



**Πολυτεχνείο Κρήτης**

Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

**ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ  
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ**

**Διπλωματική εργασία**

Καμπόλης Γεώργιος

**Εξεταστική Επιτροπή**

Κομνίτσας Κωνσταντίνος επιβλέπων

Τσακαλάκης Κωνσταντίνος

Γαλετάκης Μιχαήλ

Χανιά 2019

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ  
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

## Περίληψη

Ο ασβεστόλιθος είναι ένα κοινό ιζηματογενές πέτρωμα που απαντάται σε εκτεταμένα γεωλογικά κοιτάσματα. Έχει χρησιμοποιηθεί από αρχαιοτάτων χρόνων ως οικοδομικό υλικό, ως μέσο παραγωγής δομικών υλικών (λαξευμένη πέτρα), τσιμέντου, αδρανών υλικών, ασβέστη, στη γεωργία για βελτίωση των όξινων εδαφών και σε περιβαλλοντικές χρήσεις.

Το τσιμέντο ένα από τα κύρια προϊόντα ασβεστολιθικών πετρωμάτων, αποτελείται από τα κύρια συστατικά του (Main Constituents), τα δευτερεύοντα συστατικά του (Minor Additional Components), το θειϊκό ασβέστιο (γύψος) και τα πρόσθετα (Additives). Στην μελέτη παρατίθενται τα κύρια συστατικά τα οποία χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τσιμέντων σύμφωνα με το πρότυπο EN 197-1.

Στην εργασία αυτή γίνεται περιγραφή των σημαντικότερων χρήσεων των ασβεστολίθων και της ασβέστου σε διεργασίες σχετικές με την παραγωγή τσιμέντου και σκυροδέματος, τις δομικές, γεωργικές και περιβαλλοντικές χρήσεις του. Ο κατασκευαστικός τομέας αποτελεί τον τομέα διάθεσης των προϊόντων της βιομηχανίας παραγωγής ασβέστου με τις πιο σημαντικές προοπτικές ανάπτυξης. Η δημιουργία έργων οδοποιίας, αντιπλημμυρικών έργων (φράγματα), γεφυροποιίας αποτελούν τις κυριότερες εφαρμογές των ασβεστολίθων και της ασβέστου στον κατασκευαστικό τομέα.

Σημειώνεται ότι σύμφωνα με μελέτες, η ολόένα αυξανόμενη ζήτηση προϊόντων και τεχνολογιών φιλικών προς το περιβάλλον την επόμενη δεκαετία, θα έχει ως συνέπεια την αύξηση της παραγωγής της ασβέστου, ιδιαίτερα μέσω της εφαρμογής της περιβαλλοντικής νομοθεσίας σε εθνικό, ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο.

## **Abstract**

Limestone is a sedimentary rock found in extensive geological deposits. It has been used since ancient times as a building material, as a means of producing building materials (carved stone), cement, aggregates, lime, in agriculture for the improvement of acid soils and in environmental uses.

Cement, one of the main limestone products, consists of its main constituents, its Minor Additional Components, calcium sulfate (gypsum) and additives. The study lists the main ingredients used in cement production in accordance with EN 197-1. This paper describes the most important uses of limestone and lime in processes related to the production of cement and concrete, its structural, agricultural and environmental uses. The manufacturing sector is the sector of the lime industry with the most significant growth prospects. The creation of roads, floodplains and bridges are the main applications of limestone and lime in the construction sector. It is noted that studies suggest that increasing demand for environmentally friendly products and technologies over the next decade will result in increased production of lime, particularly through the application of environmental, national and European legislation.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	10
i. Αντικείμενο Μελέτης.....	10
ii. Στόχος Εργασίας.....	10
iii. Μεθοδολογία Εργασιών .....	11
iv. Περίγραμμα Μελέτης.....	11
1. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ.....	12
1.1 Γενικά στοιχεία για τον Ασβεστόλιθο .....	12
1.1 Κατηγορίες Ασβεστόλιθων .....	14
1.2 Φυσικές και Χημικές Ιδιότητες Ασβεστόλιθων .....	17
1.3 Μηχανικές Ιδιότητες Ασβεστόλιθων .....	22
2. ΧΡΗΣΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ .....	23
2.1 Χρήσεις στον Κατασκευαστικό Τομέα .....	23
2.1.1 Αδρανή Υλικά.....	24
2.1.2 Παραγωγή Ασβέστη.....	27
1.4 Απαιτήσεις για την Παραγωγή Άνυδρης Ασβέστου.....	31
2.1.2.1 Έλεγχος Ποιότητας .....	34
2.1.2.2 .Σύσταση.....	38
2.1.3 Παραγωγή και Χρήση Ασβεστοτσιμεντοκονιάματος.....	39
2.1.3.1 Ποσότητα Ασβεστολιθικών Πρώτων Υλών για την Παραγωγή Τσιμέντου .....	42
2.1.3.2 . Ποσότητα Ασβεστολιθικών Πρώτων Υλών για την Παραγωγή Τσιμέντου .....	43
2.2 Χρήσεις του Ασβεστόλιθου στη Βιομηχανία.....	44
2.2.2 Γεωργία .....	49

2.2.3	Ζωοτροφές.....	51
2.2.4	Πληρωτικό της Ασφάλτου.....	51
2.2.5	Εξουδετέρωση Όξινων Νερών στον Κλάδο της Μεταλλουργίας.....	51
2.2.6	Βιομηχανία Γυαλιού .....	53
2.2.7.	Υπόστρωμα στις Μοκέτες.....	54
2.3	Περιβαλλοντικές Χρήσεις της Άσβεστου.....	54
2.3.1	Επεξεργασία νερού .....	54
2.3.2	Επεξεργασία Λυμάτων.....	56
2.3.3	Εξουδετέρωση Οξέων.....	59
2.3.4	Αποθείωση των Καπναερίων.....	60
3.	Ο ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	65
3.1	Τσιμέντο.....	65
3.2	Η Χρήση των Αδρανών στο Σκυρόδεμα .....	66
3.3	Παραγωγική Διαδικασία.....	70
3.4	Ποιοτικός Έλεγχος των Αδρανών Υλικών .....	72
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	75
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	78

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Παραγωγή προϊόντων ανθρακικού ασβεστίου στην Ελλάδα. Η ετήσια παραγωγή, εκτιμάται συνολικά περίπου 300-500 χιλιάδες τόνοι, η οποία και εξάγεται σε μεγάλο βαθμό. ....	12
Εικόνα 2. Πετρώματα ασβεστόλιθου .....	13
Εικόνα 3. Επιφανειακή δομή και πορώδες αδρανών .....	19
Εικόνα 4. Ποσοστιαία χρήση ασβεστόλιθου.....	23
Εικόνα 5. Άσβεστος (CaO) σε μορφή τεμαχίων μικρής διάστασης περίπου 7-8 cm έτοιμος προς σβέση. ....	28
Εικόνα 6. Οι κυριότερες βιομηχανικές διεργασίες κατά την παρασκευή του ασβέστη από τον ασβεστόλιθο .....	29
Εικόνα 7. Ασβεστοπολτός για οικοδομική χρήση κατάλευκος, πηκτός σβησμένος ασβέστης έτοιμος προς χρήση. Διατίθεται σε πλαστικούς σάκους των 20 κιλών περίπου, σε big bags 0.50 ή 0.70 κυβ. μέτρου η χύδην σε φορτηγά.....	31
Εικόνα 8. Λατομεία αδρανών υλικών στον Ελλαδικό χώρο.....	34
Εικόνα 9. Σάκοι υδράσβεστου .....	37
Εικόνα 10. Άνυδρη άσβεστος.....	40
Εικόνα 11. Πρώτες ύλες και προϊόντα της βιομηχανίας τσιμέντου και του σκυροδέματος.....	42
Εικόνα 13 Κύριες χρήσεις του ασβεστόλιθου στη βιομηχανία .....	45
Εικόνα 14 Σχηματική απεικόνιση παραγωγής σιδήρου .....	46
Εικόνα 15 Διάταξη υψικαμίνου .....	48
Εικόνα 16. Χαλίκι με $D>16\text{mm}$ .....	68
Εικόνα 12. Κατά προσέγγιση % συμμετοχή των πρώτων υλών στο σκυρόδεμα .....	74

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Κατηγορίες πετρωμάτων.....	16
Πίνακας 2 Φυσικομηχανικές ιδιότητες ασβεστόλιθων .....	22
Πίνακας 3. Μέθοδοι ελέγχου αδρανών υλικών .....	24
Πίνακας 4 Απαιτούμενες Δοκιμές για την σήμανση CE .....	35
Πίνακας 5 Πιστοποιημένες ασβεστοποιίες.....	36
Πίνακας 6 Αμερικανικά πρότυπα που αφορούν στην άσβεστο .....	38
Πίνακας 7 - Απαιτήσεις για το σκυρόδεμα ανάλογα με την κατηγορία έκθεσης – Κατηγορίες έκθεσης .....	41
Πίνακας 8 Πρώτες ύλες παραγωγής γυαλιού και ο λόγος χρήσης τους.....	53
Πίνακας 9 Κατηγορίες αδρανών υλικών ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων .....	69

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## i. Αντικείμενο Μελέτης

Είναι κοινώς γνωστό ότι τα ασβεστολιθικά πετρώματα είναι από τα πιο ευρέως διαδεδομένα πετρώματα σε ολόκληρο τον πλανήτη και αποτελούν τη βάση για πολλές εφαρμογές που αφορούν κυρίως στα αδρανή, τα δομικά υλικά και την άσβεστο. Ο όρος “άσβεστος” είναι η συμβατική ονομασία για τα προϊόντα της πύρωσης και της επακόλουθης κατεργασίας ανθρακικών πετρωμάτων όπως ασβεστόλιθοι, δολομίτες και μάρμαρα. Ο όρος αυτός περιγράφει κυρίως το οξείδιο του ασβεστίου ή άνυδρη άσβεστο- $(\text{CaO})$ , που προκύπτει από τη θερμική διάσπαση σε θερμοκρασίες πάνω από τους  $825^{\circ}\text{C}$  ανθρακικών πετρωμάτων, υψηλής περιεκτικότητας σε ανθρακικό ασβέστιο (συνήθως πάνω από 97%). Σε αυτή την ιδιότητα βασίζεται η βιομηχανία της άσβεστου, χρησιμοποιώντας τη διεργασία που είναι γνωστή ως «ασβεστοποίηση» ή πύρωση<sup>1</sup>. Η αυξημένη ζήτηση ασβεστολιθικών προϊόντων έχει ως συνέπεια τη συνεχή αναζήτηση και εξόρυξη ασβεστολιθικών κοιτασμάτων κατάλληλων για συγκεκριμένες χρήσεις.

## ii. Στόχος Εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η βιβλιογραφική διερεύνηση της χρήσης των ασβεστολιθικών πετρωμάτων μετά από μηχανική ελάττωση μεγέθους τόσο σε δομικές (κατασκευαστικός τομέας) όσο και, μετά από θερμική και άλλου τύπου επεξεργασία, σε βιομηχανικές και άλλες εφαρμογές.

---

<sup>1</sup> Τριανταφύλλου Γ. και Μανούτσου Ε. (2004) Η Συμβολή της Άσβεστου στην αντιμετώπιση Περιβαλλοντικών Προβλημάτων. Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης

### **iii. Μεθοδολογία Εργασιών**

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εκπόνηση της διπλωματικής είναι τα εξής:

- Αναζήτηση βιβλιογραφίας και συζήτηση με τον επιβλέποντα καθηγητή ώστε να δοθεί κατεύθυνση έρευνας
- Από κοινού σχεδιασμό με τον επιβλέποντα καθηγητή της δομής της εργασίας σε επίπεδο Κεφαλαίων
- Αναζήτηση περαιτέρω βιβλιογραφίας ώστε να καλυφθούν όλες οι απαιτήσεις των Κεφαλαίων
- Κατανομή της βιβλιογραφίας ανά Κεφάλαιο
- Πραγματοποίηση Έρευνας
- Οριστικοποίηση της δομής κάθε Κεφαλαίου • Συγγραφή και συζήτηση Κεφάλαιο-Κεφάλαιο
- Τελικό κείμενο και αποδοχή αυτού.

### **iv. Περίγραμμα Μελέτης**

Στην εργασία αναφέρονται στοιχεία για την γένεση και τον σχηματισμό των πετρωμάτων, τα γεωλογικά πετρολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά τους, τις μηχανικές και φυσικοχημικές τους ιδιότητες καθώς επίσης και τις κατηγορίες των ασβεστόλιθων και της ρήσεις τους.

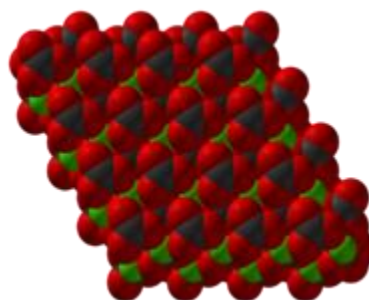
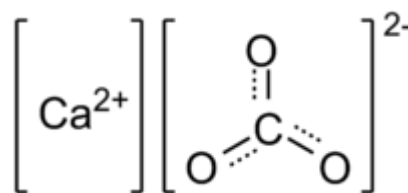
Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται τεχνικά χαρακτηριστικά του ασβεστόλιθου, όπως επίσης και οι φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι χρήσεις του ασβεστόλιθου στην παραγωγή κονιαμάτων, ενώ τέλος στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας αναλύονται οι χρήσεις του στην βιομηχανία του σκυροδέματος.

# 1. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ

## 1.1 Γενικά στοιχεία για τον Ασβεστόλιθο

Ο ασβεστόλιθος είναι πέτρωμα με κυριότερο ορυκτό συστατικό το ανθρακικό ασβέστιο. Είναι τυπικό ιζηματογενές πέτρωμα, χημικό ή βιογενές ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού του. Ως πέτρωμα καταλαμβάνει μεγάλες εκτάσεις, κυρίως με μορφή στρωμάτων και σπάνια σε ακανόνιστες μάζες. Συχνά περιέχει απολιθώματα, από τα οποία μπορεί να εκτιμηθεί η ηλικία και η προέλευσή του. Κατά τη μεταμόρφωση του ασβεστόλιθου, αυτός αποκτά εντονότερο κρυσταλλικό χαρακτήρα σχηματίζοντας το μάρμαρο.



**Εικόνα 1.** Παραγωγή προϊόντων ανθρακικού ασβεστίου στην Ελλάδα. Η ετήσια παραγωγή, εκτιμάται συνολικά περίπου 300-500 χιλιάδες τόνοι, η οποία και εξάγεται σε μεγάλο βαθμό.<sup>2</sup>

Ο όρος «άσβεστος» είναι η συμβατική ονομασία των προϊόντων της πύρωσης και της μετέπειτα κατεργασίας ανθρακικών πετρωμάτων όπως ασβεστόλιθοι, δολομίτες και

<sup>2</sup>Προϊόντα ανθρακικού ασβεστίου. Μαρμαρόσκονη – Μαρμαροψηφίδα. Απολογισμός για τη διετία 2013 - 2014 [http://oryktos.blogspot.com/2015/08/2013-2014\\_22.html](http://oryktos.blogspot.com/2015/08/2013-2014_22.html)

μάρμαρα. Χρησιμοποιείται κυρίως για να περιγράψει το οξείδιο του ασβεστίου, ή άνυδρη άσβεστος ( $\text{CaO}$ ), που προκύπτει από τη θερμική διάσπαση τεμαχίων ανθρακικών πετρωμάτων, υψηλής περιεκτικότητας σε ανθρακικό ασβέστιο (συνήθως πάνω από 97%), σε θερμοκρασίες της τάξης των  $825\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>3</sup>

Ο ασβέστης ανήκει στις πέντε περισσότερο χρησιμοποιούμενες χημικές ενώσεις παγκοσμίως και παράλληλα είναι το φθηνότερο και περισσότερο χρησιμοποιούμενο υλικό. Παρόλο που το όνομα παραπέμπει στις κάθε λογής κατασκευαστικές εφαρμογές, στις ανεπτυγμένες χώρες η χρήση του σε άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες, απορροφά το μεγαλύτερο ποσοστό (80-85%) των εφαρμογών του. Στην Ελλάδα, η εικόνα είναι αντίστροφη, με συνέπεια άλλες, εκτός των δομικών, εφαρμογές να καλύπτουν μικρότερο ποσοστό των χρήσεών του.



**Εικόνα 2.** Πετρώματα ασβεστόλιθου <sup>4</sup>

Ο ασβέστης χρησιμοποιείται εκτεταμένα για την εξουδετέρωση όξινων συστατικών των βιομηχανικών υδατικών εκροών και απαερίων<sup>5</sup>. Με μια ετήσια παραγωγή περίπου 20 εκατ. τόνων ασβέστου, οι χώρες της ΕΕ παράγουν το 15% περίπου της προς πώληση παραγωγής ασβέστου παγκοσμίως<sup>6</sup>.

<sup>3</sup> Τριανταφύλλου Γ. και Μανούτσογλου Ε. (2004) Η Συμβολή της Άσβεστου στην αντιμετώπιση Περιβαλλοντικών Προβλημάτων. Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης

<sup>4</sup> [http://www.geo.auth.gr/106/theory/pet\\_sed\\_limestone\\_01.jpg](http://www.geo.auth.gr/106/theory/pet_sed_limestone_01.jpg)

<sup>5</sup> Αντώνιος Α. Λεγάκης (1997), Τεχνολογία δομικών υλικών, Αθήνα.

<sup>6</sup> Κωνσταντίνος Κ. Σιδέρης (1984), Τεχνολογία δομικών υλικών (Τόμος Α'), Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

Εν συντομία, οι σημαντικότερες εφαρμογές του υλικού είναι οι εξής:

- Κατασκευαστικός τομέας,
- Μεταλλουργία
- Προστασία του περιβάλλοντος
- Κατεργασία νερού
- Βιομηχανία τροφίμων
- Γεωργία
- Σταθεροποίηση των εδαφών
- Κτηνοτροφία
- Βιομηχανία χαρτομάζας και χάρτου
- Στη βιομηχανία κεραμικών προϊόντων
- Χημικές συνθέσεις
- Φαρμακοβιομηχανία

## **1.1 Κατηγορίες Ασβεστόλιθων**

Με βάση την περιεκτικότητα τους σε πυριτικά και σε αργιλικά συστατικά, καθώς και με βάση τις διαδικασίες μεταμόρφωσης τις οποίες έχουν υποστεί, τα ασβεστολιθικά πετρώματα χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Αργιλικοί ασβεστόλιθοι: σχηματίζονται από την καθίζηση ανθρακικού ασβεστίου μετά από εξάτμιση του νερού που βρίσκεται διαλυμένο στο κρυσταλλικό πλέγμα του. Χρησιμοποιείται ως οικοδομικός λίθος και στην βιομηχανία παρασκευής κονιαμάτων και ασβέστου.

- Αμμούχοι ασβεστόλιθοι : είναι ασβεστόλιθοι που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε χαλαζιακή άμμο.
- Ασβεστολιθικά ιζήματα
- Ασβεστολιθικοί σχιστόλιθοι
- Γλαυκονιτικοί ασβεστόλιθοι : είναι ασβεστόλιθοι που περιέχουν κόκκους από πρασινωπό γλαυκοφανίτη.
- Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι : αποτελούν ένα μίγμα ανθρακικών ενώσεων ασβεστίου και μαγνησίου με κυριότερη συνδετική ύλη την ασβεστολιθική ιλύ.
- Κοκκιοπαγείς ασβεστόλιθοι
- Κυψελώδεις ασβεστόλιθοι
- Πισσασφαλτούχοι ασβεστόλιθοι: το χρώμα τους είναι γκριζωπό και έχουν μυρωδιά πισσασφάλτου. Πολλές φορές περιέχουν σημαντική ποσότητα υδρογονανθράκων που συμφέρει να εκμεταλλευτεί.
- Πυριτικοί ασβεστόλιθοι
- Στυφροί ασβεστόλιθοι
- Ωολιθικοί ασβεστόλιθοι : σχηματίζονται από ασβεστιτική ιλύ και η διαφορά τους από τους συμπαγείς ασβεστόλιθους έγκειται στο ότι συνίστανται από τε συσσωματώματα σφαιριδίων ανθρακικού ασβεστίου σε μέγεθος μπιζελιού που δημιουργήθηκαν σε διαδοχικές στρώσεις γύρω από ένα πυρήνα.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Κοκκινάκης Α. “Μαγματικά πετρώματα”. Αθήνα, 1996

**Πίνακας 1** Κατηγορίες πετρωμάτων

<b>Πυριγενή Εκρηξιγενή</b>	<b>Ιζηματογενή</b>	<b>Κρυσταλλοσχιστώδη Μεταμορφωσιγενή</b>
Όξινα	Γύψος	Γνεύσιος
Γρανίτης	Ανυδρίτης	Κρυσταλλικός σχιστόλιθος
Συηνίτης	Τραβερνίτης	Σχίστης
Διορίτης	Ασβεστολιθικός Τόφος	Φυλλίτης
Βασικά	Βιογενή Ιζήματα	Χαλαζίτης
Γάββρος	Ασβεστόλιθος	Μάρμαρο
Περιδοτίτης	Δολομίτης	Σμύριδα
	Μάργα	
<b>Ηφαιστειογενή</b>	<b>Μηχανικά Ιζήματα</b>	
Όξινα Ρυόλιθος Οψιδιανός Κίσσηρις	Φερτοί λίθοι Κροκάλες και Λατύπες Άμμος Άργιλος – Πηλός Ηφαιστειακές γαίες	
Μέσα Τραχείτης Ανδεσίτης Βασικά Διαβάσης Βασάλτης	Συμπαγή Κροκαλοπαγή Ψαμμίτες Σχιστή Άργιλος Αργιλικός Σχιστόλιθος Φλύσχης	

**Πηγή :** Kokal H. R. and Ranade M. G. (1994), *Fluxes for metallurgy. In: Industrial minerals and rocks*, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Littleton, Colorado

## 1.2 Φυσικές και Χημικές Ιδιότητες Ασβεστόλιθων

Οι μηχανικές και φυσικοχημικές ιδιότητες των ασβεστολιθικών πετρωμάτων είναι ιδιαίτερα σημαντικές και σε αυτές οφείλεται και το ευρύ φάσμα χρήσεων και εφαρμογών που έχουν.

Το χρώμα του πετρώματος είναι συνήθως άσπρο, γαλαζωπό – γκρι ή κιτρινωπό, σπάνια μαύρο ή κοκκινωπό και εξαρτάται κυρίως από τις προσμίξεις του.

Η μελέτη των φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων έχει ως σκοπό την κατανόηση και αξιολόγηση της συμπεριφοράς τους, στον καθορισμό της καταλληλότητας των πετρωμάτων ως δομικών λίθων, διακοσμητικών λίθων, αδρανών υλικών ή ως πρώτη ύλη της χημικής βιομηχανίας. Όλες οι ιδιότητες είναι ανάλογες των αντίστοιχων ιδιοτήτων των ορυκτολογικών συστατικών τους, της κρυσταλλικής δομής (μέγεθος και σχήμα κόκκων) και της διάταξης του κρυσταλλικού πλέγματος<sup>8</sup>.

Παρακάτω αναφέρονται οι εξής φυσικές ιδιότητες:

1. **Αντοχή** Πρόκειται για πολύ βασική ιδιότητα και αντιπροσωπεύει το μέγεθος της εφαρμοζόμενης τάσης σε ένα δοκίμιο ώστε να σημειωθεί η θραύση αυτού. Η αντοχή ενός πετρώματος καθορίζεται από τα ορυκτολογικά συστατικά, τον τρόπο σύνδεσης των κόκκων, τις αστοχίες, το πορώδες, και τον βαθμό εξαλλοίωσης του. Οι δομικοί λίθοι της οικοδομής, τα σκύρα του οδοστρώματος, τα αδρανή βάσης και υπόβασης δρόμων, υφίστανται επίδραση δυνάμεων/τάσεων με κίνδυνο θραύσης. Οι τάσεις είναι κατά βάση θλιπτικές μείωση όγκου, διατμητικές (μετακίνηση μέρους του υλικού σε σχέση με το υπόλοιπο) και εφελκυστικές (αύξηση όγκου με συνέπεια τη δημιουργία ρωγμών, σχισμών). Έτσι, στα πετρώματα διεξάγονται μετρήσεις αντοχής, σε θλίψη, διάτμηση και εφελκυσμό. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται σε έργα οδοποιίας πρέπει να είναι υγιή και με υψηλή αντοχή γενικώς, συνεπώς απαιτούνται μετρήσεις αντοχής σε θλίψη και εφελκυσμό.

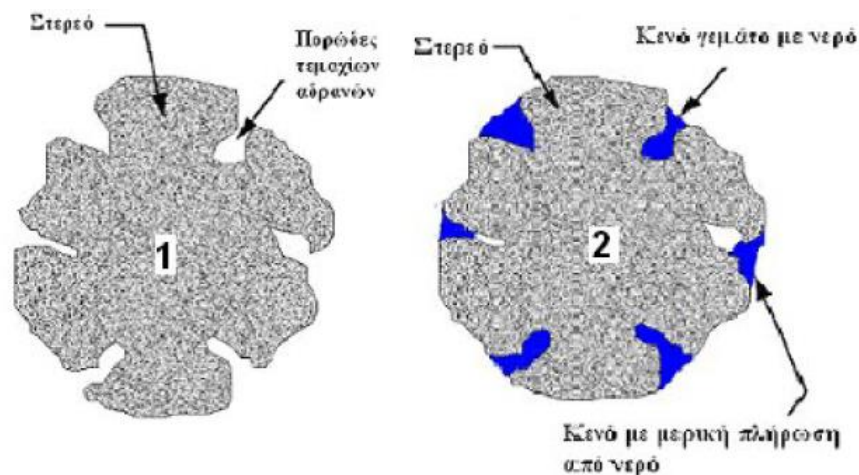
---

<sup>8</sup> Oates J. A. H. (1998), *Lime and limestone. Chemistry and technology, production and uses*, Wiley VCH, Weinheim.

2. **Ειδικό Βάρος** Είναι ως ο λόγος του βάρους του σε ξηρή κατάσταση, προς τον όγκο των στερεών συστατικών του, μη συμπεριλαμβανομένου του όγκου των πόρων του. Πρόκειται για το βάρος της στερεάς μάζας του, η οποία, χωρίς πόρους καταλαμβάνει τη μονάδα του όγκου. Το ειδικό βάρος ενός πετρώματος καθορίζεται από το ειδικό βάρος ενός εκάστου των ορυκτολογικών συστατικών που περιέχονται στο πέτρωμα και την αναλογία αυτών.
3. **Φαινόμενο Βάρος** ορίζεται το βάρος ενός πετρώματος σε ξηρή κατάσταση στη μονάδα του όγκου, υπολογισμένου και των «κενών» μεταξύ των κόκκων του. Στα συμπαγή πετρώματα, η διαφορά φαινόμενου βάρους και ειδικού βάρους είναι ασήμαντη, ενώ στα θραυσμένα πετρώματα με αρκετό πορώδες μεταξύ των κόκκων είναι σημαντική. Παράδειγμα: η χαλαζιακή άμμος έχει ειδικό βάρος  $2,65\text{g/cm}^3$  και φαινόμενο βάρος  $1,60\text{g/cm}^3$ , ενώ ο χαλαζίας έχει ειδικό βάρος  $2,65\text{g/cm}^3$  και φαινόμενο βάρος  $2,64\text{g/cm}^3$ .<sup>9</sup>
4. **Πορώδες** ορίζεται το ποσοστό του όγκου των κενών χώρων προς το συνολικό όγκο του πετρώματος και εκφράζεται σε μονάδες επί τοις %. Ενεργό ή ανοικτό πορώδες ονομάζεται το πορώδες που εκφράζει τον όγκο του συνόλου των κενών εκείνων που επιτρέπουν τη ροή του νερού υπό την επίδραση της βαρύτητας ή της υδροστατικής πίεσης. Αντίστοιχα υπάρχει και το κλειστό πορώδες. Συνεπώς, ένα μεγάλο πορώδες έχει σχετικά μεγάλο ποσοστό κενών χώρων, ανεξαρτήτως του μεγέθους του. Η άμμος έχει πορώδες 35%, οι ψαμμίτες και οι άργιλοι έως 50%. Το πορώδες των πετρωμάτων έχει πολύ μεγάλη σημασία καθώς η τιμή του ασκεί επίδραση στο μέτρο συμπίεστότητας, την υδατοπερατότητα και την αντοχή σε φθορά. Για παράδειγμα το μάρμαρο έχει πορώδες 0,4 έως 2,1% και ο ασβεστόλιθος από 1,1 έως 31%.

---

<sup>9</sup>[http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement\\_Aggregates\\_Concrete\\_Notes\\_November\\_2018.pdf](http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement_Aggregates_Concrete_Notes_November_2018.pdf) Τσακαλάκης Κ., «Θεωρία και Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και Σκυροδέματος, ΕΜΠ, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών – Διπλωματική Εργασία 2018, σελ 350).



Εικόνα 3. Επιφανειακή δομή και πορώδες αδρανών<sup>10</sup>

5. **Διαπερατότητα** ορίζεται η ιδιότητα του πετρώματος να επιτρέπει στο νερό ή άλλα υγρά να περνούν μέσα από αυτό. Η άμμος και τα χαλίκια αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα. Ο προσδιορισμός της διαπερατότητας σε νερό παίζει σημαντικό ρόλο στα υδρογεωλογικά και γεωτεχνικά προβλήματα (νόμος Darcy). Από την άλλη, τα πετρώματα που δεν επιτρέπουν στο νερό να κυκλοφορεί μέσα σ' αυτά ορίζονται ως «αδιαπέρατα (ή υδροστεγανά)» και μπορεί να είναι πετρώματα πορώδη, όπως η άργιλος, ή συμπαγή χωρίς πόρους, όπως διάφορα μαγματικά πετρώματα. Σημειώνεται ότι τα πετρώματα με μικρό πορώδες έχουν μικρή διαπερατότητα. Ωστόσο, το υψηλό πορώδες δεν σημαίνει και υψηλή διαπερατότητα διότι αυτή εξαρτάται από τη μορφή και το μέγεθος των κενών χώρων και την επικοινωνία που έχουν μεταξύ τους. Για παράδειγμα στις αργίλους όπου το πορώδες ανέρχεται μέχρι 50%, τα κενά ανάμεσα στα κοκκώδη συστατικά τους είναι πολύ μικρά, μικρότερα από 0,005mm, με τη μορφή τριχοειδών σωλήνων. Το νερό που βρίσκεται μέσα σε αυτά τα κενά εγκλωβίζεται και δεν κινείται λόγω της ανάπτυξης ισχυρών μοριακών τάσεων. Τα πετρώματα αυτά προσροφούν νερό με συνέπεια την αύξηση του όγκου τους, αλλά καθώς δεν υπάρχει κυκλοφορία, συμπεριφέρονται σαν υδροστεγανά πετρώματα.

<sup>10</sup>[http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement\\_Aggregates\\_Concrete\\_Notes\\_November\\_2\\_018.pdf](http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement_Aggregates_Concrete_Notes_November_2_018.pdf) Τσακαλάκης Κ., «Θεωρία και Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και Σκυροδέματος, ΕΜΠ, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών – Διπλωματική Εργασία 2018, σελ 350).

6. **Ελαστικότητα.** Οι ελαστικές ιδιότητες εκφράζονται με το μέτρο ελαστικότητας ( $E$ ) και το λόγο Poisson. Όταν ένα φορτίο  $P$  επενεργεί στην άνω επιφάνεια ενός πρισματικού δείγματος πετρώματος και είναι μικρότερο από το φορτίο θραύσης, προκαλεί παραμόρφωση η οποία εκφράζεται με σμίκρυνση του ύψους και αύξηση της οριζόντιας διάστασης. Εάν μετά την απομάκρυνση του φορτίου το δείγμα τείνει να επανακτήσει το αρχικό του σχήμα και μέγεθος, το πέτρωμα συμπεριφέρεται ελαστικά. Το μέτρο ελαστικότητας εκφράζει ανυσματική ιδιότητα που έχει σταθερή τιμή προς όλες τις διευθύνσεις μόνο στα μηχανικώς ισότροπα πετρώματα. Καθώς τα πετρώματα είναι ανισότροπα, παρουσιάζονται διακυμάνσεις στο μέτρο ελαστικότητας που εξαρτώνται από τις εφαρμοζόμενες τάσεις, από τον χρόνο και την ταχύτητα επιβολής των τάσεων, από την πίεση του νερού των πόρων, από τις διαστάσεις του δοκιμίου και από την θερμοκρασία. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή σε θλίψη, τόσο υψηλότερη είναι η τιμή του μέτρου ελαστικότητας. Αντιθέτως, οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας ( $E$ ) κάθε ομάδας πετρωμάτων μειώνονται όσο αυξάνεται το πορώδες. Επιπλέον, η περιεκτικότητα σε νερό ενός πετρώματος επιδρά στην τιμή του μέτρου ελαστικότητας. Το μέτρο ελαστικότητας προσδιορίζεται εργαστηριακά και διαφέρει σημαντικά από το μέτρο ελαστικότητας της βραχώμαζας του πετρώματος που προσδιορίζεται με δοκιμές επί του εδάφους (*in situ*). Όταν κατά την εκτέλεση του πειράματος γίνονται μετρήσεις των πλευρικών παραμορφώσεων, τότε υπολογίζεται και ο λόγος Poisson που είναι ο λόγος πλευρικών παραμορφώσεων προς τις επιμήκειες παραμορφώσεις.<sup>11</sup>

7. **Συμπιεστότητα** (compressibility) Κατά τη διάρκεια φόρτισης στα πετρώματα προκαλείται ελάττωση όγκου που οφείλεται σε ελάττωση όγκου των πόρων και απομάκρυνση από αυτούς του νερού που τυχόν περιέχεται. Όταν αυτή η ελάττωση του όγκου πραγματοποιείται με παρεμπόδιση των πλευρικών

---

<sup>11</sup> [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3477/1/02\\_chapter\\_06.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3477/1/02_chapter_06.pdf)

παραμορφώσεων, λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της συμπιεστότητας. Σημειώνεται ότι τα μαγματικά πετρώματα συμπιέζονται ελάχιστα.

Όσον αφορά τον ασβεστόλιθο, αυτός έχει κύριο συστατικό τον Ασβεστίτη και τα υπόλοιπα ορυκτολογικά συστατικά του είναι: Αργιλικά ορυκτά, Χαλαζίας (οι πυριτικοί ασβεστόλιθοι περιέχουν 20-30%  $\text{SiO}_2$ ), Αιματίτης (ο Σίδηρος δίνει κόκκινο έως μπορντό χρώμα και όταν η ποσότητά του είναι αυξημένη προκαλείται μείωση αντοχής του πετρώματος), Ανθρακούχες Ενώσεις (που προέρχονται από οργανικά λείψανα), Σιδηροπυρίτης, Οξείδια Μαγγανίου, Δολομίτης.<sup>1213</sup>

Τα παραπάνω συστατικά προσδίδουν στον ασβεστόλιθο τεφρό ή κίτρινο ή καστανό ή πράσινο χρώμα, ενώ ο καθαρός ασβεστόλιθος είναι λευκός. Μίγματα ασβεστολίθου και αργίλου καλούνται μάργες και έχουν ενδιάμεσες ιδιότητες των ασβεστολίθων και των αργίλων. Αναλόγως του ποσοστού και του είδους της αργίλου, οι ασβεστόλιθοι έχουν τάση διόγκωσης, η οποία οδηγεί σε ρηγματώσεις του ασβεστολίθου. Ο ασβεστόλιθος έχει τις εξής σημαντικές φυσικές ιδιότητες :

- διαπερατότητα είναι 0,1cm/s.
- θερμική αγωγιμότητα είναι 1,0W/m K.
- ειδικό βάρος είναι 2,7g/cm<sup>3</sup> .
- πορώδες είναι 0,2-2,0% κ.ο..

Ο ασβεστόλιθος μπορεί να μετατραπεί σε καρστικό ασβεστόλιθο με την επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα με την παρουσία υγρασίας.<sup>14</sup> Το νερό σχηματίζει ανθρακικό οξύ, ο ασβεστόλιθος αποσαθρώνεται χημικά σχηματίζοντας κενά (έγκοιλα), σπήλαια με σταλακτίτες και σταλαγμίτες. Τα καρστικά πετρώματα είναι ιδιαίτερος υδατοπερατά και εάν δεν διαπιστωθεί η ύπαρξή τους, μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα σε έργα, όπως για παράδειγμα λιμνοδεξαμενών, θεμελιώσεις τεχνικών έργων, διάνοιξη σηράγγων.<sup>15</sup>

<sup>12</sup> Πετρώματα [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3477/1/02\\_chapter\\_06.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3477/1/02_chapter_06.pdf)

<sup>13</sup> Μιχαλόπουλος Αλ., 2019 Εκχύλιση σε Στήλες Νικελιούχων Λατεριτικών Μεταλλευμάτων – Διπλωματική Εργασία – Πολυτεχνείο Κρήτης Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

<sup>14</sup> . Κοκκινάκης Α. “Μαγματικά πετρώματα”. Αθήνα, 1996

<sup>15</sup> Winter, J.D. “Igneous And Metamorphic Petrology. An Introduction”. New Jersey: Prentice-Hall, 2001.

### 1.3 Μηχανικές Ιδιότητες Ασβεστόλιθων

Ο ασβεστόλιθος συναντάται στη φύση ως πέτρωμα σε ποικίλες μορφές, με συνέπεια να παρουσιάζει πολύ μεγάλο εύρος τιμών όσον αφορά τη μηχανική αντοχή του. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο ασβεστόλιθος είναι συμπαγής και άλλες περιπτώσεις όπου είναι έντονα διαβρωμένος. Κατά γενικό κανόνα η αντοχή των ασβεστόλιθων κυμαίνεται από 500 μέχρι 1.500kg/cm<sup>2</sup>.<sup>16</sup>

**Πίνακας 2** Φυσικομηχανικές ιδιότητες ασβεστόλιθων

Ονομασία	Πυκνότητα	Φαινόμενο Βάρος	Πορώδες	Υδατοαπορροφητικότητα	Αντοχή σε θλίψη	Αντοχή σε τριβή / απώλεια όγκου	Συστολή Διαστολή
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	% κ.ο.	% κ.ο.	Μp/cm <sup>2</sup>		mm/m
Συμπαγείς ασβεστόλιθοι δολομίτες μάρμαρα	2,7 – 2,90	2,65 – 2,85	0,2 – 2,0	0,2 – 0,6	0,8 – 1,8	15 - 40	0,1
Διάφοροι ασβεστόλιθοι	2,7 – 2,74	1,7 – 2,60	0,5 – 30	0,2 – 10	200 - 900	-	0,10 – 0,16

Παρακάτω αναφέρονται οι σημαντικές μηχανικές ιδιότητες του ασβεστολίθου:

η ελαστικότητα είναι 3x10<sup>4</sup> MPa.

η σκληρότητα είναι 3,5 Mohs.

η αντοχή σε θλίψη είναι 0,8-1,8 Mp/cm<sup>2</sup> .

η υδροαπορροφητικότητα είναι 0,4% κ.ο..

<sup>16</sup> Νικολαΐδης Ν., (2010) Αξιολόγηση Ποιοτικών Χαρακτηριστικών Ασβεστολιθικών Πετρωμάτων Κύπρου ως προς την Καταλληλότητα τους για την Παραγωγή Υδραυλικής Ασβέστου. Πολυτεχνείο Κρήτης, Διπλωματική Εργασία, <http://artemis.library.tuc.gr/DT2012-0070/DT2012-0070.pdf>

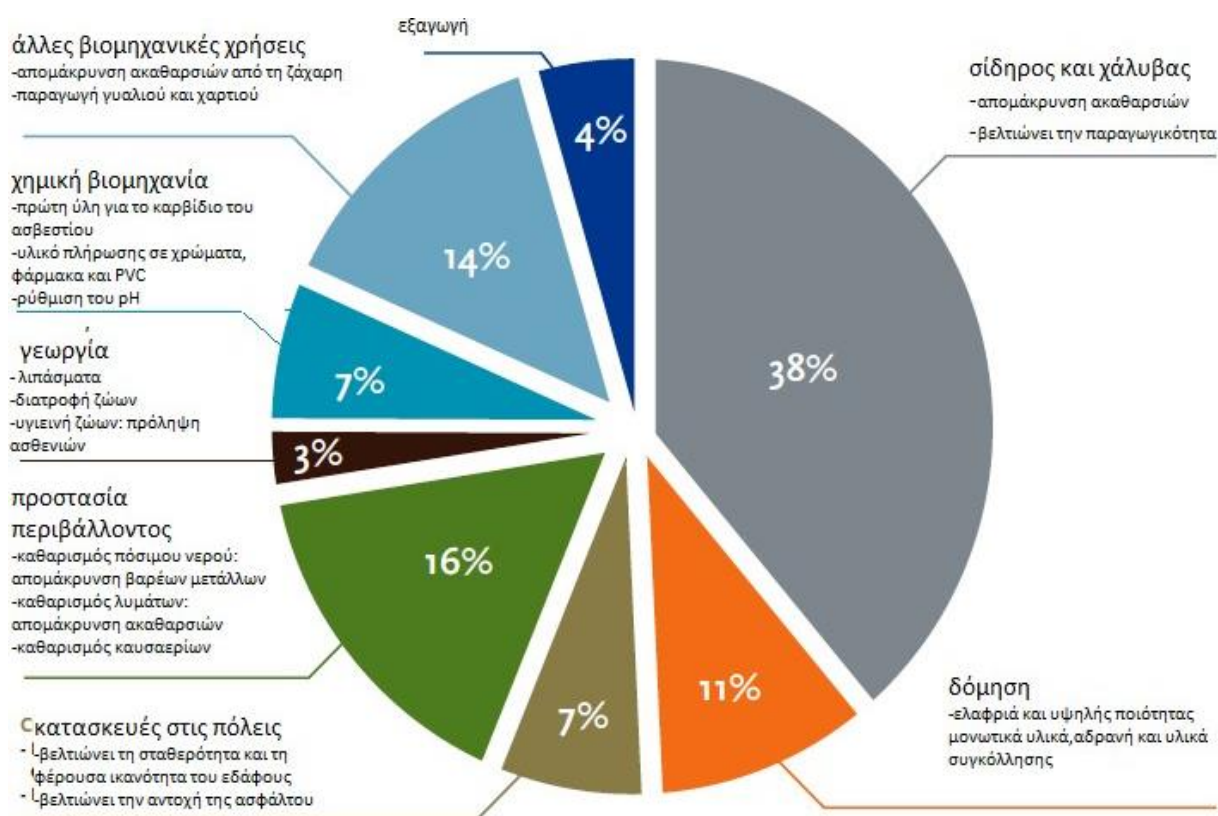
## 2. ΧΡΗΣΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ

### 2.1 Χρήσεις στον Κατασκευαστικό Τομέα

Ο ασβέστης είναι ένα υλικό το οποίο βρίσκει ευρύ πεδίο εφαρμογών. Η χρήση του λαμβάνει χώρα σε μία από τις παρακάτω μορφές:

- Ως Οξείδιο του ασβεστίου -  $\text{CaO}$  (Άσβηστος ασβέστης)
- Ως Υδροξείδιο του ασβεστίου -  $\text{Ca(OH)}_2$  (Σβησμένος ασβέστης)

Ο ασβέστης χρησιμοποιείται σε ευρεία σειρά προϊόντων, π.χ. ως μέσο χημικού καθαρισμού στον εξευγενισμό του χάλυβα, ως συνδετικό στις οικοδομές και τις κατασκευές και στην επεξεργασία του νερού για την καθίζηση προσμίξεων.



Εικόνα 4. Ποσοστιαία χρήση ασβεστόλιθου

Πέραν των πάσης φύσεως κονιαμάτων (κυρίως δόμησης και επιχρισμάτων), ο ασβέστης χρησιμοποιείται στους πλίνθους, στα προϊόντα σκυροδέματος, στα

οικοδομικά στοιχεία, στα υδροχρώματα κλπ. Επίσης, βελτιώνει τις ιδιότητες των τσιμεντοκονιαμάτων καθώς:

- αυξάνει το εργάσιμο
- διατηρεί σχετική υγρασία για αρκετό χρόνο για τις αντιδράσεις επιφανειακής σκλήρυνσης των επιχρισμάτων
- αυξάνει την πρόσφυση του κονιάματος στους λίθους και οπτόπλινθους.

### 2.1.1 Αδρανή Υλικά

Ως αδρανή χαρακτηρίζονται τα διαβαθμισμένα υλικά ορυκτής ή βιομηχανικής προέλευσης, αλλά και υλικά ανακύκλωσης τα οποία χρησιμοποιούνται χωρίς ή με κάποιο συγκολλητικό υλικό μέσο στα τεχνικά έργα. Ονομάζονται αδρανή γιατί δεν αντιδρούν χημικά με τις διάφορες συγκολλητικές ύλες.<sup>17</sup>

Σύμφωνα με τις Βρετανικές προδιαγραφές (BS 812, BS 105), όσον αφορά τους τεχνικούς όρους για τους αυτοκινητόδρομους, ως αδρανή υλικά χαρακτηρίζονται τα «ανενεργά»/αδρανή τεμάχια ή και θραύσματα ορυκτών ή πετρωμάτων που αποτελούν τα κύρια συστατικά της δομής ενός μίγματος υλικών, όπως το σκυρόδεμα, η άσφαλτος ή και το ενισχυμένο με άσφαλτο (πίσσα) χαλικόστρωμα. Στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται οι μέθοδοι ελέγχου με βάση τις οποίες ελέγχονται τα αδρανή.

**Πίνακας 3.** Μέθοδοι ελέγχου αδρανών υλικών<sup>18</sup>

ΣΚ-319, ΣΚ-324, ASTM D75 AASHTO-T2, ΕΛΟΤ EN 932-1:1996	Δειγματοληψία αδρανών υλικών Δοκιμές προσδιορισμού γενικών χαρακτηριστικών. Μέθοδοι δειγματοληψίας αδρανών υλικών
AASHTO T-248 ASTM C702 ΕΛΟΤ EN 932-2:2000	Δοκιμές προσδιορισμού γενικών χαρακτηριστικών. Μέθοδοι μείωσης εργαστηριακών δειγμάτων

<sup>17</sup> Λουπασάκης Κ., Τεχνική Γεωλογία – ΕΜΠ – Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών – Σημειώσεις Διαλέξεων Μαθήματος Τεχνική Γεωλογία ΙΙ - 2013

<sup>18</sup> Κανονιστικές Παραπομπές του ΤΕΕ σχετικά με τα Αδρανή, όπως προβλέπονται στο ΕΛΟΤ 13139:2002

ΣΚ-320, AASHTO- T27, ASTM C –136  ΕΛΟΤ EN 933-1:1998	Κοκκομετρική Ανάλυση  Δοκιμές προσδιορισμού των γεωμετρικών χαρακτηριστικών αδρανών- Προσδιορισμός της κοκκομετρίας.  Κοκκομετρική ανάλυση με κοσκίνιση
ASTM C-566 ΕΛΟΤ EN 1097-5:2000	Προσδιορισμός Φυσικής Υγρασίας  Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών αδρανών
ΣΚ 301, ΣΚ-302 ASTM C 127 ASTM C128 ΕΛΟΤ EN 1097-6:2000	Προσδιορισμός ειδικού βάρους και υδαταπορροφητικότητας χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών  Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών αδρανών
ΣΚ-346, ASTM D-2419 ΕΛΟΤ EN 933-8:2000	Δοκιμή Ισοδυνάμου άμμου  Δοκιμές προσδιορισμού γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Ποιοτικός Προσδιορισμός Παιπάλης
ΕΛΟΤ EN 933-9:1999	Δοκιμές προσδιορισμού γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Ποιοτικός Προσδιορισμός Παιπάλης
ΕΛΟΤ EN 933-3:1997	Δοκιμές προσδιορισμού γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Προσδιορισμός του δείκτη πλακοειδούς
ΣΚ-363 ASTM C-33 ΕΛΟΤ EN 1744- 1:1999 (άρθρο 15-1)	Προσδιορισμός των οργανικών προσμίξεων στην άμμο με χρωματογραφική μέθοδο.  Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών -
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 15-2)	Προσδιορισμός των χημικών χαρακτηριστικών αδρανών - Χημική Ανάλυση - Προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε φουλβικό οξύ
ASTM C-87  ΕΛΟΤ EN 1744 (άρθρο 15- 3)	Προσδιορισμός της επιρροής οργανικών προσμίξεων λεπτόκοκκων αδρανών στην αντοχή κονιάματος.  Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών -
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 7)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών -
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 8)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός των ευδιάλυτων στο νερό Χλωριόντων (Ποτενσιομετρική Μέθοδος)

ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 11)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 12)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 19.1, 19.2)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών -
ASTM C-295 ΕΛΟΤ EN 932-3:1996	Πετρογραφική και ορυκτολογική εξέταση Απλοποιημένη Πετρογραφική Περιγραφή
ASTM C-227	Δυνητική Βλαπτικότητα Αδρανών

Τα αδρανή υλικά, όπως προαναφέρθηκε, χωρίζονται σε φυσικά και σε θραυστά. Τα κλάσματα που χρησιμοποιούνται στα κονιάματα είναι τα λεπτόκοκκα αδρανή και το filler. Τα κονιάματα αναλόγως της χρήσης τους διακρίνονται σε:

- Κονιάματα δόμησης, με χρήση ως συγκολλητική ύλη μεταξύ είτε των πλίνθων είτε των δομικών στοιχείων
- Κονιάματα επιχρισμάτων, όπου χρησιμοποιούνται για σοβάτισμα τοιχοποιίας και δομικών στοιχείων (κολόνες, δοκάρια)
- Κονιάματα επιφανειακής διαμόρφωσης δαπέδων (ή ισοπεδωτικά), για καθαρά συγκολλητική χρήση
- Επισκευαστικά κονιάματα υψηλών μηχανικών αντοχών και χαμηλής συρρίκνωσης, με σκοπό την επισκευή ή τη δημιουργία νέων επιστρώσεων.
- Κονιάματα συγκολλητικά όπου υπάγονται και οι διάφορες κόλλες
- Ειδικά κονιάματα (θιξοτροπικά κονιάματα, κονιάματα υψηλής διαπνοής) ελεγχόμενης συρρίκνωσης και υψηλής θιξοτροπίας, τροποποιημένα με πολυμερή, που χρησιμοποιείται για στρώσεις πάχους από 10 έως 30 mm.

Η προσθήκη λεπτομερών αδρανών στα κονιάματα συνιστάται για οικονομικούς και τεχνικούς λόγους. Τα κονιάματα που παράγονται χωρίς προσθήκη αδρανών, συστέλλονται κατά την πήξη και την σκλήρυνση, με συνέπεια να δημιουργούνται

επιφανειακές ρηγματώσεις. Από οικονομικής απόψεως τα αδρανή υλικά είναι πιο φθηνά από τις κονίες, ενώ παράλληλα με την σωστή αναλογία κατά την σύσταση των κονιαμάτων συντελούν στην αύξηση της αντοχής τους.

Τα αδρανή υλικά θα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13139, ώστε να επιτρέπεται η χρήση τους στα κονιάματα. Δεν πρέπει να περιλαμβάνουν επιβλαβείς προσμίξεις που επιδρούν στην σταθερότητα, αντοχή και λοιπές ιδιότητες των κονιαμάτων. Ακόμη η φυσική υγρασία τους αποτελεί καθοριστικό παράγοντα και δε θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 3%, ενώ θα πρέπει πάντα να υπολογίζεται πριν τον καθορισμό των αναλογιών ενός κονιάματος.

### **2.1.2 Παραγωγή Ασβέστη**

Οι πραγματοποιούμενες διεργασίες για την παραγωγή του ασβέστη είναι οι ακόλουθες:

α) Ο ασβεστόλιθος θρυμματίζεται στο απαραίτητο μέγεθος, που είναι συνήθως 5 έως 200 mm, ανάλογα με την κάμινο που χρησιμοποιείται. Οι πρώτοι θραυστήρες (σιαγόνων, γυροσκοπικοί) παραλαμβάνουν μεγάλους όγκους που έχουν διάμετρο μέχρι και ένα μέτρο και μειώνουν διαδοχικά το μέγεθος έως 100-250 mm.

Η θρυμματισμένη πέτρα μεταφέρεται μέσω μεταφορικών ταινιών σε παλινδρομικά κόσκινα, όπου τα μεγάλα κομμάτια διαχωρίζονται και ανακυκλώνονται, ενώ αυτά που διέρχονται, είτε διοχετεύονται απευθείας στην κάμινο, είτε περνούν από δευτερογενή θρυμματισμό, όπου το μέγεθος των χαλικιών μειώνεται σε 10-50 mm. Η πρώτη ύλη (ασβεστόλιθος) μεταφέρεται στην εγκατάσταση και αποθηκεύεται σε εξωτερικούς χώρους.



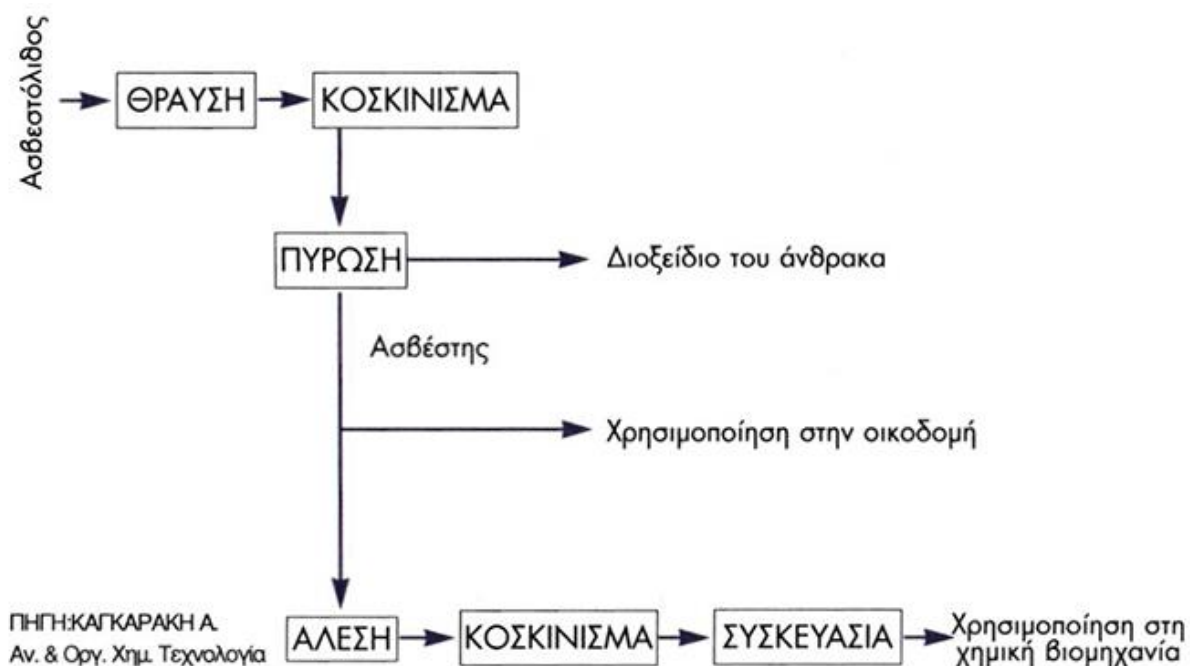
**Εικόνα 5.** Ασβεστος ( $\text{CaO}$ ) σε μορφή τεμαχίων μικρής διάστασης περίπου 7-8 cm έτοιμος προς σβέση.

β) Από το χώρο αποθήκευσης γίνεται μεταφορά του σε ειδικά σιλό, εν συνεχεία διέρχεται από μηχανικό κόσκινο και καθαρίζεται από χώματα και προσμίξεις (σκύρα).

γ) Ο ασβεστόλιθος ακολούθως διοχετεύεται στην κάμινο όπου καίγεται με τη χρήση καυσίμου (πυρήνα, βιομάζας, μαζούτ, πετρελαϊκού κωκ κ.ο.κ.) το οποίο αποθηκεύεται σε σιλό και μεταφέρεται στην κάμινο με σωληνώσεις. Από εκεί με τη συνδρομή πεπιεσμένου αέρα εισάγεται από μπέκ στην κάμινο όπου είναι ο χώρος καύσης με τον τεμαχισμένο ασβεστόλιθο. Η επιλογή του καυσίμου παίζει σημαντικό ρόλο, διότι το κόστος του καυσίμου ανά τόνο ασβέστη μπορεί να αντιστοιχεί μέχρι και στο 40-50% του κόστους παραγωγής.

Ένα ακατάλληλο καύσιμο μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα ασύμφορα υψηλό κόστος λειτουργίας, ή μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα της ασβέστου, την δραστικότητα και το θείο που περιέχεται. Επιπλέον, η επιλογή του καυσίμου μπορεί να ασκήσει

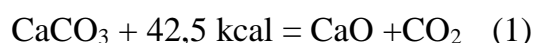
επίδραση στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου, διοξειδίου του θείου, καπνού και σκόνης, με αποτέλεσμα την άμεση επίδραση στο περιβάλλον.



**Εικόνα 6.** Οι κυριότερες βιομηχανικές διεργασίες κατά την παρασκευή του ασβέστη από τον ασβεστόλιθο <sup>19</sup>

Για την παραγωγή ασβέστη, γίνεται χρήση μεταξύ 1,4 και 2,2 τόνων ασβεστόλιθου ανά τόνο εμπορεύσιμης μη σβησμένης ασβέστου. Η κατανάλωση έχει να κάνει με τον τύπο του προϊόντος, την καθαρότητα του ασβεστόλιθου, το βαθμό πύρωσης και την ποσότητα των αποβλήτων προϊόντων. Το μεγαλύτερο μέρος του υπολοίπου χάνεται ως εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα.

Κατά την καύση, γίνεται όπτηση του ασβεστόλιθου σε θερμοκρασίες από 750-900°C και αυτός διασπάται σύμφωνα με την αντίδραση.

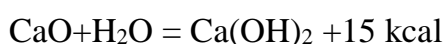


<sup>19</sup> Oates J.A.H. (1998) *Lime and Limestone - Chemistry and Technology, production and Uses*, Wiley – VCH Weinheim.

Καθώς η πρώτη ύλη κατέρχεται στην ορθοκάμινο, οι ανθρακικές ενώσεις (π.χ.  $\text{CaCO}_3$ ) διασπώνται προς οξείδια και διοξείδιο του άνθρακα. Το προϊόν (άνυδρος ασβέστης) αποτελείμένο κυρίως από οξείδια του ασβεστίου και δευτερευόντως από οξείδια του μαγνησίου, εξέρχεται από τη βάση της καμίνου.

δ) Ο παραγόμενος άνυδρος ασβέστης απομακρύνεται από τη βάση της καμίνου.

Ο άνυδρος ασβέστης ξεφορτώνεται μέσα στο σιλό της αποθήκευσης και στη συνέχεια μεταφέρεται με την μεταφορική ταινία μέσα στην περιστρεφόμενη «βαρέλα» η οποία περιέχει νερό σε τριπλάσια ποσότητα από το βάρος του άνυδρου ασβέστη. Η σβέση της ασβέστου είναι ισχυρή εξώθερμη αντίδραση και συνοδεύεται από ισχυρό κοχλασμό και πυκνούς υδρατμούς.



Καθώς το κολλοειδές υδροξείδιο της ασβέστου σχηματίζεται με πολύ ταχύτερο ρυθμό από ό,τι το κρυσταλλικό  $\text{Ca(OH)}_2$ , επιδιώκεται η ταχύτερη δυνατή σβέση του ασβέστη, η οποία επιτυγχάνεται με τη συνεχή ανάδευση της βαρέλας (2 στρ/λεπτό). Με την ανάδευση, πέραν της καλύτερης ανάμιξης των αντιδρώντων (ασβέστη και νερού), διατηρείται η θερμοκρασία του μίγματος σε υψηλά επίπεδα.

Ύστερα το παραγόμενο γάλα της ασβέστου οδηγείται στο α' κόσκινο (5 mm) όπου γίνεται η πρώτη διαλογή και όπου συγκρατούνται μεγαλύτερα κομμάτια της ασβέστου που δεν διασπάστηκαν. Αυτά τα κομμάτια μαζί με τα άνοπτα και τα υπερψημένα κομμάτια, συγκεντρώνονται σε σωρούς σε ανοιχτό χώρο όπου αφήνονται να προσβληθούν αργά από την υγρασία του περιβάλλοντος και χρησιμοποιούνται σαν υλικά κατώτερης ποιότητας.

Κατόπιν, γίνεται διοχέτευση του γάλακτος της ασβέστου στο τριβείο με σφυριά όπου θραύονται τα χοντρότερα κομμάτια και στη συνέχεια για καλύτερο αποτέλεσμα, κοσκινίζεται σε β' κόσκινο που έχει άνοιγμα οπών 0,75mm.

Το τελικό γάλα ασβέστου οδηγείται μέσω αντλίας στους λάκκους ωρίμανσης όπου παραμένει για 20 ημέρες για φύραση. Με τη φύραση επιδιώκεται η απομάκρυνση των άσβηστων κομματιών και η αύξηση της πλαστικότητας του πολτού.



**Εικόνα 7.** Ασβεστοπολτός για οικοδομική χρήση κατάλευκος, πηκτός σβησμένος ασβέστης έτοιμος προς χρήση. Διατίθεται σε πλαστικούς σάκους των 20 κιλών περίπου, σε big bags 0.50 ή 0.70 κυβ. μέτρου η χύδην σε φορτηγά.<sup>20</sup>

#### **1.4 Απαιτήσεις για την Παραγωγή Άνυδρης Ασβέστου**

Ανάλογα με την προβλεπόμενη χρήση, προσδιορίζονται οι απαιτήσεις για την ποιότητα του ασβεστόλιθου που προορίζεται για την παραγωγή άνυδρης ασβέστου. Οι απαιτήσεις αυτές συνδέονται με τη χημική σύσταση, την ενεργότητα και την κοκκομετρία της άνυδρης ασβέστου. Αυτοί οι παράγοντες συνδέονται με :

- τη χημική και ορυκτολογική σύσταση και τις φυσικές ιδιότητες της πρώτης ύλης,
- το μέγεθος και τη μορφή των κόκκων της πρώτης ύλης,

---

<sup>20</sup> <http://www.k-raikos.gr/>

- το είδος του κλιβάνου στον οποίο «ψήνεται» ο ασβεστόλιθος (πύρωση) και
- το είδος και την ποσότητα του καυσίμου.

Η πύρωση ασβεστολιθικών πετρωμάτων πολύ υψηλής καθαρότητας (με περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο πάνω από 98.5%), συνεπάγεται την παραγωγή υψηλού-Ca ασβέστου.

Διάκριση γίνεται επίσης και όταν το προϊόν προέρχεται από την πύρωση της ασβεστολιθικής πρώτης ύλης σε υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες. Στην περίπτωση των υψηλών θερμοκρασιών η άσβεστος που παράγεται χαρακτηρίζεται από υψηλή πυκνότητα και χαμηλή δραστικότητα, ενώ στην περίπτωση χαμηλών θερμοκρασιών από υψηλό πορώδες και υψηλή δραστικότητα.<sup>21</sup>

Τόσο η άσβεστος όσο και η υδράσβεστος έχουν πολύ σημαντικές χρήσεις και ευρεία κατανάλωση. Γίνεται ευρεία χρήση τους στις κατασκευές – οικοδομική (κονιάματα, πλίνθοι), στην οδοποιία, στη μεταλλουργία, τη χημική βιομηχανία, στην παραγωγή ζάχαρης, χαρτιού και γυαλιού και στην επεξεργασία τροφίμων. Επιπλέον στη βιομηχανία ελαστικών και χρωμάτων, στην παρασκευή πολφών γεωτρήσεων και σε πολλές εφαρμογές σχετικές με το περιβάλλον, οι βασικότεροι από τους οποίους αναλύονται στη συνέχεια.

Οι Η.Π.Α μαζί με την Κίνα και έπειτα η Ρωσία αποτελούν τις χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή, αλλά και κατανάλωση των προϊόντων της βιομηχανίας ασβέστου σε παγκόσμιο επίπεδο.

Ετησίως, παράγονται 116 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι παγκοσμίως οξειδίου του ασβεστίου, υδρασβέστου και δολομιτικής ασβέστου, με το οξείδιο του ασβεστίου να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό. Έτσι, τα προϊόντα αυτά ανήκουν στην κατηγορία αυτών με σημαντική προστιθέμενη αξία.<sup>22</sup>

Για το 2002 τα γενικά στατιστικά στοιχεία απορρόφησης της παραγωγής ήταν: 35% για χρήσεις στη μεταλλουργία και ειδικότερα στην παραγωγή χάλυβα, 28% για περιβαλλοντικές χρήσεις, 24% ως χημική ουσία σε βιομηχανικές εφαρμογές, 12% για

<sup>21</sup> Καντηράνης Ν. (2001). Μελέτη ασβεστοποίησης των κρυσταλλικών ασβεστόλιθων Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ., 196 σελ.

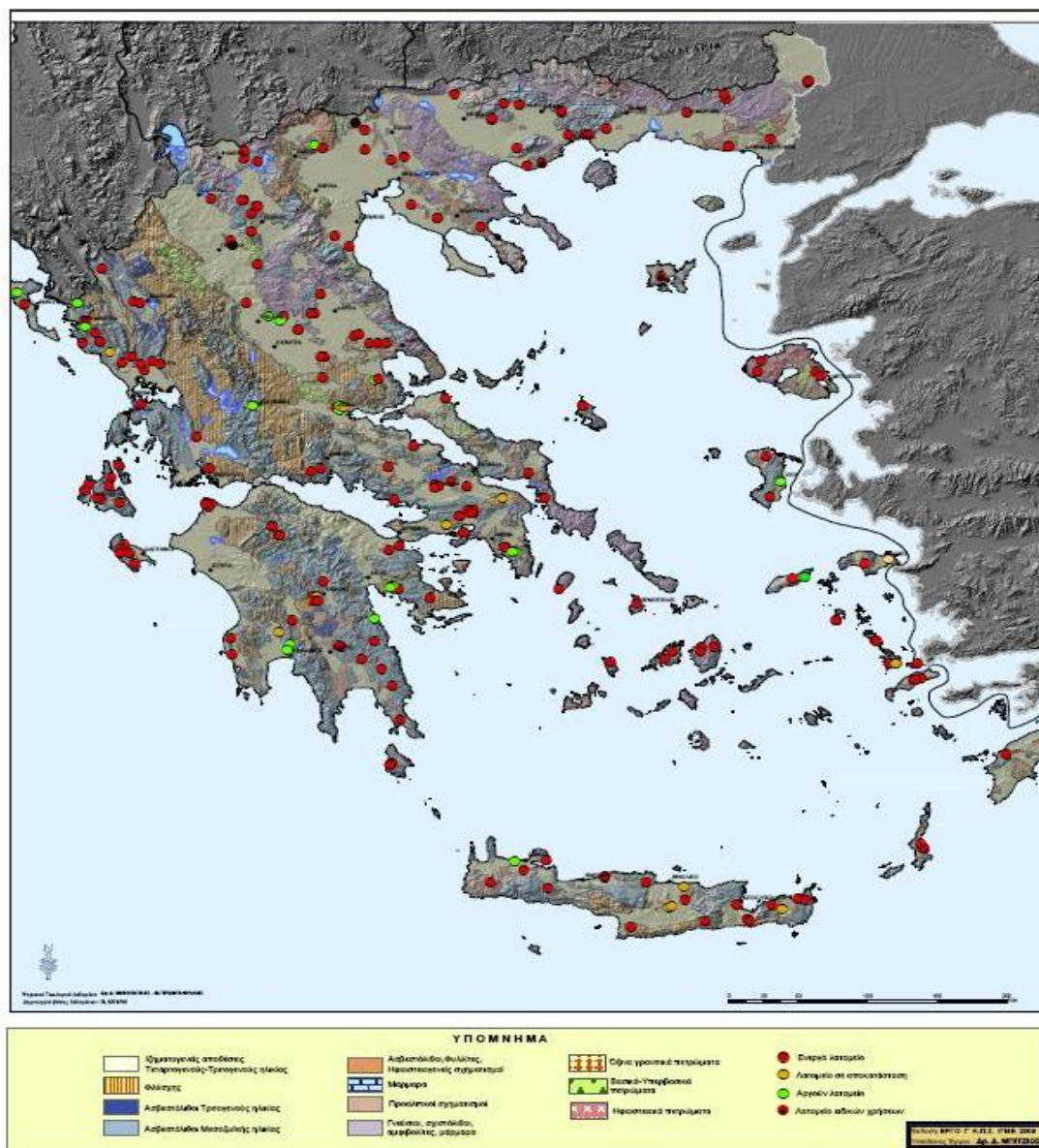
<sup>22</sup> Amey E.B. & Hilliard H.E. 2002. Precious metals in March 2002: U.S. Geological Survey Minerals Industry Surveys, June, 10 p.

κατασκευαστικούς σκοπούς και μόλις 1% στη βιομηχανία πυρίμαχων υλικών, ενώ σύμφωνα με πιο πρόσφατη μελέτη (EULA, 2016), η ποσοστιαία κατανομή χρήσεων της ασβέστου φαίνεται στην Εικόνα 5.

Ειδικότερα στις Η.Π.Α (το 2000), οι τομείς των κατασκευών και του περιβάλλοντος παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αύξηση κατανάλωσης προϊόντων ασβέστου, με τον δεύτερο σε ποσοστό 27.5%. Το μεγαλύτερο ποσοστό περιβαλλοντικών εφαρμογών καταλαμβάνει η χρήση ασβέστου στην αποθείωση των καπναερίων, όπου η αύξηση ήταν μεγαλύτερη, 74.4% <sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup> Harris P. 2000. North America's lime industry reviewed, Industrial Minerals..



Εικόνα 8. Λατομεία αδρανών υλικών στον Ελλαδικό χώρο<sup>24</sup>

### 2.1.2.1 Έλεγχος Ποιότητας

Για τον έλεγχο ποιότητας των παραγομένων προϊόντων βάσει των απαιτήσεων του προτύπου ΕΛΟΤ EN 459 η ασβεστοποιΐα συνεργάζεται με τους προμηθευτές της και λαμβάνει μηνιαίως τις χημικές αναλύσεις της Α΄ ύλης που χρησιμοποιεί ώστε να αποφεύγονται περιεκτικότητες σε  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  σε ποσοστά μεγαλύτερα των επιτρεπομένων. Ιδιαίτερα η εμφάνιση  $MgO$  σε ποσοστό μεγαλύτερο από 5% προκαλεί μείωση της ταχύτητας ενυδάτωσης του ασβεστοπολτού με συνέπεια να παραμένει αδιάσπαστο μέσα στο ασβεστοπολτό. Συνήθως διασπάται αργότερα στο κονίαμα με

<sup>24</sup>Τζεφέρης Πέτρος (2010), *Η αδειοδότηση των λατομείων αδρανών υλικών στην Ελλάδα*, ΥΠΕΚΑ.

τη βοήθεια της υγρασίας με αποτέλεσμα να προκαλούνται ρήγματα, εξανθήματα και διογκώσεις. Επίσης λαμβάνονται μηνιαίως αναλύσεις του υλικού που χρησιμοποιείται ως καύσιμη ύλη για την περιεκτικότητα σε τέφρα που ασκεί επίδραση στο χρώμα του ασβέστη.

Για το τελικό προϊόν ασβέστη λαμβάνονται δείγματα από τους σωρούς αποθήκευσης μια φορά τον μήνα, τα οποία αποστέλλονται προς εξέταση σε εργαστήριο προκειμένου να πραγματοποιηθούν χημικές αναλύσεις. Βάσει των απαιτήσεων των προτύπων επιβάλλεται να πραγματοποιούνται οι παρακάτω δοκιμές για την πιστοποίηση (αρχική δοκιμή τύπου) για τον ασβέστη (quick lime). Οι απαιτούμενες δοκιμές για την σήμανση CE παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 4** Απαιτούμενες Δοκιμές για την σήμανση CE<sup>25</sup>

<b>Για την ασβεστόπετρα</b>	<p>Χημική ανάλυση για (CaO-MgO –SO<sub>3</sub>) σύμφωνα με το πρότυπο 196-2 και CO<sub>2</sub> 196-21</p> <p>Fineness σύμφωνα με πρότυπο το 196-6</p> <p>Penetration σύμφωνα με το πρότυπο 459-2 &amp; 5.5</p> <p>Yield σύμφωνα με το πρότυπο 459-2&amp;5.9</p>
<b>Για τον ασβεστοπολτό</b>	<p>bulk density σύμφωνα με το πρότυπο 459-2 &amp; 5.8</p> <p>free water σύμφωνα με το πρότυπο 459-2 &amp; 5.11</p> <p>ηχοαπορροφητικότητα σύμφωνα με το πρότυπο 459-2 &amp; 5.3.3</p>

Γίνεται οπτικός έλεγχος της καλής ποιότητας του ασβεστοπολτού (πρέπει στην επιφάνεια του ο ασβεστοπολτός να έχει ρωγμές πλάτους 1 cm) ο οποίος πρέπει να έχει λιπαρή υφή , με μεγάλη πλαστικότητα, που έχει ως συνέπεια την ικανότητα δέσμευσης μεγάλης ποσότητας άμμου κατά την παρασκευή των κονιαμάτων.

<sup>25</sup> Μιχαλόπουλος Αλ., 2019 Εκχύλιση σε Στήλες Νικελιούχων Λατεριτικών Μεταλλευμάτων – Διπλωματική Εργασία – Πολυτεχνείο Κρήτης Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

Βάσει της ΚΥΑ (ΦΕΚ 1870/14-09-2007) για τη διάθεση τόσο του άνυδρου ασβέστη όσο και του ασβεστοπολτού απαιτείται η πιστοποίηση των μονάδων παραγωγής (σήμανση CE). Η σήμανση CE αποτελεί διασφάλιση για τους χρήστες και τους επιβλέποντες μηχανικούς για τη χρησιμοποιούμενη στα έργα τους ποιότητα του ασβέστη.

**Πίνακας 5** Πιστοποιημένες ασβεστοποιίες

Σ. Δουκέρη & Σια Ο.Ε. Ασβεστοποιία «Η ΕΝΩΣΗ ΧΡΗΣΤΟΣ ΔΟΥΚΕΡΗΣ»
Ασβεστοποιία Κρήτης Α.Ε.
Ασβεστοποιία Βελεστίνου Α.Ε.
CaO Hellas Μακεδονική Ασβεστοποιία Α.Β.Ε.Ε.
Ν. Δουκέρης Ροδιακή Ασβεστοποιία Ο.Ε.
Α.Γ. Χαϊκάλης Ασβεστοποιία «Νάξος»

.



**Εικόνα 9. Σάκοι υδράσβεστου**

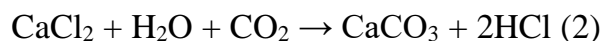
Στα αμερικανικά πρότυπα (ASTM standards) που αφορούν στην άσβεστο, περιλαμβάνονται οι προδιαγραφές και περιγράφονται οι φυσικές και χημικές μέθοδοι ελέγχου των ιδιοτήτων της, η ορολογία και οι οδηγίες σχετικά με τις συγκεκριμένες εφαρμογές-χρήσεις της ασβέστου.

**Πίνακας 6** Αμερικανικά πρότυπα που αφορούν στην ασβεστο<sup>26</sup>

<b>Soil Stabilization:</b> <b>C977</b> Specification for Quicklime and Hydrated Lime for Soil Stabilization <b>C593</b> Specification for Fly Ash & Other Pozzolans for use with Lime for Soil Stabilization <b>Test Methods:</b> <b>D6276</b> Using pH to Estimate the Lime Requirement for Soil Stabilization <b>D5102</b> Unconfined Compressive Strength of Compacted Soil-Lime Mixtures <b>Asphalt:</b> <b>C1097</b> Specification for Hydrated Lime for Use in Asphalt <b>D4867</b> Test Method for the Effect of Moisture on Asphalt Paving Mixtures <b>Environmental Uses:</b> <b>C1529</b> Specification for Quicklime and Hydrated Lime for Environmental Uses <b>D6249</b> Guide for Alkaline Stabilization of Wastewater Treatment Plant Residuals <b>Test Methods:</b> <b>C400</b> Quicklime and Hydrated Lime for Neutralization of Waste Acid <b>C1318</b> Determination of Total Neutralizing Capability and Dissolved Calcium and Magnesium Oxide in Lime for Flue Gas Desulfurization (FGD)	<b>Building Lime:</b> <b>C207</b> Hydrated Lime for Masonry Purposes <b>C206</b> Finishing Hydrated Lime <b>C821</b> Lime for Use with Pozzolans <b>C5</b> Quicklime for Structural Purposes <b>C270</b> Mortar for Unit Masonry <b>Other Applications:</b> <b>C911</b> Quicklime and Hydrated Lime for Selected Chemical and Industrial Uses <b>D5050</b> Guide for Commercial Use of Lime Kiln Dusts <b>E1266</b> Practice for Processing Mixtures of Lime, Fly Ash, and Heavy Metal Wastes in Structural Fills and Other Construction Applications <b>C602</b> Specification for Agricultural Liming Materials <b>General Testing:</b> <b>C25</b> Chemical Analysis of Quicklime and Hydrated Lime <b>C110</b> Physical Testing of Quicklime and Hydrated Lime <b>C1271</b> X-Ray Spectrometric Analysis of Lime <b>C1301</b> Major & Trace Elements in Lime by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP) & Atomic Absorption (AA) <b>Others:</b> <b>C51</b> Terminology Relating to Lime <b>C50</b> Sampling, Sample Preparation, Packaging, & Marking of Lime Products
---	---

### 2.1.2.2. Σύσταση

Ο ασβεστόλιθος, εκτός του ασβεστίτη, συχνά περιέχει πυριτικές προσμίξεις, όπως κρυπτοκρυσταλλικές μορφές του χαλαζία (πυριτόλιθο ή χαλαζίτη), άργιλο και άμμο και μικρές ποσότητες μεταλλικών αλάτων. Ο σχηματισμός του μπορεί να οφείλεται στην χημική αντίδραση ευδιάλυτων αλάτων του ασβεστίου με διοξείδιο του άνθρακα, όπως π.χ. στην αντίδραση:



Το  $\text{CaCO}_3$ , ως αδιάλυτο στο νερό, καταβυθίζεται και αποτίθεται, συγκολλώμενο με άλλα συστατικά του περιβάλλοντος με την διαδικασία της διαγένεσης. Ο δημιουργούμενος με αυτόν τον τρόπο ασβεστόλιθος χαρακτηρίζεται ως "χημικό ίζημα". Οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες των σπηλαίων αποτελούν ειδική μορφή

<sup>26</sup> Πηγή: [https://www.lime.org/documents/lime\\_basics/lime-standards.pdf](https://www.lime.org/documents/lime_basics/lime-standards.pdf) (National Lime Association)

αυτού του τύπου ασβεστολίθου είναι (σταλακτιτικός ασβεστόλιθος). Μια ακόμη μορφή αυτού του τύπου είναι ο τραβερτίνης, ασβεστολιθική απόθεση σε κοίτες θερμών υδάτων, η διαλυτική ικανότητα των οποίων μειώνεται κατά την ψύξη τους, με συνέπεια να αποθέτουν τα ως τότε διαλυμένα συστατικά τους.

Σε άλλες περιπτώσεις, ο σχηματισμός του ασβεστόλιθου μπορεί να γίνει από σκελετούς ή κελύφη υδρόβιων οργανισμών. Μετά τον θάνατο του οργανισμού, το κέλυφός του καταβυθίζεται στον πυθμένα και το οργανικό τμήμα του οργανισμού καταστρέφεται, ενώ το κέλυφος (ή ο σκελετός) παραμένει. Τα ασβεστοιτικά αυτά υπολείμματα συγκολλώμενα με την διαγένεση έχουν ως αποτέλεσμα την ασβεστολιθική απόθεση. Ο ασβεστόλιθος που προκύπτει με αυτό τον τρόπο ονομάζεται "οργανογενής" και είναι πιο πλούσιος σε απολιθώματα. Μορφές αυτού του τύπου ασβεστολίθου είναι η κρητίζ (κοινώς κιμωλία) και ο ωολιθικός ασβεστόλιθος, ο οποίος απαρτίζεται από μικρά, συγκολλημένα μεταξύ τους σφαιρίδια, τους ωολίθους.

Το βασικό συστατικό του πετρώματος έχει λευκό χρώμα, γι' αυτό και ο ασβεστόλιθος είναι λευκός ή ανοιχτόχρωμος γκρίζος. Ωστόσο, αναλόγως των προσμίξεών του απαντάται σχεδόν σε κάθε χρώμα, συνήθως γκρίζο σκούρο ή και κοκκινωπό (σιδηρομιγής ασβεστόλιθος).

### 2.1.3 Παραγωγή και Χρήση Ασβεστοτσιμεντοκονιάματος

Για την παρασκευή 1 m<sup>3</sup> ασβεστοτσιμεντοκονιάματος, γίνεται χρήση 150 κιλών τσιμέντο, 0.96 m<sup>3</sup> άμμου, πολτού ασβέστη 0.25 m<sup>3</sup> και 0.20 m<sup>3</sup> νερού.<sup>27</sup>

Με την προσθήκη επιχρίσματος ασβεστοτσιμεντοκονιάματος στο σκυρόδεμα προστατεύεται το σκυρόδεμα έναντι ενανθράκωσης και χρήσης μικρότερης ποσότητας τσιμέντου στο σκυρόδεμα. Ωστόσο, στην πράξη παρατηρούνται συχνά τα εξής:

- μη τήρηση του πάχους επικάλυψης (έστω και τοπικά),
- μη άμεση εφαρμογή στο εκτεθειμένο σκυρόδεμα,

---

<sup>27</sup> Τσίμας Σ., Τσιβίλης Σ. 2010, Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ. Αθήνα

- αποκόλληση του ασβεστοκονιάματος από σημεία
- επιβεβλημένη από τον ΚΕΝΑΚ τοποθέτηση θερμομονωτικών φύλλων, τα οποία επηρεάζουν ευνοϊκότερα την προσβολή από ενανθράκωση λόγω ευνοϊκότερων συνθηκών υγρασίας.

Έτσι σε αυτές τις περιπτώσεις το σκυρόδεμα αυτό θεωρείται ανεπίχριστο και ισχύουν οι τιμές του ακόλουθου Πίνακα 7. Γενικά ο έλεγχος της αποδοτικότητας αυτών των επικαλύψεων στο χρόνο είναι ιδιαίτερα δύσκολος.<sup>28</sup>



**Εικόνα 10.** Άνυδρη άσβεστος

---

<sup>28</sup> Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 2016 - Τεύχος Β' 1561/02.06.2016- σελ 18091

**Πίνακας 7 - Απαιτήσεις για το σκυρόδεμα ανάλογα με την κατηγορία έκθεσης – Κατηγορίες έκθεσης<sup>29</sup>**

	Χωρίς κίνδυνο διάβρωσης ή προσβολής	Διάβρωση λόγω ενανθράκωσης				Διάβρωση λόγω χλωριόντων									Προσβολή από ψύξη/απόψυξη				Χημική προσβολή <sup>β</sup>			Τριβή / Απότριψη		
						Θαλασσινό νερό						Χλωριόντα που δεν προέρχονται από θαλασσινό νερό												
						Τσιμέντα II, III, IV (Εκτός CEM II/B-LL + CEM II/B-L)			Τσιμέντα I (+ CEM II/B-LL + CEM II/B-L)															
Κατηγορία έκθεσης	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
max N/T	---	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,55	0,55	0,55	0,50	0,55	0,50	0,45	0,50	0,45	0,40
min κατηγορία αντοχής	C 12/15	C 20/25	C 25/30	C 25/30	C 30/37	C 25/30	C 25/30	C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 35/45	C 30/37	C 35/45	C 35/45	C 30/37	C 25/30	C 25/30	C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 35/45	C 35/45	C 40/50	C 50/60
min περιεκτικότητα σε τσιμέντο kg/m <sup>3</sup>	---	280	300	300	320	330	330	350	330	330	350	330	330	350	320	300	300	320	320	340	360	320	340	360
min επικάλυψη για ανθεκτικότητα <sup>γ</sup> mm		25	25	35	35	45	45	50	40	40	50	35	40	50					35	35	35			
min περιεκτικότητα σε αέρα (%)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4,0 <sup>α</sup>	4,0 <sup>α</sup>	4,0 <sup>α</sup>	---	---	---			
Άλλες απαιτήσεις	Σημ.: Άσπλο σκυρόδεμα					Σημ.: Παραθαλάσσιο 1,5 km	Σημ.: Μόνιμα μέσα στη θαλάσσια	Σημ.: Διαβρεγόμενες ζώνες							Αδρανή σύμφωνα με ΕΛΟΤ EN12620 με ικανοποιητική αντοχή σε παγετό <sup>δ</sup>					Τσιμέντο ανθεκτικό σε θειικά <sup>β</sup>		LA ≤ 27	LA ≤ 25	LA ≤ 22

<sup>29</sup> Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 2016 - Τεύχος Β' 1561/02.06.2016- σελ 18091

### 2.1.3.1 Ποσότητα Ασβεστολιθικών Πρώτων Υλών για την Παραγωγή Τσιμέντου

Είναι γνωστό ότι για την παραγωγή 1 τόνου τσιμέντου απαιτούνται περίπου 1,6-1,65 τόνοι πρώτων υλών<sup>30</sup>. Από αυτές το 75% δηλαδή  $0.75 \times 1.65 \times 16.1$  εκατ. τόνοι =  $19.92 \times 10^6$  τόνοι ετησίως, είναι ασβεστολιθικά πετρώματα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα για την παραγωγή τσιμέντου και επίσης  $4-4.5 \times 10^6$  τόνοι περίπου ετησίως είναι τα μη ασβεστολιθικά πετρώματα (αργιλοπυριτικά πετρώματα, χαλαζιακή άμμος, βωξίτες, ποζολάνες κλπ.). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι πρώτες ύλες και τα προϊόντα (πεδία εφαρμογής) της τσιμεντοβιομηχανίας.



Εικόνα 11. Πρώτες ύλες και προϊόντα της βιομηχανίας τσιμέντου και του σκυροδέματος<sup>31</sup>

<sup>30</sup> Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, 2016, Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Μεταφορών Υποδομών και Δικτύων

<sup>31</sup> [http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement\\_Aggregates\\_Concrete\\_Notes\\_November\\_2018.pdf](http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement_Aggregates_Concrete_Notes_November_2018.pdf) (Τσακαλάκης Κ. Γ., «Τεχνολογία παραγωγής τσιμέντου και σκυροδέματος» Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2018, σελ 350).

### 2.1.3.2. Ποσότητα Ασβεστολιθικών Πρώτων Υλών για την Παραγωγή Τσιμέντου

Αν υποτεθεί ότι το 90-95% του διατιθέμενου τσιμέντου στην ελληνική αγορά δηλ.  $(0.90 \times 10.35 \text{ εκατ. τόνοι} \approx 9.32 \text{ εκατ. τόνοι})$  χρησιμοποιείται για την παραγωγή σκυροδέματος και δεδομένου ότι για κάθε  $\text{m}^3$  σκυροδέματος απαιτούνται περίπου 300 kg (0.3 t) τσιμέντου, τότε παράγονται:  $(9.32/0.3) \times 10^6 = 31.07 \times 10^6 \text{ m}^3$  σκυροδέματος. Επειδή όμως για κάθε  $\text{m}^3$  σκυροδέματος απαιτούνται επίσης περίπου 2 τόνοι αδρανών υλικών, τότε απαιτούνται επιπλέον  $2 \times 31.07 \times 10^6 \approx 62.14 \times 10^6$  τόνοι αδρανών υλικών για σκυρόδεμα<sup>32</sup>.

Οι  $62.14 \times 10^6$  τόνοι αδρανών υλικών προέρχονται από την κατεργασία (θραύση, ταξινόμηση-κοσκίνιση) ασβεστολιθικού πετρώματος που εξορύσσεται σε λατομεία (νταμάρια) με επιφανειακή εξόρυξη. Το ποσοστό του αξιοποιήσιμου υλικού (κατάλληλα κοκκομετρικά κλάσματα μετά τη θραύση και κοσκίνιση) ανέρχεται κατά μέγιστο ποσοστό περίπου στο 60-70% του εξορυσσόμενου, δηλαδή πρέπει να εξορυχθούν συνολικά τουλάχιστον:

$(62.14 \times 10^6 / 0.70) \approx 88.8 \times 10^6$  τόνοι ασβεστολιθικού πετρώματος για την παραγωγή του σκυροδέματος.

Συνολική ποσότητα ασβεστολιθικών πρώτων υλών για την παραγωγή τσιμέντου και σκυροδέματος Οι συνολικοί τόνοι ασβεστολιθικού υλικού για τσιμέντο και σκυρόδεμα ετησίως είναι:

$(19.92 + 88.80) \times 10^6 \approx 108.72 \times 10^6$  τόνοι ασβεστολιθικών πετρωμάτων.

Σύμφωνα με μέτριους υπολογισμούς, για λόγο αποκάλυψης (στείρα / ασβεστολιθικό υλικό) = 1:5, η ποσότητα αυτή προσαυξάνεται κατά 20%, δηλ. η συνολική ποσότητα εξορυσσόμενου υλικού ανέρχεται σε:  $(108.72 \times 10^6) \times 1.2 \approx 130.5 \times 10^6$  τόνοι ή περίπου  $49.2 \times 10^6 \text{ m}^3$  ασβεστολιθικών πετρωμάτων και υλικό αποκάλυψης (για ειδικό βάρος ασβεστολίθου 2.65 τόνοι/  $\text{m}^3$ ).

---

<sup>32</sup> Πηγή:

[http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement\\_Aggregates\\_Concrete\\_Notes\\_November\\_2018.pdf](http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement_Aggregates_Concrete_Notes_November_2018.pdf) (Τσακαλάκης Κ. Γ., «Τεχνολογία παραγωγής τσιμέντου και σκυροδέματος» Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2018, σελ 350).

Σ' αυτήν την ποσότητα δεν έχουν συνυπολογιστεί οι μη ασβεστολιθικές πρώτες ύλες στη βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου, οι οποίες ανέρχονται σε περίπου  $4-4.5 \times 10^6$  τόνους ή  $1.8-2.0 \times 10^6 \text{ m}^3$  για το τσιμέντο.

#### 4. Αξία παραγόμενων προϊόντων (τσιμέντο, σκυρόδεμα κλπ.)

##### 1. Αξία εξαγόμενου τσιμέντου

Δεδομένου ότι η τιμή του εξαγόμενου τσιμέντου είναι περίπου 70 €/τόνο, τότε τα έσοδα από την πώληση του τσιμέντου ανέρχονται ετησίως σε:  $5.77 \times 10^6$  τόνοι  $\times$  70 €/τόνο = 404 εκατομμύρια ευρώ ετησίως ή 0.404 δις ευρώ ετησίως

##### 2. Αξία παραγόμενου σκυροδέματος

Η σημερινή (2019) μέση τιμή πώλησης του σκυροδέματος στην ελληνική αγορά (συμπεριλαμβανομένης της μεταφοράς στο έργο και του Φ.Π.Α) είναι 70 €/m<sup>3</sup> περίπου. Συνεπώς, τα ακαθάριστα έσοδα από την πώληση των  $31.07 \times 10^6 \text{ m}^3$  σκυροδέματος ανέρχονται σε:  $31.07 \times 10^6 \text{ m}^3$  σκυροδέματος  $\times$  70 €/m<sup>3</sup> =  $2175 \times 10^6$  € ετησίως (περίπου 2.18 δις ευρώ ετησίως)

## 2.2 Χρήσεις του Ασβεστόλιθου στη Βιομηχανία

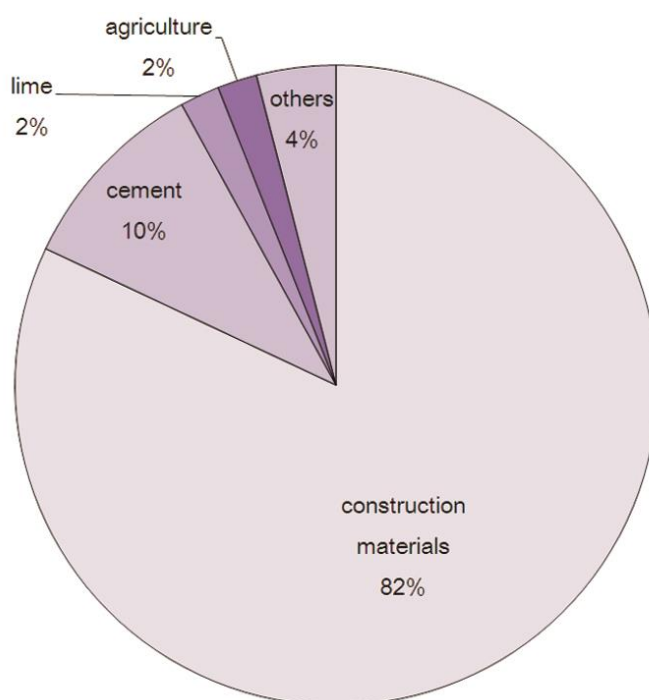
Οι βιομηχανικές χρήσεις του ασβεστόλιθου είναι πολλές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπως εξορύσσεται ή επεξεργασμένος σε ~~μια~~—μεγάλη ποικιλία προϊόντων. Αποτελεί την πρώτη ύλη για ποικιλία κατασκευών, και για γεωργικές, περιβαλλοντικές και άλλες βιομηχανικές εφαρμογές.

Ο ασβεστόλιθος χρησιμοποιείται σχεδόν παντού στη δομική βιομηχανία. Ενδεικτικά, το 2007, ο θρυμματισμένος ασβεστόλιθος ήταν 68% του συνόλου των θρυμματισμένων πετρών που παρήχθησαν στις Ηνωμένες Πολιτείες. Επίσης, ο ασβεστόλιθος είναι το βασικό συστατικό στην παραγωγή του τσιμέντου Πόρτλαντ. Παρά την αφθονία του ασβεστόλιθου, υπήρξαν ελλείψεις τσιμέντου κατά τα προηγούμενα χρόνια.

Μερικοί από τους πιο αγνούς φυσικούς ασβεστόλιθους είναι τα μάρμαρα, τα οποία είναι μεταμορφωμένα ασβεστολιθικά πετρώματα. Για αιώνες, το μάρμαρο ήταν η

διακοσμητική πέτρα της επιλογής σε κυβερνητικά κτίρια και πρώτη ύλη για την κατασκευή γλυπτών. Επίσης ο τραβερτίνης αποτελεί κρυσταλλικό ασβεστόλιθο αποτελούμενο κυρίως από ανθρακικό ασβέστιο με δομή πολλών στρωμάτων. Η μοναδική του εμφάνιση οφείλεται στο ότι σχηματίζεται σε υδάτινες πηγές του εδάφους όπου τα αέρια, ο αέρας και το νερό δημιουργήσαν οπές, κενά και κοιλότητες. Ο τραβερτίνης μπορεί να «λειανθεί» και να στιλβωθεί με «εργοστασιακή» πλήρωση ή μη των κενών που διαθέτει και, καθώς είναι ημι-μαλακό πέτρωμα, είναι ευάλωτος στη διάβρωση στην επίδραση του φωτός και στην προσβολή από οξέα.

Ο ασβεστόλιθος χρησιμοποιείται ως πληρωτικό σε μια ποικιλία προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων των χαρτί, πλαστικό, και χρώμα. Οι πιο πλούσιοι σε  $\text{CaCO}_3$  ασβεστόλιθοι χρησιμοποιούνται ως πρόσθετο σε τρόφιμα και φάρμακα, όπως τα δημητριακά πρωινού και τα χάπια ασβεστίου.

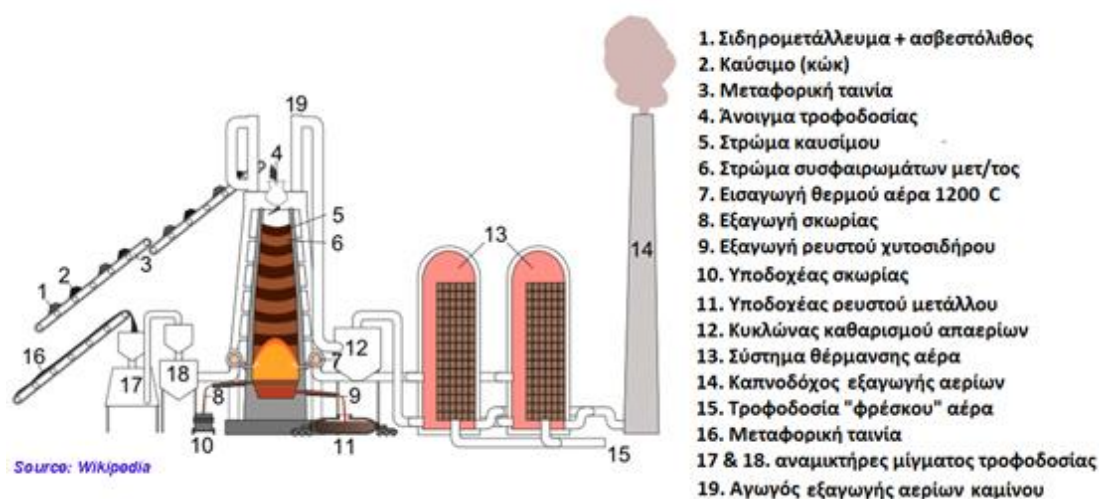


**Εικόνα 12** Κύριες χρήσεις του ασβεστόλιθου στη βιομηχανία

### **2.2.1. Μεταλλουργία - Παραγωγή σιδήρου και χάλυβα**

Ο ασβέστης, που παράγεται από την πύρωση του ασβεστολίθου στις μεταλλουργικές καμίνους, χρησιμοποιείται στη βιομηχανία παραγωγής σιδήρου και χάλυβα για την

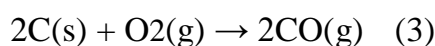
παραγωγή των σκωριών και την προστασία των πυρίμαχων της υψικαμίνου από συστατικά που περιέχονται ως προσμίξεις στο τήγμα με συνέπεια την αύξηση της διάρκειας της ζωής των τοιχωμάτων. Επίσης χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία της αποθείωσης σε περιπτώσεις έκλυσης αερίων του θείου. Παρακάτω αναλύεται η διαδικασία παραγωγής του σιδήρου.



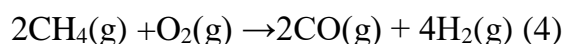
**Εικόνα 13** Σχηματική απεικόνιση παραγωγής σιδήρου<sup>33</sup>

Ο θερμός εμπλουτισμένος με οξυγόνο αέρας διοχετεύεται στον πυθμένα, ενώ οι σωλήνες που τον διοχετεύουν ονομάζονται εμφυσητές. Καθώς τα αέρια φτάνουν προς τα πάνω πραγματοποιούνται ποικίλες αντιδράσεις.

Το κώκ αντιδρά με το οξυγόνο και από την αντίδραση αυτή σχηματίζεται μονοξείδιο του άνθρακα:



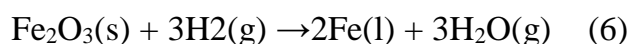
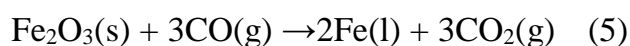
Όταν χρησιμοποιείται πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, οι υδρογονάνθρακες παράγουν ένα δεύτερο αναγωγικό παράγοντα το υδρογόνο:



<sup>33</sup> Πηγή: <http://www.orykta.gr/ekmetalleusi-emploutismos/metallourgikes-diergasies/83-metallourgia-metallourgikes-diergasies>

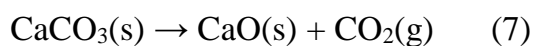
Οι θερμοκρασίες ποικίλουν μέσα στην κάμινο, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να είναι στο κάτω μέρος αυτής και διάφορες αντιδράσεις σε διαφορετικά επίπεδα στην κάμινο.

Κοντά στην κορυφή της καμίνου, στους περίπου 750°K (κάτω από το σημείο τήξης του σιδήρου), οι ενώσεις του τρισθενούς Fe(III) ανάγονται σε Fe(II) (για παράδειγμα Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> σε FeO) με τη βοήθεια του μονοξειδίου του άνθρακα και του υδρογόνου. Στη θερμότερη περιοχή της καμίνου, που είναι το κάτω μέρος, ολοκληρώνεται η αντίδραση των οξειδίων του σιδήρου.



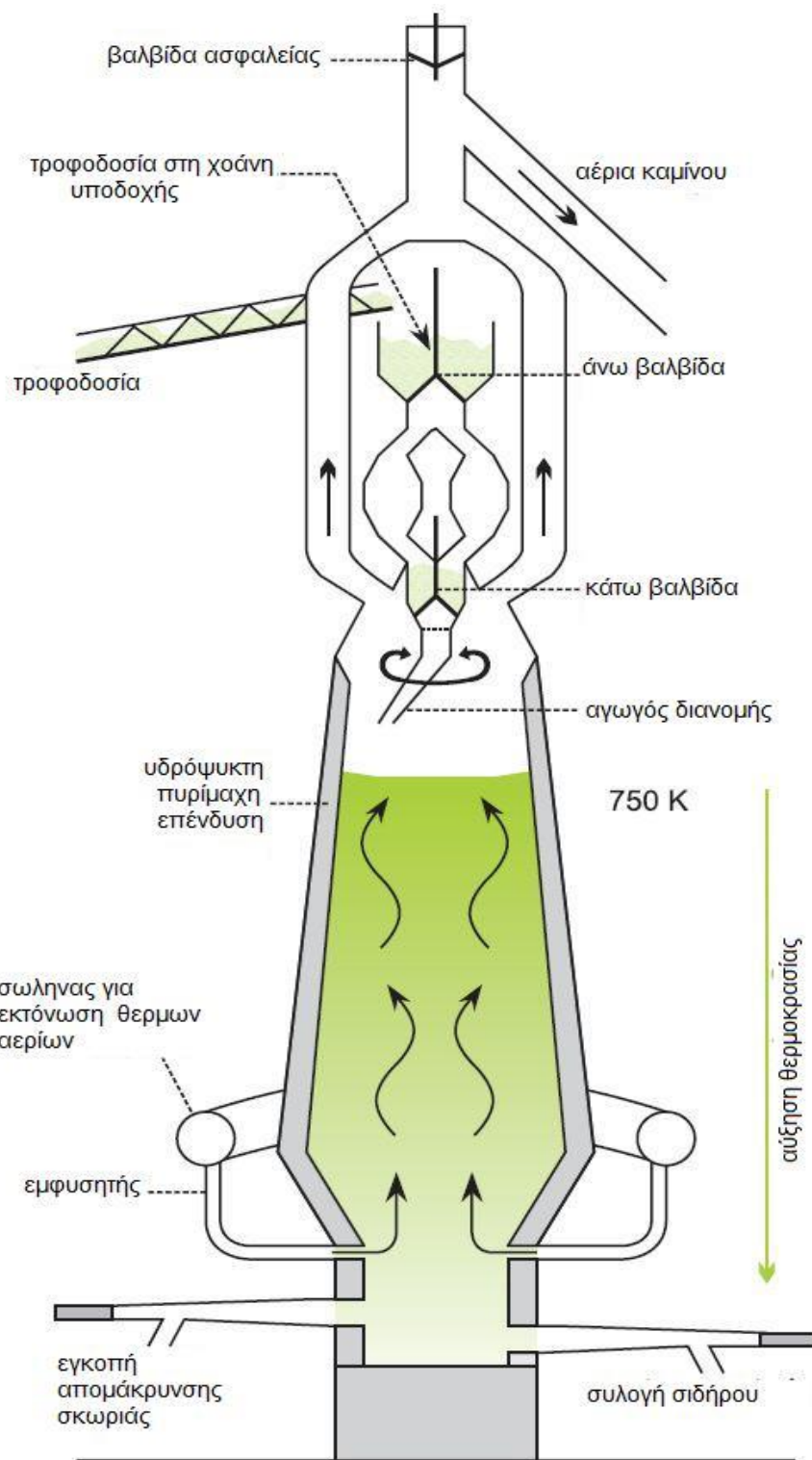
Ο ρευστός σίδηρος ρέει προς τα κάτω και συγκεντρώνεται στον πυθμένα της καμίνου. Καθώς κατέρχεται, απορροφά άνθρακα, φώσφορο, θείο και μικρές ποσότητες άλλων στοιχείων όπως το μαγγάνιο και το πυρίτιο από τα μεταλλεύματα, το κωκ και τον ασβεστόλιθο.

Σε μέρη της καμίνου με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 1150°K ο ασβεστόλιθος διασπάται, παράγοντας οξείδιο του ασβεστίου με ταυτόχρονη έκλυση CO<sub>2</sub>:



Το οξείδιο ασβεστίου, το οποίο είναι βασικό, αντιδρά με τις όξινες ακαθαρσίες στο μετάλλευμα, με αποτέλεσμα το σχηματισμό αργιλοπυριτικής σκωρίας. Αυτή απορροφά επίσης μεγάλο μέρος του θείου που υπάρχει σε διάφορες πρώτες ύλες. Η υγρή σκωρία ρέει στον πυθμένα της καμίνου, δημιουργώντας ένα στρώμα που επιπλέει πάνω από τον τηγμένο σίδηρο, εξαιτίας της μικρότερης πυκνότητας.

Ο ρευστός σίδηρος (καθαρότητας 90-95%, στον οποίο η κύρια ακαθαρσία είναι περίπου 4% άνθρακα) και η υγρή σκωρία απομακρύνονται διαμέσου οπών στη βάση της καμίνου.



**Εικόνα 14** Διάταξη υψικαμίνου <sup>34</sup>

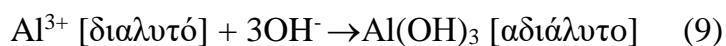
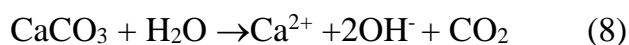
<sup>34</sup> Πηγή: <http://www.essentialchemicalindustry.org/metals/iron.html>

### 2.2.2 Γεωργία

Το ανθρακικό ασβέστιο καθώς βοηθά στη σταθεροποίηση της οξύτητας του εδάφους, στη βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών και στην ελαχιστοποίηση της χρήσης φυτοφαρμάκων, αποτελεί μία χρήσιμη προσθήκη στο έδαφος για τη γεωργία. Επιπλέον, το ανθρακικό ασβέστιο χρησιμοποιείται π.χ. στην καλλιέργεια μανιταριών ως πάνω στρώση στο χώμα στο οποίο αναπτύσσονται.

Η βασική χρήση του λειοτριβημένου ασβεστόλιθου (γεωργικός ασβέστης, Ag lime, agriculture lime) στη γεωργία συμβάλλει στην αύξηση του pH σε όξινα εδάφη και τη μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου (ελεύθερου ιόντος) αργιλίου ( $Al^{3+}$ ) στο έδαφος.

Το διαλυτό ( $Al^{3+}$ ) θεωρείται τοξικό σε μεγάλο βαθμό για το ριζικό σύστημα πολλών φυτών, με αποτέλεσμα την κακή ανάπτυξη των καλλιεργειών σε όξινα εδάφη. Ο λειοτριβημένος ασβεστόλιθος θα έχει ως συνέπεια τη μείωση του διαλυτού  $Al^{3+}$  μέσω δύο αντιδράσεων:



Η προσθήκη του γεωργικού ασβέστη στο έδαφος προσφέρει ακόμα πολύτιμα ιόντα  $Ca^{2+}$  (και, ενδεχομένως,  $Mg^{2+}$ ) για τη θρέψη των φυτών. Παρακάτω αναφέρονται κάποια δευτερεύοντα οφέλη της εξουδετέρωσης της οξύτητας του εδάφους με χρήση γεωργικού ασβέστη:

- Η αυξημένη διαθεσιμότητα σε φωσφόρο (P)
- Η βελτιωμένη απορρόφηση αζώτου (N) από τα λαχανικά
- Η καλύτερη χρήση του νερού, η αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών και η καλύτερη ανάπτυξη των φυτών (απόδοση καλλιεργειών) λόγω υγιέστερου ριζικού συστήματος.<sup>35</sup>

Ο προσδιορισμός της ποσότητας του «γεωργικού» ασβεστόλιθου που απαιτείται για επιθυμητό pH στο χώμα μπορεί να γίνει εύκολα στο εργαστήριο. Ο λειοτριβημένος

---

<sup>35</sup> Κοκκινάκης Α. “Μαγματικά πετρώματα”. Αθήνα, 1996

ασβεστόλιθος πρέπει να «απλωθεί» ομοιόμορφα στο έδαφος και στη συνέχεια να αναμειχθεί με το χώμα με αναμόχλευση στη ζώνη των ριζών. Η εξουδετέρωση της οξύτητας του εδάφους δεν είναι μια απλή διαδικασία που αποτελείται από ένα μόνο στάδιο, αλλά απαιτείται η περιοδική επανάληψή της, ανάλογα με το έδαφος και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο ρυθμός προσθήκης ασβεστολίθου μετράται σε τόνους ανά στρέμμα.

Είναι αρκετά τα ανθρακικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως γεωργικός ασβέστης. Η εξόρυξη του ασβεστόλιθου γίνεται στα λατομεία ή ορυχεία και για τη χρήση του συνήθως απαιτείται μηχανική ελάττωση μεγέθους (θραύση-λειοτριβήση). Για να καθοριστεί το πόσο γρήγορα αντιδρά και εξουδετερώνει την οξύτητα του εδάφους, η λεπτότητά του παίζει σημαντικό ρόλο. Η αντίδραση του λειοτριβημένου ασβεστόλιθου μικρότερου μεγέθους τεμαχιδίων είναι γρήγορη, καθώς υπάρχει μεγαλύτερη ελεύθερη (ειδική) επιφάνεια για χημική αντίδραση με τις διάφορες ενώσεις. Η αντίδραση των μεγαλύτερων τεμαχιδίων είναι πιο αργή, αλλά δρουν ως μια σταθερή, μακροπρόθεσμη πηγή εξουδετέρωσης της οξύτητας του εδάφους. Συνήθως στην ετικέτα του προϊόντος γίνεται αναφορά της μέτρησης της κατανομής του μεγέθους των τεμαχιδίων.

Άλλα υλικά (προσμίξεις) στο «γεωργικό» ασβεστόλιθο, όπως η άργιλος, συνεπάγονται μείωση της καθαρότητάς του και της ικανότητας εξουδετέρωσης οξέων. Η αποτελεσματικότητα του γεωργικού ασβέστη κρίνεται σε σύγκριση με αυτή του καθαρού ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ), μια τιμή που εκφράζεται ως το ποσοστό ισοδύναμου ανθρακικού ασβεστίου (CCE).. Η ανίχνευση της παρουσίας του  $\text{CaCO}_3$  στο έδαφος γίνεται λόγω του αναβρασμού που δημιουργείται με την προσθήκη μίας σταγόνας ισχυρού οξέος (π.χ. υδροχλωρίου). Ο λεπτομερής ασβεστόλιθος είναι πιο διαλυτός σε όξινα εδάφη απ' ό,τι σε ουδέτερα ή αλκαλικά εδάφη.<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> Μιχαλόπουλος Αλ., 2019 Εκχύλιση σε Στήλες Νικελιούχων Λατεριτικών Μεταλλευμάτων – Διπλωματική Εργασία – Πολυτεχνείο Κρήτης Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

### **2.2.3 Ζωοτροφές**

Το ανθρακικό ασβέστιο προστίθεται στις ζωοτροφές ως αντιοξειδωτικό και ως συμπλήρωμα ασβεστίου. Η υψηλή ποιότητα ασβεστόλιθου σε συνδυασμό με χαμηλά επίπεδα αδιάλυτων ενώσεων οξέων αποτελεί ουσιαστικό συστατικό των ζωοτροφών για πουλερικά, χοίρους και βοοειδή. Όσον αφορά τα πουλερικά βοηθά στην ενίσχυση των κελύφων για τη σωστή παραγωγή αυγών.

### **2.2.4 Πληρωτικό της Ασφάλτου**

Η άσφαλτος είναι ένα μίγμα άμμου και αδρανών πληρωτικών, τα οποία χρησιμοποιούνται στην κατασκευή και επιδιόρθωση δρόμων (οδοστρωμάτων), χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων και πεζοδρομίων. Τα ασβεστολιθικά αδρανή είναι το πληρωτικό υλικό των ασφαλτομιγμάτων.

### **2.2.5 Εξουδετέρωση Όξινων Νερών στον Κλάδο της Μεταλλουργίας**

Η μεταλλευτική, η μεταλλουργική και γενικότερα η βιομηχανική δραστηριότητα προκαλούν σημαντική επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Η δημιουργία όξινων αποβλήτων τα οποία ρυπαίνουν μεγάλες εκτάσεις εδαφών καθώς και τόσο τα επιφανειακά όσο και τα υπόγεια υδάτινα συστήματα αποτελεί μια από τις σημαντικότερες αρνητικές επιδράσεις. Την όξινη απορροή χαρακτηρίζουν ιδιαίτερα χαμηλές τιμές pH και υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων βαρέων και τοξικών μετάλλων, όπως επίσης και θεϊκών ιόντων. Ωστόσο, η εκμετάλλευση μεταλλείων μεικτών θειούχων, ανθρακωρυχείων και λιγνιτωρυχείων και η μεταλλουργική επεξεργασία μεταλλευμάτων που αποτελούν τη βασικότερη παραγωγή μετάλλων όπως ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος, προκαλεί το φαινόμενο της όξινης απορροής το οποίο αποτελεί σήμερα ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντολογικά προβλήματα.

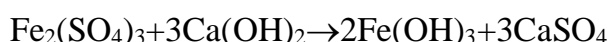
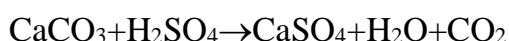
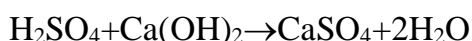
Για την εξουδετέρωση της όξινης απορροής χρησιμοποιούνται κυρίως η ανθρακική σόδα, η καυστική σόδα, το υδροξείδιο του μαγνησίου και η άσβεστος. Χρήση της ασβέστου γίνεται για την αντιμετώπιση του θεικού οξέος και στην κατακρήμνιση των

αλάτων του σιδήρου από τα απόβλητα της μεταλλουργίας και της χαλυβουργίας. Επιπλέον γίνεται χρήση της στις εγκαταστάσεις επιμεταλλώσεων για την εξουδετέρωση και κατακρήμνιση τοξικών κυανιούχων αλάτων καθώς και χρωμίου και του χαλκού από τα απόβλητα.

Η άσβεστος (άνυδρη και υδράσβεστος) υψηλής καθαρότητας, είτε δολομιτική άσβεστος, είτε ανθρακικό ασβέστιο (αν και με μικρότερη ικανότητα εξουδετέρωσης) χρησιμοποιείται στις πιο πολλές από τις παραπάνω εφαρμογές, ιδιαίτερα στην αντιμετώπιση της όξινης απορροής θειούχων μεταλλευμάτων. Σε πολλές περιπτώσεις παρατηρείται και η χρήση άλλων μέσων εξουδετέρωσης με πιο σημαντικά από αυτά την καυστική σόδα (NaOH) και την ανθρακική σόδα (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Ο προσδιορισμός του πιο αποτελεσματικού αλλά παράλληλα και οικονομικού μέσου γίνεται με βάση τους παρακάτω παράγοντες:

- Το κόστος του μέσου ανά τόνο του προς εξουδετέρωση υλικού.
- Το απαιτούμενο ποσοστό σε αλκάλια ανά τόνο του προς εξουδετέρωση υλικού.
- Την ικανότητα αντίδρασης του μέσου και το χρόνο της αντίδρασης αυτής.
- Τον όγκο και την τελική διάθεση των αποβλήτων.

Σε σύγκριση με τα υπόλοιπα αντιδραστήρια η άσβεστος αποτελεί το πιο οικονομικό υλικό και αυτό το οποίο ανταποκρίνεται καλύτερα στις απαιτήσεις σε αλκάλια. Επίσης η μικρή τιμή του συνόλου των διαλυμένων στερεών καθώς και ο όγκος των προϊόντων που παράγονται μετά τη διαδικασία της ουδετεροποίησης τα οποία προκύπτουν από την χρήση της ασβέστου, αποτελούν πολύ σημαντικές παραμέτρους. Το μόνο μειονέκτημα της ασβέστου είναι ο χρόνος αντίδρασης με τα διάφορα οξέα, όπου εκεί η καυστική σόδα (NaOH) υπερισχύει. Στις μονάδες εξουδετέρωσης όξινων απορροών είναι οι εξής αντιδράσεις καταβύθισης και οξείδωσης του Fe<sup>2+</sup> προς Fe<sup>3+</sup>.<sup>37</sup>



<sup>37</sup> Πηγή: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S001273532014000400009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S001273532014000400009)

### 2.2.6 Βιομηχανία Γυαλιού

Ο ασβεστόλιθος (ανθρακικό ασβέστιο) αποτελεί ένα από τα βασικά συστατικά της παρασκευής γυαλιού. Η βασική δράση του είναι η προσθήκη οξειδίου του ασβεστίου στην παραγωγή του γυαλιού με στόχο την αύξηση της ανθεκτικότητας και της αντοχής στη φθορά από τα χημικά.

Κατά τη θέρμανση του ασβέστη με χαλαζιακή άμμο ( $\text{SiO}_2$ ) και ανθρακικό νάτριο ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), δημιουργείται ένα διάλυμα το οποίο δεν «κρυσταλλώνεται» όταν ψύχεται. Αντιθέτως, σκληραίνει με αποτέλεσμα ένα άμορφο, διαυγές και σχεδόν άχρωμο στερεό, δηλαδή το γυαλί.

Καθώς πρόκειται για μίγμα και όχι καθαρή ένωση, το γυαλί δεν έχει συγκεκριμένο σημείο τήξης. Κατά συνέπεια, καθώς θερμαίνεται μαλακώνει σταδιακά. Έτσι, μπορεί να χυτευθεί και να μορφοποιηθεί εύκολα<sup>38</sup>.

**Πίνακας 8** Πρώτες ύλες παραγωγής γυαλιού και ο λόγος χρήσης τους<sup>39</sup>

Υλικό	Σύσταση, %	Λόγος Προσθήκης
Χαλαζιακή άμμος	72.6	-
Σόδα σκόνη	13.0	Βελτιώνει την ευτηκτότητα
Ασβεστόλιθος	8.4	Διάρκεια
Δολομίτης	4.0	Καλύτερη εργασιμότητα
Αλουμίνιο	1.0	-
Λοιπά	1.0	-

<sup>38</sup> Βούρδας Δ., (2019) Η Χρήση του Ασβεστόλιθου σε Βιομηχανικές και Άλλες Εφαρμογές. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Διπλωματική Εργασία Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

<sup>39</sup> Πηγή : <https://www.pilkington.com/en/global/about/education/the-float-process/rawmaterials>

### 2.2.7. Υπόστρωμα στις Μοκέτες

Ακόμη ο ασβεστόλιθος αποτελεί σημαντικό πληρωτικό για την ενίσχυση του κάτω μέρους και του latex των χαλιών και των μοκετών. Τα υποστρώματα latex στις μοκέτες, είναι αυτά που συγκρατούν τις ίνες στη θέση τους και προσφέρουν μεγάλο βαθμό ελαστικότητας και ακαμψίας.

## 2.3 Περιβαλλοντικές Χρήσεις της Άσβεστου

### 2.3.1 Επεξεργασία νερού

Η ποιότητα του νερού που προορίζεται για ύδρευση επηρεάζεται κυρίως από δυο παράγοντες, τη σκληρότητα και την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών. Η σκληρότητα διακρίνεται σε παροδική και μόνιμη. Η παροδική σκληρότητα οφείλεται στα όξινα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου  $[Ca(HCO_3)_2]$  και του μαγνησίου  $[Mg(HCO_3)_2]$ . Η διαδικασία της απομάκρυνσης της σκληρότητας από το νερό ονομάζεται αποσκλήρυνση του νερού. Η αντιστοιχία σε ανθρακικό ασβέστιο, των περιεχομένων αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου καθορίζουν τη σκληρότητα. Αυτό σημαίνει ότι πρώτα υπολογίζεται η περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ ) και μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ) και ύστερα καθορίζεται η αντιστοιχία της ποσότητας ανθρακικού ασβεστίου στις ποσότητες που υπολογίστηκαν.

Κατά την αποσκλήρυνση του νερού απομακρύνεται η παροδική σκληρότητα μέσω της ασβέστου. Σε περίπτωση ύπαρξης μόνο παροδικής σκληρότητας, γίνεται χρήση μόνο ασβέστου. Ωστόσο, συνήθως υφίσταται και μόνιμη σκληρότητα και σε αυτή την περίπτωση η διαδικασία αποσκλήρυνσης γίνεται με τη χρήση ασβέστου και ανθρακικού νατρίου.

Όπως λοιπόν προαναφέρθηκε, το ανθρακικό νάτριο χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση της μόνιμης σκληρότητας. Αξίζει ωστόσο να αναφερθεί ότι σε πολλές εγκαταστάσεις ο ζεόλιθος αντικαθιστά το ανθρακικό νάτριο, καθώς το ακατέργαστο υλικό που χρησιμοποιείται για την αναγέννηση του ζεόλιθου (που είναι το αλάτι),

είναι πολύ πιο οικονομικό. Η διαδικασία αυτή απαντάται στη βιβλιογραφία με τον όρο «split lime – zeolite treatment»<sup>40</sup>.

Οι χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά την προσθήκη ασβέστου σε νερά που χαρακτηρίζονται «σκληρά», είναι οι παρακάτω:



Από την επεξεργασία του νερού με άσβεστο, παράγεται σε μεγάλες ποσότητες ένα αδιάλυτο καθίζημα που είναι επιδεκτικό στο φιλτράρισμα, το ανθρακικό ασβέστιο. Στις μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού ο όγκος του αδιάλυτου μέσου είναι τέτοιος που αρκετές φορές παρουσιάζονται προβλήματα διάθεσής του. Επειδή αυτή η ένωση είναι πλούσια σε ασβέστιο, χρησιμοποιείται πολλές φορές από αγρότες για εμπλουτισμό των καλλιεργήσιμων εδαφών. Βιομηχανικές μονάδες και μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, χρησιμοποιούν επίσης το ανωτέρω παραγόμενο ανθρακικό ασβέστιο στις διαδικασίες ουδετεροποίησης των αποβλήτων τους<sup>41</sup>.

Η ποσότητα προσθήκης ασβέστου στο νερό για τη διαδικασία της αποσκλήρυνσης κυμαίνεται μεταξύ 150 – 450 mg/L, μειώνοντας έτσι την ολική σκληρότητα σε επίπεδα που κυμαίνονται στα 50 – 100 mg/L, εκπεφρασμένη σε συγκέντρωση  $\text{CaCO}_3$ . Προσθέτοντας περίσσεια ασβέστου σε δεξαμενές κατακράτησης για χρονικό διάστημα από 24 έως 48 ώρες, είναι πιθανό, σε συνδυασμό με την ελάττωση της σκληρότητας, να επιτευχθεί και καθαρισμός του νερού από διάφορα παθογόνα βακτήρια και ενώσεις. Έχει αποδειχθεί ότι η υψηλή τιμή του pH, συνήθως >11, που παράγεται από την προσθήκη ασβέστου θανατώνει τους περισσότερους τύπους βακτηρίων.

---

<sup>40</sup> Boynton R. S. 1980. Chemistry and Technology of Limestone, 2nd ed. N. York, Wiley & Sons.

<sup>41</sup> Bergman R.A. 1995. Membrane softening versus lime softening in Florida: A cost comparison update. Desalination 102 (1995) 11 –24.

Σημαντικός αριθμός εργασιών αναφέρει τη συμβολή της ασβέστου στην εξάλειψη των παθογόνων μικροοργανισμών. Η προσθήκη ασβέστου μειώνει το παθογόνο μικροβιακό φορτίο τόσο με τις υψηλές τιμές του pH που μπορούν να επιτευχθούν, όσο και με την αύξηση της θερμοκρασίας που μπορεί να φτάσει μέχρι και τους 80 °C, από τη σβέση της άνυδρης ασβέστου. Σε περιοχές του τρίτου κόσμου είναι συνήθης η προσθήκη ασβέστου στο νερό σε περιπτώσεις της μολυσματικής νόσου ηπατίτιδας, με στόχο την αποφυγή εξάπλωσης της επιδημίας. Μετά την παρακράτηση αυτών των οργανισμών, το νερό ενανθρακώνεται με CO<sub>2</sub> κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την καθίζηση περίσσειας ασβέστου και την ελάττωση της τιμής του pH μεταξύ 8 και 9.<sup>42</sup>

### 2.3.2 Επεξεργασία Λυμάτων

Τα νερά επηρεάζονται από ρύπους που καταλήγουν σε αυτά λόγω διάθεσης απορριμμάτων ή λυμάτων, καθώς και από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους που φτάνουν άμεσα ή έμμεσα σε αυτά. Μέχρι σήμερα έχουν δοκιμασθεί με διαφορετικό βαθμό επιτυχίας διάφορες τεχνικές, με τις οποίες αντιμετωπίζεται ο καθαρισμός των λυμάτων. Οι τεχνικές αυτές στοχεύουν στην απομάκρυνση των επιβαρυντικών και επιβλαβών στοιχείων, τα οποία διακρίνονται στις εξής κύριες ομάδες: αιωρούμενα στερεά, οργανικές ουσίες, φωσφορικές ενώσεις, ενώσεις του αζώτου, παθογόνοι μικροοργανισμοί, άλατα και βαρέα μέταλλα. Οι παράμετροι, που επιβαρύνουν και υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού λόγω διάθεσης αστικών λυμάτων, διαχωρίζονται σε φυσικές (οσμές, θολότητα κ.λ.π.), χημικές (αζωτούχες μεγαλομοριακές ενώσεις που εύκολα διασπώνται σε αμινοξέα, λιπαρά και αρωματικά οξέα, H<sub>2</sub>S και ενώσεις θείου και φωσφόρου) και μικροβιολογικές (π.χ. σαλμονέλα, δονάκιο της χολέρας, διάφοροι ιοί όπως ηπατίτιδα, καθώς και εντερικά παράσιτα),<sup>43</sup>.

Πολύ πριν την εξέλιξη των μεθόδων βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων, η άσβεστος χρησιμοποιείτο στην εξουδετέρωση της δυσοσμίας των λυμάτων. Για μακρύ χρονικό διάστημα η χημική επεξεργασία λυμάτων με άσβεστο εφαρμόσθηκε ως μία αξιόπιστη

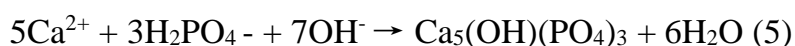
<sup>42</sup> Khawaji A.D. & Wie J.M. Potabilization of desalinated water at Madinat Yanbu Al-Sinaiyah. Desalination vol. 98, Issues 1-3, 1994, pp. 135 – 146.

<sup>43</sup> Tsimas S. Velonakis E.N., & Leontzakos M. 1998. Study of use of lime in wastewater treatment plants. The case of Psittalia. Tech. Chron. Sci. J. TCG, V, No 1- 2.

εναλλακτική λύση του βιολογικού καθαρισμού. Η εμπειρική αντιμετώπιση παρόμοιας φύσεως προβλημάτων με ασβέστο έχει σήμερα τεκμηριωθεί με πολλές δημοσιεύσεις και ανακοινώσεις σε διεθνή συνέδρια. Η χρήση της ασβέστου είτε με τη μορφή του οξειδίου, είτε του υδροξειδίου του ασβεστίου, επιφέρει σε όλα τα στάδια ενός βιολογικού καθαρισμού, τόσο πριν τη συμπύκνωση των υγρών λυμάτων όσο και στην παραγόμενη λάσπη, εντυπωσιακά αποτελέσματα. Τούτο βασίζεται στη χημική της συμπεριφορά και πιο συγκεκριμένα στο ότι αυτή<sup>44</sup>:

- Συντελεί στην κατακρήμνιση πολλών ρύπων (όπως φωσφορικά άλατα και βαρέα μέταλλα), οι οποίοι συμπαρασύρονται με τον τρόπο αυτό στη λάσπη.
- Δρα ως ένα πολύ καλό κροκιδωτικό συντελώντας με τον τρόπο αυτό στον εγκλωβισμό αιωρούμενων ρύπων προς ταχέως καθιζάνοντα στερεά, των οποίων η απομάκρυνση είναι ευχερής.
- Παρέχει τη δυνατότητα ρυθμίσεως του pH.
- Εξουδετερώνει την οξύτητα των λυμάτων.
- Αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη μείωση της οσμής και των παθογόνων οργανισμών.

Οι Schmid & McKinney<sup>45</sup>, εξήγαγαν το συμπέρασμα ότι με την προσθήκη 150 mg CaO ανά λίτρο ανεπεξέργαστων λυμάτων, επιτυγχάνεται απομάκρυνση 80% του φωσφόρου, 60% του BOD και 90% των αιωρούμενων στερεών. Ο κυριότερος αντικειμενικός σκοπός της χημικής επεξεργασίας των λυμάτων είναι η ανάγκη της απαλλαγής από τις φωσφορικές ενώσεις, ώστε να αποφευχθεί ο ευτροφισμός. Η αντίδραση, που δείχνει τη σχετική δράση της ασβέστου στα ακατέργαστα λύματα, είναι η εξής:



Κατά τον πρωτογενή καθαρισμό και με προσθήκη ασβέστου στα λύματα για επίτευξη pH ίσο με 10 τα BOD και COD δύνανται να μειωθούν κατά 60% σύμφωνα με τον Bernhoff σε σχέση με το 30-35% που μειώνονται, όταν χρησιμοποιηθούν άλλες

<sup>44</sup> Boyd A.K. 1988. Sludge treatment before chamber filter presses, Boston, U.S.A, Umwelt, (20) 533 – 535pp.

<sup>45</sup> Schmid L.A. & McKinney R.E. 1985. Waste water treatment. J. Environmental Eng., 111(4), pp. 460 – 471.

τεχνικές. Εξάλλου, η προσθήκη ασβέστου αποκλειστικά ή σε συνδυασμό με χλωριούχο σίδηρο καθιστά δυνατή την αφυδάτωση των πυκνόρρευστων ιλύων και υποβοηθείται με τον τρόπο αυτό η διήθηση της λάσπης, που προκύπτει από την επεξεργασία των λυμάτων, ενώ παράλληλα παράγεται ένα προϊόν με επαρκώς υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά, ώστε να είναι δυνατή η μεταφορά τους σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις για τελική διάθεση.



**Εικόνα 17.** Επεξεργασία λυμάτων-Πυκνωτής

Όσον αφορά στους παθογόνους μικροοργανισμούς που περιέχει η λάσπη, η επίδραση της χρήσης ασβέστου είναι θετική. Η αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από 70 °C ή/και η παράλληλη αύξηση του  $\text{pH} > 12$  που συνεπάγεται η χρήση ασβέστου, είναι δυνατόν να προκαλέσει σημαντική καταστροφή παρασίτων. Ειδικότερα, σε  $\text{pH} = 12,5$  χρησιμοποιώντας ως μέσο σταθεροποίησης της λάσπης άσβεστο, διαπίστωσαν καταστροφή του ανθεκτικού στο περιβάλλον κοπρανώδους προελεύσεως στρεπτόκοκκου<sup>46</sup>..

<sup>46</sup> Φιλιππίδης Α. 2002, Εφαρμοσμένη και περιβαλλοντική γεωχημεία, Α.Π.Θ.

Οι Tsimas et al. (1998)<sup>47</sup>, μελέτησαν την συμβολή της ασβέστου στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων στο Κέντρο ελέγχου της Ψυτάλλειας. Σε δείγματα που προέρχονταν από το Κέντρο Λυμάτων, πραγματοποιήθηκε προσθήκη ασβέστου και υδρασβέστου στα προσαγόμενα λύματα, στα ύδατα που απορρίπτονται στη θάλασσα μετά τον καθαρισμό που υφίστανται, καθώς και στη λάσπη που προκύπτει. Οι έλεγχοι δεν περιελάμβαναν μόνο χημικούς ρύπους, αλλά επεκτάθηκαν σε μια σειρά μικροβιολογικών προσδιορισμών. Σε όλες τις περιπτώσεις, η προσθήκη ασβέστου δεικνύει θεαματική μείωση τόσο των χημικών ρύπων όσο και των παθογόνων μικροοργανισμών. Ειδικότερα για τη λάσπη, που προκύπτει μετά την εφαρμογή οποιασδήποτε μεθοδολογίας για την επεξεργασία των λυμάτων, αποδεικνύεται ότι η προσθήκη CaO είχε θετικότερα αποτελέσματα: α) λόγω των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τη σβέση του οξειδίου του ασβεστίου και συντείνουν στην περαιτέρω μείωση των παθογόνων οργανισμών και β) λόγω της κοκκώδους μορφής που παίρνει το υλικό, το οποίο μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό.

### 2.3.3 Εξουδετέρωση Οξέων

Η εξουδετέρωση, ή ουδετεροποίηση της όξινης απορροής έχει ως πρωταρχικό στόχο την αύξηση του pH, χρησιμοποιώντας μια αλκαλική ουσία. Η ανθρακική σόδα, το υδροξείδιο του μαγνησίου, η καυστική σόδα και η άσβεστος είναι τα κυριότερα μέσα που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της όξινης απορροής. Η άσβεστος χρησιμοποιείται στην εξουδετέρωση του θεικού οξέος και στην κατακρήμνιση των αλάτων του σιδήρου από τα απόβλητα της μεταλλουργίας και της χαλυβουργίας. Στις εγκαταστάσεις επιμεταλλώσεων, καταναλώνεται για την εξουδετέρωση και κατακρήμνιση των τοξικών κυανιούχων αλάτων, των οξέων του χρωμίου και του χαλκού από τα απόβλητα. Στις περισσότερες από τις προαναφερθείσες χρήσεις και κυρίως στην επεξεργασία της όξινης απορροής θειούχων μεταλλευμάτων, χρησιμοποιείται είτε άσβεστος (άνυδρη ή υδράσβεστος) υψηλής καθαρότητας, είτε δολομιτική άσβεστος ή ανθρακικό ασβέστιο με το τελευταίο να παρουσιάζει αρκετά χαμηλότερη ικανότητα εξουδετέρωσης. Σε αρκετές περιπτώσεις έχει αναφερθεί η

---

<sup>47</sup> Tsimas S. Velonakis E.N., & Leontzakos M. 1998. Study of use of lime in wastewater treatment plants. The case of Psittalia. Tech. Chron. Sci. J. TCG, V, No 1- 2.

χρήση και άλλων μέσων εξουδετέρωσης. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι η καυστική ( $\text{NaOH}$ ) και η ανθρακική σόδα ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Ο προσδιορισμός του πιο αποτελεσματικού, αλλά και οικονομικού από τα παραπάνω μέσα είναι μια διαδικασία που εξαρτάται κυρίως από παράγοντες όπως :

ο κόστος του μέσου, ανά τόνο του προς εξουδετέρωση υλικού.

- Το απαιτούμενο ποσοστό σε αλκάλια, ανά τόνο του προς εξουδετέρωση υλικού.
- Την ικανότητα αντίδρασης του μέσου και το χρόνο αυτής.
- Τον όγκο και την τελική διάθεση των αποβλήτων.

Η σύγκριση της ασβέστου με τα υπόλοιπα αντιδραστήρια την κατατάσσει ως το πιο οικονομικό υλικό και αυτό που εξυπηρετεί καλύτερα τις απαιτήσεις σε αλκάλια. Επίσης πολύ σημαντική παράμετρος είναι τόσο η μικρή τιμή του συνόλου των διαλυμένων στερεών, όσο και ο μικρός όγκος των παραγόμενων μετά την διαδικασία εξουδετέρωσης προϊόντων, που προκύπτουν από τη χρήση ασβέστου. Η ασβεστος υστερεί μόνο ως προς το χρόνο της αντίδρασης με τα διάφορα οξέα, όπου εκεί υπερσχύει η καυστική σόδα.

#### **2.3.4 Αποθείωση των Καπναερίων**

Ο σπουδαιότερος ρόλος της ασβέστου στην προστασία του περιβάλλοντος και πιο ειδικά στην μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είναι η δυνατότητα αποθείωσης αερίων εκπομπών που προέρχονται από την καύση γαιανθράκων, αλλά και προϊόντων του πετρελαίου με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Η συμβολή της ασβέστου έγκειται στη δυνατότητα απομάκρυνσης των επιβλαβών για το περιβάλλον όξινων αερίων του  $\text{SO}_2$ , αλλά και δευτερευόντως του  $\text{HCl}$  από τα αέρια των καπναγωγών.

Το κομμάτι αυτό της αγοράς προϊόντων ασβέστου για την προστασία του περιβάλλοντος είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένο στις Η.Π.Α, λόγω και της νομοθεσίας για την προστασία της ατμόσφαιρας από τις εκπομπές ρύπων (Clean Air Act) που στις αρχές της δεκαετίας του 1990 εκτόξευσε στα ύψη την κατανάλωση ασβέστου με την

ανάπτυξη της τεχνικής της αποθείωσης των καπναερίων. Ενώ μέχρι και το 2000 η τεχνική δεν ήταν τόσο ευρέως διαδεδομένη στην Ευρώπη τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί.<sup>48</sup>

Υπάρχουν δυο κύριες μέθοδοι για την αποθείωση των καπναερίων. Η άνυδρη και η ένυδρη. Η ένυδρη μέθοδος καθαρισμού είναι παγκοσμίως πιο διαδεδομένη. Σε σύνολο 678 συστημάτων αποθείωσης καπναερίων σε όλο τον κόσμο, το 79% αυτών χρησιμοποιούν την ένυδρη μέθοδο καθαρισμού με άσβεστο. Το 18% των μονάδων λειτουργούν με τη άνυδρη (ξηρή) μέθοδο καθαρισμού, και το υπόλοιπο μικρό ποσοστό χρησιμοποιεί άλλες διαδικασίες απορρόφησης των αερίων (IEA Coal Research 1988). Στην ένυδρη τεχνική η αποθείωση επιτυγχάνεται με την επαναλαμβανόμενη κυκλοφορία ενός υδαρούς διαλύματος ασβέστου ή ασβεστόλιθου ή και των δύο μαζί, σε ένα πύργο (δοχείο – σιλό) απορρόφησης, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη επαφή με τα καπναέρια.

Τα προς καθαρισμό αέρια εισχωρούν στη βάση του πύργου και κινούνται ανοδικά διαμέσου των σταγονιδίων του υδαρούς διαλύματος που ψεκάζεται μέσα στον πύργο (Εικόνα 18). Το SO<sub>2</sub> απορροφάται από το διάλυμα και στη συνέχεια κατακρημνίζεται ως υγρό CaSO<sub>3</sub>, ενώ το καθαρισμένο αέριο εξέρχεται από την κορυφή του πύργου. Το άλας αυτό μπορεί να μετατραπεί σε γύψο (CaSO<sub>4</sub>), η οποία μπορεί ως παραπροϊόν της διαδικασίας, να χρησιμοποιηθεί στην τσιμεντοβιομηχανία ή σε αγροτικές καλλιέργειες ως βελτιωτικό του εδάφους. Στη τεχνική αυτή που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην αποθείωση καυσίμων υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, η άσβεστος ενισχύεται σε ένα ποσοστό 3 έως 5% και από δολομιτική άσβεστο (MgO). Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται η αλκαλικότητα, άρα και η ικανότητα απομάκρυνσης του SO<sub>2</sub>.

Υπάρχει μια διαμάχη ως προς την επιλογή της χρήσης ασβεστόλιθου ή ασβέστου στην τεχνική του ένυδρου καθαρισμού των καπναερίων. Η χαμηλότερη αξία του ασβεστόλιθου έναντι της ασβέστου αποτελεί ένα κριτήριο. Ωστόσο, ο κυριότερος λόγος για τη χρησιμοποίηση ασβεστόλιθου ως μέσο καθαρισμού είναι άλλος. Στα συστήματα αυτά η εισαγωγή αέρα στο διάλυμα μπορεί να οδηγήσει σε οξείδωση σε ποσοστό μέχρι και 100% του CaSO<sub>3</sub> σε CaSO<sub>4</sub>. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται σε

---

<sup>48</sup> Johnson P. 2003. Lime, toxic crusader, Industrial Minerals, Issue 427, 60 – 62pp

μεγάλο ποσοστό η δημιουργία επικαθήσεων αλάτων στα συστήματα καθαρισμού και ταυτόχρονα παράγεται ένα ομοιογενές διάλυμα που αφυδατώνεται πιο εύκολα. Η μέθοδος αυτή απαντάται στη βιβλιογραφία με τον όρο LSFO (Limestone Forced Oxidation).<sup>49</sup>

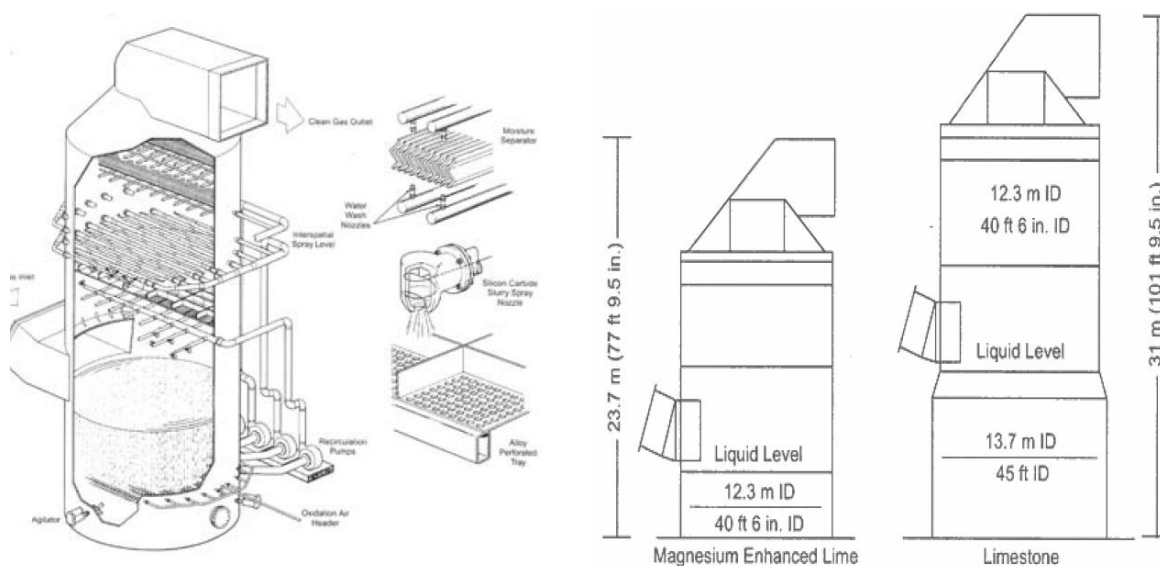


**Εικόνα 18.** Αποθείωση καπναερίων<sup>49</sup>

Από την άλλη πλευρά όμως η χρήση της ασβέστου παρουσιάζει μεγαλύτερα πλεονεκτήματα. Τα συστήματα αυτά, ειδικά με τη χρήση και ποσοστού δολομιτικής ασβέστου, (Magnesium Enhanced Lime, systems), επιτυγχάνουν αποθείωση των καπναερίων σε ποσοστό μέχρι και 98%, ακόμα και αυτών που παράγονται από καύση γαιανθράκων που περιέχουν 3 έως 4% θείο. Με τη χρήση ασβεστόλιθου το ποσοστό αποθείωσης δεν ξεπερνά το 95%. Επίσης, τόσο το μέγεθος του εξοπλισμού (πύργοι καθαρισμού) όσο και της ποσότητας του προστιθέμενου διαλύματος, είναι στην περίπτωση της ασβέστου πολύ μικρότερο. Τυπικά, αναφέρεται πως για ένα κυβικό μέτρο αερίου καταναλώνεται ποσότητα 3 με 5 λίτρων διαλύματος ασβέστου και 15 λίτρων διαλύματος με ασβεστόλιθο αντίστοιχα. Η σύγκριση είναι προφανής και αντισταθμίζει σε μεγάλο ποσοστό τη διαφορά τιμής μεταξύ των δυο προϊόντων.

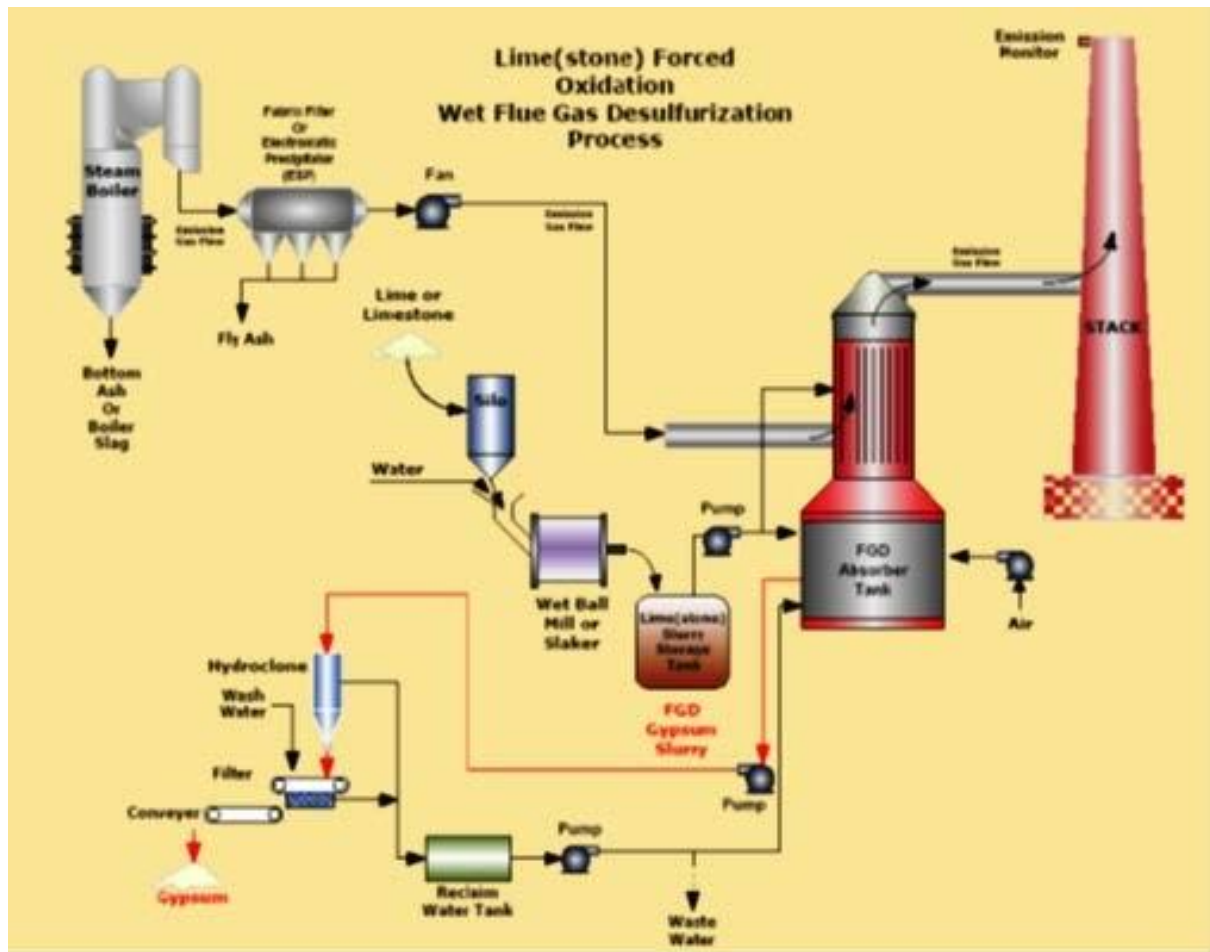
<sup>49</sup> Πηγή: <https://static.thermoscientific.com/images/D01789~.pdf>

Επίσης, η κατανάλωση ενέργειας είναι πολύ μικρότερη στην περίπτωση της ασβέστου, αφού τα συστήματα ασβέστου καταναλώνουν ποσοστό 0.8 – 1.3% από την παραγόμενη ενέργεια των ηλεκτρικών σταθμών, ενώ η χρήση ασβεστόλιθου απαιτεί κατανάλωση που φτάνει και 2.5%. Ακόμη και η γύψος που παράγεται από τις μονάδες που χρησιμοποιούν ασβεστο, είναι πιο καθαρή (σε ποσοστό 97 – 99%) από εκείνη που προκύπτει από τη χρήση ασβεστόλιθου. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, πως τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι πιο πολλά, αφού εξασφαλίζει μεγαλύτερη απόδοση άρα και πιο καθαρή ατμόσφαιρα σε περιοχές που είναι ήδη βεβαρημένες.



**Εικόνα 19.** Σχηματική απόδοση διάταξης που περιλαμβάνει το βασικό εξοπλισμό ενός πύργου αποθείωσης καπναερίων. Διαστάσεις των πύργων καθαρισμού που χρησιμοποιούν ασβεστο και ασβεστόλιθο σε μια μονάδα παραγωγής ενέργειας<sup>50</sup>.

<sup>50</sup> Καντηράνης, Ν., Φιλιππίδης, Α., Χρηστάρας, Β., Τσιραμπίδης, Α., Κασώλη, Φουρναράκη, Α. (1999), Ο ρόλος της οργανικής ύλης των ανθρακικών πετρωμάτων στη δραστητικότητα της παραγόμενης ασβέστου.



Εικόνα 20. Διάταξη αποθείωσης των καπναερίων με χρήση ασβεστολίθου<sup>51</sup>

<sup>51</sup> Πηγή: <https://www.aaa-usa.org/Portals/9/Files/PDFs/FGDproducts/2- what is FGD Gypsum.pdf>

### 3. Ο ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

#### 3.1 Τσιμέντο

Το τσιμέντο (cement) είναι μία υδραυλική συνδετική ύλη, δηλαδή ένα λεπτότατα αλεσμένο ανόργανο υλικό το οποίο, όταν αναμειχθεί με νερό, σχηματίζει ένα πολτό που πήζει και σκληραίνει δια μέσου αντιδράσεων και μηχανισμών ενυδάτωσης και το οποίο, μετά τη σκλήρυνση, διατηρεί την αντοχή και τη σταθερότητά του ακόμη και μέσα στο νερό.

<sup>52</sup>Η ανάμιξη του τσιμέντου με άμμο και νερό δημιουργεί την κονία του τσιμέντου (cement mortar). Η ανάμιξη του τσιμέντου με άμμο, χαλίκια (σκύρα) και νερό δημιουργεί το σκυρόδεμα ή μπετόν (cement concrete, beton). Ο συνδυασμός του χάλυβα με το σκυρόδεμα ονομάζεται οπλισμένο σκυρόδεμα ή οπλισμένο μπετόν (reinforced concrete, béton armé).<sup>53</sup>

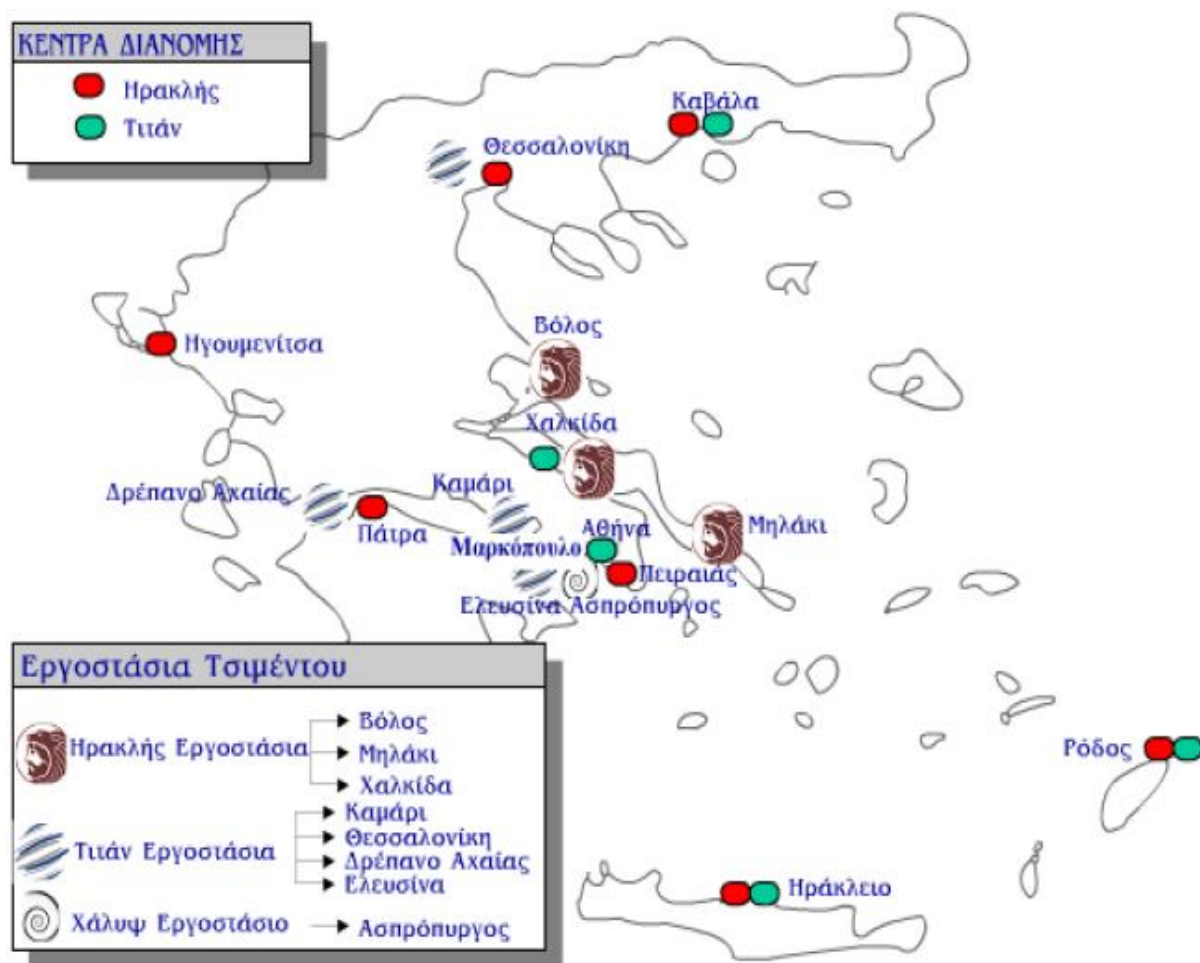
Τα βασικά συστατικά του τσιμέντου από στοιχειακή άποψη είναι το Ca, το Si, το Al και ο Fe.

- Τα στοιχεία αυτά λαμβάνονται από μη μεταλλικές ορυκτές ύλες, όπως ο ασβεστόλιθος, οι ασβεστολιθικές μάργες, οι σχίστες, οι άργιλοι κ.ά.
- Για λόγους αριστοποίησης της ποιότητας ή οικονομικότητας της παραγωγικής διαδικασίας χρησιμοποιούνται και άλλες ύλες όπως βωξίτης, πυριτική άμμος, καολίνη, αποφρύγματα σιδηροπυρίτη

---

<sup>52</sup> Μοροπούλου Α, Λαμπρόπουλος Κ., Τσιμέντο και Σκυρόδεμα – Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ - <https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CHEMENG114/Cement%20and%20Concrete.pdf>

<sup>53</sup> Κουμπούρη Δ., 2015 Παραγωγή Τσιμέντων Μπελιντικού Τύπου με Παράλληλη Αξιοποίηση Βιομηχανικών Προϊόντων - Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστήμιο Πατρών



Εικόνα 21. Κατανομή ελληνικών εργοστασίων παραγωγής τσιμέντου<sup>54</sup>

### 3.2 Η Χρήση των Αδρανών στο Σκυρόδεμα

Τα αδρανή υλικά σκυροδέματος με βάση το μέγεθος και την πηγή λήψης μπορούν να καταταχθούν σε πέντε κατηγορίες, όπως αυτές παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα μαζί με τα κύρια χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας

Πηγή:

[http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement\\_Aggregates\\_Concrete\\_Notes\\_November\\_2018.pdf](http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement_Aggregates_Concrete_Notes_November_2018.pdf) (Τσακαλάκης Κ. Γ., «Τεχνολογία παραγωγής τσιμέντου και σκυροδέματος» Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2018, σελ 350).

- Άμμος Θραυστή: Σύμφωνα με τον ΚΤΣ 97 ως άμμος θραυστή ορίζεται το κλάσμα του θραυστού αδρανούς υλικού το διερχόμενο από το κόσκινο 8 ή το 3/8'' σε ποσοστό 100% και από το κόσκινο Νο4 σε ποσοστό τουλάχιστον 95%. Τα χαρακτηριστικά της θραυστής άμμου σκυροδέματος και οι αντίστοιχες απαιτήσεις αναφέρονται στον ΚΤΣ-97 (άρθρο 4§3) καθώς και στο σχέδιο πρότυπο ΕΛΟΤ 408. Στα έγγραφα αυτά ορίζονται παράλληλα και οι αντίστοιχες μέθοδοι δοκιμών. Στην παράγραφο 1.5 του οδηγού αναγράφονται όλες αυτές οι μέθοδοι ελέγχου και γίνεται συσχέτιση με τις αντίστοιχες Ευρωπαϊκές μεθόδους
- Άμμος Φυσική – Συλλεκτή: Άμμος Φυσική – Συλλεκτή ονομάζεται το κλάσμα του φυσικής απόθεσης το οποίο διέρχεται από το κόσκινο 8 ή το 3/8'' σε ποσοστό 100% και από το κόσκινο Νο4 σε ποσοστό τουλάχιστον 95%.
- Χαλίκι: Στην ελληνική αγορά Χαλίκι θεωρείται το κλάσμα που διέρχεται από το κόσκινο 31,5 ή το 1''
- Γαρμπίλι: Στην ελληνική αγορά, γαρμπίλι θεωρείται το κλάσμα που διέρχεται από το κόσκινο 16 ή το 1/2' και ρυζάκι το κλάσμα που διέρχεται από το 8 ή το 3/8'

Δεδομένου ότι τα αδρανή είναι λιγότερο παραμορφώσιμα σε σχέση με την τσιμεντόπαστα, λόγω των φυσικών ιδιοτήτων τους, αντιστέκονται στην διάδοση και ανάπτυξη των μικρορωγμών που προκαλούνται από την συστολή ξήρανσης. Με τον τρόπο αυτό συμβάλλουν και βελτιώνουν την αντοχή του τσιμεντοπολτού.

Τα αδρανή υλικά θα πρέπει να ικανοποιούν ορισμένες απαιτήσεις για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στο σκυρόδεμα. Η καταλληλότητα των αδρανών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή σκυροδέματος προδιαγράφεται από τις απαιτήσεις του ΕΛΟΤ 408 και του Κ.Τ.Σ. 97/2002, ενώ αντίστοιχα η καταλληλότητα των αδρανών σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές καθορίζεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12620, όπου μας παραπέμπει το EN 206-1.

Η κυριότερη διαφορά ανάμεσα στις ευρωπαϊκές και τις ελληνικές προδιαγραφές έγκειται στο γεγονός ότι οι πρώτες καθορίζουν περιοχές απαιτήσεων που είναι

ανάλογες για τις περισσότερες φυσικές απαιτήσεις και όχι μονοσήμαντα όρια όπως οι δεύτερες π.χ. Los Angeles από 15 - 50, αντίσταση σε τριβή και φθορά από 18 - 32%.

Συγκεκριμένα, τα αδρανή υλικά για το σκυρόδεμα θα πρέπει να αποτελούνται από κόκκους υγιείς, σκληρούς ανθεκτικούς απαλλαγμένους από βλαπτικές αργιλικές προσμίξεις, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν τόσο την ενυδάτωση της τσιμέντου όσο και την πρόσφυση των κόκκων των αδρανών με την τσιμεντόπαστα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η φύση των δεσμών που αναπτύσσονται στην διεπιφάνεια αδρανών και τσιμεντόπαστας, οδηγούν στις μηχανικές αντοχές του σκυροδέματος.



**Εικόνα 15.** Χαλίκι με  $D > 16\text{mm}$

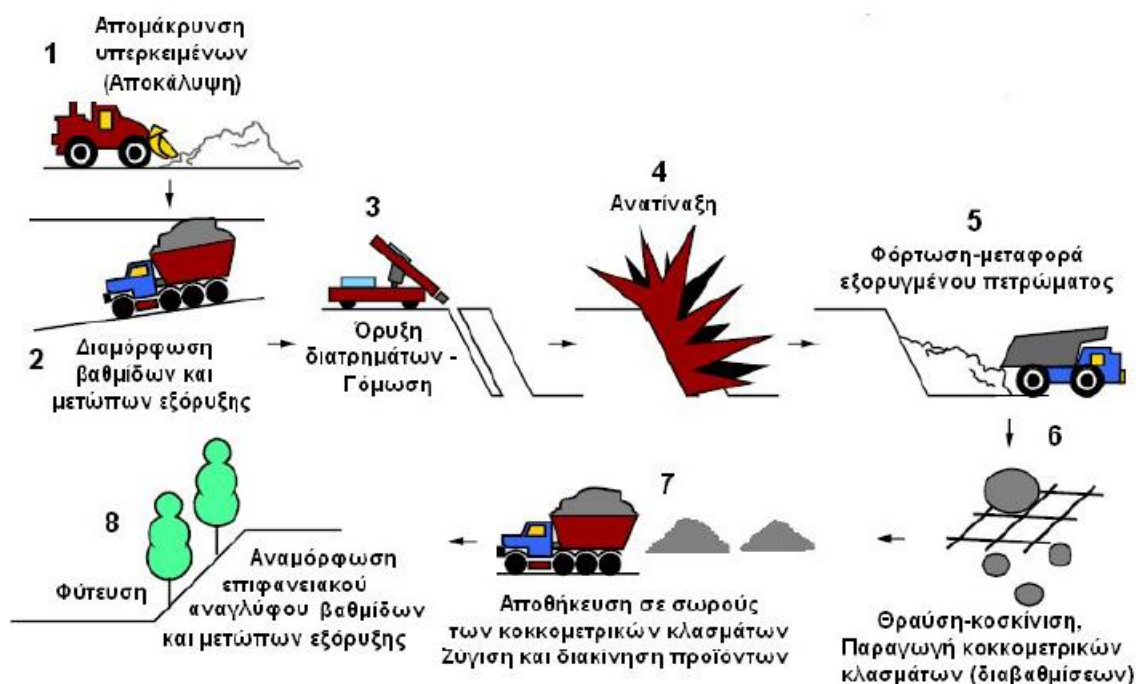
Συνεπώς η εκλογή του αδρανούς είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την σύνθεση και την ποιότητα του σκυροδέματος, ο οποίος πρέπει να εξετάζεται σε συνάρτηση με τις επιδιωκόμενες απαιτήσεις και ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη την ανθεκτικότητα. Τα αδρανή υλικά ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους, διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες.

**Πίνακας 9** Κατηγορίες αδρανών υλικών ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων

Αδρανή με ελάχιστο μέγεθος κόκκου σε mm	Αδρανή με μέγιστο μέγεθος κόκκου σε mm	Συλλεκτά αδρανή	Θραυστά αδρανή
-	0.25	Παιπάλη	Παιπάλη θραυστή
-	1	Λεπτόκοκκη άμμος	Λεπτόκοκκη θραυστή άμμος
1	4	Χονδρόκοκκη άμμος	Χονδρόκοκκη θραυστή άμμος
4	32	Χάλικες	Σκύρα
32	63	Χονδροί χάλικες	Χονδρά σκύρα

### 3.3 Παραγωγική Διαδικασία

Τα αδρανή στην Ελλάδα είναι χημικώς αδρανή τεμάχια ασβεστολιθικών κυρίως πετρωμάτων τα οποία χρησιμοποιούνται στην παραγωγή σκυροδέματος και ως υλικά οδοστρώσας, ενώ τα μεγάλου μεγέθους τεμάχια ως σκύρα σιδηροδρομικών γραμμών. Η ολοκληρωμένη διαδοχή φάσεων παραγωγής αδρανών υλικών δίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Εικόνα 24. Αλληλουχία φάσεων εξόρυξης και παραγωγής αδρανών υλικών<sup>55</sup>

Τα αδρανή παράγονται με τις γνωστές μεθόδους Μηχανικής Προπαρασκευής Πετρωμάτων, δηλαδή πρωτογενή, δευτερογενή, τριτογενή θραύση και ταξινόμηση των προϊόντων κάθε φάσης θραύσης σε δονούμενα κόσκινα για την παραγωγή των διαφόρων κοκκομετρικών κλασμάτων.

<sup>55</sup> Πηγή:

[http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement\\_Aggregates\\_Concrete\\_Notes\\_November\\_2018.pdf](http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement_Aggregates_Concrete_Notes_November_2018.pdf) (Τσακαλάκης Κ. Γ., «Τεχνολογία παραγωγής τσιμέντου και σκυροδέματος» Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2018, σελ 350).



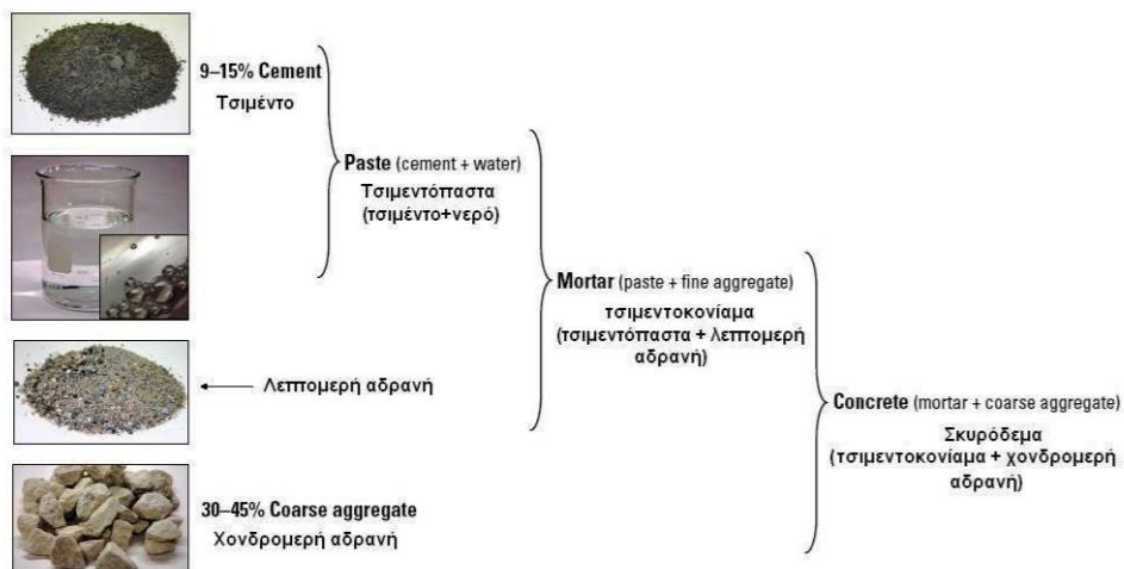


Οι κυριότερες ιδιότητες των πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται ως αδρανή και επηρεάζουν την μηχανική τους συμπεριφορά είναι οι παρακάτω :

- Πορώδες
- Πυκνότητα
- Μέγεθος και σχήμα κόκκων
- Ανισοτροπία
- Ορυκτολογική σύσταση
- Σκληρότητα
- Ανθεκτικότητα τις καιρικές επιδράσεις
- Αντοχή στην τριβή και την κρούση
- Αντοχή στην επίδραση χημικών ουσιών
- Συντελεστής θερμικής διαστολής
- Αντίσταση στη διάβρωση
- Υδατοπερατότητα

Ο έλεγχος των ιδιοτήτων των φυσικών δομικών λίθων γίνεται ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο θα χρησιμοποιηθούν σύμφωνα με τις προδιαγραφές EN. Ως προς την ανθεκτικότητα στις καιρικές επιδράσεις πρέπει να γίνεται χημικός έλεγχος των φυσικών λίθων για τον προσδιορισμό των διαλυτών ή βλαβερών συστατικών.

Το θειικό ασβέστιο προστίθεται στα άλλα συστατικά του τσιμέντου κατά την τελική άλεση του κλίνκερ, με στόχο τη ρύθμιση της πήξης του τσιμέντου. Το ακριβές ποσοστό προσθήκης εξαρτάται από την περιεκτικότητα των κύριων συστατικών σε  $\text{SO}_3$  καθώς και από τα θειικά του καυσίμου, συνήθως όμως κυμαίνεται μεταξύ 4,00 % και 5,00 % του βάρους του κλίνκερ. Το θειικό ασβέστιο προστίθεται κυρίως ως γύψος ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), που είναι και η πιο συνηθισμένη μορφή, καθώς επίσης και ως ημιυδρική ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) ή ως ανυδρίτης ( $\text{CaSO}_4$ ) που συχνά υφίσταται ως παραπροϊόν διαφόρων βιομηχανικών διαδικασιών.<sup>58</sup>



**Εικόνα 16.** Κατά προσέγγιση % συμμετοχή των πρώτων υλών στο σκυρόδεμα<sup>59</sup>

<sup>58</sup> **Πηγή:** Χρυσούλα Ιωάννου, (2012) Ανακύκλωση Σκυροδέματος. Ενεργειακό ισοζύγιο και Αποτύπωμα Άνθρακα, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Βόλος

<sup>59</sup> **Πηγή :** Τσακαλάκης Κ., Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και Σκυροδέματος, (2018) Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών – Σημειώσεις Μαθήματος [http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement\\_Aggregates\\_Concrete\\_Notes\\_November\\_2018.pdf](http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement_Aggregates_Concrete_Notes_November_2018.pdf)

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο ασβεστόλιθος αποτελεί ένα πέτρωμα το οποίο καταλαμβάνει μεγάλες εκτάσεις, κυρίως με μορφή στρωμάτων και σπάνια σε ακανόνιστες μάζες. Συχνά περιέχει απολιθώματα, από τα οποία μπορεί να εκτιμηθεί η ηλικία και η προέλευσή του. Η μεταμόρφωση του ασβεστόλιθου δίνει στο πέτρωμα εντονότερο κρυσταλλικό χαρακτήρα σχηματίζοντας το μάρμαρο.

Η σπουδαιότητα του ασβεστόλιθου έγκειται στο εύρος ποικιλίας χρήσης του. Τα υποπροϊόντα της βιομηχανίας ασβέστου βρίσκουν πολλές εφαρμογές στην προστασία του περιβάλλοντος. Οι χρήσεις στην επεξεργασία του πόσιμου νερού, των αστικών λυμάτων, στην εξουδετέρωση της οξύτητας και τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με την αποθείωση των καπναερίων αναδεικνύουν το υλικό αυτό σε ένα εξαιρετικά αποτελεσματικό μέσο στην αντιμετώπιση της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Τα προϊόντα της βιομηχανίας παραγωγής ασβέστου που προορίζονται για περιβαλλοντικές εφαρμογές χαρακτηρίζονται από την υψηλή δραστηριότητα και καθαρότητά τους. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται όχι μόνο την ανάγκη για επιλογή των κατάλληλων πρώτων υλών, αλλά και τον προσεκτικό σχεδιασμό του συστήματος παραγωγής με ταυτόχρονο έλεγχο όλων των παραγόντων που το επηρεάζουν.

Η άσβεστος είναι ένα προϊόν που στον ελληνικό χώρο είναι συνδεδεμένο με υλικά χαμηλής προστιθέμενης αξίας. Αυτό έχει προκύψει από πολλούς παράγοντες. Σε μια χώρα με ευρέως διαδεδομένα ανθρακικά πετρώματα, η κάλυψη των παραδοσιακών αναγκών, κυρίως της οικοδομικής δραστηριότητας, δεν οδήγησε στην παραγωγή αυτού του προϊόντος από μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, οι οποίες θα είχαν την δυνατότητα προσθετικά να διαφοροποιήσουν τα αρχικά προϊόντα και να δημιουργήσουν νέα, υψηλότερης προστιθέμενης αξίας. Όπως συνήθως έχει γίνει και με την πλειονότητα των φυσικών πόρων, οι ανάγκες τις αγοράς διαμορφώνουν όχι μόνο τις τιμές, αλλά και την αναγκαιότητα ύπαρξης νέων προϊόντων.

Στην Ελληνική επικράτεια είναι πολλές οι θέσεις ύπαρξης ανθρακικών πετρωμάτων, που δεν ενδείκνυνται για έναν συγκεκριμένο τύπο εκμετάλλευσης (π. χ. λατομείο). Αυτό βέβαια δεν αποκλείει την δυνατότητα αξιοποίησης τους όταν πληρούν όλες εκείνες τις προϋποθέσεις που θα το καθιστούσαν «κοίτασμα». Είναι γνωστό ότι έχουν

ήδη δρομολογηθεί και υλοποιούνται δεσμεύσεις που αφορούν το περιβάλλον σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Σε αυτά τα πλαίσια, ο περιορισμός ατμοσφαιρικών ρύπων κατέχει την πρώτη θέση. Όπως περιγράφηκε, η ασβέστος είναι ένα προϊόν του οποίου η προστιθέμενη αξία αυξάνει συναρτήσει της ενεργότητάς της, που και αυτή με την σειρά της εξαρτάται άμεσα κυρίως από την καθαρότητα του αρχικού υλικού τροφοδοσίας. Ενώ η αναζήτηση μαρμάρων σχεδόν μονοπωλεί την έρευνα στην περιοχή των ανθρακικών, ο τομέας εξόρυξης ανθρακικών για βιομηχανική παραγωγή ασβέστου υψηλής καθαρότητας, για χρήση του σε περιβαλλοντικές εφαρμογές, μπορεί να αποτελέσει τον μελλοντικό δυναμικό ανταγωνιστή του χώρου.



# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. International Labour office (ILO) (1998) Encyclopedia of occupational health and safety: 4th edition, Geneva.
2. K. Komnitsas, D. Zaharaki, A. Vlachou, G. Bartzas, M. Galetakis, (2015) " Effect of synthesis parameters on the quality of construction and demolition wastes (CDW) geopolymers, "Advanced Powder Technology, vol. 26, no. 2, pp. 368–376, Mar. 2015. doi: 10.1016/j.appt.2014.11.012.
3. Life (2006) Πρόγραμμα Εκτίμηση των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από την Κατασκευαστική Δραστηριότητα σε Ελλάδα και Κύπρο, [http://uest.ntua.gr/archive/suscon/Task\\_2/Environmental%20Impact%20Assessment%20of%20the%20Construction%20Activities.pdf](http://uest.ntua.gr/archive/suscon/Task_2/Environmental%20Impact%20Assessment%20of%20the%20Construction%20Activities.pdf) .
4. Platform European Construction Technology Vision 2030 & Strategic Research Agenda (2005), Focus Area Materials

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ

5. Α. Αντωνόπουλος, (2011), Αδρανή Υλικά, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ. Πολυτεχνείο, [http://dspace.lib.ntua.gr/dspace2/bitstream/handle/123456789/4117/antonopoulos\\_aggegates.pdf?sequence=3](http://dspace.lib.ntua.gr/dspace2/bitstream/handle/123456789/4117/antonopoulos_aggegates.pdf?sequence=3)
6. Αειφόρος Σκληρή Ξυλεία Αμερικής, (2018), [www.alphatimber.gr](http://www.alphatimber.gr).
7. Αναστασίου Ε. & Παπαγιάννη Ι., (2005), Κανονιστικό Πλαίσιο για τη χρήση βιομηχανικών παραπροϊόντων χαλυβουργίας ως αδρανών για την παρασκευή σκυροδέματος, Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου για την Αξιοποίηση των Βιομηχανικών Παραπροϊόντων στη Δόμηση, ΕΒΙΠΑΡ, Θεσσαλονίκη, 24-26 Νοεμβρίου 2005  
[http://www.evipar.org/innet/files/1oEVIPAR\\_full\\_text\\_39\\_Anastasiou2.pdf](http://www.evipar.org/innet/files/1oEVIPAR_full_text_39_Anastasiou2.pdf)
8. Ανδρεάδη Π. & Παπαιωάννου Γ., (2002) Ασφάλεια Εργαζομένου. Αθήνα: Εκδόσεις Έτων.

9. Γκαλμπένης Χ.-Τ., Τσακαλάκης Κ., Τσίμας Σ., (2005), Υποκατάσταση Φαρίνας Τσιμέντου από Ανακυκλωμένα Υλικά Κατεδάφισης Κτιρίων, Heleco '05, ΤΕΕ, Αθήνα, 3-6 Φεβρουαρίου, [http://library.tee.g/digital/m2045/m2045\\_galbenis.pdf](http://library.tee.g/digital/m2045/m2045_galbenis.pdf)
10. Καλλιάνης Δ. Μαθιουδάκης Γ., (2008) Νομοθεσία – Νομολογία – Ευρωπαϊκές Οδηγίες σε σχέση με την ποιότητα – Ο ρόλος των Μηχανικών: ΤΕΕ.
11. Δημούδη Α., (2006), Οικολογικά Οικοδομικά υλικά, <https://repository.edulll.g/edulll/retrieve/4367/1262.pdf> , Ξάνθη.
12. [http://library.tee.g/digital/kma/kma\\_m1162/kma\\_m1162\\_xrisomallidou.pdf](http://library.tee.g/digital/kma/kma_m1162/kma_m1162_xrisomallidou.pdf): Α.Π.Θ. Κατεδάφιση και Ανακύκλωση [www.staywithclay.com](http://www.staywithclay.com)
13. Κούκης Γ.& Σαμπατακάκης Ν., (2007) Γεωλογία Τεχνικών Έργων, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα .
14. Καγκαράκης Α. Κων. (1988), Ανόργανη & Οργανική Χημική Τεχνολογία, Ίδρυμα ΕΥΤΕΝΙΔΟΥ, [https://www.eef.edu.gr/media/2752/e\\_h00067.pdf](https://www.eef.edu.gr/media/2752/e_h00067.pdf) .
15. Νικολαΐδης Α., (2011), Οδοποιία , οδοστρώματα – υλικά, έλεγχος ποιότητας, Θεσσαλονίκη.
16. Νικολουτσόπουλος Ν. (2013) Εφαρμογή γεωπολυμερισμού για την αξιοποίηση της ιπτάμενης τέφρας στην τεχνολογία σκυροδέματος. [Βιβλίο]. - Αθήνα : ΕΜΠ Εργαστήριο Ανόργανης & Αναλυτικής Χημείας.
17. Σιούτα Ν. & Γιαννακούλης Λ., (2005) Περιβάλλον, Κατασκευή, ΣΠΔ και Βιώσιμη Κατασκευή, Πρώτη Εφαρμογή του EMAS στην Κατασκευή της Ελλάδας, Heleco '05, ΤΕΕ, Αθήνα, 3-6 Φεβρουαρίου [http://library.tee.g/digital/m2045/m2045\\_siouta.pdf](http://library.tee.g/digital/m2045/m2045_siouta.pdf)
18. Ελληνικός Σύνδεσμος Ασβέστου <http://www.lime-association.g/index.html>
19. Τσίμας Σ., (2007) Επιστήμη και Τεχνολογία Ασβέστη, ΕΜΠ
20. Τριανταφύλλου, Γ., & Ε. Μανούτσογλου. (2019) "The Use of Lime in the Treatment of Enviromental Problems" *Bulletin of the Geological Society of Geece* [Online], 36.1 (2004): 246-253.
21. Νέλλα Ε., (2013), Ασβεστος, Γύψος και τα Κονιάματα τους, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, (<http://dspace.lib.ntua.g/handle/123456789/39823>)
22. Τριανταφύλλου Γ. & Μανούτσογλου Ε., (2004), Η Συμβολή της Ασβέστου στην Αντιμετώπιση Περιβαλλοντικών Προβλημάτων, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, 2004 Πρακτικά 10<sup>ου</sup> Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004, [http://www.geo.auth.g/ege2004/articles/EN8\\_346.pdf](http://www.geo.auth.g/ege2004/articles/EN8_346.pdf)

23. Βούρδας Δ., (2019) Η Χρήση του Ασβεστόλιθου σε Βιομηχανικές και Άλλες Εφαρμογές. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών
24. Κορνίτσας Κ. & Ξενίδης Α. 2001. Όξινη Απορροή Μεταλλείων. Δημιουργία – Επιπτώσεις και Τεχνικές Αντιμετώπισης σε Μεταλλεία Μικτών Θειούχων. Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, V, τεύχ. 1&2 2001, [http://library.tee.gr/digital/techr/2001/techr\\_2001\\_v\\_1\\_2\\_19.pdf](http://library.tee.gr/digital/techr/2001/techr_2001_v_1_2_19.pdf)
25. Τσακαλάκης Κ. Γ., (2018) «Τεχνολογία παραγωγής τσιμέντου και σκυροδέματος», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ 350, [http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement\\_Aggregates Concrete\\_Notes\\_November\\_2018.pdf](http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1008/document/Cement_Aggregates_Concrete_Notes_November_2018.pdf) )
26. Χρυσομαλλίδου Ν., Θεοδοσίου Θ., & Τσικαλουδάκη Κ., (2013) Αειφόρος Ανάπτυξη Ελεύθερων Χώρων σε Αστικό Περιβάλλον, [http://library.tee.gr/digital/kma/kma\\_m1162/kma\\_m1162\\_xrisomallidou.pdf](http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1162/kma_m1162_xrisomallidou.pdf)
27. Χρυσούλα Ιωάννου, (2012) Ανακύκλωση Σκυροδέματος. Ενεργειακό ισοζύγιο και Αποτύπωμα Άνθρακα, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Βόλος (<http://ir.lib.uth.gr/bitstream/handle/11615/41278/10256.pdf?sequence=1> )
28. ΚΤΣ\_2016, Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος\_2016, <https://www.teemag.gr/ftp/2016/fek.pdf>