



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**

**Σχολή Χημικών Μηχανικών**

**Τομέας Χημικών Επιστημών**

Διπλωματική Εργασία

**Δημητρίογλου Νικόλαου**

*"Μελέτη για την παραγωγή καινοτόμων κυβόλιθων  
μέσω αντικατάστασης αδρανών με σκωρία  
ηλεκτροκαμίνων παραγωγής σιδηρονικελίου"*



Επιβλέπουσα: **Αναπλ. Καθηγήτρια Μαργαρίτα Μπεάζη-Κατσιώτη**

**Αθήνα, Ιούλιος 2013**

*Στους γονείς μου*

## Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των σπουδών μου στη σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στο τομέα Χημικών Επιστημών.

Από τη θέση αυτή θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω την Αναπλ. Καθηγήτρια Μαργαρίτα Μπεάζη - Κατσιώτη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον αντικείμενο. Με την πολύτιμη επιστημονική της καθοδήγηση από την αρχή μέχρι το τέλος, η παρούσα εργασία έγινε πραγματικότητα. Εξίσου σημαντική ήταν η παρότρυνση της για ανάληψη πρωτοβουλιών από μέρος μου, κάτι που με οδήγησε στο να εξερευνήσω το αντικείμενο της εργασίας σε βάθος.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υπ. Δρ. Νικόλαο Κατσιώτη για την ειλικρινή στήριξη και βοήθεια, καθώς και για τον χρόνο που διέθεσε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Προκόπη Πεردίκη για την σημαντική βοήθεια του καθώς και για τις χρήσιμες πληροφορίες που μου έδωσε σχετικά με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών στη παραγωγή.

Στο χώρο της βιομηχανίας πολύτιμη ήταν η βοήθεια του κ. Θέμη Πανέτα και του κ. Δημήτρη Γαβριήλ, μηχανικών παραγωγής στο εργοστάσιο της "ΒΕΡΥΚΟΚΟΣ ΑΒΕΕ" στο οποίο έγινε το μεγαλύτερο μέρος της πειραματικής διαδικασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χρήστο Λεπτοκαρίδη καθώς και το σύνολο του προσωπικού στο "Εργαστήριο Τεχνολογίας Σκυροδέματος" της "Α.Ε. Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ" για τη φιλοξενία και την βοήθειά τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την ανεκτίμητη βοήθεια που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και την απεριόριστη εμπιστοσύνη που μου δείχνουν καθημερινά και σε κάθε μου βήμα.

**Δημητρίογλου Νίκος**

## Περίληψη

Η βιομηχανική δραστηριότητα, παρά τον αδιαμφισβήτητο θετικό αντίκτυπο της στην οικονομία, πρέπει να διέπεται από τις αρχές της αειφόρου ανάπτυξης και να συμβάλλει στην κοινωνική πρόοδο. Η βιομηχανική παραγωγή δημιουργεί μεγάλες ποσότητες παραπροϊόντων, τα οποία συσσωρεύονται τοπικά με την πάροδο του χρόνου και συντείνουν στη δημιουργία περιβαλλοντικών προβλημάτων. Επιπρόσθετα η πλειοψηφία των έργων από σκυρόδεμα στον ελλαδικό χώρο απαιτούν μεγάλες ποσότητες ετησίως σε αδρανή προερχόμενα από ασβεστολιθικά πετρώματα, με συνέπεια την αύξηση της λατομικής δραστηριότητας και της επακόλουθης παρέμβασης στο φυσικό περιβάλλον. Η υποκατάσταση των φυσικών πρώτων υλών από ένα εθνικό βιομηχανικό παραπροϊόν όπως η σκωρία ηλεκτροκαμίνων (H/K) παραγωγής σιδηρονικελίου, θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, προερχόμενης από την βιομηχανική δραστηριότητα, την εξοικονόμηση φυσικών πρώτων υλών, από τις ανάγκες της βιομηχανίας παραγωγής προϊόντων από σκυρόδεμα, την προώθηση της καινοτομίας στην παραγωγή και την βελτίωση του οικολογικού αποτυπώματος των έτοιμων προϊόντων από σκυρόδεμα.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η αξιοποίηση της σκωρίας H/K ως υποκατάστατο αδρανών αντίστοιχης κοκκομετρίας στο σκυρόδεμα με την προϋπόθεση να μην επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Για τον έλεγχο αυτό επιλέχθηκε η παραγωγή κυβόλιθων οδοστρωσίας από σκυρόδεμα με υποκατάσταση της ασβεστολιθικής άμμου (*συμβατικό ελληνικό λεπτόκοκκο αδρανές*) από σκωρία H/K (FeNi). Οι τρεις κατηγορίες συνθέσεων ήταν μία με μόνο συμβατικά αδρανή και δύο με χρήση σκωρίας H/K σε ποσοστά 10% και 20% ως προς το σύνολο των αδρανών. Πραγματοποιήθηκαν πειραματικές διαδικασίες σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1338 και καταγράφηκαν τα αποτελέσματα σχετικά με τις μηχανικές αντοχές (*εφελκυσμός, τριβή*) και την ανθεκτικότητα (*υδατοαπορροφητικότητα*). Επιπλέον ελέγχθηκε η αντοχή σε θλίψη, όπως απαιτείται από το αμερικάνικο πρότυπο ASTM C936-01.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατεγράφησαν και συγκρίθηκαν με αυτά των επιτρεπτών ορίων που απαιτούν τα Πρότυπα. Η σύνθεση με υποκατάσταση 10% σκωρίας H/K ως αδρανές κάλυψε στο σύνολο τις απαιτήσεις του Ευρωπαϊκού Προτύπου ενώ στα αποτελέσματα όσο αφορά την αντοχή σε θλίψη έδειξε αξιοσημείωτη άνοδο. Τέλος η αξιοποίηση της σκωρίας H/K δεν αποτέλεσε αρνητικό παράγοντα στο χρώμα του παραγόμενου καινοτόμου προϊόντος σκυροδέματος. Εν κατακλείδι, η αξιοποίηση της σκωρίας H/K παραγωγής σιδηρονικελίου οποία θα

μπορούσε να αποτελέσει σε πρωτόλειο βαθμό ένα παράδειγμα βιομηχανικής συμβίωσης στον ελλαδικό χώρο.

## Abstract

Industrial activity, besides its undoubtedly positive impact on the economy, should also follow the principles of sustainable development and contribute to social progress. The industrial production creates large quantities of by-products, which gradually accumulate locally and thus deteriorate the environmental problems. Additionally, the majority of works of concrete in Greece require large amounts of aggregates annually derived from limestone, thus increasing the quarrying activity and the subsequent intervention in the natural environment. The substitution of natural materials for a national industrial by-product, such as ferronickel electric arc furnace slag, would lead to the reduction of the environmental burden caused by the industrial activity. It would further result in saving raw materials, promotion of product innovation and improvement of the ecological footprint of the finished concrete products.

This paper examines the use of ferronickel electric arc furnace slag (FeNi EAFS) as a substitute corresponding graded aggregates in concrete, provided that they do not adversely affect the quality of the final product. For this test, it was chosen to produce paving blocks of concrete with substitution of limestone sand (fine-grained aggregate conventional in Greece) for FeNi EAF Slag. The compositions were three categories: one conventional inert and two using the slag at 10% and 20% respectively of the total of the aggregates. Experiments were carried out in accordance with EN 1338 Standard and the results regarding the mechanical properties (tensile strength, abrasion) and durability (water absorption) were recorded. Moreover, the compressive strength as required by the American standard ASTM C936-01 was tested.

The measurement results were recorded and compared with the permissible limits required by the Standards. The composition by substituting 10% slag as an inert completely satisfied the requirements of the European standard and with regard to the results concerning the compressive strength presented remarkable rise. Finally, the use of FeNi EAFS did not negatively impact the color of the produced innovative concrete products. In conclusion, the use of slag from the ferronickel production could be an example of industrial symbiosis in Greece.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Θεωρητικό μέρος.....	8
1.1. Εισαγωγή.....	9
1.2. Σκυρόδεμα.....	10
1.2.1. Ορισμός.....	10
1.2.2. Το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 197-1.....	10
1.2.3. Συστατικά.....	11
1.2.3.1. Αδρανή υλικά.....	11
1.2.3.2. Νερό.....	13
1.2.3.3. Πρόσθετα.....	13
1.2.3.4. Τσιμέντο.....	16
1.2.4. Βασικές Ιδιότητες σκυροδέματος.....	17
1.3. Σκωρίες.....	19
1.3.1. Αξιοποίηση μέχρι σήμερα.....	19
1.3.2. Σκωρία Ηλεκτροκαμίνων.....	23
1.3.2.1. Παραγωγή.....	23
1.3.2.2. Σύσταση.....	25
1.3.2.3. Κοκκομετρία.....	26
1.3.2.4. Αξιοποίηση .....	27
1.4. Κυβόλιθοι.....	28
1.4.1. Κυβόλιθοι σκυροδέματος.....	29
1.4.2. Πρότυπο EN 1338:2003.....	30
1.4.3. Σχέδια Προσωρινής Εθνικής Τεχνικής Προδιαγραφής.....	34
1.5. Περιβαλλοντικοί παράμετροι.....	36
1.5.1. Εκχύλιση συστατικών.....	36

1.5.2. Φαινόμενο θερμικής νησίδας.....	37
1.5.2.1. Ανακλαστικότητα.....	40
2. Τοποθέτηση Προβλήματος.....	42
3. Πειραματικό μέρος.....	43
3.1. Περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας.....	43
3.1.1. Επιλογή των πρώτων υλών.....	45
3.1.2. Οπτικός έλεγχος και διαστασιολόγηση .....	49
3.1.3. Έλεγχος αντοχής σε διάρρηξη.....	52
3.1.4. Έλεγχος αντοχής σε τριβή-απότριψη.....	55
3.1.5. Προσδιορισμός υδατοαπορροφητικότητας.....	57
3.1.6. Έλεγχος αντοχής σε θλίψη.....	58
3.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	60
3.2.1. Αντοχή σε διάρρηξη.....	60
3.2.2. Αντοχή σε τριβή-απότριψη.....	62
3.2.3. Ποσοστά υδατοαπορρόφησης κατά βάρος.....	63
3.2.4. Αντοχή σε θλίψη.....	65
4. Ανακεφαλαίωση πειραματικών αποτελεσμάτων.....	67
4.1. Σύνοψη συμπερασμάτων.....	69
5. Προτάσεις για περεταίρω έρευνα.....	70
6. Βιβλιογραφία.....	72
7. Παράρτημα .....	75
7.1. Πίνακες.....	75
7.2. CE και άλλες πιστοποιήσεις.....	78



# 1. Θεωρητικό μέρος

## 1.1. Εισαγωγή

Η βιομηχανική παραγωγή κάποιων προϊόντων συνεπάγεται συχνά τη δημιουργία μεγάλου όγκου ανεπιθύμητων δευτερογενών υλικών που συσσωρεύονται τοπικά με την πάροδο του χρόνου και δημιουργούν περιβαλλοντικό πρόβλημα. Το ενδιαφέρον για αξιοποίηση των υλικών αυτών χρονολογείται από την απαρχή της βιομηχανικής παραγωγής και οδήγησε στον όρο βιομηχανικό παραπροϊόν ή υποπροϊόν (byproducts), σε αντίθεση με τον όρο απόβλητο, που αναφέρεται σε υλικό προς απόρριψη.

Η αξιοποίηση βιομηχανικών παραπροϊόντων ως πρώτες ύλες σε μια άλλη παραγωγική διαδικασία και ταυτόχρονα η μείωση της κατανάλωσης, μέχρις εξαντλήσεως, των φυσικών πόρων αποτελεί σήμερα πρωταρχικό στόχο για την προστασία του περιβάλλοντος και την ανάπτυξη της κοινωνίας συμβάλλοντας έτσι στην πιο αρμονική συνύπαρξη του ανθρώπου με το φυσικό περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια, οι αυξανόμενες ανάγκες της κατασκευαστικής βιομηχανίας σε πρώτες ύλες, σε συνδυασμό με την ένταση των περιβαλλοντικών προβλημάτων του πλανήτη που οδήγησαν στην κοινωνική και πολιτική πίεση για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και καλύτερη αξιοποίηση των φυσικών πόρων του πλανήτη, είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση του ενδιαφέροντος για χρήση βιομηχανικών παραπροϊόντων στον κατασκευαστικό τομέα διεθνώς.

Τα βιομηχανικά παραπροϊόντα για να είναι ελκυστικά για χρήση πρέπει να έχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως να παράγονται με σταθερό ρυθμό, να είναι σχετικά σταθερής χημικής σύστασης και ομοιογενή ή να περιέχουν κάποιο στοιχείο ή μέταλλο αξιοποιήσιμο για άλλη παραγωγική διαδικασία ως πρώτη ύλη. Δυνατότητα χρήσης υπάρχει για τα περισσότερα παραπροϊόντα με μεγαλύτερο ενδιαφέρον αυτά που είναι διαθέσιμα σε μεγάλες ποσότητες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έχουν είτε μετά από επεξεργασία χαμηλού κόστους. [1]

Στην Ελλάδα αποτελεί μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα η κατανάλωση φυσικών πόρων και ειδικότερα η εξόρυξη αδρανών για τη παρασκευή σκυροδέματος καθώς απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ετησίως. Η πλειοψηφία των έργων από σκυρόδεμα στον ελλαδικό χώρο παρασκευάζεται με αδρανή

προερχόμενα από ασβεστολιθικά πετρώματα, τα οποία υφίστανται θραύση, κατηγοριοποιούνται σε κλάσματα ανάλογα με την κοκκομετρία και χρησιμοποιούνται σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές.

Η κατασκευαστική βιομηχανία αποτελεί τον ιδανικό τόπο ασφαλούς και επωφελούς διάθεσης εκατομμυρίων τόννων προϊόντων ετησίως. Στον ελλαδικό χώρο υπάρχουν επιστημονικές έρευνες και πιλοτικές εφαρμογές που αποδεικνύουν το κατά πόσο είναι εφικτό αυτό. Αντιπροσωπευτικότερο παράδειγμα αποτελεί η κατασκευή του φράγματος της Πλατανόβρυσης με αντικατάσταση μεγάλους μέρους των πρώτων υλών από ένα εθνικό παραπροϊόν. Όμως για διάφορους λόγους, η χρήση εθνικών βιομηχανικών παραπροϊόντων είναι ακόμα και σήμερα σε μεγάλο βαθμό περιορισμένη. Είναι κοινωνικά και περιβαλλοντικά αναγκαία, η εκπόνηση μιας εθνικής στρατηγικής αξιοποίησης των εθνικών βιομηχανικών παραπροϊόντων και η επιστημονική έρευνα πρέπει να οδηγήσει στην υπερπήδηση των κάθε είδους δυσκολιών.

## 1.2. Σκυρόδεμα

### 1.2.1. Ορισμός

Σύμφωνα με το πρότυπο EN 206-1 το σκυρόδεμα είναι το υλικό που σχηματίζεται από την ανάμειξη τσιμέντου, χονδροκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών και νερού με (ή χωρίς) ενσωμάτωση των υλικών που χαρακτηρίζονται πρόσθετα και πρόσμικτα, το οποίο αναπτύσσει τις ιδιότητες του με τη σκλήρυνση της πάστας του τσιμέντου (τσιμέντο και νερό). [2]



**Εικόνα 1** Σχηματική απεικόνιση της συμμετοχής των πρώτων υλών στο σκυρόδεμα

### 1.2.2. Το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 197-1

Στα πλαίσια της έκδοσης κοινών ευρωπαϊκών κανονισμών για όλες τις χώρες της CEN (Committee Europeenne de Normalisation) στην οποία μετέχει και η Ελλάδα, έχουν διαμορφωθεί σειρές προτύπων που αφορούν το τσιμέντο και το σκυρόδεμα. Το πρότυπο EN 197-1 αναφέρεται στην ενοποίηση των επιμέρους

τύπων τσιμέντου που παράγονται στις διάφορες χώρες της Ευρώπης και στην Ελλάδα έχει τεθεί σε ισχύ από το 2001 με την **τεχνική προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 197-1**. Σε αυτό προβλέπονται οι πέντε τύποι τσιμέντου που παράγονται και οι πολλές υποδιαίρεσεις που παρουσιάζονται σε πίνακα του Παραρτήματος ( Παράρτημα, Εικόνα 1 ). Εκτός από το κλίνκερ που αποτελεί το βασικό συστατικό κατά αναλογία του τσιμέντου Portland σύμφωνα με το πρότυπο εντάσσονται μια σειρά από συστατικά όπως σκωρία υψικαμίνων (S), ποζολανικά υλικά(P,Q), φυσικές ποζολάνες(P), φυσικές ψημένες ποζολάνες(Q), ιπτάμενες τέφρες(V,W), ψημένος σχιστόλιθος(T), ασβεστόλιθος(L,LL) και πυριτική παιπάλη(D). [3]

### **1.2.3. Συστατικά**

Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό δομικό υλικό, το οποίο παρασκευάζεται με την ανάμιξη τσιμέντου, νερού, αδρανών υλικών, καθώς και πρόσθετων και πρόσμικτων υλικών. Το τσιμέντο και τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του σκυροδέματος πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των αντίστοιχων κανονισμών. Για να παρασκευαστεί ένα καλής ποιότητας σκυρόδεμα, δεν αρκεί μόνο η σωστή διαλογή των συστατικών, αλλά είναι εξίσου σημαντική η διάστρωση του και η συντήρηση του.

Το κοινό σκυρόδεμα πρακτικά θεωρείται ως υλικό δύο φάσεων. Το τσιμέντο αποτελεί κλειστή φάση τη μήτρα, στην οποία είναι διασκορπισμένα τα αδρανή υλικά που αποτελούν την άλλη φάση. Οι ιδιότητες του σκυροδέματος εξαρτώνται από τις ιδιότητες των δύο φάσεων, καθώς και από την αναλογία ανάμιξής τους κατ' όγκο. Θεωρείται το σημαντικότερο δομικό υλικό και έχει κυρίαρχη θέση στον τομέα των κατασκευών, τόσο ως άοπλο όσο και ως οπλισμένο σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται σε ένα αρκετά εκτεταμένο εύρος διαφορετικών ποιοτήτων για το σύνολο σχεδόν των κατασκευαστικών έργων. Η σπουδαιότητα των ιδιοτήτων του σκυροδέματος στην ασφάλεια ενός δομικού έργου είναι διαφορετική και εξαρτάται από το είδος της κατασκευής, το περιβάλλον όπου αυτή θα εκτεθεί και την ειδική χρήση που αυτή θα έχει.

#### **1.2.3.1. Αδρανή υλικά**

Τα αδρανή είναι υλικά τα οποία προέρχονται από τη φυσική αποσάθρωση ή την τεχνητή θραύση των πετρωμάτων, καθώς και διάφορα υλικά, όπως σκουριές

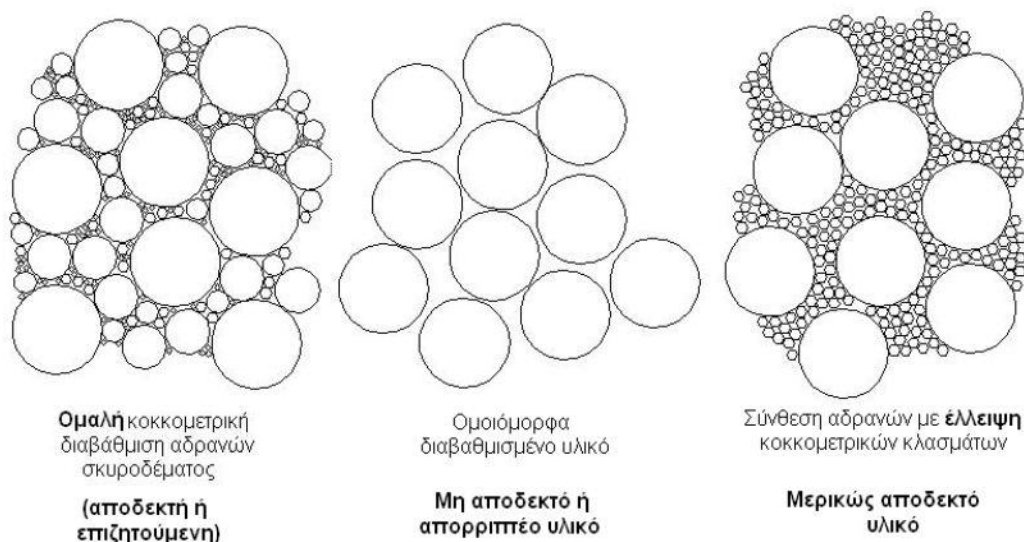
από υψικαμίλους, βιομηχανικά παραπροϊόντα, κ.α.). Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται στην παραγωγή σκυροδέματος και ως υλικά οδοστρωσίας, ενώ τα μεγάλου μεγέθους τεμαχίων ως σκύρα σιδηροδρομικών γραμμών. Κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθός τους ως εξής:

**Άμμος** –8 mm ή –3/8"= -9.5 mm (100%) και -4 mm (95%),

**Γαρμπίλι** (λεπτό ή χονδρό) 5-12.5 mm

**Σκύρα** 12.5-38 mm ή ακόμη μεγαλύτερα.

Η κύρια χρήση των αδρανών είναι στην παραγωγή σκυροδέματος. Αυτά, λόγω γωνιώδους και ακανόνιστου σχήματος συνδέονται μεταξύ τους και συγκρατούνται στο σκυρόδεμα με τη βοήθεια της τσιμεντόπαστας. Όμως, επειδή το τσιμέντο είναι πολύ ακριβό ως υλικό (μεγάλο κόστος παραγωγής), η περιεχόμενη ποσότητά του στο σκυρόδεμα πρέπει να ελαχιστοποιείται υπό την προϋπόθεση βέβαια διατήρησης ικανοποιητικής της αντοχής του. Το 70-80% κατά βάρος του σκυροδέματος αποτελείται από αδρανή, γεγονός που συμβάλλει στο να διατηρείται χαμηλό το κόστος του σκυροδέματος, επειδή τα αδρανή είναι σχετικώς φθηνά υλικά, τόσο ως πρώτη ύλη όσο και ως διαδικασία παραγωγής. [4]



**Εικόνα 2** Περιπτώσεις κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών σκυροδέματος

Τα αδρανή οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι παραμένουν χημικώς αδρανή σε αντίθεση με το τσιμέντο και το νερό, στη χημική δράση των

οποίων οφείλεται η σκλήρυνση του σκυροδέματος. Σχετικά με τη χημική συμπεριφορά θα πρέπει να ελέγχεται κατά πόσον τα αδρανή περιέχουν ποσότητες άμορφου SiO<sub>2</sub> επιδεκτές σε προσβολή από τα αλκάλια που προέρχονται από το τσιμέντο, ενώ παράλληλα το σκυρόδεμα εκτίθεται σε υγρό περιβάλλον. Σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει ο κίνδυνος να αντιδράσουν τα αλκάλια με τα αδρανή κάτι που θα οδηγήσει σε φθορά ή και καταστροφή του σκυροδέματος. Η καταλληλότητα των αδρανών υλικών, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα δομικά έργα, εξαρτάται από τη μηχανική αντοχή, την ανθεκτικότητα σε φθορά από τριβή και κρούση, την ανθεκτικότητα στην αποσάθρωση, την μορφή των κόκκων και τη περιεκτικότητα σε επιβλαβείς προσμίξεις. Ο έλεγχος καταλληλότητας των αδρανών σκυροδέματος γίνεται στην Ελλάδα σύμφωνα με τη τεχνική προδιαγραφή ΕΛΟΤ 12620-2002- Αδρανή για σκυρόδεμα. [5]

### **1.2.3.2. Νερό**

Το νερό είναι ένα από τα δύο ενεργά συστατικά του σκυροδέματος. Παίρνει μέρος σε σειρά χημικών αντιδράσεων που οδηγούν, με τη δημιουργία ένυδρων κρυστάλλων, στην πήξη και τη σκλήρυνση του μείγματος. Η βασική απαίτηση για το νερό είναι να μην περιέχει συστατικά που μπορούν να βλάψουν ή να επηρεάσουν τις αντιδράσεις ενυδάτωσης. Στη περίπτωση που περιέχει επιβλαβείς ουσίες θα προκαλούνταν προβλήματα στη σκλήρυνση, στην αντοχή, στη προστασία του οπλισμού από τη διάβρωση κ.α. Για το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος υπάρχει μια ανοχή σχετικά με την ποιότητά του, σε αντίθεση με τα νερά που δρουν εξωτερικά και μόνιμα. Και αυτό γιατί η ποσοστιαία αναλογία του νερού ανάμειξης, και συνεπώς και κάθε ξένης ουσίας μέσα σε αυτό, είναι μικρή και εξάλλου οι ουσίες αυτές δρουν μέχρι να εξαντληθούν. Στην περίπτωση όμως εξωτερικών νερών, όπως το θαλασσινό νερό ή τα νερά των αποχετεύσεων, η δράση τους είναι μόνιμη και η ποσότητα των επιβλαβών ουσιών ανεξάντλητη, αφού τα νερά αυτά ανανεώνονται συνεχώς. Γενικά το νερό που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να ελέγχεται με την προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 1008. [6]

### **1.2.3.3. Πρόσθετα**

Εκτός από τα αδρανή υλικά, με το νέο Ευρωπαϊκό πρότυπο (EN 206-1), προβλέπεται η προσθήκη και άλλων συστατικών (βελτιωτικά πρόσθετα-admixtures και πρόσμικτα συστατικά-additives) στο σκυρόδεμα, τα οποία τροποποιούν

συγκεκριμένες ιδιότητες του. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων οι απαιτήσεις για το σκυρόδεμα αυξήθηκαν καθώς νέες τεχνολογίες εφαρμόζονται στη δόμηση και απαιτούν μεταβολές στις ιδιότητες του σκυροδέματος. Ταυτόχρονα και άλλοι λόγοι, όπως η συμπίεση του κόστους, η αυξανόμενη ρύπανση του περιβάλλοντος με επακόλουθο την αύξηση της διαβρωτικής επίδρασης στις κατασκευές (όξινη βροχή), οι απαιτήσεις για αυξημένα φορτία οδήγησαν σε νέες απαιτήσεις όσο αφορά τις ιδιότητες του νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος. Για να ανταποκριθεί το σκυρόδεμα στις σύγχρονες απαιτήσεις εμφανίστηκε ένας μεγάλος αριθμός χημικών υλικών, που ονομάζονται πρόσθετα, που προστίθενται στην ανάμιξη του σκυροδέματος και επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες του.

Ο προμηθευτής του προσθέτου πρέπει να εφοδιάσει τον κύριο του έργου ή την αρμόδια Υπηρεσία επιβλέψεως του έργου με τα πιστοποιητικά ελέγχου του προσθέτου για τον τύπο τσιμέντου που θα χρησιμοποιηθεί στο έργο. Ο προμηθευτής υποχρεούται να παρέχει πληροφορίες όπως λεπτομερείς οδηγίες χρήσεως, τυπική δόση και βλαβερές επιδράσεις σε περίπτωση χρησιμοποίησης μεγαλύτερης δόσεως, χημική ονοματολογία των κυρίως ενεργών συστατικών του προσθέτου, την περιεκτικότητα του προσθέτου σε χλώριο εκφρασμένη σε άνυδρο  $\text{CaCl}_2$  ως ποσοστό του βάρους του προσθέτου, την πιθανότητα το πρόσθετο να δημιουργεί φυσαλίδες αέρα, τον επιτρεπόμενο χρόνο αποθηκεύσεως και οδηγίες για τις απαιτούμενες συνθήκες αποθηκεύσεως, τη δήλωση συμβιβασιμότητας των προσθέτων σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται συγχρόνως δύο ή περισσότερα πρόσθετα.

Τα πρόσθετα, τα οποία μεταβάλλουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος με φυσικές ή χημικές δράσεις, διακρίνονται σε: [7]

- **Τα επιταχυντικά πρόσθετα** αυξάνουν την ταχύτητα ενυδάτωσης του τσιμέντου, επιταχύνουν την πήξη και την σκλήρυνση του σκυροδέματος και αυξάνουν την αρχική αντοχή του. Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που απαιτείται να αναπτυχθούν αυξημένες αντοχές στο δομικό έργο. Το κυριότερο μειονέκτημα είναι ότι μειώνουν την τελική αντοχή του σκυροδέματος.
- **Τα επιβραδυντικά πρόσθετα** επιβραδύνουν την ενυδάτωση του τσιμέντου και συνεπώς την πήξη και την σκλήρυνση του σκυροδέματος. Επίσης, βοηθούν για στη διατήρηση του εργάσιμου και χρησιμοποιούνται για να αυξηθεί ο διαθέσιμος χρόνος για τη μεταφορά και τη διάστρωση του σκυροδέματος. Χρησιμοποιούνται όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, γιατί επιβραδύνουν το ρυθμό ανάπτυξης της θερμοκρασίας, καθώς και για

την παρασκευή μεγάλων έργων χωρίς αρμούς εργασίας. Η αρχική αντοχή του σκυροδέματος εμφανίζεται μειωμένη, αλλά η τελική αντοχή του δεν επηρεάζεται από τα επιβραδυντικά πρόσθετα.

- **Τα αερακτικά πρόσθετα** δημιουργούν μέσα στη μάζα του νωπού σκυροδέματος μικρές φυσαλίδες, με αποτέλεσμα να αυξηθεί το πορώδες του. Συνεπώς, αυξάνεται η αντοχή του στον παγετό και βελτιώνεται σημαντικά το εργάσιμο του. Όταν, όμως, η περιεκτικότητα σε αέρα ξεπεράσει τα καθορισμένα όρια μπορεί να μειωθεί η τελική αντοχή του σκυροδέματος.
- **Τα ρευστοποιητικά πρόσθετα** αυξάνουν τη ρευστότητα και την ομοιομορφία του σκυροδέματος και επιτρέπουν τη μείωση του νερού ανάμιξης με αποτέλεσμα την αύξηση του εργάσιμου και της αντοχής του σκυροδέματος. Επίσης, βελτιώνουν την υδατοπερατότητα και την αντοχή του στο παγετό. Μπορεί, όμως, να εμφανιστεί αύξηση της συστολής ξήρανσης, καθώς και ανεπιθύμητη αύξηση των πόρων με συνέπεια καθυστέρηση της πήξης και μείωση της αντοχής.
- **Τα στεγανοποιητικά πρόσθετα** μειώνουν την ποσότητα του νερού που απορροφάται ή εισχωρεί στο σκυρόδεμα, αυξάνοντας τη στεγανότητα του. Αποφεύγεται η δημιουργία μικροκοιλοτήτων στη μάζα του σκυροδέματος, καθώς και οι μικρορηγματώσεις και μειώνεται σημαντικά το ποσοστό των πόρων και των τριχοειδών. Είναι δυνατόν, όμως, να μεταβληθεί η χρονική εξέλιξη της πήξης και να μειωθεί η αντοχή του σκυροδέματος.

Οι Κανονισμοί ορίζουν την απαιτούμενη ελάχιστη βελτιωτική δράση καθώς και το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο αλλοίωσης των άλλων ιδιοτήτων. Τα αερακτικά πρόσθετα πρέπει να συμφωνούν με τις απαιτήσεις της Ειδικής Προδιαγραφής ΣΚ-307. Τα επιταχυντικά, επιβραδυντικά, ρευστοποιητικά, ή άλλα πρόσθετα πρέπει να συμφωνούν με τις απαιτήσεις της Ειδικής Προδιαγραφής ΣΚ-308 για τον αντίστοιχο τύπο. Τα υπερρευστοποιητικά πρόσθετα πρέπει να συμφωνούν με τις απαιτήσεις της Ειδικής Προδιαγραφής ΣΚ-316. Από το 2001 έχει ενταχθεί στην ελληνική νομοθεσία το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 934 και έχει τεθεί σε ισχύ με τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 934-2-2001 και ΕΛΟΤ EN 934-3-2001.

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό EN 206-1, η ολική ποσότητα των πρόσμικτων δεν πρέπει να ξεπερνά τη μέγιστη δόση που συνιστάται από τον κατασκευαστή και σε κάθε περίπτωση να μην ξεπερνά τα 50 g/(kg τσιμέντου). Αν χρησιμοποιηθούν σε πολύ μικρά ποσά, όπως 2 g/(kg τσιμέντου), θα πρέπει να προστεθούν με μορφή αιωρήματος σε νερό. Εάν η τελική ποσότητα υγρών πρόσμικτων υπερβαίνει τα 3 L/(m<sup>3</sup> σκυροδέματος), το νερό αυτό θα πρέπει να συνυπολογισθεί στο λόγο N/T. [8]



#### 1.2.3.4. Τσιμέντο

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 197-1, το τσιμέντο είναι μία υδραυλική κονία, δηλαδή ένα λεπτοαλεσμένο ανόργανο υλικό, το οποίο όταν αναμειχθεί με νερό σχηματίζει μία πάστα που λόγω των αντιδράσεων ενυδάτωσης πήζει και σκληρύνεται έχοντας έκτοτε την ικανότητα να διατηρεί τις αντοχές της και τη σταθερότητά της ακόμα και κάτω από το νερό. Το τσιμέντο παρασκευάζεται με λεπτή άλεση του κλίνκερ. Κλίνκερ ονομάζεται διεθνώς το προϊόν που προκύπτει από την όπτηση μίγματος ασβεστόλιθων και αργιλοπυριτικών πετρωμάτων. Το τσιμέντο, όταν αναμειχθεί με νερό, πήζει και σκληρύνεται τόσο στον αέρα όσο και μέσα στο νερό. Μετά τη σκλήρυνση δεν διαλύεται στο νερό. Συνδυάζει μεγάλη υδραυλική ικανότητα και υψηλές αντοχές, γι' αυτό έχει ευρεία χρήση στις δομικές κατασκευές, όπως επίσης και στα υδραυλικά έργα. Ανάλογα με τις πρόσθετες ύλες, που προστίθενται στο τσιμέντο κατά την παρασκευή του, τα τσιμέντα υποδιαιρούνται στους παρακάτω πέντε κύριους τύπους σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο: CEM I - Τσιμέντα Πόρτλαντ, CEM II - Σύνθετα τσιμέντα Πόρτλαντ, CEM III- Σκωριοτσιμέντα, CEM IV - Ποζολανικά τσιμέντα, CEM V - Σύνθετα τσιμέντα.

Ως τσιμέντο Πόρτλαντ ορίζεται το προϊόν που προκύπτει μετά από έψηση σε θερμοκρασία κλινκεροποίησης (1380-1420°C) ενός κατάλληλα αλεσμένου και πλήρως ομογενοποιημένου μείγματος, που αποτελείται περίπου από 75% ασβεστολιθικά υλικά και 25% αργιλοπυριτικά υλικά και συνάλεση του προκύπτοντος προϊόντος που καλείται κλίνκερ με την κατάλληλη ποσότητα γύψου. Ο υδραυλικός χαρακτήρας του τσιμέντου Πόρτλαντ αποδίδεται κυρίως στα προϊόντα ενυδάτωσης του πυριτικού διασβεστίου (C<sub>2</sub>S) και του πυριτικού τριασβεστίου (C<sub>3</sub>S), που είναι τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά του κλίνκερ και αποτελούν τα 2/3 της μάζας του, και δευτερευόντως στα προϊόντα ενυδάτωσης των δύο άλλων συστατικών του, που είναι το αργιλικό τριασβέστιο (C<sub>4</sub>A) και το σιδηραργιλικό τετρασβέστιο (C<sub>4</sub>AF). Το τσιμέντο είναι μια κονία με έντονη υδραυλική συμπεριφορά και με υψηλές αντοχές. Έχει χαρακτηριστικό πρασινότεφρο χρώμα οφείλεται στα οξειδία Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και MnO. Η πυκνότητα του κυμαίνεται μεταξύ 3,00 και 3,22 kg/dm<sup>3</sup>.

Η αντοχή του τσιμέντου χαρακτηρίζεται κυρίως από την αντοχή σε θλίψη η οποία είναι αρκετά υψηλή. Σύμφωνα με το EN 196-1 στις 28 ημέρες κανονικές αντοχές του τσιμέντου (standard strength) εννοούνται οι θλιπτικές. Έχουν θεσπισθεί τρεις κατηγορίες αντοχών: 32.5 MPa, 42.5 MPa και 52.5 MPa. [9] Οι πρώιμες αντοχές μετρώνται στις 2 ημέρες εκτός από την κατηγορία 32.5 όπου και μετρώνται

στις 7 ημέρες. Για κάθε κατηγορία προβλέπονται δύο τάξεις πρώιμων αντοχών: η πρώτη αναφέρεται στις κανονικές πρώιμες αντοχές (συμβολισμός με το γράμμα N) και η άλλη, που συμβολίζεται με το γράμμα R, στις μεγάλες πρώιμες αντοχές ή διαφορετικά αντιστοιχεί σε τσιμέντα ταχείας ανάπτυξης αντοχών. Επηρεάζεται από τον συντελεστή νερού - τσιμέντου, την θερμότητα ενυδάτωσης, την θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης, την υγρασία, τον χρόνο και τον τρόπο αποθήκευσης.

#### **1.2.4. Βασικές ιδιότητες σκυροδέματος**

##### **Οι αντοχές**

Η αντοχή (strength) του σκυροδέματος σε μηχανική καταπόνηση θεωρείται ως η πιο σημαντική ιδιότητά του, παρ' όλο που σε μερικές περιπτώσεις άλλα χαρακτηριστικά του, όπως η ανθεκτικότητα (durability) και η διαπερατότητα (permeability), μπορεί να είναι σημαντικότερα. Σε κάθε περίπτωση πάντως, η αντοχή δίνει μια συνολική εικόνα της ποιότητας του σκυροδέματος, επειδή συνδέεται άμεσα με τη δομή της ενυδατωμένης τσιμεντόπαστας. Επιπρόσθετα, η αντοχή του σκυροδέματος είναι μια αναντικατάστατη μεταβλητή στο σχεδιασμό των κατασκευών και κατά κανόνα προδιαγράφεται και από τους κανονισμούς. Η αντοχή του σκυροδέματος σε συγκεκριμένη ηλικία, συντήρηση και θερμοκρασία θεωρείται ότι εξαρτάται κυρίως από δύο παράγοντες: το λόγο N/T (W/C) και το βαθμό συμπύκνωσης (degree of compaction).

##### **Το πορώδες**

Το σκυρόδεμα, όπως και οι φυσικοί λίθοι, δεν είναι υλικό απόλυτα συμπαγές και πλήρες, αλλά περιέχει πλήθος από εσωτερικές κοιλότητες. Οι κοιλότητες αυτές είναι κενές από στερεό υλικό, γι' αυτό και ονομάζονται πόροι ή κενά. Το σύνολο αυτών των κοιλοτήτων ονομάζεται πορώδες του σκυροδέματος. Οι κοιλότητες αυτές μπορεί να περιέχουν αέρα ή να είναι γεμάτες με νερό.

##### **Η διαπερατότητα**

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπερατότητα και μέσω αυτής την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος αναλύονται παρακάτω:

Α. Σύσταση του τσιμέντου. Όταν το σκυρόδεμα περιέχει τσιμέντο σε ποσότητα μεγαλύτερη από  $300 \text{ kg/m}^3$ , έχει μικρό λόγο N/T και έχει γίνει προσεκτική συντήρηση, τότε θα έχει μικρή διαπερατότητα

Β. Λόγος N/T. Όταν ο λόγος αυτός υπερβεί την τιμή 0.6, υπάρχει δυσανάλογη αύξηση της διαπερατότητας, επειδή αυξάνεται το μέγεθος και ο αριθμός των τριχοειδών πόρων.

Γ. Πορώδες. Το μέγεθος και η κατανομή των πόρων καθώς και η ποσότητα νερού που περιέχουν επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη διαπερατότητα του σκυροδέματος. Συνήθως η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε φυσικές και χημικές επιδράσεις μειώνεται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε τριχοειδείς πόρους.

Δ. Βαθμός συμπύκνωσης. Με τη συμπύκνωση γίνεται προσπάθεια μείωσης των κενών του αέρα στο σκυρόδεμα σε ποσοστό μικρότερο από 1%.

Ε. Συντήρηση. Η συντήρηση του σκυροδέματος συνίσταται στη διατήρηση ευνοϊκών συνθηκών υγρασίας και θερμοκρασίας ώστε να προχωρήσουν οι αντιδράσεις ενυδάτωσης. Ο ελάχιστος χρόνος συντήρησης εξαρτάται από το λόγο N/T. Η συντήρηση γίνεται με σκοπό το σκυρόδεμα αφενός μεν να συγκρατήσει τη σωστή υγρασία για να γίνει η ενυδάτωση του τσιμέντου, αφετέρου δε να προστατευθεί από τις απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας.

ΣΤ. Υπαρξη ρωγμών. Με τις ρωγμές διευκολύνεται η διείσδυση βλαβερών ουσιών στο εσωτερικό της κατασκευής και προς τον σπλισμό του σκυροδέματος.

## **Η εργασιμότητα**

Με τον όρο εργασιμότητα (workability) ή εργάσιμο χαρακτηρίζεται γενικά η ευκολία με την οποία είναι δυνατόν να μεταφερθεί, διαστρωθεί και συμπυκνωθεί το σκυρόδεμα. Σύμφωνα με έναν άλλο ορισμό, η εργασιμότητα ορίζεται ως το έργο που απαιτείται για να υπερνικηθούν οι εσωτερικές τριβές και να επιτευχθεί πλήρης συμπύκνωση. Είναι μια σύνθετη ιδιότητα και συνδέεται με άλλες ρεολογικές ιδιότητες, όπως η ρευστότητα, η πλαστικότητα, η συνοχή, η συμπυκνωσιμότητα.

## **Ανθεκτικότητα σκυροδέματος**

Η ανθεκτικότητα (durability) αποτελεί γενική έννοια, η οποία εκφράζει τη δυνατότητα του σκυροδέματος να διατηρεί την αντοχή και τη λειτουργικότητά του στην κατασκευή, στη μέγιστη δυνατή διάρκεια. Συγκεκριμένα αναφέρεται στην

ικανότητα του υλικού να μη φθείρεται από το περιβάλλον (φυσικό ή μη) στο οποίο εκτίθεται. [10]

### 1.3. Σκωρίες

Η μεταλλουργική βιομηχανία ανήκει στους συνηθέστερα απαντώμενους βιομηχανικούς κλάδους στον Ελληνικό, αλλά και στον Ευρωπαϊκό - διεθνή χώρο. Από τις παραγωγικές δραστηριότητες που υφίστανται στη χώρα μας (βασικού σιδήρου, χάλυβα και σιδηροκραμάτων) προκύπτουν μια σειρά από βιομηχανικά παραπροϊόντα όπως τέφρες, σκωρίες και άλλα. Οι κυριότεροι τύποι σκωρίας είναι η σκωρία χαλυβουργίας, η σκωρία υψικαμίνων και η σκωρία από παραγωγή σιδηρονικελίου.



**Εικόνα 3 α)** Αερόψυκτη σκωρία υψικαμίνων (Air-cooled blast furnace slag, coarse aggregate), χονδρόκοκκο αδρανές **β)** Σκωρία καμίνου παρουσία οξυγόνου (Basic oxygen furnace slag, coarse aggregate) **γ)** Κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνων (Granulated blast furnace slag (GBS), fine aggregate)

#### 1.3.1. Αξιοποίηση σκωριών μέχρι σήμερα

Οι σκωρίες χρησιμοποιούνται σήμερα ευρέως στον κατασκευαστικό τομέα σε όλο τον κόσμο. Κάποτε αποτελούσε ένα άχρηστο παραπροϊόν ενώ τώρα είναι αποδεκτό και συχνά προτιμάται για διάφορες χρήσεις. Οι πρώτοι δρόμοι που κατασκευάστηκαν με τη χρήση σκωρίας ήταν στην Αγγλία το 1813 ενώ μέχρι το 1880 το υλικό αποτελούσε αναπόσπαστο συστατικό πολλών Ευρωπαϊκών δρόμων.



**Εικόνα 4** Ασφαλτόστρωση με υλικό που εμπεριέχει σκωρία για μείωση θορύβου

Λόγω της κατεύθυνσης που ορίστηκε μέσω διεθνών συνθηκών (πχ πρωτόκολλο του Κιότο) για μείωση της κατανάλωσης των φυσικών πόρων, το ενδιαφέρον για μια οργανωμένη διαδικασία εισαγωγής των βιομηχανικών παραπροϊόντων στην αγορά με σκοπό την αξιοποίηση τους αυξήθηκε κατακόρυφα. Σε αυτή την προσπάθεια συμβάλουν και μια σειρά από οργανισμούς οι οποίοι είναι κατά κύριο ιδιωτικής πρωτοβουλίας. Κάποιες από αυτές που ασχολούνται με την αξιοποίηση της σκωρίας είναι η NSA (National Slag Association) και η SCA (Slag Cement Association) στις ΗΠΑ, η Nirron Slag Association (NSA) στην Ιαπωνία, η ASA (Australian Slag Association) στην Αυστραλία, η Euroslag στην Ευρωπαϊκή Ένωση και η ΕΒΙΠΑΡ (Εταιρεία Έρευνας Ανάπτυξης Εφαρμογών Βιομηχανικών Παραπροϊόντων) στην Ελλάδα. [1]

Σύμφωνα με στατιστικές της Euroslag το 2010 από τους 25,6 εκατομμύρια τόνους σκωρίας υψικαμίνων που αξιοποιήθηκαν σε μια σειρά χώρες της ΕΕ χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό στη παραγωγή τσιμέντων και σκυροδεμάτων (66%) ενώ ένα εξίσου σημαντικό ποσοστό στην οδοστρωσία (23%). Σύμφωνα με την ίδια πηγή η σκωρία χαλυβουργίας αξιοποιήθηκε σε πολύ μεγάλο βαθμό το 2010 στην Ευρώπη (παραγωγή 21,8 εκατ. τόνοι - αξιοποίηση 22,3 εκατ. τόνοι) και η κύρια χρήση της ήταν στη κατασκευή οδοστρωμάτων (48%). (Παράρτημα 7.1.) Στην Ελλάδα υπάρχουν σύμφωνα με την ΕΒΙΠΑΡ, μια σειρά από σκωρίες (Σκωρίες ΛΑΡΚΟ, Σκωρία Χαλυβουργικής, Σκωρία ΣΙΔΕΝΟΡ) όπου αξιοποιούνται κυρίως στη τσιμεντοβιομηχανία, αλλά όχι σε ικανοποιητικό βαθμό.

Οι σκωρίες χρησιμοποιούνται συνήθως ως αδρανή υλικά λόγω της ανθεκτικότητάς τους, της μεγάλης πυκνότητας και της σταθερότητας σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες. Κατά συνέπεια, συμβάλλουν στην καλύτερη αποστράγγιση σε σύγκριση με τα συμβατικά αδρανή υλικά της ίδιας κοκκομετρίας. Επιπρόσθετα η ποιότητα των αδρανών (χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων) έχει

επιπτώσεις στις μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος. Σε ερευνητικό επίπεδο μελετήθηκε η επίδραση της χρήσης σκωρίας χαλυβουργίας, ως υποκατάσταση αδρανών στο σκυρόδεμα και αποδείχθηκε ότι η αντοχή σε θλίψη ήταν σε καλύτερα επίπεδα από τη χρήση συμβατικών ασβεστολιθικών αδρανών. [11]

Εξίσου σημαντικά κριτήρια για τη χρησιμοποίηση των σκωριών είναι η σταθερότητα του όγκου λόγω μικρής περιεκτικότητας σε ελεύθερη άσβεστο (CaO) και μαγνησία (MgO). Το οξείδιο της ασβέστου ενυδατώνεται γρήγορα με μεγάλη ογκομετρική μεταβολή ενώ το οξείδιο του μαγνησίου ενυδατώνεται αργά, διογκούμενο σε βάθος χρόνου. Η διόγκωση δημιουργεί διάφορα προβλήματα (π.χ. ρωγμές στα οδοστρώματα) και αποτελεί το κύριο προβληματισμό σχετικά με την αξιοποίηση του υλικού.

**Πίνακας 1** Αξιοποίηση σκωριών ως αδρανή από Euroslag ([www.euroslag.com](http://www.euroslag.com))

Χρήσεις αδρανών	Σκωρία υψικαμίνων ( κόκκους)	Σκωρία υψικαμίνων (αερόψυκτη)	Σκωρία χαλυβουργίας
Υδραυλικά κονιάματα	X	X	X
Ασφαλτικά μείγματα	X	X	X
Σκυρόδεμα	X	X	X
Ασβεστοκονιάματα	X	X	X
Ογκόλιθοι			X
Συρματοκιβώτια		X	X
Έρματα σιδηροδρομικών γραμμών		X	X
Στέγαση		X	X
Αναχώματα	X	X	X
Σφραγιστικά	X		X
Αμμοβολή	X		
Επεξεργασία λυμάτων		X	X
Έλεγχος ποιότητας αέρα			X

Τα χονδρόκοκκα κλάσματα της σκωρίας χρησιμοποιούνται ως έρματα σε όλους του τύπους των σιδηροδρομικών γραμμών (σιδηρογραμμές σε βιομηχανίες, ταχείας κυκλοφορίας κ.α.). Τα λεπτόκοκκα κλάσματα τοποθετούνται κάτω από τα αδρόκοκκα, προκειμένου να εμποδίσουν την μεταφορά των εδαφικών κόκκων στο στρώμα του έρματος. Επιπλέον, η σκωρία δημιουργεί καλύτερες συνθήκες απορροής κυρίως λόγω της υψηλής αντίστασης στην αποσύνθεση (degradation

resistance), ενώ παρουσιάζει υψηλή αντίσταση στη φθορά και στην τριβή, αντοχή σε υγρές και ξηρές συνθήκες, σε συνθήκες ψύξης και τήξης, σε ακραίες μεταβολές της θερμοκρασίας και σε χημικές προσβολές.

Εκτός όμως από τη χρήση της σκωρίας ως αδρανές ή πληρωτικό υλικό, είναι διαδεδομένη η αξιοποίηση της σκωρίας για τη παραγωγή τσιμέντων. Στην Ελλάδα έχει πραγματοποιηθεί μελέτη για την αξιοποίηση σκωρίας ηλεκτροκαμίνων παραγωγής σιδηρονικελίου και τα συμπεράσματα ήταν θετικά. [15] Η υποκατάσταση τσιμέντου με σκωρία Η/Κ (15%) συνέβαλλε θετικά στην αντοχή σε θλίψη, μείωσε την απαίτηση σε νερό και δεν είχε αρνητική επίπτωση στον χρόνο πήξης και στη σταθερότητα των μειγμάτων (κατά EN 196-3). [13]



**Εικόνα 5** Ο πύργος τηλεπικοινωνιών του Ντίσελντορφ με χρήση σκωριοτσιμέντου

Οι σκωρίες χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες στο ασφαλικό τσιμέντο εξαιτίας της υψηλής ευστάθειας που παρέχουν καθώς και της αντίστασης στη φθορά. Για την παραγωγή ασφαλικών προϊόντων υψηλής ποιότητας παίζουν σημαντικό ρόλο χαρακτηριστικά όπως η διαπερατότητα και η σκληρότητα. Η χρήση σκωριών συντελεί στην ελάχιστη ανάπτυξη αυλακώσεων στο οδόστρωμα, λόγω του γωνιώδους σχήματος των κόκκων. Η καλή συνοχή μεταξύ των κόκκων της σκωρίας, δίνει τη δυνατότητα στο ασφαλικό υλικό να αντέξει υψηλά δυναμικά και στατικά φορτία χωρίς να παραμορφώνεται, ακόμη και σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (πυρίμαχη αντοχή). Τα ασφαλικά μίγματα που περιέχουν σκωρία εμφανίζουν μεγαλύτερη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες σε σχέση με τα συμβατικά ασφαλικά μίγματα και επομένως βελτιώνεται η συμπίεση της ασφαλτόστρωσης. [11]

Τα τελευταία χρόνια σε όλο τον κόσμο η αξιοποίηση της σκωρίας λόγω της έρευνας γύρω από το συγκεκριμένο υλικό γίνεται όλο και πιο συχνή και πρωτότυπη. Στην Ιαπωνία χρησιμοποιούνται μίγματα διαφόρων τύπων σκωριών (χαλυβουργίας, υψικαμίνου κα) που δημιουργούν ένα σκληρυμένο προϊόν προς αντικατάσταση του σκυροδέματος σε λιμενικά έργα. Στη Γερμανία οι συντονισμένες προσπάθειες για τη χρήση σκωρίας χαλυβουργίας οδήγησε στην εκπόνηση τεχνικής οδηγίας για τη χρήση της σε υδραυλικά έργα. Τέλος η σκωρία μεταλλακτών χρησιμοποιείται στο σύνολό της για την παραγωγή ειδικού τύπου σκυροδέματος για την κάλυψη υποθαλάσσιων αγωγών πετρελαίου σε πολλά μέρη του κόσμου.

### **1.3.2. Σκωρία ηλεκτροκαμίνων**

#### **1.3.2.1. Παραγωγή**

Το σιδηρονικέλιο παράγεται από μεταλλεύματα λατερίτη μέσω πυρομεταλλουργικής διεργασίας. Οι αναγκαίες πρώτες ύλες είναι τα μεταλλεύματα Λατερίτη, ο λιγνίτης και οι γαιάνθρακες. Στην Ελλάδα το μοναδικό εργοστάσιο παραγωγής σιδηρονικελίου είναι αυτό της ΛΑΡΚΟ ΓΜΜΑΕ στη Λάρυμνα. Η παραγωγή του περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

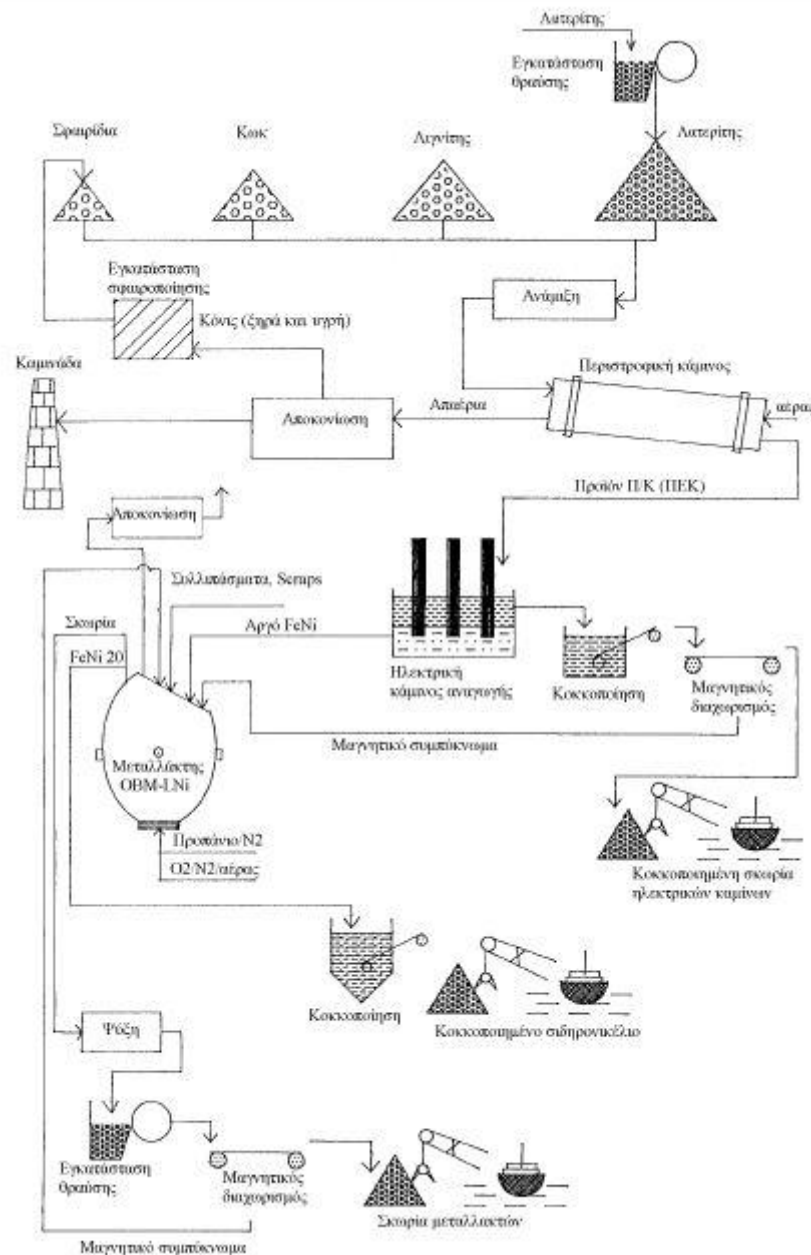
1. Ανάμιξη μεταλλεύματος με στερεά καύσιμα ώστε να προκύψει κατάλληλο μεταλλουργικό μίγμα (ΜΜ).
2. Προθέρμανση και μερική αναγωγή του ΜΜ σε περιστροφικές καμίνους (Π/Κ).
3. Αναγωγική τήξη του προϊόντος των Π/Κ σε ηλεκτρικές καμίνους (Η/Κ) εμβαπτισμένου τόξου, όπου παράγεται χαμηλής περιεκτικότητας πρωτογενές σιδηρονικέλιο.
4. Δευτερογενής καθαρισμός του παραγόμενου σιδηρονικελίου σε μεταλλάκτες (Μ/Τ) ΟΒΜ (Oxygen Blown Matte Converter).

Σύμφωνα με την οδηγία 96/61/ΕΚ κατά την διαδικασία της πυρομεταλλουργικής επεξεργασίας του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος, προκύπτουν τα εξής πέντε παραπροϊόντα.

- 1.** Σκωρία ηλεκτρικής καμίνου (Η/Κ) σε κοκκοποιημένη μορφή, οποία αποθηκεύεται χύμα σε εξωτερικούς χώρους.



2. Σκόνη περιστροφικής καμίνου (Π/Κ), η οποία αποθηκεύεται χύμα σε εσωτερικούς χώρους και επανατροφοδοτείται, αφού σφαιροποιηθεί με τσιμέντο (8%) σε Pellets στις Π/Κ μαζί με τις α' ύλες.
3. Σκόνη μεταλλακτών (Μ/Τ), η οποία αποθηκεύεται χύμα σε εσωτερικούς χώρους και επανατροφοδοτείται, αφού σφαιροποιηθεί με τσιμέντο (8%) σε Pellets στις Π/Κ μαζί με τις α' ύλες.
4. Μαγνητικό συμπύκνωμα σκωρίας Μ/Τ, το οποίο αποθηκεύεται χύμα σε εξωτερικούς χώρους και επανατροφοδοτείται στους Μ/Τ.
5. Σκωρία Μ/Τ (μετά το μαγνητικό διαχωρισμό), η οποία αποθηκεύεται χύμα σε εξωτερικούς χώρους.



**Εικόνα 6** Διάγραμμα ροής της διεργασίας παραγωγής FeNi από λατεριτικά μεταλλεύματα στο εργοστάσιο της ΛΑΡΚΟ στη Λάρυμνα

Όπως προκύπτει από την παραγωγική διαδικασία, κατά την 3<sup>η</sup> φάση πραγματοποιείται ο βασικός διαχωρισμός της σκωρίας από το σιδηρονικέλιο. Βάσει της εφαρμοζόμενης παραγωγικής διαδικασίας νικελίου, η σκωρία Η/Κ κοκκοποιείται με απότομη ψύξη με χρήση μεγάλης ποσότητας θαλασσινού νερού (7150 m<sup>3</sup>/h) και μετατρέπεται σε άμορφο υλικό (κατά ποσοστό 98%). Η διαδικασία πραγματοποιείται με ιδιαίτερη προσοχή για να αποφευχθεί οποιαδήποτε πιθανή έκρηξη.

Λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας του μεταλλεύματος σε Ni, ο όγκος της παραγόμενης σκωρίας είναι αρκετά μεγάλος. Μικρό ποσοστό της παραγόμενης σκωρίας Η/Κ επεξεργάζεται, ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται ώστε να ανακτηθούν κάποια μέταλλα, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό απορρίπτεται σε περιοχές εντός ή εκτός της βιομηχανίας.

### **1.3.2.2. Σύσταση**

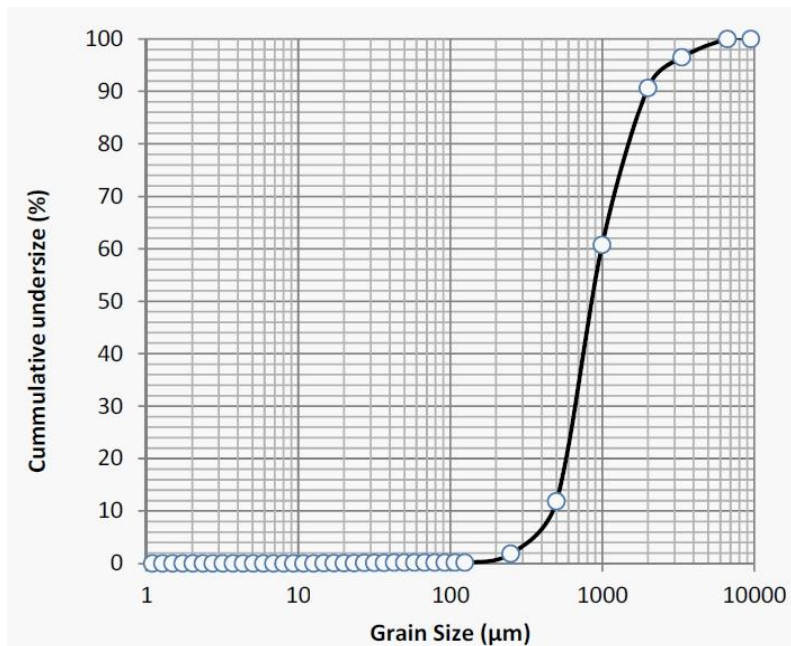
Η σκωρία Η/Κ αποτελείται κυρίως από τα οξείδια του Si και Fe. Σε λιγότερα ποσοστά είναι τα οξείδια του Al, Mg, Cr, Ca και Mn. Η υψηλή περιεκτικότητα σε οξείδιο του πυριτίου επιτρέπει στη σκωρία να αντιδρά με το υδροξείδιο του ασβεστίου, καθιστώντας αυτή ένα ποζολανικό υλικό ικανό να χρησιμοποιηθεί ως συστατικό του τσιμέντου. Η ποζολανικότητα της σκωρίας ηλεκτροκαμίνων κατά τον παλιό κανονισμό (Π.Δ. 244/80) είναι 5,9 N/mm<sup>2</sup> έναντι 5 N/mm<sup>2</sup> ως ελαχίστης απαίτησης. [14] Η χημική σύσταση της σκωρίας Η/Κ παρουσιάζεται αναλυτικά στους δύο παρακάτω πίνακες. [12]

**Πίνακας 2** Χημική σύσταση της σκωρίας Η/Κ

Κύρια Συστατικά:	Περιεκτικότητα (%):
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,00
CaO	4,12
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40,02
MgO	7,79
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,77
SiO <sub>2</sub>	41,18
NiO	0,31
K <sub>2</sub> O	0,37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04
BaO	0,01
Cl <sup>-</sup>	0,01
TiO <sub>2</sub>	0,12
Na <sub>2</sub> O	0,09
LOI	-3,44

### 1.3.2.3. Κοκκομετρία

Το 90% κ.β. της σκωρίας Η/Κ έχει μέγεθος κόκκου μικρότερου των 2 mm. Αντίστοιχα, στο κόσκινο των 900 μm διέρχεται το 50% και στο κόσκινο των 500 μm διέρχεται το 10%. Η κοκκομετρική ανάλυση έγινε βάσει του ASTM E276 με ξηρή κοσκίνηση και η καμπύλη της κοκκομετρικής ανάλυσης σκωρίας Η/Κ παρατίθεται στο παρακάτω διάγραμμα. [15]



Εικόνα 7 Διάγραμμα κοκκομετρίας σκωρίας Η/Κ σιδηρονικελίου

#### 1.3.2.4. Αξιοποίηση σκωρίας Η/Κ

Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη του Εργαστηρίου Ανόργανης & Αναλυτικής Χημείας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π λόγω των ποζολανικών ιδιοτήτων της (ενεργό SiO<sub>2</sub>), είναι κατάλληλη για χρήση στην παραγωγή τσιμέντου ως κύριο ή δευτερεύον συστατικό. [12] Μέχρι το 2000 η χρήση της σκωρίας Η/Κ ήταν ευρεία στις τσιμεντοβιομηχανίες όπου στο διάστημα 1990-2000 είχαν αξιοποιηθεί περίπου 4,5 εκατομμύρια τόνοι σκωρίας. Όμως η αξιοποίηση του συγκεκριμένου παραπροϊόντος σταμάτησε λόγω της μη ένταξης του υλικού στο πρότυπο EN 197-1.

Στο πρώτο συνέδριο της Ε.ΒΙ.ΠΑΡ. έγινε παρουσίαση με τίτλο "Αξιοποίηση σκωρίας Η/Κ" σύμφωνα με την οποία υπάρχουν μελέτες και πιλοτικές εφαρμογές με επιτυχή αποτελέσματα και αφορούν: [16]

- την χρήση της σκωρίας (60%, +0.5 -1.5) σαν υλικό αμμοβολής
- την χρήση της σκωρίας σαν αδρανές πρόσθετο στο σκυρόδεμα υψηλής αντοχής σε αντικατάσταση των ασβεστολιθικών αδρανών
- την χρήση της σκωρίας σαν πρόσθετο στο τσιμέντο Portland, λόγω των υδραυλικών ιδιοτήτων της

- την χρήση της σκωρίας, αντί των ασβεστολιθικών αδρανών, στο ισχνό τσιμέντο για την κατασκευή της υπόβασης των δρόμων
- την χρήση της σκωρίας για την παραγωγή αντιολισθηρού ασφαλτομίγματος αντικαθιστώντας 100% τα ασβεστολιθικά αδρανή, καθώς και
- την χρήση της σκωρίας στην παραγωγή αντιολισθηρών πλακών πεζοδρόμησης.

Επίσης, περιγράφονται και άλλες μελέτες για την σκωρία με ελπιδοφόρα αποτελέσματα, όπως:

- την χρήση της σαν πρόσθετο για κατασκευή οικοδομικών υλικών, όπως τούβλα και κεραμίδια, με αύξηση της μηχανικής αντοχής τους έως και 40% χωρίς παράλληλη αύξηση της θερμοκρασίας έψησης
- την χρήση της στην παραγωγή πυρίμαχων τούβλων για τζάκια ή θερμοσυσσωρευτές
- την χρήση της σε πυρίμαχες μάζες Fetling για μεταλλουργικούς φούρνους τήξης και τέλος
- την χρήση της στην παραγωγή υψηλής αντοχής αλουμινούχου τσιμέντου [17]
- την χρήση της σκωρίας ως υλικό παθητικής πυροπροστασίας σε σήραγγες [18]

## 1.4. Κυβόλιθοι

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν έναντι άλλων εναλλακτικών τρόπων διαμόρφωσης δαπέδων είναι:

- Μεγάλη προσαρμογή στις ανωμαλίες εδαφικού υποβάθρου. Η διάστρωση παρακολουθεί το ανάγλυφο χωρίς να παρατηρούνται ρήγματα όπως σε ασφατικές οδοστρώσεις.
- Δεν ευνοείται η συγκέντρωση του νερού καθώς διηθείται μέσω του πλέγματος των αρμών.
- Άνεση στη βάδιση καθώς έχουν μη ολισθηρή επιφάνεια.
- Ικανοποιητική αντοχή σε συνθήκες εξωτερικού χώρου.

### 1.4.1. Κυβόλιθοι σκυροδέματος (Concrete paving blocks)

Οι τεχνητοί κυβόλιθοι από σκυρόδεμα είναι συμπαγή προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα σε διάφορα σχήματα και διαστάσεις (ελάχιστου ύψους 6 cm), και μεγάλης ποικιλίας χρωμάτων. Λόγω της υψηλής αντοχής τους σε θλίψη και της αντισθητικής τους επιφάνειας, αποτελούν κατάλληλο υλικό επίστρωσης δαπέδων επί των οποίων κυκλοφορούν οχήματα, ακόμη και βαρέα (π.χ. σταθμοί λεωφορείων, χώροι φορτοεκφορτώσεων, χώροι στάθμευσης). Στο εμπόριο διατίθενται κυβόλιθοι διαφόρων τύπων (ως προς την αντοχή σε θλίψη, την τραχύτητα της επιφάνειας κτλ). Οι μικρές μονάδες υψηλής πυκνότητας αντιστέκονται στο ράγισμα καθώς και στη ζημιά από απότομο πάγωμα - ξεπάγωμα και από άλατα. Οι συγκεκριμένοι κυβόλιθοι είναι ανθεκτικότεροι από το σύνηθες σκυρόδεμα.

Τοποθετούνται σε ευθείες σειρές με εναλλασσόμενους αρμούς ή σε μορφή «ψαροκόκκαλου». Το σχήμα της κάτοψής τους είναι διαμορφωμένο ώστε κατά την τοποθέτησή τους να συναρμόζει το ένα στοιχείο με το άλλο. Οι συνηθέστεροι τύποι κυβόλιθων σκυροδέματος είναι οι κυβόλιθοι τύπου Κλασικός, Τριπλό αστέρι, Παραδοσιακός, Σταυρός, Κύβος, Κύμα, Καλντερίμι και Διπλό Ταυ.

Τα πλεονεκτήματα έναντι άλλων κυβόλιθων είναι:

- Χαμηλό κόστος σε σχέση με λίθινα στοιχεία ή λίθινες πλάκες
- Ευκολία στη διάστρωση (συνδέονται μεταξύ τους με τσιμεντοκονία ή με άμμο)
- Εύκολη και μικρού κόστους συντήρηση (δυνατότητα αντικατάστασης φθαρμένων χωρίς διακοπή λειτουργίας του χώρου)

Οι κυβόλιθοι σκυροδέματος ως υλικό οδοστρωσίας χρησιμοποιούνται ευρέως σε μια σειρά από έργα με αποτέλεσμα να υπάρχει ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα όσο αφορά τη παραγωγή τους. Μεγάλο κομμάτι της έρευνας αυτής αποτελεί η αξιοποίηση μιας σειράς από υλικών (οικοδομικά απόβλητα, βιομηχανικά παραπροϊόντα, κ.α.) για τη παραγωγή κυβόλιθων για την υποκατάσταση των συμβατικών αδρανών. Κάποιες από αυτές τις μελέτες είναι οι εξής:

- Έχει μελετηθεί η δυνατότητα χρήσης θρυμματισμένων τούβλων ως αδρανές (32%) και τα αποτελέσματα της έρευνας ικανοποιούν τις απαιτήσεις κατά EN 1338 (Σερβία). [19]
- Η διερεύνηση χρήσης σκόνης μάρμαρου από τη βιομηχανία μαρμάρου, ως αδρανές στο σκυρόδεμα κυβόλιθου είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα κατά ASTM και EN (Τουρκία). [20]
- Έχει εκπονηθεί μελέτη για την ανάπτυξη κυβόλιθων με χρήση υπτάμενης τέφρας και κόκκινης λάσπης (red mud, απόβλητο της Bayer) σε ποσοστό 10-20%, όπου έγιναν μετρήσεις σύμφωνα με το IS 15658: 2006 καθώς και έλεγχοι με έκπλυση (Leaching test) για τοξικά μέταλλα (Ινδία). [21]
- Έχει γίνει προσπάθεια να αξιοποιηθούν ηλεκτρολυτικά απόβλητα (σκόνη από ανατινάξεις και ηλεκτρολυτική λάσπη) στο σκυρόδεμα κυβόλιθων, αλλά η υποκατάσταση δεν ικανοποίησε το σύνολο των απαιτήσεων του βραζιλιάνικου προτύπου κατά ABNT (Βραζιλία). [22]
- Έχουν καταγραφεί σε μελέτη οι επιδράσεις που έχουν οι προσμίξεις τεσσάρων αποβλήτων (θρυμματισμένα τούβλα, θρυμματισμένο κεραμίδι, θρυμματισμένο γυαλί και ροκανίδια) στις ιδιότητες του σκυροδέματος για κυβόλιθους (Χονγκ Κονγκ). [23]
- Έχει διερευνηθεί η δυνατότητα παραγωγής κυβόλιθων κατά EN 1338 με της χρήση υπτάμενης τέφρας από εργοστάσιο της ΔΕΗ στη Πτολεμαΐδα με αξιοσημείωτα αποτελέσματα (Ελλάδα). [24]

#### **1.4.2. Πρότυπο EN 1338:2003**

[ Concrete paving blocks - Requirements and test methods -- Κυβόλιθοι από σκυρόδεμα - Απαιτήσεις και μέθοδοι δοκιμής ] [25]

Το πρότυπο EN 1338 εγκρίθηκε από την CEN τον Οκτώβριο του 2002 και τέθηκε σε ισχύ στην Ελλάδα μέσω της αντίστοιχης τεχνικής προδιαγραφής του ΕΛΟΤ. Ο σκοπός του συγκεκριμένου προτύπου είναι η αποσαφήνιση για τα υλικά, τις απαιτήσεις και τις μεθόδους ελέγχου που είναι αναγκαίες για τη κατασκευή κυβόλιθων οδοστρωσίας από σκυρόδεμα. Κυβόλιθων που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πεζοδρόμια, ποδηλατοδρόμους, παρκινγκ αυτοκινήτων, δρόμους, λεωφόρους, βιομηχανικές περιοχές (συμπεριλαμβανομένου και λιμάνια), δάπεδα αεροδρομίων, στάσεις λεωφορείων, πρατήρια αυτοκινήτων κα.

Στο πρότυπο αναφέρονται οι φυσικές και μηχανικές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούνται για να μπορεί το παραγόμενο προϊόν να είναι αποδεκτό. **Όσο αφορά τις συγκεκριμένες ιδιότητες αναφέρονται έλεγχοι για:**

1. Την αντοχή σε διάβρωση (Weathering resistance)
2. Την αντοχή σε εφελκυσμό (Tensile splitting strength)
3. Την αντοχή σε τριβή (Abrasion resistance)
4. Την αντίσταση ολίσθησης (Slip/skid resistance)
5. Την αντίδραση σε φωτιά (Fire performance)
6. Τη θερμική αγωγιμότητα (Thermal conductivity)

Οι μέθοδοι ελέγχου αναγράφονται στο πρότυπο σε μια σειρά από παραρτήματα και επίσης αναφέρονται και τα επιτρεπτά όρια των μετρήσεων. Στη συνέχεια παρατίθεται μια σύντομη παρουσίαση των απαιτήσεων:

1. Η αντοχή στη διάβρωση ελέγχεται είτε με την αντοχή σε κύκλους ψύξης-θέρμανσης (πίνακας 4) είτε με τη μέτρηση της υδατοαπορροφητικότητας (πίνακας 3)

**Πίνακας 3** Μέτρηση υδατοαπορροφητικότητας

Κατηγορία	Σήμανση	Υδατοαπορροφητικότητα (% κατά μάζα)
1	A	δεν απαιτείται
2	B	6%

**Πίνακας 4** Αντοχή σε κύκλους ψύξης-θέρμανσης

Κατηγορία	Σήμανση	Απώλεια μάζας (kg/m <sup>2</sup> )
3	D	< 1,0

2. Η αντοχή σε εφελκυσμό ελέγχεται σύμφωνα με το παράρτημα F και η τιμή της πρέπει να είναι το λιγότερο 3,6 MPa.
3. Η αντοχή στη τριβή ελέγχεται με τη μέθοδο του παραρτήματος G ή του παραρτήματος H και οι απαιτήσεις παρουσιάζονται στο Πίνακα .



**Πίνακας 5** Αντοχή σε τριβή

Κατηγορία	Σήμανση	Απαιτήσεις (παράρτημα G)	Απαιτήσεις (παράρτημα Η)
1	F	δεν απαιτείται	δεν απαιτείται
3	H	< 23mm	< 20000 mm <sup>3</sup> /5000 m <sup>2</sup>
4	I	<20mm	<18000 mm <sup>3</sup> / 5000 mm <sup>2</sup>

4. Η αντοχή σε ολίσθηση ελέγχεται σύμφωνα με την μέθοδο του παραρτήματος Ι (μόνο αν είναι απαραίτητο).
5. Όσων αφορά την αντίσταση στη φωτιά οι κυβόλιθοι από σκυρόδεμα κατατάσσονται στη κατηγορία A1 χωρίς έλεγχο σύμφωνα με την απόφαση 96/603/EC. Επίσης εάν οι κυβόλιθοι διατίθενται να χρησιμοποιηθούν για επικάλυψη οροφής, σύμφωνα με την απόφαση 2000/553/EC, δεν είναι αναγκαίος ο έλεγχος για (external fire performance) καθώς ικανοποιούνται οι απαιτήσεις.
6. Όσο αφορά τη θερμική αγωγιμότητα πρέπει να ελέγχεται σύμφωνα με το πρότυπο EN 13369 μόνο εφόσον είναι αναγκαία για το έργο στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί.

Σύμφωνα με το πρότυπο ο κατασκευαστής που είναι εγκατεστημένος στην ΕΕ, συντάσσει και διατηρεί μια δήλωση συμμόρφωσης, που δίνει το δικαίωμα στον κατασκευαστή ή τον αντιπρόσωπό του να θέσει τη σήμανση CE.

Η δήλωση αυτή πρέπει να περιλαμβάνει:

- όνομα και τη διεύθυνση του κατασκευαστή ή του εξουσιοδοτημένου αντιπροσώπου του που είναι εγκατεστημένος στην ΕΕ, και ο τύπος παραγωγής.
- περιγραφή του προϊόντος (τύπος, χαρακτηρισμός, χρήση), καθώς και αντίγραφο των πληροφοριών που συνοδεύουν τη σήμανση CE.
- διατάξεις τις οποίες πληροί το προϊόν (π.χ. παραρτήματος ZA του EN).

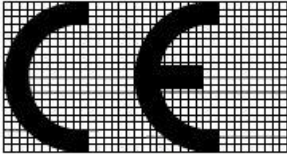
Για να μπορεί το προϊόν να έχει τη σήμανση πρέπει να είναι σύμφωνο με την οδηγία 93/68/ΕΚ του Συμβουλίου και πρέπει να συνοδεύεται από τις ακόλουθες πληροφορίες:

- η επωνυμία ή το διακριτικό σήμα του παραγωγού και η έδρα του
- τα δύο τελευταία ψηφία του έτους κατά το οποίο η εν λόγω σήμανση
- ο αριθμός του εν λόγω προτύπου (EN 1338)

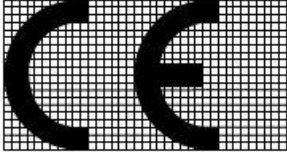
- ο τύπος του προϊόντος (δηλαδή Προκατασκευασμένα σκυροδέματος)
- η προβλεπόμενη χρήση (π.χ.: εσωτερική δάπεδα, εξωτερικά δάπεδα και / ή στέγες)
- πληροφορίες σχετικά με τα καθορισμένα χαρακτηριστικά / τιμές να δηλώσει.

Επιπλέον για κυβόλιθους που θα χρησιμοποιηθούν για οδοστρωσία σε χώρους με κίνηση πεζών και οχημάτων πρέπει να αναγράφεται η αντοχή σε θραύση, η αντίσταση σε ολίσθηση και η ανθεκτικότητα. Για τα προϊόντα που προορίζονται για δάπεδα εσωτερικών χώρων πρέπει να αναγράφεται η αντίδραση στη φωτιά, η αντοχή σε θραύση, η αντίσταση στην ολίσθηση, η ανθεκτικότητα και θερμική αγωγιμότητα (αν απαιτείται). Για τα προϊόντα που προορίζονται για την κάλυψη στεγών θεωρείται ότι ικανοποιείτε η αντίσταση σε έκθεση σε πυρκαγιά.

Παρακάτω παρατίθενται δύο παραδείγματα CE σήμανσης για κυβόλιθους κατά το πρότυπο EN 1338:

			
Anyco Ltd, P.O. Box 21, B 1050 00 TM			
<b>EN 1338</b> <b>Precast concrete block</b>			
<b>Intended Use:</b>	<b>Internal flooring</b>	<b>External flooring</b>	<b>Roofing</b>
<b>Emission of asbestos</b>	Pass	X	X
<b>Breaking strength</b>	Pass	Pass	X
<b>Slip/skid resistance</b>	Satisfactory	Satisfactory	X
<b>Thermal conductivity [W/(mK)]</b>	1,2	X	X
<b>External fire performance</b>	X	X	Deemed to satisfy
<b>Durability</b>	Satisfactory	Satisfactory	X
<b>Reaction to fire</b>	A1	X	X
X = not relevant;			

**Εικόνα 8** Παράδειγμα σήμανσης CE κυβόλιθων (EN 1338)

			
Anyco Ltd, P.O. Box 21, B 1050 00™			
<b>EN 1338</b> Precast concrete block (where the whole upper surface is ground and/or polished to produce a very smooth surface)			
<b>Intended Use:</b>	<b>Internal flooring</b>	<b>External flooring</b>	<b>Roofing</b>
<b>Emission of asbestos</b>	Pass	X	X
<b>Breaking strength</b>	Pass	Pass	X
<b>Slip/skid resistance</b>	45	45	X
<b>Thermal conductivity [W/(mK)]</b>	1,2	X	X
<b>External fire performance</b>	X	X	Deemed to satisfy
<b>Durability</b>	Satisfactory	Satisfactory	X
<b>Reaction to fire</b>	A1	X	X
X = - not relevant			

**Εικόνα 9** Παράδειγμα σήμανσης CE κυβόλιθων (EN 1338) για ειδική χρήση

### 1.4.3. Σχέδια Εθνικών Τεχνικών Προδιαγραφών

- ΠΕΤΕΠ 05-02-02-00 "Πλακοστρώσεις – λιθοστρώσεις πεζοδρομίων και πλατειών" [26]

Αντικείμενο της συγκεκριμένης ΠΕΤΕΠ είναι η επίστρωση δαπέδων εξωτερικών χώρων, όπως πλατειών, πεζοδρομίων, περιβάλλοντος χώρου κτιρίων, κτλ. Για την επίστρωση προτείνεται η χρήση τσιμεντόπλακων, κυβόλιθων από σκυρόδεμα, κεραμικά πλακίδια κα. Αποτέλεσε τη βάση για την εκπόνηση της **ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-02-02-00:2009** με τίτλο "**Πλακοστρώσεις – λιθοστρώσεις πεζοδρομίων και πλατειών**".

Σύμφωνα με αυτή την ΕΛΟΤ οι τεχνητοί κυβόλιθοι από σκυρόδεμα που προορίζονται για την επίστρωση επιφανειών ανεξάρτητα από τη φύση της κυκλοφορίας, θα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 1338. Ιδιαίτερως ενδιαφέρει η συμμόρφωση των κυβόλιθων με τα κριτήρια που αναφέρονται στην ανοχή των διαστάσεων, αντοχή σε θλίψη, φθορά σε τριβή,

υδατοαπορροφητικότητα και στην ολισθηρότητα. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να συμμορφώνονται με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13369 (Common rules for precast concrete products -- Κοινοί κανόνες για τα προκατασκευασμένα προϊόντα από σκυρόδεμα).

- ΠΕΤΕΠ 09-14-03-00 "Δάπεδα λιμενικών έργων από κυβόλιθους σκυροδέματος" [27]

Η συγκεκριμένη ΠΕΤΕΠ έχει ως αντικείμενο τη κατασκευή λιμενικών δαπέδων βαρέως τύπου από κυβόλιθους σκυροδέματος. Περιλαμβάνονται οι εργασίες προετοιμασίας των επιφανειών διαστρώσεως των κυβόλιθων και κατασκευής των δαπέδων δια τοποθέτησης των κυβόλιθων. Αποτέλεσε τη βάση για τη εκπόνηση της **ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-09-14-03-00:2009** με τίτλο "**Δάπεδα λιμενικών έργων από κυβόλιθους σκυροδέματος**". Η συγκεκριμένη ΕΛΟΤ βασίζεται στο πρότυπο EN 1338:2003 για κυβόλιθους και στο Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος-97 .

Η ΕΛΟΤ αναφέρει ότι η ελάχιστη επιτρεπόμενη μέση θλιπτική αντοχή των δειγμάτων της ελεγχόμενης πατρίδας, μετρούμενη σύμφωνα με την παρούσα προδιαγραφή είναι 49 MPa. Η ελάχιστη αντοχή κάθε ανεξάρτητου δείγματος δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη των 40 MPa. Σχετικά με τα υλικά αποσαφηνίζονται επιπλέον χαρακτηριστικά σχετικά με τη φύση της άμμου εγκιβωτισμού των κυβόλιθων. Αναφέρεται ότι:

- Τουλάχιστον το 90% κατά βάρος της άμμου θα πρέπει να είναι διερχόμενο από κόσκινο ανοίγματος οπής 5 mm.
- Η περιεκτικότητα της άμμου σε ιλύ και άργιλο θα πρέπει να είναι μικρότερη του 3% (κατά βάρος). Η άμμος θα πρέπει να είναι πλήρως απαλλαγμένη από επιβλαβείς ξένες προσμίξεις (άλατα κλπ).
- Η φυσική υγρασία της άμμου θα είναι ομοιόμορφη και εντός +-2% της βέλτιστης υγρασίας, καθοριζόμενης σύμφωνα με το **BS 1377-3** Μέθοδος 5: Προσδιορισμός της περιεκτικότητας του εδάφους και του υπόγειου ύδατος σε θείο (Test 12).

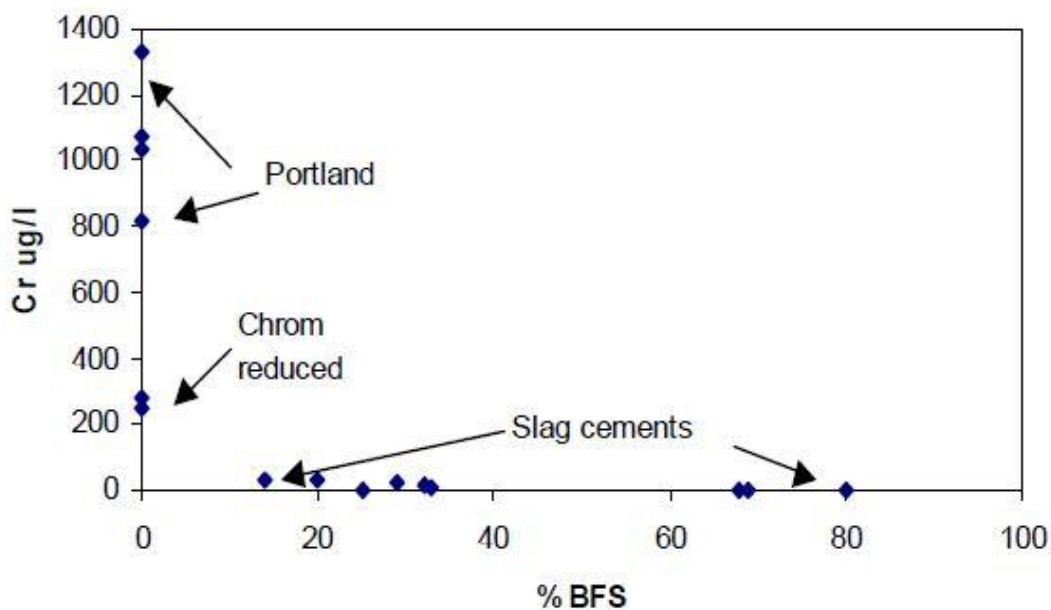
## 1.5. Περιβαλλοντικοί παράμετροι

### 1.5.1. Εκχύλιση συστατικών

Τα δομικά υλικά στο σκυρόδεμα σε όλο το κύκλο ζωής τους, από τη παραγωγή μέχρι και την εναπόθεση τους σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, έρχονται αντιμέτωπα με φαινόμενα που οδηγούν σε εκχύλιση συστατικών τους με το κίνδυνο να είναι επιβλαβή για το περιβάλλον. Για αυτό το λόγο οι πρώτες ύλες, καθώς και τα προϊόντα από σκυρόδεμα, πρέπει να ελέγχονται σύμφωνα με τις εθνικές τεχνικές προδιαγραφές.

Η εκχυλισιμότητα των διαφόρων συστατικών οφείλεται σε φυσικούς και χημικούς παράγοντες και μηχανισμούς. Κάποιοι φυσικοί παράγοντες είναι η διαπερατότητα, το μέγεθος, το σχήμα, και το πορώδες. Ενώ οι φυσικοί μηχανισμοί που εμπλέκονται στην απομάκρυνση των μετάλλων από το δομικό υλικό, είναι η επιφανειακή έκπλυση και η διάχυση. Οι μηχανισμοί ενεργοποιούνται λόγω φυσικών φαινομένων όπως η βροχή, το χιόνι ή ακόμα και από φαινόμενα διάβρωσης του υλικού.

Τα συστατικά που είναι επικίνδυνα για το περιβάλλον είναι συνήθως βαρέα μέταλλα όπως As, Cd, Co, Cu Sb, Zn. Στα σκυροδέματα όπου αξιοποιούνται παραπροϊόντα από την μεταλλευτική βιομηχανία (πχ σκωρίες) είναι σημαντικός ο έλεγχος της εκχύλισης βαρέων μετάλλων για τη πρόληψη αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Σύμφωνα με μία μελέτη του ECN (Energy research Centre of the Netherlands) οι κονίες τσιμέντου που περιέχουν σκωρία υψικαμίνων παρουσιάζουν σημαντικά μειωμένη εκχυλιστικότητα (Leaching) χρωμίου (Cr). Αυτό οφείλεται στο ότι η σκωρία είναι προϊόν αναγωγής. [28]



**Εικόνα 10** Εκπλυσιμότητα χρωμίου (Cr) σε κονιάματα, ως συνάρτηση της περιεκτικότητας σκωρίας υψικαμίνων (BFS)

Σε μια μελέτη στο Βέλγιο ελέγχθηκε το κατά πόσο επηρεάζεται η εκχύλιση βαρέων μετάλλων σκυροδέματος στο οποίο αξιοποιήθηκε σκωρία υψικαμίνων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατά την μέθοδο του NEN 7345 (tank test) ήταν στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής οδηγίας 98/83/EC και έδειξαν ότι η συμμετοχή της σκωρίας στο σκυρόδεμα δεν επηρεάζει την εκχύλιση και συνεπώς δεν υπάρχει περιβαλλοντικός κίνδυνος. [29]

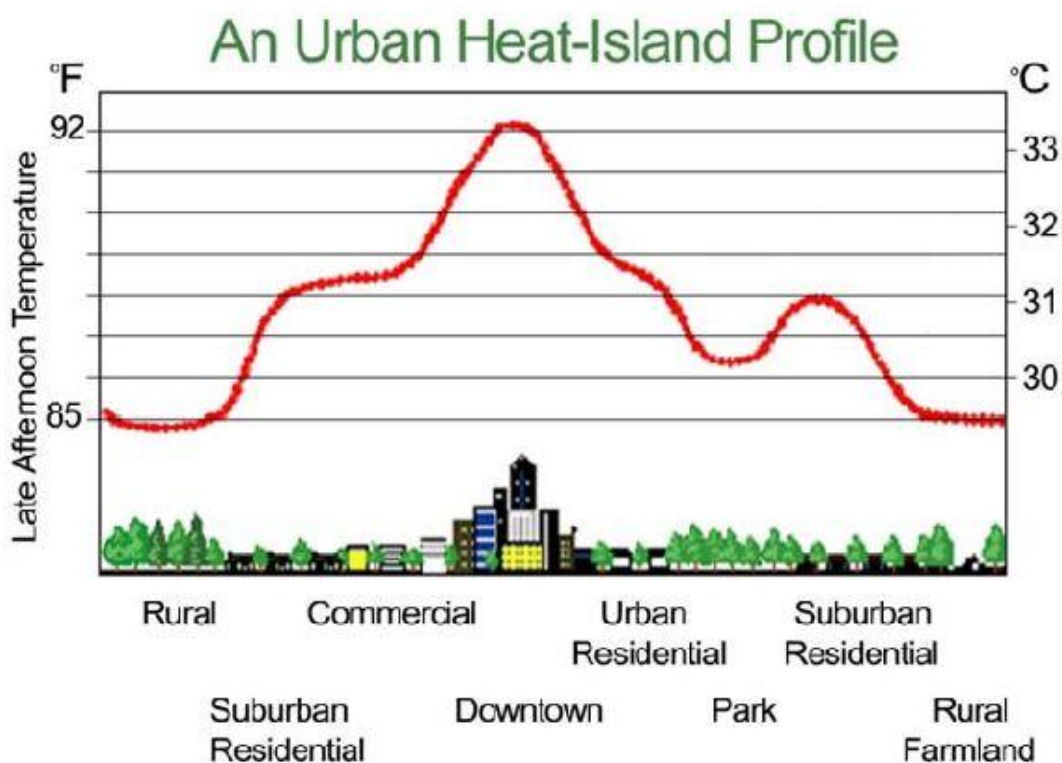
Παρόμοια έρευνα πραγματοποιήθηκε και στην Ελλάδα για να βρεθεί το κατά πόσο τα βαρέα απελευθερώνονται στο περιβάλλον όταν ένα είδος σκωρίας (ηλεκτροκαμίνων από παραγωγή σιδηρονικελίου) χρησιμοποιείται στο σκυρόδεμα. Στη συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε η μέθοδος ελέγχου σύμφωνα με το EA NEN 7375 και τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι η αθροιστικά μετρούμενη εκλούμενη ποσότητα βαρέων μετάλλων (Cr, Co, Ni, Zn, As, Pb) είναι κάτω από τα θεσπισμένα όρια για αρνητική επίπτωση στο περιβάλλον. [14]

### 1.5.2. Φαινόμενο αστικής θερμικής νησίδας (Urban Heat Island)

Η χρήση σκουρόχρωμων υλικών σε κτίρια και πεζοδρόμια, σε συνδυασμό με την έλλειψη επαρκούς βλάστησης στις πόλεις, η οποία λειτουργεί ως φυσικός παράγων σκίασης των κτιρίων και δροσισμού του αέρα, έχουν ως αποτέλεσμα την

αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειών και του αέρα στο αστικό περιβάλλον. Τις θερμές θερινές ημέρες, ο αέρας στο αστικό περιβάλλον μπορεί να είναι μέχρι 3 ως 10 °C θερμότερος από ότι στις περιαστικές περιοχές. Για το φαινόμενο αυτό έχει επικρατήσει διεθνώς ο όρος «**Αστική Θερμική Νησίδα**» (Urban Heat Island). Για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου φαινομένου (ΑΘΝ) υπάρχουν φυσικοί τρόποι, όπως η δημιουργία χώρων πρασίνου ή η τοποθέτηση τεντών στα μπαλκόνια των πολυκατοικιών και τεχνητοί όπως η χρησιμοποίηση "ψυχρών υλικών" στα υλικά δόμησης και οδόστρωσης. [30]

Τα ψυχρά υλικά είναι υλικά λευκά ή έγχρωμα τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν τόσο στο κέλυφος του κτιρίου, όσο και σε άλλες επιφάνειες του αστικού δομημένου περιβάλλοντος (π.χ. σε χώρους στάθμευσης, πεζοδρόμια) για τη μείωση της αναπτυσσόμενης επ' αυτών θερμοκρασίας. Τα ψυχρά υλικά χαρακτηρίζονται από υψηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία, σε σύγκριση με συμβατικά υλικά του ίδιου χρώματος, και από υψηλό συντελεστή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας (εκλύουν γρηγορότερα τα ποσά θερμότητας που έχουν απορροφήσει). Με την εφαρμογή τους εξασφαλίζονται χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες συγκριτικά με άλλα υλικά επιστρώσεων.



**Εικόνα 11** Φαινόμενο αστικής θερμικής νησίδας

Σήμερα διατίθενται στην αγορά διάφορα χρωστικά πρόσθετα (pigments), τα οποία βελτιώνουν την ανακλαστικότητα του σκυροδέματος και των κονιαμάτων. Τα



προϊόντα αυτά έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται και από τις Ελληνικές εταιρείες παραγωγής πλακών και κυβόλιθων. Στη περιοχή του Φλοίσβου μετά από επιστημονική μελέτη χρησιμοποιήθηκαν ψυχρά υλικά οδοστρωσίας (cool paving materials) σε μια πολύ μεγάλη έκταση (4500 m<sup>2</sup>) με αξιοσημείωτα αποτελέσματα όσον αφορά τις κλιματικές συνθήκες. [31]



**Εικόνα 12** Κυβόλιθοι με ψυχρά υλικά σε πάρκο στη περιοχή του Φλοίσβου

Η ΑΘΝ έχει γίνει στόχος της πρόσφατης έρευνας που αποσκοπεί στη βελτίωση των αστικών κλιμάτων και της ενεργειακής απόδοσης των πόλεων. Ο στόχος της εν εξελίξει έρευνας είναι η εξεύρεση τρόπων για τον περιορισμό της ΑΘΝ (ιδιαίτερα σε πόλεις με ζεστά κλίματα), για παράδειγμα, με την αύξηση της ανακλαστικότητας, με την επέκταση των επιφανειών εξάτμισης μέσω της βλάστησης, και την αύξηση της πολεοδομικής θερμικής μάζας. Από την άποψη της ενεργειακής κατανάλωσης, απλές τεχνικές, όπως αυτές μπορεί να είναι αποτελεσματικές στη μείωση του κόστους του κλιματισμού με την τροποποίηση και βελτίωση του αστικού μικρο-και μεσο-κλίματος. Οι αλλαγές αυτές μπορούν να εξοικονομήσουν σε μεγάλα ποσοστά την ηλεκτρική ενέργεια για ψύξη. [32]



### 1.5.2.1. Ανακλαστικότητα

Ανακλαστικότητα είναι ο λόγος της ανακλωμένης ως προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία επί της εξεταζόμενης επιφάνειας. Περιλαμβάνεται τόσο η ακτινοβολία στο ορατό φάσμα, όσο και η υπέρυθρη και η υπεριώδης ακτινοβολία. Η ανακλαστικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας μετράται σε κλίμακα 0,00 έως 1,00. Γενικώς υλικά ανοικτών αποχρώσεων στο ορατό φάσμα εμφανίζουν υψηλή ανακλαστικότητα, ενώ τα σκουρόχρωμα υλικά χαμηλή. Πάντως η απόχρωση ενός υλικού στο ορατό φάσμα δεν αποτελεί πάντα αξιόπιστη ένδειξη της ανακλαστικότητας. Η ικανότητα ανάκλασης μιας επιφάνειας στο υπέρυθρο φάσμα είναι ιδιαίτερα σημαντική, δοθέντος ότι η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι εκείνη που θερμαίνει τα υλικά.

**Δείκτης ανακλαστικότητας ηλιακής ακτινοβολίας (Solar Reflectance Index - SRI)** είναι ένας σύνθετος δείκτης, εξαρτώμενος από την ανακλαστικότητα, τον δείκτη εκπομπής και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, ο οποίος προσδιορίζει τον βαθμό θέρμανσης επιφάνειας πλήρως εκτεθειμένης στην ηλιακή ακτινοβολία, με τιμές κυμαινόμενες από 0,00 (τυπική μαύρη επιφάνεια) έως 1 (τυπική λευκή επιφάνεια). Υλικά με υψηλές τιμές SRI ενδείκνυνται για την αντιμετώπιση του φαινομένου της θερμικής νησίδας. Ευρωπαϊκά πρότυπα για τη μέτρηση της ανακλαστικότητας δεν υπάρχουν ακόμα και οποιαδήποτε μέτρηση της τιμής της γίνεται σύμφωνα με τα **Αμερικάνικα πρότυπα ASTM 408: 02, ASTM E 903: 96 και ASTM E1980-01.**

Η οδόστρωση (πεζοδρόμια, δρόμοι, χώροι στάθμευσης κλπ) καλύπτει ένα σημαντικό ποσοστό των αστικών και προαστιακών επιφανειών. Οι επιφάνειες αυτές απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και την απελευθερώνουν ως υπέρυθρη ακτινοβολία καθώς και μέσω συναγωγής στην ευρύτερη περιοχή τους κατά τη διάρκεια του απογεύματος και της νύχτας. [33] Η ικανότητα του υλικού να ανακλά το ορατό φως είναι ανάλογη με την ικανότητα του να ανακλούν την θερμότητα στην επιφάνειά τους. Σύμφωνα με μία μελέτη μετρήθηκε η θερμοκρασία διαφόρων τύπων οδοστρώσεως κατά τη διάρκεια μιας ζεστής καλοκαιρινής μέρας (32<sup>0</sup>C), και βρέθηκε η θερμοκρασία του ανοιχτόχρωμου σκυροδέματος (68<sup>0</sup> C) εμφανώς μικρότερη από αυτή της σκουρόχρωμης ασφάλτου (90<sup>0</sup> C). [34] Παρακάτω υπάρχει πίνακας με τιμές της ανακλαστικότητας από συνήθη υλικά οδοστρώσεως.

**Πίνακας 6** Τιμές ανακλαστικότητας για διάφορα υλικά

<b>Υλικό</b>	<b>Ανακλαστικότητα</b>
Μαύρη άσφαλτος	0,04-0,06
Άσπρο κάλυμμα στην άσφαλτο	0,3-0,45
Γκρι πλάκα πεζοδρομίου	0,12-0,2
Άσπρη πλάκα πεζοδρομίου	0,6-0,77
Ανοιχτόχρωμος τσιμεντόλιθος	0,45-0,49
Λευκό μάρμαρο	0,65-0,75
Σκουρόχρωμο μάρμαρο	0,2-0,4
Σκουρόχρωμος γρανίτης	0,08-0,12

Σύμφωνα με μία άλλη μελέτη η ανακλαστικότητα στο σκυρόδεμα σχετίζεται γενικά με τη τιμή της ανακλαστικότητας στο τσιμέντο και την άμμο (λεπτόκοκκο αδρανές) και λιγότερο με αυτή του χονδρόκοκκου αδρανούς. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η ανακλαστικότητα του σκυροδέματος αυξάνεται κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσής του και σταματάει στο πέρας των έξι εβδομάδες. Τέλος έγινε σύγκριση της ανακλαστικότητας του λευκού τσιμέντου και του συμβατικού γκρι τσιμέντου με το πρώτο να έχει αρκετά μεγαλύτερη τιμή ως προς το δεύτερο (από 0,18 έως 0,36). [35]

## 2. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Ο κατασκευαστικός κλάδος στην Ελλάδα είναι ένας από τους πιο σημαντικούς τομείς της οικονομίας και κομμάτι του αποτελεί η παραγωγή υλικών για οδόστρωση. Στο τομέα αυτό υπάρχουν τόσο σε ερευνητικό επίπεδο όσο και σε στάδιο πιλοτικών εφαρμογών προσπάθειες για την αξιοποίηση εθνικών βιομηχανικών παραπροϊόντων. Στη παρούσα Διπλωματική εργασία, ερευνάται η πιθανότητα κατασκευής κυβόλιθων οδοστρωσίας από σκυρόδεμα με αξιοποίηση της σκωρίας ηλεκτροκαμίνων ως υποκατάσταση αδρανούς.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές οι απαιτήσεις για τη παραγωγή κυβόλιθων οδοστρωσίας είναι ιδιαίτερα αυξημένες και στην Ελλάδα πρέπει να ικανοποιείται το ευρωπαϊκό πρότυπο **EN 1338 : 2003 "Concrete paving blocks - Requirements and test methods"**. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο πρότυπο έχουν εκπονηθεί και ελληνικές τεχνικές προδιαγραφές όπως η **ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-02-02-00:2009** με τίτλο "**Πλακοστρώσεις – λιθοστρώσεις πεζοδρομίων και πλατειών**" και η **ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-09-14-03-00:2009** με τίτλο "**Δάπεδα λιμενικών έργων από κυβόλιθους σκυροδέματος**". Συνεπώς η σκωρία Η/Κ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως αδρανές για τη παραγωγή κυβόλιθων αρκεί να ικανοποιούνται οι προδιαγραφές σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1338. Επιπρόσθετα ελέγχεται και η αντοχή σε θλίψη σύμφωνα με το αμερικάνικο πρότυπο **ASTM C 936-01 "Standard Specification for solid Concrete Interlocking Paving units"**. [36]

## 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 3.1. Περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας

Ο σκοπός της πειραματικής διαδικασίας είναι ο έλεγχος κυβόλιθων σκυροδέματος που εμπεριέχουν σκωρία Η/Κ σχετικά με τις απαιτήσεις που προβλέπει το πρότυπο EN 1338. Στον οπτικό έλεγχο πραγματοποιήθηκε μια επιπλέον πειραματική διαδικασία για το κατά πόσο επηρεάζουν κάποιες χημικές ενώσεις το χρώμα του προϊόντος. Επιπρόσθετα μετρήθηκε και η αντοχή σε θλίψη σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C 936-01. Για το σκοπούς αυτούς σχεδιάστηκαν τρεις (3) διαφορετικές σειρές συνθέσεων και οι παράμετροι που ελήφθησαν υπ όψιν ήταν:

- η δημιουργία μιας συμβατικής σύνθεσης αναφοράς με τσιμέντο και αδρανή
- η αντικατάσταση σε δύο διαφορετικά ποσοστά (10-20%) των συμβατικών αδρανών με σκωρία Η/Κ.

Η παραγωγή των κυβόλιθων έγινε στο εργοστάσιο της ΒΕΡΥΚΟΚΟΣ ΑΒΕΕ στη περιοχή της Θήβας. Συνολικά παρήχθησαν 674 κυβόλιθοι για κάθε σύνθεση και η μηχανή παραγωγής είναι της εταιρείας Loren, μοντέλο LC-100.



**Εικόνα 13** Μηχανή παραγωγής κυβόλιθων Lorev, μοντέλο LC-100

Η παραγωγική διαδικασία στην εταιρεία «ΒΕΡΥΚΟΚΟΣ ΑΒΕΕ», έγινε κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες και σύμφωνα με τις τεκμηριωμένες διαδικασίες που προβλέπονται από το Σύστημα Διαχείρισης της Ποιότητας της εταιρείας, το οποίο είναι σύμφωνο με το πρότυπο EN ISO 9001:2008. Κατά τα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας διενεργήθηκαν οι προβλεπόμενοι από τα Πρότυπα Παραγωγής έλεγχοι, οι οποίοι καθορίζονται με τεκμηριωμένες διαδικασίες από το Σύστημα Διαχείρισης της Ποιότητας και αφορούν:

- Την ορθή λειτουργία του παραγωγικού εξοπλισμού.
- Τον έλεγχο και την διακρίβωση του ζυγιστικού και μετρητικού εξοπλισμού, καθώς επίσης του εξοπλισμού δοκιμών των δηλωμένων ιδιοτήτων των προϊόντων.

**Πίνακας 7** Χαρακτηριστικά των τριών συνθέσεων

Σύνθεση	Τσιμέντο (Kg/m <sup>3</sup> )	Άμμος (0-4mm) (Kg/m <sup>3</sup> )	Σκωρία (Kg/m <sup>3</sup> )	Υπερρευστοποιητής (Kg/m <sup>3</sup> )	Λόγος τσιμέντου/νερού
Κυβόλιθοι αναφοράς (Σ-0)	175	1569	0	1	0,45
Κυβόλιθοι 10% (Σ-10)	175	1412	157	1	0,45
Κυβόλιθοι 20% (Σ-20)	175	1255	314	1	0,45

Τα παραπάνω ποσοστά στη σύσταση του σκυροδέματος έγιναν στη βάση δεδομένων παλαιότερων δοκιμών του εργοστασίου.

### **3.1.1. Επιλογή των πρώτων υλών**

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για τη παραγωγή των κυβόλιθων ήταν:

1. Τσιμέντο Ι 52,5
2. Άμμος 0-4 mm
3. Σκωρία ηλεκτροκαμίνων παραγωγής σιδηρονικελίου
4. Νερό
5. Υπερρευστοποιητής

#### **Τσιμέντο**

Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε για τη παρασκευή των κυβόλιθων ήταν τσιμέντο Portland, τύπου CEM Ι 52,5 της εταιρείας "Ανώνυμος Γενική Εταιρεία Τσιμέντων ΗΡΑΚΛΗΣ- Όμιλος LAFARGE" το οποίο παρήχθη στο εργοστάσιο "ΟΛΥΜΠΟΣ" στην Αγριά, Βόλου. Είναι πιστοποιημένο από τον ΕΛΟΤ με αρ. Πιστοποιητικού 0365-CPD-014/01.16.04/9 (Παράρτημα 7.2.). Οι λόγοι που οδήγησαν στην χρήση του συγκεκριμένου τσιμέντου ήταν πρώτον τα πλεονεκτήματα που έχει η χρήση "καθαρού" τσιμέντου για την εξαγωγή καλύτερων συμπερασμάτων και δεύτερον η οικονομική πολιτική της εταιρείας.

## Άμμος

Η άμμος που χρησιμοποιήθηκε ως αδρανές έχει ελεγχθεί σύμφωνα με το πρότυπο EN 12620 και παράγεται στο νομό Βοιωτίας. Δεν περιέχει επικίνδυνα συστατικά βάσει των ελληνικών κανονισμών (εκπομπή ραδιενέργειας, απελευθέρωση βαρέων μετάλλων, πολυαρωματικών υδρογονανθράκων και άλλων ουσιών). Τα χαρακτηριστικά της άμμου καταγράφονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 8** Χαρακτηρίστηκα άμμου κατά CE ( Παράρτημα 7.2.)

Πυκνότητα επί ξηρού	2,70 Mg/m <sup>3</sup>
Περιεκτικότητα σε χλωριόντα	0,0064% Cl
Ολικό θείο	Μη ανιχνεύσιμο
Υδατοαπορροφητικότητα	1,10%
Φαινόμενο βάρος	1700 kg/m <sup>3</sup>
Ανθεκτικότητα σε αλκαλοπυριτική αντίδραση	Αβλαβές
Πετρογραφική εξέταση	Ασβεστόλιθος

Η συγκεκριμένη άμμος χρησιμοποιήθηκε ως πρώτη ύλη καθώς τα ασβεστολιθικά υλικά αποτελούν τα πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενα αδρανή σε συμβατικά σκυροδέματα στην Ελλάδα. Εξίσου σημαντικός παράγοντας για την επιλογή αυτή ήταν η κοκκομετρία του υλικού, η οποία έχει άμεση επίπτωση στις ιδιότητες του σκυροδέματος. Τέλος το συγκεκριμένο υλικό δεν εμπεριέχει αμίαντο (asbestos) που απαγορεύεται από το πρότυπο EN 1338.



**Εικόνα 14** Αμμόλοφοι από ασβεστολιθική άμμο

### **Σκωρία**

Στις δύο από τις τρεις συνθέσεις χρησιμοποιήθηκε σε κάποιο ποσοστό σκωρία Η/Κ από τη παραγωγή σιδηρονικελίου σε εργοστάσιο της ΛΑΡΚΟ στη περιοχή της Λάρυμνας. Για την αξιοποίηση της συγκεκριμένης σκωρίας ως αδρανές πάρθηκε υπ όψιν η χημική συμπεριφορά της, όσον αφορά το κατά πόσον περιέχει ποσότητες πυριτίου επιδεκτές σε προσβολή από τα αλκάλια ( $\text{Na}_2\text{O}$  και  $\text{K}_2\text{O}$ ) που προέρχονται από το τσιμέντο. Η σκωρία Η/Κ έχει υψηλό ποσοστό ενεργού πυριτίου (41,18%) κάτι που ενισχύει την ποζολανική της δράση. Επίσης για να χρησιμοποιηθεί η σκωρία θεωρήθηκε ως σημαντικό χαρακτηριστικό η κοκκομετρία όπου το 90% κ.β του υλικού έχει μέγεθος κόκκου μικρότερου των 2 mm.

### **Νερό**

Ο λόγος νερού/τσιμέντου ήταν αυτός που καθόρισε τη ποσότητα του νερού που έπρεπε να χρησιμοποιηθεί για την τσιμεντόπαστα. Ο λόγος Ν/Τ δεν έπρεπε να υπερβεί την τιμή του 0,6 καθώς θα υπήρχε δυσανάλογη αύξηση της διαπερατότητας, επειδή αυξάνεται το μέγεθος και ο αριθμός των τριχοειδών πόρων. Και στις τρεις συνθέσεις ο λόγος Ν/Τ ήταν 0,45 και για να κρατηθεί στη συγκεκριμένη τιμή χρησιμοποιήθηκε υπερρευστοποιητής. Το νερό που



χρησιμοποιήθηκε έχει αξιολογηθεί κατάλληλο για χρήση στο σκυρόδεμα με βάση το ISO EN 17025. (Παράρτημα 7.2.)

### **Υπερρευστοποιητής**

Για τη παραγωγή των κυβόλιθων επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί πρόσθετα ένας υπερρευστοποιητής καθώς θεωρήθηκε αναγκαίο να μειωθεί η ποσότητα του νερού ανάμιξης και να αυξηθεί η εργασιμότητα. Υπενθυμίζεται ότι με τον όρο εργασιμότητα (workability) ή εργάσιμο χαρακτηρίζεται γενικά η ευκολία με την οποία είναι δυνατόν να μεταφερθεί, διαστρωθεί και συμπυκνωθεί το σκυρόδεμα. Ο υπερρευστοποιητής που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Viscocrete 20 HE-S της εταιρείας "ΣΙΚΑ ΕΛΛΑΣ ΑΒΕΕ" που είναι υδατικό διάλυμα πολυμερούς και είναι πιστοποιημένο κατά CE. Η χρήση του συγκεκριμένου πρόσθετου οδηγεί σε βελτιωμένη εργασιμότητα, τοποθέτηση και συμπεριφορά του σκυροδέματος κατά τη συμπύκνωση, αύξηση στην ανάπτυξη πρώιμων αντοχών, με αποτέλεσμα μεγάλη οικονομία στους χρόνους για το ξεκαλούπωμα, αυξημένη πυκνότητα και μειωμένης υδατοπερατότητας, αντοχή σε μηχανικές και χημικές προσβολές, ανθεκτικότητα στο χρόνο και τέλος βελτιωμένη συρρίκνωση και συμπεριφορά σε ερπυσμό. (Παράρτημα 7.2.)



**Εικόνα 15** Ο υπερρευστοποιητής οδηγείται στη παραγωγή με τη βοήθεια αντλιών

### 3.1.2. Οπτικός έλεγχος και διαστασιολόγηση

Πραγματοποιήθηκε οπτικός έλεγχος και διαστασιολόγηση των κυβόλιθων σύμφωνα με το πρότυπο του ΕΛΟΤ EN 1338. Ελέχθησαν είκοσι τεμάχια κυβόλιθου κλασσικού 20X10 σύμφωνα με το παράρτημα (Annex J) και διαπιστώθηκε ότι κανένα τεμάχιο δεν παρουσίασε ρωγμές, σπασίματα ή αλλοίωση του χρώματος του. Οι διαστάσεις των κυβόλιθων μετρήθηκαν με διακριβωμένο ψηφιακό παχύμετρο ακρίβειας 0,05 mm και καλιμπραρισμένη γωνία. Οι τιμές παραθέτονται στον παρακάτω πίνακα σε mm.

Πίνακας 9 Διαστασιολόγηση

Μήκος	Πλάτος	Ύψος	Γωνίες οριζ./καθ.	Επιπεδότητα
198,0	97,6	60	2,8/5,9	≤1
197,8	97,6	61	2,8/5,9	≤1
197,8	97,8	61	2,8/5,9	≤1
197,9	97,7	62	2,8/5,9	≤1
198,8	97,7	62	2,8/5,9	≤1
197,7	97,8	60	2,8/5,9	≤1
198,1	97,8	62	2,8/5,9	≤1
197,9	97,6	61	2,8/5,9	≤1



**Εικόνα 16** Οι παρασκευασμένες παρτίδες κυβόλιθων

Επιπλέον για τον οπτικό έλεγχο πραγματοποιήθηκε και η εξής πειραματική διαδικασία:

1. Επιλέχθηκαν τρεις κυβόλιθοι. Ένα δείγμα από κάθε σύνθεση κυβόλιθου (Σ-0, Σ-10, Σ-20)
2. Τα δείγματα βυθίστηκαν σε πόσιμο νερό σε θερμοκρασία 25° C μέχρι να καλυφθεί επαρκώς η άνω επιφάνεια των κυβόλιθων. Η διάρκεια της εμβάπτισης ήταν 24 ώρες.
3. Στο πέρας των 24 ωρών τα δείγματα αφέθηκαν για 24 ώρες σε ηλιόλουστο μέρος για να στεγνώσουν.
4. Στο πέρας των 24 ωρών γίνεται οπτικός έλεγχος για οποιαδήποτε μεταβολή στο χρώμα των δοκιμίων. Ο κυβόλιθος αναφοράς χρησιμοποιείται και ως μέσο σύγκρισης.

Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε πέντε (5) φορές για πιο σίγουρα συμπεράσματα, σχετικά με την επίδραση συγκεκριμένων χημικών ενώσεων της

σκωρίας. Οι χημικές ενώσεις που θα μπορούσαν να επηρεάσουν το χρώμα είναι κατά κύριο λόγο το  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  και το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .



**Εικόνα 17** Τα τρία δοκίμια πριν την εμβάπτιση σε νερό

Μετά την εμβάπτιση τα τρία δοκίμια ελέγχθηκαν οπτικά. Όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες των δοκιμίων, δεν υπήρχε κάποια αλλαγή στο χρώμα. Από αυτό μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ύπαρξη των ενώσεων  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  και το  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  δεν επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στο χρώμα και οι κυβόλιθοι παρέμειναν γκρι.

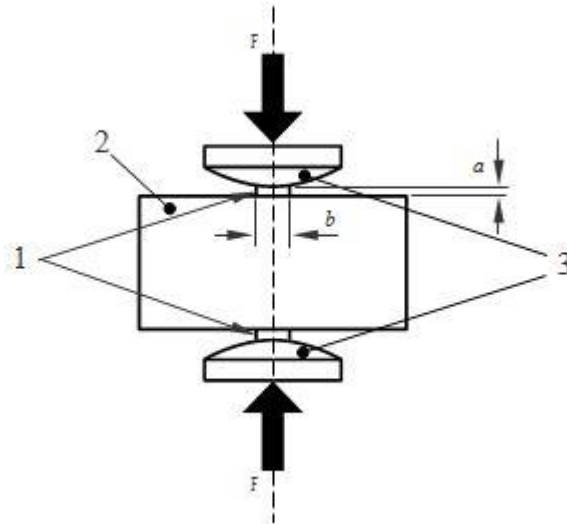




**Εικόνα 18** Τα τρία δοκίμια μετά την πειραματική διαδικασία της εμβάπτισης

### **3.1.3. Έλεγχος αντοχής σε διάρρηξη**

Ο προσδιορισμός της εφελκυστικής αντοχής σε διάρρηξη είναι μια από τις απαιτήσεις του προτύπου για τη παραγωγή κυβόλιθων. Σύμφωνα με την 5.3.2.2. ΕΛΟΤ EN 1338 η χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 3,6 MPa. Επίσης κανέναν μεμονωμένο αποτέλεσμα αντοχής σε διάρρηξη δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 2,9 MPa ή να έχει αντοχή ανά μονάδα μήκους του δοκιμίου μικρότερο από 250 N/mm.



**Εικόνα** Αρχή της δοκιμής

(1. Τεμάχια 2. Κυβόλιθος 3. Άκαμπτα στηρίγματα)

Για τον υπολογισμό του επιπέδου αποτυχίας του κυβόλιθου χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$S = l \times t$$

με  $S$  η περιοχή της διάρρηξης ( $\text{mm}^2$ ),  $L$  η μέση τιμή των δύο μετρήσεων (μία στη κορυφή και μία στο κάτω μέρος) του κυβόλιθου ( $\text{mm}$ ) και  $t$  το πάχος του κυβόλιθου σε χιλιοστά ( $\text{mm}$ ) και είναι ο μέσος όρος των τριών μετρήσεων (μία στο κέντρο και μία σε κάθε άκρο).

Για τον υπολογισμό της δύναμης  $T$  σε  $\text{MPa}$  στο κυβόλιθο χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$T = 0,637 \times k \times \frac{P}{S}$$

όπου  $P$  το φορτίο αποτυχίας (failure load) και  $k$  ο συντελεστής διόρθωσης για το πάχος του κυβόλιθου και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$k = 1,3 - 30 (0,18 - t/1000)^2 \quad \text{αν } 140 \text{ mm} < t \leq 180 \text{ mm}$$

ή:

$k = 1,3$

αν  $t > 180 \text{ mm}$

ή:

for  $t \leq 140 \text{ mm}$  βρίσκεται από τον παρακάτω πίνακα

**Πίνακας 10** Συντελεστής διόρθωσης  $k$

t (mm)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
K	0,71	0,79	0,87	0,94	1,00	1,06	1,11	1,15	1,19	1,23	1,25

Για τον έλεγχο αυτό μετρήθηκε η αντοχή σε διάρρηξη σε πέντε (5) δοκίμια από κάθε μία σύνθεση. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο δοκιμών του εργοστασίου της "ΒΕΡΥΚΟΚΟΣ ΑΒΕΕ" στη Θήβα. Η πρέσα που χρησιμοποιήθηκε ήταν της εταιρείας Controls, το μοντέλο C 42/1 με Certificate of Calibration Number R1-170964 .



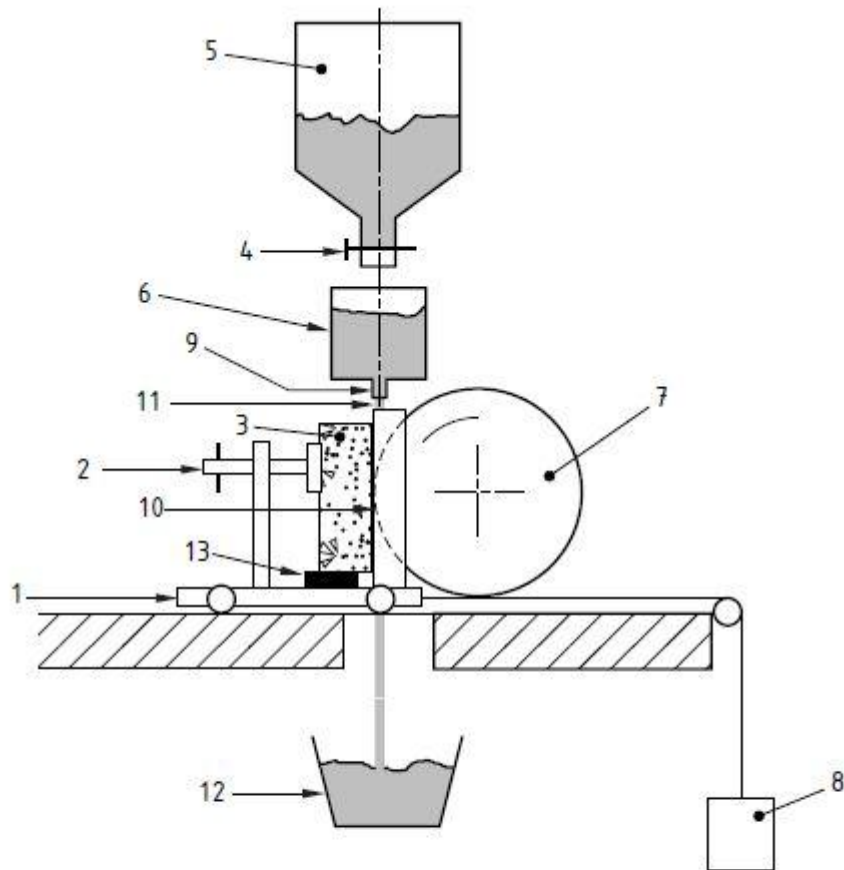
Εικόνα 19 Πρέσα Controls C 42/1

### 3.1.4. Έλεγχος αντοχής σε τριβή-απότριψη

Ο έλεγχος της αντοχής σε τριβή των κυβόλιθων πραγματοποιήθηκε στο εργοστάσιο της ΒΕΡΥΚΟΚΟΥ ΑΒΕΕ. Επιλέχθηκε να ακολουθηθεί η μεθοδολογία που αναπτύσσεται στο Παράρτημα G (Annex G) του προτύπου EN 1338. Όπως φαίνεται και στη παρακάτω σχηματική απεικόνιση σκόνη αλουμινίου (fused alumina grind size F80) πέφτει στο σημείο τριβής του κυβόλιθου. Η τριβή σταματάει μετά το πέρας 75 στροφών του τροχού. Στη συνέχεια μετράται το πάχος της επιφάνειας που έχει



εμφανώς υποστεί αλλοίωση λόγω της τριβής σε τρία σημεία (στα δύο άκρα και στη μέση).



**Key**

- |                    |                        |                           |
|--------------------|------------------------|---------------------------|
| 1 Clamping trolley | 6 Flow guidance hopper | 11 Abrasive material flow |
| 2 Fixing screw     | 7 Wide abrasion wheel  | 12 Abrasive collector     |
| 3 Specimen         | 8 Counterweight        | 13 Wedge                  |
| 4 Control valve    | 9 Slot                 |                           |
| 5 Storage hopper   | 10 Groove              |                           |

**Εικόνα 20** Σχηματική απεικόνιση για τη μέτρηση της αντοχής σε τριβή

Το μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το GT0112 (Gabrielli technology) που εμπορεύεται η Technotest (Modena, Italy) και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



**Εικόνα 21** Μηχανή για μέτρηση της αντοχής σε τριβή GT0112 (Gabrielli technology)

### **3.1.4. Προσδιορισμός υδατοαπορροφητικότητας**

Η υδατοαπορροφητικότητα των συνθέσεων ελέγχθηκε σύμφωνα με το Παράρτημα E (Annex E) και τα κριτήρια 6.3.8.2. του προτύπου EN 1338. Σύμφωνα με το παράρτημα ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

- Τα δείγματα βυθίστηκαν σε πόσιμο νερό σε θερμοκρασία 20° C μέχρι να επιτευχθεί σταθερή μάζας (M1). Διαχωρίστηκαν τα δείγματα το ένα από το άλλο κατά τουλάχιστον 15 mm και εξασφαλίστηκε τουλάχιστον 20 mm ύδατος πάνω τους. Η διάρκεια της εμβάπτισης ήταν τρεις ημέρες πριν από τη ζύγιση το δείγμα σκουπίστηκε.
- Κάθε δείγμα τοποθετήθηκε μέσα στο φούρνο κατά τέτοιο τρόπο ώστε η απόσταση μεταξύ τους να είναι τουλάχιστον 15 mm. Το δείγμα παρέμεινε εκεί σε θερμοκρασία 105° C μέχρι να φτάσει να έχει σταθερή μάζας (M2).

Για κάθε μία σύνθεση υπολογίστηκε η υδατοαπορροφητικότητα τριών (3) δειγμάτων με τον τύπο

$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100 \%$$

όπου  $M_1$  και  $M_2$  η τελική και η αρχική μάζα του δείγματος.

### 3.1.5. Αντοχή σε θλίψη

Οι δοκιμές αντοχής σε θλίψη πραγματοποιήθηκαν στο "Εργαστήριο Τεχνολογίας Σκυροδέματος" της "Α.Ε. ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΤΙΤΑΝ" στο Καμάρι. Οι μετρήσεις γίνανε με τη χρήση της πρέσας "Toni Tecknik: Compression Testing Machine" (Εικόνα ) και ο ρυθμός άσκησης του φορτίου (Rate of Loading) ορίστηκε στα 13,5 kN/s σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος-97. [37]



**Εικόνα 22** Η πρέσα Toni Tecknik: Compression Testing Machine

Επιλέχθηκε να μετρηθεί η αντοχή σε τρία δοκίμια ανά σύνθεση, τα οποία ζυγίστηκαν πριν καταπονηθούν στη πρέσα. Λόγω του μικρού ύψους των κυβόλιθων (60 mm) χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικές πλάκες για να ανυψωθούν τα δοκίμια και να πραγματοποιηθεί επιτυχημένα η καταπόνηση τους. Τα δοκίμια μετά τη θραύση φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



**Εικόνα 23** Δοκίμιο της σύνθεσης Σ-10 μετά τη θλίψη



**Εικόνα 24** Δοκίμιο της σύνθεσης Σ-20 μετά τη θλίψη

## 3.2. Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους. Η παρουσίαση των μετρήσεων γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να συγκρίνονται οι τιμές της σύνθεσης αναφοράς (Σ-0) και των προτύπων με τις τιμές των συνθέσεων που περιέχουν σκωρία Η/Κ (Σ-10, Σ-20). Ο λόγος είναι ότι με βάση τα αποτελέσματα αυτά θα πρέπει να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την καταλληλότητα των παραγόμενων κυβόλιθων που εμπεριέχουν σκωρίας Η/Κ.

### 3.2.1. Αντοχή σε διάρρηξη

Μετά τη πειραματική διαδικασία, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο, καταγράφηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων σχετικά με την αντοχή σε διάρρηξη. Μετρήθηκαν οι διαστάσεις των δοκιμίων (πέντε δοκίμια ανά σύνθεση) και υπολογίστηκε ο συντελεστής διόρθωσης Κ. Τέλος υπολογίστηκε ο μέσος όρος για κάθε σύνθεση και συμπληρώθηκαν οι παρακάτω πίνακες.

**Πίνακας 11** Μετρήσεις αντοχής σε διάρρηξη στη σύνθεση Σ-10

A/α	Μήκος κυβόλιθου (mm)	Ύψος Κυβόλιθου (mm)	Συντελεστής διόρθωσης Κ	Αντοχή σε διάρρηξη Μρα	Αν./μον. Μήκους N/mm
1	198	62	0,88	4,2	460
2	198	62	0,88	3,7	414
3	198	62	0,88	3,6	403
4	198	62	0,88	3,5	384
5	198	62	0,88	3,1	338



**Πίνακας 12** Μετρήσεις αντοχής σε διάρρηξη στη σύνθεση Σ-20

A/α	Μήκος κυβόλιθου (mm)	Ύψος Κυβόλιθου (mm)	Συντελεστής διόρθωσης Κ	Αντοχή σε διάρρηξη Μρα	Αν./μον. Μήκους N/mm
1	198	62	0,88	3,1	347
2	198	62	0,88	3,4	379
3	198	62	0,88	3,6	394
4	198	62	0,88	3,6	397
5	198	62	0,88	3,3	364

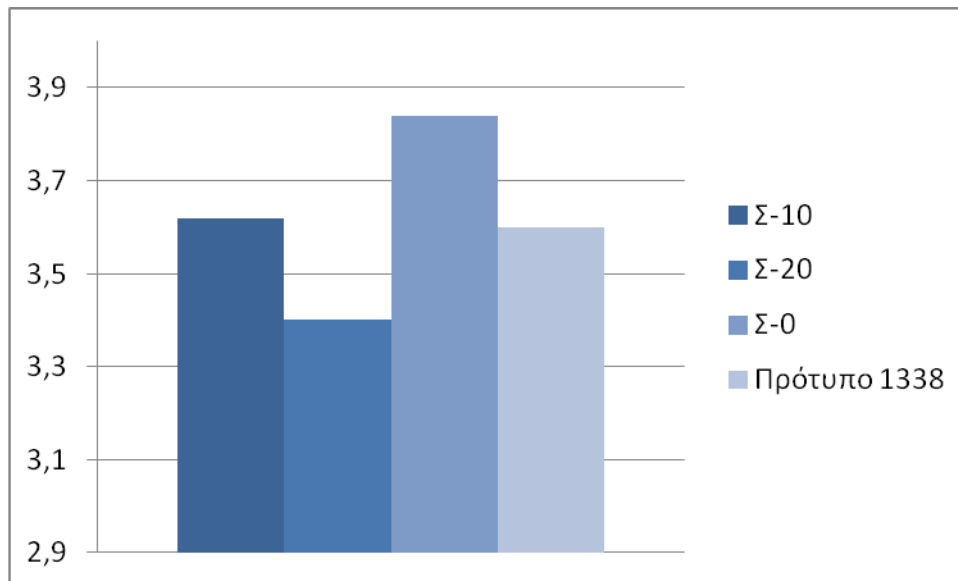
**Πίνακας 13** Μετρήσεις αντοχής σε διάρρηξη στη σύνθεση Σ-0

A/α	Μήκος κυβόλιθου (mm)	Ύψος Κυβόλιθου (mm)	Συντελεστής διόρθωσης Κ	Αντοχή σε διάρρηξη Μρα	Αν./μον. Μήκους N/mm
1	198	62	0,88	4,1	459
2	198	62	0,88	4,3	479
3	198	62	0,88	4	442
4	198	62	0,88	3,7	404
5	198	62	0,88	3,1	347

**Πίνακας 14** Μέσος όρος της διάρρηξης στις τρεις συνθέσεις και του προτύπου

Σύνθεση	Αντοχή σε διάρρηξη (Μρα)
Σ-10	3,62
Σ-20	3,4
Σ-0	3,84
Πρότυπο 1338	3,6

Τα αποτελέσματα των αντοχών των τριών συνθέσεων συγκρίνονται με τη προβλεπόμενη από το πρότυπο τιμή, ώστε να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη καταλληλότητα του παραγόμενου προϊόντος. Παρακάτω παρατίθεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων και με διαγραμματικό τρόπο.



**Διάγραμμα 1** Οι αντοχές των τριών συνθέσεων και του προτύπου EN 1338

### 3.2.2. Αντοχή σε τριβή-απότριψη

Μετά τη πειραματική διαδικασία, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο, καταγράφηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 15** Αποτελέσματα για αντοχή σε τριβή-απότριψη

Σύνθεση	Τιμή (mm)
Σ-0	≤23
	>20
Σ-10	≤23
	>20
Σ-20	≤23
	>20

Σύμφωνα με το πρότυπο και το πίνακα ( ) σε προηγούμενη παράγραφο "Πρότυπο 1338:2003" τα δείγματα που ελέχθησαν χαρακτηρίζονται ως τρίτης τάξης ( class 3) με σήμανση H.

### 3.2.3. Ποσοστά υδατοαπορρόφησης κατά βάρος

Μετά τη πειραματική διαδικασία όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο καταγράφηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων, υπολογίστηκε ο μέσος όρος για κάθε σύνθεση και συμπληρώθηκαν οι παρακάτω πίνακες.

**Πίνακας 16 Σ-0**

A/α	Υδατο/τητα (%κ.β.)
1	4,9
2	5,5
3	5,5
Μ.Ο.	5,3

**Πίνακας 17 Σ-10**

A/α	Υδατο/τητα (%κ.β.)
1	5,7
2	5,6
3	5,5
Μ.Ο.	5,6

**Πίνακας 18 Σ-20**

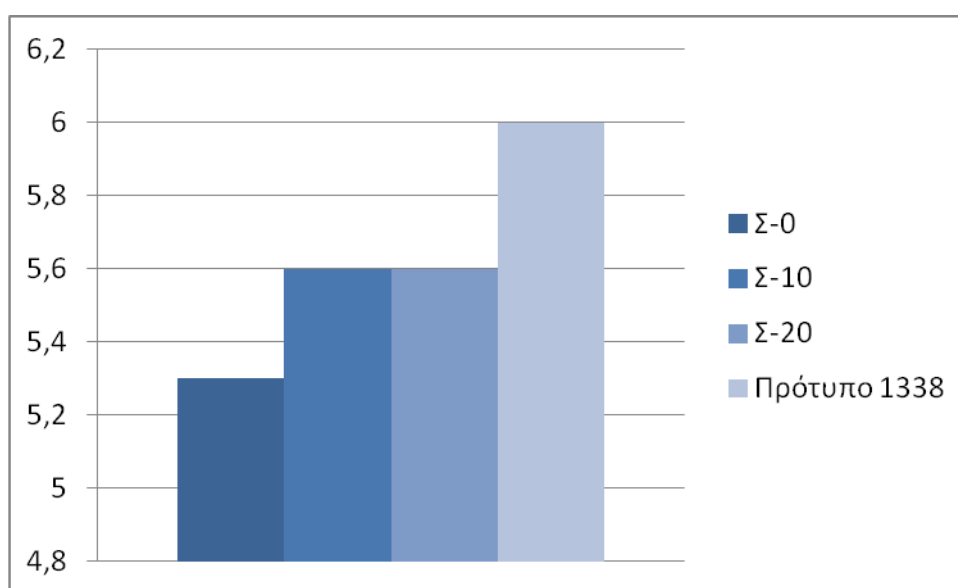
A/α	Υδατο/τητα (%κ.β.)
1	5,8
2	5,6
3	5,6
Μ.Ο.	5,6

**Πίνακας 19** Τιμές υδατοαπορροφητικότητας

Σύνθεση	Υδατο/τητα (%κ.β.)
Σ-0	5,3
Σ-10	5,6
Σ-20	5,6
Πρότυπο EN 1338	6



Τα αποτελέσματα της υδατοαπορροφητικότητας των τριών συνθέσεων συγκρίνονται με τη προβλεπόμενη από το πρότυπο τιμή (μικρότερη ή ίση με 6% κ.β.), ώστε να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη καταλληλότητα του παραγόμενου προϊόντος. Σύμφωνα με το πρότυπο τα δείγματα που ελέχθησαν χαρακτηρίζονται ως προς την απορρόφηση ύδατος κυβόλιθοι δεύτερης τάξεως (class 2). Παρακάτω παρατίθεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων και με διαγραμματικό τρόπο.



**Διάγραμμα 2** Αποτελέσματα των μετρήσεων για υδατοαπορροφητικότητα (28 d)

### 3.2.4. Αντοχή σε θλίψη

Μετά τη πειραματική διαδικασία, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο, καταγράφηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων σχετικά με την αντοχή σε θλίψη. Μετρήθηκε το βάρος των δοκιμίων (τρία δοκίμια ανά σύνθεση) και υπολογίστηκε η πυκνότητά τους. Τέλος υπολογίστηκε ο μέσος όρος για κάθε σύνθεση και συμπληρώθηκαν οι παρακάτω πίνακες.

**Πίνακας 20** Αντοχή σε θλίψη τριών δοκιμών της σύνθεσης Σ-0

A/α	Βάρος (gr)	Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Ρυθμός (kN/s)	Φορτίο (kN)	Τάση (Μpa)
1	2631	2192,5	13,5	1072	53,6
2	2627	2189,2	13,5	1138	56,9
3	2715	2262,5	13,5	1023	51,1

**Πίνακας 21** Αντοχή σε θλίψη τριών δοκιμών της σύνθεσης Σ-10

A/α	Βάρος (gr)	Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Ρυθμός (kN/s)	Φορτίο (kN)	Τάση (Μpa)
1	2737	2280,8	13,5	1299	64,9
2	2566	2138,3	13,5	973	48,6
3	2680	2233,3	13,5	1244	62,2

**Πίνακας 22** Αντοχή σε θλίψη τριών δοκιμών της σύνθεσης Σ-20

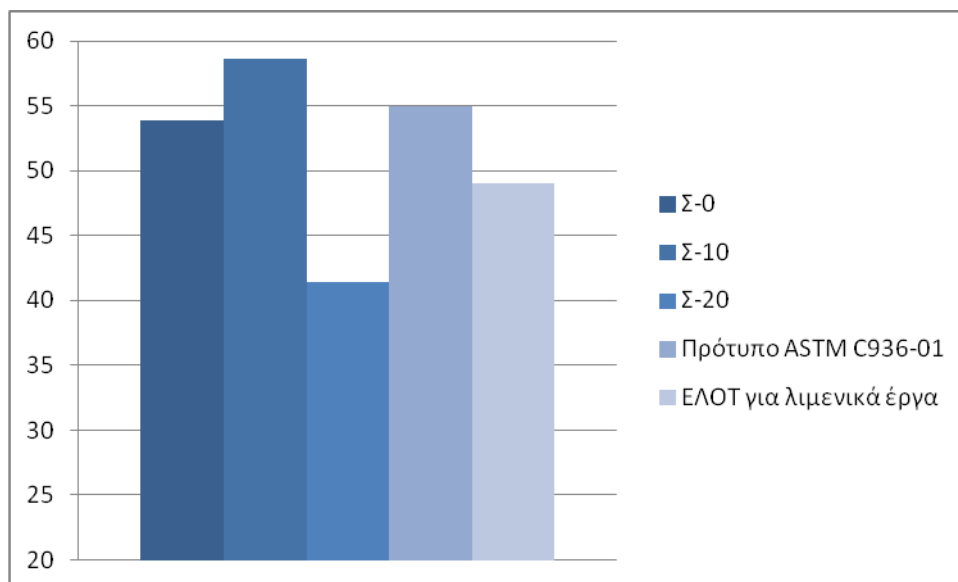
A/α	Βάρος (gr)	Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Ρυθμός (kN/s)	Φορτίο (kN)	Τάση (Μpa)
1	2585	2154,2	13,5	787	39,4
2	2560	2133,3	13,5	736	36,8
3	2698	2248,3	13,5	962	48,1

**Πίνακας 23** Τιμές για αντοχή σε θλίψη των τριών συνθέσεων και των προτύπων

Σύνθεση και πρότυπα	Αντοχή σε θλίψη
Σ-0	53,9
Σ-10	58,6
Σ-20	41,4
Πρότυπο ASTM C936-01	55
ΕΛΟΤ για λιμενικά έργα	49

Τα αποτελέσματα των αντοχών των τριών συνθέσεων συγκρίνονται με τη προβλεπόμενη από τα πρότυπο τιμές (κατά ΕΛΟΤ και ASTM), ώστε να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη καταλληλότητα του παραγόμενου προϊόντος. Όσο αφορά το δεύτερο δοκίμιο της σύνθεσης Σ-10 παρατηρούμε μια πτώση της αντοχής σε σχέση με τα άλλα δύο, κάτι που μπορεί να οφείλεται σε κακή συμπύκνωση του σκυροδέματος ή κακή συντήρηση του δοκιμίου. Επίσης όσων

αφορά το τρίτο δοκίμιο της σύνθεσης Σ-20 υπάρχει μια διαφορά στη τιμή της αντοχής κάτι που μπορεί να σχετίζεται με τη διαφορά στη πυκνότητα του υλικού. Παρακάτω παρατίθεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων και με διαγραμματικό τρόπο.



**Διάγραμμα 3** Αποτελέσματα των μετρήσεων για αντοχή σε θλίψη και σύγκριση με ΕΛΟΤ 1501-09-14-03-00 για λιμενικά έργα και ASTM C 936-01

## 4. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στη παρούσα Διπλωματική εργασία σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε η παραγωγή τριών διαφορετικών συνθέσεων κυβόλιθων σκυροδέματος (κλασικού τύπου, Μήκους 20cm και πλάτους 10cm) με διαφορές στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ως αδρανή:

1. Κυβόλιθοι με τσιμέντο CEM 52,5 και ως αδρανή άμμο (100%) -- (Σ-0)
2. Κυβόλιθοι με τσιμέντο CEM 52,5, και ως αδρανή άμμο (90%) και σκωρία Η/Κ (10%) -- (Σ-10)
3. Κυβόλιθοι με τσιμέντο CEM 52,5, και ως αδρανή άμμο (80%) και σκωρία Η/Κ (20%) -- (Σ-20)

Ο σκοπός ήταν η αξιοποίηση της σκωρίας ηλεκτροκαμίνων (Η/Κ), βιομηχανικού παραπροϊόντος κατά τη παραγωγή σιδηρονικελίου, στο σκυρόδεμα του κυβόλιθου κατά το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1338. Για το λόγο αυτό έγιναν μετρήσεις για να ελεγχθεί το κατά πόσο η υποκατάσταση των συμβατικών αδρανών από σκωρία Η/Κ σε δύο διαφορετικά ποσοστά επηρεάζει τις αντοχές και την ανθεκτικότητα. Έπειτα έγιναν συγκρίσεις με τις τιμές που απαιτούνται από τα ευρωπαϊκά και αμερικάνικα πρότυπα για κυβόλιθους καθώς και τις ελληνικές τεχνικές προδιαγραφές για συγκεκριμένα έργα.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τους ελέγχους που έγιναν είναι τα εξής:

1. Όσο αφορά την αντοχή σε διάρρηξη οι συνθέσεις Σ-0 και Σ-10 ήταν εντός των ορίων κατά το πρότυπο EN 1338 ενώ η σύνθεση Σ-20 δεν ικανοποίησε τις απαιτήσεις. Σε σύγκριση με τη σύνθεση αναφοράς (Σ-0) και οι δύο συνθέσεις είχαν πτώση στην αντοχή τους σε διάρρηξη. Η σύνθεση Σ-10 είχε μια πτώση της τάξεως του 5,7% ενώ η σύνθεση Σ-20 της τάξεως του 11,5%. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 24** Ποσοστιαίες αποκλίσεις για αντοχή σε διάρρηξη

Σύνθεση κυβόλιθων με σκωρία	Αντοχή σε διάρρηξη (MPa)	Απόκλιση από πρότυπο EN	Απόκλιση από σύνθεση αναφοράς
Σ-10	3,62 MPa	0,06%	-5,70%
Σ-20	3,40 MPa	-5,55%	-11,50%

2. Όσο αφορά την αντοχή σε τριβή/απότριψη οι συνθέσεις ήταν εντός των προβλεπόμενων ορίων κατά το EN 1338. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο και οι τρεις συνθέσεις χαρακτηρίζονται ως τρίτης τάξεως (Class 3, Marking H). Φαίνεται πως η χρήση σκωρίας δεν επηρέασε την αντοχή σε τριβή/απότριψη καθώς η σύνθεση αναφοράς και οι συνθέσεις με χρήση σκωρίας χαρακτηρίστηκαν με τον ίδιο τρόπο.

3. Όσο αφορά την υδατοαπορροφητικότητα και οι τρεις συνθέσεις ήταν εντός των προβλεπόμενων από το πρότυπο ορίων (6% κ.β.) και χαρακτηρίζονται ως δεύτερης τάξεως (Class 2, Marking B). Στις συνθέσεις με σκωρία υπάρχει μια μικρή αύξηση της τάξεως του 5% της υδατοαπορροφητικότητας σε σχέση με τη σύνθεση αναφοράς. Παρόλα αυτά δεν είναι τόσο μεγάλη ώστε να πλησιάζει την οριακή τιμή του 6% κατά βάρος. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται και στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 25** Ποσοστιαίες αποκλίσεις υδατοαπορροφητικότητας

Σύνθεση κυβόλιθων με σκωρία	Υδατο/τητα (%κ.β.)	Απόκλιση από πρότυπο EN	Απόκλιση από σύνθεση αναφοράς
Σ-10	5,60%	-6,70%	5,70%
Σ-20	5,60%	-6,70%	5,70%

4. Όσο αφορά την αντοχή σε θλίψη η ελληνική τεχνική προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 1338 για κυβόλιθους δεν έχει κάποια απαίτηση. Η ΕΛΟΤ 1501-09-14-03-00:2009 με τίτλο "Δάπεδα λιμενικών έργων από κυβόλιθους σκυροδέματος" όμως απαιτεί οι κυβόλιθοι να έχουν αντοχές σε θλίψη το λιγότερο 49 MPa. Επίσης το αμερικάνικο πρότυπο ASTM C 936-01 απαιτεί ακόμα μεγαλύτερη αντοχή της τάξεως των 55 MPa. Οι συνθέσεις Σ-0 και Σ-10 φαίνεται να είναι εντός των ορίων της ΕΛΟΤ, και μάλιστα η σύνθεση Σ-10 να ικανοποιεί ακόμα και τις πολύ υψηλές απαιτήσεις του αμερικάνικου προτύπου. Αντίθετα η σύνθεση Σ-20 έχει χαμηλές αντοχές σε θλίψη και μια μεγάλη πτώση της τάξεως του 22,8% σε σχέση με τη σύνθεση αναφοράς Σ-0.

Η άνοδος της αντοχής της σύνθεσης Σ-10 σε σχέση με τη Σ-0 (+8%), μας δείχνει ότι σε ένα ποσοστό 10% η σκωρία Η/Κ βοηθάει στην καλύτερη πλήρωση και ενισχύει την αντοχή του κυβόλιθου. Παρακάτω παρουσιάζονται σε πίνακα οι ποσοστιαίες αποκλίσεις:

**Πίνακας 26** Ποσοστιαίες αποκλίσεις για αντοχή σε θλίψη

Σύνθεση κυβόλιθων με σκωρία	Αντοχή σε θλίψη (MPa)	Απόκλιση από πρότυπο ΕΛΟΤ	Απόκλιση από σύνθεση αναφοράς	Απόκλιση από πρότυπο ASTM
Σ-10	58,6 Mpa	19,50%	8,00%	6,00%
Σ-20	41,4 Mpa	-15,50%	-22,80%	-24,80%

#### 4.1. Σύνοψη συμπερασμάτων

Στη παρούσα Διπλωματική εργασία συνοπτικά μπορούμε να συμπεράνουμε πως η σκωρία Η/Κ από την παραγωγή σιδηρονικελίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αδρανές υλικό στο σκυρόδεμα για την παραγωγή κυβόλιθων μέσω της αντικατάστασης της ασβεστολιθικής άμμου.

**Πιο συγκεκριμένα** οι κυβόλιθοι από σκυρόδεμα με υποκατάσταση σκωρίας Η/Κ σε ποσοστό 10% ως προς το σύνολο των αδρανών ικανοποιούν την ελληνική τεχνική προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 1338 και συνεπώς αποτελούν ένα καινοτόμο προϊόν προστιθέμενης αξίας. Επίσης οι τεχνικές προδιαγραφές ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-02-02-00, και ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-09-14-03-00 που σχετίζονται με τη χρήση των κυβόλιθων σε ειδικές περιπτώσεις έργων ικανοποιούνται από τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Τέλος οι συγκεκριμένοι κυβόλιθοι επέδειξαν αξιοσημείωτες αντοχές σε θλίψη, ικανοποιώντας ακόμα και τις υψηλές απαιτήσεις του αμερικάνικου προτύπου ASTM C 936-01.

## 5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΕΤΑΙΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε ο σχεδιασμός και η πραγματοποίηση μιας σειράς από πειραματικών διαδικασιών. Το κριτήριο επιλογής ήταν ο έλεγχος των αποτελεσμάτων μέσω της σύγκρισης τους με τα προβλεπόμενες απαιτήσεις των υπάρχουσών τεχνικών προδιαγραφών. Για αυτό το σκοπό μετρήθηκαν οι αντοχές και η ανθεκτικότητα των κυβόλιθων. Επιπλέον ελέγχθηκαν και τυχόν επιπτώσεις της χημικής σύστασης της σκωρίας Η/Κ στα χαρακτηριστήρια των παραγόμενων προϊόντων και πιο συγκεκριμένα στο χρώμα.

Όμως η διαδικασία που ακολουθήσαμε δεν καλύπτει το σύνολο των ελέγχων που είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν. Οι έλεγχοι αυτοί ανάλογα με την περίπτωση μπορεί εκτός από τεχνικά επιβεβλημένοι, να είναι εξίσου κοινωνικά και περιβαλλοντικά σημαντικοί. **Κάποιες από τις προτάσεις για περαιτέρω έρευνα είναι οι εξής:**

- Σύμφωνα με το πρότυπο για τη παραγωγή κυβόλιθων σκυροδέματος υπάρχουν δύο επιπλέον απαιτήσεις κατά ιδιαίτερη περίπτωση. Η μία, που είναι **αντοχή σε ολίσθηση**, είναι σημαντική ειδικά αν σκεφτεί κανείς ότι οι κυβόλιθοι χρησιμοποιούνται ευρέως - και πιθανόν και συνηθέστερα- για την κατασκευή πεζόδρομων. Ιδιαίτερη σημασία θα είχε ο συγκεκριμένος έλεγχος για πεζόδρομους με κλήση ή για σκαλοπάτια. Η δεύτερη είναι η μέτρηση της **θερμικής αγωγιμότητας** η οποία θα είναι αναγκαία στη περίπτωση που μας ενδιαφέρουν στο προβλεπόμενο έργο στοιχεία για την ενεργειακή ταυτότητα τους. Οι πειραματική διαδικασία για την μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας περιγράφεται στο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 13369.
- Οι κυβόλιθοι αποτελούν ένα από τα βασικά υλικά οδοστρωσίας και κυρίως χρησιμοποιούνται για την πεζοδρόμηση. Συνεπώς αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι της συνολικής επιφάνειας των δομικών υλικών των αστικών κέντρων. Για αυτό το λόγο είναι σημαντικό να προσδιορίζεται η τιμή της **ανακλαστικότητας**, καθώς αποτελεί παράγοντα δημιουργίας της αστικής θερμικής νησίδας. Η τιμή της ανακλαστικότητας στο σκυρόδεμα επηρεάζεται από τα λεπτόκοκκα υλικά του (τσιμέντο, άμμος, σκωρία Η/Κ) και θα ήταν περιβαλλοντικά αναγκαίο να προσδιοριστεί η επιρροή της σκωρίας σε αυτή.
- Τα δομικά υλικά από σκυρόδεμα σε όλο το κύκλο ζωής τους, από τη παραγωγή μέχρι και την τελική τους διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής αποβλήτων, έρχονται αντιμέτωπα με φαινόμενα που οδηγούν σε απομάκρυνση συστατικών τους. Για το σκοπό αυτό υπάρχουν ειδικοί έλεγχοι (**Leaching test**), όπως για παράδειγμα το EA NEN 7375, όπου μετρούν την εκχυλιστικότητα των συστατικών. Κάποια από αυτά τα συστατικά που

μπορούν να προκαλέσουν περιβαλλοντικά προβλήματα είναι για παράδειγμα τα βαρέα μέταλλα των πρώτων υλών. Είναι γεγονός πως η χημική σύσταση των πρώτων υλών μπορεί να επηρεάσει την εκχυλιστικότητα, καθώς οι αρχικές συγκεντρώσεις των συστατικών είναι ένας σημαντικός παράγοντας. Για αυτό το λόγο είναι σημαντική η παραπάνω διερεύνηση για να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με την περιβαλλοντική συμπεριφορά των κυβόλιθων με σκωρία.

- Τέλος η αξιοποίηση ενός εθνικού παραπροϊόντος, όπως είναι η σκωρία Η/Κ από την παραγωγική διαδικασία σιδηρονικελίου (FeNi), έχει άμεσες θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Εκτός του ότι αποφεύγεται η απόρριψη του συγκεκριμένου παραπροϊόντος στον υδροφόρο ορίζοντα (στον ευβοϊκό κόλπο) υπάρχει άμεση εξοικονόμηση ενεργειακών αναγκών και φυσικών πόρων. Είναι αρκετά σημαντική η εκπόνηση μελέτης για καταγραφή των θετικών επιπτώσεων στα πλαίσια καλύτερης **βιομηχανικής συμβίωσης** στην ευρύτερη περιοχή.



## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ε. Κ. Αναστασίου, Αξιοποίηση σκωριών χαλυβουργίας και ιπτάμενων λιγνιτικών τεφρών στη παραγωγή ειδικών σκυροδεμάτων, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2009
2. EN 206-1 Concrete - Part 1: Specification, production and conformity, December 2000
3. ΕΛΟΤ EN 197-1 «Τσιμέντο- Μέρος 1:Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για κοινά τσιμέντα», 2001
4. Τσακαλάκης Κ., "Τεχνολογία παραγωγής τσιμέντου και σκυροδέματος", ΕΜΠ, Αθήνα, Μάιος 2010
5. ΕΛΟΤ EN 12620:2002- «Αδρανή για σκυρόδεμα»
6. ΕΛΟΤ EN 1008:2002 «Νερό ανάμιξης σκυροδέματος - Προδιαγραφή για δειγματοληψία, έλεγχο και αξιολόγηση της καταλληλότητας του νερού, συμπεριλαμβανομένου του νερού που ανακτάται από διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος, για τη χρήση του ως νερό ανάμιξης σκυροδέματος»
7. Μπατής Γ., Μπεάζη-Κατσιώτη Μ., "Πρόσθετα Σκυροδέματος", Δημοσίευση στο περιοδικό "Εργοταξιακά θέματα", Αθήνα, 2008
8. EN 206-1 Concrete - Part 1: Specification, production and conformity, December 2000
9. ΕΛΟΤ EN 196-1 2005 Μέθοδοι δοκιμών τσιμέντου - Μέρος 1 : Προσδιορισμός αντοχών
10. Τσίμας Σ., Τσιβιλής Σ., "Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου", Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 2010
11. Ζαχαράκη Δ., "Βελτιστοποίηση σύνθεσης γεωπολυμερών από σκωρίες ηλεκτρικής καμίνου παραγωγής σιδηρονικελίου", Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2005.
12. Βελισσαρίου Δ., "Μελέτη περιβαλλοντικής συμπεριφοράς σκυροδέματος με υποκατάσταση τσιμέντου από σκωρία Ηλεκτροκαμίνου σιδηρονικελίου", Διπλωματική εργασία, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, 2013
13. ΕΛΟΤ EN 196-1 Ε3: 2005. Μέθοδοι δοκιμής τσιμέντου – Μέρος 3: Προσδιορισμός χρόνου πήξης και σταθερότητας όγκου
14. Μ. Μπεάζη-Κατσιώτη, Δ. Βελισσαρίου, Ν. Κατσιώτης, Χ. Ρισκάκης "Προοπτικές αξιοποίησης της σκωρίας ηλεκτροκαμίνων παραγωγής σιδηρονικελίου της ΛΑΡΚΟ ΓΜΜΑΕ στην παραγωγή τσιμέντων", Παρουσίαση σε ημερίδα του ΤΕΕ με τίτλο "Περιβάλλον & Ανάπτυξη", Αθήνα, 12-14/12/2012
15. Μπεάζη-Κατσιώτη Μ., Κατσιώτης Ν., Ρισκάκης Χ., Κατσιώτης Μ.Σ., "Αξιοποίηση σκωρίας ηλεκτροκαμίνων σιδηρονικελίου ως συστατικού στην

- παραγωγή τσιμέντου”, 3<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο “Αξιοποίηση Βιομηχανικών Παραπροϊόντων στη δόμηση”, Ε.ΒΙ.ΠΑΡ., Θεσσαλονίκη, 23-24/9/2012
16. Υ. Kirillidi, Ε. Frogoudakis, "Electric arc furnace slag utilization", Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes Island, Greece, September 2005
  17. Ε. Δουρδούνης, "Ανάπτυξη μεθόδου παραγωγής προϊόντος υψηλής προστιθέμενης αξίας, αλουμινούχου τσιμέντου, από εγχώρια παραγόμενα μεταλλουργικά και μεταλλευτικά παραπροϊόντα και απορρίμματα", Διδακτορική διατριβή, Παν. Πατρών, 2003
  18. Κ. Μ. Σακκάς, Π. Νομικός, Α. Σοφιανός, Δ. Πάνιας, "Αξιοποίηση της σκωρίας ηλεκτροκαμίνων της Γ.Μ.Ε.Ε ΛΑΡΚΟ ως υλικό παθητικής πυροπροστασίας σε σήραγγες", Παρουσίαση σε συνέδριο της ΕΒΙΠΑΡ, Θεσσαλονίκη, 24-25 Σεπτεμβρίου 2012
  19. Ksenija Jankovic, Dragan Nikolic, Dragan Bojovic, Institute for Testing Materials, Bulevar Vojvode Misica, "Concrete paving blocks and flags made with crushed brick as aggregate", Belgrade, Serbia, 1998
  20. Osman Gencela,, Cengiz Ozel, Fuat Koksall, Ertugrul Erdogmus, Gonzalo Martínez-Barrerae,, Witold Brostow, "Properties of concrete paving blocks made with waste marble", Turkey, 2011
  21. Anuj Kumar, Sanjay Kumar, "Development of paving blocks from synergistic use of red mud and fly ash using geopolymerization" CSIR–National Metallurgical Laboratory, Jamshedpur, India, 2012
  22. Granhen Tavares, Janaina de Melo Franco, C’elia Regina, "Production of Concrete Paving Blocks (CPB) Utilising Electroplating Residues – Evaluation of Mechanical and Micro-Structural Properties, Chemical Engineering Department, State University of Maring’á, Maring’á, Brazil, 2012
  23. Chi-Sun Poon, Dixon Chan, "Effects of contaminants on the properties of concrete paving blocks prepared with recycled concrete aggregates", Department of Civil and Structural Engineering, Environmental Engineering Unit, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, 2004
  24. Ι. Παπαγιάννη, Παραγωγή κυβόλιθων πεζοδρόμησης με χρήση υπτάμενης τέφρας Πτολεμαΐδας, Παρουσίαση στην "Ημερίδα : Ανάπτυξη νέων προϊόντων με τη χρήση υπτάμενης τέφρας στη Δ.Μακεδονία", ΤΕΕ Δ.Μακεδονίας, Σεπτέμβρης 2006
  25. EN 1338:2003 Concrete paving blocks - Requirements and test methods
  26. ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-02-02-00:2009 "Πλακοστρώσεις – λιθοστρώσεις πεζοδρομίων και πλατειών".
  27. ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-09-14-03-00:2009, "Δάπεδα λιμενικών έργων από κυβόλιθους σκυροδέματος"

28. H.A. van der Sloot, A van Zomeren, R. Stenger, M. Schneider, G Spanka, E Stoltenberg-Hansson, P. Dath, "Environmental criteria for cement based products (ECRICEM), Phase 1: Ordinary Portland Cements - Phase 2: Blended Cements", Energy research Centre of the Netherlands (ECN)
29. Anne-Marie Marion, Michel De Laneve, Alain De Grauw, "Study of the leaching behaviour of paving concretes: quantification of heavy metal content in leachates issued from tank test using demineralized water", Centre de Recherches Scientifiques et Techniques de l'Industrie Cimentière Belge (C.R.I.C.), Laboratoire-Service Recherches, Belgium, May 2005
30. Θ.Γ. Βουδικλάρης, Π. Αναγνωστόπουλος, "Επιστρώσεις εξωτερικών χώρων με τσιμεντόπλακες και κυβόλιθους νέας τεχνολογίας", ΙΟΚ, Αθήνα
31. M. Santamouris N., Gaitani, A. Spanou, M. Saliari, K. Giannopoulou, K. Vasilakopoulou, T. Kardomateas, "Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas e Design realization and results of the flisvos project", Athens, 2012
32. Haider Taha, Hashem Akbari, Arthur Rosenfeld, Joe Huang, "Residential cooling loads and the urban heat island-the effects of albedo", Journal Article "Building and Environment", 1988
33. Voogt, J.A., Oke, T.R., "Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environment", 2003
34. Arthur H. Rosenfeld' Hashem Akbari, Sarah Bretz, Beth L. Fishman, Dan M. Kurn, David Sailor, Haider Taha, "Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates", Journal Article "Energy and Buildings", 1995
35. Levinson, Ronnen, H. Akbari, "Effects of composition and exposure on the solar reflectance of Portland cement concrete", Univeristy of California, December 2001
36. ASTM C 936-01 "Standard Specification for solid Concrete Interlocking Paving units" ASTM International, West Conshohocken, United States
37. Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος - 1997, Αριθμός φύλλου στην εφημερίδα της κυβερνήσεως 315, 17 Απριλίου 1997

## 7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### 7.1. Πίνακες-Εικόνες

Τύπος	Ονομασία	Κύρια συστατικά*									Δευτ. συστ.	
		K	S	D	P	Q	V	W	T	L, LL		
<b>ΤΣΙΜΕΝΤΑ PORTLAND**</b>												
CEM I	I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
<b>ΣΥΝΘΕΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ PORTLAND</b>												
CEM II	II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	
	II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	II/A-P	80-90	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
	II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	
	II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
	II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	
	II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
	II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	
	II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
	II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	
	II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
	II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	
	II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35		
II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	
II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35		
II/A-M	80-94	6-20									0-5	
II/B-M	65-79	21-35										
<b>ΣΚΩΡΙΟΤΣΙΜΕΝΤΑ</b>												
CEM III	III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	
	III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ</b>												
CEM IV	IV/A	65-89	-	11-35				-	-	-	-	0-5
	IV/B	45-64	-	36-55				-	-	-	-	
<b>ΣΥΝΘΕΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ</b>												
CEM V	V/A	40-64	18-30	-	18-30			-	-	-	-	0-5
	V/B	20-39	31-50	-	31-50			-	-	-	-	

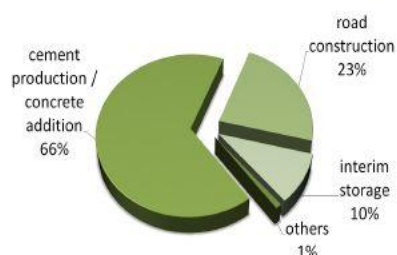
Εικόνα 1 Τύποι τσιμέντου σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 197-1

## Statistics 2010

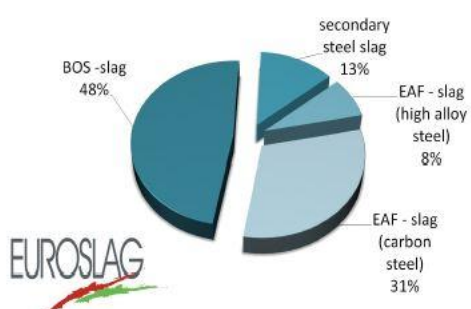
Production of **blast furnace slag**: 23.5 million tonnes  
Data from the following countries: A, B, FIN, F, D, I, L, PL, E, SK, S, NL, UK



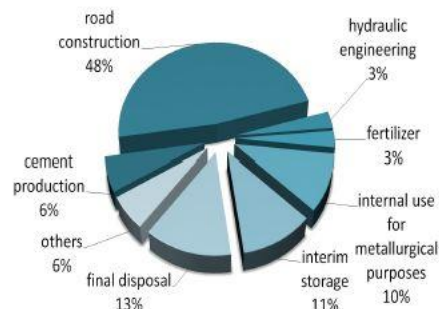
Use of **blast furnace slag**: 25.6 million tonnes  
Data from the following countries: A, B, FIN, F, D, I, L, PL, E, SK, S, NL, UK



Production of **steel slag**: 21.8 million tonnes  
Data from the following countries: A, B, DK, FIN, F, D, GR, I, L, PL, RO, E, SK, SLO, S, NL, UK



Use of **steel slag**: 22.3 million tonnes  
Data from the following countries: A, B, DK, FIN, F, D, GR, I, L, PL, RO, E, SK, SLO, S, NL, UK




**Εικόνα 2** Στατιστική απεικόνιση δύο τύπων σκωριών όσων αφορά τη παραγωγή και τη κατανάλωση

**Πίνακας 1. Πωλήσεις σκωρίας Η/Κ σε τόνους για το διάστημα 1990-2000**

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	ΣΥΝΟΛΟ (tn)
ΑΓΕΤ ΒΟΛΟΣ	308.947	250.495	217.240	269.646	230.452	272.610	251.098	280.889	333.028	229.205	53.297	2.696.907
ΑΓΕΤ ΜΗΛΑΚΙ	24.335	21.870	20.870	38.700	38.620	45.085	17.570	17.653	10.790	4.130	2.755	242.378
ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ	333.282	272.365	238.110	308.346	269.072	317.695	268.668	298.542	343.818	233.335	56.052	2.939.285
ΤΣΙΜ. ΧΑΛΚΙΔΑΣ	24.336	76.800	54.058	27.471	343	18.426	31.140	38.036	29.885	46.640	304	347.439
ΤΙΤΑΝ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ	95.212	92.730	97.225	38.420	54.240	66.821	55.420	52.693	59.160	39.350	22.050	673.321
ΤΙΤΑΝ ΠΑΤΡΑΣ	20.736	26818	18250	0	0	11580	20.030	9.360	0	1300	8.460	116.534
ΤΙΤΑΝ. ΕΛΕΥΣΙΝΑ	44.321	47.729	38.135	32.025	22.373	29.151	30.749	45.155	43.749	25.204	40.110	398.701
ΤΙΤΑΝ	149.149	140.459	135.360	70.445	76.613	95.972	106.199	100.168	102.909	64.554	65.960	1.188.556
ΧΑΛΥΨ	10345	11450	16.880	7060	4450	1280	0	0	0	1.520	1.500	54.485
ΣΥΝΟΛΟ Τσιμεντοβιομηχανίας	1.010.663	940.716	836.128	792.113	696.163	858.620	780.874	842.496	923.339	645.238	250.488	4.529.765

**Εικόνα 3** Πωλήσεις σκωρία Η/Κ σε τόνους (1990-2000) από την παρουσίαση με τίτλο "Προοπτικές αξιοποίησης της σκωρίας Η/Κ παραγωγής σιδηρονικελίου της ΛΑΡΚΟ ΓΜΜΑΕ στην παραγωγή τσιμέντων"

## 7.2. CE και άλλες πιστοποιήσεις

 1370			
ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΟΡΟΠΟΥΛΗΣ & ΣΙΑ Ε.Ε. Περιοχή Κότσικα - Θήβα 32200 - Βοιωτία - Ελλάς 09 1370 - CPD - 0264			
<b>EN 12620</b> <b>Αδρανή για σκυρόδεμα</b>			
<b>Αδρανές</b>	<b>Άμμος Θραυστή</b>		
<b>Μέγεθος κόκκου</b>	<b>0/4</b>		
<b>Κοκκομετρία</b>	<b>GF85</b>		
<b>Δηλωθείσες τιμές</b>	<b>Όρια</b>		
<b>κοκκομετρικής διαβάθμισης</b>	κόσκικα	min	max
	8	100	
	5,6	95	100
	4	90	100
	2	50	90
	1	30	70
	0,25	10	30
	0,063	9	15
<b>Πυκνότητα επί ξηρού</b>	2,70 Mg/m <sup>3</sup>		
<b>Καθαρότητα</b>			
Περιεχόμενη παπαάλη	<b>f<sub>16</sub></b>		
Ισοδύναμο άμμου (κλάσμα 0/4)	SE: > 65		
Μπλέ του μεθυλενίου	MB: < 1		
<b>Σύσταση / περιεκτικότητα</b>			
Περιεκτικότητα σε χλωριόντα	0,0064 %Cl		
Θειικά διαλυτά σε οξέα	<b>AS<sub>0,2</sub></b>		
Ολικό Θείο	Μή ανιχνεύσιμο		
Συστατικά που μεταβάλλουν το ρυθμό πήξης και σκλήρυνσης του σκυροδέματος	<b>Απουσία οργανικών -</b> χρώμα διαλύματος ανοικτότερο του προτύπου		
Εκπομπή ραδιενέργειας			
Απελευθέρωση βαρέων μετάλλων	Δεν περιέχει επικίνδυνα		
Απελευθέρωση πολυαρωματικών υδρογονανθράκων	συστατικά βάσει των		
Απελευθέρωση άλλων επικίνδυνων ουσιών	ελληνικών κανονισμών		
<b>Υδαταπορροφητικότητα</b>	1,1 %WA <sub>24</sub>		
<b>Φαινόμενο βάρος</b>	1700 kg/m <sup>3</sup>		
<b>Ανθεκτικότητα σε Αποσάθρωση</b> (δοκιμή υγείας- θειικό μαγνήσιο)	<b>MS<sub>18</sub></b>		
<b>Ανθεκτικότητα σε Αλκαλοπυρριτική αντίδραση</b>	ΑΒΛΑΒΕΣ		
<b>Πετρογραφική εξέταση</b>	Ασβεστόλιθος CaCO <sub>3</sub>		

E 420.1\_Έκδοση 1η\_15/6/2009

**Εικόνα 4** Το CE της ασβεστολιθικής άμμου που χρησιμοποιήθηκε για τη παραγωγή των κυβόλιθων





## ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ - ΕΣ

Αρ. Πιστοποιητικού: 0365-CPD-014/01.16.04/9

Σε συμμόρφωση με την Οδηγία 89/106/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων της 21ης Δεκεμβρίου 1989 σχετικά με την προσέγγιση των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των Κρατών Μελών που αφορούν τα προϊόντα του τομέα δομικών κατασκευών ( Οδηγία Προϊόντων Δομικών Κατασκευών -CPD ), η οποία τροποποιήθηκε από την οδηγία 93/68/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων της 22ας Ιουλίου 1993, έχει δηλωθεί ότι το προϊόν για τις δομικές κατασκευές

**Τσιμέντο πόρτλαντ, τύπου CEM I 52,5 N**

Της εταιρίας

**ΑΝΩΝΥΜΟΣ ΓΕΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΗΡΑΚΛΗΣ  
ΟΜΙΛΟΣ LAFARGE**

Σοφ. Βενιζέλου 49-51, 141 23 Λυκάβρυση

το οποίο παρήχθη στο

**Εργοστάσιο «ΟΛΥΜΠΟΣ», Αγριά, Βόλος**

υποβάλλεται από τον παραγωγό σε σύστημα ελέγχου της παραγωγής του εργοστασίου και σε περαιτέρω δοκιμές των δοκιμών τα οποία λαμβάνονται από το εργοστάσιο σύμφωνα με προκαθορισμένο σχέδιο δοκιμών , και ότι ο κοινοποιημένος φορέας - ΕΛΟΤ - έχει εκτελέσει τον αρχικό έλεγχο τύπου για τα σχετικά χαρακτηριστικά του προϊόντος , την αρχική επιθεώρηση του εργοστασίου και τον έλεγχο της παραγωγής του εργοστασίου και εκτελεί συνεχή επιτήρηση, αξιολόγηση και έγκριση της παραγωγής του εργοστασίου, και τον αυτοέλεγχο των δειγμάτων τα οποία λαμβάνονται στο εργοστάσιο, στην αγορά ή στο χώρο της κατασκευής.

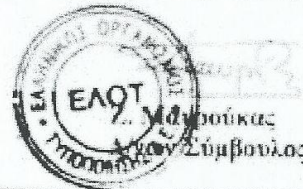
Αυτό το πιστοποιητικό επιβεβαιώνει ότι η λήψη όλων των αναγκαίων μέτρων που αφορούν στην πιστοποίηση της συμμόρφωσης και όλα όσα περιγράφονται στο Παράρτημα ZA του προτύπου **EN 197-1:2000** και η συμμόρφωση που έχει αξιολογηθεί σύμφωνα με το **EN 197-2:2000**, έχουν εφαρμοστεί και ότι το προϊόν πληροί τις προδιαγεγραμμένες απαιτήσεις.

Το παρόν πιστοποιητικό εκδόθηκε για πρώτη φορά στις 2001-06-13 και παραμένει εν ισχύ για όσο χρονικό διάστημα δεν έχουν τροποποιηθεί σημαντικά οι αναρμοσμένες τεχνικές προδιαγραφές που αναφέρονται ή οι συνθήκες παραγωγής στο εργοστάσιο ή ο έλεγχος της παραγωγής του εργοστασίου.

Για λογαριασμό του Ελληνικού Οργανισμού Τυποποίησης , Κοινοποιημένου Φορέα για την ανώτερη αναφερόμενη οδηγία, με Αριθμό Κοινοποίησης 0365.

Αθήνα, 2002-03-28

ΠΠΣΠ 11.09/2/2002-01-15



ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ Α.Ε.  
Λεωφόρος 311, 111 45, Αθήνα



ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ  
11, 111, 45, ΑΘΗΝΑ

Εικόνα 5 Πιστοποιητικό του τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε





0365-CPD

## Δήλωση Συμμόρφωσης

ΣΙΚΑ ΕΛΛΑΣ ΑΒΕΕ  
ΚΡΥΟΝΕΡΙ 145 68, ΑΘΗΝΑ  
04  
0365-CPD-062  
EN 934-2:2001

### **VISCOCRETE® 20 HE-S**

Πρόσθετο Σκυροδέματος  
Μειωτής νερού υψηλής δραστηριότητας / Υπερρυστοποιητής  
EN-934-2: Πιν.3.1 / 3.2

Μέγιστη περιεκτικότητα σε χλωριόντα: ελεύθερο χλωριόντων

Μέγιστη περιεκτικότητα σε αλκάλια: < 4 % κατά βάρος

Διαβρωτική συμπεριφορά<sup>1)</sup>: --

Επικίνδυνες ουσίες: καμία

<sup>1)</sup> Απαιτείται μόνο όταν διατίθεται στην αγορά σε ένα κράτος μέλος με νομοθεσία που αφορά τέτοια στοιχεία



Sika Hellas A.B.E.E / Πρωτομαγιάς 15 / 145 68 Κρυονέρι - Αθήνα / Ελλάδα  
Τηλ: +30 210 81 60 600-5 / Φαξ : +30 210 81 60 606 / [www.sika.gr](http://www.sika.gr) -  
e-mail: [sika@gr.sika.com](mailto:sika@gr.sika.com)

**Εικόνα 6** CE του υπερρυστοποιητή που χρησιμοποιήθηκε

ΕΚΕΠΥ Α.Ε.  
CERECO S.A.

ΕΚΘΕΣΗ ΔΟΚΙΜΩΝ  
TEST REPORT  
[ISO EN 17025]

Κωδικός: 174  
Code Nr.:

Ημερ. Έκδοσης: 06/04/2011  
Date of issue:

Σελίδα: 2 Απο: 2  
Sheet : Of :

ΕΜΠΙΣΤΕΥΤΙΚΟ - CONFIDENTIAL

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ - TEST DESCRIPTION :

**ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΝΕΡΟΥ**

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ-ΜΕΘΟΔΟ SPEC: ASTM D1067/D1888 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ - PROCEDURE:  
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ-PERFORMANCE DATE: 05-06/04/11 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ-PREMISES: ΕΚΕΠΥ Α.Ε.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ-SPECIMENS DESCRIPTION.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ-SPECIMENS NR

Από το σύνολο του δείγματος

ΝΕΡΟ ΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ -  
SPECIMENS IDENTIFICATION

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ΚΩΔΙΚΟΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ  
ΔΟΚΙΜΩΝ/ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ MEASUREMENT / TEST  
EQUIPMENT DESCRIPTION/IDENTIFICATION  
ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

ΥΛΙΚΑ ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΑΣ  
REFERENCE AND CONSUMABLE MATERIALS

ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΗ Η ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ  
ΕΜΠΛΕΚΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ  
CALCULATED OR ESTIMATED CERTAINTY OF  
MEASUREMENTS INVOLVED  
Εντός των προβλεπόμενων ορίων της  
διαδικασίας

ΣΥΝΗΜΜΕΝΑ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΔΟΚΙΜΗ  
ATTACHMENTS CONCERNING THIS TEST

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - RESULTS

		ΟΡΙΑ ΕΛΟΤ 345
Ολική αλκαλικότητα ως CaCO <sub>3</sub> (μετρούμενη ως προς το δείκτη ηλιανθίνης):	425 ppm	500
Συνολικά στερεά ανόργανα:	550 ppm	3000
Θειικά άλατα ως Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :	82 ppm	400
Χλωριούχα άλατα ως NaCl:	66 ppm	2000
Σκληρότητα: Γερμανικοί βαθμοί:	18.7 d°	
Γαλλικοί βαθμοί :	33.8 F°	

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - REMARKS

ΝΕΡΟ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟ ΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ - NAME

ΖΩΗ ΛΕΙΒΑΔΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ - TITLE

Χημικός

ΥΠΟΓΡΑΦΗ - SIGNATURE

Εικόνα 7 Πιστοποίηση του νερού που χρησιμοποιήθηκε



# CERTIFICATE OF CALIBRATION

Issued by **GlobeTech Laboratories Ltd – Metrology Division**  
Date of Issue 22 January 2013

Cert. Number  
*RI-170964*

Page 1 of 4



**CALIBRATION & TESTING  
LABORATORIES**

**GLOBETECH LABORATORIES LTD**

PO Box 27415, 1645 Nicosia, Cyprus  
Tel: +357 22 458260 Fax: +357 22 374535  
Greece: Tel: +30 2105816760  
e-mail: laboratories@globetech-group.com  
www.globetech-group.com

Approved Signatory

M. Avraam   
C. Geros

**Customer** : ΒΕΡΥΚΟΚΟΣ ΑΒΕΕ - Verykokos  
Πελάτης  
**Address** : 72<sup>ο</sup> χλμ. Ε.Ο.Α. Λαμίας-Θήβας, Θήβα, 32200  
Διεύθυνση 72 km. National Road Lamia-Thiva,  
Thiva, 32200, Greece

**Date Received** : 18 Ιανουαρίου 2013 - 18 January 2013  
Ημ/νία παρ/βής

**Description** : Compression Machine  
Περιγραφή  
**Manufacturer** : Controls  
Κατασκευαστής  
**Model** : C 42/1  
Μοντέλο / Τύπος  
**Serial No.** : 92010170  
Σειριακός Αριθμός

**Asset No.** : HVRK-0003  
Αρ.Ταυ/σης  
**Work Order** : 173870  
Εντολή εργασίας


**Reference No.** : Πρέσα Θραύσης  
Κωδικός πελάτη

**Place of Calibration** : Εγκαταστάσεις Πελάτη - Customer Premises  
Τοποθεσία διακρίβωσης  
**Date of Calibration** : 18 Ιανουαρίου 2013 - 18 January 2013  
Ημερομηνία διακρίβωσης  
**Recommended Calibration Due Date** : 18 Ιανουαρίου 2014 - 18 January 2014  
Προτεινόμενη Ημερομηνία Επαναδιακρίβωσης  
**Results Type** : Χωρίς Ρύθμιση - Without Adjustment  
Τύπος Αποτελεσμάτων

**Environmental Conditions** : Temperature : 17°C ± 2°C  
Συνθήκες Περιβάλλοντος : Θερμοκρασία  
Relative Humidity : 50% ± 5%  
Σχετική Υγρασία



Seal: \_\_\_\_\_

Signature:  \_\_\_\_\_

This certificate provides traceability of measurements to recognised National Standards and to the units of measurement realised at the National Physical Laboratories or other recognised National Standards Laboratories.

Copyright of this document is owned by the issuing Laboratory and may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.

Calibration Certificates without the signature and the seal of the issuing laboratory are not valid.

This certificate complies with the requirements of ISO 17025.

**Εικόνα 8** Πιστοποίηση της πρέσας που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της αντοχής σε θλίψη