ΜΠΕ σύμφωνα με τον Πί-

νακα 2 της ΚΥΑ 69269/90 και τα κατάλληλα τμήματα της μελέτης του Ν. 998/79 στις ΔΙΠΕΧΩ των Περιφερειών από όπου και εκδίδεται τελικά η ΕΠΟ. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι στην περίπτωση αυτή απαιτείται προέγκριση από την Περιφέρεια.

3. Για τις περιπτώσεις λατομείων αδρανών υλικών εντός της ζώνης ΦΥΣΗ 2000 η ΜΠΕ υποβάλλεται στη Διεύθυνση Περιβαλλοντικού σχεδιασμού του ΥΠΕΧΩΔΕ στην Αθήνα από όπου εκδίδεται τελικά η ΕΠΟ.

Με βάση τα προαναφερόμενα οι **προδιαγραφές των εδαφίων V και VI των προδιαγραφών του Ν. 998/1979** για επέμβαση σε δασική έκταση με στόχο την εκμετάλλευση και το ερωτηματολόγιο του **Πίνακα 2 της ΚΥΑ 69269/1990** έχουν ιδιαίτερη σημασία διότι πρακτικά η απάντηση στα ερωτήματα ή εδάφιά τους είναι το περιεχόμενο της ΜΠΕ για την έκδοση της έγκρισης των Περιβαλλοντικών Όρων.

Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων-Έγκριση από το ΔΙΠΕΧΩ

Πίνακας 2. της μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων τύπου β' για έργα και δραστηριότητες πρώτης κατηγορίας (ΚΥΑ 6926/5387/90).

-
1. ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΟΥ Ή ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ
 2. ΠΕΡΙΛΗΨΗ
 3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ
 4. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
 - Υφιστάμενες πηγές ρύπανσης
 - Συνοπτική περιγραφή αναγλύφου, μορφολογίας, σύστασης εδάφους, κλίσεων, γεωλογίας περιοχής κλπ
 - Συνοπτική περιγραφή υδρογεωλογίας της περιοχής
 - Περιγραφή κλιματολογικών στοιχείων
 5. ΧΛΩΡΙΔΑ - ΠΑΝΙΔΑ
 6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ Ή ΤΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
 - 6.1 Περιγραφή της λειτουργίας των διαφόρων μονάδων της εγκατάστασης κατά φάσεις
 - Περιοχή εκμετάλλευσης του κοιτάσματος
 - Εγκαταστάσεις θραύσης και ταξινόμησης του πετρώματος
 - 6.2 Σχέδιο κάτοψης και διάγραμμα ροής της όλης εγκατάστασης
 - 6.3 Χρήση νερού και ενέργειας
 - 6.4 Πρώτες ύλες – προϊόντα
 - 6.5 Απόβλητα
 - 6.5.1 Αέρια απόβλητα
 - α) Αέρια – ατμοί – αερολύματα
 - β) Σωματίδια
 - γ) Καπνός
 - δ) Σκόνη
 - 6.5.2 Υγρά απόβλητα

- 6.5.3 Στερεά απόβλητα – Ιλύες – Τοξικά απόβλητα – Απορρίμματα
 - 6.5.4 Θόρυβος
 - 6.5.5 Επιπτώσεις στη φυσιογνωμία της περιοχής
 - 7. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ
 - 7.1 Αέρια απόβλητα
 - 7.2 Υγρά απόβλητα
 - 7.3 Στερεά απόβλητα – Ιλύες – Τοξικά απόβλητα – Απορρίμματα
 - 8. ΟΔΗΓΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ
 - 9. ΤΥΧΟΝ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΕΙΔΙΚΩΝ ΕΝΤΥΠΩΝ ΠΟΥ ΧΟΡΗΓΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ
 - 10. ΠΙΝΑΚΕΣ - ΧΑΡΤΕΣ
-

Ενότητες V και VI των προδιαγραφών του Ν. 998/79

για επέμβαση σε δασική έκταση εξορυκτικών δραστηριοτήτων στις οποίες βέβαια υπάγονται οι εξορυξείς αδρανών υλικών. Οι ενότητες αυτές συμπληρώνουν τα περιεχόμενα του ΠΙΝΑΚΑ 2 της ΚΥΑ 69269 διότι είναι συγκεκριμένες στον τρόπο εκμετάλλευσης και αποκατάστασης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων συμπεριλαμβανομένου του κόστους αποκατάστασης.

V. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ

1. Κοιτασματολογικά στοιχεία
 - α) Μέθοδος εκμεταλλεύσεως
 - β) Περιορισμοί χώρου απόρριψης στείρων
 - γ) Υπολογισμός εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων
 - δ) Απολήψιμα αποθέματα
 2. Μέθοδος εκμεταλλεύσεως
 3. Επιλογή θέσεως (εκτός κοιτάσματος) και τρόπου απορρίψεως των στείρων υλικών
 4. Αναγκαίο οδικό δίκτυο
 5. Μέθοδος κατεργασίας, εμπλουτισμού και περαιτέρω κατεργασίας
 6. Εγκαταστάσεις
 7. Ανάγκες και τρόπος καλύψεως σε νερό για τη λειτουργία του έργου
 8. Εκτίμηση της χρονικής διάρκειας της επεμβάσεως
 9. Μέτρα προστασίας εκτός των αντιμετωπιζομένων από τις κείμενες διατάξεις.
- ΧΑΡΤΗΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΣ**
 Κάτοψη
 Τομή ε του χάρτη εκμεταλλεύσεως

VI. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

1. Μέριμνα για τον περιορισμό ή την αποφυγή των δυσμενών επιπτώσεων στο δάσος ή τη δασική έκταση κατά τη διάρκεια της δημιουργίας έργων υποδομής

2. Προτεινόμενη διαμόρφωση χώρου επεμβάσεως
 - 2.1 Διαμόρφωση του χώρου εξορύξεως (κατά τη διάρκεια της εκμεταλλεύσεως ή και μετά το πέρας των εργασιών).
 - 2.2 Δυνατότητα για πλήρωση με άλλα αδρανή υλικά του ορύγματος.
 - 2.3 Επικάλυψη των πληρωθέντων κενών με φυτική γη
 - 2.4 Δυνατότητα χρησιμοποίησεως του χώρου εκμεταλλεύσεως (μετά το πέρας των εργασιών) με κατάλληλη διαμόρφωση για άλλες χρήσεις.
3. Διαμόρφωση του χώρου απόθεσης στείρων, στερεών απορριμάτων και της φυτικής γης.
 - 3.1 Εναπόθεση του εδαφικού υλικού χωριστά από τα στείρα για τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησεως.
 - 3.2 Εναπόθεση των στείρων και στερεών απορριμάτων σε κατάλληλες θέσεις.
 - 3.3 Κατασκευή τοίχων αντιστηρίξεως εφόσον κρίνεται αναγκαίο
4. Εργασίες αποκαταστάσεως χώρου επεμβάσεως κατά φάσεις, εφόσον τούτο είναι δυνατόν.
 - 4.1 Επιδιωκόμενο αποτέλεσμα
 - 4.2 Γεωμεταβολές
 - 4.3 Τρόποι επαναφοράς της βλαστήσεως
 - 4.4 Δημιουργία πράσινης ζώνης προστασίας
 - 4.5 Μηχανικά μέσα για την αποκατάσταση
 - 4.6 Τρόποι συντηρήσεως
 - 4.7 Χρονοδιάγραμμα εργασιών αποκαταστάσεως
5. Κόστος αποκαταστάσεως
 - 5.2 Προμετρήσεις εργασιών και υλικών
 - Κόστος αποκαταστάσεως
 - Εργασίες αποκαταστάσεως
 - Εργασίες συντηρήσεως
6. Δημιουργία υποδομής αποκαταστάσεως
 - 6.1 Αποθήκευση και εξεύρεση εδαφών
 - 6.2 Δημιουργία ιδίων φυτωρίων
 - 6.3 Έρευνες για επάρκεια σε νερό
7. Παρουσίαση στοιχείων αντιμετώπισεως των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Τεχνική μελέτη των άρθρων 4 και 97 ΚΜΛΕ – Έγκριση από ΥΠΑΝΑ προδιαγραφές της τεχνικής μελέτης

για εξορυκτικές δραστηριότητες στις οποίες συμπεριλαμβάνονται τα λατομεία αδρανών υλικών

- α) Στοιχεία της επιχείρησης
- β) Στοιχεία του έργου
- γ) Στοιχεία μέρους του έργου

- δ) Κεφάλαιο λατομικών εργασιών για εντοπισμό κοιτασμάτων
- ε) Κεφάλαιο λατομικών εργασιών εκμετάλλευσης
 - ε.α) Περιγραφή του χώρου εκμετάλλευσης και της ευρύτερης του περιοχής, σε ακτίνα, το λιγότερο, 1 km, με πλήρες τριγωνομετρικό τοπογραφικό σχεδιάγραμμα κλίμακας 1:5.000 εξαρτημένο από κέντρο φύλλου χάρτου κλίμακας 1:100.000
 - ε.β) Γεωλογικά και κοιτασματολογικά στοιχεία του χώρου
 - ε.γ) Υπολογισμός αποθεμάτων ορυκτών υλών ανάλογα με το είδος και την κατηγορία τους
 - ε.δ) Εκλογή μεθόδου για την εκμετάλλευση του κοιτάσματος και υπολογισμός των απολήψιμων αποθεμάτων.
 - ε.ε) Προσπέλαση από το κύριο οδικό δίκτυο στο χώρο εκμετάλλευσης του κοιτάσματος και απαιτούμενα έργα υποδομής.
 - ε.στ) Ειδικές μελέτες για κάθε φάση και είδος εργασίας
 - Εσωτερική προσπέλαση βαθμίδων
 - Προετοιμασία νέας βαθμίδας
 - Κύριες εξορυκτικές εργασίες
 - Εσωτερική διακίνηση προϊόντων και στείρων
 - Αποθήκευση και χρήση των εκρηκτικών υλών
 - Αντιμετώπιση νερών
 - Ασφάλεια επιφάνειας
 - Ασφάλεια προσωπικού
 - Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
 - Μεταφορά προσωπικού, νερού και υλικών γενικής μέριμνας
 - ε.ζ) Χρονοδιάγραμμα εξέλιξης των παραπάνω εργασιών
 - ε.η) Αριθμός εργαζομένων ανάλογα με την ειδικότητα, φάση και είδος εργασίας.
 - ε.θ) Προβλεπόμενη ημερήσια και ετήσια παραγωγή
 - ε.ι) Κύριες εγκαταστάσεις επεξεργασίας
 - ε.ι.α) Θέση εγκαταστάσεων
 - ε.ι.β) Γενική περιγραφή της μεθόδου επεξεργασίας, αντίστοιχο διάγραμμα ροής
 - ε.ι.γ) Δυναμικότητα κάθε εγκατάστασης και συνολική ισχύς εξοπλισμού
 - ε.ι.δ) Προϊόντα που θα παράγονται
 - ε.ι.ε) Αριθμός εργαζομένων
 - ε.ια) Βοηθητικές εγκαταστάσεις
 - ε.ια.α) Θέση των εγκαταστάσεων
 - ε.ια.β) Περιγραφή των εγκαταστάσεων
 - ε.ια.γ) Αριθμός εργαζομένων
 - ε.ιβ) Αναλυτικός υπολογισμός του ύψους επένδυσης και του κόστους λειτουργίας (ΕΥΡΩ)

- A. Υπολογισμός του ύψους επένδυσης
 - Πάγιες εγκαταστάσεις και δαπάνες
 - Κινητά στοιχεία (μηχανήματα)
 - B. Υπολογισμός κόστους λειτουργίας (EYPΩ/m³ αδρανών)
 - B1. Επιβάρυνση προσωπικού
 - B2. Κατανάλωση κοπτικών υλικών
 - B3. Κατανάλωση εκρηκτικών υλών
 - B4. Κατανάλωση ενέργειας και λιπαντικών
 - B5. Συντήρηση εξοπλισμού
 - B6. Αποσβέσεις κεφαλαίου επένδυσης
 - B7. Πάγια και Αναλογικά δικαιώματα μίσθωσης
 - B8. Κόστος αποκατάστασης του περιβάλλοντος
 - B9. Γενικά έξοδα – απρόβλεπτα
- ε.ιγ) Στοιχεία για τη δυνατότητα διάθεσης των προϊόντων

Ισχύουσα κατάσταση στην περιοχή Μακεδονίας – Θράκης

Σήμερα στη Μακεδονία και Θράκη λειτουργούν ευάριθμα λατομεία αδρανών υλικών τα οποία εξυπηρετούν τα δημόσια και ιδιωτικά έργα. Η θεσμοθέτηση των λατομικών περιοχών έχει προχωρήσει σημαντικά και οι εκκρεμότητες σχετικά με αυτές περιορίζονται με την πάροδο του χρόνου. Επίσης λειτουργούν πολλά λατομεία αδρανών για εξυπηρέτηση και τροφοδοσία διανομαρχιακών ή έργων εθνικής εμβέλειας.

Προτάσεις

Στα πλαίσια εφαρμογής του προαναφερθέντος πλαισίου αδειοδότησης αλλά και γενικά της λειτουργίας των λατομείων αδρανών υλικών κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν **δύο σημαντικά προβλήματα τα οποία έχουν διαπιστωθεί και ζητούν τη λύση τους:**

A) Πρόσφατα προκύπτει η ανάγκη τροφοδοσίας μεγάλων δημόσιων έργων με αδρανή υλικά ειδικών προδιαγραφών. Είναι γνωστά στην αγορά ως «σκληρά αδρανή». Η διαδικασία αδειοδότησης ανάλογων λατομείων έχει κυριολεκτικά βαλτώσει πρόσφατα **λόγω της απαίτησης του Ν. 2115/1993 για δημόσιο πλειστηριασμό μιας δημόσιας έκτασης** «αδρανών υλικών ειδικών προδιαγραφών» προκειμένου να χαρακτηριστεί λατομική περιοχή. Κάποιες σχετικές άδειες έχουν εκδοθεί για ιδιωτικούς χώρους.

B) Σε όλα τα λατομεία αδρανών υλικών γίνεται χρήση εκρηκτικών υλών για την εξόρυξη του πετρώματος. Ήδη στη διεθνή αγορά εμφανίσθηκαν **τεχνικές εξόρυξης με μηχανικό τρόπο**. Η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής θα σημάνει μία νέα εποχή στη διαδικασία παραγωγής των λατομείων αδρανών υλικών. Ανάλογη επανάσταση επέφεραν οι αδαμαντοφόρες συρματοκοπές στα λατομεία μαρμάρων στις αρχές της δεκαετίας του 1980.