

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Γεωργιάδης Πλάτωνας

ΑΜ: (20200014)



Επιβλέπων Καθηγητής

Κωνσταντινίδης Δημήτριος

Σίνδος
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2023

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Γεωργιάδης Πλάτωνας

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Δημήτριος Κωνσταντινίδης

Κωνσταντίνος Αναγνωστόπουλος

Ιωάννης Σαββίδης

Σίνδος

Αύγουστος 2023 ©

Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή	13
1. Το διαπερατό σκυρόδεμα	13
1.1 Περιβαλλοντικά οφέλη	14
1.2 Χρήσεις, εφαρμογές και πλεονεκτήματα	15
1.3 Σύσταση Διαπερατού Σκυροδέματος.....	17
1.4 Ιδιότητες Διαπερατού Σκυροδέματος.....	18
1.5 Τοποθέτηση Διαπερατού Σκυροδέματος	23
1.6 Συντήρηση	27
1.7 Οικονομικά οφέλη	28
2. Υλικά.....	30
2.1 Τσιμέντο	30
2.1.1 Παραγωγή τσιμέντου Portland	30
2.1.2 Τύποι τσιμέντων.....	31
2.1.3 Σύσταση Τσιμέντου	32
2.1.4 Κατηγορίες αντοχής του τσιμέντου	33
2.1.5 Ενυδάτωση και πήξη του τσιμέντου	34
2.1.6 Υλικά αντικατάστασης τσιμέντου	35
2.2 Αδρανή Υλικά	37
2.2.1 Φυσικά Αδρανή.....	37
2.2.2 Κοκκομετρική σύνθεση ή διαβάθμιση αδρανών.....	39
2.2.3 Καθορισμός κοκκομετρικής διαβάθμισης	39
2.2.4 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών.....	39
2.2.5 Μέγιστος κόκκος.....	41
2.2.6 Ιδιότητες αδρανών υλικών.....	43
2.3 Εναλλακτικά Αδρανή.....	44
2.3.1 Σκωρία Χάλυβα	44
2.4 Πρόσμικτα	46

2.5	Νερό	47
2.5.1	Πιθανές πηγές νερού στο σκυρόδεμα	47
2.5.2	Ποιότητα νερού.....	48
2.5.3	Προκαταρτικοί έλεγχοι σύμφωνα με το EN 1008	49
2.5.4	Χημικές ουσίες	49
2.6	Το Σκυρόδεμα.....	50
2.7	Βαφές-Χρωστικές	53
2.7.1	Κατηγορίες χρωστικών.....	54
2.7.2	Μέθοδος παραγωγής χρωστικών	55
2.7.3	Παράγοντες επιτυχημένης εφαρμογής χρωστικών	56
3.	Σκοπός.....	62
4.	Πειραματικό Μέρος	64
4.1	Υλικά και μέθοδοι	64
4.2	Δοκιμές.....	72
4.2.1	Εύρεση πορώδους.....	72
4.2.2	Δοκιμή Διαπερατότητας.....	74
4.2.3	Δοκιμής αντοχής σε θλίψη.....	80
5.	Αποτελέσματα – Συζήτηση	84
5.1	1 ^η Φάση.....	87
5.2	2 ^η Φάση.....	95
5.3	3 ^η Φάση.....	104
5.4	4 ^η Φάση.....	108
5.5	Αρχιτεκτονικά σκυροδέματα.....	114
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	120
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	123

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Πάρκα διαστρωμένα με διαπερατό σκυρόδεμα.....	14
Εικόνα 2: Τυπική Χρήση Διαπερατού Σκυροδέματος	17
Εικόνα 3: Δοκιμαστικά Αναμείγματα με διαφορετικά ποσά νερού : Ύφυγρο – Αποδεκτό - Υδαρές.....	19
Εικόνα 4: Υπερσυμπκικνωμένο δοκίμιο	21
Εικόνα 5: Κίνηση του νερού μέσα στο Διαπερατό Σκυρόδεμα.....	22
Εικόνα 6: Κάθετη τομή σε διαπερατά δάπεδα (Πρεφτίτση, 2010).....	27
Εικόνα 7: Διάγραμμα ροής της ξηράς διαδικασίας για την κατασκευή τσιμέντου Portland.....	31
Εικόνα 8: Ονοματολογία τσιμέντων βάσει του Ευρωπαϊκού προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1... 34	34
Εικόνα 9: Δείγμα τσιμέντου και φυσικής ποζολάνης.....	35
Εικόνα 10: Δείγμα πυριτικής παιπάλης.....	37
Εικόνα 11: Κοκκομετρική διαβάθμιση μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 63 mm ή 1 ½'' .	40
Εικόνα 12: Κοκκομετρική διαβάθμιση μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 31,5 mm ή 1'' .	40
Εικόνα 13: Κοκκομετρική διαβάθμιση μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 16 mm ή 1/2'' .	41
Εικόνα 14: Κοκκομετρική διαβάθμιση μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 8 mm ή 3/8'' .	41
Εικόνα 15: Διάγραμμα ροής μονάδας παραγωγής αδρανών σκυροδέματος (κατά Svedala Arbra).	42
Εικόνα 16: Αύξηση χρωματικής απόδοσης σε συνάρτηση με την αύξηση της ποσότητας προστιθέμενης χρωστικής	58
Εικόνα 17: Χρωματική απόδοση της ίδιας χρωστικής σε λευκό και γκρι τσιμέντο	58
Εικόνα 18: Επίδραση των συνθηκών ωρίμανσης στην απόδοση της χρωστικής	59
Εικόνα 19: αλλαγή χρώματος σε χρωματισμένα δομικά υλικά μέσα σε χρονικό διάστημα 25 ετών.....	60
Εικόνα 20: Άρθρο 84, Περιγραφικό τιμολόγιο εργασιών οικοδομικών έργων	62
Εικόνα 21: Μεθοδολογία Σχεδιασμού Σύνθεσης Διαπερατού Σκυροδέματος	64
Εικόνα 22: Μεθοδολογία Σχεδιασμού ΔΣ-T-factor is the volume of coarse aggregates (adjusted)	64
Εικόνα 23: χαλίκι, γαρμπίλι, ρύζι, άμμος.....	65

Εικόνα 24: Πρόσμικτο ενίσχυσης αντοχής εταιρίας VISCOCRETE.....	69
Εικόνα 25: Κυβικές μεταλλικές μήτρες 10cm ³	69
Εικόνα 26: πλήρωση μήτρας	70
Εικόνα 27: συμπύκνωση διαπερατού σκυροδέματος	71
Εικόνα 28: επιπέδωση δοκιμίου	72
Εικόνα 29: Απλός τρόπος Υπολογισμού Ενεργού Πορώδους	73
Εικόνα 30: Προσδιορισμός του Ολικού Πορώδους	73
Εικόνα 31: Φαινόμενο βάρος δοκιμίου και βάρος δοκιμίου στο νερό	73
Εικόνα 32: Εργαστηριακή διάταξη ISO 17785-1	74
Εικόνα 33: Σχηματική αναπαράσταση διάταξης ISO 17785-1	75
Εικόνα 34: Προετοιμασία δοκιμίων για δοκιμή με ISO Infiltration System	76
Εικόνα 35: Διαδικασία δοκιμής με ISO Infiltration System.....	77
Εικόνα 36: Belgian Permeameter	78
Εικόνα 37: Σχηματική αναπαράσταση Belgian Permeameter	79
Εικόνα 38: Συσκευή προσδιορισμού αντοχής σε θλίψη, συμβατή με το πρότυπο EN 12390-4.....	80
Εικόνα 39: Ενδεικτικό σχήμα τοποθέτησης του δοκιμίου στην πρέσα	81
Εικόνα 40: Συσκευή καπελώματος και καπέλωμα δοκιμίου	82
Εικόνα 41: Καταγραφή μέγιστου φορτίου σε kN.....	82
Εικόνα 42: Δοκίμιο διαπερατού σκυροδέματος Dmax 31,5mm.....	84
Εικόνα 43: Δοκίμιο διαπερατού σκυροδέματος Dmax 16mm.....	84
Εικόνα 44 : Δοκίμιο διαπερατού σκυροδέματος Dmax 8mm.....	85
Εικόνα 45: Δοκίμιο Dmax= 8mm με coarse to fine ratio 80/20	85
Εικόνα 46: Ασυμπύκνωτο δοκίμιο.....	86
Εικόνα 47: Δοκίμια με Dmax=8mm και coarse to fine ratio 100/0.....	86
Εικόνα 48: Διαδικασία παρασκευής με κόκκινη χρωστική.....	114
Εικόνα 49: Διαδικασία παρασκευής με κίτρινη χρωστική.....	114
Εικόνα 50: Αρχιτεκτονικά διαπερατά δοκίμια	115
Εικόνα 51. Οπτική παρουσίαση της χρωματικής παλέτας των δειγμάτων	117

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Σύγκριση διαπερατότητας σε εδάφη.....	23
Πίνακας 2: Βασικοί τύποι τσιμέντου βάσει Ευρωπαϊκού Προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1	32
Πίνακας 3 Μηχανικές και φυσικές απαιτήσεις τσιμέντων βάσει Ευρωπαϊκού προτύπου	33

Πίνακας 4: Επιτρεπτά όρια σε χλωριόντα. (EN 1008)	49
Πίνακας 5: Μέγιστες ανεκτές περιεκτικότητες σε επιβλαβείς ρύπους	50
Πίνακας 6: Μέγιστες ανεκτές περιεκτικότητες σε επιβλαβείς ρύπους	52
Πίνακας 7: Συνιστώμενες οριακές τιμές για την σύνθεση και ιδιότητες σκυροδέματος, ΕΛΟΤ EN 206-1	53
Πίνακας 8: Κοκκομετρική διαβάθμιση χαλικιού	66
Πίνακας 9 Κοκκομετρική διαβάθμιση γαρμπιλιού	66
Πίνακας 10: : Κοκκομετρική διαβάθμιση ρυζιού	67
Πίνακας 11: Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου	68
Πίνακας 12: 1η Φάση Συνολικά Αποτελέσματα	87
Πίνακας 13: 2η Φάση Συνολικά Αποτελέσματα	95
Πίνακας 14: 3η Φάση Συνολικά Αποτελέσματα για coarse to fine ratio 80/20	104
Πίνακας 15: 3η Φάση Συνολικά Αποτελέσματα για coarse to fine ratio 80/20	104
Πίνακας 16: 4η Φάση Συνολικά Αποτελέσματα με χρήση CEMI-42,5.....	108
Πίνακας 17: Παρουσίαση δοκιμών που παρασκευάστηκαν με τη προσθήκη χρωστικών	115
Πίνακας 18: Παρουσίαση δειγμάτων που παρασκευάστηκαν με διαφορετικές αναλογίες κόκκινης και κίτρινης χρωστικής.....	116

Κατάλογος διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Κοκκομετρική διαβάθμιση χαλικιού	66
Διάγραμμα 2: Κοκκομετρική διαβάθμιση γαρμπιλιού	67
Διάγραμμα 3: Κοκκομετρική διαβάθμιση ρυζιού	67
Διάγραμμα 4: Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου	68
Διάγραμμα 5: Διακύμανση φαινόμενου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	88
Διάγραμμα 6: Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	88
Διάγραμμα 7: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	89
Διάγραμμα 8: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	89
Διάγραμμα 9: Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	90
Διάγραμμα 10: Δικύμανση φαινόμενου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	90

Διάγραμμα 11: Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	91
Διάγραμμα 12: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	91
Διάγραμμα 13: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	92
Διάγραμμα 14: Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου.....	92
Διάγραμμα 15: Διακύμανση φαινόμενου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	93
Διάγραμμα 16: Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	93
Διάγραμμα 17: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	94
Διάγραμμα 18: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	94
Διάγραμμα 19: Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου.....	95
Διάγραμμα 20: : Διακύμανση φαινόμενου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	96
Διάγραμμα 21: Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	97
Διάγραμμα 22: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	97
Διάγραμμα 23: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	98
Διάγραμμα 24: : Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου.....	98
Διάγραμμα 25: Διακύμανση φαινόμενου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	99
Διάγραμμα 26: Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	99
Διάγραμμα 27: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	100
Διάγραμμα 28: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου ...	100
Διάγραμμα 29: Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου.....	101
Διάγραμμα 30: Διακύμανση φαινόμενου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	101
Διάγραμμα 31: Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	102

Διάγραμμα 32: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου	102
Διάγραμμα 33: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου ...	103
Διάγραμμα 34: Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου.....	103
Διάγραμμα 35: Διακύμανση φαινόμενου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπακνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων	105
Διάγραμμα 36: Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπακνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων.....	106
Διάγραμμα 37: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπακνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων.....	106
Διάγραμμα 38: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπακνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων.....	107
Διάγραμμα 39: Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπακνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων.....	108
Διάγραμμα 40: Διακύμανση φαινόμενου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπακνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων	110
Διάγραμμα 42: : Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπακνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων.....	111
Διάγραμμα 43: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπακνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων.....	112
Διάγραμμα 44: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπακνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων.....	112
Διάγραμμα 45: Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπακνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων.....	113

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Σχεδιασμός και Κατασκευή Τεχνικών Έργων» του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Δι.ΠΑ.Ε..

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλες και όλους που συνέβαλαν στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Ειδικότερα, οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας Κωνσταντίνιδη Δημήτριο για την καθοδήγησή, την υπομονή και κατανόησή του, καθώς και την εμπιστοσύνη με την οποία με περιέβαλλε.

Επίσης ευχαριστώ από καρδιάς τον επικεφαλής του Εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου της Εγνατίας Οδού Σπυράγγελο Λυκούδη για την καθημερινή βοήθεια και τις καινοτόμες ιδέες του, προκειμένου να ολοκληρωθεί το συγκεκριμένο πόνημα. Συνάμα ευχαριστώ και τον αναπληρωτή επικεφαλής του Εργαστηρίου Θωμά Κοτρώτσιο, για τη δική του αποφασιστική συνεισφορά.

Ειδική μνεία επιβάλλεται να κάνω στον Ηλία Ψυχίδη του ομίλου TITAN για τις εξειδικευμένες γνώσεις του όσον αφορά το αντικείμενο της εργασίας, καθώς και για τα υλικά του πειραματικού σκέλους τα οποία και μου προμήθευσε.

Τέλος, ευχαριστώ τη σύντροφό μου Δωροθέα για την ατελείωτη στήριξη που μου παρείχε όλο αυτό το διάστημα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Διατριβή έλαβε χώρα εξ ολοκλήρου στο Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της Εγνατίας Οδού Α.Ε.

Αντικείμενο του συγκεκριμένου πονήματος είναι η διερεύνηση των ιδιοτήτων του διαπερατού σκυροδέματος με τέτοιο τρόπο, ώστε να συμμορφώνεται στους κείμενους κανονισμούς. Η παρασκευή του εν λόγω τύπου σκυροδέματος πραγματοποιήθηκε με φυσικές πρώτες ύλες, κοινό τσιμέντο ή τσιμέντο υψηλής αντοχής, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε και πρόσμικτο ενίσχυσης αντοχής.

Μελετήθηκαν διεξοδικά η επίδραση της ποσότητας και του μεγέθους των αδρανών σε σχέση με τον λόγο τσιμέντου/νερού και τη χρήση ή όχι πρόσμικτων. Οι κατηγορίες δοκιμών που προέκυψαν στις διάφορες συνθέσεις ελέγχθηκαν σε σχέση με το φαινόμενο βάρος τους, το πορώδες τους, την υδραυλική αγωγιμότητα, την υδατοπερατότητα και τη μηχανική τους αντοχή. Να σημειωθεί ότι έγινε έλεγχος και σε ασυμπύκνωτα δοκίμια διαπερατού σκυροδέματος, καθώς η σύσταση τους προσομοιάζει συχνά τις συνθήκες του πεδίου.

Μέσα από την πειραματική διαδικασία επιτεύχθηκαν οι προϋποθέσεις κατασκευής άνω στρώσης διαπερατού σκυροδέματος σε δάπεδο, ενώ διαφαίνεται ότι με χρήση τσιμέντου υπερυψηλής αντοχής μπορεί να συμβεί το ίδιο και για την κάτω στρώση.

Επιπρόσθετα υλοποιήθηκαν και αρχιτεκτονικές προτάσεις χρωματισμού του διαπερατού σκυροδέματος με τη δημιουργία παλέτας δέκα γήινων αποχρώσεων.

Λέξεις κλειδιά: διαπερατό σκυρόδεμα, πορώδες, υδατοπερατότητα, μηχανική αντοχή, χρωματισμένο σκυρόδεμα.

Abstract

The experimental part of the present Diploma Thesis took place at the Quality Control Lab of “Egnatia Odos SA”

The Diploma Thesis investigates the pervious concrete’s properties in order to comply with the Greek and European Regulations. The pervious concrete that used during the experiments consisted of natural raw materials, common cement or high endurance cement, whereas in some cases strength-enhancing admixture also used.

The main factors tested were the impact of aggregates’ size and quantity in relation with the cement/water ratio and the usage or not of admixtures. The concrete samples produced tested as to their apparent weight, porosity, hydraulic conductivity, permeability and their mechanical strength. Note that uncompressed concrete samples tested too. This decision made because their composition stimulates the common field conditions.

The experiments’ result was the composition of pervious concrete that complies with the construction requirements for the upper layer of a pavement; while it appears that with the usage of extra hyperstrength cement the pervious concrete produced could be suitable for the lower layer too.

Additionally architectural propositions with pigmented pervious concrete carried out, resulting in the creation of a ten natural colors palette.

Key words: pervious concrete, porosity, permeability, mechanical strength, pigmented concrete

Εισαγωγή

1. Το διαπερατό σκυρόδεμα

Το Διαπερατό Σκυρόδεμα αποτελεί μίγμα Χονδρόκοκκων αδρανών, Τσιμέντου, Νερού και Πρόσμικτων το οποίο περιέχει ελάχιστη ως μηδενική ποσότητα λεπτόκοκκων αδρανών. Είναι ένας τύπος σκυροδέματος όπου το πορώδες δε βρίσκεται στα αδρανή (σε αντίθεση με τα ελαφροσκυροδέματα) αλλά εντός του ίδιου του ιστού του σκυροδέματος (NRMCA, 2004). Με τον όρο αυτό περιγράφεται ένα σκυρόδεμα «Ανοικτού Τύπου» και ουσιαστικά μηδενικής κάθισης (zero slump) (ACI Committee 522-06). Είναι επίσης γνωστό ως πορώδες, ή "μη λεπτόκοκκο" ή διαπερατό σκυρόδεμα όπως και σκυρόδεμα ενισχυμένου διαπερατού (Enhanced Porosity Concrete – EPC).

Το Διαπερατό Σκυρόδεμα είναι πρακτικά ένα Μακροπορώδες Σκυρόδεμα, και η σημαντικότερη ιδιομορφία που έχει, έγκειται στην ενσωμάτωση συνεχών κενών στη μάζα του. (Chindaprasirt et al., 2006). Σχεδιάζεται με τη χρήση συγκεκριμένης ποσότητας τσιμεντόπαστας, με απώτερο σκοπό την επικάλυψη των χονδρόκοκκων αδρανών, διευκολύνοντας τη διαμόρφωση αυτού του διασυνδεδεμένου δικτύου πόρων στο υλικό, γεγονός που επιτρέπει τη διέλευση του νερού σε ένα πολύ υψηλότερο ποσοστό από ότι τα συμβατικά σκυροδέματα (Neithalath et al., 2006). Το Διαπερατό Σκυρόδεμα συνεπώς εντάσσεται σε μια ξεχωριστή κατηγορία από τα συμβατικά σκυροδέματα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τα φυσικά χαρακτηριστικά του να διαφέρουν ως προς τις ιδιότητές από αυτές των συμβατικών σκυροδεμάτων.

Η ανάγκη που οδήγησε στην παραγωγή του Διαπερατού Σκυροδέματος εντοπίζεται στην προσπάθεια διαχείρισης των όμβριων υδάτων, στην αποφυγή των πλημμυρικών απορροών, καθώς και στη διαφύλαξη και αποφυγή της μόλυνσης των φυσικών υδάτινων πόρων. Η Υδατοπερατότητα του Διαπερατού Σκυροδέματος-που αποτελεί και την κυριότερη ιδιότητά του- (σε συνδυασμό με τα άλλα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του) επιτρέπει τη διήθηση μεγάλων ποσοτήτων νερού εντός του ιστού του οδηγώντας το τελικά στο υπέδαφος και αναπληρώνοντας άμεσα τα διαθέσιμα αποθέματα του υδροφόρου ορίζοντα (Λυκούδης, 2008).

1.1 Περιβαλλοντικά οφέλη

Όσον αφορά τη βιώσιμη ανάπτυξη και τα περιβαλλοντικά οφέλη που αποκομίζονται από την εφαρμογή της, σημειώνεται ότι τα δέντρα ευδοκούν με την παρουσία του Διαπερατού Σκυροδέματος, όπως γίνεται αντιληπτό στην ακόλουθη Εικόνα. Η φυσική διαδικασία διήθησης επιτρέπει τόσο στην υγρασία, όσο και στο οξυγόνο να φτάσει στο ριζικό σύστημα των δέντρων, κάτι που συνήθως περιορίζεται από τα συμβατικά οδοστρώματα, γεγονός που μπορεί να αποδειχτεί ιδιαίτερος χρήσιμο σε ξηρές περιοχές όπου υπάρχει επιτακτική η ανάγκη για τη βέλτιστη αξιοποίηση του νερού λόγω λειψυδρίας. Τα δέντρα που φυτεύονται στα μέρη χώρων στάθμευσης και στα πεζοδρόμια πόλεων προσφέρουν σκιά καθώς και καλύτερες συνθήκες διαβίωσης, μειώνοντας περαιτέρω το μέγεθος των νησίδων θερμότητας (Huffman, 2005).

Σε ένα συμβατικά πλακοστρωμένο περιβάλλον όπως αναφέρθηκε, το νερό και ο αέρας έχουν δεδομένη δυσκολία να προσεγγίσουν το ριζικό σύστημα των φυτών. Τα δάπεδα από διαπερατό σκυρόδεμα επιτρέπουν στα παρακείμενα φυτά να λάβουν περισσότερο οξυγόνο και νερό και να επιτρέψουν ακόμα περισσότερη χρήση της επιφάνειας του πορώδους δαπέδου. Το Διαπερατό Σκυρόδεμα παρέχει σπουδαία λύση στην κατασκευή προκειμένων να χρησιμοποιηθεί επιπλέον πρασιά στους χώρους στάθμευσης και κατά προέκταση στις πλακοστρωμένες αστικές και περιαστικές ζώνες.



Εικόνα 1: Πάρκα διαστρωμένα με διαπερατό σκυρόδεμα

1.2 Χρήσεις, εφαρμογές και πλεονεκτήματα

Οι βασικές χρήσεις του Διαπερατού Σκυροδέματος ως οδόστρωμα είναι:

- Επιφάνεια κίνησης.
- Βοηθητικό οδόστρωμα δίπλα στο πρωτεύον.
- Διαπερατή βάση με επιπλέον χρήση του στην άκρη του οδοστρώματος για στράγγιση.

Τα πλεονεκτήματα των οδοστρωμάτων από Διαπερατό Σκυρόδεμα σε σχέση με τα συμβατικού τύπου οδοστρώματα περιλαμβάνουν:

- Έλεγχο της ρύπανσης των όμβριων υδάτων στην πηγή τους
- Αύξηση των εγκαταστάσεων για στάθμευση, εξαλείφοντας την ανάγκη για περιοχές συγκράτησης του νερού
- Έλεγχο της απορροής των όμβριων υδάτων
- Μείωση υδρολίσθησης στην επιφάνεια των δρόμων και των αυτοκινητόδρομων
- Μείωση της αντανάκλασης στο οδόστρωμα σε μεγάλο βαθμό, ιδιαίτερα όταν είναι βρεγμένο το βράδυ
- Μείωση του θορύβου από την αλληλεπίδραση μεταξύ του ελαστικού και του οδοστρώματος
- Εξάλειψη ή μείωση του μεγέθους του αποχετευτικού δικτύου
- Εν γένει ανάπτυξη της βλάστησης.

Επιπλέον το Διαπερατό Σκυρόδεμα εκτός από τις κύριες χρήσεις του, βρίσκει εφαρμογή ως :

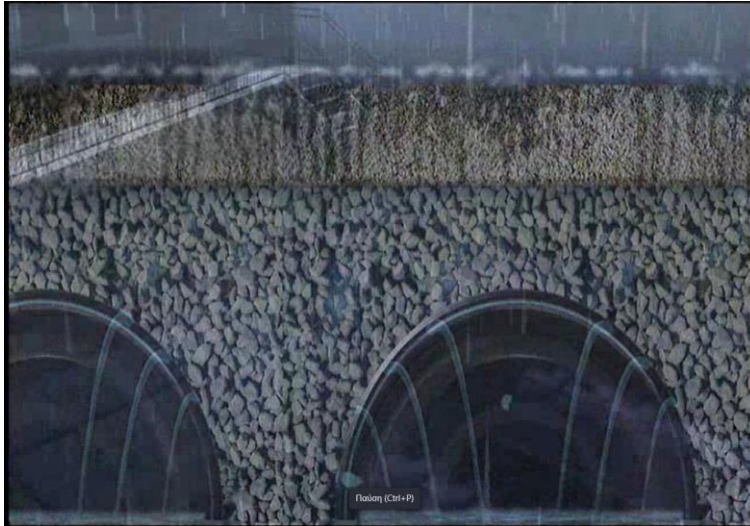
- Θερμομονωτικό Υλικό σε σύστημα θερμικής αποθήκευσης στα διαφορετικά επίπεδα θερμοκηπίου. Το επίπεδο αυτό λειτουργεί ως αποθηκευτικός χώρος, όπως μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της θερμικής ενέργειας μεταξύ δύο ρευστών που έχουν διαφορετική θερμοκρασία, (εναλλάκτης) για την ηλιακή θέρμανση του θερμοκηπίου. Το Διαπερατό Σκυρόδεμα μπορεί επιπλέον να χρησιμοποιηθεί ως μέσο πλακόστρωσης στους

ορόφους του θερμοκηπίου για να αποτρέψει τη στάση των υδάτων και παράλληλα να εξαλείψει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, καθώς παρέχει μια επιφάνεια ικανοποιητικής αντοχής για τη μετακίνηση του εξοπλισμού.

- Αποχετευτικός αγωγός σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτήν την περίπτωση το διαπερατό σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για την κατασκευή αγωγών, καθώς και διαπερατών αποστραγγιστικών πλακών. Οι αγωγοί αυτοί λειτουργούν επικουρικά στην ανύψωση της πίεσης και επιτρέπουν στα υπόγεια ύδατα να στραγγίζουν κάτω από τους αποχετευτικούς σωλήνες. Σε αυτήν την κατηγορία εντάσσονται και τεχνικά έργα σταθερών στραγγιστηρίων όπως σήραγγες.
- Τάπητας σε εξωτερικά γήπεδα καλαθοσφαίρισης ή αντισφαίρισης. Το Διαπερατό Σκυρόδεμα έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την κατασκευή ταπήτων γηπέδων στην Ευρώπη, καθώς επιτρέπει στο νερό να διεισδύσει και στη συνέχεια να αποστραγγιστεί, μέσω μιας βάσης κοκκομετρικά διαβαθμισμένων υλικών στις άκρες της πλάκας.
- Προστατευτικά ηχοπετάσματα, καθώς το διαπερατό σκυροδέμα τείνει να απορροφά τον ήχο και να τον διαχέει στο υλικό, ενώ δεν έχει την ιδιότητα της ηχοαντανάκλασης. Ηχοπετάσματα καθώς και εσωτερικοί τοίχοι από Διαπερατό Σκυρόδεμα, βοηθούν την κατασκευή να είναι ανθεκτική στην ηχορύπανση μιάς και η πορώδης δομή του συμβάλλει στην απορροφήση και στην ελαττώση του ήχου.
- Δάπεδα θερμοκηπίων, προκειμένου το δάπεδο να είναι ελεύθερο νερών.
- Επενδύσεις τοιχωμάτων για υδρογεωτρήσεις κ.ά.
- Οδοστρώματα (αγροτική οδοποιΐα), σε περιοχή με έντονες βροχοπτώσεις (ACI Committee 522).

Χωρίς να αποτελεί αντικείμενο του παρόντος πονήματος σημειώνεται εδώ ότι το Διαπερατό Σκυρόδεμα είναι η ανώτερη στρώση μιάς πολυστρωματικής ενότητας και έτσι πρέπει να αντιμετωπίζεται. Αναφέρεται εδώ ότι στα Τιμολόγια Εργων του Ελληνικού Δημοσίου αρχίζει πλέον (δειλά έστω) η ανωτέρω προσέγγιση.

Ένα τυπικό προφίλ με χρήση Διαπερατού Σκυροδέματος φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα:



Εικόνα 2: Τυπική Χρήση Διαπερατού Σκυροδέματος

1.3 Σύσταση Διαπερατού Σκυροδέματος

Αν και τα τελευταία χρόνια μελετώνται διεξοδικά οι ιδιότητες και η σύσταση του διαπερατού σκυροδέματος, κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με την επιρροή του ποσοστού των κενών χώρων, του λόγου μεταξύ νερού και τσιμέντου, τα χαρακτηριστικά της τσιμεντόπαστας, την αναλογία και το μέγεθος των χονδρόκοκκων αδρανών καθώς και των αντοχών του διαπερατού σκυροδέματος, , οι ιδανικές συνθήκες και η βέλτιστη αναλογία των υλικών για την παραγωγή καλής ποιότητας διαπερατού σκυροδέματος δεν έχουν ακόμη επαρκώς τεκμηριωθεί.

Η μελέτη της σύνθεσης, η συμπύκνωση και η μέθοδος ανάμιξης για την παραγωγή διαπερατού σκυροδέματος με δυνητικά υψηλότερες αντοχές σε συγκεκριμένο λόγο κενών εξακολουθούν να αποτελούν σημαντική παράμετρο έρευνας. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι το διαπερατό σκυρόδεμα είναι ένα ειδικού τύπου σκυρόδεμα, που απαιτεί ειδική μελέτη σύνθεσης και συμπύκνωσης, έτσι ώστε να επιτραπεί κατά τη φάση της τοποθέτησης η δημιουργία όσο το δυνατόν περισσότερων συνεχόμενων κενών χώρων (πορώδες), σε αναλογία πάντοτε με την συμπεριφορά του σε αντοχή και θλίψη . Υπάρχει συνεπώς ένα συνεχές ενδιαφέρον στην αναζήτηση της βέλτιστης ισορροπίας μεταξύ του ποσοστού των κενών και ως εκ τούτου και της υδατοπερατότητας, καθώς και των αντοχών, μιάς και ως μεγέθη αυτά τα δύο έχουν αντιστρόφως ανάλογα χαρακτηριστικά.

Τα χονδρόκοκκα αδρανή μπορούν να είναι είτε ποταμίσια είτε θραυστά. Η ανοικτή δομή του σκυροδέματος αυξάνει την έκθεση της ειδικής επιφάνειας, γι' αυτό απαιτείται κάποιες φορές η χρήση επιβραδυντών για να αυξηθεί ο χρόνος εργασιμότητας και να διευκολυνθεί η εύκολη διάστρωση. Ο λόγος νερού προς τσιμέντου κινείται σε χαμηλά πλαίσια (0.27 – 0.43) για να επιτευχθεί μια ουσιαστικά μηδενική κάθιση. Σε ψυχρό περιβάλλον ενδείκνυται η χρήση αερακτικών για να βελτιωθεί η ανθεκτικότητα σε ψύξη-απόψυξη, με τιμές αέρα που προτείνει η NRMCA 4-8%.

Σημειώνεται ότι η εργασιμότητα είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στο σχεδιασμό, γιατί περίσσεια νερού οδηγεί σε δραματική μείωση των κενών, άρα και της διαπερατότητας. Ακόμα και στο Μηδενικής Κάθισης Σκυρόδεμα είναι εμφανής η διαφορά του τελείως ύφυγρου από το εξαιρετικά υδαρές σκυρόδεμα (Λυκούδης, 2008).

1.4 Ιδιότητες Διαπερατού Σκυροδέματος

Όπως προαναφέρθηκε, η σύνθεση των παραπάνω υλικών παράγει ένα μίγμα με συγκεκριμένο πορώδες (διαστάσεων περίπου 2-8 mm), το οποίο επιτρέπει στο νερό να διέρχεται εύκολα. Το ποσοστό των κενών είναι απευθείας ανάλογο με τη διαπερατότητα και κυμαίνεται περίπου από 15-50% , ενώ οι αντοχές -ανάλογα με τη χρήση – μπορούν να κυμανθούν από 2,8-28 MPa. Η διαπερατότητά του σύμφωνα με το ACI 522R-06 κυμαίνεται από 80-730 lt/min/m². Σημειώνεται ότι οι τιμές αυτές είναι οι ακραίες δυνατές που έχουν αναφερθεί .

Στο πλαίσιο αυτής της παραγράφου μελετώνται οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες του διαπερατού σκυροδέματος. Αναλυτικότερα:

Αντοχή σε θλίψη

Η αντοχή σε θλίψη του διαπερατού σκυροδέματος επηρεάζεται εμφανώς από το λόγο νερού-τσιμέντου w/c και τον τρόπο συμπύκνωσης κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης. Ο λόγος w/c στο διαπερατό σκυρόδεμα είναι πολύ πιο σημαντικός για την ανάπτυξη των θλιπτικών αντοχών του σε σχέση με τον αντίστοιχο λόγο σε ένα συμβατικού τύπου σκυρόδεμα. Ένας υψηλός λόγος w/c μπορεί να οδηγήσει σε πολύ ρευστή τσιμεντόπαστα που θα γεμίσει τα κενά της δομής του. Αντίθετα, ένας χαμηλός λόγος w/c οδηγεί σε μειωμένη εργασιμότητα και προβλήματα κατά την τοποθέτηση. Η εμπειρία έχει δείξει ότι ένας λόγος w/c από 0,26 έως 0,45

παρέχει καλή επικάλυψη των αδρανών και σταθερότητα στην επικόλληση της πάστας με τα τελευταία. Επίσης, η συνολική περιεκτικότητα σε τσιμέντο είναι εξίσου σημαντική για την ανάπτυξη των θλιπτικών αντοχών και των κενών χώρων. Ένα υψηλό περιεχόμενο σε τσιμεντόπαστα θα οδηγήσει σε μία πληρότητα των κενών χώρων και κατά συνέπεια, το πορώδες θα μειωθεί, ενώ μία ανεπαρκής ποσότητα τσιμέντου μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της επικάλυψης των αδρανών με τσιμεντόπαστα και εν τέλει μειωμένες θλιπτικές αντοχές. Η βέλτιστη ποσότητα σε τσιμεντόπαστα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κοκκομετρική διαβάθμιση των υλικών και το μέγεθος των αδρανών. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις λόγων w/c για την ίδια σύνθεση.



Εικόνα 3: Δοκιμαστικά Αναμείγματα με διαφορετικά ποσά νερού : Ύφυγρο – Αποδεκτό - Υδαρές

Η παραπάνω εικόνα είναι χαρακτηριστική γιατί αν και εμπειρική, αποτελεί μέτρο αποδοχής της καταλληλότητας ή όχι του σκυροδέματος να χαρακτηριστεί ως διαπερατό. Η δοκιμή της εργασιμότητας με τη μέθοδο της κάθισης που χρησιμοποιείται στα συμβατικά σκυροδέματα δεν είναι αποτελεσματική, γιατί το διαπερατό είναι ύφυγρο, και στο φάσμα αυτής της εργασιμότητας ο κώνος κάθισης δε δίνει καμιά πληροφορία. Πιο σημαντική είναι επομένως αυτή η επί τόπου δοκιμή που δείχνει την “ευπλασιμότητα” και έμμεσα την περιεκτικότητα σε νερό. Η μεθοδολογία της σύνθεσης διαπερατού σκυροδέματος με αυξημένη εργασιμότητα έχει αποδειχθεί ότι δεν είναι επιτελεστική, γιατί οδηγεί σε φράξιμο των πόρων στη βάση του σκυροδέματος. Παρόλα αυτά σύγχρονα πρόσθετα σκυροδέματος έχουν αποδείξει ότι είναι εφικτή μια εργασιμότητα ακόμα και μεγαλύτερης τιμής των 5 cm, χωρίς πολύ αρνητικές συνέπειες στην διαπερατότητα.

Γίνεται αντιληπτό πως τα αναμείγματα που προκύπτουν (α) και (β) -χαμηλός και υψηλός λόγος w/c αντίστοιχα- απορρίπτονται διότι στην πρώτη περίπτωση το Διαπερατό Σκυρόδεμα είναι πρόσφορα σε αποσάθρωση ενώ στην δεύτερη περίπτωση θα μειωθεί το ποσοστό των κενών στη δομή του. Αποδεκτή θεωρείται η (γ) εκδοχή.

Αντοχή σε ψύξη-απόψυξη

Ο όρος ανθεκτικότητα αναφέρεται στο χρόνο ζωής του Διαπερατού Σκυροδέματος υπό δεδομένες συνθήκες περιβάλλοντος. Γνωρίζοντας ότι το διαπερατό σκυρόδεμα είναι προφανώς ένα άοπλο σκυρόδεμα, το φαινόμενο της ενανθράκωσης και η επίδραση των χλωριόντων δεν αποτελούν τους πρωτεύοντες παράγοντες επίδρασης της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος. Η ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου τύπου σκυροδέματος, που είναι το μεγάλο του πορώδες, διαμορφώνει τις αιτίες εκείνες που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την ανθεκτικότητα του Διαπερατού Σκυροδέματος, όπως την έκθεση σε ακραίες θερμοκρασίες και σε χημικές ουσίες, όπως θειικά και όξινα.

Το υψηλό πορώδες του Διαπερατού Σκυροδέματος δημιουργεί ερωτηματικά για την συμπεριφορά του σε ψυχρές περιοχές και στην αντοχή του σε φαινόμενα ψύξης και απόψυξης. Το Διαπερατό Σκυρόδεμα αποτελείται από διασυνδεδεμένους πόρους που μπορούν να αποθηκεύσουν και να μεταφέρουν νερό και κατά συνέπεια στη διάρκεια εκδήλωσης έντονων φαινομένων όπως η χιονόπτωση μπορεί να συγκρατήσει εσωτερικά της δομής του χιόνι το οποίο κατά την ψύξη-απόψυξη να επιφέρει ζημιές στον ιστό του σκυροδέματος.

Τα αδρανή στο διαπερατό σκυρόδεμα περιβάλλονται από ένα πολύ λεπτό (~1mm) στρώμα πάστας τσιμέντου που μπορεί να κορεστεί σχετικά γρήγορα, καθώς το νερό περνά μέσα από τη δομή του σκυροδέματος. Ενώ στα ψυχρά κλίματα αποβλέπουν στην πρόληψη της αποθήκευσης νερού στο διαπερατό σκυρόδεμα, η πάστα μπορεί να κορεστεί από το νερό όταν αυτό κινείται μέσα στη μάζα του, παγιδεύοντας την υγρασία στο εσωτερικό των χονδρόκοκκων αδρανών. Αντίθετα από το συμβατικό σκυρόδεμα, το διαπερατό σκυρόδεμα επιτρέπει μεγάλες ποσότητες νερού να διαπεράσουν τη δομή του, και έτσι υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλων υδραυλικών πιέσεων κατά την κατάψυξη. Ως εκ τούτου, δεδομένου ότι το νερό διαστέλλεται 9% κατά την ψύξη, η ανθεκτικότητα του πορώδους σκυροδέματος σε περιβάλλον ψύξης/απόψυξης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το βαθμό κορεσμού του νερού στον οποίον έχει υποβληθεί το σκυρόδεμα. Αντίθετα από τα συμβατικά σκυροδέματα, το πορώδες σκυρόδεμα δεν πρέπει ποτέ να βρεθεί σε πλήρη κορεσμό νερού· αν σχεδιάζεται και συντηρείται σωστά, θα πρέπει πάντα να αποστραγγίζεται (Tennis et al., 2006, Olek et al., 2003). Παρ' όλα αυτά, η προσθήκη αερακτικών και κατά συνέπεια η ύπαρξη εγκλωβισμένου αέρα έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τις βλάβες που προκαλούνται κατά τους κύκλους της ψύξης/απόψυξης στο διαπερατό σκυρόδεμα με τον ίδιο τρόπο όπως και στο συμβατικό σκυρόδεμα (Schaefer et al., 2006, Olek et al., 2003).

Ποσοστό κενών χώρων-ειδικό βάρος

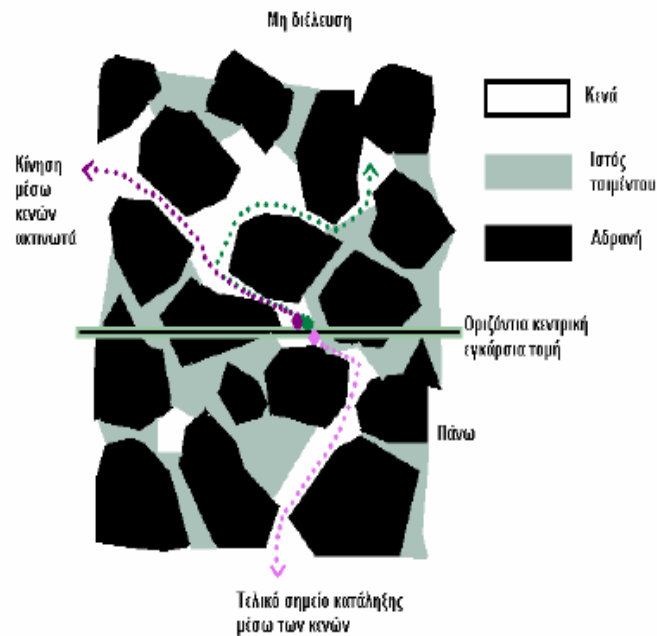
Ο ανθρώπινος παράγοντας διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη σκυροδέτηση του διαπερατού σκυροδέματος και πρέπει πάντοτε να λαμβάνεται υπόψη. Η σωστή συμπύκνωση, όπως θα φανεί και στο πειραματικό σκέλος αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα. Αν το διαπερατό σκυρόδεμα συμπυκνωθεί περισσότερο από όσο πρέπει, τότε η τσιμεντόπασα κατακάθεται στη βάση των δοκιμίων με αποτέλεσμα να τα φράζει και το νερό της βροχής δεν βρίσκει δίοδο να αποστραγγιστεί (Εικόνα 4). Αντίθετα αν το διαπερατό σκυρόδεμα δεν συμπυκνωθεί αρκετά τότε εμφανίζει χαμηλές αντοχές καθώς και αποκόλληση αδρανών από την επιφάνεια του. Οι ιδιότητες αυτές συγκεκριμενοποιούνται στο πειραματικό σκέλος της παρούσας έρευνας. Η συμπύκνωση κατά τη χύτευση δοκιμίων διαπερατού σκυροδέματος πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ACI 522R-06.



Εικόνα 4: Υπερσυμπυκνωμένο δοκίμιο

Το ποσοστό των κενών χώρων σχετίζεται άμεσα με το ειδικό βάρος ενός δεδομένου μείγματος διαπερατού σκυροδέματος. Το ποσοστό των κενών χώρων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από διάφορους παράγοντες όπως: η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών υλικών, η ποσότητα του τσιμέντου, ο λόγος w/c και ο τρόπος συμπύκνωσης. Ο τρόπος συμπύκνωσης έχει μια επιρροή στο περιεχόμενο ποσοστό των κενών αέρα (και του ειδικού βάρους) μιας δεδομένης σύνθεσης.

Το παρακάτω σχήμα αποδίδει σχηματικά τη ροή του νερού ανάμεσα στο λεπτό στρώμα του συνδετικού υλικού και εντός του ιστού των σχεδόν ισόκοκκων αδρανών διαμέσου των κενών.



Εικόνα 5: Κίνηση του νερού μέσα στο Διαπερατό Σκυροδέμα

Υδατοπερατότητα

Ο σχεδιασμός του σκυροδέματος αυτού δεν γίνεται τόσο βάσει της αντοχής, αλλά βάσει κυρίως του όγκου κενών και της υδατοπερατότητας, καθότι η τελευταία αποτελεί και τη σημαντικότερη ιδιότητά του. Το ποσοστό κενών πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 10% για να υπάρξει ικανοποιητική διήθηση του νερού εντός του ιστού των αδρανών και του συνδετικού μέσου.

Η υδατοπερατότητα αυτού του τύπου σκυροδέματος πρέπει να συμβαδίζει με την απορροφητικότητα του εδάφους που βρίσκεται ως υπόστρωμα έτσι ώστε ο συνδυασμός αυτών των δυο υλικών να λειτουργεί αρμονικά στην σωστή διαχείριση των όμβριων υδάτων. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνεται η κατηγοριοποίηση των εδαφών ανάλογα με την διαπερατότητα του (k).

Η επιθυμητή διαπερατότητα είναι της τάξης του 10^{-3} έως 10^2 cm/sec σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 1 (Λυκούδης, 2008).

Πίνακας 1: Σύγκριση διαπερατότητας σε εδάφη

K (cm/s)	10 ²	10 ¹	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰
Σχετική διαπερατότητα	Περατό			Ημιπερατό				Αδιαπέρατο					
Υδροφορία	Καλή				Μέτρια				Καμία				
Ασυμπύκνωτη άμμος και χαλίκι	Καλά διαβαθμισμένο χαλίκι	Καλά διαβαθμισμένη άμμος ή αμμοχάλικο			Πολύ λεπτή άμμος - ιλύς								
Ασυμπύκνωτη άργιλοςοργανικά					τύρφη	Στρωματώδης άργιλος			Μη αποσαθρωμένη άργιλος				
Συνεκτικά πετρώματα	Υψηλός βαθμός διάρρηξης πετρωμάτων				Πετρώματα με ικανότητα αποθήκευσης πετρελαίου			Υγιής ψαμμίτης	Υγιής ασβεστόλιθος - δολομίτης		Υγιής γρανίτης		

Ηχομόνωση

Λόγω της παρουσίας μεγάλου όγκου αλλά και σημαντικού μεγέθους διασυνδεδεμένων πόρων στο υλικό, το διαπερατό σκυρόδεμα είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στον τομέα της ακουστικής απορρόφησης. Η μείωση του θορύβου που παρατηρείται κατά τη χρήση του, οφείλεται στο συνδυασμό της μείωσης του παραγόμενου θορύβου και της καλύτερης απορρόφησης του ήχου. Τα οδοστρώματα με διαπερατό σκυρόδεμα μεταβάλλουν την παραγωγή θορύβου, ελαχιστοποιώντας την “άντληση” του αέρα μεταξύ του ελαστικού και του οδοστρώματος. Επιπλέον, οι πόροι απορροφούν τον ήχο μέσω των εσωτερικών τριβών μεταξύ των κινούμενων μορίων του αέρα και των πορωδών τοίχων (ACI Committee 522-06).

1.5 Τοποθέτηση Διαπερατού Σκυροδέματος

Η τοποθέτηση Διαπερατού Σκυροδέματος επιβάλλει απαιτητική εκτέλεση για να διασφαλιστεί η αδιαβροχοποίηση και η διαπερατότητα του υλικού. Οι βασικές αρχές για την τοποθέτηση Διαπερατού Σκυροδέματος περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

Υδρολογικές μελέτες σχεδιασμού

Για το σχεδιασμό οδοστρώματος διαπερατού σκυροδέματος πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες. Οι τρεις αρχικές μέριμνες είναι το ύψος των αναμενόμενων βροχοπτώσεων, τα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος και οι βασικές ιδιότητες του εδάφους. Ωστόσο, ο βασικός υδρολογικός παράγοντας στο σχεδιασμό συνθέσεως διαπερατού σκυροδέματος είναι το ποσοστό της επιφανειακής απορροής που μπορεί να γίνει ανεκτή. Η ποσότητα της απορροής είναι μικρότερη από το συνολικό ύψος βροχόπτωσης, διότι ένα τμήμα της βροχής συγκρατείται σε μικρές κοιλάτες στο έδαφος, ένα άλλο διεισδύει σε αυτό, ενώ τέλος ένα ποσοστό αναχαιτίζεται από την κάλυψη του εδάφους (πχ φυτική βλάστηση). Η απορροή είναι επίσης συνάρτηση των ιδιοτήτων του εδάφους, ιδιαίτερα του ποσοστού διήθησης των όμβριων υδάτων, συγκεκριμένα τα αμμώδη και τα ξηρά εδάφη θα δεχτούν ταχύτατα το νερό, ενώ οι σκληροί άργιλοι μπορεί να μην απορροφήσουν σχεδόν καθόλου νερό κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης. Επιπλέον η απορροή επηρεάζεται από τη φύση της ίδιας της καταιγίδας, διαφορετικού μεγέθους καταιγίδες θα οδηγήσουν σε διαφορετικές ποσότητες απορροής ύδατος, έτσι ώστε η επιλογή ενός κατάλληλου σχεδιασμού συνθέσεως διαπερατού σκυροδέματος να καθίσταται εξαιρετικά σημαντική.

Σε πολλές περιπτώσεις, το διαπερατό σκυρόδεμα αντικαθιστά απλά μια μη περατή επιφάνεια. Σε άλλες περιπτώσεις, οι πορώδεις αυτές διαστρώσεις πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορούν να διαχειριστούν πολύ περισσότερες βροχοπτώσεις από αυτές θα πέσουν στο καθεαυτό οδόστρωμα. Αυτές οι δύο εφαρμογές μπορούν να χαρακτηριστούν ως «παθητικός» και «ενεργός» μετριασμός απορροής, αντίστοιχα. Ένα παθητικό σύστημα μετριασμού όμβριων υδάτων μπορεί να συλλάβει πολλά, αν όχι όλα, από την “πρώτη αποστράγγιση”, αλλά δεν προορίζεται να αντισταθμίσει το πλεόνασμα απορροής από τις παρακείμενες αδιαπέραστες επιφάνειες. Από την άλλη μεριά ένα ενεργό σύστημα μετριασμού είναι σχεδιασμένο για να διατηρεί την απορροή σε μια περιοχή σε συγκεκριμένα επίπεδα. Το διαπερατό σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται σε ένα ενεργό σύστημα μετριασμού πρέπει να μπορεί να αντιμετωπίζει την απορροή και από άλλα χαρακτηριστικά του χώρου, όπως κτίρια, περιοχές διαστρωμένες με συμβατικού τύπου σκυρόδεμα, καθώς και ζώνες προστασίας οι οποίες μπορεί είτε να έχουν είτε να μην έχουν βλάστηση. Τα κράσπεδα, οι υδρορροές, οι παροχετεύσεις θέσης και η κάλυψη του εδάφους θα πρέπει να εξασφαλίζουν ότι η ροή του νερού σε ένα ενεργό σύστημα μετριασμού των βροχοπτώσεων δεν φέρει ιζήματα και χώμα που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε απόφραξη του (Rapp, 2007).

Κατασκευή οδοστρώματος διαπερατού σκυροδέματος

Όπως προαναφέρθηκε, η κατασκευή ενός διαπερατού οδοστρώματος είναι αρκετά διαφορετική από ότι με συμβατικό σκυρόδεμα. Υπάρχουν τέσσερα βασικά στοιχεία για την επιτυχία ενός οδοστρώματος με πορώδη επιφάνεια:

1. Προετοιμασία υποστρώματος - η προετοιμασία του υποστρώματος θα πρέπει να είναι ομοιογενής και με κατάλληλη συμπίκνωση.
2. Νερό ανάμιξης - το σκυρόδεμα θα πρέπει να έχει τη σωστή ποσότητα νερού.
3. Συμπύκνωση και φινίρισμα - το σκυρόδεμα πρέπει να συμπυκνωθεί και να φινιριστεί χωρίς υπερβολική προσπάθεια.
4. Επαρκής ωρίμανση – η ωρίμανση θα πρέπει να πραγματοποιείται εγκαίρως και να είναι επαρκούς διάρκειας (Olek and Weiss, 2003).

Ακριβώς όπως και σε κάθε άλλο σύστημα οδοστρώματος, η ομοιόμορφη συμπίκνωση του υποστρώματος (υπεδάφους) είναι κρίσιμης σημασίας για ένα επιτυχημένο διαπερατό οδοστρώμα. Επιπλέον, όμως, είναι σημαντικό να μη συμπυκνώνονται πέρα από κάποιο όριο το υπέδαφος. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του σχεδιασμού ενός τέτοιου διαπερατού οδοστρώματος είναι η εύρεση της βέλτιστης συμπίκνωσης σε σχέση με τη διαπερατότητα του εδάφους. Έτσι, αν το διαπερατό σκυρόδεμα συμπυκνωθεί πέρα από τα όρια του σχεδιασμού του, τότε το ποσοστό αποστράγγισης του εδάφους θα μειωθεί και το οδοστρώμα δεν θα στραγγίξει το επιθυμητό ποσό των απορροών. Σε περίπτωση πάλι που αυτό μπορεί να φαίνεται αρκετά μαλακό μετά από τις τυπικές προσπάθειες συμπίκνωσης, το κλειδί είναι η ομοιομορφία. Για πηλώδη ή αργιλώδη εδάφη, το επίπεδο της συμπίκνωσης θα εξαρτηθεί από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού του οδοστρώματος. Επιπλέον, προσοχή θα πρέπει να δοθεί, σε αυτήν την κατάσταση, να μην υπερσυμπυκνώνεται ένα έδαφος που έχει πιθανότητες διόγκωσης. Όπως και με κάθε οδοστρώμα το υπέδαφος θα πρέπει να υγρανθεί πριν τη σκυροδέτηση, και τα αυλάκια που δημιουργούνται από τους τροχούς των οχημάτων σκυροδέτησης θα πρέπει να καθαρίζονται και να συμπυκνώνονται ξανά.

Ο κατασκευαστής θα πρέπει να δώσει ιδιαίτερη προσοχή στην εύρεση της κατάλληλης ποσότητας νερού ανάμιξης. Το υλικό αυτό είναι ευαίσθητο σε μικρές αλλαγές στην περιεκτικότητα σε νερό, έτσι η προσαρμογή στον νωπό μίγμα είναι σχεδόν πάντοτε απαραίτητη. Η σωστή ποσότητα του νερού στο διαπερατό σκυρόδεμα είναι κρίσιμη, διότι πάρα πολύ νερό προκαλεί κατάρρευση του δικτύου των πόρων που υπάρχουν στην εσωτερική δομή του ενώ πολύ λίγο νερό αποτρέπει την σωστή σκλήρυνση του σκυροδέματος, η οποία θα

οδηγήσει σε πρόωρη αποτυχία της επιφάνειας. Οι διορθωτικές ενέργειες για οποιοδήποτε από αυτά τα σενάρια είναι ουσιαστικά η αφαίρεση και αντικατάσταση του σκυροδέματος. Οι έμπειροι κατασκευαστές μαθαίνουν να εκτιμούν τη σωστή περιεκτικότητα σε νερό στο νωπό σκυρόδεμα με οπτικό έλεγχο. Από τα βασικά χαρακτηριστικά που απαιτούν προσοχή είναι η παρουσία ανοιχτών κενών χώρων στο συμπυκνωμένο σκυρόδεμα καθώς και μία ελαφριά γυαλάδα στην εξωτερική επιφάνεια της τσιμεντόπαστας από την ύπαρξη της επαρκούς ποσότητας νερού που απαιτείται για την σωστή σκλήρυνση και ωρίμανση της συνθέσεως.

Ένα διαπερατό οδόστρωμα μπορεί να τοποθετηθεί είτε με χρήση καλουπιών είτε με ασφαλτοστρωτήρα. Παρ' όλα αυτά, η απλούστερη προσέγγιση για την τοποθέτηση του διαπερατού σκυροδέματος είναι να πέσει σε καλούπια που έχουν μια μετώπη ανύψωσης στην κορυφή του κάθε καλουπιού, έτσι ώστε η συσκευή διάστρωσης να είναι στην πραγματικότητα 10 έως 13 mm πάνω από το τελικό ύψος του οδοστρώματος. Καθώς το σκυρόδεμα αφήνει το φορτηγό, θα πρέπει να "χτενίζεται" σε ένα κατά προσέγγιση υψόμετρο. Η διάστρωση μπορεί στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί από αντηρίδες διάστρωσης, ρολό διάστρωσης, ή μπάρες διάστρωσης χειρός (για μικρές περιοχές). Μετά τη διάστρωση του σκυροδέματος, οι μετώπες ανύψωσης αφαιρούνται και το σκυρόδεμα συμπυκνώνεται με κύλινδρο στο σωστό υψόμετρο.

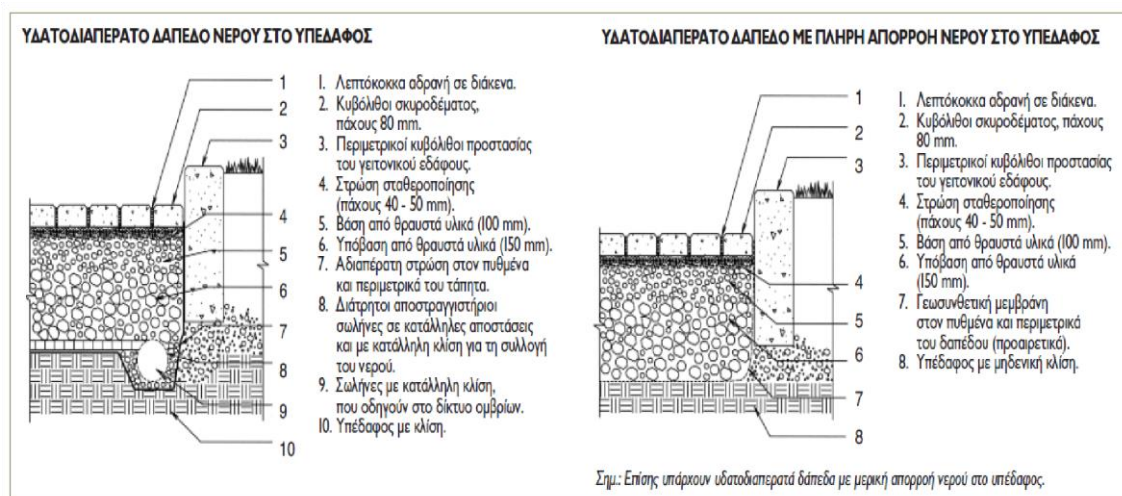
Η κυλιόμενη συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος παρέχει μία ισχυρή ζεύξη μεταξύ της πάστας και των αδρανών υλικών, δημιουργώντας μια λεία επιφάνεια στην οδήγηση. Προσοχή όμως πρέπει να επιδεικνύεται ώστε να αποφευχθεί η υπερβολική δύναμη, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει τα κενά να καταρρεύσουν.

Περιστασιακά, επιπλέον μέτρα είναι αναγκαία για να παρασχεθεί το επιθυμητό φινίρισμα στο διαπερατό σκυρόδεμα. Καθώς η ποιότητα κύλισης είναι ένα θέμα, το νωπό σκυρόδεμα πρέπει να διαστρώνεται περνώντας ο κύλινδρος πολλές φορές, έτσι ώστε να εξομαλυνθούν τυχόν αποκλίσεις από την επίπεδη δομή. Επιπλέον, μπορεί να είναι απαραίτητο να διαστρωθούν οι άκρες του σκυροδέματος. Πολλές φορές οι κύλινδροι δεν ασκούν επαρκή συμπίεση στις άκρες, έτσι το σκυρόδεμα εκεί διαστρώνεται με το χέρι ώστε να διασφαλιστεί πλήρως η ποιότητα του. Το διαπερατό σκυρόδεμα μπορεί επίσης να δουλευτεί. Μια στρογγυλεμένη άκρη μπορεί να είναι επιθυμητή, για παράδειγμα, δίπλα σε ένα πεζοδρόμιο.

Η σωστή ωρίμανση είναι απαραίτητη για τη δομική ακεραιότητα του διαπερατού σκυροδέματος. Η ωρίμανση εξασφαλίζει επαρκή ενυδάτωση της τσιμεντόπαστας έτσι ώστε να παρέχει την απαραίτητη δύναμη στο οδόστρωμα. Περαιτέρω, η ανεπαρκής σκλήρυνση θα προκαλέσει την επιφάνεια να εξυφανθεί, και σε ακραίες περιπτώσεις ακόμη και στο πλήρες βάθος του οδοστρώματος. Ως εκ τούτου, η ωρίμανση θα πρέπει να αρχίσει μέσα σε 20 λεπτά

από την τοποθέτηση του σκυροδέματος. Πλαστικά καλύμματα χρησιμοποιούνται συνήθως για να διατηρηθεί η υγρασία στη μάζα του οδοστρώματος για τη διαδικασία της σκλήρυνσης και πρέπει να ασφαλιζονται με ενισχυτικά ή ξύλα, έτσι ώστε να παραμείνουν στη θέση τους για την πλήρη περίοδο ωρίμανσης 7-ημερών, σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Επίσης, Η ανοιχτή δομή και η σχετικά ανώμαλη επιφάνεια του διαπερατού σκυροδέματος εκθέτει μεγαλύτερη επιφάνεια της τσιμεντόπαστας στην εξάτμιση, κάνοντας την ωρίμανση, ακόμη πιο ουσιαστική σε σχέση με τα συμβατικά σκυροδέματα. Το νερό χρειάζεται για τις χημικές αντιδράσεις του τσιμέντου, και είναι ζωτικής σημασίας για το διαπερατό σκυρόδεμα πρέπει προστατευτεί αμέσως. Σε ορισμένες περιοχές, είναι σύνηθες να εφαρμόζονται επιβραδυντές εξάτμισης πριν τη συμπύκνωση για την ελαχιστοποίηση κάθε ενδεχομένου απώλειας των επιφανειακών υδάτων.

Στην Εικόνα 6 που ακολουθεί παρουσιάζονται σχηματικά κάθετες τομές διαστρωμένων επιφανειών με διαπερατά σκυροδέματα.



Εικόνα 6: Κάθετη τομή σε διαπερατά δάπεδα (Πρεφτίτση, 2010).

1.6 Συντήρηση

Η πλειοψηφία των οδοστρωμάτων διαπερατού σκυροδέματος λειτουργούν καλά με λίγη ή και καθόλου συντήρηση (ACI Committee, 522-06). Οι δύο κοινά αποδεκτές μέθοδοι συντήρησης είναι το πλύσιμο με πίεση και το σκούπισμα με δυνατή ηλεκτρική σκούπα. Η πίεση της πλύσης σπρώχνει τους ρύπους προς τα κάτω από την επιφάνεια του οδοστρώματος. Αυτό είναι αποτελεσματικό, αλλά πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να μην χρησιμοποιείτε πολύ

μεγάλη πίεση, δεδομένου ότι αυτό θα βλάψει το διαπερατό σκυρόδεμα. Ένα μικρό τμήμα του οδοστρώματος θα πρέπει να πλένεται με πίεση, χρησιμοποιώντας ποικίλες πιέσεις νερού για να καθοριστεί η κατάλληλη για το συγκεκριμένο οδόστρωμα. Το πλύσιμο με πίεση ενός φραγμένου διαπερατού οδοστρώματος μπορεί να αποκαταστήσει το 80% έως 90% της διαπερατότητας σε ορισμένες περιπτώσεις. Το σκούπισμα με δυνατή ηλεκτρική σκούπα αφαιρεί τους ρύπους εξάγοντάς τους από τα κενά του οδοστρώματος (Offenberg, 2005). Το σκούπισμα ετησίως ή πιο συχνά μπορεί να είναι απαραίτητο για να αφαιρεθούν συντρίμμια από την επιφάνεια των οδοστρωμάτων. Το πιο αποτελεσματικό σύστημα, όμως, είναι να συνδυαστούν οι δύο αυτές τεχνικές πρώτα η απορρόφηση με σκούπα και μετά το πλύσιμο με πίεση. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι πρακτικές συντήρησης των διαπερατών οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα εξακολουθούν να αναπτύσσονται.

1.7 Οικονομικά οφέλη

Η ανάγκη παρασκευής του διαπερατού σκυροδέματος ξεκίνησε από την Αμερική, γιατί η εκεί περιβαλλοντική νομοθεσία υποχρεώνει τους γαιοκτήμονες αν θέλουν να οικοδομήσουν τη γη τους να εξασφαλίζουν ότι από τα 2/3 αυτής της εκτάσεως το νερό της βροχής αποστραγγίζεται. Με τελικό λοιπόν στόχο την αύξηση της οικοδομήσιμης επιφάνειας της γης παρασκευάστηκε αυτό το ειδικού τύπου σκυρόδεμα που η δομή του περιέχει υψηλό πορώδες και εξασφαλίζει την διέλευση των όμβριων υδάτων. Γενικά τα οικονομικά οφέλη που εξασφαλίζονται με τη χρήση διαπερατού σκυροδέματος συνοψίζονται παρακάτω:

- **Εναλλακτική λύση σε δαπανηρές μεθόδους διαχείρισης όμβριων υδάτων.** Ιδιοκτήτες χώρων στάθμευσης που χρησιμοποιούν διαπερατό σκυρόδεμα θα δαπανήσουν λιγότερο για την εργασία, την κατασκευή και τη συντήρηση δεξαμενών κράτησης, αντλίες, σωλήνες αποχέτευσης, και άλλα συστήματα διαχείρισης όμβριων. Ακριβά αρδευτικά συστήματα μπορούν επίσης να ελαχιστοποιηθούν ή να εξαλειφθούν. Με τη μείωση των απορροών από τις πλακόστρωτες περιοχές, μειώνεται η ανάγκη για ξεχωριστές λίμνες διατήρησης όμβριων υδάτων και έτσι επιτρέπεται η χρήση μικρότερης χωρητικότητας αποχετευτικών αγωγών. Αυτό επιτρέπει στους ιδιοκτήτες ακινήτων να αναπτύξουν μια ευρύτερα διαθέσιμη ακίνητη περιοχή σε χαμηλότερο κόστος.

- **Τέλη αντίκτυπου όμβριων.**

Πολλοί κυβερνητικοί οργανισμοί στο εξωτερικό εφαρμόζουν πλέον τέλη αντίκτυπου όμβριων για όλες τις στεγανές περιοχές. Καθώς οι κανονισμοί για την απορροή όμβριων γίνονται όλο και αυστηρότεροι, καθίσταται όλο και πιο ασύμφορο για τους ιδιώτες να αποκτήσουν ακίνητη περιουσία , λόγω του μεγέθους και των εξόδων των απαραίτητων συστημάτων αποχέτευσης. Το διαπερατό σκυρόδεμα μπορεί να μειώσει τα έξοδα για τον ιδιοκτήτη του ακινήτου, συμβάλλοντας στην ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων για αποχετευτικά συστήματα.

- **Υποστήριξη τοπικών οικονομιών.**

Οι συνθέσεις του σκυροδέματος είναι προσαρμόσιμες στις διάφορες περιοχές, καθώς μπορούν να κάνουν χρήση των διαθέσιμων υλικών για τα αδρανή και τα άλλα συστατικά. Το σκυρόδεμα απαιτεί, επίσης, ένα σχετικά μικρό χρόνο μεταφοράς, προκειμένου να αποφευχθεί η στερεοποίηση. Ως εκ τούτου, η χρήση της στην κατασκευή ελαχιστοποιεί το κόστος μεταφοράς και τη συναφή κατανάλωση ενέργειας. Με την επιλογή λοιπόν του διαπερατού σκυροδέματος στηρίζονται οι τοπικές οικονομίες, καθώς χρησιμοποιούνται τοπικά υλικά καθώς και εταιρείες που βρίσκονται κοντά στην περιοχή διαστρώσεως.

- **Κύκλος ζωής χαμηλού κόστους.**

Τα οδοστρώματα από σκυρόδεμα έχουν ένα σημαντικά χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής από τις εναλλακτικές λύσεις, όπως είναι η άσφαλτος. Αν και το αρχικό κόστος της εγκατάστασης διαπερατού μπορεί να είναι ελαφρώς υψηλότερο, το σκυρόδεμα εξοικονομεί χρήματα μακροπρόθεσμα λόγω ανώτερης αντοχής και ανθεκτικότητας. Απαιτεί λιγότερες επισκευές από την άσφαλτο, και έχει επιπλέον μεγαλύτερη συνολικά διάρκεια ζωής. Είναι επίσης οικονομικό, δεδομένου ότι ελαχιστοποιεί την ανάγκη για σταθεροποιητές των απορροών, μειώνοντας τελικά το κόστος ιδιοκτησίας. Χρειάζεται πολύ λίγη πλεονάζουσα παραγωγή αφού παράγεται απευθείας στο χώρο και ανάλογα με τις ανάγκες, και μπορεί να ανακυκλωθεί μόλις φτάσει στο τέλος του κύκλου ζωής του. Έτσι, το διαπερατό σκυρόδεμα αναγνωρίζεται ευρέως ως η χαμηλότερου κόστους κύκλου ζωής επιλογή για πλακόστρωση (Mississippi Concrete Industries Association ,2007).

2. Υλικά

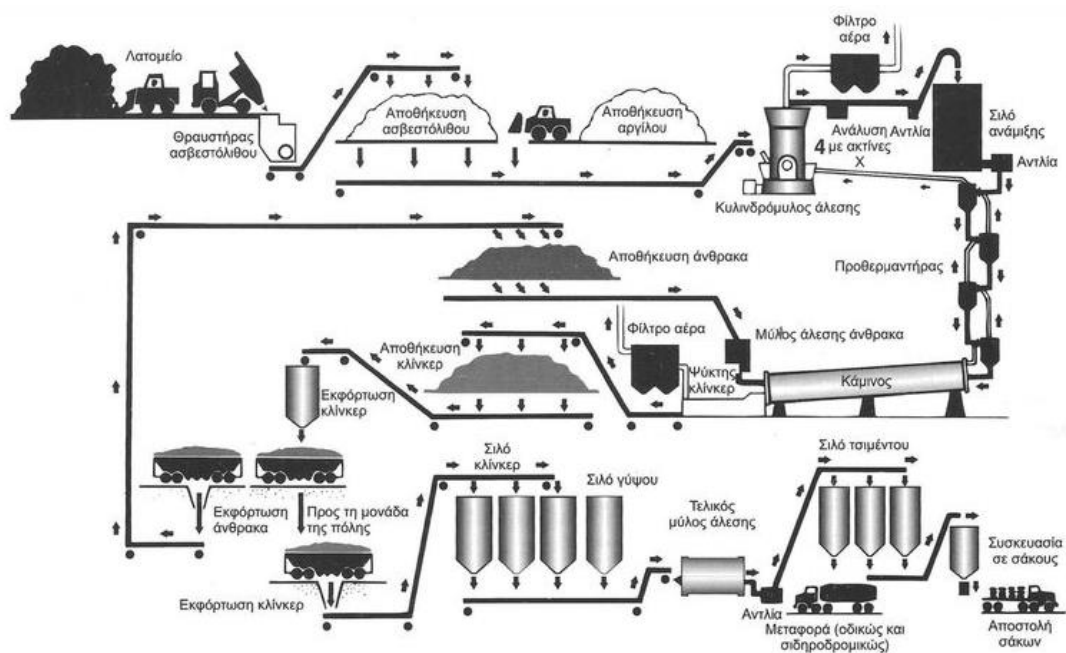
2.1 Τσιμέντο

Το τσιμέντο εμφανίστηκε για πρώτη φορά στα μέσα του 18ου αιώνα από τον Άγγλο J. Aspdin (Portland). Είναι η συνδετική ύλη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή κονιαμάτων και σκυροδεμάτων. Πιο συγκεκριμένα είναι ένα ανόργανο υλικό, που σε ανάμιξη με το νερό αποκτά σώμα και σχηματίζει μία πάστα όπου πήζει και σκληραίνει μέσω χημικών αντιδράσεων και διεργασιών ενυδάτωσης και τελικά αποκτά αντοχή και σταθερότητα. Τα τσιμέντα κατατάσσονται ανάλογα με την προέλευση τους σε τσιμέντα Portland, φυσικά τσιμέντα και αργιλικά τσιμέντα. Το πιο γνωστό και χρησιμοποιούμενο είναι το τσιμέντο Portland. Είναι ένα υδραυλικό τσιμέντο, το οποίο παράγεται με την κονιοποίηση των clinker. Τα clinker είναι κόνδυλοι διαμέτρου 5-25mm και αποτελούν ένα ετερογενές μίγμα πολλών ενώσεων ,παραγόμενες από τις αντιδράσεις σε υψηλές θερμοκρασίες, μεταξύ των οξειδίων του ασβεστίου, του πυριτίου, του αργίλου και του σιδήρου.

2.1.1 Παραγωγή τσιμέντου Portland

Τα βασικά συστατικά του τσιμέντου Portland είναι τα πυριτικά άλατα του ασβεστίου. Με βάση αυτά πρέπει να παραχθούν το ασβέστιο και το πυρίτιο στις κατάλληλες μορφές και αναλογίες. Για τη διευκόλυνση του σχηματισμού των ενώσεων στο clinker, το ακατέργαστο μίγμα πρέπει να ομογενοποιηθεί πριν τη θερμική του επεξεργασία. Συνεπώς τα υλικά υποβάλλονται σε μια σειρά διαδικασιών θραύσης, λείανσης και άλεσης, για τη δημιουργία της φαρίνας, μόρια μεγέθους μικρότερα των 75μm. Κατά την υγρή διαδικασία παραγωγής του τσιμέντου, η λείανση και η ομογενοποίηση στο ακατέργαστο μίγμα υλοποιούνται με τη μορφή πηλού, που εμπεριέχει 30-40 % νερό. Κατά τη ξηρή διαδικασία, το νερό από τον πηλό πρέπει να εξατμιστεί προτού δημιουργηθεί το clinker. Για την παραγωγή του clinker, οι κλίβανοι ξηρής διαδικασίας, που διαθέτουν πολυβάθμιας διαθεσιμότητας προ-θερμαστές, επιτρέπουν την αποδοτική ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ των καυτών αερίων και του ακατέργαστου μίγματος και απαιτούν ενέργεια από ορυκτό καύσιμο της τάξης των 800 kcal/kg clinker, εν αντιθέσει με τα περίπου 1400 kcal/kg που απαιτούνται στους κλίβανους της υγρής διαδικασίας. Η τελική λειτουργία της παραγωγή τσιμέντου Portland αποτελείται από την κονιοποίηση του clinker σε ένα μέγεθος κόκκου 10-15μm, η οποία πραγματοποιείται στους μύλους σφαιρών (μύλοι τελειώματος). Μαζί με το clinker συναλέθεται και μία ποσότητα γύψου ή θειικού άλατος

ασβεστίου της τάξεως του 5%, για να ελεγχθεί η πρόωρη πήξη και σκλήρυνση του τσιμέντου (Mehta and Monteiro, 2009).



Εικόνα 7: Διάγραμμα ροής της ξηράς διαδικασίας για την κατασκευή τσιμέντου Portland

2.1.2 Τύποι τσιμέντων

Τα τσιμέντα κατατάσσονται σε διάφορους τύπους και κατηγορίες, με βάση τη σύνθεσή τους, το βαθμό άλεσης και τα πρόσθετα υλικά τους. Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1, τα τσιμέντα κατηγοριοποιούνται στους παρακάτω τύπους:

- **Τσιμέντα Τύπου I (CEM I):** Αμιγώς Portland (clinker σε ποσοστό > 95%). Τσιμέντα, τα οποία προέρχονται από συνάλεση clinker και γύψου και στα οποία επιτρέπεται η προσθήκη μέχρι 3% προϊόντων προερχόμενων από θραύση ή κονιοποίηση φυσικών ή τεχνητών υλικών.
- **Τσιμέντα Τύπου II (CEM II):** Σύνθετα τσιμέντα Portland. Τσιμέντα, τα οποία προέρχονται από συνάλεση clinker, γύψου και φυσικής ή τεχνητής ποζολάνης, το ποσοστό της οποίας καθορίζεται από το αδιάλυτο υπόλειμμα του τσιμέντου, το οποίο δεν πρέπει να υπερβαίνει το 20%.
- **Τσιμέντα τύπου III (CEM III):** Σκωριακά τσιμέντα. Τσιμέντα τα οποία προέρχονται από συνάλεση clinker, γύψου και σκωρίας μόνο σε ποσοστά 36-95%.

- **Τσιμέντα τύπου IV (CEM IV):** Ποζολανικά τσιμέντα. Τσιμέντα, τα οποία προέρχονται από τη συνάλεση clinker, γύψου και ποζολάνης (φυσικής ή ψημένης), ιπτάμενη τέφρα (πυριτική ή ασβεστούχα) και πυριτικής παιπάλης
- **Τσιμέντα τύπου V (CEM V):** Σύνθετα τσιμέντα. Τσιμέντα, τα οποία προέρχονται από τη συνάλεση clinker, γύψου, σκωρίας και ποζολάνη σε ίσο ποσοστό και ιπτάμενη τέφρα σε ποσοστό 36-50 %, ενώ δεν μπορούν να περιέχουν πυριτική παιπάλη.

Πίνακας 2: Βασικοί τύποι τσιμέντου βάσει Ευρωπαϊκού Προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1

Τύπος τσιμέντου	Περιγραφή
CEM I	Κοινά τσιμέντα Portland
CEM II	Σύνθετα τσιμέντα Portland
CEM III	Σκωριακά τσιμέντα
CEM IV	Ποζολανικά τσιμέντα
CEM V	Σύνθετα τσιμέντα

2.1.3 Σύσταση Τσιμέντου

Τα κύρια δευτερεύοντα συστατικά, που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή σύνθετων τσιμέντων δίνονται παρακάτω με το χαρακτηριστικό κεφαλαίο λατινικό γράμμα που αναφέρεται σε κάθε ένα από αυτά: Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1 , τα κύρια συστατικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του τσιμέντου είναι τα εξής:

- S – blastfurnace slag (σκωρία υψικαμίνων)
- D – silica fume (ατμοί πυριτίας)
- P – natural pozzolana (φυσική ποζολάνη)
- Q – natural calcined pozzolana (φυσική ποζολάνη μετά από πύρωση)
- V – siliceous fly ash (πυριτική ιπτάμενη τέφρα)
- W – calcareous fly ash (ασβεστιτική ιπτάμενη τέφρα)
- L, LL – limestone (ασβεστόλιθος)
- T – burnt shale (τέφρα καύσης βιτουμενιούχων σχιστολίθων)
- M – two or more of the above (μείγμα των παραπάνω).'

Τα συστατικά, τα οποία κατατάσσονται ως δευτερεύοντα είναι είτε ανόργανα φυσικά ορυκτά υλικά, που προκύπτουν από την παραγωγή του clinker, είτε κάποια από τα κύρια, τα οποία δεν έχουν συμπεριληφθεί στην κατηγορία των κύριων συστατικών. Τα δευτερεύοντα προστίθενται συνήθως κατά την φάση της τελικής άλεσης της διαδικασίας παραγωγής και έως ένα ποσοστό το οποίο δεν ξεπερνά το 5% του βάρους του τσιμέντου.

2.1.4 Κατηγορίες αντοχής του τσιμέντου

Οι τρεις βασικές κατηγορίες αντοχών που κατατάσσονται τα τσιμέντα είναι:

32,5 MPa, 42,5 MPa και 52,5 MPa

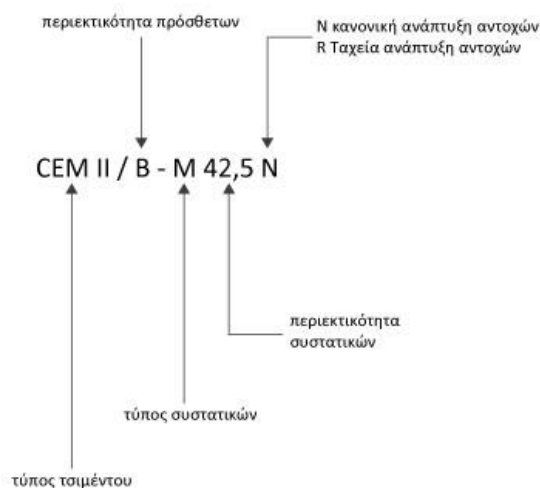
Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 196-1, τα τσιμέντα κατατάσσονται σε 6 κατηγορίες με βάση την αντοχή τους σε θλίψη. Κάθε κατηγορία ορίζεται από ένα κατώτατο και ένα ανώτερο όριο αντοχής σε θλίψη με ηλικία 28 ημερών, με το κατώτατο όριο να καθορίζει την κάθε κατηγορία. Επιπλέον, υπάρχουν και δύο υποκατηγορίες, η κανονική (N) και η ταχεία (R).

Πίνακας 3 Μηχανικές και φυσικές απαιτήσεις τσιμεντών βάσει Ευρωπαϊκού προτύπου

Κατηγορία αντοχής	Αντοχή σε θλίψη N/mm ²			Αρχικός χρόνος πήξης	Διόγκωση (Διαστολή)
	Αρχική αντοχή		Τυπική αντοχή - όρια		
	2 ημέρες	7 ημέρες			
32,5N	-	≥16	≥32,5 ≤52,5 ≥42,5 ≤62,5 ≥52,5	min ≥75 ≥60 ≥45	mm ≤10
32,5R	≥10	-			
42,5N	≥10	-			
42,5R	≥20	-			
52,5N	≥20	-			
52,5R	≥30	-			

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, ο συμβολισμός των διαφόρων τσιμεντών καθορίζεται με βάση το Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1 από:

- Τον κύριο τύπο τσιμέντου
- Το ποσοστό clinker.
- Τον τύπο του δεύτερου κύριου συστατικού.
- Την κατηγορία της αντοχής του.
- Το επίπεδο της πρώιμης αντοχής του.



Εικόνα 8: Ονοματολογία τσιμέντων βάσει του Ευρωπαϊκού προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1

2.1.5 Ενυδάτωση και πήξη του τσιμέντου

Η ανάμιξη του τσιμέντου με νερό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός πολτού (τσιμεντόπαστας), που εν συνεχεία γίνεται συμπαγής και σκληρός. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται πήξη. Η ταχύτητα πήξης είναι πολύ σημαντική για την πορεία μίας κατασκευής, λόγω του ότι δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ μεγάλη, γιατί έτσι θα χαθεί γρήγορα η εργασιμότητα του μίγματος, αλλά ούτε και πολύ αργή, γιατί θα καθυστερήσει τα επόμενα στάδια της κατασκευής και θα χαθεί πολύτιμος χρόνος.

Κατά την ένωσή του τσιμέντου με το νερό παράγεται θερμότητα (εξώθερμες αντιδράσεις), η οποία καλείται θερμότητα ενυδατώσεως και εξαρτάται από τη σύσταση του τσιμέντου. Τόσο ο ρυθμός όσο και το ποσό της θερμότητας που αναπτύσσεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου επηρεάζονται από τη σύσταση του, τη λεπτότητά του, αλλά και από τη θερμοκρασία ενυδατώσεως.

Ένας ακόμη παράγοντας, από τον οποίο εξαρτάται η ενυδάτωση του τσιμέντου είναι η λεπτότητά του, αφού όσο πιο αλεσμένο και λεπτόκοκκο είναι ένα τσιμέντο τόσο μεγαλύτερη θερμότητα ενυδάτωσης θα εμφανίσει, ενώ θα έχει και βελτιωμένη αντοχή σε σχέση με κάποιο λιγότερο λεπτόκοκκο. Η λεπτότητα στο τσιμέντο εκφράζεται ως ειδική επιφάνεια (επιφάνεια κόκκων τσιμέντου σε cm^2 ανά g τσιμέντου).

2.1.6 Υλικά αντικατάστασης τσιμέντου

Με την πάροδο του χρόνου, οι απαιτήσεις για μείωση του κόστους και παράλληλη βελτίωση των ιδιοτήτων του τσιμέντου οδήγησαν στην παραγωγή μιγμάτων τσιμέντου και άλλων πρόσθετων.

Φυσικές Ποζολάνες

Όλες οι φυσικές ποζολάνες εκτός από τη γη διατόμων προέρχονται από ηφαιστειογενή πετρώματα και ορυκτά. Η ταχεία ψύξη του μάγματος, κατά την διάρκεια της ηφαιστειακής έκρηξης, το οποίο αποτελείται κατά κύριο λόγο από αργιλοπυριτικά, συμβάλει στο σχηματισμό υάλου ή υαλωδών φάσεων με ακανόνιστη δομή. Εξαιτίας της ταυτόχρονης εκπομπής των διαλυμένων αερίων, όταν μάγμα στερεοποιείται, συχνά η στερεοποιημένη ύλη αποκτά πορώδη δομή μεγάλης φαινόμενης ειδικής επιφάνειας η οποία ενισχύει τη χημική δραστηριότητα των ποζολανών. Τα αργιλοπυριτικά τα οποία έχουν ακανόνιστη δομή είναι ασταθή στην έκθεση σε αλκαλικά διαλύματα, έτσι οι ηφαιστειογενείς ύαλοι παρουσιάζουν ποζολανική δραστηριότητα με την άσβεστο ή το τσιμέντο Portland σε υδατικό περιβάλλον.

Οι ποζολάνες από μόνες τους δεν έχουν τσιμεντοειδή συμπεριφορά, αλλά σε συνεργασία με το τσιμέντο και με την παρουσία υγρασίας δημιουργούνται ενώσεις σε κανονικές θερμοκρασίες οι οποίες έχουν τσιμεντοειδείς ιδιότητες (Luckman et al., 2008).

Είναι δύσκολο να ταξινομηθούν οι φυσικές ποζολάνες λόγω του ότι σπάνια περιέχουν μόνο ένα ενεργό συστατικό. Ωστόσο, αν λάβουμε υπόψη την κύρια παρουσία ενεργών συστατικών θα μπορούσαμε να τις ταξινομήσουμε σε ηφαιστειογενή υάλους, ηφαιστειογενή τόφφους, θερμικά κατεργασμένες αργίλους ή σχιστόλιθους και στη γη διατόμων (Παπαγιάννη, 2009).



Εικόνα 9: Δείγμα τσιμέντου και φυσικής ποζολάνης

Σκωρίες υψικαμίνων (Ground granulated blastfurnance slag – GGBS)

Η σκωρία υψικαμίνων ερευνήθηκε για πρώτη φορά ως συνδετική κονία μαζί με το τσιμέντο το 1957 από τον Mather και σε μορφή κόκκων το 1981 από τους Hogan και Meusel, ενώ εδώ και τριάντα χρόνια έχει τυποποιηθεί ως λειοτριβήμενη κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνων. Είναι δευτερεύοντα προϊόντα, που προέρχονται από την παραγωγή σιδήρου χύτευσης σε μία υψικάμινο. Η σκωρία υψικαμίνων δημιουργείται, όταν τα μεταλλεύματα σιδήρου λιώνουν μαζί με ασβεστόλιθο ή δολομίτη. Κατά την ολοκλήρωση της τήξης, το ασβέστιο στο τήγμα έχει συνδυαστεί με τα αργιλικά και πυριτικά άλατα του μεταλλεύματος και της τέφρα κωκ, ώστε να διαμορφωθεί η σκωρία υψικαμίνων, ένα προϊόν μη μεταλλικό. Οι σκωρίες υψικαμίνων σε λεπτό διαμερισμό έχουν παρόμοια συμπεριφορά με το τσιμέντο, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνες τους, μιας και κατά την ενυδάτωση παρουσιάζουν χαμηλό ποσοστό υδραυλικών προϊόντων. Όταν όμως συνεργάζεται με το τσιμέντο ο ρυθμός ενυδάτωσης βελτιώνεται λόγω του υδροξειδίου και του γύψου. Παρουσιάζουν παρόλα αυτά μία αξιολογική σειρά από πλεονεκτήματα, όπως η μείωση του απαιτούμενου νερού στο μίγμα, η μείωση των ρηγματώσεων λόγω θερμότητας ενυδάτωσης, η μείωση του πορώδους και της διείσδυσης χλωριόντων, ενώ αξίζει να αναφερθεί πως το κόστος τους είναι αρκετά χαμηλότερο από αυτό των τσιμεντών (Παπαγιάννη,2009).

Πυριτική παιπάλη (silica fume)

Η πυριτική παιπάλη, ή αλλιώς πτητική πυριτία ή microsilica ή συμπυκνωμένη πυριτική παιπάλη, είναι ένα παραπροϊόν των επαγωγικών τοξοτών κλιβάνων στις βιομηχανίες παραγωγής μετάλλων πυριτίου και σιδηροπυριτικών κραμάτων. Η παραγωγή της ξεκίνησε τη δεκαετία του 70 και η ζήτησή της αυξήθηκε κατακόρυφα ως υλικό αντικατάστασης του τσιμέντου μιας και τα σκυροδέματα που την περιείχαν εμφάνισαν υψηλότερη αντοχή και χαμηλότερη διαπερατότητα σε σχέση με αυτά που περιείχαν μόνο τσιμέντο.

Σε σύγκριση με το συμβατικό τσιμέντο Portland και την υπτάμενη τέφρα, μπορούμε να πούμε ότι η πυριτική παιπάλη εμφανίζει κατανομές σωματιδίων, οι οποίες είναι 100 φορές μικρότερες, κάτι από το οποίο μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η χρήση της συνεπάγεται και αύξηση του απαιτούμενου νερού στο μίγμα. Από την άλλη όμως βελτιώνεται σημαντικά η ποιότητα της διεπιφανειακής μεταβατικής ζώνης, ενώ το σφαιρικό σχήμα των κόκκων της, σε αντίθεση με το γωνιώδες σχήμα του τσιμέντου, συμβάλει στην βελτίωση της πληρωτικής ικανότητας του μίγματος

Αξίζει να αναφερθεί, πως έρευνες που έχουν γίνει για μίγματα UHPC έχουν δείξει ότι το βέλτιστο ποσοστό αντικατάστασης του τσιμέντου Portland από πυριτική παιπάλη κυμαίνεται

στο 20-30% και μπορεί να οδηγήσει σε αντοχές της τάξεως των 200 Μρα. Παρόλα αυτά, διαπιστώθηκε από Van et al., 2014, ότι η περιεκτικότητα εξαρτάται από το λόγο Νερού/Τσιμέντο στο μίγμα μιας και για χαμηλότερο λόγο Νερού/Τσιμέντο απαιτείται λιγότερη περιεκτικότητα πυριτικής παιπάλης. Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι η πυριτική παιπάλη μπορεί να συνεισφέρει στην αύξηση της θλιπτικής αντοχής, κυρίως σε μεγαλύτερες ηλικίες (Ma and Schneider, 2002).



Εικόνα 10: Δείγμα πυριτικής παιπάλης

2.2 Αδρανή Υλικά

2.2.1 Φυσικά Αδρανή

Τα αδρανή υλικά (aggregates) συνίστανται από μη θραυσμένες ή θραυστές φυσικές ή τεχνητές ορυκτές ύλες κατάλληλες για χρήση στο σκυρόδεμα. Διακρίνονται, σε κανονικού βάρους με πυκνότητα σωματιδίων μεταξύ 2000 και 3000 kg/m³, σε ελαφροβαρή αδρανή όταν η πυκνότητα είναι μικρότερη των 2000 kg/m³ και σε βαρέα αδρανή όταν η πυκνότητα είναι μεγαλύτερη των 3000 kg/m³.

Το σκυρόδεμα αποτελείται από αδρανή υλικά και κονία που χρησιμεύει ως συνδετική ύλη αυτών. Η ονομασία των αδρανών υλικών οφείλεται στο γεγονός ότι παραμένουν χημικά αδρανή, αντιθέτως με το τσιμέντο και το νερό, στη χημική δράση των οποίων οφείλεται η σκλήρυνση του σκυροδέματος. Τα αδρανή υλικά συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους και συμβάλλουν, μηχανικά μόνο, στην αντοχή του τελικού προϊόντος.

Ως αδρανή υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν, θεωρητικά, οποιαδήποτε υλικά συγκεντρώνουν τις τρεις βασικές απαιτήσεις: επαρκή αντοχή, επαρκή πρόσφυση και χημική ανεκτικότητα με την τσιμεντοκονία.

Το συγγενέστερο προς την τσιμεντοκονία υλικό είναι τα πετρώματα και γι αυτό κατά κανόνα ως αδρανή υλικά για την παρασκευή του κοινού τύπου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται συντρίμμια διάφορων πετρωμάτων. Τα πετρώματα είτε θραύονται τεχνητά (θραυστά), είτε συλλέγονται όπως βρίσκονται στη φύση (συλλεκτά). Τα καταλληλότερα πετρώματα είναι τα ασβεστολιθικά και τα πυριτικά (Φυσικά Αδρανή – Natural Aggregates). Αδρανή διαφορετικής προέλευσης χρησιμοποιούνται για ειδικά σκυροδέματα , όπως τα ελαφρά ή τα βαριά σκυροδέματα ή σκυροδέματα για ειδικούς σκοπούς.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών, που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι: η *αντοχή* τους (αντοχή του μητρικού πετρώματος), η *καθαρότητα* (η ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμικτων ουσιών οι κυριότερες εκ των οποίων είναι η παιπάλη, οι οργανικές προσμίξεις και οι θειούχες ενώσεις), η *πρόσφυση* με την κονία, η *χημική συμπεριφορά* τους με άλλα συστατικά του σκυροδέματος, η *κοκκομετρική τους διαβάθμιση* (σχήμα και μέγεθος των κόκκων) κ.α.

Τα τεμάχια μπορεί να είναι στρογγυλοί, κυβόμορφοι, γωνιώδεις, πλακόμορφοι ή επιμήκεις. Από πλευράς εργασιμότητας καλύτεροι είναι οι στρογγυλοί ή κυβόμορφοι κόκκοι ενώ από πλευράς μηχανικής αντοχής του σκυροδέματος, οι κόκκοι με ανώμαλη επιφάνεια. Δηλαδή συνολικά καλύτερα είναι τα θραυστά αδρανή με κόκκους που δεν είναι επιμήκεις και πλακοειδείς (Βαρδάκα , 2013).

Τα αδρανή υλικά ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

1. Άμμος με μέγεθος κόκκων μέχρι 2,5 mm.
2. Λεπτόκοκκα σκύρα με μέγεθος κόκκων από 2,5 mm μέχρι 30 mm.

Συγκεκριμένα:

- ριζάκι 2,5-7 mm
 - γαρμπίλι 7-14 mm
 - σκύρα 14-30 mm
3. Χονδρόκοκκα σκύρα με μέγεθος 30-70 mm (Brown 2002).

2.2.2 Κοκκομετρική σύνθεση ή διαβάθμιση αδρανών

Τα αδρανή είναι συνήθως μείγμα κόκκων διαφορετικού μεγέθους. Η κοκκομετρική τους σύνθεση παίζει σημαντικό ρόλο στη μελέτη σύνθεσης του σκυροδέματος. Καλά διαβαθμισμένα αδρανή με διαστάσεις κόκκων που καλύπτουν ολόκληρο το φάσμα, έχουν λιγότερα κενά από αυτά που είναι λιγότερο διαβαθμισμένα, δηλαδή έχουν κόκκους ομοιόμορφων διαστάσεων. Η μείωση του όγκου των κενών μειώνει τον απαιτούμενο τσιμεντοπολτό, με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους και αύξηση της ογκοσταθερότητας του σκυροδέματος. Με δεδομένη ποσότητα νερού ανά μονάδα όγκου, η εργασιμότητα και η συνοχή του μείγματος βελτιώνονται με την χρήση καλά διαβαθμισμένων αδρανών και με την παρουσία κάποιας ελάχιστης ποσότητας λεπτόκοκκου υλικού.

Η κοκκομετρική διαβάθμιση καθορίζεται με σειρά πρότυπων κόσκινων. Οι σειρές κόσκινων που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα και υιοθετούνται από το πρότυπο ΕΛΟΤ-408 και από τον Ν.Κ.Τ.Σ. είναι η γερμανική σειρά των DIN 4187 και 4188 και η αμερικανική σειρά κόσκινων της προδιαγραφής ASTM 11.

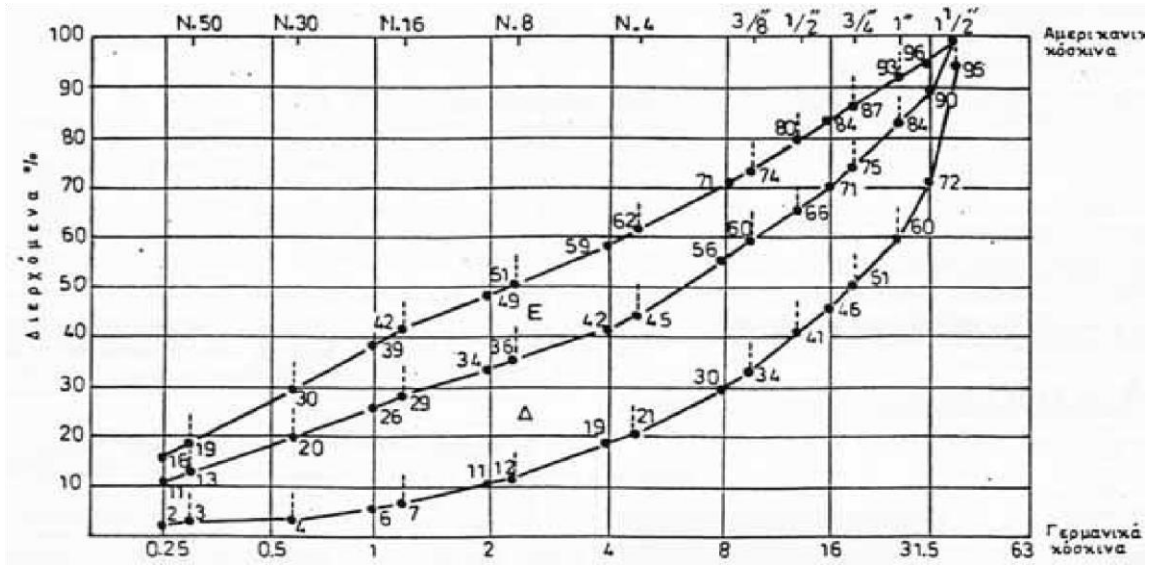
2.2.3 Καθορισμός κοκκομετρικής διαβάθμισης

Η κοκκομετρική διαβάθμιση καθορίζεται ως εξής: από τα ποσοστά κατά βάρος που συγκρατούνται σε κάθε κόσκινο, υπολογίζεται το ποσοστό που περνάει, δηλαδή το λεπτότερο από κάθε κόσκινο. Κατόπιν σχεδιάζεται η κοκκομετρική καμπύλη, με τις διαμέτρους των κόσκινων στον οριζόντιο λογαριθμικό άξονα και το ποσοστό που περνάει από κάθε κόσκινο, στον κατακόρυφο αριθμητικό άξονα. Ενώ ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής συνθέσεως του υλικού και η χάραξη της αντίστοιχης καμπύλης δεν παρουσιάζουν καμιά δυσκολία, πολύ δυσκολότερη είναι η αξιολόγηση και η εκτίμηση της καμπύλης αυτής και η εκλογή της καταλληλότερης, για κάθε περίπτωση, από άποψη ιδιοτήτων του σκυροδέματος. Για να ελαχιστοποιηθούν τα κενά στο μείγμα των αδρανών και αποφευχθεί η απόμειξη του μείγματος(δηλ. διαχωρισμός των κόκκων μιας διάστασης από το υπόλοιπο μείγμα), πρέπει η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών να είναι συνεχής.

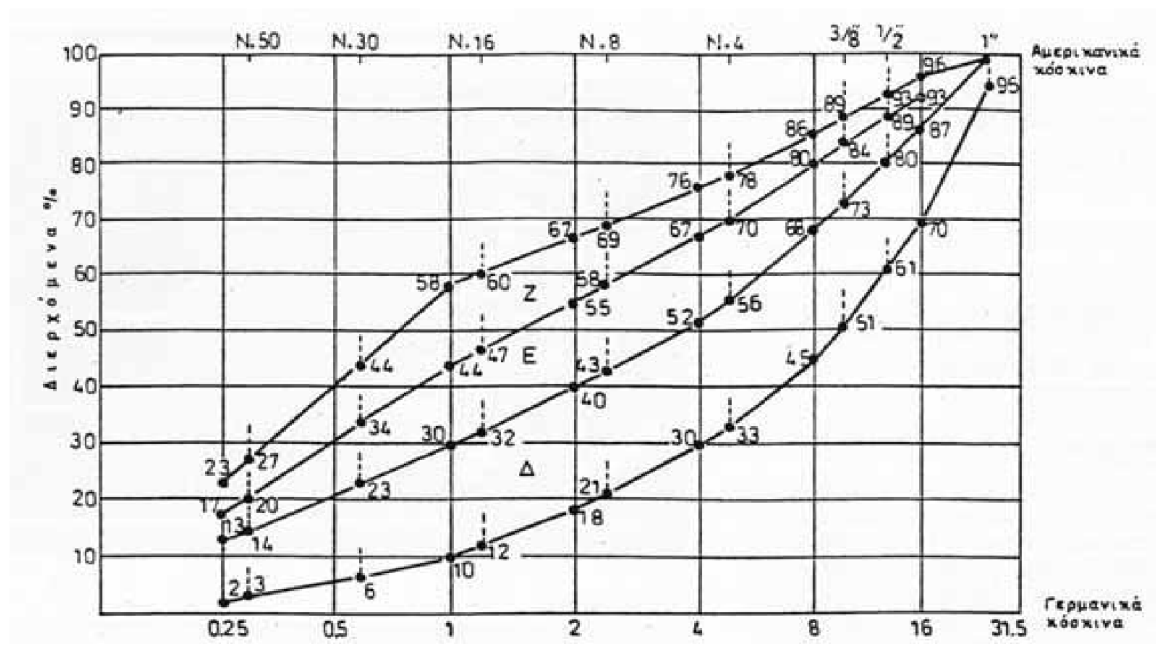
2.2.4 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών

Οι προδιαγραφές των διαφόρων χωρών καθορίζουν περιοχές κοκκομετρικών διαβαθμίσεων μέσα στις οποίες συνιστάται ή όχι να βρίσκονται κοκκομετρικές καμπύλες. Ο

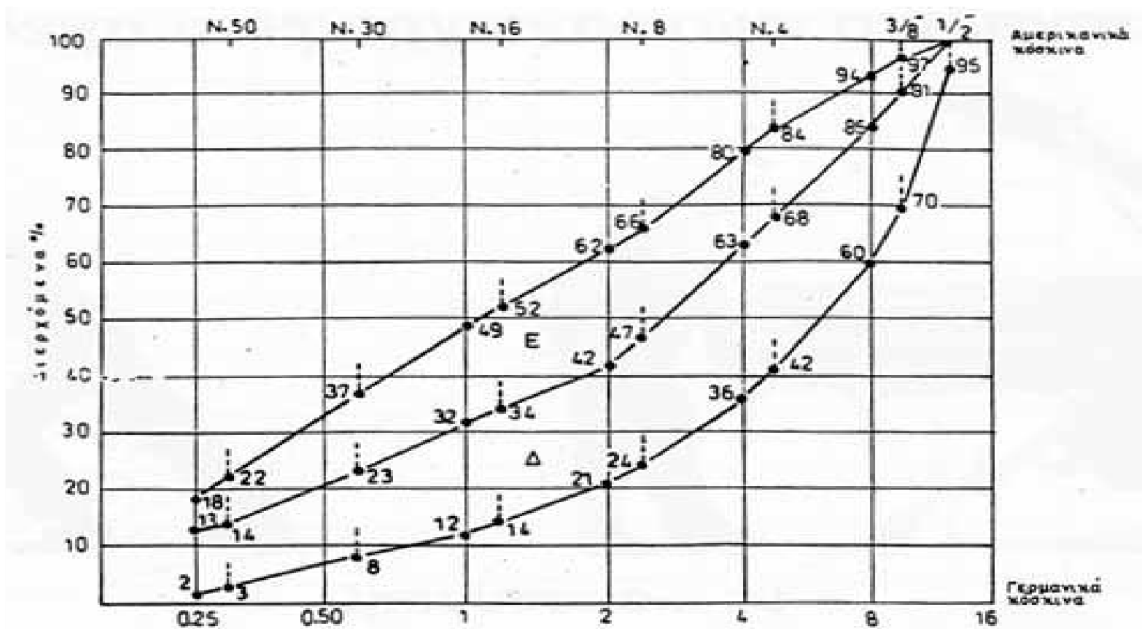
Ν.Κ.Τ.Σ ορίζει με βάση ξένες προδιαγραφές και με την μακρόχρονη εμπειρία με τα ελληνικά αδρανή τις περιοχές ή υποζώνες των διαγραμμάτων 1-4, και απαιτεί για σπλισμένο σκυρόδεμα η κοκκομετρική καμπύλη να βρίσκεται στην υποζώνη Δ.



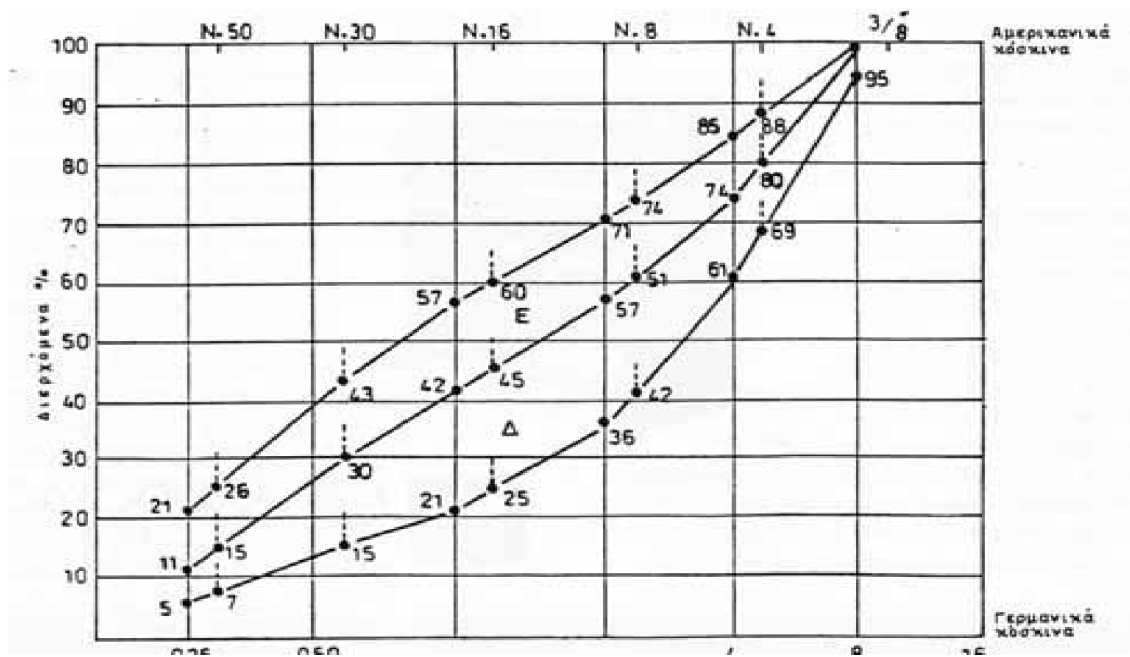
Εικόνα 11: Κοκκομετρική διαβάθμιση μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 63 mm ή 1 1/2".



Εικόνα 12: Κοκκομετρική διαβάθμιση μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 31,5 mm ή 1".



Εικόνα 13: Κοκκομετρική διαβάθμιση μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 16 mm ή 1/2".



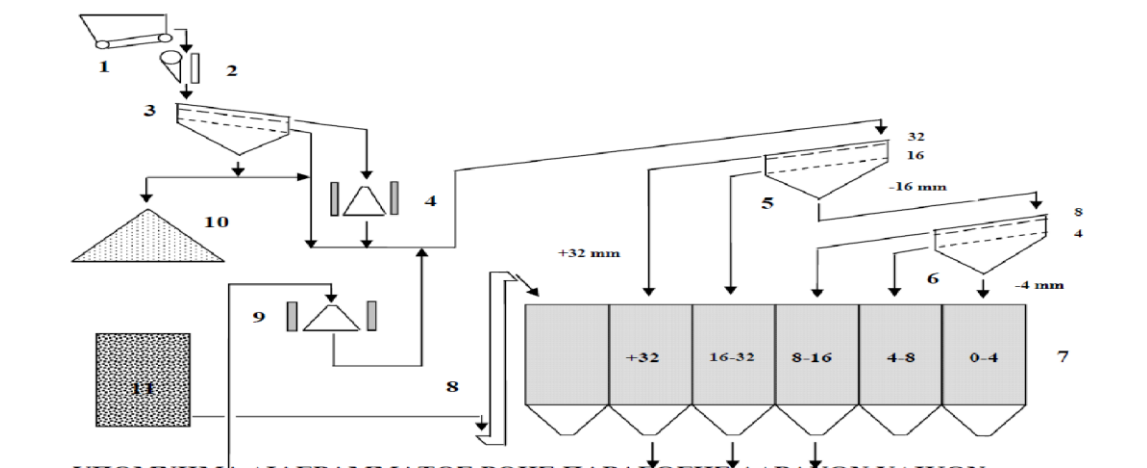
Εικόνα 14: Κοκκομετρική διαβάθμιση μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 8 mm ή 3/8".

2.2.5 Μέγιστος κόκκος

Το μέγεθος του μέγιστου κόκκου είναι η διάσταση του μικρότερου από την σειρά των κόσκινων από τη οποία περνάει το 95% τουλάχιστον της ποσότητας των αδρανών. Όσο μεγαλύτερος είναι ο μέγιστος κόκκος, τόσο μικρότερες είναι οι απαιτήσεις του σκυροδέματος

σε τσιμεντοπολτό, καθώς απαιτείται να διαβραχεί μικρότερη επιφάνεια αδρανών, και επομένως τόσο φθηνότερο είναι το σκυρόδεμα.

Εντούτοις η οικονομία σε τσιμέντο γίνεται ασήμαντη για μέγιστο κόκκο μεγαλύτερο από 75 mm, ενώ δυσκολεύεται σημαντικά η μεταφορά, η διάστρωση και η συμπύκνωση του σκυροδέματος. Για ογκώδη στοιχεία άοπλου σκυροδέματος συμφέρει η χρήση αδρανών με μεγάλο μέγιστο μέγεθος κόκκων, αλλά για συνηθισμένα μέλη πρέπει το μέγιστο μέγεθος κόκκου να είναι μικρότερο από το 1/3 της μικρότερης διάστασης του στοιχείου σε ισχνά σε τσιμέντο σκυροδέματα, η αντοχή αυξάνεται όταν ο μέγιστος κόκκος μεγαλώνει, ενώ το αντίθετο ισχύει για πλούσια σε τσιμέντο σκυροδέματα. Ανάλογα με το μέγιστο κόκκο των αδρανών ορίζονται και οι ζώνες Δ, Ε και Ζ των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων. Στην Ελλάδα ο μέγιστος κόκκος θραυστών αδρανών είναι συνήθως 31,5 mm. Παρουσιάζεται στην Εικόνα 3 το διάγραμμα παραγωγής αδρανών σκυροδέματος κατά Svedala Arbra (Τσακαλάκης, 2010).



Εικόνα 15: Διάγραμμα ροής μονάδας παραγωγής αδρανών σκυροδέματος (κατά Svedala Arbra).

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΡΟΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Α/Α ΜΗΧΑΝΗΜΑ

1. Τροφοδότης
2. Θραυστήρας σιαγόνων απλής ενέργειας
3. Κόσκινο (scalp screen)
4. Γυροσκοπικός θραυστήρας
5. Κόσκινο διπλού καταστρώματος (32 mm και 16 mm)

6. Κόσκινο διπλού καταστρώματος (8 mm και 4 mm)
7. Αποθήκες προϊόντων (silos)
8. Αναβατόριο
9. Κωνικός θραυστήρας
10. Σωρός υλικού 3A (συνήθως υλικό οδοστρωσίας)
11. Λεπτομερές υλικό φίλτρων

2.2.6 Ιδιότητες αδρανών υλικών

Όλα τα αδρανή είναι προϊόντα ελάττωσης μεγέθους από μεγαλύτερα τεμάχια μητρικού πετρώματος μέσω διαφόρων φυσικών (π.χ. αποσάθρωση, απόξεση, απολέπιση) ή τεχνητών μεθόδων (π.χ. θραύση ή κατάτμηση πετρωμάτων και ταξινόμηση κατά μέγεθος). Ως εκ τούτου, οι ιδιότητες των αδρανών εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τις ιδιότητες του μητρικού πετρώματος δηλαδή από:

1. Χημική και ορυκτολογική σύσταση
2. Πετρολογική προέλευση, που εκφράζεται με την πετρογραφική περιγραφή του
3. Ειδικό βάρος
4. Σκληρότητα
5. Αντοχή
6. Φυσικοχημική σταθερότητα (συμπεριφορά)
7. Πορώδες
8. Χρώμα κ.λπ.

Τα μεγέθη των τεμαχίων των αδρανών σκυροδέματος, όπως προαναφέρθηκε, κυμαίνονται από μερικές δεκάδες mm μέχρι μεγεθών περίπου 1/10 mm. Το μέγιστο μέγεθος αδρανών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές από σκυρόδεμα ποικίλει και εξαρτάται από την κατασκευή στην οποία θα χρησιμοποιηθούν. Σ' ένα μίγμα τεμαχίων (σύνθεση διαφορετικών μεγεθών) αδρανών, η ποσοστιαία % κατά βάρος κατανομή μεγέθους των τεμαχίων αναφέρεται ως "διαβάθμιση" (grading) και περιλαμβάνει επίσης ιδιότητες που δεν έχουν άμεση σχέση με το μητρικό πέτρωμα όπως:

1. Μέγεθος και σχήμα τεμαχίων
2. Επιφανειακή δομή (υφή)
3. Απορροφητικότητα (πορώδες αδρανών)
4. Κατάσταση κορεσμού των τεμαχίων .

2.3 Εναλλακτικά Αδρανή

Τα τελευταία χρόνια, πολλοί λόγοι, με κυριότερους την προστασία του περιβάλλοντος και την αειφόρο ανάπτυξη, έχουν αναδείξει τη χρήση και εναλλακτικών αδρανών προϊόντων στην θέση των παραδοσιακών φυσικών ασβεστολιθικών, είτε ως μέρος υποκατάστασης των τελευταίων είτε και ως εξ' ολοκλήρου εναλλακτικών αυτών. Δύο τέτοια χαρακτηριστικά παραδείγματα εναλλακτικών αδρανών, όπως είναι η σκωρία χάλυβα και τα οικοδομικά απόβλητα που χρησιμοποιήθηκαν και στο πειραματικό μέρος της παρούσας διατριβή , παρουσιάζονται συνοπτικά στις επόμενες παραγράφους.

2.3.1 Σκωρία Χάλυβα

Η βιομηχανία κατεργασίας χάλυβα θεωρείται από τις πιο ρυπογόνες βιομηχανίες στον κόσμο, όχι μόνο από την άποψη της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά κυρίως από τα βιομηχανικά παραπροϊόντα που απορρέουν από τις γραμμές παραγωγής. Παρόλα αυτά οι καινοτόμες τεχνολογίες δε μείωσαν δραστικά μόνο τις ενεργοβόρες δραστηριότητες και τους ρύπους αλλά παράλληλα έδωσαν λύση σε ένα οξύ περιβαλλοντικό πρόβλημα μετατρέποντας τη σκωρία σε προϊόν υψηλών προδιαγραφών.

Η σκωρία ηλεκτρικού κλιβάνου είναι ένα παραπροϊόν της μεταλλουργικής βιομηχανίας. Προκύπτει από την τήξη σε ηλεκτρικό κλίβανο (Electric Arc Furnace - EAF) παλαιοσιδήρου (ferrous scrap), το οποίο αποτελεί την πρώτη ύλη για την παραγωγή οικοδομικού χάλυβα. Η σκωρία του ηλεκτρικού κλιβάνου είναι ένα βιομηχανικά ληφθέν τεχνητό πέτρωμα, του οποίου η χημική σύνθεση, η ορυκτολογική σύσταση και οι μηχανικές ιδιότητες είναι ανάλογες των μαγματικών πετρωμάτων (π.χ. Βασάλτης ή γρανίτης). Σύμφωνα με την (ASTM), η σκωρία ορίζεται ως ένα μη μεταλλικό προϊόν που αποτελείται κυρίως από πυριτικές ενώσεις του ασβεστίου ενωμένες με τηγμένα οξειδία σιδήρου, αλουμινίου, ασβεστίου και μαγνησίου και

παράγεται ταυτόχρονα με τον χάλυβα μέσα σε κλίβανο. Διακρίνεται όμως από τις τέφρες, που αποτελούν κατάλοιπα καύσης.

Η ποσότητα που παράγεται στα χαλυβουργεία, ως παραπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας, αποτελεί ποσοστό περίπου 7% - 12% επί της συνολικής ποσότητας τροφοδοσίας του κλιβάνου με αποτέλεσμα οι μεταλλουργικές σκωρίες να είναι ένα από τα μεγαλύτερα σε ποσότητα βιομηχανικά παραπροϊόντα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι κατά το έτος 2000 η συνολική παραχθείσα ποσότητα σκωριών στην Γερμανία, συμπεριλαμβανομένων και των σκωριών υψικαμίνων, ήταν περίπου πέντε εκατομμύρια τόνοι, ενώ η υπολογίζεται ότι η συνολική ποσότητα στην Ελλάδα είναι περίπου 400.000 τόνοι.

Εν αντιθέσει με τα συνήθως γραφόμενα η Ελλάδα δεν μπορεί να θεωρηθεί ουραγός στην ανακύκλωση σκωριών. Αντιθέτως η συγκεκριμένη ανακύκλωση βρίσκει ιδιαίτερη ανταπόκριση στην Ελλάδα σε σύγκριση με λοιπές ευρωπαϊκές χώρες (Ισπανία, Ιταλία, Γερμανία) και μάλιστα σε προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας. Το κύριο πλεονέκτημα της σωστά επεξεργασμένης σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου είναι οι άριστες μηχανικές ιδιότητες που ικανοποιούν πλήρως τις εγχώριες προδιαγραφές αδρανών για την κατασκευή επιφανειακών επιστρώσεων και συγκεκριμένα αντιολισθηρών ταπήτων. Η χρήση των συγκεκριμένων αδρανών στην οδοποιία και δη σε οδούς ταχείας κυκλοφορίας, αυτοκινητόδρομους και γενικότερα σε οδούς με μεγάλες απαιτήσεις αντίστασης σε ολίσθηση συντελεί στην αναβάθμιση του οδικού δικτύου στον τομέα της ασφάλειας. Η ποιότητα δε των οδοστρωμάτων αυτών είναι εφάμιλλη ποιοτικά των δικτύων αυτοκινητοδρόμων στις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες.

Τα αδρανή σκωρίας έχουν χρησιμοποιηθεί με μεγάλη επιτυχία σε όλους τους τύπους. Κατεχοχρήν παραδείγματα αποτελούν οι εφαρμογές στην Εγνατία Οδό.

Σε κάθε χαλυβουργείο στην Ελλάδα παράγονται τρία είδη σκωριών, η σκωρία ηλεκτρικού κλιβάνου (electric arc furnace slag), η σκωρία κάδων (ladle slag) και η σιδηρούχα σκωρία (mill scale). Ένα είδος σκωρίας, η σκωρία ηλεκτρικού κλιβάνου (EAF slag), κατόπιν ειδικής επεξεργασίας δύναται να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή ποιοτικών αδρανών, κατάλληλων για χρήση σε σκυρόδεμα, ποιοτικά ανώτερων των φυσικών σκληρών αδρανών (Λιάπης και Στρατής, 2010).

2.4 Πρόσμικτα

Τα προσμικτα (admixtures) είναι χημικά πρόσθετα που προστίθενται στο σκυρόδεμα κατά την κατασκευή για να βελτιώσουν ή να τροποποιήσουν τις ιδιότητες του. Υπάρχουν διάφοροι τύποι πρόσμικτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τις ανάγκες και τις εφαρμογές του σκυροδέματος. Ορισμένα από τα κοινά πρόσμικτα που χρησιμοποιούνται είναι:

1. **Πρόσμικτα πλαστικότητας:** Χρησιμοποιείται για να βελτιώσει την εργασιμότητα και τη ρευστότητα του σκυροδέματος, καθιστώντας το πιο ευκίνητο και ευαίσθητο στη δόνηση.
2. **Πρόσμικτα επιτάχυνσης:** Τα επιταχυντικά πρόσμικτα χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που πρέπει να αναπτυχθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα οι αυξημένες αρχικές αντοχές. Επίσης, βελτιώνουν την ταχύτητα ενυδάτωσης του τσιμέντου, αυξάνουν το χρόνο πήξης και σκλήρυνσης, καθώς και την αρχική αντοχή του. Ωστόσο, ένα σημαντικό μειονέκτημα τους είναι ότι η χρήση τους προκαλεί μείωση της τελικής αντοχής του σκυροδέματος.
3. **Πρόσμικτα επιβράδυνσης:** Σε αντίθεση με τα επιταχυντικά πρόσμικτα, τα επιβραδυντικά χρησιμοποιούνται για να επιβραδύνουν την ενυδάτωση του τσιμέντου και συνεπώς ο χρόνος πήξης και σκλήρυνσης του μειώνεται. Η διατήρηση της εργασιμότητας είναι εφικτή και έτσι ο χρόνος για την μεταφορά και την διάσπρωση του σκυροδέματος αυξάνεται. Τέλος, η αρχική αντοχή του σκυροδέματος φαίνεται μειωμένη, αλλά η τελική αντοχή του δεν επηρεάζεται.
4. **Πρόσμικτα αδρανοποίησης:** Χρησιμοποιούνται για να εισάγουν μικροσκοπικές παγίδες αέρα στο σκυρόδεμα, βελτιώνοντας την αντοχή του σε παγετό και για να αυξήσουν την αδιαπερατότητα του σκυροδέματος στο νερό, μειώνοντας τη διείσδυση.
5. **Στεγανοποιητικά πρόσμικτα:** Τα στεγανοποιητικά πρόσμικτα χρησιμοποιούνται για την μείωση της ποσότητας του νερού, ώστε να αυξηθεί η στεγανότητα του σκυροδέματος, και έχουν τη δυνατότητα να μειώνουν σημαντικά το ποσοστό των τριχοειδών αγγείων και των πόρων. Τέλος, είναι δυνατόν ο χρόνος για την εξέλιξη της πήξης να μεταβληθεί και η αντοχή του σκυροδέματος να μειωθεί. υγρών.
6. **Πρόσμικτα για το σκυρόδεμα υπό πίεση:** Τα πρόσμικτα για το σκυρόδεμα υπό πίεση χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της ρευστότητας του και για την αύξηση της αντοχής του στον παγετό.

Εν κατακλείδι, τα πρόσμικτα μπορούν να προστεθούν στο σκυρόδεμα για να βελτιωθούν οι επιδόσεις του και να προσαρμοστούν σε συγκεκριμένες απαιτήσεις εφαρμογών.

2.5 Νερό

Το νερό αποτελεί ένα σημαντικό συστατικό στη σύνθεση του σκυροδέματος. Χρησιμοποιείται για να αναμειχθεί με το τσιμέντο, την άμμο και τα αδρανή υλικά, προκειμένου να δημιουργηθεί μια ομοιογενής πάστα που σκληραίνει με τον χρόνο και αποκτά αντοχή.

Η ποσότητα του νερού που προστίθεται στη σύνθεση του σκυροδέματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η τύπος του τσιμέντου, οι κλιματολογικές συνθήκες και οι απαιτήσεις αντοχής του κατασκευαστικού έργου. Ωστόσο, η προσθήκη υπερβολικής ποσότητας νερού μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη αντοχή και ποιότητα του σκυροδέματος.

Στη διαδικασία του αναμίξεως, το νερό αναμειγνύεται με το τσιμέντο για να αρχίσει η χημική αντίδραση του. Αυτή η αντίδραση είναι υπεύθυνη για τη σκλήρυνση και την ανάπτυξη της αντοχής του σκυροδέματος. Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης, το νερό ενεργοποιεί το τσιμέντο, δημιουργώντας κρύσταλλους που πλέκονται μεταξύ των σωματιδίων των αδρανών υλικών για να σχηματίσουν μια σκληρή μάζα.

Συνολικά, το νερό είναι ζωτικής σημασίας για την κατασκευή σκυροδέματος, καθώς επιτρέπει την ανάπτυξη της αντοχής και τη δημιουργία μιας σταθερής και ανθεκτικής ύλης. Ωστόσο, είναι σημαντικό να τηρούνται οι συνιστώμενες αναλογίες νερού προς υλικά για να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα και αντοχή του σκυροδέματος.

2.5.1 Πιθανές πηγές νερού στο σκυρόδεμα

Το νερό που εισάγεται στο μίξερ κατά την παρασκευή του σκυροδέματος είναι η κύρια πηγή νερού αλλά όχι η μοναδική.

- Τα αδρανή τις περισσότερες φορές δεν είναι ξηρά με αποτέλεσμα να περιέχουν μία σημαντική ποσότητα νερού. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο ο υπολογισμός της υγρασίας των αδρανών πριν τη δημιουργία του μίγματος ώστε να αφαιρείται και η αντίστοιχη ποσότητα νερού. Επιπλέον πρέπει να ελέγχεται η ποιότητα του νερού που περιέχουν για πιθανή επιβλαβή στοιχεία.

- Νερό περιέχεται και σε κάποιους τύπους χημικών πρόσμικτων και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε περίπτωση που επηρεάζει το λόγο νερού τσιμέντου περισσότερο από 0,01.

2.5.2 Ποιότητα νερού

Η ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται κατά τη δημιουργία του αναμίγματος παίζει σημαντικό ρόλο για την τελική ποιότητα του σκυροδέματος. Μεγάλη ποσότητα ακαθαρσιών στο νερό του μίγματος μπορεί να επηρεάσουν τους χρόνους πήξης και τις τελικές αντοχές του σκυροδέματος. Επιπλέον μπορεί να δημιουργηθούν αποθέσεις αλάτων στην επιφάνεια διάστρωσης και να διαβρώσει τον οπλισμό της κατασκευής, Κάθε χώρα διέπεται από αντίστοιχούς κανονισμούς και πρότυπα που αφορούν την ποιότητα του νερού.

Η καταλληλότητα του νερού ανάμιξης για παραγωγή σκυροδέματος εξαρτάται από την προέλευσή του. Όπως προδιαγράφεται από το πρότυπο ΕΛΟΤ 345, το νερό ανάμιξης όπως και το νερό συντήρησης δεν θα πρέπει να περιέχει συστατικά που θα έχουν δυσάρεστες συνέπειες στην αντοχή και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος και του οπλισμού του. Το Πρότυπο EN 1008 κατηγοριοποιεί τους ακόλουθους τύπους:

- Πόσιμο νερό: Κατάλληλο για σκυρόδεμα, δεν απαιτείται έλεγχός του.
- Νερό που έχει ανακτηθεί μετά από επεξεργασία σε βιομηχανίες παραγωγής σκυροδέματος (π.χ. νερά εκπλύσεων). Γενικώς κατάλληλο για σκυρόδεμα, αλλά 18 πρέπει να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του παραρτήματος Α του Προτύπου (π.χ. το επιπλέον βάρος στερεών από νερά προερχόμενα από τέτοιου είδους επεξεργασίες, πρέπει να είναι μικρότερο από 1% του ολικού βάρους των αδρανών που περιέχονται στο μίγμα
- Υπόγεια ύδατα: Μπορεί να είναι κατάλληλα για σκυρόδεμα, αλλά πρέπει πρώτα να ελεγχθεί η καταλληλότητά τους.
- Θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άοπλο σκυρόδεμα, αλλά δεν είναι κατάλληλο για οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα. Το μέγιστο επιτρεπόμενο περιεχόμενο σε χλώριο στο σκυρόδεμα πρέπει να τηρείται για σκυρόδεμα με χαλύβδινο οπλισμό.
- Νερό φυσικών πόρων και νερό βιομηχανικών διεργασιών : Μπορεί να είναι κατάλληλα για σκυρόδεμα, αλλά πρέπει πρώτα να ελεγχθεί η καταλληλότητά τους.

- **Νερά αποβλήτων:** Δεν είναι κατάλληλα για σκυρόδεμα. Συνδυασμός υδάτων που προέρχεται από μίγμα υδάτων μετά από επεξεργασίες σε βιομηχανίες παραγωγής σκυροδέματος και από νερό άλλης προελεύσεως θα πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις για την καταλληλότητα του νερού.

2.5.3 Προκαταρκτικοί έλεγχοι σύμφωνα με το EN 1008

Το νερό πρέπει πρώτα να αναλυθεί για ίχνη λιπαρών ουσιών και ελαίων, αφρογόνες ουσίες (απορρυπαντικά!), αιωρούμενα συστατικά, οσμές (π.χ. χωρίς οσμή υδρόθειου μετά από προσθήκη υδροχλωρικού οξέος), οξύτητα ($pH \geq 4$) και χημικές ενώσεις. Νερό που δεν πληροί μία ή περισσότερες απαιτήσεις του Πίνακα 1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο εάν ικανοποιεί τις ακόλουθες προδιαγραφές σε περιεκτικότητα χημικών ουσιών και εάν η χρήση του δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στο χρόνο πήξης και την ανάπτυξη αντοχών.

2.5.4 Χημικές ουσίες

Χλώριο

Το περιεχόμενο του νερού σε χλώριο δεν πρέπει να υπερβαίνει τα επίπεδα που περιλαμβάνονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 4: Επιτρεπτά όρια σε χλωριόντα. (EN 1008)

Τελική χρήση	Μέγιστο περιεχόμενο σε χλωριόντα mg/L
Προεντεταμένο σκυρόδεμα ή κονίαμα χυτών αγκυρώσεων	500
Σκυρόδεμα με οπλισμό ή εμβαπτισμένα μεταλλικά στοιχεία	1000
Σκυρόδεμα χωρίς οπλισμό	4500

Θειικά ιόντα

Το περιεχόμενο του νερού σε θειικά δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2000 mg/L.

Επιβλαβείς ρύποι

Πρέπει πρωτίστως να διεξαχθούν ποιοτικοί έλεγχοι για σάκχαρα, φωσφορικά οξείδια, νιτρικά οξέα, μόλυβδο και ψευδάργυρο. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα είναι θετικά πρέπει είτε να καθορισθεί το περιεχόμενο ποσοστό της εντοπισμένης ουσίας, είτε να διεξαχθούν έλεγχοι για το χρόνο πήξης και τη θλιπτική αντοχή.

Πίνακας 5: Μέγιστες ανεκτές περιεκτικότητες σε επιβλαβείς ρύπους

Ουσία	Μέγιστο περιεχόμενο σε mg/
Σάκχαρα	100
Φωσφορικά άλατα, εκφρασμένα σε P ₂ O ₅	100
Νιτρικά άλατα, εκφρασμένα σε NO ₃	500
Μόλυβδος, εκφρασμένος σε Pb ²⁺	100
Ψευδάργυρος, εκφρασμένος σε Zn ²⁺	100

Χρόνος πήξης και αντοχές

Η αρχή της πήξης κατά τον έλεγχο των δοκιμών με το νερό πρέπει να γίνει το νωρίτερο σε 1 ώρα και δεν πρέπει να διαφέρει περισσότερο από 25% από τον αρχικό χρόνο πήξης σε δοκίμια με απιονισμένο ή αποσταγμένο νερό. Η ολοκλήρωση της πήξης δεν πρέπει να ξεπερνά τις 12 ώρες και δεν πρέπει να διαφέρει περισσότερο από 25% από το χρόνο ολοκλήρωσης της πήξης σε δοκίμια με απιονισμένο ή αποσταγμένο νερό. Η μέση θλιπτική αντοχή μετά από 7 ημέρες σε δοκίμια που έχουν παραχθεί με τη συγκεκριμένη ποιότητα νερού πρέπει να φτάνει τουλάχιστον το 90% της θλιπτικής αντοχής αντίστοιχων δοκιμών που έχουν παραχθεί με απιονισμένο ή αποσταγμένο νερό.

2.6 Το Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα είναι δομικό υλικό που παράγεται με την ανάμειξη αδρανών υλικών, τσιμέντου, νερού και πρόσθετων (για βελτίωση των ιδιοτήτων του κατά τη παραγωγή και χύτευση αλλά και όταν σκληρυνθεί). Με τη σημερινή του μορφή χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά

στις αρχές του 20ου αιώνα, ενώ μετά το 1950 η χρήση του γενικεύτηκε, καθιστώντας το σήμερα το κυριότερο, παγκοσμίως, υλικό κατασκευών μαζί με το χάλυβα, ως οπλισμένο σκυρόδεμα.

Οι διαφορετικές ιδιότητες των πρώτων υλών που αναμιγνύονται στη παραγωγή του σκυροδέματος (μάζα, όγκος, φυσικοχημικά χαρακτηριστικά) ανάγουν την παραγωγή σκυροδέματος σε μία εξαιρετικά πολύπλοκη και σύνθετη διαδικασία. Οι αυστηρές διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος του 1997 (Κ.Τ.Σ. 97) προβλέπουν τις ελάχιστες δοσολογίες των πρώτων υλών ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της προβλεπόμενης εφαρμογής του σκυροδέματος, όπως η εργασιμότητα, η αντοχή, η πλαστιμότητα, το περιβάλλον στο οποίο εκτίθεται, η απόδοση και διάρκεια ζωής της κατασκευής. Εξαιτίας της έντονης σεισμικής δραστηριότητας που σημειώνεται στη χώρα μας, τόσο η διαδικασία παραγωγής όσο και η τελική ενσωμάτωση του σκυροδέματος στις κατασκευές διέπονται από τον εξαιρετικά απαιτητικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ. 97), ο οποίος ισχύει σήμερα καλύπτοντας τις απαιτήσεις για σύγχρονες ασφαλείς και αντισεισμικές κατασκευές.

Θεωρείται το οικονομικότερο και ασφαλέστερο οικοδομικό υλικό, με εξαιρετική σχέση κόστους - παρεχόμενων ιδιοτήτων και για το λόγο αυτό είναι αναντικατάστατο. Είναι εξαιρετικά εύπλαστο υλικό, αφού μπορεί, όταν είναι νωπό, να λάβει οποιαδήποτε μορφή, χαρακτηρίζεται δε από ιδιαίτερες ιδιότητες που προσφέρουν ανθεκτικότητα και προστασία από διάφορα επιθετικά περιβάλλοντα έκθεσης. Χάρη στη μεγάλη ευελιξία του είναι το πιο εύχρηστο δομικό υλικό, αλλά ταυτόχρονα με τη μικρότερη διάρκεια ζωής καθώς πρέπει να χρησιμοποιηθεί το αργότερο εντός μίας ώρας και τριάντα λεπτών από τη παραγωγή του.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις εφαρμογές του έργου. Ορισμένοι από τους κύριους τύπους σκυροδέματος περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Σκυρόδεμα κανονικής αντοχής (Normal Strength Concrete): Αυτό είναι το καθολικά χρησιμοποιούμενο σκυρόδεμα που έχει συνήθως αντοχή στη συμπίεση από 20 MPa έως 40 MPa. Χρησιμοποιείται για κατασκευές κτιρίων, γεφυρών, οδοστρωμάτων και άλλων δομών.
2. Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής (High Strength Concrete): Αυτό το σκυρόδεμα έχει υψηλότερη αντοχή στη συμπίεση από 40 MPa έως 80 MPa ή ακόμη και υψηλότερη. Χρησιμοποιείται για απαιτητικές κατασκευές όπως γέφυρες υψηλής αντοχής, πυλώνες, πολυώροφα κτίρια και άλλες ειδικές εφαρμογές.

Κατηγορίες αντοχής

Για τη μελέτη και κατασκευή των έργων χρησιμοποιούνται οι κατηγορίες σκυροδέματος του πίνακα του ΚΤΣ-97, όπου ο πρώτος αριθμός κάθε κατηγορίας ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή εκφραζόμενη σε MPa που διαπιστώνεται όταν ο έλεγχος γίνεται με κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 15 και ύψους 30 cm και ο δεύτερος την χαρακτηριστική αντοχή όταν ο έλεγχος γίνεται με κυβικά δοκίμια ακμής 15 cm.

Πίνακας 6: Μέγιστες ανεκτές περιεκτικότητες σε επιβλαβείς ρύπους

Κατηγορία σκυροδέματος	F_{ck} κυλίνδρου(MPa)	F_{ck} κύβου(MPa)
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	10	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60

Κατηγορίες ανθεκτικότητας

Οι κατηγορίες ανθεκτικότητας εκφράζουν την αντοχή του σκυροδέματος στην διάρκεια του χρόνου και την ικανότητά του να ανταπεξέρχεται ικανοποιητικά στην έκθεσή του σε εξωτερικό περιβάλλον, περισσότερο ή λιγότερο βλαπτικό ή διαβρωτικό, περιλαμβάνονται στον ΚΤΣ-97 και στις συστάσεις του ΕΛΟΤ EN 206-1 και απαιτούν έλεγχο στους εξής παράγοντες:

1. Ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου (cement content)
2. Λόγος Νερού προς Τσιμέντο (Water / Cement ratio)
3. Συμπύκνωση-Δόνηση σκυροδέματος (Compaction)

4. Συντήρηση σκυροδέματος (Curing)
5. Πάχος της στρώσεως της επικάλυψης οπλισμού (Cover)

Κατηγορίες περιβαλλοντικής έκθεσης

1. Περιβάλλον διαβρωτικό με χλωριόντα, σε θαλάσσιο περιβάλλον
2. Περιβάλλον με κίνδυνο από ενανθράκωση
3. Επιχρισμένο ή ανεπίχριστο
4. Περιβάλλον με κίνδυνο από δράση θεικών
5. Περιβάλλον με κίνδυνο παγοπληξίας
6. Εσωτερικό / εξωτερικό χώρο

Πίνακας 7: Συνιστώμενες οριακές τιμές για την σύνθεση και ιδιότητες σκυροδέματος, ΕΛΟΤ EN 206-1

Κατηγορίες έκθεσης																		
Κανένας κίνδυνος διάβρωσης ή προσβολής	Διάβρωση από ενανθράκωση				Διάβρωση από χλωριόντα						Προσβολή από παγετό (εναλλαγές ψύξης/απόψυξης)				Χημικώς διαβρωτικά περιβάλλοντα			
					Θαλασσινό νερό			Χλωριόντα διαφορετικά από το θαλασσινό νερό										
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XG1	XG2	XG3	XG4	XA1	XA2	XA3
Μέγιστος λόγος νερό/τσιμέντο	—	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Ελάχιστη κατηγορία Αντοχής	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/15	C35/15	C30/37	C30/37	C35/15	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/15
Ελάχιστη περιεκτικότητα σε τσιμέντο (kg/m ³)		260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Ελάχιστη περιεκτικότητα σε αέρα (%)													4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a			
Άλλες απαιτήσεις													Αδρανές σύμφωνα με το prFN 12620:2000 με επαρκή αντίσταση στον παγετό (εναλλαγές ψύξης/απόψυξης)				Τσιμέντο ανθεκτικό στα θεικά ^b	

^a Όταν δεν εγκλιματίζεται σκόπιμα αέρας στο σκυρόδεμα, η επιτελεστικότητα του σκυροδέματος ελέγχεται με κατάλληλη μέθοδο σε σύγκριση με σκυρόδεμα του οποίου η αντοχή σε ψύξη/απόψυξη για την αντίστοιχη κατηγορία έκθεσης είναι αποδεδειγμένη.

^b Όταν η ύπαρξη SO₂² οδηγεί σε κατηγορία XA2 και XA3, τότε είναι απαραίτητη η χρήση τσιμέντου ανθεκτικού σε θειικά. Εφόσον γίνεται ταξινόμηση τσιμέντου σε σχέση με την ανθεκτικότητα σε θειικά, τότε για την κατηγορία XA2 (και την κατηγορία XA1 εφόσον είναι εφαρμοσίμο) πρέπει να χρησιμοποιείται τσιμέντο με μέση ή υψηλή ανθεκτικότητα σε θειικά και για την κατηγορία XA3 πρέπει να χρησιμοποιείται τσιμέντο με υψηλή ανθεκτικότητα σε θειικά.

2.7 Βαφές-Χρωστικές

Οι βαφές και οι χρωστικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σκυρόδεμα για να του προσδώσουν χρώμα και επιθυμητή αισθητική εμφάνιση. Αυτές οι χημικές ουσίες προστίθενται

κατά την παρασκευή του σκυροδέματος ή ακόμα και κατά την εφαρμογή του, ανάλογα με την επιθυμητή μέθοδο.

Οι βαφές και οι χρωστικές μπορούν να είναι σε μορφή σκόνης, υγρού ή πάστας και προστίθενται στο σκυρόδεμα κατά την ανάμειξη των υλικών ή μετά την παρασκευή του, κατά τη διάρκεια της εφαρμογής. Η ποσότητα των βαφών ή χρωστικών που προστίθενται εξαρτάται από το επιθυμητό χρώμα και την ένταση.

Οι βαφές και οι χρωστικές προσφέρουν μια ευρεία γκάμα χρωμάτων και αισθητικών επιλογών για το σκυρόδεμα, επιτρέποντας τη δημιουργία διαφορετικών σχεδίων, υφών και αισθητικών εφέ. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, όπως τοίχοι, δάπεδα, πεζοδρόμια, μονοπάτια και άλλες κατασκευές από σκυρόδεμα.

Είναι σημαντικό να ακολουθούνται τις οδηγίες του κατασκευαστή όσον αφορά στη δοσολογία και την εφαρμογή των βαφών ή χρωστικών στο σκυρόδεμα, προκειμένου να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Το χρωματισμένο σκυρόδεμα αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της κατασκευής. Αξιοποιείται εδώ και χρόνια, για παράδειγμα για τον χρωματισμό ασφάλτου σε ποδηλατόδρομους ή λεωφορειολωρίδες ή χώρους στάθμευσης. Επιπρόσθετα τα αισθητικά πλεονεκτήματα του χρωματισμένου σκυροδέματος κερδίζουν ολοένα και περισσότερο έδαφος στην κατασκευή ολόκληρων κτηρίων. Παρόλα αυτά όλα τα χρωματισμένα σκυροδέματα δεν είναι τα ίδια. Υπάρχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές που πρέπει να πληρούνται για να διασφαλιστεί το υψηλό αποτέλεσμα και η αντοχή στο χρόνο.

2.7.1 Κατηγορίες χρωστικών

Οι χρωστικές μπορεί να είναι απλές, μίξη χρωστικών ή μίξη χρωστικών και αραιωτικών, σε μορφή σκόνης, σε μορφή κόκκων ή υδατικών παρασκευασμάτων. Οι χρωστικές χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Χρωστικές συνθετικών ή φυσικών οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου.
- Χρωστικές οξειδίων του χρωμίου, του τιτανίου και του μαγγανίου.
- Σύνθετες ανόργανες χρωστικές, για παράδειγμα συνδυασμός των παραπάνω οξειδίων και υδροξειδίων με οξείδια του κοβαλτίου, του αλουμινίου, το νικελίου και του αντιμονίου.

- Ιώδεις χρωστικές
- μπλε και πράσινο της φθαλοκυανίνης
- άνθρακας (θα πρέπει να θεωρηθεί ανόργανη χρωστική ουσία)
- συνδυασμός των παραπάνω

2.7.2 Μέθοδος παραγωγής χρωστικών

Ξεκινώντας με τα ρινίσματα σιδήρου, όπως προκύπτουν από την βιομηχανία της μεταλλουργίας, και το νιτροβενζόλιο, προκύπτουν υδατικά διαλύματα μαύρων και κίτρινων χρωστικών και αναλίνης και μέσα από μια διαδικασία στοχευμένης προσθήκης ελεγχόμενων χημικών στοιχείων. Ανάλογα με τον χειρισμό των επόμενων σταδίων της διαδικασίας, παράγονται κόκκινες, μαύρες και κίτρινες χρωστικές.

Το ιδιαίτερο στοιχείο της σύνθεσης είναι ότι η αντίδραση δεν απαιτεί καθόλου ενέργεια αλλά αντιθέτως εκλύει ενέργεια με την μορφή θερμότητας. Αυτή στην συνέχεια αξιοποιείται για την παραγωγή ατμού ή ζεστού νερού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μειώνοντας την ανάγκη ενέργειας για επόμενα στάδια της διαδικασίας.

Το αποτέλεσμα είναι μια μέθοδος ενεργειακά αποδοτική καθώς δεν απαιτεί σχεδόν καθόλου προσθήκη θερμότητας. Μόλις διαχωριστεί η αναλίνη, το ακατέργαστο αιώρημα μαύρης ή κίτρινης χρωστικής πλένεται, ξηραίνεται, αλέθεται και συσκευάζεται ως χρωστική ουσία.

Για την παραγωγή κόκκινων χρωστικών, η μαύρη πάστα που παράγεται από την αντίδραση πλένεται και ακολούθως υποβάλλεται σε φρύξη μέσα κυλινδρικούς κλιβάνους. Καφέ χρωστικές μπορούν να παραχθούν απευθείας μέσω θερμικής επεξεργασίας στους κλιβάνους αλλά συνήθως φτιάχνονται μέσω της ανάμιξης κίτρινων και μαύρων χρωστικών που έχουν προηγουμένως παραχθεί.

Η διαδικασία είναι εξαιρετικά σημαντική για της ιδιαίτερες ιδιότητες των μαύρων και των κόκκινων χρωστικών και επιτρέπει τη δημιουργία μιας ευρείας γκάμας αποχρώσεων, από κόκκινο με κίτρινους τόνους μέχρι κόκκινο με μπλε τόνους. Το συγκριτικό πλεονέκτημα των χρωστικών που παράγονται με την παραπάνω μέθοδο σε σχέση με άλλες χρωστικές οξειδίων του σιδήρου, είναι ότι αλλάζουν ελάχιστα χρώμα ακόμα και αν υποβληθούν σε έντονη τριβή ή διαχωρισμό. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι γνωστό ως «σταθερότητα στην τριβή».

2.7.3 Παράγοντες επιτυχημένης εφαρμογής χρωστικών

Η υψηλή ποιότητα χρωστικών

Οι χρωστικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στο χρωματισμό δομικών υλικών με βάση το τσιμέντο ή και τον ασβέστη πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές τεχνολογίας σκυροδέματος, ενώ ταυτόχρονα η υψηλή ποιότητα και η σταθερότητα χρώματος παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο.

Το 2012 εκδόθηκε ο ευρωπαϊκός κανονισμός EN 12878 «Σχετικά με τον χρωματισμό δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα ή και ασβέστη». Ο κανονισμός είναι δεσμευτικός για την κατασκευή σκυροδέματος και περιγράφει τις απαιτήσεις και τις διαδικασίες δοκιμών για τις χρωστικές που χρησιμοποιούνται για τον χρωματισμό δομικών υλικών από σκυρόδεμα ή ασβέστη, ενώ υπάρχουν διαφοροποιήσεις για την εφαρμογή σε οπλισμένο και μη οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι προδιαγραφές για την χρήση χρωστικών σε χρωματισμένο σκυρόδεμα είναι σαφώς αυστηρότερη. Προκαταρκτικός έλεγχος για αυτά τα προϊόντα διεξάγεται από τον Global Competence Center Construction (παγκόσμιο κέντρο επάρκειας κατασκευών). Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται ότι δεν υπάρχει πιθανότητα αρνητικής επίπτωσης στις τεχνολογικές ιδιότητες του σκυροδέματος.

Τεχνικές προδιαγραφές

Οι προδιαγραφές αναφορικά με τις χρωστικές για τον χρωματισμό δομικών υλικών από σκυρόδεμα προσδιορίζονται από διάφορους κανονισμούς. Ο κανονισμός που ισχύει για τη Ευρώπη είναι ο EN 12 878 «Χρωστικές για τον χρωματισμό δομικών υλικών από σκυρόδεμα ή και ασβέστη»

EN 12 878

Η συμμόρφωση με τον συγκεκριμένο κανονισμό προϋποθέτει ότι η μέθοδος παραγωγής αλλά και το παραγόμενο προϊόν από το εργοστάσιο πιστοποιείται με CE.

Ο EN 12 878 προσδιορίζει επίσης πρόσθετες μεθόδους δοκιμής για το οπλισμένο σκυρόδεμα, συγκεκριμένα όσο αφορά στην συχνότητα των δοκιμών για περιεκτικότητα σε χλωρίδια και την χαμηλή περιεκτικότητα σε υδατοδιαλυτά συστατικά. Επίσης ο EN 12 878 προσδιορίζει σε ποιο βαθμό μπορεί η χρωστική να επηρεάσει τη διαδικασία ωρίμανσης του τσιμέντου και την αντοχή του σκυροδέματος.

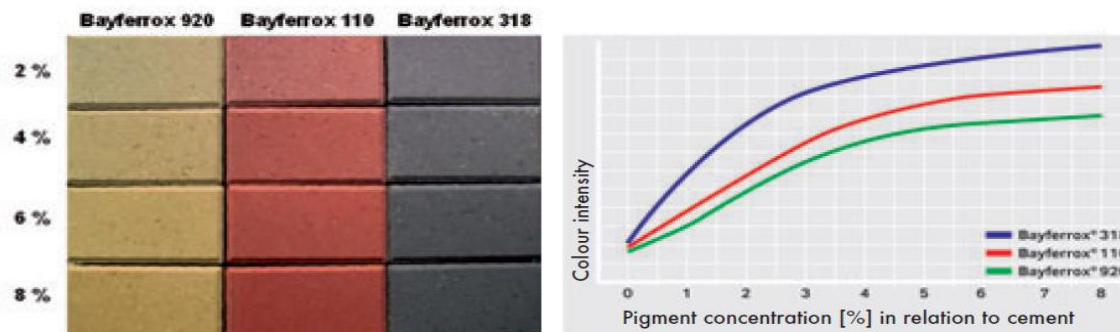
Αντίσταση στα αλκαλικά και τις καιρικές συνθήκες.

Η αντίσταση στα αλκαλικά είναι ένα ακόμα πολύ βασικό κριτήριο για την εφαρμογή των χρωστικών. Κατά την παραγωγή του τσιμέντου με νερό δημιουργείται μια ισχυρή αλκαλική αντίδραση λόγω της παραγωγής υδροξειδίου του ασβεστίου. Η αντίδραση αυτή συνεχίζεται όχι μόνο κατά τη διάρκεια πήξης αλλά ακόμα και χρόνια μετά. Η αλκαλική αντοχή προστατεύει από την αλληλεπίδραση της χρωστικής με το ασβεστικό περιεχόμενο του σκυροδέματος. Επίσης οι χρωστικές σκυροδέματος οφείλουν να μην αλλοιώνονται λόγω της επίδρασης των καιρικών φαινομένων π.χ. λόγω της ηλιοφάνειας, ή των βροχών, του καύσωνα ή του παγετού. Αυτές οι απαιτήσεις προϋποθέτουν μια αυστηρή διαδικασία διαλογής για τις χρωστικές. Οι περισσότερες οργανικές χρωστικές μπορούν να δώσουν έντονους και λαμπερούς χρωματικούς τόνους αλλά είναι ακατάλληλες για εφαρμογή σε σκυρόδεμα, καθώς μακροπρόθεσμα δεν δείχνουν αντοχή ούτε στην επίδραση του ηλιακού φωτός αλλά ούτε και παρουσιάζουν αντίσταση στα αλκαλικά.

Αναλογία χρωστικών

Γνωρίζοντας την ιδανική δοσολογία χρωστικής, η εφαρμογή μπορεί να γίνει σημαντικά αποτελεσματικότερη αποφεύγοντας περιττές δαπάνες. Ο στόχος είναι να χρησιμοποιείται τόση χρωστική, όση χρειάζεται για να επιτευχθεί η επιθυμητή απόχρωση. Σε περίπτωση που προστεθούν αυξανόμενες ποσότητες χρωστικής σε ένα μίγμα σκυροδέματος, τότε η ένταση του χρώματος αυξάνεται αναλογικά. Αν όμως προστεθεί παραπάνω χρωστική από ένα σημείο και μετά δεν παρατηρείται σημαντική αλλαγή στο χρώμα, με αποτέλεσμα απλώς την σπατάλη υλικού κάτι που καθιστά την εφαρμογή αντικοινωνική. Η απαραίτητη ποσότητα χρωστικής δίνεται σε ποσοστά κατά βάρος, που υπολογίζεται με βάση το βάρος του τσιμέντου. Η μέτρηση της ίδια της χρωστικής πρέπει πάντα να γίνεται με το βάρος, καθώς η ογκομετρική μέτρηση μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες διακυμάνσεις στο χρώμα λόγω διακυμάνσεων στην πυκνότητα της εκάστοτε χρωστικής.

Το σημείο χρωματικού κορεσμού εξαρτάται ανάμεσα σε άλλους παράγοντες και από τα χαρακτηριστικά του τσιμέντου. Ως γενικός κανόνας, δεν χρειάζεται να προστεθεί ποσότητα παραπάνω από 5% (σε σχέση με την ποσότητα του τσιμέντου). Με χρωστικές χαμηλότερης ποιότητας και ασθενέστερου χρώματος το σημείο χρωματικού κορεσμού επιτυγχάνεται μόνο με την προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων χρωστικής



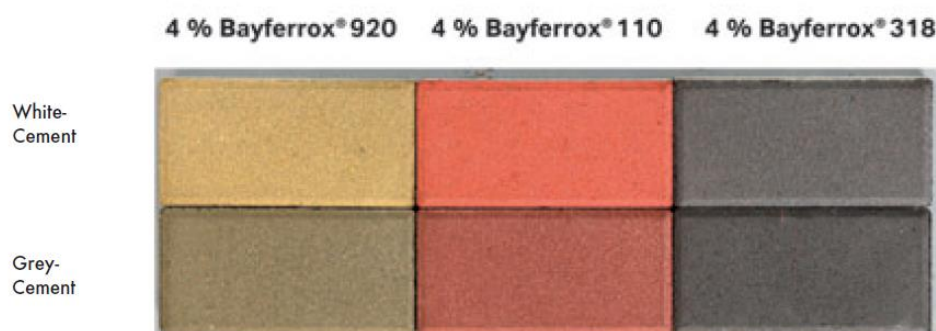
Action of pigmentation quantity on concrete colouration

Εικόνα 16: Αύξηση χρωματικής απόδοσης σε συνάρτηση με την αύξηση της ποσότητας προστιθέμενης χρωστικής

Ο ρόλος του τσιμέντου και των αδρανών

Είναι γνωστό ότι διαφορετικοί τύποι τσιμέντου μπορεί να εμφανίζουν διαφορετικούς χρωματισμούς. Αν τα υλικά που χρησιμοποιούνται και η διαδικασία παραγωγής ακολουθεί πολύ συγκεκριμένες προδιαγραφές τότε η χρωματική διαφοροποίηση είναι ελάχιστη. Παρόλα αυτά το τσιμέντο που παράγεται από διάφορους κατασκευαστές μπορεί να εμφανίζει ανεπιθύμητες χρωματικές διαφοροποιήσεις. Προκειμένου να επιτευχθεί απολύτως ομοιογενές χρώμα η προμήθεια τσιμέντου για όλο το έργο πρέπει να γίνεται από έναν και μόνο προμηθευτή. Η βέλτιστη επιλογή είναι φυσικά το λευκό τσιμέντο το οποίο προσφέρεται για χρωματισμό με ιδιαίτερα ανοιχτές και απαλές αποχρώσεις.

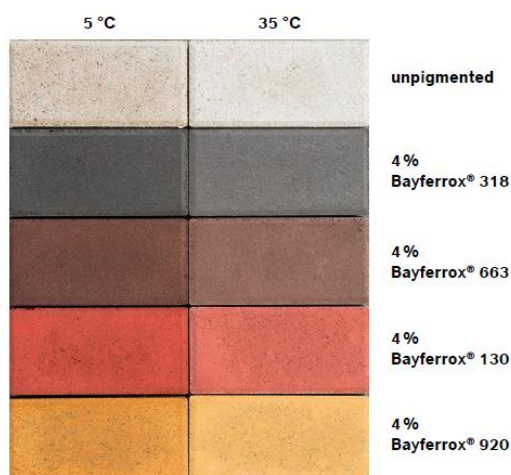
Το ίδιο ισχύει και για τα αδρανή. Επηρεάζουν επίσης τον χρωματισμό του σκυροδέματος ανάλογα με το χρώμα τους. Εκτός από το χρώμα των αδρανών η σύσταση της άμμου του σκυροδέματος παίζει επίσης το δικό της ρόλο. Όσο μεγαλύτερο είναι το κλάσμα της λεπτόκοκκης άμμου τόσο λιγότερο εμφανίζεται το χρώμα της χρωστικής.



Εικόνα 17: Χρωματική απόδοση της ίδιας χρωστικής σε λευκό και γκρι τσιμέντο

Η επίδραση των συνθηκών ωρίμανσης στην απόχρωση του σκυροδέματος

Η μήτρα του σκυροδέματος που σχηματίζεται μέσω της αλληλεπίδρασης του νερού και του τσιμέντου, δημιουργεί κρυστάλλους σε διάφορα σχήματα και μεγέθη, ανάλογα με τις θερμοκρασιακές συνθήκες ωρίμανσης τους σκυροδέματος. Το μέγεθος αυτών των κρυστάλλων είναι υπεύθυνο για τη διάθλαση του φωτός που πέφτει πάνω στο σκυρόδεμα. Γενικώς ισχύει η ακόλουθη αρχή: Οι υψηλότερες θερμοκρασίες οδηγούν σε δημιουργία λεπτότερων κρυστάλλων που μοιάζουν με βελόνες. Αυτές οι «βελόνες» οδηγούν σε εντονότερη διάθλαση του φωτός και άρα στην παραγωγή πιο ανοιχτόχρωμου σκυροδέματος. Βέβαια η διαφοροποίηση αυτή γίνεται αισθητή μόνο όταν η θερμοκρασία αγγίζει ένα συγκεκριμένο ύψος, όταν πχ συγκρίνεται ένα σκυρόδεμα που ωρίμασε με ατμό σε σχέση με ένα αντίστοιχο που ωρίμασε σε φυσιολογικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας δωματίου.



Εικόνα 18: Επίδραση των συνθηκών ωρίμανσης στην απόδοση της χρωστικής

Αντοχή των χρωστικών στον χρόνο

Στην εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος υπάρχει μια στρώση που αποτελείται από αδρανή και τσιμέντο. Το πάχος της εξαρτάται από διάφορους παράγοντες κατά την κατασκευή. Αυτή η εξωτερική στρώση επηρεάζεται από το πέρασμα του χρόνου, μετά από μερικά χρόνια τα αδρανή του σκυροδέματος αποκαλύπτονται όλο και περισσότερο και αυτή η έκθεση επηρεάζει συνολικά το χρώμα του δομικού υλικού. Η αλλαγή του χρώματος σε περίπτωση χρήσης υψηλής ποιότητας χρωστικών σε χρωματισμένα δομικά υλικά από σκυρόδεμα είναι σχετικά μικρή. Οι αλλαγές που παρατηρούνται οφείλονται κυρίως στο χρώμα των αδρανών και στον διαφορετικό τρόπο που αντανακλάται το φως.

Στην πράξη, μόνο ο έλεγχος σε πραγματικές εξωτερικές συνθήκες μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για την ανθεκτικότητα του χρώματος στον χρόνο. Η παραπάνω εικόνα δείχνει τις μικρές αλλαγές χρώματος στον χρόνο. Η σύγκριση που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, αφορά δομικά υλικά που μόλις κατασκευάστηκαν με αντίστοιχα που έχουν εκτεθεί σε εξωτερικές συνθήκες για 25 χρόνια (Lanxess, 2018).



Εικόνα 19: αλλαγή χρώματος σε χρωματισμένα δομικά υλικά μέσα σε χρονικό διάστημα 25 ετών

Οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες σε συνδυασμό με την επιλογή χρωστικής διαδραματίζουν το δικό τους ρόλο. Σε παραθαλάσσιες περιοχές, με υψηλή υγρασία δηλαδή, δομικά υλικά από χρωματισμένο σκυρόδεμα επηρεάζονται πιο έντονα. Όμως το είδος της χρωστικής φαίνεται να διαδραματίζει σημαντικότερο ρόλο, καθώς οι οργανικές χρωστικές (πχ άνθρακας) παρουσιάζουν πολύ μικρότερη σταθερότητα από τις ανόργανες (πχ χρωστικές με βάση οξείδια του σιδήρου).

Εξάνθιση πάνω στο σκυρόδεμα

Η εξάνθιση του σκυροδέματος είναι ένα πρόβλημα που μπορεί να προκύψει από τη χρήση χρωστικών σε αυτό. Τα λευκά ασβεστώδη που δημιουργούνται είναι πολύ πιο ορατά πάνω στο χρωματισμένο σκυρόδεμα από ότι πάνω στο γκρι ή λευκό σκυρόδεμα. Η εξάνθιση προκύπτει από τη δημιουργία ασβέστη κατά την σκλήρυνση του τσιμέντου. Τόσο κατά την αντίδραση που γίνεται όταν το τσιμέντο αναμιγνύεται με το νερό (πρωτογενής εξάνθιση), όσο (πολύ περισσότερο) με την έκθεση του σκυροδέματος στην εξωτερική υγρασία (δευτερογενής εξάνθιση), στην εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος εμφανίζεται ασβέστιο, οπού αντιδρά με το διοξείδιο του άνθρακα και δημιουργεί αδιάλυτο ανθρακικό ασβέστιο. Το πορώδες του

σκυροδέματος εδώ παίζει επίσης ρόλο. Όσο μικρότερο είναι το πορώδες, τόσο λιγότερο πιθανό είναι να εμφανιστεί εξάνθιση.

Σε μια αργή αντίδραση, το ανθρακικό ασβέστιο που βρίσκεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος αντιδρά με το διοξείδιο του άνθρακα και δημιουργεί διττανθρακικό ασβέστιο που είναι με τη σειρά του διαλυτό στο νερό. Με αυτό τον τρόπο η εξάνθιση καθυστερεί. Όξινια συστατικά στην ατμόσφαιρα επίσης προκαλούν τη διάλυση των ασβεστικών αποθέσεων πάνω στο σκυρόδεμα.

3. Σκοπός

Ο σκοπός της εργασίας είναι να μελετηθεί μια συγκεκριμένη διαδικασία παραγωγής διαπερατού σκυροδέματος, προκειμένου το υλικό να έχει όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά τα οποία ζητούνται από τις ελληνικές προδιαγραφές οι οποίες απεικονίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

E11-Άρθρο 84

ΑΡΘΡΟ: NET ΟΙΚ -32.01.05 Υδατοπερατό σκυρόδεμα πεζοδρομίων
Αναθεωρείται με το άρθρο ΟΙΚ 3215 100%

Προμήθεια και μεταφορά επί τόπου του έργου υδατοπερατού σκυροδέματος. Πρόκειται για ένα υδατοπερατό σκυρόδεμα με συγκεκριμένη και ειδική μελέτη σύνθεσης, το οποίο κάνει χρήση αδρανών συγκεκριμένης κοκκομετρικής διαβάθμισης, έτσι ώστε να διασφαλίζεται ένα σκυρόδεμα με πορώδες 25 - 30% κ.ο., διατηρώντας θλιπτικές αντοχές άνω των 10Μ Pa. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται απορροή των όμβριων υδάτων μέσα από τη μάζα του σκυροδέματος με μόνη επίδραση αυτή του ίδιου βάρους των υδάτων. Ο συγκεκριμένος τύπος σκυροδέματος μπορεί να χρωματισθεί για να επιτυγχάνεται το επιθυμητό αισθητικό αποτέλεσμα. Το Υδατοπερατό σκυρόδεμα είναι χυτό υλικό που παράγεται σε μονάδα παραγωγής σκυροδέματος βάσει τυποποιημένων διαδικασιών.

Κατόπιν της διάστρωσης του (σε κατάλληλες για σκυροδέτηση περιβαλλοντικές συνθήκες) σε εγκιβωτισμένη επιφάνεια, ακολουθεί συμπύκνωση με ειδικό εξοπλισμό κυλίνδρου ή και επιτεδωτικού μηχανήματος. Μετά τη συμπύκνωση η επιφάνεια προστατεύεται με πλαστικό κάλυμμα για διάστημα τουλάχιστον 7 ημερών. Απαγορεύεται η επιφόρτιση με μεγάλα βάρη, η αποθήκευση υλικών, η διέλευση τροχοφόρων πριν την πάροδο 7 ημερών από την ημέρα της διάστρωσης.

Η σκυροδέτησή του γίνεται επί συμπυκνωμένου κατά τουλάχιστον 95 % εδάφους ή/και χονδρόκοκκων αδρανών υλικών, σε στρώση πάχους **15cm**. Η χρήση δομικού πλέγματος αντενδείκνυται, ενώ οι αρμοί συστολής δεν είναι απαραίτητοι. Στην περίπτωση σκυροδέτησης επί συμπυκνωμένου εδάφους προηγείται η τοποθέτηση γεωυφάσματος.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

- Ειδικό βάρος : 1800 kg/m³
- Υδατοπερατότητα (ως υπόβαση) : 800 – 1.000 ltr/min/m²
- Υδατοπερατότητα (ως τελικό δάπεδο) : 200 – 300 ltr/min/m²
- Θλιπτική αντοχή : 10 – 15 MPa
- Καμπτική αντοχή : 1 – 2 MPa (Brazilian Test)
- Πορώδες : 20 – 30 %
- Εργασιμότητα : 90 λεπτά
- Διάμετρος κόκκου αδρανούς : 16 mm ως Υπόβαση
- Διάμετρος κόκκου αδρανούς: 8 mm ως Τελικό δάπεδο

Εικόνα 20: Άρθρο 84, Περιγραφικό τιμολόγιο εργασιών οικοδομικών έργων

Ητοι διαχωρίζεται η Χρήση του Διαπερατού Σκυροδέματος ως προς:

Υπόβαση/Βάση	[1]
Μέγιστο Κόκκο , D _{max} =16mm , 8mm	[2]
Ειδικό Βάρος	[3]
Υδατοπερατότητα	[4]
Θλιπτική Αντοχή	[5]
Καμπτική Αντοχή	[6]
Πορώδες	[7]

Στόχος της Παρούσας εργασίας είναι να ελέγξει διάφορους συνδυασμούς

- Τύπων τσιμέντων
- Μέγιστων Κόκκων Αδρανών (και διάφορους λόγους χονδρόκοκκων/λεπτόκοκκων αδρανών)
- Χρήσης (ή όχι Υπερρρευστοποιητή)

Και πώς αυτά επιδρούν στα χαρακτηριστικά [3],[4],[5],[7] του Διαπερατού Σκυροδέματος.

Έχει σημασία να τονιστεί ότι, όπως έχει εντοπίσει ο γράφων σε αρκετές μελέτες συνθέσεων Διαπερατού Σκυροδέματος (Εξωτερικών Εργαστηρίων) απουσιάζουν σημαντικά στοιχεία όπως είναι το Πορώδες και η Διαπερατότητα. Η παρούσα εργασία προσπαθεί να παρουσιάσει ένα πρότυπο ολοκληρωμένης μελέτης για το σύνολο των χαρακτηριστικών του διαπερατού σκυροδέματος.

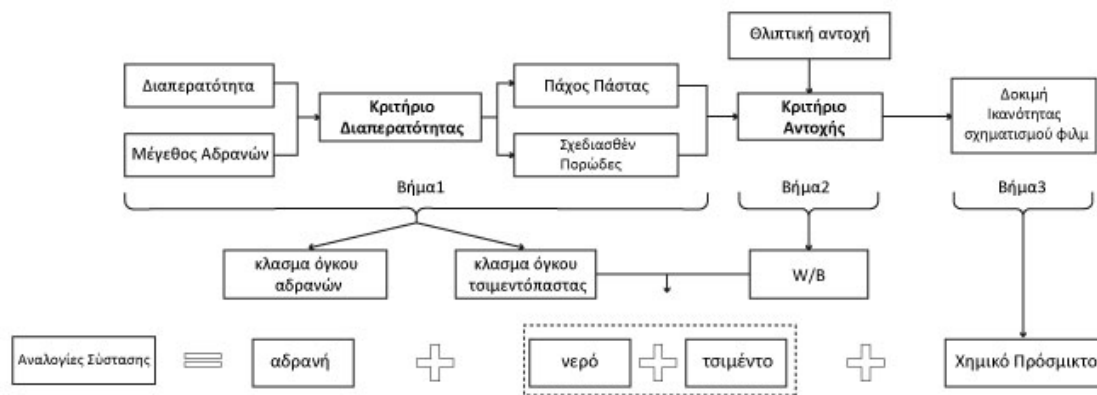
Επιπλέον η εργασία επεξεργάζεται ορισμένες χρωματικές-αρχιτεκτονικές προτάσεις, δεδομένου ότι το διαπερατό σκυρόδεμα μπορεί να αποτελέσει στοιχείο της αρχιτεκτονικής σύνθεσης έργων υποδομής και δημόσιων χώρων.

4. Πειραματικό Μέρος

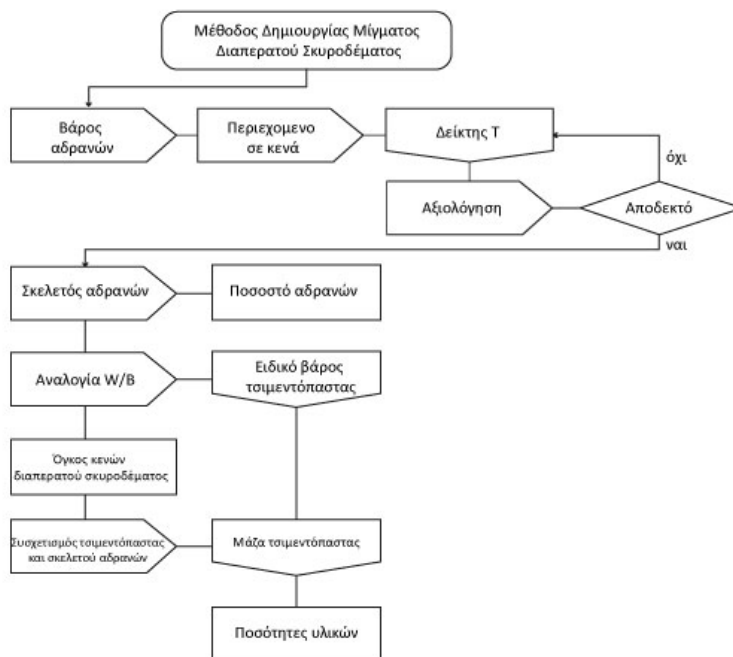
4.1 Υλικά και μέθοδοι

4.1.1 Διαδικασία παρασκευής και συντήρησης δοκιμίων

Σημειώνεται εδώ ότι αν και υπάρχουν αρκετές Μεθοδολογίες για Σχεδιασμό Μελέτης Σύνθεσης Διαπερατού Σκυροδέματος ΔΕΝ υπάρχει μια γενικώς αποδεκτή Μεθοδολογία.



Εικόνα 21: Μεθοδολογία Σχεδιασμού Σύνθεσης Διαπερατού Σκυροδέματος



Εικόνα 22: Μεθοδολογία Σχεδιασμού ΔΣ-T-factor is the volume of coarse aggregates (adjusted)

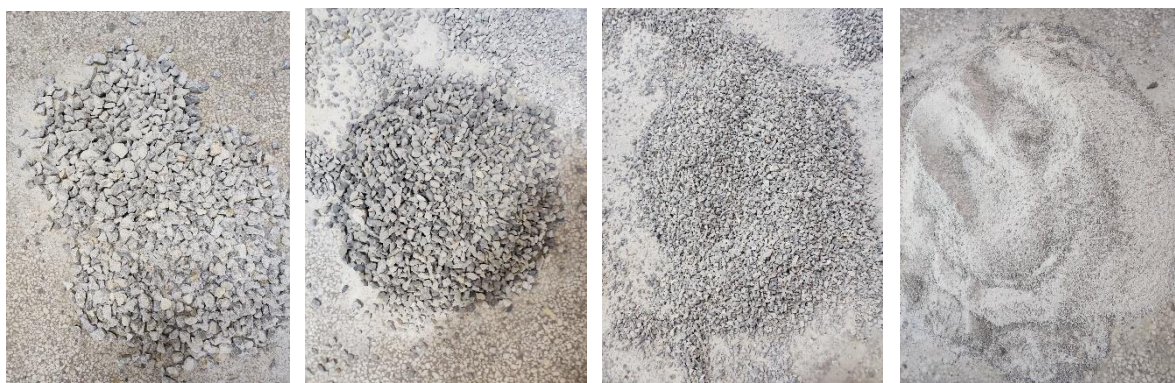
Στην παρούσα έρευνα δεδομένου ότι δεν είναι γνωστά τα κενά των αδρανών στην σχεδιασθείσα σύνθεση του σκυροδέματος, παρασκευάζεται batch μίγματος ικανού για τη χύτευση δοκιμών και κατόπιν επί σκληρυνμένου σκυροδέματος μετρούνται τα κενά (και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος) και η σύνθεση «διορθώνεται» βάσει των μετρηθέντων κενών. Σημειώνεται εδώ ότι η επίδραση της συμπύκνωσης παίζει σημαντικότερο ρόλο. Στην παρούσα έρευνα η συμπύκνωση έλαβε χώρα με τη συνήθη συμπυκνωτική ράβδο. Το δε Διαπερατό Σκυρόδεμα συμπυκνώθηκε σε 2 στρώσεις των 25 ραβδισμών.

Για την παραγωγή του Διαπερατού Σκυροδέματος η απαιτούμενη ποσότητα νερού είναι αυτή που απαιτεί το μείγμα προκειμένου να παράξει έναν πλάσιμο βώλο. Σε αντίθετη περίπτωση το νερό δεν επαρκεί με αποτέλεσμα να μην μπορεί να «δέσει» το μείγμα, ενώ σε περίπτωση που υπάρχει περίσσεια νερού η πάστα απομειγνύεται με αποτέλεσμα να προκύπτει μικρό υμένιο τσιμεντόπαστας γύρω από τα αδρανή και ως εκ τούτου μικρή αντοχή του Διαπερατού Σκυροδέματος.

Υλικά

Προκειμένου να παρασκευαστούν δοκίμια Διαπερατού Σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο γκρίζο τύπου II 32,5 TITAN, I 42,5 TITAN και Λευκό τύπου CEM II/A-L 42,5 N., TITAN και θραυστά αδρανή ασβεστολιθικής προέλευσης σε τέσσερις κοκκομετρικές κατανομές.

Αυτά ήταν: Χαλίκι, γαρμπίλι, ρύζι και άμμος.

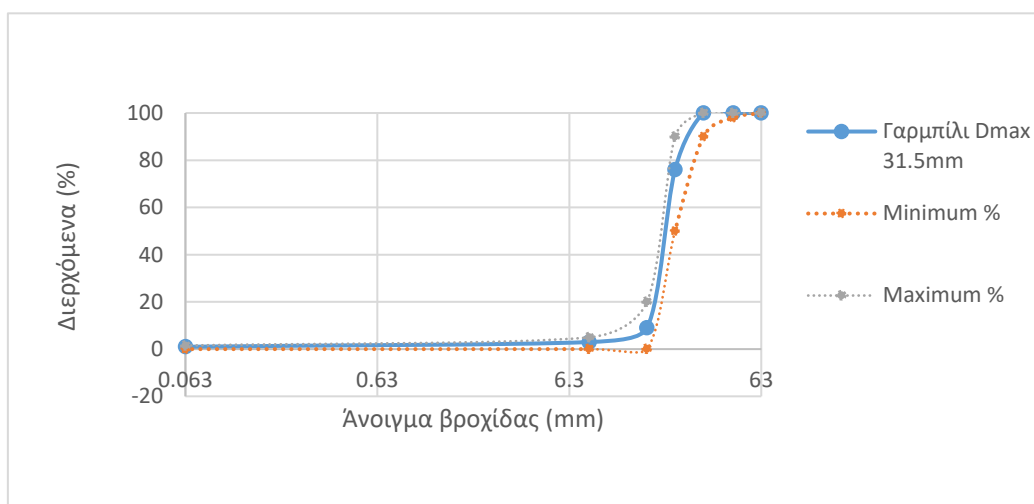


Εικόνα 23: χαλίκι, γαρμπίλι, ρύζι, άμμος

Η προέλευση των αδρανών ήταν από το Λατομείο Ταγαράδων , όλα από την εταιρία TITAN. Παρακάτω παρατίθεται η κοκκομετρική διαβάθμιση των θραυστών υλικών.

Πίνακας 8: Κοκκομετρική διαβάθμιση χαλικιού

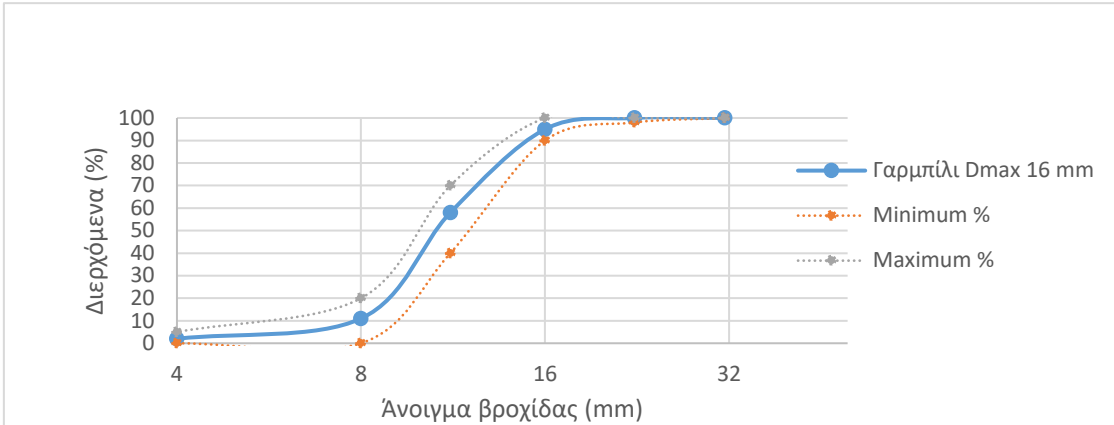
σκύρα (χαλίκι) Dmax=31,5mm		όρια	
άνοιγμα βροχίδας mm	διερχόμενα %	min %	max %
63	100	100	100
45	100	98	100
31,5	100	90	100
22,4	76	50	90
16	9	0	20
8	3	0	5
0,063	1	0	1,5



Διάγραμμα 1: Κοκκομετρική διαβάθμιση χαλικιού

Πίνακας 9 Κοκκομετρική διαβάθμιση γαρμπιού

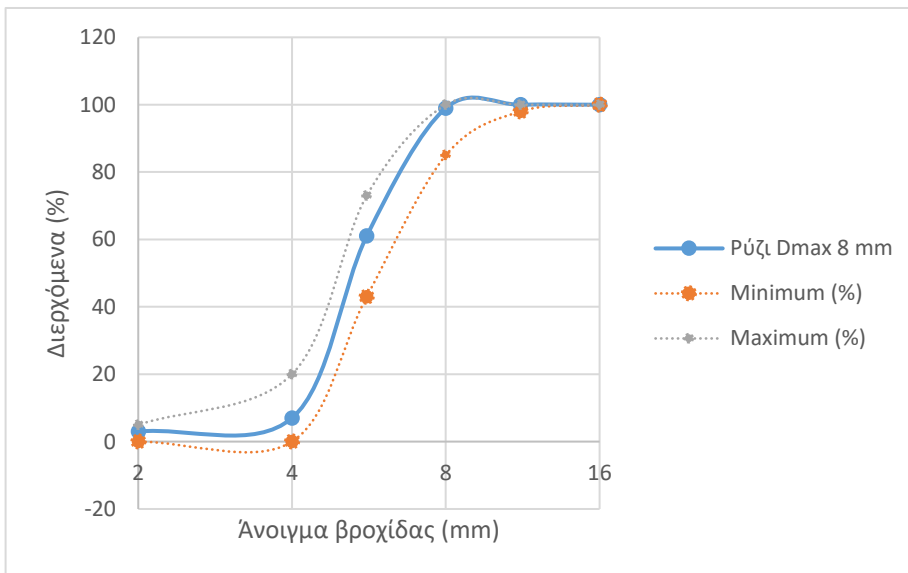
γαρμπίλι Dmax=16mm		όρια	
άνοιγμα βροχίδας mm	διερχόμενα %	min %	max %
31,5	100	100	100
22,4	100	98	100
16	95	90	100
11,2	58	40	70
8	11	0	20
4	2	0	5



Διάγραμμα 2: Κοκκομετρική διαβάθμιση γαρμπιλιού

Πίνακας 10: : Κοκκομετρική διαβάθμιση ρυζιού

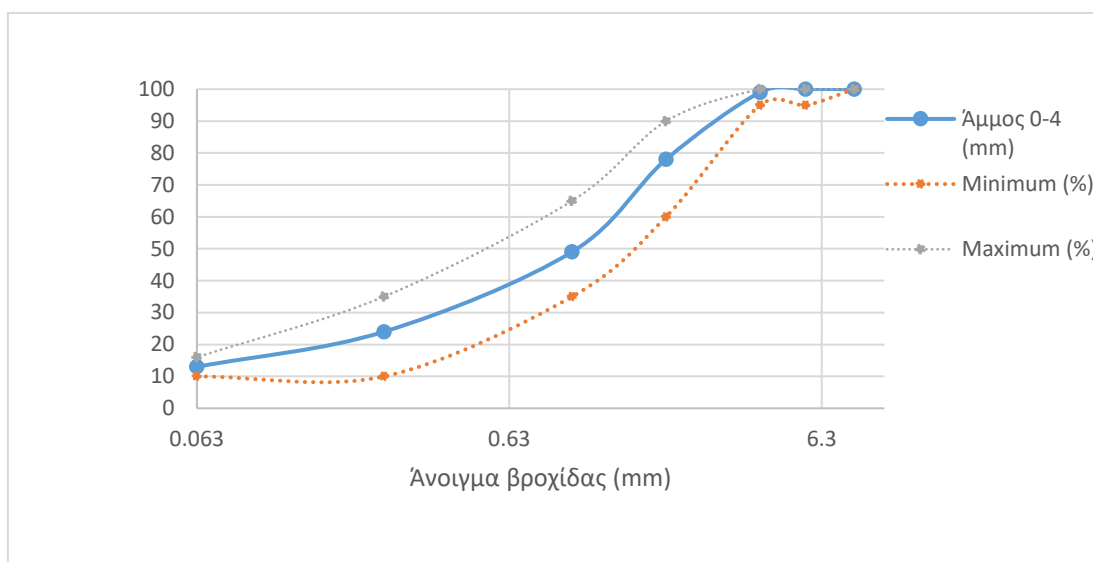
ρύζι Dmax=8mm		όρια	
άνοιγμα βροχίδας mm	διερχόμενα %	min %	max %
16	100	100	100
11,2	100	98	100
8	99	85	100
5,6	61	43	73
4	7	0	20
2	3	0	5



Διάγραμμα 3: Κοκκομετρική διαβάθμιση ρυζιού

Πίνακας 11: Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου

άμμος 0-4mm		όρια	
άνοιγμα βροχίδας mm	διερχόμενα %	min %	max %
8	100	100	100
5,6	100	95	100
4	99	95	100
2	78	60	90
1	49	35	65
0,25	24	10	35
0,063	13	10	16



Διάγραμμα 4: Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα υλικά είναι πιστοποιημένα , και στο παράρτημα αναφέρονται οι συνολικές τους ιδιότητες.

Για την παρασκευή των συνθέσεων με σκοπό τη βέλτιστη βέλτιστη αναλογία τσιμέντου-αδρανών οι τύποι του τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκαν ήταν γκρίζο τύπου II 32,5 TITAN, I 42,5 TITAN και Λευκό τύπου CEM II/A-L 42,5 N., TITAN.

Σε επόμενες συνθέσεις, προστέθηκε πρόσμικτο- ρευστοποιητής σε υγρή μορφή της εταιρίας VISCOCRETE, προκειμένου να επιτευχθεί αύξηση της αντοχής των δοκιμών.



Εικόνα 24: Πρόσμηκτο ενίσχυσης αντοχής εταιρίας VISCOCRETE

Εξοπλισμός

Πιο αναλυτικά ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των δοκιμών είναι ο ακόλουθος:

- **Κυβικές Μεταλλικές Μήτρες**, διαστάσεων 10cm^3 κατασκευασμένες από μη απορροφητικό υλικό που δεν προσβάλλεται εύκολα από την πάστα του τσιμέντου, για τη λήψη δειγμάτων, που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του προτύπου EN 12390.



Εικόνα 25: Κυβικές μεταλλικές μήτρες 10cm^3

- **Σέσουλα**, πλάτους περίπου 100 mm.
- **Μεταλλικό μυστρί**.

- **Περιέκτης επανανάμιξης.** Επίπεδος άκαμπτος δίσκος κατασκευασμένος από μη απορροφητικό υλικό που δεν προσβάλλεται από την τσιμεντόπαστα. Θα διαθέτει τις κατάλληλες διαστάσεις, προκειμένου το σκυρόδεμα να μπορεί να επαναναμιγνύεται εξολοκλήρου, χρησιμοποιώντας ένα φτυάρι τετραγωνικού στομίου.
- **Φτυάρι τετραγωνικού στομίου.**
- **Λιπαντικό μέσο που δεν αντιδρά με την μήτρα**
- **Ράβδος συμπυκνώσεως,** κυκλικής διατομής, διαμέτρου περίπου 16mm και μήκους περίπου 600 mm με στρογγυλεμένα άκρα.

Διαδικασίες

Προετοιμασία και πλήρωση μητρών

Η εσωτερική επιφάνεια της μήτρας καλύφθηκε με ένα αραιό, λιπαντικό μέσο που δεν αντιδρά με το υλικό της μήτρας, προκειμένου να αποφευχθεί η προσκόλληση του σκυροδέματος σε αυτή.

Ανάλογα με τη σύσταση του σκυροδέματος οι μήτρες πληρώθηκαν σε δύο στρώσεις, για την επίτευξη της πλήρους συμπίκνωσης. (Αφορά τα συμπυκνωμένα δείγματα).



Εικόνα 26: πλήρωση μήτρας

Συμπύκνωση του σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα συμπακνώθηκε αμέσως μετά την εισαγωγή του στις μήτρες, με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτευχθεί πλήρης συμπύκνωση, χωρίς φαινόμενα απόμειξης.

Συμπύκνωση χειρονακτικά, με χρήση ράβδου συμπύκνωσης

Οι κτύποι της ράβδου συμπυκνώσεως κατανεμήθηκαν ομοιόμορφα σε ολόκληρο το εύρος της διατομής της μήτρας. Εξασφαλίστηκε ότι η ράβδος συμπυκνώσεως δεν κτύπησε με δύναμη τον πυθμένα του δοχείου κατά τη συμπύκνωση της πρώτης στρώσης και ότι κατά τη συμπύκνωση της δεύτερης στρώσης δεν διείσδυσε σημαντικά στην κατώτερη στρώση.

Το σκυρόδεμα υποβλήθηκε σε 25 ραβδισμούς ανά στρώση.



Εικόνα 27: συμπύκνωση διαπερατού σκυροδέματος

Προκειμένου να απομακρυνθούν οι θύλακες εγκλωβισμένου αέρα, αλλά όχι ο παγιδευμένος αέρας, μετά από τη συμπύκνωση κάθε στρώσης, κτυπήθηκαν ελαφρά οι πλευρές του δοχείου με τη ματσόλα μέχρι να σταματήσουν να εμφανίζονται μεγάλες φυσαλίδες αέρα στην επιφάνεια του σκυροδέματος και να εξαφανιστούν τυχόν κοιλότητες από τη ράβδο συμπυκνώσεως.

Επιπέδωση επιφάνειας

Η περίσσεια σκυροδέματος αφαιρέθηκε από την κορυφή της μήτρας με τη χρήση μεταλλικού μυστριού, κόβοντας πριονωτά και επιπεδώνοντας προσεκτικά την επιφάνεια.



Εικόνα 28: επιπέδωση δοκιμίου

Σήμανση

Τα δοκίμια σημειώθηκαν με ετικέτες με σαφήνεια.

Συντήρηση δειγμάτων

Τα δοκίμια παρέμειναν στη μήτρα για 16 ώρες, προστατευμένα απέναντι σε δονήσεις και αφυδάτωση, σε θερμοκρασία 22 °C.

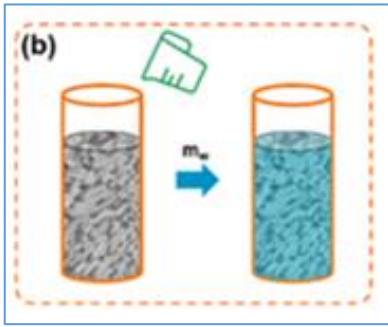
Μετά το ξεκαλούπωμα τα δοκίμια συντηρήθηκαν μέχρι την στιγμή του ελέγχου τους, σε θάλαμο θερμοκρασίας 20 °C και σχετικής υγρασίας 97,5 %.

4.2 Δοκιμές

Τα δοκίμια υποβλήθηκαν στις παρακάτω δοκιμές:

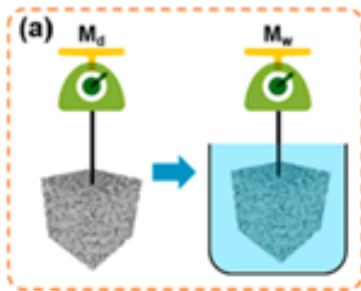
4.2.1 Εύρεση πορώδους

Σημαντικό στοιχείο του Διαπερατού Σκυροδέματος είναι ο Προσδιορισμός του Ενεργού Πορώδους, αφού ο συγκεκριμένος δείκτης καθορίζει εν πολλοίς όλες εκείνες τις διαφορές στις ιδιότητες του δοκιμίου με ένα άλλο συνήθους σκυροδέματος. Ο δείκτης αυτός μετράται πολύ εύκολα με την μέθοδο που φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα:



Εικόνα 29: Απλός τρόπος Υπολογισμού Ενεργού Πορώδους

Η Μέτρηση του πορώδους έγινε σύμφωνα με το ASTM C1754, όπως φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα:



Εικόνα 30: Προσδιορισμός του Ολικού Πορώδους

Το δοκίμιο ζυγίστηκε σε ξηρή μορφή και καταγράφεται το Φαινόμενο ειδικό βάρος του.

Ακολούθως ζυγίστηκε στο νερό. Το πορώδες αποτυπώνεται σε ποσοστό επί τις εκατό και μαθηματικά είναι το αποτέλεσμα της εξής πράξης: (Φ.Ε.Β.- βάρος στο νερό)/ Φ.Ε.Β. επί τις %.



Εικόνα 31: Φαινόμενο βάρος δοκιμίου και βάρος δοκιμίου στο νερό

4.2.2 Δοκιμή Διαπερατότητας

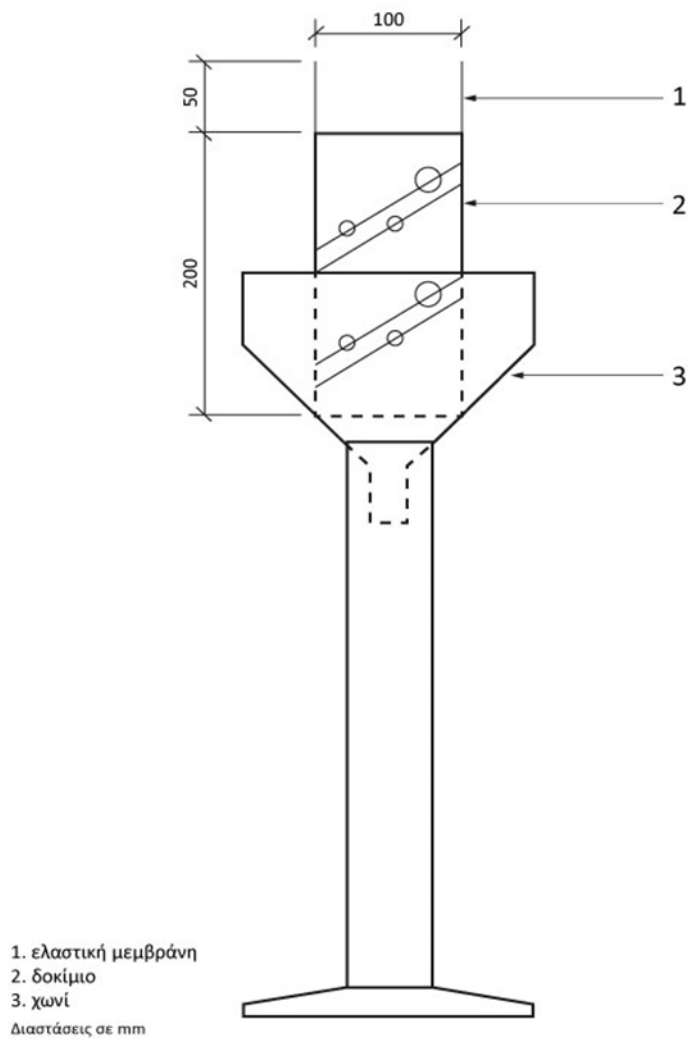
Η Διαπερατότητα μετρήθηκε με 2 μεθόδους:

Με τη χρήση της Μεθόδου ISO 17785-1 (infiltration method) και με τη χρήση της συσκευής Belgian Permeameter.

A. Δοκιμή με την χρήση της μεθόδου ISO 17785-1



Εικόνα 32: Εργαστηριακή διάταξη ISO 17785-1



Εικόνα 33: Σχηματική αναπαράσταση διάταξης ISO 17785-1

Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης μεθόδου, δημιουργήθηκε η διάταξη που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα:

Ένα χωνί κάτω διαμέτρου 15 χιλιοστών τοποθετήθηκε σε μια μεταλλική κωνική βάση. Η ανω του διατομή, είχε τέτοιο μέγεθος, ώστε το δοκίμιο να εφαρμόζει χωρίς ταλάντευση. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε διαβαθμισμένος ογκομετρικός κύλινδρος και δεξαμενή αποθήκευσης του νερού.

Προετοιμασία Δοκιμίου

Τύλιγμα του δοκιμίου: Το δοκίμιο τυλίχθηκε με τρεις στρώσεις ελαστικής μεμβράνης, καλύπτοντάς πλήρως το ύψος του δοκιμίου. Η ελαστική του μεμβράνη κόπηκε στο επίπεδο του πάτου του δοκιμίου, ενώ αφήθηκε ένα χείλος ύψους τουλάχιστον 50mm στην πάνω πλευρά.

Θέρμανση της μεμβράνης: Η μεμβράνη θερμάνθηκε με ένα πιστολάκι ζεστού αέρα έτσι ώστε να κολλήσει σφιχτά πάνω στην κατακόρυφη επιφάνεια του δοκιμίου. Αυτή η διαδικασία εμπόδισε τη διαρροή νερού ανάμεσα στην ελαστική μεμβράνη και τα τοιχώματα του δοκιμίου κατά τη διενέργεια της δοκιμής. Δεν θερμάνθηκε το χείλος των 50mm που προεξείχε στο πάνω μέρος του δοκιμίου. Στην εσωτερική επιφάνεια της μεμβράνης σηματοδοτήθηκαν 2 στάθμες σε ύψος 15mm και 25mm από την επιφάνεια του δοκιμίου.



Εικόνα 34: Προετοιμασία δοκιμίων για δοκιμή με ISO Infiltration System

Περιγραφή Δοκιμής

Το δοκίμιο τοποθετήθηκε πάνω σε ένα χωνί με τέτοιο τρόπο ώστε το νερό να μπορεί να τρέξει ελεύθερα στο κάτω μέρος. Το νερό διοχετεύχθηκε πάνω στο δοκίμιο με ένα ρυθμό τέτοιο ώστε το ύψος της στάθμης του να βρίσκεται ανάμεσα στις δυο γραμμές που έχουν σηματοδοτηθεί πάνω στην ελαστική μεμβράνη μέχρι να εξαντληθεί η ποσότητα νερού που θα χρησιμοποιήθηκε. Χρησιμοποιήθηκε συνολικά 1000ml νερό για δοκίμια με διάμετρο 100mm.

Η χρονομέτρηση ξεκίνησε την στιγμή που το νερό άγγιξε την επιφάνεια του δοκιμίου και σταμάτησε με το πέρας της ποσότητας του νερού σε αυτή. Η δοκιμή ξεκίνησε εντός 5 λεπτών από τη θέρμανση της μεμβράνης και την τοποθέτηση του δοκιμίου στο χωνί. Η μέτρηση του νερού έγινε με ακρίβεια 10 ml και η μέτρηση του χρόνου με ακρίβεια 0,1 s.



Εικόνα 35: Διαδικασία δοκιμής με ISO Infiltration System

Υπολογισμός ρυθμού διήθησης

Βάσει του χρόνου που απαιτήθηκε στη διαδικασία της δοκιμής, υπολογίστηκε ο ρυθμός διήθησης του νερού στο δοκίμιο, ο οποίος περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$k=W/At$$

Όπου:

k ο ρυθμός διήθησης (mm/s)

W ο όγκος του νερού που διηθήθηκε (mm³)

A το εμβαδό της επιφάνειας διατομής του δοκιμίου (mm²)

t ο χρόνος που απαιτήθηκε για την διήθηση του νερού στο δοκίμιο (s)

Β. Δοκιμή με την χρήση της μεθόδου Belgian Permeameter

Περιγραφή Διάταξης



Εικόνα 36: Belgian Permeameter

Περιγραφή Δοκιμής

Το δοκίμιο τοποθετήθηκε σε μια επίπεδη επιφάνεια και από πάνω του κατακόρυφα ο κύλινδρος με τον σπόγγο στο κάτω μέρος τού και εφαρμόστηκε το βάρος των 20kg. Εν συνεχεία ο κύλινδρος πληρώθηκε με νερό και διοχετεύθηκαν 10lt νερού στο δοκίμιο προκειμένου να διαβραχεί το υλικό. Κατόπιν επαναπληρώθηκε ο κύλινδρος με νερό και με ένα χρονόμετρο μετρήθηκε ο χρόνος που χρειάζεται το νερό για να φτάσει από την άνω (5L) στην κάτω (1L) στάθμη. Σύμφωνα με το Βέλγικο κανονισμό η διαδικασία δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 180s και ο μέσος χρόνος πρέπει να είναι μικρότερος από 60s, όταν πρόκειται για μέτρηση στο πεδίο.

Υπολογισμός

Ο υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας δίνεται από τον τύπο $HC=1/t$

Όπου:

t ο χρόνος εκροής σε δευτερόλεπτα, (s);

Η υδραυλική αγωγιμότητα υπολογίζεται με ακρίβεια $0,001 \text{ s}^{-1}$

4.2.3 Δοκιμής αντοχής σε θλίψη

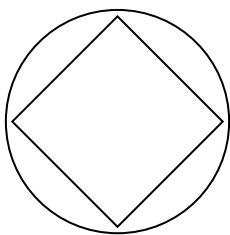
Τα δοκίμια σκυροδέματος υποβλήθηκαν σε θλίψη σε συσκευή που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του προτύπου EN 12390-3. Το μέγιστο φορτίο που δέχθηκε το εκάστοτε δοκίμιο, καταγράφηκε και έτσι προσδιορίσθηκε η αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος.



Εικόνα 38: Συσκευή προσδιορισμού αντοχής σε θλίψη, συμβατή με το πρότυπο EN 12390-4

Προετοιμασία και τοποθέτηση Δοκιμίου

Αρχικά καθαρίστηκαν και απομακρύνθηκαν τα ξένα σώματα που ήταν επικολλημένα στις επιφάνειες του υπό έλεγχο δοκιμίου. Επίσης καθαρίστηκαν προσεκτικά οι πλάκες φόρτισης καθώς και οι επιφάνειες του υπό έλεγχο δοκιμίου. Το δοκίμιο τοποθετήθηκε στο κέντρο των βοηθητικών πλακών της πρέσας με τέτοιον τρόπο ώστε το ασκούμενο φορτίο να εφαρμόζεται κάθετα προς αυτό. Το υπό έλεγχο δοκίμιο κεντραρίστηκε ως προς την κάτω πλάκα, με ακρίβεια 1% ως προς την διάσταση του κυβικού δοκιμίου. Ειδικότερα, τοποθετήθηκε στον χαραγμένο κύκλο των 10cm με τρόπο ώστε η κάθε κάθετη ακμή να ακουμπά στη χάραξη.



Εικόνα 39: Ενδεικτικό σχήμα τοποθέτησης του δοκιμίου στην πρέσα

Περιγραφή Δοκιμής

Λείανση

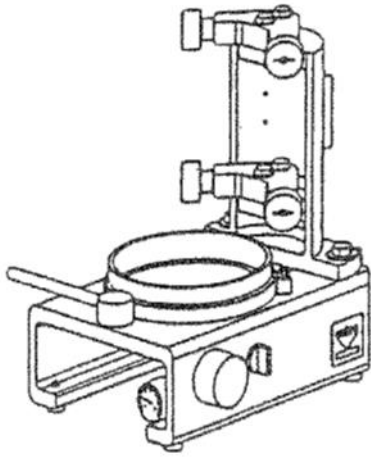
Τα δοκίμια απομακρύνθηκαν από το θάλαμο συντήρησης για μία περίπου ώρα προκειμένου να λειανθούν και επαναβαπτίσθηκαν για τουλάχιστον μία ώρα πριν λειανθούν περαιτέρω ή πραγματοποιηθεί η δοκιμή θραύσης.

Καπέλωμα: Μέθοδος με θειώδες μίγμα

Η μέθοδος αποσκοπεί στο να είναι επίπεδες οι επιφάνειες του πυρήνα ώστε να πατάνε πλήρως στην επιφάνεια των πλακών της συσκευής θλίψης.

Τα δοκίμια Διαπερατού Σκυροδέματος με $D_{max}=31.5mm$ και $D_{max}=16mm$ καπελώθηκαν με την εξής διαδικασία σε πάχος 4mm, διασφαλίζοντας ότι η επιφάνεια εφαρμογής τους ήταν στεγνή και καθαρή:

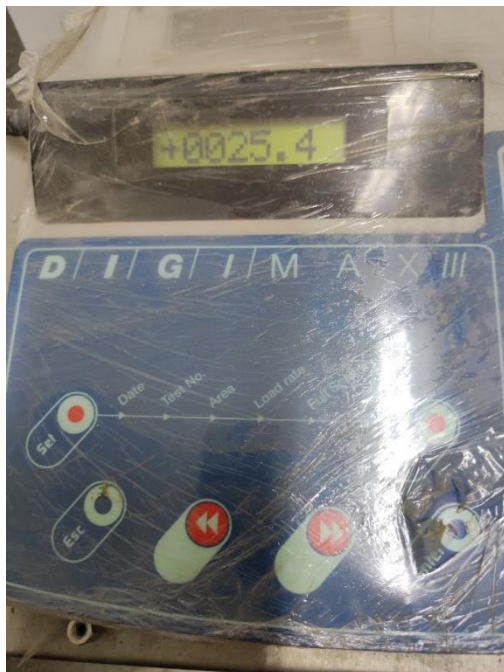
Το υλικό καπελώματος θερμάνθηκε στην απαιτούμενη θερμοκρασία, ενώ αναδευόταν συνεχώς. Το δοκίμιο εφαρμόστηκε σε ειδική διάταξη (Εικόνα 40), η βάση της οποίας πληρώθηκε με το υλικό καπελώματος, καλύπτοντας την κάτω επιφάνεια του δοκιμίου. Η διαδικασία επαναλήφθηκε για την άλλη πλευρά του δοκιμίου.



Εικόνα 40: Συσκευή καπέλώματος και καπέλωμα δοκιμίου

Άσκηση φορτίου

Επιλέχθηκε ένας σταθερός ρυθμός άσκησης φορτίου $0,7 \text{ MPa/s}$. Μετά από την εφαρμογή του αρχικού φορτίου, σταδιακά αυτό αυξήθηκε, με ρυθμό 10% , μέχρι το σημείο που δεν ήταν δυνατόν να ασκηθεί περαιτέρω φορτίο. Τελικά καταγράφηκε το μέγιστο φορτίο σε kN.



Εικόνα 41: Καταγραφή μέγιστου φορτίου σε kN

Υπολογισμός αντοχής του δοκιμίου

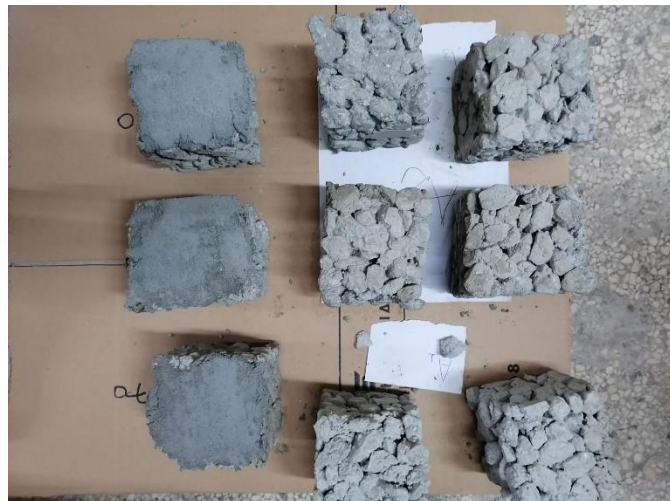
Ο υπολογισμός της αντοχής σε θλίψη του δοκιμίου έγινε με τον εξής τύπο:

Αντοχή (MPa)= μέγιστο φορτίο (kN) / (επιφάνεια φόρτισης(mm²)*1000).

5. Αποτελέσματα – Συζήτηση

Η πειραματική διαδικασία εξελίχθηκε σε 4 φάσεις:

1η Φάση: Με σταθερά χαρακτηριστικά το κοινό τσιμέντο CEMIII32,5 και χωρίς χρήση πρόσμικτου το μεταβλητό στοιχείο ήταν τα κιλά τσιμέντου ανά κυβικό μέτρο 70-150-220-280 χωρισμένα σε 3 ομάδες μέγιστου κόκκου, ήτοι 31,5mm, 16mm και 8mm.



Εικόνα 42: Δοκίμιο διαπερατού σκυροδέματος D_{max} 31,5mm



Εικόνα 43: Δοκίμιο διαπερατού σκυροδέματος D_{max} 16mm



Εικόνα 44 : Δοκίμιο διαπερατού σκυροδέματος D_{max} 8mm

2η Φάση: Με σταθερά χαρακτηριστικά το κοινό τσιμέντο CEMII32,5, χωρίς χρήση πρόσμικτου, και με δοκίμια $D_{max}=8\text{mm}$ το μεταβλητό στοιχείο ήταν η αναλογία coarse to fine ratio (αναλογία χονδρόκοκκου/λεπτόκοκκου) 80/20, 70/30 και 60/40 για ποσότητες τσιμέντου 220, 280 και 320 kg/m^3 .



Εικόνα 45: Δοκίμιο $D_{max}=8\text{mm}$ με coarse to fine ratio 80/20

3η Φάση: Με σταθερά χαρακτηριστικά το κοινό τσιμέντο CEMII32,5 με Χρήση Πρόσμικτου και δοκίμια με $D_{max}=8\text{mm}$ με αναλογία χονδρόκοκκου/λεπτόκοκκου 80/20, το μεταβλητό στοιχείο ήταν οι ποσότητες τσιμέντου 70, 150, 220, 280, 320 και 360 kg/m^3 . Σημειώνεται εδώ ότι πραγματοποιήθηκαν δοκιμές και σε ασυμπύκνωτα δοκίμια προκειμένου να ελεγχθούν και τα χαρακτηριστικά των δοκιμών αυτών.



Εικόνα 46: Ασυμπύκνωτο δοκίμιο

4η Φάση: Με σταθερά χαρακτηριστικά το τσιμέντο υψηλής αντοχής CEM I 42,5 με χρήση Πρόσμικτου , σε δοκίμια με $D_{max}=8\text{mm}$ με αναλογία χονδρόκοκκου/λεπτόκοκκου 100/0 ,το μεταβλητό στοιχείο ήταν οι ποσότητες τσιμέντου 70, 150, 220, 280, 320 και 360 kg/m^3 Σημειώνεται ότι και εδώ πραγματοποιήθηκαν δοκιμές και σε ασυμπύκνωτα δοκίμια προκειμένου να ελεγχθούν και τα χαρακτηριστικά των ασυμπύκνωτων δοκιμίων.



Εικόνα 47: Δοκίμια με $D_{max}=8\text{mm}$ και coarse to fine ratio 100/0

5.1 1^η Φάση

Πίνακας 12: 1η Φάση Συνολικά Αποτελέσματα

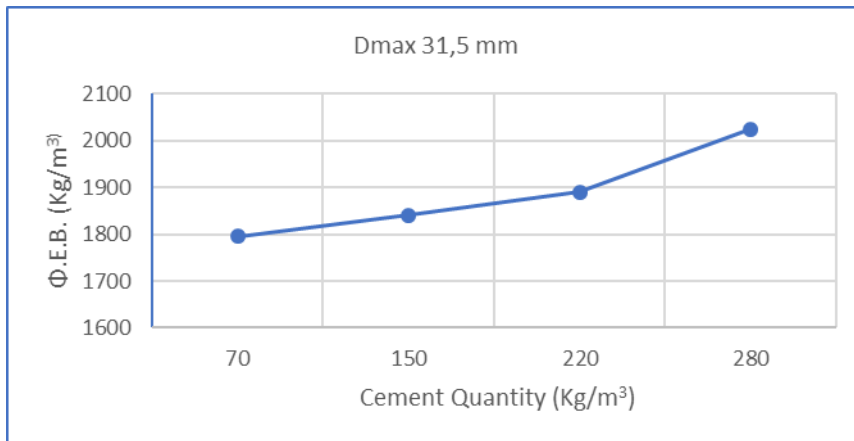
1η Φάση --- Συνολικά Αποτελέσματα												
CEMII-32,5---Χωρίς Πρόσμιεκτο												
A/A	Dmax	Cement Quantity	Coarse to Sand	ΦΕΒ	βάρος στο νερό	Va	Belgian Perm	Calc	ISO Infiltration	Calc	Αντοχή 7d	Αντοχή 28d
	mm	Kg/m ³	%	Kg/m ³	Kg/m ³	%	sec	sec ⁻¹	sec	lt/min.m ²	MPa	MPa
A1	31,5	70	90-10	1795	1230	31,5	5,13	0,19	12	1000	0,32	0,4
A2	31,5	150	90-10	1840	1327	27,9	5,69	0,18	23,66	850	1,36	1,7
A3	31,5	220	90-10	1890	1389	26,5	5,87	0,17	14,25	842	2	2,51
A4	31,5	280	90-10	2024	1648	18,6	8,5	0,12	15,35	782	2,02	2,55
A5	16	70	90-10	1724	1105	35,9	4,4	0,23	15,12	794	0,33	0,4
A6	16	150	90-10	1787	1213	32,1	5,54	0,18	16,03	749	0,95	1,2
A7	16	220	90-10	1820	1352	25,7	6,34	0,16	15,6	769	2	2,5
A8	16	280	90-10	1881	1367	27,3	6,81	0,15	18,78	639	2,01	2,54
A9	8	70	90-10	1720	1130	34,3	8,66	0,12	17,2	698	0,45	0,57
A10	8	150	90-10	1760	1197	32	8,78	0,11	19,41	618	1,85	2,3
A11	8	220	90-10	1852	1333	28	9,82	0,10	20,84	576	3,5	4,4
A12	8	280	90-10	1950	1424	27	15,28	0,07	22,08	543	5,35	6,7

Διεξαγωγή συμπερασμάτων

Παρατηρείται ότι:

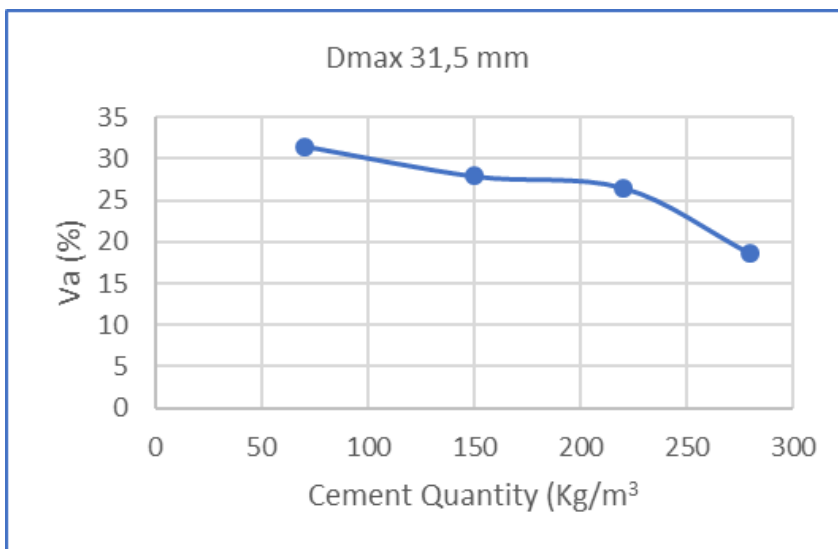
- Οι αντοχές είναι πολύ μικρότερες από τις προβλεπόμενες και πρέπει να ανέβουν.
- Επιτυγχάνονται άριστες διαπερατότητες αλλά λόγω αντοχής δε φαίνεται να συνάδουν με τις απαιτούμενες προδιαγραφές.
- Η μέγιστη αντοχή βρίσκεται στο δείγμα A12 και ισούται με 6,7 MPa.
- Η διάμετρος του μέγιστου κόκκου D_{max} είναι αντιστρόφως ανάλογη της αντοχής του δοκιμίου σε θραύση.
- Ανά κατηγοριοποίηση μέγιστου κόκκου το πορώδες είναι αντιστρόφως ανάλογο του ποσοστού τσιμέντου στο δοκίμιο.

Δοκίμια με $D_{max} = 31,5\text{mm}$



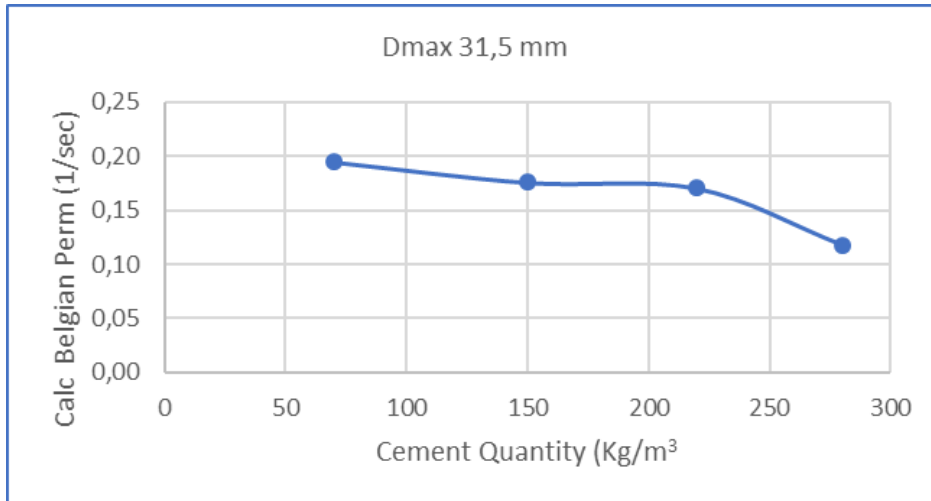
Διάγραμμα 5: Διακύμανση φαινόμενου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η αύξηση του βάρους των δοκιμίων είναι ανάλογη με την περιεκτικότητά τους σε τσιμέντο. Ξεκινά από τα 1.795 kg/m^3 και αγγίζει τα 2.024 kg/m^3



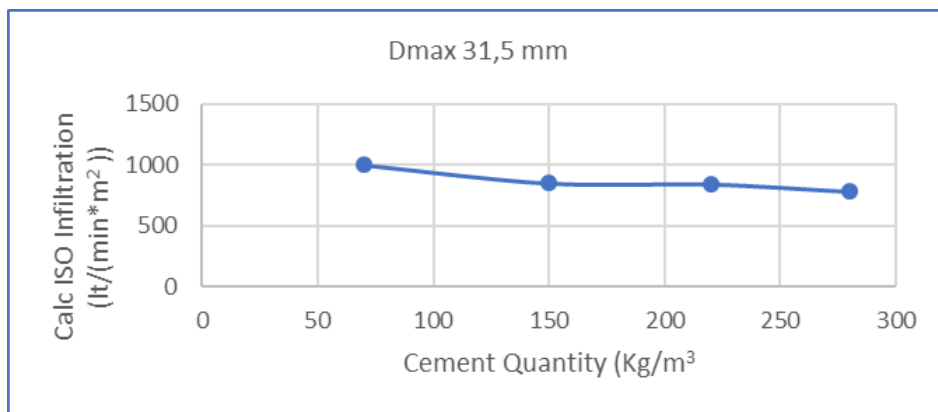
Διάγραμμα 6: Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι το ποσοστό των κενών (πορώδες) είναι αντιστρόφως ανάλογο του ποσοστού τσιμέντου. Η ελάχιστη τιμή είναι $18,6 \%$ και μέγιστη $31,5\%$.



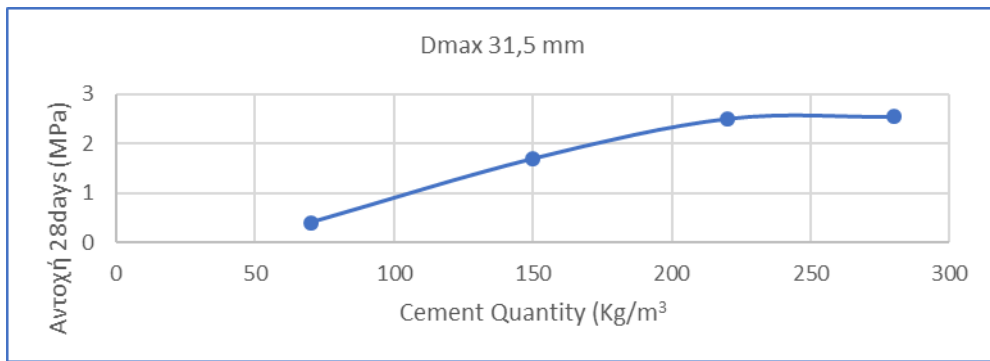
Διάγραμμα 7: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η υδραυλική αγωγιμότητα μειώνεται με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Η μέγιστη τιμή της είναι $0,19 \text{ s}^{-1}$ και η ελάχιστη $0,12 \text{ s}^{-1}$.



Διάγραμμα 8: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

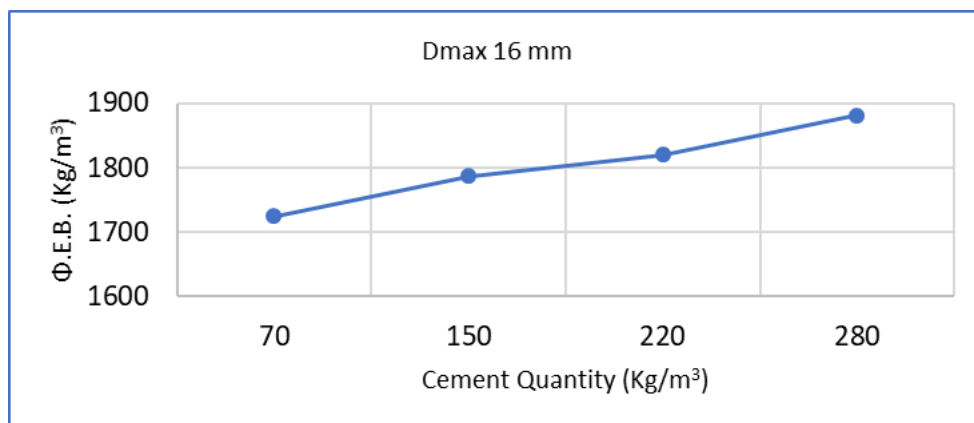
Παρατηρείται ότι η υδατοπερατότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του ποσοστού τσιμέντου στα δοκίμια. Ξεκινά από $1000 \text{ L ανά min} \times \text{m}^2$ και καταλήγει στα $782 \text{ L ανά min} \times \text{m}^2$.



Διάγραμμα 9: Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

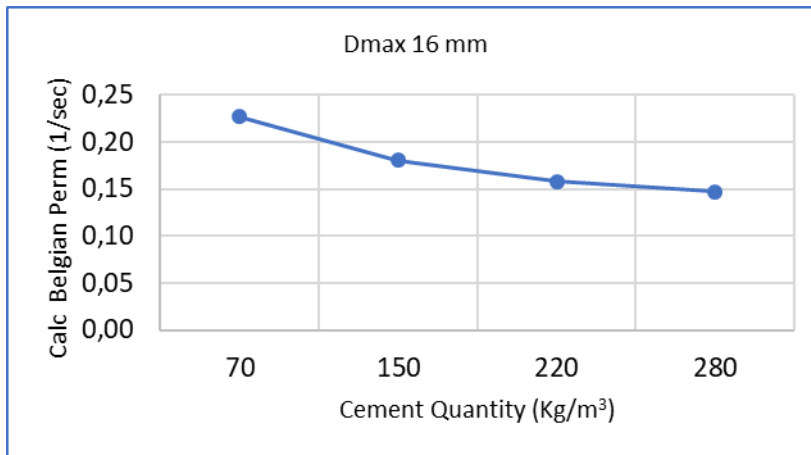
Παρατηρείται ότι η θλιπτική αντοχή αυξάνεται αναλογικά με το ποσοστό τσιμέντου, όπως αναμενόταν, πλην όμως είναι αρκετά χαμηλή με μέγιστη τιμή 2,55 MPa.

Δοκίμια με Dmax= 16mm



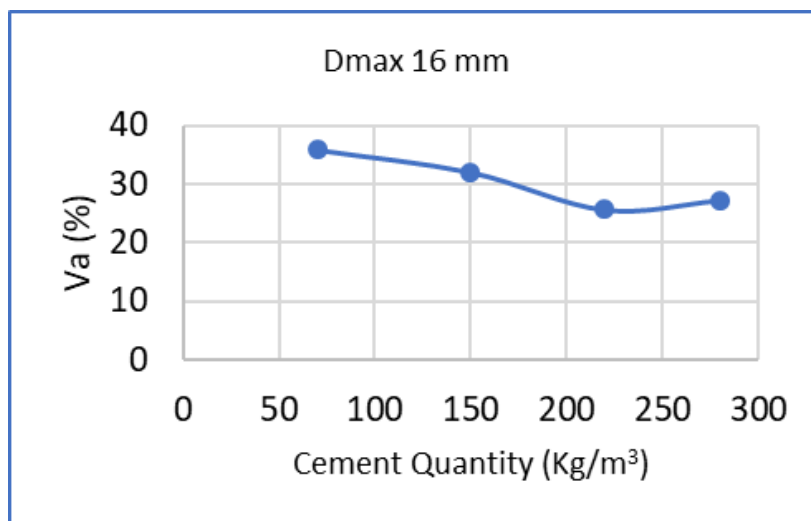
Διάγραμμα 10: Δικύμανση φαινόμενου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η αύξηση του βάρους των δοκιμίων είναι ανάλογη με την περιεκτικότητά τους σε τσιμέντο. Ξεκινά από τα 1.724 kg/m³ και αγγίζει τα 1.881 kg/m³



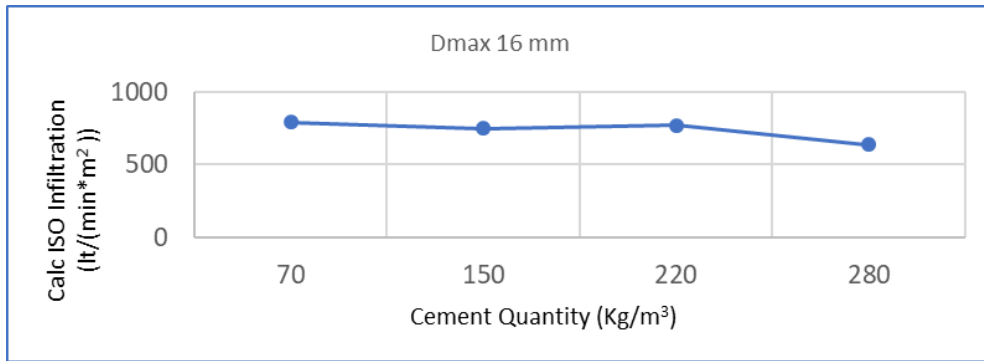
Διάγραμμα 11: Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι το ποσοστό των κενών (πορώδες) είναι αντιστρόφως ανάλογο του ποσοστού τσιμέντου. Η ελάχιστη τιμή είναι 25,7% και η μέγιστη 35,9%.



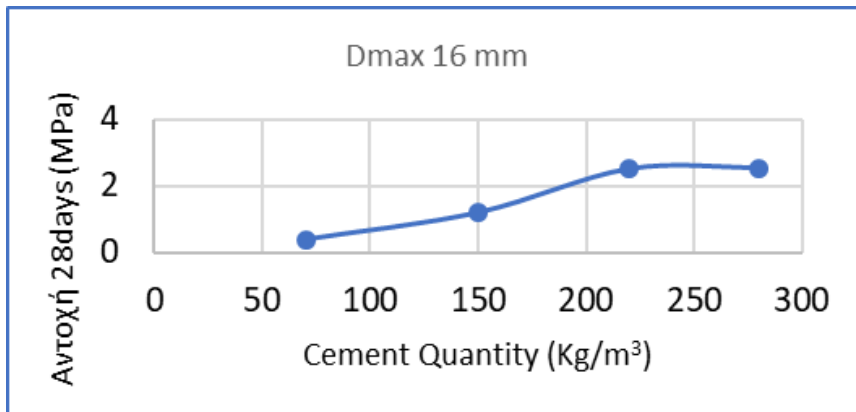
Διάγραμμα 12: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η υδραυλική αγωγιμότητα μειώνεται με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Η μέγιστη τιμή της είναι 0,23 s⁻¹ και η ελάχιστη 0,15 s⁻¹.



Διάγραμμα 13: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

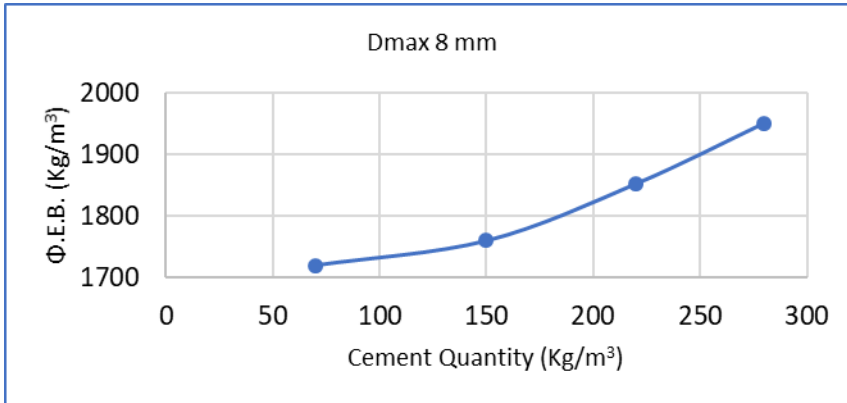
Παρατηρείται ότι η υδατοπερατότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του ποσοστού τσιμέντου στα δοκίμια. Ξεκινά από 794 L ανά min x m² και καταλήγει στα 639 L ανά min x m².



Διάγραμμα 14: Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

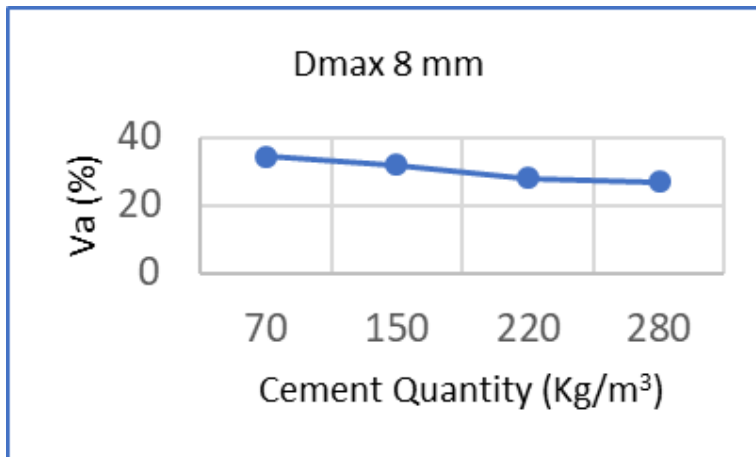
Παρατηρείται ότι η θλιπτική αντοχή αυξάνεται αναλογικά με το ποσοστό τσιμέντου, σε αυτή την περίπτωση φτάνει μέχρι τα 2,54 MPa δηλαδή και πάλι, πολύ χαμηλή αντοχή.

Δοκίμια με Dmax= 8mm



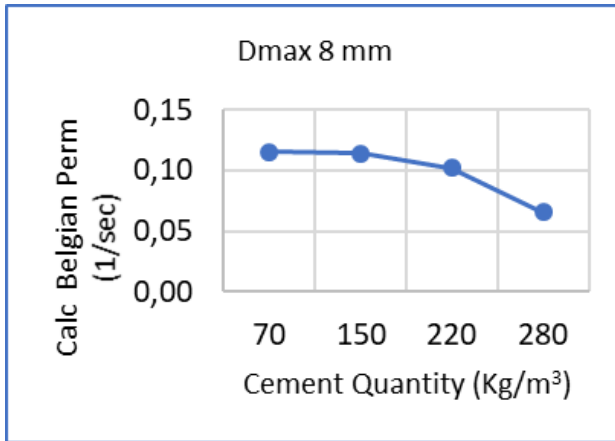
Διάγραμμα 15: Δικύμανση φαινόμενου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η αύξηση του βάρους των δοκιμών είναι ανάλογη με την περιεκτικότητά τους σε τσιμέντο. Ξεκινά από τα 1.720 kg/m³ και αγγίζει τα 1.950 kg/m³



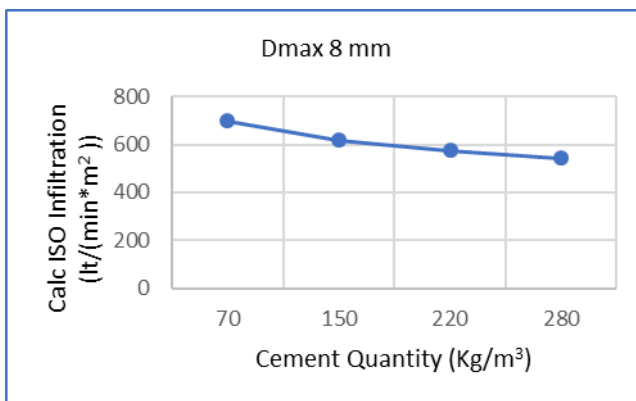
Διάγραμμα 16: Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι το ποσοστό των κενών (πορώδες) είναι αντιστρόφως ανάλογο του ποσοστού τσιμέντου. Η ελάχιστη τιμή είναι 27% και η μέγιστη 34,3%.



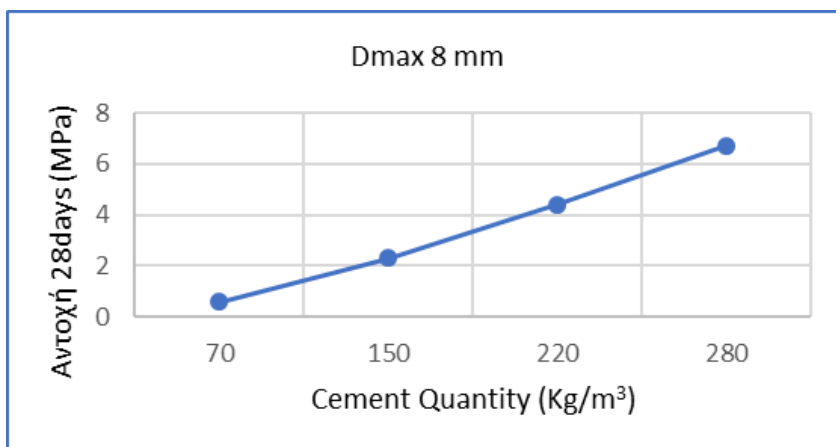
Διάγραμμα 17: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η υδραυλική αγωγιμότητα μειώνεται με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Η μέγιστη τιμή της είναι $0,12 \text{ s}^{-1}$ και η ελάχιστη $0,07 \text{ s}^{-1}$



Διάγραμμα 18: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η υδατοπερατότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του ποσοστού τσιμέντου στα δοκίμια. Ξεκινά από 698 L ανά min x m² και καταλήγει στα 543 L ανά min x m².



Διάγραμμα 19: Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η θλιπτική αντοχή αυξάνεται αναλογικά με το ποσοστό τσιμέντου, σε αυτή την περίπτωση βελτιώνεται και φτάνει μέχρι τα 6,7 MPa. Η τιμή είναι μεν αυξημένη σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις αλλά εξακολουθεί να είναι κάτω από τα 10 MPa που αποτελεί την ελάχιστη απαίτηση του κανονισμού.

5.2 2^η Φάση

Πίνακας 13: 2η Φάση Συνολικά Αποτελέσματα

2η Φάση ---Συνολικά Αποτελέσματα												
CEMII-32,5 ---Χωρίς Πρόσμεκτο---Dmax 8mm [20-30-40 για Αύξηση Αντοχής												
A/A	Dmax	Cement Quantity	Coarse to Sand	ΦΕΒ	βάρος στο νερό	Va	Belgian Perm	Calc	ISO Infiltration	Calc	Αντοχή 7d	Αντοχή 28d
	mm	Kg/m ³	%	Kg/m ³	Kg/m ³	%	sec	sec ⁻¹	sec	lt/min.m ²	MPa	MPa
B1	8	220	80-20	1870	1296	30,7	23,03	0,043	32,05	374	4,75	5,95
B2	8	280	80-20	1901	1350	29	18,32	0,055	40,37	297	4,4	5,5
B3	8	320	80-20	1912	1409	26,3	21,5	0,047	37,85	317	5,5	7,1
B4	8	220	70-30	1979	1427	27,9	24,01	0,042	29,5	407	5,9	7,35
B5	8	280	70-30	1931	1381	28,5	20,53	0,049	29,75	403	5	6,3
B6	8	320	70-30	1949	1438	26,2	30,78	0,032	42,85	280	6,1	7,6
B7	8	220	60-40	1935	1366	29,4	17,56	0,057	27,6	435	6,3	7,9
B8	8	280	60-40	1902	1341	29,5	15,31	0,065	39,41	304	6,4	7,9
B9	8	320	60-40	2080	1774	14,7	73	0,014	126	95	7,65	9,5

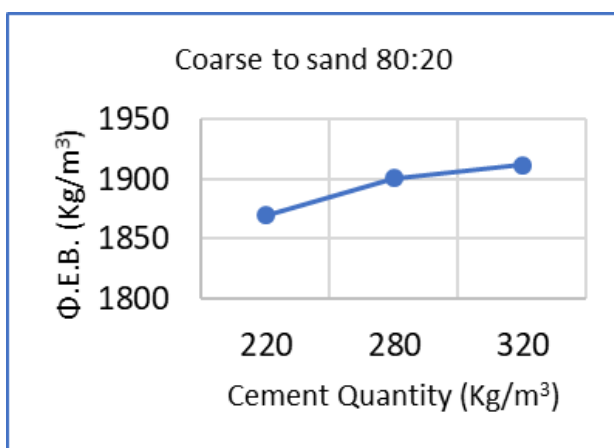
Το ζητούμενο ήταν η αύξηση των κιλών του τσιμέντου ανά κυβικό μέτρο και η διερεύνηση της αναλογίας μεταξύ χονδρόκοκκου και λεπτόκοκκου υλικού, στην επίδραση κυρίως των θλιπτικών αντοχών.

Διεξαγωγή συμπερασμάτων

Παρατηρήθηκε ότι:

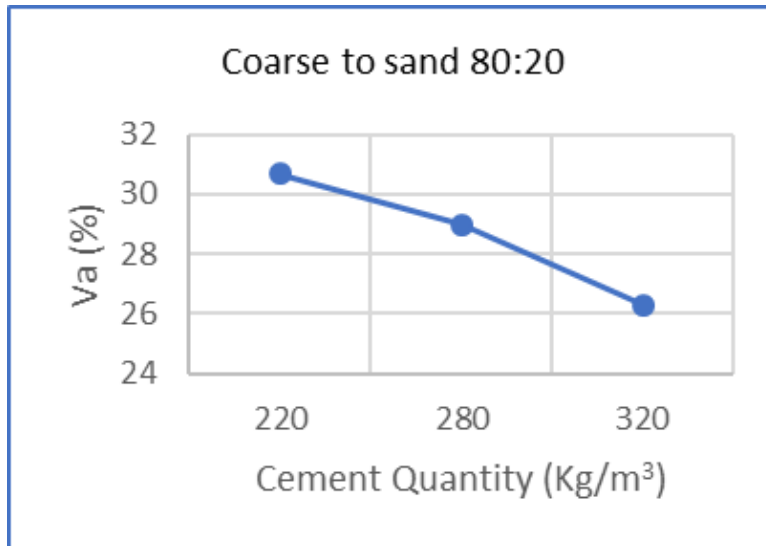
- Οι αντοχές ανέβηκαν, όμως δεν έφτασαν στο επιθυμητό επίπεδο
- Οι διαπερατότητες στο σύνολό τους μειώθηκαν.
- Η μέγιστη αντοχή βρίσκεται στο δείγμα Β9 και ισούται με 9,5 MPa, τιμή που προσεγγίζει την ελάχιστη αποδεκτή σύμφωνα με τον κανονισμό
- Η τιμή της διαπερατότητας είναι αντιστρόφως ανάλογη με την αντοχή των δοκιμών σε θραύση.
- Ανά κατηγοριοποίηση ποσοστού τσιμέντου-άμμου η διαπερατότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της αντοχής στα υπό έλεγχο δοκίμια.

Δοκίμια με coarse to sand 80:20



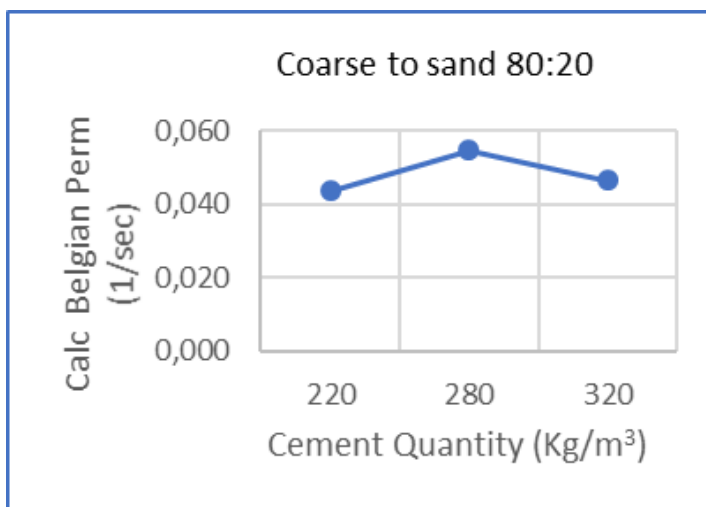
Διάγραμμα 20: : Διακύμανση φαινομένου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η αύξηση του βάρους των δοκιμών είναι ανάλογη με την περιεκτικότητά τους σε τσιμέντο. Ξεκινά από τα 1870 kg/m³ και αγγίζει τα 1912 kg/m³



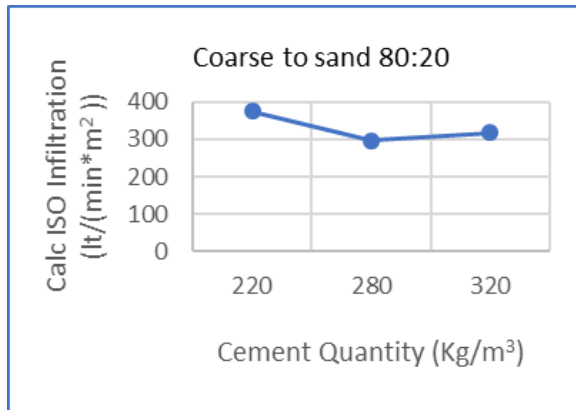
Διάγραμμα 21: Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι το ποσοστό των κενών (πορώδες) είναι αντιστρόφως ανάλογο του ποσοστού τσιμέντου. Η ελάχιστη τιμή είναι 26,3 % και μέγιστη 30,7%.



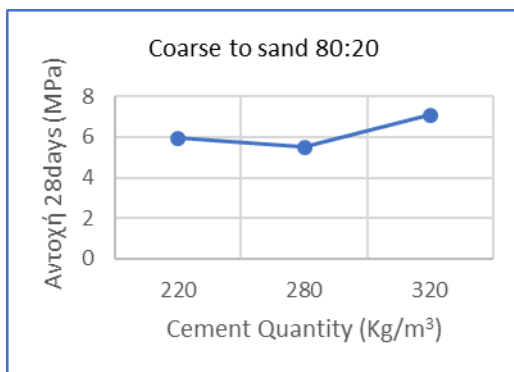
Διάγραμμα 22: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η υδραυλική αγωγιμότητα έχει τιμές 0,043s⁻¹, 0.055s⁻¹ και 0,047s⁻¹.



Διάγραμμα 23: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

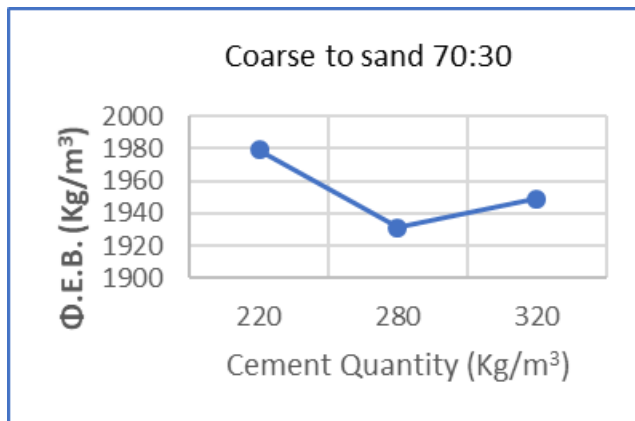
Παρατηρείται ότι η υδατοπερατότητα έχει μέγιστη τιμή 374 L/(min * m²) και ελάχιστη τιμή 317 L/(min * m²).



Διάγραμμα 24: : Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

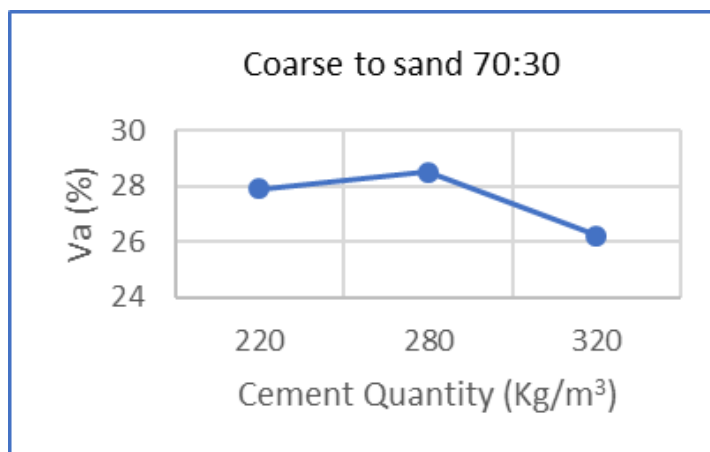
Παρατηρείται ότι η θλιπτική αντοχή κυμαίνεται από 5,5 έως 7,1 MPa. Έχουν αυξηθεί οι αντοχές ,πλην όμως είναι ακόμα χαμηλές.

Δοκίμια με coarse to sand 70:30



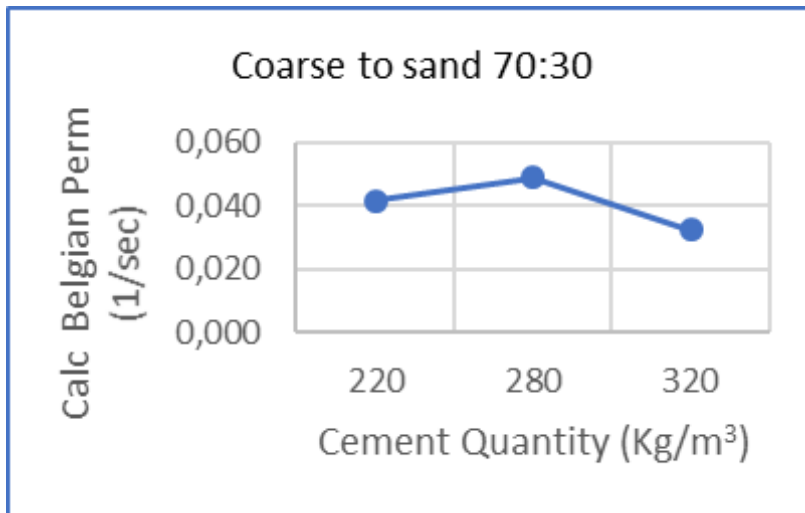
Διάγραμμα 25: Διακύμανση φαινόμενου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η αύξηση του βάρους των δοκιμών κυμαίνεται από τα 1949 kg/m³ και αγγίζει τα 1979 kg/m³



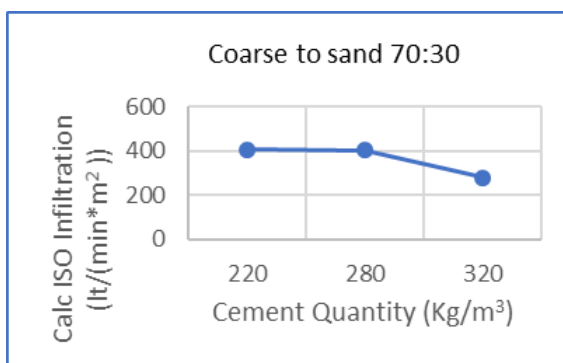
Διάγραμμα 26: Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι το ποσοστό των κενών (πορώδες) παίρνει τιμές από 26,2% έως 28,5%



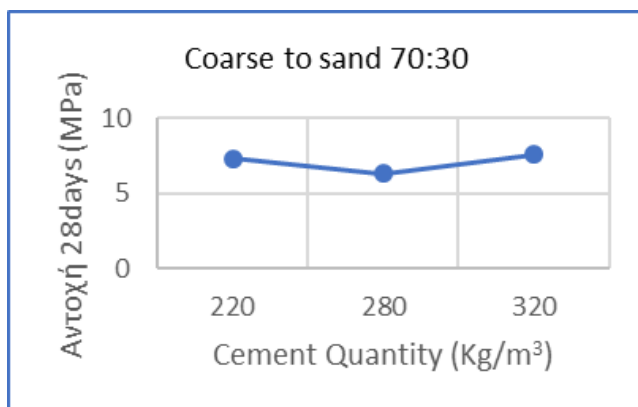
Διάγραμμα 27: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η υδραυλική αγωγιμότητα εκτείνεται με τιμές από 0,032 ως 0,049 s⁻¹.



Διάγραμμα 28: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

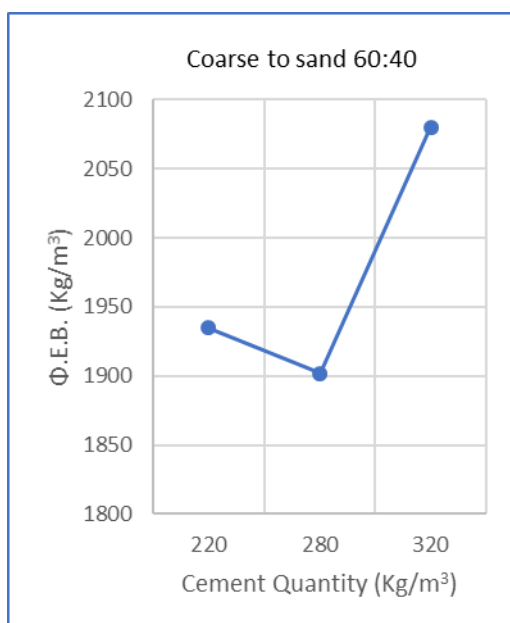
Παρατηρείται ότι η υδατοπερατότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του ποσοστού τσιμέντου στα δοκίμια. Ξεκινά από 407 L ανά min x m² και καταλήγει στα 280 L ανά min x m².



Διάγραμμα 29: Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

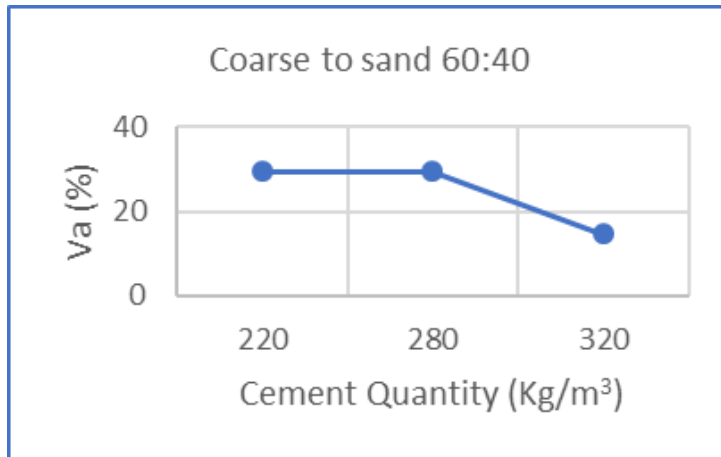
Παρατηρείται ότι η θλιπτική αντοχή σε αυτή την περίπτωση φτάνει μέχρι τα 7.6 MPa

Δοκίμια με coarse to sand 60:40



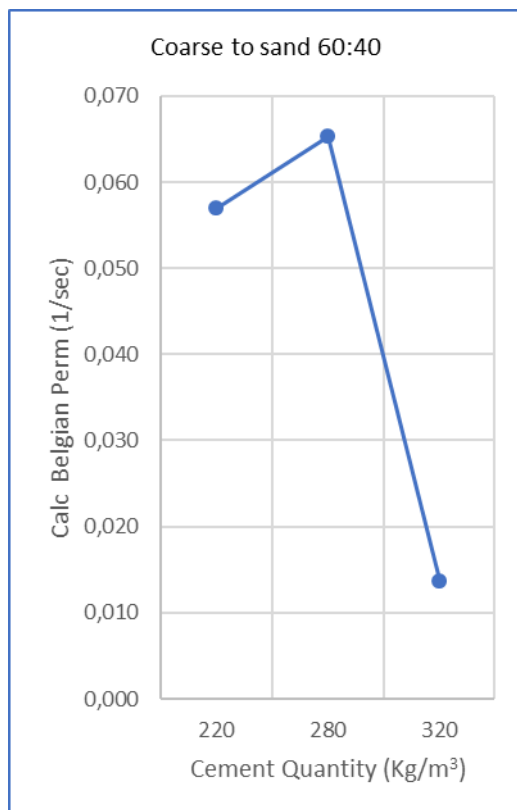
Διάγραμμα 30: Διακύμανση φαινόμενου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Το μέγιστο φαινόμενο βάρος προσεγγίζει τα 2080 kg/m³



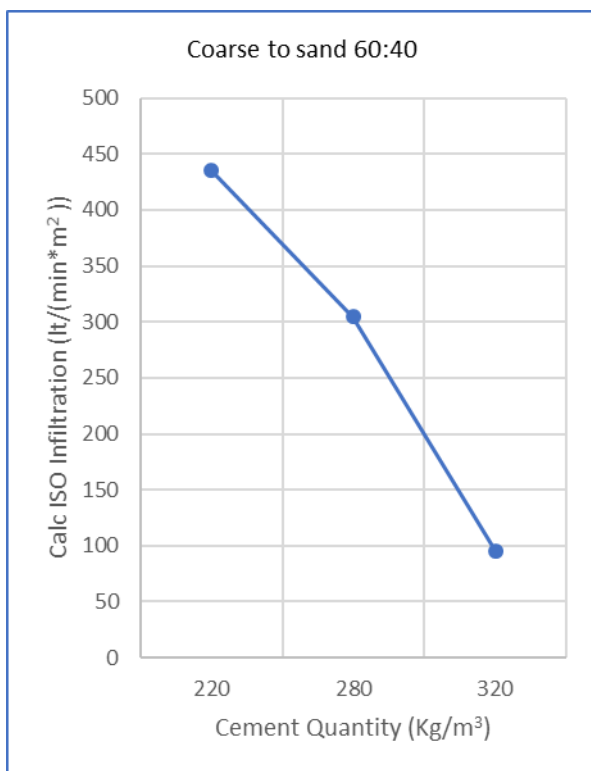
Διάγραμμα 31: Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι το ποσοστό των κενών (πορώδες) έχει ελάχιστη τιμή 14,7% και μέγιστη 27,4%



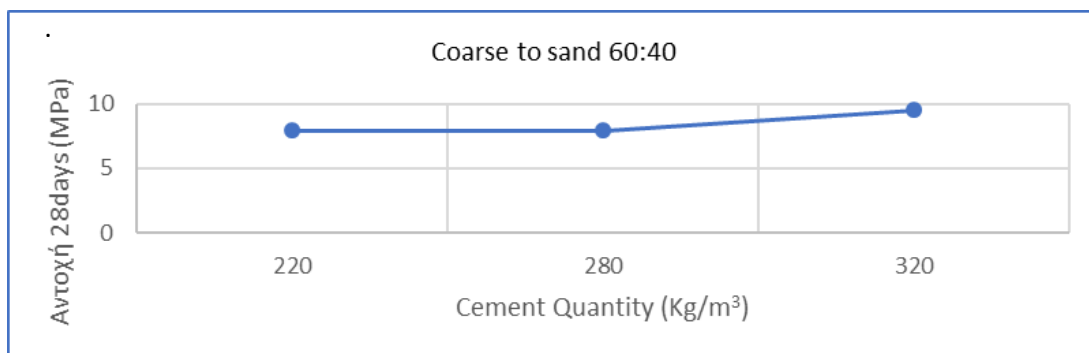
Διάγραμμα 32: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η υδραυλική αγωγιμότητα ξεκινά με τιμή $0,057s^{-1}$, παρουσιάζει μια μικρή αύξηση και στη μέγιστη περιεκτικότητα τσιμέντου παίρνει τιμή $0,014s^{-1}$



Διάγραμμα 33: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η υδατοπερατότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του ποσοστού τσιμέντου στα δοκίμια. Ξεκινά από 95 L / (min * m²) και καταλήγει στα 435 L/(min * m²).



Διάγραμμα 34: Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου

Παρατηρείται ότι η θλιπτική αντοχή αυξάνεται αναλογικά με το ποσοστό τσιμέντου, σε αυτή την περίπτωση προσεγγίζει τα 10 MPa, που είναι και το ελάχιστο ζητούμενο όριο

5.3 3^η Φάση

Πίνακας 14: 3η Φάση Συνολικά Αποτελέσματα για coarse to fine ratio 80/20

3η Φάση --- Συνολικά Αποτελέσματα												
CEMII-32,5 --- ΜΕ Πρόσμεικτο--Dmax 8mm [80-20 για Αύξηση Αντοχής]												
	Dmax	Cement Quantity	Coarse to Sand	ΦΕΒ	βάρος στο νερό	Va	Belgian Perm	Calc	ISO Infiltration	Calc	Αντοχή 7d	Αντοχή 28d
A/A	mm	Kg/m ³	%	Kg/m ³	Kg/m ³	%	sec	sec ⁻¹	sec	lt/min.m ²	MPa	MPa
C1.1	8	70	80-20	1769	1194	32,5	10	0,10	20	600	3,75	4,5
C1.2	8	150	80-20	1814	1301	28,3	10,5	0,10	24	500	11	13,2
C1.3	8	220	80-20	1957	1497	23,5	20,85	0,05	26	462	14,3	17,04
C1.4	8	280	80-20	1966	1585	19,4	13,2	0,08	29	414	16,32	19,6
C1.5	8	320	80-20	2026	1680	17,1	19,5	0,05	35	343	16,63	20
C1.6	8	360	80-20	2096	1803	14	62	0,02	43	279	19,38	23,26

Πίνακας 15: 3η Φάση Συνολικά Αποτελέσματα για coarse to fine ratio 80/20

3η Φάση --- Συνολικά Αποτελέσματα ΑΣΥΜΠΥΚΝΩΤΑ												
CEMII-32,5 --- ΜΕ Πρόσμεικτο--Dmax 8mm [80-20 για Αύξηση Αντοχής]												
	Dmax	Cement Quantity	Coarse to Sand	ΦΕΒ	βάρος στο νερό	Va	Belgian Perm	Calc	ISO Infiltration	Calc	Αντοχή 7d	Αντοχή 28d
	mm	Kg/m ³	%	Kg/m ³	Kg/m ³	%	sec	sec ⁻¹	sec	lt/min.m ²	MPa	MPa
C2.1	8	70	80-20	1592	954	40,1	5,5	0,18	13,5	889	0,96	1,2
C2.2	8	150	80-20	1599	1015	36,5	6	0,17	14	857	2,64	3,3
C2.3	8	220	80-20	1741	1130	35,1	6,53	0,15	16	750	3,2	4
C2.4	8	280	80-20	1749	1244	28,9	7	0,14	16,5	727	5,16	6,45
C2.5	8	320	80-20	1782	1296	27,3	9	0,11	18	667	6,28	7,85
C2.6	8	360	80-20	1844	1381	25,1	12	0,08	20	600	10,16	12,7

Κρατώντας σταθερό το λόγο χονδρόκοκκου-λεπτόκοκκου 80-20 και σε πλήρη έκταση κιλών τσιμέντου ανά κυβικό μέτρο από 70 έως 360 χρησιμοποιήθηκε πρόσμεικτο-ρευστοποιητής (viscocrete) του οποίου οι ιδιότητες είναι ευεργετικές ως προς τις αντοχές των δοκιμών.

Διεξαγωγή συμπερασμάτων

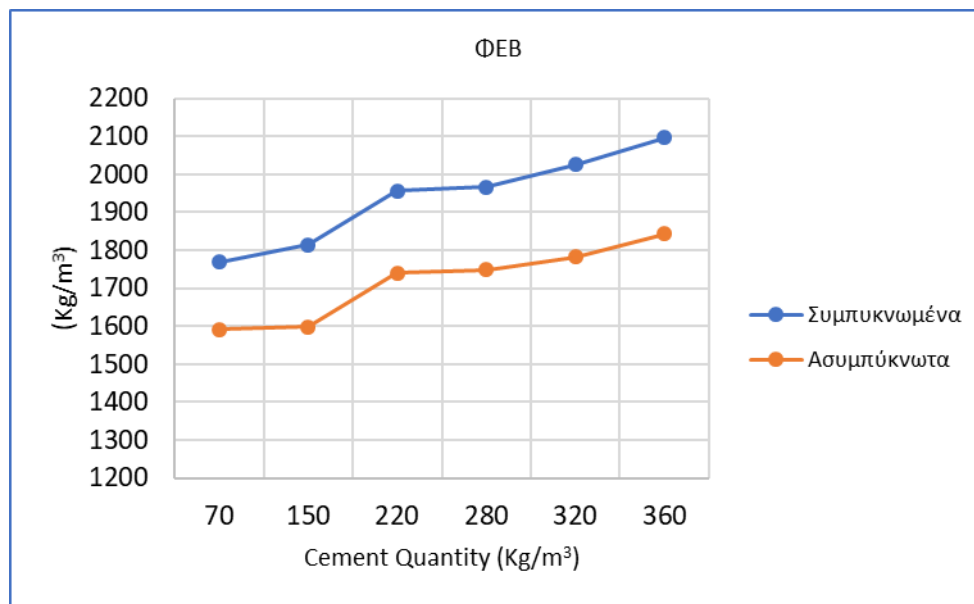
Παρατηρείται ότι:

- Οι αντοχές αυξήθηκαν σημαντικά. Μάλιστα στα δοκίμια C1.2 ως και C1.6 υπερκαλύπτουν τις απαιτήσεις.
- Δεν επιτυγχάνονται ως επί το πλείστον διαπερατότητες που να συνάδουν με τις απαιτούμενες προδιαγραφές.
- Η μέγιστη αντοχή βρίσκεται στο δείγμα C1.6 και ισούται με 23.26 MPa.
- Το ποσοστό του πορώδους είναι αντιστρόφως ανάλογο με την υδατοπερατότητα και την αντοχή των δοκιμών
- Το πορώδες είναι αντιστρόφως ανάλογο του ποσοστού τσιμέντου στα δοκίμια.

Όσον αφορά τα ασυμπύκνωτα δοκίμια, κάνοντας τη σύγκριση με τα αντίστοιχα συμπυκνωμένα, ανεβαίνει το πορώδες και η διαπερατότητα, ενώ μικραίνει το

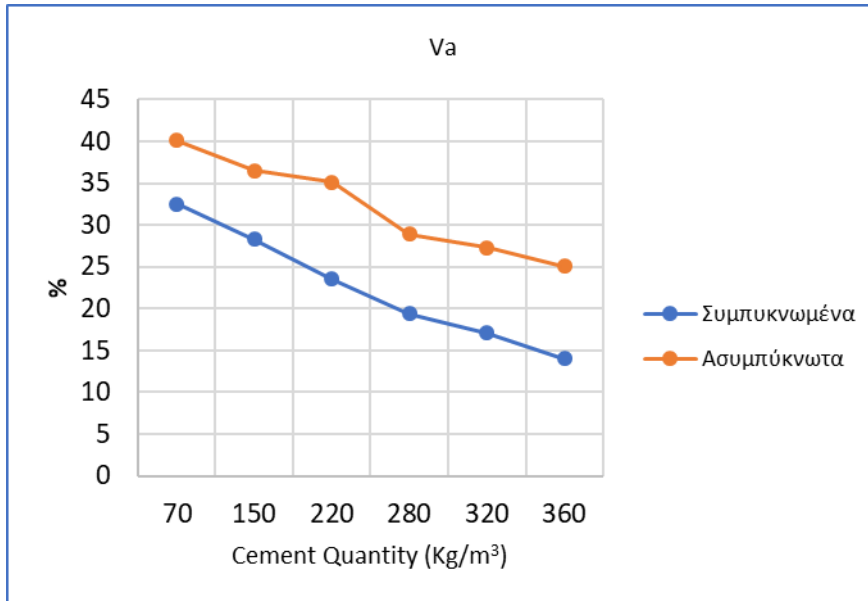
βάρος τους και η αντοχή τους. Στο πεδίο υπάρχει μεγάλη πιθανότητα το υλικό να συμπυκνώνεται ελλιπώς με αποτέλεσμα τα χαρακτηριστικά του να προσεγγίζουν αυτά των ασυμπύκνωτων δοκιμίων. Με αυτήν την πειραματική εφαρμογή, ποσοτικοποιούνται τα χαρακτηριστικά του ασυμπύκνωτου υλικού στο πεδίο.

Δοκίμια με coarse to sand 80:20 και πρόσμικτο για ενίσχυση αντοχής



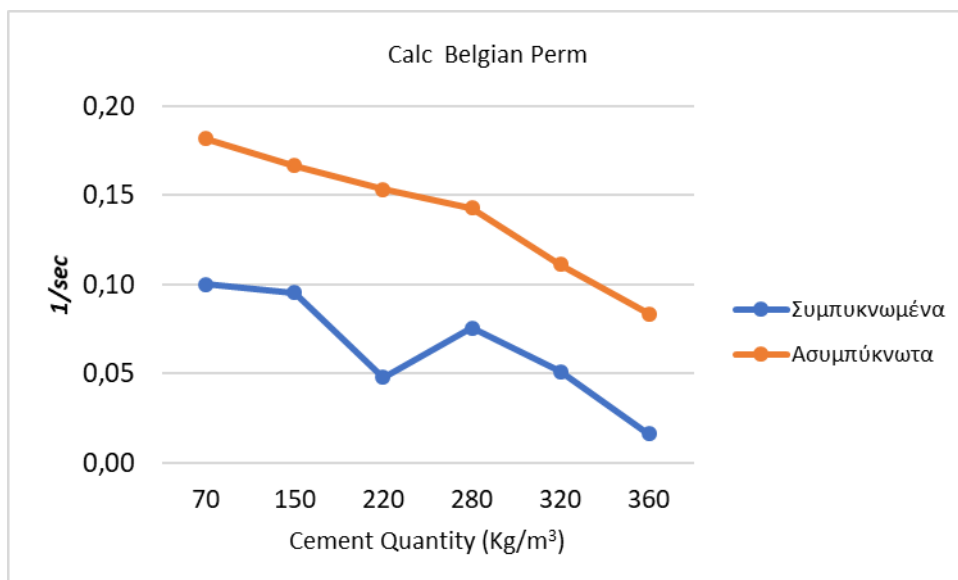
Διάγραμμα 35: Διακύμανση φαινομένου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπυκνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων

Στα συμπυκνωμένα δοκίμια η αύξηση του βάρους των δοκιμίων είναι ανάλογη με την περιεκτικότητα τους σε τσιμέντο. Ξεκινά από τα 1769 kg/m³ και αγγίζει τα 2096 kg/m³. Αντίστοιχα, στα ασυμπύκνωτα δοκίμια το βάρος τους ξεκινά από τα 1592 kg/m³ και καταλήγει στα 1894 kg/m³.



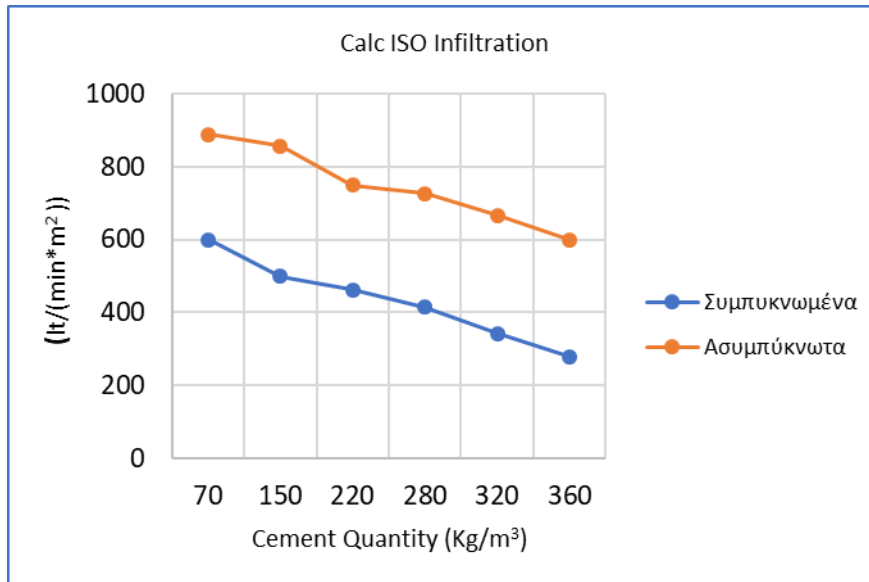
Διάγραμμα 36: Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπυκνωμένων και ασυμπύκνωντων δοκιμίων

Και στις δύο περιπτώσεις το ποσοστό των κενών (πορώδες) είναι αντιστρόφως ανάλογο του ποσοστού τσιμέντου. Παρατηρείται ότι στα ασυμπύκνωτα δοκίμια το πορώδες αυξάνεται σε σχέση με τα συμπυκνωμένα. Η ελάχιστη τιμή στα συμπυκνωμένα δοκίμια είναι 14 % και μέγιστη 32,5%. Αντίστοιχα στα ασυμπύκνωτα έχει ελάχιστη τιμή 25,1% και μέγιστη 40,1%.



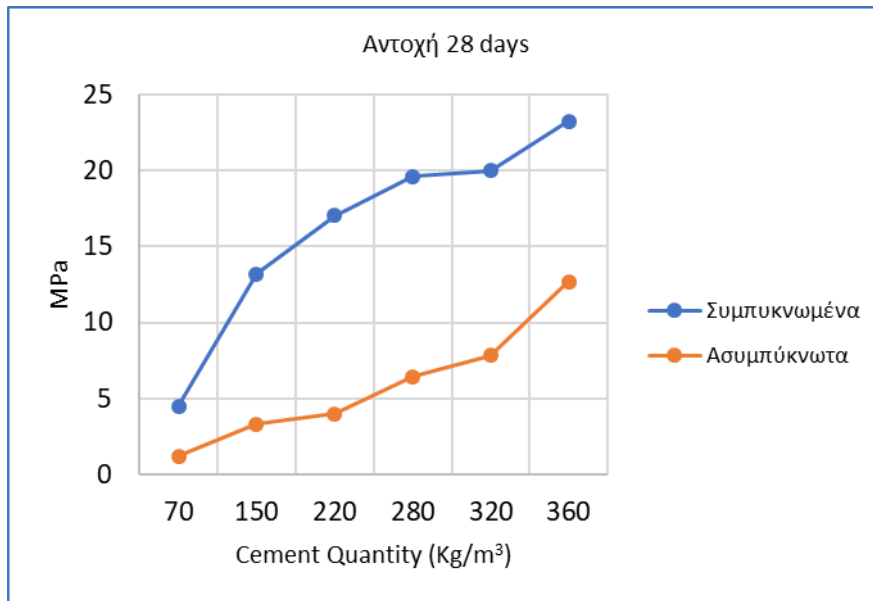
Διάγραμμα 37: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπυκνωμένων και ασυμπύκνωντων δοκιμίων

Η υδραυλική αγωγιμότητα των των δοκιμών και στις δύο περιπτώσεις είναι αντιστρόφως ανάλογο με την περιεκτικότητα τους σε τσιμέντο. Στα συμπυκνωμένα υλικά ξεκινά από τα $0,10s^{-1}$ και καταλήγει στα $0,02s^{-1}$ ενώ στα ασυμπύκνωτα από τα $0,18s^{-1}$ στα $0,08s^{-1}$.



Διάγραμμα 38: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπυκνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμών

Παρατηρείται ότι η υδατοπερατότητα στα συμπυκνωμένα και ασυμπύκνωτα δοκίμια είναι αντιστρόφως ανάλογο του ποσοστού τσιμέντου. Στα συμπυκνωμένα δοκίμια κυμαίνεται από 600 έως 279 $L/(min * m^2)$, ενώ στα ασυμπύκνωτα από 889 έως 600 $L/(min * m^2)$.



Διάγραμμα 39: Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπυκνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων

Η σημαντική διαφορά μεταξύ συμπυκνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων παρατηρείται στις θλιπτικές τους αντοχές. Έχουν μεν αναλογική σχέση ως προς το ποσοστό τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε, όμως τα ασυμπύκνωτα υλικά παρουσιάζουν πολύ μικρότερες αντοχές, με τη μεγαλύτερη από αυτές να είναι στα 12,7MPa, η μόνη εντός κανονιστικών ορίων. Αντίθετα στα συμπυκνωμένα δείγματα σε ποσοστό τσιμέντου άνω των 70Kg/m³ οι αντοχές είναι ικανοποιητικές.

5.4 4^η Φάση

Πίνακας 16: 4η Φάση Συνολικά Αποτελέσματα με χρήση CEM1-42,5

4η Φάση ----Συνολικά Αποτελέσματα												
CEMI-42,5 ---ME Πρόσμεικτο---Dmax 8mm												
A/A	Dmax mm	Cement Quantity Kg/m ³	Coarse to Sand %	ΦΕΒ Kg/m ³	βάρος στο νερό Kg/m ³	Va %	Belgian Perm sec	Calc sec ⁻¹	ISO Infiltration sec	Calc lt/min.m ²	Αντοχή 7d MPa	Αντοχή 28d MPa
D1.1	8	70	100-0	1649	1011	36,2	6,1	0,16393443	12,81	937	2,3	2,7
D1.2	8	150	100-0	1812	1099	28,7	7,53	0,13280212	20,4	588	7,45	8,9
D1.3	8	220	100-0	1838	1121	28,3	7,72	0,12953368	28,3	424	9,8	11,7
D1.4	8	280	100-0	1988	1202	21,4	12,8	0,078125	41,1	292	15,9	19
D1.5	8	320	100-0	2025	1232	20,7	18,22	0,05488474	45,7	263	16,7	20,4
D1.6	8	360	100-0	2055	1261	20,6	20,63	0,0484731	49,3	243	18,8	22,56

Πίνακας 18: 4η Φάση Συνολικά Αποτελέσματα με χρήση CEM I-42,5-Ασυμπύκνωτα

4η Φάση --- Συνολικά Αποτελέσματα ΑΣΥΜΠΥΚΝΩΤΑ												
CEMI-42,5---ME Πρόσμικτο--Dmax 8mm												
	Dmax	Cement Quantity	Coarse to Sand	ΦΕΒ	βάρος στο νερό	Va	Belgian Perm	Calc	ISO Infiltration	Calc	Αντοχή 7d	Αντοχή 28d
A/A	mm	Kg/m ³	%	Kg/m ³	Kg/m ³	%	sec	sec ⁻¹	sec	lt/min.m ²	MPa	MPa
D2.1	8	70	100-0	1538	949	41,1	4,43	0,22573363	9,3	1290	0,5	0,6
D2.2	8	150	100-0	1644	1006	36,2	4,67	0,21413276	9,85	1218	5	6
D2.3	8	220	100-0	1654	1001	34,7	5,1	0,19607843	10,76	1115	5,2	6,24
D2.4	8	280	100-0	1788	1077	28,9	6,69	0,14947683	14,25	842	8	9,6
D2.5	8	320	100-0	1870	1098	22,8	8,53	0,11723329	18	667	8,4	10,08
D2.6	8	360	100-0	1876	1109	23,3	9,01	0,11098779	19	632	9	10,8

Στη συγκεκριμένη φάση δοκιμών επιλέχθηκε η χρήση ποσοστού άμμου να είναι 0%

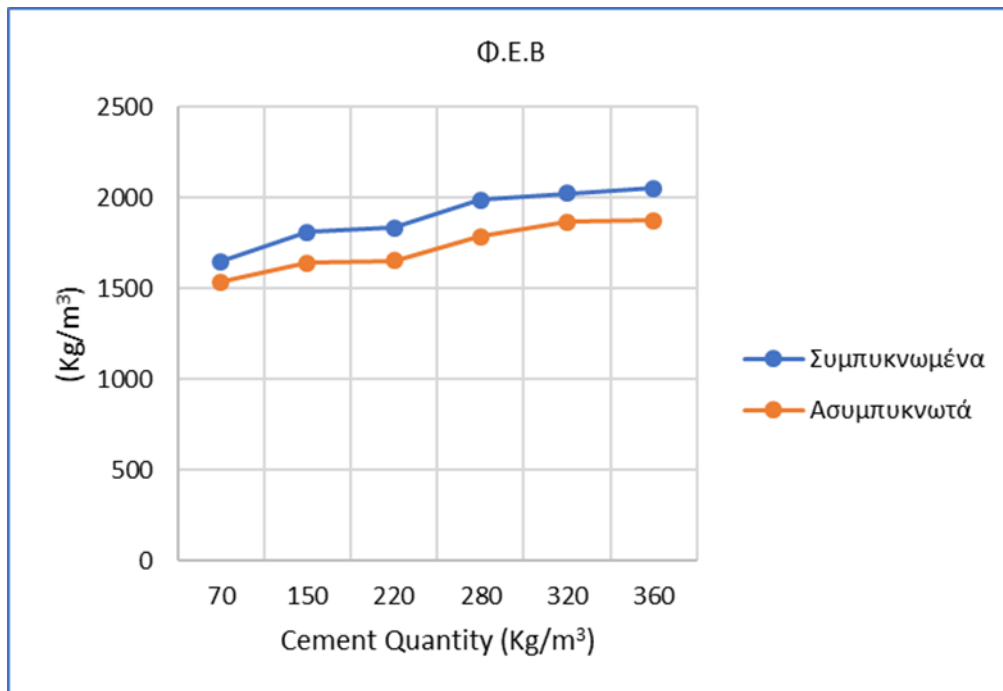
Ελέγχθηκαν τα χαρακτηριστικά του Διαπερατού Σκυροδέματος σε έκταση τιμέντου από 70 έως 360 Kg/m³ με χρήση πρόσμικτου της εταιρίας Viscokrit. Η ειδοποιός διαφορά σε σχέση με τους προηγούμενους κύκλους δοκιμών ήταν η χρήση τιμέντου υψηλής αντοχής CEM I 42.5.

Διεξαγωγή συμπερασμάτων

Παρατηρείται ότι:

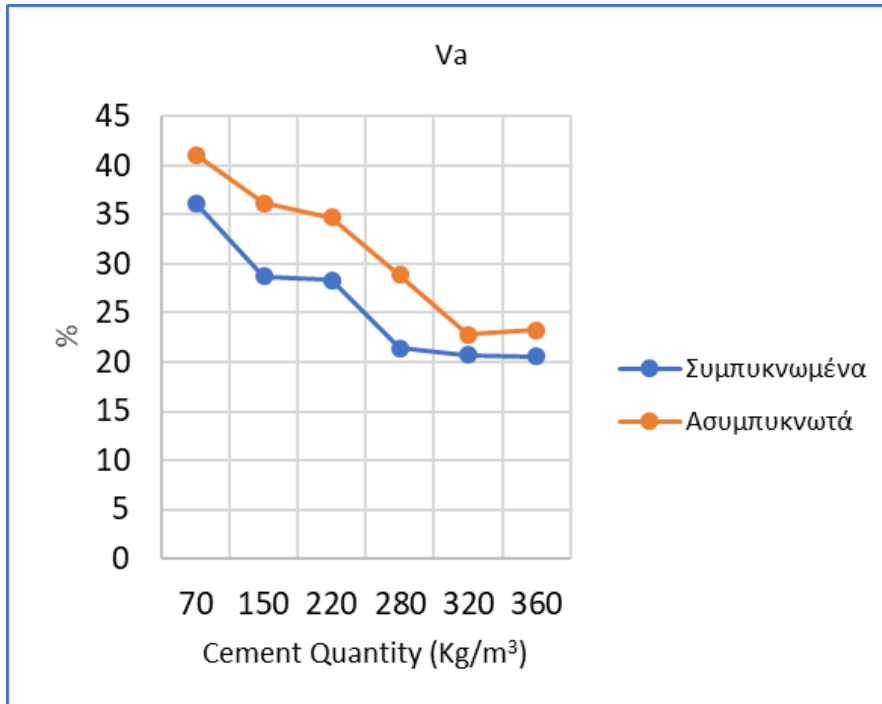
- Τα χαρακτηριστικά των δοκιμών D1.4, D1.5, D1.6 πληρούν τις προϋποθέσεις, ώστε να χρησιμοποιηθούν ως τελικό δάπεδο σε κατασκευή διαπερατού σκυροδέματος.
- Επιτυγχάνονται πολύ καλές διαπερατότητες στην πλειονότητα των δοκιμών.
- Η μέγιστη αντοχή βρίσκεται στο δείγμα D1.6 και ισούται με 22.56 MPa.
- Το πορώδες βρίσκεται στα σωστά ποσοστά.
- Η θλιπτική αντοχή των δοκιμών είναι ανάλογη του ποσοστού τιμέντου.
- Όσον αφορά τα ασυμπύκνωτα δοκίμια, κάνοντας τη σύγκριση με τα αντίστοιχα συμπακνωμένα, ανεβαίνει το πορώδες και η διαπερατότητα, ενώ μικραίνει το βάρος τους και η αντοχή τους.

Δοκίμια με τσιμέντο υψηλής αντοχής και πρόσμικτο



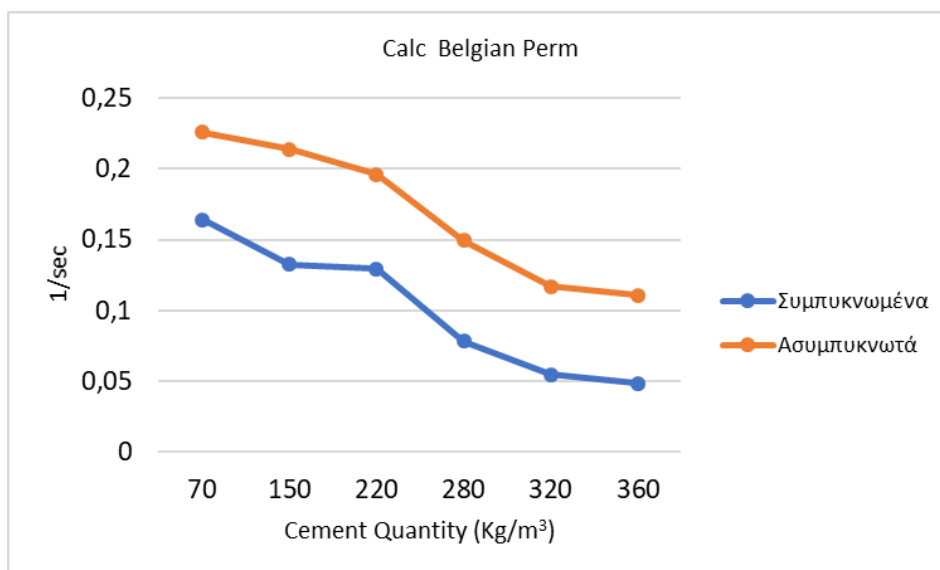
Διάγραμμα 40: Διακύμανση φαινομένου ειδικού βάρους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπυκνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων

Στα συμπυκνωμένα δοκίμια η αύξηση του βάρους των δοκιμίων είναι ανάλογη με την περιεκτικότητα τους σε τσιμέντο. Ξεκινά από τα 1649 kg/m³ και αγγίζει τα 2055 kg/m³. Αντίστοιχα, στα ασυμπύκνωτα δοκίμια το βάρος τους ξεκινά από τα 1538 kg/m³ και καταλήγει στα 1876 kg/m³.



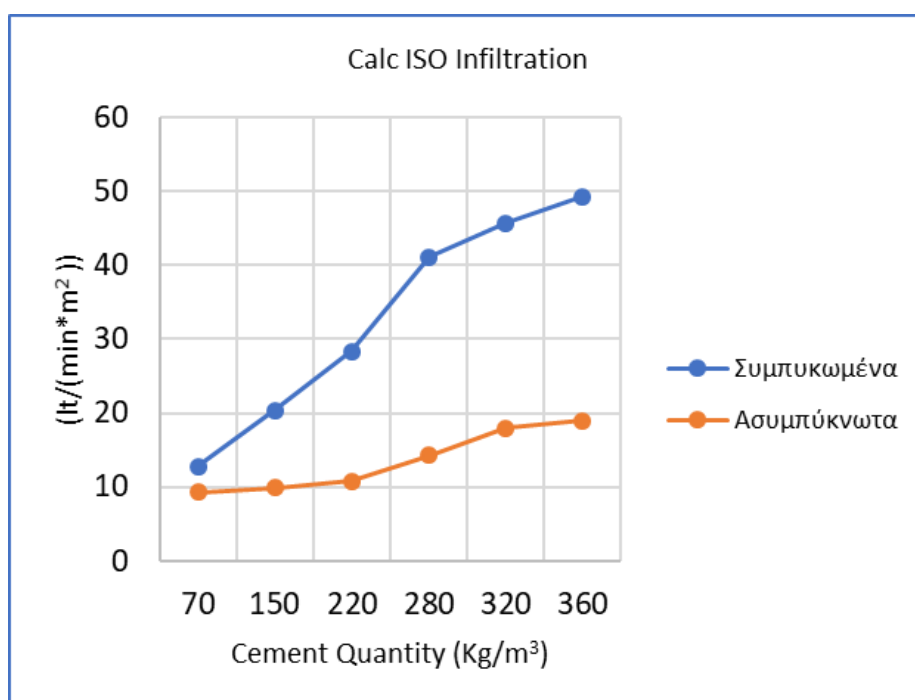
Διάγραμμα 41: : Διακύμανση πορώδους σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπυκνωμένων και ασυμπύκνωντων δοκιμίων

Και στις δύο περιπτώσεις το ποσοστό των κενών (πορώδες) είναι αντιστρόφως ανάλογο του ποσοστού τσιμέντου. Παρατηρείται ότι στα ασυμπύκνωτα δοκίμια το πορώδες αυξάνεται σε σχέση με τα συμπυκνωμένα. Η ελάχιστη τιμή στα συμπυκνωμένα δοκίμια είναι 20,6 % και μέγιστη 36,2% , που είναι και η μοναδική τιμή εκτός κανονιστικού ορίου. Αντίστοιχα στα ασυμπύκνωτα έχει ελάχιστη τιμή 23,3% και μέγιστη 41,1%.



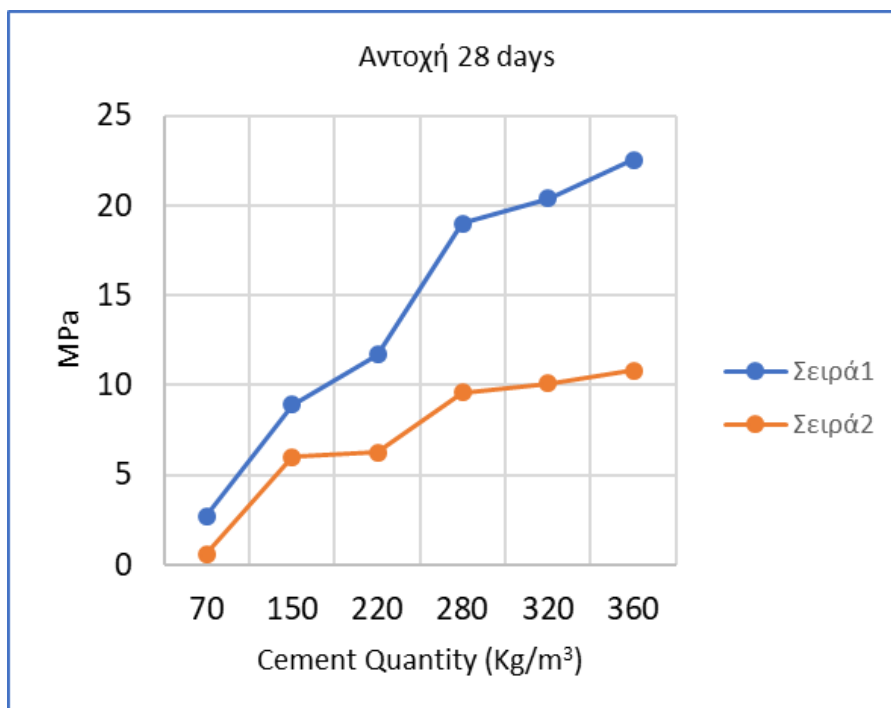
Διάγραμμα 42: Υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπυκνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμών

Η υδραυλική αγωγιμότητα των των δοκιμών και στις δύο περιπτώσεις είναι αντιστόφως ανάλογη με την περιεκτικότητα τους σε τσιμέντο. Στα συμπυκνωμένα υλικά ξεκινά από τα $0,04s^{-1}$ και καταλήγει στα $0,16s^{-1}$ ενώ στα ασυμπύκνωτα από τα $0,22s^{-1}$ στα $0,11s^{-1}$.



Διάγραμμα 43: Υδατοπερατότητα σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπυκνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμών

Παρατηρείται ότι η υδατοπερατότητα στα συμπυκνωμένα και ασυμπύκνωτα δοκίμια είναι αντιστρόφως ανάλογο του ποσοστού τσιμέντου. Στα συμπυκνωμένα δοκίμια κυμαίνεται από 937 έως 243 L/(min *m²), ενώ στα ασυμπύκνωτα από 1290 έως 632 L/(min *m²).



Διάγραμμα 44: Θλιπτική αντοχή σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου. Σύγκριση συμπυκνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων

Όπως και στην περίπτωση της τρίτης πειραματικής φάσης η σημαντική διαφορά μεταξύ συμπυκνωμένων και ασυμπύκνωτων δοκιμίων παρατηρείται στις θλιπτικές τους αντοχές. Έχουν μεν αναλογική σχέση ως προς το ποσοστό τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε, όμως τα ασυμπύκνωτα υλικά παρουσιάζουν πολύ μικρότερες αντοχές. Τα συμπυκνωμένα δοκίμια στο σύνολό τους έχουν ικανοποιητικές αντοχές με μέγιστη τιμή 22,56MPa. Όσον αφορά τα ασυμπύκνωτα δοκίμια οι αντοχές που εμφανίζουν είναι 50% μειωμένες.

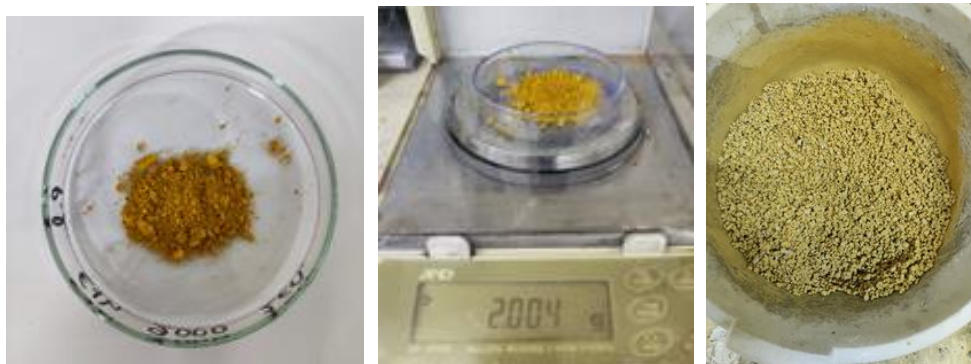
5.5 Αρχιτεκτονικά σκυροδέματα

Προκειμένου τα δοκίμια που δημιουργήθηκαν να έχουν εκτός από πρακτική εφαρμογή στο πεδίο, συγχρόνως και αισθητικό αποτέλεσμα εναρμονισμένο στο εκάστοτε περιβάλλον, υλοποιήθηκαν αρχιτεκτονικά- χρωματισμένα δοκίμια.

Για την παρασκευή τους χρησιμοποιήθηκαν ποσοστά χρωστικής ουσίας σε ποσότητες: 2% και 4% κατά βάρος του τσιμέντου. Οι τύποι του τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκαν ήταν γκρίζο τύπου Ι 42,5 TITAN, και Λευκό τύπου CEM Ι/A-L 42,5 N., TITAN. Στις δοκιμές αυτές όλα τα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν (σκύρα, γαρμπίλι, άμμος) ήταν θραυστά, ασβεστολιθικά σκούρου χρώματος προερχόμενα από το λατομείο Ταγαράδων, Θεσσαλονίκης. Όσον αφορά τη διαδικασία ανάμιξης, αρχικώς τοποθετήθηκαν στον κάδο ανάμιξης τα αδρανή και κατόπιν το τσιμέντο με τη χρωστική. Αφού προστέθηκε το νερό, πραγματοποιήθηκε χειροκίνητη ανάμιξη με για 5 περίπου λεπτά, έως πλήρους ομογενοποίησης του δείγματος.



Εικόνα 48: Διαδικασία παρασκευής με κόκκινη χρωστική



Εικόνα 49: Διαδικασία παρασκευής με κίτρινη χρωστική

Ο μέγιστος κόκκος D_{max} ήταν 8mm και οι ιδιότητες αναλογιών των χρωματισμένων δοκιμών όμοιες με τα δοκίμια D1.5 της τέταρτης φάσης των εργαστηριακών δοκιμών. Τα

δοκίμια εξετάστηκαν ως προς το φαινόμενο βάρος , το πορώδες, την υδραυλικά αγωγιμότητα , τη διαπερατότητα και τη μηχανική τους αντοχή.

Οι τιμές που προέκυψαν ήταν ίσες με το πρότυπο προαναφερθέν δείγμα.

Όπως θα φανεί αναλυτικά παρακάτω παρασκευάστηκαν πέντε διαφορετικοί χρωματικοί τύποι δοκιμίων ,δύο σε αποχρώσεις του κόκκινου, δύο σε αποχρώσεις του κίτρινου και ένα λευκό.

Πίνακας 17: Παρουσίαση δοκιμίων που παρασκευάστηκαν με τη προσθήκη χρωστικών

A/A	Dmax	τύπος τσιμέντου	ποσοστό χρωστικής	λόγος νερού - τσιμέντου	χρωστική
E1	8mm	I 42,5	2%	0,4	κόκκινη
E2	8mm	I 42,5	4%	0,4	κόκκινη
E3	8mm	I 42,5	2%	0,4	κίτρινη
E4	8mm	I 42,5	4%	0,4	κίτρινη
E5	8mm	ΛΕΥΚΟ I 42,5	0%	0,4	χωρίς



Εικόνα 50: Αρχιτεκτονικά διαπερατά δοκίμια

Συνδυαστική παλέτα γήινων αποχρώσεων

Ξεκινώντας με κόκκινη χρωστική και καταλήγοντας σε κίτρινη δημιουργήθηκε μια γήινη χρωματική παλέτα δέκα αποχρώσεων , όπου ενδιάμεσα υπάρχει συνδυασμός τους με αναλογίες , όπως απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Οι τύποι του τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκαν ήταν γκρίζο τύπου Ι 42,5 TITAN. Τα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν ήταν θραυστά, ασβεστολιθικά σκούρου χρώματος προερχόμενα από το λατομείο Ταγαράδων, Θεσσαλονίκης. Όσον αφορά τη διαδικασία ανάμιξης, όπως και προηγουμένως, αρχικώς τοποθετήθηκαν στον κάδο ανάμιξης τα αδρανή και κατόπιν το τσιμέντο με τις χρωστικές. Αφού προστέθηκε το νερό, πραγματοποιήθηκε χειροκίνητη ανάμιξη με για 5 περίπου λεπτά, έως πλήρους ομογενοποίησης του δείγματος.

Πίνακας 18: Παρουσίαση δειγμάτων που παρασκευάστηκαν με διαφορετικές αναλογίες κόκκινης και κίτρινης χρωστικής

A/A	Dmax	τύπος τσιμέντου	ποσοστό χρωστικής	λόγος νερού -τσιμέντου	χρωστική
SPG1	8mm	Ι 42,5	4%	0,4	κόκκινη
SPG2	8mm	Ι 42,5	2%	0,4	κόκκινη
SPG3	8mm	Ι 42,5	1%	0,4	κόκκινη
SPG4	8mm	Ι 42,5	1%+1%	0,4	κόκκινη + κίτρινη
SPG5	8mm	Ι 42,5	1%+2%	0,4	κόκκινη + κίτρινη
SPG6	8mm	Ι 42,5	1%+4%	0,4	κόκκινη + κίτρινη
SPG7	8mm	Ι 42,5	1%	0,4	κίτρινη
SPG8	8mm	Ι 42,5	2%	0,4	κίτρινη
SPG9	8mm	Ι 42,5	4%	0,4	κίτρινη
SPG10	8mm	Ι 42,5	8%	0,4	κίτρινη



Εικόνα 51. Οπτική παρουσίαση της χρωματικής παλέτας των δειγμάτων

Συμπεράσματα

1. Η χρήση Υπερευστοποιητή είναι απαραίτητη για την παραγωγή Διαπερατού Σκυροδέματος με υψηλά μηχανικά χαρακτηριστικά.
2. Η χρήση τσιμέντου υψηλής αντοχής φαίνεται ότι είναι απαραίτητη για την παρασκευή Διαπερατού Σκυροδέματος
3. Από την παρούσα έρευνα υπάρχουν ρεαλιστικές συνθέσεις για Βάση (8mm) , σε τρεις μάλιστα περιπτώσεις (D1.4, D1.5, D1.6), με χαρακτηριστικά σαν αυτά που περιγράφουν τα άρθρα του Ελληνικού Δημοσίου.
4. Φαίνεται ότι με τσιμέντο υπερυψηλής αντοχής, μπορούν να δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για συνθέσεις υπόβασης (16mm).
5. Είναι γνωστό ότι η συμπύκνωση επηρεάζει τα χαρακτηριστικά του Διαπερατού Σκυροδέματος ,και στις φάσεις [3] και [4] η επίδρασή της ποσοτικοποιείται.
6. Πρέπει να υπάρχει συνεχής έλεγχος αναφορικά με τη συμπύκνωση του υλικού στο πεδίο, προκειμένου οι ιδιότητες του διαπερατού σκυροδέματος να είναι αυτές που περιγράφονται πειραματικά
7. Η σχέση πορώδους (Va) και υδατοπερατότητας με τη μέθοδο infiltration ποσοτικοποιείται
8. Αν το διαπερατό σκυρόδεμα συμπυκνωθεί περισσότερο από όσο πρέπει, τότε η τσιμεντόπαστα κατακάθεται στη βάση των δοκιμών με αποτέλεσμα να εμποδίζει την έξοδο του νερού.
9. Θεωρείται επίσης σημαντικό από τον γραφοντα η χρήση προσμίκτου το οποίο πραγματοποιεί «εσωτερική ενυδάτωση» (internal curing) προκειμένου να βελτιωθούν οι σημαντικά οι ιδιότητες του δοκιμίου.
10. Ο συνδυασμός τσιμέντου – άμμου 80% - 20%, δίνει τις μέγιστες αντοχές. Συγχρόνως όμως έχει μεγαλύτερες διαπερατότητες από τις προβλεπόμενες κανονιστικές.

11. Τα χρωματισμένα δοκίμια δεν παρουσιάζουν διαφορές στις ιδιότητές τους, συγκρινόμενα με τα διαπερατά δοκίμια της ίδιας σύνθεσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

1. ACPA, Cement-Treated Permeable Base for Heavy-Traffic Concrete Pavements, IS404, American Concrete Pavement
2. ASTM C1754/C1754M-12, Standard Test Method For Density And Void Content Of Hardened Pervious Concrete
3. Brown P.W., (2002). "Thaumasite formation and other forms of sulfate attack", USAComent and Concrete Composites, 24, 301-303002.
4. BS EN 12504-01 TESTING CONCRETE IN STRUCTURES - PART 1: CORED SPECIMENS - TAKING, EXAMINING AND TESTING IN COMPRESSION :2010
5. Chindaprasirt P., Hatanaka S., Chareerat T., Mishima N., Yuasa Y., "Chindaprasirt, P., Hatanaka, S., Chareerat, T., Mishima, N., and Yuasa, Y. (2008). Cement paste characteristics and porous concrete properties. Construction and Building materials, 22(5), 894-901. Cement paste characteristics and porous concrete properties", Department of Civil Engineering, Khon Kaen University, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Mie University, Industrial Research Division, Mie Prefecture Science and Technology Promotion Center, 2006.
6. Crouch, L. K., Pitt, J., and Hewitt, R. (2007). Aggregate effects on pervious Portland cement concrete static modulus of elasticity. Journal of materials in civil engineering, 19(7), 561-568
7. Dan Huffman. (2005). Study of the drainage properties of pervious concrete
8. ISO 17785-1:2016, Testing methods for pervious concrete — Part 1: Infiltration rate
9. Kevern, J., Wang, K., Suleimen, M. T., and Schaefer, V. R. ,(2006) Iowa State . «Pervious Concrete Construction: Methods and Quality Control. NRMCA Concrete. Technology Forum: Focus on Pervious Concrete, Nashville, TN
10. Lanxess ,(2018). Coloring of Concrete Processing Instructions ,2018
11. Ma, J., & and Schneider, H. (2002). Properties of ultra-highperformance concrete. Leipzig Annual Civil Engineering Report (LACER), 7, 25-32.
12. Mehta P.K. and Monteiro P.J.M . (2009). «Σκυρόδεμα. Μικροδομή, ιδιότητες και υλικά», 3rd edit, Edited by by , (σε μετάφραση Ι. Παπαγιάννη), 3η Έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2009.

13. Mississippi Concrete Industries Association. (2007). Pervious Concrete: The Pavement that Drinks. Mississippi Concrete Industries Association. Ridgeland, Accessed January 17, 2007.
14. National Pollutant Discharge Elimination System, Porous asphalt pavement , National Pollutant Discharge Elimination System
15. Neithalath, N., Weiss, W.J., and Olek, J., “Predicting the permeability of pervious concrete from non-destructive electrical measurements”, proceedings of the 2006 Concrete Technology Forum on Pervious Concrete (in CD-ROM), Nashville, May 2006
16. Neithalath, N., Weiss, J., and Olek, J. (2006). Predicting the permeability of pervious concrete (enhanced porosity concrete) from non-destructive electrical measurements. United States: Purdue University.
17. NRMCA (2004)., Freeze-Thaw Resistance of Pervious Concrete, National Ready Mix Concrete Association, Silver Spring, Maryland, 2004, 17 pages
18. Offenberg M., (2005). “Producing Pervious Pavements, Hints for the engineer, contractor on placement of pervious concrete”, Concrete International magazine. , March 2005.
19. Olek, J., and Weiss, W. J., (2003). Development of Quiet and Durable Porous Portland Cement Concrete Paving Materials. Final Report SQDH 2003-5 Center for Advanced Cement Based Materials, Purdue University, West Lafayette, IN
20. Rapp, C. A. «Permeable Concrete for Drainable Pavement Bases».
21. Schaefer V.R., Wang K., Suleiman M.T. and , Kevern J., (2006). «Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates», National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, Ames, Iowa, USA, 2006
22. Tennis, P.D., Leming, M.L., and Akers, D.J. (2004). Pervious Concrete Pavements, EB302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring., Maryland
23. Van, V. T. A., Rößler, C., Bui, D., & Ludwig, H. (2014). Cement & Concrete Composites Rice husk ash as both pozzolanic admixture and internal curing agent in ultra-high performance concrete. Cement and Concrete Composites, 53, 270-278.
24. Yen, P. T., Sundaram, P. N., and Godwin, W. A., (2002). Pumped-in-Place Permeable Grout Systems, Permeation Grouting Bechtel Corporation, Technical Grant, pp. 1-44, 2002

Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

1. Βαρδάκα Γ. (, 2013). Διαπερατό Σκυρόδεμα, Ανάπτυξη, Σχεδιασμός, Μελέτη Ιδιοτήτων και Περιβαλλοντικά Οφέλη. Διδακτορική διατριβή Αθήνα Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Χημικών Επιστήμων, Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Αθήνα (2013)
2. ΕΛΟΤ 408:1979. , Δοκιμές των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των αδρανών.
3. ΕΛΟΤ EN 1008, Ανάλυση νερού σκυροδέματος
4. ΕΛΟΤ EN 12390-02. Δοκιμές σκληρυμένου σκυροδέματος-Μέρος 2: Παρασκευή και συντήρηση δοκιμών για δοκιμές αντοχής :2009
5. ΕΛΟΤ EN 12390-03 Δοκιμές σκληρυμένου σκυροδέματος-Μέρος 3:Αντοχή σε θλίψη δοκιμών :2009 /AC:2011
6. ΕΛΟΤ EN 933-1: Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 1: Προσδιορισμός του διαγράμματος κοκκομετρίας – Μέγεθος κόσκινα 2012

7. ΕΛΟΤ EN 12878, Πιγμέντα χρωματισμού δομικών, υλικών με βάση το τσιμέντο ή/και άσβεστο - Προδιαγραφές και μέθοδοι δοκιμής, ΣΧΕΔΙΟ ΕΛΟΤ ΤΟ 1501-03-02-01-00:2022,
8. ΕΛΟΤ EN 197-1. Τσιμέντο – Μέρος 1: Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για τα κοινά τσιμέντα
9. ΕΛΟΤ EN 206-1. (2009). Σκυρόδεμα – Μέρος 1: Προδιαγραφή, επιδόσεις, παραγωγή και Συμμόρφωση.
10. Ένωση τσιμεντοβιομηχάνων Ελλάδος, «Τσιμέντο Πρότυπα-Κανονισμοί», Ένωση τσιμεντοβιομηχάνων Ελλάδος,
11. Λιάπης Ι., Στρατής Χ., Η πρόοδος στην ανακύκλωση βιομηχανικών παραπροϊόντων, ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε., HELECO -Προημερίδα για τη " Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων", ΤΕΕ, 2010
12. Λυκούδης Σ.,(2008). "Διαπερατό Σκυρόδεμα", *περιοδικό: Εργοταξιακά Θέματα*, 2008, pp.26-30.
13. ΝΚΤΣ-97: , Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος.
14. Περιγραφικό τιμολόγιο εργασιών οικοδομικών έργων NET ΟΙΚ- 32,01,05. (2016). Υδατοπερατό σκυρόδεμα πεζοδρομίων
15. Τσακαλάκης Κ. (2010), «Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και Σκυροδέματος, » Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μεταλλειολόγων και Μεταλλουργών, Αθήνα, Μαΐος 2010
16. Φωτεινή Γ. Πρεφτίτση.(2010). Υδατοδιαπερατοί τάπητες & δάπεδα Τύποι και εφαρμογές, Κτίριο

Ιστοσελίδες

1. <https://interbeton.gr/default.asp?siteID=1&pageID=34&langID=1>
2. <https://www.controls-group.com/usa/permeameters/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΙΝΤΕΡΜΠΕΤΟΝ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε.

ΔΗΛΩΣΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ 023/8/11.11.2021

Σύμφωνα με το παράρτημα ΙΙΙ Κανονισμού (ΕΥ) Νο.305/2011

Όνομασία Προϊόντος: Άμμος θραυστή 0/4

1. Μοναδικός κωδικός τυποποίησης του προϊόντος:
Άμμος θραυστή 0/4
2. Προτεινόμενη χρήση ή χρήσεις του προϊόντος του τομέα δομικών κατασκευών, σύμφωνα με την ισχύουσα εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή, όπως προβλέπεται από τν κατασκευαστή:
Αδρανή για Σκυρόδεμα
3. Όνομα, εμπορική επωνυμία ή σήμα κατατεθέν και διεύθυνση επικοινωνίας του κατασκευαστή, όπως προβλέπεται από το άρθρο 11 παρ.5:
*Κατασκευαστής: ΙΝΤΕΡΜΠΕΤΟΝ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε., Χαλκίδος 22Α.
Εργοστάσιο: ΜΥΤΗ ΣΕΜΣΕΛΗ, Δ.ΘΕΡΜΗΣ, Ν.ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ*
4. Όνομα και διεύθυνση επικοινωνίας εξουσιοδοτημένου αντιπροσώπου, η εντολή του οποίου καλύπτει τα καθήκοντα που προβλέπονται στο άρθρο 12 παρ.2:
Μη εφαρμόσιμο
5. Σύστημα ή συστήματα αξιολόγησης και επαλήθευσης της σταθερότητας της επίδοσης του προϊόντος του τομέα των δομικών κατασκευών, όπως καθορίζεται στο παράρτημα V:
Σύστημα 2+
6. α. Σε περίπτωση δήλωσης επίδοσης σχετικά με προϊόν του τομέα δομικών κατασκευών που καλύπτεται από εναρμονισμένο πρότυπο:
ΕΛΟΤ EN 12620, Σύστημα 2+
Ο κοινοποιημένος οργανισμός / Αριθμός τυποποίησης κοινοποιημένου οργανισμού
EUROCERT / 1128
Πιστοποιητικό ελέγχου παραγωγής
1128-CPR-0148/1
- β. Ευρωπαϊκό έγγραφο αξιολόγησης: Μη εφαρμόσιμο
Ευρωπαϊκή τεχνική αξιολόγηση: Μη εφαρμόσιμο
Οργανισμός τεχνικής αξιολόγησης: Μη εφαρμόσιμο
Κοινοποιημένος φορέας: Μη εφαρμόσιμο

7. Δήλωση Επίδοσης

Αδρανές Μέγεθος κόκκου	Άμμος θραυστή 0/4	(d/D)	Τεχνική προδιαγραφή
Μέθοδος επικύρωσης	Εργαστηριακή		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 7)
Κοκκομετρία / Κατηγορία	G _F 85		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4)
	Κόσκινα	Όρια min max	
	8	100	
Δηλωθείσες τιμές κοκκομετρικής διαβάθμισης	5,6	95 100	e=5
	4	95 100	e = 5
	2	60 90	e = 30
	1	35 65	e = 30
	0,25	10 35	e = 25
	0,063	10 16	e = 6
Πυκνότητα επί ξηρού	2,65	(Mg/m ³)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 1 & 5.5), ΕΛΟΤ EN 1097-6:2000 & EN 1097-6A1: 2006 (§ 9)
Καθαρότητα			
Ποσοστό λεπτόκοκκου κλάσματος (παιπάλη)	f ₁₆	(%)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4.6)
Ισοδύναμο άμμου (κλάσμα 0/4)	≥ 65	(SE)	ΕΛΟΤ EN 933- 8
Μπλε του μεθυλενίου	≤ 1	(MB)	ΕΛΟΤ EN 933- 9
Σύνθεση/σύσταση			
Περιεκτικότητα σε χλωροϊόντα	≤ 0,01	(%Cl)	
Θειικά διαλυτά σε όξινο περιβάλλον	AS _{0,2}	(AS)	
Σύνολο θειικών	< 1% κατά βάρος	(%S)	
Περιεκτικότητα σε ελαφροβαρείς επιμολυντές Συστατικά που μεταβάλλουν τον ρυθμό πήξης και σκλήρυνσης του σκυροδέματος	< 0,25 % κ.β		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 6), ΕΛΟΤ EN 1744:1998
Περιεκτικότητα σε ανθρακικά	42,35	(% CO ₂)	
Σταθερότητα όγκου			
Συστολή ξήρανσης	≤ 0,024	(%WS)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.7.2) ΕΛΟΤ EN 1367-4 ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 1 & 5.5), ΕΛΟΤ EN 1097-6:2000 & EN 1097-6A1: 2006 (§ 9)
Υδατοαπορροφητικότητα	1,10	(%WA)	

Επικίνδυνες ουσίες		
Εκπομπή ραδιενέργειας Διαφυγή βαρέων μετάλλων Διαφυγή πολυαρωματικών ανθράκων Διαφυγή άλλων επιβλαβών ουσιών	Αυτά τα αδρανή δεν περιέχουν επικίνδυνα στοιχεία σύμφωνα με τους ισχύοντες στην Ελλάδα κανονισμούς, την ημερομηνία που εκδόθηκε το παρόν Πιστοποιητικό	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ ZA 3.3)
Ανθεκτικότητα σε αλακαλοπυριτική αντίδραση	Αβλαβές	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.7.3)
Πετρογραφική ανάλυση	CaCO ₃ ≥ 99%	ΕΛΟΤ EN 932- 3
Ανθεκτικότητα σε κύκλους ψύξης - απόψυξης		
Δοκιμή υγείας με θεϊκό μαγνήσιο	MS ₁₈	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.7.1) ΕΛΟΤ EN 1367-2

8. Η ονομασία του προϊόντος ταυτοποιείται στο σημείο 1 και ανταποκρίνεται προς την επίδοση του όπως αυτή δηλώθηκε στο σημείο 7. Η παρούσα δήλωση επίδοσης εκδίδεται με αποκλειστική ευθύνη του κατασκευαστή που ταυτοποιείται στο σημείο 3.

ΤΑΓΑΡΑΔΕΣ 11/11/2021

Υπεύθυνος Διασφάλισης
Συστημάτων Ποιότητας & Περιβάλλοντος
Διεύθυνση Λατομικών Προϊόντων Τομέας Ελλάδας
TITAN A.E.

Εμμ. Κοντεκάκης

ΙΝΤΕΡΜΠΕΤΟΝ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε.

ΔΗΛΩΣΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ 024/8/11.11.2021

Σύμφωνα με το παράρτημα ΙΙΙ Κανονισμού (ΕΥ) Νο.305/2011

Όνομασία Προϊόντος: Γαρμπίλι θραυστό 8/16

1. Μοναδικός κωδικός τυποποίησης του προϊόντος:
Γαρμπίλι θραυστό 8/16
2. Προτεινόμενη χρήση ή χρήσεις του προϊόντος του τομέα δομικών κατασκευών, σύμφωνα με την ισχύουσα εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή, όπως προβλέπεται από τν κατασκευαστή:
Αδρανή για Σκυρόδεμα
3. Όνομα, εμπορική επωνυμία ή σήμα κατατεθέν και διεύθυνση επικοινωνίας του κατασκευαστή, όπως προβλέπεται από το άρθρο 11 παρ.5:
*Κατασκευαστής: ΙΝΤΕΡΜΠΕΤΟΝ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε., Χαλκίδος 22Α.
Εργοστάσιο: ΜΥΤΗ ΣΕΜΣΕΛΗ, Δ.ΘΕΡΜΗΣ, Ν.ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ*
4. Όνομα και διεύθυνση επικοινωνίας εξουσιοδοτημένου αντιπροσώπου, η εντολή του οποίου καλύπτει τα καθήκοντα που προβλέπονται στο άρθρο 12 παρ.2:
Μη εφαρμόσιμο
5. Σύστημα ή συστήματα αξιολόγησης και επαλήθευσης της σταθερότητας της επίδοσης του προϊόντος του τομέα των δομικών κατασκευών, όπως καθορίζεται στο παράρτημα V:
Σύστημα 2+
6. α. Σε περίπτωση δήλωσης επίδοσης σχετικά με προϊόν του τομέα δομικών κατασκευών που καλύπτεται από εναρμονισμένο πρότυπο:
ΕΛΟΤ EN 12620, Σύστημα 2+
Ο κοινοποιημένος οργανισμός / Αριθμός τυποποίησης κοινοποιημένου οργανισμού
EUROCERT / 1128
Πιστοποιητικό ελέγχου παραγωγής
1128-CPR-0148/1
- β. Ευρωπαϊκό έγγραφο αξιολόγησης: Μη εφαρμόσιμο
Ευρωπαϊκή τεχνική αξιολόγηση: Μη εφαρμόσιμο
Οργανισμός τεχνικής αξιολόγησης: Μη εφαρμόσιμο
Κοινοποιημένος φορέας: Μη εφαρμόσιμο

7. Δήλωση Επίδοσης

Αδρανές Μέγεθος κόκκου	Γαρμπίλι θραυστό 8/16			Τεχνική προδιαγραφή
Μέθοδος επικύρωσης	Εργαστηριακή			ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 7)
Μορφή κόκκου (Δείκτης πλακοειδούς)	FI ₂₀		(FI)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4.4)
Μέγεθος κόκκου	8/16		(d/D)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 7)
Κοκκομετρία / Κατηγορία	Gc85/20			ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4)
	Κόσκινα	Όρια		
		min	max	
	31,5		100	ΕΛΟΤ EN 933- 1:2012
Δηλωθείσες τιμές κοκκομετρικής διαβάθμισης	22,4	98	100	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4.3)
	16	90	100	
	11,2	40	70	e=30
	8	0	20	e=30
	4	0	5	
Πυκνότητα επί ξηρού	2,68		(Mg/m ³)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 1 & 5.5) ΕΛΟΤ EN 1097-6:2000 & EN 1097-6A1: 2006 (§ 9)
Ποσοστό λεπτόκοκκου κλάσματος (παιπάλη)	f1,5		(%)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4.6)
Περιεκτικότητα σε κελύφη	SCNR		(SC)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4.5)
Αντίσταση σε θρυμματισμό (Los Angeles)	LA ₃₀		(LA)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.2)
Σύνθεση/σύσταση				
Περιεκτικότητα σε χλωροϊόντα	≤ 0,01		(%Cl)	
Θειικά διαλυτά σε όξινο περιβάλλον	AS _{0,2}		(AS)	
Σύνολο θειικών	< 1% κατά βάρος		(%S)	
Περιεκτικότητα σε ελαφροβαρείς επιμολυντές	< 0,05% κ.β			ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 6), ΕΛΟΤ EN 1744:1998
Συστατικά που μεταβάλλουν τον ρυθμό πήξης και σκλήρυνσης του σκυροδέματος	Απουσία οργανικών υλικών αποσάθρωσης			
Περιεκτικότητα σε ανθρακικά σταθερότητα όγκου	42,35		(% CO ₂)	
Συστολή ξήρανσης	≤ 0,024		(%WS)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.7.2) ΕΛΟΤ EN 1367-4 ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 1 & 5.5) ΕΛΟΤ EN 1097-6:2000 & EN 1097-6A1: 2006 (§ 9)
Υδατοαπορροφητικότητα	0,7		(%WA)	
Επικίνδυνες ουσίες				

Διαφυγή βαρέων μετάλλων Διαφυγή πολυαρωματικών ανθράκων Διαφυγή άλλων επιβλαβών ουσιών	Αυτά τα αδρανή δεν περιέχουν επικίνδυνα στοιχεία σύμφωνα με τους ισχύοντες στην Ελλάδα κανονισμούς, την ημερομηνία που εκδόθηκε το παρόν Πιστοποιητικό	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ ZA 3.3)
Ανθεκτικότητα σε αλκαλοπυριτική αντίδραση	Αβλαβές	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.7.3)
Πετρογραφική ανάλυση	$\text{CaCO}_3 \geq 99\%$	ΕΛΟΤ EN 932- 3
Ανθεκτικότητα σε κύκλους ψύξης - απόψυξης		
Δοκιμή υγείας με θειϊκό μαγνήσιο	MS ₁₈	(MS) ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.7.1) ΕΛΟΤ EN 1367-2

8. Η ονομασία του προϊόντος ταυτοποιείται στο σημείο 1 και ανταποκρίνεται προς την επίδοση του όπως αυτή δηλώθηκε στο σημείο 7. Η παρούσα δήλωση επίδοσης εκδίδεται με αποκλειστική ευθύνη του κατασκευαστή που ταυτοποιείται στο σημείο 4.

ΤΑΓΑΡΑΔΕΣ 11/11/2021

Υπεύθυνος Διασφάλισης
 Συστημάτων Ποιότητας & Περιβάλλοντος
 Διεύθυνση Λατομικών Προϊόντων Τομέας Ελλάδας
 TITAN A.E.

Εμμ. Κοντεκάκης

ΙΝΤΕΡΜΠΕΤΟΝ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε.

ΔΗΛΩΣΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ 160/9/10.11.2022

Σύμφωνα με το παράρτημα ΙΙΙ Κανονισμού (ΕΥ) Νο.305/2011

Όνομασία Προϊόντος: Ρυζάκι 4/8

1. Μοναδικός κωδικός τυποποίησης του προϊόντος:
Ρυζάκι 4/8
2. Προτεινόμενη χρήση ή χρήσεις του προϊόντος του τομέα δομικών κατασκευών, σύμφωνα με την ισχύουσα εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή, όπως προβλέπεται από τν κατασκευαστή:
Αδρανή για Σκυρόδεμα
3. Όνομα, εμπορική επωνυμία ή σήμα κατατεθέν και διεύθυνση επικοινωνίας του κατασκευαστή, όπως προβλέπεται από το άρθρο 11 παρ.5:
*Κατασκευαστής: ΙΝΤΕΡΜΠΕΤΟΝ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε., Χαλκίδος 22Α.
Εργοστάσιο: ΜΥΤΗ ΣΕΜΣΕΛΗ, Δ.ΘΕΡΜΗΣ, Ν.ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ*
4. Όνομα και διεύθυνση επικοινωνίας εξουσιοδοτημένου αντιπροσώπου, η εντολή του οποίου καλύπτει τα καθήκοντα που προβλέπονται στο άρθρο 12 παρ.2:
Μη εφαρμόσιμο
5. Σύστημα ή συστήματα αξιολόγησης και επαλήθευσης της σταθερότητας της επίδοσης του προϊόντος του τομέα των δομικών κατασκευών, όπως καθορίζεται στο παράρτημα V:
Σύστημα 2+
6. α. Σε περίπτωση δήλωσης επίδοσης σχετικά με προϊόν του τομέα δομικών κατασκευών που καλύπτεται από εναρμονισμένο πρότυπο:
ΕΛΟΤ EN 12620, Σύστημα 2+
Ο κοινοποιημένος οργανισμός / Αριθμός τυποποίησης κοινοποιημένου οργανισμού
EUROCERT / 1128
Πιστοποιητικό ελέγχου παραγωγής
1128-CPR-0148/1
- β. Ευρωπαϊκό έγγραφο αξιολόγησης: Μη εφαρμόσιμο
Ευρωπαϊκή τεχνική αξιολόγηση: Μη εφαρμόσιμο
Οργανισμός τεχνικής αξιολόγησης: Μη εφαρμόσιμο
Κοινοποιημένος φορέας: Μη εφαρμόσιμο

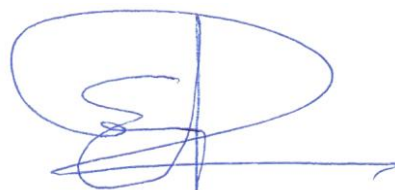
7. Δήλωση Επίδοσης

Αδρανές		Ρυζάκι θραυστό		Τεχνική προδιαγραφή	
Μέγεθος κόκκου		4/8			
Μέθοδος επικύρωσης	Εργαστηριακή			ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 7)	
Μορφή κόκκου (Δείκτης πλακοειδούς)	FI ₂₀	(FI)		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4.4)	
Μέγεθος κόκκου	4/8	(d/D)		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 7)	
Κοκκομετρία / Κατηγορία	Gc85/20			ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4)	
Δηλωθείσες τιμές κοκκομετρικής διαβάθμισης	Κόσκινα	Όρια		e=30	ΕΛΟΤ EN 933-1:2012
		min	max		
	16	100	100		
	11,2	98	100		
	8	85	100		
	5,6	43	73		
	4	0	20		
2	0	5			
Πυκνότητα επί ξηρού	2,68	(gr/cm ³)		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 1 & 5.5) ΕΛΟΤ EN 1097-6:2000 & EN 1097-6A1: 2006 (§ 9)	
Ποσοστό λεπτόκοκκου κλάσματος (παιπάλη)	f ₄	(%)		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4.6)	
Περιεκτικότητα σε κελύφη	SCNR	(SC)		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4.5)	
Αντίσταση σε φθορά	M _{DE} 15	M _{DE}		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.3) & ΕΛΟΤ EN 1097-1	
Αντίσταση σε θρυμματισμό (Los Angeles)	LA ₂₅	(LA)		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.2) & ΕΛΟΤ EN 1097-2	
Σύνθεση/σύσταση					
Περιεκτικότητα σε χλωριόντα	? 0,01	(%Cl)		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 6), ΕΛΟΤ EN 1744:1998	
Θειικά διαλυτά σε όξινο περιβάλλον	AS _{0,2}	(AS)			
Σύνολο θειικών	< 1% κατά βάρος	(%S)			
Περιεκτικότητα σε ελαφροβαρείς επιμολυντές	< 0,05% κ.β.				
Συστατικά που μεταβάλλουν τον ρυθμό πήξης και σκλήρυνσης του σκυροδέματος	Απουσία οργανικών υλικών αποσάθρωσης				
Περιεκτικότητα σε ανθρακικά	42,22	(% CO ₂)			
Σταθερότητα όγκου					
Συστολή ξήρανσης	? 0,024	(%WS)		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.7.2) ΕΛΟΤ EN 1367-4	
Υδατοαπορροφητικότητα	0,8	(%WA)		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 1 & 5.5) ΕΛΟΤ EN 1097-6:2000 & EN 1097-6A1: 2006 (§ 9)	
Επικίνδυνες ουσίες					
Διαφυγή βαρέων μετάλλων	Αυτά τα αδρανή δεν περιέχουν επικίνδυνα στοιχεία σύμφωνα με τους ισχύοντες στην Ελλάδα κανονισμούς, την ημερομηνία που εκδόθηκε το παρόν Πιστοποιητικό			ΕΛΟΤ EN 12620 (§ ZA 3.3)	
Διαφυγή πολυαρωματικών					
Διαφυγή άλλων επιβλαβών ουσιών					
Ανθεκτικότητα σε αλκαλοπυριτική αντίδραση	Αβλαβές		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.7.3)		
Πετρογραφική ανάλυση	CaCO ₃ ? 99%		ΕΛΟΤ EN 932-3		
Ανθεκτικότητα σε κύκλους ψύξης - απόψυξης					

8. Η ονομασία του προϊόντος ταυτοποιείται στο σημείο 1 και ανταποκρίνεται προς την επίδοση του όπως αυτή δηλώθηκε στο σημείο 7. Η παρούσα δήλωση επίδοσης εκδίδεται με αποκλειστική ευθύνη του κατασκευαστή που ταυτοποιείται στο σημείο 3.

ΤΑΓΑΡΑΔΕΣ 10/11/2022

Υπεύθυνος Διασφάλισης
Συστημάτων Ποιότητας & Περιβάλλοντος
Διεύθυνση Λατομικών Προϊόντων Τομέας Ελλάδας
TITAN A.E.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'E' followed by a vertical line and a horizontal line extending to the right.

Εμμ. Κοντεκάκης

ΙΝΤΕΡΜΠΕΤΟΝ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε.

ΔΗΛΩΣΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ 026/8/11.11.2021

Σύμφωνα με το παράρτημα ΙΙΙ Κανονισμού (ΕΥ) Νο.305/2011

Όνομασία Προϊόντος: Χαλίκι θραυστό 16/31,5

1. Μοναδικός κωδικός τυποποίησης του προϊόντος:
Χαλίκι θραυστό 16/31,5
2. Προτεινόμενη χρήση ή χρήσεις του προϊόντος του τομέα δομικών κατασκευών, σύμφωνα με την ισχύουσα εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή, όπως προβλέπεται από τν κατασκευαστή:
Αδρανή για Σκυρόδεμα
3. Όνομα, εμπορική επωνυμία ή σήμα κατατεθέν και διεύθυνση επικοινωνίας του κατασκευαστή, όπως προβλέπεται από το άρθρο 11 παρ.5:
*Κατασκευαστής: ΙΝΤΕΡΜΠΕΤΟΝ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε., Χαλκίδος 22Α.
Εργοστάσιο: ΜΥΤΗ ΣΕΜΣΕΛΗ, Δ.ΘΕΡΜΗΣ, Ν.ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ*
4. Όνομα και διεύθυνση επικοινωνίας εξουσιοδοτημένου αντιπροσώπου, η εντολή του οποίου καλύπτει τα καθήκοντα που προβλέπονται στο άρθρο 12 παρ.2:
Μη εφαρμόσιμο
5. Σύστημα ή συστήματα αξιολόγησης και επαλήθευσης της σταθερότητας της επίδοσης του προϊόντος του τομέα των δομικών κατασκευών, όπως καθορίζεται στο παράρτημα V:
Σύστημα 2+
6. α. Σε περίπτωση δήλωσης επίδοσης σχετικά με προϊόν του τομέα δομικών κατασκευών που καλύπτεται από εναρμονισμένο πρότυπο:
ΕΛΟΤ EN 12620, Σύστημα 2+
Ο κοινοποιημένος οργανισμός / Αριθμός τυποποίησης κοινοποιημένου οργανισμού
EUROCERT / 1128
Πιστοποιητικό ελέγχου παραγωγής
1128-CPR-0148/1
- β. Ευρωπαϊκό έγγραφο αξιολόγησης: Μη εφαρμόσιμο
Ευρωπαϊκή τεχνική αξιολόγηση: Μη εφαρμόσιμο
Οργανισμός τεχνικής αξιολόγησης: Μη εφαρμόσιμο
Κοινοποιημένος φορέας: Μη εφαρμόσιμο

7. Δήλωση Επίδοσης

Αδρανές		Χαλίκι θραυστό		Τεχνική προδιαγραφή
Μέγεθος κόκκου		16/31,5		
Μέθοδος επικύρωσης		Εργαστηριακή		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 7)
Μορφή κόκκου (Δείκτης πλακοειδούς)		Fl ₂₀	(FI)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4.4)
Μέγεθος κόκκου		16/31,5	(d/D)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 7)
Κοκκομετρία / Κατηγορία		Gc85/20		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4)
Δηλωθείσες τιμές κοκκομετρικής διαβάθμισης	Κόσκινα	Όρια		ΕΛΟΤ EN 933-1:2012
		min	max	
	63	100		
	45	98	100	
	31,5	90	100	
	22,4	50	90	
	16	0	20	
	8	0	5	
0,063	0	1,5		
Πυκνότητα επί ξηρού		2,69	(Mg/m ³)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 1 & 5.5) ΕΛΟΤ EN 1097-6:2000 & EN 1097-6A1:2006 (§ 9)
Ποσοστό λεπτόκοκκου κλάσματος (παιπάλη)		f _{1,5}	(%)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4.6)
Περιεκτικότητα σε κελύφη		SCNR	(SC)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 4.5)
Αντίσταση σε θρυμματισμό (Los Angeles)		LA30	(LA)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.2)
Σύνθεση/σύσταση				
Περιεκτικότητα σε χλωριόντα		≤ 0,01	(%Cl)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 6), ΕΛΟΤ EN 1744:1998
Θειικά διαλυτά σε όξινο περιβάλλον		AS _{0,2}	(AS)	
Σύνολο θεικών		< 1% κατά βάρος	(%S)	
Περιεκτικότητα σε ελαφροβαρείς επιμολυντές		< 0,05 % κ.β.		
Συστατικά που μεταβάλλουν τον ρυθμό πήξης και σκλήρυνσης του σκυροδέματος		Απουσία οργανικών υλικών αποσάθρωσης		
Περιεκτικότητα σε ανθρακικά		42,35	(% CO ₂)	
Σταθερότητα όγκου				
Συστολή ξήρανσης		≤ 0,024	(%WS)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.7.2) ΕΛΟΤ EN 1367-4
Υδατοαπορροφητικότητα		0,7	(%WA)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 1 & 5.5) ΕΛΟΤ EN 1097-6:2000 & EN 1097-6A1:2006 (§ 9)
Επικίνδυνες ουσίες				
Διαφυγή βαρέων μετάλλων	Αυτά τα αδρανή δεν περιέχουν επικίνδυνα στοιχεία σύμφωνα με τους ισχύοντες στην Ελλάδα κανονισμούς, την ημερομηνία που εκδόθηκε το παρόν Πιστοποιητικό			ΕΛΟΤ EN 12620 (§ ZA 3.3)
Διαφυγή πολυαρωματικών				
Διαφυγή άλλων επιβλαβών ουσιών				
Ανθεκτικότητα σε αλκαλοπυριτική αντίδραση		Αβλαβές		ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.7.3)
Πετρογραφική ανάλυση		CaCO ₃ ≥ 99%		ΕΛΟΤ EN 932-3
Ανθεκτικότητα σε κύκλους ψύξης - απόψυξης				
Δοκιμή υγείας με θειικό μαγνήσιο		MS ₁₈	(MS)	ΕΛΟΤ EN 12620 (§ 5.7.1) ΕΛΟΤ EN 1367-2

8. Η ονομασία του προϊόντος ταυτοποιείται στο σημείο 1 και ανταποκρίνεται προς την επίδοση του όπως αυτή δηλώθηκε στο σημείο 7. Η παρούσα δήλωση επίδοσης εκδίδεται με αποκλειστική ευθύνη του κατασκευαστή που ταυτοποιείται στο σημείο 3.

ΤΑΓΑΡΑΔΕΣ 11/11/2021

Υπεύθυνος Διασφάλισης
Συστημάτων Ποιότητας & Περιβάλλοντος
Διεύθυνση Λατομικών Προϊόντων Τομέας Ελλάδας
TITAN A.E.



Εμμ. Κοντεκάκης