



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΠΑΡΜΠΑΣ
ΑΕΜ 5447

ΑΔΡΑΝΗ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2024





ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΠΑΡΜΠΑΣ

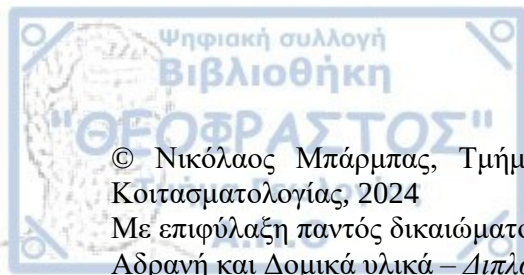
ΑΔΡΑΝΗ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Βασίλης Μέλφος, Καθηγητής

© Νικόλαος Μπάρμπας, 2024
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.



© Νικόλαος Μπάρμπας, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2024
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
Αδρανή και Δομικά υλικά – *Διπλωματική Εργασία*

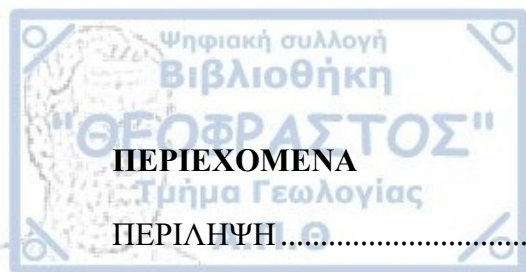
© Nikolaos Barmpas, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2024
All rights reserved.
Aggregates and Construction materials– *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: <https://www.texnikos.gr/dapeda/379-adrani-skirodematos>





ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
2. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ.....	3
2.1 Γενικά.....	3
2.2 Κυρίαρχες μορφές ταξινόμησης αδρανών.....	4
2.3 Λήψη – Συλλογή αδρανών.....	8
2.4 Λατομεία αδρανών υλικών.....	8
2.5 Επιπτώσεις και αποκατάσταση λατομείων.....	11
3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	13
3.1 Αδρανή για σκυρόδεμα.....	13
3.2 Σκύρα έρματος σιδηροδρομικών γραμμών.....	14
3.3 Αδρανή για ασφαλτομίγματα.....	15
3.4 Αδρανή με ή χωρίς συνδετικά υλικά για βάσεις και υποβάσεις.....	16
3.5 Αδρανή για κονιάματα.....	17
3.6 Ελαφρά αδρανή και οι επιλογές τους.....	18
4. ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥΣ.....	21
4.1 Γενικές ιδιότητες-Δοκιμές.....	21
4.2 Γεωμετρικές ιδιότητες- Δοκιμές.....	21
4.3 Φυσικομηχανικές και χημικές ιδιότητες – Δοκιμές.....	25
4.4 Προδιαγραφές για αδρανή σκυροδέματος.....	27
4.5 Προδιαγραφές έρματος σιδηροδρομικών γραμμών.....	27
4.6 Προδιαγραφές για αδρανή ασφαλτομιγμάτων.....	27
5. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	32
5.1 Γενικά.....	32
5.2 Ευρωπαϊκά – Ελληνικά δεδομένα αδρανών.....	33
5.3 Βιώσιμη ανάπτυξη.....	36
5.4 Κυκλική οικονομία.....	37
5.5 Απορρίμματα Εκσκαφής Κατασκευής και Κατεδάφισης – ΑΕΚΚ.....	39
5.6 Αξιοποίηση ανακυκλωμένων υλικών ως αδρανή.....	42
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	46
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	47



ΞΕΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	50
-----------------------------	----



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αδρανή και Δομικά υλικά

Νικόλαος Μπάρμπας

Τα αδρανή υλικά είναι μια ευρέως διαδεδομένη πρώτη ύλη στον τομέα των κατασκευών. Ονομάζονται αδρανή διότι όταν αναμειγνύονται με κάποιο συγκολλητικό μέσο δεν αντιδρούν χημικά βελτιώνοντας τις ιδιότητες του. Τα πιο δημοφιλή αδρανή υλικά είναι η άμμος, το χαλίκι, ο περλίτης κ.α. και βρίσκουν πολλές εφαρμογές ως δομικά υλικά, όπως για παράδειγμα στη σύνθεση σκυροδέματος, ασφαλτομιγμάτων, κονιαμάτων. Στη παρούσα εργασία περιγράφονται γενικές πληροφορίες σχετικά με τα αδρανή υλικά, με τους συνήθεις τρόπους κατηγοριοποίησης και τον τρόπο απόληψης τους στις σύγχρονες λατομικές εγκαταστάσεις. Στη συνέχεια αναφέρονται κάποιες από τις χρήσεις των αδρανών υλικών και οι γεωμετρικές, φυσικοχημικές και μηχανικές προδιαγραφές εφαρμογής τους, όπως ορίζονται από τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης (ΕΛΟΤ). Τέλος παρουσιάζονται τα σημερινά δεδομένα αναφορικά με την παραγωγή, την εξόρυξη και την χρήση των αδρανών σε Ευρώπη και Ελλάδα και τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για τη βιώσιμη διάθεση των αδρανών υλικών στο άμεσο μέλλον.



ABSTRACT

Aggregates and Construction materials

Nikolaos Barmpas

Aggregates are a widely used raw material in the construction sector. They are called aggregates because when mixed with a binding agent, they do not chemically react and enhance its properties. The most popular aggregates are sand, gravel, perlite, etc., and they find numerous applications as construction materials, such as in the composition of concrete, asphalt mixtures, and mortars. This thesis describes general information about aggregates, common classification methods, and their extraction methods in modern quarry facilities. It then mentions some of the uses of aggregates and their geometric, physicochemical, and mechanical application specifications as defined by the Hellenic Organization for Standardization (ELOT). Finally, the current data regarding the production, extraction, and use of aggregates in Europe and Greece are presented, along with the measures that need to be taken for the sustainable disposal of aggregates in the near future.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βιομηχανική επανάσταση σε συνδυασμό με τις ραγδαίες εξελίξεις στον κατασκευαστικό τομέα και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου, καθιέρωσαν τα αδρανή υλικά ως μια από τις σημαντικότερες πρώτες ύλες στον κόσμο. Αποτελούν θεμελιώδη λίθο των σύγχρονων κοινωνιών και δείκτη οικονομικής ευημερίας παγκοσμίως αφού βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στον κατασκευαστικό τομέα.

Ανάλογα με τη φύση και τις ιδιότητες τους, τα αδρανή υλικά καθορίζουν τη ποιότητα του τελικού προϊόντος το οποίο συμφιλώνεται στα πρότυπα κατασκευής ανάλογα τα συλλογικά συμφέροντα σε Διεθνές, Ευρωπαϊκό και Εθνικό επίπεδο.

Η αμείωτη ζήτηση για αδρανή σε βάθος χρόνου σε συνδυασμό με τις προκλήσεις των τελευταίων ετών εγείρει ανησυχίες σχετικά με τη διαθεσιμότητα και τη βιωσιμότητα τους. Έτσι κρίνεται επιτακτική η ανάγκη προσαρμογής στα νέα μοντέλα παραγωγής για την εξοικονόμηση ενέργειας και την επίτευξη των μακροχρόνιων στόχων που έχει θέσει η ΕΕ μέσω της πράσινης συμφωνίας, υπό την απειλή της κλιματικής αλλαγής. Καλούνται τα κράτη -μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και η Ελλάδα τα επερχόμενα κρίσιμα χρόνια να ξεπεράσουν τα εγχώρια και νομοθετικά προβλήματα τους και να λάβουν το συντομότερο δυνατό τα απαραίτητα μέτρα για τη νέα βιώσιμη.

2. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

2.1 Γενικά

Τα αδρανή υλικά μετά τον αέρα και το νερό, είναι η διασημότερη πρώτη ύλη παγκοσμίως. Αποτελεί τον μεγαλύτερο εξορυκτικό κλάδο ανάμεσα σε αυτές των μη ενεργειακών, με τεράστια εφαρμογή στα δομικά έργα.

Σε παγκόσμια κλίμακα κάθε άτομο καταναλώνει περίπου 5 τόνους αδρανών υλικών ετησίως. Αποτελεί λοιπόν, απαραίτητη ύλη της σύγχρονης καθημερινότητάς, αφού αποτελεί το βασικό υλικό κατασκευής όλων των μεγάλων υποδομών όπως δρόμων, γεφυρών, κτιρίων, σταθμών, φραγμάτων, αεροδρομίων, λιμανιών κ.α.

Ενδεικτικές ποσότητες αυτών, σχετικά με την εφαρμογή τους, είναι στους μεγάλους αυτοκινητόδρομους όπου απαιτούνται 30000 τόνοι αδρανών για 1km δρόμου, στις σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις όπου 1 m σιδηρόδρομου δεσμεύει 9 τόνους αδρανών και στα μεγάλα ψυχαγωγικά κέντρα και στάδια με 300.000 τόνους να απαιτούνται για τη κατασκευή τους. Ως προς την κύρια εφαρμογή τους που είναι η παρασκευή σκυροδέματος, τα υλικά αυτά

βοηθάνε στο να κρατηθεί χαμηλά το κόστος του, με συμμετοχή 70-80%, αποτελώντας έτσι οικονομικά άρα και κρίσιμα για τη παραγωγή υλικά.

Ορισμός Αδρανών υλικών

Αδρανή ονομάζονται τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται είτε :

- Αυτούσια σε οδικά έργα (Τσιάβου κ.ά. 2004), σιδηροδρομικά υποστρώματα (βάσεις, υποβάσεις), σε τοιχώματα αντιστήριξης πρανών, σε φράγματα, σε έργα σιδηροδρομικών γραμμών.
- Σαν πρόσθετο υλικό σε μίγματα, με συγκολλητικό μέσο, όπως για παραγωγή, τσιμέντου, κονιαμάτων, σε διαφόρων ειδών τεχνικές εργασίες. Τα υλικά αυτά είναι διαβαθμισμένα και μπορεί να προέρχονται είτε από ορυκτά είτε από βιομηχανική παραγωγή.

Ένα κύριο χαρακτηριστικό τους, που βέβαια προδίδει και η ονομασία τους, είναι ότι κατά την ανάμειξη τους με το συγκολλητικό μέσο κατά κύριο λόγο δεν αντιδρούν χημικά (διαδικασία σκλήρυνσης και πήξης), πάρα μόνο συγκρατούνται από αυτό. Στην πραγματικότητα διάφορες ιδιότητες είτε φυσικές είτε χημικές μπορούν να επηρεάσουν την συμπεριφορά του συνδετικού υλικού.

2.2 Κυρίαρχες μορφές ταξινόμησης αδρανών

Τα αδρανή υλικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορους τρόπους, όπως με βάση την προέλευση τους, το ειδικό τους βάρος, την πηγή από την οποία λαμβάνονται, το μέγεθος των κόκκων τους, αλλά και την ποιότητα τους. Έτσι ταξινομούνται:

A) Με βάση την προέλευσή τους

- Φυσικής προέλευσης
- Τεχνητά ή βιομηχανικά
- Ανακυκλωμένα

Τα αδρανή υλικά φυσικής προέλευσης διακρίνονται με τη σειρά τους σε αυτά της απευθείας συλλογής και σε θραυστά που η συλλογή τους γίνεται από τα λατομεία. Τα πρώτα που συλλέγονται από φυσικό περιβάλλον (από αποθέσεις ποταμών ή θαλασσών) δεν δέχονται επεξεργασία και είναι λεία με χαμηλές τριβές. Συναντώνται σε ήπια ανάγλυφα και μπορούν να συλλεχθούν εύκολα εξαιτίας της χαλαρής φύσης των υλικών τους. Στα φυσικά αδρανή συγκαταλέγονται το χαλίκι, η άμμος, αλλά και τμήματα από βράχο που καταλήγουν στους χώρους απόθεσης. Αν και φθηνά τα φυσικά αδρανή, έχουν έντονη επίδραση στις οικονομικές δραστηριότητες των περισσότερων χωρών, και η ποσότητα της παραγωγής και της χρήσης είναι σημαντικός δείκτης οικονομικής ανάπτυξης και ευημερίας (USGS, 1990; Smith and

Collis, 2001). Τα θραυστά αδρανή έχουν μεγαλύτερη τραχύτητα, γωνιώδες σχήμα και αυξημένες τριβές. Θεωρούνται αδρανή υψηλής ποιότητας και είναι η δημοφιλέστερη κατηγορία αδρανών υλικών στην Ελλάδα. Εξορύσσονται από τα λατομεία και ανάλογα τη φύση του μητρικού πετρώματος καθορίζονται και οι βασικές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες τους. Στον παρακάτω πίνακα (Πιν. 1) φαίνονται οι κατηγορίες πετρωμάτων, ενδεικτικά μηχανικά πετρώματα και διάφορες ιδιότητες τους.

Όσων αφορά τον Ελλαδικό χώρο, τα ασβεστολιθικά είναι τα πιο διαδεδομένα πετρώματα για την παραγωγή αδρανών υλικών. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι το κόστος θραύσης τους είναι χαμηλό αλλά και στην διαθεσιμότητα τους στα περισσότερα μέρη της Ελλάδας.

Η φύση του μητρικού πετρώματος των αδρανών υλικών είναι συνδεδεμένη με την ποιότητα του εκάστοτε παραγόμενου αδρανούς καθορίζοντας βασικές ιδιότητες όπως της μηχανικής αντοχής, της αντοχής σε αποσάθρωση, σε τριβή αλλά και σε κρούση με τη δοκιμή Los Angeles.

Ο πετρογραφικός τύπος παρόλα αυτά δεν καθορίζει τη καταλληλότητα του υλικού για δεδομένη χρήση (GelSoc EGSP). Έτσι απαιτούνται εμπειριστατωμένες μελέτες των δειγμάτων με σκοπό τον ακριβή προσδιορισμό των μηχανικών-χημικών-φυσικών ιδιοτήτων, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω.

Η δεύτερη κατηγορία ταξινόμησης με βάση την προέλευση είναι τα τεχνητά-βιομηχανικά αδρανή τα οποία είναι αποτέλεσμα βιομηχανικών διεργασιών. Σχηματίζονται κατά τη διαδικασία της κατεργασίας πετρωμάτων και υλικών για την παραγωγή πρώτων υλών, όπως χημική ή θερμική επεξεργασία, ή κατά την καύση ορυκτών πρώτων υλών. Παραδείγματα αυτών των υλικών περιλαμβάνουν τέφρα, σκωρίες, υπολείμματα καύσης, άργιλο, βερμικουλίτη, περλίτη και υλικά στίλβωσης, μεταξύ άλλων. Ονομάζονται και δευτερογενή υλικά.

Η τρίτη και τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει τα ανακυκλωμένα αδρανή, τα οποία προκύπτουν από επεξεργασία υλικών που χρησιμοποιήθηκαν σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές. Κάποια παραδείγματα αποτελούν τα υλικά κατεδαφίσεως σκυροδέματος, τοιχοποιίας και ασφαλικών έργων. Η κατηγορία αυτή έχει αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10 έως 20 χρόνων, λόγω της μεγαλύτερης περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης και του συνεχούς αυξανόμενου κόστους των καυσίμων. Τα ανακυκλώσιμα αδρανή είναι κατά ένα μεγάλο μέρος τα προϊόντα της επεξεργασίας των Αποβλήτων Εκσκαφών Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ, RCA). Μερικά τέτοια δομικά παραπροϊόντα είναι τα κατεστραμμένα τούβλα και σκυροδέματα, τμήματα τοιχοποιίας και πλινθοδομές.

Πίνακας 1: Κατηγορίες πετρωμάτων και ενδεικτικές ιδιότητες αδρανών

ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Πυριγενή	Χαμηλές μέσες τιμές υδατοαπορροφικότητας. Μεγάλες μέσες τιμές θλιπτικής αντοχής Μρα. Μεγάλη διάρκεια, ανθεκτικότητα στην διάβρωση-φθορά.
Γρανίτης-Διορίτης	Ο γρανίτης και ο διορίτης υπερτερούν έναντι των υπολοίπων εξαιτίας της πυκνής δομής και σταθερότητάς τους (υψηλής ποιότητας αδρανή). Ιδανικοί για οδοποιία και για έρμα σιδηροδρομικών γραμμών, παρόλα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για διακοσμητικά, καθώς είναι δαπανηρά στην κατεργασία τους.
Βασάλτης	Ο βασάλτης εμφανίζει υψηλές τιμές μέγιστης εφελκυστικής αντοχής, μεγάλες αντοχές σε αλκαλοπυριτικές αντιδράσεις, υψηλή θερμική αγωγιμότητα, την ιδιότητα να μην εκκρίνονται από αυτόν καρκινογόνες ουσίες, υψηλές αντοχές έναντι των εξαλλοιωτικών ουσιών όπως το οξύ και μεγάλη αντίσταση στη καταπόνηση (Yilmaz 2022). Χρησιμοποιείται για τη παρασκευή ειδικών τύπων σκυροδέματος μεγάλης αντοχής και ειδικού βάρους, καθώς και για τη κατασκευή αντισισθηρών ασφαλοταπητών.
Ανδεσίτης	Ο ανδεσίτης παρουσιάζει μεγάλες τιμές μοναξονικής θλιπτικής αντοχής (UCS) και αντοχής στην τριβή, όντας έτσι ιδανικός για χρήση σαν αδρανές, σε έργα οδοποιίας για τη κατασκευή αντισισθηρών ασφαλοταπήτων και γενικά σαν υπόβαθρο για τη θεμελίωση διάφορων τεχνικών έργων.
Ιζηματογενή	Διαφοροποίηση της ποιότητας και καταλληλότητας ανάλογα το δείγμα. Δίνουν χαμηλότερης ποιότητας αδρανή από τα πυριγενή. Αποδεχτά για διάφορες χρήσεις στον τομέα των κατασκευών υπό προϋποθέσεις.
Ασβεστόλιθος	Οι ασβεστόλιθοι χρησιμοποιούνται ευρέως στον κατασκευαστικό κλάδο λόγω του μεγάλου αριθμού πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει, όπως μεγάλη αντοχή, μικρή πιθανότητα αντίδρασης με αλκάλια και τη μείωση ξήρανσης στο σκυρόδεμα λόγω πορώδους-υδατοαπορροφικτικότητας. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών αντοχής που κυμαίνεται από 500 μέχρι 1500 kg/cm ² και οφείλεται στις διάφορες μορφές που συναντάται (συμπαγής ή διαβρωμένος).
Δολομίτης	Ο δολομίτης εμφανίζει βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες συγκριτικά με αυτές του ασβεστόλιθου. Εμφανίζεται έντονα διαρρηγμένος εξαιτίας της σκληρότητας του. Χρησιμοποιείται ευρέως σαν δομικό υλικό και ως βιομηχανικό μάρμαρο.
Μεταμορφωμένα	Η κατεργασία τους κρίνεται δαπανηρή και έτσι δεν χρησιμοποιούνται συχνά.
Μάρμαρο	Το μάρμαρο εμφανίζει αντοχές στην αποσάθρωση με πολλές εφαρμογές και χρήσεις στην οικοδομική. Χρησιμοποιείται σαν διακοσμητικό για την επικάλυψη εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών και δαπέδων. Χρήση και σε βάσεις-υποβάσεις σαν αδρανές κατόπιν ελέγχου.

Η επαναχρησιμοποίηση των δομικών υλικών απαριθμεί πολλά οφέλη όπως η μείωση της ανεξέλεγκτης παραγωγής - διάθεσης των αδρανών υλικών, η εξάλειψη των αναγκών μεταφοράς με τη χρήση άμεσα διαθέσιμων πηγών (συγκροτήματα ανακύκλωσης), η αξιοποίηση υπάρχοντος ενεργειακού περιεχομένου και η συμμετοχή στη νέα διαμορφωμένη αγορά με χρήση αδρανών υλικών προερχόμενα από ΑΕΚΚ για διάφορες κατασκευές. Πραγματοποιείται έτσι ένα πιο βιώσιμο μοντέλο 'προσφοράς' αδρανών υλικών στην αγορά με εξοικονόμηση ενέργειας, καυσίμων και σημαντικών άλλων πόρων.

B) Με βάση το ειδικό βάρος:

- Κανονικού ειδικού βάρους όπου ανήκουν τα αδρανή με βάρος 2-3 Mg/m³. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως σε κατασκευαστικά έργα.
- Ελαφρά αδρανή όπου ανήκουν τα αδρανή με βάρος <2 Mg/m³. Χαμηλές τιμές πυκνότητας δίνουν αδρανή με χαμηλές τιμές θλιπτικής αντοχής με κύρια χρήση στις μονώσεις. Σε τιμές μεγαλύτερης πυκνότητας παρατηρείται αύξηση στην αντοχή, με ευρεία χρήση στις κατασκευαστικές εφαρμογές.
- Βαρέα αδρανή όπου ανήκουν τα αδρανή με βάρος > 3Mg/m³. Χρησιμοποιούνται σε 'βαριές' κατασκευές λόγω του μεγάλου βάρους τους όπως βαριά σκυροδέματα_θωράκισης και σαν προστασία επιφανειών από ακτινοβολίες.

Γ) Με βάση του μεγέθους των κόκκων:

- Χονδρόκοκκα, με υλικά που έχουν μέγιστο μέγεθος κόκκων >4 mm αλλά όχι μικρότερο των 2 mm. Παραδείγματα των υλικών αυτών αποτελούν το χαλίκι, οι ογκόλιθοι, το γαρμπίλι κ.α.
- Λεπτόκοκκα, χαρακτηρίζονται τα αδρανή τα οποία έχουν μέγεθος κόκκων μεταξύ 0,063 και 4 mm. Παραδείγματα αποτελούν τα διάφορα είδη άμμου.
- Παιπάλη, είναι το υλικό με μέγεθος κόκκων <0,063 mm. Μη διαχωρισμένα αδρανή, εδώ περιλαμβάνονται μίγματα χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών υλικών.
- Filler, είναι το υλικό το οποίο σε ποσοστό 70% διέρχεται από κόσκινο 0,063 mm με μέγιστη διάμετρο κόκκων 2 mm. Η περιεκτικότητα της παιπάλης, σχετίζεται άμεσα με ορισμένες ιδιότητες των δομικών υλικών.

Δ) Με βάση της χρήσεις τους:

- Αδρανή για συνήθειες-συμβατικές χρήσεις. Χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή σκυροδέματος, κονιάματος, στην οδοποιία, στα τεχνικά έργα κ.α. Η εκμετάλλευσή τους πραγματοποιείται μόνο εντός λατομικών περιοχών ορισμένων βάσει του Ν. 1428/84, που ακολούθησε τον 2115/93.
- Αδρανή για ειδικές χρήσεις. Έχουν εφαρμογές στα αντισισθηρά οδοστρώματα, σε υποβάσεις σιδηροδρομικών γραμμών, για παραγωγή τσιμέντου ή ασβέστη. Η εκμετάλλευσή τους επιτρέπεται και εκτός των λατομικών περιοχών καθώς δεν εντοπίζονται στις προκαθορισμένες λατομικές περιοχές λόγω των ειδικών προδιαγραφών τους. Βέβαια απαιτείται ειδική μελέτη καταλληλότητας από το ΙΓΜΕ για την έγκριση των διαδικασιών εκμετάλλευσής.

2.3 Λήψη – Συλλογή αδρανών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω σύμφωνα με την πηγή λήψης τους, τα αδρανή υλικά μπορούν να συλλεχθούν είτε από λατομεία είτε από φυσικές πηγές-αποθέσεις. Στα πρώτα, τα υλικά εξορύσσονται μέσω απόσπασης τμημάτων από το ενδιαφερόμενο πέτρωμα και στη συνέχεια πραγματοποιείται θραύση των εξορυγμένων αυτών πετρωμάτων, συλλέγοντας μεγάλες ποσότητες αδρανών. Στα δεύτερα η διαδικασία θεωρείται χαμηλού κόστους και για την απόληψη χρησιμοποιείται εκσκαφέας εξαιτίας της μαλακής σύστασης των υλικών. Εξαιτίας της χαμηλής ποιότητάς τους, τα αδρανή αυτά υλικά θεωρούνται ακατάλληλα για χρήση σε κατασκευές και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται κατ' ανάγκη σε περιοχές έλλειψης λατομείων.

2.4 Λατομεία αδρανών υλικών

Οι χώροι στους οποίους πραγματοποιείται απόληψη πετρωμάτων, λίθων και αδρανών υλικών με εξειδικευμένες διεργασίες, κάτω από συγκεκριμένες οδηγίες για τη ποιότητα και ποσότητα παραγωγής, ονομάζονται λατομεία. Τα λατομεία αποτελούν συστήματα εκσκαφών που στοχεύουν στη λήψη λατομικών προϊόντων και δεν είναι μεταλλείο, ούτε φρέαρ, ούτε γεώτρηση ή συνδυασμός τους και συνήθως πραγματοποιείται σε ορεινούς όγκους με κλιμακωτή διάταξη (Στεργιάδης, 2017). Τα λατομεία διακρίνονται σε ενεργά και μη ενεργά όπου τα πρώτα λειτουργούν κανονικά με διαδικασίες εκμετάλλευσής ενώ στη δεύτερη περίπτωση επρόκειτο για εγκαταλελειμμένα με φανερό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Τα κυριότερα παράγωγα λατομείων είναι τα μάρμαρα, οι φυσικοί λίθοι, τα βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα και τα αδρανή υλικά.

Το σύνολο των ενεργειών εξόρυξης πραγματοποιούνται στις λεγόμενες λατομικές περιοχές ή ζώνες, ο καθορισμός των οποίων είναι αναγκαίος για λόγους οικονομικούς,

περιβαλλοντικούς, ελέγχου κ.α. Η εξόρυξη εκτός των λατομικών περιοχών είναι παράνομη καθώς και ο μη συγκεκριμένος καθορισμός λατομικών ζωνών, εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων όπως ειδικής περίπτωσης ορυκτών ή για αδρανή ειδικών χρήσεων, όπως και αναφέρεται στο ΑΡΘΡΟ 52 2 του νόμου Ν. 4512/2018.

Η μέθοδος που προτιμάται για την υπαίθρια εκμετάλλευση των αδρανών στον Ελληνικό χώρο, είναι αυτή των ανοικτών βαθμίδων των οποίων τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά του εξορυσσόμενου υλικού. Οι βαθμίδες αποτελούν το αποτέλεσμα της εξορυκτικής διαδικασίας και έχουν τη μορφή ενός μετώπου παραγωγής. Ανοικτές βαθμίδες συναντιόνται στις πλαγιές λόφων, εξαιτίας των απότομων κλίσεων, με ύψος βαθμίδας περίπου 10-15m (Σχ. 1). Το πλάτος των βαθμίδων είναι περίπου 10m και εξαρτάται από το μέγεθος του μηχανικού εξοπλισμού που κινείται πάνω στην οδό μεταφοράς. Το τελικό πρανές που διαμορφώνεται μετά τις εκσκαφές έχει τελική κλίση περίπου 60 μοίρες.



Σχήμα 1: Εικόνα 1: Λατόμηση αδρανών με τη μέθοδο ανοικτών βαθμίδων

(Πηγή: <http://www.latomeia-filiatron.gr/images.html>)

Από την εκσκαφή και διάνοιξη των λατομείων μέχρι και την απόληψη των αδρανών υλικών πραγματοποιείται μια σειρά εργασιών η οποία ξεκινάει από την απομάκρυνση των υπερκείμενων εδαφών μέχρι τις διαδικασίες παραγωγής και τελικής αποθήκευσης των αδρανών υλικών. Οι εκμεταλλεύσεις μπορεί να είναι υπαίθριες-επιφανειακές ή υπόγειες, οι οποίες συνήθως κρίνονται οικονομικά ασύμφορες, και διακρίνονται σε εκμετάλλευση κατά λωρίδες, επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες ανοικτού και κλειστού τύπου και υπόγειας

εκμετάλλευσης. Η επιλογή της ιδανικότερης μεθόδου εξόρυξης σχετίζεται με την εκάστοτε γεωμορφολογία και το είδος του κοιτάσματος. Στη μέθοδο επιφανειακής εκμετάλλευσης με βαθμίδες ανοιχτού τύπου, γίνεται χρήση εκρηκτικών καθώς τα αδρανή συναντώνται σε σκληρούς σχηματισμούς.

Αναλυτικότερα, στη διαδικασία εξόρυξης απομακρύνονται τα υπερκείμενα (χαμηλά σε ποιότητα τμήματα του κοιτάσματος) ώστε να αποκαλυφθεί το υλικό που θα εξορυχθεί. Παράλληλα εντός του λατομείου, αναπτύσσονται οδοί που συνδέουν τα μέτωπα εξόρυξης με την έξοδο του λατομείου για την κίνηση των οχημάτων μεταφοράς υλικού (φορτηγών), των φορτωτών και των εκσκαφών. Στο μέτωπο την εξόρυξης γίνονται οι κατάλληλες μετρήσεις και έπειτα τοποθετούνται τα εκρηκτικά στις διατρημένες περιοχές. Αφού παρθούν τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας από τους εργαζομένους υλοποιείται η πυροδότηση με το υλικό να αποτίθεται με μορφή σωρού μετά τις εκρήξεις, μπροστά στο μέτωπο εκσκαφής.

Στη συνέχεια ακολουθεί το στάδιο της μεταφοράς, εκεί όπου ο εκσκαφέας τροφοδοτεί τον φορτωτή με το κατακερματισμένο υλικό της σωρού προκειμένου να μεταφερθεί στους τροφοδοτητές για περαιτέρω επεξεργασία. Είναι σημαντικό καθ' όλη αυτή τη διαδικασία να μην υπάρχουν 'νεκροί' χρόνοι και να υπάρχει ο κατάλληλος σχεδιασμός για το συγχρονισμό των ενεργειών στα διάφορα μέτωπα εξόρυξης από την πηγή συγκέντρωσης μέχρι τον τροφοδοτητή επεξεργασίας μονάδας. Σε ορισμένες περιπτώσεις αποτίθεται σε ξεχωριστούς χώρους, για τροφοδοσία της μονάδας σε ώρες που το λατομείο είναι εκτός λειτουργίας.

Αφού οι φορτωτές καταλήξουν στη μονάδα επεξεργασίας, τα υλικά διέρχονται από σπαστήρες και κόσκινα, όπου οι μεν σπάνε το πέτρωμα σε μικρότερα τεμάχια και οι δε διαχωρίζουν τα μικρότερα τεμάχια σε διάφορα κλάσματα ανάλογα με το μέγεθός τους. Ο αριθμός των φάσεων της θραύσης διαφέρει, ανάλογα με τις ανάγκες εξόρυξης και τις προδιαγραφές των αδρανών υλικών. Τα υλικά αρχικά συνθλίβονται στον σαγονοφόρο σπαστήρα και από εκεί περνάν μέσω ταινιοδρόμων στην β' φάση της θραύσης όπου και αποκτούν πολύ μικρότερο μέγεθος από το αρχικό (Σχ. 2). Από εκεί, καταλήγουν στα κόσκινα όπου και διαχωρίζονται τα μεγέθη με συνεχής δονήσεις, μέχρι την τελική κοκκομετρική διαβάθμιση για την παραγωγή της τελικής σωρού.

Τέλος, ακολουθεί η διαδικασία της αποθήκευσης όπου το τελικό προϊόν, η σωρός δηλαδή των θραύσεων και των διαχωρισμών, αποθηκεύεται σε ελεγχόμενους χώρους στέγασης και φορτώνεται στα μεταφορικά φορτηγά για να καταλήξει στους πελάτες.



Σχήμα 2: Μεταφορά υλικών μέσω ταινιοφόρων για τις διαδοχικές φάσεις θραύσεων.

Πηγή: <http://malnet.gr/latomihanex/analwsima-antallaktika/metaforikes-tainies-eksarthmata/metaforikes-tainies/>

2.5 Επιπτώσεις και αποκατάσταση λατομείων

Ανάλογα με το περιβάλλον και τις διαδικασίες παραγωγής, ένα λατομείο δύναται να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις ως αποτέλεσμα της επεξεργασίας των αδρανών υλικών. Τέτοιες επιπτώσεις μπορεί να σχετίζονται άμεσα με τη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, την εκπομπή ρύπων σε αέρα και ύδατα και την σπατάλη παραγόμενου υλικού. Επίσης ένα λατομείο μπορεί να είναι υπεύθυνο για την υποβάθμιση του τοπίου και να δημιουργήσει τροποποιήσεις στη βιοποικιλότητα κατά τη διάρκεια λειτουργίας του ή και μετά την αποκατάσταση του, οι οποίες μπορεί να είναι ολικώς μη αναστρέψιμες (Schuurmans et al., 2005). Άλλες πιθανές επιπτώσεις μπορεί να είναι ο δυνατός θόρυβος, οι παρατεταμένες δονήσεις στη περιοχή και η αιωρούμενη σκόνη που αποτελεί μείζονος σημασίας πρόβλημα για τους εργαζομένους.

Λόγω των σοβαρών επιπτώσεων που προκαλούνται στο περιβάλλον, κατά τη διάρκεια λειτουργίας των λατομείων, κρίνεται απαραίτητη η αποκατάσταση της λατομικής περιοχής μετά το πέρας της λειτουργίας του. Η αποκατάσταση των λατομείων θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλες τις ιδιαιτερότητες της περιοχής και τη μεταβολή αυτών, κατόπιν της διάρκειας λειτουργίας του λατομείου, και βάση αυτών να υλοποιείται σχέδιο με στόχο την επαναφορά παρόμοιων συνθηκών με αυτών στο ξεκίνημα. Η εξόρυξη είναι μια προσωρινή διαδικασία. Έτσι η αποκατάσταση πρέπει να συνοδεύει όλο τον κύκλο ζωής του λατομείου και οι ίδιες οι ενέργειες αποκατάστασης θα πρέπει να έχουν προσχεδιασθεί. Η διαδικασία αυτή αποτελεί σημαντική ευθύνη και υποχρέωση του εξορύκτ και όπως ορίζει το νομικό πλαίσιο θα πρέπει να γίνεται σταδιακά σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας του λατομείου.

Σημαντικά κριτήρια για το είδος της αποκατάστασης είναι η γεωλογία της περιοχής, δηλαδή η τοπογραφία, οι διάφορες κλίσεις-μορφολογία της περιοχής και η πρόληψη ώστε να μην καθυστερήσουν οι διαδικασίες ανάπλασης. Έπειτα επιλέγεται το είδος της βλάστησης, οι ακριβείς περιοχές εμφύτευσης, η ενίσχυση της βιοποικιλότητας και η συντήρηση τους με συστήματα αρδεύσεων κ.α.

Η αποκατάσταση περιλαμβάνει ένα σύνολο διαφορετικών ενεργειών στην εκμεταλλευμένη περιοχή. Κάποιοι από τους στόχους αποκατάστασης που πρέπει να επιτευχθούν με το πέρας των εργασιών είναι:

- Φυτεύσεις περιφερειακά για περιορισμό σκόνης και θορύβου
- Μετακινήσεις χώματος στη περιοχή για την εδαφική αποκατάσταση
- Εκμετάλλευση υπόγειου νερού αν και εφόσον υπάρχει διαθέσιμο, για αρδευτικούς σκοπούς ή κατασκευή λιμνοδεξαμενών για αποθήκευση και αξιοποίηση του νερού της βροχής
- Διαμόρφωση περιβάλλοντα χώρου με τα άχρηστα υλικά της λατόμησης, όπως με τη δημιουργία τοιχών αντιστήριξης, αναβαθμίδων κ.α

Η διάρκεια αποκατάστασης της περιοχής μπορεί να διαρκέσει από 3 έως 4 έτη και εξαρτάται από τους κλιματικούς, εδαφικούς και τοπογραφικούς παράγοντες της περιοχής. Τελικός στόχος της διαδικασίας είναι να αποκατασταθεί η ισορροπία του οικοσυστήματος και αυτό επιτυγχάνεται όταν βιοτικοί και αβιοτικοί παράγοντες αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους χωρίς επιπλέον επίδραση. Έτσι το συγκεκριμένο οικοσύστημα θα δείξει αντοχή σε μελλοντικές περιβαλλοντικές μεταβολές και διαταράξεις.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε, τα αδρανή υλικά βρίσκουν πληθώρα εφαρμογών στον κατασκευαστικό τομέα. Μερικές από τις χρήσεις περιλαμβάνουν την συμμετοχή στη σύνθεση σκυροδέματος, σε έρμα σιδηροδρομικών γραμμών, σε ασφαλτομίγματα, στη σύνθεση κονιαμάτων, σε βάσεις-υποβάσεις καθώς και σαν ελαφρά αδρανή όπως θα αναλυθούν και στη συνέχεια.

3.1 Αδρανή για σκυρόδεμα

Το τσιμέντο ορίζεται ως ένα ανόργανο υλικό, το οποίο είναι πολύ λεπτά αλεσμένο και όταν αναμιγνύεται με νερό δημιουργείται ένα μίγμα, που έπειτα από διάφορες χημικές διεργασίες και ενυδάτωση, σκληραίνει και πήζει. Μετά την σκλήρυνση του, παραμένει εξαιρετικά σταθερό και αυτό το χαρακτηριστικό του το έχει κάνει το πιο διαδεδομένο υλικό κατασκευών. Στη περίπτωση που το τσιμέντο αναμιχθεί με άμμο και νερό παρασκευάζονται κονία τσιμέντου, ενώ αν στο μίγμα προστεθεί και χαλίκι τότε παρασκευάζεται το σκυρόδεμα. Τα πλεονεκτήματα του σκυροδέματος είναι ότι έχει χαμηλό κόστος, παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλη διαθεσιμότητα πρώτων υλών, έχει απλή διαδικασία παραγωγής και μορφοποίησης και πολύ υψηλή αντοχή στη θλίψη.

Η ποιότητα του σκυροδέματος είναι πολύ σημαντική γιατί θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του τελικού προϊόντος για το οποίο χρησιμοποιείται. Καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα του παίζουν οι πρώτες ύλες. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν είναι η μάζα, ο όγκος, οι φυσικοχημικές ιδιότητες, η αναλογία των υλικών στο μίγμα αλλά και ο τρόπος ανάμιξης τους. Το γεγονός ότι το σκυρόδεμα είναι από τα πλέον διαδεδομένα υλικά στον τομέα των κατασκευών οδήγησε σε υψηλές απαιτήσεις ποιότητας και κατά συνέπεια στην παραγωγή πολλών ειδών (Πίν. 2).

Πίνακας 2: Είδη σκυροδέματος και σύντομη περιγραφή τους.

ΕΙΔΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Σκυρόδεμα	Παράγεται με ανάμιξη τσιμέντου, αδρανών υλικών (χονδρών και λεπτών) και νερού. Μπορεί να περιέχει και πρόσθετα υλικά που ενισχύουν τις ιδιότητές του.
Νωπό σκυρόδεμα	100% αναμιγμένο σκυρόδεμα.
Σκληρυμένο Σκυρόδεμα	Έχει μετρήσιμη αντοχή και είναι σε στερεή κατάσταση.
Συμβατικό Σκυρόδεμα	Πυκνότητα υλικού $2000 < d < 2600 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
Σκυρόδεμα Μεγάλου Ειδικού Βάρους	Πυκνότητα υλικού $d > 2600 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
Ελαφροσκυρόδεμα	Πυκνότητα υλικού $800 \text{ kg/m}^3 < d < 2000 \text{ kg/m}^3$

Στη διαδικασία παραγωγής σκυροδέματος σημαντικό ρόλο παίζει το συνδετικό υλικό, το νερό αλλά και τα φυσικά αδρανή τα οποία θεωρούνται ο σκελετός του σκυροδέματος αφού αποτελούν το 70-85% του συνολικού βάρους και το 60-75% του συνολικού όγκου. Απόρροια αυτού είναι ότι τα αδρανή υλικά είναι καθοριστικής σημασίας για τις ιδιότητές του. Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδέματος είναι η θραύστη άμμος, η συλλεκτή άμμος, το χαλίκι, το γαρμπίλι, η ψηφίδα και τα αντιολισθηρά αδρανή.

Σε προηγούμενες ενότητες αναφέρθηκε ότι τα αδρανή υλικά δεν παρουσιάζουν χημικές συνδετικές ιδιότητες αλλά αποκτούν συνοχή λόγω των γεωμετρικών τους ιδιοτήτων (διάταξη των κόκκων τους). Όταν λοιπόν συνδεθούν με το τσιμέντο, το οποίο είναι ένας πολτός συγκολλητικής ύλης, το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι το σκυρόδεμα. Ο λόγος που το σκυρόδεμα παρουσιάζει αυτή τη μηχανική αντοχή είναι οι δεσμοί που σχηματίζονται στην διεπιφάνεια των αδρανών προσδίδοντας ανθεκτικότητα. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι τα φυσικά θραυστά αδρανή έχουν την ικανότητα να διατηρούν τις ιδιότητες του μητρικού υλικού, είτε φυσικές είτε μηχανικές, κάτι που συμβάλει ενεργά στην ποιότητα του σκυροδέματος.

3.2 Σκύρα έρματος σιδηροδρομικών γραμμών

Εκτός από το σκυρόδεμα μία ακόμη εφαρμογή των αδρανών υλικών στον τομέα των κατασκευών αφορά τις σιδηροδρομικές γραμμές. Για την κατασκευή σιδηροδρομικών γραμμών τα είδη των αδρανών που χρησιμοποιούνται στο υποσύστημα της επιδομής, το οποίο είναι οι σιδηροτροχιές και στρωτήρες, είναι χονδρόκοκκα και θραυστά χωρίς συνδετικό υλικό, έτσι ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη κλίση και απόσταση μεταξύ τους. Υπάρχουν δύο κατηγορίες σιδηροδρομικών γραμμών και αυτές είναι α) για τρένα υψηλών ταχυτήτων και β) για τρένα κανονικών ταχυτήτων. Στις σιδηροδρομικές γραμμές στις οποίες κινούνται τρένα με υψηλές ταχύτητες, η συνέπεια είναι να υφίστανται και αυξημένες καταπονήσεις. Αυτό προϋποθέτει τα αδρανή που χρησιμοποιούνται να είναι υψηλών προδιαγραφών, οπότε εκεί συνίσταται να προέρχονται από θραύση πετρωμάτων μεγάλης σκληρότητας όπως ηφαιστειακών ή πλουτωνικών, αποκλείοντας τα ιζηματογενή πετρώματα.

Όσον αφορά τις σιδηροδρομικές γραμμές κανονικών ταχυτήτων γίνεται χρήση δολομιτών ή σκληρών ασβεστόλιθων. Το έρμα των γραμμών είναι ουσιαστικά ένα στρώμα σκύρων στο οποίο εδράζεται η επιδομή. Το έρμα πρέπει να είναι ομοιογενές προϋποθέτοντας ότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του πρέπει να προέρχονται από τις ίδιες γεωλογικές πηγές. Επίσης το έρμα θα πρέπει να μην επηρεάζεται από περιβαλλοντικές συνθήκες, να αντέχει την κρούση και να μην αποσαθρώνεται σε κύκλους ψύξης απόψυξης.

Ο ρόλος των αδρανών στην κατασκευή του σιδηροδρομικού έρματος είναι:

- Να μεταφέρουν τα δυναμικά φορτία κυκλοφορίας των συρμών στην υποβάση,
- Να παρέχουν ελαστικότητα στη γραμμή απορροφώντας την ενέργεια από την κίνηση των συρμών και τα κρουστικά φορτία από τους στρωτήρες,
- Να παρέχουν ελεύθερη αποστράγγιση της γραμμής και τέλος
- Να συγκρατούν τις τροχιές στην επιθυμητή τους θέση.

Για να εξασφαλιστεί η μέγιστη ασφάλεια του έργου, κάτι το οποίο είναι απαραίτητο για έργα μέσων μαζικής μεταφοράς, οι κόκκοι των αδρανών θα πρέπει να είναι σκληροί και χωρίς προσμίξεις.

3.3 Αδρανή για ασφαλτομίγματα

Άλλη μία δημοφιλής εφαρμογή των αδρανών υλικών αφορά την κατασκευή ασφαλτομιγμάτων. Με τον όρο ασφαλτομίγματα αναφερόμαστε σε ασφαλτικά σκυρωτά, ασφαλτικές βάσεις και ασφαλτικά σκυροδέματα. Στο μίγμα περιλαμβάνονται αδρανή υλικά, ασφαλτικό συνδετικό υλικό, όπως για παράδειγμα η άσφαλτος και το ασφαλτικό γαλάκτωμα, και κάποιες πρόσθετες ουσίες όπως σταθεροποιητές, πλαστικοποιητές και αντιοξειδωτικά στοιχεία. Τα αδρανή κατέχουν πολύ σημαντικό ρόλο στο μίγμα καθώς είναι υπεύθυνα για την μεταφορά φορτίων κάθετα στα επικείμενα στρώματα, με το συνδετικό υλικό να μη συμβάλει στη διαδικασία με αποτέλεσμα να μην μεταλλάσσεται η μορφή του έργου.

Τα αδρανή υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ασφαλτομιγμάτων πρέπει να είναι κοκκώδη, με ομοιόμορφους κόκκους, θραυστά φυσικά ή λατομείου, αλλά όχι πρωτογενή. Αυτό διασφαλίζει τη δημιουργία γωνιωδών και τραχειών επιφανειών με σκοπό την καλή πρόσφυση με την άσφαλτο. Η καθαρότητα των αδρανών είναι μέγιστης σημασία και δεν πρέπει να περιέχουν σκόνη, χώμα, οργανικά υλικά ή άλλες προσμίξεις καθώς αυτό επηρεάζει την τελική απόδοση του ασφαλτομίγματος. Ακόμη ένας σημαντικός παράγοντας είναι η χημική σταθερότητα, που διαφυλάσσει τις ιδιότητες του ασφαλτομίγματος με την πάροδο του χρόνου και η αντοχή στη διάβρωση από το νερό και από άλλα περιβαλλοντικά ερεθίσματα.

Οι κύριες κατηγορίες αδρανών υλικών που χρησιμοποιούνται στα ασφαλτομίγματα είναι εξειδικευμένες ανάλογα με τη θέση και τη λειτουργία τους στο οδόστρωμα. Τα αδρανή για ασφαλτικά σκυρωτά παρέχουν τη βασική υποστήριξη, τα αδρανή για ασφαλτικές βάσεις εξασφαλίζουν μια σταθερή ενδιάμεση στρώση, ενώ τα αδρανή και το filler για ασφαλτικό σκυρόδεμα διασφαλίζουν την ποιότητα και την ανθεκτικότητα της τελικής επιφάνειας του

οδοστρώματος. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα αδρανή υλικά στα ασφαλτομίγματα είναι τα σκύρα, η άμμος που γεμίζει τα κενά μεταξύ των σκύρων, και η παιπάλη που συμβάλει στη συνοχή του μίγματος.

Τα αδρανή αυτά αναμιγνύονται με ασφαλτικό συνδετικό μέσω μίας διαδικασίας που περιλαμβάνει θέρμανση των αδρανών για απομάκρυνση της υγρασίας και συγχρόνως βελτιώνει την πρόσφυση με την ασφαλτο. Έπειτα ακολουθεί η ανάμιξη με την ασφαλτο σε συγκεκριμένη αναλογία και τέλος το έτοιμο ασφαλτόμιγμα μεταφέρεται στον χώρο εφαρμογής, όπου διαστρώνεται και συμπτυκνώνεται με μηχανήματα υψηλής ακρίβειας.

3.4 Αδρανή με ή χωρίς συνδετικά υλικά για βάσεις και υποβάσεις

Στην κατασκευή του δρόμου οι βάσεις και οι υποβάσεις είναι κρίσιμες διότι προσδίδουν σταθερότητα και αντοχή στις επιφάνειες. Οι υποβάσεις είναι οι στρώσεις που, αν κριθεί απαραίτητο τοποθετούνται στο υπέδαφος, ενώ οι βάσεις είναι οι στρώσεις που βρίσκονται ανάμεσα στην υποβάση και των ασφαλτικών στρώσεων. Τα αδρανή υλικά που βρίσκουν εφαρμογή στις κατασκευές αυτές μπορεί να είναι με ή χωρίς συνδετικά υλικά. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να είναι φυσικά ή τεχνητά τα οποία δεν περιέχουν πρόσθετα συνδετικά, ή να περιέχουν κάποιο συνδετικό στοιχείο όπως είναι η ασφαλτος ή το τσιμέντο.

Όπως και για οποιαδήποτε χρήση τους, τα αδρανή θα πρέπει να πληρούν ορισμένες προδιαγραφές έτσι ώστε να διασφαλίσουν τη σταθερότητα κάτω από επαναλαμβανόμενα φορτία. Σε εύκαμπτα οδοστρώματα, που οι βάσεις καταπονούνται σημαντικά, τα αδρανή θα πρέπει να έχουν εξαιρετική αντοχή στην πίεση, λόγω της αυξημένης κυκλοφορίας, χωρίς να αλλοιώνονται, να αντιστέκονται στον παγετό αλλά και να έχουν τη δυνατότητα αποστράγγισης. Λόγω του ότι οι υποβάσεις δέχονται χαμηλότερες καταπονήσεις συγκριτικά με τις βάσεις, τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους, δεν απαιτείται να είναι αρίστης ποιότητας αλλά να είναι ανθεκτικά έναντι στον παγετό, και τέλος να προστατεύουν την βάση από στοιχεία του εδάφους όπως είναι ο άργιλος και τα οργανικά υλικά.

Όσον αφορά τα άκαμπτα οδοστρώματα, τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή βάσεων οφείλουν να προστατεύουν την άκαμπτη πλάκα σκυροδέματος από φαινόμενα άντλησης, δηλαδή να διαθέτουν υψηλά επίπεδα αντίστασης στη διάβρωση. Αυτό επιτυγχάνεται είτε μέσω κλειστής κοκκομετρικής διαβάθμισης, είτε σταθεροποιώντας με συνδετικά υλικά. Παράλληλα, πρέπει να προσφέρουν αποστράγγιση, να είναι ανθεκτικά στον παγετό και την φθορά, να μην μεταβάλλουν τον όγκο, και γενικά να ενισχύουν τη φέρουσα ικανότητα της κατασκευής. Τέλος είναι απαραίτητη η σταθεροποίηση με τσιμέντο λόγω της άντλησης υλικών από την υποβάση.

3.5 Αδρανή για κονιάματα

Κονιάματα ορίζονται τα μίγματα τα οποία περιέχουν, μία ή παραπάνω συνδετικές ύλες, νερό, λεπτόκοκκα αδρανή ($<4\text{mm}$) και ίσως πρόσθετα, που όταν είναι νωπά έχουν ρευστότητα και πλαστικότητα, και μετά την πήξη και την σκλήρυνση της συνδετικής ύλης αποκτούν μηχανική αντοχή και επιπλέον φυσικοχημικές ιδιότητες. Αυτές, καθορίζονται από τη συμμετοχή των πρώτων υλών στο μίγμα αλλά και το είδος τους, από την ανάμιξη, την μορφοποίηση και τις διάφορες συνθήκες σκλήρυνσης.

Τα κονιάματα διαχωρίζονται με βάση τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η πήξη και η σκλήρυνση, σε υδραυλικά και αερικά, με βάση το φαινόμενο βάρος σε βαριά και ελαφριά και με βάση με το είδος των κονιών σε τσιμεντοκονιάματα, ασβαστοκονιάματα, τσιμεντο-ασβεστοκονιάματα, ποζολανικά, μαρμαρο-κονιάματα και γυψο-κονιάματα. Επίσης μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα τη χρήση τους σε δόμησης, τοιχοποιίας, επιχρισμάτων, ισοπεδωτικά, επισκευαστικά και συγκολλητικά. Ο ρόλος τους είναι να συνδέσουν διάφορα στοιχεία μεταξύ τους έτσι ώστε να δημιουργηθεί μία ενιαία μάζα, η οποία θα έχει αντοχή σε υψηλά φορτία παρέχοντας παράλληλα μεγάλο συντελεστή ασφαλείας.

Οι πρώτες ύλες των κονιαμάτων είναι τα αδρανή, τα συνδετικά υλικά (κονίες), τα χημικά πρόσμικτα, το νερό καθώς και διάφορα πρόσθετα. Η χρήση αδρανών στα κονιάματα συνιστάται τόσο για οικονομικούς όσο και για τεχνικούς λόγους. Τα κονιάματα χωρίς αδρανή συστατικά παρουσιάζουν συστολή κατά τη διάρκεια της πήξης και της σκλήρυνσης και καταλήγουν να δημιουργούν ρωγμές στην επιφάνεια. Από οικονομική σκοπιά, τα αδρανή είναι πιο οικονομικά από τις κονίες. Το συνηθέστερο αδρανές που χρησιμοποιείται στα κονιάματα είναι η άμμος.

Τα αδρανή υλικά πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές ώστε να είναι κατάλληλα για χρήση στα κονιάματα. Δεν πρέπει να περιέχουν βλαβερές προσμίξεις που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη σταθερότητα, την αντοχή και άλλες ιδιότητες των κονιαμάτων. Για την επιλογή του σωστού αδρανούς αρχικά δίνεται έμφαση στην κοκκομετρική διαβάθμιση. Είναι σημαντικό να υπάρχει μια ποικιλία στις διαστάσεις των κόκκων. Οι μικρότεροι κόκκοι πρέπει να γεμίζουν τα κενά που αφήνουν οι μεγαλύτεροι, κάτι που βελτιώνει τη συνοχή και την αντοχή του συνόλου. Για αυτό, το κλάσμα της άμμου με κόκκους μικρότερους από 250 μικρόμετρα (μm) πρέπει να είναι 10-25% του συνολικού βάρους της άμμου. Εάν το ποσοστό των πολύ μικρών κόκκων είναι λιγότερο από 10%, δημιουργούνται κενά. Αυτά τα κενά πρέπει να καλυφθούν με κονία (π.χ., τσιμέντο), για να βελτιωθεί η εργασιμότητα του υλικού. Ωστόσο, η αυξημένη ποσότητα κονίας μπορεί να προκαλέσει ρωγμές λόγω της συρρίκνωσης που συμβαίνει κατά την ξήρανση. Αντίθετα, εάν το ποσοστό του λεπτόκοκκου κλάσματος

(παιπάλη) είναι μεγαλύτερο από 5%, οι πολύ μικροί κόκκοι μπορεί να καλύψουν τους μεγαλύτερους κόκκους του αδρανούς. Αυτό εμποδίζει τη σωστή ένωση του κονιάματος με τον πολτό, μειώνοντας την αντοχή και τη συνοχή του τελικού προϊόντος. Στη συνέχεια ελέγχεται αν υπάρχει απουσία αλάτων, προσμίξεων και χωματοειδών υλικών. Αυτές οι ουσίες μπορούν να εμποδίσουν την καλή πρόσφυση μεταξύ του αδρανούς και του συνδετικού υλικού (π.χ. τσιμέντο ή ασβέστη). Τέλος καθοριστικό ρόλο παίζει η υγρασία η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 3%. Η υγρασία πρέπει πάντα να υπολογίζεται πριν τον καθορισμό των αναλογιών του κονιάματος, καθώς η υπερβολική υγρασία μπορεί να επηρεάσει τις ιδιότητες και την ανθεκτικότητα του μείγματος.

Ενώ τα περισσότερα πετρώματα που βρίσκονται στην Ελλάδα είναι κατάλληλα για τη παραγωγή κονιάματος, σε κάποια από αυτά πρέπει να γίνονται προκαταρκτικές δοκιμές για να εξεταστεί αν είναι κατάλληλα προς χρήση όσον αφορά κατά κύριο λόγο τις ιδιότητες σχετίζονται με την ανθεκτικότητα. Στα πετρώματα που έχουν μεγάλο ποσοστό δολομιτικών ή άμορφων προσμίξεων οξειδίου του πυριτίου, πρέπει να εξετάζεται με ιδιαίτερη προσοχή η δυνητική βλαπτικότητα. Οι εξετάσεις οι οποίες λαμβάνουν χώρα χρησιμοποιούν μεθόδους όπως η αλκαλοπυριτική ή η αλκαλοασβεστιτική αντίδραση, που βοηθούν στον εντοπισμό των χημικών αντιδράσεων που μπορούν να προκαλέσουν φθορές στο κονίαμα.

3.6 Ελαφρά αδρανή και οι επιλογές τους

Τα ελαφρά αδρανή υλικά χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη πυκνότητα σε σύγκριση με τα κανονικά αδρανή υλικά. Αυτή η ιδιότητα τα καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμα σε εφαρμογές όπου η μείωση του βάρους των κατασκευών είναι κρίσιμη. Παρόλο που τα ελαφριά αδρανή παρουσιάζουν μεγάλο εύρος τιμών φαινομένου ειδικού βάρους, είναι πάντα χαμηλότερο από το αντίστοιχο των βαρέων αδρανών (Πιν.3). Τα ελαφρά αδρανή υλικά χαμηλής πυκνότητας χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε μονώσεις και παρουσιάζουν χαμηλή αντοχή στη θλίψη. Αυτά που έχουν μέση πυκνότητα χρησιμοποιούνται για μόνωση και πλήρωση ενώ τα ελαφρά αδρανή υψηλής πυκνότητας έχουν αυξημένη αντοχή σε θλίψη και χρησιμοποιούνται σε πολλά κατασκευαστικά έργα. Πιο αναλυτικά, οι ιδιότητες και χρήσεις των αδρανών παρατίθενται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3: Σύγκριση φαινόμενου ειδικού βάρους ελαφρών-βαριών αδρανών

Ελαφρά αδρανή	Φαιν. Ειδ. Βάρος (kg/m ³)	Βαριά αδρανή	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	Ηφαιστίτες	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 τεφροποίησης (Τσιραμπίδης, 2002)

Ο βερμικουλίτης μπορεί να είναι λευκός έως και καστανός και προέρχεται από εξαλλοίωση μαρμαρυγιών και χλωριτών. Βρίσκεται κατά κύριο λόγο σε πυριγενή πετρώματα αλλά και σε εδάφη με εύκρατα και υποτροπικά κλίματα. Χρησιμοποιείται για παρασκευή σκυροδέματος.

Ο περλίτης είναι ένα υαλώδες ηφαιστειακό πέτρωμα. Είναι χημικά ουδέτερος, χωρίς οργανικές ουσίες, δεν καίγεται ούτε επηρεάζεται από υγρασία - μύκητες και έχει απεριόριστη διάρκεια ζωής. Τον χρησιμοποιούμε συνήθως σε θερμομόνωση και ηχομόνωση, σαν βελτιωτικό εδάφους σε βιομηχανίες χημικών προϊόντων, σε εντομοκτόνα και στη παρασκευή σκυροδέματος, τσιμέντου, κονιαμάτων.

Η ελαφρόπετρα έχει ανοιχτές αποχρώσεις και είναι επίσης ένα υαλώδες ηφαιστειακό πέτρωμα. Χρησιμοποιείται σαν αποξεστικό, μονωτικό και διηθητικό υλικό. Μία επιπλέον χρήση είναι και στην κατασκευή τεχνητών λίθων.

Η σκωρία έχει ερυθρό χρώμα, ανήκει στα ηφαιστειακά πετρώματα και είναι υαλώδης. Έχει τις ίδιες εφαρμογές με την ελαφρόπετρα.

Η ποζολάνη είναι ηφαιστειακό υλικό πλούσιο σε SiO₂ και φτωχό σε Ca. Χρησιμοποιείται κυρίως στην παρασκευή τσιμέντου.

Οι σχιστόπηλοι είναι αποκληρωμένοι πηλόλιθοι. Είναι σχεδόν πάντοτε σε φυλλώδη μορφή και η σχιστότητα είναι παράλληλη με την φύλλωση τους. Έχουν σχιστώδη θραυσμό

και θεωρούνται μαλακά πετρώματα αλλά λόγω της αποσκλήρυνσης τους δεν σπάνε μετά τη διάβρεξη. Μαζί με τις αργίλους, χρησιμοποιούνται ευρέως για την παραγωγή λευκαντικών υλικών, χρωμάτων και κεραμικών προϊόντων.

Οι άργιλοι έχουν μεγάλη πλαστικότητα επειδή περιέχουν αρκετά αργιλικά ορυκτά. Όταν διαβρέχονται και ξηραίνονται διατηρούν το σχήμα τους ενώ όταν πυρώνονται στερεοποιούνται και σκληραίνουν. Οι αργιλικοί σχιστόλιθοι είναι σκληροί με στιφρή λάμψη. Χρησιμοποιούνται σε κατασκευές δομικών πλίνθων ως ακατέργαστα υλικά, τα οποία πρέπει να φτάνουν σε πυροπλαστική κατάσταση σε αυξημένες θερμοκρασίες για τη δημιουργία πορώδης ύλης, που συμβάλλει στη διατήρηση τη φυσικής αντοχής όταν επέρχεται η ψύξη.

Ο διατομίτης παρουσιάζει λαμπρότητα έως και 90%, έχει χαμηλή πυκνότητα ενώ παράλληλα είναι αρκετά απορροφητικός. Επειδή είναι χημικά ουδέτερος και έχει την ιδιότητα να απορροφά 2-3 φορές το βάρος του, είναι πολύ χρήσιμος σε απορροφητικά και καταλυτικά υλικά. Για αυτό, χρησιμοποιείται συνήθως ως πληρωτικό υλικό.

Η γύψος είναι κοινό φυσικό ορυκτό που αποτελείται από θειικό ασβέστιο με δύο μόρια νερού ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Όταν σε αυτή προστεθεί νερό, προκύπτει ένα υλικό το οποίο απλώνεται και μορφοποιείται εύκολα, και χρησιμοποιείται ως κατασκευαστική γύψος ή για την κατασκευή γυψοσανίδας. Η γύψος έχει χαμηλή πυκνότητα, χαρακτηριστικό που τον καθιστά ιδανικό για εφαρμογές όπου απαιτείται μείωση του συνολικού βάρους του υλικού. Επίσης, εξαιτίας των θερμομονωτικών και ηχομονωτικών ιδιοτήτων του, συμβάλλει στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και της ηχομόνωσης των κατασκευών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ελαφρό σκυροδέματα, σε ειδικά κονιάματα, σαν διακοσμητικό κ.α.

Οι Σκωρίες υψικαμίνων είναι παραπροϊόντα των διαδικασιών για την παραγωγή μετάλλων και για αυτό διαφέρουν ως προς τις ιδιότητες τους (πορώδες-ειδικό βάρος). Οι σκωρίες χρησιμοποιούνται στην οδοποιία, και ως υποκατάστατο θραυστών πετρωμάτων.

4. ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥΣ

Τα αδρανή υλικά, όπως προαναφέρθηκε, έχουν πληθώρα εφαρμογών στο κατασκευαστικό τομέα, όμως για να χρησιμοποιηθούν πρέπει πρώτα να κριθούν κατάλληλα μέσω διαδικασιών ποιοτικού ελέγχου και επεξεργασίας, τα οποία ορίζονται από τα Διεθνή, τα Ευρωπαϊκά και κατ' επέκταση τα Ελληνικά πρότυπα. Ο ποιοτικός έλεγχος για τη συμμόρφωση των υλικών στους Ευρωπαϊκούς κανόνες πραγματοποιείται μέσω εργαστηριακών δοκιμών, οι οποίες αφορούν γενικές, γεωμετρικές, φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητες.

4.1 Γενικές ιδιότητες-Δοκιμές

Δοκιμή Δειγματοληψίας (EN 932-1):

Η δοκιμή αυτή είναι η πρώτη δοκιμή η οποία διεξάγεται και θέτει τις βάσεις, ώστε να παρθεί αντιπροσωπευτικό δείγμα που θα προσδιορίζει τις μέσες ιδιότητες της παρτίδας. Για αυτόν το λόγο τα δείγματα επιλέγονται τυχαία από όλα τα σημεία της εξεταζόμενης παρτίδας. Το σχέδιο της δειγματοληψίας οφείλει να ετοιμάζεται πριν από την ίδια τη διαδικασία και θα πρέπει να περιλαμβάνει στοιχεία όπως το μέγεθος της εξεταζόμενης παρτίδας, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τον σκοπό για τον οποίο γίνεται η δοκιμή. Επιπλέον, στο σχέδιο, πρέπει να φαίνονται πληροφορίες σχετικά με τον τύπο των αδρανών υλικών, τη μάζα και τον αριθμό των δειγμάτων, τον απαραίτητο εξοπλισμό, τις μεθόδους που θα χρησιμοποιηθούν και άλλες πληροφορίες όπως σήμανση, συσκευασία και αποστολή δείγματος.

Ορολογία και πετρογραφική περιγραφή (EN 932-3)

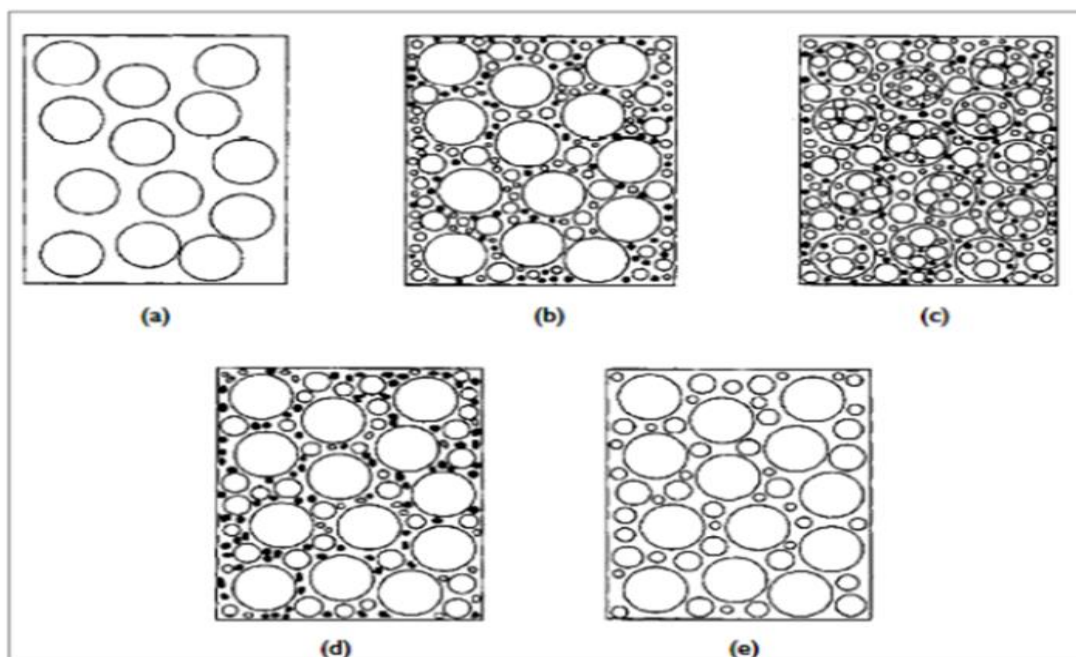
Αυτές οι δοκιμές συντελούν στον προσδιορισμό των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των αδρανών υλικών που εντοπίζονται, χρησιμοποιώντας τις πετρογραφικές μεθόδους ανάλυσης. Βρίσκει εφαρμογή σε αδρανή υλικά που περιέχουν ορυκτά τα οποία μπορεί να επηρεάσουν το τελικό προϊόν από άποψη ποιότητας, καθώς και ορυκτά με χημική αστάθεια.

4.2 Γεωμετρικές ιδιότητες- Δοκιμές

Με τις γεωμετρικές ιδιότητες προσδιορίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αδρανών υλικών, αποτελώντας παράλληλα κρίσιμο στάδιο για την αξιολόγηση της ποιότητάς τους και την κατανόηση της συμπεριφοράς τους σε διάφορες εφαρμογές κατασκευής. Σημαντικός είναι ο προσδιορισμός του μεγέθους των κόκκων (d/D), όπως ορίζεται από το EN 12620. Σύμφωνα με αυτό, όλα τα αδρανή ταξινομούνται βάση του τύπου d/D , όπου D το μέγιστο μέγεθος κόκκου και d το ελάχιστο μέγεθος κόκκου.

Κοκκομετρική διαβάθμιση ΕΛΟΤ (933-1)

Η κοκκομετρική διαβάθμιση (Σχ. 3) είναι δοκιμή μέσω της οποίας καθορίζεται η κατανομή των μεγεθών των κόκκων και αναπαρίσταται με την κοκκομετρική καμπύλη. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του κοσκινίσματος και του διαχωρισμού των αδρανών βάσει του ίδιου του μεγέθους των κόκκων τους. Συνδυάζοντας τη με τον δείκτη πλακοειδούς και τον δείκτη επιμήκυνσης, μπορεί να υπολογιστεί το ποσοστό του συνολικού όγκου των κενών ανάμεσα στους κόκκους σε ένα συμπυκνωμένο αδρανές. Βασική προϋπόθεση είναι το υλικό που συλλέγεται να είναι από μία γεωλογική πηγή, και όχι από διαφορετικές.

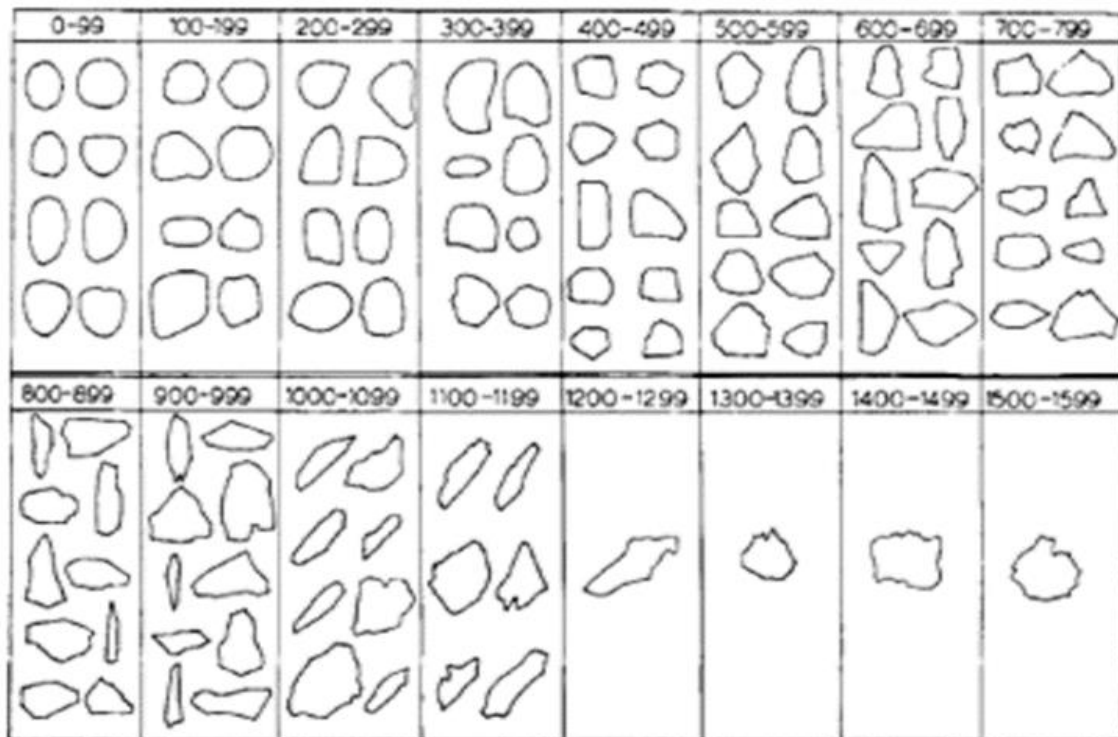


Σχήμα 3: Σχηματική απεικόνιση κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών α) ίδιο μέγεθος κόκκων, β) διαφορετικά μεγέθη κόκκων με παρόμοιες αναλογίες γ) αντικατάσταση λεπτών από χονδρά κλάσματα δ) διαφορετικά μεγέθη κόκκων ε) διαφορετικών αναλογιών ε) κοκκοδιαβάθμιση με απουσία παιπάλης.
πηγή: <https://uwmarc.wisc.edu/files/101315/Estonia%20Bitumen%20Conference.pdf>

Επίσης σημαντικό γεωμετρικό χαρακτηριστικό, θεωρείται το σχήμα των αδρανών. Τα αδρανή μπορεί να έχουν σφαιρικό, επιμήκη, κυλινδρικό, πεπλατυσμένο σχήμα, με αδρό,γωνιώδες ή αμβλυμμένο περίγραμμα, ή να συνδυάζουν αυτά τα χαρακτηριστικά. Όταν αναφερόμαστε στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αδρανών συνήθως εννοούμε τη σφαιρικότητα και την αδρότητα της επιφάνειάς τους. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται μια μέθοδος οπτικής αξιολόγησης του σχήματος των αδρανών. Το σχήμα των

αδρανών επηρεάζει σημαντικά την εργασιμότητα του κονιάματος αλλά και του σκυροδέματος και των μηχανικών ιδιοτήτων των ασφαλτομιγμάτων.

Το σχήμα των θραυσμένων αδρανών καθορίζεται από την ποσότητα και τον τύπο των σπαστήρων που πραγματοποιούν τη θραύση, καθώς και από το είδος, τη φύση και τον όγκο του αρχικού πετρώματος που εισάγεται για θραύση. Οι πιο στρόγγυλοι και λιγότερο γωνιώδεις κόκκοι έχουν την ικανότητα να κυλούν και να ολισθαίνουν μεταξύ τους χωρίς να επιδεικνύουν ιδιαίτερη αντίσταση. Αντίθετα, στους κόκκους που είναι πιο γωνιώδεις, παρουσιάζονται αυξημένες τριβές και η κίνηση τους δυσχεραίνεται. Στην πρώτη περίπτωση, το μίγμα παρουσιάζει μεγαλύτερη πλαστικότητα και εργασιμότητα, ενώ στη δεύτερη ο χειρισμός του μίγματος είναι πιο δύσκολος και απαιτεί περισσότερη ποσότητα νερού για ίδιες τιμές εργασιμότητας.



Σχήμα 4: Οπτική αξιολόγηση σχήματος αδρανών.

Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Micro-images-of-deep-sands-in-Shanghai-from-a-Layer-7-b-Layer-9-and-c-Layer-11_fig2_344351264

Για τον προσδιορισμό του σχήματος των αδρανών στα Πρότυπα, ορίζονται δοκιμές οι οποίες περιλαμβάνουν, τη δοκιμή καθορισμού δείκτη πλακοειδούς και δείκτη σχήματος.

Δοκιμή δείκτη πλακοειδούς/ Σχήματος (EN 933-3):

Μέσω της δοκιμής δείκτη πλακοειδούς προσδιορίζεται το μέγιστο ποσοστό κόκκων, οι οποίοι είναι πεπλατυσμένοι σε κάθε κοκκομετρικό κλάσμα d_i/D_i . Δηλαδή σε ραβδωτό κόσκινο, που έχει απόσταση ράβδων $D_i/2$, μετράτε το ποσοστό % των κόκκων που διέρχονται. Μέσω της δοκιμής δείκτη σχήματος, προσδιορίζεται το μέγιστο ποσοστό των επιμηκυμένων κόκκων που αντιστοιχεί σε αναλογία κόκκων μήκος προς πλάτος $> 3:1$. Οι πεπλατυσμένοι και επιμήκεις κόκκοι θα πρέπει όσο το δυνατό να αποφεύγονται καθώς προσδίδουν ανομοιομορφία στην κατανομή των τάσεων, άρα συνεπάγεται κίνδυνος θραύσης του αδρανούς.

Για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αδρανών κρίσιμες είναι και οι δοκιμές του προσδιορισμού της περιεκτικότητας κελυφών και αυτές για τον υπολογισμό της παιπάλης.

Καθορισμός περιεκτικότητας σε κελύφη (EN 933-7)

Κατά την εξέταση, όλα τα όστρακα ή τα θραύσματα τους απομακρύνονται χειροκίνητα από το δείγμα των χονδροειδών αδρανών. Η περιεκτικότητα σε όστρακα κατά βάρος εκφράζεται ως ποσοστιαία (%) αναλογία.

Καθορισμός της περιεκτικότητας σε παιπάλη (EN 933-1)

Μια ιδιότητα της παιπάλης είναι ότι προσκολλάται πάνω στα χονδρόκοκκα υλικά, και έτσι ο διαχωρισμός της δεν μπορεί να συμβεί με ευκολία ή ολοκληρωμένα με το συνηθισμένο τρόπο κοσκινίσματος. Για το λόγο αυτό, το ποσοστό της στα αδρανή προσδιορίζεται εύκολα κατόπιν πλυσίματος του αδρανούς κατά το κοσκίνισμα, που γίνεται για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής καμπύλης. Το μέγεθος των σωματιδίων της είναι μικρότερο από 0,063mm.

Ποιοτικός προσδιορισμός παιπάλης: Δείκτης ισοδύναμου άμμου (EN 933-1)

Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται με στόχο τον γρήγορο προσδιορισμό του ποσοστού των λεπτόκοκκων κλασμάτων, τα οποία μένουν σε αιώρηση σε υδατικό διάλυμα με το πέρας καθορισμένης ώρας, σε σύγκριση με το συνολικό ποσοστό κόκκων. Τα αποτελέσματα της δοκιμής υποδεικνύουν την ύπαρξη ή μη ύπαρξη επιβλαβών αργιλικών συστατικών στην άμμο. Πρώτο βήμα της διαδικασίας είναι η εισαγωγή καθορισμένης ποσότητας υλικού ορισμένου κλάσματος σε συσκευή ογκομετρικού κυλίνδρου που περιέχει διάλυμα μέχρι την πρώτη χαραγή. Στη συνέχεια ακολουθεί ανακίνηση του κυλίνδρου για την απομάκρυνση του παγιδευμένου αέρα και αφήνεται σε κατάσταση ηρεμίας για περίπου 10 λεπτά ώστε να αποχωριστούν οι μεγάλοι κόκκοι τα λεπτότερα σωματίδια. Έπειτα πραγματοποιείται έντονη

ανάδευση ορισμένης συχνότητας και χρόνου. Αφού συμβεί αυτό, προστίθεται επιπλέον διάλυμα μέχρι η στάθμη να φτάσει στη χαραγή με σκοπό τον πλήρη διαχωρισμό των λεπτών κλασμάτων. Ακολουθεί διάστημα ηρεμίας 20 λεπτών, μέχρις ότου την καθίζηση των μεγάλων κόκκων στον πυθμένα και την αιώρηση των λεπτών. Στη συνέχεια μετράται το ύψος της άμμου, δηλαδή το ύψος του ιζήματος (συσσωρευμένο υλικό πυθμένα) και το ύψος αργίλου (αιώρημα). Ο λόγος ύψος άμμου / ύψος αργίλου αντιστοιχεί στο ισοδύναμο άμμου.

Δοκιμή μπλε του μεθυλενίου (EN 933-9)

Με τη συγκεκριμένη δοκιμή προσδιορίζονται οι κόκκοι, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να απορροφούν διάλυμα μπλε του μεθυλενίου. Η ένδειξη που δίνει είναι αντίστοιχη του ισοδύναμου άμμου.

4.3 Φυσικομηχανικές και χημικές ιδιότητες – Δοκιμές

Πέρα από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, εξίσου σημαντικές είναι και οι φυσικές, μηχανικές και χημικές ιδιότητες των αδρανών. Αυτές κρίνονται ιδιαίτερης σημασίας στη μηχανική καθώς καθορίζουν τόσο την ποιότητα και την ασφάλεια όσο και τη διάρκεια των τεχνικών έργων.

Φαινόμενο ειδικού βάρους και υδατοαπορροφητικότητα (EN 1097-6)

Η μέτρηση της υδατοαπορροφητικότητας καθορίζει την τιμή του πορώδους. Το πορώδες είναι πολύ σημαντική ιδιότητα και είναι αντιστρόφως ανάλογη της αντοχής και της ανθεκτικότητας. Η δοκιμή αυτή βοηθά στον προσδιορισμό του ειδ. βάρους των κόκκων του αδρανούς και περιλαμβάνει τα κενά τους στον συνολικό όγκο. Σύμφωνα με το πρότυπο για να υπολογιστεί η υδατοαπορροφητικότητα σε λεπτόκοκκα υλικά, θα πρέπει πρώτα να έχει πλυθεί το υλικό σε κόσκινο 0,063mm και έπειτα να γίνει η δοκιμή. Για τα χονδρόκοκκα υλικά πρέπει το υλικό να βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμένη και επιφανειακά ξηρή. το υλικό σε κόσκινο 0,063 mm και έπειτα να γίνει η δοκιμή.

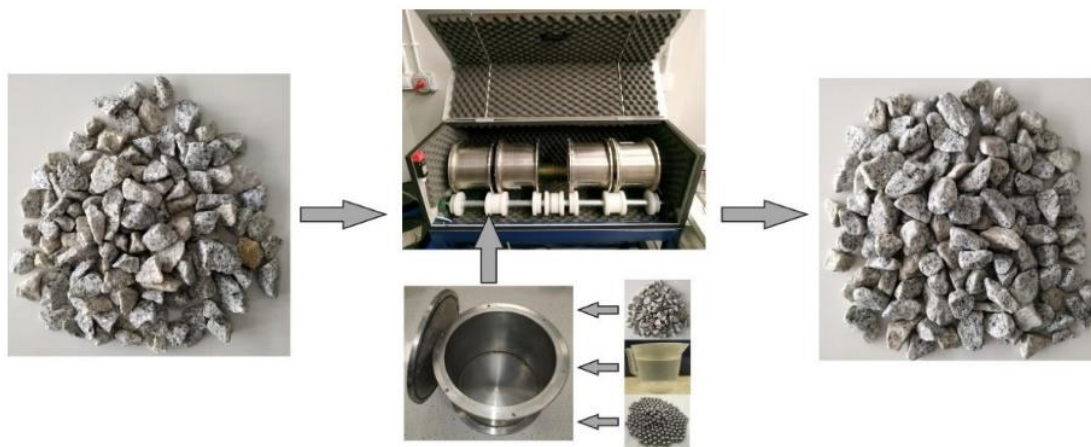
Αντοχή σε θρυμματισμό κατά Los Angeles (EN 1097-2)

Αυτή η δοκιμή, αποτελεί δοκιμή αναφοράς, και προσδιορίζει το μεγαλύτερο ποσοστό της φθοράς χονδρόκοκκων κλασμάτων αδρανών κατά την διαδικασία δοκιμής θρυμματισμού με τριβή και κρούση. Όταν έχουμε υγιή πετρώματα ο συντελεστής LA είναι χαμηλός. Το τελικό προϊόν μετά τη θραύση και τη μείωση του μεγέθους του, έχει αυξημένη ανθεκτικότητα σε θρυμματισμούς γιατί υπάρχει βελτίωση σχήματος και αποβολή των ασθενών-ψαθυρών

κόκκων. Αποτελεί απαραίτητη δοκιμή για αδρανή που χρησιμοποιούνται σε έργα και καταπονούνται από δυνάμεις τριβής όπως βιομηχανικά δάπεδα, οδοστρώματα κλπ.

Αντοχή σε φθορά micro-Deval (ΕΛΟΤ EN 1097-1)

Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται σε συσκευή micro-Deval (Σχ. 5) με την παρουσία νερού και προσδιορίζει το μέγιστο ποσοστό της φθοράς σε χονδρόκοκα κλάσματα. Η δοκιμή αυτή λαμβάνει χώρα σε αδρανή που προορίζονται για έρμα σιδηροδρομικών γραμμών.



Σχήμα 5: Δοκιμές αδρανών σε συσκευή micro-Deval

Πηγή: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/18/5456>

Χημική Ανάλυση (EN 1744-1)

Στη δοκιμή αυτή καθορίζονται η σύσταση και οι επιβλαβείς ουσίες. Αναλυτικότερα γίνεται προσδιορισμός οργανικών προσμίξεων και βλαβερών συστατικών των αδρανών. Η επιλογή των διαδικασιών καθορίζεται, ανάλογα τη χρήση για την οποία προορίζονται.

Προσδιορισμός οργανικών προσμίξεων (EN 1744-1)

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται έτσι ώστε να προσδιοριστεί η ύπαρξη οργανικών προσμίξεων είναι η χρωματογραφία. Οι προσμίξεις αυτές είναι υπεύθυνες για παρεμπόδιση πήξης και σκλήρυνσης σκυροδέματος και κονιαμάτων. Επίσης είναι πιθανός ο χρωματισμός των επιφανειών αυτών. Η μέθοδος αυτή βρίσκει εφαρμογή σε αδρανή σκυροδέματος, κονιαμάτων και βάσεων-υποβάσεων.

4.4 Προδιαγραφές για αδρανή σκυροδέματος

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφερθήκαμε σε μερικές εφαρμογές των αδρανών στον τομέα των κατασκευών. Η πιο διαδεδομένη χρήση τους αφορά την παρασκευή σκυροδέματος. Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται για σκυρόδεμα θα πρέπει να πληρούν ορισμένες προδιαγραφές, οι οποίες καθορίζονται από το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN12620.

Για την παρασκευή του σκυροδέματος τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αδρανών επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την αντλησιμότητα και τη σύνθεση του. Τα φυσικά χαρακτηριστικά συμβάλλουν στην αντοχή και στην ανθεκτικότητα του ενώ τα φυσικοχημικά προστατεύουν τον οπλισμό, συμβάλλουν στην πήξη, στην σκλήρυνση καθώς και στη σταθερότητα του. Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας (Πιν. 4) στον οποίο παρατίθενται οι προδιαγραφές των αδρανών υλικών (συγκεκριμένα της θραυστής και της φυσικής άμμου) για σκυρόδεμα, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN12620.

4.5 Προδιαγραφές έρματος σιδηροδρομικών γραμμών

Όπως προαναφέρθηκε τα αδρανή υλικά για να μπορούν να συμμετέχουν στο έρμα θα πρέπει να πληρούν κάποιες προδιαγραφές, όπως για παράδειγμα να χρησιμοποιούνται υλικά από τις ίδιες γεωλογικές πηγές, οι κόκκοι να είναι σκληροί, ανθεκτικοί και καθαροί από προσμίξεις. Πιο συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά του έρματος γραμμών αναφέρονται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13450 και παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα (Πιν. 5).

4.6 Προδιαγραφές για αδρανή ασφαλτομιγμάτων

Τα αδρανή που προορίζονται για χρήση σε ασφαλτικά μείγματα θα πρέπει να είναι προερχόμενα από θραύση και η χρήση τους να μη γίνεται στην πρωτογενή μορφή τους. Έτσι μπορούν να προκύψουν επιφάνειες που είναι γωνιώδεις και τραχείς, με ομοιόμορφες διαστάσεις σχήματος κόκκων. Οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά είναι διαφορετικά αναλόγως την τελική τους χρήση. Οι πιο σημαντικές παράμετροι που θα πρέπει να έχει ένα αδρανές ώστε να βρίσκει εφαρμογή σε ασφαλτικά μίγματα είναι αυτή της κοκκομετρικής διαβάθμισης, του σχήματος των κόκκων του, η επιφανειακή του υφή, διάφορες προσμίξεις, η σαθρότητα πετρώματος, η απορροφητικότητα και η χημική συγγένεια με το χρησιμοποιούμενο ασφαλτικό συνδετικό.

Σύμφωνα με τις πρότυπες τεχνικές προδιαγραφές (ΠΤΠ) και τον ΕΛΟΤ 13043 παρατίθενται ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα (Πιν 6.) οι προδιαγραφές, για χονδρόκοκκα αδρανή που χρησιμοποιούνται για ασφαλτικά σκυρωτά.

Πίνακας 4: Προδιαγραφές σκυροδέματος βασή (EN 12620).

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	EN 12620
Δείκτης Πλακοειδούς	Δεν έχει καθορισμένα όρια
Κοκκομετρική διαβάθμιση	$D \leq 4\text{mm}$, $d=0$ %P $2D=100$ $95 \leq 1,4 D \leq 100$ $85 \leq D \leq 99$
Ποσοτικός προσδιορισμός παιπάλης	P% σε κόσκινο 0,063mm ≤ 3 f_3 ≤ 10 f_{10} ≤ 16 f_{16} ≤ 22 f_{22} >22 f_{Declared} FNR χωρίς απαιτήσεις
Ποιοτικός προσδιορισμός παιπάλης Δοκιμή ισοδύναμου άμμου και δοκιμή μπλε του μεθυλενίου	Χωρίς Καθορισμένες απαιτήσεις. Όμως η άμμος θεωρείται ότι πληροί τις προδιαγραφές αν το ποσοστό της παιπάλης σε κόσκινο 0,063mm είναι μικρότερο του 3% ή αν πληροί εθνικές προδιαγραφές για δοκιμή μπλε του μεθυλενίου ή ισοδύναμου άμμου ή υπάρχει χρόνια εμπειρία αναφορικά με την καταλληλότητα της άμμου.
ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Αντοχή σε κρούση και φθορά - Δοκιμή LA	Μόνο σε χονδρόκοκκα αδρανή
Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση με θευκό μαγνήσιο (MgSO_4)	$\leq 18\%$ MS_{18} $\leq 25\%$ MS_{25} $\leq 35\%$ MS_{35} >35% $\text{MS}_{\text{Declared}}$ MSNR Χωρίς καθορισμένες απαιτήσεις
ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Υδατοαπορροφητικότητα	Χωρίς καθορισμένα όρια
Ειδικό Βάρος (φαινόμενο και μικό)	≥ 2
ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Επιβλαβείς προσμίξεις	Οργανικές: ανοιχτόχρωμο του δείκτη Χλωριόντα: προσδιορισμός και δήλωση από τον παραγωγό. Ελαφροβαρείς: < 0,5% για επιχρισμένο σκυρόδεμα < 0,25% για ανεπίχριστο

Όπου, P%: Διερχόμενο ποσοστό από κόσκινο συγκεκριμένης βρογχίδας, f: Παιπάλη ορίζεται ως το κλάσμα ενός αδρανούς το οποίο διέρχεται από κόσκινο που έχει άνοιγμα βρογχίδας 0,63mm (εκφράζεται σε %), MS: Είναι η τιμή MgSO_4 , η οποία κατά την αποσάθρωση με MgSO_4 δηλώνει την απώλεια μάζας (εκφράζεται σε %)

Πίνακας 5: Προδιαγραφές έρματος σιδήρ. γραμμών (EN 13450)

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	EN 13450
Κοκκομετρική διαβάθμιση	Κατηγορίες διαβάθμισης A, B, C: 31,5 – 50 mm D, E, F : 31,5 mm – 63 mm
Ποσοτικός προσδιορισμός παιπάλης (0,063mm μέγεθος κόκκων)	%f σε κόσκίνο 0,063mm ≤0.5% ≤1.0% B ≤1.0% C >1.5% Γνωστοποίηση αποτελεσμάτων D χωρίς καθορισμένα όρια
Δείκτης πλακοειδούς (FI)	≤15 FI ₁₅ ≤20 FI ₂₀ ≤35 FI ₃₅ >35 FIDeclared FINR χωρίς απαιτήσεις
ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Αντοχή σε θρυμματισμό LA	≤12 LA RB ₁₂ ≤16 LA RB ₁₆ ≤20 LA RB ₂₀ ≤24 LA RB ₂₄ >24 LA RB Devrared LA RB _{NR} Χωρίς απαιτήσεις
ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Υδατοαπορροφητικότητα	WA ≤ 0.5% A,B ≤ 1.0% C,D Όπου A,B,C,D οι κατηγορίες με βάσει τις κλιματολογικές και περιβαλλοντικές συνθήκες Όταν οι τιμές είναι μεγαλύτερες σε κάθε κατηγορία θα πρέπει να προσδιοριστεί η αντοχή σε ψύξη απόψυξη, αντοχή σε αποσάθρωση με θειικό μαγνήσιο.
ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Ομοιογένεια-Πετρογραφική δομή	Πετρώματα τα οποία είναι μη επιθυμητά: Κρυσταλλικός σχιστόλιθος, φυλλίτης Κιμωλία, μάργα Αργιλικός σχιστόλιθος Πετρώματα χαλαρά που είναι συνδεδεμένα με αργιλικά ορυκτά
Επιβλαβή Συστατικά	Απαγορεύεται η ύπαρξη οργανικών, εκτεταμένων στερεών, μετάλλων και πλαστικών

Όπου: LA RB: Συντελεστής Los Angeles για έρμα γραμμής το οποίο δηλώνει την απώλεια του υλικού σε θρυμματισμό και WA: Υδατοαπορροφητικότητα, εκφράζεται σε % μάζας.

30

		$WA_2 \leq 2$ $WADeclared > 2$ $WANR$ Χωρίς απαιτήσεις
ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ		
Προσμίξεις χονδρόκοκες, οργανικές και ελαφροβαρείς κ.α προσμίξεις	Πρέπει να υπάρχει καθαρότητα, να μην υφίστανται αποσαθρωμένα τεμάχια, βώλοι προσμίξεις, αργιλικές επικαλύψεις.	Όταν απαιτείται $LPC_{0,1} \leq 0,1$ $LPC_{0,5} \leq 0,5$ $LPCDeclared > 0,5$ $LPCNR$ Χωρίς απαιτήσεις
Πετρογραφικά χαρακτηριστικά	Χωρίς απαιτήσεις	Η εξέταση δείχνει αν υπάρχουν ασθενείς ή ισχυρά απορροφητικοί κόκκοι, οι οποίοι είναι επικίνδυνοι για την ψύξη απόψυξη. Σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να ακολουθεί έλεγχος χαρακτηριστικών του υλικού. Προς αποφυγή: Φυλλίτης, Κιμωλία, Μάργα, κ.α.

Όπου, MDE: Συντελεστής micro-Deval, ο οποίος δηλώνει την απώλεια του υλικού, παρουσία νερού, σε φθορά/ τριβή, LPC: Περιεκτικότητα ελαφροβαρών οργανικών προσμίξεων (χονδρόκοκκων, με μέγεθος $> 2 \text{ mm}$) η οποία εκφράζεται σε % μάζας.

5. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

5.1 Γενικά

Οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες για βιομηχανική παραγωγή, η αστικοποίηση σε συνάρτηση με την αύξηση του πληθυσμού και η αύξηση της οικονομίας έχουν ως λογικό και μη αναστρέψιμο αποτέλεσμα την όλο και μεγαλύτερη παραγωγή στερεών αποβλήτων σε παγκόσμια κλίμακα. Έτσι παρά την σημαντική συνεισφορά της στην ανάπτυξη των κοινωνιών, η κατασκευαστική βιομηχανία συμμετέχει πολύ ενεργά στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Η αλόγιστη παραγωγή αδρανών υλικών καθώς και η έλλειψη προγραμματισμού για βιώσιμα μοντέλα, έχει ως αποτέλεσμα την συγκέντρωση αποβλήτων τα οποία με βάση τη προέλευσή τους χωρίζονται σε εξόρυξης, απόβλητα κατασκευαστικού τομέα και βιομηχανικά απόβλητα αντίστοιχα. Στις αρνητικές επιπτώσεις των αποβλήτων και της διαδικασίας παραγωγής τους, συγκαταλέγονται η υποβάθμιση του εδάφους, η κατανάλωση ενέργειας, η αδυναμία εκμετάλλευσης παραγόμενων στερεών αποβλήτων, η εκπομπή σκόνης και αερίων και η κατανάλωση μη ανανεώσιμων φυσικών αποθεμάτων. Έτσι τα οικοδομικά αυτά υλικά, κατά την εξόρυξη, την μεταφορά, την επεξεργασία, την ομογενοποίηση, τη κατασκευή και τελικά τη κατάληξη τους ως απόβλητα, έχουν αρνητικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα δεσμεύοντας χώρο στις ήδη ανεπαρκείς χωματερές.

Παράλληλα, η κρίση επηρέασε σημαντικά τα μεγέθη του κλάδου με αποτέλεσμα να παρουσιαστεί μεγάλη πτώση στη ζήτηση και αντίστοιχα στις τιμές των πρώτων υλών της οικοδομής, του τσιμέντου και του σκυροδέματος (δομικών υλικών). Σημειώθηκε έτσι μια μείωση της τάξης του 20% το 2009 στη παραγωγή ως απόρροια της οικονομικής ύφεσης και της συρρίκνωσης της κατασκευαστικής δραστηριότητας στη χώρα. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ποσοστό της τάξεως αυτής, εκτιμόταν η παράνομη εξορυκτική δραστηριότητα πριν την μεγάλη ύφεση, δηλαδή όταν η παραγωγή μετρούσε 100εκατ. τόνους αδρανών ετησίως. Η μεγάλη πτώση στην κατασκευαστική δραστηριότητα, έφερε στη συνέχεια ακόμα πιο δραματική μείωση στη παραγωγή αδρανών. Η τρέχουσα παραγωγή για το 2012 υπολογίζεται στους 38 εκατομμύρια τόνους (Tzeferis,2012). Η καταβαράθρωσή της παραγωγής και αγοράς αδρανών αποτυπώνεται στην μεταβολή των παραγόμενων ασβεστολιθικών αδρανών (Σχ. 6).



Ασβεστολιθικά Αδρανή

Σχήμα 6: Μεταβολή της παραγωγής ασβεστολιθικών αδρανών στην Ελλάδα ανά τα έτη.

Πηγή: <https://sme.gr/paragoges/>

Στα αδρανή υλικά αποτυπώνεται έτσι η σύγχρονη πραγματικότητα της χώρας και της Ευρώπης γενικότερα, αποτελώντας σημαντικό πόρο για την οικονομική και κοινωνική ευημερία, καθώς σχετίζεται άμεσα με τις οικονομικές δραστηριότητες γύρω από τις κατασκευαστικές επιχειρήσεις και τις επιχειρήσεις πρώτων υλών. Επίσης η συνεχής αύξηση του πληθυσμού απαιτεί συνεχώς την κατασκευή έργων. Ο κατασκευαστικός τομέας συγκριτικά με άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες υπερτερεί σε μέγεθος και ταυτόχρονα συνδέεται με δραστηριότητες καίριας σημασίας για το κοινωνικό σύνολο. Έτσι απαιτείται η χρήση και εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου προγράμματος που θα εξασφαλίζει ένα βιώσιμο μοντέλο ανάπτυξης, χωρίς να παραμελεί τη συνολική διαχείριση των αδρανών υλικών καθώς και τις επιδράσεις που μπορεί να έχει σε τοπικό αλλά και κρατικό επίπεδο.

5.2 Ευρωπαϊκά – Ελληνικά δεδομένα αδρανών

Τα αδρανή υλικά βρίσκονται στη κορυφή της ζήτησης στις ευρωπαϊκές χώρες ανάμεσα στις ορυκτές πρώτες ύλες. Το 2010-2011 συνολική ζήτηση στην Ευρώπη ανήλθε στους 3 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως σύμφωνα με το UEPG-Ευρωπαϊκό Οργανισμό Αδρανών. Ένα μεγάλο ποσοστό, της τάξεως του 65% που καταναλώνεται στην Ευρώπη χρησιμοποιείται συγκεκριμένα στη κατασκευή κτιρίων. Η πιο συνηθισμένη χρήση είναι για τη παραγωγή σκυροδέματος, το οποίο και χρησιμοποιείται σαν βασικό κατασκευαστικό υλικό.

Μεγάλος όγκος αδρανών καταναλώνεται επίσης σε εργασίες υποδομών δηλαδή για μεγάλα έργα δρόμων, σιδηροδρομικών γραμμών και αεροδρομίων.

Το 2015 σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό αδρανών η Ευρώπη κατανάλωσε 2.51 δισεκατομμύρια τόνους αδρανών υλικών, ενώ ο τομέας απασχολούσε άμεσα παραπάνω από 200,000 ανθρώπους με 13,263 επιχειρήσεις στον τομέα των παραγωγών και μόνο. Έτσι όσο πιο ανεπτυγμένη είναι μια χώρα τόσο περισσότερα αδρανή τείνει να χρησιμοποιεί (UEPG, 2015).

Για το 2023 η παγκόσμια παραγωγή σημείωσε μείωση κατά 6,5% το 2023 έναντι του 2019 εξαιτίας των οικονομικών αναταράξεων που προκλήθηκαν από τα πολεμικά και διπλωματικά επεισόδια και την πανδημία. Η αυξανόμενη ζήτηση των τελευταίων δεκαετιών σε συνδυασμό με τις προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής, την αστικοποίηση και αύξηση του πληθυσμού, καθώς και τους στόχους που έχουν τεθεί για μείωση των εκπομπών, αναμένεται να επιφέρουν δραστικές αλλαγές στον τρόπο ζωής μας και προκλήσεις που θα απαιτήσουν σημαντικές επενδύσεις κεφαλαίου, εναλλακτικών άμεσα διαθέσιμων φυσικών πόρων, ενέργειας και εφευρετικότητας.

Όσον αφορά τη τωρινή κατάσταση, η αυξανόμενη ζήτηση έχει δημιουργήσει αυξανόμενη έλλειψη αδρανών χωρίς άμεσα διαθέσιμα εναλλακτικά υλικά. Πολλές χώρες αν και έχουν εγκρίνει αειφορικά βιώσιμα μοντέλα και πιέζουν με την εφαρμογή όλο και περισσότερων πολιτικών που προωθούν κυκλικά αντί γραμμικών μοντέλων, έχουν προς το παρόν περιορισμένες παραγωγές αδρανών από ανακύκλωση. Επιπλέον, στην Ελλάδα προβλέπεται αύξηση των κατεδαφίσεων των γερασμένων πλέον κτιρίων όπου και θα απαιτηθεί μεγάλος αριθμός ενεργειών για την ανακύκλωση και εκμετάλλευση των προστιθέμενων οικοδομικών απορριμμάτων.

Παρά την ξεκάθαρη πολιτική για τα διάφορα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τους κοινούς στόχους που έχουν τεθεί για την οικονομία των αδρανών υλικών υπάρχουν σημαντικές διαφορές σε θέματα πολιτικών, σχεδιασμού και διαχείρισης τους στις χώρες της Νοτιοανατολικής Ευρώπης. Η ύπαρξη των διαχρονικών αυτών διαφοροποιήσεων είναι υπεύθυνη για μεγάλες καθυστερήσεις σε ενημερώσεις και εφαρμογές στην βελτίωση της αποδοτικότητας διαθέσιμων πόρων με σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις που δημιουργούν εντάσεις και προστριβές στις τοπικές κοινωνίες. Οι διαφορετικές αυτές προσεγγίσεις οφείλονται:

- Στις διαφορετικές πολιτικές κάθε κράτους στα θέματα διαχείρισης πρώτων υλών.

- Στις διάφορες συγκεντρώσεις νόμων και εγκυκλίων για θέματα αδρανών που δυσκολεύουν την επιμέρους διαχείριση και το συντονισμό.
- Στην άγνοια πολλές φορές των αρμόδιων αρχών κάθε χώρας για τη βιωσιμότητα των αδρανών πόρων ή για το σχεδιασμό προμήθειας δευτερογενών αδρανών υλικών και βιομηχανικών παραπροϊόντων.
- Στις μη ικανοποιητικές δράσεις για τη παράνομη εξόρυξη και την αποκατάσταση του περιβάλλοντα χώρου των λατομείων.
- Στην έλλειψη διακρατικών δραστηριοτήτων συνεργασίας μεταξύ των διάφορων κρατών σχετικά με τον σχεδιασμό των αδρανών

Η νοτιοανατολική Ευρώπη είναι πλούσια σε βολικούς, για την εξόρυξη αδρανών, γεωλογικούς σχηματισμούς. Έτσι, με την ανάγκη για μεγαλύτερη κατανάλωση στο μέλλον καλείται να επιδιορθώσει τις αστοχίες σχετικά με τη παραγωγή και ξεπερνώντας τις εγχώριες δυσκολίες να εφαρμόσει πιο ουσιαστικά τις ιδέες για ανακύκλωση και αποδοτικότητας των πόρων. Αυτό μπορεί να γίνει με την προώθηση μεθόδων Sustainable Resource Management (SARM) για προστασία των πόρων και Sustainable Supply Mix (SSM) δηλαδή ένα μίγμα μίξης από φυσικά αδρανή, παράγωγα των λατομείων εξόρυξης και ανακυκλωμένων υλικών τα οποία μαζί μπορούν να μεγιστοποιήσουν τα οφέλη της διάθεσης αδρανών για μεγάλο χρονικό διάστημα (Blengini and Garbarino 2010).

Στην Ελλάδα συγκεκριμένα υπάρχει ποικιλία από εύκολα εξορύξιμα πετρώματα κάνοντας κυρίαρχη την επιλογή των θραυσμένων αδρανών για τοπικές κατασκευαστικές εργασίες. Η παραγωγή αδρανών μέσω των λατομείων ξεπερνάει το 90% από ασβεστολιθικά πετρώματα που βρίσκονται σε πληθώρα σε όλη την επικράτεια. Από την στιγμή που η παραγωγή σκυροδέματος και η κατασκευή οδοστρωμάτων είναι με διαφορά οι κυρίαρχες χρήσεις στη χώρα, οι πρακτικές εξακρίβωσης της ποιότητάς τους για τις προαναφερθείσες χρήσεις είναι με τη μέθοδο Los Angeles, τη δοκιμή ισοδύναμης άμμου, δοκιμή υδατοαπορροφικτικότητας, το προσδιορισμό της παιπάλης και τον προσδιορισμό της αντοχής σε θλίψη (Galetakis et al., 2013).

Η παραγωγή αδρανών στη χώρα υπέστη μεγάλο πλήγμα εξαιτίας της οικονομικής κρίσης στη διάρκεια της οποίας παρατηρήθηκαν μεταρρυθμίσεις τόσο σε εθνικό αλλά και τοπικό επίπεδο. Η παραγωγή τα τελευταία χρόνια παραμένει στάσιμη και εκτιμάται στους 52 εκατομμύρια τόνους από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Αδρανών για το 2022. Η Ελλάδα δεν αποτελεί εξαίρεση από τις χώρες της Νοτιοανατολικής Ευρώπης, όσον αφορά την

καθυστέρηση εφαρμογής και προώθησης του βιώσιμου μοντέλου ανάπτυξης. Αυτό αποδίδεται:

- Στο πολύπλοκο και πολύ συχνά αντιφατικό πλαίσιο προδιαγραφών για την πρόσβαση σε φυσικούς πόρους και τη μετέπειτα εκμετάλλευσή τους.
- Στη καθυστέρηση που υπήρξε για την επιμέλεια και ανακύκλωση των ΑΕΚΚ, παρά την ύπαρξη ξεκάθαρα νομικού πλαισίου από το 2020.
- Στην αδυναμία καθιέρωσης σοβαρού μοντέλου σχετικά με την συστηματική, νόμιμη, αποτελεσματική επεξεργασία αποβλήτων για τη παραγωγή αδρανών.
- Στην απουσία των όποιων δράσεων συγχρονισμού των κατάλληλων αρμόδιων φορέων για την υλοποίηση αλλαγών σε μεγαλύτερο πλαίσιο.

5.3 Βιώσιμη ανάπτυξη

Είναι πλέον εμφανές ότι τα αποθέματα φυσικών πόρων δεν είναι ανεξάντλητα και για αυτό είναι τεράστια ευθύνη του ανθρώπου να διασφαλίσει την ακεραιότητα κατά την παραγωγική δραστηριότητα σε βάθος χρόνου, για τις επόμενες γενιές. Με την εκθετικά αυξανόμενη μείωση των διαθέσιμων φυσικών πόρων είναι επιτακτική η ανάγκη της εξοικονόμησης κα σωστής διαχείρισης τους. Γίνεται κατανοητό λοιπόν ότι μαζί με τη συνειδητοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στον παραγωγικό τομέα, είναι εξίσου σημαντική η περιβαλλοντική διατήρηση, δηλαδή η διασφάλιση της μακροχρόνιας βιωσιμότητας του οικοσυστήματος. Η φιλοσοφία της 'οικονομίας' αυτής περιγράφεται από την έννοια της αειφορίας, ενώ οι απαραίτητες αυτές ενέργειες που εξασφαλίζουν την μακροβιότητα των φυσικών πρώτων υλών με ταυτόχρονη κάλυψη των αναγκών του σήμερα, ονομάζεται αειφορική ή βιώσιμη ανάπτυξη.

Η έννοια της βιωσιμότητας δεν ήταν πάντα η ίδια. Ακολούθησε μια εξελικτική πορεία ανάλογη με τις απαιτήσεις και τις διαφορετικές ανάγκες των κοινωνιών στη διάρκεια των ετών. Αρχικά, στις κατασκευές, αφορούσε πιο τεχνικά θέματα όπως για παράδειγμα τη φύση των υλικών, τη μείωση των εκπομπών και των γενικότερων επιπτώσεων στο περιβάλλον και την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω των παραγωγικών διαδικασιών. Στη συνέχεια οι στόχοι της βιωσιμότητας ήταν οικονομική ευημερία, περιβαλλοντική υγεία και κοινωνική ισότητα. Αυτοί οι στόχοι είναι απλοί και αρκετά εύελικτοι ώστε να επιτρέψουν πολλαπλές διαφοροποιήσεις και είναι εφαρμόσιμοι σε μια μεγάλη ποικιλία συνθηκών (Šolar,2003a).

Οι ορυκτοί πόροι δεν είναι ανανεώσιμοι. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν ισχύουν οι αρχές της βιωσιμότητας για τα αδρανή υλικά και τις διαδικασίες εξόρυξής τους. Στη βιώσιμη ανάπτυξη περιλαμβάνεται η διαχείριση αποθεμάτων με τρόπο παραγωγικό για την οικονομική ευημερία

και οι ορυκτοί πόροι αποτελούν αντικείμενο πλούτου. Επίσης με τη χρήση τους να έχουν θετικό αντίκτυπο στη ζωή των ανθρώπων, και να αποτελούν κύριο πυλώνα στα οικονομικά και κοινωνικά συστήματα. Παράλληλα η εξόρυξη, χρήση, επεξεργασία και απόρριψή τους συνοδεύεται από έντονες περιβαλλοντικές συνέπειες και απειλές για την υποβάθμιση του ίδιου του επίπεδου ζωής. Η προσαρμογή στο βιώσιμο μοντέλο για την ανάπτυξη και χρήση των ορυκτών πόρων συνδυάζεται με πολλά οφέλη μεταγενέστερα εξαιτίας των χαρακτηριστικών ανακυκλωσιμότητας και ανθεκτικότητας τους (Shields & Šolar, 2000). Η προστασία των αδρανών λοιπόν επιτυγχάνεται με :

- Την ελάχιστη δυνατή εκμετάλλευση πετρωμάτων- κύριων πηγών αδρανών και την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση κατασκευαστικών υλικών όπως τα αδρανή.
- Την εκμετάλλευση ανανεώσιμων αδρανών και διάφορων εναλλακτικών αποθεμάτων.
- Την ενημέρωση στο ευρύ κοινό για τη προοπτική τους.
- Την απόθεση τους σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους.

Οι πρώτοι δύο στη σειρά εξασφαλίζουν μείωση της ζήτησης αδρανών και των εξορυκτικών διαδικασιών και οι υπόλοιπες δύο εξασφαλίζουν τη μελλοντική διαθεσιμότητα των αδρανών (Šolar, 2003).

Βιωσιμότητα στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα υπολογίζεται ότι η αλόγιστη απόρριψη των αδρανών, ανέρχεται κάθε χρόνο στους 6,5 εκατομμύρια τόνους περίπου με σημαντικές συνέπειες στο περιβάλλον, το έδαφος, τα υπόγεια ύδατα αλλά και την ατμόσφαιρα. Οι μεγάλες αυτές ποσότητες απορρίψεων, σε συνδυασμό με την έλλειψη ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης και τις επικείμενες περιβαλλοντικές προκλήσεις του μέλλοντος, καθιστά αναγκαία την βελτιστοποίηση των ανακυκλωτικών-κυκλικών μοντέλων.

5.4 Κυκλική οικονομία

Με τον όρο κυκλική οικονομία περιγράφεται το μοντέλο που χρησιμοποιείται κυρίως στην μεταλλευτική βιομηχανία για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μιας διεργασίας ή του παραγόμενου της βιομηχανίας προϊόντος. Με την εφαρμογή του μοντέλου LCA, πραγματοποιώντας ανάλυση των διαφόρων διαδικασιών παραγωγής, μπορούν να προταθούν βελτιώσεις στις διαδικασίες αυτές με χαμηλότερα κόστη που θα έχουν σαν αποτέλεσμα σε τελικό στάδιο, τη μείωση της εκπομπής αποβλήτων. Με την ανάλυση επίσης

μπορούν να αναγνωριστούν και να επαναχρησιμοποιηθούν υλικά, τα οποία μέχρι πρότινος θεωρούνταν απόβλητα της εκάστοτε παραγωγής.

Το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας σε αντίθεση με το γραμμικό μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης που μονοπώλησε τον 20ο αιώνα, δεν αντιπροσωπεύει την μονοδιάστατη χρήση και απόρριψη των ορυκτών πρώτων υλών. Η κυκλική οικονομία συμβολίζει τη μετάβαση από τη γραμμική ροή των υλικών στη κυκλική με την ιδέα του να προσφέρουν οι πόροι όσο το δυνατόν περισσότερα στην οικονομική δραστηριότητα μετά την εξόρυξή τους. Έτσι με το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας, μετατρέπονται πρώην άχρηστα και μη παραγωγικά υλικά σε καινούριους πόρους, που λειτουργούν συμπληρωματικά και αλυσιδωτά με άλλους, ήδη υπάρχοντες, με σκοπό την συνεχόμενη οικονομική ανάπτυξη και προστασία του περιβάλλοντος από επιπλέον εξορυκτικές διαδικασίες.

Στη σύγχρονη εκδοχή της η κυκλική οικονομία εφαρμόζεται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο στην οικονομία και τις βιομηχανικές διαδικασίες και έχει προσαρμοστεί ώστε να ενσωματώνει διαφορετικά χαρακτηριστικά από ποικίλες έννοιες με τις οποίες δρα συνεργατικά, στην ιδέα του κλειστού κυκλώματος-βρόγχου. Προωθείται έτσι σαν εναλλακτική και βρίσκει εφαρμογή σε μη βιώσιμα, με προοπτική, παραγωγικά συστήματα (Johansson and Henriksson, 2020).

Στόχος την Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα μέλη-κράτη της είναι η μετατροπή όλων των γραμμικών μοντέλων σε κυκλικών, για το 2030 με τη χρήση του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας. Έτσι με την ολοκληρωτική εφαρμογή της μπορεί να αποτελέσει μια λύση για τα σύνθετα και διαχρονικά προβλήματα της Ευρώπης άλλα και παγκοσμίως, με την αποκεντροποίηση της εξαγωγής πρώτων υλών. Παρά το γεγονός ότι μπορεί να εφαρμοστεί, το μοντέλο LCA που αφορά τη διαχείριση πρώτων υλών και συγκεκριμένα των αποβλήτων, πρέπει να εξελιχθεί, πραγματοποιώντας τις απαραίτητες μεταρρυθμίσεις με συντονισμό των κοινωνιών, για την πραγματοποίηση των στόχων που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση σχετικά με τις κλιματικές προκλήσεις (European Environment Agency, 2020).

Σχέδιο δράσης ΕΕ για την Κυκλική Οικονομία «Για μια ανταγωνιστική και πιο καθαρή Ευρώπη»

Κεντρικός στόχος του σχεδίου αποτελεί η πρόληψη, δηλαδή η πλήρης αποφυγή δημιουργίας αποβλήτων και η μετατροπή αυτών σε δευτερογενείς, καλής ποιότητας και υψηλής ζήτησης, πόρους, όντας βασικός πυλώνας της Πράσινης συμφωνίας. Το σχέδιο εστιάζει στο σχεδιασμό και τη παραγωγή βιώσιμων και κυκλικών προϊόντων, εξασφαλίζοντας ότι επιστρέφουν ή παραμένουν στην αξιακή αλυσίδα των υλικών (ΥΠΕΝ 2022).

Κυκλική οικονομία στην Ελλάδα

Σε εθνικό επίπεδο, μεγάλη σημασία δίνεται στην Εθνική Στρατηγική για την Κυκλική Οικονομία. Πιο συγκεκριμένα, στο σχέδιο αυτό, παρουσιάζονται και αναλύονται οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να ενταχθεί η κυκλική οικονομία στο παραγωγικό σύστημα της χώρας, εξηγώντας παράλληλα τα οφέλη εφαρμογής της ως προς την περιβαλλοντική αναβάθμιση, την οικονομία πόρων, την ανάπτυξη επιχειρηματικότητας με βιώσιμες επενδύσεις και της εξασφάλισης ανταγωνιστικότητας της χώρας μελλοντικά. Η εθνική στρατηγική για μετάβαση στη κυκλική οικονομία συνδέεται με το εθνικό αναπτυξιακό σχέδιο και στηρίζεται σε 3 βασικούς πυλώνες:

- **Βιώσιμη διαχείριση πόρων** - εστιάζει στην αύξηση της αποδοτικότητας τους, τον επανέλεγχο των αλυσίδων αξίας, την σωστή διαχείριση αποβλήτων και την οικονομία δομικών υλικών με την επανάχρηση κτιρίων.
- **Ενίσχυση μοντέλου κυκλικής επιχειρηματικότητας** - επιτυγχάνεται με ενθάρρυνση στις ιδέες οικοσχεδιασμού, παραγωγή προϊόντων μακράς διάρκειας, προώθηση και ανακαίνιση της βιομηχανικής συμβίωσης, την ενθάρρυνση πρωτοποριακών μοντέλων επιχειρηματικότητας με προώθηση πράσινης και βιολογικής οικονομίας και υποστήριξης εφαρμογής δευτερογενών υλικών.
- **Εκπαίδευση ως προς την κυκλική κατανάλωση** - ενημέρωση πολιτών για την αποφυγή κατάχρησης πόρων, πρόληψη παραγωγής αποβλήτων με σχέδια επαναχρησιμοποίησης και αξιοποίηση Οικολογικού Σήματος.

Με νέες προκλήσεις θα εμφανιστούν και νέες τεχνολογικές ανάγκες για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων όσον αφορά τη διαχείριση των εκάστοτε αποβλήτων. Είναι απαραίτητος λοιπόν ο μακροπρόθεσμος σχεδιασμός, καθώς τα συστήματα διαχείρισης πέρα από τις δυσκολίες συντονισμού δεν επιδέχονται γρήγορα μεταρρυθμίσεις μετά την ανάπτυξη και εδραίωση τους.

5.5 Απορρίμματα Εκσκαφής Κατασκευής και Κατεδάφισης – ΑΕΚΚ

Στις ανεπτυγμένες βιομηχανικά χώρες, σε όλη τη Γη, γκρεμίζονται κτίρια και καταστρέφονται δρόμοι, παράγοντας τεράστιες ποσότητες αποβλήτων. Οι κατεδαφισμένες υποδομές διατίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής ή ανακυκλώνονται παρέχοντας έτσι μια ζωτικής σημασίας λύση για τους φυσικούς πόρους και για τους χώρους εναπόθεσης των δομικών και κτιριακών απορριμμάτων. Από τα παράγωγα απόβλητα μπορούν να προκύψουν με κατάλληλη επεξεργασία, αδρανή, και να χρησιμοποιηθούν για την εκ νέου παραγωγή

σκυροδέματος με σύσταση φιλική προς το περιβάλλον. Η απόφαση για τη διαχείριση των παραγόμενων από τις κατεδαφίσεις, αποβλήτων, λαμβάνεται από τον υπεύθυνο της κατεδάφισης με εκτίμηση των οικονομικών εξόδων, των συμβατικών όρων και της επικείμενης νομοθεσίας.

Τα τελευταία χρόνια, στα απόβλητα των κατεδαφίσεων και των κατασκευών που προαναφέρθηκαν, προστέθηκαν και αυτά των εκσκαφών. Πιο συγκεκριμένα τα απόβλητα που είναι παράγωγα της κατασκευής και κατεδάφισης δομικών υλικών στον κατασκευαστικό τομέα ονομάζονται απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) και προκύπτουν από μεταφορικές, κατασκευαστικές και εταιρίες επεξεργασίας Γης, αποτελώντας ένα παγκόσμιο φαινόμενο ρύπανσης. Τα περισσότερα ΑΕΚΚ έχουν χαρακτήρα αδρανών υλικών με εξαίρεση την περίπτωση ανάμειξης τους με επικίνδυνα απόβλητα. Σε αυτή τη περίπτωση τα απόβλητα θεωρούνται επικίνδυνα και επιδέχονται ειδική διαχείρισή από τους αρμόδιους φορείς.

Στη προηγούμενη δεκαετία, ο κατασκευαστικός τομέας στην Ευρώπη παρήγαγε 820 εκατομμύρια τόνους ΑΕΚΚ κάθε χρόνο, δηλαδή περίπου 50% της παραγωγής αποβλήτων στο σύνολο της, όπως αναφέρει η EUROSTAT. Οι μεγαλύτερες ποσότητες αυτών, είναι το σκυρόδεμα, τα κεραμικά υλικά και η τοιχοποιία σε ποσοστό 85%, αν και πολλές φορές μπορεί να διακρίνονται από ετερογένεια και να εμπεριέχουν ποσότητες ξύλων ή γυψοσανίδων. Εξαιτίας των μεγάλων αναλογικά ποσοστών της, η συγκεκριμένη κατηγορία τέθηκε σαν προτεραιότητα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή με την εφαρμογή του 2008/98/EC, που αντικατέστησε τον αντίστοιχο 2006/12/EC. Από τότε μέχρι σήμερα τα ΑΕΚΚ αποτελούν σημαντική προτεραιότητα στα διάφορα κράτη της Ευρώπης, αντιμετωπίζοντας όμως δυσκολίες ως προς τη καταμέτρηση και τη σύγκριση ανάμεσα τους εξαιτίας των διαφορετικών πολιτικών. Το ενδιαφέρον εξακολουθεί να είναι μεγάλο καθώς υπάρχει και σημαντικό οικονομικό κίνητρο.

Ευρωπαϊκή νομοθεσία αποβλήτων (2008/98/EC)

Με βάση Οδηγία 2008/98/ του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου της ΕΕ, πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα από τα κράτη μέλη για να προωθηθεί η επαναχρησιμοποίηση προϊόντων και οι δραστηριότητες προετοιμασίας για αυτή. Αυτό θα επιτευχθεί, ενθαρρύνοντας τον εγκαίρως επιπλέον δικτύων επαναχρησιμοποίησης και επισκευής. Αυτό θα είναι εφικτό, παρέχοντας οικονομική υποστήριξη, πακέτα προμηθειών και οργανωμένο πρόγραμμα ποσοτικών στόχων. Αυτό τονίζεται ότι μπορεί να επιτευχθεί με προσαρμογές σχετικά με :

- Την πρόληψη παραγωγής αποβλήτων **άρθρο 9**, με ελάττωση του οικονομικού οφέλους, μέσω της παραγωγής αποβλήτων έως το 2020.
- Την ανάκτηση **άρθρο 10**, με τα απόβλητα να υποβάλλονται σε διαδικασίες και εργασίες ανάκτησης, ενώ για βελτίωση της ανάκτησης τονίζεται ότι τα απόβλητα συλλέγονται χωριστά και αν είναι εφικτό από οικονομικής, τεχνικής, περιβαλλοντικής άποψης δεν αναμειγνύονται με άλλα υλικά διαφορετικών ιδιοτήτων.
- Την διάθεση **άρθρο 11**, όπου όταν δεν εξασφαλίζεται η ανάκτηση τα απόβλητα να υποβάλλονται σε ασφαλή εργασίες διάθεσης που πληρούν τις διατάξεις για την προστασία της υγείας όπως ορίζεται στο άρθρο 13 της οδηγίας.
- Το κόστος **άρθρο 14**, όπου ο “ρυπαίνων” πληρώνει και έτσι το κόστος διαχείρισης βαραίνει τον αρχικό παραγωγό, τον τρέχοντα ή προηγούμενους κατόχους αποβλήτων.

Η παρούσα οδηγία θέτει στόχους ανακύκλωσης για τα κράτη μέλη της ΕΕ με τελικό ευρωπαϊκό στόχο την ανακύκλωση του 70% ως προς το συνολικό βάρος παραγόμενων αποβλήτων στη χώρα για το 2020. Έκτοτε, ένας μεγάλος αριθμός μεταρρυθμίσεων εφαρμόστηκαν με σκοπό τα κράτη-μέλη της Ευρώπης να εκπληρώσουν τις προγραμματισμένες απαιτήσεις.

Η κατάσταση στην Ελλάδα:

Ορόσημο για την πολιτική της Ελλάδας και τις διαδικασίες που αφορούν την εναλλακτική διαχείρισή των ΑΕΚΚ αποτελεί η Κοινή Υπουργική Απόφαση Κ.Υ.Α. 36259/1757/Ε.103/2010, η οποία έδωσε προτεραιότητα:

- Στην πρόληψη παραγωγής αποβλήτων μέσω οικοδομικών εργασιών, φυσικών καταστροφών, εκσκαφών και τεχνικών υποδομών.
- Στην επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση εναλλακτικές μεθόδους αξιοποίησης, για ελάττωση της ποσότητας και μαζί της επικινδυνότητας των διαθέσιμων στην αγορά αποβλήτων.

Στην Ελλάδα η προσαρμογή στα Ευρωπαϊκά πρότυπα με την θέσπιση και εφαρμογή κατάλληλου νομικού πλαισίου, ξεκίνησε με αργούς ρυθμούς αλλά απέκτησε μεγαλύτερη σημασία στη συνέχεια. Στη πράξη, παρά τις μεγάλες ποσότητες παραγόμενων ΑΕΚΚ από δημόσιες και ιδιωτικές εργασίες και την εφαρμογή του 4042/2012 μετά την Ευρωπαϊκή οδηγία 2008/99/EC για την προστασία του περιβάλλοντος. Μέχρι και πρόσφατα η απόρριψη των

αποβλήτων πραγματοποιούνταν σε μη αδειοδοτημένους χώρους. Πλέον με τη συλλογική δράση και τον επιτυχημένο συντονισμό των νόμιμων αδειοδοτημένων συστημάτων ΣΣΕΔ, επιτυγχάνεται η εναλλακτική διαχείριση τους, έναντι της απόρριψής τους. Τα Συστήματα αυτά είναι μη κερδοσκοπικά σχήματα εταιρειών που έχουν άμεση συνεργασία με το ΥΠΕΝ και τον ΕΟΑΝ. Ο ρόλος τους είναι να εποπτεύουν και να συντονίζουν τις διαδικασίες διαχείρισης των ΑΕΕΚ παράλληλα με τις διεργασίες για τη πρόληψη παραγωγής τους και την μελλοντική διαχείριση τους.

Για κάθε επιχείρηση που διαχειρίζεται εναλλακτικά ΑΕΚΚ πλέον, απαιτείται η συνεργασία με εγκεκριμένο ΣΣΕΔ. Έτσι περισσότερα υλικά αποφεύγουν την εκταφή και επιστέφουν στην αγορά ως ανακυκλωμένα ή επεξεργασμένα. Πριν ξεκινήσουν να λειτουργούν τα συστήματα αυτά υπήρχαν λατομεία μη καταγεγραμμένα που μπορούσαν να συνεισφέρουν στην παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων, χωρίς να παρέχεται παράλληλα η ανάλογη περιοχική ταφής των αδρανών αυτών υλικών.

Χάρη στα ΣΣΕΔ, υπάρχει κάλυψη σε ένα τεράστιο ποσοστό στη χώρα που εκτιμάται να αυξηθεί με την έγκριση περισσότερων συστημάτων διαχείρισης στις περιφερειακές ενότητες Μαγνησίας, Μεσσηνίας, Λήμνου και Καλύμνου.

5.6 Αξιοποίηση ανακυκλωμένων υλικών ως αδρανή

Η λύση για τα προαναφερθέντα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης είναι η εύρεση και η αξιοποίηση όλο και περισσότερων υλικών για τη παραγωγή εναλλακτικών πρώτων υλών. Με τους στόχους για ανακύκλωση να γίνονται υψηλότεροι, η ενσωμάτωση μεγάλων ποσοτήτων ΑΕΕΚ για επαναχρησιμοποίηση ως κατασκευαστικά προϊόντα, αυξάνεται. Τα απόβλητα αυτά, δεχόμενα κατάλληλης επεξεργασίας στις τεχνικά κατάλληλες και βιώσιμες μονάδες ανακύκλωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν επιπλέον πηγή συλλογής αδρανών.

Τα κύρια παραπροϊόντα των ΑΕΚΚ είναι ανακυκλωμένα αδρανή (RA) από τούβλα, πέτρες, μάρμαρα ή ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος (RCA) από ήδη υπάρχον ενισχυμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα. Μαζί με τα περιβαλλοντικά οφέλη, επιτυγχάνεται και σημαντικό οικονομικό όφελος των κατασκευαστικών εταιριών μέσω της ανακύκλωσης με την εξοικονόμηση πόρων και την αποφυγή προστίμων σχετικών με την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα ή των χαμηλών ποσοστών ανακύκλωσης.

Πολλές φορές τα ανακυκλωμένα αδρανή παρουσιάζουν ορισμένες ιδιότητες που κάνουν δυσκολότερη την εφαρμογή τους, όπως αυτές της χαμηλής αντοχής, της μεγάλης υδατοαπορροφικότητας, μικρής ελαστικότητας, υψηλού πορώδους και των διακυμάνσεων

ποιότητας. Για αυτό και κρίνεται σημαντική η έρευνα για τη συσχέτιση μεταξύ των υλικών, τον διαχωρισμό τους, την χρήση υλικών επίστρωσης στα σκυροδέματα και τις σωστές αναλογίες ανάμειξης.

Ανακυκλωμένη ασφάλτος

Η ανακύκλωση ασφάλτου αποτελεί συνηθισμένη πρακτική που ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970. Τα υλικά αποκτώνται από τμήματα κατεδαφισμένων οδοστρωμάτων. Τα τελευταία χρόνια ανακυκλώνεται ένα μεγάλο ποσοστό των ανακτημένων από φθαρμένο ασφαλτοτάπητα υλικών της τάξεως του 80%, ενώ τα υπόλοιπα απορρίπτονται σε κατάλληλου χώρους εκταφής. Το 66% των ανακτημένων υλικών χρησιμοποιείται ως αδρανές για τη βάση των δρόμων και το υπόλοιπο χρησιμοποιείται εκ νέου συνολικά για το μίγμα της νέας ασφάλτου.

Τα ανακυκλωμένα ασφαλτικά υλικά (RAP) είναι σημαντική πηγή αδρανών και ασφαλτικού υλικού για τη κατασκευή νέων έργων οδοποιίας. Τα RAP υλικά παράγονται μετά από διαδικασίες αφαίρεσης υπάρχουσας ασφαλτικής επιφάνειας για λόγους αποκατάστασης ή διατήρησης με τα αφαιρούμενα υλικά να συγκεντρώνονται για να χρησιμοποιηθούν σαν αδρανή υλικά ασφαλτομίγματος, βάσεων και υποβάσεων ή ακόμα και για τη παραγωγή σκυροδέματος. Στην παρασκευή ασφαλτομίγματος τα ανακτημένα υλικά δεν χρησιμοποιούνται απλά σαν παρθένα αδρανή αλλά μέσω ειδικών διεργασιών και σαν νέα συγκολλητική ουσία για το ασφαλτόμιγμα, εξοικονομώντας έτσι μεγάλες ποσότητες συγκολλητικού υλικού. Με αυτά υπόψη τα RAP υλικά αποτελούν αναμφισβήτητα τη καλύτερη και πιο δημοφιλή λύση για την οδοποιία, αφού αντικαθιστούν τα μη ανανεώσιμα και δυσεύρετα υλικά παραγωγής.

Για τη χρήση του στα ασφαλτικά μείγματα λαμβάνεται υπόψη η αναλογία και η τοποθέτηση στη κατάλληλη στρώση. Για την αντικατάσταση βάσεων και υποβάσεων τυπικών οδοστρωμάτων το ποσοστό των ανακυκλωμένων αδρανών ανέρχεται στο 50% εξαιτίας των χαμηλών σε ένταση απαιτήσεων. Το ποσοστό αυτό μειώνεται όσον αφορά τις επιφανειακές επιστρώσεις στο 15-30% εξαιτίας των υψηλότερων προδιαγραφών για αντοχή σε φθορά και πιέσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι το συνδετικό υλικό θερμαίνεται σε αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες στην επαναχρησιμοποίησή του.

Ανακυκλωμένο σκυρόδεμα

Με την διαδικασία ανακύκλωσης του σκυροδέματος μειώνεται η ποσότητα των υλικών εκταφής. Αυτό δεν βοηθά μόνο να μειωθεί η ανάγκη εύρεσης διαθέσιμων, που πληρούν τα περιβαλλοντικά κριτήρια χώρων, αλλά μειώνει και τις περιβαλλοντικές και οικονομικές

επιπτώσεις του έργου μαζί με το κόστος μεταφοράς αποβλήτων-υλικών. Τα ενσωματωμένα στο σκυρόδεμα μέταλλα μπορούν με τη σειρά τους να αφαιρεθούν και να ανακυκλωθούν. Η αναλογία νερού που χρησιμοποιείται είναι μικρότερη από αυτή του συμβατικού σκυροδέματος με αποτέλεσμα να απαιτείται μικρότερη ποσότητα νερού άρα και ελαττωμένη ποσότητα τσιμέντου για παρόμοιες τιμές εργασιμότητας και αντοχής σε θλίψη. Ως αποτέλεσμα, όλες οι επιπτώσεις του συμβατικού σκυροδέματος που σχετίζονται με την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα θα ήταν εμφανώς μικρότερες.

Από την άλλη μεριά, πρέπει να τονισθούν τα θέματα που καθιστούν τη διαδικασία της ανακύκλωσης σκυροδέματος σύνθετη και αρκετά λεπτομερή. Η επένδυση για τη σύνθεση μιας μονάδας ανακύκλωσης εξαρτάται από το μέγεθος, τη φύση και τη τοποθεσία των εκάστοτε υλικών, αν και μακροπρόθεσμα εκτιμάται ότι το κόστος μπορεί να καλυφθεί σε μεγάλο ποσοστό με τη χρήση ανακυκλωμένων αδρανών, σύμφωνα με μελέτη της επιτροπής βιολογικού περιβάλλοντος σκυροδέματος. Επιπλέον δυσκολίες υπάρχουν στη διάρκεια παραγωγής, καθώς και στις διαδικασίες διαχωρισμού του οπλισμού από το σκυρόδεμα στις κατασκευές. Το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα τείνει να είναι λιγότερο ανθεκτικό από το συμβατικό σκυρόδεμα οπότε και απαιτείται ανάμειξη άλλων υλικών για να πληρούνται οι προδιαγραφές του ΕΛΟΤ EN 12620 για τις φυσικομηχανικές ιδιότητες σκυροδέματος ως προς την θλιπτική και καμπτική αντοχή, την υδατοαπορροφητικότητα και το μέτρο ελαστικότητας του. Ερευνητές έχουν αναπτύξει εκτός από τις συνηθισμένες διαδικασίες ανάμειξης δύο ειδικές κατηγορίες για τη χρήση ανακυκλωμένων αδρανών για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του τελικού μίγματος.

- **Τη διαδικασία ανάμειξης δύο σταδίων.** Η μέθοδος, όπως φαίνεται και από την ονομασία της χωρίζει τη διαδικασία ανάμειξης για τη παραγωγή σε δύο φάσεις. Αρχικά τοποθετούνται τα διάφορα αδρανή, ανεξαρτήτου μεγέθους κόκκων και αφού αναμιχθούν προστίθεται η μισή ποσότητα του συνολικού νερού. Στη συνέχεια προστίθεται το τσιμέντο ενώ παράλληλα συνεχίζει η λειτουργία της ανάμειξης. Στο τέλος προστίθεται και η υπολειπόμενη ποσότητα νερού. Μερικά από τα οφέλη της μεθόδου είναι η βελτίωση της θλιπτικής και εφελκυστικής αντοχής, ενώ βελτιώνεται και η συμπεριφορά του σκυροδέματος ως προς την διαπερατότητα και τη παραμόρφωση. Η διαδικασία τέλος, επιτυγχάνει να μειώσει το μεγάλο εύρος τιμών αντοχής του παραγόμενου σκυροδέματος.
- **Τη διαδικασία ανάμειξης ισοδύναμου όγκου κονιάματος.** Στη διαδικασία αυτή τα ανακυκλωμένα αδρανή θεωρούνται ως ένα σύνθετο υλικό φυσικών αδρανών και τσιμεντόπαστας. Έτσι γίνεται η κατάλληλη προσθήκη τσιμέντου και αδρανών στη

συνέχεια, για τη παραγωγή του σκυροδέματος. Με αυτή τη μέθοδο εξασφαλίζεται μικρότερη ποσότητα τσιμέντου έως 22%, μειωμένη καθίζηση, μεγαλύτερη τιμή θλιπτικής αντοχής και πυκνότητας, αυξημένη ανθεκτικότητα σε ειδικές συνθήκες και αντίσταση εξαλλοίωσης και διάλυσης του συνδετικού υλικού με διείδυση χλωριόντων.

Ανακυκλωμένα λοιπά υλικά

Ανακυκλώσιμα πλαστικά που προορίζονται για χώρους υγειονομικής ταφής όπως το πολυστυρένιο, συγκεντρώνονται για τη δημιουργία χαμηλής πυκνότητας αδρανών υλικών. Έτσι προκύπτουν γεωσυνθετικά υλικά που βρίσκουν εφαρμογές, επιτελώντας τις λειτουργίες του διαχωρισμού, της ενίσχυσης, σταθεροποίησης και στράγγισης. Μια συνηθισμένη εφαρμογή των γεωσυνθετικών υλικών είναι στις ανεπίστρωτες οδούς όπου και εμποδίζουν την ανάμειξη μαλακού εδάφους με τα αδρανή βάσεως. Αυτός ο διαχωρισμός όχι μόνο αποτρέπει την απώλεια αδρανών από την ανάμειξη, αλλά προστατεύει επίσης την αντοχή, το μέτρο δυσκαμψίας και τις ιδιότητες αποστράγγισης τους.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αδρανή υλικά αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της πραγματικότητας και της σύγχρονης κοινωνίας. Αυτό συμβαίνει διότι, είναι μία από τις πιο διαδεδομένες πρώτες ύλες με ευρεία εφαρμογή σε πολλούς τομείς και κυρίως στον τομέα των κατασκευών. Ο τομέας αυτός, είναι καθοριστικός για τις εκθετικά αναπτυσσόμενες κοινωνίες του σήμερα καθώς, θα μπορούσε κανείς να πει ότι συνδέεται άμεσα με τη ποιότητα ζωής των ανθρώπων. Χαρακτηριστικά των τεχνικών έργων, πρέπει να είναι τόσο η αισθητική όσο η ασφάλεια και η ποιότητα. Πλέον, λόγω του υπερπληθυσμού, του γρήγορου ρυθμού ζωής και την μεγάλη μεταφορά των ανθρώπων στα αστικά κέντρα, τα αδρανή υλικά κρίνονται ύψιστης σημασίας ώστε να εξασφαλιστεί η ισορροπία στα διάφορα κοινωνικά μοντέλα αυξάνοντας παράλληλα τις απαιτήσεις ασφαλείας.

Τα αδρανή υλικά, ως κομμάτι του πυρήνα των έργων αυτών, επιβάλλεται να είναι εγκεκριμένα, πιστοποιημένα και διαθέσιμα, διασφαλίζοντας την ποιότητα των τελικών προϊόντων για τα οποία χρησιμοποιούνται. Οι κανονισμοί που θεσπίζουν την ποιότητα των αδρανών θα πρέπει να είναι ενημερωμένοι και να συμβαδίζουν με την εξελικτική πορεία της ανθρώπινης διαβίωσης. Σημείο καμπής του σήμερα, θεωρούνται και οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις καθώς προκύπτουν ανάγκες για χρήση ανακυκλώσιμων μεθόδων, πράσινης οικονομίας αλλά και διαχείρισης αποβλήτων. Το ίδιο ισχύει και για την συλλογή, την παραγωγή και την χρήση των αδρανών υλικών, ενέργειες που οφείλουν να γίνονται ακολουθώντας ένα πιο πράσινο μοντέλο, και συμβάλλοντας έτσι στο ‘μέλλον’ των κατασκευών αλλά και της ανθρώπινης φύσης.

Cyprus Organisation for Standardisation (CYS) (2009). Αδρανή Υλικά, Συνοπτικός Οδηγός Χρήσης Κυπριακών Προτύπων CYS EN.

INTERNATIONAL GEOSYNTHETICS SOCIETY, Γεωσυνθετικά Υλικά σε Ανεπίστρωτες Οδούς (2023). Ανακτήθηκε από τον δικτυακό τόπο: <https://library.geosyntheticssociety.org/educational documents/unpaved-roads-gr/>

LAFARGE. Ανακτήθηκε από τον δικτυακό τόπο: <https://www.lafarge.gr/skyrodema>

ΥΠΕΝ (2023). Ετήσια έκθεση ΟΠΥ 2021, ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΛΑΤΟΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Αθανασόπουλος, Χ., Τζαφέρης, Α., Παγουλάτος, Δ., Χρήστου, Ζ. (2009). Νέες προδιαγραφές δοκιμών χωματουργικών υλικών για σιδηροδρομικά έργα και έργα οδοποιίας. Ανακτήθηκε από τον δικτυακό τόπο: <https://nereus.library.upatras.gr/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=204255>

Αμέντα, Μ. (2012). Επίδραση των φυσικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αδρανών στις ιδιότητες των κονιαμάτων (Μεταπτυχιακή Διατριβή). Ανακτήθηκε από τον δικτυακό τόπο: <https://dias.library.tuc.gr/view/13745>

ANAKEM. Ανακτήθηκε από τον δικτυακό τόπο: <https://anakem.gr/ti-einai-to-ssed/>

Ανδρεδάκης, Ι. (2023). Εξοπλισμός λατομείου για την επεξεργασία και παραγωγή προϊόντων πέτρας.

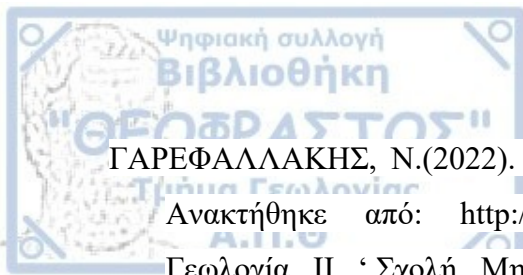
Αντώνιος Αντωνίου Λατούρος (2023), Αδρανή Υλικά – Η Αναγκαιότητα και η Κατάσταση τους σε Παγκόσμιο Επίπεδο, Ανακτήθηκε από τον δικτυακό τόπο: <https://www.energia.gr/article/210557/adranh-ylika-h-anagkaiothta-kai-h-katastash-toys-se-pagkosmio-eripedo>.

Αντωνόπουλος, Α. Β. (2011). Αδρανή υλικά (Πτυχιακή εργασία).

Βασιλείου, Π. (2020). Σχεδιασμός λατομείου αδρανών υλικών στην περιοχή Σταυροβουνίου στην Κύπρο.

Βλάχος, Ν. Γ. (2011). Μεθοδολογία ελέγχου και παρακολούθησης περιβαλλοντικών μεταβλητών σε λατομεία αδρανών υλικών (Πτυχιακή εργασία).

ΒΡΑΠΠ, Μ. (2017). ΛΑΤΟΜΙΚΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ, Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ ΤΑΝΑΓΡΑΣ. Ανακτήθηκε από τον δικτυακό τόπο : <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/object/1339118>



- ΓΑΡΕΦΑΛΛΑΚΗΣ, Ν.(2022). Λατομεία, επιπτώσεις στο περιβάλλον και αποκατάσταση. Ανακτήθηκε από: <http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/handle/123456789/10636>
- Γεωλογία II ‘Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Γεωργούλα, Σ., Γουβαλη, Κ. (2008) Ασφαλτικά σκυροδέματα και σύνθεση αυτών. Ασφαλτικές αντιστοιχισμένες στρώσεις.
- Γκίκας, Ε. (2017). Συμβολή στη διερεύνηση της βιωσιμότητας των οδοστρωμάτων.
- Γκολώνης, Χ. (2015). Σύστημα παρακολούθησης περιβαλλοντικών δεικτών σε ζώνες αποκατάστασης ορυχείων.
- Δημητράκη, Α. Σ. (2018). Διερεύνηση της επιδεκτικότητας των ασβεστολιθικών σχηματισμών σε εκσκαφή με εκρηκτικά, σε σχέση με την ποιότητα της βραχομάζας, σε λατομεία αδρανών υλικών= Assessment of limestone excavation ability, with explosives, regarding to their rockmass quality, in aggregates quarries. *Προ/Μεταπτυχιακές Διατριβές στη Βιβλιοθήκη Θεόφραστος του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ*.
- Δράκου, Μ. (2016). Χρήση ανακυκλώμενων αδρανών στο σκυρόδεμα.
- Ελληνικός Ορυκτός Πλούτος. Ανακτήθηκε από τον δικτυακό τόπο: <https://www.oryktosploutos.net/2014/02/snap-see-2/>, (12 Φεβρουαρίου 2014)
- Ελληνικός Ορυκτός Πλούτος. Ανακτήθηκε από τον δικτυακό τόπο: https://www.oryktosploutos.net/2012/10/blog-post_17-22/, (18 Οκτωβρίου 2012)
- Επιτροπή Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας, Γεωχημείας, της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας 2023. Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, Απρίλιος, 2003, Σελ. 23-47.
- Ζαχαράκης, Α. (2021). Κυκλική Οικονομία και Διαχείριση Αποβλήτων Εκσκαφών και Κατεδαφίσεων στην Ελλάδα.
- ΙΓΜΕ (2008). ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ: ΕΝΑ ΠΟΛΥΤΙΜΟ «ΕΡΓΑΛΕΙΟ» ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΧΡΗΣΤΗ.
- Κακλόπουλος, Σ. (2015). Ανακύκλωση και διαχείριση αδρανών υλικών. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και διοίκησης, Χανιά.
- Καμελίδης, Α. Φ. (2020). Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).
- ΚΡΟΝΟΣ ΕΚΟ Α.Ε.. Ανακτήθηκε από τον δικτυακό τόπο: <https://kronoseco.gr/portfolio/adrani-ylika-a-e-k-k/>
- Λουπασάκης, Κ.(2013). Αδρανή Υλικά, Σημειώσεις Διαλέξεων Μαθήματος ‘Τεχνική

Μανουκιάν, Α. (2024). Χρήση ανακυκλωμένων αδρανών στο σκυρόδεμα-Σύγκριση ελληνικής και ευρωπαϊκής πραγματικότητας.

Μαντούδης, Π. Γ. (2021). Περιβαλλοντικά έργα αποκατάστασης και αξιοποίησης λατομείου
Η περίπτωση των λατομείων Ασβεστοχωρίου (Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).

Μέντζος, Β. (2017). Λειτουργία και βιωσιμότητα μονάδας ανακύκλωσης αδρανών υλικών.

Μηλιώνης, Γ., & Χρυσανθόπουλος, Χ. (2015). Μελέτη κονιαμάτων-εφαρμογές, σύνθεση και αντοχή.

ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ, Α., ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΣ, Κ.(2022) «Τσιμέντο & Σκυρόδεμα», Διδακτικές Σημειώσεις Μαθήματος ' Δομικά Υλικά', 9ου εξαμ. Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΜΠΕΣΚΟΥ, Ν., ΘΕΩΔΩΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ, Δ.(2017) ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΟΔΩΝ, Διδακτικές Σημειώσεις Μαθήματος 'Κατασκευή Οδών', Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Μπλούτη, Λ., & Τύμπα, Ι. (2015). Εργαστηριακές δοκιμές εδαφών σύμφωνα με ευρωπαϊκές προδιαγραφές (euronormes).

Νόμος 4512/2018, άρθρο 45, παρ. 1-9, Παραχώρηση του δικαιώματος εκμετάλλευσης, Πάγια και Αναλογικά Μισθώματα, Εφημερίδα της Κυβέρνησης (ΦΕΚ 5/ Α'/17-01-2018).

Νόμος 4512/2018, άρθρο 49, παρ.1-4, Απαγορεύσεις εκμετάλλευσης λατομείων. Εφημερίδα της Κυβέρνησης (ΦΕΚ 5/ Α'/17-01-2018).

orykta.gr Ανακτήθηκε από: <https://www.orykta.gr/>

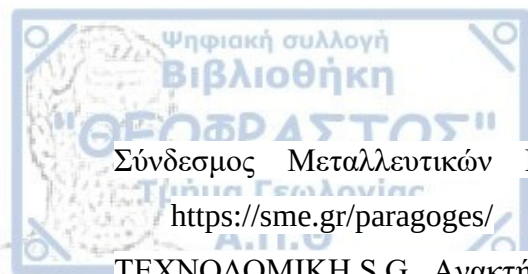
Οδηγός Δομικών υλικών, Ανακτήθηκε από τον δικτυακό τόπο: https://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_AGGREGATES

Παπαγιάννη, Ι., Οικονόμου, Ν., & Στεφανίδου, Μ. (2014). Δομικά Υλικά Ι. Ενότητα 3. Κονίες Κονιάματα. ΠΑΡΑΓΩΓΗ – ΕΙΔΗ', στην Ημερίδα ΑΔΡΑΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ,

ΠΡΑΞΗ ΥΠΟΥΡΓΙΚΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ (ΠΥΣ) 11/29-4-2022. Έγκριση του Εθνικού Προγράμματος Πρόληψης Δημιουργίας Αποβλήτων. Εφημερίδα της Κυβέρνησης (ΦΕΚ 83/Α'/ 03-05-2022).

Σταμάτης, Π. (2019). Αξιοποίηση σύγχρονων πετρογραφικών μεθόδων στην αξιολόγηση μαγματικών πετρωμάτων της κεντρικής Μακεδονίας για χρήση τους ως αδρανή υλικά (Διδακτορική Διατριβή).

Στεφάνου, Μ. (2023). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την λατόμηση αδρανών υλικών.



Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων, Ανακτήθηκε από τον δικτυακό τόπο:

<https://sme.gr/paragoges/>

ΤΕΧΝΟΔΟΜΙΚΗ S.G., Ανακτήθηκε από τον δικτυακό τόπο: <https://stalikas-giannakis.gr/>,

Τζιούβελι, Ε., & Χανιώτου, Ζ. (2022). Διερεύνηση σκυροδεμάτων με ανακυκλωμένα υλικά ως αδρανή και η αντιμετώπιση των προβλημάτων.

ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ ΑΘ. Χ. (2005). Δομικά Υλικά (7η έκδ.). Πάτρα.

Τσαϊρίδου, Ε. Σ. (2020). Αξιολόγηση πετρογραφικών και φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών για τη χρήση γρανιτικών πετρωμάτων ως αδρανή οδοποιίας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ, 105 σελ.

Τσακαλάκης, Κ.(2020). ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ, ΜΑΘΗΜΑ. «ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ_ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Τσιούρβας, Ι. Α. (2023). Ανακύκλωση και Βελτίωση του πλαισίου διαχείρισης αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) στην Ελλάδα, χρήσεις των ΑΕΚΚ στα δασοτεχνικά έργα (Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).

Τσιραμπίδης, Α. (2003) ‘ΕΛΑΦΡΑ ΑΔΡΑΝΗ ΚΑΙ ΧΑΛΑΖΙΑΚΗ ΑΜΜΟΣ: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Τσουμάνη, Α. Α. (2017). Μεθοδολογία για βέλτιστη χρήση ανακυκλωμένου σκυροδέματος από κτίρια στον Ελλαδικό χώρο με στόχο την αειφορία.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bisinella, V., Schmidt, S., Varling, A. S., Laner, D., & Christensen, T. H. (2024). Waste LCA and the future. *Waste Management*, 174, 53-75.

Blengini, G. A., & Garbarino, E. (2010). Resources and waste management in Turin (Italy): the role of recycled aggregates in the sustainable supply mix. *Journal of Cleaner Production*, 18(10-11), 1021-1030.

Chalkiopoulou, F., Hatzilazaridou, K., Arvanitidis, N. D., Tzeferis, P. G., Alexiou, K., & Tiess, G. The potential and perspectives to promote and develop policies in order to achieve sustainable aggregates planning in Greece (SNAP-Greece).

Fournari, R., & Ioannou, I. (2019). Correlations between the properties of crushed fine aggregates. *Minerals*, 9(2), 86.

- Galetakis, M., Zourbakis, V., Koinakis, I., Leventakis, K., & Alevizos, G. (2013). Aggregate production on the island of Crete, Greece: current production conditions and future perspective. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 47(4), 2030-2039.
- Johansson, N., & Henriksson, M. (2020). Circular economy running in circles? A discourse analysis of shifts in ideas of circularity in Swedish environmental policy. *Sustainable Production and Consumption*, 23, 148-156.
- Jullien, A., Proust, C., Martaud, T., Rayssac, E., & Ropert, C. (2012). Variability in the environmental impacts of aggregate production. *Resources, Conservation and Recycling*, 62, 1-13.
- Kamani, M., & Ajalloeian, R. (2022). Investigation of the effect of petrological contents on the engineering properties of carbonates aggregates. *Engineering Geology*, 298, 106507.
- Noguchi, T., & Tamura, M. (2001). Concrete design towards complete recycling. *Structural Concrete*, 2(3), 155-167.
- Papatzani, S., & Paine, K. (2017). Construction, demolition and excavation waste management in EU/Greece and its potential use in concrete. *Fresenius Environ. Bull*, 26, 5572-5580.
- Petrounias, P., Giannakopoulou, P. P., Rogkala, A., Lampropoulou, P., Koutsopoulou, E., Papoulis, D.,... & Hatzipanagiotou, K. (2018). The impact of secondary phyllosilicate minerals on the engineering properties of various igneous aggregates from Greece. *Minerals*, 8(8), 329.
- Shields, D. J., & Solar, S. V. (2000). Challenges to sustainable development in the mining sector. *INDUSTRY AND ENVIRONMENT-PARIS-*, 23, 16-16.
- Slavko, V. Š., & SHIELDS, D. J. WASTE MANAGEMENT AS PART OF RESOURCE MANAGEMENT WITHIN THE CONTEXT OF SUSTAINABILITY.
- Šolar, S. V. (2003). *Indicators of Sustainable Development for a Mineral Resource Management Plan: the case of open pits* (Doctoral dissertation, Doctoral Dissertation. University of Ljubljana, 182p).
- Šolar, S. V., Shields, D. J., & Langer, H. W. (2004). Important features of sustainable aggregate resource management. *Geologija*, 47(1), 99-108
- UEPG, Ανακτήθηκε από: <https://www.aggregates-europe.eu/aggregates/uses/>
- Van Dam, T. J., Harvey, J., Muench, S. T., Smith, K. D., Snyder, M. B., Al-Qadi, I. L.,... & Kendall, A. (2015). *Towards sustainable pavement systems: a reference document* (No. FHWA-HIF-15-002). United States. Federal Highway Administration.
- Yilmaz, A. (2022). Engineering properties of basalt aggregates in terms of use in granular layers of flexible pavements. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01182.

