



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΕΛΕΝΗ ΤΡΥΦΩΝΙΔΟΥ

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.
ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΝΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2019





ΕΛΕΝΗ ΤΡΥΦΩΝΙΔΟΥ

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5511

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.
ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ.

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων

Ν. Καντηράνης

Αν. Καθηγητής ΑΠΘ



© Ελένη Τρυφωνίδου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας, 2019
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ
ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ– *Διπλωματική Εργασία*

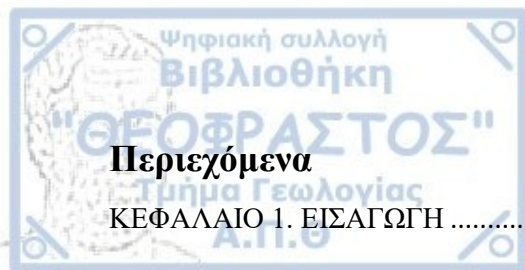
© Eleni Tryfonidou, School of Geology, Dept. of Mineralogy and Petrology, 2019

All rights reserved.

RAW MATERIAL AND MANUFACTURING PROCESS OF CEMENT. THE
PROSPECTS OF GREEK CEMENT INDUSTRY. – *Bachelor Thesis*

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

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



Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενικά στοιχεία για το τσιμέντο	1
1.2 Χρήσεις τσιμέντου	5
1.3 Παγκόσμια παράγωγή τσιμέντου	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	9
2.1 ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ-ΑΣΒΕΣΤΟΣ (CaO)	9
2.2 ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΡΓΙΛΙΟΥ-ΑΛΟΥΜΙΝΑ (Al ₂ O ₃)	9
2.3 ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ (SiO ₂)	10
2.4 ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ-ΚΑΛΑΜΙΝΑ (FeO)	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	13
3.1 ΠΡΩΤΟ ΣΤΑΔΙΟ: ΕΞΟΡΥΞΗ - ΜΕΤΑΦΟΡΑ - ΘΡΑΥΞΗ	13
3.2 ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΑΔΙΟ: ΑΛΕΣΗ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	16
3.3 ΤΡΙΤΟ ΣΤΑΔΙΟ: ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΣΗ – ΠΡΟΑΣΒΕΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΦΑΡΙΝΑΣ	16
3.4 ΤΕΤΑΡΤΟ ΣΤΑΔΙΟ: ΕΨΗΣΗ-ΨΞΗ ΚΛΙΝΚΕΡ	17
3.5 ΠΕΜΠΤΟ ΣΤΑΔΙΟ: ΣΥΝΑΛΕΣΗ ΚΛΙΝΚΕΡ ΜΕ ΓΥΨΟ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΕΣ Ή ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΟΡΥΚΤΕΣ ΥΛΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΠΩΛΗΣΕΙΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	33
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	35



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά στοιχεία για το τσιμέντο

Ο όρος τσιμέντο σήμερα ταυτίζεται σχεδόν αποκλειστικά με τον όρο "τσιμέντο Πόρτλαντ" καθώς και με τον όρο "ποζολανικό τσιμέντο Πόρτλαντ". Το ευρέως χρησιμοποιούμενο αυτό υλικό αποτελεί το δεύτερο σε κατανάλωση υλικό παγκοσμίως. Σύμφωνα με τους Μοροπούλου και Λαμπρόπουλο (2013) πρόκειται για 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.

Το τσιμέντο αποτελεί βασικό συστατικό για τη δημιουργία του κονιάματος, του σκυροδέματος και του οπλισμένου σκυροδέματος. Η σύγχυση μεταξύ των όρων τσιμέντο και σκυρόδεμα είναι πολύ συχνή. Το σκυρόδεμα είναι το αποτέλεσμα της ανάμιξης τσιμέντου, νερού, άμμου και σκύρων (χαλικιών). Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι αυτό που φέρει οπλισμό χάλυβα, συνήθως υπό τη μορφή ράβδων, ενώ το κονίαμα τσιμέντου πρόκειται για ένα μίγμα τσιμέντου, άμμου και νερού.

Η ανακάλυψη του τσιμέντου είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την τεχνολογική, οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη του πολιτισμού. Σύμφωνα με τον Maslow (1943) η ανάγκη για ασφάλεια αποτελεί μία από τις βασικές ανάγκες του ανθρώπου. Έτσι, η ανάγκη των ανθρώπων για επιβίωση ήταν ο λόγος να αναζητήσουν υλικά με τα οποία θα μπορούσαν να κατασκευάσουν οικοδομήματα που θα τους παρείχαν προστασία και ασφάλεια (Χανιωτάκης 2015). Από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα ο άνθρωπος χρησιμοποιεί το τσιμέντο στην καθημερινότητα του. Το 1985 ανακαλύφθηκε το αρχαιότερο σκυρόδεμα. Βρέθηκε στη πόλη «Yiftahel» στη νότια Γαλιλαία του Ισραήλ και αποτελούσε τμήμα δαπέδου (Εικ. 1,2). Χρονολογείται το 7.000 π.Χ. και σύμφωνα με μετρήσεις της ορυκτολογικής σύστασης (XRD), της χημικής σύστασης και εξέταση σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) διαπιστώθηκε ότι πρόκειται για μείγμα ασβέστη με πέτρες και αποτελείται από 48,7% CaO, 6,2% SiO₂, 0,5% Al₂O₃ και 41,7% απώλεια πύρωσης (Ronen et al. 1991). Από τη σύσταση αυτή προκύπτει ότι είχε ανακαλυφθεί η ιδιότητα της σκλήρυνσης του μίγματος του ασβεστίτη, της άμμου και του νερού με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Άλλα ευρήματα σκυροδέματος εντοπίζονται στις όχθες του Δούναβη στο Lepenski Vir στη Γιουγκοσλαβία χρονολογίας 5.600 π.Χ. και στην αρχαία Αίγυπτο το 3.000 π.Χ. (Εικ. 3). Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι

πιθανόν να χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό ασβεστόλιθου και γύψου για την κατασκευή των πυραμίδων. Στο Σινικό τοίχος της Κίνας την ίδια χρονική περίοδο βρίσκονται επίσης υλικά με τις ιδιότητες του τσιμέντου (Ε.Τ.Ε.).

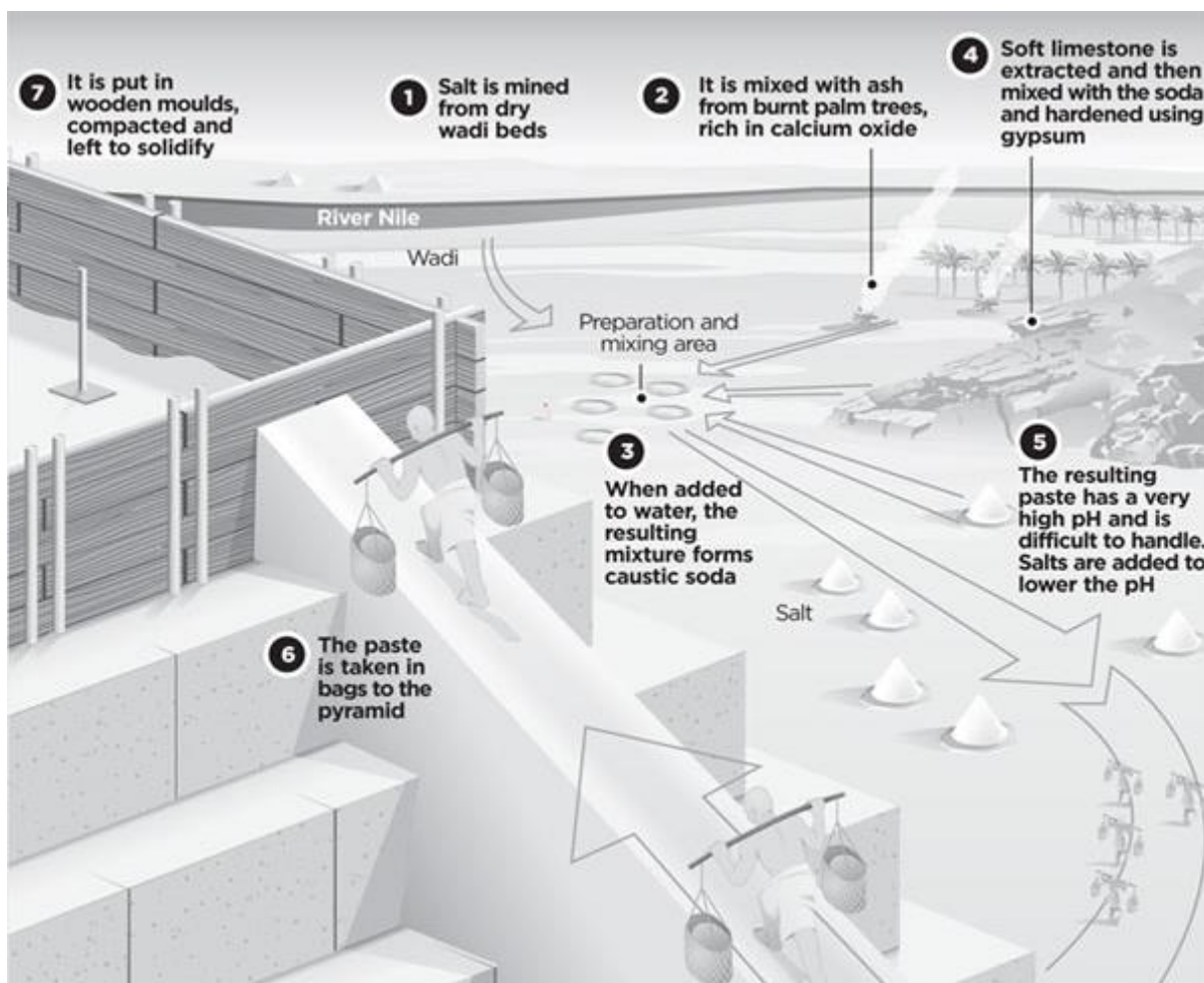


Εικόνα 1. Αεροφωτογραφία από το χώρο εκσκαφών στο Yiftahel του Ισραήλ. Στα αριθμημένα σημεία φαίνεται το αρχαίο σκυρόδεμα. Πηγή: Hadashot Arkheologiyot, http://www.hadashot-esi.org.il/report_detail_eng.aspx?id=1102&mag_id=115



Εικόνα 2. Το αρχαίο σκυρόδεμα υπό κλίμακα. (<https://en.wikipedia.org/wiki/Yiftahel>)

Στην Ελλάδα τσιμέντο εντοπίζεται στο ναό της Αθηνάς στην Κάμρο της Ρόδου σε υδατοστεγή δεξαμενή χωρητικότητας 600 m³ νερού και χρονολογείται το 500 π.Χ. (Εικ. 4). Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της ήταν μίγμα από ασβεστίτη και ηφαιστειακή γη, πιθανότατα από την Θήρα της Σαντορίνης ή την Νίσυρο. Το κονίαμα που χρησιμοποιήθηκε είχε την ιδιότητα να στερεοποιείται μέσα στο νερό.



Εικόνα 3. Πιθανός τρόπος κατασκευής του σκυροδέματος που χρησιμοποίησαν οι αρχαίοι Αιγύπτιοι.

(University of Memphis, http://www.ce.memphis.edu/1101/interesting_stuff/pyramids_in_concrete.html)

Σημαντική πηγή πληροφοριών για την αρχαία Ελληνική αρχιτεκτονική και οικοδομική αποτέλεσε ο Ρωμαίος αρχιτέκτονας-συγγραφέας Βιτρούβιος. Στα χειρόγραφα του βρέθηκε ότι οι αρχαίοι Έλληνες ήταν ίσως οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν υδραυλικές κονίες με πολύ υψηλές αντοχές και μεγάλη ανθεκτικότητα στις περιβαλλοντικές επιδράσεις. Υδραυλικές κονίες είναι αυτές που όταν αναμιχθούν με νερό μπορούν να πήξουν και να σκληρύνουν τόσο στον αέρα όσο και μέσα στο νερό.

Τα περισσότερα μνημεία της Ρώμης, όπως το Κολοσσαίο και το Πάνθεο, είναι κτισμένα με σκυρόδεμα. Από το 300 π.Χ. οι Ρωμαίοι είχαν καταφέρει να προσαρμόσουν το σκυρόδεμα στις περισσότερες κατασκευές τους. Χρησιμοποίησαν ηφαιστειακή τέφρα, το υλικό που σήμερα ονομάζεται ποζολάνη, και πήρε την ονομασία του από την ομώνυμη πόλη της Ιταλίας «Pozzuoli», η οποία βρισκόταν πολύ κοντά στο ηφαίστειο του Βεζούβιου (Smith and Collins 1993). Το ρωμαϊκό σκυρόδεμα ήταν το αποτέλεσμα της ανάμιξης νερού με ηφαιστειακή τέφρα (ποζολάνη), άσβεστο ή γύψο και ένα μίγμα από κομμάτια πετρωμάτων, πλακίδια κεραμικών και μπάζα κατασκευών. Οι Ρωμαίοι πιθανόν να έλαβαν την τεχνολογία του υδραυλικού τσιμέντου από τους Έλληνες, καθώς έχτισαν υποθαλάσσιες κατασκευές χρησιμοποιώντας μία ειδική σύνθεση ασβεστοκονιάματος αναμιγνύοντας άσβεστο με ποζολάνη. Συγκεκριμένα, τοποθετούσαν αυτό το κονίαμα με ηφαιστειακό τόφφο σε ξύλινα καλούπια, το θαλασσίνο νερό προκαλούσε χημική αντίδραση κατά την οποία ενυδατώνονταν η άσβεστος, αντιδρούσε με την ηφαιστειακή τέφρα και το μίγμα σκλήραινε και στερεοποιούνταν (Χαραλάμπους 2012).



Εικόνα 4. Η Δεξαμενή στο ναό της Αθηνάς, στην Κάμιρο της Ρόδου. (Υπουργείο πολιτισμού και αθλητισμού, http://odysseus.culture.gr/h/3/gh3562.jsp?obj_id=2394&mm_id=8203).

Στη σύγχρονη ιστορία, το τσιμέντο πήρε την μορφή που έχει σήμερα από δύο ανθρώπους που συνέβαλλαν σημαντικά στην εξέλιξη του. Αυτοί είναι ο John Smeaton και ο

Joseph Aspdin. Ο John Smeaton είναι αυτός που το 1756 μελέτησε και δημιούργησε το υδραυλικό τσιμέντο και διαπίστωσε την ιδιότητα της πήξης των ασβεστοκονιαμάτων με ασβέστη ο οποίος είχε παρασκευαστεί από το ψήσιμο ασβεστόλιθου που περιέχει πυρίτιο και αργίλιο (Ιωάννου 2012). Εκείνος όμως που έδωσε την ονομασία «τσιμέντο Portland» ήταν ο Joseph Aspdin ο οποίος θέρμανε λεπτά τριμμένη κιμωλία και άργιλο σε κλίβανο ασβεστοποιίας για να αποχωριστεί το διοξείδιο του άνθρακα από το μίγμα και άλεσε το κρυσταλλωμένο παράγωγο, στο οποίο έδωσε την αντίστοιχη ονομασία λόγω της ομοιότητας του με τα εξαιρετικής ποιότητας πετρώματα που εξορύσσονταν στην νήσο Portland της Αγγλίας (Smith and Collins 1993). Έπειτα από αυτές τις δύο μεγάλες ανακαλύψεις ξεκινάει η παραγωγή του τσιμέντου η οποία εξαπλώθηκε παγκοσμίως. Αρχίζει, πλέον η συστηματική μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής, αλλά και άλλων ιδιοτήτων και η δημιουργία των διάφορων τύπων τσιμέντου, όπως τσιμέντο Πόρτλαντ, τσιμέντο με ποζολάνη, ιπτάμενη τέφρα, ασβεστόλιθο και άλλα. Συγκεκριμένα, οι βασικοί τύποι και οι συμβολισμοί τους σύμφωνα με τον «Οδηγό δομικών υλικών» που συνέταξε η Δ.Ε. του ΤΕΕ (Μαρίνος et al., 2019) είναι οι εξής:

- CEM I - Τσιμέντο Πόρτλαντ
- CEM II - Σύνθετο Τσιμέντο Πόρτλαντ
- CEM III - Σκωριοτσιμέντο
- CEM IV - Ποζολανικό Τσιμέντο
- CEM V - Σύνθετο Τσιμέντο

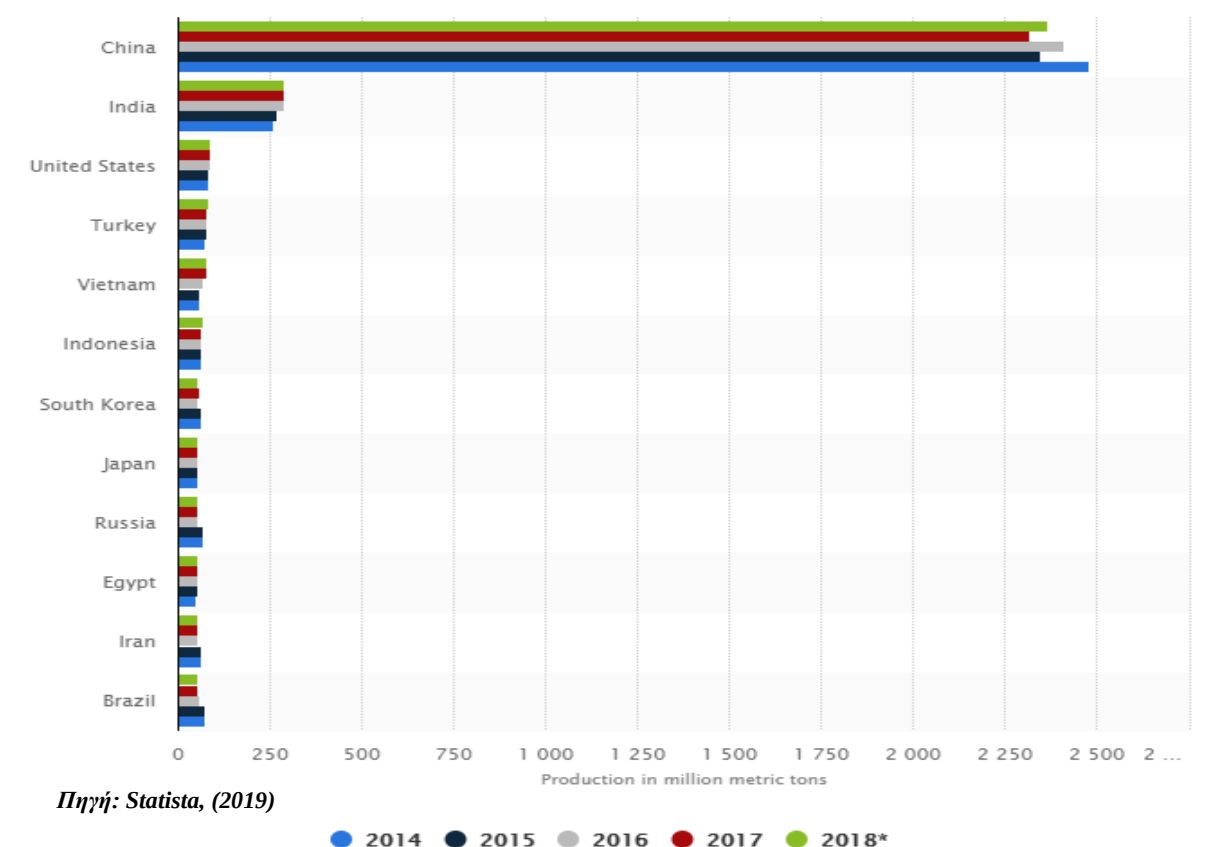
1.2 Χρήσεις τσιμέντου

Το τσιμέντο χρησιμοποιείται κυρίως ως συστατικό του σκυροδέματος, αν και πολύ συχνά αυτά τα δύο συγχέονται από τους καταναλωτές είναι δύο διαφορετικά υλικά. Το τσιμέντο περιλαμβάνεται στο σκυρόδεμα και το τελικό αυτό προϊόν αποτελεί το θεμελιώδες συστατικό των διάφορων κατασκευών. Χρησιμοποιείται στην οδοποιία, την τοιχοποιία, στη κατασκευή οικοδομημάτων, φραγμάτων, γεφυρών και πολλών ακόμη υποδομών, ακόμη και στις γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται ειδικά τσιμέντα, ενώ χρησιμοποιείται και για αισθητικούς σκοπούς. Γενικά, η χρήση του τσιμέντου προσφέρει προστασία από τις καιρικές συνθήκες, αντοχή στη θερμότητα, τις πυρκαγιές και τους παγετούς. Σύμφωνα με τον Ιωάννου (2012) «το τσιμέντο αποτελεί επίσης, ένα ασφαλές και αποτελεσματικό μέσο για την αδρανοποίηση και τη σταθεροποίηση πολλών τύπων επικίνδυνων ανόργανων αποβλήτων (όπως είναι ο αμίαντος και βαρέα μέταλλα, όπως για παράδειγμα το βηρύλλιο, το κάδμιο, ο υδράργυρος κ.ά.), προσφέροντας έτσι μία επιτυχημένη και πρακτική μέθοδο για την ασφαλή διάθεση των

αποβλήτων αυτών. Η επιτυχία της μεθόδου αυτής πέρα από το σχετικά φθηνό κόστος του τσιμέντου, οφείλεται κυρίως σε δύο χημικές ιδιότητες των συστατικών του τσιμέντου, στις υψηλές τιμές του pH και στις πολύπλοκες στερεοχημικές δομές των ένυδρων πυριτικών ασβεστίων ζελατινώδους υφής (γέλη C-S-H), που αποτελούν το κύριο προϊόν ενυδάτωσης του τσιμέντου και έχουν την δυνατότητα να εγκλωβίσουν πολλά είδη βαρέων μετάλλων στο πλέγμα τους, καθιστώντας τα έτσι ανενεργά». Στο μέλλον η χρήση του τσιμέντου έχει να επιφέρει πολλά, καθώς με την ανάπτυξη της τεχνολογίας το τσιμέντο μπορεί να αποτελέσει λύση σε πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα, είτε χρησιμοποιώντας πλαστικά απόβλητα ως πρόσμικτα του τσιμέντου, είτε δημιουργώντας ένα τσιμέντο το οποίο έχει την ιδιότητα να απορροφά το CO₂ (Cembureau, 2018).

1.3 Παγκόσμια παράγωγή τσιμέντου

Στην εικόνα 5 παρουσιάζεται η παγκόσμια παραγωγή τσιμέντου από τις σημαντικότερες χώρες παραγωγούς από το έτος 2014 έως 2018 ().



Εικόνα 5. Σημαντικές χώρες στην παγκόσμια παραγωγή τσιμέντου

(<https://www.statista.com/statistics/267364/world-cement-production-by-country/>, 2019)

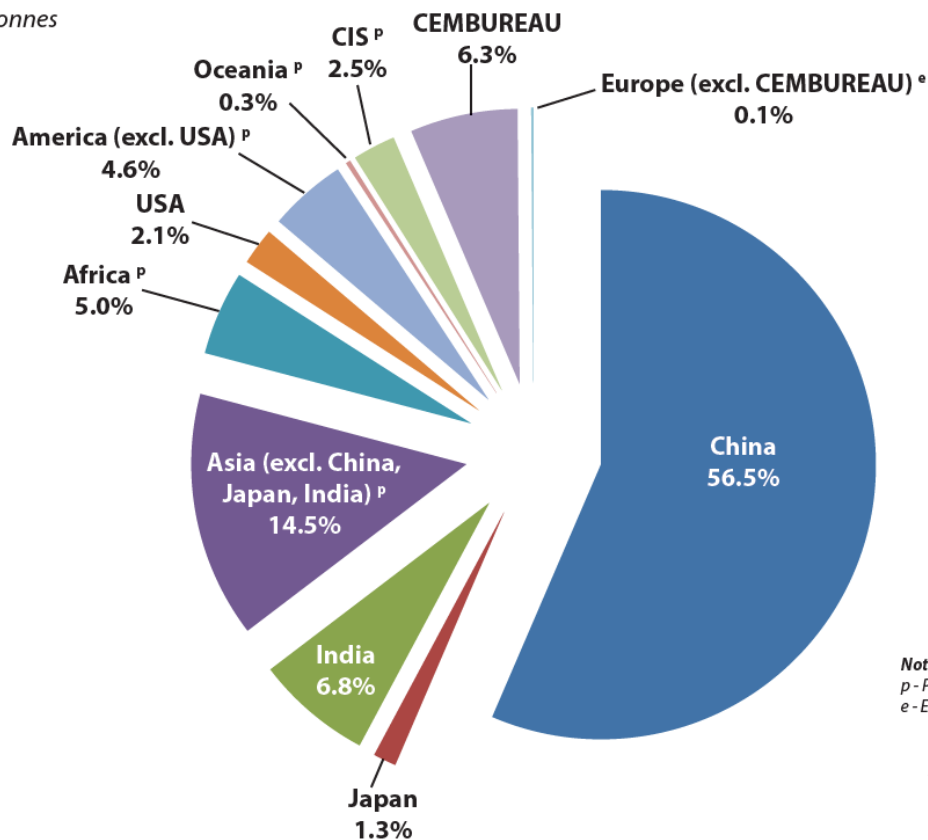
Η χώρα με τη μεγαλύτερη ποσότητα παραγωγής είναι η Κίνα, η οποία παράγει πάνω

από το μισό της παγκόσμιας παραγωγής, περίπου 2,4 δισεκατομμύρια τόνους για το 2018. Ακολουθεί η Ινδία, με 290 εκατομμύρια τόνους και οι Ηνωμένες Πολιτείες με 88,5 εκατομμύρια τόνους για το ίδιο έτος.

Το 2010 η παγκόσμια παραγωγή τσιμέντου ανήλθε στους 3,27 δισεκατομμύρια τόνους. Αυτό το ποσό αναμένεται να αυξηθεί σε 4,83 δισεκατομμύρια τόνους μέχρι το 2030. Η Ευρώπη, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση Τσιμέντων (The European Cement Association), για το έτος 2017 κατείχε μόλις το 0,1% της παγκόσμιας παραγωγής τσιμέντου (Εικ. 6). Γενικά, παρατηρείται μία ανοδική τάση παραγωγής και κατανάλωσης τσιμέντου από αναπτυσσόμενες χώρες όπως είναι η Ινδία. Η ανοδική αυτή τάση συνδέεται κυρίως με την ανοδική τάση του κατασκευαστικού κλάδου (businessworld, <http://www.businessworld.in/article/The-Great-Construction-Boom/04-04-2018-145332/>, 2018)

World cement production 2017, by region and main countries, % Estimations

4.1 billion tonnes



Notes:
p - Preliminary
e - Estimate

Source: CEMBUREAU

Εικόνα 6. Παγκόσμια παραγωγή τσιμέντου για το έτος 2017, ανά περιοχή και σημαντικότερες χώρες (Cembureau, <https://cembureau.eu/media/1828/world-cement-producers-graph.png>, 2017).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

2.1 Οξείδιο του ασβεστίου-άσβεστος (CaO)

Η άσβεστος (CaO) είναι μία από τις πρώτες ύλες του τσιμέντου. Αυτή παράγεται από ασβεστούχες πρώτες ύλες κυρίως υπό τη μορφή του ορυκτού ασβεστίτης (CaCO_3), δηλαδή της κρυσταλλικής ένωσης ανθρακικού ασβεστίου. Συνήθως, παράγεται από ανθρακικά πετρώματα όπως ο ασβεστόλιθος και το μάρμαρο. Άλλες πηγές ασβέστου μπορεί να είναι η κρητίδα ή κοινώς κιμωλία, ένα ανθρακικό πέτρωμα που αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από ασβεστίτη (90-99%), ή η μάργα, δηλαδή χαλαρές αποθέσεις ποικίλων υλικών που αποτελούν μίγμα αργίλου (35-65%) και ασβεστόλιθου (65-35%) (Τσιραμπίδης 2008). Στην περίπτωση της μάργας εκμεταλλεύεται και το περιεχόμενο της σε αργίλιο. Ακόμη, μπορεί να χρησιμοποιηθούν ιζηματογενείς ανθρακικές αποθέσεις κελυφών θαλάσσιων οργανισμών, όπου το ανθρακικό ασβέστιο συνήθως υπάρχει υπό τη μορφή του αραγωνίτη, πολύμορφου ορυκτού του ασβεστίτη. Εναλλακτικά, χρησιμοποιούνται πλούσιες σε άσβεστο σκωρίες. Η ασβεστούχα σκωρία είναι παραπροϊόν της χαλυβουργίας και παράγεται κατά τη δεύτερη χύτευση του χάλυβα. Η χρησιμοποίηση της ως πρώτη ύλη του τσιμέντου οφείλεται στην μεγάλη περιεκτικότητά της σε CaO, λόγω της προσθήκης άσβεστου (CaO) και δολομιτικής άσβεστου (CaO.MgO). Όπως θα αναφερθεί και παρακάτω η διαδικασία παραγωγής του τσιμέντου επιβάλλει τον διαχωρισμό του CO_2 από το CaCO_3 , ώστε να παραμένει η άσβεστος (CaO). Επομένως η Ασβεστούχα σκωρία δεν απαιτεί αυτό το διαχωρισμό ο οποίος γίνεται μέσω μίας πολυδάπανης ενεργειακά διαδικασίας, αλλά και περιβαλλοντικά επιβαρυντικής λόγω της εκπομπής CO_2 . Γενικά τέτοιου είδους εναλλακτικές πηγές πρώτων υλών συμβάλλουν θετικά στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα της παραγωγικής διαδικασίας τσιμέντου (ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε.). Τέλος και ο ανυδρίτης (CaSO_4) και η γύψος ($\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$) που αποτελούν τις φυσικές μορφές του θεικού ασβεστίου χρησιμοποιούνται ως πηγές άσβεστου.

2.2 Οξείδιο του αργιλίου-αλουμίνα (Al_2O_3)

Ο όρος αλουμίνα αναφέρεται στο τριοξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3). Οι πηγές του τριοξειδίου του αργιλίου μπορεί να είναι η άργιλος και τα αντίστοιχα πετρώματα που την περιέχουν, όπως και απόβλητα που περιέχουν αργίλιο, πυρίτιο και σίδηρο. Αυτά μπορεί να είναι τα κατάλοιπα από την επεξεργασία του βωξίτη, η ονομαζόμενη «κόκκινη λάσπη», η ιπτάμενη τέφρα ή κατάλοιπα από τους μύλους και από τη σκόνη των καυσίμων ή και σκωρίες

υψικαμίνων. Η κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνου παράγεται από ταχεία ψύξη τηγμένης σκωρίας κατάλληλης σύνθεσης, που λαμβάνεται από την τήξη σιδηρομεταλλεύματος σε μία υψικάμινο και περιέχει τουλάχιστον 2/3 κατά μάζα υαλώδη σκωρία και διαθέτει υδραυλικές ιδιότητες όταν ενεργοποιηθεί κατάλληλα. Πρέπει να απαρτίζεται κατά τα δύο-τρίτα τουλάχιστον κατά μάζα από το άθροισμα οξειδίου του ασβεστίου (CaO), οξειδίου του μαγνησίου (MgO) και οξειδίου του πυριτίου (SiO_2). Το υπόλοιπο περιέχει οξείδιο του αλουμινίου (Al_2O_3) μαζί με μικρές ποσότητες άλλων ενώσεων. Ο λόγος κατά μάζα $(\text{CaO}+\text{MgO}) / (\text{SiO}_2)$ πρέπει να υπερβαίνει το 1,0 (Μοροπούλου Α., Λαμπρόπουλος Κ. 2013, σ.15)

2.3 Οξείδιο του πυριτίου (SiO_2)

Ανάμεσα στις τέσσερις βασικές πρώτες ύλες για την παραγωγή τσιμέντου είναι και το πυρίτιο, το οποίο λαμβάνεται με τη μορφή του διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2). Οι φυσικές πηγές πυριτίου είναι η άμμος, η άργιλος, η ιλύς ή τα αντίστοιχα πετρώματα αυτών, ψαμμίτης, σχιστόλιθος, ιλλίτης κ.ά. Επίσης, χρησιμοποιείται ποζολάνη, φυσική (ηφαιστειακή τέφρα) ή τεχνητή (ιπτάμενη τέφρα από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της Δ.Ε.Η.). Οι φυσικές ποζολάνες είναι κονίες που αποτελούνται κυρίως από ενεργό διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και τριοξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3) και σε μικρότερο ποσοστό από τριοξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3) και άλλα οξείδια (ΤΕΕ, 2019). Τα δύο αυτά συστατικά, Al_2O_3 και SiO_2 , αφού λεπτοαλεστούν και ομογενοποιηθούν κατάλληλα, με την παρουσία νερού, αντιδρούν σε κανονική θερμοκρασία περιβάλλοντος με την υδράσβεστο Ca(OH)_2 , ενυδατωμένο οξείδιο του ασβεστίου, για να σχηματίσουν ενυδατωμένες ασβεστοπυριτικές και ασβεστοαργλικές ενώσεις που αναπτύσσουν αντοχή. Σε πολλές από τις πηγές πυριτίου περιέχονται ποσοστά αργίλου και αντίστροφα σε αργιλούχες πρώτες ύλες περιέχονται ποσοστά πυριτίου. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα αργιλοπυριτικά υλικά όπως είναι ο φλύσχης, ο οποίος ως γεωλογικός σχηματισμός αποτελείται από ένα σύνολο πετρωμάτων (ψαμμίτες, πηλόλιθους, ασβεστόλιθους κ.ά.) και είναι κατάλληλος χημικά ως πρώτη ύλη για την τσιμεντοβιομηχανία.

2.4 Οξείδιο του σιδήρου - Καλαμίνη (FeO)

Το οξείδιο του σιδήρου ή αλλιώς καλαμίνη, λαμβάνεται κυρίως από σιδηρούχες σκωρίες ελάστρων, παραπροϊόντα δηλαδή της παραγωγής χάλυβα, και αποτελούν μια εναλλακτική πηγή οξειδίων σιδήρου. Προέρχονται από την διαδικασία έλασης του σιδήρου που βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία και ο οποίος κατά την επαφή του με τον ατμοσφαιρικό

αέρα οξειδώνεται απότομα. Η περιεκτικότητα της σιδηρούχας σκωρίας σε οξείδιο του σιδήρου φτάνει έως 95% (Καραστεργίου 2009). Άλλες πηγές οξειδίου του σιδήρου είναι η ιπτάμενη τέφρα από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της Δ.Ε.Η, μεταλλεύματα σιδήρου και σκόνη σιδηροπυρίτη (FeS_2).

Η παραγωγή τσιμέντου είναι μία χημική διεργασία. Το γεγονός αυτό προσδίδει στη παραγωγική διαδικασία μεγάλη ελευθερία επιλογής πρώτων υλών. Ως ιδανική πρώτη ύλη θεωρείται εκείνος ο ασβεστόλιθος που περιέχει τις κατάλληλες αναλογίες ασβεστίου (CaO), πυριτίου (SiO_2), αργιλίου (Al_2O_3) και καλαμίνας (FeO). Η εύρεση όμως ενός τέτοιου πετρώματος είναι σπάνια, για αυτό η επίτευξη των κατάλληλων αναλογιών για την παραγωγή τσιμέντου είναι μία δύσκολη και απαιτητική διαδικασία, καθώς οι διάφοροι τύποι τσιμέντων έχουν καθορισμένη σύσταση (Ames et al. 1994) Τόσο η σύνθεση τους όσο και οι προδιαγραφές τους, είναι ορισμένες βάση Ευρωπαϊκής οδηγίας. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 89/106 από 01/04/01 και τον κανονισμό 305/2011, τα τσιμέντα που κυκλοφορούν σε όλα τα κράτη μέλη της Ε.Ε. πρέπει να είναι πιστοποιημένα, να φέρουν σήμανση CE και να είναι σύμφωνα με τα ισχύοντα Ευρωπαϊκά Πρότυπα, EN 197-1: Τσιμέντο Μέρος-1: «Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για κοινά τσιμέντα» και EN 197-2: Τσιμέντο Μέρος-2: «Αξιολόγηση συμμόρφωσης». Στη χώρα μας ισχύουν τα αντίστοιχα Ελληνικά Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 197-1 και ΕΛΟΤ EN 197-2.

Όλα τα προαναφερθέντα υλικά προσδίδουν στο τσιμέντο την απαιτούμενη χημική σύσταση. Για τον έλεγχο του χρόνου πήξης του τσιμέντου είναι απαραίτητη η προσθήκη ποσότητας SO_3 . Η γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) περιέχει αυτή την ποσότητα και προσδίδει βραδύτητα στην πήξη και τη σκλήρυνση του τσιμέντου, όταν αυτή αναμιχθεί με το κλίνκερ, το πρώιμο υλικό του τσιμέντου, το οποίο με την προσθήκη της γύψου και άλλων πρόσθετων, όπως φυσική ποζολάνη, ιπτάμενη τέφρα και ασβεστόλιθο, σχηματίζει το τσιμέντο. Η έλλειψη της γύψου επιφέρει ακαριαία στερεοποίηση του τσιμέντου. Η γύψος και τα υπόλοιπα δευτερεύοντα συστατικά, καθορίζουν, αναλόγως της κοκκομετρίας τους, τον τύπο του τσιμέντου. Τα διάφορα μεγέθη κόκκων, αντιστοιχούν και σε διάφορες φυσικές ιδιότητες. Η ολική ποσότητα των πρόσθετων δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1,0% κατά μάζα του τσιμέντου (Μοροπούλου & Λαμπρόπουλος 2013)

Όλα αυτά τα υλικά όμως, εμπεριέχουν και κάποια χημικά στοιχεία τα οποία είναι ανεπιθύμητα, όταν η συγκέντρωσή τους ξεπεράσει ένα όριο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το Mg το οποίο όταν ξεπεράσει το ανώτατο προβλεπόμενο όριο αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα της πήξης (ανεπιθύμητη αραίωση του τσιμέντου).

Έπειτα από την σωστή αναλογία των κύριων και δευτερευόντων υλών, η τελική σύσταση του τσιμέντου Πόρτλαντ αποτελείται από τέσσερα βασικά συστατικά που φαίνονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνα 1, 2).

Πίνακας 1. Συμβολισμοί των βασικών οξειδίων του κλίνκερ για τσιμέντο Πόρτλαντ (Μοροπούλου & Λαμπρόπουλος 2013)

Οξείδιο	Συμβολισμός	Συμβολισμός στην Χημεία τσιμέντου	Χημική φόρμουλα	Ονομασία	Ορυκτή φάση
CaO	C				
SiO ₂	S	C ₃ S	3CaO•SiO ₂	Πυριτικό τριασθέστιο	Αλίτης
Al ₂ O ₃	A	C ₂ S	2CaO•SiO ₂	Πυριτικό διασθέστιο	Βελίτης
Fe ₂ O ₃	F	C ₃ A	3CaO•Al ₂ O ₃	Αργλικό τριασθέστιο	Σελίτης
MgO	M	C ₄ AF	4CaO•Al ₂ O ₃ •Fe ₂ O ₃	Αργλοσιδηρικό τετρασθέστιο	Φερρίτης
K ₂ O	K				
Na ₂ O	N				
TiO ₂	T				
H ₂ O	H				
CO ₂	C̄				
SO ₂	S̄				
P ₂ O ₅	P				

Πίνακας 2. Τα τέσσερα βασικά συστατικά και η ποσοστιαία συμμετοχή τους στο τσιμέντο Πόρτλαντ (Μοροπούλου & Λαμπρόπουλος 2013)

Συστατικό	Συμβολισμός	Κατά προσέγγιση % στο τσιμέντο Πόρτλαντ	Ιδιότητες	Θερμότητα ενυδάτωσης (J/g)
Πυριτικό τριασθέστιο	C ₃ S	50	Ταχεία ανάπτυξη αντοχής – υπεύθυνο για την πρώιμη αντοχή του τσιμέντου (π.χ. 7 ημερών)	500
Πυριτικό διασθέστιο	C ₂ S	20	Αργή ανάπτυξη αντοχής – υπεύθυνο για την τελική αντοχή του τσιμέντου	260
Αργλικό τριασθέστιο	C ₃ A	12	Ταχεία ενυδάτωση (ελέγχεται από την παρουσία γύψου) – επιδεδεικτικό σε προσβολή από θειικά	865
Αργλοσιδηρικό τετρασθέστιο	C ₄ AF	8	Μικρή συμβολή στην πήξη ή την αντοχή, υπεύθυνο για το γκρι χρώμα του τσιμέντου	420

Πηγή: G. D. Taylor "Materials in Construction – An introduction", 3rd Edition Publ. Longman, UK (2000)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Προτού ξεκινήσει η παραγωγική διαδικασία του τσιμέντου έχουν εξασφαλισθεί κάποιες βασικές προϋποθέσεις. Αυτές περιλαμβάνουν την μικρότερη δυνατή απόσταση της μονάδας παραγωγής από τα λατομεία εξόρυξης πρώτων υλών, τη διαθέσιμη ενέργεια για τη λειτουργία της μονάδας, το χαμηλό κόστος καυσίμων για τη μεταφορά πρώτων υλών, αλλά και προϊόντων και τέλος τη μικρή απόσταση από λιμάνια, και μεγάλες οδούς για την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς του τσιμέντου. Αυτές οι προϋποθέσεις είναι απαραίτητες για την επιβίωση των μονάδων παραγωγής και πώλησης του τσιμέντου. Κατά γενική ομολογία το τσιμέντο είναι ένα χαμηλής αξίας προϊόν, για αυτό το λόγο πρέπει τα κόστη εξόρυξης, παραγωγής, μεταφοράς και καυσίμων να μην είναι υψηλά. Υπάρχει όμως και ένας ακόμη πολύ σημαντικός παράγοντας και αυτός είναι το περιβαλλοντικό κόστος. Κάθε εταιρεία που επιθυμεί να ξεκινήσει μία εξορυκτική και παραγωγική διαδικασία ορυκτών πρώτων υλών είναι υποχρεωμένη να συμπεριλάβει στον αρχικό προϋπολογισμό της το κόστος των εργασιών αποκατάστασης των λατομείων. Επομένως, όλα αυτά τα κόστη συνυπολογίζονται και εφόσον αποδειχθεί επικερδής η εκμετάλλευση συνεχίζονται οι διαδικασίες.

Παρακάτω αναλύονται τα στάδια παραγωγής του τσιμέντου σύμφωνα με την πλειοψηφία των εργοστασιακών μονάδων της Ελλάδας και τις πιο διαδεδομένες τεχνικές παραγωγής.

3.1 Πρώτο στάδιο: Εξόρυξη - Μεταφορά - Θραύση

Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει περιληπτικά, την εξόρυξη των πρώτων υλών από τα λατομεία, τη διαδικασία θραύσης τους και την μεταφορά τους στη μονάδα παραγωγής. Κυρίως εξορύσσονται ασβεστόλιθος, σχιστόλιθος και άλλα παρεμφερή αργιλοπυριτικά υλικά. Τα υπόλοιπα υλικά όπως η καλαμίνα ή η ποζολάνη (φυσική ή τεχνητή) λαμβάνονται έτοιμα για χρήση από αντίστοιχες εταιρείες παραγωγής, χωρίς να χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία.

Μετά την ελεγχόμενη ανατίναξη στα λατομεία και την θραύση των μεγάλων ογκολίθων με τη χρήση των υδραυλικών σφυρών, ακολουθεί μία πρώτη θραύση σε σπαστήρες του λατομείου μειώνοντας το μέγεθος των κόκκων. Έπειτα τα υλικά μεταφέρονται με φορτωτικά και μεταφορικά μηχανήματα στη μονάδα παραγωγής για περαιτέρω θραύση όπου απαιτείται. Ο ασβεστόλιθος για παράδειγμα μετά την πρώτη φάση θραύσης στο λατομείο έχει ήδη την

επιθυμητή κοκκομετρία και δεν απαιτείται περαιτέρω θραύση του. Από την άλλη τα αργιλοπυριτικά υλικά απαιτούν θραύση. Μεταφέρονται έτσι σε σπαστήρες της μονάδας παραγωγής όπου θρύβονται και αποκτούν την επιθυμητή κοκκομετρία.

Το επόμενο βήμα είναι η ομοιογένεια των πρώτων υλών. Τα ασβεστολιθικά υλικά έχουν αρκετά καλή ομοιογένεια και έτσι πραγματοποιείται μια απλή διαδικασία ομογενοποίησης μέσω ενός συστήματος παλινδρομικών αμφίδρομων ταινιών και αποθηκευτικών βαγονιών. Τα αργιλοπυριτικά υλικά έχουν έντονη ανομοιομορφία σύστασης. Η ομοιομορφία τους επιτυγχάνεται μέσω ενός συστήματος αποθέτη και απολήπτη. Πριν όμως τεθούν σε λειτουργία αυτά τα δύο μηχανήματα, τα υλικά περνάνε από έναν on-line χημικό αναλυτή. Αυτός δίνει την ακριβή χημική σύσταση του υλικού, δηλαδή τις μετρούμενες τιμές των διάφορων ποιοτικών δεικτών, όπως του Sm που είναι ο πυριτικός δείκτης, του Am που είναι ο αργιλικός δείκτης και του LSF που είναι ο βαθμός κορεσμού σε άσβεστο. Με βάση αυτές τις μετρήσεις αποφασίζεται τι υλικό επιλέγεται να τροφοδοτήσει τη μονάδα παραγωγής, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι των δεικτών (Εικ. 7).

Ένα λατομείο, για παράδειγμα αργιλοπυριτικών υλικών χωρίζεται σε μέτωπα, με βάση κυρίως τον πυριτικό δείκτη (Sm). Κατά την διάνοιξη ενός νέου μετώπου, πραγματοποιούνται γεωτρήσεις με διατρήματα σύμφωνα με κানাβο που εξαρτάται από την εκτιμώμενη ανομοιομορφία του υλικού. Αντιπροσωπευτικά δείγματα των γεωτρήσεων αναλύονται στο εργαστήριο με την μέθοδο XRF και έτσι οι δείκτες κάθε μετώπου είναι γνωστοί.

Στη συνέχεια το αυτοματοποιημένο σύστημα του αποθέτη και του απολήπτη αναλαμβάνει την ομοιογένεια. Τα δύο αυτά αποτελούν διατάξεις που κινούνται αυτόματα και λειτουργούν σύμφωνα με μηχανικά καθοριζόμενες προγραμματισμένες κινήσεις. Ξεκινάει αρχικά ο αποθέτης, να στρώνει το αργιλοπυριτικό υλικό σε σωρούς συγκεκριμένου όγκου και βάρους. Συνήθως αποθέτει το υλικό με προσανατολισμό κίνησης Βορρά-Νότου. Όταν ο σωρός φτάσει περίπου τους 7,000 τόνους ο αποθέτης σταματάει, αποσύρεται και ξεκινάει να δουλεύει ο απολήπτης. Αυτός αρχίζει να απολήπτει και να καταστρέφει τον σωρό που δημιουργήθηκε. Η κίνηση του, θα είναι κάθετη ως προς αυτήν του αποθέτη για να επιτευχθεί η ομοιογένεια. Αφού επιτευχθεί η ομοιογένεια των πρώτων υλών, αυτές καταλήγουν μέσω μεταφορικών ταινιών σε σιλό αποθήκευσης. Η κάθε πρώτη ύλη αποθηκεύεται σε ξεχωριστό σιλό.

ΣΤΟΧΟΙ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

ΔΕΙΚΤΕΣ ΦΑΡΙΝΑΣ

$$LSF = \frac{100 \cdot CaO}{2,80 \cdot SiO_2 + 1,18 \cdot Al_2O_3 + 0,65 \cdot Fe_2O_3}$$

$$SM = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

$$AM = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΚΛΙΝΚΕΡ

ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ Α' ΥΛΩΝ ΣΤΗ ΦΑΡΙΝΑ

+0,25% ΑΣΒ/ΘΟΣ → +1 LSF
+0,17% ΑΜΜΟΣ → +0,1 SM
+1% ΚΑΛΑΜΙΝΑ → -0,7 SM

ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ Α' ΥΛΩΝ ΣΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

+1% ΓΥΨΟΣ → +0,40% SO₃
+1% ΠΟΖΟΛΑΝΗ → +0,80% R.I.
+1% ΑΣΒ/ΘΟΣ → +0,43% L.O.I.

ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΠΡΟΣΘΗΚΩΝ ΣΤΟ ΒΛΑΙΝΕ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

+1% ΠΟΖΟΛΑΝΗ → +30 μον. BLAINE
+1% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ → +50 μον. BLAINE
+1% ΠΠΤ. ΤΕΦΡΑ → +35 μον. BLAINE

ΣΤΟΧΟΣ Σχιστοφαρμιτών Λαγυνών (Σαφούς)

SM= 2,65 AM= 2,5
(από 2,1 έως 3,5) (από 2,1 έως 3,5)
%MgO=3,0 (έως 5,0)

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΕ ΦΑΡΙΝΑ & ΚΛΙΝΚΕΡ

(ΦΑΡΙΝΑ) → +2,5% C3S (ΚΛΙΝΚΕΡ)
(ΚΛΙΝΚΕΡ) → -2% C3S (ΚΛΙΝΚΕΡ)

Υπολογισμός κατά Bogue

4,07*CaO-7,60*SiO₂-6,72*Al₂O₃-1,43*Fe₂O₃-2,85*SO₃

2,85*SiO₂-0,75*C3S

2,65*Al₂O₃-1,69*Fe₂O₃

3,04*Fe₂O₃

2,99*Al₂O₃+2,2*Fe₂O₃+MgO+0,658*K₂O+Na₂O

ΣΤΟΧΟΣ ΑΣΒ/ΘΟΥ Ταναράδων

%SiO₂=1,0
(έως 2,0%)
%MgO=1,5
(έως 2,0%)

ΣΤΟΧΟΣ ΑΣΒ/ΘΟΥ Δρυμού

%SiO₂=1,0
(έως 2,0%)
%MgO=1,0
(έως 2,0%)

ΟΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ & ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ ΛΕΥΚΟΥ ΚΛΙΝΚΕΡ

%C3S 70,00 (άνω 66,0)
%C3S 84,00 (άνω 80,0)
%Λευκότητα
%C3S 0,90 (έως 1,0)
%C3S 2,50 (έως 4,0)

ΣΤΟΧΟΣ PET COKE

%Υγρασία
0,50
(από 0,1% έως 1,5%)
2,00 (από 1% έως 2,5%)

Εικόνα 7. Παράδειγμα στόχων των πρώτων υλών, της φαρίνας και λοιπές χρήσιμες πληροφορίες από μία πραγματική γραμμή παραγωγής (Προσωπικό αρχείο).

3.2 Δεύτερο στάδιο: Άλεση πρώτων υλών

Ακολουθεί η άλεση των πρώτων υλών στο μύλο λειοτρίβισης. Αυτός τροφοδοτείται από τα σιλό των τεσσάρων βασικών πρώτων υλών. Υπάρχουν δύο μέθοδοι λειτουργίας του μύλου λειοτρίβισης, η υγρή και η ξηρή μέθοδος. Κατά την υγρή μέθοδο προστίθεται στον μύλο ποσότητα νερού. Τα υλικά που αλέθονται έχουν τη μορφή ενός πολτού. Το περιεχόμενο νερό δεν ξεπερνά το 35-40%, ο πολτός είναι εύκολα διαχειρίσιμος και για την διοχέτευση του από το μύλο χρησιμοποιούνται ειδικοί διαχωριστές. Στην ξηρή μέθοδο χρησιμοποιείται παρόμοια διαδικασία με τη βοήθεια της κυκλοφορίας του αέρα. Στο τέλος της άλεσης τα υλικά μετατρέπονται σε μία αναφή σκόνη, που ονομάζεται φαρίνα, η οποία μέσω αέρα υπό πίεση απομακρύνεται από τον μύλο και αποθηκεύεται σε ένα μεγάλης χωρητικότητας σιλό. Από τα σιλό της φαρίνας αυτή οδηγείται στον προθερμαντή. Η καθορισμένης σύστασης φαρίνα αποτελεί το πρώιμο στάδιο του κλίνκερ. Για να μετασχηματιστεί σε κλίνκερ, πρώτα περνάει μία διαδικασία προθέρμανσης και προασβεστοποίησης (Ames et al. 1994).

3.3 Τρίτο στάδιο: Προθέρμανση – Προασβεστοποίηση φαρίνας

Η φαρίνα από το αποθηκευτικό σιλό εισέρχεται στον προθερμαντή, ο οποίος αποτελείται από 6 κυκλώνες, έναν προασβεστοποιητή (calciner) και αεραγωγούς. Ο προθερμαντής θερμαίνει την φαρίνα στους 850-900°C με αποτέλεσμα να ξηραίνεται. Οι κυκλώνες στροβιλίζουν την φαρίνα με αέρια από τον κλίβανο υπό πίεση έτσι ώστε να αναρροφάται προς τα επάνω. Στον προασβεστοποιητή γίνεται η διάσπαση του CaCO_3 σε CaO και CO_2 ώστε να διαφύγει η μεγαλύτερη ποσότητα του CO_2 . Στη διαδικασία της προθέρμανσης αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες. Το χλώριο, το θείο και τα αλκάλια σχηματίζουν ενώσεις οι οποίες τήκονται σε αυτές τις θερμοκρασίες και δημιουργούν επιστρώσεις εσωτερικά των τμημάτων του προθερμαντή. Αποτέλεσμα αυτού είναι το φράξιμο των αγωγών και των κατώτερων κυρίως τμημάτων του προθερμαντή όπου βρίσκεται και η φλόγα του προασβεστοποιητή. Για την αποφυγή τέτοιων δυσχερειών, πρέπει να εξετάζονται οι ενώσεις που αναπτύσσονται μεταξύ αλκαλίων, χλωρίου και θείου και να γίνεται σωστή επιλογή τόσο των πρώτων υλών, όσο και των καυσίμων (Ames et al. 1994).

Τα καύσιμα, συνήθως πετ κοκ και εναλλακτικά άλλα καύσιμα, έχουν ιδιαιτερότητες. Το πετ κοκ παρουσιάζει συνήθως μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη και είναι ευκολότερο και ασφαλέστερο στο χειρισμό του. Αντίθετα, τα εναλλακτικά καύσιμα που είναι ανακυκλώσιμα υλικά τα οποία μπορεί να είναι κομμάτια υφασμάτων μέχρι ελαστικά αυτοκινήτων ή σιτηρά απαιτούν μεγάλη προσοχή κατά τη καύση τους, καθώς δεν υπάρχει ομοιομορφία της σύστασής τους και παρουσιάζουν χαμηλή θερμογόνο δύναμη. Αυτή είναι και η αιτία του

σχηματισμού των επιστρώσεων. Η σημαντική διαφορά τους είναι το κόστος. Τα ανακυκλώσιμα υλικά κοστίζουν πολύ λιγότερο από ότι το πετ κοκ. Το κόστος όμως είναι σχετικό, διότι η καύση των εναλλακτικών καυσίμων απαιτεί συχνά των ψεκασμό των μύλων άλεσης καυσίμων με αμμωνία ή ακόμη και διοξείδιο του άνθρακα σε περίπτωση ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών και κινδύνου πυρκαγιάς.

3.4 Τέταρτο στάδιο: Έψηση-ψύξη κλίνκερ

Το τσιμέντο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι ένα τεχνητό υλικό. Ένα πρόδρομο προϊόν του τσιμέντου είναι το κλίνκερ. Το κλίνκερ αποτελείται από φυσικές ορυκτές πρώτες ύλες, αλλά πρόκειται για ένα τεχνητό προϊόν. Το κλίνκερ τύπου Πόρτλαντ είναι το προϊόν που προκύπτει μετά από έψηση σε θερμοκρασία κλινκεροποίησης (περί τους 1450 °C) ενός κατάλληλα αλεσμένου και πλήρως ομογενοποιημένου μίγματος που αποτελείται περίπου από 75% ασβεστολιθικό και 25% αργιλοπυριτικό υλικό. Είναι ένα υδραυλικό υλικό που συνίσταται τουλάχιστον κατά τα 2/3 κ.β. από C3S (αλίτης ή πυριτικό τρι-ασβέστιο) και C2S (βελίτης ή πυριτικό διασβέστιο) και το υπόλοιπο από αργλικές (τρι-ασβεστιτικό αργίλιο) και σιδηροαργιλιούχες φάσεις (σιδηροαργιλιούχο τετρασβέστιο). Μία τυπική ορυκτολογική ανάλυση κλίνκερ είναι 64% C3S (Ca_3SiO_4), 15% C2S (Ca_2SiO_5), 8% C3A ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$), 11% C4AF ($\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$), ελεύθερο CaO <2% (ως άθροισμα CaO + Ca(OH)₂).

Με τον όρο κλινκεροποίηση εννοείται η τελική διεργασία για τον σχηματισμό του κλίνκερ, η έψηση δηλαδή της φαρίνας σε περιστρεφόμενο κλίβανο. Ο κλίβανος, είναι ένας κύλινδρος μεγάλης διαμέτρου (7,6 m) και μεγάλου μήκους (230 m) ο οποίος περιστρέφεται. Η προθερμασμένη φαρίνα εισέρχεται στον κλίβανο από την είσοδο, ενώ η καύση πραγματοποιείται από την φλόγα ενός καυστήρα που βρίσκεται στην έξοδο του κλιβάνου. Η φλόγα αυτή έχει θερμοκρασία έως 1,500°C περίπου (Ames et al. 1994). Η αντοχή του κλιβάνου στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του οφείλεται στην κατασκευή του που είναι συνήθως από ατσάλι και στην επένδυση του που είναι αποκλειστικά από πυρίμαχα μεγάλου πάχους τούβλα. Αυτό που επιτυγχάνεται μέσα στον κλίβανο είναι η αλλαγή της κρυσταλλικής δομής της φαρίνας, με μερική και όχι πλήρης τήξη της. Η φαρίνα μέσα στον κλίβανο περνάει από μερικά στάδια πριν την ολοκληρωτική φρύξη της. Εισέρχεται στον κλίβανο και αρχικά θερμαίνεται ώστε να χάσει την υγρασία της, έπειτα περνάει στη ζώνη ασβεστοποίησης όπου στη θερμοκρασία των 1,000°C τα ανθρακικά υλικά χάνουν το CO₂ και παραμένει το CaO. Τέλος, περνάει στη ζώνη όπου το υλικό κλινκεροποιείται με σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας και τις αντίστοιχες χημικές αντιδράσεις που ακολουθούν τις διάφορες θερμοκρασίες. Ένα από τα πιο ζημιογόνα προβλήματα του κλιβάνου είναι οι

επιστρώσεις λιωμένου υλικού που επικάθονται εσωτερικά του κλίβανου. Βασική αιτία αυτών είναι η κακή κατανομή της φλόγας του καυστήρα μέσα στον κλίβανο.

Μετά την έξοδο του κλίνκερ από τον κλίβανο, αυτό καταλήγει σε έναν ψύκτη, ο οποίος παγώνει το υλικό ώστε αυτό να κρατήσει την κρυσταλλική δομή που απέκτησε στον κλίβανο. Είναι πολύ σημαντικό αυτό το στάδιο της παραγωγής του τσιμέντου, διότι εξασφαλίζει τις επιθυμητές υδραυλικές και φυσικές ιδιότητες του κλίνκερ και κατ' επέκταση του τσιμέντου. Η ψύξη επιτυγχάνεται με την κίνηση του κλίνκερ πάνω σε διάτρητες πλάκες και τη χρήση ανεμιστήρων κάτω από τις πλάκες που παροχετεύουν αέρα στο κλίνκερ (Ames et al. 1994).

3.5 Πέμπτο στάδιο: Συνάλεση κλίνκερ με γύψο και φυσικές ή τεχνητές ορυκτές ύλες για την παραγωγή τσιμέντου

Το πέμπτο και τελικό στάδιο είναι η συνάλεση του κλίνκερ με πρόσθετα όπως η γύψος, η ποζολάνη ή ιπτάμενη τέφρα και ο ασβεστόλιθος. Η συνάλεση γίνεται μέσα στους μύλους τσιμέντου. Αυτοί είναι συνήθως σφαιρόμυλοι, δηλαδή είναι περιστρεφόμενοι οριζόντιοι κύλινδροι που φέρουν στο εσωτερικό τους σφαίρες, οι οποίες πραγματοποιούν μία σύνθετη κίνηση. Κατά την περιστροφή του μύλου με σύρσιμο τρίβουν το υλικό στα τοιχώματα του και όταν φτάσουν στο ανώτερο σημείο λόγω βάρους πέφτουν και σπάζουν τα υλικά. Κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η επιθυμητή κοκκομετρία του τσιμέντου. Έπειτα, το τσιμέντο αποθηκεύεται σε μεγάλες αποθήκες και οδηγείται από εκεί στο τμήμα ενσάκισης, όπου το τελικό προϊόν είναι έτοιμο για αποστολή στους αγοραστές.

Κατά τη διεξαγωγή της παραγωγικής διαδικασίας, αλλά και συνολικά την λειτουργία τόσο του εργοστασίου, όσο και των λατομείων επιβάλλεται η τήρηση των ορίων εκλυόμενων ρύπων. Οι εταιρείες παραγωγής πρέπει να συμμορφώνονται με βάση τις οριζόμενες από το νόμο διατάξεις. Αυτό διασφαλίζεται μέσω των φίλτρων και των συστημάτων ψεκασμού αμμωνίας (NH_3). Συνήθως ένα εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου διαθέτει περισσότερα από εκατό παραγωγικά φίλτρα, που μειώνουν στο ελάχιστο την διαφυγή σκόνης στο περιβάλλον. Ονομάζονται παραγωγικά καθώς η ποσότητα σκόνης που συγκρατούν αποτελεί προϊόν για το εργοστάσιο, είναι ένα ποσοστό των πρώτων υλών, επομένως η απώλεια του έχει επιβαρυντικό κόστος. Τα συστήματα ψεκασμού αμμωνίας (NH_3) βρίσκονται στον κλίβανο, αλλά και τους μύλους άλεσης των καυσίμων και χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις αυξημένου κινδύνου πυρκαγιάς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Η βιομηχανία τσιμέντου στην Ελλάδα υπήρξε για πολλά χρόνια η κινητήριος δύναμη της εθνικής οικονομίας. Αποτέλεσε τη σημαντικότερη βιομηχανική δραστηριότητα της Ελλάδας από τον 20^ο αιώνα με την ίδρυση του πρώτου εργοστασίου παραγωγής τσιμέντου το 1902 από την εταιρία TITAN A.E. Αυτό που κατέστησε την Ελλάδα ως μία ιδανική χώρα για την παραγωγή τσιμέντου ήταν τόσο η αφθονία σε πρώτες ύλες και κυρίως ασβεστολιθικές πηγές όσο και η γεωγραφική της θέση με τα λιμάνια για την εξαγωγή του παραγόμενου τσιμέντου. Αρχικά η παραγωγή προοριζόταν για εσωτερική κατανάλωση. Η Ελλάδα έχριζε ανάγκης δομικών υλικών για την ανοικοδόμηση της. Κάπως έτσι πάρθηκε η πρωτοβουλία από τον Ν. Κανελλόπουλο, τον Α. Ζαχαρίου, τον Ν. Χατζηκυριάκο και τον Λ. Οικονομίδη να ιδρύσουν την πρώτη εταιρεία παραγωγής τσιμέντου με την επωνυμία ΧΑΤΖΗΚΥΡΙΑΚΟΣ ΖΑΧΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΙΑ και το πρώτο εργοστάσιο στην Ελευσίνα. Η εταιρεία TITAN A.E., όπως ονομάστηκε στη συνέχεια το 1911, είχε από τα πρώτα χρόνια της ίδρυσης της εξαγωγικό χαρακτήρα με την πρώτη εξαγωγή να πραγματοποιείται το 1933 στη Βραζιλία.



Εικόνα 8: Παλιό (αριστερά) και νέο (δεξιά) λογότυπο της Α.Ε. TITAN (Πηγή:el.wikipedia.org)

Το 1962 ιδρύεται το εργοστάσιο της Νέας Ευκαρπίας στη Θεσσαλονίκη. Το 1968 ιδρύεται εργοστάσιο στο Δρέπανο Αχαΐας, το 1976 στο Καμάρι Βοιωτίας και το 1978 ιδρύεται η INTERMPIETON ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε., με αντικείμενο την παραγωγή, μεταφορά και εμπορία ετοιμού σκυροδέματος. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και της τεχνογνωσίας ήταν η αφετηρία για την εταιρεία να επεκτείνει τις δραστηριότητές της σε ανεπτυγμένες κυρίως χώρες του εξωτερικού. Η πολυεθνική εταιρεία διαθέτει πλέον εργοστάσια παραγωγής, καθώς και πλωτούς σταθμούς αποθήκευσης σε πολλά κράτη όπως τη Βουλγαρία, την Τουρκία, τα Σκόπια, την Αλβανία, την Ιταλία, τη Γαλλία, το Ηνωμένο

Βασίλειο, την Αίγυπτο, τη Σαουδική Αραβία και σε κάποιες πολιτείες των Η.Π.Α. Οι εξαγορές ξένων εταιριών δεν άργησαν, η εταιρεία παρατηρούσε την αύξηση των κερδών της από τις δραστηριότητες της στο εξωτερικό και αποφάσισε να στηρίξει την οικονομία της σε αυτό. Έτσι από το 1980 και μετά αρχίζει να εξαγοράζει εταιρείες. Μέσα σε αυτές ήταν η Roanoke Cement Company Inc στη Virginia των Η.Π.Α., η Cementarnica Usje στα Σκόπια, η TARMAC AMERICA στις Η.Π.Α., η Kosjeric στη Σερβία και η ZLATNA PANEGA A.D. στη Βουλγαρία. Έκανε και κοινοπραξίες, εξαγοράζοντας ποσοστά μετοχών, όπως η Beni Suef Cement (σε κοινοπραξία με τη LAFARGE) και η ALEXANDRIA PORTLAND CEMENT (σε κοινοπραξία με τη LAFARGE) στην Αίγυπτο τις οποίες όμως αργότερα απέκτησε εξολοκλήρου και η Adocim Cimento Beton Sanayi ve Ticaret A.S στην Τουρκία που απέκτησε το 50% των μετοχών της. Η εταιρεία TITAN ΑΕ τσιμεντών αποτελεί την ηγέτιδα εταιρεία στην Ελλάδα στον κλάδο της τόσο σε ετήσια παραγωγική ικανότητα (6,9 εκ. τόνοι το 2014), όσο και σε πωλήσεις (264 εκ. ευρώ το 2014) (Πατσούρη, 2018)

Ένα χρόνο μετά την ίδρυση της TITAN Α.Ε. ιδρύεται η ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ το 1911 με το πρώτο της εργοστάσιο στη Δραπετσώνα του Πειραιά. Ιδρυτές της οι Δ. Ζαμάνος και Δ. Ζαβογιάννης. Το 1929 γίνεται συγχώνευση με την «Εταιρεία Τσιμεντών Βόλου ΟΛΥΜΠΙΟΣ». Το 1964-1967 ξεκινάει η λειτουργία κέντρων διανομής στη Θεσσαλονίκη, το Ρίο και την Ηγουμενίτσα. Το 1983 ιδρύεται το εργοστάσιο 'ΗΡΑΚΛΗΣ II' στο Μηλάκι Εύβοιας. Το 1992 μεταβιβάζεται το 50,5% στην Ιταλική ανώνυμη εταιρεία Calcestruzzi. Το 1996 η εταιρεία εξαγοράζει τον όμιλο «Τσιμέντα Χαλκίδας Group» και το 2000 μεταβιβάζεται το 54,4% των μετοχών στον Αγγλικό όμιλο Blue Circle. Από το 2001 με την εξαγορά της Blue Circle από τη Lafarge η ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ αποτελεί μέλος του πολυεθνικού ομίλου. Το 2015 γίνεται η συγχώνευση της Holcim & Lafarge και το 2016 εξαγοράζεται το 100% της ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ από την Lafarge & Holcim (Εικ. 9). Η ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ έχει δυναμική παρουσία στο Ελληνικό χώρο του τσιμέντου με ετήσια παραγωγική δυνατότητα (6,7 εκ. τόνους).

Η TIATN Α.Ε. και η ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ αποτελούν τις ηγέτιδες εταιρείες της Ελληνικής τσιμεντοβιομηχανίας. Είναι αυτές που καλύπτουν τις εγχώριες ανάγκες προσφοράς και ζήτησης σε τσιμέντο. Σύμφωνα με την χρηματοοικονομική ανάλυση της Πατσούρη (2018) από το 2011 έως το 2013 υπήρξε σταδιακή επιδείνωση σε όλα τα μεγέθη των δύο εταιρειών, ενώ τη διετία 2014-2015 σημειώνεται ανάκαμψη. Ήταν οι μοναδικές εταιρείες που έπειτα από την διεθνή κρίση του 2009 επιβίωσαν χάρη στην ανασυγκρότηση τους και τον εξαγωγικό χαρακτήρα τους.



Εικόνα 9: Παλιό (αριστερά) και νέο (δεξιά) λογότυπο της ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ

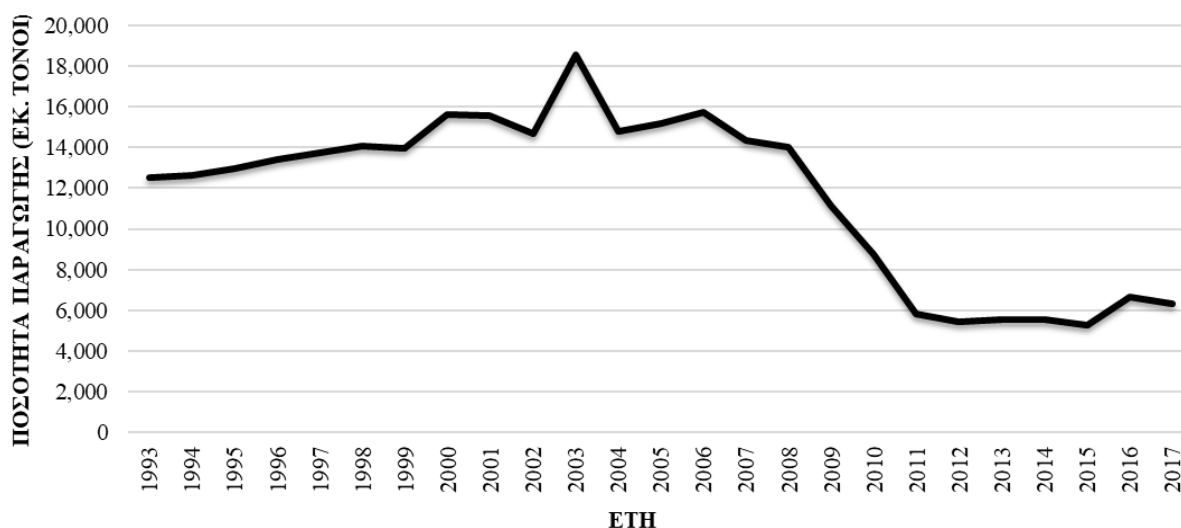
Σημαντική όμως εταιρεία παραγωγής τσιμέντου υπήρξε και η "ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΧΑΛΚΙΔΟΣ Α.Ε." η οποία όπως αναφέρθηκε εξαγοράστηκε από την ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ και διέθετε ένα εργοστάσιο στην Χαλκίδα, το οποίο από το 2013 βρίσκεται σε διακοπή λειτουργίας.

Τέλος, μία εξίσου σημαντική εταιρεία είναι η «Τσιμέντα Χάλυψ», η οποία διαθέτει ένα εργοστάσιο στον Ασπρόπυργο. Πλέον αποτελεί και αυτή μέρος πολυεθνικού ομίλου, της «HeidelbergCement Group».



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΠΩΛΗΣΕΙΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

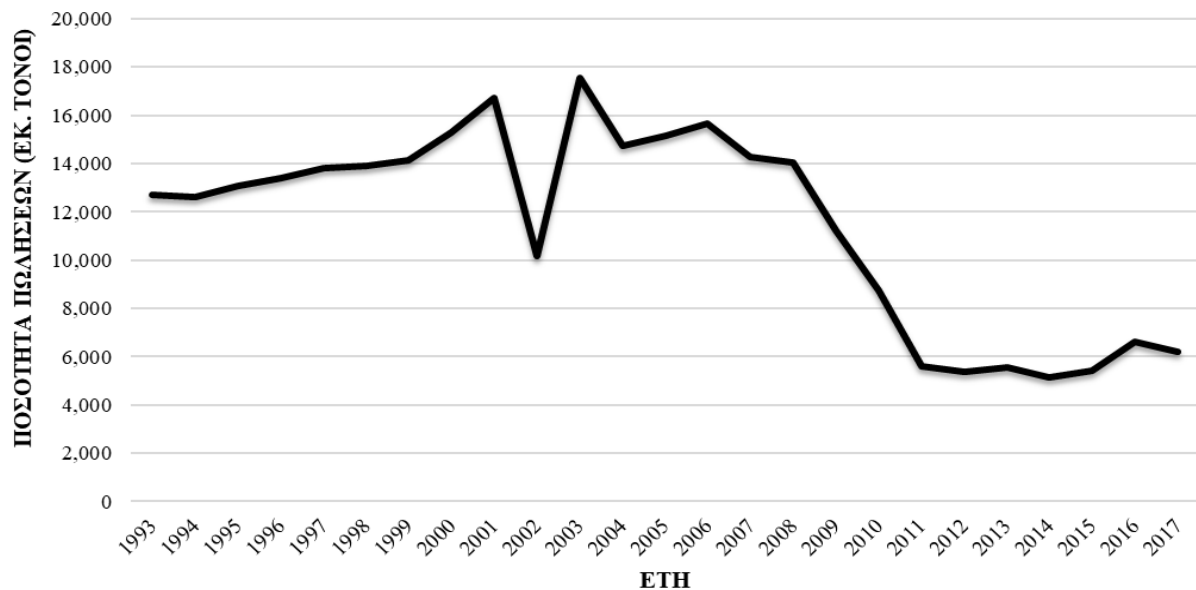
Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η ανάλυση των στοιχείων για την ποσότητα παραγωγής, την ποσότητα πωλήσεων και την αξία πωλήσεων του τσιμέντου και του κλίνκερ της εγχώριας τσιμεντοβιομηχανίας από το έτος 1993 έως το 2017. Παράλληλα θα αναλυθούν η ποσότητα παραγωγής, η ποσότητα πωλήσεων και η αξία των εξαγωγών τσιμέντου και κλίνκερ για τα έτη 2004 έως 2018, ενώ θα παρουσιαστούν και διαγράμματα πρόβλεψης των ποσοτήτων αυτών. Πηγή πληροφοριών αποτέλεσαν οι πίνακες με τα «Στοιχεία ετήσιας έρευνας παραγωγής και πωλήσεων βιομηχανικών προϊόντων» της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής. Παρακάτω δίνονται αρχικά τα διαγράμματα που απεικονίζουν την διακύμανση των προαναφερθέντων ποσοτήτων για το χρονικό διάστημα 1993-2017 (Εικ. 10-12).



Εικόνα 10. Παραγωγή τσιμέντου τύπου Πόρτλαντ για τα έτη 1993-2017 (Ελληνική Στατιστική Αρχή).

Ερμηνεύοντας το διάγραμμα της Εικ. 10 παρατηρείται ότι από το έτος 1993 έως 1998 υπάρχει σταδιακή αύξηση της ποσότητας παραγωγής. Το 1999 σημειώνεται απότομη πτώση της τάξης του 1 εκ. τόνων, ενώ για τα έτη 2000 και 2001 η τιμή αυξάνεται, ώσπου το 2002 παρουσιάζει και πάλι απότομη πτώση της τάξης του 1 εκ. τόνων. Στο παραπάνω διάγραμμα, γίνεται εύκολα αντιληπτή η μέγιστη τιμή του. Το έτος 2003 η ποσότητα παραγωγής τσιμέντου Portland ξεπέρασε τους 18 εκατομμύρια τόνους. Το 2004 μειώνεται πάλι η ποσότητα στα επίπεδα του 2002 και από το 2005 όπου αυξάνεται ξανά παρουσιάζει σταδιακή μείωση έως το 2010. Από το έτος 2011 παρατηρείται δραματική πτώση η οποία κορυφώνεται

το έτος 2015 με την ελάχιστη ποσότητα παραγωγής στους 5,3 εκ. τόνους. Ακολουθεί ανάκαμψη το έτος 2016, με μικρή πτώση το 2017.

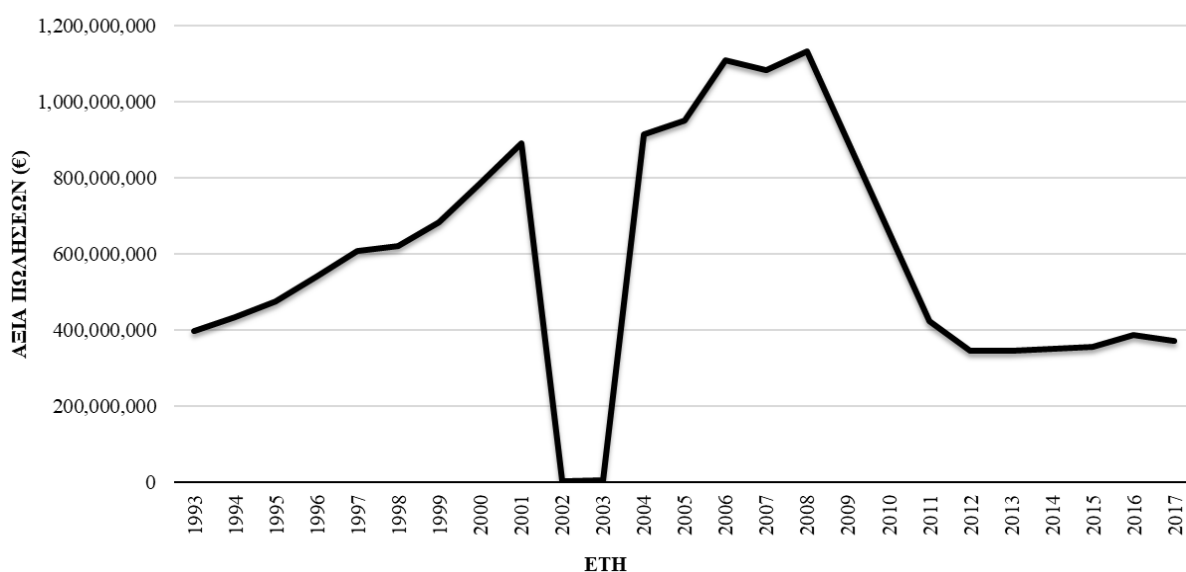


Εικόνα 11. Πωλήσεις τσιμέντου τύπου Πόρτλαντ για τα έτη 1993-2017 (Ελληνική Στατιστική Αρχή).

Εύκολα μπορεί να συσχετισθεί το προηγούμενο διάγραμμα με το παρόν που αφορά την ποσότητα πωλήσεων του τσιμέντου Portland (Εικ. 11). Για τα έτη 1993 έως 2001 οι ποσότητες πωλήσεων έχουν ανοδική πορεία. Μάλιστα σε σύγκριση με τις ποσότητες παραγωγής τα έτη 1993-1995, 1997, 1999 και 2001 η ποσότητα πωλήσεων υπερβαίνει την ποσότητα παραγωγής. Το 2002 σημειώνεται ραγδαία πτώση στους 10 εκ. τόνους πωλήσεων ενώ η ποσότητα παραγωγής ανήλθε στους 14 εκ. τόνους. Το 2003 παρουσιάζει απότομη αύξηση και αποκτά τη μέγιστη τιμή στους 17.5 εκ. τόνους, χωρίς όμως να ξεπερνά την ποσότητα παραγωγής. Τα έτη 2004 έως 2008 οι τιμές κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα και σε αντιστοιχία με την ποσότητα παραγωγής. Από το 2008 έως και το 2017 το διάγραμμα συμπίπτει με το διάγραμμα της ποσότητας παραγωγής. Υπάρχει εμφανής πτώση από το 2008 έως το και το 2011 όπου η γραμμή σταθεροποιείται και κυμαίνεται στους 5 εκ. τόνους. Ελάχιστη τιμή του διαγράμματος είναι οι 5,1 εκ. τόνοι το 2014. Το 2016 σημειώνεται αύξηση, ενώ το 2017 μικρή πτώση.

Το διάγραμμα της Εικ. 12 που αφορά το τσιμέντο Portland αναφέρεται στην αξία των πωλήσεων. Από το έτος 1993 έως και το 2001 η αξία αυξάνεται σταδιακά. Ακολουθεί κατακόρυφη μείωση το 2002 όπου η αξία σημειώνει την ελάχιστη τιμή της στα 2,000,000€ περίπου. Το έτος 2003 παρουσιάζει μικρή αύξηση στα 3,000,000€. Αναφορικά με τα

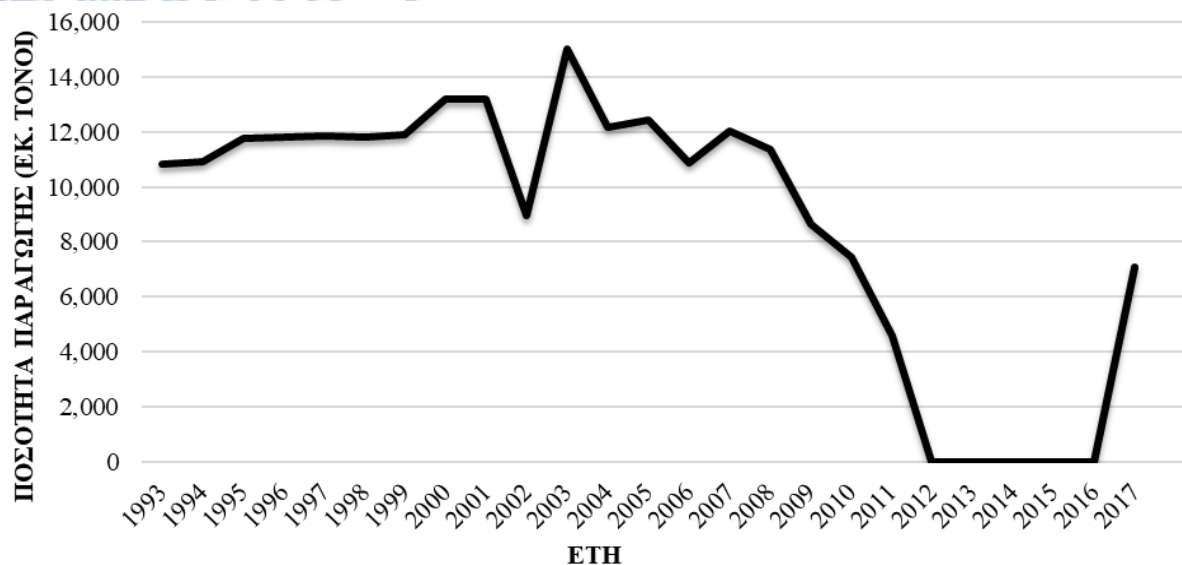
προηγούμενα διαγράμματα το έτος 2003 υπήρξε αυτό με τις μέγιστες τιμές ποσότητας παραγωγής, αλλά και ποσότητας πωλήσεων. Το 2004 η αξία ανακάμπτει και αυξάνεται σταδιακά μέχρι την μέγιστη τιμή του διαγράμματος το 2008 όπου η αξία ανήλθε στα 1,140,000,000€. Από το έτος 2009 το διάγραμμα παρουσιάζει σταδιακή μείωση με την αξία να κυμαίνεται σταθερά στα περίπου 3,000,000€ με μοναδική εξαίρεση το 2016 όπου παρουσιάζει αύξηση στα 3,800,000€.



Εικόνα 12. Αξία πωλήσεων τσιμέντου τύπου Πόρτλαντ για τα έτη 1993-2017 (Ελληνική Στατιστική Αρχή).

Τα διαγράμματα των Εικ. 13-15 αναφέρονται στο κλίνκερ. Ο διαχωρισμός του τσιμέντου από το κλίνκερ έγκειται στο γεγονός ότι και το κλίνκερ αποτελεί ξεχωριστό προϊόν πώλησης.

Στο διάγραμμα της Εικ. 13 φαίνεται η ποσότητα παραγωγής του κλίνκερ να παρουσιάζει για τα έτη 1993-2001 μία σταθερή αύξηση από τους 10 εκ. τόνους σε 13 εκ. τόνους. Το 2002 υπάρχει κατακόρυφη πτώση στους 8,9 εκ. τόνους, ενώ το 2003 ραγδαία αύξηση, όπου σημειώνεται και η μέγιστη ποσότητα παραγωγής, 15 εκ. τόνοι. Τα έτη 2004-2011 υπάρχει γενική μείωση από τους 12 εκ. τόνους στους 4 εκ. τόνους. Για τα έτη 2011 έως και 2016 η ποσότητα παραγωγής ήταν μηδενική, ενώ το 2017 υπήρξε κατακόρυφη αύξηση στους 7 εκ. τόνους.



Εικόνα 13. Παραγωγή κλίνκερ για τα έτη 1993-2017 (Ελληνική Στατιστική Αρχή).



Εικόνα 14. Πωλήσεις κλίνκερ για τα έτη 1993-2017 (Ελληνική Στατιστική Αρχή).

Το διάγραμμα της διακύμανσης ποσότητας πωλήσεων (Εικ. 14) παρουσιάζει μία εντελώς διαφορετική κατανομή από το διάγραμμα της ποσότητας παραγωγής. Τα έτη 1993 έως 1995 υπάρχει μία έντονη αυξομείωση. Από το 1995 έως το 1999 υπάρχει σταδιακή ύφεση, ενώ το 2000 η ποσότητα αυξάνεται και ανέρχεται στα επίπεδα του 1997. Ακολουθεί σταδιακή μείωση έως το 2002. Το 2003 επανακάμπει και ακολουθεί ξανά ύφεση έως το 2006. Από το 2007 το διάγραμμα της ποσότητας παραγωγής συμπίπτει με το διάγραμμα της ποσότητας πωλήσεων. Το 2007 η ποσότητα παρουσιάζει απότομη αύξηση και ακολουθεί σταδιακή ύφεση έως και το έτος 2011. Για τα επόμενα τέσσερα χρόνια, από το 2012 έως και

το 2016 η ποσότητα πωλήσεων είναι μηδενική και το 2017 σημειώνεται η υψηλότερη τιμή στους 1,6 εκ. τόνους.



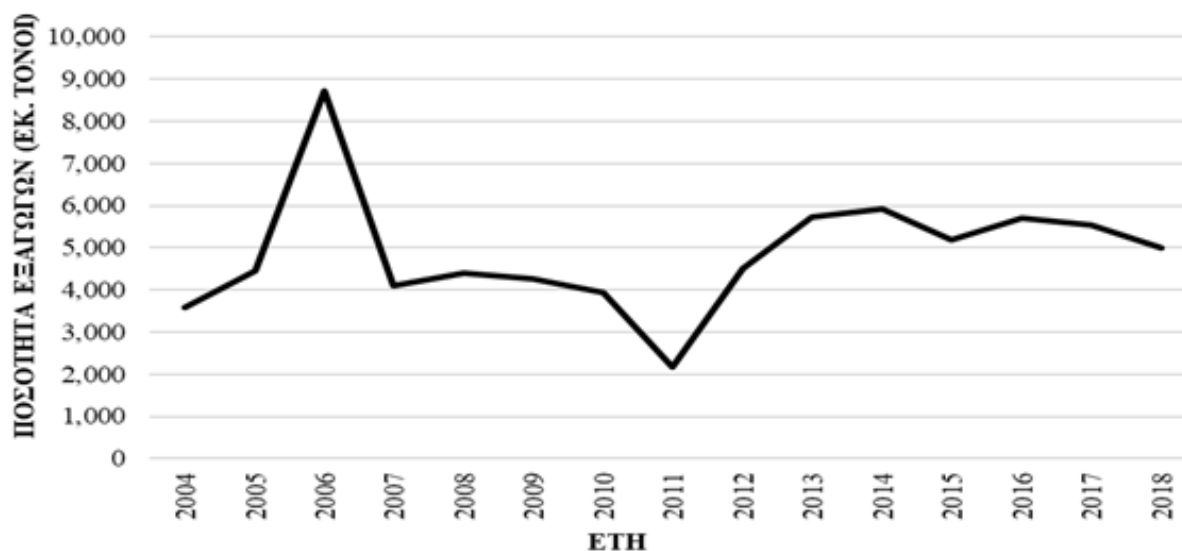
Εικόνα 15. Αξία πωλήσεων κλίνκερ για τα έτη 1993-2017 (Ελληνική Στατιστική Αρχή).

Τέλος, το διάγραμμα της Εικ. 15 αναφέρεται στην αξία των πωλήσεων του κλίνκερ. Από το 1993 έως και το 2001 η αξία πωλήσεων διατηρείται σταθερά πάνω από τα 20,000,000€ με μοναδική εξαίρεση το έτος 1999 όπου παρατηρείται απότομη μείωση στα 15,000,000€. Τα έτη 2002 και 2003 παρουσιάζουν ακόμη πιο δραματική ύφεση με την αξία να πέφτει στα 33,000€ και 126,000€. Από το 2004 έως και το 2006 η αξία διατηρείται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Το 2007 αυξάνεται κατακόρυφα στα 35,000,000€ και ακολουθεί ύφεση έως και το 2011. Για τα έτη 2012 έως και 2016 η αξία είναι μηδενική, ενώ το 2017 η αξία παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή στα 44,000,000€.

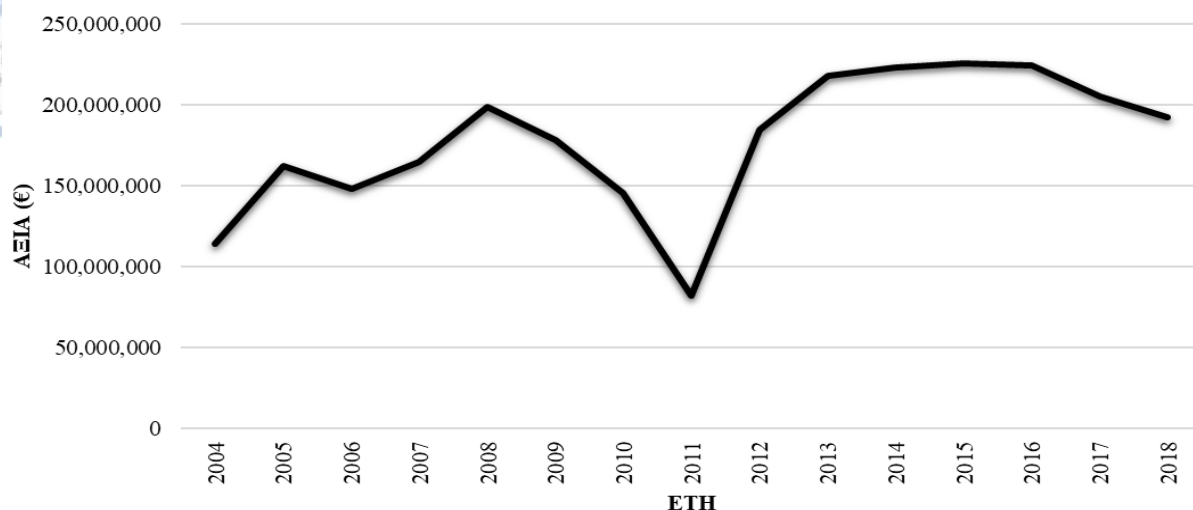
Μεγάλης σημασίας αποτελούν και οι εξαγωγές του τσιμέντου και του Κλίνκερ σε χώρες του εξωτερικού (Πίν. 3). Παρακάτω δίνονται αναλυτικά διαγράμματα με τις ποσότητες των εξαγωγών και την αξία των πωλήσεων για τα υδραυλικά τσιμέντα, στα οποία περιλαμβάνονται και εκείνα που δεν είναι σε σκόνη, με την ονομασία κλίνκερς, έστω και χρωματισμένα (Εικ. 16,17). Για την καλύτερη κατανόηση των ποσοτήτων δίνεται ο Πίν. 3 με τα αθροιστικά ποσά παραγωγής και πωλήσεων του τσιμέντου και του κλίνκερ, καθώς και των ποσοτήτων εξαγωγών τους.

Πίνακας 3. Οικονομικά στοιχεία τσιμέντου και κλίνκερ (Ελληνική Στατιστική Αρχή).

Έτος	Ποσότητα Παραγωγής τσιμέντου και κλίνκερ (εκ. τόνοι)	Ποσότητα πωλήσεων τσιμέντου και κλίνκερ (εκ. τόνοι)	Ποσότητα εξαγωγών τσιμέντου και κλίνκερ (εκ. τόνοι)	Ποσοστό % των πωλήσεων που αποτελούν οι εξαγωγές τσιμέντου και κλίνκερ
2004	26,986	15,297	3,585	23,44%
2005	27,634	15,742	4,460	28,33%
2006	26,575	16,100	8,726	54,20%
2007	26,391	15,315	4,091	26,71%
2008	25,374	15,047	4,391	29,18%
2009	19,765	12,132	4,249	35,02%
2010	16,226	9,488	3,938	45,01%
2011	10,392	6,170	2,176	35,27%
2012	5,422	5,368	4,516	84,13%
2013	5,553	5,571	5,716	102,60%
2014	5,563	5,142	5,912	114,97%
2015	5,291	5,406	5,194	96,08%
2016	6,680	6,639	5,689	85,69%
2017	13,423	7,864	5,549	70,56%
2018			4,992	



Εικόνα 16. Ποσότητα εξαγωγών υδραυλικών τσιμέντων κλίνκερ για τα έτη 2004-2018 (Ελληνική Στατιστική Αρχή).



Εικόνα 17. Αξία εξαγωγών υδραυλικών τσιμέντων κλίνκερ για τα έτη 2004-2018 (Ελληνική Στατιστική Αρχή).

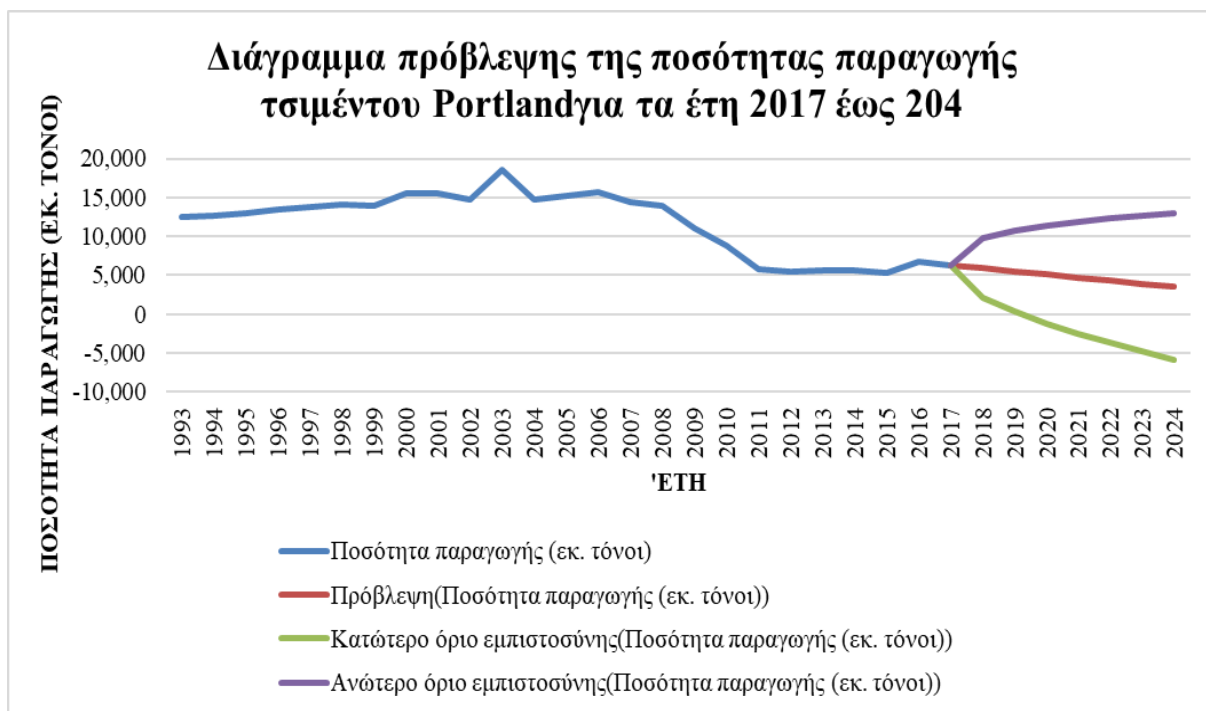
Όπως προαναφέρθηκε, πολλές από τις ελληνικές εταιρείες παραγωγής τσιμέντου είχαν στρέψει το ενδιαφέρον τους στο διεθνές εμπόριο πριν την έναρξη της οικονομικής κρίσης, γεγονός που συνέβαλε θετικά στη διατήρηση της οικονομικής τους αυτάρκειας. Στα δύο παραπάνω διαγράμματα (Εικ. 16,17) φαίνεται ότι μεγάλες ποσότητες παραγωγής τσιμέντου και κλίνκερ απορροφήθηκαν από το εξωτερικό εμπόριο.

Σύμφωνα λοιπόν με τον Πίν. 3 και τα διαγράμματα των Εικ. 16,17 οι εξαγωγές τσιμέντου και κλίνκερ αθροιστικά για τα έτη 2004 και 2005 αποτελέσαν το 23,44% και 28,33% των πωλήσεων, αντίστοιχα. Το έτος 2006 οι εξαγωγές έφτασαν το 54,20% των συνολικών πωλήσεων, ενώ τα έτη 2007, 2008 και 2009 το ποσοστό εξαγωγών ανήλθε στα 26,71%, 29,18% και 35,02%, αντίστοιχα. Ακολουθεί το 2010 με την ποσότητα εξαγωγών να φθάνει το 45,01% και το 2011 το 35,27%. Για τα έτη 2012 έως 2016 η ποσότητα παραγωγής και πωλήσεων κλίνκερ στην Ελλάδα ήταν σχεδόν μηδενική με βάση τα στοιχεία της ελληνικής στατιστικής αρχής, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα των εικόνων 13 και 14. Οι ποσότητες των εξαγωγών τσιμέντου και κλίνκερ για τα έτη αυτά που είναι 84,13%, 102,60%, 114,97%, 96,08%, 85,69% και 70,56% της συνολικής ποσότητας πωλήσεων, αντίστοιχα αφορούν προφανώς υλικό αποθήκης και όχι νέα παραγωγή.

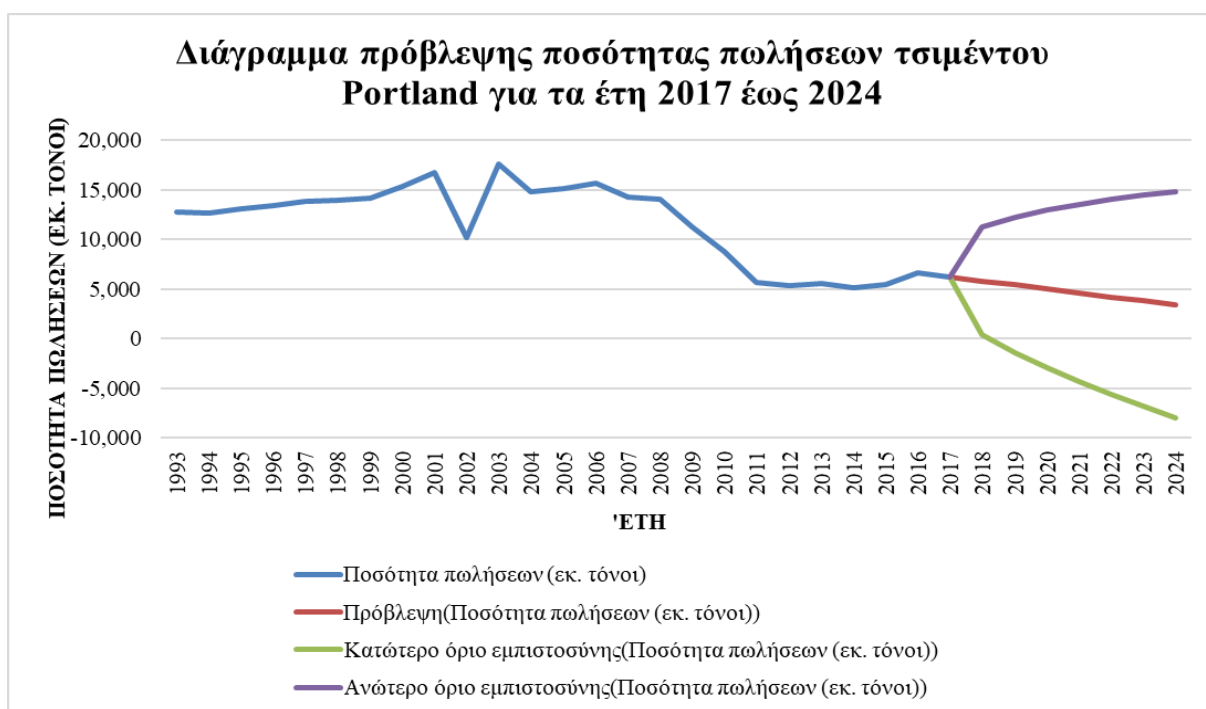
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό των διαγραμμάτων προέρχονται από την ιστοσελίδα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (www.elstat.gr). Η επεξεργασία των στοιχείων για τη κατασκευή των διαγραμμάτων έγινε μέσω του προγράμματος Microsoft excel.

Στη συνέχεια παρατίθενται διαγράμματα πρόβλεψης της ποσότητας παραγωγής, της ποσότητας πωλήσεων και της αξίας των πωλήσεων του τσιμέντου και του κλίνκερ, για τα έτη

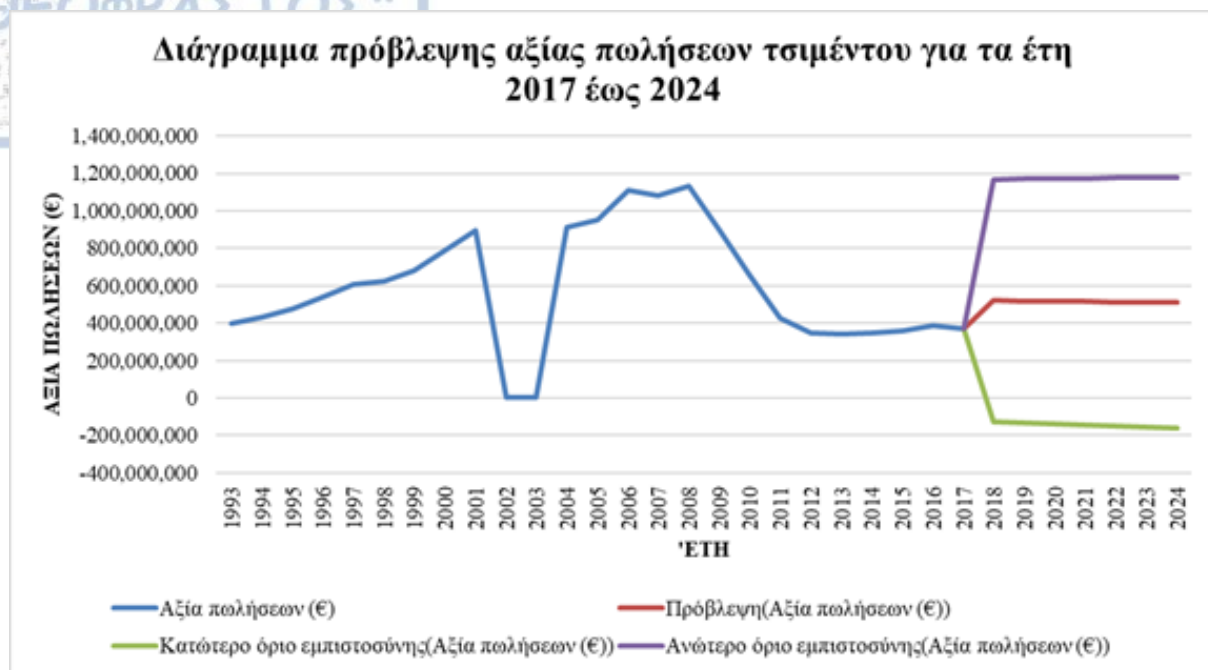
2018 έως 2024 (Εικ. 18-21). Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την δημιουργία των διαγραμμάτων αυτών ήταν μέσω των φύλλων πρόβλεψης του Microsoft Excel. Η έναρξη της πρόβλεψης που επιλέχθηκε ήταν η χρονολογία 2017 και τέλος το 2024, ενώ το διάστημα αξιοπιστίας ήταν στο 95%.



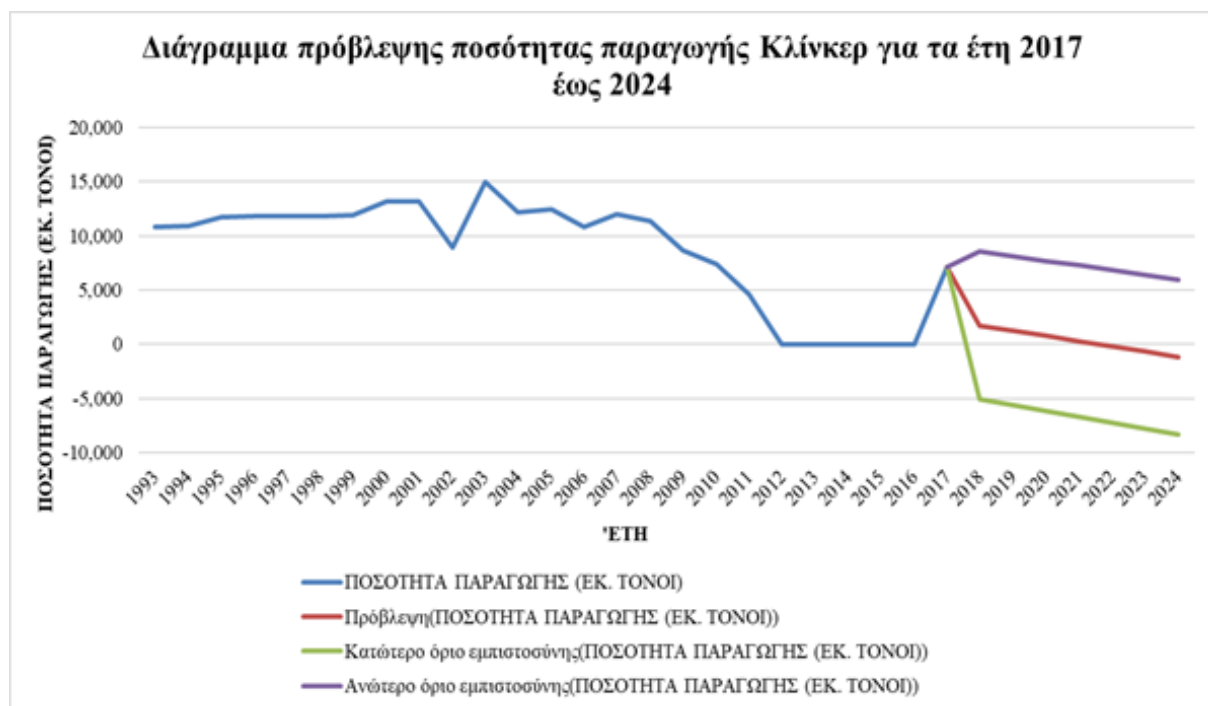
Εικόνα 18. Πρόβλεψη της ποσότητας παραγωγής τσιμέντου Πόρτλαντ για τα έτη 2017-2024



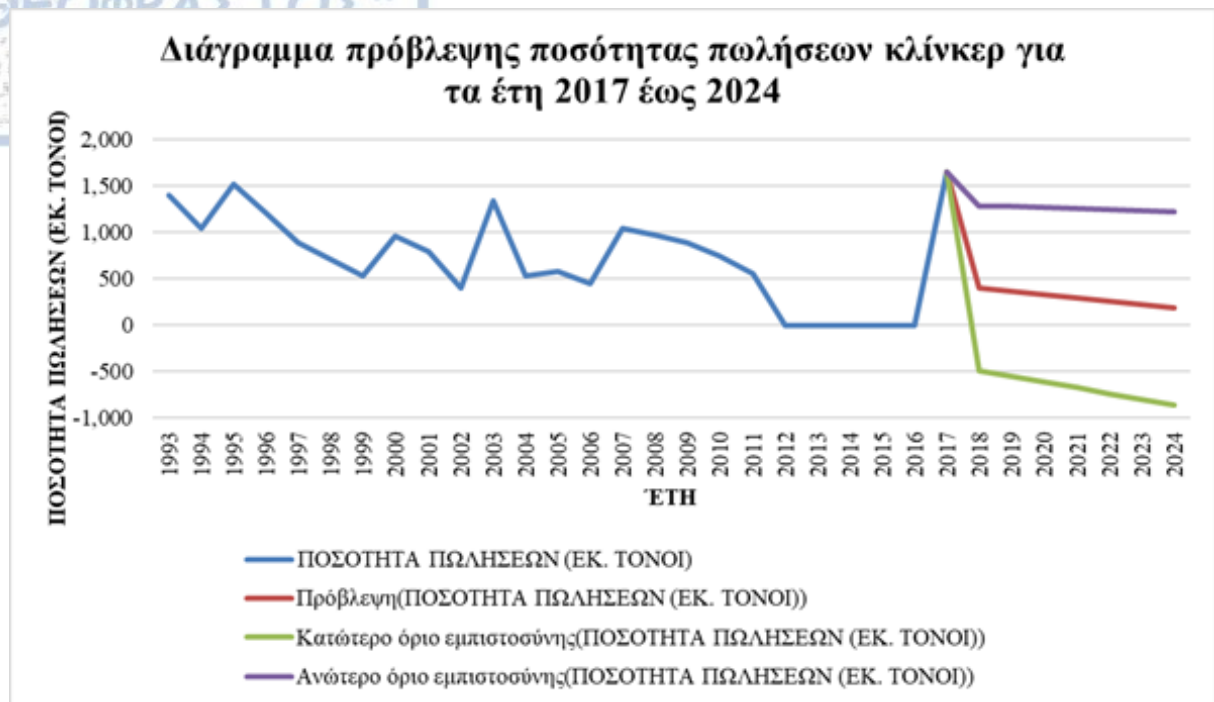
Εικόνα 19. Πρόβλεψη της ποσότητας πωλήσεων τσιμέντου Πόρτλαντ για τα έτη 2017-2024



Εικόνα 20. Πρόβλεψη της αξίας πωλήσεων τσιμέντου Πόρτλαντ για τα έτη 2017-2024.



Εικόνα 21. Πρόβλεψη της ποσότητας παραγωγής κλίνκερ για τα έτη 2017-2024.



Εικόνα 22. Πρόβλεψη της ποσότητας πωλήσεων κλίνκερ για τα έτη 2017-2024.



Εικόνα 23. Πρόβλεψη της αξίας πωλήσεων κλίνκερ για τα έτη 2017-2024.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

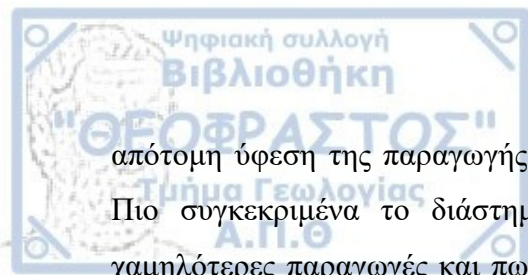
Η παρούσα εργασία αφορά τις πρώτες ύλες του τσιμέντου οι οποίες είναι κατά κύριο λόγο ορυκτές πρώτες ύλες, με τις οποίες συνδέεται πολύ στενά ο κλάδος της γεωλογίας και συγκεκριμένα ο τομέας της ορυκτολογίας, κοιτασματολογίας και πετρολογίας. Το πρώτο μέρος της εργασίας, εξηγεί ποιες είναι οι πρώτες ύλες, αλλά και τα δευτερεύοντα συστατικά του τσιμέντου, ενώ παράλληλα απαριθμεί τα στάδια της διαδικασίας παραγωγής του. Το δεύτερο μέρος της εργασίας ασχολείται αποκλειστικά με τις προοπτικές της ελληνικής τσιμεντοβιομηχανίας, δηλαδή με τα διαθέσιμα στοιχεία για την παραγωγή, την πώληση και την αξία του τσιμέντου και του κλίνκερ και την ερμηνεία των στοιχείων αυτών με γνώμονα την ελληνική οικονομία.

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία αυτή προήλθαν από επιστημονικά βιβλία, άρθρα, διπλωματικές εργασίες κ.λπ., ενώ σημαντική πηγή πληροφοριών αποτέλεσαν και οι γνώσεις που αποκόμισα κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πρακτικής μου άσκησης στο εργοστάσιο της Α.Ε. TITAN, Ν. Ευκαρπίας, Θεσσαλονίκης.

Η Ελληνική τσιμεντοβιομηχανία γνώρισε μεγάλη οικονομική άνθιση από την ίδρυση της τον 20^ο αιώνα. Αποτέλεσε τον δυναμικότερο κλάδο της ελληνικής οικονομίας και στήριξε μεγάλο μέρος του πληθυσμού προσφέροντας πολυάριθμες θέσεις εργασίας. Η κατάσταση αυτή ξεκίνησε να αντιστρέφεται με την έναρξη της ελληνικής οικονομικής κρίσης το 2009. Πολλές εταιρείες παραγωγής τσιμέντου αδυνατούσαν να ανταπεξέλθουν στις δυσκολίες που επέφερε η κρίση. Εκείνες οι εταιρείες που κατάφεραν να διατηρήσουν την υπόστασή τους στις αγορές και να επιβιώσουν ήταν εκείνες που είχαν αναπτύξει έναν εξωστρεφή χαρακτήρα και είχαν αρχίσει να απευθύνονται σε αγορές του εξωτερικού.

Το τσιμέντο είναι ένα προϊόν άρρηκτα συνδεδεμένο με την κατασκευαστική δραστηριότητα και τον οικοδομικό κλάδο. Στην Ελλάδα ο οικοδομικός κλάδος υπέστη μεγάλη ζημία με την έναρξη της οικονομικής κρίσης του 2009. Η ανοικοδόμηση στον ελληνικό χώρο, δηλαδή η ιδιωτική οικοδομική δραστηριότητα, τα δημόσια έργα όλων των κατηγοριών, ο κτηματομεσιτικός κλάδος, που άκμαζαν τα έτη 1995-2004 επλήγησαν κατά τη διάρκεια της οικονομικής κρίσης έχοντας σοβαρότατο αντίκτυπο και στην αγορά του τσιμέντου και άλλων δομικών υλικών.

Με βάση λοιπόν όλα τα στοιχεία των διαγραμμάτων που παρουσιάζονται στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία είναι εμφανές πως η ελληνική τσιμεντοβιομηχανία επηρεάστηκε άμεσα από την οικονομική κρίση. Σε όλα τα διαγράμματα είναι ξεκάθαρη η



απότομη ύφεση της παραγωγής και των πωλήσεων από το έτος 2009 μέχρι και πρόσφατα. Πιο συγκεκριμένα το διάστημα 2011-2015 παρουσιάζεται τέλμα και εμφανίζονται οι χαμηλότερες παραγωγές και πωλήσεις, όμως μία βελτίωση της κατάστασης και ελπιδοφόρα αύξηση σημειώνεται μετά το 2015.

Η οικονομική κρίση που έπληξε την ελληνική τσιμεντοβιομηχανία, ανέδειξε πολλές τεχνικές και στρατηγικές ανάπτυξης για την επιβίωση των επιχειρήσεων μέσα σε αντίξοες οικονομικές συνθήκες. Προώθησε την καινοτομία, την βιώσιμη ανάπτυξη, τη χρήση νέων τεχνολογιών και την βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων διατηρώντας αναλλοίωτο το προϊόν και τη διαδικασία παραγωγής. Η βελτίωση της οικονομίας και η έξοδος από την κρίση θα αποτελέσει αδιαμφισβήτητα την κινητήρια δύναμη για την ανάκαμψη της ελληνικής τσιμεντοβιομηχανίας.

- Ames, J. A., Cutcliffe, W. E., and Macfadyen J. D., 1994, *Cement and cement raw materials*. In: Carr, D. D. et al (eds) *Industrial Minerals and Rocks 6th Edition*, Indiana Geological Survey Bloomington, Indiana, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, 1175, 295-316.
- Ιωάννου, Χρ., 2012. Ανακύκλωση Σκυροδέματος ενεργειακό ισοζύγιο και αποτύπωμα άνθρακα. *Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Τμήμα μηχανικών χωροταξίας πολεοδομίας και περιφερειακής ανάπτυξης Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας σελ 140*.
- Καραστεργίου, Α., 2009. Μελέτη της Συνεργατικής Υδροθερμικής Κατεργασίας Ιπτάμενης Τέφρας και Μεταλλουργικής Σκωρίας για την Παρασκευή Δομικών Υλικών. *Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Τμήμα Φυσικής Α.Π.Θ. σελ 133*
- Πατσιά, Μ., 2010. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ. Οικονομικές, Κοινωνικές και Περιβαλλοντικές Διαστάσεις. *Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Τμήμα μηχανικών χωροταξίας πολεοδομίας και περιφερειακής ανάπτυξης Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 187 σελ.*
- Smith R.M. and Collins L., 1993. Aggregates: Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes (2nd edn). Geological Society Engineering Geology, Special Publication No 9, London, 339 p.
- Τσιραμπίδης, Α., 2008. Ιζηματογενή Πετρώματα. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
- Χαραλάμπους Ν.Ε., 2012. Τεχνολογία κατασκευής των επιδαπέδιων ψηφιδωτών της Κύπρου. Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνική Σχολή ΑΠΘ, 556 σ.

Διαδικτυακές Πηγές:

- Cembureau, The European Cement Association, Cement's solution to plastic waste, 2018, <http://useofcement.cembureau.eu/2018/04/09/cements-solution-to-plastic-waste/> (αναρτήθηκε την 23-7-2019).
- Cembureau, The European Cement Association, The cement that absorbs carbon dioxide, 2018, <http://useofcement.cembureau.eu/2018/04/09/the-cement-that-absorbs-carbon-dioxide/> (αναρτήθηκε την 23-7-2019).
- Cembureau, The European Cement Association, World cement production 2017, by region and main countries, %Estimations, 2017, <https://cembureau.eu/media/1828/world-cement-producers-graph.png> (αναρτήθηκε την 5-9-2019).

Edwards, P., 2017, Global Cement Top 100 Report 2017 – 2018, <https://www.globalcement.com/magazine/articles/1054-global-cement-top-100-report-2017-2018> (αναρτήθηκε την 5-9-2019)

Pavement Interactive, Portland Cement Loss on Ignition, 1998, <https://www.pavementinteractive.org/reference-desk/testing/cement-tests/portland-cement-loss-on-ignition/> (αναρτήθηκε την 25-7-2019).

Ronen, A., Bentur, A., Soroka, I., A Plastered Floor from the Neolithic Village, Yiftahel (Israel). In: Paléorient, 1991, vol. 17, n°2. pp. 149-155, (pp. 151-152), https://www.persee.fr/docAsPDF/paleo_0153-9345_1991_num_17_2_4559.pdf (αναρτήθηκε την 13-8-2019).

Statista, 2019, Cement production globally and in the U.S. from 2010 to 2018 (in million metric tons), <https://www.statista.com/statistics/219343/cement-production-worldwide/> (αναρτήθηκε την 5-8-2019)

Statista, 2019, <https://www.statista.com/statistics/267364/world-cement-production-by-country/> (αναρτήθηκε την 24-7-2019).

Statista, 2019, Major countries in worldwide cement production from 2014 to 2018 (in million metric tons), <https://www.statista.com/statistics/267364/world-cement-production-by-country/> (αναρτήθηκε την 5-8-2019).

Αειφόρος εταιρεία επεξεργασίας μετάλλων Α.Ε., 2015, https://www.aeiforos.gr/raw_materials_for_cement_manufacturing (αναρτήθηκε την 5-9-2019)

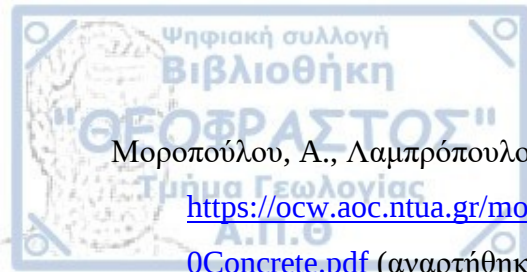
Αεροφωτογραφία του αρχαιολογικού χώρου του Yiftahel , Ισραήλ, αρχαίο σκυρόδεμα, 2009, http://www.hadashot-esi.org.il/report_detail_eng.aspx?id=1102&mag_id=115 (αναρτήθηκε την 25-7-2019).

Εικόνα δεξαμενής Κάμπος, Ρόδου, 2012, http://odysseus.culture.gr/h/3/gh3562.jsp?obj_id=2394&mm_id=8203. (αναρτήθηκε την 25-7-2019).

Εικόνα σκυροδέματος Ν. Γαλιλαία, 2019, <https://en.wikipedia.org/wiki/Yiftahel> (αναρτήθηκε την 25-7-2019).

Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/history/> (αναρτήθηκε την 22-7-2019).

Ιντερμπετόν Δομικά υλικά Α.Ε., Γενικά για το Σκυρόδεμα, <http://www.interbeton.gr/default.asp?siteID=1&pageid=38&langid=1> (αναρτήθηκε την 24-7-2019).



Μοροπούλου, Α., Λαμπρόπουλος, Κ., 2013, Δομικά Υλικά - Τσιμέντο & Σκυρόδεμα,

<https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CHEMENG114/Cement%20and%20Concrete.pdf> (αναρτήθηκε την 20-7-2019).

TEE (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας), Οδηγός δομικών υλικών,

http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_CEMENT/ts2.3n.htm

(αναρτήθηκε την 5-9-2019)

Χανιωτάκης, Μ., 2015, Η συμβολή του τσιμέντου στην ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού, <https://helios-eie.ekt.gr/EIE/bitstream/10442/14628/1/Chaniotakis.pdf>

(αναρτήθηκε την 22-7-2019).