

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	Σκυρόδεμα και Κονίαμα	11
1.1.	Εργασιμότητα	11
1.1.1.	Σχετική Ορολογία	11
1.1.2.	Ομοιογένεια Σκυροδέματος	13
1.1.3.	Μέτρηση της Εργασιμότητας με Εμπειρικές Ποσοτικές Μεθόδους.....	13
1.1.4.	Απώλεια Εργασιμότητας	18
1.2.	Αντοχές	19
1.2.1.	Ορισμός και Σημασία	20
1.2.2.	Παράγοντες που Επηρεάζουν την Θλιπτική Αντοχή	20
1.3	Βιβλιογραφία.....	32
2.	Ενυδάτωση Τσιμέντου.....	35
2.1.	Θερμότητα Ενυδάτωσης	35
2.1.1.	Μέθοδοι Μέτρησης Θερμότητας Ενυδάτωσης	38
2.1.2.	Σύγκριση Μεθόδων	40
2.1.3.	Η Επίδραση των Συστατικών του Τσιμέντου στην Θερμότητα Ενυδάτωσης.....	41
2.1.4.	Επίδραση Περιεκτικότητας Αλκαλίων.....	42
2.2.	Επίδραση των Χλωριόντων - Ο Ρόλος του CaCl_2	43
2.3.	Βιβλιογραφία.....	44
3.	Το Ασβεστολιθικό Φίλλερ (υλικό πλήρωσης)	47
3.1.	Χρήσεις και Έρευνα	48
3.2.	Η Επίδραση του Φίλλερ.....	49
3.3.	Βιβλιογραφία.....	51
4.	Μονάδες Παραγωγής Έτοιμου Σκυροδέματος	53
4.1.	Ιστορικά Στοιχεία.....	53
4.2.	Διαδικασίες Παραγωγής	53
4.3.	Προϊόντα Έτοιμου Σκυροδέματος	54
4.4.	Παραπροϊόντα.....	56
4.4.1.	Επιστρεφόμενο Σκυρόδεμα.....	56
4.4.2.	Νερό Έκπλυσης.....	58
4.5.	Βιβλιογραφία.....	60
5.	Νερό Ανάμιξης Σκυροδέματος	63
5.1.	Νερό Ανάμιξης.....	63
5.2.	Νερό Συντήρησης	64

5.2.1.	Δοκιμές στο νερό	64
5.3.	Εναλλακτικές Πηγές Νερού	65
5.3.1.	Ορολογία	65
5.3.2.	Αποδεκτό νερό ανάμιξης.....	65
5.4.	Όρια Προσμίξεων	66
5.5.	Πρότυπα Νερού Ανάμιξης Σκυροδέματος	67
5.5.1.	ΕΛΟΤ 345: 1979	67
5.5.2.	EN 1008: 2002.....	68
5.6.	Σύγκριση Προτύπων	71
5.7.	Βιβλιογραφία.....	73
6.	Στατιστική Μελέτη για Μονάδες Έτοιμου Σκυροδέματος	75
6.1.	Παρουσίαση Ερωτηματολογίου	75
6.2.	Αποτελέσματα Μελέτης.....	76
6.3.	Χημικός Χαρακτηρισμός Δειγμάτων Νερού από Ελληνικές Μονάδες.....	80
6.4.	Συμπεράσματα	82
6.5.	Βιβλιογραφία.....	83
7.	Τοποθέτηση Θέματος.....	85
7.1.	Διάγραμμα Ροής.....	87
8.	Δειγματοληψία και Χαρακτηρισμός Παραπροϊόντων	89
8.1.	Σύστημα Ανακύκλωσης Νερού και Δειγματοληψία.....	89
8.2.	Χημική Ανάλυση Δειγμάτων Νερού Έκπλυσης - Σύγκριση με Πρότυπα.....	90
8.2.1.	pH.....	91
8.2.2.	Ολικά Στερεά	91
8.2.3.	Χλωριόντα.....	92
8.2.4.	Θειικά Ιόντα.....	92
8.3.	Χαρακτηρισμός Λούμης	93
8.3.1.	Χημική Ανάλυση	94
8.3.2.	Ορυκτολογική Ανάλυση.....	94
8.3.3.	Θερμική Ανάλυση	95
8.3.4.	Οπτική Ανάλυση	96
8.3.5.	Κοκκομετρική Ανάλυση	98
8.4.	Συμπεράσματα	99
8.5.	Βιβλιογραφία.....	99
9.	Δοκιμές σε Σκυρόδεμα	101
9.1.	Προκαταρτικές Δοκιμές σε Σκυρόδεμα.....	101

9.2.	Νερά Ανάμιξης με Διαφορετικό pH.....	103
9.3.	Εργαστηριακό Νερό Έκπλυσης.....	105
9.4.	Συμπεράσματα	107
9.5.	Βιβλιογραφία.....	107
10.	Δοκιμές σε Τσιμεντοκονιάματα	109
10.1.	Προετοιμασία Δειγμάτων Νερού - Κωδικοποίηση	109
10.2.	Σύνθεση Κονιαμάτων - Υλικά	111
10.3.	Εργασιμότητα Κονιαμάτων	112
10.4.	Μηχανικές Αντοχές Τσιμεντοκονιαμάτων.....	114
10.4.1.	Θλιπτικές Αντοχές και pH	115
10.4.2.	Θλιπτικές Αντοχές και Χλωριόντα	117
10.4.3.	Θλιπτικές Αντοχές και Ολικά Στερεά.....	119
10.5.	Αντίσταση τσιμεντοκονιαμάτων στην Διείσδυση Χλωριόντων	120
10.6.	Θερμότητα Ενυδάτωσης	122
10.6.1.	Ημι-Αδιαβατική Μέθοδος	122
10.6.2.	Θερμιδομετρία Αγωγιμότητας	126
10.7.	Συμπεράσματα	129
10.8.	Βιβλιογραφία.....	129
11.	Δοκιμές σε Πάστες Τσιμέντου	131
11.1.	Απαίτηση σε Νερό και Χρόνοι Πήξης	131
11.2.	Μελέτη Ενυδάτωσης	133
11.2.1.	Θερμική Ανάλυση.....	133
11.2.2.	Ορυκτολογική Ανάλυση.....	137
11.2.3.	Ποροσιμετρία	142
11.3.	Συμπεράσματα	143
11.4.	Βιβλιογραφία.....	143
12.	Δοκιμές στη Λούμη.....	145
12.1.	Η Λούμη στο Νερό.....	145
12.2.	Ξηρή Λούμη ως Υποκατάστατο Τσιμέντου	146
12.3.	Αλληλεπίδραση Λούμης και Παιπάλης Άμμου	147
12.3.1.	Κοκκομετρία Πρώτων Υλών.....	147
12.3.2.	Συνθέσεις Κονιαμάτων	149
12.3.3.	Θλιπτικές Αντοχές και Εργασιμότητα.....	151
12.3.4.	Μέθοδος Taguchi	153
12.4.	Λούμη και Πυριτική Άμμος.....	156

12.5.	Συμπεράσματα	158
12.6.	Βιβλιογραφία.....	158
13.	Νερό Έκπλυσης και Σύνθετα Τσιμέντα με Ιπτάμενες Τέφρες.....	159
13.1.	Υλικά	159
13.2.	Συνθέσεις Κονιαμάτων	159
13.3.	Θλιπτικές Αντοχές.....	160
13.4.	Συμπεράσματα	163
13.5.	Βιβλιογραφία.....	163
14.	Τελικά Συμπεράσματα.....	165
	Παράρτημα Α: ΕΛΟΤ 345: 1979 «Το Ύδωρ Αναμιξεως και Συντηρήσεως Σκυροδέματος»	169
	Παράρτημα Β: Ερωτηματολόγιο προς ΜΕΣ	195
	Παράρτημα Γ: Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων Δειγμάτων Νερού Διαφόρων ΜΕΣ.....	201
	Βιογραφικό Σημείωμα.....	203

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1. Συνηθισμένες δοκιμές ενός σημείου για τον προσδιορισμό της εργασιμότητας	14
Εικόνα 1.1. Δοκιμή κάθισης	15
Εικόνα 1.2. Δοκιμή παράγοντα συμπύκνωσης	15
Εικόνα 1.3. Δοκιμή Vebe	16
Εικόνα 1.4. Δοκιμή τράπεζας εξάπλωσης.....	16
Εικόνα 1.5. Δοκιμή εξάπλωσης λόγω κάθισης	16
Εικόνα 1.6. Δοκιμή για την εύρεση του βαθμού συνεκτικότητας.....	17
Εικόνα 1.7. Συσχέτιση τιμών των δοκιμών κάθισης και τράπεζας εξάπλωσης.....	17
Εικόνα 1.8. Εξάρτηση μεταξύ μετρήσεων κάθισης και εξάπλωσης εξαιτίας κάθισης	17
Πίνακας 1.2. Κατηγορίες συσχέτισης των μεθόδων σύμφωνα με το πρότυπο EN 206-1: 2000	17
Πίνακας 1.3. Αποτελέσματα κάθισης, δοκιμής Vebe και παράγοντα συμπύκνωσης για τέσσερα μίγματα	18
Εικόνα 1.9. Τυπική διασπορά δοκιμών μοναδικού σημείου σχετικές με την εργασιμότητα.	18
Εικόνα 1.10. Τυπική συμπεριφορά απώλειας κάθισης μιγμάτων χωρίς πρόσμικτα	19
Εικόνα 1.11. Συσχέτιση λόγου w/c και θλιπτικής αντοχής σε διάφορες ηλικίες συντήρησης.....	21
Εικόνα 1.12. Επίδραση λόγου w/c και περιεχόμενου αέρα στις αντοχές σκυροδέματος	22
Εικόνα 1.13. Επίδραση ποσότητας τσιμέντου και περιεχόμενου αέρα στις αντοχές σκυροδέματος	22
Εικόνα 1.14. Ανάπτυξη θλιπτικών αντοχών σκυροδέματος που περιέχει ιπτάμενη τέφρα	23
Εικόνα 1.15. Επίδραση μέγιστου μεγέθους κόκκου αδρανών στις αντοχές σκυροδέματος	23
Εικόνα 1.16. Επίδραση της κάθισης στις θλιπτικές αντοχές και το κόστος του σκυροδέματος	24
Εικόνα 1.17. Επίδραση κοκκομετρίας αδρανών στις θλιπτικές αντοχές.....	24
Εικόνα 1.18. Σχέση τριχοειδούς πορώδους και βαθμού ενυδάτωσης.....	26
Εικόνα 1.19. Επίδραση συνθηκών συντήρησης στην αντοχή.....	26
Εικόνα 1.20. Επίδραση θερμοκρασίας χύτευσης και συντήρησης στις πρώιμες και μέσες αντοχές	27
Εικόνα 1.21. Επίδραση θερμοκρασίας χύτευσης στην αντοχή	28
Εικόνα 1.22. Επίδραση θερμοκρασίας συντήρησης στις πρώιμες και μέσες αντοχές.....	28
Εικόνα 1.23. Επίδραση διαμέτρου του δοκιμίου στην αντοχή	29
Εικόνα 1.24. Επίδραση λόγου ύψους/διαμέτρου στην θλιπτική αντοχή σκυροδέματος.....	29
Εικόνα 1.24. Αλληλεπίδραση παραγόντων που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος.....	31
Πίνακας 2.1. Ανάπτυξη θερμότητας ενυδάτωσης μετά από 72 ώρες σε διαφορετικές θερμοκρασίες	36
Εικόνα 2.1. Άνοδος θερμοκρασίας σε σκυρόδεμα συντηρημένο σε αδιαβατικό θάλαμο	36
Πίνακας 2.2. Θερμότητα ενυδάτωσης των συστατικών του τσιμέντου	36
Εικόνα 2.2. Επίδραση του ποσοστού C ₃ A στην ανάπτυξη θερμότητας (με σταθερό το ποσοστό C ₃ S).....	37
Εικόνα 2.3. Τυπικό διάγραμμα θερμότητας ενυδάτωσης.....	38
Εικόνα 2.4. Θερμότητα ενυδάτωσης τσιμεντόπαστας μετρημένη με ισόθερμη θερμιδομετρία	39
Εικόνα 2.5. Θερμότητα ενυδάτωσης τσιμεντόπαστας μετρημένη με ισόθερμη θερμιδομετρία, + 0.5% SO ₃	39

Εικόνα 2.6. Επίδραση του CaCl_2 στην αντοχή σκυροδεμάτων	43
Πίνακας 2.3. Επίδραση του χλωριούχου ασβεστίου στους χρόνους πήξης.....	44
Εικόνα 2.7. Αντίσταση σε ψύξη-απόψυξη σκυροδεμάτων που συντέθηκαν με προσθήκες CaCl_2	44
Εικόνα 3.1. Αποτελέσματα θλιπτικών αντοχών σε σκυροδέματα διαφόρων συνθέσεων.....	49
Εικόνα 4.1. Μονάδα με ξηρή φόρτωση.....	54
Εικόνα 4.2. Μονάδα με κεντρικό αναμικτήρα υγρής φόρτωσης	54
Εικόνα 4.3. Συνήθης διαδικασία ανάκτησης επιστρεφόμενου σκυροδέματος	56
Εικόνα 4.4. Ανακύκλωση φρέσκου και σκληρυμένου σκυροδέματος	57
Πίνακας 5.1. Επίδραση προσμίξεων νερού ανάμιξης στις βασικές ιδιότητες σκυροδέματος.....	66
Πίνακας 5.2. Όρια Βλαπτικών Ουσιών (ΕΛΟΤ 345)	68
Πίνακας 5.3. Απαιτήσεις προκαταρκτικού ελέγχου για το νερό ανάμιξης	69
Πίνακας 5.4. Μέγιστη ποσότητα χλωριόντων στο νερό ανάμιξης	69
Πίνακας 5.5. Ποσοτικά όρια επιβλαβών ουσιών.....	69
Πίνακας 5.6. Περιεκτικότητα στερεών	70
Πίνακας 5.7. Βασικές προδιαγραφές των ΕΛΟΤ345, EN1008, ISO12439, ASTM C1602/C1602M και AS1379	74
Εικόνα 6.1. Δυναμική παραγωγής ευρωπαϊκών μονάδων.....	76
Εικόνα 6.2. Δυναμική παραγωγής ελληνικών μονάδων	77
Εικόνα 6.3. Πηγές νερού ευρωπαϊκών μονάδων	77
Εικόνα 6.4. Πηγές νερού ελληνικών μονάδων	77
Εικόνα 6.5. Ύπαρξη συστήματος ανακύκλωσης στις ευρωπαϊκές μονάδες.....	77
Εικόνα 6.6. Ύπαρξη συστήματος ανακύκλωσης στις ελληνικές μονάδες.....	78
Εικόνα 6.7. Επεξεργασία νερού στην Ευρώπη	78
Εικόνα 6.8. Επεξεργασία νερού στην Ελλάδα	78
Εικόνα 6.9. Χρήσεις ανακυκλωμένου νερού στις ευρωπαϊκές μονάδες.....	79
Εικόνα 6.10. Χρήσεις ανακυκλωμένου νερού στις ελληνικές μονάδες.....	79
Εικόνα 6.11. Αποτελέσματα περιεκτικότητας σε ανόργανα στερεά.....	80
Εικόνα 6.12. Αποτελέσματα περιεκτικότητας σε χλωριόντα	81
Εικόνα 6.13. Αποτελέσματα περιεκτικότητας σε θειικά ιόντα.....	81
Εικόνα 6.14. Αποτελέσματα μέτρησης του pH.....	82
Εικόνα 8.1. Σύστημα ανακύκλωσης νερού και σημεία δειγματοληψίας	89
Πίνακας 8.1. Σημεία πρώτης δειγματοληψίας	89
Πίνακας 8.2. Μεθοδολογίες χημικής ανάλυσης.....	90
Πίνακας 8.3. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού έκπλυσης.....	90
Εικόνα 8.2. Μέτρηση pH των δειγμάτων νερού και σύγκριση με προδιαγραφές προτύπων.....	91
Εικόνα 8.3. Περιεκτικότητα δειγμάτων νερού σε στερεά και σύγκριση με προδιαγραφές προτύπων	91
Εικόνα 8.4. Μέτρηση περιεκτικότητας χλωριόντων και σύγκριση με τις προδιαγραφές των προτύπων	92
Εικόνα 8.5. Μέτρηση περιεκτικότητας θειικών ιόντων και σύγκριση με τις προδιαγραφές των προτύπων	92

Εικόνα 8.6. Δείγμα λούμης σε ακατέργαστη μορφή	93
Πίνακας 8.4. Χημική ανάλυση λούμης (επί ξηρού)	94
Εικόνα 8.7. Ακτινοδιάγραμμα λούμης.....	95
Εικόνα 8.8. Καμπύλες TG και DTG δείγματος λούμης.....	96
Πίνακας 8.5. Περιεκτικότητα λούμης σε ασβεσίτη και πορτλαντίτη βάσει θερμικής ανάλυσης.....	96
Εικόνα 8.9.α-β. Εικόνες SEM λούμης στα x617	97
Εικόνα 8.10.α-β. Εικόνες SEM λούμης στα x1234	97
Εικόνα 8.11.α-ε.Εικόνες SEM λούμης στα x2469	98
Πίνακας 8.5. Κοκκομετρική ανάλυση λούμης	99
Εικόνα 8.12. Κοκκομετρική κατανομή λούμης	99
Πίνακας 9.1. Συνθέσεις προκαταρτικών δοκιμών σκυροδέματος	101
Πίνακας 9.2. Αποτελέσματα κάθισης και αντοχών προκαταρτικών δοκιμών σκυροδέματος.....	102
Εικόνα 9.1. Θλιπτικές αντοχές και κάθιση προκαταρτικών δοκιμών σκυροδέματος	102
Πίνακας 9.3. Χημικά χαρακτηριστικά δειγμάτων νερού 2 ^{ης} δειγματοληψίας με προσθήκη HCl _{aq}	103
Πίνακας 9.4. Σύνθεση δοκιμών γαρμπιλοδέματος με νερά διαφορετικού pH	103
Σχήμα 9.2. Θλιπτικές αντοχές δοκιμών γαρμπιλοδέματος σε σχέση με το pH του νερού ανάμιξης.....	104
Πίνακας 9.6. Συνθέσεις σκυροδεμάτων με εργαστηριακό νερό sw	105
Πίνακας 9.7. Θλιπτικές αντοχές δοκιμών σκυροδέματος παρασκευασμένων με εργαστηριακό νερό sw.....	106
Εικόνα 9.3. Θλιπτικές αντοχές δοκιμών σκυροδέματος με εργαστηριακό νερό sw	106
Πίνακας 10.1. Επεξεργασία και κωδικοποίηση δειγμάτων νερού	110
Πίνακας 10.2. Χημική και ορυκτολογική ανάλυση του τσιμέντου CEM I 42.5.....	112
Εικόνα 10.1. Κοκκομετρική κατανομή ασβεστολιθικής άμμου.....	112
Πίνακας 10.3. Αποτελέσματα εξάπλωσης των τσιμεντοκονιαμάτων	112
Εικόνα 10.2. Συσχέτιση αποτελεσμάτων εξάπλωσης κονιαμάτων με το pH του νερού ανάμιξης	113
Εικόνα 10.3. Συσχέτιση αποτελεσμάτων εξάπλωσης κονιαμάτων με τα ολικά στερεά του νερού ανάμιξης	113
Εικόνα 10.4. Συσχέτιση εξάπλωσης κονιαμάτων με την συγκέντρωση των χλωριόντων του νερού ανάμιξης.....	114
Πίνακας 10.4. Καμπτικές και θλιπτικές αντοχές τσιμεντοκονιαμάτων	115
Εικόνα 10.5. Πρέσα προσδιορισμού καμπτικών αντοχών με εφαρμογή τάσης σε τρία σημεία.	115
Εικόνα 10.6. Πρέσα προσδιορισμού θλιπτικών αντοχών.....	115
Εικόνα 10.7. Θλιπτικές αντοχές 2 ημερών κονιαμάτων παρασκευασμένων με νερά διαφορετικού pH	116
Εικόνα 10.8. Θλιπτικές αντοχές 7 ημερών κονιαμάτων παρασκευασμένων με νερά διαφορετικού pH	116
Εικόνα 10.9. Θλιπτικές αντοχές 28 ημερών κονιαμάτων παρασκευασμένων με νερά διαφορετικού pH	117
Εικόνα 10.10. Συγκεντρωτική συσχέτιση θλιπτικών αντοχών και pH νερού ανάμιξης (κόκκινο: αναφοράς)	117
Εικόνα 10.11. Θλιπτικές αντοχές 2 ημερών κονιαμάτων / νερά διαφορετικής συγκέντρωσης χλωριόντων	118
Εικόνα 10.12. Θλιπτικές αντοχές 7 ημερών κονιαμάτων /νερά διαφορετικής συγκέντρωσης χλωριόντων	118
Εικόνα 10.13. Θλιπτικές αντοχές 28 ημερών κονιαμάτων /νερά διαφορετικής συγκέντρωσης χλωριόντων	119
Εικόνα 10.14. Συγκεντρωτική συσχέτιση θλιπτικών αντοχών και συγκέντρωσης χλωριόντων νερού	119

Εικόνα 10.14. Συγκεντρωτική συσχέτιση θλιπτικών αντοχών και ολικών στερεών νερού ανάμιξης	120
Εικόνα 10.15. Θλιπτικές αντοχές κονιαμάτων παρουσία ή όχι στερεών στο νερό ανάμιξης	120
Εικόνα 10.16. Διάταξη μέτρησης διείσδυσης ιόντων χλωρίου	121
Πίνακας 10.5. Αποτελέσματα δοκιμής αντίστασης τσιμεντοκονιαμάτων στη διείσδυση χλωριόντων	121
Εικόνα 10.17. Αποτελέσματα δοκιμής αντίστασης τσιμεντοκονιαμάτων στη διείσδυση χλωριόντων	122
Εικόνα 10.18. Διάταξη μέτρησης θερμότητας ενυδάτωσης με την ημιαδιαβατική μέθοδο	123
Εικόνα 10.19. Αποτελέσματα ανόδου θερμοκρασίας κονια-μάτων με την ημι-αδιαβατική μέθοδο.....	124
Εικόνα 10.20. Αποτελέσματα θερμότητας ενυδάτωσης κονιαμάτων με την ημι-αδιαβατική μέθοδο	125
Εικόνα 10.21 Διάταξη θερμιδόμετρου TAM Air	126
Εικόνα 10.22. Ροή θερμότητας για το OPC εξεταζόμενο με τα τρία δείγματα νερού.....	127
Εικόνα 10.23. Εκλυόμενη θερμότητα για το OPC εξεταζόμενο με τα τρία δείγματα νερού.....	127
Εικόνα 10.24. Ροή θερμότητας για το CEM II 32.5 εξεταζόμενο με τα τρία δείγματα νερού	127
Εικόνα 10.25. Εκλυόμενη θερμότητα για το CEM II 32.5 εξεταζόμενο με τα τρία δείγματα νερού	128
Εικόνα 10.26. Ροή θερμότητας για το CEM I 52.5 εξεταζόμενο με τα τρία δείγματα νερού	128
Εικόνα 10.27. Εκλυόμενη θερμότητα για το CEM I 52.5 εξεταζόμενο με τα τρία δείγματα νερού	128
Πίνακας 11.1. Χημική ανάλυση του τσιμέντου OPC (CEM I 52.5)	131
Πίνακας 11.2. Απαίτηση σε νερό και χρόνοι πήξης παστών τσιμέντου	132
Εικόνα 11.1. Συσχέτιση χλωριόντων του νερού ανάμιξης και χρόνων πήξης παστών τσιμέντου.	132
Εικόνα 11.2. Διαγράμματα θερμικής ανάλυσης παστών τσιμέντου ηλικίας 2 ημερών.....	134
Εικόνα 11.3. Διαγράμματα διαφορικής θερμικής ανάλυσης παστών τσιμέντου ηλικίας 2 ημερών	134
Πίνακας 11.3. Αποτελέσματα θερμικής ανάλυσης παστών τσιμέντου ηλικίας 2 ημερών.....	134
Εικόνα 11.4. Διαγράμματα θερμικής ανάλυσης παστών τσιμέντου ηλικίας 7 ημερών.....	135
Εικόνα 11.5. Διαγράμματα διαφορικής θερμικής ανάλυσης παστών τσιμέντου ηλικίας 7 ημερών	135
Πίνακας 11.4. Αποτελέσματα θερμικής ανάλυσης παστών τσιμέντου ηλικίας 7 ημερών.....	135
Εικόνα 11.6. Διαγράμματα θερμικής ανάλυσης παστών τσιμέντου ηλικίας 28 ημερών.....	136
Εικόνα 11.7. Διαγράμματα διαφορικής θερμικής ανάλυσης παστών τσιμέντου ηλικίας 28 ημερών	136
Πίνακας 11.5. Αποτελέσματα θερμικής ανάλυσης παστών τσιμέντου ηλικίας 28 ημερών	136
Εικόνα 11.8. Ακτινοδια-γράμματα XRD παστών τσιμέντου ηλικίας 2 ημερών	139
Πίνακας 11.5. Ποσοτική ανάλυση Rietveld ακτινοδιαγραμμάτων παστών τσιμέντου ηλικίας 2 ημερών.....	139
Εικόνα 11.9. Ακτινοδια-γράμματα XRD παστών τσιμέντου ηλικίας 7 ημερών	140
Πίνακας 11.6. Ποσοτική ανάλυση Rietveld ακτινοδιαγραμμάτων παστών τσιμέντου ηλικίας 7 ημερών.....	140
Εικόνα 11.10. Ακτινοδια-γράμματα XRD παστών τσιμέντου ηλικίας 28 ημερών	141
Πίνακας 11.7. Ποσοτική ανάλυση Rietveld ακτινοδιαγραμμάτων παστών τσιμέντου ηλικίας 28 ημερών.....	141
Πίνακας 11.8. Αποτελέσματα MIP για τις δύο πάστες τσιμέντου	142
Εικόνα 11.11. Αθροιστική εισαγωγή Hg έναντι διαμέτρου πόρων (ref)	142
Εικόνα 11.12. Αθροιστική εισαγωγή Hg έναντι διαμέτρου πόρων (1.1)	142
Πίνακας 12.1. Αποτελέσματα δοκιμών που παράχθηκαν με λούμη προστιθέμενη στο νερό ανάμιξης.....	145

Εικόνα 12.1. Θλιπτικές αντοχές για δοκίμια που παράχθηκαν με λούμη προστιθέμενη στο νερό ανάμιξης	145
Πίνακας 12.2. Συνθέσεις τσιμεντοκονιαμάτων με χρήση ξηρής λούμης ως φύλλερ τσιμέντου.....	146
Πίνακας 12.3. Αποτελέσματα δοκιμών τσιμεντοκονιαμάτων που περιέχουν ξηρή λούμη	146
Εικόνα 12.2. Θλιπτικές αντοχές κονιαμάτων με μερική υποκατάσταση τσιμέντου με λούμη	147
Εικόνα 12.3. Καμπύλες κοκκομετρικής ανάλυσης με laser τσιμέντου CEM I 42.5, filler και λούμης.....	148
Πίνακας 12.4. Ισοδύναμο άμμου για δείγματα που περιέχουν 0, 5, 10, 15, 20, 25 και 30% filler	149
Εικόνα 12.4. Γραφική αναπαράσταση Ισοδύναμου άμμου δειγμάτων	149
Πίνακας 12.5. Συνθέσεις τσιμεντοκονιαμάτων με διαφορετικές περιεκτικότητες filler και λούμης.....	150
Πίνακας 12.6. Αποτελέσματα κονιαμάτων με διαφορετικές περιεκτικότητες filler και λούμης	151
Εικόνα 12.5.Θλιπτικές αντοχές κονιαμάτων ηλικίας δύο ημερών για τις τέσσερις σειρές συνθέσεων	152
Εικόνα 12.6. Θλιπτικές αντοχές κονιαμάτων ηλικίας επτά ημερών για τις τέσσερις σειρές συνθέσεων	152
Εικόνα 12.7. Θλιπτικές αντοχές κονιαμάτων ηλικίας 28 ημερών για τις τέσσερις σειρές συνθέσεων.....	152
Εικόνα 12.8. Εργασιμότητα κονιαμάτων για τις τέσσερις σειρές συνθέσεων	153
Πίνακας 12.7. Σχεδιασμός συνθέσεων Taguchi.....	154
Πίνακας 12.8. Αποτελέσματα εξάπλωσης και θλιπτικών αντοχών συνθέσεων Taguchi	155
Πίνακας 12.9. Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας Taguchi	155
Εικόνα 12.9. Ποιοτική απεικόνιση επίδρασης λόγου w/c στις ιδιότητες των κονιαμάτων	156
Εικόνα 12.10. Ποιοτική απεικόνιση επίδρασης ποσοστού filler στις ιδιότητες των κονιαμάτων.....	156
Εικόνα 12.11. Ποιοτική απεικόνιση επίδρασης λούμης στο νερό στις ιδιότητες των κονιαμάτων	156
Πίνακας 12.10. Θλιπτικές αντοχές (MPa) κονιαμάτων με πυριτική άμμο	155
Εικόνα 12.12. Κοκκομετρική κατανομή θραυστής άμμου σε σχέση με την αντίστοιχη καμπύλη Hummel	157
Εικόνα 12.13. Κοκκομετρική κατανομή πυριτικής άμμου σε σχέση με την αντίστοιχη καμπύλη Hummel.....	158
Πίνακας 13.1. Χημική ανάλυση ιπτάμενων τεφρών.....	159
Πίνακας 13.2. Συνθέσεις κονιαμάτων με IT και νερό έκπλυσης	160
Πίνακας 13.3. Θλιπτικές αντοχές (MPa) κονιαμάτων με IT και νερό έκπλυσης.....	161
Εικόνα 13.3. Βελτίωση αντοχών κονιαμάτων ηλικίας 1 ημέρας	162
Εικόνα 13.4. Βελτίωση αντοχών κονιαμάτων ηλικίας 2 ημερών	162
Εικόνα 13.5. Βελτίωση αντοχών κονιαμάτων ηλικίας 7 ημερών	162
Εικόνα 13.6. Βελτίωση αντοχών κονιαμάτων ηλικίας 28 ημερών	163

1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑ

Το σκυρόδεμα είναι το πιο διαδεδομένο δομικό υλικό καθώς υπολογίζεται ότι η παγκόσμια κατανάλωση του είναι της τάξης των 11 δισεκατομμυρίων τόνων ανά έτος, κατατάσσοντάς το έτσι στην δεύτερη θέση κατανάλωσης υλικών από τον άνθρωπο μετά το νερό. [1.1]

Το **σκυρόδεμα** είναι το σύνθετο υλικό που αποτελείται βασικά από μία συνδετική κονία που συγκρατεί τα ενσωματωμένα σωματίδια ή θραύσματα των αδρανών. Στο σκυρόδεμα το συνδετικό αυτό μέσο είναι η τσιμεντόπαστα που αποτελεί ένα μίγμα τσιμέντου και νερού. Τα αδρανή είναι τα ανενεργά υλικά σε διάφορες κοκκομετρίες τα οποία μπορεί να προκύπτουν από φυσικά πετρώματα ή από παραπροϊόντα όπως σκωρίες ή οικοδομικά απόβλητα. Χρησιμοποιούνται μαζί με το μίγμα του τσιμέντου για να παράγουν σκυρόδεμα ή κονίαμα.

Η έννοια χονδρόκοκκο αδρανές χρησιμοποιείται για τα αδρανή με μέγεθος κόκκου πάνω από 4 mm κατά EN (ή 4.75 mm κατά ASTM) και η έννοια λεπτόκοκκο αδρανές αναφέρεται σε αδρανή με μέγεθος κόκκου μικρότερο από 4 mm αλλά μεγαλύτερο από 63 μm (ή 75 μm κατά ASTM). **Χαλίκι** είναι το χονδρόκοκκο αδρανές που προκύπτει από φυσική αποσάθρωση της πέτρας ενώ ο όρος **άμμος** χρησιμοποιείται για τα λεπτόκοκκα αδρανή που προκύπτουν είτε φυσικά είτε από θραύση πετρωμάτων.

Κονίαμα είναι το μίγμα άμμου, τσιμέντου ή/και άλλης κονίας και νερού, πρόκειται δηλαδή για σκυρόδεμα χωρίς την παρουσία χονδρόκοκκων αδρανών.

Τσιμέντο είναι ένα υπέρλεπτο στεγνό υλικό το οποίο αυτούσιο δεν αποτελεί συνδετικό υλικό αλλά αναπτύσσει συνδετικές ιδιότητες όταν ενυδατώνεται, λόγω χημικών αντιδράσεων μεταξύ των συστατικών του τσιμέντου και του νερού. Για τον λόγο αυτό και το τσιμέντο ονομάζεται υδραυλική κονία. Το πιο κοινό τσιμέντο που

χρησιμοποιείται για την παρασκευή σκυροδέματος είναι το τσιμέντο Πόρτλαντ, το οποίο κατά βάση αποτελείται από ενεργές ενώσεις ασβεστίου και πυριτίου. Οι ενυδατωμένες φάσεις των ενώσεων αυτών είναι πρωταρχικά υπεύθυνες για τις συνδετικές ιδιότητες του τσιμέντου και είναι σταθερές σε υδατικό περιβάλλον. [1.1]

Με δεδομένο ότι για την επεξήγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων της παρούσας διατριβής, από τις ιδιότητες του σκυροδέματος και του κονιάματος, απαιτήθηκε εμβάθυνση σε θέματα που σχετίζονται με την εργασιμότητα, τις αντοχές, τη θερμότητα ενυδάτωσης και την επίδραση των χλωριόντων, κρίθηκε σκόπιμο να αντιμετωπισθεί με λεπτομέρειες το θεωρητικό υπόβαθρο των ιδιοτήτων αυτών.

1.1. ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑ

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι με τη διαθέσιμη τεχνολογία, τα σκυροδέματα και τα κονιάματα μπορεί να παρουσιάζουν σχεδόν οποιοδήποτε εργασιμότητα και παράλληλα μπορούν να διατηρούν τις δυνατότητες ανάπτυξης, ενός ευρέως φάσματος ιδιοτήτων σκλήρυνσης που απαιτούνται για μία κατασκευή. Μία τέτοια τεχνολογία απαιτεί τη χρήση ειδικών προϊόντων, όπως πρόσθετων αδρανών υλικών, συμπληρωματικών τσιμεντικών υλικών και, κυρίως, χημικών πρόσμικτων. [1.2]

1.1.1. ΣΧΕΤΙΚΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Βάσει του προτύπου ASTM C 125 [1.3], που είναι σχετικό με το σκυρόδεμα και τα αδρανή του, ως **εργασιμότητα** του σκυροδέματος ορίζεται «η ιδιότητα που καθορίζει την προσπάθεια που απαιτείται ώστε μία ποσότητα νωπού σκυροδέματος να μπορέσει χρησιμοποιηθεί με ελάχιστη απώλεια της ομοιογένειάς της». Το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Σκυροδέματος (ACI) [1.4] ορίζει την εργασιμότητα ως «την ιδιότητα του νωπού σκυροδέματος ή των κονιαμάτων που καθορίζει την ευκολία με την οποία μπορούν να αναμιχθούν οι πρώτες ύλες με αποτέλεσμα την

ομογενοποίησή τους». Η εργασιμότητα συνεπάγεται συμβατότητα, συνοχή, καλό φινίρισμα, σκληρότητα και αντλησιμότητα. Οι προδιαγραφές κάθε έργου συνήθως περιέχουν οδηγίες σχετικές με την μέγιστη εργασιμότητα, με βάση: i) την περιεκτικότητα του νερού, ii) τον μέγιστο λόγο νερό προς τσιμέντο (w/c), iii) τις τιμές κάθισης (όπως μετράται σύμφωνα με τις δοκιμές του προτύπου ASTM [1.5] για υδραυλικό σκυρόδεμα) και iv) μερικές φορές την ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου. Αυτές οι καθορισμένες ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος ή κονιάματος ενδεχομένως να μην περιγράφουν πλήρως την επιθυμητή εργασιμότητα για έναν κατασκευαστή σε πραγματικές συνθήκες. Τα αναμίγματα σκυροδέματος συντίθενται έτσι ώστε να παρέχουν καλύτερη εργασιμότητα. Εν συνεχεία, προκύπτει η ανάγκη, από τους κατασκευαστές και τους παραγωγούς σκυροδέματος, καθορισμού μίας μεθόδου ώστε να επιτυγχάνεται υψηλότερη εργασιμότητα βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων, που στοιχειοθετούνται από τους μηχανικούς σχεδιασμού. Η περιγραφή των σημαντικών ιδιοτήτων του νωπού σκυροδέματος ή κονιάματος γίνεται με τρεις βασικούς όρους, την εργασιμότητα (η οποία ορίστηκε παραπάνω), τη ρεολογία και τη συνεκτικότητα.

Η **ρεολογία** ορίζεται ως η επιστήμη που ασχολείται με την παραμόρφωση και την ροή της ύλης ή την ικανότητα αυτής να ρέει ή να παραμορφώνεται.[1.6] Ως προς το σκυρόδεμα, υπάρχει μια σχέση μεταξύ της διατμητικής τάσης και του ρυθμού της διάτμησης. Μία άλλη προσέγγιση στο θέμα είναι ο χαρακτηρισμός των ρεολογικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος με χρήση του ορίου ελαστικότητας και του ιξώδους. Αυτές οι ιδιότητες πλέον μετρούνται, σε εργαστηριακές συνθήκες, με μεγάλα ροόμετρα. Η ρεολογία του σκυροδέματος, όπως και η κάθιση, εξαρτάται από το χρόνο, καθώς μετράται από το χρόνο της αρχικής ανάμιξης έως την ώρα της δοκιμής.

Η σπουδαιότητα της ρεολογίας και των μετρήσεων αυτής έγκειται στο ότι μπορεί να τροφοδοτεί με

απολύτως χρήσιμα δεδομένα και συμπεράσματα, εργαστηριακών μελετών σχετικά με την εργασιμότητα, την βιομηχανία παραγωγής σκυροδέματος. Πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά του νωπού σκυροδέματος σχετικές με την δόνηση και την ρεολογία κατά την ενοποίηση μπορούν να βρεθούν στην έκθεση ACI 309.1R [1.7] Δυστυχώς αξιόπιστες δοκιμές, με τις οποίες να μπορούν να μετρηθούν οι ρεολογικές ιδιότητες του σκυροδέματος, δεν έχουν αναπτυχθεί. Αυτό που έχει αποδειχθεί είναι μια αρκετά σαφής σχέση μεταξύ της κάθισης και της ρεολογικά καθορισμένης κόπωσης. Η ανάπτυξη σχετικών εργαστηριακών δοκιμών και η καλύτερη κατανόηση των πληροφοριών που παρέχονται από τα αποτελέσματα ρεολογικών δοκιμών και της μελέτης της σύστασης του σκυροδέματος, αποτελούν τους σημερινούς στόχους της έρευνας.[1.2]

Η **συνεκτικότητα** είναι ένας όρος που σχετίζεται με το νωπό σκυρόδεμα. Οι ορισμοί του ASTM και του ACI, σχετικά με την συνεκτικότητα, είναι κατ' ουσία πανομοιότυποι. Το πρότυπο ACI 116R [1.4] ορίζει την συνεκτικότητα ως τη σχετική κινητικότητα ή την ικανότητα του νωπού σκυροδέματος ή κονιάματος να ρέει. Οι συνήθεις μετρήσεις είναι η κάθιση για το σκυρόδεμα και η εξάπλωση για τα κονιάματα. Η λέξη συνεκτικότητα έχει πολλαπλή έννοια αλλά δύο ερμηνείες είναι απαραίτητες στον ορισμό των ιδιοτήτων του σκυροδέματος. Η ροή των νωπών μιγμάτων, όπως μετράται με τις δοκιμές κάθισης, και η διακύμανσή της, από δοκίμιο σε δοκίμιο, είναι δύο σημαντικές ιδιότητες για τον επιτυχή σχεδιασμό μίας κατασκευής. Στην πράξη, όταν επιτευχθεί μία ικανοποιητική εργασιμότητα, η ποιότητα του σκυροδέματος εξαρτάται από τον έλεγχο της διακύμανσης των τιμών κάθισης, διατηρώντας ομοιόμορφη τη συνεκτικότητα.

Το 1991 ο Tattersall [1.8] πρότεινε τον διαχωρισμό της σχετικής με την εργασιμότητα ορολογίας σε τρεις κατηγορίες:

Ποιοτική: Χρησιμοποιείται με γενικό περιγραφικό τρόπο, χωρίς καμία προσπάθεια να

ποσοτικοποιηθεί, π.χ. εργασιμότητα, ρευστότητα, συνεκτικότητα, σταθερότητα, ικανότητα άντλησης.

Ποσοτική εμπειρική: Χρησιμοποιείται ως μια απλή ποσοτική δήλωση της συμπεριφοράς σε ένα συγκεκριμένο σύνολο συνθηκών, π.χ. κάθιση, εξάπλωση.

Ποσοτική θεμελιώδης: Χρησιμοποιείται αυστηρά σύμφωνα με τους ορισμούς του BS 5168 [1.9]: Λεξικό όρων ρεολογίας, π.χ. ιξώδες, κινητικότητα, ρευστότητα, βαθμός απόδοσης.

Ένας τέτοιος διαχωρισμός είναι χρήσιμος στο μέτρο που εκθέτει με σαφήνεια τα όρια πολλών όρων σχετικά με την εργασιμότητα.[1.2, 1.10]

1.1.2. ΟΜΟΙΟΓΕΝΕΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Στα αναμίγματα σκυροδέματος, οι αναλογίες πρέπει πάντα να αναπτύσσονται, με τέτοιο τρόπο, ώστε στο τελικό σκληρυμένο σκυρόδεμα να επιτυγχάνονται αυτές οι φυσικές ιδιότητες που απαιτούνται για να είναι σε θέση μία κατασκευή να αντέξει την έκθεση στις αναμενόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Εξίσου σημαντικό, για το νωπό σκυρόδεμα, είναι η προσεκτική μελέτη της εργασιμότητας και άλλων ιδιοτήτων απαραίτητων για την επιτυχή ανάμιξη, μεταφορά, συνεκτικότητα, διάστρωση και έγκαιρη ολοκλήρωση της διαδικασίας. Μετά την ανάπτυξη των αναμιγμάτων και τον ορισμό των αναγκαίων χαρακτηριστικών που επηρεάζουν την εργασιμότητα, είναι πολύ σημαντικό οι ποσότητες των συστατικών να βρίσκονται σε σχετική ομοιογένεια.

Η τυχόν ανομοιογένεια μπορεί να γίνει εύκολα εμφανής τόσο στη φάση του νωπού όσο και στη φάση του σκληρυμένου σκυροδέματος ή κονιάματος. Για τον προσδιορισμό της ανομοιογένειας υπάρχουν δύο διακριτές μετρήσεις, η μέτρηση της διακύμανσης της ομοιογένειας στην ίδια παρτίδα δοκιμών και η μέτρηση της διακύμανσης ομοιογένειας από παρτίδα σε παρτίδα. Η δειγματοληψία, στη μέθοδο της διακύμανσης της ανομοιογένειας στην

ίδια παρτίδα, γίνεται με λήψη δειγμάτων από τον αναμικτήρα, στην αρχή, στη μέση και στο τέλος της παρτίδας. Οι διακυμάνσεις αυτές μπορούν να αποδοθούν στην ύπαρξη σκληρυμένου τσιμέντου στον αναμικτήρα, σε φθορά των λεπίδων του αναμικτήρα, σε ανεπαρκή ή υπερβολικό χρόνο ανάμιξης, σε χαμηλή ταχύτητα, σε ακατάλληλη ακολουθία φόρτωσης των υλικών στον αναμικτήρα ή σε ενδεχόμενη υπερφόρτωση του αναμικτήρα.

Οι διακυμάνσεις ομοιομορφίας, μελετώμενες από παρτίδα σε παρτίδα, μπορούν να αποδοθούν στις διαφοροποιήσεις στις συνολικές συνθήκες υγρασίας των αδρανών, στην κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών, στην έλλειψη ακρίβειας κατά τη ζύγιση ή σε ελαττώματα του εξοπλισμού ογκομετρικής μέτρησης και φυσικά σε λόγους που οφείλονται οι διακυμάνσεις μεταξύ της ίδιας παρτίδας. Βάσει των αναλογιών, τα αναμίγματα σκυροδέματος μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες, αυτά με σχετικά υψηλούς λόγους νερό προς τσιμέντο w/c και αυτά με χαμηλούς. Η χρήση ακατάλληλου υλικού όπως επίσης και ο λανθασμένος χειρισμός εξοπλισμού, μπορεί να οδηγήσει σε ένα οριακό ανάμιγμα που διαχωρίζονται τα συστατικά του. Η ομοιομορφία και η μεταφορά του σκυροδέματος πρέπει πάντα να εξετάζεται, επειδή όσο μεγαλύτερη είναι η ομοιογένεια κατά την παραγωγή, τη μεταφορά και εφαρμογή του σκυροδέματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να επιτευχθούν οι επιθυμητές ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος. [1.2]

1.1.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ

ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΠΟΣΟΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

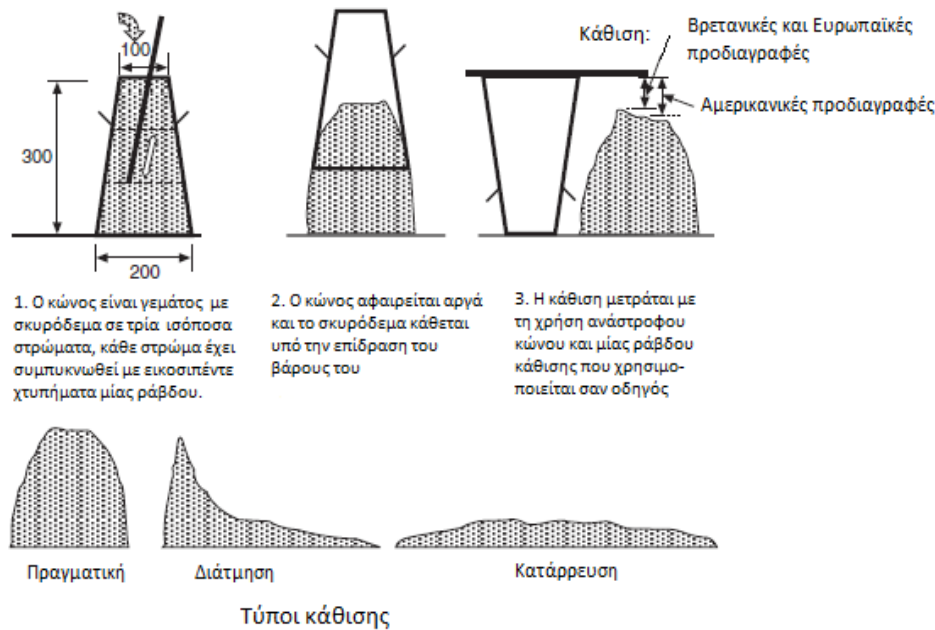
Πολλές δοκιμές έχουν επινοηθεί και χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια για τον προσδιορισμό ποσοτικών εμπειρικών τιμών της 2^{ης} κατηγορίας που προαναφέρθηκε. Δίνουν μια μόνο μέτρηση, και γι' αυτό συχνά αναφέρονται και ως δοκιμές «μοναδικού σημείου», για να διακρίνονται από τις «δοκιμές δύο σημείων», οι οποίες δίνουν δύο μετρήσεις.

Πίνακας 1.1. Συνηθισμένες δοκιμές ενός σημείου για τον προσδιορισμό της εργασιμότητας

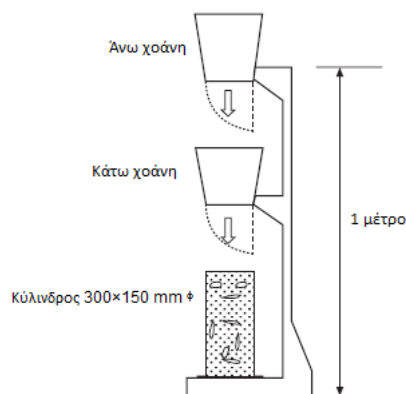
Δοκιμή	Αρχή μεθόδου	Σχόλια
Κάθιση (εικόνα 1.1)	Μετρά την ιδιότητα ροής του σκυροδέματος υπό το βάρος του μετά από πρότυπη συμπίκνωση	Κατάλληλη για σκυροδέματα υψηλής και μεσαίας εργασιμότητας. Ευαίσθητη σε μικρές αλλαγές στην περιεκτικότητα νερού. Πολύ απλή, κατάλληλη για επιτόπου χρήση. Η επιτυχία της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον χειριστή.
Παράγοντας συμπίκνωσης (εικόνα 1.2)	Μετρά την ποσότητα ενός καθορισμένου μεγέθους της εργασίας (ύψος πτώσης) στη συμπίκνωση	Κατάλληλη για μίγματα χαμηλής, μεσαίας και υψηλής εργασιμότητας. Αρκετά απλή, απαιτεί βαθμονόμηση. Μικρότερη εξάρτηση από την δεξιότητα του χειριστή από ότι η κάθιση.
Μέθοδος Vebe (εικόνα 1.3)	Μετρά την ποσότητα της εργασίας (χρόνοι για σταθερές δονήσεις) για πλήρη συμπίκνωση	Κατάλληλη για μίγματα με χαμηλές και πολύ χαμηλές εργασιμότητες. Μεγαλύτερη συσχέτιση με τις συνθήκες διάστρωσης του σκυροδέματος από ότι η κάθιση. Μερικές φορές είναι δύσκολο να καθοριστεί το τελικό σημείο.
Τράπεζα εξάπλωσης (εικόνα 1.4)	Μετρά την επίδραση ενός ποσού της εργασίας (χτυπήματα) στην εξάπλωση	Κατάλληλη κυρίως για κονιάματα. Κατάλληλη για μίγματα με υψηλές και πολύ υψηλές εργασιμότητες. Δίνει μία ένδειξη της τάσης που έχει το μίγμα να διαχωριστεί. Αρκετά απλή, εξαρτάται από τη δεξιότητα του χειριστή
Εξάπλωση λόγω κάθισης (εικόνα 1.5)	Όπως και στην κάθιση, μετρά την ιδιότητα ροής του σκυροδέματος υπό το βάρος του μετά από αυτοσυμπύκνωση.	Εφαρμόζεται σε αυτοσυμπυκνούμενα σκυροδέματα. Πολύ απλή, κατάλληλη για επί τόπου χρήση. Εξαρτάται σε μικρό βαθμό από τη δεξιότητα του χειριστή.
Βαθμός συνεκτικότητας (εικόνα 1.6)	Μετρά την επίδραση ενός ποσού εργασίας (πτώση του σκυροδέματος από την άκρη του δοχείου) πάνω στην συμπίκνωση	Μια εναλλακτική της δοκιμής παράγοντα συμπίκνωσης. Απλή, κατάλληλη για επί τόπου χρήση. Πιθανόν να εξαρτάται από τη δεξιότητα του χειριστή.

Ήδη από το 1947 [1.11], είκοσι εννέα δοκιμές μοναδικού σημείου είχαν περιγραφεί ως οι πιο σημαντικές από εκείνες που είχαν αναπτυχθεί έως εκείνη τη στιγμή ενώ, μια πρόσφατη σειρά (2002) από δεκαέξι δοκιμές μοναδικού σημείου είναι διαθέσιμη για τρέχουσα χρήση [1.12]. Λίγες, εάν υπάρχουν, από τις δοκιμές που περιγράφονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να συμβάλουν στις προσπάθειες αύξησης της εργασιμότητας σε πρακτικό επίπεδο. Πράγματι, πολλά έχουν αναπτυχθεί τις δύο τελευταίες δεκαετίες, ώστε να ικανοποιηθεί η ανάγκη για σκυρόδεμα αυξημένης εργασιμότητας, όπως η πιο πρόσφατη περίπτωση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

Τέσσερα είδη δοκιμών συμπεριλαμβάνονται στις πρόσφατες Βρετανικές προδιαγραφές: η κάθιση, ο παράγοντας συμπίκνωσης, ο έλεγχος της εργασιμότητας (με τη συσκευή Vebe) και η εξάπλωση. Οι μέθοδοι αυτές θα αναπτυχθούν παρακάτω μαζί με τις δοκιμές εξάπλωσης λόγω κάθισης και τις δοκιμές συνεκτικότητας, που αντικατέστησαν τις δοκιμές του παράγοντα συμπίκνωσης στα τελευταία ευρωπαϊκά πρότυπα. Οι δοκιμές αυτές παρουσιάζονται και περιγράφονται στις **εικόνες 1.1-1.6**. Ο **Πίνακας 1.1** δίνει τις αρχές λειτουργίας των μεθόδων αυτών και ορισμένες παρατηρήσεις σχετικά με τη χρήση τους.



Εικόνα 1.1. Δοκιμή κάθισης [1.5, 1.13, 1.14].



- Το σκυρόδεμα φορτώνεται στην άνω χοάνη
- Η καταπακτή ανοίγει, και το σκυρόδεμα πέφτει στην κάτω χοάνη
- Η καταπακτή της κάτω χοάνης ανοίγει, και το σκυρόδεμα πέφτει στον κύλινδρο
- Ο κύλινδρος με το σκυρόδεμα ζυγίζεται, για να δώσει το εν μέρει συμπυκνωμένο βάρος του σκυροδέματος
- Ο κύλινδρος γεμίζει με πλήρως συμπυκνωμένο σκυρόδεμα
- Ο κύλινδρος και το σκυρόδεμα ζυγίζεται, για να δώσει το βάρος του πλήρως συμπυκνωμένου σκυροδέματος

Παράγοντας συμπίκνωσης =

$$\frac{\text{βάρος μερικώς συμπυκνωμένου σκυροδέματος}}{\text{βάρος πλήρως συμπυκνωμένου σκυροδέματος}}$$

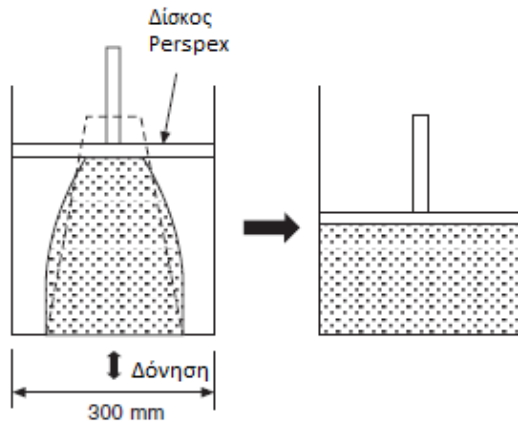
Εικόνα 1.2. Δοκιμή παράγοντα συμπίκνωσης [1.15]

Η δοκιμή κάθισης (εικόνα 1.1), είναι μια απλή διαδικασία, γρήγορη και φθηνή, χρησιμοποιείται ευρέως σε όλες τις κατηγορίες σκυροδέματος υψηλών και μεσαίων εργασιμότητας. Ορισμένα από τα μειονεκτήματα της μεθόδου αναφέρονται επίσης στον Πίνακα 1.1. Υπάρχουν βέβαια και κάποιες διαφοροποιήσεις εφαρμογής της μεθόδου σε διάφορες χώρες που προκύπτουν από ασυμφωνία μεταξύ Ευρωπαϊκών και Αμερικανικών προτύπων.

Οι Ευρωπαϊκές και Αγγλικές προδιαγραφές διευκρινίζουν ότι η κάθιση θα πρέπει να μετράται στο υψηλότερο σημείο του σκυροδέματος, ενώ το Αμερικανικό πρότυπο καθορίζει ότι η μέτρηση πρέπει να γίνεται στο εκτοπισμένο αρχικό κέντρο της άνω επιφάνειας του σκυροδέματος (όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1). Προφανώς, η ίδια δοκιμή στο ίδιο σκυρόδεμα μπορεί να δώσει διαφορετικές τιμές ανάλογα με το σημείο που γίνεται η μέτρηση.

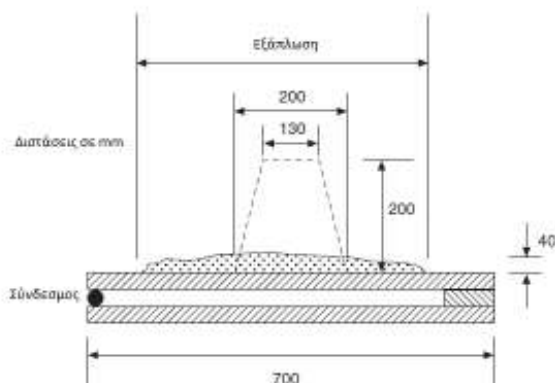
Επιπλέον, βάσει του Βρετανικού προτύπου καταγράφονται μόνο οι τιμές της πραγματικής κάθισης και δεν καταγράφονται οι τιμές της διάτμησης ή της κατάρρευσης (εικόνα 1.1). Το Αμερικανικό πρότυπο περιλαμβάνει ένα

παρόμοιο περιορισμό για τη διατμητική κάθιση, αλλά επιτρέπει μετρήσεις της κατάρρευσης (συχνά αναφέρονται τιμές των 250 mm και άνω).



Ο βαθμός Vebe είναι ο χρόνος (σε δευτερόλεπτα) ώστε η περιοχή του δοχείου κάτω από το δίσκο να περιέχει μόνο σκυρόδεμα και καθόλου αέρα.

Εικόνα 1.3. Δοκιμή Vebe [1.16, 1.17]



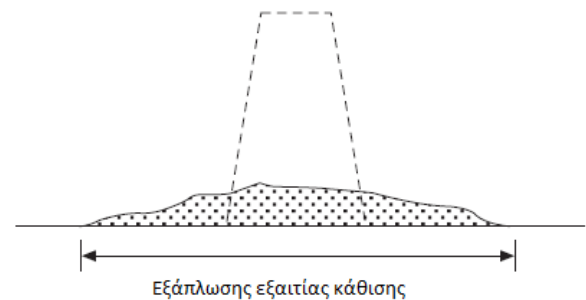
- Ένα κωνικό καλούπι (2/3 του ύψους του κώνου κάθισης) χρησιμοποιείται για να μορφοποιήσει ένα δείγμα του σκυροδέματος στο κέντρο της πλατφόρμας (διάστασης 700 χιλιοστών)
- Η μία άκρη της πλατφόρμας σηκώνεται και ξανακατεβαίνει 15 φορές

Εικόνα 1.4. Δοκιμή τράπεζας εξάπλωσης [1.18, 1.19]

Η δοκιμή της τράπεζας εξάπλωσης εισήχθη από τα Γερμανικά πρότυπα, όταν η χρήση υπερρευστοποιητών και σκυροδεμάτων υψηλών εργασιοτήτων (δηλαδή κάθιση με κατάρρευση) έγινε πολύ δημοφιλής στη δεκαετία του 1970. Ωστόσο η δοκιμή αυτή επικρίθηκε έντονα [1.21], ακόμα και πριν την επίσημη προσάρτησή τους, το

1983, στα Βρετανικά πρότυπα, για διάφορους λόγους, όπως:

- Η δοκιμή εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη δεξιότητα του χειριστή.
- Όταν η εξάπλωση υπερβαίνει το 510 mm (συνιστώμενη ελάχιστη εξάπλωση για σκυρόδεμα) το πάχος σκυροδέματος είναι περίπου ίσο με 20 mm, έτσι η δοκιμή δεν μπορεί να είναι ένα ικανοποιητικό μέτρο που να αντιπροσωπεύει τις συνολικές ιδιότητες του σκυροδέματος.
- Υπάρχει ένας υψηλός βαθμός συσχέτισης μεταξύ της αρχικής εξάπλωσης, πριν από την αναπήδηση της τράπεζας και της εξάπλωσης μετά την αναπήδηση, και κατά συνέπεια δεν υπάρχουν ποιοτικές πληροφορίες που να συσχετίζουν την εξάπλωση με την αναπήδηση.

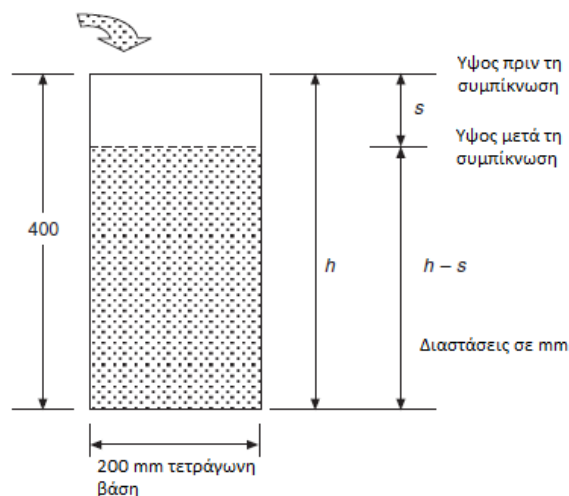


- Ένας κώνος κάθισης πληρώνεται χωρίς συμπίεση
- Ο κώνος αφαιρείται, και η εξάπλωση κάθισης είναι η διάμετρος της εξάπλωσης (μέσος όρος δύο κάθετων διαμέτρων)
- Μερικές φορές επίσης μετράται και ο χρόνος για την επίτευξη εξάπλωσης 500 mm
- Η τράπεζα πρέπει να είναι λεία, καθαρή και επίπεδη

Εικόνα 1.5. Δοκιμή εξάπλωσης λόγω κάθισης [1.20]

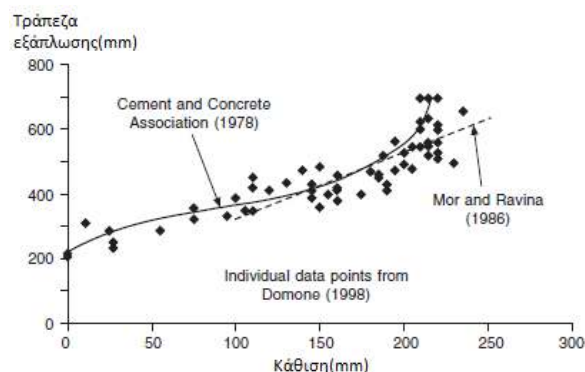
Η συσχέτιση μεταξύ της εξάπλωσης και της κάθισης φαίνεται στην **εικόνα 1.7** όπου για την κατασκευή του διαγράμματος χρησιμοποιούνται τιμές από τρεις πηγές. Η μία καμπύλη έχει μορφή “S” και δείχνει την ευαισθησία της δοκιμής τράπεζας εξάπλωσης για υψηλές τιμές κάθισης. Η δεύτερη καμπύλη αποτελεί μία ευθεία γραμμή για τιμές κάθισης από 100 έως 250 mm. Ωστόσο, η διασπορά είναι τόσο μεγάλη ώστε να

ικανοποιούνται και οι δύο προαναφερθείσες μορφές γραμμικής απεικόνισης.



- Το δοχείο πληρώνεται προσεκτικά με σκυρόδεμα
- Η περίσσεια του σκυροδέματος απομακρύνεται με μία σπάτουλα προσεκτικά ώστε η πάνω επιφάνεια να μείνει λεία
- Το σκυρόδεμα συμπυκνώνεται μέσω δόνησης
- Το τελικό ύψος του σκυροδέματος μετράται στο μέσο της κάθε πλευράς και μετά υπολογίζεται ο μέσος όρος

Εικόνα 1.6. Δοκιμή για την εύρεση του βαθμού συνεκτικότητας [1.22]

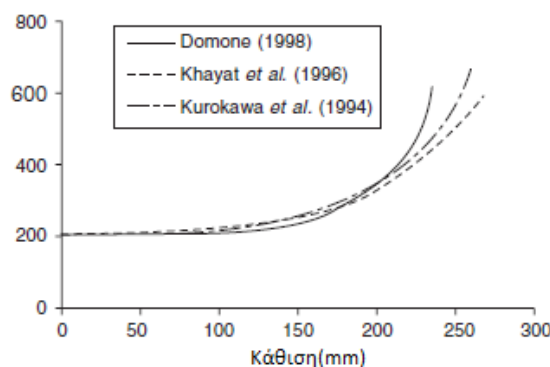


Εικόνα 1.7. Συσχέτιση τιμών των δοκιμών κάθισης και τράπεζας εξάπλωσης [1.23, 1.24, 1.25]

Η δοκιμή εξάπλωσης εξαιτίας κάθισης (εικόνα 1.5) μπορεί να θεωρηθεί μία εναλλακτική της δοκιμής τράπεζας εξάπλωσης και, όπως έχει ήδη αναφερθεί, χρησιμοποιείται ευρέως για τον έλεγχο αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος υψηλής ρευστότητας. Το επιπλέον πλεονέκτημα της δοκιμής τράπεζας κάθισης έναντι της δοκιμής κάθισης είναι η μεγαλύτερη ακρίβεια των εξαγόμενων αποτελεσμάτων.

Η συσχέτιση μεταξύ της κάθισης και της δοκιμής εξάπλωσης εξαιτίας κάθισης φαίνεται στην **εικόνα 1.8**, στο συγκεκριμένο διάγραμμα φαίνονται αποτελέσματα από τρεις ερευνητικές μελέτες. Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι για καθίσεις μεγαλύτερες από 200mm, η ευαισθησία της εξάπλωσης είναι πολύ μεγάλη για μεταβολές της ρευστότητας του σκυροδέματος. Οι καλύτερες καμπύλες συσχέτισης αποκλίνουν στις υψηλές τιμές κάθισης, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε διαφορετική μεθοδολογία στις μετρήσεις π.χ. διαφορετικός τρόπος μέτρησης της κάθισης όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Εξάπλωση εξαιτίας κάθισης (mm)



Εικόνα 1.8. Εξάρτηση μεταξύ μετρήσεων κάθισης και εξάπλωσης εξαιτίας κάθισης [1.25, 1.26, 1.27]

Πίνακας 1.2. Κατηγορίες συσχέτισης των μεθόδων σύμφωνα με το πρότυπο EN 206-1: 2000 [1.28]

Κάθιση		Δοκιμή Vebe		Δοκιμή συνεκτικό- τητας		Εξάπλωση	
κατηγορία	εύρος (mm)	κατηγορία	εύρος (sec)	κατηγορία	εύρος	κατηγορία	εύρος (mm)
		V0	≥31	C0	≥1.46		
S1	10-40	V1	30-21	C1	1.45-1.26	F1	≤340
S2	50-90	V2	20-11	C2	1.25-1.11	F2	350-410
S3	100-150	V3	10-6	C3	1.10-1.04	F3	420-480
S4	160-210	V4	5-3			F4	490-550
S5	≥220					F5	560-620
						F6	≥630

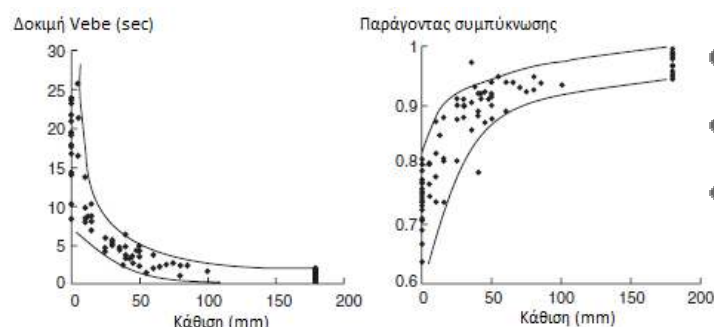
Δεδομένου ότι οι δοκιμές που καταγράφονται στον **Πίνακα 1.2**, έχουν ως βάση τους διαφορετικές αρχές και μετρούν διαφορετικές ιδιότητες, είναι λογικό ότι μόνο σε έναν, αρκετά

μεγάλο, βαθμό επιτυγχάνεται συσχέτιση μεταξύ αυτών και με μεγάλη διασπορά. Το παραπάνω φαίνεται να επιβεβαιώνεται στο διάγραμμα της **εικόνας 1.9**, τα αποτελέσματα του οποίου προέρχονται από μία, αλλά πολύ πλήρη, έρευνα. Αυτές οι γενικές συσχετίσεις αντικατοπτρίζονται με απόλυτη συνέπεια και καθαρότητα στα Ευρωπαϊκά πρότυπα για το σκυρόδεμα, EN 206: 2000 [1.28], που παρατίθενται στον **Πίνακα 1.3**. Οι κατηγορίες που διαμορφώνονται στα πρότυπα δεν συνδέονται άμεσα, αλλά είναι σύμφωνες με τις συσχετίσεις που φαίνονται στα διαγράμματα των **εικόνων 1.7** και **1.9**.

Η κατάσταση περιπλέκεται περαιτέρω από το γεγονός, πως σε ορισμένες περιπτώσεις, εάν χρησιμοποιηθούν δύο ή περισσότερες μέθοδοι για την κατάταξη ή διαφοροποίηση μεταξύ μιγμάτων, μπορεί να ληφθούν αντικρουόμενα αποτελέσματα. Για παράδειγμα στον **Πίνακα 1.3** δίνονται οι τιμές της κάθισης, της δοκιμής Vebe και του παράγοντα συμπύκνωσης τεσσάρων μιγμάτων σκυροδέματος, με αυτά τα αποτελέσματα έχει κατασκευαστεί το διάγραμμα της **εικόνας 1.9**.

Πίνακας 1.3. Αποτελέσματα κάθισης, δοκιμής Vebe και παράγοντα συμπύκνωσης για τέσσερα μίγματα [1.29]

Μίγμα	Κάθιση (mm)	Vebe (sec)	Παράγοντας συμπύκνωσης
A	25	4.3	0.91
B	50	4.9	0.88
C	40	3.3	0.92
D	35	4.4	0.97



Εικόνα 1.9. Τυπική διασπορά αποτελεσμάτων δοκιμών μοναδικού σημείου σχετικές με την εργασιμότητα.

Η κατάταξη κατά σειρά αυξανόμενης εργασιμότητας δίνει:

Για την κάθιση:

Μίγμα A → Μίγμα D → Μίγμα C → Μίγμα B

Για την δοκιμή Vebe:

Μίγμα B → Μίγμα D → Μίγμα A → Μίγμα C

Για τον παράγοντα συμπύκνωσης:

Μίγμα B → Μίγμα A → Μίγμα C → Μίγμα D

Οι διαφορετικές κατατάξεις που προκύπτουν από τις μεθόδους σαφώς δεν είναι καθόλου ικανοποιητικές. Όχι μόνο τίθεται απαραίτητη τη χρήση περιορισμών στις δοκιμές, αλλά διαφορετικές δοκιμές μπορούν να οδηγήσουν σε παραπλανητικά συμπεράσματα.

Για την καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς του σκυροδέματος και, συγκεκριμένα, για την επεξήγηση των ανωμαλιών που μπορεί να προκύψουν από τις δοκιμές μοναδικού σημείου, πρέπει να χρησιμοποιηθεί η επιστήμη της ρεολογίας και να εξεταστούν διεξοδικά όλες οι σημαντικές μελέτες που έλαβαν χώρα τα τελευταία τριάντα χρόνια πάνω στην τεχνολογία του σκυροδέματος.[1.11]

1.1.4. ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Το νωπό σκυρόδεμα και κονίαμα χάνει την εργασιμότητά του εξαιτίας των παρακάτω λόγων [1.11]:

- Το νερό ανάμιξης απορροφάται από τα αδρανή, εάν αυτά δεν βρίσκονται σε κορεσμένη κατάσταση πριν από την ανάμιξη.
- Εξάτμιση του νερού ανάμιξης.
- Πρόωρη έναρξη των αντιδράσεων ενυδάτωσης
- Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χημικών πρόσμικτων (συγκεκριμένα μεταξύ ρευστοποιητών και υπερρευστοποιητών) και των υδραυλικών συστατικών του μίγματος.

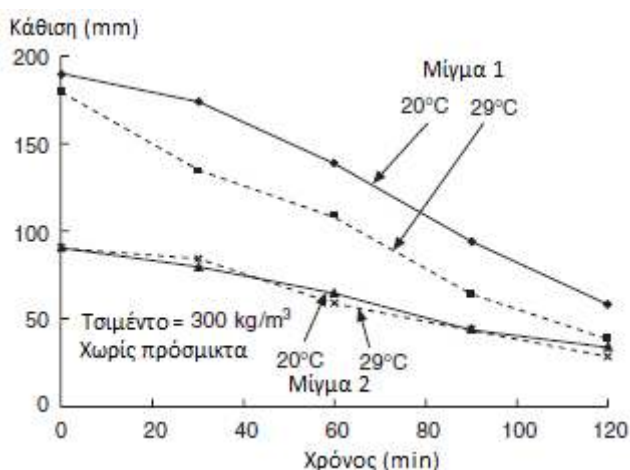
Η απορρόφηση νερού από τα αδρανή μπορεί να αποφευχθεί εάν εξασφαλιστεί ότι τα αδρανή που

χρησιμοποιούνται βρίσκονται σε κορεσμένη κατάσταση π.χ. με τον ψεκασμό των αποθεμάτων των αδρανών με νερό και την συντήρησή τους με ένα κάλυμμα τις ζεστές και ξηρές ημέρες, εάν και αυτό είναι δύσκολο σε ορισμένες περιοχές. Είναι επίσης δύσκολος, εάν όχι ανεπιθύμητος, ο κορεσμός των ελαφροβαρών αδρανών με την παραπάνω διαδικασία. Η εξάτμιση του νερού ανάμιξης μπορεί να μειωθεί κρατώντας το σκυρόδεμα καλυμμένο με υγρά υφάσματα κατά τη διάρκεια της μεταφοράς και της εφαρμογής, όσο περισσότερο αυτό είναι δυνατό.

Οι περισσότερες παράμετροι που συνδέονται με την απώλεια κάθισης κατά κανόνα οφείλονται σε:

- Υψηλότερες θερμοκρασίες
- Υψηλότερες αρχικές καθίσεις
- Μεγαλύτερες περιεκτικότητες σε τσιμέντο
- Υψηλή περιεκτικότητα αλκαλίων και χαμηλή θεικών στο τσιμέντο

Στο διάγραμμα της **εικόνας 1.10** φαίνονται τα στοιχεία από δύο μίγματα που διαφέρουν στην περιεκτικότητα νερού, όπου φαίνεται η επίδραση μόνο των δύο πρώτων παραγόντων.



Εικόνα 1.10. Τυπική συμπεριφορά απώλειας κάθισης μιγμάτων χωρίς πρόσμικτα [1.30].

Ο ρυθμός απώλειας εργασιμότητας μπορεί να μειωθεί με συνεχή ανάμιξη π.χ. σε αυτοκινούμενη

μπετονιέρα ή με προσθήκη πρόσμικτων. Καταρχήν, η προσθήκη νερού για να αποφευχθεί η απώλεια κάθισης, δεν πρέπει να έχει επιπτώσεις στις αντοχές, εφόσον η ποσότητα που προστίθεται είναι ίση με την ποσότητα του νερού που εξατμίστηκε. Επίσης μελέτες έχουν δείξει ότι το νερό που προστίθεται μπορεί να αυξήσει τον λόγο νερό προς τσιμέντο έως 5% χωρίς να επιφέρει καμία απώλεια στις αντοχές των 28 ημερών [1.31]. Ωστόσο, εκτός από ελεγχόμενες συνθήκες, η προσθήκη νερού για την κάλυψη των απωλειών από την εξάτμιση μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του λόγου νερό προς τσιμέντο και ως εκ τούτου ανάπτυξη μικρότερων αντοχών, επομένως είναι προτιμότερο να αποφεύγεται. [1.11]

1.2. ΑΝΤΟΧΕΣ

Η αντοχή του σκυροδέματος είναι η πιο σημαντική του ιδιότητα σύμφωνα με τους μηχανικούς σχεδιασμού και ποιοτικού ελέγχου. Στα στερεά υπάρχει μία θεμελιώδης σχέση μεταξύ πορώδους και αντοχής και, καθώς το σκυρόδεμα αποτελεί ένα πολυφασικό υλικό, το πορώδες κάθε συστατικού της μικροδομής μπορεί να επηρεάσει και να περιορίσει τις αντοχές του υλικού. Τα φυσικά αδρανή είναι γενικά συμπαγή και έτσι το πορώδες της τσιμεντόπαστας καθώς και της διεπιφανειακής ζώνης μεταξύ της τσιμεντόπαστας και των χονδρόκοκκων αδρανών είναι οι ιδιότητες που κυρίως καθορίζουν τα χαρακτηριστικά αντοχής ενός κανονικού σκυροδέματος.

Παρά το γεγονός ότι ο λόγος νερού προς τσιμέντο (w/c ratio) είναι σημαντικός στον καθορισμό του πορώδους, τόσο της τσιμεντόπαστας όσο και της διεπιφανειακής ζώνης μετάβασης, άρα και στον προσδιορισμό της τελικής αντοχής του σκυροδέματος, υπάρχουν άλλοι παράγοντες όπως οι συνθήκες συμπύκνωσης και συντήρησης (βαθμός ενυδάτωσης του τσιμέντου), το μέγεθος και η ορυκτολογία των αδρανών, οι τύποι των χημικών πρόσμικτων, η γεωμετρία των δοκιμίων και οι συνθήκες υγρασίας, ο τύπος τάσης και ο βαθμός φόρτωσης κατά την θραύση που μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την αντοχή. [1.1]

1.2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ

Η αντοχή ενός υλικού ορίζεται ως η ικανότητά του να αντιστέκεται σε τάση χωρίς αστοχία. Η αστοχία μπορεί να οριστεί ως η εμφάνιση ρωγμών, όμως διερεύνηση της μικροδομής σε κανονικού τύπου σκυρόδεμα έδειξε πως, σε αντίθεση με τα περισσότερα δομικά υλικά, το σκυρόδεμα εμπεριέχει πολλές λεπτές ρωγμές ακόμα και πριν υποστεί οποιαδήποτε καταπόνηση. Έτσι, στο σκυρόδεμα, η αντοχή συνδέεται με την τάση που χρειάζεται για να επέλθει αστοχία και ορίζεται ως η μέγιστη τάση που μπορεί να αντέξει το δοκίμιο σκυροδέματος. Σε δοκιμές εφελκυσμού, η ρηγματώση του δοκιμίου σηματοδοτεί συνήθως την αστοχία. Σε δοκιμές θλίψης το δοκίμιο έχει αστοχήσει ακόμα και όταν δεν υπάρχουν ενδείξεις εξωτερικών ρωγμών όμως οι εσωτερικές ρηγματώσεις έχουν προχωρήσει σε τέτοιο σημείο ώστε το δοκίμιο να μην μπορεί να αντέξει μεγαλύτερο φορτίο.

Στον σχεδιασμό και τον ποιοτικό έλεγχο του σκυροδέματος η αντοχή είναι η ιδιότητα που προσδιορίζεται πρωτίστως. Αυτό συμβαίνει επειδή η μέτρηση της αντοχής, σε σχέση με τον έλεγχο άλλων ιδιοτήτων, είναι σχετικά εύκολη. Επιπροσθέτως, πολλές ιδιότητες του σκυροδέματος όπως το μέτρο ελαστικότητας, η υδατοπερατότητα και η αντίσταση σε ακραίες καιρικές συνθήκες, πιστεύεται ότι εξαρτώνται από την αντοχή και μπορούν έτσι να εξακριβωθούν από δεδομένα αντοχών.

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος είναι αρκετές φορές μεγαλύτερη από άλλου είδους αντοχές και έτσι τα συστατικά του σκυροδέματος στην πλειοψηφία τους σχεδιάζονται έτσι ώστε να εκμεταλλεύονται την μέγιστη θλιπτική αντοχή του υλικού. Παρά το γεγονός ότι τα περισσότερα σκυροδέματα υποβάλλονται ταυτόχρονα σε έναν συνδυασμό θλιπτικής, διατμητικής και εφελκυστικής τάσης σε δύο ή περισσότερες κατευθύνσεις, η μονοαξονική μέτρηση της θλιπτικής αντοχής είναι ίσως η πιο χαρακτηριστική και η ευκολότερη σε εργαστηριακή κλίμακα

δοκιμή και η μέτρηση της θλιπτικής αντοχής των 28 ημερών με πρότυπη μονοαξονική δοκιμή θλίψης είναι διεθνώς κατοχυρωμένη ως ένας γενικός δείκτης της αντοχής του σκυροδέματος.

1.2.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Η ανταπόκριση του σκυροδέματος στην τάση που του εφαρμόζεται δεν εξαρτάται μόνο από το είδος της τάσης αλλά και από το πώς ο συνδυασμός διαφόρων παραγόντων επιδρά στο πορώδες των διαφορετικών δομικών συστατικών του σκυροδέματος. Οι παράγοντες αυτοί περιέχουν ιδιότητες και ποσότητες των συστατικών που αποτελούν το ανάμιγμα του σκυροδέματος, βαθμό συμπύκνωσης και συνθήκες συντήρησης. Από άποψη αντοχής, η σχέση μεταξύ του λόγου νερού προς τσιμέντο (w/c ratio) και του πορώδους είναι αναμφίβολα ο πιο σημαντικός παράγοντας καθώς, ανεξάρτητα από άλλες παραμέτρους, επηρεάζονται επιπλέον το πορώδες του τσιμεντοκονιάματος καθώς και αυτό της διεπιφανειακής ζώνης μεταξύ της πάστας και των χονδρόκοκκων αδρανών.

Καθώς δεν είναι εφικτός ο άμεσος καθορισμός του πορώδους της τσιμεντόπαστας και της διεπιφανειακής ζώνης, δεν έχουν αναπτυχθεί ακριβή μοντέλα που να μπορούν να προβλέψουν τις αντοχές του σκυροδέματος. Έχουν αναπτυχθεί ωστόσο, με την πάροδο των ετών, διάφορες εμπειρικές σχέσεις που παρέχουν έμμεσες πληροφορίες για την επίδραση διαφόρων παραγόντων στην θλιπτική αντοχή.

Παρά το γεγονός ότι η ανταπόκριση του σκυροδέματος στην τάση που του εφαρμόζεται είναι αποτέλεσμα πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ διαφόρων παραμέτρων, προς διευκόλυνση μια ξεκάθαρης κατανόησης, διαχωρίζονται οι παράμετροι αυτές σε τρεις κατηγορίες [1.1]:

1. Χαρακτηριστικά και ποσότητες των υλικών
2. Συνθήκες συντήρησης
3. Παράμετροι δοκιμών

1.2.2.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Προτού παρασκευαστεί ένα ανάμιγμα σκυροδέματος γίνεται η επιλογή των κατάλληλων συστατικών αλλά και των ποσοτήτων ώστε να παραχθεί ένα προϊόν που καλύπτει τις προδιαγραφές των αντοχών. Θα πρέπει εδώ να τονιστεί ότι στην πράξη πολλές παράμετροι των συνθέσεων είναι εξαρτημένες μεταξύ του και δεν μπορούν να διαχωριστούν.

Λόγος νερού προς τσιμέντο (w/c ratio)

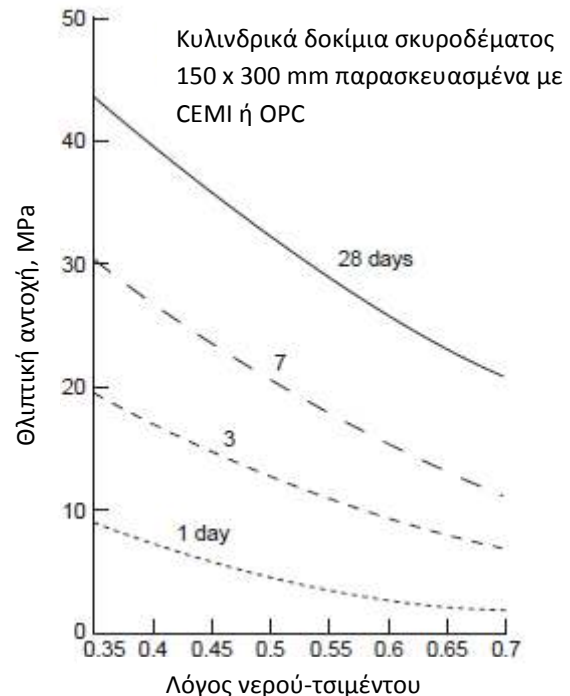
Το 1918 ο Duff Abrams, μετά από πολλές πειραματικές μετρήσεις ανακάλυψε πως υπήρχε μία σχέση μεταξύ του λόγου νερού προς τσιμέντο και των αντοχών του σκυροδέματος. Ο γνωστός κανόνας λόγου νερού-τσιμέντου του Abrams (*Abrams' water-cement ratio rule*) [1.32] εκφράζει αυτήν την αντίστροφη σχέση με την **εξίσωση 1-1**:

$$f_c = \frac{k_1}{k_2^{w/c}} \quad 1-1$$

Όπου w/c είναι ο λόγος νερού-τσιμέντου στο ανάμιγμα του σκυροδέματος και k_1 και k_2 είναι εμπειρικές σταθερές. Στην **εικόνα 1.11** φαίνονται τυπικές καμπύλες που απεικονίζουν την σχέση μεταξύ του λόγου νερού-τσιμέντου και της θλιπτικής αντοχής σε συγκεκριμένη ηλικία συντήρησης στο νερό.

Κατανοώντας τους διάφορους παράγοντες που ευθύνονται για την αντοχή της ενυδατωμένης πάστας τσιμέντου και την επιρροή του αυξανόμενου λόγου νερού προς τσιμέντο στο πορώδες στα διάφορα στάδια της ενυδάτωσης του τσιμέντου, είναι δυνατόν εύκολα να εξηγηθεί η σχέση μεταξύ του λόγου w/c και της αντοχής ως η φυσική επίπτωση της προοδευτικής αποδυνάμωσης της τσιμεντόπαστας που οφείλεται στην αύξηση του πορώδους με την αύξηση του λόγου w/c. Αυτή η εξήγηση, όμως, δεν περιλαμβάνει την επίδραση του λόγου νερού-τσιμέντου στην αντοχή της διεπιφανειακής ζώνης. Σε χαμηλής και μέσης αντοχής σκυρόδεμα με κανονικά και σωστά κοκκομετρικά διαβαθμισμένα

αδρανή, το πορώδες της διεπιφανειακής ζώνης μαζί με αυτό της τσιμεντόπαστας καθορίζουν την αντοχή και υπάρχει έτσι μία άμεση σχέση μεταξύ λόγου w/c και αντοχής σκυροδέματος.



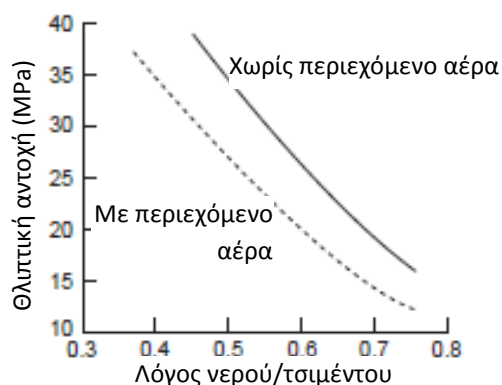
Εικόνα 1.11. Συσχέτιση λόγου νερού-τσιμέντου και θλιπτικής αντοχής σε διάφορες ηλικίες συντήρησης [1.33]

Η εικόνα αυτή αλλάζει σε σκυρόδεμα υψηλών αντοχών (δηλ. πολύ χαμηλός λόγος νερού-τσιμέντου). Για λόγους νερού-τσιμέντου κάτω από 0.3 μπορούν να παρατηρηθούν δυσανάλογα υψηλές αυξήσεις των θλιπτικών αντοχών με πολύ μικρές μειώσεις του λόγου w/c. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται κυρίως στην σημαντική βελτίωση της αντοχής της διεπιφανειακής ζώνης σε πολύ χαμηλούς λόγους w/c [1.1]. Επιπροσθέτως, με πολύ χαμηλό w/c το μέγεθος των κρυστάλλων των προϊόντων ενυδάτωσης είναι αρκετά μικρότερο και έτσι η επιφάνεια είναι αντιστοίχως μεγαλύτερη.

Περιεχόμενος αέρας

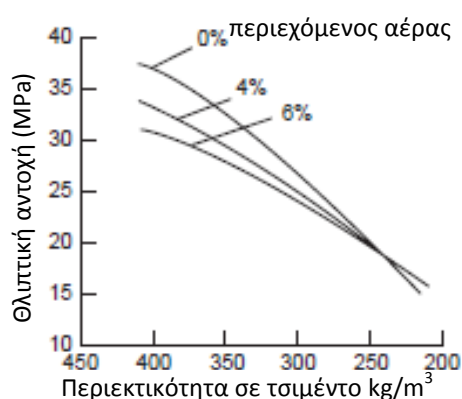
Κατά κύριο λόγο ο λόγος w/c καθορίζει το πορώδες της τσιμεντόπαστας στα διάφορα στάδια της ενυδάτωσης. Όταν, όμως, κενά με αέρα εμπεριέχονται στο ανάμιγμα, είτε λόγω ανεπαρκούς συμπίκνωσης είτε λόγω της χρήσης κάποιου αερακτικού προσμίκτη, τότε και αυτά

επηρεάζουν το σύστημα αυξάνοντας το πορώδες και μειώνοντας έτσι τις αντοχές. Στην **εικόνα 1.12** απεικονίζεται η επίδραση του όγκου του εγκλωβισμένου αέρα στις θλιπτικές αντοχές σκυροδέματος για συγκεκριμένο λόγο νερού-τσιμέντου.



Εικόνα 1.12. Επίδραση λόγου w/c και περιεχόμενου αέρα στις αντοχές σκυροδέματος [1.34]

Έχει παρατηρηθεί ότι το μέγεθος της πτώσης των αντοχών λόγω περιεχόμενου αέρα δεν εξαρτάται μόνο από τον λόγο νερού-τσιμέντου στο ανάμιγμα του σκυροδέματος (**εικόνα 1.12**) αλλά και από την ποσότητα του τσιμέντου στο σχεδιασμένο μίγμα. Εν ολίγοις, ως πρώτη προσέγγιση, η πτώση των αντοχών σκυροδέματος λόγω περιεχόμενου αέρα συνδέεται με το γενικό επίπεδο της κατηγορίας των αντοχών του σκυροδέματος.



Εικόνα 1.13. Επίδραση ποσότητας τσιμέντου και περιεχόμενου αέρα στις αντοχές σκυροδέματος [1.35]

Τα δεδομένα της **εικόνας 1.13** δείχνουν ότι για συγκεκριμένο λόγο w/c , σκυροδέματα υψηλών αντοχών (με υψηλό ποσοστό τσιμέντου)

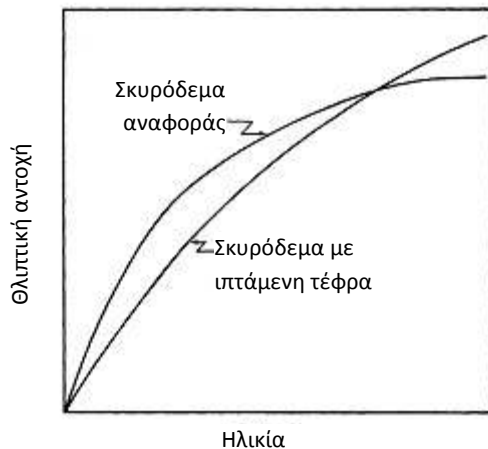
υπόκεινται σε μεγάλη πτώση αντοχών με την αύξηση του ποσοστού περιεχόμενου αέρα, ενώ τα σκυροδέματα χαμηλών αντοχών (με χαμηλό ποσοστό τσιμέντου στο ανάμιγμα) τείνουν να χάνουν πολύ μικρό ποσοστό των αντοχών τους ή μπορεί ακόμα και να σημειώσουν μικρή αύξηση των αντοχών ως αποτέλεσμα του περιεχόμενου αέρα.

Η επίδραση του λόγου νερού-τσιμέντου και της ποσότητας του τσιμέντου στην συμπεριφορά του σκυροδέματος σε εφαρμοσμένη τάση μπορεί να εξηγηθεί από τις δύο αντίθετες δράσεις που οφείλονται στον εγκλωβισμό του αέρα στο σκυρόδεμα. Αυξάνοντας το πορώδες της πάστας ο περιεχόμενος αέρας θα έχει αρνητική επίδραση στην αντοχή του υλικού. Αντιθέτως, βελτιώνοντας την εργασιμότητα και την συμπύκνωση του μίγματος, ο περιεχόμενος αέρας τείνει να βελτιώσει την αντοχή της διεπιφανειακής ζώνης (ιδιαίτερα σε αναμίγματα με πολύ χαμηλές ποσοότητες νερού και τσιμέντου) βελτιώνοντας έτσι την αντοχή του σκυροδέματος. Φαίνεται πως σε μίγματα σκυροδέματος με χαμηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο, όταν ο περιεχόμενος αέρας συνοδεύεται με μείωση στο ποσοστό του νερού, η δυσμενής επίδραση του εγκλωβισμένου αέρα στην αντοχή της πάστας ισοσταθμίζεται και με το παραπάνω από την ευεργετική του δράση στην διεπιφανειακή ζώνη.

Τύπος τσιμέντου

Ο βαθμός ενυδάτωσης του τσιμέντου έχει άμεση επίδραση στο πορώδες άρα και στην αντοχή του σκυροδέματος. Σε κανονική θερμοκρασία, ένα τσιμέντο ταχείας ανάπτυξης αντοχών που είναι αρκετά λεπτότερο ενυδατώνεται γρηγορότερα από άλλα τσιμέντα και έτσι σε μικρές ηλικίες (π.χ. 1, 2 και 7 ημέρες) και με συγκεκριμένο λόγο w/c , το σκυρόδεμα που το περιέχει θα έχει μικρότερο πορώδες και έτσι μεγαλύτερη αντοχή. Αντιθέτως, τσιμέντα που περιέχουν σκωρίες, τέφρες ή ποζολάνες αναπτύσσουν πιο αργά τις αντοχές τους μέχρι την ηλικία των 28 ημερών (**εικόνα 1.14**). Οι διαφορές όμως αυτές συνήθως

εξαλείφονται μέχρι να φτάσουν τα τσιμέντα στον ίδιο βαθμό ενυδάτωσης.



Εικόνα 1.14. Ανάπτυξη θλιπτικών αντοχών κανονικού σκυροδέματος και σκυροδέματος που περιέχει υπτάμενη τέφρα

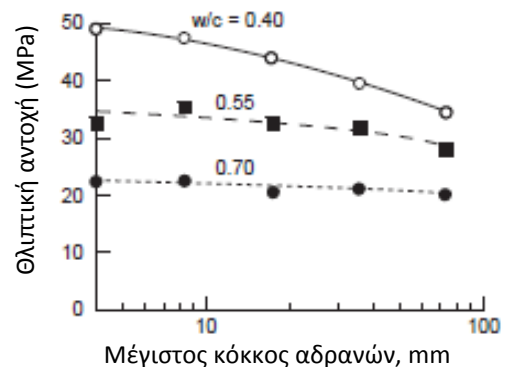
Αδρανή

Για τα περισσότερα φυσικά αδρανή η αντοχή τους δεν συνυπολογίζεται στον σχεδιασμό του σκυροδέματος καθώς είναι αρκετά μεγαλύτερη από των άλλων δύο φάσεων (της πάστας και της διεπιφανειακής ζώνης) και έτσι η αστοχία του υλικού δεν εξαρτάται από αυτήν.

Υπάρχουν, όμως, χαρακτηριστικά των αδρανών εκτός της αντοχής τους, όπως το μέγεθος, το σχήμα, η επιφανειακή υφή, η κοκκομετρική κατανομή και η ορυκτολογία, που επιδρούν στην θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε διάφορα επίπεδα. Συχνά η επίδραση των χαρακτηριστικών των αδρανών στην αντοχή του σκυροδέματος συνδέεται με κάποια αλλαγή στον λόγο νερού-τσιμέντου. Υπάρχουν όμως επαρκή στοιχεία στην βιβλιογραφία [1.36, 1.37] που υποδεικνύουν ότι δεν είναι πάντα αυτή η αιτία. Επίσης, από θεωρητικής απόψεως, ανεξαρτήτως του λόγου w/c , τα διάφορα χαρακτηριστικά των αδρανών επηρεάζουν την διεπιφάνεια μεταξύ των αδρανών και της πάστας και εμμέσως και τις αντοχές του σκυροδέματος.

Η αλλαγή του μέγιστου μεγέθους κόκκου των χονδρόκοκκων αδρανών συγκεκριμένης ορυκτολογικής σύστασης μπορεί να επηρεάσει με δύο διαφορετικούς τρόπους την αντοχή του

σκυροδέματος. Αναμίγματα σκυροδέματος με την ίδια δοσολογία και ποιότητα τσιμέντου που περιέχουν μεγαλύτερους κόκκους αδρανών απαιτούν λιγότερο νερό. Αντιθέτως, πιο χονδρόκοκκα αδρανή τείνουν να σχηματίσουν μια αδύναμη διεπιφάνεια αδρανών και πάστας που περιέχει μικρορωγμές. Η ξεκάθαρη επίδραση ποικίλει με τους διάφορους λόγους w/c . Οι Condor και Gillispie (**εικόνα 1.15**) [1.36] έδειξαν ότι στο εύρος 5-75 mm η επιρροή του αυξανόμενου μέγιστου κόκκου των αδρανών στις θλιπτικές αντοχές των 28 ημερών είναι πιο ξεκάθαρη για σκυρόδεμα υψηλών (w/c : 0.4) και μέσων (w/c : 0.55) αντοχών από ότι για σκυρόδεμα χαμηλών αντοχών (w/c : 0.7).

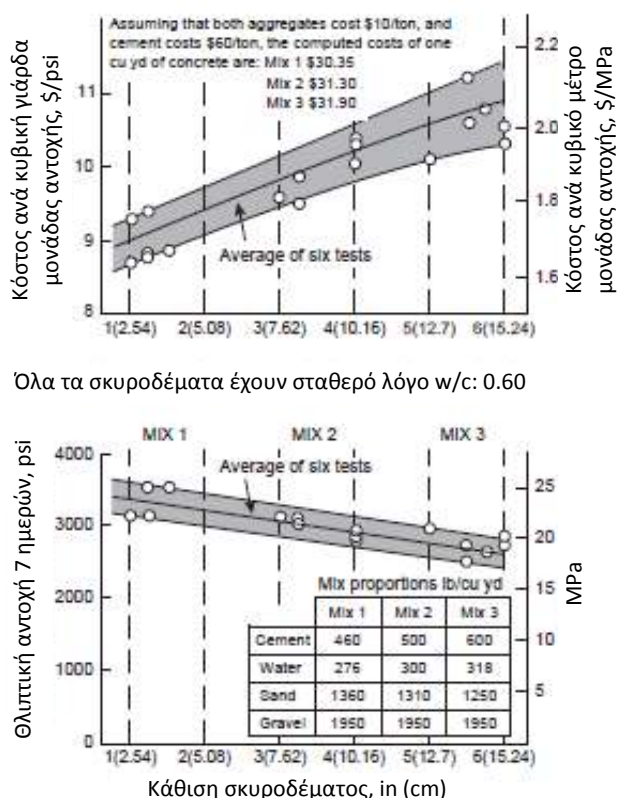


Εικόνα 1.15. Επίδραση μέγιστου μεγέθους κόκκου αδρανών στις αντοχές σκυροδέματος [1.36]

Αυτό συμβαίνει επειδή σε μικρούς λόγους w/c το μειωμένο πορώδες της διεπιφανειακής ζώνης παίζει σημαντικό ρόλο στην αντοχή του σκυροδέματος. Επιπλέον, δεδομένου ότι τα χαρακτηριστικά της ζώνης διεπιφάνειας έχουν μεγαλύτερη επίδραση στην εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος σε σχέση με την θλιπτική, αναμένεται οι αλλαγές του μέγιστου μεγέθους κόκκων των αδρανών σε συγκεκριμένο ανάμιγμα σκυροδέματος να επηρεάσουν ιδιαίτερα τον λόγο εφελκυστικής-θλιπτικής αντοχής.

Η αλλαγή στην κοκκομετρία χωρίς να αλλάζει το μέγιστο μέγεθος κόκκου των αδρανών και με σταθερό w/c μπορεί να επηρεάσει την αντοχή του σκυροδέματος και να προκαλέσει αντίστοιχη αλλαγή στα χαρακτηριστικά συνοχής και

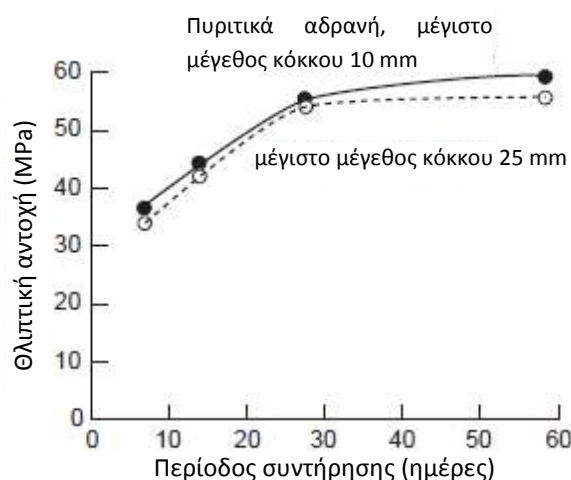
εφίδρωσης του αναμίγματος. Σε εργαστηριακό πείραμα [1.37] με σταθερό λόγο w/c 0.6, όταν η σχέση χονδρόκοκκου/λεπτόκοκκου αδρανούς και η ποσότητα τσιμεντού στο ανάμιγμα αυξάνονταν σταδιακά προκαλώντας αύξηση της κάθισης από 50 σε 150 mm, παρατηρήθηκε 12% πτώση του μέσου όρου της αντοχής των 7 ημερών. Η επίδραση της αυξημένης εργασιμότητας στην αντοχή και το κόστος του σκυροδέματος φαίνονται στην **εικόνα 1.16**. Τα δεδομένα επιδεικνύουν την οικονομική σημασία της σχεδίασης αναμιγμάτων σκυροδέματος με την όσο δυνατόν μεγαλύτερη συνοχή (μικρότερη εργασιμότητα) που είναι αποδεκτά από πρακτική άποψη κατασκευασιμότητας.



Εικόνα 1.16. Επίδραση της κάθισης στις θλιπτικές αντοχές και το κόστος του σκυροδέματος [1.37]

Έχει παρατηρηθεί ότι τα αναμίγματα σκυροδέματος που περιέχουν τραχιά ή θραυστά αδρανή αναπτύσσουν υψηλότερες πρώιμες αντοχές (κυρίως εφελκυστικές αντοχές) σε σχέση με σκυροδέματα που συντίθενται με λεία αδρανή παρόμοιας ορυκτολογικής σύστασης, γεγονός που οφείλεται στον ισχυρότερο φυσικό δεσμό που

δημιουργείται μεταξύ των αδρανών και της ενυδατωμένης τσιμεντόπαστας. Σε μεγαλύτερες ηλικίες, όπου υφίστανται και οι χημικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αδρανών και της τσιμεντόπαστας, η επίδραση της επιφάνειας των αδρανών είναι λιγότερο έντονη. Από άποψη φυσικού δεσμού με την τσιμεντόπαστα έχει παρατηρηθεί ότι ένα λείο σωματίδιο που προέρχεται από διαβρωμένο χαλίκι, αν παρατηρηθεί μέσα από μικροσκόπιο, εμφανίζει επαρκή τραχύτητα και ειδική επιφάνεια. Επιπλέον, για συγκεκριμένη περιεκτικότητα σε τσιμέντο, ένα μίγμα σκυροδέματος που περιέχει τραχιά αδρανή χρειάζεται περισσότερο νερό ανάμιξης για να διατηρήσει την επιθυμητή εργασιμότητα. Έτσι, το μικρό πλεονέκτημα που αποκτάται λόγω καλύτερου φυσικού δεσμού χάνεται όσον αφορά την συνολική αντοχή του σκυροδέματος.



Εικόνα 1.17. Επίδραση κοκκομετρίας αδρανών στις θλιπτικές αντοχές [1.37]

Διαφορές στην ορυκτολογική σύσταση των αδρανών επηρεάζουν επίσης την αντοχή του σκυροδέματος. Διάφορες μελέτες [1.37] δείχνουν ότι σε όμοια αναμίγματα σκυροδέματος η αντικατάσταση πυριτικών αδρανών με ασβεστολιθικά μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση των αντοχών. Έτσι για παράδειγμα, στην **εικόνα 1.17** η μείωση του μέγιστου κόκκου των αδρανών οδήγησε σε σημαντική βελτίωση των αντοχών των 56 ημερών. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται

στον καλύτερο διεπιφανειακό δεσμό του ασβεστόλιθου σε μεγαλύτερες ηλικίες.

Νερό ανάμιξης

Το νερό ανάμιξης σκυροδέματος θα συζητηθεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 5, καθώς αποτελεί βασικό σημείο της παρούσας διατριβής. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως οι διάφορες προσμίξεις που μπορεί να υπάρχουν στο νερό, όταν βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις, μπορεί να επηρεάσουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος όπως την αντοχή, την εμφάνιση λευκών αλάτων στην επιφάνεια (efflorescence) και την διάβρωση του οπλισμού. Σε γενικές γραμμές η ποιότητα του νερού ανάμιξης σπάνια αποτελεί βασικό παράγοντα στις αντοχές του σκυροδέματος επειδή πολλοί κανονισμοί απαιτούν για την ποιότητα του νερού να είναι όμοια με αυτή του πόσιμου το οποίο σπάνια ξεπερνά τα 1000 ppm διαλελυμένων στερεών. Γενικά, αν ένα νερό δεν είναι κατάλληλο για κατανάλωση, δεν είναι απαραίτητα ακατάλληλο για χρήση στο σκυρόδεμα. Νερό που είναι ελαφρώς όξινο, αλκαλικό, αλμυρό, με χρώμα ή με άσχημη οσμή δεν πρέπει να απορρίπτεται κατευθείαν και αυτό κυρίως λόγω της σοβαρής έλλειψης νερού παγκοσμίως. Επίσης, ανακυκλωμένο αστικό νερό ή νερό από διαδικασίες εξόρυξης ή διάφορες άλλες βιομηχανίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ασφαλώς ως νερό ανάμιξης σκυροδέματος. Ο καλύτερος τρόπος να εξακριβωθεί αν ένα νερό είναι κατάλληλο για νερό ανάμιξης είναι η σύγκριση των χρόνων πήξης του τσιμέντου και των αντοχών των τσιμεντοκονιαμάτων που παρασκευάστηκαν με το άγνωστο νερό και με νερό αναφοράς που είναι καθαρό. Τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με το άγνωστο νερό πρέπει στις 7 και τις 28 μέρες να έχουν θλιπτικές αντοχές ίσες ή τουλάχιστον 90% των αντοχών του δοκιμίου αναφοράς που παρασκευάστηκε με καθαρό νερό. Επίσης η ποιότητα του νερού ανάμιξης δεν πρέπει να επηρεάζει τους χρόνους πήξης του τσιμέντου σε μη αποδεκτό βαθμό. Το θαλασσινό νερό, που περιέχει περίπου 35,000 ppm διαλελυμένων αλάτων δεν είναι βλαβερό για απλό άοπλο

σκυρόδεμα. Σε περίπτωση όμως οπλισμένου ή προεντεταμένου σκυροδέματος αυξάνονται οι πιθανότητες διάβρωσης του οπλισμού και έτσι πρέπει να αποφεύγεται. Ως γενική οδηγία και όσον αφορά τις αντοχές του σκυροδέματος, η παρουσία σημαντικής ποσότητας άλγης, ελαίων, αλάτων ή ζάχαρης πρέπει να αποφεύγεται.

Χημικά Πρόσμικτα

Η ανεπιθύμητη επίδραση των αερακτικών προσμίκτων στην αντοχή του σκυροδέματος έχει ήδη συζητηθεί. Επιπλέον, η ικανότητα μείωσης του ποσοστού του νερού σε ένα ανάμιγμα συγκεκριμένης δοσολογίας που παρουσιάζουν τα πρόσμικτα μείωσης νερού (water-reducing admixtures) ενισχύει και τις πρώιμες αλλά και τις ύστερες αντοχές του σκυροδέματος. Για συγκεκριμένο λόγο νερού-τσιμέντου, η παρουσία προσμίκτων μείωσης νερού επιδρά γενικά θετικά στο σκυρόδεμα επηρεάζοντας την ενυδάτωση του τσιμέντου και τις πρώιμες αντοχές. Τα πρόσμικτα που προκαλούν επιτάχυνση ή επιβράδυνση της ενυδάτωσης του τσιμέντου προφανώς έχουν ισχυρή δράση στο ρυθμό που αναπτύσσονται οι αντοχές, δεν επηρεάζουν όμως την τελική αντοχή του σκυροδέματος. Πολλοί ερευνητές έχουν υπογραμμίσει την τάση προς υψηλές τελικές αντοχές σκυροδεμάτων των οποίων οι πρώιμες αντοχές έχουν καθυστερήσει από κάποιον επιβραδυντή [1.39, 1.40].

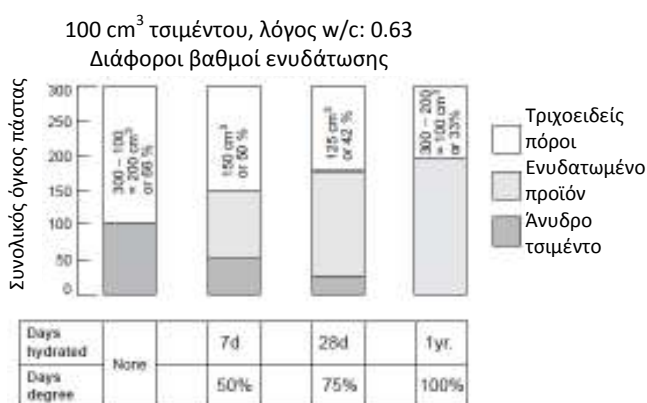
Πρόσθετα (συμπληρωματικές υδραυλικές κονίες)

Για οικολογικούς και οικονομικούς λόγους, η χρήση ποζολανικών και υδραυλικών παραπροϊόντων αυξάνεται σταδιακά. Όταν χρησιμοποιούνται ως μερικοί υποκαταστάτες των τσιμέντων Πόρτλαντ, οι συμπληρωματικές κονίες έχουν συνήθως επιβραδυντική δράση στην αντοχή των μικρών ηλικιών. Παρόλα αυτά, η ικανότητά τους να αντιδρούν, σε κανονικές θερμοκρασίες, με την υδράσβεστο (Ca(OH)_2 ή CH) που υπάρχει στην πάστα του ενυδατωμένου τσιμέντου και να παράγουν ένυδρες ασβεστοπυριτικές φάσεις (CSH), οδηγεί σε δραστική μείωση του πορώδους της τσιμεντόπαστας και της διεπιφανειακής ζώνης. Κατά συνέπεια, μπορούν να επιτευχθούν

σημαντικές βελτιώσεις στην τελική αντοχή και την υδατοστεγανότητα του σκυροδέματος με την χρησιμοποίηση συμπληρωματικών υδραυλικών κονιών.

1.2.2.2. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Ο όρος *συντήρηση σκυροδέματος* περιλαμβάνει τον συνδυασμό των συνθηκών που προωθούν την ενυδάτωση του τσιμέντου, όπως (i) ο ονομαστικός χρόνος, (ii) η θερμοκρασία και (iii) οι συνθήκες υγρασίας αμέσως μετά την τοποθέτηση του αναμίγματος σκυροδέματος στο καλούπι.



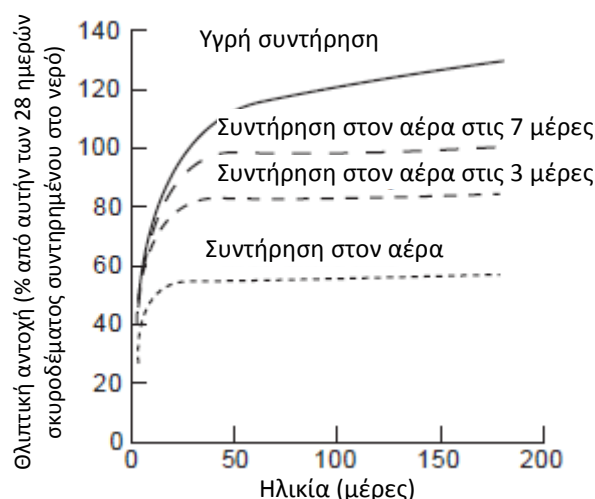
Εικόνα 1.18. Σχέση τριχοειδούς πορώδους και βαθμού ενυδάτωσης [1.38]

Για συγκεκριμένο λόγο νερού-τσιμέντου, το πορώδες της τσιμεντόπαστας προσδιορίζεται από τον βαθμό ενυδάτωσης του τσιμέντου (**Εικόνα 1.18**). Υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας, μερικά από τα ορυκτολογικά συστατικά του τσιμέντου Πόρτλαντ (C₃S και C₃A) ξεκινούν να ενυδατώνονται αμέσως μετά την προσθήκη του νερού αλλά οι αντιδράσεις ενυδάτωσης επιβραδύνονται σημαντικά όταν τα προϊόντα ενυδάτωσης επικαλύπτουν κόκκους ενυδατωμένου τσιμέντου. Αυτό συμβαίνει επειδή η ενυδάτωση προχωρά ικανοποιητικά μόνο υπό συνθήκες πλήρους διαβροχής και σχεδόν σταματά όταν η τάση ατμών του νερού στα τριχοειδή αγγεία πέφτει κάτω από το 80% της υγρασίας κορεσμού [1.38]. Επομένως, ο χρόνος και η υγρασία είναι σημαντικοί παράγοντες στην διαδικασία της ενυδάτωσης που ελέγχεται από την διάχυση του νερού. Επίσης, όπως σε όλες τις

χημικές αντιδράσεις, η θερμοκρασία έχει επιταχυντική δράση στις αντιδράσεις ενυδάτωσης.

Χρόνος

Πρέπει να σημειωθεί ότι η σχέση χρόνου-αντοχής στην τεχνολογία του σκυροδέματος γενικά αναφέρεται σε συνθήκες υγρής συντήρησης και κανονικής θερμοκρασίας. Για συγκεκριμένο λόγο νερού-τσιμέντου η αντοχή αυξάνεται αυξανόμενης της περιόδου υγρής συντήρησης με την προϋπόθεση ότι συνεχίζεται η ενυδάτωση των άνυδρων συστατικών του τσιμέντου (**Εικόνα 1.11**). Σε λεπτά δοκίμια σκυροδέματος, όταν το νερό εξατμίζεται από τα τριχοειδή αγγεία, επικρατούν οι συνθήκες συντήρησης σε αέρα και έτσι δεν αυξάνεται η αντοχή σε σχέση με τον χρόνο (**Εικόνα 1.19**).



Εικόνα 1.19. Επίδραση συνθηκών συντήρησης στην αντοχή [1.34]

Η αξιολόγηση της θλιπτικής αντοχής σε σχέση με τον χρόνο είναι ύψιστης σημασίας για τους μηχανικούς κατασκευής. Το CEB-FIP Models Code (1990)[1.41] προτείνει την **εξίσωση 1-2** για σκυροδέματα σε υγρή συντήρηση που κατασκευάζονται με κανονικό τσιμέντο Πόρτλαντ (OPC):

$$f_{cm}(t) = \exp\left(s\left(1 - \sqrt{\frac{28}{t/t_1}}\right)\right) f_{cm} \quad 1-2$$

Όπου,

$f_{cm}(t)$ είναι η μέση θλιπτική αντοχή στις t ημέρες

f_{cm} είναι η μέση θλιπτική αντοχή των 28 ημερών

t_1 είναι η 1^η ημέρα

s είναι σταθερά που εξαρτάται από τον τύπο του τσιμέντου, όπως $s=0.20$ για τσιμέντα ταχείας ανάπτυξης αντοχών, $s=0.25$ για κανονικά τσιμέντα και $s=0.38$ για τσιμέντα αργής ανάπτυξης αντοχών

Υγρασία

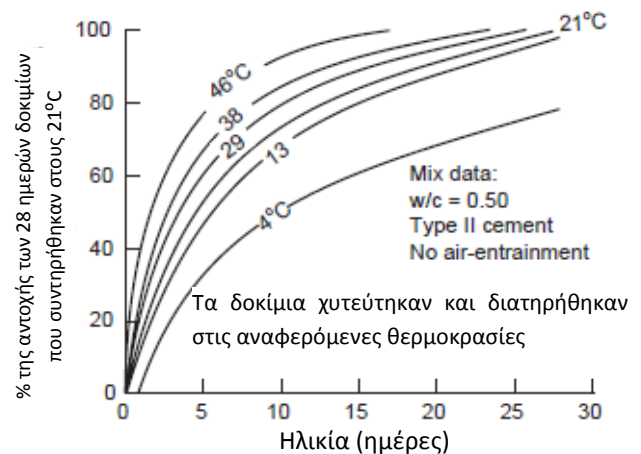
Η επίδραση της υγρασίας κατά την συντήρηση στην αντοχή του σκυροδέματος είναι εμφανής από την **εικόνα 1.19**, όπου φαίνεται ότι μετά από 180 μέρες και για σταθερό λόγο νερού-τσιμέντου, η αντοχή του δοκιμίου που συντηρήθηκε σε συνθήκες υγρασίας ήταν τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτήν του δοκιμίου που συντηρήθηκε στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, όταν λεπτά δοκίμια που συντηρήθηκαν στο νερό στεγνώνουν στην ατμόσφαιρα, συνήθως παρατηρείται μικρή μείωση των αντοχών τους, πιθανόν λόγω μικρορωγμών που εμφανίζονται στην ζώνη διεπιφάνειας εξαιτίας συρρίκνωσης κατά την ξήρανση. Ο ρυθμός που χάνει νερό ένα δοκίμιο μετά την τοποθέτησή του δεν εξαρτάται μόνο από τον λόγο επιφάνειας/όγκου αλλά και από την θερμοκρασία, την σχετική υγρασία και την ταχύτητα του αέρα. Γενικά προτείνεται μία περίοδος 7 ημερών υγρής συντήρησης για σκυροδέματα που περιέχουν κοινό τσιμέντο Πόρτλαντ ενώ για αναμίγματα που περιέχουν σύνθετα τσιμέντα ή συμπληρωματικές υδραυλικές κόνιες είναι επιθυμητή μεγαλύτερη διάρκεια υγρής συντήρησης ώστε να έχουν ολοκληρωθεί οι ποζολανικές αντιδράσεις.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η υγρή συντήρηση επιτυγχάνεται με ψεκασμό ή κάλυψη της επιφάνειας με υγρή άμμο ή πριονίδι. Εφόσον το νερό ανάμιξης που χρησιμοποιείται στα αναμίγματα είναι συνήθως περισσότερο από αυτό που απαιτείται για την ενυδάτωση του τσιμέντου, η τοποθέτηση αδιαπερατής κατά 80% μεμβράνης σύντομα μετά την τοποθέτηση του σκυροδέματος παρέχει έναν αποδεκτό τρόπο διατήρησης της ανάπτυξης των αντοχών σε αποδεκτά επίπεδα.

Παρόλα αυτά, η υγρή συντήρηση είναι η επιθυμητή μέθοδος όταν είναι σημαντικό να ελέγχεται η συρρίκνωση του σκυροδέματος.

Θερμοκρασία

Στα περισσότερα σκυροδέματα που συντηρούνται σε υγρές συνθήκες η επίδραση της θερμοκρασίας στην αντοχή εξαρτάται από την σχέση χρόνου-θερμοκρασίας κατά την χύτευση και την σκλήρυνση του σκυροδέματος. Αυτό μπορεί να απεικονιστεί με την βοήθεια τριών διαφορετικών υποθέσεων: i) σκυρόδεμα που χυτεύτηκε και σκλήρυνε στην ίδια θερμοκρασία, ii) σκυρόδεμα που χυτεύτηκε σε διαφορετικές θερμοκρασίες αλλά σκλήρυνε σε κανονική θερμοκρασία και iii) σκυρόδεμα που χυτεύτηκε σε κανονική θερμοκρασία αλλά σκλήρυνε σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

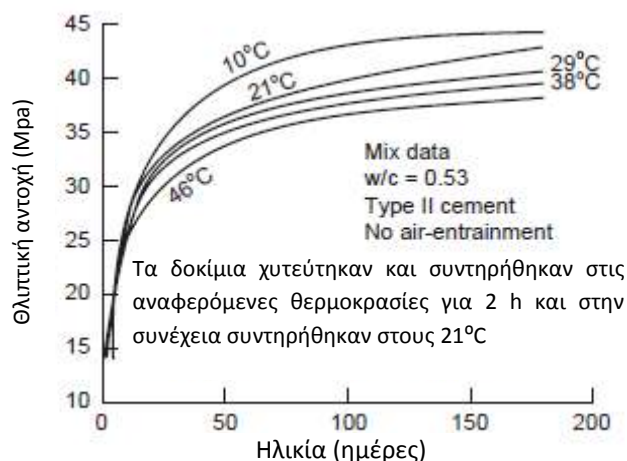


Εικόνα 1.20. Επίδραση θερμοκρασίας χύτευσης και συντήρησης στις πρώιμες και μέσες αντοχές [1.42]

Έχει παρατηρηθεί [1.42] γενικά ότι για το θερμοκρασιακό εύρος των 5° έως και 46°C, όταν το σκυρόδεμα χυτεύεται και σκληρύνεται σε συγκεκριμένη σταθερή θερμοκρασία, έως τις 28 ημέρες, όσο υψηλότερη είναι αυτή η θερμοκρασία, τόσο πιο γρήγορα συμβαίνουν οι αντιδράσεις της ενυδάτωσης και η ανάπτυξη των αντοχών. Από τα δεδομένα των **εικόνων 1.20-1.22**, είναι φανερό πως η αντοχή των 28 ημερών δοκιμίων που χυτεύτηκαν και συντηρήθηκαν στους 5°C είναι περίπου στο 80% αυτών που χυτεύτηκαν και συντηρήθηκαν στους 21°-46°C. Σε μεγαλύτερες ηλικίες, όταν οι διαφορές στον

βαθμό ενυδάτωσης του τσιμέντου εξαλείφονται, μηδενίζονται και οι διαφορές στην αντοχή του σκυροδέματος. Σε διαφορετική περίπτωση, όπως εξηγείται παρακάτω, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία χύτευσης, τόσο χαμηλότερη είναι η τελική αντοχή.

Τα δεδομένα της **εικόνας 1.21** παρουσιάζουν μία διαφορετική σχέση θερμοκρασίας-χρόνου για την χύτευση και την σκλήρυνση. Η θερμοκρασία χύτευσης (δηλ. η θερμοκρασία κατά την διάρκεια των πρώτων δύο ωρών του σκυροδέματος) διαφοροποιήθηκε μεταξύ 10° και 46°C και στην συνέχεια όλα τα σκυροδέματα συντηρήθηκαν σε υγρές συνθήκες και στην σταθερή θερμοκρασία των 21°C . Τα δεδομένα δείχνουν ότι η τελική αντοχή (180 ημέρες) των σκυροδεμάτων που χυτεύτηκαν στους 5° ή 13°C ήταν υψηλότερη αυτών που χυτεύτηκαν στους 21° έως 46°C . Πολλοί ερευνητές, μέσα από μικροσκοπικές μελέτες [1.1], συμπέραναν ότι με χαμηλή θερμοκρασία χύτευσης δημιουργείται μία πιο ομοιόμορφη μικροδομή της ενυδατωμένης τσιμεντόπαστας στην οποία οφείλεται η υψηλότερη αντοχή.

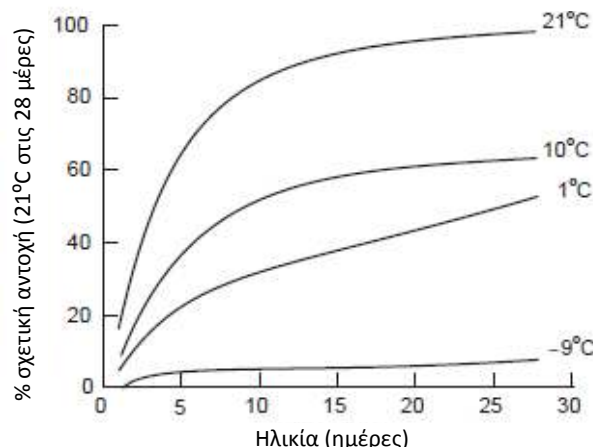


Εικόνα 1.21. Επίδραση θερμοκρασίας χύτευσης στην αντοχή [1.42]

Σε σκυροδέματα που χυτεύτηκαν στους 21°C και στην συνέχεια συντηρήθηκαν σε διάφορες θερμοκρασίες, από κάτω από μηδέν έως 21°C , η επίδραση της θερμοκρασίας συντήρησης φαίνεται στην **εικόνα 1.22**. Γενικά, όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία συντήρησης, τόσο χαμηλότερη είναι

και η αντοχή έως τις 28 ημέρες. Σε θερμοκρασίες κοντά στο μηδέν, η αντοχή των 28 ημερών ήταν περίπου η μισή της αντοχής του σκυροδέματος που συντηρήθηκε στους 21°C , ενώ σχεδόν δεν αναπτύχθηκε καμία αντοχή για θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν.

Τα δοκίμια χυτεύτηκαν και διατηρήθηκαν στους 21°C για 6 h και στην συνέχεια συντηρήθηκαν σε καλούπια στις αναφερόμενες θερμοκρασίες



Εικόνα 1.22. Επίδραση θερμοκρασίας συντήρησης στις πρώιμες και μέσες αντοχές [1.42]

Καθώς οι αντιδράσεις ενυδάτωσης των συστατικών του τσιμέντου Πόρτλαντ είναι αρκετά αργές, παρατηρείται ότι πρέπει να διατηρούνται επαρκή επίπεδα θερμοκρασίας ώστε να δοθεί η απαραίτητη ενέργεια για να ξεκινήσουν οι αντιδράσεις. Έτσι, ενεργοποιείται η διαδικασία ανάπτυξης αντοχών, η οποία συνδέεται με το σταδιακό γέμισμα των κενών με προϊόντα ενυδάτωσης. Η επίδραση της σχέσης χρόνου-θερμοκρασίας στην αντοχή του σκυροδέματος έχει διάφορες σημαντικές εφαρμογές στην πρακτική της κατασκευής με σκυρόδεμα, όπως σε δρόμους, φράγματα, γέφυρες και άλλες μεγάλες κατασκευές.

Εφόσον η θερμοκρασία συντήρησης είναι πολύ πιο σημαντική από την θερμοκρασία τοποθέτησης, τα αναμίγματα σκυροδέματος που χυτεύονται σε κρύο κλίμα πρέπει να διατηρούνται πάνω από μία ελάχιστη θερμοκρασία για αρκετό χρονικό διάστημα. Σκυροδέματα που σκληρύνονται το καλοκαίρι ή σε τροπικά κλίματα θα αναπτύξουν υψηλότερες πρώιμες αντοχές

αλλά χαμηλότερες τελικές αντοχές από τα ίδια αναμίγματα που συντηρήθηκαν τον χειμώνα ή σε πιο κρύο κλίμα. Σε προϊόντα προεντεταμένου σκυροδέματος συχνά χρησιμοποιείται συντήρηση στον ατμό για να επιταχυνθεί η ανάπτυξη των αντοχών και να επιτευχθεί γρηγορότερο ξεκαλούπωμα. Σε μεγάλες κατασκευές, όπου δεν είναι δυνατόν να ελεγχθεί η θερμοκρασία, για μεγάλο χρονικό διάστημα το σκυρόδεμα παραμένει σε αρκετά υψηλότερη θερμοκρασία από αυτήν του περιβάλλοντός του και έτσι, συγκρινόμενο με δοκίμια που παρασκευάστηκαν και συντηρήθηκαν σε συνθήκες εργαστηρίου, οι *in situ* κατασκευές θα παρουσιάσουν υψηλότερες πρώιμες και χαμηλότερες τελικές αντοχές.

1.2.2.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΟΚΙΜΩΝ

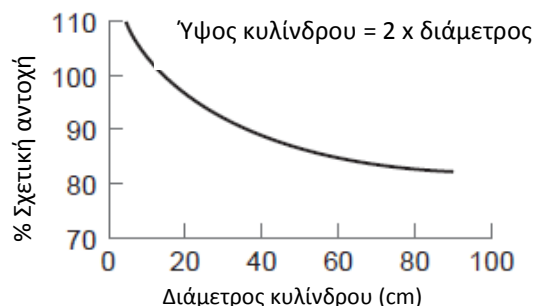
Συνήθως δεν συνυπολογίζεται το γεγονός ότι τα αποτελέσματα των δοκιμών αντοχών του σκυροδέματος εξαρτώνται ιδιαίτερα από τις παραμέτρους που αφορούν το δοκίμιο και τις συνθήκες φόρτωσης. Οι παράμετροι του δοκιμίου αφορούν το μέγεθος, το σχήμα και την υγρασία του δοκιμίου ενώ οι συνθήκες φόρτισης περιλαμβάνουν τα επίπεδα τάσης, την διάρκεια και τον ρυθμό με τον οποίο εφαρμόζεται αυτή η τάση.

Παράμετροι δοκιμίου

Στις ΗΠΑ τα πρότυπα δοκίμια που ελέγχονται για τις θλιπτικές τους αντοχές είναι κυλινδρικά με διαστάσεις 15 x 30 cm [1.43]. Διατηρώντας σταθερή την σχέση μεταξύ ύψους και διαμέτρου και ίση με 2, αν ένα ανάμικτο σκυροδέματος μετρηθεί σε θλίψη σε κυλινδρικό δοκίμιο διαφορετικής διαμέτρου, όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος τόσο χαμηλότερη είναι η αντοχή. Τα δεδομένα της **εικόνας 1.23** δείχνουν ότι, σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια, η μέση αντοχή των 5 x 10 cm και των 7.5 x 15 cm κυλινδρικών δοκιμίων είναι 108% και 106% αντίστοιχα. Όταν η διάμετρος μεγαλώσει πάνω από 45 cm παρατηρείται πολύ μικρότερη μείωση των αντοχών.

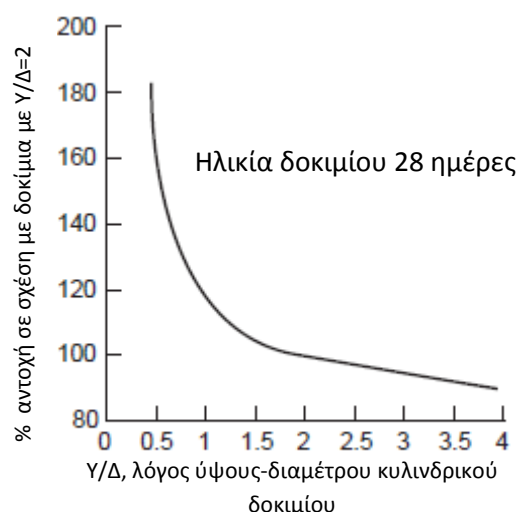
Η επίδραση της αλλαγής γεωμετρίας (σχέση ύψους/διαμέτρου) στην θλιπτική αντοχή φαίνεται

στην **εικόνα 1.24**. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η σχέση αυτή τόσο μικρότερη είναι η αντοχή. Έτσι, για παράδειγμα, δοκίμια με λόγο ύψους/διαμέτρου ίσο με 1 εμφανίζουν θλιπτικές αντοχές κατά 15% περίπου υψηλότερες συγκρινόμενα με τα πρότυπα δοκίμια (με σχέση ύψους/διαμέτρου ίση με 2).



Εικόνα 1.23. Επίδραση διαμέτρου του δοκιμίου στην αντοχή όταν η σχέση ύψους/διαμέτρου είναι ίση με 2 [1.42]

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι αντοχές κυβικών δοκιμίων με μήκος πλευράς 15 cm, που είναι αρκετά διαδεδομένα στην Ευρώπη, παρουσιάζουν 10 με 15% υψηλότερες αντοχές σε σχέση με ίδια αναμίγματα σκυροδέματος που ελέγχονται σύμφωνα με τα αμερικανικά πρότυπα.



Εικόνα 1.24. Επίδραση λόγου ύψους/διαμέτρου στην θλιπτική αντοχή σκυροδέματος [1.42]

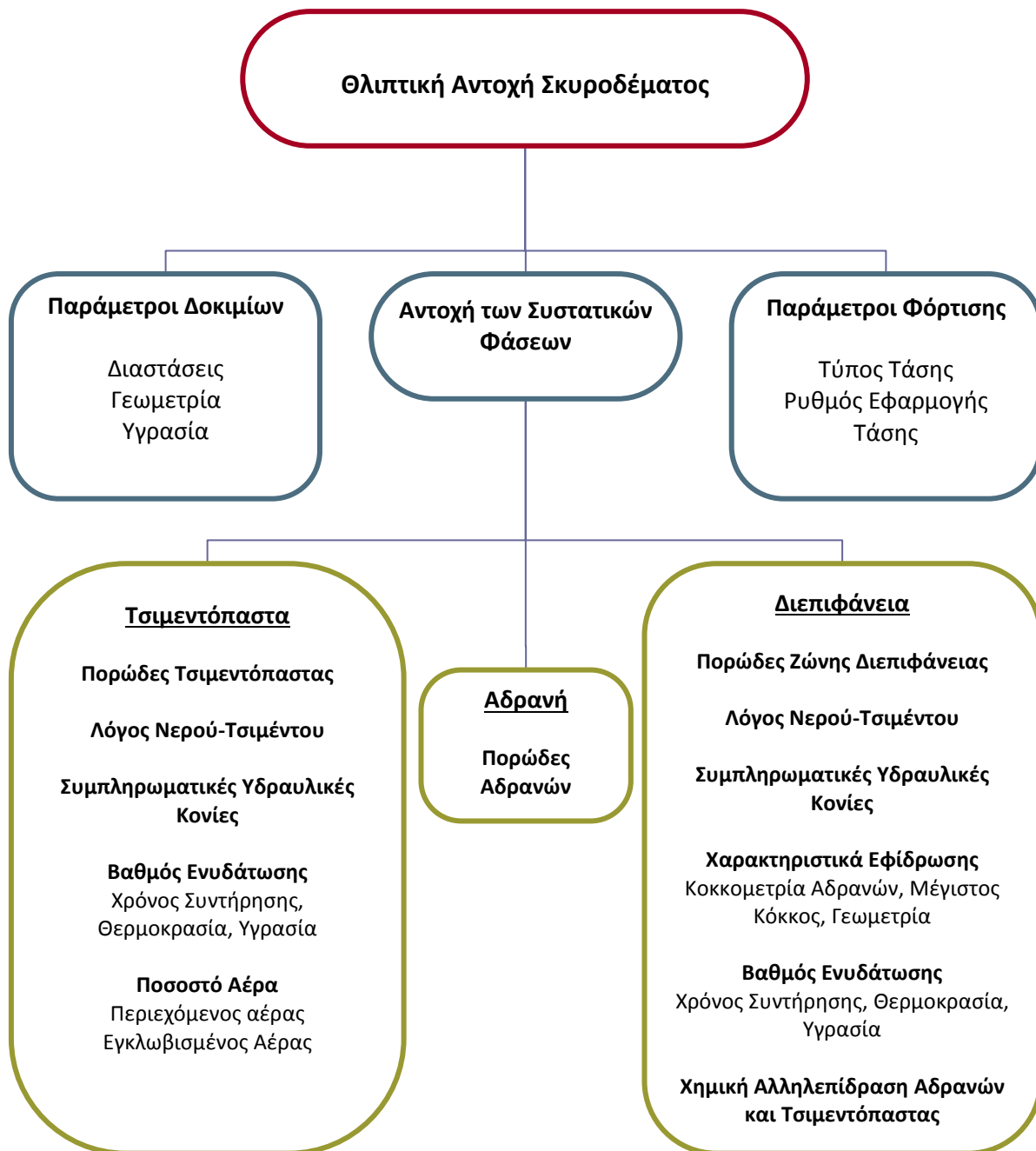
Λόγω της επίδρασης της υγρασίας στις αντοχές του σκυροδέματος, τα πρότυπα υποδεικνύουν τα δοκίμια να βρίσκονται σε συνθήκες υγρασίας κατά την διάρκεια της δοκιμής. Σε δοκιμές θλίψης έχει παρατηρηθεί ότι δοκίμια που έχουν στεγνώσει στην ατμόσφαιρα παρουσιάζουν 20 με 25%

υψηλότερες αντοχές από δοκίμια που ελέγχονται σε συνθήκες διαβροχής. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην διαχωριστική πίεση που δέχεται η τσιμεντόπαστα στο διαβρεχόμενο δοκίμιο.

Συνθήκες φόρτισης

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος μετράται εργαστηριακά με δοκιμή μονοαξονικής θλίψης (ASTM C 469 [1.44]) όπου η φόρτιση αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να θραυτεί σε 2 με 3 λεπτά. Στην πράξη, όμως, τα περισσότερα δομικά στοιχεία δέχονται ένα συγκεκριμένο φορτίο για μεγάλο χρονικό διάστημα και, κάποιες φορές, επαναλαμβανόμενα φορτία ή σημειακά φορτία. Έτσι, είναι επιθυμητό να γνωστοποιηθεί η σχέση μεταξύ αντοχής σκυροδέματος υπό συνθήκες εργαστηρίου και υπό πραγματικές συνθήκες φόρτισης. Σε γενικές γραμμές συμπεραίνεται ότι οι συνθήκες φόρτισης έχουν πολύ σημαντική επίδραση στην αντοχή.

Παρατίθενται στη συνέχεια συγκεντρωτικά όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος, όπως συζητήθηκαν στο παρών κεφάλαιο [1.1].



Εικόνα 1.24. Αλληλεπίδραση παραγόντων που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος

1.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1.1] Mehta P., Monteiro P.J.M. (2005). Concrete: Microstructure, Properties and Materials. McGraw Hill professional, Third edition, New York.
- [1.2] Lamond J.F., Pielert J.H. (2006). Significance of tests and properties of Concrete & Concrete Making Materials. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA
- [1.3] ASTM (2003). Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, ASTM C 125-03. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA
- [1.4] ACI Committee 116 (1990). Cement and Concrete Terminology, ACI 116R-90. American Concrete Institute, Detroit, USA
- [1.5] ASTM (2012). Test for slump of hydraulic cement concrete, ASTM C143/C143M-12. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA
- [1.6] Morrison F.A. (2001). Understanding Rheology. Oxford University Press
- [1.7] ACI Committee 309.1R (2008). Report on Behavior of Fresh Concrete During Vibration, ACI 309.1R-08. American Concrete Institute, Detroit, USA
- [1.8] Tattersall G.H. (1991) Workability and Quality Control of Concrete. E&FN Spon, London.
- [1.9] BS 5168: 1975 Glossary of rheological terms. British Standard Institution, London, UK
- [1.10] Newman J., Choo B.S. (2003). Advanced Concrete Technology: Concrete Properties. Oxford, England; Burlington, MA: Butterworth-Heinemann
- [1.11] Glanville, W.H., Collins, A.R. and Matthews, D.D. (1947) The grading of aggregates and workability of concrete. Road Research Technical Paper No. 5, HMSO. London.
- [1.12] RILEM (2002) Workability and Rheology of Fresh Concrete: Compendium of test. Report of Technical Committee TC145-WSM. RILEM, Paris.
- [1.13] BS 1881: Part 102: 1983 Method for determination of slump. British Standard Institution, London, UK
- [1.14] BS EN 12350-2: 2000 Testing fresh concrete. Slump test. British Standard Institution, London, UK
- [1.15] BS 1881: Part 103: 1993 Method for determination of compacting factor. British Standard Institution, London, UK
- [1.16] BS 1881: Part 104: 1983 Method for determination of Vebe time. British Standard Institution, London, UK
- [1.17] BS EN 12350-3: 2000 Testing of fresh concrete. Vebe test. British Standard Institution, London, UK
- [1.18] BS 1881: Part 105: 1984 Method for determination of flow. British Standard Institution, London, UK
- [1.19] BS EN 12350-5: 2000 Testing of fresh concrete. Flow table test. British Standard Institution, London, UK
- [1.20] BS EN 12350-8: 2010 Testing fresh concrete. Self-compacting concrete. Slump-flow test. British Standard Institution, London, UK
- [1.21] Dimond C.R. and Bloomer S.J. (1977) A consideration of the DIN flow table. Concrete 11, 29–30.
- [1.22] BS EN 12350-4: 2000 Testing of fresh concrete. Degree of compactability. British Standard Institution, London, UK
- [1.23] Cement and Concrete Association (1978) Superplasticizing admixtures in concrete: Report of Working Party, revised edition. C&CA, Slough.

- [1.24] Mor A. and Ravina D. (1986). The DIN flow table. Concrete International Volume 8, Pages 53–56.
- [1.25] Domone, P.L. (1998) The slump flow test for high workability concrete. Cement and Concrete Research 28(2), 177–182.
- [1.26] Khayat, K.H., Sonebi, M., Yahia, A. and Skaggs, C.B. (1996) Statistical models to predict flowability, washout resistance and strength of underwater concrete. Proceedings of RILEM International Conference on Production Methods and Workability of Fresh Concrete, Paisley, E&FN Spon, London, pp. 463–481.
- [1.27] Kurokawa, Y., Tanigawa, Y., Mori, H. and Komura, R. (1994) A study of the slump test and slump flow test of fresh concrete. Transactions of the Japan Concrete Institute 16, 25–32.
- [1.28] BS EN 206-1: 2000 Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity. British Standard Institution, London, UK
- [1.29] Ellis, C. (1977). Some aspects of PFA in concrete. Master of Philosophy thesis, Sheffield City Polytechnic
- [1.30] Previte, R.W. (1977) Concrete slump loss. ACI Materials Journal, Volume 74, Issue 8, Pages 361–367.
- [1.31] Cheong, H.K. and Lee, S.C. (1993) Strength of retempered concrete. ACI Materials Journal, Volume 90, Issue 3, Pages 203–206.
- [1.32] Abrams D.A. (1918), Experimental Studies Of Concrete. Lewis Institute, Structural Materials Research Laboratory
- [1.33] Design and Control of Concrete Mixtures (1988). 13th edition, Portland Cement Association, Skokie, Ill.,
- [1.34] Concrete Manual, U.S. Bureau of Reclamation, 1981
- [1.35] Cordon, W.A. (1979). Properties, Evaluation, and Control of Engineering Materials. McGraw-Hill, New York
- [1.36] Cordon W.A., Gillespie H.A. (1963). Variables in concrete aggregates and Portland cement paste, which influence the strength of concrete. ACI Journal Proceedings, Volume 60, Issue 8, Pages 1029 - 1050
- [1.37] Ανεξάρτητα δεδομένα από πειράματα φοιτητών στο University of California at Berkeley
- [1.38] Powers, T.C. (1958). Structure and physical properties of hardened Portland cement paste. Journal of American Ceramics Society, Volume 41, Issue 1, Pages 1–6.
- [1.39] Mario M. Collepardi (1996). Water Reducers/Retarders, Concrete Admixtures Handbook (Second Edition). William Andrew Publishing, Park Ridge, NJ, USA
- [1.40] D.A. Hall, R. Stevens, B. El-Jazairi (2001). The effect of retarders on the microstructure and mechanical properties of magnesia–phosphate cement mortar. Cement and Concrete Research, Volume 31, Issue 3, Pages 455-465
- [1.41] CEB-FIP Model Code (1990), Comite Euro-International du Beton, Lausanne, Switzerland, Thomas Telford House, London
- [1.42] Concrete Manual, U.S. Bureau of Reclamation, 1975.
- [1.43] ASTM (2012). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM C39 / C39M - 12a. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA
- [1.44] ASTM (2010). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. ASTM C469 / C469M - 10. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA

2. ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Στην χημεία, ενυδάτωση ονομάζεται η αντίδραση άνυδρου συστατικού με το νερό και ο σχηματισμός ενός νέου ένυδρου προϊόντος. Στην χημεία του τσιμέντου η ενυδάτωση είναι η αντίδραση μη ενυδατωμένων ορυκτολογικών φάσεων τσιμέντου με το νερό και συμπεριλαμβάνει χημικές καθώς και φυσικομηχανικές αλλαγές στο σύστημα που συνδέονται με την πήξη και την σκλήρυνση της τσιμεντόπαστας. Μερική ενυδάτωση του τσιμέντου μπορεί να λάβει χώρα ακόμα και σε υγρή ατμόσφαιρα ενώ για την πλήρη ενυδάτωσή του πρέπει να αναμιχθεί με επαρκή ποσότητα νερού. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο ο λόγος νερού-τσιμέντου επιδρά στην ρεολογία και εργασιμότητα της τσιμεντόπαστας, στην πρόοδο της ενυδάτωσης και στις ιδιότητες του τελικού ενυδατωμένου προϊόντος. Για λόγους νερού-τσιμέντου από 0.3 έως 0.6 το μίγμα διαμορφώνει μία πάστα που αρχικά ονομάζεται «νωπή πάστα τσιμέντου» η οποία πήζει και σκληραίνει όσο προχωράει η διαδικασία της ενυδάτωσης και μετατρέπεται σε «σκληρυσμένη πάστα τσιμέντου»

Ο όρος 'πήξη' αφορά την σχετικά απότομη απώλεια της πλαστικότητας της αρχικής τσιμεντόπαστας και την μετατροπή της σε ένα στερεό υλικό με ελάχιστα μετρήσιμη αντοχή. Ο όρος 'σκλήρυνση' αφορά την εξέλιξη της σκληρότητας και αντοχής που διαδέχονται την πήξη του υλικού. Καθώς το τσιμέντο Πόρτλαντ είναι ένα πολυσύνθετο σύστημα, η ενυδάτωσή του είναι μία αρκετά πολύπλοκη διαδικασία που αποτελείται από μία σειρά ανεξάρτητων χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα παράλληλα και διαδοχικά. Η διαδικασία ξεκινά κατευθείαν με την επαφή της κονίας με το νερό και συνδέεται με την έκλυση της θερμότητας. [2.1]

Στο παρόν κεφάλαιο και στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής θα συζητηθεί η θερμότητα ενυδάτωσης, οι τρόποι με τους οποίους υπολογίζεται, οι παράγοντες που την επηρεάζουν,

καθώς και ο ρόλος των χλωριόντων στις αντιδράσεις ενυδάτωσης του τσιμέντου.

2.1. ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ

Όπως ισχύει για πολλές χημικές αντιδράσεις, η ενυδάτωση του τσιμέντου είναι εξώθερμη με την δυνατότητα να εκλύονται έως και 500 J/g τσιμέντου (120 cal/g τσιμέντου). Καθώς το σκυρόδεμα έχει σχετικά χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, δρα ως θερμική μόνωση, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες στο εσωτερικό μεγάλων κατασκευών σκυροδέματος λόγω της ενυδάτωσης. Ταυτόχρονα, το εξωτερικό της κατασκευής χάνει ένα μέρος της θερμότητας, λόγω της επαφής με το περιβάλλον, και καθώς επέρχεται μια απότομη θερμοκρασιακή διαφορά κατά την ψύξη του εσωτερικού της δομής, μπορεί να προκληθούν έντονες ρηγματώσεις. Αυτή η συμπεριφορά διαφοροποιείται ανάλογα με την διόγκωση του σκυροδέματος ή την μόνωση της εξωτερικής του επιφάνειας.[2.2]

Αντιθέτως, η θερμότητα που παράγεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου μπορεί να προφυλάξει την κατασκευή από πάγωμα του νερού που βρίσκεται στις τριχοειδείς απολήξεις του νωπού σκυροδέματος και έτσι η ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας δρα ευεργετικά προς την κατασκευή. Είναι ξεκάθαρο ότι τα χαρακτηριστικά έκλυσης θερμότητας του κάθε τύπου τσιμέντου πρέπει να είναι γνωστά ώστε να γίνεται σωστός προγραμματισμός για την κάθε εφαρμογή. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία του φρέσκου σκυροδέματος μπορεί να επηρεαστεί από εξωτερική θέρμανση ή ψύξη.

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 2.1**, όπου μελετάται (για τρεις διαφορετικούς τύπους τσιμέντου) η ανάπτυξη θερμότητας κατά τις πρώτες 72 ώρες σε διαφορετικές θερμοκρασίες, η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της ενυδάτωσης επηρεάζει ιδιαίτερα τον ρυθμό ανάπτυξης θερμότητας [2.3]. Παρόλα αυτά, κατά τον

Berhane, η τελική θερμότητα ενυδάτωσης επηρεάζεται εμφανώς λιγότερο [2.4].

Στην πραγματικότητα, η θερμότητα ενυδάτωσης όπως μετράται, αποτελείται από την θερμότητα των χημικών αντιδράσεων ενυδάτωσης των επιμέρους συστατικών και την θερμότητα απορρόφησης του νερού στην επιφάνεια της γέλης που διαμορφώνεται κατά την ενυδάτωση. Η τελευταία είναι υπεύθυνη για το ένα τέταρτο της συνολικής θερμότητας ενυδάτωσης, συνεπώς, η θερμότητα ενυδάτωσης είναι στην ουσία επηρεαζόμενη από τα συστατικά του τσιμέντου [2.5].

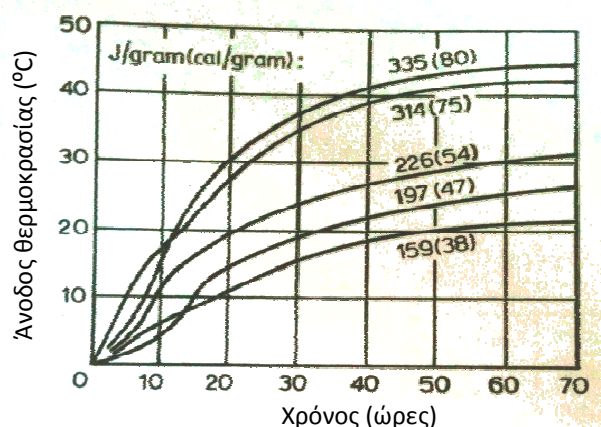
Πίνακας 2.1. Ανάπτυξη θερμότητας ενυδάτωσης μετά από 72 ώρες σε διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος [2.3]

Είδος τσιμέντου (ASTM)	Θερμότητα ενυδάτωσης (J/g) στους:			
	4°C	24°C	32°C	41°C
I	154	285	309	335
III	221	348	357	390
IV	108	195	192	214

Πρακτικά, η συνολική θερμότητα ενυδάτωσης δεν είναι απαραίτητα το σημαντικότερο μέγεθος, αλλά ο ρυθμός ανάπτυξης της θερμότητας καθώς, η ίδια συνολική ποσότητα θερμότητας που παράγεται σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μπορεί να διαχυθεί σε μεγαλύτερο βαθμό με σημαντικά χαμηλότερη άνοδο της θερμοκρασίας. Ο ρυθμός ανάπτυξης θερμότητας μπορεί να μετρηθεί εύκολα σε αδιαβατικό θερμιδόμετρο και τυπικές καμπύλες χρόνου-θερμοκρασίας δίνονται στην **εικόνα 2.1** (ο λόγος 1:2:4 αντιστοιχεί στις ποσότητες κατά μάζα τσιμέντου: λεπτόκοκκων αδρανών: χονδρόκοκκων αδρανών).

Ο Bogue [2.6] παρατήρησε ότι για κοινού τύπου τσιμέντα περίπου το μισό της θερμότητας ενυδάτωσης απελευθερώνεται μεταξύ της 1^{ης} και 3^{ης} μέρας, τα τρία τέταρτα στις 7 μέρες και το 83-91% της συνολικής θερμότητας σε 6 μήνες. Η πραγματική τιμή της θερμότητας ενυδάτωσης εξαρτάται από την χημική σύνθεση του τσιμέντου

και σχεδόν ταυτίζεται με το άθροισμα των τιμών των θερμοτήτων ενυδάτωσης των επιμέρους συστατικών του. Με δεδομένη την σύνθεση των συστατικών του τσιμέντου, η θερμότητα ενυδάτωσης του μπορεί να υπολογιστεί με αρκετή ακρίβεια. Τυπικές τιμές της θερμότητας ενυδάτωσης των συστατικών του τσιμέντου δίνονται στον **Πίνακα 2.2**.



Εικόνα 2.1. Άνοδος θερμοκρασίας σε 1:2:4 σκυρόδεμα (λόγος w/c 0.60) κατασκευασμένο με διαφορετικό τσιμέντο και συντηρημένο σε αδιαβατικό θάλαμο [2.7]

Πίνακας 2.2. Θερμότητα ενυδάτωσης των συστατικών του τσιμέντου [2.8]

Ορυκτολογική Φάση	Θερμότητα Ενυδάτωσης	
	J/g	cal/g
C ₃ S	502	120
C ₂ S	260	62
C ₃ A	867	207
C ₄ AF	419	100

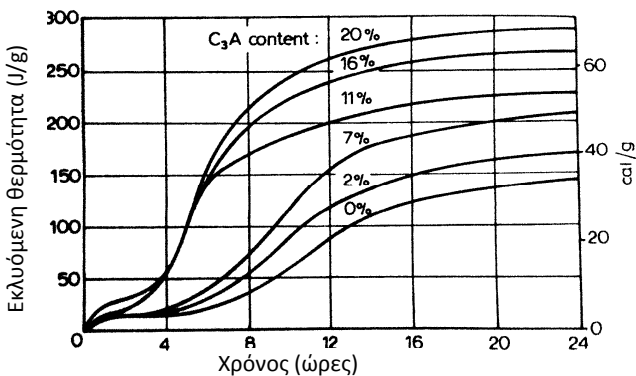
Μπορεί εδώ να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ της θερμότητας ενυδάτωσης και των υδραυλικών ιδιοτήτων του κάθε συστατικού. Οι Woods, Steinoor και Starke [2.9] πραγματοποίησαν δοκιμές σε διάφορα εμπορικά τσιμέντα και, χρησιμοποιώντας την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων, υπολόγισαν την συνεισφορά των ανεξάρτητων συστατικών στην συνολική θερμότητα ενυδάτωσης καταλήγοντας σε εξισώσεις του τύπου:

$$Q(\text{cal/g}) = 136(C_3S) + 62(C_2S) + 200(C_3A) + 30(C_4AF)$$

2-1

όπου η θερμότητα ενυδάτωσης Q ενός γραμμαρίου τσιμέντου υπολογίζεται με βάση το ποσοστό κατά μάζα των ανεξάρτητων συστατικών του που υποδεικνύεται στις παρενθέσεις. Σε μετέπειτα μελέτες επαληθεύτηκε η συνεισφορά των επιμέρους συστατικών στην θερμότητα ενυδάτωσης εκτός αυτής του C_2S που βρέθηκε ότι επηρεάζει περίπου στο μισό από ότι περιγράφεται παραπάνω.

Καθώς στα πρώιμα στάδια της ενυδάτωσης τα διαφορετικά συστατικά ενυδατώνονται με διαφορετικούς ρυθμούς, ο ρυθμός ανάπτυξης της θερμότητας ενυδάτωσης, όπως και η συνολική θερμότητα ενυδάτωσης, εξαρτώνται από την σύνθεση των συστατικών του τσιμέντου. Με μείωση των ποσοστών των συστατικών που ενυδατώνονται πιο γρήγορα (C_3S και C_3A) ο υψηλός ρυθμός ανάπτυξης θερμότητας ενυδάτωσης στις πρώιμες ηλικίες του σκυροδέματος μπορεί να μειωθεί. Η επίδραση του C_3A στον ρυθμό ανάπτυξης θερμότητας φαίνεται στην **εικόνα 2.2**.



Εικόνα 2.2. Επίδραση του ποσοστού C_3A στην ανάπτυξη θερμότητας (με σταθερό το ποσοστό C_3S) [2.8]

Η λεπτότητα του τσιμέντου επηρεάζει επίσης την θερμότητα ενυδάτωσης καθώς η αύξηση στην λεπτότητα επιταχύνει τις αντιδράσεις ενυδάτωσης και ταυτόχρονα την θερμότητα που αναπτύσσεται. Είναι λογική η υπόθεση ότι ο πρώιμος ρυθμός ενυδάτωσης του κάθε συστατικού είναι ανάλογος με την ειδική του επιφάνεια, παρόλα αυτά, σε μεγαλύτερες ηλικίες, η επίδραση της ειδικής επιφάνειας είναι αμελητέα και η συνολική

εκλυόμενη θερμότητα δεν επηρεάζεται από την λεπτότητα του τσιμέντου.

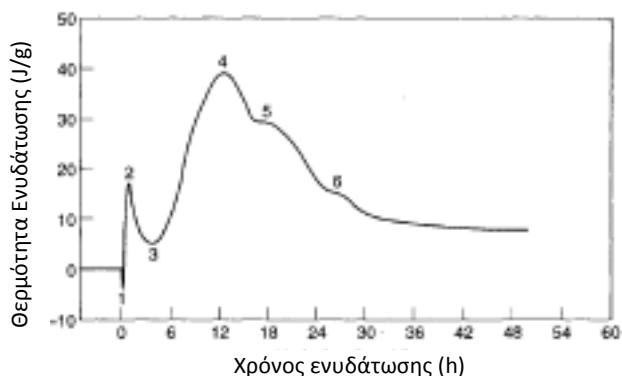
Επιπλέον, το ποσοστό του τσιμέντου στο ανάμιγμα επηρεάζει την συνολική ανάπτυξη θερμότητας καθώς όσο πλουσιότερο είναι το μίγμα σε ποσοστό τσιμέντου τόσο περισσότερη θερμότητα εκλύει, με αποτέλεσμα ο σωστός σχεδιασμός να μπορεί να βοηθήσει στον έλεγχο της θερμότητας ενυδάτωσης. [2.2]

Στην **εικόνα 2.3** παρουσιάζεται η καμπύλη ανάπτυξης θερμότητας ενός τυπικού τσιμέντου Πόρτλαντ. Τσιμέντα που περιέχουν ακόμα και ένα πολύ μικρό ποσοστό καλίου στην μορφή του θειικού καλίου, παρουσιάζουν κατά την ενυδάτωση μία διακριτή ενδόθερμη κορυφή αμέσως μετά την ανάμιξη (σημείο 1 του διαγράμματος) που προκαλείται λόγω της διάλυσης του συστατικού αυτού στο νερό ανάμιξης.

Ακολουθεί αρκετά έντονη απελευθέρωση ενέργειας που φτάνει ένα μέγιστο μέσα σε λίγα λεπτά (σημείο 2 του διαγράμματος) και οφείλεται στην αρχική γρήγορη ενυδάτωση του C_3S και C_3A - όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Το φαινόμενο αυτό ορίζει την προ-επαγωγική περίοδο (pre-induction period) στην οποία μπορεί να συνεισφέρει και η ενυδάτωση του ημιυδρίτη του θειικού ασβεστίου σε διυδρίτη. Ακολουθεί ένα διακριτό ελάχιστο (σημείο 3 του διαγράμματος) λόγω της ύπαρξης μίας περιόδου σταθεροποίησης (dormant period) κατά την οποία ο ρυθμός ανάπτυξης θερμότητας μειώνεται αισθητά. Μετά από μερικές ώρες παρατηρείται ένα δεύτερο και κυριότερο εξωθερμικό μέγιστο (σημείο 4 του διαγράμματος) που οφείλεται κυρίως στην ενυδάτωση του C_3S και τον σχηματισμό του C-S-H και του πορτλαντίτη.

Στη συνέχεια ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας μειώνεται σταδιακά και φτάνει πολύ μικρές τιμές μέσα σε μερικές μέρες. Στα περισσότερα τσιμέντα παρατηρείται ακόμα μία δευτερεύουσα κορυφή δεξιά της κύριας (σημείο 5

του διαγράμματος) που πιθανότατα οφείλεται στον σχηματισμό νέων φάσεων AFt, καθώς και μία δεύτερη παρόμοιας φύσης κορυφή (σημείο 6 του διαγράμματος) που οφείλεται σε μετατροπή των φάσεων AFt σε AFm.[2.1]



Εικόνα 2.3. Τυπικό διάγραμμα θερμότητας ενυδάτωσης

2.1.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ

Με βάση τα παραπάνω κρίνεται αναγκαία η εύρεση μιας δόκιμης μεθόδου πρόβλεψης της ανόδου της θερμοκρασίας, ώστε αυτή να ελεγχθεί με σκοπό να περιοριστεί η διαπερατότητα και να βελτιωθεί η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Η άνοδος της θερμοκρασίας, όπως προαναφέρθηκε, συνδέεται με την περιεκτικότητα του τσιμέντου στο σκυρόδεμα (ανά μονάδα όγκου νωπού σκυροδέματος) καθώς και με άλλα χημικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος και των συστατικών του.

2.1.1.1. ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΔΙΑΛΥΣΗΣ

Η μέθοδος μέτρησης της θερμότητας διάλυσης για τον υπολογισμό της εκλυόμενης θερμότητας ενυδάτωσης του τσιμέντου Πόρτλαντ αναπτύχθηκε από τους Woods et al. [2.10] και υιοθετήθηκε ως η πρότυπη μέθοδος από πολλά διεθνή πρότυπα (ASTM C 186-05 [2.11], EN 196-8 [2.12]). Η μέθοδος αντικαταστάθηκε αργότερα σε διάφορα εργαστήρια με την μέθοδο θερμιδομετρίας ισόθερμης αγωγιμότητας αλλά τα περισσότερα ευρωπαϊκά εθνικά πρότυπα διατήρησαν την παραδοσιακή προσέγγιση.

Η μέθοδος της θερμότητας διάλυσης περιλαμβάνει την μέτρηση σε συγκεκριμένη ηλικία

(συνήθως αυτή των 7 ημερών) της διαφοράς της εκλυόμενης θερμότητας μερικώς ενυδατωμένου τσιμέντου και άνυδρου τσιμέντου σε μείγμα νιτρικού και υδροφθορικού οξέος. Η διαφορά αυτή είναι το ισοδύναμο της θερμότητας ενυδάτωσης στην συγκεκριμένη ηλικία. Η διάλυση του τσιμέντου και της πάστας του πραγματοποιείται σε ειδικά διαμορφωμένο θερμιδόμετρο με οξύμαχη επίστρωση (π.χ. κέρινη επίστρωση στην εσωτερική επιφάνεια) στο οποίο εφαρμόζεται ένα θερμόμετρο Beckman, που επίσης προστατεύεται από κέρινη επίστρωση, επιτρέποντας την μέτρηση της θερμοκρασίας με ακρίβεια του ενός βαθμού Κελσίου. Σύγχρονα θερμιδόμετρα που ακολουθούν το συγκεκριμένο πρότυπο αποτελούνται από αδιαβατικό δοχείο (Dewar flask) και ψηφιακό θερμόμετρο ακριβείας που καταγράφει θερμοκρασίες σε χρόνους μικρότερους του δευτερολέπτου με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων. Μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η ακρίβειά της καθώς σημειώνει μεγάλη απόκλιση στην αναπαραγωγιμότητα $\pm 17.6 \text{ J/g}$ και την επαναληψιμότητα $\pm 8 \text{ J/g}$.

2.1.1.2. ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Πλήθος μελετών [2.13-2.18] που αφορούν την μέτρηση θερμότητας ενυδάτωσης του τσιμέντου χρησιμοποιώντας θερμιδομετρία αγωγιμότητας έχουν καταγραφεί στην διεθνή βιβλιογραφία.

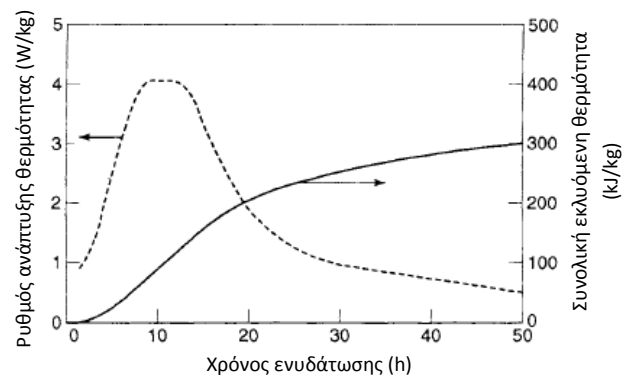
Τα ισόθερμα θερμιδόμετρα, συχνά αναφερόμενα και ως θερμιδόμετρα θερμικής αγωγιμότητας ή θερμικής ροής, διατηρούν το αντιδρών σύστημα σε σχεδόν σταθερή θερμοκρασία. Η αρχή λειτουργίας τους ακολουθεί τις οδηγίες διαδικασίας του Cem bureau [2.19] και μπορούν να μελετήσουν τις θερμοκρασιακές ανόδους μέχρι και τις 28 μέρες σε ελεγχόμενες θερμοκρασίες από 5 έως 60°C. Για να μετρηθεί η θερμοκρασιακή αγωγιμότητα πρέπει να μεταδοθεί η θερμοκρασιακή αύξηση από το δοχείο που γίνεται η αντίδραση προς ή από ένα περιβάλλοντα απαγωγέα θερμότητας. Στην συνέχεια γίνεται διόρθωση αυτής της μικρής ανισορροπίας στην θερμοκρασία με μονάδες θερμοηλεκτρικής ψύξης

(Peltier) [2.21] που τοποθετούνται στη θερμοκρασιακή διαβάθμιση του αντιδρώντος συστήματος, μεταξύ του βολβού αντίδρασης και του περιβάλλοντα απαγωγέα θερμότητας, ούτως ώστε να μπορεί να μετρηθεί η μεταφορά ενέργειας. Έχει χρησιμοποιηθεί πληθώρα απαγωγέων θερμότητας σε θερμιδόμετρα θερμικής αγωγιμότητας [2.20]. Σύγχρονες συσκευές όπως τα θερμιδόμετρα TAM της TA Instruments χρησιμοποιούν διπλούς αντιδραστήρες στην διάταξή τους που συνδυάζουν την μέτρηση ενός συστήματος αναφοράς και του αντιδρώντος συστήματος. Το καταγραφόμενο θερμιδομετρικό σήμα είναι η διαφορά μεταξύ των δύο σημάτων, μηδενίζοντας έτσι την σημαντική ποσότητα εξωτερικού θορύβου. Θερμιδόμετρα τέτοιου είδους είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα και έχουν εξαιρετική σταθερότητα σε βάθος χρόνου. Η βαθμονόμηση των ισοθερμικών θερμιδομέτρων γίνεται με ηλεκτρική αντίσταση, όπου μια γνωστή ποσότητα ενέργειας παρέχεται για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ώστε να ρυθμιστεί το θερμιδομετρικό σήμα.[2.21]

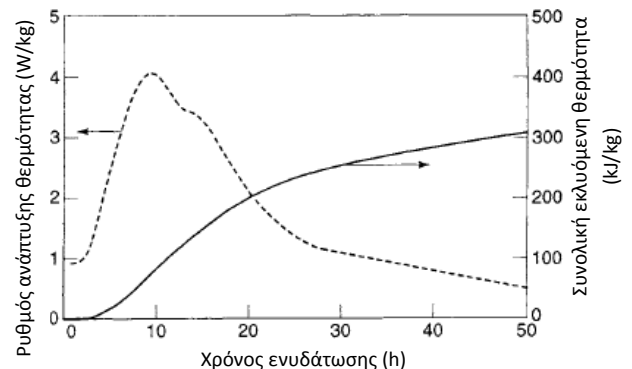
Ένα τυπικό θερμιδόμετρο θερμικής αγωγιμότητας μπορεί να μετρήσει ρυθμούς ανάπτυξης θερμότητας από 10 μW έως 200 mW για δείγματα τσιμέντου από 0.1 g έως 50 g και για χρονικές περιόδους από λίγες ώρες έως μερικές εβδομάδες, ενώ ταυτοχρόνως διατηρεί την θερμοκρασία σταθερή με απόκλιση 1°C . Η συνολική θερμότητα του τσιμέντου και ο ρυθμός ανάπτυξής της μπορούν να μετρηθούν με σφάλμα μικρότερο από 1%, ενώ πολλές συγκρίσεις έχουν αναφερθεί σε σχέση με την συμβατική μέθοδο μέτρησης της θερμότητας διάλυσης του τσιμέντου, οι οποίες αναφέρονται εκτενώς στη συνέχεια.

Η ισόθερμη θερμιδομετρία παρέχει έναν καλό διαχωρισμό των αντιδράσεων ενυδάτωσης των διαφορετικών ορυκτολογικών φάσεων που βρίσκονται στο τσιμέντο. Μέσα από δεδομένα περιθλασιμετρίας ακτίνων X σε ενυδατωμένες πάστες τσιμέντου, είναι δυνατή η αντιστοίχιση

των χημικών αντιδράσεων στις διαφορετικές κορυφές κατά την ανάπτυξη θερμότητας σε χρονικές περιόδους ενυδάτωσης που πλησιάζουν τις 250 h. Πιστεύετε ότι για να πετύχει το τσιμέντο την βέλτιστη απόδοσή του θα πρέπει η κορυφή που σχετίζεται με τον ρυθμό ενυδάτωσης του C_3A να καθυστερήσει με την βοήθεια προσθήκης SO_3 μέχρι να περάσει το μέγιστό της η ενυδάτωση του C_3S . Χαρακτηριστικό παράδειγμα φαίνεται στις **εικόνες 2.4 και 2.5**. [2.22]



Εικόνα 2.4. Θερμότητα ενυδάτωσης τσιμεντόπαστας μετρημένη με ισόθερμη θερμιδομετρία, Τσιμέντο A (20°C , $w/c=0.44$, μέγιστος ρυθμός: 4.09 W/kg στις 11.7 h)



Εικόνα 2.5. Θερμότητα ενυδάτωσης τσιμεντόπαστας μετρημένη με ισόθερμη θερμιδομετρία, Τσιμέντο A + $0.5\% \text{ SO}_3$ (20°C , $w/c=0.44$, μέγιστος ρυθμός: 4.07 W/kg στις 9.4 h)

Έχουν επιτευχθεί ιδιαίτερες εξελίξεις στα ισόθερμα θερμιδόμετρα ώστε να είναι εφικτή η μέτρηση της ανάπτυξης θερμότητας σε θερμοκρασίες έως και 300°C . Αυτές οι συσκευές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στην ανάπτυξη τύπων τσιμέντου που πρέπει να πηξουν και να σκληραίνουν σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, όπως για παράδειγμα τα τσιμέντα πετρελαιοπηγών.

2.1.1.3. ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ

Μία τρίτη μέθοδος, η αδιαβατική θερμιδομετρία, χρησιμοποιείται για να τον υπολογισμό της θερμοκρασιακής ανόδου ογκωδών κατασκευών σκυροδέματος. Καθώς η συνολική θερμότητα που εκλύεται από την ενυδάτωση ενός τσιμέντου σε αδιαβατικές συνθήκες είναι μερικώς εξαρτημένη από την τελική θερμοκρασία, η μετρούμενη θερμότητα ενυδάτωσης (δηλ. η αύξηση της θερμοκρασίας) θα εξαρτάται τόσο από την θερμοχωρητικότητα των συστατικών ανάμιξης όσο και από την θερμότητα που εκλύθηκε. Για να επιτευχθεί ο υπολογισμός της θερμοκρασιακής ανόδου μιας ποσότητας σκυροδέματος ή κονιάματος υπό αδιαβατικές συνθήκες, επιτρέποντας τους διαφορετικούς ρυθμούς ανάπτυξης θερμότητας να εξελιχθούν αυξανόμενων του χρόνου και της θερμοκρασίας, απαιτούνται ισόθερμες καμπύλες θερμότητας ενυδάτωσης του τσιμέντου για τουλάχιστον δύο θερμοκρασίες. Επίσης πρέπει να είναι γνωστές οι ειδικές θερμότητες του τσιμέντου και των αδρανών καθώς και οι αναλογίες ανάμιξης του σκυροδέματος/κονιάματος.

Η αναλυτική μέθοδος υπολογισμού χρησιμοποιεί την εξίσωση του Arrhenius:

$$K = A \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad 2-2$$

όπου K είναι η σταθερά ειδικού ρυθμού ενυδάτωσης,

E η ενέργεια ενεργοποίησης της ενυδάτωσης,

R η παγκόσμια σταθερά των αερίων,

T η απόλυτη θερμοκρασία και

A η σταθερά της αντίδρασης

Εφόσον η αντίδραση της ενυδάτωσης δεν μπορεί να θεωρηθεί ως μία μοναδική χημική αντίδραση, κατά την πρόοδο της ενυδάτωσης, για κάθε αύξηση της εκλυόμενης θερμότητας (10kJ/kg), υπολογίζεται ξεχωριστή ενέργεια ενεργοποίησης. Με τον τρόπο αυτό, ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας για συγκεκριμένο σκυρόδεμα διαφοροποιείται τόσο από την θερμοκρασία στην οποία ενυδατώνεται το τσιμέντο, όσο και από την

ενέργεια ενεργοποίησης που σχετίζεται με την συγκεκριμένη θερμοκρασία ενυδάτωσης.[2.1]

2.1.1.4. ΗΜΙ-ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Μία σύγχρονη παραλλαγή της αδιαβατικής θερμιδομετρίας είναι η ημι-αδιαβατική μέθοδος που προτυποποιήθηκε πρόσφατα (EN 196-9: 2003 [2.23]) και έχει βρει εφαρμογή σε διάφορα εργαστήρια. Η διαδικασία της ημι-αδιαβατικής μεθόδου μέτρησης θερμότητας ενυδάτωσης τσιμέντου περιλαμβάνει την εισαγωγή δείγματος φρέσκου νωπού κονιάματος σε ένα θερμιδόμετρο με σκοπό τον προσδιορισμό της ποσότητας της θερμότητας που εκλύεται υπολογιζόμενη σε σχέση με την ανάπτυξη της θερμοκρασίας. Η θερμότητα ενυδάτωσης του τσιμέντου σε κάθε χρονική στιγμή ισούται με την θερμότητα που συσσωρεύεται στο θερμιδόμετρο στην οποία προστίθεται και η απώλεια θερμότητας στην ατμόσφαιρα κατά την διάρκεια της δοκιμής. Η άνοδος της θερμοκρασίας του κονιάματος συγκρίνεται με την θερμοκρασία δείγματος αδρανούς κονιάματος σε θερμιδόμετρο αναφοράς. Για τον υπολογισμό της εκλυόμενης θερμότητας ενυδάτωσης σε δεδομένο χρόνο t , ακολουθείται η παρακάτω εξίσωση:

$$Q = \frac{c}{m_c} \theta_i + \frac{1}{m_c} \int_0^t a \cdot \theta_i \cdot dt \quad 2-3$$

οπού m_c η μάζα του τσιμέντου στο εξεταζόμενο δείγμα σε g,

t ο χρόνος ενυδάτωσης σε h,

c η συνολική θερμοχωρητικότητα του θερμιδόμετρου σε J/K,

a ο συντελεστής απώλειας θερμότητας του θερμιδόμετρου σε J/h/K και

θ_i η άνοδος της θερμοκρασίας του εξεταζόμενου δείγματος τον δεδομένο χρόνο t σε K.

2.1.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

Έρευνα που πραγματοποιήθηκε από μεγάλη γερμανική τσιμεντοβιομηχανία σε συνεργασία με ανεξάρτητους φορείς [2.21] κατέληξε σε συμπεράσματα που αφορούν την σύγκριση της μεθόδου θερμότητας διάλυσης, θερμιδομετρίας αγωγιμότητας και συγκεκριμένα του

θερμιδόμετρου TAM Air και της ημι-αδιαβατικής μεθόδου. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε 24 εργαστήρια 6 διαφορετικών χωρών και ελέγχθηκαν 5 διαφορετικά τσιμέντα με την μέθοδο που υποστήριζε το κάθε εργαστήριο.

Η μέση επαναληψιμότητα που υπολογίστηκε για την μέθοδο θερμότητας διάλυσης ήταν ίση με αυτήν που προβλέπει το EN 196-8 [2.12], δηλαδή 8 J/g και η αναπαραγωγισιμότητα 17.6 J/g έναντι των 18 J/g του προτύπου. Για την αξιολόγηση της θερμιδομετρίας αγωγιμότητας -όπου συμπεριλήφθηκαν όλα τα όργανα που εφαρμόζουν την μέθοδο- υπολογίστηκε επαναληψιμότητα 5.5 J/g και αναπαραγωγισιμότητα 20 J/g. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα που αφορούσαν μόνο το θερμιδόμετρο TAM Air έδειξαν ακόμα πιο μειωμένη επαναληψιμότητα στα 4.6 J/g και αναπαραγωγισιμότητα 13.6 J/g. Και οι δύο τιμές είναι σημαντικά μικρότερες από αυτές των τυπικών αποκλίσεων της μεθόδου θερμότητας διάλυσης και υπογραμμίζουν την ακρίβεια και ποιότητα της θερμιδομετρίας αγωγιμότητας. Δυστυχώς τα εργαστήρια που πραγματοποίησαν την δοκιμή της ημι-αδιαβατικής μεθόδου δεν ήταν αρκετά σε αριθμό ώστε να μπορέσει η μέθοδος να ληφθεί υπόψη στην στατιστική ανάλυση. Η σύγκριση των χαρακτηριστικών των δύο διαδικασιών φανερώνει ξεκάθαρα την υπεροχή της μεθόδου θερμιδομετρίας αγωγιμότητας έναντι αυτής της μέτρησης θερμότητας διάλυσης.

Πλεονέκτημα της μεθόδου θερμότητας διάλυσης είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μακροχρόνιες μετρήσεις, δηλ. ηλικίες που ξεπερνούν τις 28 μέρες και ότι το συγκεκριμένο θερμιδόμετρο είναι χαμηλού κόστους. Παρόλα αυτά η μέθοδος θερμότητας διάλυσης απαιτεί σημαντική εργασία και κόστος για να πραγματοποιηθεί μία μέτρηση. Για να ληφθούν επαναλήψιμα αποτελέσματα πρέπει να πραγματοποιείται η δοκιμή από έμπειρο χειριστή, ενώ συστηματικά σφάλματα μπορεί να συμβούν λόγω μη διαλυτότητας συγκεκριμένων συστατικών του τσιμέντου, π.χ. σκωρίες ή τέφρες. Το πρότυπο

ASTM C 186 δηλώνει ξεκάθαρα ότι η μέθοδος είναι ανακριβής αν κάποια από τα συστατικά του τσιμέντου είναι αδιάλυτα στο μείγμα νιτρικού-υδροφθορικού οξέος. Επιπλέον, η μέθοδος διάλυσης είναι μία έμμεση διαδικασία όπου η θερμότητα ενυδάτωσης είναι η διαφορά μεταξύ δύο μεγάλων τιμών. Τέλος, η διαχείριση υδροφθορικού οξέος μπορεί να προκαλέσει σοβαρούς κινδύνους στην υγεία των χειριστών.

Αντίθετα, η θερμιδομετρία θερμικής αγωγιμότητας απαιτεί αισθητά λιγότερη εργασία και χρόνο, μειώνοντας έτσι το κόστος της ανάλυσης. Δεν έχει υψηλές απαιτήσεις στην εμπειρία των χειριστών και έχει την δυνατότητα να μετρήσει κάθε είδος τσιμέντου. Καθώς αποτελεί συνεχή μέτρηση, μπορούν να ανακτηθούν δεδομένα και όχι συγκεκριμένες τιμές, όπως δεδομένα ρυθμού απελευθέρωσης ενέργειας και τιμές πρώιμων ηλικιών. Οι τυπικές αποκλίσεις είναι μικρότερες από αυτές της μεθόδου θερμότητας διάλυσης και δεν χρησιμοποιούνται επικίνδυνα χημικά. Υπάρχουν βεβαίως μειονεκτήματα όπως το κόστος της συσκευής και η διάρκεια των πειραμάτων που περιορίζεται από την ικανότητα του εξοπλισμού να μετρά πολύ χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης θερμότητας.

2.1.3. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ

2.1.3.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΚΛΙΝΚΕΡ

Στις ΗΠΑ, την περίοδο 1932-34, συγγράφηκαν οι πρώτες προδιαγραφές για τσιμέντα χαμηλής θερμότητας (low-heat cements), όπου και ξεκίνησε η χρήση της μεθόδου υπολογισμού των ποσοτήτων των συστατικών του κλίνκερ για τον έλεγχο των ιδιοτήτων του τσιμέντου [2.24]. Αργότερα, πολλές χώρες υιοθέτησαν χημικές προδιαγραφές για “τροποποιημένα” και ανθεκτικά σε θειικά τσιμέντα. Ο έλεγχος της θερμότητας ενυδάτωσης με την χρήση περιορισμών στην περιεκτικότητα των συστατικών του τσιμέντου θεωρήθηκε ωφελιμιστικός καθώς,

χρησιμοποιήθηκε κυρίως λόγω ευκολίας και ταχύτητας και όχι ως το αλάνθαστο αποτέλεσμα καθιερωμένων νομοθεσιών.

Ο υπολογισμός της περιεκτικότητας των συστατικών του τσιμέντου έχει περιορισμένη χρήση παρόλα αυτά παρέχει μια καλύτερη κατανόηση της εικόνας του τσιμέντου από αυτήν που δίνει η χημική ανάλυσή του σε οξείδια. Ενώ οι ρυθμοί ενυδάτωσης διαφορετικών μορφών του C_3S δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες διαφορές, δεν ισχύει το ίδιο και για το C_2S . Η μορφή γ - C_2S είναι η πιο σταθερή σε κανονική θερμοκρασία, θεωρείται όμως στην ουσία μη υδραυλική. Οι υπόλοιπες μορφές του βελίτη είναι μετασταθείς και πρέπει να σταθεροποιούνται με διάφορα οξείδια, με αποτέλεσμα το πραγματικό μέγεθος της υδραυλικής ικανότητάς του να εξαρτάται από το σταθεροποιητικό αυτό οξείδιο.

Σε κάποιες περιπτώσεις οι απαιτήσεις ως προς την περιεκτικότητα των συστατικών του τσιμέντου χρησιμοποιούνται για να συμπληρώνουν άμεσες φυσικές δοκιμές, σε άλλες όμως περιπτώσεις τα αντικαθιστούν. Στις πρώιμες προδιαγραφές των ΗΠΑ υπήρχε η απαίτηση να μετράται η θερμότητα ενυδάτωσης και παράλληλα να τηρούνται οι προϋποθέσεις των αναλογιών των συστατικών του κλίνκερ. Στα επόμενα όμως χρόνια, η άμεση δοκιμή εγκαταλείφτηκε και η ορυκτολογική ανάλυση κυριάρχησε ως η μόνη ένδειξη για την θερμότητα ενυδάτωσης. Η εφαρμογή ορίων στην σύσταση του τσιμέντου είναι πιο ελκυστική σε σχέση με την πραγματική δοκιμή καθώς απαιτεί μεγάλες χρονικές περιόδους, παρόλα αυτά μελέτες [2.25-2.27] έχουν δείξει ότι η θερμότητα ενυδάτωσης του τσιμέντου όπως υπολογίζεται από την σύσταση των συστατικών του μπορεί να διαφοροποιηθεί έως και 50 J/g από την μετρήσιμη τιμή.

2.1.3.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΘΕΙΙΚΩΝ
Έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις της θερμότητας ενυδάτωσης και του ρυθμού που αυτή αναπτύσσεται με την μέθοδο της θερμιδομετρίας θερμικής αγωγιμότητας (κεφ.

2.2.2) [2.28] σε μία επιλογή από τσιμέντα Πόρτλαντ. Η επεξεργασία των δεδομένων κατέληξε σε γραφήματα όπου απεικονίζονται ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας και η συνολική εκλυόμενη θερμότητα έναντι του χρόνου. Επιλεγμένα παραδείγματα εμφανίζονται στις **εικόνες 2.4 και 2.5**. Ο μέγιστος ρυθμός πρώιμης ενυδάτωσης ενός τσιμέντου μπορεί να μειωθεί με την αύξηση της περιεκτικότητας των θειικών. Ο Odler [2.29] κατέγραψε την επίδραση της γύψου σε εργαστηριακά τσιμέντα με διάφορες αναλογίες C_3A/C_4AF και με αυτόν τον τρόπο προσδιόρισε την βέλτιστη ποσότητα SO_3 μεγιστοποιώντας την αντοχή μετά τις 28 ημέρες. Παρατηρήθηκε ότι η βέλτιστη αυτή ποσότητα μεγαλώνει όσο αυξάνεται ο λόγος C_3A/C_4AF . Επιπλέον, η θερμότητα ενυδάτωσης του τσιμέντου αυξάνεται όσο εντονότερη είναι η ενυδάτωση της μερικώς αφυδατωμένης γύψου λόγω της συνάλεσής της με το τσιμέντο [2.30].

2.1.4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΛΚΑΛΙΩΝ

Τα θειικά αλκάλια, σε γενικές γραμμές, επιταχύνουν τον ρυθμό της ενυδάτωσης και δίνουν υψηλές πρώιμες αντοχές. Μία λεπτομερής μελέτη [2.18] που αφορούσε την επίδραση των αλκαλίων στην ενυδάτωση του τσιμέντου Πόρτλαντ αναφέρει ότι επιτεύχθηκε επιτάχυνση παρουσία αλκαλίων στο κλίνκερ ενώ, επηρεάστηκε η κατάλληλη επιβράδυνση της γύψου. Τα τσιμέντα με τα περισσότερα αλκάλια απαιτήσαν περισσότερη γύψο με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού έκλυσης θερμότητας ενυδάτωσης. Ο βαθμός ενυδάτωσης του C_3A μειώθηκε με την αύξηση του Na_2O στο ανάμιγμα. [2.1]

2.1.4.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

Ο Frigione δημοσίευσε δεδομένα για την επίδραση της κοκκομετρικής κατανομής στην θερμότητα ενυδάτωσης του τσιμέντου [2.31] που αποδεικνύουν ότι η θερμότητα ενυδάτωσης και η ποσότητα των προϊόντων ενυδάτωσης αυξάνονται όταν η κοκκομετρική κατανομή του τσιμέντου είναι στενότερη στην περιοχή 3-32 μm . [2.32]

2.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ - Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ CaCl_2

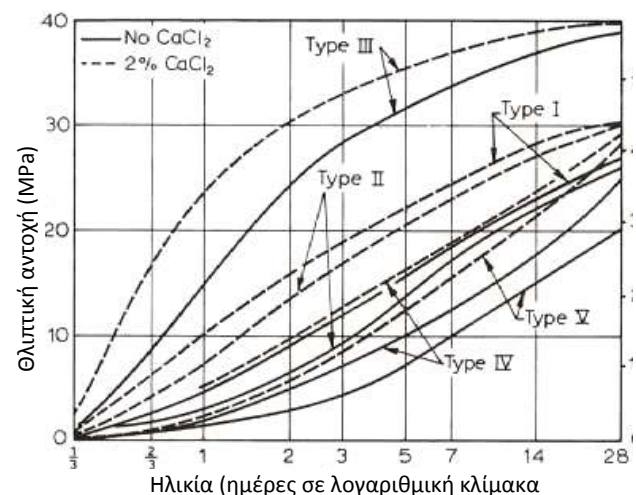
Η προσθήκη χλωριούχου ασβεστίου σε ανάμιγμα τσιμεντοκονιάματος ή σκυροδέματος αυξάνει τον ρυθμό ανάπτυξης των αντοχών και για αυτόν τον λόγο έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν ως επιταχυντής σε σκυροδετήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες (2 έως 4°C) ή σε περίπτωση που απαιτείται ταχεία επισκευή. Το χλωριούχο ασβέστιο αυξάνει τον ρυθμό έκλυσης θερμότητας κατά τις πρώτες ώρες της ενυδάτωσης λειτουργώντας πιθανότατα ως καταλύτης στις αντιδράσεις ενυδάτωσης του C_3S και C_2S . Είναι επίσης πιθανό, η μείωση της αλκαλικότητας του μείγματος, λόγω της προσθήκης του, να προωθεί την ενυδάτωση των πυριτικών ενώσεων. Η ενυδάτωση του C_3A καθυστερεί ελαφρώς αλλά η κανονική πορεία της ενυδάτωσης δεν διαφοροποιείται.

Το χλωριούχο ασβέστιο στο παρελθόν χρησιμοποιούνταν για τσιμέντα ταχείας πήξεως καθώς και για κοινού τύπου τσιμέντα Πόρτλαντ όπου, όσο εντονότερη ήταν η ταχεία πήξη του τσιμέντου, τόσο πιο εμφανής ήταν η δράση του επιταχυντή. Παρόλα αυτά, δεν χρησιμοποιούνταν ως επιταχυντής για τσιμέντα με υψηλή περιεκτικότητα σε Al . Για τα τσιμέντα ταχείας πήξης, η αύξηση των αντοχών με την χρήση CaCl_2 μπορεί να φτάσει και τα 7 MPa σε μία μέρα [2.2], ενώ για κοινό τσιμέντο Πόρτλαντ η αύξηση αυτή επιτυγχάνεται μετά από 3 με 7 μέρες. Μέχρι το τσιμέντο ταχείας πήξης να φτάσει την ηλικία των 28 ημερών η βελτίωση που εμφανίζεται σε νεώτερες ηλικίες με την προσθήκη του CaCl_2 σχεδόν μηδενίζεται, ενώ στην περίπτωση του τσιμέντου Πόρτλαντ η προσθήκη CaCl_2 παρουσιάζει βελτιωμένες αντοχές και σε αυτήν την ηλικία.

Τα αποτελέσματα έρευνας του Hickey [2.33] για διαφορετικού τύπου τσιμέντα φαίνονται στην **εικόνα 2.6**. Η τελική αντοχή του σκυροδέματος θεωρείται ανεπηρέαστη από την προσθήκη του CaCl_2 . Το χλωριούχο ασβέστιο είναι γενικά πιο

αποτελεσματικό στην επιτάχυνση του ρυθμού πρώιμης αντοχής σε δυνατά αναμίγματα με χαμηλό λόγο w/c παρά σε αυτά που παρουσιάζουν πιο χαμηλές αντοχές.

Η προσθήκη CaCl_2 στο ανάμιγμα πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά. Για να υπολογιστεί η ποσότητα της προσθήκης λαμβάνεται υπόψη ότι η δοσολογία 1% άνυδρου CaCl_2 (υπολογιζόμενο κατά βάρος τσιμέντου) επηρεάζει την σκλήρυνση του τσιμέντου τόσο, ώστε να επιφέρει άνοδο στην θερμοκρασία κατά την ενυδάτωση της τάξης των 6°C.



Εικόνα 2.6. Επίδραση του CaCl_2 στην αντοχή σκυροδεμάτων που κατασκευάστηκαν με διαφορετικό τύπο τσιμέντου [2.32]

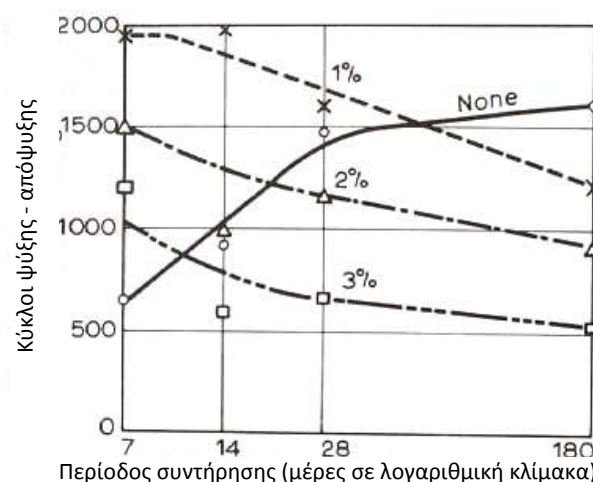
Η περιεκτικότητα 1-2% CaCl_2 θεωρείται γενικά επαρκής, δεν πρέπει, όμως, να υπερβαίνεται εκτός και αν έχουν γίνει εργαστηριακές δοκιμές με το συγκεκριμένο τσιμέντο καθώς, η επίδραση του χλωριούχου ασβεστίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την χημική σύσταση του τσιμέντου. Το τελευταίο ισχύει ιδιαίτερα για την πήξη καθόσον, το χλωριούχο ασβέστιο γενικά επιταχύνει την πήξη και η υπερβολική προσθήκη του μπορεί να προκαλέσει άμεση σκλήρυνση. Στον **Πίνακα 2.3** παρουσιάζονται τυπικές τιμές της επίδρασης του CaCl_2 στους χρόνους πήξης του τσιμέντου. Αυτού του είδους η επιτάχυνση μπορεί να φανεί χρήσιμη σε επισκευαστικές εργασίες όπου η εισροή του νερού, για παράδειγμα, μπορεί να σταματήσει μόνο για μικρό χρονικό διάστημα.

Πίνακας 2.3. Επίδραση του χλωριούχου ασβεστίου στους χρόνους πήξης

% μάζα του CaCl_2 κατά μάζα τσιμέντου	Επιτάχυνση πήξης (min)
0.1	25
0.3	35
0.5	45
1.0	85

Η χρήση του χλωριούχου ασβεστίου στις περισσότερες εφαρμογές δεν είναι ενδεδειγμένη καθώς τίθεται θέμα ανθεκτικότητας. Η αντίσταση του τσιμέντου σε προσβολή από θειικά ιόντα, για παράδειγμα, μειώνεται με την προσθήκη CaCl_2 , ιδιαίτερα σε αδύναμα σκυροδέματα, καθώς επίσης αυξάνεται ο κίνδυνος αντίδρασης αλκαλίων-αδρανών όταν τα αδρανή είναι ενεργά. Ο παραπάνω κίνδυνος όμως μπορεί να αντιμετωπιστεί με την χρήση τσιμέντου χαμηλών αλκαλίων και την προσθήκη ποζολανών. Μία ακόμη ανεπιθύμητη επίπτωση της προσθήκης CaCl_2 είναι η αύξηση της συρρίκνωσης κατά περίπου 10-15% ή ακόμα και περισσότερο. Επιπλέον, παρά το γεγονός ότι η προσθήκη CaCl_2 μειώνει τον κίνδυνο προσβολής ψύξης στις πρώιμες ηλικίες, η αντίσταση αερακτικού σκυροδέματος στην ψύξη-απόψυξη σε μεγαλύτερες ηλικίες επηρεάζεται αρνητικά. Στοιχεία για το παραπάνω δίνονται στην **εικόνα 2.7**. Όλοι οι παραπάνω λόγοι οδήγησαν στην κατάργηση της χρήσης χλωριούχου ασβεστίου ως επιταχυντή, ιδιαίτερα σε οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα, και την αντικατάστασή του με νέου τύπου επιταχυντές.

Από την άλλη πλευρά, δεν παύουν να υπάρχουν θετικά χαρακτηριστικά όσον αφορά την ανθεκτικότητα και την προσθήκη χλωριούχου ασβεστίου. Έχει παρατηρηθεί ότι αυξάνεται η ανθεκτικότητα στην διάβρωση λόγω τριβής και αυτή η βελτίωση παραμένει σε όλες τις ηλικίες. Επίσης, όταν γίνεται συντήρηση με ατμό σε απλά σκυρόδεμα, το CaCl_2 βελτιώνει την αντοχή του σκυροδέματος και επιτρέπει υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τους κύκλους συντήρησης.

**Εικόνα 2.7.** Αντίσταση σε ψύξη-απόψυξη σκυροδεμάτων που συντηρήθηκαν στους 4°C και συντέθηκαν με διαφορετικές προσθήκες CaCl_2

Η δράση του χλωριούχου νατρίου είναι παρόμοια με αυτήν του χλωριούχου ασβεστίου αλλά λιγότερο έντονη. Επίσης, οι επιδράσεις του NaCl παρουσιάζουν μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις αφού έχει παρατηρηθεί σε διάφορες περιπτώσεις πτώση της θερμότητας ενυδάτωσης που συνοδεύεται με αντίστοιχη μείωση στην αντοχή στην ηλικία των 7 ημερών και μεγαλύτερη. Για τον λόγο αυτό η χρήση του NaCl είναι ανεπιθύμητη. Έχει προταθεί επίσης η χρήση του χλωριούχου βαρίου, το οποίο, όμως, δρα ως επιταχυντής μόνο υπό θερμές συνθήκες. [2.34]

2.3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [2.1] Peter Hewlett (2004). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Elsevier Science & Technology Books, 4th edition, Amsterdam, the Netherlands
- [2.2] A.M. Neville (2011). *Properties of Concrete*. Prentice Hall, 5th edition, Essex, UK
- [2.3] W. Lerch and C. L. Ford, Long-time study of cement performance in concrete, Chapter 3: Chemical and physical tests of the cements, J. Amer. Concr. Inst., 44, pp. 743–95 (April 1948).

- [2.4] Z. Berhane, Heat of hydration of cement pastes, *Cement and Concrete Research*, 13, No. 1, pp. 114–18 (1983).
- [2.5] T. C. Powers and T. L. Brownyard, Studies of the physical properties of hardened Portland cement paste (Nine parts), *J. Amer. Concr. Inst.*, 43 (Oct. 1946 to April 1947).
- [2.6] R. H. Bogue, *Chemistry of Portland Cement* (New York, Reinhold, 1955).
- [2.7] N. Davey and E. N. Fox, Influence of temperature on the strength development of concrete, *Build. Res. Sta. Tech. Paper No. 15* (London, HMSO, 1933).
- [2.8] W. Lerch and R. H. Bogue, Heat of hydration of Portland cement pastes, *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, 12, No. 5, pp. 645–64 (May 1934).
- [2.9] H. Woods, H. H. Steinour and H. R. Starke, Heat evolved by cement in relation to strength, *Engng News Rec.*, 110, pp. 431–3 (New York, 1933).
- [2.10] H. Woods, H. H. Steinour and H. R. Starke, Effect of composition of Portland Cement on Heat Evolved during Hardening, *Industrial and Engineering Chemistry* 24, 1207-1214 (1932)
- [2.11] ASTM C 186 - 05 Standard Test Method for Heat of Hydration of Hydraulic Cement
- [2.12] EN 196-8: 2003 Methods of testing cement - Heat of Hydration - Solution Method
- [2.13] Killoh DC. A comparison of conduction calorimeter and heat of solution methods for measurement of the heat of hydration of cement, *^rfyanc^s in Cement Research*, 1988; 1(3): 180-6. July.
- [2.14] Stein HN. Some characteristics of the hydration of $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ in the presence of CaSO_4 -21120. *Silicates Industriels*, 1963; 28: 141-5.
- [2.15] Stein HN, Stevels JM. Influence of silica on the hydration of 3CaOSiO_2 . *Journal of Applied Chemistry*, 1964; 32: 338^6.
- [2.16] Stein HN and Stevels JM. Le mecanisme de l'hydratation du silicate tricalcique. *Silicates Industries*, 1967; 32: 337^3.
- [2.17] Corstanje WA, Stein HN, Stevels JM. Hydration reactions in pastes $\text{C}_3\text{S} - \text{h} \text{C}_3\text{A} - \text{ICaSO}_4 - 2\text{H}_2\text{O} - \text{f} - \text{aq}$ at 25X. *Cement and Concrete Research*, 1973; 3: 791-806.
- [2.18] Lerch W. The influence of gypsum on the hydration and properties of Portland cement pastes. *Portland Cement Association Bulletin no. 12*, 1946: 41 pp.
- [2.19] Cembureau. Recommended procedure for the measurement of the heat of hydration of cement by the conduction method, Paris: Cembureau, 1977: 8 pp.
- [2.20] Haines P: Principles of thermal analysis and calorimetry, royal society of chemistry, Cambridge 2002
- [2.21] Arndt M, Lipus K, Becker A (2007). Method Performance Study on Heat of Hydration Determination of Cement by Heat Conduction Calorimetry. The 1st International Proficiency Testing Conference, Sinaia, Romania
- [2.22] Forrester JA. A conduction calorimeter for the study of cement hydration. *Cement Technology*, 1970; 1(3): 95-9.
- [2.23] EN 196-9: 2003 Methods of Testing Cement - Heat of Hydration - Semi-adiabatic method
- [2.24] Lea FM. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, 1936-37; 4: 217.
- [2.25] Boulder Canyon Project, Final Report. Bureau of Reclamation, Denver: 1949, Part VII, Bulletin 2: p. 364.
- [2.26] Verbeck GJ, Foster CW. Long-term study of cement performance in concrete. Chapter 6: The

heats of hydration of cements. Proceedings of the American Society for Testing and Materials, 1950; 50: 1235-62.

[2.27] Verbeck GJ. Energetics of the hydration of Portland cement. In: Proceedings of the 4th International Symposium on the Chemistry of Cement, Washington, 1960:453-65.

[2.28] Wexham Developments Ltd. JAF Conduction Calorimeter operating manual, 2nd edition. Slough, 1988, 68 pp.

[2.29] Odler I. Strength of cements. RILEM Technical Committee TC 68-MMH, 1987.

[2.30] Johansen V. Cement production and cement quality. In: Skalny JP, ed. Material science of concrete I. American Ceramic Society, 1989: 27-72.

[2.31] Frigione G, Marra S. Relationship between particle size distribution and compressive strength in Portland cement. Cement and Concrete Research, 1976; 6:113-28.

[2.32] Τσίμας Σ, Τσιβιλής Σ. (2010). Επιστήμη & Τεχνολογία του Τσιμέντου. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Ζωγράφου, Αθήνα

[2.33] Hickey M.E. (1953). Comprehensive strength studies of concrete made with Types I, II, and IV cement and without calcium chloride. Bureau of Reclamation

[2.34] A. M. Neville, Properties of Concrete, 4th ed., Longman, London, England, 1999

3. ΤΟ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ ΦΙΛΛΕΡ (ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ)

Το ασβεστολιθικό φίλλερ, ασβεστολιθική παιπάλη ή ασβεστολιθικό υλικό πλήρωσης (limestone filler) αποτελεί το λατομικό προϊόν που προκύπτει από την θραύση ασβεστόλιθου και είναι το κλάσμα που είναι μικρότερο από 63μm με μέση διάμετρο κόκκων περίπου 10μm. Ο ασβεστόλιθος είναι ένα ευρέως διαδεδομένο υλικό, με πολλές χρήσεις στην βιομηχανία δομικών υλικών και βέβαια στην παραγωγή των ξηρών κονιαμάτων, όπου χρησιμοποιείται ως αδρανές υλικό. Πέραν των κονιαμάτων, οι χρήσεις του ασβεστόλιθου είναι πάρα πολλές όπως για παράδειγμα ως πρώτη ύλη στη παραγωγή τσιμέντων και ασβέστη. Προέρχεται από ανθρακικά πετρώματα και εμφανίζεται είτε σαν καθαρό ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) είτε σαν δολομίτης (ασβεστίτης CaCO_3 μαζί με ανθρακικό μαγνήσιο MgCO_3). Πιο σπάνια με τον ασβεστόλιθο συνυπάρχει ο αραγωνίτης (άλλη μορφή ανθρακικού ασβεστίου) και σε μικρότερα ποσοστά ανθρακικός σίδηρος (FeCO_3), μαγνησίτης (MgCO_3), ανκερίτης $\text{Ca}_2\text{MgFe}(\text{CO}_3)_4$ κ.α. Είναι επίσης δυνατόν να περιέχει και πυριτικές προσμίξεις. [3.1, 3.2]

Η χρήση του ασβεστολιθικού φίλλερ στην τσιμεντοβιομηχανία εστιάζεται κυρίως στην παραγωγή σύνθετων τσιμέντων Πόρτλαντ. Χρησιμοποιείται ως κύριο συστατικό για την σύνθεση CEM II/A L, CEM II/A LL, CEM II/B L και CEM II/B LL όπου αντικαθιστά το κλίνκερ σε ποσοστά 6-20% και 21-35% αντίστοιχα. Επιπροσθέτως μπορεί να λειτουργήσει ως δευτερεύον συστατικό σε ποσοστά 0-5% για τσιμέντα τύπου CEM I - V [3.3].

Οι απαιτήσεις για τον ασβεστόλιθο είναι:

- Το περιεχόμενο CaCO_3 να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με 75%.
- Η περιεκτικότητα σε άργιλο, όπως καθορίζεται από την δοκιμή μπλε του μεθυλενίου, δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1.2g/100g.

- Ο συνολικός οργανικός άνθρακας (TOC) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0.2% για LL ασβεστόλιθο και 0.5% για L ασβεστόλιθο.

Τα ασβεστολιθικά filler αρχικά θεωρήθηκαν αδρανή, αλλά σταδιακά έγινε αποδεκτό ότι συμβάλουν στη διαδικασία ενυδάτωσης με το σχηματισμό $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$.

Εκτός από την προσθήκη ασβεστόλιθου στα τσιμέντα, ασβεστολιθικά filler μπορούν να προστεθούν απευθείας στο μίγμα σκυροδέματος δίνοντας ισοδύναμο συνδυασμό συστατικών στο ανάμιγμα. Οι προδιαγραφές για τα ασβεστολιθικά filler δίνονται από το BS 7979 (2001) [3.4] και είναι παρόμοιες με αυτές που ισχύουν για τα ασβεστολιθικά τσιμέντα. Το filler μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ειδικά σκυροδέματα, όπως το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, για την ενίσχυση της συνοχής στο πλαστικό σκυρόδεμα.[3.1]

Η χρήση τσιμέντου Πόρτλαντ που περιέχει ασβεστολιθικό φίλλερ είναι κοινή πρακτική στην Ευρώπη εδώ και πολλά χρόνια. Αυτός ο τύπος τσιμέντου εισάχθηκε στην αγορά για να εξυπηρετήσει τρεις βασικούς σκοπούς: τεχνικού, οικονομικού και οικολογικού ενδιαφέροντος. Στα τεχνικά πλεονεκτήματα περιλαμβάνονται η αύξηση των πρώιμων αντοχών, η εξίδρωση (bleeding) σε σκυροδέματα με χαμηλό ποσοστό τσιμέντου και η ανθεκτικότητα στην ελλιπή συντήρηση. Τα οικονομικά πλεονεκτήματα συσχετίζονται με την δυνατότητα αυτών των τσιμέντων να αναπτύσσουν αντοχές όμοιες με αυτές των τσιμέντων Πόρτλαντ σε χαμηλότερα κόστη παραγωγής και επένδυσης ανά τόνο τσιμέντου. Από οικολογικής απόψεως, η μείωση των εκπομπών CO_2 και NO_x ανά τόνο παραγόμενου τσιμέντου καθώς και η συντήρηση των ορυκτών καυσίμων και των φυσικών πρώτων υλών, καθιστούν το προϊόν αυτό ελκυστικό για την τσιμεντοβιομηχανία.

3.1. ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΈΡΕΥΝΑ

Τα σκυροδέματα που συντίθενται με ασβεστολιθικά τσιμέντα Πόρτλαντ (τσιμέντα που χρησιμοποιούν ασβεστολιθικό filler ως κύριο συστατικό) συχνά σχεδιάζονται με λόγο νερού προς στερών παρόμοιο με τον λόγο νερού προς τσιμέντο (w/c) που χρησιμοποιείται στα σκυροδέματα χωρίς ασβεστόλιθο. Έτσι ο ενεργός λόγος w/c του σκυροδέματος με το ασβεστολιθικό τσιμέντο μπορεί να αυξηθεί σημαντικά σε σχέση με αυτόν του πρωταρχικού αναμίγματος. Το γεγονός αυτό μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά ενυδάτωσης του σκυροδέματος. Ακόμη, η επιπλέον ειδική επιφάνεια που προσδίδει η προσθήκη της παιπάλης του ασβεστόλιθου παρέχει κέντρα πυρήνωσης και ανάπτυξης των προϊόντων ενυδάτωσης, γεγονός που τελικά ενισχύει την πρώιμη ενυδάτωση. Ο Bentz (2006) πρότεινε την πρόβλεψη της επίδρασης ενός συγκεκριμένου ποσοστού αντικατάστασης κλίνκερ από ασβεστολιθικό filler στην συμπεριφορά ενυδάτωσης μίας τσιμεντόπαστας ή σκυροδέματος. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επισυμπευθεί η χρήση αυτών των τσιμεντών και να επιτραπεί ο εκ των προτέρων σχεδιασμός αναμιγμάτων σκυροδέματος που πληρούν κριτήρια υψηλών προδιαγραφών. Πρότεινε παρόλα αυτά να επεκταθεί το μοντέλο ενυδάτωσης του ούτως ώστε να ληφθούν υπόψη οι αλληλεπιδράσεις των ασβεστολιθικών filler στην ενυδάτωση του τσιμέντου και να πιστοποιηθεί η εφαρμογή του με πειραματικές μετρήσεις. [3.5]

Στα σκυροδέματα υψηλής επιτελεστικότητας (High-performance concrete, HPC) το ανάμικτο περιέχει μεγάλες ποσότητες τσιμέντου και χαμηλό λόγο w/c με αποτέλεσμα να προστίθεται κάποιος υπερρρευστοποιητής για να διατηρηθεί η εργασιμότητα του μείγματος. Σε αυτά τα ανάμικτα, όπου δεν υπάρχουν αρκετά κενά και οι τριχοειδείς πόροι εμφανίζουν ασυνέχειες σχετικά νωρίς, μειώνονται οι πυρήνες κρυστάλλωσης και δυσκολεύονται να παραχθούν τα προϊόντα ενυδάτωσης. Έτσι, ένα μεγάλο μέρος

του τσιμέντου παραμένει ανενεργό με αποτέλεσμα να γίνεται υπερβολική χρήση υλικών και ενέργειας για την παρασκευή σκυροδέματος. Ακόμη, η μεγάλη ποσότητα τσιμέντου προκαλεί την αύξηση ρηγματώσεων στην κατασκευή. Με αντικατάσταση, λοιπόν, των ακριβών συστατικών (κλίνκερ) με αδρανή και οικονομικά υλικά (filler) μπορούν να αποφευχθούν τέτοιου είδους προβλήματα. [3.6]

Ένα αδρανές filler παρουσιάζει θεωρητικά μεγάλο ενδιαφέρον στα «αδύναμα» σκυροδέματα, διότι βοηθάει τη δράση του τσιμέντου πληρώνοντας τα κενά που αφήνουν τα αδρανή. Ωστόσο το ασβεστολιθικό filler δεν είναι ούτε αδρανές ούτε ανενεργό, μία μικρή ποσότητα είναι πάντα ευεργετική για το σκυρόδεμα, ειδικά εφόσον το τσιμέντο περιέχει αργιλικές φάσεις. Η βέλτιστη ποσότητα ασβεστολιθικών υλικών αυξάνεται όσο αυξάνεται και η ποσότητα υπερρρευστοποιητών στο μίγμα και όσο μειώνονται οι επιθυμητές αντοχές. Επίσης, η εισαγωγή ασβεστολιθικού filler γίνεται κυρίως όταν η περιεκτικότητα σε C_3A είναι μεγάλη, στοχεύοντας στον σχηματισμό του $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$.

Όσον αφορά τη λεπτότητα του filler, έχει αποδειχθεί ότι το φαινόμενο της επιτάχυνσης ελέγχεται από την ειδική επιφάνεια του προϊόντος. Αλλά χωρίς τη χρήση υπερρρευστοποιητών ένα λεπτότερο πληρωτικό υλικό θα απαιτεί περισσότερο νερό για να διατηρήσει τις αντοχές και την κάθιση, και αυτό διότι η συμβολή της κοκκομετρίας στην ανάπτυξη αντοχών αυξάνεται όταν το μέγεθος των κόκκων μειώνεται. Έτσι ένα πολύ λεπτό ασβεστολιθικό υλικό (με μέση διάμετρο ίση με $1 \mu m$ ή και μικρότερη), παρουσιάζει ενδιαφέρον για χρήση μόνο εάν χρησιμοποιηθεί παράλληλα και μία μεγάλη ποσότητα υπερρρευστοποιητών. Στην περίπτωση των συμπληρωματικών υδραυλικών υλικών (mineral admixtures) στόχος είναι η παρασκευή σκυροδέματος υψηλών αποδόσεων και το ασβεστολιθικό filler πρέπει να «ανταγωνιστεί» προϊόντα με ποζολανικές

ιδιότητες, όπως είναι η πυριτική παιπάλη, που είναι πολύ πιο δραστικά.

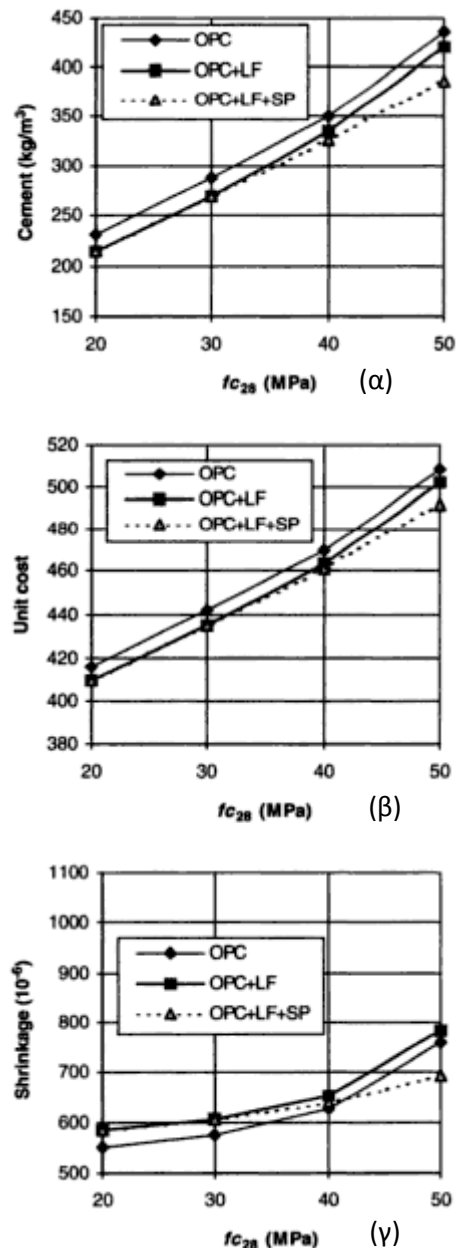
Προκειμένου να διαπιστωθούν οι διάφορες επιδράσεις που επιφέρει ένα ασβεστολιθικό πληρωτικό υλικό σε ένα μίγμα σκυροδέματος, πρέπει να ερευνηθούν τα αποτελέσματα κάποιων δοκιμών. Οι προδιαγραφές που συνήθως εξετάζονται είναι οι ακόλουθες: συντελεστής διάστρωσης, εργασιμότητα σκυροδέματος (κάθιση) και θλιπτικές αντοχές των 28 ημερών.

Στην **εικόνα 3.1** φαίνονται οι επιδράσεις του ασβεστολιθικού filler και των υπερρρευστοποιητών στις αντοχές του σκυροδέματος. Η πρώτη σειρά δοκιμών περιέχει μόνο τσιμέντο ως συνδετικό υλικό. Στη δεύτερη σειρά προστίθεται και ασβεστολιθικό filler, ενώ η τρίτη σειρά περιέχει και υπερρρευστοποιητές. Το ελάχιστο κόστος αναγράφεται για όλα τα μίγματα (**εικόνα 3.1.β**). Το κόστος του ασβεστολιθικού filler υπολογίζεται περίπου στο 16% του κόστους του τσιμέντου.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα, φαίνεται ότι η προσθήκη ασβεστολιθικού πληρωτικού υλικού έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ποσότητας τσιμέντου (**εικόνα 3.1.α**), με αποτέλεσμα να είναι πιο οικονομική όλη η σύνθεση. Φαίνεται επίσης ότι σε αρκετά υψηλές τιμές αντοχών η δράση του ασβεστολιθικού πληρωτικού υλικού ενισχύεται σημαντικά με την χρήση υπερρρευστοποιητών. Όσον αφορά τη συνολική συρρίκνωση, η χρήση ασβεστολιθικού filler οδηγεί σε ελαφριά αύξηση, εκτός από τις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται μαζί με υπερρρευστοποιητή για σκυροδέματα υψηλών αντοχών (όπως φαίνεται στην **εικόνα 3.1.γ**). Εν τέλει, η ανάπτυξη αντοχών ελάχιστα επηρεάζεται από την παρουσία του filler. Το φαινόμενο της επιτάχυνσης εξισορροπεί την αύξηση του λόγου w/c, που είναι καθαυτός ένας παράγοντας για πιο αργή ανάπτυξη αντοχών.

Εκτός από τις επιπτώσεις στη συρρίκνωση, που έχουν προαναφερθεί και όταν δεν βρίσκεται σε υπερδοσολογία μέσα στο μίγμα, το ασβεστολιθικό filler δεν έχει αρνητική επίδραση στα

χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας του προκύπτοντος σκυροδέματος (για ισοδύναμη εργασιμότητα και αντοχή) εκτός από την αυξημένη αντίσταση.[3.7]



Εικόνα 3.1. Αποτελέσματα θλιπτικών αντοχών σε σκυροδέματα διαφόρων συνθέσεων, LF=ασβεστολιθικό filler, SP=υπερρευστοποιητής.

3.2. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΦΙΛΛΕΡ

Η απόδοση της προσθήκης ασβεστολιθικού filler σε τσιμέντα Πόρτλαντ έχει μελετηθεί εκτενώς [3.8] στο παρελθόν σε πάστες τσιμέντου, κονιάματα και σκυρόδεμα. Σε γενικές γραμμές το filler βελτιώνει τον ρυθμό ενυδάτωσης των συστατικών του

τσιμέντου και αυξάνει, επομένως, τις πρώιμες θλιπτικές αντοχές του τσιμέντου.

Η βασική επίδραση του ασβεστολιθικού filler γίνεται με φυσικό τρόπο. Για να επιτευχθεί καλή εργασιμότητα στο νωπό σκυρόδεμα καθώς και πυκνή μικροδομή στο σκληρυμένο, απαιτείται μια επαρκής ποσότητα πάστας. Η πάστα αποτελείται από το νερό και όλες τις κονίες, δηλαδή όλα τα στερεά συστατικά του τσιμέντου, τα αδρανή και τα πρόσθετα με κοκκομετρία μικρότερη από 125μm. Το filler, στα πρώτα στάδια της ενυδάτωσης, λειτουργεί ως πυρήνας κρυστάλλωσης, όπου η φάση του CSH καθώς και οι κρύσταλλοι του πορτλαντίτη ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) σχηματίζονται με μεγαλύτερη ευκολία. Οι παράλληλες αυτές δράσεις προκαλούν την επιτάχυνση της ενυδάτωσης των συστατικών του τσιμέντου. [3.6]

Οι Guemmad et al.(2008)[3.9] και Voglis et al. (2005)[3.10] επισήμαναν ότι από χημικής απόψεως, το ασβεστολιθικό filler δεν έχει ποζολανικές ιδιότητες αλλά αντιδρά με τις αργλικές συστατικά του τσιμέντου σχηματίζοντας φάσεις AFm (calcium monocarboaluminate hydrate) επιδρώντας έτσι σημαντικά στις αντοχές του σκυροδέματος.

Το filler, ως υλικό πλήρωσης, βελτιώνει τον πορώδη σκελετό της τσιμεντόπαστας και δημιουργεί μεγαλύτερη διασπορά στους κόκκους του τσιμέντου. Βασική ιδιότητα που επηρεάζεται από αυτήν την προσθήκη είναι ο παράγοντας πλήρωσης της τσιμεντόπαστας (packing index). Η πυκνότητα της πάστας και κατ' επέκταση η περιεκτικότητα των κενών επηρεάζονται άμεσα από την κοκκομετρική κατανομή των λεπτόκοκκων συστατικών της. Η μείωση των κενών μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη λεπτόκοκκου συστατικού με το κατάλληλο σχήμα κόκκων που μπορεί να πληρώσει τα κενά που έχουν σχηματιστεί.

Σε κάθε ερευνητική μελέτη, γίνεται η προσπάθεια να αποδειχτεί η επίδραση των υδραυλικών

συμπληρωματικών κονιών στις ιδιότητες των τσιμεντικών υλικών σε συνδυασμό με την δραστηριότητά τους με το τσιμέντο. Παράλληλα, λαμβάνονται υπόψη και οι αλλαγές που μπορεί να επιφέρει μια τέτοια προσθήκη στην ρεολογία και τις μηχανικές αντοχές του σκυροδέματος. Οι μηχανισμοί που προκαλούν τέτοιου είδους τροποποιήσεις είναι ιδιαίτερα περίπλοκοι αλλά διάφορες μελέτες [3.2, 3.6, 3.10] σε αυτό το πεδίο συμφωνούν σε τρεις διακριτούς τρόπους επίδρασης των πληρωτικών υλικών στις ιδιότητες του σκυροδέματος:

- Η φυσική επίδραση που συσχετίζεται με την παρουσία λεπτών και υπέρλεπτων σωματιδίων στην νωπή τσιμεντόπαστα, τα οποία δημιουργούν πυρήνες ενυδάτωσης σε πρώιμες ηλικίες όπου σχηματίζονται κατά προτίμηση το CSH και ο CH.
- Η χημική επίδραση που αφορά στην ικανότητα των συμπληρωματικών υλικών να αντιδρούν με το νερό και τα άνυδρα ή ενυδατωμένα συστατικά του τσιμέντου σχηματίζοντας νέες ορυκτολογικές φάσεις που συνεισφέρουν στις μηχανικές αντοχές όπως και τα προϊόντα ενυδάτωσης του τσιμέντου. Με την προσθήκη ασβεστολιθικού filler ο ασβεστίτης (CaCO_3) αντιδρά με τις αργλικές φάσεις του τσιμέντου (C_3A , C_4AH_{13}) παρουσία του νερού σχηματίζοντας μια ένυδρη μονοανθρακική ασβεσταργλική φάση της μορφής $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ που μορφοποιείται σε λεπτούς εξαγωνικούς κρυστάλλους.
- Η μηχανική επίδραση στην πλήρωση της τσιμεντόπαστας (filler effect), όπου η παρουσία αυτών των λεπτών αδρανών υλικών ενισχύει την πυκνότητα της πάστας, μειώνει τα κενά γεμίζοντάς τα με σωματίδια κατάλληλου μεγέθους και γενικά βελτιώνει το πορώδες του σκυροδέματος, γεγονός που μακροπρόθεσμα μπορεί να αποδειχτεί ιδιαίτερα θετικό στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

3.3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Concrete Composite, (27): 191-196.

[3.1] Τσίμας Σ, Τσιβιλής Σ. (2010). Επιστήμη & Τεχνολογία του Τσιμέντου. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Ζωγράφου, Αθήνα

[3.2] Newman J., Choo B.S. (2003). Advanced Concrete Technology: Concrete Properties. Oxford, England; Burlington, MA: Butterworth-Heinemann

[3.3] EN 197-1 (2000), Cement - Part I: Composition, specifications and conformity criteria for common cements, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium

[3.4] BS 7979 (2001), Specification for limestone fines for use with Portland cement, BSI Group, London, UK

[3.5] Z. Guemmad, M. Resheidat, H. Chabil and B. Toumi, (2009), Modeling the Influence of Limestone Filler on Concrete: A Novel Approach for Strength and Cost, Jordan Journal of Civil Engineering, **3**: 2

[3.6] Bonavetti, V., Donza, H., Menendez, G., Cabrera, O. and Irassar, E.F. (2003), Limestone filler cement in low w/c concrete: a rational use of energy, Journal of Cement and Concrete Research, (33): 865-871

[3.7] François de Larrard, (1999), Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach, E&FN Spon

[3.8] R C Joshi, R P Lohita, (1997) Fly Ash in Concrete: Production, Properties and Uses (Advances in Concrete Technology), CRC Press; 1st edition, Amsterdam, the Netherlands

[3.9] Guemmadi, Z., Resheidat, M., Houari, H. and Toumi, B., (2008), Optimal criteria of Algerian blended cement using limestone fines, Journal of Civil Engineering and Management, 14 (4): 269-275

[3.10] Voglis, N., Kakali, G., Chaniotakis, E. and Tsivilis, S. (2005), Portland limestone cements, their properties and hydration compared to those of other composite cement, Journal of Cement and

4. ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΈΤΟΙΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

4.1. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο όρος έτοιμο σκυρόδεμα αναφέρεται στον τύπο σκυροδέματος που παράγεται σε μία μονάδα ή εργοστάσιο σύμφωνα με μία συγκεκριμένη αναλογία και στην συνέχεια παραδίδεται σε κάποιο εργοτάξιο μέσα σε οχήματα με περιστρεφόμενους κάδους ανάμιξης (μπετονιέρες). Παρά το ότι η πρώτη παράδοση έτοιμου σκυροδέματος έγινε σε ένα εργοτάξιο στο Μέρυλαντ της Βαλτιμόρης το 1913, οι πρώτες μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος εμφανίστηκαν την δεκαετία του 1930 όταν η κοινή πρακτική των κατασκευαστών ήταν να αναμιγνύουν τα συστατικά του σκυροδέματος στο εργοτάξιο από συσκευασμένο τσιμέντο και αδρανή που παραδίδονταν ξεχωριστά.

Η βιομηχανία έτοιμου σκυροδέματος επεκτάθηκε σημαντικά την δεκαετία του 1960, ενώ στην σύγχρονη εποχή το έτοιμο σκυρόδεμα παρασκευάζεται με συστήματα ελεγχόμενα από ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Αυτό οδήγησε σε ειδικούς τύπος έτοιμου σκυροδέματος σχεδιασμένους για συγκεκριμένους σκοπούς. Η χρήση έτοιμου σκυροδέματος επιτρέπει την παράδοση αναμιγμάτων συγκεκριμένων αναλογιών, γεγονός που καταργεί την ανάγκη ύπαρξης συσκευής ανάμιξης σκυροδέματος στο έργο καθώς και χώρου αποθήκευσης υλικών για την επί τόπου παρασκευή σκυροδέματος.

Εν τέλει, η χρήση έτοιμου σκυροδέματος μειώνει τον θόρυβο και το κόστος εργασίας και βελτιώνει την ποιότητα του αέρα στο έργο. Το σκυρόδεμα παραδίδεται αναμιγμένο σε νωπή μορφή από μία κεντρική μονάδα που εξυπηρετεί μία ευρεία περιοχή, γεγονός που αποτελεί πλεονέκτημα καθώς μπορεί να βρίσκεται, για παράδειγμα, σε βιομηχανική περιοχή και να κάνει παραδόσεις σε κατοικημένες περιοχές ή σε περιοχές της πόλης με πολλά εργοτάξια. Ωστόσο, όταν τα υλικά

αναμιγνύονται στην μονάδα ο χρόνος μεταφοράς από την μονάδα στο έργο είναι υψίστης σημασίας και ως εκ τούτου οι μονάδες δεν μπορούν να είναι πολύ απομακρυσμένες από το εργοτάξιο.

Συγκεκριμένα, η τοποθέτηση του σκυροδέματος δεν μπορεί να γίνει αργότερα από ενενήντα λεπτά από την ώρα που έγινε η ανάμιξη. Το ειδικό βάρος του σκυροδέματος είναι $1,78 \text{ kg/m}^3$ για γενικού τύπου σκυρόδεμα, το οποίο μεταφράζεται σε ανάμιγμα μεταφοράς για το όχημα βάρους 13.5 τόνων για ένα μέσο αναμικτήρα χωρητικότητας 7.6 m^3 . Ως εκ τούτου, οι παρασκευαστές σκυροδέματος προσπαθούν να διατηρήσουν τις αποστάσεις μεταφοράς στο ελάχιστο ώστε να αποφεύγεται η ανέλκυση βαρέων φορτίων σε μεγάλες αποστάσεις.

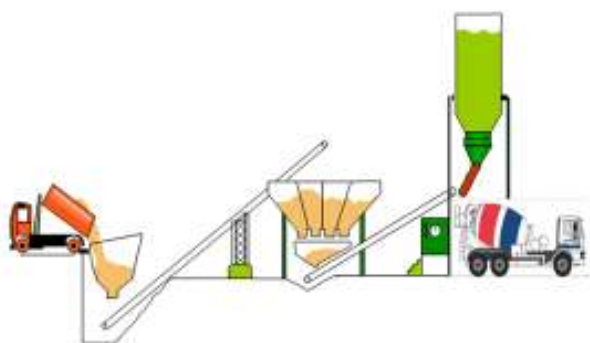
4.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Το έτοιμο σκυρόδεμα παρασκευάζεται συνήθως σε παρτίδες από 1.5 έως 9 m^3 σε σχετικά απλές μονάδες παραγωγής. Συνήθως αποτελούνται από εγκαταστάσεις για τον χειρισμό πρώτων υλών, σιλό αποθήκευσης τσιμέντου, τροχοφόρους φορτωτές και μεταφορείς αδρανών (άμμος, χαλίκι, γαρμπίλι) από τους χώρους αποθήκευσης στον αναμικτήρα, ενώ είναι απαραίτητη και μία πηγή νερού. Τα διάφορα συστατικά του σκυροδέματος ζυγίζονται και τροφοδοτούν την χοάνη ζύγισης. Τα αδρανή αποτελούν περίπου το 60-70% του αναμίγματος κατ' όγκο, 10-15% αποτελεί το τσιμέντο, 15-20% το νερό ενώ ο παγιδευμένος αέρας καλύπτει το 5-8%. Η κεντρική εγκατάσταση παραγωγής και οι χοάνες ζύγισης είναι στην κορυφή μίας υπερυψωμένης εγκατάστασης που επιτρέπει στα οχήματα να κυκλοφορούν από κάτω της ώστε να μπορούν να φορτωθούν.

Τα χημικά πρόσμικτα είναι στερεές ή υγρές ουσίες που βελτιώνουν την εργασιμότητα του σκυροδέματος, μειώνουν την συρρίκνωση ή τροποποιούν τους χρόνους πήξης. Αερακτικές ουσίες παρέχουν αντίσταση στους κύκλους ψύξης-απόψυξης ενώ άλλα πρόσμικτα μπορούν να μειώσουν την απαίτηση του αναμίγματος σε νερό

ώστε να αυξήσουν την κάθιση και να βελτιώσουν την εργασιμότητα. Ταυτόχρονα, προκαλούν αύξηση των αντοχών και μειώνουν τις ρηγματώσεις λόγω συρρίκνωσης. Κάποια πρόσμικτα προστατεύουν τον οπλισμό από διάβρωση που προκαλείται από αντιψυκτικό αλάτι ή θαλάσσιο περιβάλλον. Πλαστικές ίνες ή ίνες κυτταρίνης αυξάνουν την αντοχή του σκυροδέματος και μειώνουν την συρρίκνωση και τις ρηγματώσεις. Ιπτάμενη τέφρα και σκωρία προστίθενται ως αντικαταστάτες τσιμέντου προκαλώντας αύξηση στις αντοχές, μικρότερη διαπερατότητα και μεγαλύτερους χρόνους πήξης.

Οι μονάδες παραγωγής σκυροδέματος χωρίζονται γενικά σε δύο κατηγορίες όσον αφορά στον τρόπο ανάμιξης των συστατικών του σκυροδέματος, σε μονάδες με ξηρή φόρτωση (εικόνα 4.1) και μονάδες με κεντρικό αναμικτήρα υγρής φόρτωσης (εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.1. Μονάδα με ξηρή φόρτωση

Στις μονάδες ξηρής φόρτωσης τα συστατικά του σκυροδέματος ζυγίζονται και φορτώνονται απευθείας στον κάδο ανάμιξης του οχήματος όπου, στην συνέχεια, προστίθεται η απαραίτητη ποσότητα νερού και η τελική ανάμιξη γίνεται στο εσωτερικό του οχήματος μεταφοράς. Στις μονάδες με κεντρικό αναμικτήρα υγρής φόρτωσης το σκυρόδεμα παρασκευάζεται σε παρτίδες και φορτώνεται στο όχημα ως νωπό ανάμιγμα. Και στις δύο περιπτώσεις το χαλίκι, το γαρμπίλι, η άμμος, το τσιμέντο, το νερό και τα πρόσμικτα τροφοδοτούν τον αναμικτήρα, είτε στο όχημα, είτε στον κεντρικό αναμικτήρα, μέσω των χοανών όπου ζυγίζονται οι ακριβείς ποσότητες των

συστατικών. Αυτή η διαδικασία ρυθμίζεται μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών.



Εικόνα 4.2. Μονάδα με κεντρικό αναμικτήρα υγρής φόρτωσης

4.3. ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΈΤΟΙΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Πιθανότατα η πιο διαδεδομένη μορφή έτοιμου σκυροδέματος είναι ως υλικό που χυτεύεται επί τόπου στο έργο δηλαδή που μεταφέρεται σε νωπή μορφή στο όχημα και τοποθετείται σε καλούπια στο εργοτάξιο. Το σκυρόδεμα αναμιγνύεται σύμφωνα με τις αντίστοιχες προδιαγραφές σε τοποθεσία εκτός εργοταξίου και χρησιμοποιείται για τις περισσότερες βάσεις κτιρίων, πλάκες, τοίχους, κολώνες, δοκούς, δάπεδα, οροφές, γέφυρες και πεζοδρόμια. Βασικό χαρακτηριστικό αυτού του σκυροδέματος είναι η ανθεκτικότητά του σε βάθος χρόνου και οι μηχανικές του αντοχές και χρησιμοποιείται άοπλο ή οπλισμένο. Οπλισμένο είναι το σκυρόδεμα που ενισχύεται με ράβδους από χάλυβα.

Ένα άλλο είδος έτοιμου σκυροδέματος είναι το προεντεταμένο σκυρόδεμα. Στο προεντεταμένο σκυρόδεμα εφαρμόζεται άλλος τρόπος χρησιμοποίησης του χαλύβδινου οπλισμού. Ο χάλυβας, σε μορφή συρμάτων ή καλωδίων, δεν τοποθετείται στον ξυλότυπο 'γυμνό', αλλά μέσα σε σωλήνες, ώστε κατά τη διάστρωση, να μην έρχεται σε επαφή με το σκυρόδεμα. Μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, εφαρμόζονται δυνάμεις εφελκυσμού στα χαλύβδινα καλώδια και με την κατάλληλη διάταξη, συγκρατούνται σε κατάσταση τάσης. Με τη μέθοδο αυτή, διευρύνθηκαν οι δυνατότητες κατασκευής έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σήμερα, είναι δυνατό

να κατασκευαστούν δοκοί ή πλάκες πολύ μεγάλων ανοιγμάτων, πράγμα που με το κοινό οπλισμένο σκυρόδεμα ήταν αδύνατο. Το προεντεταμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται κυρίως σε έργα γεφυροποιίας και σε κτίρια εργοστασίων.

Ένα ακόμα προϊόν είναι το *αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα* που εμφανίστηκε στην αγορά την δεκαετία του 1980. Πρόκειται για ένα υπέρρευστο σκυρόδεμα που έχει την δυνατότητα να εγκλείει πολύ πυκνές διατάξεις οπλισμού χωρίς να αφήνει κενά και χωρίς την απαραίτητη μηχανική δόνηση. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη υπερρευστοποιητών και ρυθμιστών ιξώδους καταλήγοντας σε ένα προϊόν που αντλείται εύκολα και ρέει σε πολύπλοκα σχήματα και δύσκολα προσβάσιμα σημεία. Αυτό το προϊόν έχει συνήθως μεγαλύτερη ποσότητα τσιμέντου, λιγότερα χονδρόκοκκα αδρανή και περισσότερη άμμο από τους κοινούς τύπους σκυροδέματος. Η χρήση αυτού του υλικού μπορεί να μειώσει το κόστος, το εργατικό δυναμικό και τα επίπεδα θορύβου στο έργο.

Ως *ρευστό πλήρωσης* ή «υλικό ελεγχόμενης χαμηλής αντοχής» καλείται ένα αυτοσυμπυκνούμενο τσιμεντικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε αρχικά σε επιχωματώσεις ή δομικά γεμίσματα. Είναι μία οικονομική εναλλακτική συγκρινόμενη με χονδρόκοκκα υλικά πλήρωσης. Το ρευστό πλήρωσης δεν απαιτεί δόνηση και σκληραίνει με ελάχιστη κάθιση. Η θλιπτική του αντοχή είναι σημαντικά μικρότερη από αυτήν του κοινού σκυροδέματος, απαιτείται να είναι λιγότερο από 8.3 MPa, είναι συνήθως λιγότερη από 2.1 MPa ενώ μπορεί να πέσει μέχρι και τα 1.4 MPa, ώστε να επιτρέπεται η μελλοντική εξόρυξή του χειρονακτικά αν είναι απαραίτητο. Αναμίγματα με περισσότερο από 20% παγιδευμένο αέρα χρησιμοποιούνται για να μειώσουν τις αντοχές του υλικού. Θλιπτικές αντοχές του εύρους 0.3-0.7 MPa έχουν αντοχές σε φορτία αντίστοιχες με αυτές καλά συμπυκνωμένου χώματος. Η πυκνότητά του είναι 171-216 kg/m³ και μπορεί να μειωθεί περαιτέρω

με την προσθήκη ελαφροβαρών αδρανών ή υλικών πλήρωσης.

Το *διαπερατό σκυρόδεμα* επιτρέπει το βρόχινο νερό να περάσει απευθείας μέσα από τους πόρους του καθώς περιέχει ελάχιστα ή καθόλου λεπτόκοκκα αδρανή και το εύρος μεγέθους των χονδρόκοκκων αδρανών περιορίζεται στο να επιτρέπει την μεταφορά του. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν στρογγυλά και γωνιώδη αδρανή ώστε να αφήνουν κενά στο τελικό προϊόν που αποτελούν το 15-35% του όγκου του. Καθώς αφήνει το νερό να το διαπερνά, μειώνονται οι περιορισμοί για υποδομές αποχέτευσης που σχετίζονται με πεζοδρόμια, δρόμους και χώρους στάθμευσης οχημάτων. Το διαπερατό σκυρόδεμα μειώνει την υπερχειλίση του βρόχινου νερού και αυξάνει την ανανέωση των υπόγειων υδάτων. Τα εκτεθειμένα χονδρόκοκκα αδρανή ενισχύουν την πρόσφυση των οχημάτων και μειώνουν την υδρολίσθηση. Αυτός ο τύπος σκυροδέματος μπορεί να επιτύχει θλιπτική αντοχή μέχρι και 20 MPa, που είναι αρκετή για να υποστηρίξει βαριά οχήματα, όπως πυροσβεστικά. Εκτός από χώρους στάθμευσης οχημάτων και δρόμους χαμηλής κυκλοφορίας, το διαπερατό σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πεζοδρόμια, μονοπάτια και τοίχους αντιστήριξης.

Το έτοιμο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται και ως *μονωτικό υλικό* στην δόμηση. Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει σύμπλεξη τεμαχίων ή πλακών άκαμπτου αφρού που συναρμολογούνται στο εργοτάξιο αντί για ξύλο ή χάλυβα. Ο οπλισμός προστίθεται και το σκυρόδεμα τοποθετείται στις κοιλότητες τις κατασκευής ενώ ο αφρός παραμένει στο σημείο που τοποθετήθηκε. Αυτός ο τύπος κατασκευής προσφέρει σημαντικά θερμικά πλεονεκτήματα. Τοιχοποιία που φτιάχτηκε με αυτόν τον τρόπο μπορεί να αποκτήσει μονωτική αξία περίπου R-20. Επιπροσθέτως, επιτρέπουν ελάχιστη έως καθόλου διείσδυση αέρα καθώς διαμορφώνουν μια συμπαγή κατασκευή στο κτήριο ενώ ταυτόχρονα εξουδετερώνουν τον εξωτερικό θόρυβο. Τέλος, η θερμική μάζα του σκυροδέματος μετριάξει τις αυξομειώσεις της

εξωτερικής θερμοκρασίας. Η μονωτική αξία, η αδιαπέρατη από αέρα κατασκευή και η θερμική μάζα οδηγούν σε συνδυασμό σε μονωτική αξία περίπου R-40.

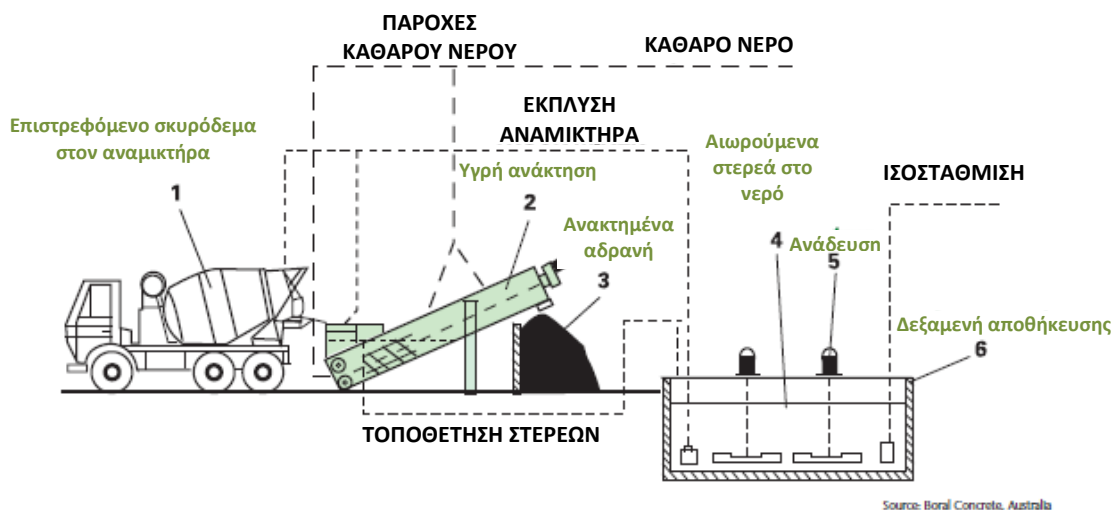
Το *κυλινδρούμενο σκυρόδεμα* είναι ένα υλικό του οποίου η ιδιαιτερότητα έγκειται στον τρόπο τοποθέτησής του. Αποτελείται από τα ίδια υλικά με το κλασσικό σκυρόδεμα (λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα αδρανή, τσιμέντο, νερό και πρόσμικτα) αλλά σε ένα στεγνότερο ανάμικμα. Κρίσιμα σημεία για οικονομική κατασκευή με αυτήν την μέθοδο είναι η μεγάλη χωρητικότητα και η αποδοτική ανάμιξη αυτού του σκυροδέματος. Όταν απλώνεται, συνήθως σε ασφαλτώδες υπόστρωμα, το κυλινδρούμενο σκυρόδεμα είναι επαρκώς δυνατό ώστε να στηρίξει και να συμπιεστεί από δονούμενους κυλίνδρους. Πρόκειται για ένα σκυρόδεμα υψηλής αντοχής που μπορεί να κατασκευαστεί χωρίς αρμούς διαστολής ή χαλύβδινο οπλισμό. Χρησιμοποιείται ευρέως σε πεζοδρομήσεις υψηλού φορτίου παρά το ότι δημιουργήθηκε αρχικά για την κατασκευή φραγμάτων. Πλέον εφαρμόζεται σε λιμάνια, φράγματα, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, χώρους στάθμευσης και

αποθήκευσης, διασταυρώσεις δρόμων και δρόμους χαμηλής ταχύτητας. [4.1]

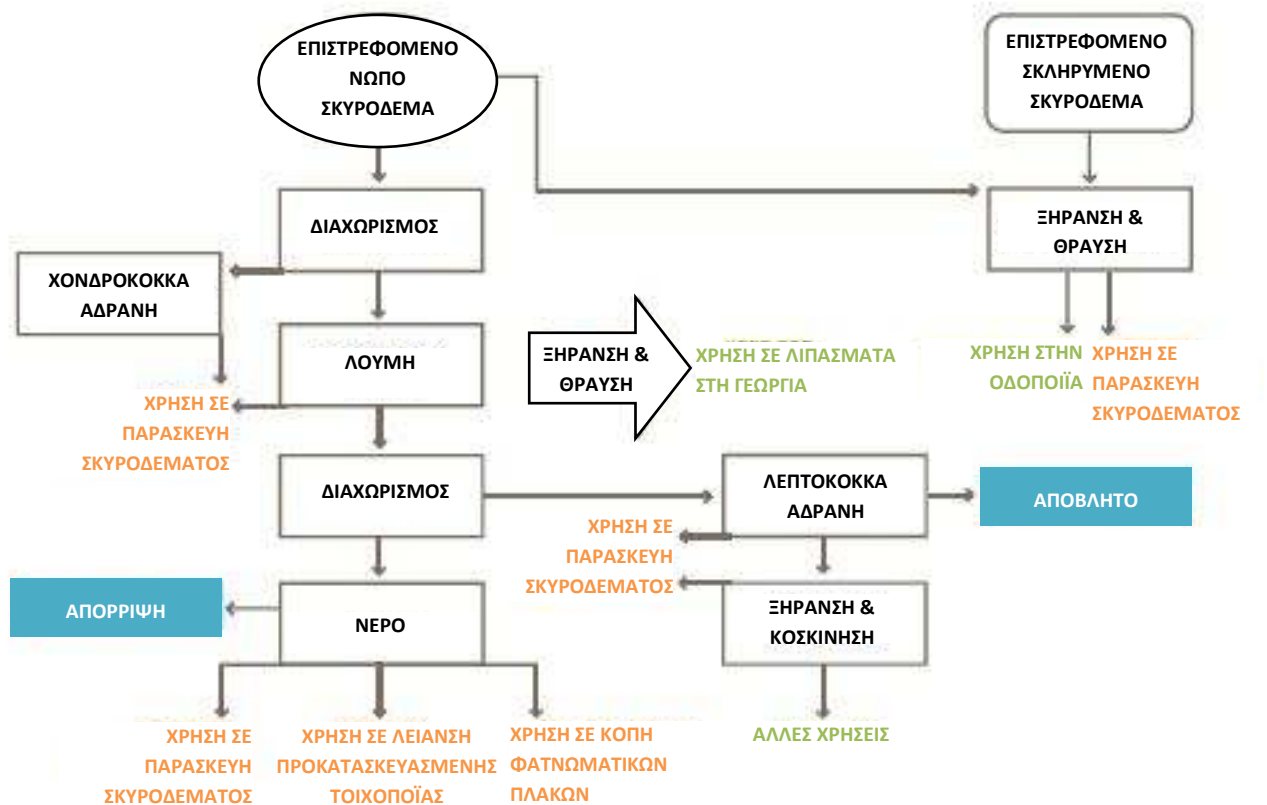
4.4. ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ

4.4.1. ΕΠΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το επιστρεφόμενο σκυρόδεμα είναι η αχρησιμοποίητη ποσότητα έτοιμου σκυροδέματος που επιστρέφει στην μονάδα στο εσωτερικό του οχήματος μεταφοράς ως περισσευούμενο υλικό. Αυτό μπορεί να είναι μικρές ποσότητες σκυροδέματος που περίσσεψαν και παρέμειναν στον πυθμένα των κάδων των οχημάτων ή αρκετά μεγαλύτερες ποσότητες που δεν χρησιμοποιήθηκαν από τον πελάτη στο εργοτάξιο. Σε γενικές γραμμές η ποσότητα απορριπτόμενου σκυροδέματος που προκύπτει από παραδόσεις έτοιμου σκυροδέματος μπορεί να είναι πολύ χαμηλή όπως 0.4-0.5% της συνολικής παραγωγής· η ποσότητα αυτή είναι αναπόφευκτη καθώς στα οχήματα πάντοτε προβλέπεται περίσσεια σκυροδέματος ώστε να ολοκληρωθεί σε κάθε περίπτωση η προβλεπόμενη σκυροδέτηση. Σε περιόδους μεγάλου φόρτου εργασίας, όταν η πίεση παραγωγής είναι μεγαλύτερη, αυτή η ποσότητα μπορεί να αυξηθεί στο 5-9%.



Εικόνα 4.3. Συνήθης διαδικασία ανάκτησης επιστρεφόμενου σκυροδέματος



Εικόνα 4.4. Ανακύκλωση φρέσκου και σκληρυμένου σκυροδέματος

Η απορριπτόμενη ποσότητα μπορεί να ανακτηθεί με έκπλυση και επαναχρησιμοποίηση στην παραγωγή σκυροδέματος ή, εάν έχει ήδη σκληρυνθεί, μπορεί να θραυτεί και να επαναχρησιμοποιηθεί ως αδρανές.

Οι περισσότεροι καθαρισμοί γίνονται με υγρή έκπλυση όπως φαίνεται στην **εικόνα 4.3**. Σε κάποιες περιπτώσεις εφαρμόζεται «ξηρή έκπλυση» πριν από αυτήν την διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει μία πρότερη ανάμιξη του επιστρεφόμενου σκυροδέματος με αμιγή αδρανή και στην συνέχεια το μείγμα επιστρέφει στον σορό των αδρανών για χρήση σε νέο σκυρόδεμα. Τα περισσότερα αδρανή που παρασκευάζονται από σκληρυμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές άλλες από την παραγωγή νέου σκυροδέματος. Εάν οι επιστρεφόμενες ποσότητες είναι υψηλές, είναι συνήθης πρακτική να αφήνονται να σκληρύνουν, να θραυτούν και να χρησιμοποιούνται σε επιχωματώσεις. Σε κάποιες περιπτώσεις, αν το σκυρόδεμα είναι ακόμη σε νωπή μορφή, παρασκευάζονται κύβοι

προκατασκευασμένου σκυροδέματος (concrete blocks), οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην μονάδα, να δωριστούν σε τοπικά δημοτικά έργα ή να πωληθούν.

Μόλις το σκυρόδεμα αναμιχθεί πρέπει να χρησιμοποιηθεί μέσα σε λίγες ώρες. Τα οχήματα μεταφοράς έτοιμου σκυροδέματος με περιστρεφόμενους κάδους (μπετονιέρες) μπορούν να το κρατήσουν ρευστό αλλά μόνο για περιορισμένο χρόνο. Πολλές εταιρίες χρησιμοποιούν συστήματα πλοήγησης (GPS systems) στα οχήματα που συνδέονται με ένα κεντρικό σταθμό ελέγχου ώστε το όχημα του σκυροδέματος να ανακατευθύνεται σύμφωνα με τις αλλαγές στις παραγγελίες και οι απορριπτόμενες ποσότητες να ελαχιστοποιούνται. Στο Μεξικό η εφαρμογή αυτού του συστήματος σε μία εταιρία μείωσε τον χρόνο παράδοσης από 3 ώρες σε 20 λεπτά. [4.2, 4.3]

4.4.2. ΝΕΡΟ ΈΚΠΛΥΣΗΣ

4.4.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Το επιστρεφόμενο σκυρόδεμα των οχημάτων μεταφοράς διαχωρίζεται με εκπλύσεις σε χονδρόκοκκα αδρανή και σε τσιμεντολάσπη που στην βιομηχανική πρακτική ονομάζεται λούμη. Η λάσπη αυτή διαχωρίζεται περαιτέρω σε στερεά σωματίδια και νερό μέσα σε δεξαμενές καθίζησης όπου γίνεται η συλλογή του νερού.

Το νερό ανακτάται από διάφορες πηγές όπως από εκπλύσεις των αναμικτήρων σκυροδέματος, των μεταφορικών ταινιών και των τυμπάνων των φορτηγών σκυροδέματος, από τον διαχωρισμό του επιστρεφόμενου σκυροδέματος καθώς και από θραύση, άλεση και έκπλυση σκληρυμένου σκυροδέματος. Περιέχει διάφορες ποσότητες πολύ λεπτών σωματιδίων μεγέθους μικρότερου από 250 μ m.[4.4]

Στην βιομηχανία έτοιμου σκυροδέματος υπολογίζεται ότι καταναλώνονται περισσότερα από 1,000 λίτρα νερού για την έκπλυση ενός οχήματος μεταφοράς σκυροδέματος, την ίδια στιγμή που σε παγκόσμιο επίπεδο είναι διαθέσιμα 7 δισεκατομμύρια λίτρα νερού ετησίως. Τα τελευταία χρόνια έχουν θεσπιστεί αυστηρότερα μέτρα σχετικά με την ανακύκλωση του νερού έκπλυσης του εξοπλισμού της βιομηχανίας έτοιμου σκυροδέματος, σύμφωνα με τα οποία τα αδρανή και η τσιμεντολάσπη (λούμη) πρέπει να ανακτώνται και να χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδέματος.

Στο τέλος μίας ημέρας το όχημα μεταφοράς και ανάμιξης σκυροδέματος μπορεί να περιέχει επιστρεφόμενο σκυρόδεμα που φτάνει μέχρι και τα 280kg. Η μεγαλύτερη ποσότητα νερού μετά την έκπλυση του οχήματος απορρίπτεται στο περιβάλλον. Αυτό δημιουργεί και πάρα πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα. Μία νέα προσέγγιση που έχει προταθεί ώστε να μειωθούν ή και να μηδενιστούν οι ποσότητες νερού που χρειάζονται για την έκπλυση των οχημάτων είναι η ανάκτηση της ποσότητας του σκυροδέματος που είναι

προσκολλημένη στο τύμπανο του οχήματος χωρίς την ανάγκη έκπλυσής του με νερό. Με αυτή την μέθοδο ένας σταθεροποιητής προστίθεται στο σκυρόδεμα ώστε να επιβραδυνθεί η περαιτέρω ενυδάτωση. Αυτό το πρόσθετο ενδεχομένως να περιέχει καρβοξυλικό οξύ και υλικά που έχουν ως βάση τους τον φώσφορο. Την επόμενη μέρα προστίθεται ενεργοποιητής ο οποίος εξουδετερώνει την επιβραδυντική δράση. Εν συνεχεία το σκυρόδεμα διαστρώνεται και αναπτύσσει αντοχές στο εύρος των φυσιολογικών. Άλλες ιδιότητες δεν επηρεάζονται από τη διαδικασία.

Το νερό έκπλυσης παρουσιάζει συχνά pH κοντά στο 13 και όπως είναι φυσικό δεν μπορεί να αποστραγγίζεται στον υδροφόρο ορίζοντα ως έχει. Προκειμένου να επαναχρησιμοποιηθεί το νερό έκπλυσης πρέπει να γίνει διαχωρισμός ανάμεσα σε καθαρό νερό, κατάλληλο για την παρασκευή νέου σκυροδέματος, και νερό που παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε λάσπη (λούμη ή sludge). Η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε σε μία μηχανική δεξαμενή συμπύκνωσης είτε σε μία φυσική δεξαμενή κάθισης. Το νερό που είναι πλούσιο σε λούμη (sludge) περιέχει μία μεγάλη ποσότητα τσιμέντου -ενυδατωμένου και μη- και πολύ λεπτών αδρανών σωματιδίων.

Σύμφωνα με την έκθεση της Forintek [4.5], η ποσότητα νερού έκπλυσης που χρησιμοποιείται για την παρασκευή ενός κυβικού μέτρου σκυροδέματος, στις βιομηχανίες έτοιμου σκυροδέματος του Καναδά, κυμαίνεται από 41.6 έως 608.14 λίτρα, ανάλογα με το είδος, της μονάδας παραγωγής του σκυροδέματος και την απόσταση από το σημείο εφαρμογής. Μικρότερη περιεκτικότητα νερού έκπλυσης, απαιτείται στις μονάδες που βρίσκονται κοντά σε αστικές περιοχές λόγω της μικρότερης απόστασης από τα εργοτάξια και της ύπαρξης κεντρικής γραμμής παραγωγής. Το ανακυκλωμένο νερό από την έκπλυση των φορτηγών, τα ανακτώμενα αδρανή, συλλέκτες υγρής παιπάλης και εργαστηριακές δεξαμενές καθίζησης στερεών χρησιμοποιούνται ήδη στην Ιαπωνία. Από έρευνα, της Εθνικής

Βιομηχανικής Ένωσης έτοιμου σκυροδέματος της Ιαπωνίας, προκύπτει ότι η μέση ποσότητα νερού έκπλυσης που αντιστοιχεί σε ένα κυβικό μέτρο σκυροδέματος στην Ιαπωνία είναι 200 λίτρα.[4.6, 4.7]

4.4.2.2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Ένα μέρος των μελετών που είναι σχετικές με την καταλληλότητα του ανακυκλωμένου νερού έκπλυσης οδήγησε σε σημαντικά ευρήματα ενώ σε άλλες μελέτες τα συμπεράσματα ήταν κάπως συγκεχυμένα. Ήδη από πολύ παλιά ο Abrams (1924) [4.8] πραγματοποίησε μία εκτενή σειρά δοκιμών. Παρήγαγε 6,000 δοκίμια σκυροδέματος και κονιαμάτων, όπου για την παρασκευή τους χρησιμοποίησε 68 διαφορετικά είδη νερού. Τελικά, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το φυσικό νερό και το νερό του δικτύου ύδρευσης, αυτό δηλαδή που χαρακτηρίζεται ως πόσιμο νερό, είναι κατάλληλο για την παρασκευή σκυροδέματος. Παρά το γεγονός ότι δεν χρησιμοποίησε ανακυκλωμένο νερό, η έρευνά του αυτή αποτελεί μία πρώτη προσέγγιση, διότι χρησιμοποίησε νερά διαφορετικής σύστασης που περιείχαν ακαθαρσίες, όπως νερό λιμνών, νερό με υψηλή περιεκτικότητα σε αλκάλια και θειικά ιόντα και νερό που περιείχε βιομηχανικά απόβλητα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν κρίθηκαν αρκετά ικανοποιητικά δεδομένου ότι σε ορισμένες περιπτώσεις οι θλιπτικές αντοχές των παραγόμενων δοκιμών ξεπέρασαν το 90% των αντοχών των δοκιμών που παρασκευάστηκαν με καθαρό νερό.

Το 1994 ο Borger [4.9] και η ομάδα του εξέτασαν τις αντοχές, τους χρόνους πήξης, την εργασιμότητα και την αντίσταση στα θειικά, κονιαμάτων τα οποία περιείχαν ποσότητες ανακυκλωμένου νερού έκπλυσης. Τα δοκίμια είχαν λόγο νερού προς τσιμέντο (w/c) 0.485 και λόγο αδρανών-τσιμέντου 1:2.75. Αναφέρθηκε ότι η «ηλικία» του νερού έκπλυσης είχε μεγάλη επίδραση στις αντοχές, αύξηση έως και 20%. Γενικά, αύξηση των αντοχών παρατηρήθηκε όταν το νερό προέρχονταν από εκπλύσεις που είχαν

γίνει μέχρι και 8 ώρες πριν την παρασκευή των δοκιμών, ενώ παράλληλα παρατηρήθηκε μείωση της εργασιμότητας και της διαπερατότητας. Αναφέρθηκε επίσης ότι η αντίσταση στα θειικά αυξάνει. Τα αποτελέσματα αυτά αποδίδονται στην αυξημένη περιεκτικότητα τσιμέντου των δοκιμών, εξαιτίας των αιωρούμενων σωματιδίων τσιμέντου στο νερό έκπλυσης. Μία έρευνα από τον Selih και την ομάδα του (1993)[4.10] (οι οποίοι παρήγαγαν τρεις παρτίδες σκυροδέματος σε Σλοβενική γραμμή παραγωγής χρησιμοποιώντας ανακυκλωμένο νερό και OPC, τα μίγματα είχαν λόγο w/c 0.4) καταλήγει στην εύρεση μειωμένων τιμών κάθισης και περιεκτικότητας αέρα για τα δοκίμια που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε λεπτά σωματίδια. Σε αντίθεση με το πόρισμα του Borger, ο Selih ανέφερε απώλειες έως 10% των αντοχών, ως αποτέλεσμα της χρήσης ανακυκλωμένου νερού. Οι Sandrolini και Franzoni (2001) [4.11] διερεύνησαν επίσης τη χρήση νερού έκπλυσης για ανάμιξη, σε μία μεσαίας παραγωγικότητας μονάδα έτοιμου σκυροδέματος, και κατέληξαν πως οι αντοχές 28 ημερών των δοκιμών που παρασκευάστηκαν με νερό έκπλυσης ήταν τουλάχιστον στο 96% των αντοχών των δοκιμών που παρασκευάστηκαν με καθαρό νερό. Τα μίγματα σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκαν είχαν λόγο w/c 0.57 και περιείχαν τσιμέντο τύπου CEM II/A-L 42.5R. Αναφέρθηκε επίσης μείωση της απορρόφησης νερού και του πορώδους, καθώς και πιθανή βελτίωση των αντοχών λόγω της χρήσης νερού έκπλυσης.

Ανάλογα με την προέλευση του νερού ή το είδος και την περιεκτικότητα των προσμίξεων που περιέχουν, κάποια είδη ανακυκλωμένου νερού μπορεί να μην είναι κατάλληλα για χρήση στη παραγωγή σκυροδέματος. Τέτοια ευρήματα αναφέρθηκαν από τον Kuosa (2005) [4.12] σε μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε με πέντε είδη νερού που περιείχαν απορρυπαντικά. Το ανακυκλωμένο νερό, που χρησιμοποιήθηκε σε περιεκτικότητες από 26 έως 100% στο νερό ανάμιξης δεν είχε καμία επίδραση στις αντοχές και

στο χρόνο πήξης του σκυροδέματος. Ωστόσο, η χρήση του επηρεάζει δυσμενώς τη δομή των κενών αέρα με αποτέλεσμα αρνητική επίδραση, κυρίως σε σκυροδέματα με μεγάλη ποσότητα περιεχόμενου αέρα. Το παραπάνω γεγονός συνδέεται άμεσα με την μείωση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος όσο αφορά την αντίσταση σε ψύξη ή και σε θέρμανση.

Η πιθανή χρήση νερού με υψηλή περιεκτικότητα σε λάσπη (λούμη ή sludge) έχει επίσης μελετηθεί με αποτελέσματα που μάλλον θεωρούνται αλληλοσυγκρουόμενα. Σκυροδέματα με λόγους w/c 0.5, 0.6 και 0.7 μελετήθηκαν από τους Chaatveera et al.[4.13] (2006) ως προς το ειδικό βάρος, την κάθιση, την αύξηση της θερμοκρασίας, τις θλιπτικές αντοχές, το μέτρο ελαστικότητας, τη συρρίκνωση και την επίθεση από οξέα. Αν και το ειδικό βάρος καθώς και η θερμοκρασία του νωπού σκυροδέματος δεν επηρεάζονται από το νερό υψηλής περιεκτικότητας σε λούμη, παρατηρείται μείωση της κάθισης και των αντοχών. Η μεγαλύτερη ποσότητα νερού που περιέχει λούμη (sludge) στο νερό ανάμιξης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συρρίκνωσης και της απώλειας βάρους που οφείλεται σε επίθεση από οξέα.[4.14]

4.5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[4.1] William M. Kelly (2011), *Mineral Industry of the State of New York*, New York State Museum Record 3 by the University of the State of New York, The State Education Department, Albany, New York

[4.2] The Cement Sustainability Initiative, (2009), *Recycling Concrete (Full report)*, Washington D.C., USA

[4.3] Cement Concrete & Aggregates Australia, (2007), *Use of Recycled Water in Concrete Production*, Sydney, Australia

[4.4] European Concrete Platform ASBL, (2009), *Sustainable Benefits of Concrete Structures*, Brussels, Belgium

[4.5] Forintek (1993), *Raw material balances, Energy profiles and Environmental unit factor estimates for cement and structural concrete products*, Part of Building Materials in the context of sustainable development series. Canada Centre for Mineral and Energy Technology and Radian Canada Inc. Canada. Toronto

[4.6] S. N. Ghosh, «Advances in Cement Technology: Chemistry, Manufacture and Testing second edition», Tech books international 2002.

[4.7] Federation International du Beton, 2004, «Environmental Design (State - of - art Report)», Lausanne, Switzerland

[4.8] Abrams, D A 1924. «Tests of impure waters for mixing concrete». *Proceedings, American Concrete Institute*, 20: 442–486

[4.9] Borger, J, Carrasquillo, R L, Fowler, D W 1994. «Use of recycled wash water and returned plastic concrete in the production of fresh concrete.» *Advanced Cement Based Materials*, 1: 442–486.

[4.10] Selih, J, Milost, E & Cuznar, A 2003. «Use of recycled rubble-based aggregate and recycled water in concrete.» *Proceedings, International Symposium on Recycling and Reuse of Waste Materials*, University of Dundee, Scotland, 9–11 September.

[4.11] Sandrolini, F & Franzoni, E 2001. «Waste wash water recycling in ready-mix concrete plants.» *Cement and Concrete Research*, 31: 485–489.

[4.12] Kuosa, H 2005. «Recycling of concrete, sludge and water in the concrete industry, *Proceedings*», 18th BIBM International Congress, 11–14 May, Amsterdam.

[4.13] Chatveera, B, Lertwattanakul, P & Makul, «N 2006. Effect of sludge water from ready-mix concrete plant on properties and durability of concrete.» *Cement and Concrete Composites*, 28: 441–450.

[4.14] S. O. Ekolū and A. Dawneerangen, "Evaluation of recycled water recovered from a ready-mix concrete plant for reuse in concrete", Journal Of The South African Institution Of Civil Engineering, October 2010, Paper 714.

5. ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Νερό ανάμιξης ονομάζεται το νερό που προστίθεται στο ανάμιγμα για την παραγωγή νωπού σκυροδέματος ανεξαρτήτως της πηγής που προέρχεται (δικτύου, γεώτρησης, έκπλυσης, κλπ). Η ποιότητα του νερού είναι σημαντική επειδή οι τυχόν προσμίξεις μπορεί να επηρεάσουν την πήξη του τσιμέντου, να δυσχεράνουν τις αντοχές του σκυροδέματος ή να προκαλέσουν εμφάνιση κηλίδων στην επιφάνειά του καθώς και να οδηγήσουν σε διάβρωση του οπλισμού. Για τους παραπάνω λόγους, η καταλληλότητα του νερού ανάμιξης και συντήρησης θα πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά. Πρέπει να γίνεται σαφής διάκριση μεταξύ των επιπτώσεων του νερού ανάμιξης και της επίδρασης σκληρών νερών στο σκληρυμένο σκυρόδεμα, και αυτό διότι ορισμένες φορές το σκληρό νερό μπορεί να είναι αβλαβές ή ακόμα και ευεργετικό αν χρησιμοποιείται στην ανάμιξη.[5.1, 5.16]

5.1. ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

Σε πολλές προδιαγραφές οι απαιτήσεις για το νερό ανάμιξης καλύπτονται από τους κανόνες που ισχύουν για το πόσιμο νερό.

Τέτοια είδη νερών περιέχουν σπάνια περισσότερα από 2000 διαλυμένα μέρη στερεών ανά εκατομμύριο (ppm), και κατά κανόνα λιγότερα από 1000 ppm. Για μία τιμή λόγου w/c 0.5, η αντίστοιχη περιεκτικότητα στερεών στο νερό θα πρέπει να είναι ίση με το 0.055 της μάζας του τσιμέντου, και επομένως η επίδραση των κοινών στερεών (θεωρούμε τα αδρανή) θα είναι μικρή. Εάν η περιεκτικότητα σε λάσπη, υπερβαίνει τα 2000 ppm, είναι δυνατόν αυτή η περιεκτικότητα να μειωθεί με την αποθήκευση του νερού σε μία δεξαμενή πριν τη χρήση όπου τα στερεά καθιζάνουν. Ωστόσο, το νερό έκπλυσης των οχημάτων ανάμιξης και μεταφοράς σκυροδέματος κρίνεται ικανοποιητικό ως νερό ανάμιξης (επειδή τα στερεά που περιέχει είναι κατάλληλα ως συστατικά σκυροδέματος), με την προϋπόθεση ότι πληρούνται αρχικά κάποιες συνθήκες. Το πρότυπο

ASTM C 94-05 [5.2] επιτρέπει τη χρήση του νερού έκπλυσης, με την προϋπόθεση ότι δεν πρέπει να προστίθενται διαφορετικού τύπου τσιμέντα και πρόσμικτα.

Το κριτήριο για τη καταλληλότητα του νερού δεν είναι απόλυτο, το πόσιμο νερό μπορεί να είναι ακατάλληλο ως νερό ανάμιξης εάν παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε νάτριο και κάλιο, καθώς υπάρχει κίνδυνος ευνοϊκών συνθηκών για την αντίδραση μεταξύ αλκαλίων και αδρανών.

Ενώ η χρήση του πόσιμου νερού είναι γενικά ασφαλής, νερά που δεν είναι κατάλληλα για κατανάλωση μπορεί συχνά να κρίνονται ικανοποιητικά για την παρασκευή σκυροδέματος. Κατά κανόνα ένα νερό με pH από 6 έως 8, το οποίο δεν έχει αλμυρή ή υφάλμυρη γεύση, είναι κατάλληλο για χρήση, ωστόσο, ένα νερό με δυσάρεστη μυρωδιά ή σκούρο χρώμα δεν σημαίνει απαραίτητα ότι περιέχει ουσίες επιβλαβείς για το σκυρόδεμα. Τα φυσικά νερά, τα οποία είναι ελαφρώς όξινα είναι αβλαβή, αλλά τα νερά που περιέχουν χουμικά ή άλλα οργανικά οξέα μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την διαδικασία σκλήρυνσης του σκυροδέματος, όπως το νερό υψηλής αλκαλικότητας, και πρέπει να ελέγχονται πριν την χρήση τους.

Στα παραπάνω μπορούν να γίνουν ορισμένα πρόσθετα σχόλια. Η παρουσία άλγης στο νερό ανάμιξης μπορεί να οδηγήσει στον εγκλωβισμό αέρα με αποτέλεσμα την απώλεια αντοχών. Η σκληρότητα του νερού δεν επηρεάζει την αποτελεσματικότητα των αερακτικών πρόσμικτων.

Μερικές φορές μπορεί να είναι δύσκολη η εύρεση επαρκών ποσοτήτων πόσιμου νερού και μόνο το υφάλμυρο νερό είναι διαθέσιμο, το οποίο περιέχει χλωριόντα και θειικά άλατα. Όσον αφορά την περιεκτικότητα χλωριόντων, ένα γενικό όριο των 500 mg/L συνίσταται από το πρότυπο BS 3148: 1980 [5.3], αλλά τα όρια που προτείνονται από τα πρότυπα EN 1008: 2002 [5.4] και ASTM C 1602-06 [5.5] ποικίλουν ανάλογα με τη χρήση του σκυροδέματος.

Ενίοτε ενδιαφέρει η χρήση του θαλασσινού νερού ως νερού ανάμιξης. Το θαλασσινό νερό έχει συνήθως μία αλατότητα περίπου 3,5% (το 75% των διαλυμένων στερεών είναι NaCl και το υπόλοιπο 15% είναι MgCl₂ και MgSO₄). Αυτού του είδους τα νερά οδηγούν σε μία ελαφριά αύξηση των πρωίμων αντοχών αλλά και σε μείωση των ύστερων αντοχών, η πτώση των αντοχών συνήθως δεν είναι μεγαλύτερη από 15% και για αυτό θεωρούνται ανεκτές. Οι επιδράσεις στο χρόνο πήξης δεν έχουν πλήρως αποσαφηνιστεί αλλά είναι ανεκτές εάν το θαλασσινό νερό που χρησιμοποιείται δεν επιδρά αρνητικά για τις αντοχές. Δοκιμές αντοχών και χρόνου πήξης απαιτούνται από τα Αγγλικά και τα Αμερικανικά πρότυπα.

Το θαλασσινό νερό (ή όποιο νερό περιέχει μεγάλες ποσότητες χλωριόντων) τείνει να προκαλέσει εξάνθιση αλάτων. Τέτοιου είδους νερά δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται όταν είναι σημαντική η εμφάνιση του σκυροδέματος ή όταν ακολουθεί επίχριση με σοβά.

Στην περίπτωση του οπλισμένου σκυροδέματος, η χρήση του θαλασσινού νερού στην ανάμιξη αυξάνει τον κίνδυνο διάβρωσης του οπλισμού. Η διάβρωση παρατηρείται κυρίως σε κατασκευές που εκτίθενται σε υγρό αέρα, όταν ο οπλισμός είναι εκτεθειμένος στο περιβάλλον ή το σκυρόδεμα έχει μεγάλο πορώδες, έτσι ώστε να εξυπηρετείται η διαβρωτική δράση των αλάτων με την παρουσία υγρασίας. Απεναντίας, όταν το οπλισμένο σκυρόδεμα βρίσκεται μόνιμως σε επαφή με το νερό, είτε θαλασσινό είτε πόσιμο, η χρήση θαλασσινού νερού στη ανάμιξη φαίνεται ότι δεν έχει παρενέργειες. Ωστόσο, στην πράξη, γενικά η χρήση θαλασσινού νερού στην ανάμιξη δεν ενδείκνυται.

Σε σχέση με το σύνολο των ακαθαρσιών στο νερό, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι μία άλλη πιθανή πηγή είναι η επιφανειακή υγρασία των αδρανών, η οποία μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό του συνολικού νερού ανάμιξης.

5.2. ΝΕΡΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Γενικά, το νερό που καλύπτει της προδιαγραφές της ανάμιξης είναι κατάλληλο και για την διαδικασία της συντήρησης. Ωστόσο, ο σίδηρος και τα οργανικά υλικά μπορούν να προκαλέσουν εμφάνιση κηλίδων, ιδιαιτέρως εάν το νερό ρέει έξω από το σκυρόδεμα και εξατμίζεται γρήγορα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο αποχρωματισμός είναι άνευ σημασίας, καθώς και κάθε νερό κατάλληλο για ανάμιξη ή ακόμα και ελαφρώς κατώτερης ποιότητας, είναι αποδεκτό για συντήρηση. Ωστόσο, είναι σημαντικό το νερό συντήρησης να είναι απαλλαγμένο από ουσίες που αντιδρούν επιβλαβώς για το σκληρυμένο σκυρόδεμα. Για παράδειγμα, το σκυρόδεμα δέχεται επίθεση από νερό που περιέχει ελεύθερο CO₂ το οποίο διαλύει το Ca(OH)₂ και προκαλεί επιφανειακή διάβρωση. Η συντήρηση με θαλασσινό νερό μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση του οπλισμού.[5.1]

5.2.1. ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΤΟ ΝΕΡΟ

Ένας απλός τρόπος για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας του νερού ανάμιξης είναι η σύγκριση του χρόνου πήξης του τσιμέντου και των αντοχών κυβικών δοκιμών κονιάματος που έχουν παρασκευαστεί πρώτα με το προς μελέτη νερό και ύστερα με απιονισμένο νερό, όπως ορίζεται από το πρότυπο EN 1008: 2002 [5.4], που απαιτεί: i) ο αρχικός χρόνος πήξης να μην είναι μικρότερος από 1 ώρα και να είναι εντός του 25% του αποτελέσματος με απιονισμένο νερό και ii) ο τελικός χρόνος πήξης να μην υπερβαίνει τις 12 ώρες και παράλληλα πρέπει να βρίσκεται εντός του ορίου 25%. Οι μέσες αντοχές πρέπει να είναι τουλάχιστον 90% των αντοχών των δοκιμών που έχουν παρασκευαστεί με απιονισμένο νερό. Αυτές οι απαιτήσεις μπορούν να συγκριθούν με το πρότυπο BS 3148: 1980 [5.3], το οποίο προτείνει για τους χρόνους πήξης μία ανοχή 30 λεπτών, σε σχέση με αυτά που ορίζει το πρώτο πρότυπο, και για τις αντοχές μία ανοχή περίπου 10%. Το πρότυπο ASTM C 1602-06[5.5] απαιτεί ο χρόνος πήξης να κυμαίνεται από 1 ώρα έως 1.5 το πολύ και όσο αφορά τις αντοχές πρέπει να είναι

τουλάχιστον το 90% των αντοχών των δοκιμών που έχουν παρασκευασθεί με απιονισμένο νερό.

Το αν θα εμφανιστούν ή όχι κηλίδες λόγω των προσμίξεων του νερού συντήρησης δεν μπορεί να καθοριστεί βάσει της χημικής ανάλυσης. Το ενδεχόμενο να εμφανιστούν πρέπει να ελέγχεται με τις κατάλληλες δοκιμές.[5.1]

5.3. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΝΕΡΟΥ

5.3.1. ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Η ορολογία αυτού του κεφαλαίου έχει υιοθετηθεί από την βιομηχανία νερού και από διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα σκυροδέματος όπως τα EN 1008 [5.4], ASTM C1602[5.5] και το AS 1379[5.6]. Ο όρος ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται για να περιγράψει νερό ανακυκλωμένο από την βιομηχανία νερού ενώ όροι όπως νερό έκπλυσης ή νερό που περιέχει τσιμεντολάσπη χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν ανακυκλωμένο νερό που έχει ανακτηθεί από διαδικασίες παρασκευής σκυροδέματος.

Πόσιμο νερό είναι το νερό που θεωρείται κατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση.

Ανακυκλωμένο νερό είναι το νερό που έχει ανακτηθεί από διαδικασίες παρασκευής σκυροδέματος ή νερό που έχει παραχθεί από υπονόμους, απόνερα ή συστήματα όμβριων υδάτων και έχει επεξεργαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι κατάλληλο για την εφαρμογή που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

Ανακτημένο νερό είναι το επεξεργασμένο ανακυκλωμένο νερό που προμηθεύεται από αρχές τροφοδοσίας νερού για οικιακή, αγροτική και βιομηχανική χρήση.

Απόνερα (Greywater) είναι τα λύματα από νιπτήρες, ντουζιέρες, μπάνια, πλυντήρια και κουζίνες. Τα απόνερα είναι συχνά μολυσμένα με ανθρώπινα περιττώματα, χώμα ή άλλα υλικά, αλλά σε μικρότερο βαθμό από τα νερά

αποχέτευσης και θεωρούνται έτσι λιγότερο μολυσματικά.

Νερά αποχέτευσης (Blackwater) είναι λύματα που προέρχονται από τουαλέτες και είναι ισχυρά και άμεσα μολυσμένα από ανθρώπινα περιττώματα και/ή ούρα ενώ μπορεί να περιέχουν μολυσμένο στερεό υλικό όπως χαρτί υγείας. Αυτού του είδους λύματα είναι ισχυρώς μολυσματικά.

Νερά υπονόμου είναι ένα συνδυασμός greywater και blackwater και είναι επίσης ισχυρώς μολυσματικά.

Νερό από διαδικασίες παρασκευής σκυροδέματος είναι το νερό που ανακτάται από τις διαδικασίες παρασκευής σκυροδέματος και περιέχει νερό έκπλυσης από αναμικτήρες ή νερό περιεχόμενο στο ανάμιγμα σκυροδέματος, νερό που συλλέγεται στις δεξαμενές του νερού από υπερχειλίση όμβριων υδάτων στην μονάδα παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος ή νερό που περιέχει ποσότητες από συστατικά σκυροδέματος.

Νερό έκπλυσης είναι το διαυγασμένο νερό που ανακτάται από τις εκπλύσεις των αναμικτήρων.

Νερό που περιέχει τσιμεντολάσπη είναι ένα μείγμα τσιμεντολάσπης ή λούμης που συλλέγεται από τον πυθμένα των δεξαμενών καθίζησης και καθαρού νερού που προέρχεται από σύστημα αποθήκευσης νερού από διαδικασίες παρασκευής σκυροδέματος.

Συνδυασμένο νερό είναι ένα μείγμα δύο ή περισσότερων πηγών νερού που αναμίχθηκαν πριν ή κατά την διάρκεια εισαγωγής τους στο ανάμιγμα, για την χρήση νερού ανάμιξης για την παραγωγή σκυροδέματος.

5.3.2. ΑΠΟΔΕΚΤΟ ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, οι βασικοί παράγοντες σε σχέση με την ποιότητα του νερού ανάμιξης είναι αυτοί που σχετίζονται με την επίδραση στην εργασιμότητα, τις αντοχές και την ανθεκτικότητα. Επιπροσθέτως, πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν ζητήματα υγιεινής και ασφάλειας για την

ασφαλή διαχείριση τέτοιων ποιοτήτων νερού. Η καταλληλότητα του νερού μπορεί να προσδιοριστεί από παλαιότερα αρχεία ή από μετρήσεις της απόδοσης του σκυροδέματος σε ιδιότητες όπως χρόνου πήξης ή θλιπτικές αντοχές. Τα όρια τίθενται στην συμβολή του νερού ανάμιξης στο συνολικό ποσοστό αλκαλίων, χλωριόντων και θειικών ιόντων όλων των συστατικών του σκυροδέματος ώστε να ελέγχεται η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Βιολογική επεξεργασία και μείωση των παθογόνων οργανισμών γίνεται για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια στον χειρισμό του ανακτημένου νερού.

Υπάρχουν περιορισμένες πληροφορίες για την ποιότητα του νερού που είναι αποδεκτό για χρήση ως νερό ανάμιξης σκυροδέματος. Οι επιτρεπόμενες ακαθαρσίες που είναι αποδεκτές στο νερό ανάμιξης καταρτίζονται σε παλαιότερη βιβλιογραφία όπως Abrams², Steinour³, Kuhl⁴ και Neville⁵. Κάποια από αυτά τα όρια αντικατοπτρίζονται σε σύγχρονα πρότυπα που επιτρέπουν την χρήση ανακυκλωμένου νερού ή νερού από διαδικασίες παρασκευής σκυροδέματος. Πρόσφατη βιβλιογραφία όπως Lobo and Mullings [5.7] και Cebeci and Saatci [5.8] εστιάζει στην χρήση νερού από διαδικασίες παρασκευής σκυροδέματος και μερικώς επεξεργασμένο νερό αποχέτευσης.

5.4. ΌΡΙΑ ΠΡΟΣΜΙΞΕΩΝ

Ο Steinour³ πρότεινε τον ακόλουθο οδηγό για τα όρια των προσμίξεων στο νερό ανάμιξης σκυροδέματος.

- Το φυσικό φρέσκο νερό σπάνια περιέχει περισσότερο από 2000 ppm (0.2%) από διαλυμένα στερεά και είναι γενικά κατάλληλο για νερό ανάμιξης
- Μολυσμένο νερό από βιομηχανικά απόβλητα αλλά χωρίς την παρουσία αιωρούμενων στερεών μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε χαμηλές συγκεντρώσεις.
- Αρκετά περισσότερες ποσότητες προσμίξεων στο φυσικό νερό είναι αποδεκτές εκτός από

την περίπτωση των ανθρακικών και διττανθρακικών αλάτων αλκαλίων, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν το σκυρόδεμα σε μεγάλο βαθμό ακόμα και σε περιεκτικότητες μικρότερες από 2000 ppm.

- Άλλες ανόργανες προσμίξεις βιομηχανικής προέλευσης που μπορεί να επηρεάζουν σε μικρές συγκεντρώσεις είναι τα ιόντα θείου, ιωδίου, φώσφορου, αρσενικού, βορίου καθώς και ενώσεις μολύβδου, ψευδαργύρου, χαλκού, κασσιτέρου και μαγγανίου.
- Οργανικές διαλυμένες ουσίες είναι επίσης ανεπιθύμητες, ιδιαίτερως η ζάχαρη.
- Το θαλασσινό νερό, παρά το ότι έχει 3.5% διαλυμένα στερεά, παράγει σκυρόδεμα με καλές πρώιμες αντοχές, αλλά συχνά κάπως μειωμένες ύστερες αντοχές. Ο κίνδυνος διάβρωσης ενσωματωμένου μετάλλου περιορίζει την χρήση θαλασσινού νερού σε οπλισμένα σκυροδέματα.

Πίνακας 5.1. Επίδραση προσμίξεων νερού ανάμιξης στις βασικές ιδιότητες σκυροδέματος

Πρόσμιξη	Επίδραση
Έλαια, λίπη και απορρυπαντικά	Πιθανή παγίδευση αέρα
Χλωριούχο ασβέστιο και άλλα άλατα ασβεστίου	Πιθανότητα επιτάχυνσης πήξης
Ζάχαρη, αλάτι ή ψευδάργυρος, μόλυβδος και άλλες ανόργανες και οργανικές ουσίες	Πιθανότητα επιβράδυνσης πήξης
Χλωριόντα	Ισχυρή πιθανότητα διάβρωσης οπλισμού

Ο Steinour [5.9] δεν αποπειράθηκε να επινοήσει μία γενική σύνοψη ή πινακοποίηση των ανώτατων ορίων των προσμίξεων καθώς θεώρησε τις πληροφορίες ανεπαρκείς. Ως επί το πλείστον τα δεδομένα του αφορούσαν μόνο θλιπτικές αντοχές. Η επίδραση σε μη διερευνημένες ιδιότητες όπως η εργασιμότητα, η σταθερότητα όγκου σε βάθος χρόνου και η τάση για εμφάνιση εξανθημάτων ήταν άγνωστη. Οι Ryan και Samarin [5.10] κατέληξαν στις γενικές επιδράσεις των προσμίξεων του νερού ανάμιξης στις ιδιότητες του

σκυροδέματος όπως παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.1**.

Ο Netterberg [5.11] ανέφερε ότι συνολικά οι επιβλαβείς ουσίες που μπορεί να εμφανιστούν σε νερό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή μπορεί να είναι χλωριούχο νάτριο (NaCl), θειικό νάτριο (Na_2SO_4) και θειικό μαγνήσιο (MgSO_4), λιγότερο συχνά συναντώνται το όξινο ανθρακικό νάτριο (NaHCO_3) και το ανθρακικό νάτριο (Na_2CO_3) και σπάνια το χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2), το χλωριούχο μαγνήσιο (MgCl_2) και νιτρικά ιόντα. [5.12]

5.5. ΠΡΟΤΥΠΑ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑΜΙΞΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Στις μονάδες έτοιμου σκυροδέματος τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα ακολουθούνται οι προδιαγραφές προτύπων για το νερό ανάμιξης παραγωγής σκυροδέματος. Στις ευρωπαϊκές μονάδες ακολουθείται το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 1008 (2002) [5.4] σε αντίθεση με την Ελλάδα όπου ακολουθείται ο ελληνικός κανονισμός ΕΛΟΤ 345 (1979)[5.13]. Παρά το γεγονός ότι οι ελληνικές μονάδες έτοιμου σκυροδέματος καλούνται πλέον να εφαρμόζουν το ευρωπαϊκό πρότυπο EN206-1 που δημοσιεύτηκε το 2000 και αφορά συνολικά στο σκυρόδεμα (προδιαγραφές, επιτελεστικότητα, παραγωγή και συμμόρφωση - Concrete: Specification, performance, production & conformity) το οποίο συμπεριλαμβάνει το προαναφερθέν EN 1008 όσον αφορά τις προδιαγραφές του νερού ανάμιξης, ο ισχύων και εφαρμοζόμενος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ 1997)[5.14] περιορίζει τις ελληνικές μονάδες στην εφαρμογή του ΕΛΟΤ 345. Ακολουθεί η ανάλυση των δύο προτύπων.

5.5.1. ΕΛΟΤ 345: 1979

«Το ύδωρ αναμίξεως και συντηρήσεως Σκυροδέματος»[5.13]

Το πλήρες κείμενο του προτύπου δίνεται στο Παράρτημα Α. Οι βασικές προδιαγραφές του προτύπου παρατίθενται στον **Πίνακα 5.2** όπου

ισχύουν για τις διάφορες κατηγορίες σκυροδέματος τα εξής:

Προεντεταμένο σκυρόδεμα: Πρέπει να πληρούνται οι απαιτήσεις της στήλης (α) και σε περίπτωση που μία ή περισσότερες βλαπτικές ουσίες ξεπερνούν αυτό το ποσοστό πρέπει να τηρούνται οι απαιτήσεις της στήλης (β) ενώ ταυτόχρονα υπάρχει μακροχρόνια πείρα αναμφισβήτητης ικανοποιητικής συμπεριφοράς με την συγκεκριμένη πηγή νερού και η θλιπτική αντοχή προεντεταμένου σκυροδέματος κατασκευασμένου με χρήση του συγκεκριμένου νερού σε ηλικίες 7 ημερών, 28 ημερών και 6 μηνών δεν υπολείπεται περισσότερο από 10% της θλιπτικής αντοχής αντίστοιχου σκυροδέματος το οποίο κατασκευάστηκε με πόσιμο νερό.

Σιδηροπαγές Σκυρόδεμα ή άοπλο σκυρόδεμα ειδικών απαιτήσεων: Εάν τα ποσοστά μιας ή περισσότερων βλαπτικών ουσιών που περιγράφονται είναι μεγαλύτερα των ποσοστών της στήλης (α) αλλά όχι μεγαλύτερα εκείνων της στήλης (β), επιτρέπεται η χρήση του συγκεκριμένου νερού, υπό τον όρο ότι υπάρχει μακρόχρονη πείρα αναμφισβήτητης ικανοποιητικής συμπεριφοράς με χρήση του συγκεκριμένου νερού ή στην περίπτωση που υπάρχει έλλειψη τέτοιας πείρας, υπό τον όρο ότι η θλιπτική αντοχή σιδηροπαγούς σκυροδέματος κατασκευασμένου με χρήση του συγκεκριμένου νερού σε ηλικίες 7 ημερών, 28 ημερών και 6 μηνών δεν υπολείπεται περισσότερο από 10% της θλιπτικής αντοχής αντίστοιχου σκυροδέματος το οποίο κατασκευάστηκε με πόσιμο νερό.

Άοπλο σκυρόδεμα χωρίς ειδικές απαιτήσεις: Επιτρέπεται η χρήση του συγκεκριμένου νερού, υπό τον όρο ότι υπάρχει μακρόχρονη πείρα αναμφισβήτητης ικανοποιητικής συμπεριφοράς στη χρήση του για την κατασκευή άοπλου σκυροδέματος, καθώς και σε περίπτωση που πληρούνται οι απαιτήσεις της στήλης (β) ή εφόσον η θλιπτική αντοχή άοπλου σκυροδέματος κατασκευασμένου με χρήση του συγκεκριμένου νερού σε ηλικίες 7 ημερών, 28 ημερών και 6

μηνών δεν υπολείπεται περισσότερο από 10% της θλιπτικής αντοχής αντίστοιχου σκυροδέματος το οποίο κατασκευάστηκε με πόσιμο νερό.

Πίνακας 5.2. Όρια Βλαπτικών Ουσιών (ΕΛΟΤ 345)

Α/Α	Ιδιότητες-Συστατικά	Όρια (ppm)	
		“α”	“β”
1	Ολική οξύτητα, εκφρασμένη σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), μετρούμενη ως προς δείκτη φαινολοφθαλείνης	100 ^(a)	500 ^(b)
2	Ολική αλκαλικότητα, εκφρασμένη σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), μετρούμενη ως προς δείκτη ηλιανθίνης	500 ^(c)	-
3	Ανόργανα Στερεά (άοπλο και σιδηροπαγές σκυρόδεμα)	3000	15000
4	Ανόργανα Στερεά (προεντεταμένο σκυρόδεμα)	800	800
5	Οργανικά Στερεά	200	500
6	Θειικά άλατα, εκφρασμένα σε θειικό νάτριο (Na_2SO_4), για άοπλο και σιδηροπαγές σκυρόδεμα	1500	3000
7	Θειικά άλατα, εκφρασμένα σε θειικό νάτριο (Na_2SO_4), για προεντεταμένο σκυρόδεμα	400	400
8	Χλωριούχα άλατα, εκφρασμένα σε χλωριούχο νάτριο (NaCl), για άοπλο και σιδηροπαγές σκυρόδεμα	2000	15000
9	Χλωριούχα άλατα, εκφρασμένα σε χλωριούχο νάτριο (NaCl), για προεντεταμένο σκυρόδεμα	400	400
10	Υπερμαγγανικό κάλιο (KMnO_4), μόνο για οπλισμένο σκυρόδεμα	50	100
11	Λιπαρές και σακχαρώδεις ουσίες	Εντελώς απαλλαγμένο	

(a) Για την πρώτη διερεύνηση καταλληλότητας γίνεται να γίνει χρήση μέτρησης pH, οπότε το αντίστοιχο κατώτερο όριο είναι 6.

(b) Ομοίως με πιο πάνω με κατώτερο όριο pH=5

(c) Ομοίως με πιο πάνω με κατώτερο όριο pH=9.

5.5.2. EN 1008: 2002

«Νερό αναμίξεως σκυροδέματος-Διασάφιση για τη δειγματοληψία, τον έλεγχο και την αξιολόγηση της καταλληλότητας του νερού, συμπεριλαμβανομένου και του νερού που ανακτάται από διάφορες διεργασίες στην βιομηχανία σκυροδέματος, ως νερού αναμίξεως»[5.4]

Στον **Πίνακα 5.3** παρουσιάζονται τα όρια του προκαταρκτικού ελέγχου.

Σε περίπτωση που το νερό δεν πληροί τις προϋποθέσεις του προαναφερθέντος πίνακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφόσον: i) Ο αρχικός χρόνος πήξης των δοκιμών σκυροδέματος παρασκευασμένου με το υπό δοκιμή νερό δεν υπερβαίνει τη 1 ώρα και δεν υπολείπεται περισσότερο από 25% από τον χρόνο αρχής πήξης αντίστοιχου σκυροδέματος το οποίο κατασκευάστηκε με αποσταγμένο ή απιονισμένο νερό. ii) Ο χρόνος τέλους πήξης δεν υπερβαίνει τις 12 ώρες και δεν υπολείπεται περισσότερο από 25% από τον χρόνο τέλους πήξης αντίστοιχου σκυροδέματος το οποίο κατασκευάστηκε με αποσταγμένο ή απιονισμένο νερό. Iii) Η μέση θλιπτική αντοχή σε δοκίμια σκυροδέματος ή ασβεστοκονιάματος 7 ημερών, είναι τουλάχιστον στο 90% της μέσης θλιπτικής αντοχής αντίστοιχου σκυροδέματος ή ασβεστοκονιάματος τα οποία κατασκευάστηκαν με αποσταγμένο ή απιονισμένο νερό.

Πίνακας 5.3. Απαιτήσεις προκαταρκτικού ελέγχου για το νερό ανάμιξης

Απαιτήσεις	
1	Λιπαρές και Ίχνη σακχαρώδεις ουσίες
2	Απορρυπαντικά Σε περίπτωση αφρού, αυτός πρέπει να εξαφανιστεί σε 2 λεπτά
3	Χρώμα Για όλα τα νερά εκτός από νερό που ανακτάται από διαδικασίες παρασκευής σκυροδέματος: Το χρώμα πρέπει να είναι υποκίτρινο
4	Αιωρούμενα σωματίδια <4ml ιζήματος
5	Οσμή Νερό που ανακτάται από διαδικασίες παρασκευής σκυροδέματος: Καμία οσμή, εκτός αν είναι ίδια με του πόσιμου νερού και ελαφριά μυρωδιά τσιμέντου. Αν είναι παρούσα σκωρία υψικαμίνου, επιτρέπεται ελαφριά οσμή υδρόθειου. Νερό από άλλες πηγές: Καμία οσμή, εκτός αν είναι ίδια με του πόσιμου νερού. Καμία οσμή υδρόθειου μετά την προσθήκη υδροχλωρικού οξέως
6	Οξέα pH≥4
7	Οργανική Ύλη Το χρώμα πρέπει να αξιολογείται ποιοτικά ως κιτρινωπό καφέ, μετά την προσθήκη υδροξειδίου του νατρίου(NaOH)

Στους Πίνακες 5.4 και 5.5 παρουσιάζονται τα όρια για τα χλωριόντα και άλλων χημικών ουσιών αντίστοιχα.

Πίνακας 5.4. Μέγιστη ποσότητα χλωριόντων στο νερό ανάμιξης

Τελική Χρήση	Μέγιστη περιεκτικότητα σε χλωριόντα (mg/L)
Προεντεταμένο Σκυρόδεμα	500
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	1000
Άοπλο Σκυρόδεμα	4500

Πίνακας 5.5. Ποσοτικά όρια επιβλαβών ουσιών

Επιβλαβής Ουσία	Μέγιστη επιτρεπτή ποσότητα(mg/L)
Σάκχαρα	100
Φωσφορικά: εκπεφρασμένα ως P ₂ O ₅	100
Νιτρικά: εκπεφρασμένα ως NO ₃ ⁻	500
Μόλυβδος (Pb ²⁺)	100
Ψευδάργυρος (Zn ²⁺)	100
Θειικά (SO ₄ ²⁻)	2000
Οξείδιο του Νατρίου (Na ₂ O)	1500

Το πρότυπο επίσης προβλέπει οδηγίες για τη χρήση του νερού που ανακτάται από διάφορες διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος στην παρασκευή νέου σκυροδέματος και περιλαμβάνει τα εξής:

Όροι και διευκρινίσεις

Το νερό που ανακτάται από διάφορες διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος περιλαμβάνει:

- Νερό το οποίο ανακτάται από υπολείμματα σκυροδέματος
- Νερό το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον καθαρισμό υπολειμμάτων σκυροδέματος από φορτηγά, αναμικτήρες, αναδευτήρες και αντλίες σκυροδέματος
- Νερό πριονίσματος, λείανσης ή αναβλύζων από σκληρυμένο σκυρόδεμα
- Νερό από παραγόμενο νωπό σκυρόδεμα

Το νερό αυτό μπορεί να αναχθεί από:

- δεξαμενές εξοπλισμένες με αναδευτήρες ούτως ώστε τα στερεά να κατανέμονται εξίσου σε όλη την ποσότητα του νερού
- δεξαμενές καθίζησης

Περιορισμοί

Το νερό που ανακτάται από διάφορες διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος (αυτούσιο ή σε ανάμιξη με νερό από άλλες πηγές) μπορεί να

χρησιμοποιηθεί ως νερό ανάμιξης για την παρασκευή οπλισμένου ή άοπλου σκυροδέματος, καθώς και για την παραγωγή προεντεταμένου σκυροδέματος εφόσον πληροί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- 1) Η επιπλέον μάζα στερεών του σκυροδέματος που έχει παραχθεί με τη χρήση του νερού αυτού πρέπει να είναι μικρότερη από 1% (m/m) από την συνολική ποσότητα μάζας των αδρανών του σκυροδέματος.
- 2) Πρέπει να συνυπολογίζεται η πιθανή επιρροή του συγκεκριμένου νερού στο παραγόμενο σκυρόδεμα αν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις χρήσης του, πχ αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα, προεντεταμένο σκυρόδεμα κλπ.
- 3) Πρέπει να γίνεται ισοκατανομή της ποσότητας του συγκεκριμένου νερού που χρησιμοποιείται για τη συνολική παραγωγή μιας ημέρας.

Απαιτήσεις

Το νερό που ανακτάται από διάφορες διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος (αυτούσιο ή σε ανάμιξη με νερό από άλλες πηγές), πρέπει να πληροί και τις ακόλουθες πρόσθετες προϋποθέσεις για να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή σκυροδέματος.

Αποθήκευση

Το αποθηκευμένο νερό πρέπει να είναι προστατευμένο από πιθανή μόλυνση.

Κατανομή στερεών στο νερό

Πρέπει να διασφαλίζεται ομοιόμορφη κατανομή των στερεών στο συγκεκριμένο νερό, με πυκνότητα μεγαλύτερη του 1,01 kg/L. Νερό με πυκνότητα μικρότερη ή ίση με 1,01 kg/L μπορεί να θεωρηθεί ότι περιέχει αμελητέα ποσότητα στερεών.

Η μάζα των στερεών στο νερό

Η μάζα των στερεών στο νερό, καθορίζεται από τον **Πίνακα 5.6** με βάση την πυκνότητα του νερού.

Τα στερεά σωματίδια στο νερό, πρέπει να υπολογίζονται κατά την μελέτη σύνθεσης για το σχεδιασμό του μίγματος για την παρασκευή του σκυροδέματος.

Πίνακας 5.6. Περιεκτικότητα στερεών

Πυκνότητα νερού (kg/L)	Μάζα στερεών (kg/L)	Όγκος νερού ανάμιξης (L/L)
1.02	0.038	0.982
1.03	0.057	0.973
1.04	0.076	0.964
1.05	0.095	0.955
1.06	0.115	0.945
1.07	0.134	0.936
1.08	0.153	0.927
1.09	0.172	0.918
1.10	0.191	0.909
1.11	0.210	0.900
1.12	0.229	0.891
1.13	0.248	0.882
1.14	0.267	0.873
1.15	0.286	0.864

(Κατά τον υπολογισμό χρησιμοποιήθηκε πυκνότητα σωματιδίων 2.1 kg/L.)

Έλεγχος

Η πυκνότητα του νερού που ανακτάται από διάφορες διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος (αυτούσιο ή σε ανάμιξη με νερό από άλλες πηγές), πρέπει να προσδιορίζεται σε ομογενοποιημένα δείγματα που ανακτώνται από τις δεξαμενές που περιέχουν το συγκεκριμένο νερό.

Για να γίνεται χρήση του νερού αυτού για παραγωγή σκυροδέματος, η πυκνότητά του πρέπει να μετράται τουλάχιστον μία φορά ημερησίως, την στιγμή που πιθανολογείται ότι το νερό έχει μεγάλη πυκνότητα, εκτός αν υπάρχουν

διαδικασίες ελέγχου της πυκνότητας, στο «εγχειρίδιο ποιότητας» της παραγωγικής μονάδας.

Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν αυτόματες συσκευές – στην περίπτωση αυτή το εγχειρίδιο ποιότητας της παραγωγικής μονάδας πρέπει να περιγράφει την μέθοδο που χρησιμοποιείται και τον τρόπο βαθμονόμησης της.

5.6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ

Εκτός από τα EN1008 [5.4] και ΕΛΟΤ345 [5.13], άλλα ευρέως διαδεδομένα πρότυπα που αφορούν στο νερό ανάμιξης σκυροδέματος είναι τα ISO 12439 (2010) [5.15], ASTM C1602/C1602M (2006) [5.5] και AS 1379 (2007) [5.6]. Ακολουθεί η σύγκριση των πέντε αυτών προτύπων.

Κοινό χαρακτηριστικό των προτύπων είναι ότι καλύπτουν δύο είδη προδιαγραφών: τα όρια στα χημικά χαρακτηριστικά του νερού που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως νερό ανάμιξης και οι μηχανικές ιδιότητες των προκυπτόντων δοκιμών σκυροδέματος ή παστών τσιμέντου που παράχθηκαν με το εν λόγω νερό. Ειδοποιός διαφορά είναι η προτεραιότητα που δίνεται στα δύο είδη προδιαγραφών από το κάθε πρότυπο.

Συγκεκριμένα, ο ΕΛΟΤ απαιτεί πρωτίστως για το νερό ανάμιξης, αν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή προεντεταμένου σκυροδέματος να τηρούνται πολύ αυστηρά όρια στα χημικά χαρακτηριστικά του νερού. Αν ένα ή από αυτά τα χαρακτηριστικά δεν ικανοποιούν τα όρια τότε δίνονται ελαφρώς πιο ελαστικά όρια με την προϋπόθεση να υπάρχει επαρκής εμπειρία με το συγκεκριμένο νερό και να τηρούνται οι προδιαγραφές των μηχανικών ιδιοτήτων. Το ίδιο πρότυπο όταν αναφέρεται σε οπλισμένο ή άοπλο ειδικών απαιτήσεων σκυρόδεμα προϋποθέτει να καλύπτονται οι αυστηρές χημικές απαιτήσεις του προτύπου και σε περίπτωση που μία ή περισσότερες δεν τηρούνται δίνονται πάλι ηπιότερα όρια με την προϋπόθεση να υπάρχει επαρκής εμπειρία με το συγκεκριμένο νερό ή να τηρούνται οι προδιαγραφές των μηχανικών

ιδιοτήτων. Σημειωτέον ότι για κάποια χημικά χαρακτηριστικά τα αυστηρά και ελαστικότερα όρια για το προεντεταμένο σκυρόδεμα είναι ίδια με αυτά για το οπλισμένο και το άοπλο ενώ για κάποια άλλα όχι. Τέλος, όσον αφορά το άοπλο σκυρόδεμα, το νερό πρέπει να τηρεί τουλάχιστον μία από τις παρακάτω προϋποθέσεις: i. πρέπει να καλύπτει κάποια ελαστικότερα όρια, ii. να υπάρχει επαρκής εμπειρία με το συγκεκριμένο νερό ή iii. να τηρούνται οι προδιαγραφές των μηχανικών ιδιοτήτων.

Το EN1008 και το ISO 12439 είναι δύο πρότυπα αρκετά παραπλήσια μεταξύ τους όπου προδιαγράφουν για το νερό που θα χρησιμοποιηθεί για παραγωγή οποιουδήποτε είδους σκυρόδεμα να τηρούνται τα όρια των χημικών χαρακτηριστικών του νερού και σε περίπτωση που ένα ή περισσότερα χημικά χαρακτηριστικά υπερβαίνουν το όριο τότε να λαμβάνονται υπόψη οι μηχανικές ιδιότητες των παραγόμενων δοκιμών σκυροδέματος και παστών τσιμέντου.

Στην περίπτωση του αμερικανικού προτύπου ASTM C1602/C1602M οι μονάδες καλούνται να ελέγξουν το νερό ανάμιξης και ως προς τα χημικά του χαρακτηριστικά αλλά και ως προς την επιρροή του στην απόδοση των δοκιμών σκυροδέματος. Αντίθετα, το αυστραλιανό πρότυπο θέτει τα πιο ελαστικά όρια, όπως θα φανεί παρακάτω, και οι απαιτήσεις του αφορούν είτε στην κάλυψη των ορίων της χημικής ανάλυσης του νερού ή στην εφαρμογή των απαιτήσεων των μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος και του τσιμέντου.

Φαίνεται σε αυτό το σημείο ήδη η διαφορά του ΕΛΟΤ από τα άλλα διεθνή πρότυπα κυρίως στην πολυπλοκότητα των απαιτήσεών του. Είναι σαφές ότι μία ΜΕΣ, ιδιαίτερα οι πολύ μικρές που απαρτίζουν το ελληνικό δίκτυο ΜΕΣ, έχει ένα νερό που χρησιμοποιεί για την παραγωγή οποιουδήποτε είδους σκυροδέματος (συνήθως σε μονάδες που ανακυκλώνουν είναι ένα μείγμα πόσιμου νερού και νερού ανακύκλωσης). Έτσι,

θεωρώντας ότι στην Ελλάδα δεν είναι διαδεδομένη η χρήση προεντεταμένου σκυροδέματος, το νερό που χρησιμοποιεί η μονάδα θα πρέπει τουλάχιστον να καλύπτει τις προδιαγραφές για το νερό παραγωγής οπλισμένου ή άοπλου ειδικών απαιτήσεων σκυροδέματος.

Στον **Πίνακα 5.7** παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλες οι απαιτήσεις των ισχυόντων προτύπων. Είναι εμφανές ότι ο ελληνικός κανονισμός περιλαμβάνει έννοιες που τα άλλα πρότυπα δεν αναφέρουν, κυρίως ίσως λόγω της παλαιότητας του (1979). Συγκεκριμένα απαιτεί την μέτρηση της αλκαλικότητας και της οξύτητας εκπεφρασμένες σε ppm CaCO_3 , μετρήσεις που μπορούν εύκολα να αντικατασταθούν με στιγμιαία μέτρηση του pH, καθώς και τη μέτρηση υπερμαγγανικού καλίου που δεν απαιτείται σε άλλα πρότυπα. Ειδικά η έννοια της αλκαλικότητας που εμφανίζεται στα αυστηρά όρια για το προεντεταμένο και το οπλισμένο σκυρόδεμα μεταφράζεται σε άνω όριο του pH και συγκεκριμένα στην τιμή 9. Σημειώνεται εδώ ότι κανένα άλλο πρότυπο δεν προτείνει άνω όριο στο pH καθώς ο αλκαλικός χαρακτήρας του νερού ανάμιξης σκυροδέματος, το οποίο αποτελεί το ίδιο ένα ιδιαίτερα αλκαλικό μείγμα, δεν κρίνεται απαγορευτικός.

Ακόμη, τα χλωριόντα και τα θειικά ιόντα είναι εκπεφρασμένα στον ΕΛΟΤ σε άλατα του νατρίου και για λόγους σύγκρισης με τα άλλα πρότυπα έγινε η μετατροπή των ορίων σε ppm Cl^- και SO_4^{2-} αντίστοιχα. Γενικά το εύρος των τιμών των ορίων για κάθε ένα από τα βασικά ιόντα είναι μεγάλο, με το όριο για το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή προεντεταμένου σκυροδέματος να είναι ιδιαίτερα αυστηρό σε σχέση με τα διεθνή πρότυπα. Για τις υπόλοιπες εφαρμογές (οπλισμένο και άοπλο σκυρόδεμα) οι ανώτατες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις βρίσκονται αρκετά κοντά στο ευρωπαϊκό πρότυπο με το όριο της συγκέντρωσης χλωριόντων του νερού ανάμιξης άοπλου σκυροδέματος να είναι αισθητά ελαστικότερο. Το αμερικανικό πρότυπο δεν έχει όριο χλωριόντων για το άοπλο σκυρόδεμα ενώ είναι γενικά πιο ελαστικό όσον αφορά την συγκέντρωση των

θεικών ιόντων. Αντίθετα με τα υπόλοιπα, το αυστραλιανό πρότυπο εφαρμόζει μια πιο ολιστική αντιμετώπιση όπου τα συγκεκριμένα ιόντα δεν έχουν περιορισμό στην συγκέντρωσή τους στο νερό ανάμιξης αλλά στην συνολική τους περιεκτικότητα στη σύνθεση του σκυροδέματος ή του κονιάματος. Μια τέτοια προσέγγιση σίγουρα διευκολύνει την χρήση εναλλακτικών πηγών νερού, ιδιαίτερα σε χώρες που χρησιμοποιούν αδρανή με ελάχιστη περιεκτικότητα στα βλαβερά αυτά στοιχεία ή αντίθετα, θέτει αυστηρότερους περιορισμούς όταν τα αδρανή είναι πλούσια σε θείο και χλώριο.

Ειδοποιός διαφορά μεταξύ των προτύπων και ιδιαίτερης σημασίας όσον αφορά την ανακύκλωση του νερού έκπλυσης οχημάτων σκυροδέματος είναι ο περιορισμός στην περιεκτικότητα του νερού ανάμιξης σε ανόργανα στερεά. Συγκεκριμένα, το ευρωπαϊκό πρότυπο και το ISO δεν θέτουν περιορισμό στα ανόργανα στερεά αρκεί να μην ξεπερνούν το 1% της μάζας των συνολικών αδρανών του σκυροδέματος και προτείνει να συνυπολογίζονται στον σχεδιασμό της σύνθεσης με μία απλή μέτρηση της πυκνότητας του νερού. Το αμερικανικό πρότυπο θέτει το πολύ ελαστικό όριο των 50,000 mg/L για την παρασκευή παντός τύπου σκυροδέματος και το αυστραλιανό δεν θέτει κανέναν απολύτως περιορισμό. Αντιδιαμετρικά στέκεται ο ΕΛΟΤ όπου θέτει διαφορετικά όρια ανάλογα με τον τύπο του σκυροδέματος με το πολύ χαμηλό όριο των 800 mg/L για προεντεταμένο σκυρόδεμα, το όριο των 3,000 mg/L για το οπλισμένο και των 15,000 mg/L για το άοπλο και το οπλισμένο υπό προϋποθέσεις. Τα όρια αυτά είναι ιδιαίτερα χαμηλά και καθιστούν απαγορευτική την χρήση του ανακυκλωμένου νερού έκπλυσης (που περιέχει περίπου 10,000 - 15,000 mg/L ανόργανα στερεά) εάν δεν έχει προηγηθεί τοποθέτησή του σε δεξαμενές καθίζησης και απομάκρυνση του μεγαλύτερου μέρους των στερεών.

Οι υπόλοιπες διαφοροποιήσεις μεταξύ των προτύπων αφορούν τις προδιαγραφές των μηχανικών ιδιοτήτων. Η προτεραιότητα που

δίνεται στις προδιαγραφές αυτές από το κάθε πρότυπο έχει αναλυθεί παραπάνω. Παρά την γενική αυστηρότητα του ΕΛΟΤ σε σχέση με τα άλλα πρότυπα, εδώ δεν αναφέρει καμία προϋπόθεση για τους χρόνους πήξης των παστών τσιμέντου σε σχέση με απιονισμένο νερό. Τα διεθνή πρότυπα θέτουν περιορισμούς στην συγκεκριμένη ιδιότητα οι οποίοι όμως θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως αρκετά ελαστικοί (περιθώριο 2.5 ωρών ή όχι περισσότερο από 25% απόκλιση σε σχέση με την πάστα αναφοράς). Όσον αφορά τους περιορισμούς στις θλιπτικές αντοχές δοκιμών σκυροδέματος που παρασκευάστηκαν με ακριβώς την ίδια σύνθεση αλλά με πόσιμο ή απιονισμένο νερό, όλα τα πρότυπα προτείνουν την ίδια προϋπόθεση: τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με το υπό εξέταση νερό να φτάσουν τουλάχιστον το 90% των θλιπτικών αντοχών του δοκιμίου αναφοράς. Η μόνη διαφορά μεταξύ των προτύπων είναι οι ηλικίες στις οποίες πρέπει να ισχύει ο παραπάνω έλεγχος. Ο ΕΛΟΤ προτείνει τις 7, 28 και 180 ημέρες, τα EN, ISO και AS τις 7 και τις 28 ενώ το αμερικανικό ASTM μόνο τις 7 μέρες.

5.7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [5.1] A.M.Neville, J.J.Brooks, Concrete Technology, Prentice Hall, 2nd Revised edition (June 17, 2010).
- [5.2] ASTM C94 (2005) *Specification for Ready Mixed Concrete*, ASTM International, USA.
- [5.3] BS 3148:1980, Methods of test for water for making concrete (including notes on the suitability of the water), BSI Group, UK
- [5.4] EN 1008 (2002) Mixing water for concrete – Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete, European Committee for Standardization (CEN), Brussels
- [5.5] ASTM C 1602/C 1602M (2006), Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete, American Society for Testing and Materials, USA
- [5.6] AS 1379 (2007) *Specification and supply of concrete*, Standards Australia
- [5.7] Lobo C and Mullings GM ‘Recycled Water in Ready Mixed Concrete Operations’ *Concrete In FOCUS* Vol. 2, No. 1, pp 17–26 Spring 2003, (Reprinted by permission of National Ready Mixed Concrete Association).
- [5.8] Cebeci OZ and Saatci AM ‘Domestic sewage as mixing water in concrete’ *ACI Materials Journal*, 86, No. 5, pp 503–6 1989
- [5.9] Steinour HH, ‘Concrete Mix Water – How Impure Can It Be?’ *Portland Cement Association Journal* Research and Development Laboratories, 3, No. 3 pp. 32–50 Sept. 1960.
- [5.10] Ryan WG and Samarin A Australian Concrete Technology, Longman Cheshire, Melbourne, 1992.
- [5.11] Netterberg F ‘Occurrence and Testing for Deleterious Salts in Road Construction Materials with Particular Reference to Calcretes’, *Proceedings of Salts Symposium*, IEAust, 1970.
- [5.12] Cement Concrete & Aggregates Australia, (2007), *Use of Recycled Water in Concrete Production*, Sydney, Australia
- [5.13] ΕΛΟΤ 345, Το Ύδωρ Αναμίξεως και Συντηρήσεως Σκυροδέματος, Ελληνικός Οργανισμός Τυποποιήσεως (ΕΛΟΤ), Αθήνα, 1979
- [5.14] ΦΕΚ 315 (1997), Τεύχος Δεύτερο, Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, Υλικά Παρασκευή και Έλεγχος Σκυροδέματος, σελ 3561-3595
- [5.15] ISO 12439 (2010), Mixing Water for Concrete, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- [5.16] Adam Neville (2000). In my Judgment: Water - The Cinderella Ingredient of Concrete. Concrete International

Πίνακας 5.7. Βασικές προδιαγραφές των ΕΛΟΤ345, EN1008, ISO12439, ASTM C1602/C1602M και AS1379 για το νερό ανάμιξης σκυροδέματος

Παράμετρος	ΕΛΟΤ345	EN1008 & ISO12439	ASTM C1602/C1602M	AS1379
Οξύτητα (ppm CaCO₃)	Αυστηρό όριο <100 Ελαστικότερο όριο <500	-	-	-
Αλκαλικότητα (ppm CaCO₃)	Αυστηρό όριο <500 Ελαστικότερο όριο -	-	-	-
pH	6-9 ή ≥5	≥4	-	≥5
Ανόργανα στερεά (mg/L)	Προεντεταμένο <800 Αυστηρό όριο <3000 Ελαστικότερο όριο <15000	<1% της συνολικής μάζας των αδρανών	50,000	-
Χλωριόντα (ppm Cl⁻)	Προεντεταμένο <243 Αυστηρό όριο <1213 Ελαστικότερο όριο <9102	Προεντεταμένο ≤500 Οπλισμένο ≤1000 Άοπλο ≤4500	Προεντεταμένο ≤500 Οπλισμένο ≤1000	Δεν υπάρχει όριο αρκεί το συνολικό ανάμιγμα να μην ξεπερνούν τα 0,8kg/m ³
Θειϊκά ιόντα (ppm SO₄²⁻)	Προεντεταμένο <250 Αυστηρό όριο <1014 Ελαστικότερο όριο <2028	≤2000	≤3000	Δεν υπάρχει όριο αρκεί στο συνολικό ανάμιγμα να μην ξεπερνούν τα 50 g/kg τσιμέντου
Λιπαρές ουσίες και σάκχαρα (ppm)	Εντελώς απαλλαγμένο	Σάκχαρα <100	-	Σάκχαρα <100 Έλαια <50
Άλλες βλαβερές ουσίες (ppm)	KMnO ₄ (για οπλισμένο σκυρόδεμα) <50 ή <100 Οργανικά στερεά <200 ή <500	Αλκάλια Na ₂ O _{eq} * <1500 Φωσφορικά (P ₂ O ₅) <100 Νιτρικά (NO ₃ ⁻) <500 Μόλυβδος (Pb ²⁺) <100 Ψευδάργυρος (Zn ²⁺) <100	Αλκάλια Na ₂ O _{eq} ¹ <600	-
Θλιπτικές αντοχές δοκιμίων σκυροδέματος	Τουλάχιστον το 90% των αντοχών στις 7, 28 και 180 μέρες (σύγκριση με πόσιμο νερό)	Τουλάχιστον το 90% των αντοχών στις 7 και 28 μέρες (σύγκριση με απιονισμένο ή αποσταγμένο νερό)	Τουλάχιστον το 90% των αντοχών στις 7 μέρες (σύγκριση με απιονισμένο ή πόσιμο νερό)	Τουλάχιστον το 90% των αντοχών στις 7 και 28 μέρες (σύγκριση με πόσιμο νερό)
Χρόνοι πήξης παστών τσιμέντου (σύγκριση με απιονισμένο νερό)	-	Αρχή πήξης ≥1 h και τέλος πήξης ≤ 12 h. Όχι περισσότερο από 25% διαφορά από το αναφοράς	Από 1 h νωρίτερα έως 1½ h αργότερα από το αναφοράς	Χρόνος αρχής πήξης από 1 h νωρίτερα έως 1½ h αργότερα από το αναφοράς

* Το ισοδύναμο αλκαλίων Na₂O_{eq} ισούται με Na₂O+0.658 K₂O

6. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΜΟΝΑΔΕΣ ΈΤΟΙΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Όπως συμπεραίνεται από το προηγούμενο κεφάλαιο, η δυσκολία στην ανακύκλωση του νερού έκπλυσης που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του εσωτερικού των οχημάτων μεταφοράς νωπού σκυροδέματος για τις ελληνικές μονάδες έτοιμου σκυροδέματος, έγκειται στο γεγονός ότι ενώ τα διεθνή πρότυπα επιτρέπουν την χρήση του νερού που προέρχεται από τον καθαρισμό στην παραγωγή νέου σκυροδέματος, το ελληνικό πρότυπο περιορίζει ή απαγορεύει την χρήση του βασισμένο στα χημικά χαρακτηριστικά του νερού (κεφάλαιο 5). Αυτό αναγκάζει τις ελληνικές ΜΕΣ να χρησιμοποιούν για την παραγωγή σκυροδέματος το νερό έκπλυσης μόνο σε μικρό ποσοστό αφού πρώτα του απομακρυνθούν τα στερεά και γίνει εξουδετέρωση (συνήθως με προσθήκη υδροχλωρικού οξέως).

Η στατιστική μελέτη που παρουσιάζεται στη συνέχεια [6.1] περιέχει στοιχεία από ευρωπαϊκές και ελληνικές μονάδες σχετικά με τις ανάγκες τους σε νερό, την φύση του ανακυκλωμένου νερού και του νερού παραγωγής καθώς επίσης και το εφαρμοζόμενο πρότυπο. Η στατιστική μελέτη αυτή έγινε για να υπογραμμίσει την ανάγκη ανακύκλωσης του νερού που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των οχημάτων. Η έρευνα που διεξήχθη αφορούσε την αποστολή ερωτηματολογίου σε ευρωπαϊκές και ελληνικές μονάδες έτοιμου σκυροδέματος, καθώς και τη στατιστική επεξεργασία των απαντήσεων που δόθηκαν.

Επιπλέον παρουσιάζεται η χημική ανάλυση δειγμάτων νερού, τα οποία λήφθηκαν από διάφορες ελληνικές μονάδες παραγωγής.

Συνολικά η μελέτη αυτή δίνει απαντήσεις σε δύο βασικά ζητήματα:

- Ποια είναι η σημερινή κατάσταση σε ευρωπαϊκές και ελληνικές μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος σχετικά με την ανακύκλωση του νερού
- Ποια είναι η ποιότητα φρέσκου και ανακυκλωμένου νερού που ανακτήθηκε μέσω των δειγμάτων από τις ελληνικές μονάδες και πώς αυτή ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των προτύπων.

6.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

Κύριος σκοπός του ερωτηματολογίου ήταν η καταγραφή του ποσοστού των ευρωπαϊκών και ελληνικών μονάδων έτοιμου σκυροδέματος που έχουν σύστημα ανακύκλωσης νερού και κατά πόσο γίνεται χρήση του νερού αυτού στην παραγωγή νέου σκυροδέματος.

Η αποστολή τους έγινε σε ηλεκτρονική μορφή (e-mail) στις περισσότερες εταιρείες ενώ, ταυτόχρονα, αναρτήθηκαν και σε ιστοσελίδα (www.sludgewater.speedsurvey.com), στην οποία οι ενδιαφερόμενοι μπορούσαν να απαντήσουν και τα αποτελέσματα της έρευνας καταγράφονταν αυτόματα. Στις ελληνικές μονάδες τα ερωτηματολόγια στάλθηκαν με τηλεομοιοτυπία (fax).

Το ερωτηματολόγιο δημιουργήθηκε υπό την μορφή των ερωτήσεων πολλαπλών απαντήσεων καθώς και ερωτήσεων ανάπτυξης. Συνολικά περιείχε 15 ερωτήσεις. Η δομή του ήταν τέτοια ώστε να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για 2 βασικά ερωτήματα:

1. Αν η μονάδα διαθέτει σύστημα ανακύκλωσης νερού.
2. Αν το νερό χρησιμοποιείται απευθείας στην παραγωγή ή μετά από επεξεργασία,

αλλά και για επιμέρους ζητήματα όπως το είδος των αδρανών που χρησιμοποιούνται, με σκοπό να αποκτηθεί μια κατά το δυνατόν πλήρης εικόνα του τρόπου λειτουργίας μιας μονάδας παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος.

Οι πρώτες δύο ερωτήσεις αφορούν στον προσδιορισμό της μονάδας (έτοιμου, προκατασκευασμένου σκυροδέματος ή άλλου τύπου) και τη δυναμικότητά της. Στις ερωτήσεις 3,4 και 5 ζητείται να προσδιοριστεί η μέση μηνιαία κατανάλωση νερού, το κόστος αυτής και η κύρια πηγή από την οποία προέρχεται το νερό. Σκοπός των ερωτήσεων αυτών ήταν να αναδειχθεί η μεγάλη ποσότητα νερού που χρειάζεται μια μονάδα που παρασκευάζει έτοιμο σκυρόδεμα, καθώς και η επιβάρυνση που δέχεται το οικοσύστημα από την άντληση τέτοιων ποσοτήτων νερού.

Οι ερωτήσεις 6,7,8 και 9 εστιάζουν στην παρουσία ή μη ενός συστήματος ανακύκλωσης στη μονάδα, στο αν το νερό χρησιμοποιείται απ' ευθείας για νέα παραγωγή ή αν του γίνεται κάποια πρότερη επεξεργασία και στο αν γίνεται χρήση του ανακυκλωμένου νερού για άλλο σκοπό εκτός από την παραγωγή. Συγκεκριμένα στην ερώτηση 8 ζητείται να γίνει μια περιγραφή του συστήματος ανακύκλωσης. Οι τέσσερις αυτές ερωτήσεις αποτελούν το βασικό μέρος που εξετάζεται σε αυτή τη στατιστική μελέτη την ανακύκλωση του νερού και τη χρήση του στην παραγωγή σκυροδέματος.

Με τη 10^η ερώτηση προσδιορίζεται ο τύπος των αδρανών που χρησιμοποιεί η μονάδα. Ο τύπος των αδρανών παίζει ρόλο στον καθορισμό των χημικών χαρακτηριστικών του νερού καθώς επίσης και στην ποσότητα στερεών που αυτό θα περιέχει.

Οι ερωτήσεις 11 και 12 αφορούν στην επαναχρησιμοποίηση της τσιμεντολάσσης (λούμης) και του επιστρεφόμενου σκυροδέματος. Οι ερωτήσεις αυτές έχουν αρκετά μεγάλη σημασία αφού η χρήση της τσιμεντολάσσης και του επιστρεφόμενου σκυροδέματος εντάσσεται στα πλαίσια μιας γενικής περιβαλλοντικής πρακτικής, γεγονός που θα πρέπει να αναδεχθεί.

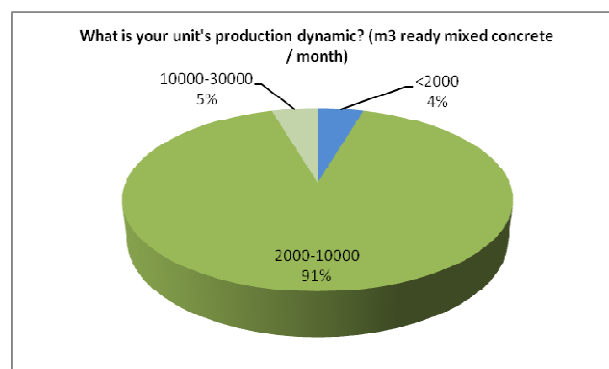
Στη συνέχεια, στην ερώτηση 13 ζητείται να αναφερθούν τυχόν παραπροϊόντα που

παράγονται στη μονάδα με σκοπό να αναπτυχθεί μια γενική εικόνα των δραστηριοτήτων της. Οι ερωτήσεις 14 και 15 αφορούν το πρότυπο στο οποίο συμμορφώνεται η μονάδα και τη χώρα στην οποία είναι εγκατεστημένη. Σκοπός είναι να αναδειχθεί το γεγονός ότι όλες οι ευρωπαϊκές μονάδες ακολουθούν το ευρωπαϊκό πρότυπο EN1008 [5.4] σε αντίθεση με τις ελληνικές που εφαρμόζουν την ελληνική νομοθεσία [5.13]. Με τον τρόπο αυτό τονίζεται η διαφοροποίηση των ελληνικών μονάδων στον τρόπο ανακύκλωσης του νερού.

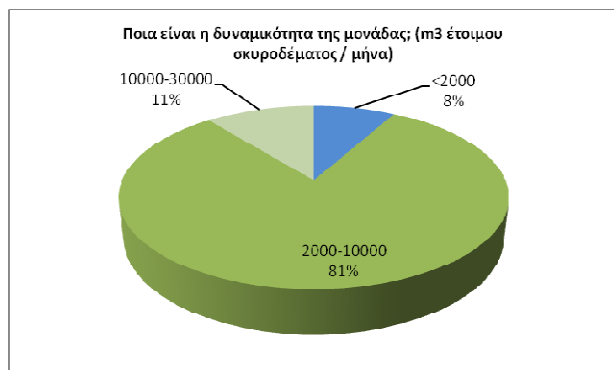
Τα ερωτηματολόγια στην Ελληνική και Αγγλική Γλώσσα παρατίθενται στο Παράρτημα Β.

6.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το ερωτηματολόγιο στάλθηκε σε πάνω από 500 μονάδες στην Ελλάδα και το εξωτερικό. Αξίζει να σημειωθεί ότι ανταποκρίθηκαν 37 ελληνικές και 18 ευρωπαϊκές μονάδες. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις οι απαντήσεις δίνονταν από τον συλλογικό τους φορέα και όχι από την εκάστοτε μονάδα και έτσι μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές για πλήθος μονάδων. Για τον λόγο αυτό κρίθηκε ότι παρά το μικρό ποσοστό ανταπόκρισης, οι απαντήσεις που δόθηκαν μπορούν να διαμορφώσουν μία εικόνα της κατάστασης που επικρατεί στην Ευρώπη και την Ελλάδα. Τα αποτελέσματα των απαντήσεων που δόθηκαν από τις ευρωπαϊκές και τις ελληνικές μονάδες παρουσιάζονται παρακάτω υπό την μορφή διαγραμμάτων.

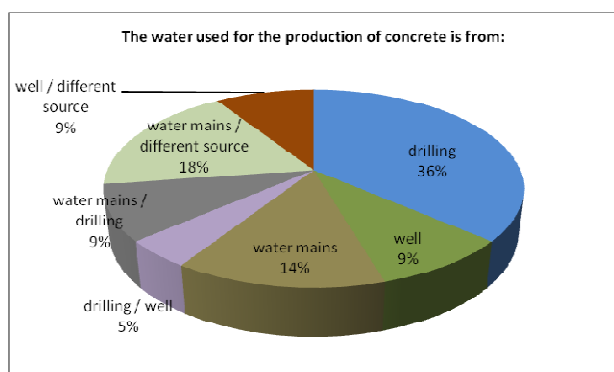


Εικόνα 6.1. Δυναμική παραγωγής ευρωπαϊκών μονάδων

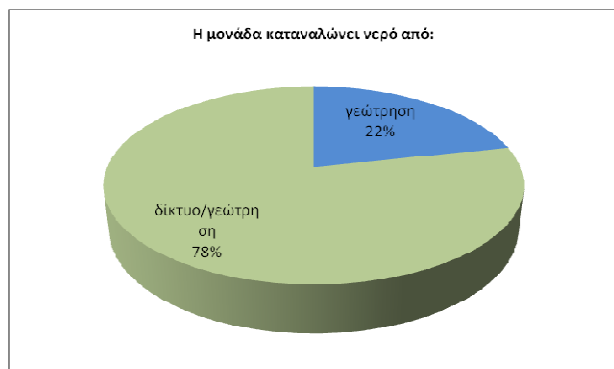


Εικόνα 6.2. Δυναμική παραγωγής ελληνικών μονάδων

Οι περισσότερες μονάδες που ανταποκρίθηκαν στο ερωτηματολόγιο ήταν μέσης δυναμικότητας (**εικόνες 6.1 και 6.2**) (90,9% στην Ευρώπη και 81% στην Ελλάδα), δηλαδή παραγωγής 2,000- 10,000 m³ έτοιμου σκυροδέματος το μήνα. Σύμφωνα με το γεγονός ότι χρειάζονται περίπου 1,600 λίτρα νερού για την παραγωγή 9 m³ σκυροδέματος, υπολογίζεται ότι δαπανώνται περίπου 1,000 m³ νερού τον μήνα σε μία μονάδα μέσης δυναμικότητας.

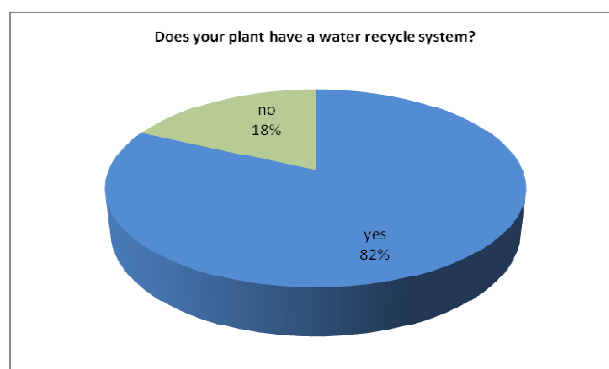


Εικόνα 6.3. Πηγές νερού ευρωπαϊκών μονάδων



Εικόνα 6.4. Πηγές νερού ελληνικών μονάδων

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα των **εικόνων 6.3 και 6.4**, στην Ευρώπη, το νερό προέρχεται, από διάφορες πηγές, που καλύπτουν το σχετικό ΕΝ, όπως δίκτυα ύδρευσης, πηγάδια, γεωτρήσεις, φυσικές πηγές και τον συνδυασμό όλων των παραπάνω με το νερό γεώτρησης και δικτύου να καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό. Στην Ελλάδα όλες οι μονάδες που απάντησαν χρησιμοποιούν γεωτρήσεις ενώ οι περισσότερες από αυτές αναγκάζονται να συμπληρώνουν την παραγωγή τους και με νερού δικτύου ύδρευσης. Αυτό συμβαίνει είτε λόγω μεγάλης απαίτησης νερού στην παραγωγή καθώς πολλές μονάδες αδυνατούν να ανακυκλώσουν το νερό έκπλυσης σε όλο το δυναμικό του, ή επειδή το νερό της γεώτρησης είναι συνήθως χαμηλότερης ποιότητας, πλούσιο σε αλκάλια ή υφάλμυρο και απαιτείται έτσι συνδυασμός με πόσιμο νερό δικτύου. Σε κάθε περίπτωση η γεώτρηση αποτελεί μία εμφανώς πιο φτηνή λύση από το δίκτυο το οποίο επιφέρει σημαντική αύξηση του κόστους κατανάλωσης νερού άρα και του κόστους παραγωγής του σκυροδέματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην Αττική το νερό δικτύου κοστίζει για τις βιομηχανίες 1€/m³ ενώ το κόστος αυτό για την γεώτρηση κυμαίνεται σε 0.03€-0.10€/m³, ανάλογα το βάθος της γεώτρησης και την λειτουργία της μονάδας.



Εικόνα 6.5. Ύπαρξη συστήματος ανακύκλωσης στις ευρωπαϊκές μονάδες

Η πλειονότητα των ευρωπαϊκών (**εικόνα 6.5**) καθώς και των ελληνικών μονάδων (**εικόνα 6.6**), που πήραν μέρος στην έρευνα απάντησαν ότι διαθέτουν σύστημα ανακύκλωσης νερού. Παρόλο

που από τα διαγράμματα φαίνεται, ότι στην Ελλάδα το ποσοστό των μονάδων που διαθέτουν σύστημα ανακύκλωσης σε σχέση με την Ευρώπη είναι μεγαλύτερο, το αποτέλεσμα αυτό δεν θεωρείται ακριβές διότι η Ελλάδα διαθέτει πάρα πολλές μικρές μονάδες, οι περισσότερες από τις οποίες δεν ανταποκρίθηκαν στην έρευνα. Υπολογίζεται ότι το αληθές ποσοστό των ελληνικών μονάδων που δεν απορρίπτουν το νερό έκπλυσης αλλά με κάποιο τρόπο το ανακυκλώνουν, κυμαίνεται στο 10-30% και συναντάται μόνο στις παραγωγικές μονάδες των μεγάλων αστικών κέντρων.



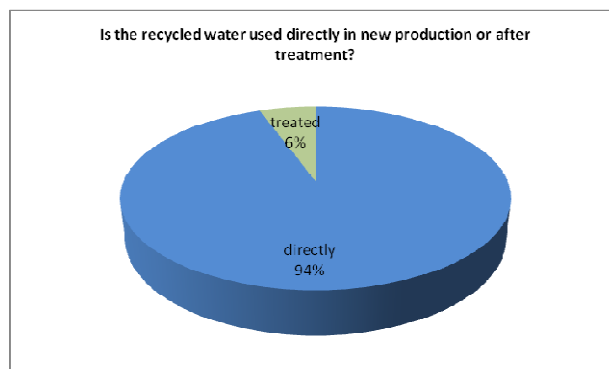
Εικόνα 6.6. Ύπαρξη συστήματος ανακύκλωσης στις ελληνικές μονάδες

Το πιο κοινό σύστημα ανακύκλωσης που χρησιμοποιείται από Ευρωπαϊκές χώρες είναι το σύστημα το οποίο ονομάζεται «Screw Separator» όπου ο διαχωρισμός του νερού από τα στερεά γίνεται με τη διαδικασία της καθίζησης.

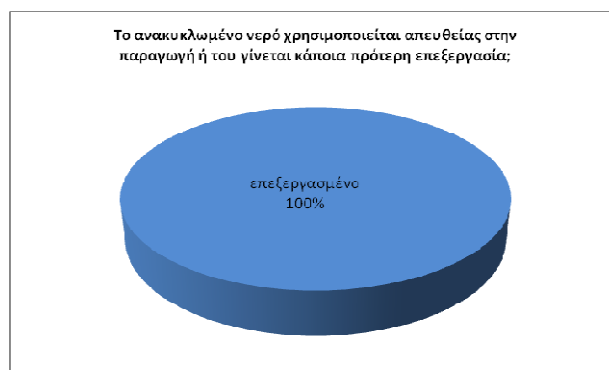
Στην Ελλάδα οι μονάδες χρησιμοποιούν δεξαμενές καθίζησης και υπερχειλίσης. Η βαρέλα της μπετονιέρας ξεπλένεται δύο φορές με φρέσκο νερό το οποίο στη συνέχεια μεταφέρεται σε μία πρώτη δεξαμενή. Το έκπλυμα ηρεμεί και τα στερεά καθιζάνουν στον πυθμένα της δεξαμενής. Όταν η πρώτη δεξαμενή γεμίσει, το νερό υπερχειλίζει σε μία δεύτερη και εν συνεχεία σε μία τρίτη δεξαμενή (ανάλογα πάντα με την εγκατάσταση και την δυναμικότητα της μονάδας). Στην συνέχεια το, απαλλαγμένο από τα περισσότερα στερεά του, νερό μεταφέρεται σε δεξαμενή εξουδετέρωσης και το εξουδετερωμένο

πλέον νερό αναμιγνύεται με νερό γεώτρησης ή δικτύου.

Η συνήθης αναλογία είναι 10-20% εξουδετερωμένο ανακυκλωμένο νερό έκπλυσης και 80-90% νερό γεώτρησης ή δικτύου. Το προκύπτον μίγμα νερού ονομάζεται νερό παραγωγής και χρησιμοποιείται στην παρασκευή νέου σκυροδέματος.



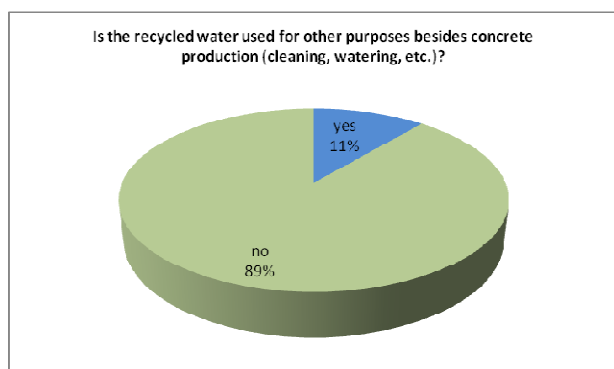
Εικόνα 6.7. Επεξεργασία νερού στην Ευρώπη



Εικόνα 6.8. Επεξεργασία νερού στην Ελλάδα

Στην Ευρώπη το ανακυκλωμένο νερό χρησιμοποιείται απευθείας στην παραγωγή νέου σκυροδέματος από το 94% των παραγωγών που συμμετείχαν στην έρευνα, όπως φαίνεται στην **εικόνα 6.7**. Όπως προαναφέρθηκε, οι μονάδες συνήθως χρησιμοποιούν ένα σύστημα φύλαξης του νερού όπου και κάποια από τα στερεά του (λούμνη) απομακρύνονται αλλά το νερό δεν δέχεται κάποια χημική κατεργασία. Συγκεκριμένα, καθώς όλες οι ευρωπαϊκές μονάδες που ανταποκρίθηκαν στην έρευνα απάντησαν ότι λειτουργούν με βάση το EN1008, δεν έχουν καμία υποχρέωση να μειώσουν το pH του νερού έκπλυσης προτού το χρησιμοποιήσουν στην

παραγωγή. Αντίθετα, όπως και απεικονίζεται στην **εικόνα 6.8**, στην Ελλάδα γίνεται πάντα επεξεργασία του νερού έκπλυσης, πριν από οποιαδήποτε χρήση. Όπως προαναφέρθηκε, το νερό αντλείται από την τρίτη δεξαμενή του συστήματος ανακύκλωσης σε μια τέταρτη δεξαμενή στην οποία προστίθεται υδροχλωρικό οξύ (HCl_{conc}), με σκοπό να μειωθεί το pH του σε περίπου 7. Η πρακτική αυτή επιβάλλεται από το ελληνικό πρότυπο (ΕΛΟΤ 345) σε όλες τις μονάδες.



Εικόνα 6.9. Χρήσεις ανακυκλωμένου νερού στις ευρωπαϊκές μονάδες



Εικόνα 6.10. Χρήσεις ανακυκλωμένου νερού στις ελληνικές μονάδες

Στην Ευρώπη το ανακυκλωμένο νερό, συνήθως δεν χρησιμοποιείται για άλλο σκοπό εκτός της παραγωγής (**εικόνα 6.9**) σε αντίθεση με την Ελλάδα, στην οποία χρησιμοποιείται ευρέως, ακόμα και για πότισμα (**εικόνα 6.10**), αφού τα επίπεδα του pH είναι σημαντικά μειωμένα. Παρόλα αυτά για την ασφαλή χρήση θα πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι, το νερό είναι όντως ουδέτερο για την αποφυγή προσβολής του υδροφόρου ορίζοντα με ένα υδατικό διάλυμα είτε πολύ

αλκαλικό λόγω ανεπαρκούς οξύνισης, είτε πολύ όξινο λόγω σφάλματος της διαδικασίας εξουδετέρωσης. Καθώς η προσθήκη του HCl_{aq} γίνεται αυτοματοποιημένα με κάποιο σύστημα σε απευθείας σύνδεση με την μέτρηση του pH, είναι πιθανό να παρουσιαστεί κάποιο σφάλμα που μπορεί να οδηγήσει σε ελλιπή ή υπερβολική προσθήκη του οξέως.

Όλοι οι ερωτηθέντες των ελληνικών και ευρωπαϊκών μονάδων απάντησαν ότι η λούμνη (sludge) που παραμένει στον πυθμένα των δεξαμενών απορρίπτεται. Αυτό αυτόματα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι όλες οι βιομηχανίες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος, που συμμετείχαν στην έρευνα, υποτιμούν το υλικό αυτό όπου προέρχεται από την διαδικασία ανακύκλωσης νερού, το οποίο θα μπορούσε ενδεχομένως να είναι κατάλληλο για άλλες εφαρμογές. Επιπροσθέτως, το υλικό αυτό έχει αλκαλικά χαρακτηριστικά καθώς προέρχεται από διαδικασίες έκπλυσης σκυροδέματος και είναι επικίνδυνο για το περιβάλλον. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι, η μέση παραγόμενη ποσότητα λούμης σε μία μονάδα μέσης δυναμικότητας είναι 200 τόνοι τον χρόνο. Επιπλέον, η λούμνη παράγεται μόνο επειδή το νερό έκπλυσης φυλάσσεται και ηρεμεί σε δεξαμενές καθίζησης, όπου και καθιζάνει. Αν το νερό χρησιμοποιούταν με όλα του τα ανόργανα στερεά, όπως εξέρχεται από την βαρέλα, τότε δεν θα υπήρχε παραγωγή λούμης.

Γενικά οι απαντήσεις που λήφθηκαν προέρχονταν όλες από μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος που στην πλειοψηφία τους (σε ποσοστό 90.9% στην Ευρώπη και 80.1% στην Ελλάδα) έχουν δυναμικότητα παραγωγής 2000-10,000m³ έτοιμου σκυροδέματος το μήνα. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι στην ερώτηση «Ποια είναι η μέση κατανάλωση νερού από τη μονάδα ανά μήνα και ποιο το κόστος αυτής;», οι ακριβείς απαντήσεις ήταν λίγες ώστε να οδηγήσουν στην εξαγωγή στατιστικών συμπερασμάτων. Εδώ συμπεραίνεται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις δεν παρακολουθείται η ποσότητα του νερού που καταναλώνεται. Οι

περισσότερες (54.5% στην Ευρώπη και 75.68% στην Ελλάδα) μονάδες χρησιμοποιούν μίγμα αδρανών - ασβεστολιθικά (θραυστά αδρανή λατομείου), δολομιτικά και πυριτικά (ποταμίσια αδρανή) – στην παραγωγή. Επίσης είναι εμφανές ότι στην Ευρώπη σε ένα πολύ μεγάλο ποσοστό (73%), το επιστρεφόμενο σκυρόδεμα δεν επαναχρησιμοποιείται, σε αντίθεση με την Ελλάδα που γίνεται συνήθως (89%) χρήση του σε νέα παραγωγή νωπού σκυροδέματος. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι όλες οι ευρωπαϊκές μονάδες ακολουθούν τις προδιαγραφές του ευρωπαϊκού προτύπου (EN1008 [5.4]). Στην Ελλάδα οι μονάδες συμμορφώνονται κατά αποκλειστικότητα με την ελληνική νομοθεσία (ΕΛΟΤ 345 [5.13]).

Τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου δείχνουν ότι στην Ευρώπη είναι κοινή πρακτική η ανακύκλωση του νερού και η επαναχρησιμοποίηση του στην παραγωγή χωρίς πρότερη επεξεργασία. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός, ότι όλες οι ευρωπαϊκές μονάδες λειτουργούν με βάση τις προδιαγραφές του ευρωπαϊκού προτύπου EN 1008 το οποίο επιτρέπει την χρήση αλκαλικού νερού στην παραγωγή σκυροδέματος. Αντιθέτως στην Ελλάδα όλες οι μονάδες είναι υποχρεωμένες στην επεξεργασία του νερού το οποίο επαναχρησιμοποιείται στην παραγωγή. Ο περιορισμός αυτός όμως που επιβάλλεται από την ελληνική νομοθεσία, δεν εξηγεί το γεγονός ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό του ανακυκλωμένου νερού χρησιμοποιείται για την παραγωγή σκυροδέματος και το μεγαλύτερο ποσοστό αυτού σε περιφερειακές χρήσεις οι οποίες μπορεί να αποδειχτούν και επικίνδυνες.

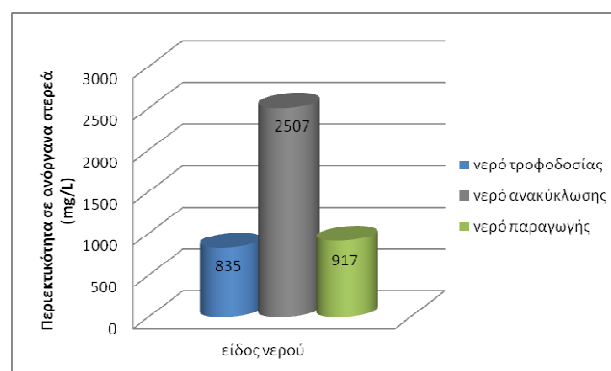
6.3. ΧΗΜΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

Τα δείγματα του νερού που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την μελέτη προέρχονται από 11 ελληνικές μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος (Νεοχωρούδας, Ευκαρπίας, Κοσκίνου, Ν. Ραιδεστού, Μάνδρας, Παιανίας, Μεταμόρφωσης,

Αιγάλεω, Μαλακάσας, Κορωπίου) και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Τροφοδοσίας (δίκτυο ύδρευσης, γεώτρηση)
- Ανακύκλωσης
- Παραγωγής (ανάμιξης)

Οι ελληνικές μονάδες είναι υποχρεωμένες να χρησιμοποιούν ως νερό παραγωγής (μείγμα νερού αρχικής πηγής και ανακύκλωσης) νερό το οποίο πληροί τις προδιαγραφές του ελληνικού προτύπου, γι' αυτό και συχνά επιβάλλεται η επεξεργασία στο ανακυκλωμένο νερό έτσι ώστε να μην αλλοιώνει τις ιδιότητες του νερού παραγωγής. Ο πιο ασφαλής και σίγουρος τρόπος να επιτευχθεί κάτι τέτοιο από τις μονάδες είναι να χρησιμοποιούν για το νερό παραγωγής κυρίως νερό τροφοδοσίας και σε πολύ μικρότερο βαθμό νερό ανακύκλωσης. Η υιοθέτηση αυτής της τακτικής επαληθεύεται και από την παρούσα μελέτη. Οι μέσοι όροι των αποτελεσμάτων των χημικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων νερού φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα. Το σύνολο των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού παρατίθεται στο Παράρτημα Γ.

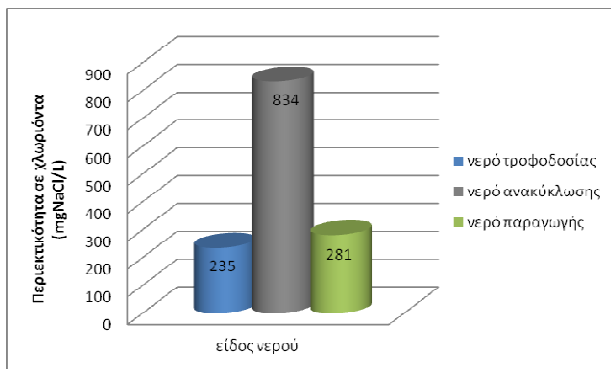


Εικόνα 6.11. Αποτελέσματα περιεκτικότητας σε ανόργανα στερεά

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης σχετικά με την περιεκτικότητα των δειγμάτων σε στερεά, όπως παρουσιάζονται στην **εικόνα 6.11**, είναι αναμενόμενα. Τα δείγματα των νερών τροφοδοσίας και παραγωγής, παρουσιάζουν χαμηλή περιεκτικότητα σε στερεά σε συμφωνία με

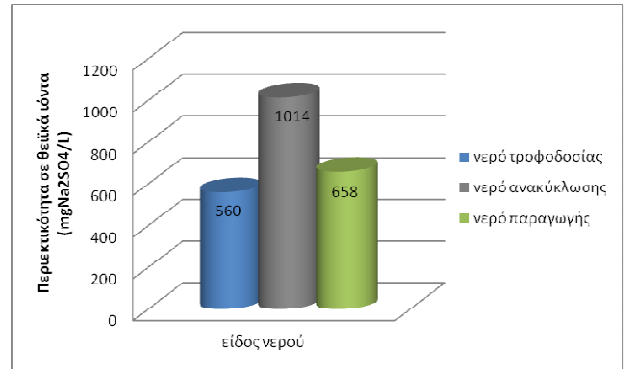
το ελληνικό πρότυπο. Ο μέσος όρος των τιμών της περιεκτικότητας των στερεών του νερού παραγωγής οριακά υπερβαίνει το όριο του ΕΛΟΤ για νερό παρασκευής προεντεταμένου σκυροδέματος, το οποίο κατά κανόνα δεν παράγεται στις ελληνικές μονάδες και είναι εντός προδιαγραφών για την παρασκευή οπλισμένου και άοπλου σκυροδέματος. Τα δείγματα νερού ανακύκλωσης έχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε στερεά, όπως ήταν αναμενόμενο, σε ποσότητα περίπου 2500ppm. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι το νερό, μετά την έκπλυση του οχήματος και κατά την έξοδό του από το εσωτερικό της βαρέλας, περιέχει ποσότητα στερεών περίπου 10,000 με 15,000ppm. Η τιμή αυτή μειώνεται στα 2500ppm μετά την καθίζηση στις δεξαμενές. Είναι προφανές σε αυτό το σημείο ότι το νερό παραγωγής αποτελείται κυρίως από νερό τροφοδοσίας καθώς έχουν παρόμοια χημικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, όσον αφορά στην περιεκτικότητά τους σε ανόργανα στερεά, η σχέση που φαίνεται να υπάρχει είναι:

$$[\text{νερό παραγωγής}] = 95\% * [\text{νερό τροφοδοσίας}] + 5\% * [\text{νερό ανακύκλωσης}].$$



Εικόνα 6.12. Αποτελέσματα περιεκτικότητας σε χλωριόντα

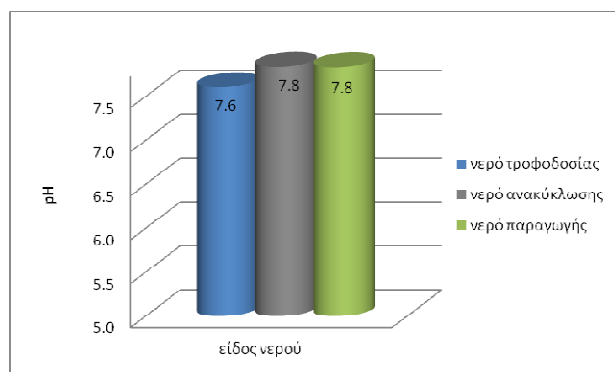
Η κατανομή σε θειικά ιόντα (εικόνα 6.13) και χλωριόντα (εικόνα 6.12) ακολουθεί την κατανομή των στερεών. Τα δείγματα νερού τροφοδοσίας και παραγωγής, έχουν χαμηλή περιεκτικότητα ιόντων ενώ αυξημένα χλωριόντα παρατηρούνται όπως είναι αναμενόμενο στα δείγματα νερού ανακύκλωσης αφού υφίστανται επεξεργασία με HCl_{aq} για εξουδετέρωση έτσι ώστε να πληρούνται οι προδιαγραφές του ελληνικού προτύπου.



Εικόνα 6.13. Αποτελέσματα περιεκτικότητας σε θειικά ιόντα

Εφόσον η ανάλυση έγινε σε δείγματα από διάφορες μονάδες και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αφορούν μέσες κατανομές από όλες τις μονάδες, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η αύξηση σε SO₄²⁻ που παρατηρείται στα δείγματα νερού ανακύκλωσης οφείλεται στο ότι ορισμένες μονάδες χρησιμοποιούν H₂SO₄ για την εξουδετέρωση. Στην πλειοψηφία τους όμως οι μονάδες χρησιμοποιούν υδροχλωρικό οξύ ως μέσο εξουδετέρωσης καθώς η μέση περιεκτικότητα του νερού ανακύκλωσης σε χλωριόντα είναι σχεδόν τετραπλάσια από αυτήν του νερού τροφοδοσίας ενώ για τα θειικά είναι διπλάσια. Όσον αφορά τα όρια του ελληνικού κανονισμού για την περιεκτικότητα σε χλωριόντα, τα δείγματα νερού παραγωγής συμμορφώνονται κατά μέσο όρο με τις προδιαγραφές ακόμα και για προεντεταμένο σκυρόδεμα. Επιπροσθέτως το νερό ανακύκλωσης πληροί τις απαιτήσεις για άοπλο και οπλισμένο σκυρόδεμα. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, το, κατά τα άλλα πολύ αυστηρό, ελληνικό πρότυπο έχει αρκετά ελαστικά όρια όσον αφορά την περιεκτικότητα σε χλωριόντα γεγονός που διευκολύνει τις μονάδες στην εξουδετέρωση του νερού. Και στην περίπτωση των παραπάνω εξεταζόμενων ιόντων η διακριτή αναλογία μεταξύ των δειγμάτων του νερού φαίνεται να είναι:

$$[\text{νερό παραγωγής}] = 80-90\% * [\text{νερό τροφοδοσίας}] + 10-20\% * [\text{νερό ανακύκλωσης}]$$



Εικόνα 6.14. Αποτελέσματα μέτρησης του pH

Το νερό που προέρχεται από τις τρεις κατηγορίες δειγμάτων νερού, έχει pH εντός των ορίων που καθορίζονται από το ελληνικό πρότυπο, όπως παρουσιάζεται στην **εικόνα 6.14**. Συγκεκριμένα οι μέσες κατανομές των μετρήσεων των τριών κατηγοριών συμπίπτουν. Τα αποτελέσματα αυτά είναι συμβατά με τις παρατηρήσεις του προηγούμενου κεφαλαίου, όπου αναφέρθηκε ότι οι ελληνικές μονάδες επεξεργάζονται το ανακυκλωμένο νερό, έτσι ώστε να μειώσουν το pH του από 12.5 σε 7.5 όπως φαίνεται παραπάνω. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι, παρά το γεγονός ότι οι μέσοι όροι των μετρήσεων συμμορφώνονται με τα όρια, υπήρξαν ακραίες τιμές του pH στις μετρήσεις του νερού ανακύκλωσης. Συγκεκριμένα οι δύο ακραίες τιμές που σημειώθηκαν ήταν 12.3 και 5.5. Το γεγονός αυτό επαληθεύει την παρατήρηση που σημειώθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο πως η χρήση του ανακυκλωμένου νερού σε εξωτερικές εφαρμογές (πότισμα, πλύσιμο, κλπ.) θα πρέπει να αποφεύγεται καθώς η εξουδετέρωση του νερού δεν μπορεί να είναι πλήρως ελεγχόμενη και τέτοιες χρήσεις μπορεί να αποδειχτούν επικίνδυνες για το περιβάλλον και την δημόσια υγεία.

6.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης τα τελικά συμπεράσματα αυτής της έρευνας είναι:

- Στις περισσότερες περιπτώσεις οι ευρωπαϊκές και ελληνικές μονάδες παραγωγής έτοιμου

σκυροδέματος που έλαβαν μέρος στην έρευνα διαθέτουν σύστημα ανακύκλωσης νερού.

- Η ανακύκλωση στις ευρωπαϊκές μονάδες γίνεται με βάση το ευρωπαϊκό πρότυπο EN1008 [5.4] και το νερό χρησιμοποιείται για την παραγωγή νέου σκυροδέματος χωρίς πρότερη επεξεργασία.
- Οι ελληνικές μονάδες ακολουθούν τις προδιαγραφές του ελληνικού προτύπου (ΕΛΟΤ345 [5.13]) σύμφωνα με το οποίο το νερό πρέπει να εξουδετερωθεί πριν χρησιμοποιηθεί ως νερό παραγωγής.
- Οι ελληνικές μονάδες δεν χρησιμοποιούν το επεξεργασμένο νερό μόνο για παραγωγή σκυροδέματος, αλλά και σε χρήσεις για πότισμα και καθαριότητα, εφαρμογές όχι και τόσο ασφαλείς.
- Λόγω της ιδιομορφίας της χώρας μας (με πολλές απομακρυσμένες και δύσκολα προσβάσιμες περιοχές όπως τα εκατοντάδες νησιά της), η Ελλάδα διαθέτει πάρα πολλές μικρές μονάδες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος, μικρής δυναμικότητας, οι οποίες συνήθως δε διαθέτουν σύστημα ανακύκλωσης νερού, κυρίως λόγω του ασύμφορου κόστους μιας τέτοιας εγκατάστασης.
- Η λούμη που συλλέγεται κατά την διαδικασία ανακύκλωσης απορρίπτεται από όλες τις μονάδες που απάντησαν στο ερωτηματολόγιο.
- Η χημική ανάλυση των δειγμάτων νερού από τις διάφορες μονάδες επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα της στατιστικής μελέτης. Το ανακυκλωμένο νερό έχει ουδέτερο pH (περίπου 7.5), σχετικά μειωμένη περιεκτικότητα σε στερεά (2.500 ppm) και αυξημένη περιεκτικότητα σε χλωριόντα ή θειικά ιόντα.
- Επίσης επιβεβαιώνεται από τις χημικές αναλύσεις ότι το νερό που χρησιμοποιείται

στην παραγωγή είναι κατά κύριο λόγο νερό τροφοδοσίας (80-95%) με μικρή προσθήκη επεξεργασμένου νερού ανακύκλωσης (5-20%).

6.5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[6.1] Zervaki M., Mappouridou M., Leptokaridis C., Tsimas S., Concrete sludge water recycling: An essential practice for the sustainability of a ready mix concrete plant, Third International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, Vienna, Austria, October 3-6, 2012

7. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΘΕΜΑΤΟΣ

Το 2000 ο Adam Neville δημοσίευσε ένα άρθρο με τίτλο που χαρακτήριζε το νερό ως την σταχτοπούτα του σκυροδέματος -Water: The Cinderella Ingredient of Concrete [5.16]. Πράγματι, παρά το γεγονός ότι το νερό αποτελεί ένα από τα τρία βασικά συστατικά του σκυροδέματος, και χωρίς αυτό δεν μπορεί να δημιουργηθεί σκυρόδεμα, κονίαμα ή ακόμα και πάστα τσιμέντου, μελέτες που εστιάζουν στα βασικά χαρακτηριστικά του και το πώς αυτά επηρεάζουν την επιτελεσματικότητα του σκυροδέματος φαίνεται να μην αποτελούν προτεραιότητα για τα ερευνητικά ινστιτούτα και τους διεθνείς φορείς. Έως το 2000 που δημοσιεύτηκε το παραπάνω άρθρο οι μελέτες αυτές ήταν ελάχιστες και απαρχειωμένες ενώ το ίδιο ίσχυε και για τα πρότυπα που αφορούσαν το νερό ανάμιξης (ή παραγωγής) του σκυροδέματος. Η εικόνα αυτή άλλαξε τα τελευταία χρόνια με την συγγραφή νέων προτύπων την περίοδο 2002-2010 (όπως αναφέρθηκαν και στο κεφάλαιο 5), τα οποία θέτουν συγκεκριμένα χημικά όρια αλλά και τεχνικές προδιαγραφές που ορίζουν την καταλληλότητα του νερού για την χρήση του σε παραγωγή νέου σκυροδέματος. Εισήχθησαν έτσι νέες πηγές νερού για την βιομηχανία συνεισφέροντας με αυτόν τον τρόπο στην εξοικονόμηση των υδάτινων πόρων -και ιδιαιτέρως αυτών του πόσιμου νερού- και την προώθηση της αειφορίας στις μονάδες έτοιμου σκυροδέματος (ΜΕΣ).

Η τελευταία επιτυγχάνεται με την μείωση ή εξάλειψη της ποσότητας των παραπροϊόντων που προκύπτουν σε μια ΜΕΣ (όπως αυτά παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4.4), κάτι που διευκολύνεται ιδιαίτερα με την εφαρμογή των παραπάνω προτύπων, καθώς το κυριότερο από αυτά είναι το νερό έκπλυσης των οχημάτων μεταφοράς έτοιμου σκυροδέματος (μπετονιέρες). Εκτιμάται ότι μία μονάδα έτοιμου σκυροδέματος για την έκπλυση ενός οχήματος, μία μόνο φορά, καταναλώνει περίπου 1000 - 1700 L νερού, το

οποίο μετά από αυτήν την διαδικασία είναι ιδιαίτερα αλκαλικό (pH 11-13) και έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα αιωρούμενα στερεά (5,000-15,000 mg/L). Τα παραπάνω καθιστούν το παραπροϊόν αυτό ιδιαίτερα επικίνδυνο για απόρριψη, καθώς εμφανίζεται κίνδυνος προσβολής του υδροφόρου ορίζοντα, και δημιουργείται έτσι η ανάγκη για επαναχρησιμοποίησή του, όχι μόνο για λόγους εξοικονόμησης πόρων αλλά και για την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας.

Τα πρότυπα που αναφέρθηκαν παραπάνω επιτρέπουν την χρήση νερού έκπλυσης ως νερό ανάμιξης για την παραγωγή νέου σκυροδέματος καθώς δεν έχουν περιορισμούς στο pH και την περιεκτικότητα σε ανόργανα στερεά, ή αν έχουν, ο περιορισμός αυτός είναι πολύ ελαστικός και το νερό έκπλυσης των οχημάτων μεταφοράς νωπού σκυροδέματος εύκολα καλύπτει τις απαιτούμενες προδιαγραφές. Έτσι, Ευρώπη, Αμερική, Αυστραλία αλλά και χώρες τις Ασίας ξεκίνησαν να εφαρμόζουν πρακτικές για την πλήρη ανακύκλωση του νερού έκπλυσης, κυρίως συγκεντρώνοντας τις εκπλύσεις σε δεξαμενές καθίζησης και χρησιμοποιώντας το υπερκείμενο νερό στην παραγωγή σκυροδέματος. Παραπροϊόν της περιγραφόμενης διαδικασίας εξακολουθεί να είναι η λούμη. Η ανακύκλωση αυτή πραγματοποιείται βάσει ελέγχων των προτύπων προδιαγραφών, και κυρίως αυτής που απαιτεί τα δοκίμια σκυροδέματος με ανακυκλωμένο νερό να φτάνουν τουλάχιστον το 90% των αντοχών των δοκιμών αναφοράς, χωρίς όμως να έχει γίνει μια ολοκληρωμένη μελέτη όσον αφορά τα επιμέρους χαρακτηριστικά του νερού και το πώς αυτά επηρεάζουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος.

Στην Ελλάδα η κατάσταση είναι διαφορετική. Όπως μελετήθηκε εκτενώς στα κεφάλαια 5 και 6, το πρότυπο που ισχύει για το νερό ανάμιξης που αφορά τις ελληνικές μονάδες θέτει αυστηρούς κανονισμούς και προϋποθέσεις για την χρήση εναλλακτικών πηγών νερού στην παραγωγή, υιοθετώντας έτσι την παλαιότερη αντίληψη ότι το νερό ανάμιξης σκυροδέματος πρέπει να βρίσκεται

κοντά στα όρια του πόσιμου. Οι εκσυγχρονισμένες ελληνικές ΜΕΣ -κυρίως αυτές στα μεγάλα αστικά κέντρα- που πραγματοποιούν προσπάθειες να ανακυκλώσουν το νερό, αναγκάζονται από τον ΕΛΟΤ να εξουδετερώνουν το νερό έκπλυσης και να απομακρύνουν τα στερεά του. Με τον τρόπο αυτό οι μονάδες επιβαρύνονται με το επιπλέον κόστος της εγκατάστασης και λειτουργίας των συστημάτων εξουδετέρωσης καθώς και με την συσσώρευση λούμης, η οποία, όπως προαναφέρθηκε, προκύπτει και στις μονάδες του εξωτερικού. Επιπροσθέτως, επηρεάζεται ένα ακόμα βασικό χημικό χαρακτηριστικό του νερού που θα καταλήξει στην παραγωγή, η περιεκτικότητα στα χλωριόντα, καθώς ο πιο συνηθισμένος τρόπος εξουδετέρωσης είναι η προσθήκη υδροχλωρικού οξέος. Παρά την πρότερη επεξεργασία του νερού έκπλυσης, συχνά οι ΜΕΣ δεν καταφέρνουν να τηρήσουν τα αυστηρά χημικά όρια όπως αυτά τίθενται στον ΕΛΟΤ, με αποτέλεσμα να συμπληρώνουν στο νερό παραγωγής μεγάλες ποσότητες πόσιμου νερού, όπως και αποδείχτηκε στην στατιστική ανάλυση του κεφαλαίου 6.

Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής διερευνάται διεξοδικά ο τρόπος που επηρεάζονται οι βασικές ιδιότητες του σκυροδέματος από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού έκπλυσης όταν αυτό χρησιμοποιηθεί ως νερό ανάμιξης. Συγκεκριμένα, αφού χαρακτηριστούν πλήρως το νερό έκπλυσης των δεξαμενών του συστήματος ανακύκλωσης μεγάλης ΜΕΣ της Αττικής καθώς και η προκύπτουσα λούμη, παρασκευάζονται δείγματα νερού έκπλυσης που επεξεργάζονται με διαφορετικό τρόπο ώστε να καλύπτουν ένα εύρος τιμών στο pH, την περιεκτικότητα σε στερεά και την συγκέντρωση χλωριόντων. Με τον τρόπο αυτόν απομονώνονται οι παραπάνω παράμετροι και γίνεται για πρώτη φορά σαφής η επίδρασή τους στην επιτελεσματικότητα του σκυροδέματος/κονιάματος. Τα δείγματα νερού χρησιμοποιούνται στην παρασκευή i) παστών τσιμέντου για τον προσδιορισμό της απαίτησης σε νερό, των χρόνων πήξης και της πορείας της

ενυδάτωσης, ii) τσιμεντοκονιαμάτων για την μέτρηση της εργασιμότητας, των καμπτικών και θλιπτικών αντοχών, της διαπερατότητας σε ιόντα χλωρίου και της θερμότητας ενυδάτωσης και iii) δοκιμίων σκυροδέματος για τον έλεγχο της εργασιμότητας και των θλιπτικών αντοχών με και χωρίς την χρήση υπερρευστοποιητή.

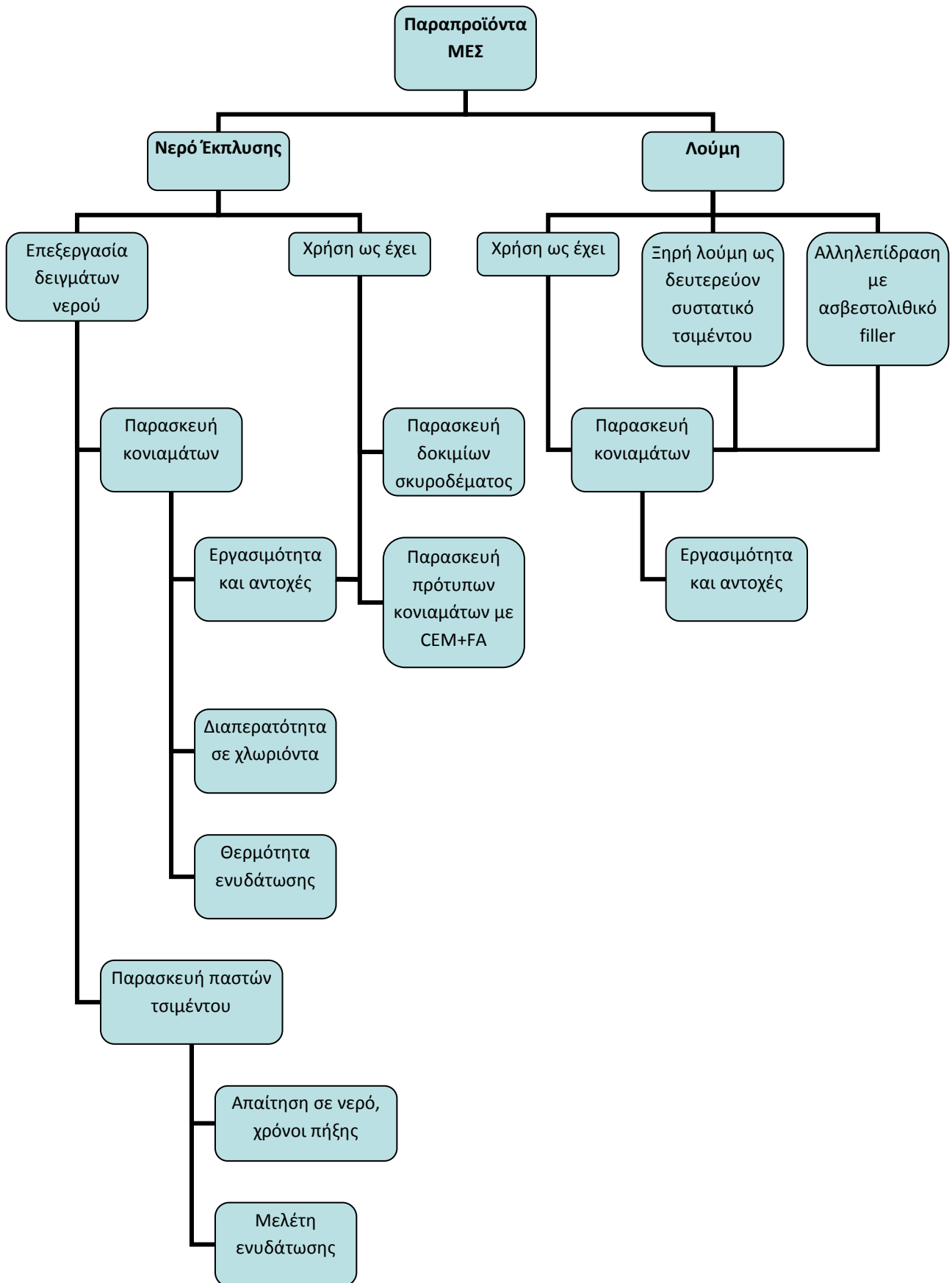
Ταυτόχρονα, μελετάται η χρήση της λούμης σε ξηρή μορφή ή αιωρούμενη στο νερό. Χρησιμοποιείται ως ασβεστολιθικό filler και λειτουργεί ως αντικαταστάτης άμμου ή τσιμέντου, ενώ προσδιορίζεται και το ποσοστό στο οποίο επηρεάζει τις αντοχές και την εργασιμότητα όταν συμμετέχει στο ανάμιγμα ως συστατικό του νερού σε σχέση με το filler που υπάρχει στην ασβεστολιθική άμμο. Παράλληλα, εξετάζεται η επίδραση του νερού έκπλυσης σε πρότυπα κονιάματα που έχουν παρασκευαστεί με τσιμέντα που περιέχουν ιπτάμενη τέφρα ώστε να εξεταστεί το ενδεχόμενο ενεργοποίησής της λόγω του αλκαλικού χαρακτήρα του νερού.

Τα παραπάνω στάδια της πειραματικής διαδικασίας παρουσιάζονται στο διάγραμμα ροής της παραγράφου 7.1.

Τέλος εξάγονται συμπεράσματα που οδηγούν στην αποσαφήνιση του “πώς και πόσο” επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του ανακυκλωμένου νερού έκπλυσης, άρα και ο τρόπος ανακύκλωσης και επεξεργασίας, την ποιότητα του παραγόμενου σκυροδέματος. Η μελέτη για την σωστή και αποδοτική ανακύκλωση των παραπροϊόντων των ΜΕΣ οδηγεί στη βιωσιμότητά τους σε τρεις διαφορετικούς άξονες:

1. Εξοικονόμηση φυσικών πόρων (πόσιμου νερού και ασβεστόλιθου)
2. Βελτίωση στα λειτουργικά κόστη, λόγω απουσίας συστήματος εξουδετέρωσης του νερού καθώς και μείωση του κόστους άλεσης ασβεστόλιθου για την παραγωγή filler)
3. Μείωση αποθέσεων στο περιβάλλον

7.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ



8. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ

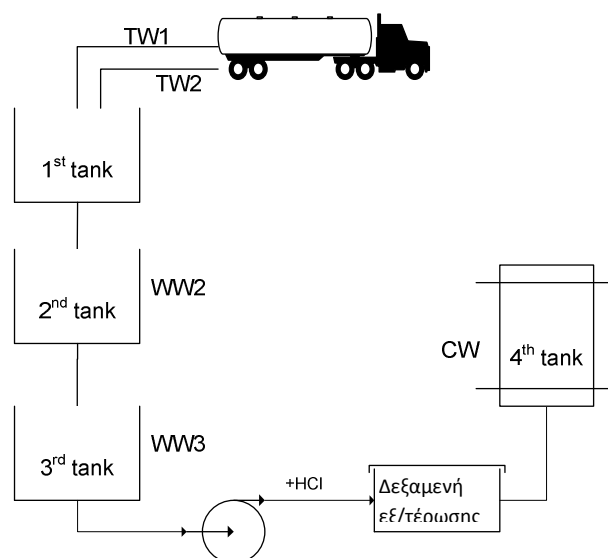
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Για την πραγματοποίηση των πειραμάτων της παρούσας διατριβής προηγήθηκε δειγματοληψία των εξεταζόμενων παραπροϊόντων (νερό έκπλυσης και λούμνη) από μεγάλη ΜΕΣ της Αττικής. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στο σύστημα ανακύκλωσης νερού της μονάδας, η οποία λειτουργεί με βάση τον κανονισμό του ΕΛΟΤ 345 [5.13] όσον αφορά το νερό ανάμιξης σκυροδέματος, το οποίο και παρουσιάζεται στην συνέχεια μαζί με τα σημεία της δειγματοληψίας. Τα δείγματα χαρακτηρίστηκαν με διάφορες φυσικοχημικές μεθόδους.

8.1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Η μονάδα στην οποία πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία διέθετε σύστημα ανακύκλωσης νερού που περιγράφεται σχηματικά στην **εικόνα 8.1**. Συγκεκριμένα, όταν το όχημα μεταφοράς νωπού σκυροδέματος (μπετονιέρα) επιστρέφει στην μονάδα από το έργο, αδειάζει σε συγκεκριμένο χώρο τις επιστροφές σκυροδέματος και στην συνέχεια ξεκινά η έκπλυση του οχήματος. Το εσωτερικό της βαρέλας γεμίζει με νερό και ύστερα από μερικές περιστροφές αδειάζει σε μία πρώτη δεξαμενή. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται άλλη μία ή δύο φορές ώστε να καθαριστεί επαρκώς η βαρέλα και τα τύμπανα. Τα νερά έκπλυσης συγκεντρώνονται στην πρώτη δεξαμενή καθίζησης, όπου και συσσωρεύεται η μεγαλύτερη ποσότητα των στερεών στον πυθμένα της δεξαμενής. Στην συνέχεια το νερό υπερχειλίζει στην δεύτερη και τρίτη δεξαμενή καθίζησης όπου πλέον τα αιωρούμενα στερεά έχουν απομακρυνθεί ικανοποιητικά από το νερό έκπλυσης. Το νερό της τρίτης δεξαμενής αντλείται προς την δεξαμενή εξουδετέρωσης όπου του προστίθεται υδροχλωρικό οξύ με σκοπό την μείωση του pH του νερού. Στην δεξαμενή εξουδετέρωσης είναι τοποθετημένο αυτόματο πεχάμετρο που παίρνει συνεχόμενες μετρήσεις pH

με στόχο την διατήρηση σταθερής τιμής κοντά στο 7, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιείται συνεχής ανάδευση. Το εξουδετερωμένο πλέον νερό προστίθεται σε μικρές ποσότητες (αναλογία περίπου 9:1) στην δεξαμενή όπου φυλάσσεται το νερό ανάμιξης ή παραγωγής, η οποία προμηθεύεται νερό από γεώτρηση/πηγή κοντά στην μονάδα.



Εικόνα 8.1. Σύστημα ανακύκλωσης νερού και σημεία δειγματοληψίας

Στην **εικόνα 8.1** φαίνονται τα σημεία όπου έγινε η πρώτη δειγματοληψία και οι συντομογραφίες αναλύονται στον **Πίνακα 8.1**.

Πίνακας 8.1. Σημεία πρώτης δειγματοληψίας

Συντομογραφία	Περιγραφή
TW1 (1 st truck wash)	Νερό από το πρώτο ξέπλυμα της βαρέλας
TW2 (2 nd truck wash)	Νερό από το δεύτερο ξέπλυμα της βαρέλας
WW2 (wash water/ 2 nd tank)	Νερό από την δεύτερη δεξαμενή καθίζησης
WW3 (wash water/ 3 rd tank)	Νερό από την τρίτη δεξαμενή καθίζησης
CW (combined water)	Νερό ανάμιξης σκυροδέματος

Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι όταν πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία η πρώτη δεξαμενή καθίζησης είχε γεμίσει πλήρως με λούμνη και έτσι το νερό υπερχειλίζει κατευθείαν στην

δεύτερη δεξαμενή με αποτέλεσμα να ληφθεί μόνο δείγμα λούμης από την συγκεκριμένη δεξαμενή.

Τα δείγματα της πρώτης δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκαν για χαρακτηρισμό και προκαταρκτικές μετρήσεις. Η πρώτη αυτή δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε τον Απρίλιο του 2009. Δεύτερη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε τον Ιανουάριο του 2010 όπου συλλέχθηκαν μεγάλες ποσότητες του νερού έκπλυσης απευθείας από την βαρέλα (TW1 και TW2), οι οποίες περιείχαν όλα τα στερεά της έκπλυσης, ενώ έγινε επίσης συλλογή μεγάλης ποσότητα λούμης. Με τα δείγματα της δεύτερης δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκε η πλειοψηφία των πειραμάτων της διατριβής. Μια τρίτη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε τον Οκτώβριο του 2012 όπου συλλέχθηκε λούμη με σκοπό να επαληθευτεί η σταθερότητα της χημικής σύστασης και των χαρακτηριστικών του υλικού.

8.2. ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΈΚΠΛΥΣΗΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΡΟΤΥΠΑ

Η χημική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τα δείγματα νερού της πρώτης δειγματοληψίας περιελάμβανε την μέτρηση του pH και της περιεκτικότητας σε συνολικά (αιωρούμενα και διαλυμένα) στερεά, χλωριόντα, θειικά ιόντα, νάτριο και κάλιο. Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις περιγράφονται στον **Πίνακα 8.2** ενώ τα αποτελέσματα των μετρήσεων καθώς και οι επιτρεπόμενες τιμές των ισχυόντων προτύπων παρατίθενται στον **Πίνακα 8.3**.

Πίνακας 8.2. Μεθοδολογίες χημικής ανάλυσης

Παράμετρος	Πρότυπη Μέθοδος
pH	ISO 10523:2008 [8.1]
TS (συνολικά στερεά)	Σταθμικά
Cl ⁻	Μέθοδος Volhard [8.2]
SO ₄ ²⁻	ISO 2480:1972 [8.3]
Na, K	ASTM D3561: 2011[8.4]

Οι συγκεντρώσεις των αλκαλίων προσδιορίστηκαν με Φασματομετρία Ατομικής Απορρόφησης (AAS, VARIAN AA240FS) και οι τιμές του pH με το πεχάμετρο WTW Inolab 740, ακρίβειας 1^{ου} δεκαδικού.

Πίνακας 8.3. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού έκπλυσης

Δείγμα νερού	pH	Ολικά στερεά (mg/L)	Cl ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	Na ₂ O _{eq} [*] (ppm)
TW1	12.4	5000	195	1991	104.3
TW2	12.1	1750	213	1287	50.5
WW2	12.2	1480	195	1452	71.8
WW3	12.0	1300	195	1285	75.4
CW	8.1	630	355	1152	63.9
TW1+ TW2 2 ^η δ/ψια	12.5	10200	284	1216	52.8
Όρια προτύπων					
ΕΛΟΤ	6-9 ⁺⁺ ≥5 [±]	<800 ⁺ <3000 ⁺ <15000 [±]	<240 ⁺ <1215 [±] <9100 [±]	<250 ⁺ <1014 [±] <2030 [±]	-
EN/ISO	>4	<1% αδρα- νών	≤500 ⁺ ≤1000 ⁺ ≤4500 [±]	≤2000 ≤2000	<1500
ASTM	-	<50000	≤500 ⁺ ≤1000 [±]	≤3000	<600
AS	≥5	-	-	-	-

Οι προδιαγραφές των προτύπων που αναφέρονται στον **Πίνακα 8.3** έχουν περιγραφεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 5.6.

Στις **εικόνες 8.2-8.5** παρουσιάζονται σχηματικά οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων νερού που προέρχονται από τα διάφορα στάδια της διαδικασίας ανακύκλωσης και συγκρίνονται με τα όρια, των πιο ευρέως εφαρμοζόμενων

* Το ισοδύναμο αλκαλίων Na₂O_{eq} ισούται με Na₂O+0.658 K₂O

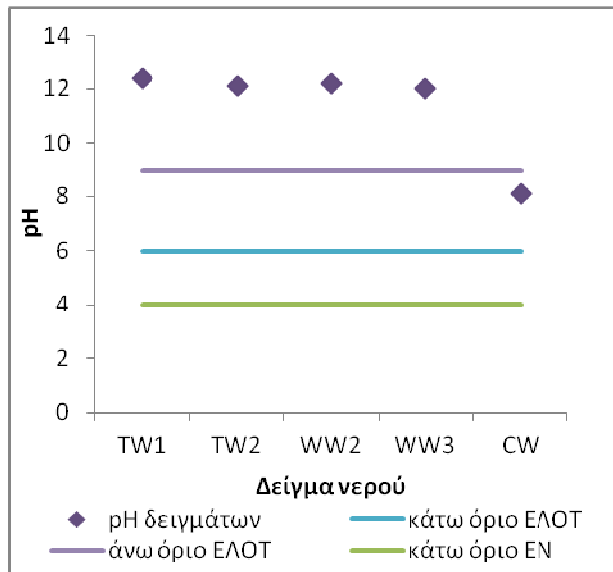
⁺ Όριο για προεντεταμένο σκυρόδεμα

[±] Όριο για σπλισμένο σκυρόδεμα

[±] Όριο για άοπλο σκυρόδεμα

προδιαγραφών που αφορούν το νερό ανάμιξης σκυροδέματος, του ευρωπαϊκού EN 1008 [5.4] και του αμερικανικού ASTM C1602 [5.5], ενώ ταυτόχρονα γίνεται σύγκριση και με το πρότυπο που ακολουθεί η συγκεκριμένη μονάδα, ΕΛΟΤ 345 [5.13]. Η σύγκριση γίνεται με τα όρια που ισχύουν για το σπλισμένο σκυρόδεμα καθώς είναι και το πιο διαδεδομένο εμπορικό προϊόν.

8.2.1. pH



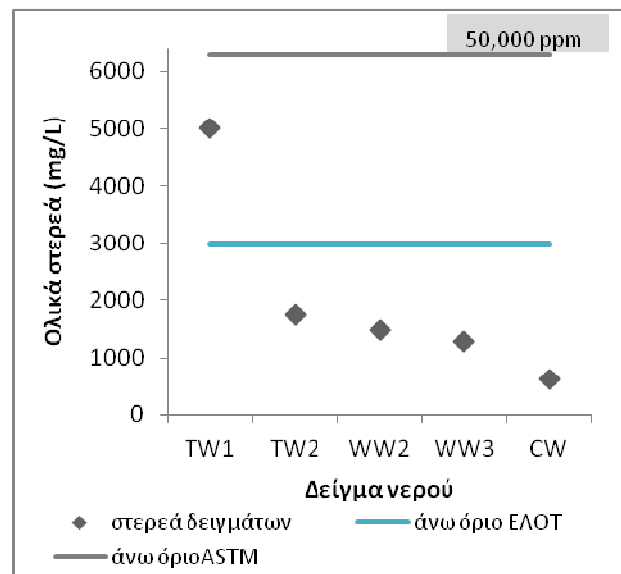
Εικόνα 8.2. Μέτρηση pH των δειγμάτων νερού και σύγκριση με προδιαγραφές προτύπων

Είναι σαφές ότι το νερό έκπλυσης όταν εξέρχεται από την βαρέλα αλλά και όταν βρίσκεται στις δεξαμενές καθίζησης έχει ιδιαίτερα υψηλό pH καθώς προέρχεται από την έκπλυση ενός ισχυρά αλκαλικού προϊόντος, του σκυροδέματος (με pH περίπου 12-13). Τα διαλυτά συστατικά του σκυροδέματος, κυρίως η τσιμεντόπαστα που περιέχει ενυδατωμένα συστατικά του κλίνκερ και πορτλαντίτη, απελευθερώνουν ιόντα OH^- στο νερό και αυξάνουν την τιμή του pH, ενώ τα αδιάλυτα, που είναι και η κύρια μάζα των επιστροφών, παραμένουν ως αδρανή υλικά στο νερό και σχηματίζουν αργότερα τη λούμη. Όπως φαίνεται στην **εικόνα 8.2**, το pH του νερού έκπλυσης παραμένει σε υψηλά επίπεδα στα στάδια της ανακύκλωσης που προηγούνται της εξουδετέρωσης σημειώνοντας μόνο μια μικρή πτώση στην πορεία της διαδικασίας αφού ξεκινάει

από την τιμή 12.4 στην πρώτη έκπλυση και φτάνει την τιμή 12 στην τρίτη δεξαμενή καθίζησης. Η τιμή του pH του νερού παραγωγής είναι 8, κάτι που έχει προκύψει από την εξουδετέρωση αλλά κυρίως από την ανάμιξη με το νερό πηγής, καθώς η εξουδετέρωση δεν είναι διαδικασία ιδιαίτερης ακρίβειας και μπορεί να προκύψουν πολύ χαμηλές τιμές pH.

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως (κεφάλαιο 5.6), το πρότυπο του ΕΛΟΤ είναι το μόνο που θέτει όριο στην αλκαλικότητα του νερού ανάμιξης απαγορεύοντας την χρήση νερού με pH άνω του 9 και περιορίζοντας έτσι την χρήση του νερού έκπλυσης ως νερό ανάμιξης χωρίς το στάδιο της εξουδετέρωσης. Όσον αφορά τις τιμές του pH, το νερό παραγωγής είναι το μόνο που καλύπτει τις προδιαγραφές του ΕΛΟΤ ενώ όλα τα δείγματα νερού είναι εντός των διεθνών προδιαγραφών.

8.2.2. ΟΛΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ

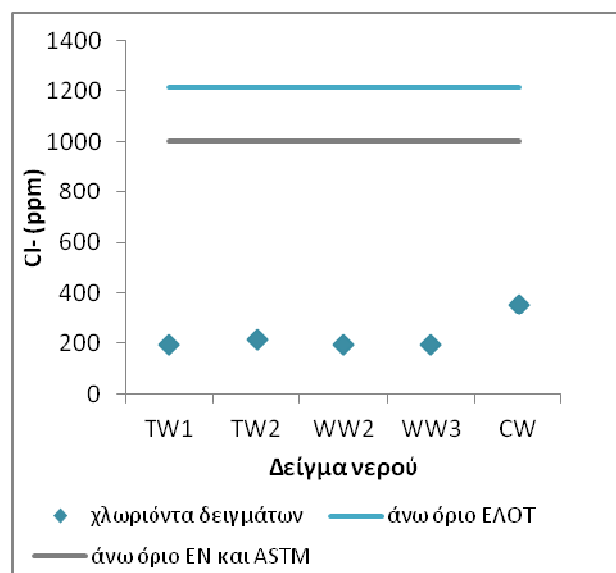


Εικόνα 8.3. Περιεκτικότητα δειγμάτων νερού σε συνολικά ανόργανα στερεά και σύγκριση με προδιαγραφές προτύπων

Η ποσότητα των στερεών που βρίσκονται διαλυμένα ή αιωρούμενα στο νερό έκπλυσης μειώνεται όσο προχωράει η διαδικασία ανακύκλωσης (**εικόνα 8.3**). Το πρώτο έκπλυμα TW1 έχει τα περισσότερα στερεά, το δεύτερο TW2 σαφώς λιγότερα γιατί ο μεγαλύτερος όγκος των επιστροφών έχει απομακρυνθεί με την πρώτη έκπλυση και στην συνέχεια, όσο καθιζάνει η

λούμη στις δεξαμενές καθίζησης, τα στερεά όλο και μειώνονται. Η ποσότητα των 5000 mg/L ανόργανων στερεών του πρώτου εκπλύματος μπορεί να είναι ακόμα μεγαλύτερη καθώς η δειγματοληψία έγινε προς το τέλος του αδειάσματος της βαρέλας. Είναι προφανές εδώ ότι το νερό απευθείας όπως εξέρχεται από το όχημα έχει ξεπεράσει κατά πολύ τις προδιαγραφές του ελληνικού προτύπου, είναι όμως εντός των διεθνών προδιαγραφών και μάλιστα με περιεκτικότητα δέκα φορές μικρότερη της μέγιστης επιτρεπόμενης από το αμερικανικό πρότυπο.

8.2.3. ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ

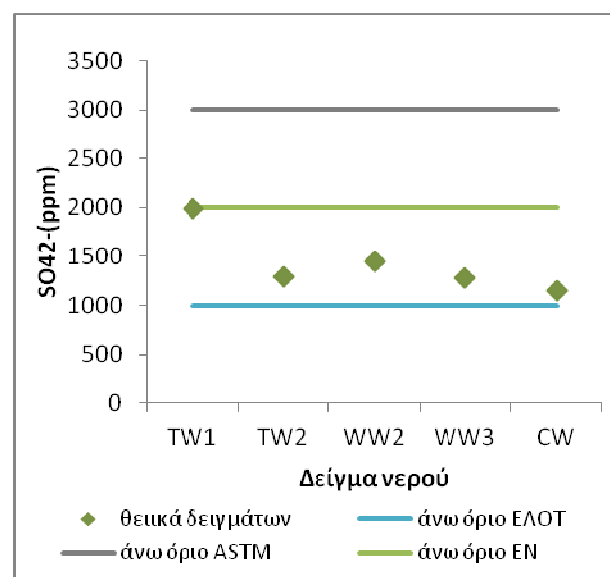


Εικόνα 8.4. Μέτρηση περιεκτικότητας χλωριόντων στα δείγματα νερού και σύγκριση με τις προδιαγραφές των προτύπων

Η περιεκτικότητα των δειγμάτων νερού σε ιόντα χλωρίου φαίνεται στην **εικόνα 8.4**. Σε γενικές γραμμές τα χλωριόντα του νερού έκπλυσης είναι σε χαμηλά επίπεδα -καλύπτοντας με ευκολία τις προδιαγραφές των προτύπων- και δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα από την διαδικασία της ανακύκλωσης, δηλαδή την καθίζηση και την υπερχειλίση, καθώς είναι ιόντα διαλυμένα στο νερό και το ακολουθούν στα παραπάνω στάδια. Χλωριόντα προστίθενται στο νερό κατά την εξουδετέρωση με υδροχλωρικό οξύ αλλά, καθώς δεν υπήρξε η δυνατότητα λήψης δείγματος από την δεξαμενή εξουδετέρωσης, η μόνη ένδειξη που

υπάρχει για την αύξηση των χλωριόντων είναι η περιεκτικότητα τους στο νερό ανάμιξης. Υπενθυμίζεται εδώ ότι το νερό ανάμιξης είναι ένας συνδυασμός νερού πηγής και εξουδετερωμένου νερού σε αναλογία περίπου 9:1. Παρά την μικρή συμμετοχή του εξουδετερωμένου νερού στο νερό ανάμιξης, φαίνεται μία σαφής αύξηση των χλωριόντων σε επίπεδα σχεδόν διπλάσια από αυτά του νερού έκπλυσης στα προηγούμενα στάδια. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην στατιστική μελέτη που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 6.3, παρατηρήθηκαν στα νερά ανακύκλωσης (που είναι συνήθως δείγματα νερού μετά το στάδια της εξουδετέρωσης) περιεκτικότητες χλωριόντων που υπερέβησαν τα 1000 ppm. Οι τιμές αυτές βέβαια δεν φτάνουν στο νερό ανάμιξης λόγω της μεγάλης συμμετοχής «καθαρού» νερού σε αυτό.

8.2.4. ΘΕΙΚΑ ΙΟΝΤΑ



Εικόνα 8.5. Μέτρηση περιεκτικότητας θειικών ιόντων στα δείγματα νερού και σύγκριση με τις προδιαγραφές των προτύπων

Τα θειικά ιόντα που περιέχονται στα δείγματα νερού παρουσιάζονται στην **εικόνα 8.5**. Όλα τα δείγματα παρουσιάζουν αυξημένες τιμές θειικών και κανένα δεν καλύπτει τις προδιαγραφές του ελληνικού προτύπου, είναι όμως εντός των διεθνών προδιαγραφών με το TW1 να συμμορφώνεται οριακά με το ευρωπαϊκό πρότυπο. Υπάρχουν δύο λόγοι που το νερό έκπλυσης περιέχει θειικά: i) τα θειικά της γύψου

που βρίσκονται στο επιστρεφόμενο σκυρόδεμα και ii) το νερό πηγής έχει ήδη υψηλή περιεκτικότητα σε θειικά ιόντα. Στην περίπτωση της συγκεκριμένης μονάδας πιθανόν ισχύουν και οι δύο λόγοι. Το πρώτο έκπλυμα μεταφέρει τα περισσότερα θειικά ιόντα της γύψου στις δεξαμενές και στη συνέχεια η τιμή αυτή μειώνεται με την δεύτερη έκπλυση. Κατά την διαδικασία της ανακύκλωσης δεν υπάρχει διεργασία που επηρεάζει τα θειικά ιόντα οπότε οι περιεκτικότητες των δειγμάτων νερού στις δεξαμενές καθίζησης είναι σχετικά σταθερές. Το νερό ανάμιξης είναι και αυτό πλούσιο σε θειικά ιόντα, κάτι που επαληθεύει την υπόθεση ότι το νερό πηγής περιέχει αυξημένη ποσότητα θεικών. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να είναι περιοδικό καθώς οι πηγές και οι γεωτρήσεις έχουν συχνά μεταβολές στην σύστασή τους.

Συμπερασματικά, όλα τα δείγματα νερού συμμορφώνονται με τις διεθνείς προδιαγραφές αλλά όχι με τις ελληνικές. Εξαίρεση αποτελεί το νερό ανάμιξης που είναι εντός ελληνικών προδιαγραφών, καθώς αυτές τηρεί η μονάδα, με την περιεκτικότητα του σε θειικά ιόντα να είναι οριακά μεγαλύτερη από την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή.

8.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΛΟΥΜΗΣ

Η λούμη, όπως συλλέγεται από την δεξαμενή καθίζησης, είναι σε μορφή λάσπης με μεγάλο ποσοστό υγρασίας και συσσωματώματα, όπως φαίνεται στην **εικόνα 8.6**.

Για να πραγματοποιηθεί ο χαρακτηρισμός της αλλά και για να χρησιμοποιηθεί στα επόμενα στάδια των πειραμάτων η λούμη υπέστη την εξής προεργασία:

- Ξήρανση στους 60°C για 24h ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία της
- Αποσυσσωμάτωση με ανακίνηση και όχι με άλεση ώστε να μην επηρεαστεί η κοκκομετρική κατανομή της.



Εικόνα 8.6. Δείγμα λούμης σε ακατέργαστη μορφή

Από την απώλεια βάρους του υλικού κατά την διαδικασία της ξήρανσης υπολογίστηκε η ποσότητα υγρασίας της λούμης και ο μέσος όρος των μετρήσεων είχε ως αποτέλεσμα:

$$\text{Υγρασία (\% w/w)} = 68.7 \pm 1.7$$

Στην ξηρή λεπτή σκόνη που προέκυψε από την παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε πλήρης χαρακτηρισμός που περιείχε

- i) χημική ανάλυση με χρήση της μεθόδου φθορισμού ακτίνων X (X-Ray Fluorescence, XRF),
- ii) ορυκτολογική ανάλυση με τη μέθοδο περίθλασης ακτίνων X (X-Ray Diffraction, XRD),
- iii) θερμική ανάλυση με τη μέθοδο της βαρυτομετρικής (Thermal Gravimetric, TG) και διαφορικής βαρυτομετρικής (Differential Thermal Gravimetric, DTG) ανάλυσης,
- iv) οπτική ανάλυση με τη μέθοδο της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (Scanning Electron Microscopy, SEM) και
- v) κοκκομετρική ανάλυση με ακτίνες laser (Laser Granulometry).

8.3.1. ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η χημική ανάλυση της λούμης έγινε με τη μέθοδο φθορισμού ακτίνων Χ με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου φθορισμού ακτίνων Χ (XRF) της Oxford τύπου MDX1000.

Πίνακας 8.4. Χημική ανάλυση λούμης (επί ξηρού)

Στοιχείο/Οξείδιο	% w/w
CaO	41.78
SiO ₂	16.84
Al ₂ O ₃	3.77
MgO	1.80
Fe ₂ O ₃	1.67
SO ₃	1.58
K ₂ O	0.317
TiO ₂	0.164
Na ₂ O	0.059
Cl	840ppm
P ₂ O ₅	620ppm
MnO	270ppm
V ₂ O ₅	210ppm
Cr ₂ O ₃	110ppm
CuO	87ppm
NiO	82ppm
ZnO	65ppm
SrO	63ppm
LOI	31.53

Αρχικά, παρασκευάζονται τετηγμένα δισκία (fused beads), τα οποία αναλύονται με το σύστημα φθορισμού ακτίνων Χ για τον προσδιορισμό της χημικής τους σύστασης εκφρασμένης σε οξείδια. Για την πραγματοποίηση των αναλύσεων προαπαιτείται βαθμονόμηση του οργάνου, δηλαδή κατασκευή καμπύλης για κάθε οξείδιο, που συσχετίζει τη μετρούμενη ένταση της ακτινοβολίας φθορισμού με τη συγκέντρωση του οξειδίου στο δείγμα. Κατόπιν, βάσει των καμπυλών αυτών, οι μετρούμενες εντάσεις από το υπό ανάλυση δείγμα μετατρέπονται σε συγκέντρωση οξειδίων που είναι και το τελικό

αποτέλεσμα της ανάλυσης. Η χημική ανάλυση που προέκυψε φαίνεται στον **Πίνακα 8.4**.

Η χημική ανάλυση της λούμης αποδεικνύει ότι περιέχει τα βασικά στοιχεία του τσιμέντου και του σκυροδέματος, δηλαδή CaO, SiO₂ και σε μικρότερες ποσότητες Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃ και SO₃. Έχει επίσης αρκετά μεγάλη απώλεια πύρωσης, κάτι που υποδεικνύει την ύπαρξη υδροξειδίων και ανθρακικών στο υλικό. Σε γενικές γραμμές η ανάλυση της λούμης βρίσκεται εντός ορίων των αποδεκτών συμπληρωματικών κονιών καθώς τα βλαπτικά προς το τσιμέντο στοιχεία (Cr, βαρέα μέταλλα) είναι σε επίπεδα ιχνοστοιχείων και ως εκ τούτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ασφαλώς ως συστατικό του σκυροδέματος.

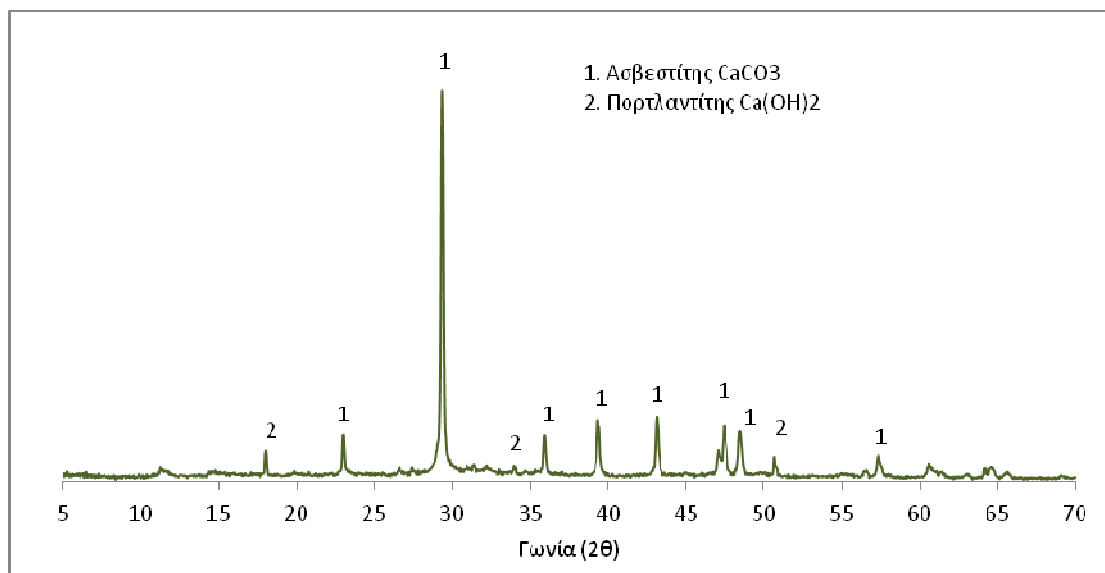
8.3.2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για τον εντοπισμό των κύριων ορυκτολογικών φάσεων σε κρυσταλλική μορφή χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της περιθλάσης με ακτίνες Χ και με την χρήση περιθλασιμέτρου Siemens X-ray diffractometer (Cu Kα ακτινοβολία, 40 kV, 30 mA, σε εύρος ανίχνευσης 5 - 70° σε κλίμακα γωνίας 2θ). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης φαίνονται στο ακτινοδιάγραμμα της **εικόνας 8.7**. Οι βασικές ορυκτολογικές φάσεις της λούμης είναι μορφές που κρυσταλλώνεται το ασβέστιο, ο ασβεστίτης που είναι μορφή ανθρακικού ασβεστίου και ο πορτλαντίτης που αποτελεί μορφή υδροξειδίου του ασβεστίου.

Η διαφορά των δύο φάσεων, όσον αφορά την προέλευση της λούμης, είναι ότι το CaCO₃ προέρχεται από τα ασβεστολιθικά αδρανή του σκυροδέματος και γι' αυτό αποτελεί την κύρια φάση του υλικού, ενώ το Ca(OH)₂ είναι προϊόν της ενυδατωμένης τσιμεντόπαστας και συμμετέχει στη λούμη σε μικρότερα ποσοστά. Το βασικό προϊόν ενυδάτωσης του τσιμέντου, το C-S-H, είναι άμορφο και δεν εμφανίζεται στα ακτινοδιαγράμματα του XRD και αυτός είναι πιθανόν ο λόγος που δεν ανιχνεύτηκε κρυσταλλική φάση που να έχει την ποσότητα του πυριτίου που μετρήθηκε στο XRF.

Συμπληρωματικά και σε μικρά ποσοστά, ανιχνεύτηκαν οι φάσεις του δολομίτη $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$, του γκελενίτη $[\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSiO}_7)]$, του ιλλίτη $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})]$, του μικροκλινή $(\text{KAlSi}_3\text{O}_8)$, του αλβίτη $(\text{NaAlSi}_3\text{O}_8)$

και της γύψου $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$. Εκτός από την γύψο που είναι συστατικό του τσιμέντου, οι υπόλοιπες φάσεις είναι ανενεργές και προέρχονται από αδρανή.



Εικόνα 8.7.
Ακτινοδιάγραμμα
λούμης

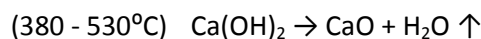
8.3.3. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

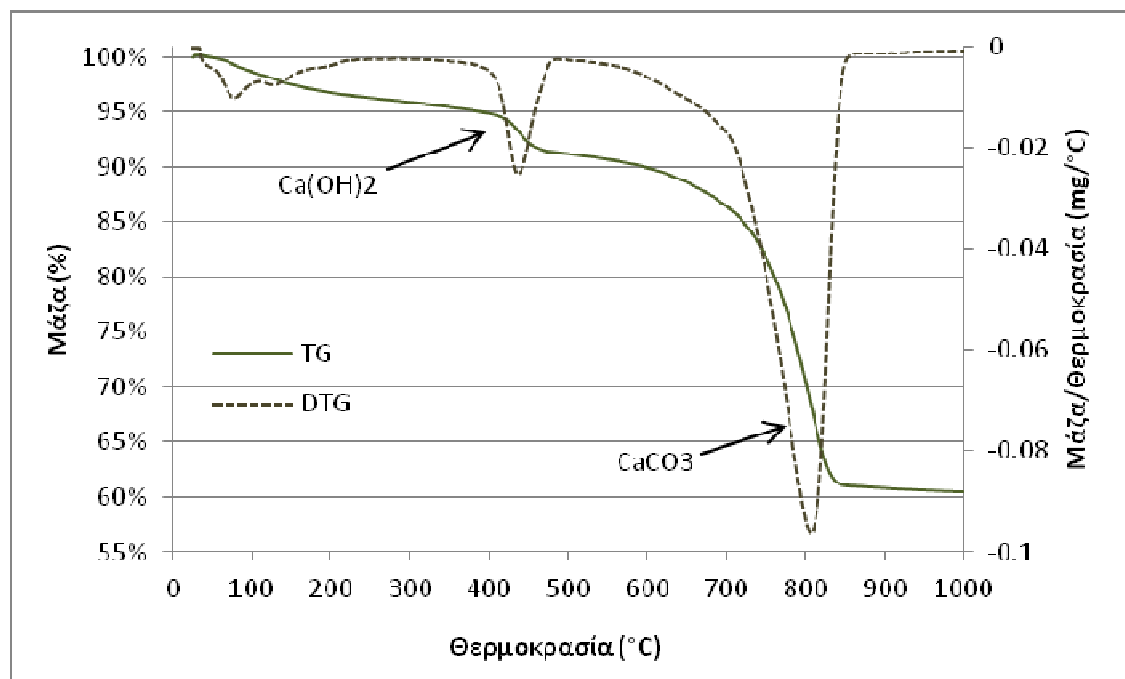
Την χημική και ορυκτολογική ανάλυση συμπληρώνει η θερμοβαρυμετρική ανάλυση (TG) και η διαφορική θερμική βαρυτομετρική ανάλυση (DTG). Η καταγραφή της μεταβολής της μάζας των εξεταζόμενου δείγματος κατά τη θέρμανση του, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του οργάνου TGA/SDTA 851 της METTLER TOLEDO. Οι συνθήκες εφαρμογής της μεθόδου ήταν οι εξής:

- Εισαγωγή των δειγμάτων, βάρους 50-70mg, σε χωνευτήριο πλατίνας με χωρητικότητα 70μL.
- Θερμική κατεργασία στην περιοχή από 25°C έως 1000°C με σταθερό βήμα ανόδου της θερμοκρασίας 10°C/min.
- Αποφυγή ενανθράκωσης των δειγμάτων από τον ατμοσφαιρικό αέρα χρησιμοποιώντας άζωτο παροχής 50mL/min, ως αδρανές αέριο.

Στην **εικόνα 8.8** παρουσιάζονται οι καμπύλες της θερμικής βαρυτομετρικής (TG) και διαφορικής βαρυτομετρικής θερμικής ανάλυσης (DTG)

δείγματος λούμης. Από την καμπύλη TG και ακόμα πιο ξεκάθαρα από τη διαφορική της μορφή (καμπύλη DTG) φαίνεται πως σημαντική απώλεια μάζας παρατηρείται σε δύο περιοχές του διαγράμματος. Η πιο έντονη μεταβολή φαίνεται στην περιοχή διάσπασης του ασβεστίτη CaCO_3 μεταξύ των 650 και 900 °C. Αυτό ενισχύει το συμπέρασμα της ορυκτολογικής ανάλυσης ότι το κύριο συστατικό της λούμης είναι ο ασβεστίτης. Λιγότερη έντονη μεταβολή βάρους παρατηρείται στην περιοχή 380-530°C και οφείλεται στην απώλεια του χημικά ενωμένου νερού του πορτλαντίτη $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Οι απώλειες μάζας εκφράζονται στις παρακάτω αντιδράσεις:





Εικόνα 8.8.
Καμπύλες TG
και DTG
δείγματος
λούμης

Με βάση την στοιχειομετρία των αντιδράσεων αλλά και την ποσοστιαία απώλεια μάζας στις εξεταζόμενες θερμοκρασιακές περιοχές προκύπτει ο **Πίνακας 8.5**.

Πίνακας 8.5. Περιεκτικότητα λούμης σε ασβεστίτη και πορτλαντίτη βάσει θερμικής ανάλυσης

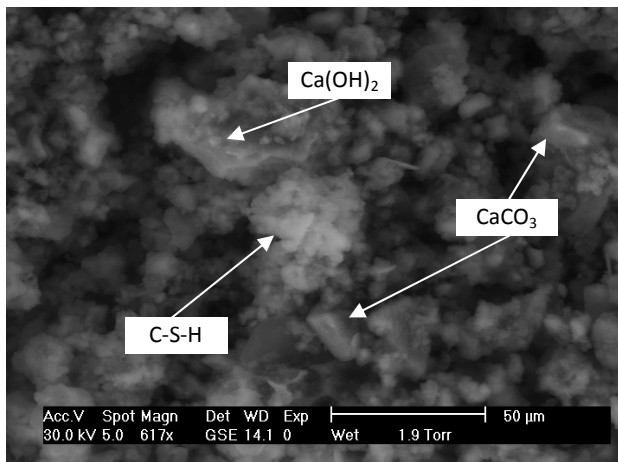
Θερμοκρασιακή περιοχή: 380 - 530°C		
H ₂ O	CaO	Ca(OH) ₂
3.68%	11.44%	15.11%
Θερμοκρασιακή περιοχή: 650 - 900°C		
CO ₂	CaO	CaCO ₃
26.51%	33.74%	60.26%

Τα αποτελέσματα αυτά συμπίπτουν και με την χημική ανάλυση, όπου από την θερμική ανάλυση προκύπτει η περιεκτικότητα του CaO ίση με 45.18% ενώ από την χημική ανάλυση η τιμή αυτή είναι 41.78%. Η απόκλιση μπορεί να οφείλεται σε σφάλμα των καμπυλών του XRF ή σε αδυναμία προσδιορισμού της ακριβούς θερμοκρασιακής περιοχής που γίνεται η διάσπαση των ενώσεων κατά την θερμική ανάλυση καθώς επίσης στην πολύ μικρή ποσότητα που χρησιμοποιείται για τις

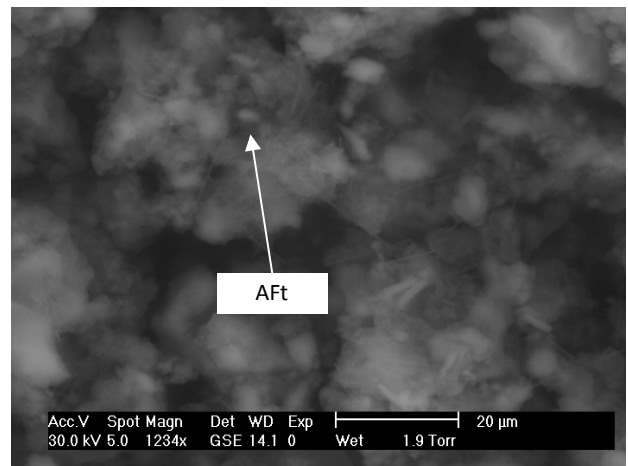
μετρήσεις του TG σε κάθε περίπτωση βρίσκεται εντός αποδεκτών ορίων.

8.3.4. ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Οπτική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης. Η αρχή λειτουργίας του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) βασίζεται στην παραγωγή μίας εστιασμένης δέσμης ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας δημιουργώντας ένα εύρος σημάτων στην επιφάνεια του στερεού δείγματος. Τα σήματα που προέρχονται από την αλληλεπίδραση ηλεκτρονίου - δείγματος παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το δείγμα συμπεριλαμβανομένης της εξωτερικής μορφολογίας, της χημικής σύνθεσης και της κρυσταλλικής δομής του δείγματος. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση ήταν το μοντέλο JEOL JSM 35C σύστημα μικροσκοπίου NORAN, Voyager και ημιποσοτική ανάλυση χωρίς πρότυπα. Επίσης, για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε ανιχνευτής GSE. Τα αποτελέσματα σε μεγεθύνσεις x617, x1234 και x2469 παρουσιάζονται στις **εικόνες 8.9-8.11**.



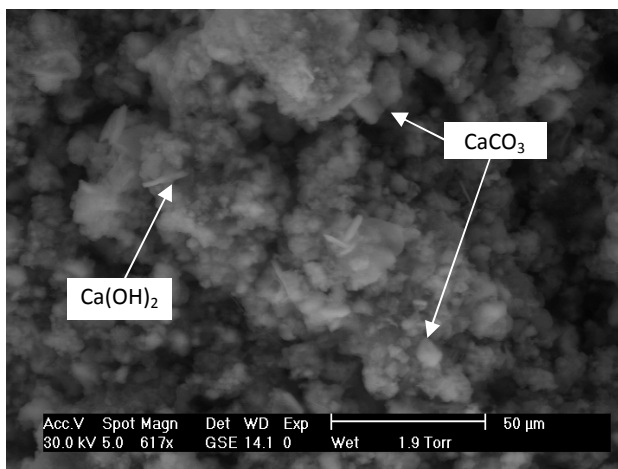
(α)



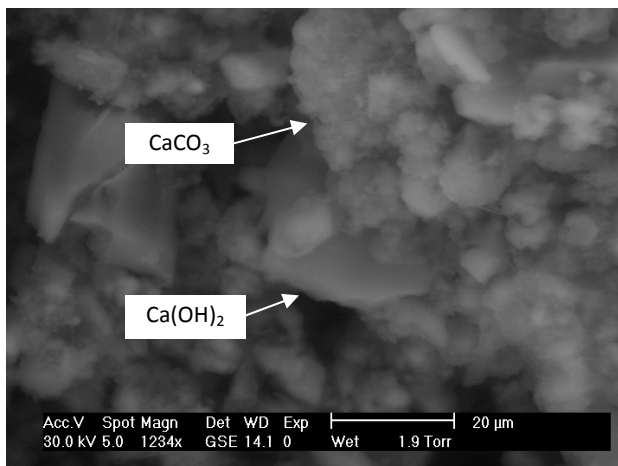
(β)

Εικόνα 8.10.α-β. Εικόνες SEM λούμης στα $\times 1234$

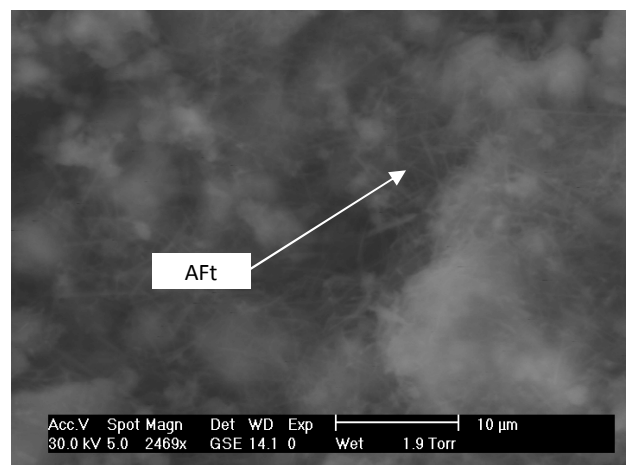
Οι εικόνες του μικροσκοπίου φωτογραφίζουν τις φάσεις που ανιχνεύτηκαν στην παραπάνω ανάλυση. Οι συμπαγείς πολυγωνικοί κρύσταλλοι είναι φάσεις του ασβεστίτη, ενώ ο πορτλαντίτης εμφανίζεται σε λεπτούς εξαγωνικούς κρυστάλλους. Η ένυδρη φάση του C-S-H είναι εμφανής από τα λευκά νεφελώματα των φωτογραφιών. Σε μεγαλύτερες μεγεθύνσεις φαίνονται ξεκάθαρα οι κρύσταλλοι του πορτλαντίτη σε εξαγωνική μορφή που αναγνωρίζονται κυρίως σε πλάγια όψη και αρχίζει να διακρίνεται η βελονοειδής μορφή του εττριγκίτη Aft.



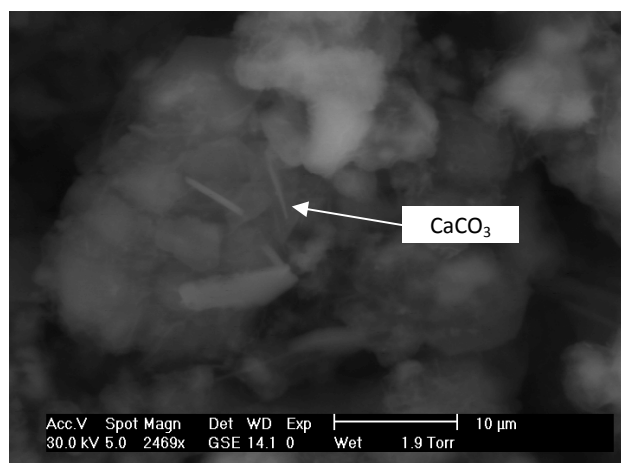
(β)

Εικόνα 8.9.α-β. Εικόνες SEM λούμης στα $\times 617$ 

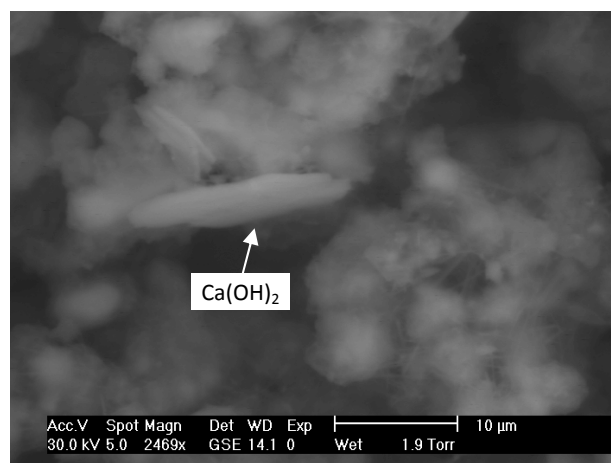
(α)



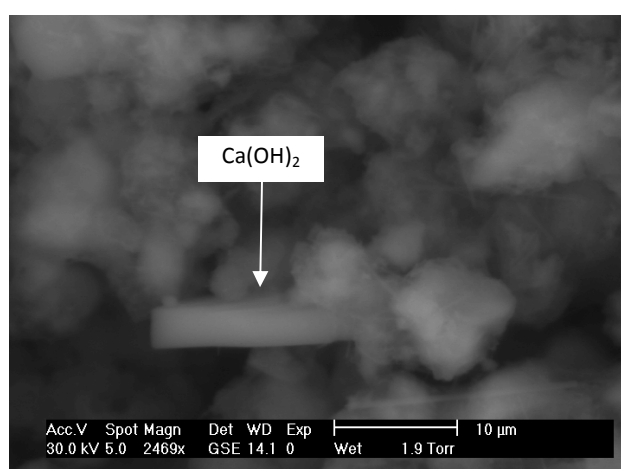
(α)



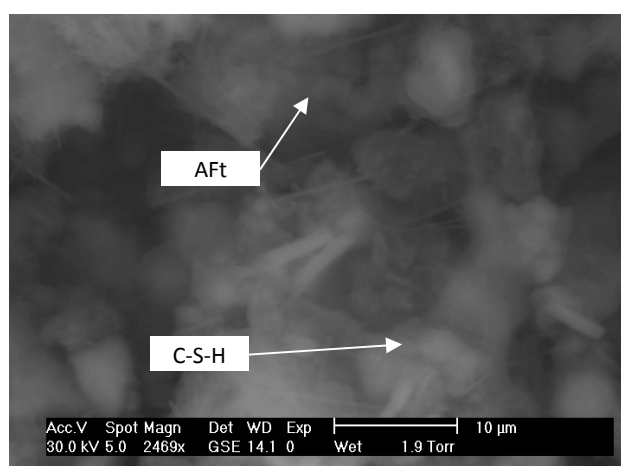
(β)



(ε)



(γ)



(δ)

Εικόνα 8.11.α-ε.Εικόνες SEM λούμης στα **x2469**

Σε γενικές γραμμές η οπτική ανάλυση επαλήθευσε τα αποτελέσματα που διεξήχθησαν προηγουμένως. Η φάση του ασβεστίτη και του πορτλαντίτη είναι κυρίαρχες στο υλικό ενώ σε συγκεκριμένα σημεία ανιχνεύονται ενυδατωμένες φάσεις του τσιμέντου όπως C-S-H και εττριγκίτης.

8.3.5. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

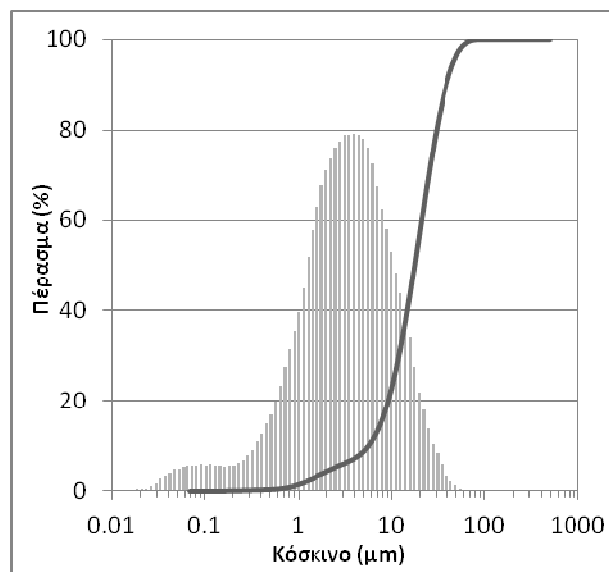
Πραγματοποιήθηκε κοκκομετρική ανάλυση του αποσυσσωματωμένου υλικού με laser με χρήση της συσκευής CILAS 1064 Liquid ώστε να προσδιοριστεί η λεπτότητα του. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον **Πίνακα 8.5** και στην **εικόνα 8.12**.

Είναι φανερό από την κοκκομετρική κατανομή της λούμης ότι πρόκειται για ένα υλικό εξαιρετικής λεπτότητας καθόσον έχει μέση διάμετρο περίπου 20 μm και βρίσκεται σε περιοχή λεπτότερη από 90 μm. Συγκεκριμένα το μεγαλύτερο μέρος του υλικού (90%) βρίσκεται κάτω από 39 μm γεγονός που το καθιστά ικανό να λειτουργήσει ως φίλλερ. Τυπικά, δεν βρίσκεται εντός της κοκκομετρικής περιοχής της παιπάλης (κεφάλαιο 3) που ορίζει, όσον αφορά την λεπτότητα του ασβεστολιθικού φίλλερ να είναι μικρότερο από 63μm με μέση διάμετρο κόκκων περίπου 10μm και επίσης, όπως διαπιστώθηκε στην παραπάνω χημική ανάλυση, το ποσοστό του σε CaCO₃ δεν είναι μεγαλύτερο ή ίσο με 75%.

Πίνακας 8.5. Κοκκομετρική ανάλυση λούμης

Στατιστική κατανομή διαμέτρων	Διάμετρος (μm)
d(0.1)	5.70
d(0.5)	17.62
d(0.9)	38.75
Μέση d	20.33
Διάμετρος κόκκων (μm)	Πέρασμα (%)
0.5	0.33
1	1.48
3	5.88
10	22.69
16	44.56
20	57.35
32	82.61
45	94.23
63	99.10
71	99.69
90	100.00
200	100.00

Παρόλα αυτά είναι ένα παραπροϊόν με φυσική λεπτότητα που δεν χρειάζεται την επιπλέον ενεργειακά απαιτητική διαδικασία της άλεσης πέρα από την ξήρανση -η οποία μπορεί να γίνει με φυσικούς τρόπους και όχι σε φούρνους ή κλιβάνους- και την αποσυσσωμάτωσή του. Επίσης, ο παραπάνω χαρακτηρισμός της λούμης υπέδειξε ότι περιέχει υψηλά ποσοστά ασβεστόλιθου (ασβεστίτη - CaCO_3) ~60% και ταυτόχρονα υδράσβεστο (πορτλαντίτη - Ca(OH)_2) ~15% η οποία συνεισφέρει στις υδραυλικές ιδιότητες του σκυροδέματος.

**Εικόνα 8.12.** Κοκκομετρική κατανομή λούμης

8.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Τα δείγματα της 1^{ης} δειγματοληψίας βρέθηκαν όλα εντός ευρωπαϊκών και αμερικανικών προδιαγραφών για νερό ανάμιξης σκυροδέματος.
- Τα δείγματα νερού ανακύκλωσης της 1^{ης} δειγματοληψίας δεν συμμορφώνονταν με τον ελληνικό κανονισμό ΕΛΟΤ 345, ενώ το νερό παραγωγής βρέθηκε εντός ορίων του κανονισμού εκτός από την περιεκτικότητά του σε θειικά ιόντα.
- Η λούμη είναι ένα παραπροϊόν με ιδιαίτερα λεπτόκοκκα χαρακτηριστικά και αποτελούμενη κυρίως από ασβεστόλιθο, υδράσβεστο και πυρίτιο, έχοντας έτσι την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως ασβεστολιθικό φίλλερ χαμηλού κόστους.

8.5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [8.1] ISO 10523 (2008), Water quality - Determination of pH, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland
- [8.2] ASTM D512 (2012). Standard Test Methods for Chloride Ion In Water. ASTM International, United States

[8.3] ISO 2480 (1972). Sodium chloride for industrial use - Determination of sulphate content - Barium sulphate gravimetric method, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland

[8.4] ASTM D3561 (2011). Standard Test Method for Lithium, Potassium, and Sodium Ions in Brackish Water, Seawater, and Brines by Atomic Absorption Spectrophotometry. ASTM International, United States

9. ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα δείγματα νερού που λήφθηκαν από την πρώτη δειγματοληψία χρησιμοποιήθηκαν σε προκαταρτικές δοκιμές σκυροδέματος για να φανεί κατά πόσο πληρούν τις προδιαγραφές του ελληνικού αλλά και των διεθνών προτύπων, όσον αφορά τις αντοχές του σκυροδέματος. Στην συνέχεια της πειραματικής διαδικασίας έγινε δεύτερη δειγματοληψία νερού απευθείας από την έκλυση του οχήματος το οποίο και υπέστη μείωση του pH του ώστε να ληφθούν δείγματα με διαφορετικές τιμές pH, τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν για παρασκευή σκυροδέματος. Τέλος, έγινε χρήση εργαστηριακά παρασκευασμένου νερού έκλυσης για σύνθεση νέου σκυροδέματος με στόχο σταθερή εργασιμότητα με διαφοροποίηση του λόγου w/c ή με προσθήκη υπερρευστοποιητή.

9.1. ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Τα δείγματα νερού WW2 και WW3, όπως περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 8.1, χρησιμοποιήθηκαν για παρασκευή δοκιμών σκυροδέματος και ελέγχθηκαν ως προς την εργασιμότητά τους με μέτρηση της κάθισης (EN 12350-2[9.1]) καθώς και για την θλιπτική αντοχή των 7 και 28 ημερών (prEN 12390-3[9.2]) όπως ορίζουν τα πρότυπα για το νερό ανάμιξης σκυροδέματος. Η σύγκριση έγινε με πανομοιότυπο ανάμιγμα που συντέθηκε με νερό βρύσης. Ταυτόχρονα παρασκευάστηκαν αναμίγματα με προσθήκη χημικών προσθέτων ώστε να εξακριβωθεί οποιαδήποτε αλληλεπίδραση των συστατικών του ανακυκλωμένου νερού με τα πρόσθετα. Παρασκευάστηκαν δηλαδή συνολικά 6 συνθέσεις οι οποίες χυτεύτηκαν σε κυβικά δοκίμια 15cm x 15cm x 15cm.

Πίνακας 9.1. Συνθέσεις προκαταρτικών δοκιμών σκυροδέματος

Υλικά	Ποσότητες (kg/m ³)					
	ref	ww2	ww3	ref/a	ww2/a	ww3/a
CEMII 42.5	120	120	120	120	120	120
CEMII 32.5	150	150	150	150	150	150
Άμμος	1030	1030	1030	1030	1030	1030
Γαρμπίλι	300	300	300	300	300	300
Χαλίκι	580	580	580	580	580	580
Νερό	200	200	200	200	200	200
Επιβραδυντής	-	-	-	0.54	0.54	0.54
Υπερρευστοποιητής	-	-	-	1.62	1.62	1.62

Η χημική ανάλυση των δειγμάτων νερού WW2 και WW3 είναι γνωστή και σχολιάστηκε στον **Πίνακα 8.3**. Υπενθυμίζεται εδώ ότι τα δείγματα αυτά

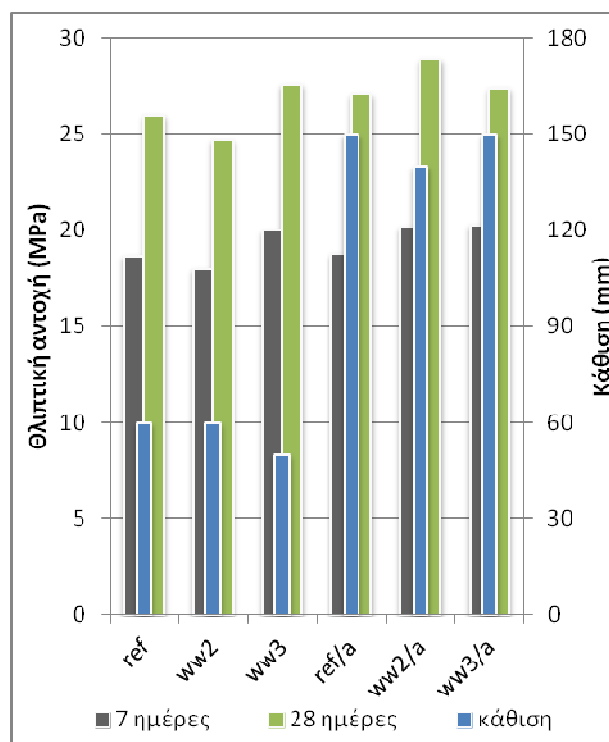
έχουν περάσει από την διαδικασία της καθίζησης και η περιεκτικότητά τους σε στερεά είναι μειωμένη σε σχέση με το νερό έκλυσης του

οχήματος. Η σύνθεση των αναμιγμάτων σκυροδέματος των προκαταρκτικών δοκιμών παρουσιάζεται στον **Πίνακα 9.1**, ενώ τα αποτελέσματα της κάθισης και των αντοχών ως πραγματικές τιμές αλλά και ως ποσοστό των αντοχών του δοκιμίου που παρασκευάστηκε με νερό βρύσης παρουσιάζονται στον **Πίνακα 9.2** και σε μορφή διαγράμματος στην **εικόνα 9.1**.

Πίνακας 9.2. Αποτελέσματα κάθισης, αντοχών και ανηγμένων αντοχών προκαταρκτικών δοκιμών σκυροδέματος

Δοκίμιο	Κάθιση	Θλιπτική αντοχή 7 ημερών		Θλιπτική αντοχή 28 ημερών	
	mm	MPa	%	MPa	%
Χωρίς πρόσθετα					
ref	60	18.7	100.0	26.0	100.0
ww2	60	18.0	96.3	24.7	95.0
ww3	50	20.0	107.0	27.6	106.2
Με πρόσθετα					
ref/a	150	18.8	100.0	27.1	100.0
ww2/a	140	20.2	107.4	28.9	106.6
ww3/a	150	20.3	108.0	27.4	101.1

Σε γενικές γραμμές οι αντοχές και η κάθιση του σκυροδέματος φαίνεται να επηρεάζονται σε μικρό βαθμό από την προσθήκη ανακυκλωμένου νερού. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν ήταν αρκετά μικρές, με την μεγαλύτερη αυτή των 3 MPa που παρουσιάστηκε για τις συνθέσεις χωρίς πρόσθετα στις 28 ημέρες μεταξύ του αναμίγματος που συντέθηκε με το ανακυκλωμένο νερό WW2 και του αντίστοιχου με WW3. Δεδομένου ότι τα δείγματα WW2 και WW3 έχουν παρόμοια χημικά χαρακτηριστικά (**Πίνακας 8.3**) και επίσης με γνώμονα ότι η υπεροχή του ενός επί του άλλου αντιστρέφεται στις συνθέσεις με χημικά πρόσθετα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι διαφορές αυτές είναι αρκετά μικρές και τυχαίες, καθώς πιθανόν δεν οφείλονται στα χημικά χαρακτηριστικά του νερού ανάμιξης.



Εικόνα 9.1. Θλιπτικές αντοχές και κάθιση προκαταρκτικών δοκιμών σκυροδέματος

Επιπροσθέτως, για τις δύο ομάδες συνθέσεων, το ανάμικτο με την μικρότερη κάθιση εμφανίζει τις υψηλότερες αντοχές, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στον μικρότερο πραγματικό λόγο w/c, ο οποίος σε μια εργαστηριακή δοκιμή μπορεί να καταλήξει διαφορετικός από τον θεωρητικά σχεδιασμένο. Όσον αφορά τα χημικά πρόσθετα, δεν παρατηρείται κάποια εμφανής αλληλεπίδραση του αλκαλικού νερού με την δράση τους αφού σε όλα τα αναμίγματα πραγματοποιήθηκε ο στόχος της μεγαλύτερης εργασιμότητας αφήνοντας σχετικά ανεπηρέαστη την θλιπτική αντοχή.

Σε κάθε περίπτωση καλύπτεται η προδιαγραφή που θέτουν όλα τα πρότυπα που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 5.6 στα οποία ορίζεται ελάχιστη επιτρεπόμενη αντοχή το 90% της αντοχής του δοκιμίου αναφοράς. Ενδιαφέρον προκαλεί η παρατήρηση ότι, εκτός από το δοκίμιο ww2, τα αναμίγματα με ανακυκλωμένο νερό επέδειξαν καλύτερες αντοχές σε σχέση με το δοκίμιο αναφοράς, χωρίς να επηρεάζεται ιδιαίτερα η κάθιση, γεγονός που θα εξεταστεί εκτενώς στα

επόμενα στάδια της πειραματικής διαδικασίας (κυρίως στο κεφάλαιο 10).

9.2. ΝΕΡΑ ΑΝΑΜΙΞΗΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ pH

Πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία 100 kg νερού απευθείας από την εκκένωση της βαρέλας (δεύτερη δειγματοληψία) τα οποία και χωρίστηκαν σε επιμέρους δείγματα με συνεχείς ανακινήσεις και διαχωρισμούς έτσι ώστε τα ολικά στερεά να είναι ισόποσα μοιρασμένα σε όλα τα δείγματα. Στην συνέχεια, τα δείγματα αυτά οξυνίστηκαν σε διαφορετικό βαθμό με προσθήκη HCl_{aq} ώστε να επιτευχθούν διαφορετικές τιμές pH για το κάθε δείγμα νερού. Τα χημικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων φαίνονται στον **Πίνακα 9.3**.

Πίνακας 9.3. Χημικά χαρακτηριστικά δειγμάτων νερού 2^{ης} δειγματοληψίας με προσθήκη HCl_{aq}

α/α δείγ/τος	pH	Ολικά στερεά (mg/L)	Cl^- (ppm)	SO_4^{2-} (ppm)
w1	12.5	10200	284	1216
w2	10	12600	1988	1147
w3	7	13400	2627	1419
w4	5	15300	3089	1523

Όπως είναι προφανές, με την προσθήκη του υδροχλωρικού οξέως και την μείωση του pH, αυξάνεται και η περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου. Καθώς τα χλωριόντα διαλύονται στο νερό, συμμετέχουν στην μέτρηση των ολικών στερεών (διαλελυμένα και αιωρούμενα) και έτσι καθώς μειώνεται το pH παρατηρείται αύξηση των ολικών στερεών μαζί με αυτή των χλωριόντων.

Τα παραπάνω δείγματα νερού χρησιμοποιήθηκαν για να παρασκευαστούν δοκίμια γαρμπιλοδέματος (σκυρόδεμα χωρίς χαλίκι), η σύνθεση των οποίων ήταν ίδια για όλα τα δείγματα νερού και περιγράφεται στον **Πίνακα 9.4**.

Πίνακας 9.4. Σύνθεση δοκιμίων γαρμπιλοδέματος με νερά διαφορετικού pH

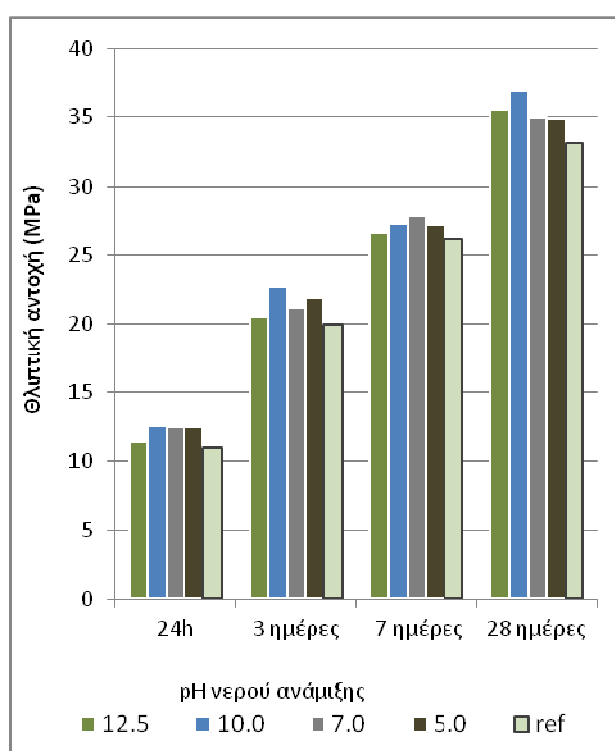
Υλικά	Ποσότητες (kg/m ³)
CEM II 42.5	300
Γαρμπίλι	850
Άμμος	1000
Νερό	205

Πέντε χαρμάνια παρασκευάστηκαν σύμφωνα με την παραπάνω σύνθεση: τέσσερα με νερό ανάμιξης τα δείγματα νερού που περιγράφτηκαν στον **Πίνακα 9.3** και ένα αναφοράς (ref) με νερό βρύσης. Τα αναμίγματα εξετάστηκαν ως προς την εργασιμότητά τους (κάθιση - EN 12350-2 [9.1]), τον περιεχόμενο αέρα (EN 12350-7 [9.3]) και την θλιπτική αντοχή τους (prEN 12390-3 [9.2]) σε ηλικίες 1, 3, 7 και 28 ημερών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον **Πίνακα 9.5** και σχηματικά οι αντοχές σε σχέση με το pH του νερού ανάμιξης φαίνονται στην **εικόνα 9.2**.

Αρχικά παρατηρείται ότι το ποσοστό του περιεχόμενου αέρα δεν επηρεάζεται σημαντικά από την ποιότητα του νερού ανάμιξης, όπως και η κάθιση. Σε σχέση με το δοκίμιο αναφοράς, μικρή πτώση της κάθισης, 1 cm, παρατηρείται με την προσθήκη νερού έκπλυσης η οποία όμως δεν σημειώνει μεγαλύτερη μείωση για τα υπόλοιπα δείγματα νερού. Συγκεκριμένα, η εργασιμότητα των νωπών σκυροδεμάτων είναι λογικό να επηρεάζεται σε κάποιο βαθμό από την μεγάλη ποσότητα στερεών (>10,000 mg/L) στο νερό ανάμιξης, τα οποία και καταλαμβάνουν μάζα που έχει υπολογιστεί στην δοσολογία του αναμίγματος ως νερό και έτσι μειώνουν τον πραγματικό λόγο νερού/τσιμέντου. Στην πραγματικότητα όμως, δεν ευθύνονται για το φαινόμενο αυτό όλα τα ανόργανα στερεά του νερού αλλά μόνο τα αιωρούμενα.

Πίνακας 9.5. Αποτελέσματα δοκιμών σε δοκίμια γαρμπιλοδέματος με νερό ανάμιξης διαφορετικού pH.

Κωδικός δοκιμίου	pH νερού	Κάθιση (mm)	% περιεχόμενος αέρας	Θλιπτικές αντοχές (MPa)			
				24h	3 ημερών	7 ημερών	28 ημερών
ref	7.5	50	1.8	11.0	20.0	26.1	33.1
c1	12.5	40	1.6	11.5	20.5	26.6	35.5
c2	10	40	1.7	12.6	22.7	27.3	37.0
c3	7	40	1.8	12.5	21.2	27.9	35.0
c4	5	40	1.8	12.5	21.9	27.1	34.9

**Σχήμα 9.2.** Θλιπτικές αντοχές δοκιμών γαρμπιλοδέματος σε σχέση με το pH του νερού ανάμιξης

Για τον λόγο αυτό, παρά την αύξηση της ποσότητας των ολικών στερεών στα οξυνισμένα δείγματα νερού λόγω της προσθήκης HCl, δεν παρατηρείται επιπλέον μείωση της εργασιμότητας καθόσον τα χλωριόντα που προστέθηκαν είναι διαλυτά και δεν επηρεάζουν την ποσότητα των αιωρούμενων στερεών.

Όσον αφορά τις θλιπτικές αντοχές, το φαινόμενο που παρατηρήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο επαναλαμβάνεται και σε αυτές τις δοκιμές: τα

δοκίμια παρασκευασμένα με νερό έκπλυσης παρουσιάζουν μεγαλύτερες αντοχές από το δοκίμιο αναφοράς. Το ανάμιγμα με ανεπεξέργαστο νερό έκπλυσης c1, παρουσιάζει ένα σταθερό προβάδισμα 0.5 MPa σε σχέση με το ref στις πρώιμες ηλικίες, που φτάνει τα 2.4 MPa στην ηλικία των 28 ημερών. Η διαφορά αυτή πιθανόν να εξηγείται από την προηγούμενη ανάλυση της εργασιμότητας, στην παρουσία δηλαδή μεγάλης περιεκτικότητας στερεών στο νερό που επηρεάζουν τον πραγματικό λόγο w/c και οδηγούν σε ένα πιο σφιχτό σκυρόδεμα με ελαφρώς καλύτερη αντοχή. Επιπροσθέτως, τα στερεά αυτά που σχηματίζουν αργότερα την λούμη, της οποίας ο χαρακτηρισμός έχει προηγηθεί στο κεφάλαιο 8.3, μπορεί να λειτουργούν κι ως φύλλερ βελτιώνοντας τον βαθμό πλήρωσης του υλικού (packing index) και επηρεάζοντας έτσι θετικά την θλιπτική αντοχή (κεφάλαιο 3).

Η εικόνα αυτή είναι εντονότερη όταν έχει προηγηθεί οξύνιση του νερού έκπλυσης όπου κατά μέσο όρο βελτιώνεται η πρώιμη αντοχή κατά 2-2.5 MPa, αύξηση που μπορεί να φτάσει και τα 4 MPa στις 28 μέρες. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μία τάση όσον αφορά την αύξηση των αντοχών με την μείωση του pH, όπου φαίνεται να υπάρχει μία βέλτιστη τιμή προσθήκης HCl στην περιοχή του pH 7-10, αφού για την τιμή 5 υπάρχει μικρή πτώση της αντοχής που δεν μειώνεται όμως ποτέ κάτω

από την τιμή του δοκιμίου αναφοράς. Οι λόγοι που παρατηρείται αυτή η επιπλέον αύξηση στην αντοχή, πέραν αυτής που επιτυγχάνεται με την υψηλή περιεκτικότητα των στερεών στο νερό μπορεί να είναι δύο: i) η μείωση του pH και ii) η ευεργετική επιταχυντική δράση των χλωριόντων (κεφάλαιο 2.2). Σε επόμενο στάδιο της μελέτης (κεφάλαιο 10) γίνονται δοκιμές για να απομονωθούν οι δύο αυτές παράμετροι και να εξακριβωθεί η ακριβής επίδραση του pH και των χλωριόντων του νερού ανάμιξης στις θλιπτικές αντοχές αλλά και σε άλλες ιδιότητες του σκυροδέματος ή κονιάματος.

9.3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΝΕΡΟ ΈΚΠΛΥΣΗΣ

Δημιουργήθηκε στο εργαστήριο δείγμα νερού έκπλυσης με την προσθήκη ξηρής λούμης σε νερό βρύσης σε αναλογία 10 g/L. Βασική διαφορά του νερού αυτού (sludge water, sw) και του w1 του προηγούμενου κεφαλαίου είναι ότι παρά την φαινομενικά ίδια περιεκτικότητά τους σε ολικά στερεά (10 g/L = 10,000 mg/L), στην περίπτωση του sw όλα τα στερεά που προστέθηκαν προέρχονταν από λούμη και έτσι είναι αδιάλυτα στο νερό. Μελετώντας αυτό το “worst case scenario”, όταν το συγκεκριμένο νερό προστεθεί σε ανάμιγμα σκυροδέματος μπορεί να

εξακριβωθεί η επίδραση υπερβολικής ποσότητας αδιάλυτων στερεών στην εργασιμότητα νωπού σκυροδέματος καθώς και το πώς οι τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού επηρεάζουν την θλιπτική αντοχή. Με βάση τα παραπάνω έγινε μια συνήθης σύνθεση σκυροδέματος αναφοράς με νερό βρύσης και στην συνέχεια άλλες τρεις με εργαστηριακό νερό sw: i) όμοια με την αρχική, ii) με μεγαλύτερο λόγο νερού/τσιμέντου με στόχο την ίδια κάθιση με την σύνθεση αναφοράς και iii) με χρήση υπερρρευστοποιητή. Οι συνθέσεις που προέκυψαν και παρουσιάζονται στον **Πίνακα 9.6** δείχνουν ότι με την χρήση του νερού sw η κάθιση του νωπού αναμίγματος μειώθηκε αισθητά από 65 mm στα 35 mm. Για να επανέλθει η εργασιμότητα του σκυροδέματος στα ίδια επίπεδα με αυτά της αρχικής σύνθεσης αναφοράς χρειάστηκε είτε να αυξηθεί ο λόγος w/c από 0.65 στο 0.72 (με κίνδυνο ιδιαίτερη μείωση της αντοχής, όπως έχει αναφερθεί εκτενώς στο κεφάλαιο 1), ή να γίνει προσθήκη υπερρρευστοποιητή σε δοσολογία περίπου 0.8% κατά βάρος τσιμέντου. Ο υπερρρευστοποιητής που χρησιμοποιήθηκε ήταν πρόσθετο χαμηλού κόστους που χρησιμοποιείται ευρέως στην αγορά του έτοιμου σκυροδέματος.

Πίνακας 9.6. Συνθέσεις σκυροδεμάτων με εργαστηριακό νερό sw

Υλικά	Ποσότητες (kg/m ³)			
	ref	sw	sw ⁺⁺ (επιπλέον νερό)	sw+SP
Τσιμέντο CEM II 42.5	280	280	280	280
Χαλίκι	580	580	580	580
Γαρμπίλι	300	300	300	300
Άμμος	1030	1030	1030	1030
Υπερρρευστοποιητής (SP)	-	-	-	2.2 (0.78% κ.β. τσιμέντου)
Νερό	182	182	202	182
Κάθιση (mm)	65	35	65	65
w/c	0.65	0.65	0.72	0.65

Η μέτρηση της κάθισης έγινε κατά EN 12350-2 [9.1] και τα νωπά αναμίγματα τοποθετήθηκαν σε κυβικές μήτρες διαστάσεων 15cm x 15cm x 15cm και μετρήθηκαν οι αντοχές τους σε θλίψη για τις ηλικίες των 2, 7 και 28 ημερών κατά το πρότυπο prEN 12390-3 [9.2]. Τα σκυροδέματα που κατασκευάστηκαν ήταν διπλά για τις θραύσεις στις 2 και 7 μέρες και τετραπλά για τις 28 μέρες. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον **Πίνακα 9.7** και στην **εικόνα 9.3**.

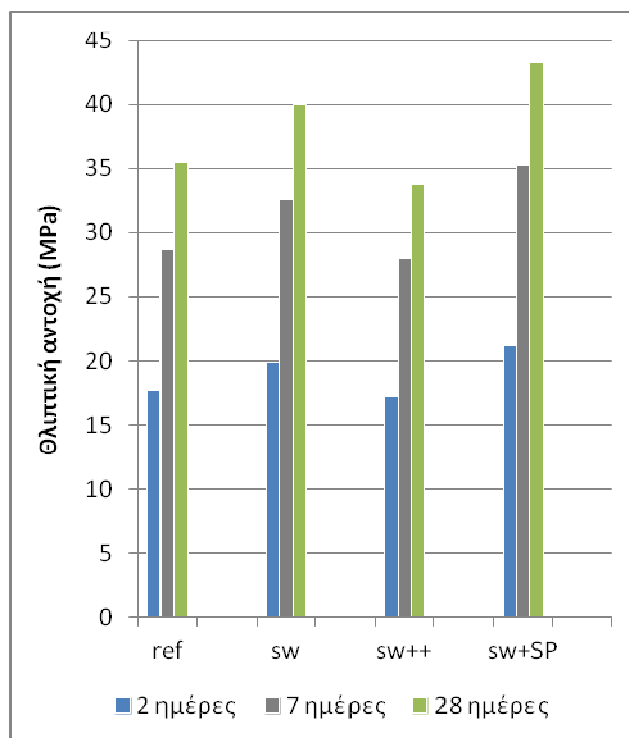
Πίνακας 9.7. Θλιπτικές αντοχές δοκιμών σκυροδέματος παρασκευασμένων με εργαστηριακό νερό sw

Δοκίμιο	Ηλικία θραύσης		
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες
ref	17.7	28.7	35.5
sw	19.9	32.6	40.0
sw ⁺⁺	17.2	28.1	33.8
sw+SP	21.2	35.3	43.3

Παρατηρείται ότι με την χρήση του συγκεκριμένου νερού στο σκυρόδεμα η αναμενόμενη αύξηση της αντοχής είναι ακόμα μεγαλύτερη από αυτήν που εντοπίστηκε προηγουμένως. Συγκεκριμένα, παρατηρείται βελτίωση κατά 2 MPa στην ηλικία των 2 ημερών η οποία αυξάνεται στα 4-4.5 MPa στις μεγαλύτερες ηλικίες. Η ιδιαίτερη αυτή βελτίωση των αντοχών πιθανότατα οφείλεται στο ενισχυμένο filler effect της περιεχόμενης λούμης στο νερό η οποία όμως επέφερε και την πτώση της εργασιμότητας που συζητήθηκε παραπάνω.

Όταν διορθώθηκε η εργασιμότητα με προσθήκη περισσότερης ποσότητας νερού και άρα με αύξηση του λόγου w/c σημειώθηκε πτώση των αντοχών κατά 0.5 MPa στις πρώιμες αντοχές και 1.7 MPa στην θλιπτική αντοχή των 28 ημερών. Η μείωση αυτή μπορεί να θεωρηθεί μικρή σε σχέση με την αύξηση του λόγου w/c από 0.65 στο 0.72, δεν μπορεί όμως να αντιμετωπιστεί ως αμελητέα. Έτσι, όταν πρόκειται για εφαρμογές χαμηλών

απαιτήσεων και αντοχών μπορεί να χρησιμοποιηθεί η λύση προσθήκης νερού για την επίτευξη της κατάλληλης εργασιμότητας με μικρή επίδραση στις τελικές αντοχές αλλά με ιδιαίτερη προσοχή. Υπενθυμίζεται εδώ ότι το sw είναι νερό με υπερβολική δόση αδιάλυτων στερεών που δεν είναι πιθανό να συναντηθεί στην βιομηχανική πρακτική.



Εικόνα 9.3. Θλιπτικές αντοχές δοκιμών σκυροδέματος με εργαστηριακό νερό sw

Στην περίπτωση χρήσης υπερρευστοποιητή παρατηρείται η εντυπωσιακή αύξηση των 3.5 MPa, 6.6 MPa και 7.8 MPa στις ηλικίες που εξετάστηκαν αντίστοιχα. Η βελτίωση αυτή, που ξεπερνά την αύξηση που παρατηρήθηκε με την απλή προσθήκη του νερού sw, μπορεί να αποδοθεί σε χωροταξικούς λόγους. Με την προσθήκη του υπερρευστοποιητή, το σκυρόδεμα γίνεται πιο εργάσιμο και το νερό, μαζί με τα σωματίδιά του, διασπείρεται καλύτερα στην μάζα του αναμίγματος. Με τον τρόπο αυτό τα σωματίδια της λούμης γεμίζουν πιο εύκολα τα κενά που δημιουργούνται στην τσιμεντόπαστα και στην διεπιφανειακή ζώνη μεταξύ τσιμεντόπαστας και αδρανών ενισχύοντας έτσι την επίδραση του φύλλερ (filler effect) που παρατηρήθηκε με την

χρήση του εργαστηριακού νερού έκπλυσης ως νερό ανάμιξης στο σκυρόδεμα sw. Σημειώνεται εδώ ότι ο υπερρευστοποιητής που χρησιμοποιήθηκε είναι χαμηλού κόστους, χρησιμοποιείται ευρέως στο εργαστήριο και δεν έχει παρατηρηθεί να βελτιώνει τις μηχανικές αντοχές του σκυροδέματος. Έτσι, σε εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί νερό με υψηλή περιεκτικότητα λούμης και να διορθωθεί η εργασιμότητα με υπερρευστοποιητή.

9.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Ύστερα από δοκιμές σε σκυρόδεμα με πολλά είδη νερών έκπλυσης, επεξεργασμένα ή μη, και σε διαφορετικές συνθέσεις αναμιγμάτων, παρατηρήθηκε ότι σε όλες τις περιπτώσεις οι θλιπτικές αντοχές υπερέβαιναν το 90% πανομοιότυπου δοκιμίου αναφοράς κατασκευασμένου με νερό βρύσης σε όλες τις ηλικίες.
- Στην πλειοψηφία τους τα σκυροδέματα που παράχθηκαν με νερό έκπλυσης παρουσίασαν καλύτερες αντοχές από το σκυρόδεμα αναφοράς.
- Παρατηρείται μείωση της εργασιμότητας των νωπών σκυροδεμάτων με την προσθήκη νερού έκπλυσης η οποία ποικίλει ανάλογα με την ποσότητα των αδιάλυτων στερεών στο νερό ανάμιξης.
- Σε περίπτωση έντονης πτώσης της κάθισης το πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί με αύξηση του λόγου w/c ή με προσθήκη υπερρευστοποιητή ανάλογα με την εφαρμογή του σκυροδέματος και το επιθυμητό κόστος.
- Όταν γίνεται εξουδετέρωση του νερού με προσθήκη HCl_{aq} παρατηρείται αύξηση των αντοχών η οποία παρουσιάζει βέλτιστο όταν η τιμή του pH βρίσκεται στο εύρος 7-10. Για την βελτίωση αυτή ευθύνεται πιθανόν η δράση των χλωριόντων. Ο ρόλος του pH θα αποσαφηνιστεί σε επόμενο κεφάλαιο.
- Η διαδικασία της εξουδετέρωσης δεν φαίνεται να επηρεάζει αισθητά την κάθιση των νωπών σκυροδεμάτων.

9.5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [9.1] EN 12350-2 (2009) , Testing fresh concrete Slump-test, European Committee for Standardization (CEN), Brussels
- [9.2] prEN 12390-3 (2009), Testing hardened concrete Compressive strength of test specimens, European Committee for Standardization (CEN), Brussels
- [9.3] EN 12350-7 (2009), Testing fresh concrete Air content. Pressure methods, European Committee for Standardization (CEN), Brussels

10. ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Όπως φάνηκε και από τα συμπεράσματα του κεφαλαίου 9, υπάρχουν διάφορες παράμετροι του νερού έκπλυσης που μπορούν να επηρεάσουν τις αντοχές και την εργασιμότητα του σκυροδέματος. Οι παράμετροι αυτές είναι το pH, η περιεκτικότητα σε στερεά και η συγκέντρωση σε χλωριόντα. Στο παρόν κεφάλαιο παρασκευάζονται δείγματα νερού έκπλυσης με διαφορετική επεξεργασία ώστε να εμφανίζουν διαφοροποιήσεις στα παραπάνω χαρακτηριστικά. Στην συνέχεια τα νερά αυτά χρησιμοποιούνται για την σύνθεση κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο. Τα κονιάματα επιλέγονται αντί του σκυροδέματος για την ευκολία παραγωγής μεγάλης ποσότητας δοκιμών αλλά και για την σταθερότητα των αποτελεσμάτων που παρουσιάζουν καθώς, απουσία των χονδρόκοκκων αδρανών, τα αναμίγματα αυτά είναι πιο συνεκτικά και συνεπή στις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Στη συνέχεια τα τσιμεντοκονιάματα, όπως και τα προηγούμενα σκυροδέματα, εξετάζονται ως προς τις μηχανικές τους αντοχές και την εργασιμότητα, αλλά και την θερμότητα ενυδάτωσης και αντίσταση στην διείσδυση χλωριόντων.

10.1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ - ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Από το νερό έκπλυσης της 2^{ης} δειγματοληψίας ξεχωρίστηκαν 27 δείγματα νερού τα οποία επεξεργάστηκαν με 7 διαφορετικούς τρόπους και έτσι κατατάχθηκαν σε 7 διαφορετικές σειρές δειγμάτων.

Στην πρώτη σειρά δειγμάτων νερού ανήκουν τα νερά έκπλυσης στα οποία απλά έγινε σταδιακή οξύνιση με HCl_{aq} . Στην δεύτερη σειρά πραγματοποιήθηκε οξύνιση με $\text{HNO}_{3(\text{aq})}$ ώστε να επιτευχθεί σταδιακή μείωση του pH χωρίς όμως την μεταβολή της περιεκτικότητας των χλωριόντων αλλά με προσθήκη νιτρικών ιόντων που θεωρούνται αδρανή ως προς την

τσιμεντόπαστα. Η επεξεργασία της τρίτης σειράς δειγμάτων νερού περιελάμβανε διήθηση των δειγμάτων με σκοπό να απομακρυνθούν τα αιωρούμενα στερεά του και στην συνέχεια οξύνιση με HCl_{aq} για σταδιακή μείωση του pH. Ομοίως στην τέταρτη σειρά πραγματοποιήθηκε διήθηση και στη συνέχεια οξύνιση με $\text{HNO}_{3(\text{aq})}$. Στην πέμπτη σειρά δειγμάτων έγινε προσθήκη λούμης επιπλέον αυτής που υπάρχει ήδη στο νερό έκπλυσης τα αποτελέσματα των κονιαμάτων που παρασκευάστηκαν με δείγματα νερού της πέμπτης σειράς θα συζητηθούν σε επόμενο κεφάλαιο, εδώ παρουσιάζεται απλά η κωδικοποίηση και οι ιδιότητές τους.

Παρά τον διαχωρισμό που έγινε ανάμεσα στην μείωση του pH και την συγκέντρωση των χλωριόντων με την χρήση διαφορετικού οξέως, κρίθηκε αναγκαίο να απομονωθεί η δράση της προσθήκης των χλωριόντων ανεξαρτήτως της τιμής του pH και για τον λόγο αυτό παρασκευάστηκαν τα δείγματα νερού της σειράς 6 και 7 όπου έγινε προσθήκη CaCl_2 . Η διαφορά των δύο σειρών είναι ότι στην έκτη σειρά γίνεται απλή προσθήκη CaCl_2 στο νερό έκπλυσης ενώ, στην έβδομη σειρά προηγείται διήθηση.

Κάθε δείγμα νερού έχει έναν κωδικό που αποτελείται από δύο ψηφία. Το πρώτο ψηφίο υποδηλώνει την σειρά επεξεργασίας στην οποία ανήκει το δείγμα και το δεύτερο τον βαθμό σταδιακής προσθήκης σε κάθε σειρά - HCl_{aq} , $\text{HNO}_{3(\text{aq})}$, CaCl_2 ή λούμη. Έτσι, όταν το δεύτερο ψηφίο είναι 1, τότε δεν έχει γίνει καμία προσθήκη, όταν είναι 2 έχει γίνει μικρή προσθήκη, κ.ο.κ..

Κάθε δείγμα νερού που παρασκευάστηκε μετρήθηκε ως προς το pH, την περιεκτικότητα σε ολικά στερεά και την συγκέντρωση των χλωριόντων σύμφωνα με τις μεθοδολογίες που περιγράφηκαν στον **Πίνακα 8.2**. Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά, η κωδικοποίηση και η επεξεργασία των δειγμάτων νερού που παρασκευάστηκαν παρουσιάζονται στον **Πίνακα 10.1**.

Πίνακας 10.1. Επεξεργασία και κωδικοποίηση δειγμάτων νερού

	Κωδικός δείγματος	Διήθηση	Προσθήκη	pH	Ολικά στερεά (mg/L)	Cl ⁻ (ppm)
Σειρά 1	1.1	Όχι	-	12.5	~9000	<300
	1.2	Όχι	HCl	10	~10,500	~1500
	1.3	Όχι	HCl	7	~11,000	~2000
	1.4	Όχι	HCl	5	~12,000	~3000
Σειρά 2	2.1	Όχι	-	12.5	~9000	<300
	2.2	Όχι	HNO ₃	10	~11,000	<300
	2.3	Όχι	HNO ₃	7	~12,000	<300
	2.4	Όχι	HNO ₃	5	~13,000	<300
Σειρά 3	3.1	Ναι	-	12.5	<1000	<300
	3.2	Ναι	HCl	10	~2200	~1500
	3.3	Ναι	HCl	7	~2700	~2000
	3.4	Ναι	HCl	5	~3700	~3000
Σειρά 4	4.1	Ναι	-	12.5	<1000	<300
	4.2	Ναι	HNO ₃	10	~2000	<300
	4.3	Ναι	HNO ₃	7	~3000	<300
	4.4	Ναι	HNO ₃	5	~4000	<300
Σειρά 5	5.1	Όχι	Λούμνη	12.5	~30,000	<300
	5.2	Όχι	Λούμνη	12.5	~45,000	<300
	5.3	Όχι	Λούμνη	12.5	~75,000	<300
Σειρά 6	6.1	Όχι	-	12.5	~9000	<300
	6.2	Όχι	CaCl ₂	12.5	~11,400	~1500
	6.3	Όχι	CaCl ₂	12.5	~12,100	~2000
	6.4	Όχι	CaCl ₂	12.5	~13,700	~3000
Σειρά 7	7.1	Ναι	-	12.5	<1000	<300
	7.2	Ναι	CaCl ₂	12.5	~2400	~1500
	7.3	Ναι	CaCl ₂	12.5	~3100	~2000
	7.4	Ναι	CaCl ₂	12.5	~4700	~3000

Είναι εμφανές από τον **Πίνακα 10.1** ότι υπάρχουν δείγματα ίδια μεταξύ τους, συγκεκριμένα τα 1.1, 2.1 και 6.1 είναι ανεπεξέργαστα δείγματα νερού έκπλυσης ενώ τα 3.1, 4.1 και 7.1 είναι απλά διηθημένα δείγματα νερού έκπλυσης. Πέρα από τα δείγματα με δεύτερο ψηφίο το 1, δεν υπάρχουν άλλες περιπτώσεις ίδιων δειγμάτων καθώς όλα διαφέρουν σε τουλάχιστον μία ιδιότητα.

Όσο προχωράει η προσθήκη της ουσίας στην κάθε σειρά από το 2 στο 4, αυξάνεται φυσικά και η περιεκτικότητα σε ολικά στερεά. Πέρα από την περίπτωση της σειράς 5, η αύξηση των στερεών οφείλεται στην προσθήκη διαλυτών ουσιών άρα η ποσότητα των αιωρούμενων στερεών δεν μεταβάλλεται αισθητά. Η ποσότητα κατά την οποία αυξάνεται η περιεκτικότητα των στερεών σε κάθε σειρά εξαρτάται από το μοριακό βάρος των ιόντων, έτσι είναι μικρότερη για την προσθήκη υδροχλωρικού οξέως σε σχέση με το νιτρικό καθώς τα νιτρικά ιόντα είναι μεγαλύτερα από τα ιόντα χλωρίου, ενώ στην περίπτωση προσθήκης χλωριούχου ασβεστίου την αύξηση των χλωριόντων συνοδεύει και η προσθήκη ιόντων ασβεστίου.

Έγινε προσπάθεια η σταδιακή αύξηση των χλωριόντων στις σειρές 1,3,6 και 7 να είναι παρόμοια, κάτι που επιτεύχθηκε με ίδιους στόχους pH για τις σειρές 1 και 3 και με υπολογισμό τις ακριβούς ποσότητας προσθήκης CaCl_2 στις σειρές 6 και 7.

Όσον αφορά την σύνδεση με την διαδικασία ανακύκλωσης που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 8.1, τα νερά 1.1, 2.1 και 6.1 αποτελούν τις απευθείας εκπλύσεις του οχήματος, τα νερά 3.1,4.1 και 7.1 έχουν περίπου τις ιδιότητες του υπερκείμενου νερού των δεξαμενών καθίζησης, ενώ το νερό 3.3 προσομοιάζει το ανακυκλωμένο νερό πριν την ανάμιξη με το νερό της πηγής/γεώτρησης.

10.2. ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ - ΥΛΙΚΑ

Όλα τα παραπάνω δείγματα νερού, όπως και ένα δείγμα νερού βρύσης που σημειώνεται με κωδικό 0.0, χρησιμοποιήθηκαν για παρασκευή τσιμεντο-

κονιαμάτων. Η σύνθεση που ακολουθήθηκε με λόγο w/c 0.5 και αναλογία νερού: τσιμέντου: άμμου περίπου 1: 2:4 ήταν η εξής:

- 540 g CEM I 42.5,
- 1156.5 g θραυστή ασβεστολιθική άμμος,
- 270 g νερού.

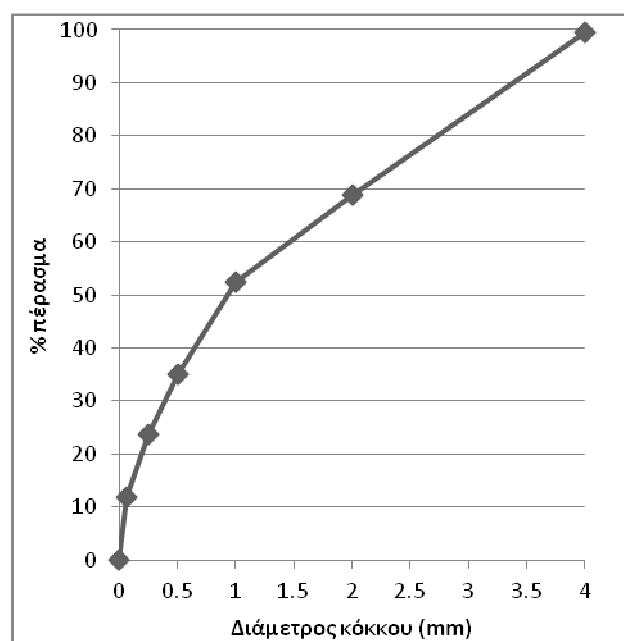
Η ανάμιξη έγινε σε αναμικτήρα (Rotation 140 ± 5 rpm και Planetary movement 62 ± 2 rpm) για 90 sec

Η σύνθεση περιλαμβάνει σημαντική ποσότητα τσιμέντου και έχει λόγο w/c 0.5 ώστε να είναι επαρκής η ποσότητα νερού στο κονίαμα. Επιλέχθηκαν τα συγκεκριμένα υλικά για την καλύτερη προσομοίωση συμπεριφοράς δοκιμών σκυροδέματος. Συγκεκριμένα, η θραυστή ασβεστολιθική άμμος (από το λατομείο Ξηρορέματος, Ασπρόπυργου Αττικής) θεωρήθηκε ότι παρουσιάζει παρόμοιες ιδιότητες (απαίτηση σε νερό, αντοχές, κοκκομετρική κατανομή) με τα θραυστά αδρανή που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά στα αναμίγματα σκυροδέματος σε σχέση με την πρότυπη πυριτική άμμο που κατά κανόνα χρησιμοποιείται για την παρασκευή κονιαμάτων. Η επιλογή αμιγούς τσιμέντου Πόρτλαντ (CEM I) έναντι κάποιου σύνθετου έγινε με σκοπό την απλοποίηση των αντιδράσεων ενυδάτωσης και τον αποκλεισμό επιμέρους αντιδράσεων (π.χ. ποζολανική) οι οποίες μπορεί να επηρεάζονται με διαφορετικό τρόπο από τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων νερού. Η αλληλεπίδραση του αλκαλικού νερού έκπλυσης με σύνθετα τσιμέντα Πόρτλαντ που περιέχουν υπτάμενες τέφρες μελετάται εκτενώς στο κεφάλαιο 13.

Ακολουθεί η χημική και ορυκτολογική ανάλυση του τσιμέντου (**Πίνακας 10.2**) και η κοκκομετρική κατανομή της άμμου (**εικόνα 10.1**). Όπως φαίνεται παρακάτω πρόκειται για τυπικό τσιμέντο CEM I 42.5 και για τυπική θραυστή άμμο που αποτελείται από κόκκους μεγέθους <4 mm και ποσοστό παιπάλης (<0.063 mm) περίπου 10%.

Πίνακας 10.2. Χημική και ορυκτολογική ανάλυση του τσιμέντου CEM I 42.5

Οξείδιο	% w/w περιεκτικότητα
CaO	62.5
SiO ₂	19.1
Al ₂ O ₃	4.8
Fe ₂ O ₃	3.0
SO ₃	2.9
MgO	1.8
K ₂ O	0.99
TiO ₂	0.24
P ₂ O ₅	0.11
Na ₂ O	0.05
LOI	3.9
Ορυκτολογική φάση	% w/w περιεκτικότητα
C ₃ S	64.3
C ₂ S	6.2
C ₃ A	7.6
C ₄ AF	9.3

**Εικόνα 10.1.** Κοκκομετρική κατανομή ασβεστολιθικής άμμου

10.3. ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

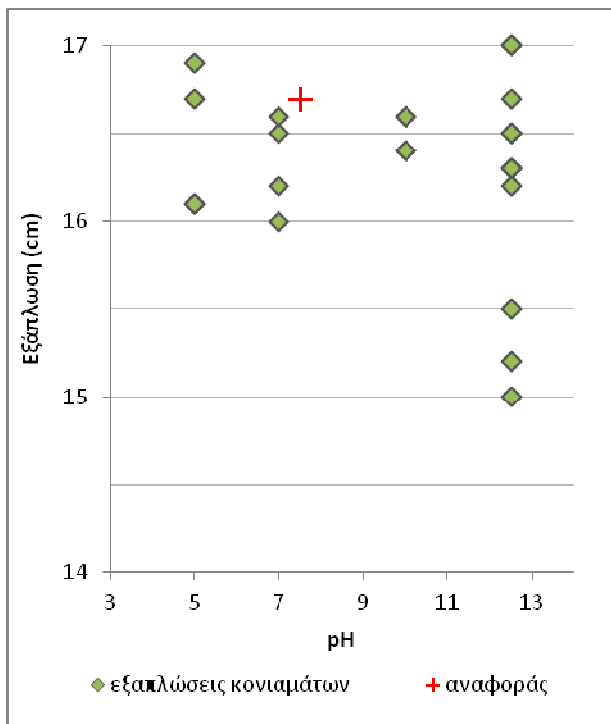
Στα νωπά κονιάματα που παρασκευάστηκαν πραγματοποιήθηκε έλεγχος της εργασιμότητάς τους με μέτρηση εξάπλωσης σε τράπεζα εξάπλωσης κατά το EN 1015-3 [10.1].

Πίνακας 10.3. Αποτελέσματα εξάπλωσης των τσιμεντοκονιαμάτων

Κωδικός κονιάματος	Εξάπλωση (cm)
0.0	16.7
1.1	16.3
1.2	16.4
1.3	16.0
1.4	16.1
2.1	16.7
2.2	16.6
2.3	16.5
2.4	16.1
3.1	16.5
3.2	16.4
3.3	16.2
3.4	16.7
4.1	16.5
4.2	16.6
4.3	16.6
4.4	16.9
6.1	16.2
6.2	15.5
6.3	15.2
6.4	15.0
7.1	17.0
7.2	17.0
7.3	16.3
7.4	16.3

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που φαίνονται στον **Πίνακα 10.3** οι τιμές της εξάπλωσης κυμαίνονται στο εύρος μεταξύ 15-17 cm, με την μεγάλη πλειοψηφία των κονιαμάτων να περιορίζονται σε εξαπλώσεις από 16 cm έως 16.7 cm, εύρος ιδιαίτερος μικρό εντός του περιθωρίου σφάλματος της μεθόδου. Η τελευταία παρατήρηση είναι εμφανής και από το γεγονός ότι ίδιας ποιότητας δείγματα νερού έδωσαν νωπά κονιάματα με εξάπλωση 16.2-16.7 cm και 16.5-17.0 cm αντίστοιχα.

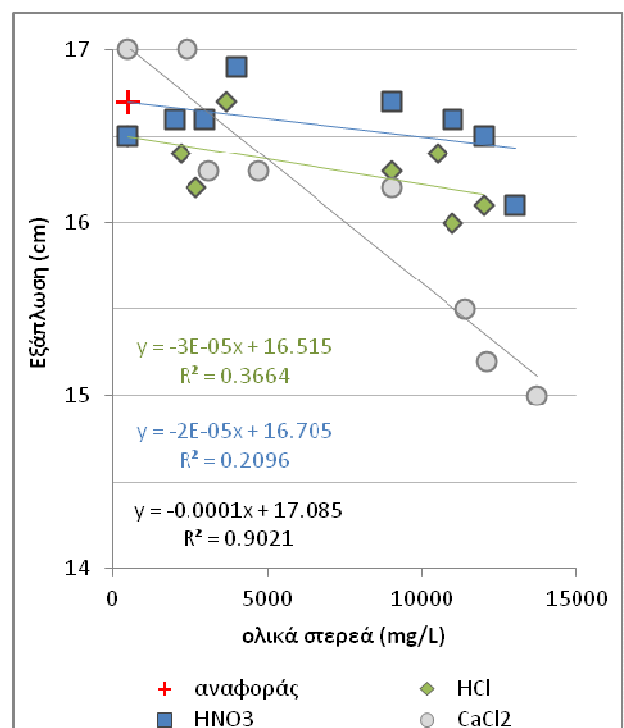
Παρά την μικρή επίδραση της ποιότητας του νερού ανάμιξης στην εργασιμότητα των κονιαμάτων, παρατηρείται εμφανώς μια τάση πτώσης της εργασιμότητας σε συγκεκριμένα κονιάματα. Συμπεράσματα εξάγονται ευκολότερα από τις σχηματικές απεικονίσεις που συσχετίζουν τα αποτελέσματα της εργασιμότητας με τα χαρακτηριστικά του νερού στις **εικόνες 10.2-10.4**.



Εικόνα 10.2. Συσχέτιση αποτελεσμάτων εξάπλωσης κονιαμάτων με το pH του νερού ανάμιξης

Όταν έγινε συσχέτιση της τιμής του pH του νερού ανάμιξης και της εξάπλωσης των νωπών τσιμεντοκονιαμάτων, όπως φαίνεται στην **εικόνα 10.2**, δεν βρέθηκε κάποια συγκεκριμένη τάση που

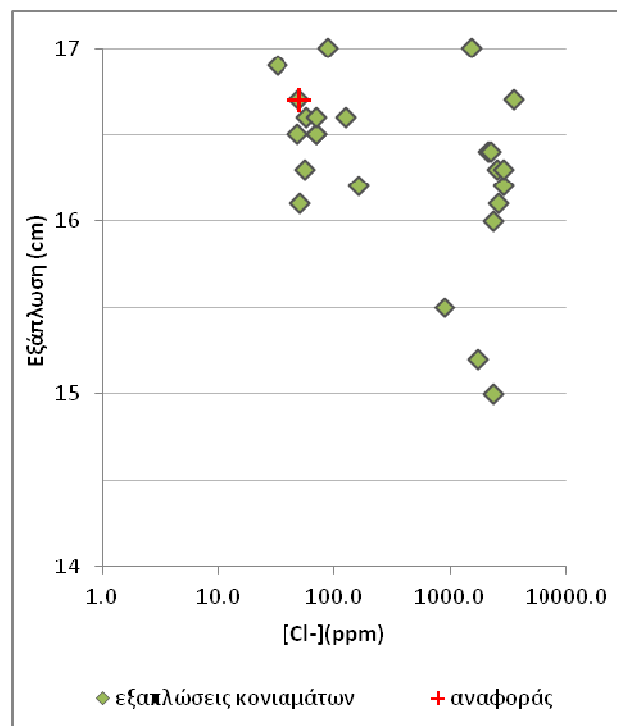
να συνδέει τα δύο αυτά μεγέθη. Στην περιοχή του pH 12.5 εμφανίζονται οι μικρότερες αλλά και οι μεγαλύτερες εξαπλώσεις αλλά αυτό κυρίως οφείλεται στο γεγονός ότι τα περισσότερα από τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν είχαν pH 12.5 (όλα τα δείγματα με κατάληξη 1 και οι σειρές 6 και 7). Σε σχέση με την εξάπλωση του δοκιμίου αναφοράς, η πλειοψηφία των αποτελεσμάτων παρουσιάζει μικρότερες εξαπλώσεις άρα λιγότερο εργάσιμα κονιάματα αλλά ως επί το πλείστον οι διαφορές είναι αρκετά μικρές και όχι απαγορευτικές.



Εικόνα 10.3. Συσχέτιση αποτελεσμάτων εξάπλωσης κονιαμάτων με τα ολικά στερεά του νερού ανάμιξης

Η εικόνα είναι διαφορετική στην περίπτωση συσχέτισης των αποτελεσμάτων εξάπλωσης με τα ολικά στερεά του νερού (**εικόνα 10.3**) αφού είναι εμφανής μια τάση μείωσης της εργασιμότητας με την αύξηση των στερεών κάτι που έχει περιγραφεί αναλυτικά σε προηγούμενα κεφάλαια. Πέρα από την συγκεκριμένη τάση, φάνηκε μια διαφοροποίηση της συμπεριφοράς των κονιαμάτων ανάλογα με το είδος της επεξεργασίας που έγινε στο νερό ανάμιξης. Για τον λόγο αυτό χωρίστηκαν τα αποτελέσματα ανάλογα με την ουσία που προστέθηκε κατά την

επεξεργασία δηλαδή HCl , HNO_3 ή CaCl_2 . Παρατηρήθηκε ότι η αύξηση των στερεών λόγω προσθήκης οξέων είχε αισθητά μικρότερη επίδραση στην εργασιμότητα - περίπου 3-5 φορές - έναντι της αντίστοιχης αύξησης στερεών λόγω της προσθήκης χλωριούχου ασβεστίου. Αυτό ίσως οφείλεται στην φύση της προστιθέμενης ουσίας καθώς τα οξέα συνιστούν υδατικά διαλύματα ενώ το χλωριούχο ασβέστιο είναι στερεό και μπορεί πιθανόν να αυξάνει την συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών, τα οποία, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 9.3, επηρεάζουν σημαντικά την εργασιμότητα των νωπών κονιαμάτων και σκυροδεμάτων.



Εικόνα 10.4. Συσχέτιση αποτελεσμάτων εξάπλωσης κονιαμάτων με την συγκέντρωση των χλωριόντων του νερού ανάμιξης

Τέλος, η συσχέτιση της συγκέντρωσης των χλωριόντων με την εξάπλωση που παρουσιάζεται στην **εικόνα 10.4** εμφανίζει παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά που περιγράφηκαν για την σύνδεση της τιμής του pH με την εξάπλωση. Στην περιοχή της μεγάλης συγκέντρωσης χλωριόντων βρίσκονται τα περισσότερα δείγματα και εκεί εμφανίζονται οι ακραίες τιμές εξάπλωσης, χωρίς πάλι να παρουσιάζεται καμία συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών. Είναι, βέβαια, εμφανές

ότι για υψηλές τιμές χλωριόντων παρουσιάζονται κυρίως χαμηλές εξαπλώσεις, κάτι που συζητήθηκε παραπάνω και οφείλεται κυρίως στα δείγματα νερού όπου έγινε προσθήκη CaCl_2

10.4. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ

ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Για την μελέτη των αντοχών των τσιμεντοκονιαμάτων σε κάμψη με εφαρμογή τάσης σε τρία σημεία (**εικόνα 10.5**) και θλίψη (**εικόνα 10.6**) κατά το EN 1015-11 [10.2], τα νωπά κονιάματα που παρασκευάστηκαν τοποθετήθηκαν σε πρισματικές μήτρες 4 cm x 4 cm x 16 cm και παρέμειναν σε θάλαμο συντήρησης με σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας στους 20°C και 95% υγρασία. Με το πέρας 24h τα κονιάματα απομακρύνθηκαν από τις μήτρες και επανατοποθετήθηκαν στον θάλαμο συντήρησης μέχρι τις ηλικίες θραύσης τους (2, 7 και 28 ημέρες). Τα συνολικά αποτελέσματα των αντοχών των τσιμεντοκονιαμάτων σε θλιπτική και καμπτική τάση παρουσιάζονται στον **Πίνακα 10.4**.

Καθώς, όπως αναλύθηκε εκτενώς στο κεφάλαιο 1.2, η βασικότερη ιδιότητα για τους κατασκευαστές σκυροδέματος και κονιάματος είναι η θλιπτική αντοχή, το κεφάλαιο αυτό θα εστιαστεί στα αποτελέσματα των θραύσεων εξαιτίας θλίψης και στο πώς επηρεάστηκαν από τα χαρακτηριστικά του νερού έκπλυσης. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, παρά το γεγονός ότι όλα τα κονιάματα παράχθηκαν με την ίδια σύνθεση, εμφανίζονται σημαντικές διαφορές στις αντοχές των διαφόρων ηλικιών μόνο από την αλλαγή ποιότητας νερού. Συγκεκριμένα, για την ηλικία 28 ημερών, προέκυψαν θλιπτικές αντοχές του εύρους 47-60 MPa. Για την διερεύνηση της επίδρασης του κάθε χαρακτηριστικού των δειγμάτων νερού στις θλιπτικές αντοχές, γίνεται, στη συνέχεια του κεφαλαίου, ξεχωριστή ανάλυση για το pH, την συγκέντρωση χλωριόντων και την περιεκτικότητα σε στερεά του νερού έναντι των θλιπτικών αντοχών.

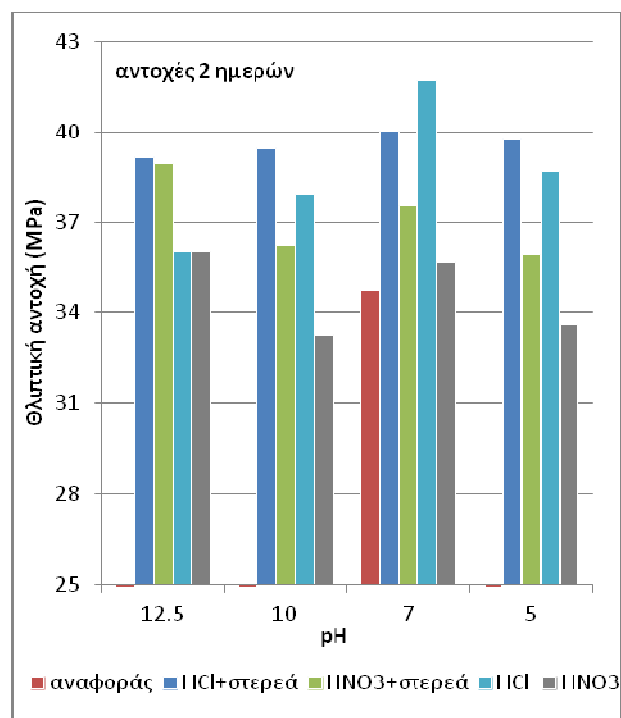
Πίνακας 10.4. Καμπτικές και θλιπτικές αντοχές τσιμεντοκονιαμάτων

α/α	Αντοχές σε κάμψη και θλίψη (MPa)					
	2 ημέρες		7 ημέρες		28 ημέρες	
	Καμ.	Θλιπ.	Καμ.	Θλιπ.	Καμ.	Θλιπ.
0.0	5.71	34.8	6.61	43.8	8.52	52.9
1.1	6.07	39.2	7.02	45.9	6.23	53.8
1.2	6.83	39.5	7.06	47.5	6.43	57.2
1.3.	6.05	40.1	6.38	49.3	8.04	57.8
1.4.	5.60	39.8	6.10	48.8	6.94	56.6
2.1	5.30	39.0	6.71	45.7	6.23	53.8
2.2	5.33	36.2	7.05	43.8	5.38	53.4
2.3	6.38	37.6	6.86	47.2	7.86	55.3
2.4	5.72	35.9	7.06	45.8	8.56	53.5
3.1	5.72	36.0	7.22	44.7	6.97	53.1
3.2	5.62	38.0	6.28	48.1	6.57	57.6
3.3	5.73	41.7	7.00	47.2	7.15	57.4
3.4	6.00	38.7	7.06	43.9	6.72	51.8
4.1	5.72	36.0	7.22	44.7	6.97	53.1
4.2	5.53	33.3	7.08	42.5	5.41	53.6
4.3	5.95	35.7	7.64	44.3	8.69	53.2
4.4	5.37	33.6	7.00	39.0	7.31	47.0
6.1	5.88	38.5	5.91	46.4	8.34	53.0
6.2	6.57	40.6	6.54	49.8	8.37	52.7
6.3	5.82	40.3	7.15	48.0	8.18	53.0
6.4	5.3	38.3	6.53	45.0	8.92	53.4
7.1	6.73	36.9	7.74	44.9	7.07	54.2
7.2	5.52	38.4	7.00	45.1	7.39	55.5
7.3	6.83	41.1	6.56	46.3	6.6	60.6
7.4	5.96	38.5	6.42	43.7	7.51	54.5

**Εικόνα 10.5.** Πρέσα προσδιορισμού καμπτικών αντοχών με εφαρμογή τάσης σε τρία σημεία.**Εικόνα 10.6.** Πρέσα προσδιορισμού θλιπτικών αντοχών**10.4.1. ΘΛΙΠΤΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ ΚΑΙ pH**

Από τα αποτελέσματα του **Πίνακα 10.4** είναι εμφανές ότι σημειώνονται διακριτές διαφορές στις θλιπτικές αντοχές των κονιαμάτων ανάλογα με το pH του νερού που χρησιμοποιήθηκε για να αναμιχθούν. Δεν είναι όμως εύκολο να διακριθεί μια συγκεκριμένη τάση από τα αποτελέσματα αυτά και για τον λόγο αυτό κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα που φαίνονται στις **εικόνες 10.7-10.10**. Αρχικά συγκρίνονται τα νερά στα οποία έγινε οξύνιση, δηλαδή αυτά των σειρών 1-4 και χαρακτηρίζονται στις λεζάντες των διαγραμμάτων ως νερά με HCl+στερεά για την σειρά 1, HNO₃+στερεά για την σειρά 2, HCl για την σειρά 3

και HNO_3 για την σειρά 4. Με την σύγκριση των αντοχών των συγκεκριμένων κονιαμάτων στις επιμέρους ηλικίες φαίνεται η επίδραση του κάθε οξέως με και χωρίς την παρουσία λούμης. Τέλος συγκρίνονται όλα τα αποτελέσματα των αντοχών σε σχέση με το pH.

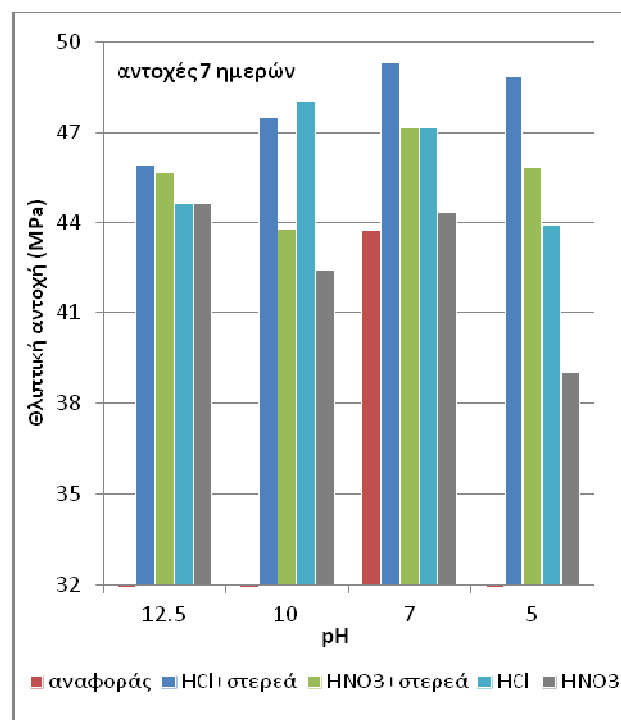


Εικόνα 10.7. Θλιπτικές αντοχές 2 ημερών κονιαμάτων παρασκευασμένων με νερά διαφορετικού pH

Είναι εμφανές για τις πρώιμες αντοχές η ευεργετική δράση της προσθήκης HCl σε σχέση με το HNO_3 . Τα νερά που οξινίστηκαν με HCl παρουσιάζουν υψηλότερες αντοχές από το δοκίμιο αναφοράς αλλά και από τα κονιάματα που περιείχαν νερά με HNO_3 για όλα τα pH, κάτι που προφανώς οφείλεται στην επιταχυντική δράση των χλωριόντων και όχι σε καθαυτή την μείωση του pH [2.34]. Συγκεκριμένα, τα δοκίμια στα οποία έχει προστεθεί στο νερό HCl (σειρές 1 και 3) εμφανίζουν μια αυξητική τάση που αγγίζει το μέγιστο όταν η τιμή του pH του νερού είναι 7. Το μέγιστο αυτό είναι εντονότερο απουσία της λούμης στο νερό. Όταν τα νερά έχουν την τιμή pH 5, μειώνεται λίγο η αντοχή τους, χωρίς όμως να σημειώνονται τιμές μικρότερες από του δοκιμίου αναφοράς. Γενικά, το νερό που περιέχει HCl και στερεά (σειρά 1) εμφανίζει πιο ήπιες αλλαγές και

μικρότερη δράση των χλωριόντων σε σχέση με το ίδιο νερό αλλά διηθημένο (σειρά 3).

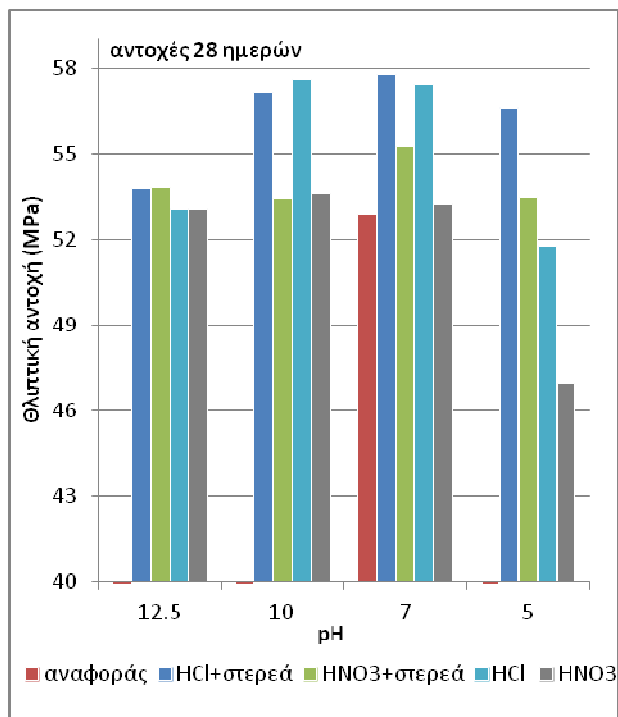
Όσον αφορά την προσθήκη HNO_3 είναι προφανές ότι η μείωση του pH, όταν δεν συνοδεύεται με την δράση των χλωριόντων δρα αρνητικά στην θλιπτική αντοχή των δοκιμίων. Και σε αυτήν την περίπτωση δειγμάτων νερού, τα νερά που περιέχουν λούμη (σειρά 2) εμφανίζουν ηπιότερες μεταβολές σε σχέση με τα διηθημένα (σειρά 4). Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι τα νερά που περιείχαν λούμη και HNO_3 , έδειξαν μεν χαμηλότερες αντοχές σε σχέση με την προσθήκη HCl, αλλά δεν εμφάνισαν εικόνα χειρότερη από αυτήν του δοκιμίου αναφοράς. Το ίδιο δεν ισχύει για τα διηθημένα νερά με HNO_3 . Παρατηρείται δηλαδή ότι η παρουσία των στερεών στο νερό αναστέλλει σε κάποιο βαθμό την επιβαρυντική δράση του HNO_3 στις θλιπτικές αντοχές.



Εικόνα 10.8. Θλιπτικές αντοχές 7 ημερών κονιαμάτων παρασκευασμένων με νερά διαφορετικού pH

Πανομοιότυπη εικόνα με αυτήν των 2 ημερών παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των 7 ημερών που εμφανίζονται στην **εικόνα 10.8**. Βασική διαφορά είναι ότι τα διηθημένα νερά με προσθήκη HCl παρουσιάζουν το μέγιστό τους

νωρίτερα, στην περιοχή του pH 10, και μετά από αυτό εμφανίζουν μεγαλύτερη μείωση σε τιμή που πλησιάζει αυτήν του δοκιμίου αναφοράς για το κονίαμα που παρασκευάστηκε με νερό που είχε pH 5. Επιπλέον, η μείωση της αντοχής του δοκιμίου που παρασκευάστηκε με διηθημένο νερό και προσθήκη HNO_3 έως μείωση του pH στην τιμή 5 (δείγμα 4.4) είναι αρκετά εντονότερη από την αντίστοιχη στην ηλικία των 2 ημερών.

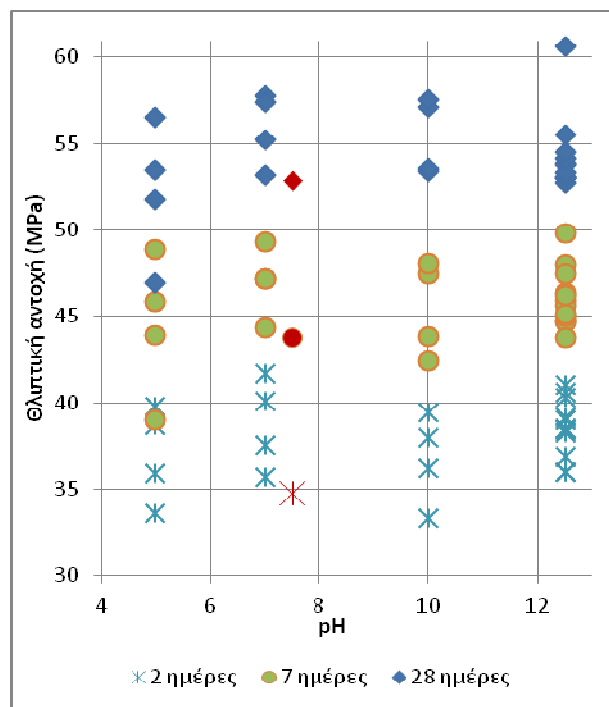


Εικόνα 10.9. Θλιπτικές αντοχές 28 ημερών κονιαμάτων παρασκευασμένων με νερά διαφορετικού pH

Αρκετά πιο εξισορροπημένα φαίνονται τα αποτελέσματα των 28 ημερών που παρουσιάζονται στην **εικόνα 10.9**. Τα περισσότερα αποτελέσματα βρίσκονται στα ίδια επίπεδα με το δοκίμιο αναφοράς και οι διαφορές μειώνονται. Παραμένουν να δείχνουν βελτιωμένη εικόνα τα δείγμα με προσθήκη HCl ιδιαιτέρως για τα pH 10 και 7, καθώς επίσης και για pH 5 στην περίπτωση παρουσίας στερεών. Το δείγμα 4.4 που περιγράφηκε προηγουμένως συνεχίζει να παρουσιάζει ιδιαίτερα μειωμένη αντοχή και στις 28 ημέρες.

Σε γενικές γραμμές δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο συγκεκριμένο συμπέρασμα που να συνδέει το pH

του νερού έκπλυσης και την θλιπτική αντοχή των κονιαμάτων (**εικόνα 10.10**) καθώς το μέσο οξύνισης είναι ο παράγοντας που επηρεάζει τα αποτελέσματα και όχι το pH. Τα δείγματα με pH 12.5 εμφανίζουν βελτιωμένες αντοχές σε σχέση με το αναφοράς και ιδιαιτέρως παρουσία λούμης σε πρώιμες ηλικίες (θα συζητηθεί παρακάτω στο κεφάλαιο 10.4.3). Γενικά, η μείωση του pH όταν δεν συνοδεύεται από την επιταχυντική δράση των χλωριόντων είναι αρνητική ως προς τις αντοχές, ενώ είναι θετική έως ένα σημείο όταν γίνεται με HCl, και ιδίως όταν πρόκειται για πρώιμες αντοχές. Παρόλα αυτά δεν είναι επιθυμητή η μείωσή του κάτω από 7, ιδιαίτερα όταν το νερό έχει διηθηθεί.

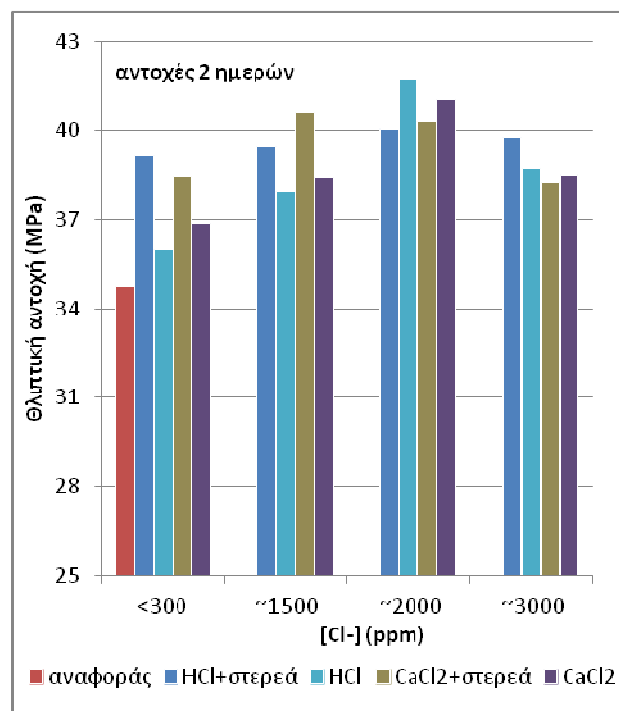


Εικόνα 10.10. Συγκεντρωτική συσχέτιση θλιπτικών αντοχών και pH νερού ανάμιξης (κόκκινο: αναφοράς)

10.4.2. ΘΛΙΠΤΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ ΚΑΙ ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ

Ακολουθώντας την φιλοσοφία της προηγούμενης παραγράφου, γίνεται σύγκριση των θλιπτικών αντοχών στις διάφορες ηλικίες σε σχέση με τα χλωριόντα που υπάρχουν διαλελυμένα στο νερό ανάμιξης αντιπαραβάλλοντας σχηματικά τα αποτελέσματα των δοκιμών των σειρών 1, 3, 6 και 7 με λεζάντες HCl+στερεά, HCl, CaCl_2 +στερεά και CaCl_2 αντίστοιχα. Γίνεται δηλαδή σύγκριση των σειρών στις οποίες προστέθηκαν χλωριόντα με

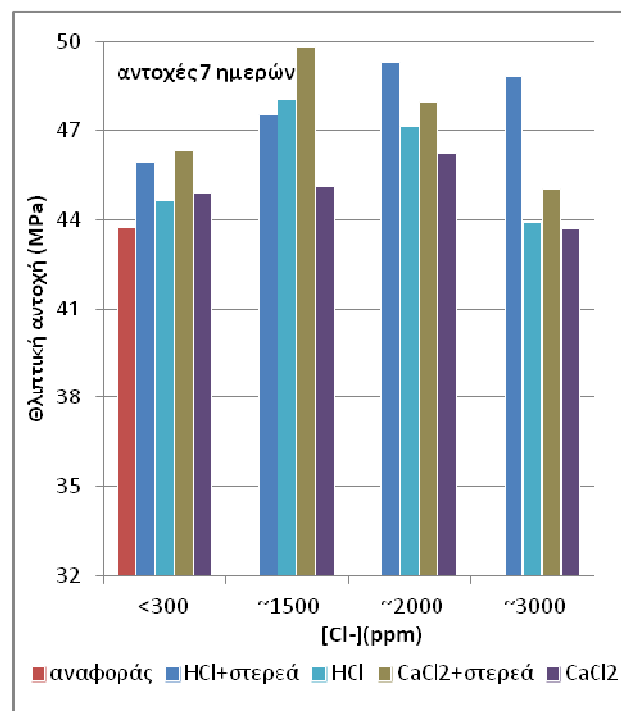
οξύνιση με HCl ή με προσθήκη CaCl₂ παρουσία ή μη στερεών και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται διαγραμματικά στις **εικόνες 10.11-10.13**. Στην συνέχεια γίνεται συσχέτιση των αποτελεσμάτων όλων των κονιαμάτων με τα χλωριόντα του νερού ανάμιξης για όλες τις ηλικίες στην **εικόνα 10.14**.



Εικόνα 10.11. Θλιπτικές αντοχές 2 ημερών κονιαμάτων παρασκευασμένων με νερά διαφορετικής συγκέντρωσης χλωριόντων

Η ευεργετική δράση των χλωριόντων έχει συζητηθεί και στην σύγκρισή του pH στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στόχος εδώ είναι να μελετηθεί αν υπάρχει παρόμοια συμπεριφορά με την αντίστοιχη συγκέντρωση χλωριόντων είτε αυτή προέρχεται από οξύνιση με HCl ή από προσθήκη CaCl₂ και να εξακριβωθεί έτσι ότι η καλή συμπεριφορά της προσθήκης HCl οφείλεται αμιγώς στην δράση των χλωριόντων και όχι στην μείωση του pH. Η εικόνα για τις πρώιμες αντοχές είναι παρόμοια. Όπως φαίνεται και στην **εικόνα 10.11** και όπως παρατηρήθηκε προηγουμένως η προσθήκη των χλωριόντων αυξάνει τις θλιπτικές αντοχές και παρουσιάζει ένα βέλτιστο για συγκεκριμένες συγκεντρώσεις. Μετά από αυτό το βέλτιστο σημειώνεται μείωση της αντοχής αλλά όχι κάτω από τα επίπεδα του δοκιμίου αναφοράς. Όπως παρατηρήθηκε και στην προηγούμενη

παράγραφο, η δράση των χλωριόντων είναι πιο ήπια παρουσία στερεών, ενώ εμφανίζει υψηλότερο μέγιστο και εντονότερη μείωση των αντοχών σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cl⁻ όταν έχει προηγηθεί απομάκρυνση των στερεών με διήθηση.

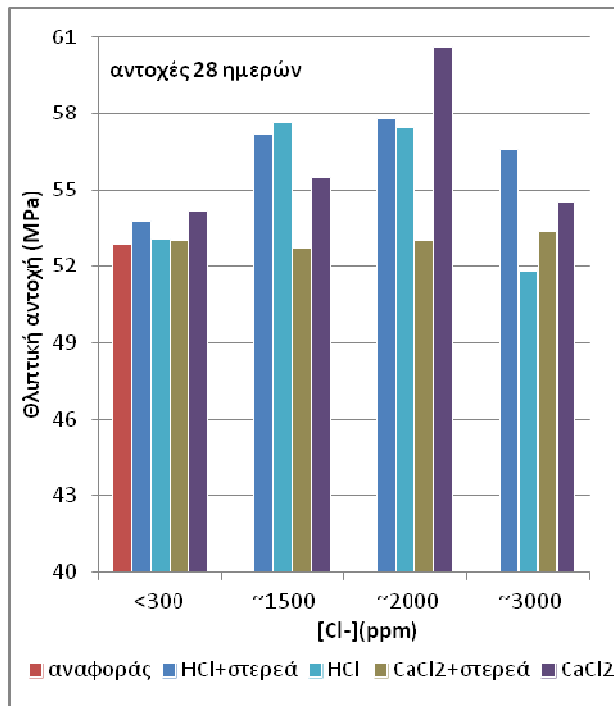


Εικόνα 10.12. Θλιπτικές αντοχές 7 ημερών κονιαμάτων παρασκευασμένων με νερά διαφορετικής συγκέντρωσης χλωριόντων

Παρόμοια τάση, αλλά με πιο ακραίες τιμές φαίνεται να έχουν τα αποτελέσματα των 7 ημερών (**εικόνα 10.12**). Σημειώνεται υψηλότερη μείωση των αντοχών για συγκεντρώσεις χλωριόντων ~3000 ppm που φτάνουν στα επίπεδα του δοκιμίου αναφοράς. Το συμπέρασμα αυτό είναι αναμενόμενο καθώς η δράση όλων των επιταχυντών είναι εντονότερη σε μικρές ηλικίες και φθίνει με την πάροδο του χρόνου.

Στην ηλικία των 28 ημερών φαίνεται να έχει σταματήσει η δράση του CaCl₂ στην περίπτωση της σειράς 6 (προσθήκη CaCl₂ παρουσία λούμης) της οποίας οι αντοχές είναι σε παρόμοια επίπεδα για όλες τις συγκεντρώσεις των χλωριόντων. Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις υπάρχει ακόμα επίδραση χλωριόντων παρά την ηλικία των δοκιμίων, με το δοκίμιο 3.4 (προσθήκη HCl έως 3000 ppm Cl⁻) να

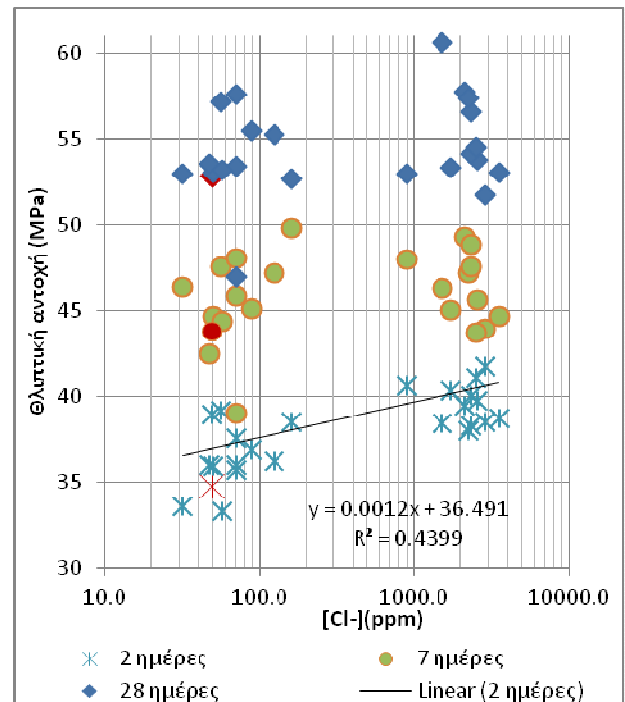
παρουσιάζει μείωση των αντοχών κάτω από την τιμή του δοκιμίου αναφοράς και το δοκίμιο 7.3 (προσθήκη CaCl_2 έως 2000 ppm Cl^-) να παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλή αντοχή. Στην περίπτωση του 3.4 η μείωση αυτή είχε παρουσιαστεί και στις 7 ημέρες και οφείλεται στην αύξηση των χλωριόντων πέρα από το βέλτιστο και ταυτόχρονη μείωση του pH κάτω από 7.



Εικόνα 10.13. Θλιπτικές αντοχές 28 ημερών κονιαμάτων παρασκευασμένων με νερά διαφορετικής συγκέντρωσης χλωριόντων

Σε γενικές γραμμές είναι αποδεκτό ότι η προσθήκη χλωριόντων, με όποιον τρόπο και αν προέρχεται, έχει ως αποτέλεσμα αύξηση των αντοχών. Ιδιαίτερα εμφανής και ξεκάθαρη είναι η αύξηση που επιτυγχάνεται στην θλιπτική αντοχή των 2 ημερών, κάτι που φαίνεται και στην **εικόνα 10.14** όπου συγκρίνονται όλες οι σειρές που παρασκευάστηκαν. Συγκεκριμένα, μόνο για την ηλικία των 2 ημερών υπήρξε η δυνατότητα γραμμικής συσχέτισης συγκέντρωσης Cl^- και θλιπτικής αντοχής με αποδεκτό R^2 (0.44, στις υπόλοιπες ηλικίες ο συντελεστής ήταν μικρότερος από 0.1). Σε μεγαλύτερες ηλικίες η επιταχυντική δράση των χλωριόντων είναι λιγότερο εμφανής,

ιδιαίτερως για υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων ή/και μείωση του pH σε όξινες περιοχές.



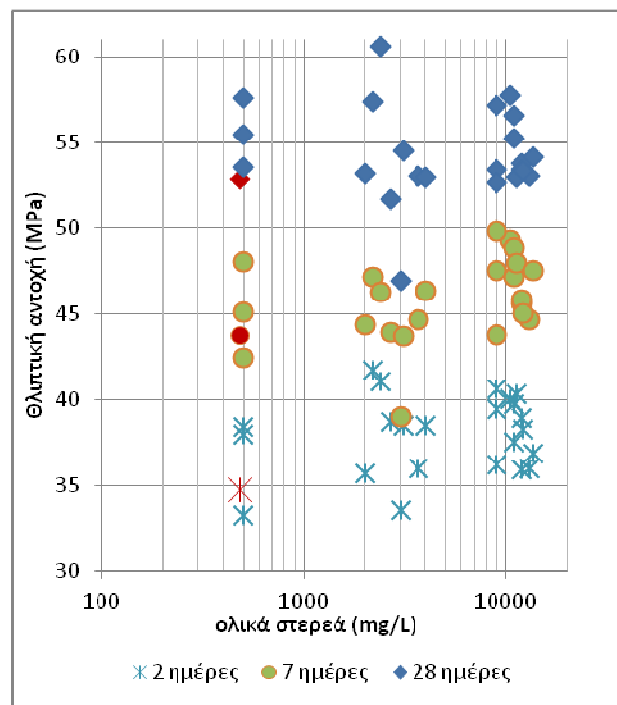
Εικόνα 10.14. Συγκεντρωτική συσχέτιση θλιπτικών αντοχών και συγκέντρωσης χλωριόντων νερού ανάμιξης (κόκκινο: αναφοράς)

10.4.3. ΘΛΙΠΤΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ ΚΑΙ ΟΛΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ

Όπως αναπτύχθηκε προηγουμένως, τα ολικά στερεά μεταβάλλονται από πολλούς παράγοντες. Η βασικότερη προσθήκη στερεών γίνεται με την παρουσία της λούμης στο νερό έκπλυσης και για τον λόγο αυτόν έγινε η σύγκριση όλων των δειγμάτων νερού με τα αντίστοιχα διηθημένα για την απομάκρυνση αυτών των στερεών. Παράλληλα γίνεται και η προσθήκη στερεών με την μορφή ιόντων ανάλογα με την επεξεργασία που γίνεται σε κάθε σειρά δειγμάτων. Όπως όμως έχει συζητηθεί τα ιόντα αυτά έχουν θετικές και αρνητικές επιδράσεις στις θλιπτικές αντοχές και για τον λόγο αυτό το σχήμα της **εικόνας 10.15** δεν μπορεί να αξιολογηθεί εξαιτίας όλων των παράλληλων δράσεων και πολλών παραγόντων που επηρεάζουν την θλιπτική αντοχή.

Για τον λόγο αυτό απομονώθηκαν οι αντοχές όλων των δειγμάτων με δεύτερο ψηφίο στον κωδικό τους το 1. Τα δείγματα αυτά αποτελούν τα νερά έκπλυσης με όλα τα στερεά τους ή διηθημένα πριν από την προσθήκη οποιουδήποτε

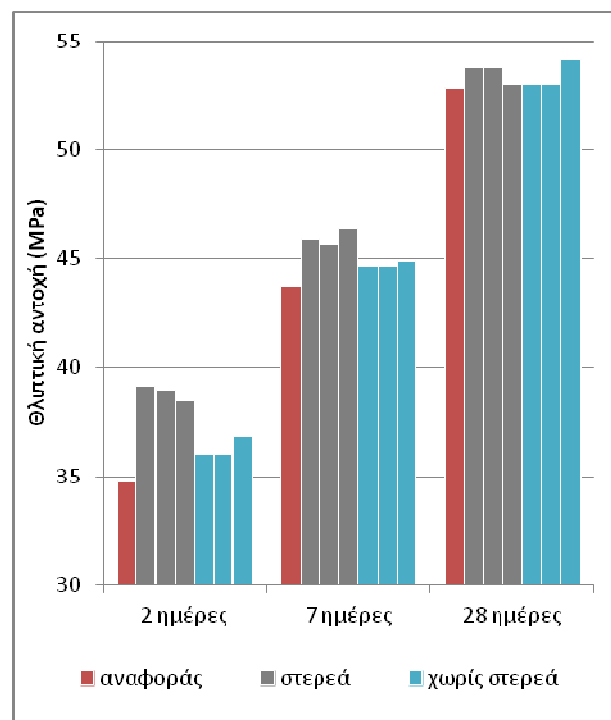
αντιδραστηρίου. Χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες, με στερεά και χωρίς στερεά, ανεξαρτήτως της σειράς που ανήκουν και μελετήθηκαν ως προς τις θλιπτικές αντοχές όλων των ηλικιών, όπως φαίνεται στην **εικόνα 10.15**.



Εικόνα 10.14. Συγκεντρωτική συσχέτιση θλιπτικών αντοχών και ολικών στερεών νερού ανάμιξης (κόκκινο: αναφοράς)

Η τάση που εμφανίζουν τα διαγράμματα είναι εμφανής. Τα αποτελέσματα των διηθημένων νερών είναι ελαφρώς βελτιωμένα σε σχέση με το νερό δικτύου, οι διαφορές όμως είναι μικρές και σε γενικές γραμμές μπορεί να θεωρηθεί ότι το διηθημένο νερό έκπλυσης χωρίς καμία επεξεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάμιξη νέου κονιάματος και δεν θα εμφανίσει ιδιαίτερες διαφορές στις θλιπτικές αντοχές σε σχέση με το νερό βρύσης. Είναι επομένως σαφές ότι το άλλο χαρακτηριστικό του νερού έκπλυσης, δηλαδή το pH 12.5, δεν επηρεάζει τις αντοχές και δεν υπάρχει εμφανής λόγος να διορθωθεί με προσθήκη κάποιου οξέος, εκτός αν κάτι τέτοιο επιβάλλεται από εθνικά πρότυπα. Όσον αφορά το αμιγές νερό έκπλυσης, εμφανίζει υψηλότερες αντοχές σε σχέση με το διηθημένο και το αναφοράς στις 2 ημέρες, διαφορά που μειώνεται

στις 7 ημέρες και σχεδόν μηδενίζεται στις 28 ημέρες.



Εικόνα 10.15. Θλιπτικές αντοχές κονιαμάτων παρουσία ή όχι στερεών στο νερό ανάμιξης

Η υπεροχή αυτή που εμφανίζεται στις μικρότερες ηλικίες αλλά εξισορροπεί στην συνέχεια οφείλεται πιθανότατα στην λεπτότητα των στερεών του νερού. Κατά την ανάμιξη η λούμη διαχέεται στο κονίαμα, γεμίζει τα κενά μειώνοντας έτσι τον αέρα, μικραίνει το πορώδες αλλά και δημιουργεί μικρούς πυρήνες ενυδάτωσης. Με τον τρόπο αυτό καταλύει τις αντιδράσεις ενυδάτωσης που σκληραίνουν την τσιμεντόπαστα και φτάνει στα ίδια επίπεδα αντοχής νωρίτερα.

10.5. ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ

Μετρήθηκε η αντίσταση ορισμένων τσιμεντοκονιαμάτων σε διείσδυση χλωριόντων. Η μέτρηση αυτή έγινε για να εξακριβωθεί η επίδραση των χλωριόντων - που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό ανάμιξης - στον κίνδυνο που υπάρχει να διαπεράσουν χλωριόντα (εξωτερικά ή μη) το σώμα του δοκιμίου και να επιτεθούν στο οπλισμό προκαλώντας διάβρωση.

Σε γενικές γραμμές η ποσότητα των χλωριόντων που έχουν προστεθεί στα νερά ανάμιξης δεν ξεπερνά τα 3000 ppm το οποίο μεταφράζεται σε $\text{Cl}^- = 0.15\%$ κ.β. τσιμέντου για λόγους w/c 0.5 ή αντίστοιχα σε $\text{CaCl}_2 = 0.23\%$ κ.β. τσιμέντου. Όπως αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 2.2 [2.34] μια αποδεκτή ποσότητα CaCl_2 είναι 1-2% κ.β. τσιμέντου, σημειώθηκε όμως και ότι η προσθήκη χλωριούχου ασβεστίου μπορεί να επιφέρει επιτάχυνση της διάβρωσης του οπλισμού. Θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει αυτή η μελέτη για τα κονιάματα με νερό ανάμιξης στο οποίο είχε γίνει μέση προσθήκη χλωριόντων (κωδικός δείγματος με δεύτερο ψηφίο το 3) καθώς i) αυτά παρουσίασαν σε γενικές γραμμές τις καλύτερες αντοχές και ii) στην περίπτωση των σειρών 1 και 3, ήταν τα δείγματα με pH 7, είναι δηλαδή δείγματα πιθανό να εμφανιστούν σε μια ΜΕΣ μετά από διαδικασία εξουδετέρωσης.

Για να μελετηθεί η αντίσταση των τσιμεντοκονιαμάτων σε διείσδυση ιόντων χλωρίου παρασκευάστηκαν κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 100 mm και ύψους 200 mm με 900 g CEM I 42.5 (η χημική σύσταση του οποίου παρουσιάστηκε στον Πίνακα 10.2), 2700 g πρότυπη πυριτική άμμο (CEN) και 450 g νερό. Τα δοκίμια, μετά την παραμονή τους για 56 μέρες στο νερό, κόπηκαν σε κομμάτια ύψους 50 mm και υποβλήθηκαν στην ταχεία δοκιμή διείσδυσης χλωριόντων κατά το ASTM C1202 [10.3].

Κατά την δοκιμή αυτή γίνεται εκτίμηση του ρυθμού που διαπερνούν χλωριόντα μέσα από το δοκίμιο. Ένα κορεσμένο σε νερό κομμάτι του δοκιμίου τοποθετείται σε κελί που αποτελείται από δύο δοχεία νερού, ένα στην κάθε του πλευρά. Το ένα δοχείο περιέχει διάλυμα 3% NaCl και το άλλο διάλυμα 0.3N NaOH. Εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού 60V DC στο κελί με το αρνητικό ηλεκτρόδιο συνδεδεμένο με το δοχείο που περιέχει το διάλυμα NaCl και το θετικό στο διάλυμα NaOH, προκαλώντας έτσι τα αρνητικά φορτισμένα ιόντα χλωρίου να μεταναστεύσουν προς το θετικό άκρο. Με βάση το φορτίο σε Coulomb που διαπερνά το δοκίμιο

ποσοτικοποιείται η διαπερατότητα του δοκιμίου και η πιθανότητα διάβρωσης του οπλισμού. Η διάταξη απεικονίζεται στην **εικόνα 10.16**.



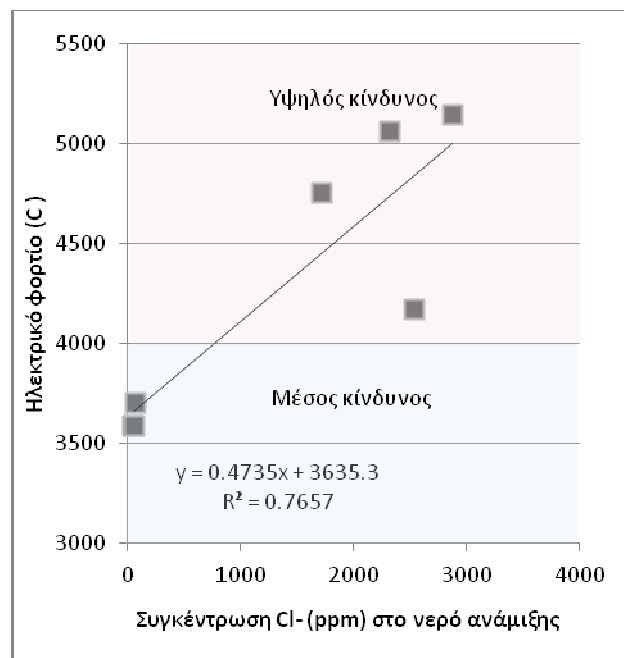
Εικόνα 10.16. Διάταξη μέτρησης διείσδυσης ιόντων χλωρίου

Η δοκιμή αυτή είναι σχεδιασμένη για συνθέσεις σκυροδέματος και όταν εφαρμόζεται σε κονιάματα, που διαπερνώνται πολύ ευκολότερα από ηλεκτρικό ρεύμα λόγω περισσότερης τσιμεντόπαστας, ο κίνδυνος διείσδυσης χλωριόντων φαίνεται αρκετά υψηλότερος. Γενικά θεωρείται ότι όταν διαπερνούν το δοκίμιο <100 C υπάρχει αμελητέος κίνδυνος διείσδυσης, 100 - 1000 C πολύ χαμηλός κίνδυνος, 1000 - 2000 C χαμηλός, 2000 - 4000 C μέσος και >4000 C υψηλός κίνδυνος.

Πίνακας 10.5. Αποτελέσματα δοκιμής αντίστασης τσιμεντοκονιαμάτων στη διείσδυση χλωριόντων

α/α	Διερχόμενο φορτίο (C)	Προσαρμοσμένο διερχόμενο φορτίο (C)
0.0	4138	3589
1.1	4137	3589
1.3	5835	5062
3.1	4273	3706
3.3	5930	5144
6.3	5476	4750
7.3	4809	4171

Η δοκιμή έγινε για τα δείγματα νερού 0.0, 1.1, 1.3, 3.1, 3.3, 6.3, 7.3 και τα αποτελέσματα φαίνονται στον **Πίνακα 10.5** και παρουσιάζονται σχηματικά στην **εικόνα 10.17**.



Εικόνα 10.17. Αποτελέσματα δοκιμής αντίστασης τσιμεντοκονιαμάτων στη διείσδυση χλωριόντων

Τα αποτελέσματα ξεκάθαρα δείχνουν πως τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με νερό όπου δεν πραγματοποιήθηκε προσθήκη χλωριόντων εμφανίζουν μέσο κίνδυνο διείσδυσης για την συγκεκριμένη σύνθεση (αποτέλεσμα γενικά αποδεκτό για σύνθεση κονιάματος), συγκεκριμένα έχουν σχεδόν την ίδια συμπεριφορά με το δοκίμιο αναφοράς. Αντίθετα, το ηλεκτρικό φορτίο που διαπέρασε τα δοκίμια με νερό ανάμιξης που είχε γίνει μέση προσθήκη χλωριόντων αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με την προσθήκη αυτών στο νερό. Αυτό δείχνει πως, παρά την καλύτερη απόδοση των κονιαμάτων αυτών όσον αφορά την αντοχή, υπάρχει σοβαρός κίνδυνος διάβρωσης οπλισμού αν το επεξεργασμένο αυτό νερό χρησιμοποιηθεί για κατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος. Παρά την πλήρη ωρίμανση των δοκιμών μετά από 56 μέρες στο νερό, είναι προφανές ότι το χλώριο που προστέθηκε παραμένει σε διαλυτή μορφή ιόντων και όχι δεσμευμένο σε κάποια ορυκτολογική φάση μέσα

στην πάστα, διευκολύνοντας έτσι την διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος.

10.6. ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ

Εφόσον τα χαρακτηριστικά του νερού ενδέχεται να επηρεάζουν την ενυδάτωση της τσιμεντοπαστας, έγινε προσπάθεια να μελετηθεί η κινητική των αντιδράσεων ενυδάτωσης παρακολουθώντας την έκλυση θερμότητας που συνοδεύει την ανάμιξη των κονιαμάτων με το κάθε δείγμα νερού. Καθώς η αντίδραση της ενυδάτωσης είναι ως επί το πλείστον ισχυρά εξώθερμη, δίνεται η ευκαιρία μέσα από μελέτη της να εξεταστεί η κινητική των αντιδράσεων. Όπως αναλύθηκε εκτενώς στο κεφάλαιο 2.1, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την μέτρηση της θερμότητας ενυδάτωσης. Στην παρούσα διατριβή έγινε προσπάθεια να πραγματοποιηθούν μετρήσεις σε ιδιοκατασκευή που προσομοίασε την ημι-αδιαβατική μέθοδο για κάποια από τα τσιμεντοκονιάματα και στην συνέχεια δόθηκαν δείγματα σε εξωτερικό εργαστήριο τα οποία μετρήθηκαν με ισόθερμη θερμιδομετρία και συγκεκριμένα το θερμιδόμετρο TAM Air.

10.6.1. ΗΜΙ-ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θερμότητας ενυδάτωσης σε ημι-αδιαβατικό ξύλινο θάλαμο που κατασκευάστηκε από κόντρα πλακέ με διαστάσεις 58.5cm x 58.5cm x 65cm (ύψος) (**εικόνα 10.18**). Εσωτερικά του θαλάμου υπάρχει επένδυση από διογκωμένη πολυστερίνη (EPS). Στο κέντρο υπάρχει κυλινδρική τρύπα διαμέτρου 40cm και ύψους 33.5cm στην οποία τοποθετείται η μήτρα με το νωπό κονίαμα προς μέτρηση. Πριν σφραγιστεί το δοχείο τοποθετείται μέσα στο κονίαμα θερμοστοιχείο K-type σε βάθος περίπου 3 cm από την ελεύθερη επιφάνεια του κονιάματος. Το θερμοστοιχείο συνδέεται με θερμόμετρο που καταγράφει συνεχώς την θερμοκρασία ηλεκτρονικά. Οι μετρήσεις αποθηκεύονται σε Η/Υ ανά 1 min και η μέτρηση διαρκεί 48 h.



(α)

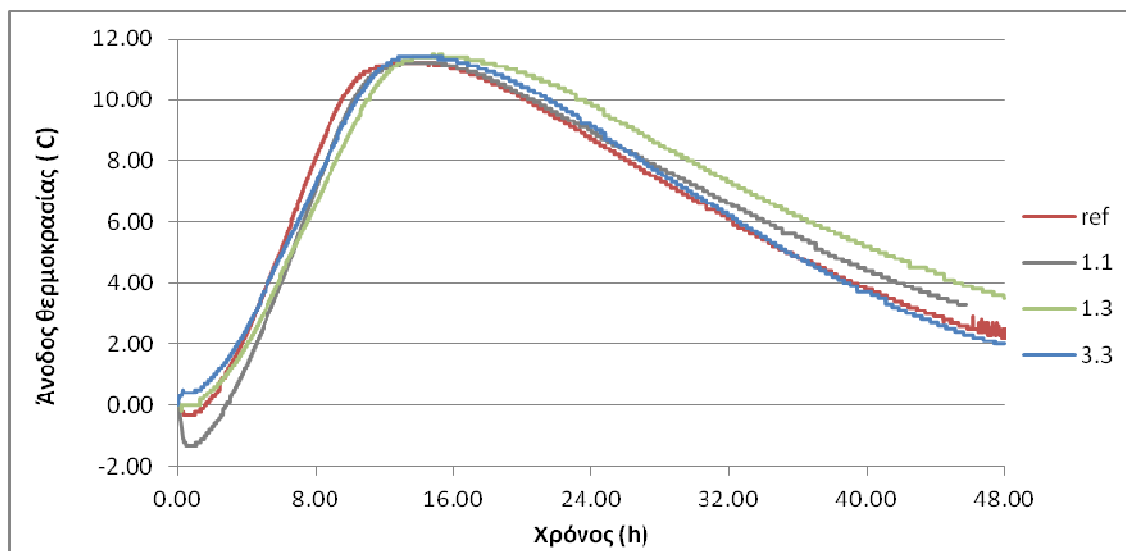


(β)

Εικόνα 10.18. Διάταξη μέτρησης θερμότητας ενυδάτωσης με την ημιαδιαβατική μέθοδο (α: εξωτερικά, β: εσωτερικά)

Στην συγκεκριμένη συσκευή μετρήθηκαν κονιάματα παρόμοιας σύνθεσης με αυτά που παρασκευάστηκαν για την μελέτη εργασιμότητας και αντοχών αλλά σε μεγαλύτερες ποσότητες ώστε να γεμίζουν κυλινδρική μήτρα διαμέτρου 100 mm και ύψους 200 mm. Η σύνθεση ήταν 1020 g CEM I

42.5 (η χημική σύσταση του οποίου παρουσιάστηκε στον **Πίνακα 10.2**), 2184.5 g θραυστή ασβεστολιθική άμμος και 510 g νερό. Παρουσιάστηκαν πολλά προβλήματα κατά τις μετρήσεις στην συσκευή αυτή με κυριότερα την αδυναμία εξασφάλισης παρόμοιων συνθηκών σε όλα τα πειράματα καθώς οι εξωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας επηρέαζαν εντόνως τις μετρήσεις και συχνές διακοπές της σύνδεσης του θερμομέτρου με τον Η/Υ με αποτέλεσμα την απώλεια πολλών δεδομένων. Επίσης, λόγω κακής θερμομόνωσης του θαλάμου υπήρχε γρήγορη απώλεια θερμότητας και σημειώθηκαν σχετικά μικρές άνοδοι θερμοκρασίας. Για τους παραπάνω λόγους η ακρίβεια πολλών πειραμάτων ελέγχεται και στο διάγραμμα της **εικόνας 10.19** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων που θεωρήθηκαν συγκρίσιμα μεταξύ τους καθότι είχαν σταθερές συνθήκες. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε μορφή ανόδου θερμοκρασίας έναντι του χρόνου. Ως αρχικός χρόνος t_0 θεωρείται η στιγμή που κλείνει το καπάκι της συσκευής και είναι περίπου 30 sec από την στιγμή που τοποθετήθηκε το κονίαμα στη μήτρα. Η άνοδος της θερμοκρασίας είναι η διαφορά μεταξύ της πραγματικής θερμοκρασίας που καταγράφεται μέσα στο κονίαμα και της θερμοκρασίας του κονιάματος την στιγμή t_0 . Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, οι διαφορές μεταξύ των ανόδων θερμοκρασίας είναι ελάχιστες. Αυτό είναι λογικό αφού, όπως έχει συζητηθεί στο κεφάλαιο 2.1 η θερμότητα ενυδάτωσης επηρεάζεται κυρίως από το είδος του τσιμέντου, τον λόγο w/c και γενικά την σύνθεση του κονιάματος και όχι τόσο από την ποιότητα του νερού. Παρόλα αυτά υπάρχει μια ελαφριά αύξηση των καταγεγραμμένων θερμοκρασιακών ανόδων στις περιπτώσεις που υπάρχουν χλωριόντα στο νερό (δηλαδή στα δείγματα 1.3 και 3.3).



Εικόνα 10.19.
Αποτελέσματα
ανόδου
θερμοκρασίας
τσιμεντοκονια-
μάτων με την
ημι-αδιαβατική
μέθοδο

Συγκεκριμένα, το μέγιστο της θερμοκρασιακής ανόδου για το δείγμα αναφοράς και το νερό έκπλυσης 1.1 είναι 11.2°C, ενώ για τα δείγματα 1.3 και 3.3 είναι 11.5°C. Η διαφορά αυτή είναι πολύ μικρή και δεν μπορεί να αξιολογηθεί δεδομένης της αναξιπιστίας του οργάνου. Παρόλα αυτά πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί που υποδεικνύει το πρότυπο EN 196-9[2.23] σύμφωνα με την εξίσωση **2-3** που έχει προαναφερθεί:

$$Q = \frac{c}{m_c} \theta_i + \frac{1}{m_c} \int_0^t a \cdot \theta_i \cdot dt \quad \mathbf{2-3}$$

όπου,

m_c η μάζα του τσιμέντου στο εξεταζόμενο δείγμα σε g,

t ο χρόνος ενυδάτωσης σε h,

c η συνολική θερμοχωρητικότητα του θερμιδόμετρου σε J·K⁻¹,

a ο συντελεστής απώλειας θερμότητας του θερμιδόμετρου σε J·h⁻¹·K⁻¹ και

θ_i η άνοδος της θερμοκρασίας του εξεταζόμενου δείγματος τον δεδομένο χρόνο t σε K.

Η εξίσωση **2-3** μπορεί να απλοποιηθεί στην εξίσωση **10-1**:

$$Q = \frac{c}{m_c} \theta_i + \frac{1}{m_c} \sum_{i=0}^{i=n} \overline{a_i} \cdot \overline{\theta_i} \cdot \Delta t_i \quad \mathbf{10-1}$$

όπου, $\overline{a_i}$ και $\overline{\theta_i}$ είναι οι μέσες τιμές της απώλειας θερμότητας και την άνοδος θερμοκρασίας του εξεταζόμενου δοκιμίου στην χρονική περίοδο Δt_i .

Το πρώτο σκέλος των εξισώσεων **2-3** και **10-1** αντιπροσωπεύει την συσσωρευμένη θερμότητα στο θερμιδόμετρο A, και το δεύτερο σκέλος την απώλεια θερμότητας στο περιβάλλον B (και τα δύο μεγέθη μετρούνται σε J/g τσιμέντου). Η συσσωρευμένη θερμότητα A υπολογίζεται από την συνολική θερμοχωρητικότητα του θερμομέτρου, c , την μάζα του τσιμέντου m_c και την άνοδο της θερμοκρασίας του εξεταζόμενου δείγματος θ_i σε δεδομένο χρόνο t σύμφωνα με την εξίσωση **10-2**:

$$A = \frac{c}{m_c} \theta_i \quad \mathbf{10-2}$$

ενώ η θερμοχωρητικότητα του θερμιδόμετρου, c , συμπεριλαμβανομένης της μήτρας και του κονιάματος υπό εξέταση υπολογίζεται από την εξίσωση **10-3**:

$$c = 0.8(m_c + m_s) + 3.8m_w + 0.5m_b + \mu \quad \mathbf{10-3}$$

όπου,

0.8 είναι η θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας τσιμέντου και άμμου σε J·K⁻¹·g⁻¹

3.8 είναι η μέση θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας νερού σε J·K⁻¹·g⁻¹

0.5 είναι η θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας δοχείου κονιάματος σε J·K⁻¹·g⁻¹

μ είναι η θερμοχωρητικότητα του άδειου θερμιδόμετρου J·K⁻¹

m_c είναι η μάζα του τσιμέντου σε g

m_s είναι η μάζα της άμμου σε g

m_w είναι η μάζα του νερού σε g

m_b είναι η μάζα του δοχείου κονιάματος μαζί με το καπάκι σε g

Ο συντελεστής απώλειας θερμότητας του θερμιδόμετρου, α , σε $J \cdot K^{-1} \cdot g^{-1}$ δίνεται από την εξίσωση **10-4**:

$$a = \alpha + b \cdot \theta \quad \mathbf{10-4}$$

Όπου, α και b είναι οι σταθερές βαθμονόμησης του θερμιδόμετρου και θ η άνοδος της θερμοκρασίας σε K.

Η απώλεια θερμότητας στον περιβάλλον, B , σε $J \cdot K^{-1} \cdot g^{-1}$ κατά την χρονική περίοδο ενυδάτωσης t_n , δίνεται από την εξίσωση:

$$B = \frac{1}{m_c} \sum_{i=0}^n \overline{a_i} \cdot \overline{\theta_i} \cdot \Delta t_i \quad \mathbf{10-5}$$

όπου,

Δt_i είναι ο χρόνος που παρεμβάλλεται μεταξύ μιας θερμοκρασιακής μέτρησης στον χρόνο $t_{(i-1)}$ και της επόμενης μέτρησης σε χρόνο $t_{(i)}$, σε h.

$\overline{\theta_i}$ είναι ο μέσος όρος της θερμοκρασιακής ανόδου του εξεταζόμενου δείγματος μεταξύ των χρόνων t_i και $t_{(i-1)}$, σε K, και δίνεται από την εξίσωση **10-6**:

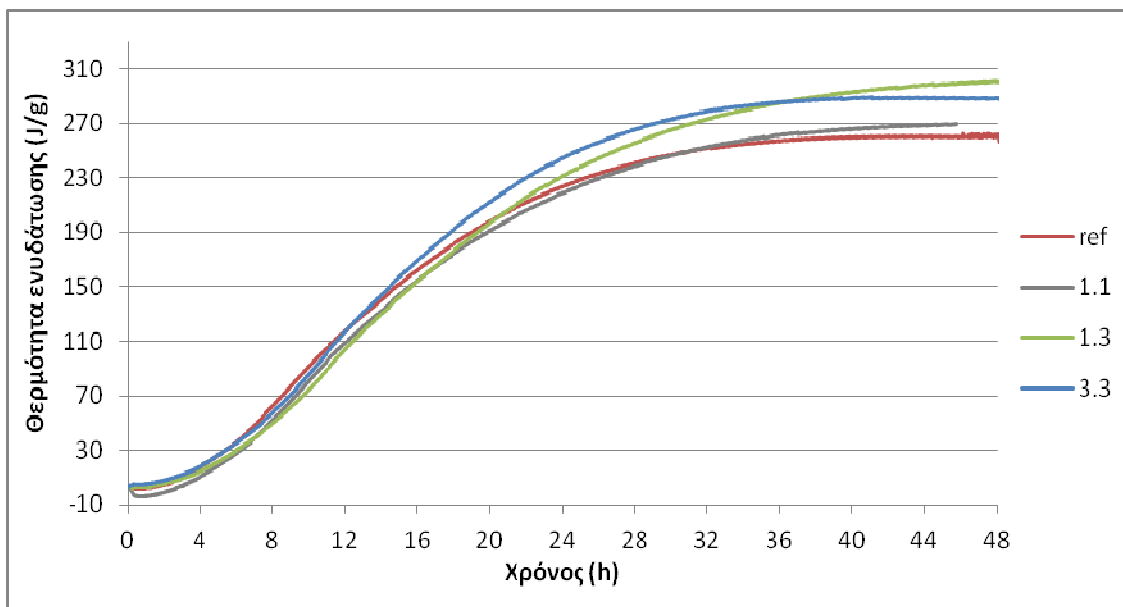
$$\overline{\theta_i} = \frac{\theta_i + \theta_{(i-1)}}{2} \quad \mathbf{10-6}$$

$\overline{a_i}$ είναι ο μέσος συντελεστής απώλειας θερμότητας (βλ. εξίσωση **10-4**) στην χρονική περίοδο Δt_i σε $J \cdot h^{-1} \cdot K^{-1}$, και δίνεται από την εξίσωση **10-7**:

$$\overline{a_i} = \alpha + b \cdot \overline{\theta_i} \quad \mathbf{10-7}$$

Η θερμότητα ενυδάτωσης Q , εκπεφρασμένη σε J/g τσιμεντού υπολογίζεται από το άθροισμα της συσσωρευμένης θερμότητας και της απώλειας θερμότητας στο περιβάλλον ως εξής:

$$Q = A + B \quad \mathbf{10-8}$$



Εικόνα 10.20.
Αποτελέσματα
θερμότητας
ενυδάτωσης
τσιμεντοκονιαμ
άτων με την
ημι-αδιαβατική
μέθοδο

Τα αποτελέσματα των υπολογισμένων μετρήσεων φαίνονται στο διάγραμμα της **εικόνας 10.20** και παρουσιάζουν μικρές διαφορές μεταξύ τους. Οι προκύπτουσες θερμότητες ενυδάτωσης, όπως και οι θερμοκρασιακές άνοδοι στις οποίες βασίστηκαν οι υπολογισμοί εμφανίζουν υπεροχή στην

περίπτωση που το νερό ανάμιξης περιέχει χλωριόντα, αποτέλεσμα που σε γενικές γραμμές συμφωνεί και με τα αποτελέσματα των αντοχών. Είναι πιθανόν η επιταχυντική δράση των χλωριόντων να παρουσιάζει μεταβολές στην

θερμότητα ενυδάτωσης του τσιμέντου εμφανίζοντας μικρές ανόδους.

10.6.2. ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Όπως αναλύθηκε και στο κεφάλαιο 2.1.1.2. η θερμιδομετρία αγωγιμότητας ή ισόθερμη θερμιδομετρία αποτελεί μία εναλλακτική, μη προτυποποιημένη, μέθοδο μέτρησης της θερμότητας ενυδάτωσης τσιμέντου με αρκετά πιο αξιόπιστα αποτελέσματα σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία σε σχέση με τις πρότυπες μεθόδους [2.13, 2.21]. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δίνει την δυνατότητα να μελετηθεί σε συνέχεια η διαδικασία της ενυδάτωσης σε πραγματικούς λόγους w/c χωρίς την ανάγκη ξήρανσης και στοχεύει στο να δώσει μια ένδειξη του συνολικού ρυθμού της αντίδρασης βασιζόμενη στην συνολική έκπλυση θερμότητας. Το μειονέκτημα είναι ότι μπορεί να μετρηθεί μόνο η συνολική θερμότητα, η οποία αποτελεί το άθροισμα της εξελισσόμενης θερμότητας από όλες της αντιδράσεις που συμβαίνουν σε συγκεκριμένο χρόνο. Αν εξώθερμες και ενδόθερμες αντιδράσεις συμβαίνουν ταυτόχρονα ο ρυθμός της παραγόμενης θερμότητας μπορεί να είναι ελάχιστος ακόμα και αν οι ρυθμοί των αντιδράσεων είναι αρκετά υψηλοί. Επομένως, η θερμιδομετρία μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για την συνολική μέτρηση του βαθμού ενυδάτωσης.

Στο πλαίσιο των πειραμάτων της παρούσας μελέτης δύο δείγματα νερού, το νερό έκπλυσης 1.1 και το διηθημένο εξουδετερωμένο νερό 3.3 μετρήθηκαν σε εξωτερικό εργαστήριο στην Γαλλία (BU Cement, CHRYSO S.A.S.) τα οποία και συγκρίθηκαν με νερό δικτύου του εργαστηρίου της Chryso ως προς το πώς επηρεάζουν την θερμότητα ενυδάτωσης τριών διαφορετικών τσιμέντων CEM I 52.5, CEM I 52.5 N και CEM II 32.5.

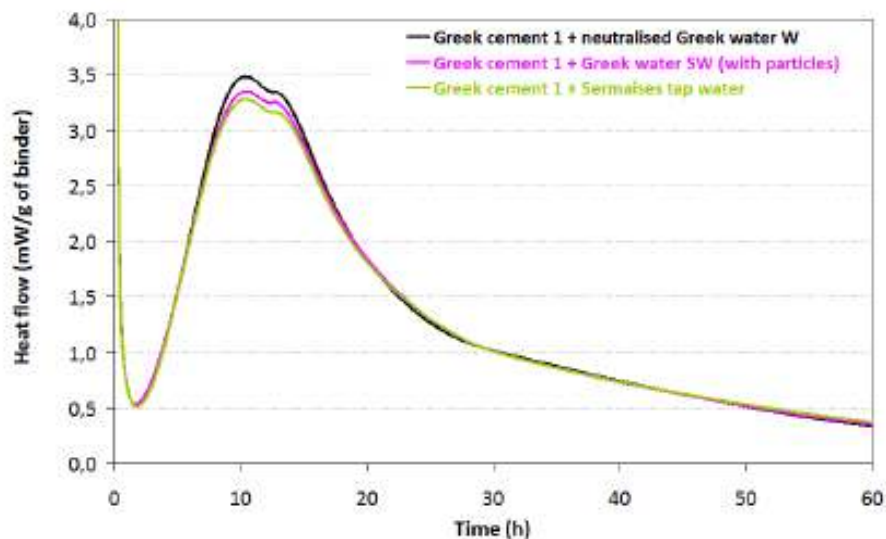
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής. Αναμιγνύονται πάστες τσιμέντου με λόγο w/c=0.4 και εξετάζονται στους 20°C με την χρήση ενός ισόθερμου θερμιδόμετρου TAM Air το οποίο

αποτελείται από 8 παράλληλα κανάλια μέτρησης διπλού τύπου τα οποία διατηρούνται σε σταθερή θερμοκρασία (διάταξη στην **εικόνα 10.21**). Το ένα συνδέεται με το δείγμα και το άλλο με το δοχείο αναφοράς. Το δοχείο αναφοράς χρησιμοποιείται για να μειωθεί ο θόρυβος του σήματος και να διορθωθούν τα δεδομένα των μετρήσεων και της θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται γυάλινες αμπούλες των 20 mL για το δοχείο του δείγματος καθώς και για το αναφοράς (νερό με την ίδια θερμική μάζα) ώστε η ενυδάτωση να είναι αποτελεσματικά ισόθερμη. Η μικρή θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του ενυδατωμένου τσιμέντου και του δείγματος αναφοράς είναι ανάλογη με τον ρυθμό της έκπλυσης θερμότητας του τσιμέντου, η οποία μετράται με θερμοστοιχείο. Κάθε κανάλι είναι ανεξάρτητο από τα υπόλοιπα και έχει βαθμονομηθεί πριν την έναρξη των πειραμάτων.

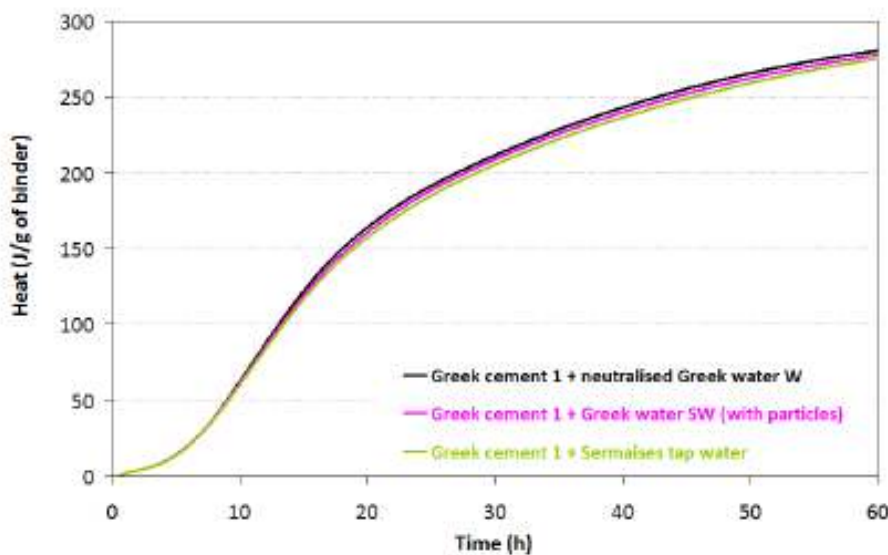


Εικόνα 10.21 Διάταξη θερμιδόμετρου TAM Air

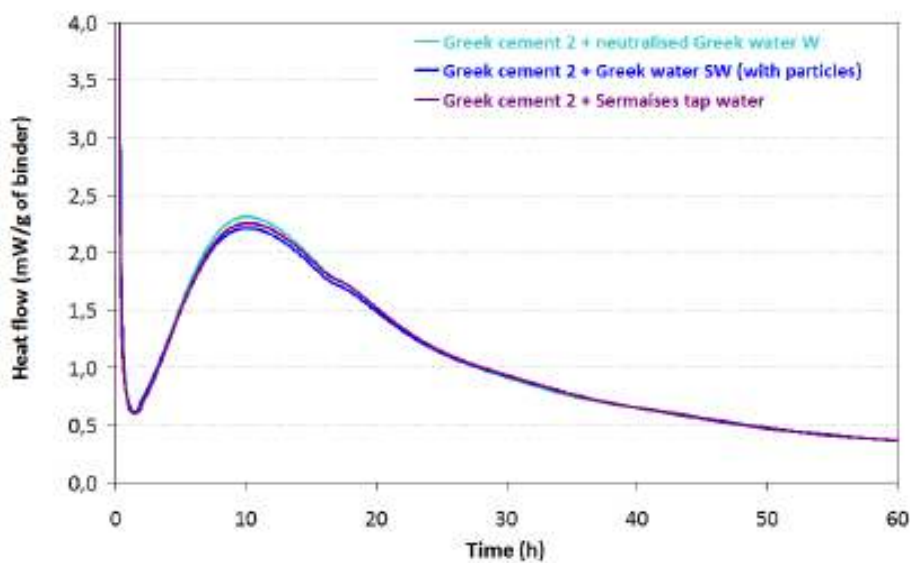
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μελέτη της θερμότητας ενυδάτωσης μέσω του TAM Air παρουσιάζονται στις **εικόνες 10.22-10.27** σε μορφή διαγράμματος ρυθμού ροής θερμότητας (mW/g τσιμέντου) ως προς τον χρόνο της ενυδάτωσης και ως γραφική απεικόνιση θερμότητας (J/g τσιμέντου) προς χρόνο. Το νερό έκπλυσης 1.1 αναφέρεται ως “Greek water SW(with particles)”, το εξουδετερωμένο διηθημένο νερό 3.3 ως “neutralized Greek water W” και το νερό βρύσης “Sermaises tap water”. Τα τσιμέντα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα “Greek cement 1” για το CEM I 52.5, “Greek cement 2” για το CEM II 32.5 και “European CEM I 52.5 N”.



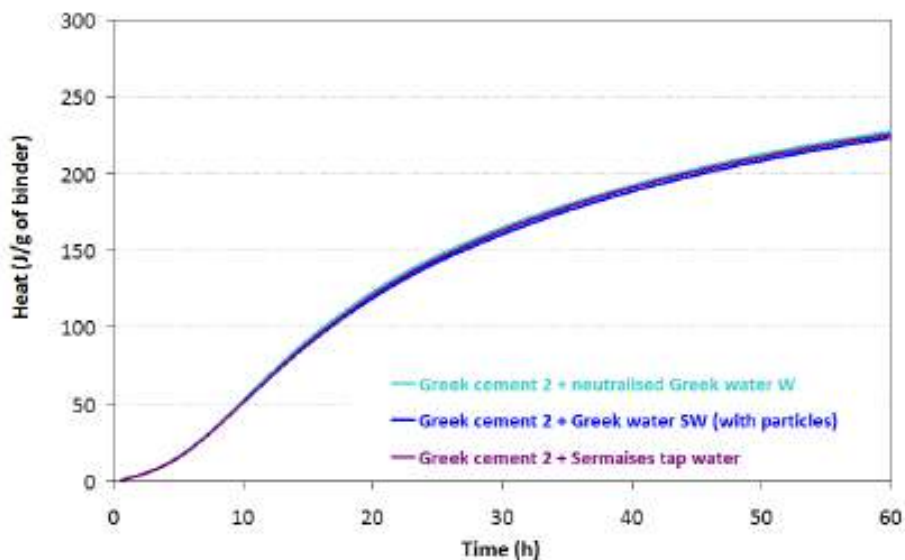
Εικόνα 10.22. Ροή θερμότητας για το CEM I 52.5 εξεταζόμενο με τα τρία δείγματα νερού



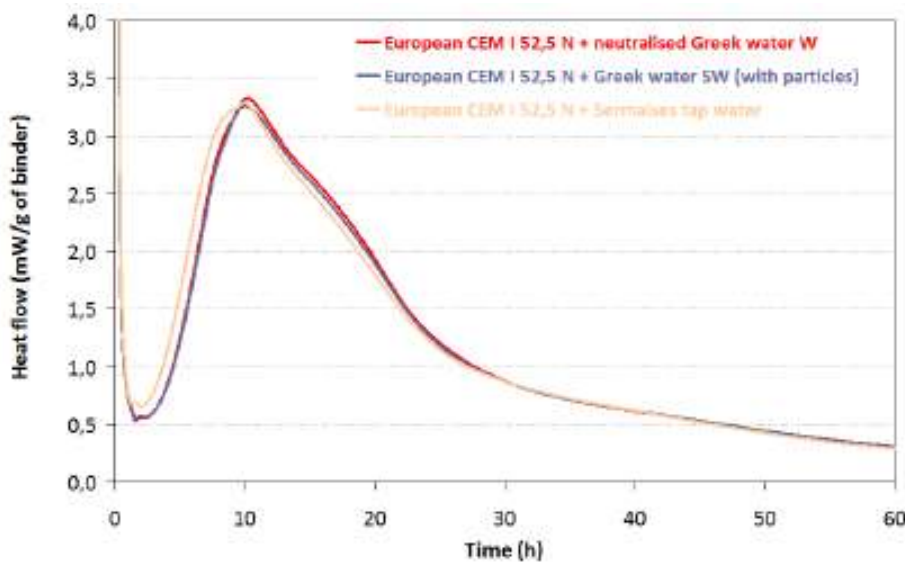
Εικόνα 10.23. Εκλυόμενη θερμότητα για το CEM I 52.5 εξεταζόμενο με τα τρία δείγματα νερού



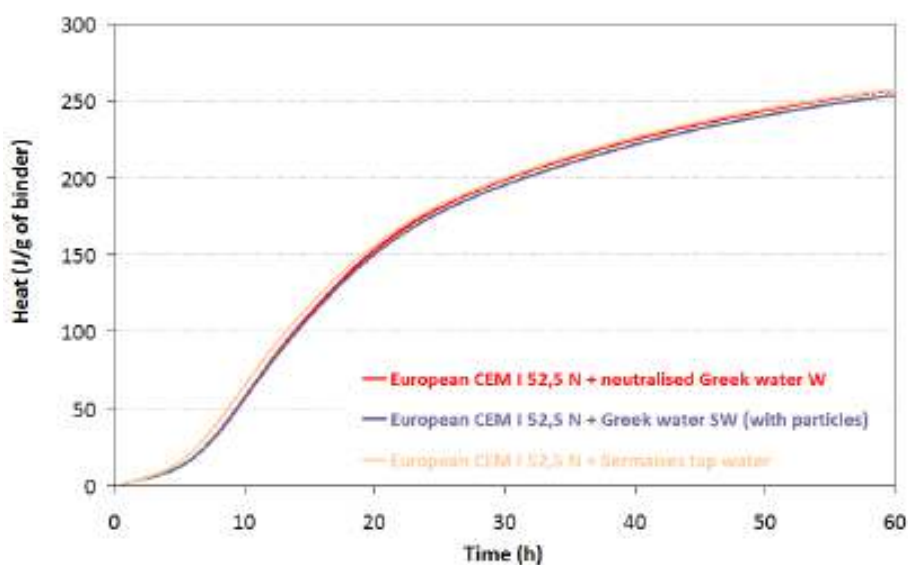
Εικόνα 10.24. Ροή θερμότητας για το CEM II 32.5 εξεταζόμενο με τα τρία δείγματα νερού



Εικόνα 10.25. Εκλυόμενη θερμότητα για το CEM II 32.5 εξεταζόμενο με τα τρία δείγματα νερού



Εικόνα 10.26. Ροή θερμότητας για το CEM I 52.5 N εξεταζόμενο με τα τρία δείγματα νερού



Εικόνα 10.27. Εκλυόμενη θερμότητα για το CEM I 52.5 N εξεταζόμενο με τα τρία δείγματα νερού

Τα αποτελέσματα την ισόθερμης θερμιδομετρίας ενισχύουν το συμπέρασμα ότι το είδος του νερού που χρησιμοποιείται για την ανάμιξη της τσιμεντόπαστας δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την θερμότητα ενυδάτωσης. Όπως φαίνεται και για τα τρία είδη τσιμέντου που μελετήθηκαν οι προκύπτουσες καμπύλες θερμότητας ενυδάτωσης και ρυθμού έκλυσης θερμότητας (ροή θερμότητας) είναι σχεδόν πανομοιότυπες και για τα τρία είδη νερού.

Μικρή αύξηση της θερμότητας ενυδάτωσης παρατηρείται κατά την ανάμιξη με το εξουδετερωμένο νερό η οποία είναι περισσότερο διακριτή στο πιο ενεργό τσιμέντο, δηλαδή στο OPC. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο καθώς η αυξημένη περιεκτικότητα σε χλωριόντα που υπάρχει στο εξουδετερωμένο νερό προκαλεί επιτάχυνση στις αντιδράσεις ενυδάτωσης της τσιμεντόπαστας η οποία εμφανίζεται από τις πρώτες ώρες της ενυδάτωσης. Σαφώς, όσο πιο δραστικό είναι ένα τσιμέντο, τόσο πιο έντονες είναι οι εξώθερμες αντιδράσεις ενυδάτωσης και πιο ισχυρή η δράση των χλωριόντων.

Η ανάμιξη του νερού έκπλυσης με τα τρία τσιμέντα δεν φαίνεται να επηρεάζει με συγκεκριμένο τρόπο την κινητική των αντιδράσεων σε σχέση με το νερό βρύσης καθώς οι διαφορές είναι ιδιαιτέρως μικρές. Αυτό ενισχύει και το συμπέρασμα ότι η καλύτερη αντοχή που εμφανίζουν τα κονιάματα όταν αναμιγνύονται με νερό έκπλυσης σε σχέση με το νερό βρύσης δεν οφείλεται σε κάποια χημική αντίδραση μεταξύ της λούμης που βρίσκεται στο νερό και του τσιμέντου αλλά, σε άλλους λόγους όπως η μείωση του περιεχόμενου αέρα, η εμφάνιση πυρήνων ενυδάτωσης και η πλήρωση των κενών με ταυτόχρονη μείωση του πορώδους.

10.7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η εξάπλωση των κονιαμάτων μειώνεται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του νερού ανάμιξης σε ολικά στερεά. Το μέγεθος αυτής της επίδρασης εξαρτάται από το μέσο

προσθήκης κατά την επεξεργασία του νερού. Η προσθήκη CaCl_2 έχει την μεγαλύτερη επίδραση.

- Οι θλιπτικές αντοχές δεν επηρεάζονται εμφανώς από τις υψηλές τιμές του pH (10, 12.5). Χαμηλές τιμές του pH όμως (5) μπορεί να επιφέρουν μείωση των αντοχών αν η οξύνιση έχει γίνει με HNO_3 .
- Το υψηλό pH δεν επηρεάζει την εξάπλωση, την αντίσταση στη διείσδυση χλωριόντων και την θερμότητα ενυδάτωσης.
- Η αύξηση των χλωριόντων, είτε σε μορφή οξύνισης με HCl ή με προσθήκη CaCl_2 οδηγεί σε βελτίωση των αντοχών, κυρίως σε πρώιμες ηλικίες λόγω της δράσης των ιόντων ως επιταχυντές. Παρατηρείται ένα μέγιστο στην προσθήκη περίπου $\sim 2000 \text{ ppm Cl}^-$.
- Η παρουσία στερεών στο νερό βελτιώνει τις πρώιμες αντοχές και δεν επηρεάζει την θερμότητα ενυδάτωσης, την αντίσταση σε διείσδυση χλωριόντων και τις τελικές αντοχές.
- Η θερμότητα ενυδάτωσης δεν επηρεάζεται σημαντικά από το είδος του νερού που γίνεται η ανάμιξη. Μικρή άνοδος της εκλυόμενης θερμότητας παρατηρείται με την προσθήκη χλωριόντων στο νερό έκπλυσης.
- Η αντίσταση των κονιαμάτων στην διείσδυση χλωριόντων δεν επιβαρύνεται από την ανάμιξη των τους με νερό έκπλυσης ως έχει ή διηθημένο. Η προσθήκη όμως χλωριόντων στα δείγματα νερού επιφέρει μείωση της αντίστασής τους και μεγαλύτερους κινδύνους διάβρωσης του οπλισμού.

10.8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[10.1] EN 1015-3(1999), Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table), European Committee for Standardization (CEN), Brussels

[10.2] EN 1015-11(1999), Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar, European Committee for Standardization (CEN), Brussels

[10.3] ASTM C1202(2012), Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, American Society for Testing and Materials, USA

11. ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΠΑΣΤΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Από την ανάλυση του προηγούμενου κεφαλαίου προέκυψαν συμπεράσματα όσον αφορά τα δείγματα νερού που παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον, πρακτικό και επιστημονικό, και για τα οποία έγινε περαιτέρω ανάλυση σε απλά συστήματα νερού - τσιμέντου. Όπως αποδείχτηκε, η εξουδετέρωση με HNO_3 δεν είναι επιθυμητή λόγω μείωσης των αντοχών των προκυπτόντων κονιαμάτων, ενώ επίσης βρέθηκε ότι, στην περίπτωση προσθήκης χλωριόντων, βέλτιστη προσθήκη είναι αυτή που ισοδυναμεί με προσθήκη HCl μέχρι εξουδετέρωσης του νερού ($\text{pH } 7$), δηλαδή περίπου 2000 ppm Cl^- . Με τα παραπάνω ως δεδομένα και έχοντας υπόψη την κωδικοποίηση των δειγμάτων του νερού του **Πίνακα 10.1** μελετήθηκαν ως προς την συμπεριφορά τους σε πάστες τσιμέντου τα δείγματα νερού 1.1, 1.3, 3.1, 3.3, 6.3, 7.3 τα οποία και αποτελούν δείγματα νερού που έγινε μηδενική ή μέση προσθήκη χλωριόντων (~2000 ppm) μέσω HCl ή CaCl_2 παρουσία ή μη στερεών. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε συστήματα τσιμέντου - νερού περιλαμβάνουν απαίτηση σε νερό, χρόνους πήξης, ποροσιμετρία και μελέτη ενυδάτωσης. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση παστών τσιμέντου η σύγκριση γίνεται με απιονισμένο νερό και όχι νερό βρύσης όπως προβλέπεται από τις εκάστοτε πρότυπες διαδικασίες.

11.1. ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΣΕ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΙ ΠΗΞΗΣ

Παρασκευάστηκαν πάστες τσιμέντου με CEM I 52.5 (η χημική ανάλυση του οποίου δίνεται στον **Πίνακα 11.1**) και αφού μετρήθηκε η απαίτησή τους σε νερό για τα διάφορα δείγματα νερού, μετρήθηκαν οι χρόνοι αρχής και τέλους πήξης με την συσκευή Vicat κατά το EN 196-3 [11.1]. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον **Πίνακα 11.2**.

Η απαίτηση σε νερό του δείγματος αναφοράς ήταν 28.1 mL απιονισμένου νερού για 100 g τσιμέντου, ενώ για τα υπόλοιπα δείγματα νερού έκπλυσης κυμάνθηκε από 28 - 28.4 mL/100 g. Αναμενόμενο

ήταν να υπάρχει μεγαλύτερη απαίτηση σε νερό για τα δείγματα νερού με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε στερεά (1.3 και 6.3) όπου παρουσίασαν τιμές 28.4 mL/100 g. Η διαφορά δείχνει μια τάση μεγαλύτερης απαίτησης για νερά με περισσότερα στερεά, κάτι που παρατηρήθηκε και στις δοκιμές εργασιμότητας του προηγούμενου κεφαλαίου, όμως σε γενικές γραμμές είναι πολύ μικρή και θα μπορούσε να χαρακτηριστεί αμελητέα.

Πίνακας 11.1. Χημική ανάλυση του τσιμέντου CEM I 52.5

Οξείδιο	% w/w περιεκτικότητα
SiO₂	21.07
Al₂O₃	4.48
Fe₂O₃	3.81
CaO	66.58
MgO	1.20
K₂O	0.94
Na₂O	0.17
SO₃	2.06
LOI	1.56

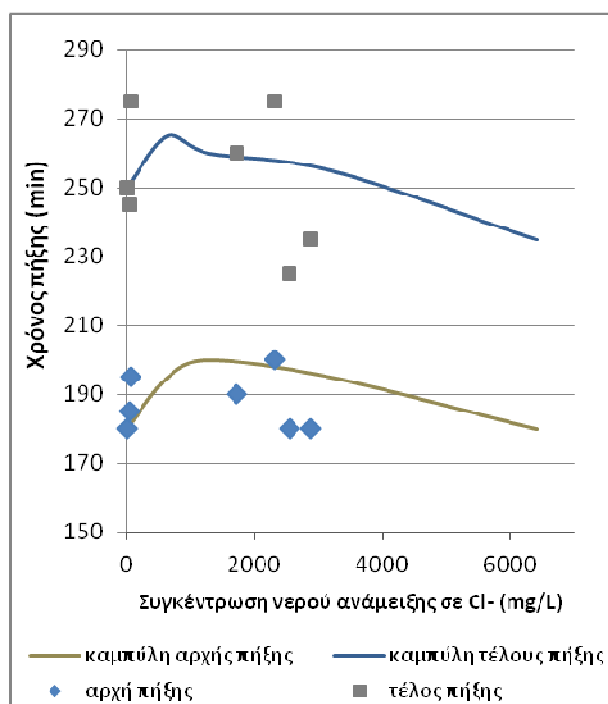
Οι χρόνοι αρχής και τέλους πήξης επηρεάζονται πρωτίστως από την συγκέντρωση του νερού σε χλωριόντα παρά από το pH και την περιεκτικότητά του σε στερεά. Για τον λόγο αυτόν παρασκευάστηκαν τέσσερα επιπλέον δείγματα νερού από απιονισμένο νερό και προσθήκη CaCl_2 σε αυτό σε περιεκτικότητες 2, 4, 10 και 20 g/L ώστε να παρασκευαστούν τσιμεντόπαστες και να μελετηθεί η πήξη τους με σκοπό να σχεδιαστεί μια καμπύλη συσχέτισης της συγκέντρωσης χλωριόντων στο νερό ανάμιξης και τους χρόνους πήξης της πάστας τσιμέντου. Η απόκλιση των σημείων των δειγμάτων νερού έκπλυσης από την καμπύλη δείχνει πώς επηρεάζουν οι υπόλοιπες ιδιότητες του νερού την πήξη της τσιμεντόπαστας. Τα αποτελέσματα φαίνονται στην **εικόνα 11.1**.

Πίνακας 11.2. Απαίτηση σε νερό και χρόνοι πήξης παστών τσιμέντου

δ/μα νερού	Απαίτηση σε νερό (mL/100 g)	Χρόνος πήξης (min)		Διαφορά αρχής πήξης από αναφοράς (min)	Διαφορά τέλους πήξης από αναφοράς (min)	Ποσοστιαία διαφορά αρχής πήξης από αναφοράς	Ποσοστιαία διαφορά τέλους πήξης από αναφοράς
		αρχή	τέλος				
ref	28.1	180	250	0	0	0.0%	0.0%
1.1	28.2	185	245	5	-5	2.8%	-2.0%
1.3	28.4	200	275	20	25	11.1%	10.0%
3.1	28.1	195	275	15	25	8.3%	10.0%
3.3	28.0	180	235	0	-15	0.0%	-6.0%
6.3	28.4	190	260	10	10	5.6%	4.0%
7.3	28.3	180	225	0	-25	0.0%	-10.0%

Είναι εμφανές ότι οι χρόνοι πήξης και κυρίως ο χρόνος τέλους πήξης διαφοροποιούνται από την καμπύλη που κατασκευάστηκε για να συνδέσει την συγκέντρωση χλωριόντων με την πήξη της τσιμεντόπαστας. Οι διαφορές αυτές όμως δεν συνδέονται ξεκάθαρα με κάποιο άλλο από τα χαρακτηριστικά του νερού (pH και περιεκτικότητα σε στερεά) καθώς, για παράδειγμα, κάποια δείγματα με pH 12.5 μπορεί να έχουν θετική απόκλιση από την καμπύλη και άλλα αρνητική. Σε κάθε περίπτωση, όμως οι διαφορές είναι πολύ μικρές και οι χρόνοι πήξης μπορούν να θεωρηθούν πρακτικά ανεπηρέστοι. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο κανονισμός του ΕΛΟΤ 345 για το νερό ανάμιξης σκυροδέματος δεν προβλέπει κανέναν περιορισμό για τους χρόνους πήξης των παστών τσιμέντου για το υπό εξέταση νερό ενώ, το EN 1008 θέτει ότι ο χρόνος αρχής πήξης πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 60 min και ο χρόνος τέλους πήξης μικρότερος από 12 h καθώς και να μην υπάρχει διαφορά στους χρόνους σε σχέση με το νερό αναφοράς πάνω από 25%. Αντίστοιχα το αμερικανικό ASTM C1602 θέτει ότι οι χρόνοι δεν πρέπει να αποκλίνουν από 1 h νωρίτερα έως 1½ h αργότερα από τις πήξεις της πάστας παρασκευασμένης με απιονισμένο νερό. Είναι ξεκάθαρο ότι στην περίπτωση του νερού έκπλυσης, υπό οποιαδήποτε επεξεργασία, οι

περιορισμοί αυτοί καλύπτονται καθώς η μεγαλύτερη απόκλιση που παρατηρήθηκε από το νερό αναφοράς ήταν 11.1% ή 25 min.

**Εικόνα 11.1.** Συσχέτιση χλωριόντων του νερού ανάμιξης και χρόνων πήξης παστών τσιμέντου.

11.2. ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ

Πραγματοποιήθηκε μελέτη ενυδάτωσης παστών τσιμέντου για να εξεταστεί η δράση των δειγμάτων νερού στην χρονική εξέλιξη των προϊόντων ενυδάτωσης. Κατά την προετοιμασία των δοκιμών ακολουθήθηκε διαδικασία παρασκευής παστών που προσομοιάζει στην αντίστοιχη των κονιαμάτων. Οι πάστες παρασκευάστηκαν με CEM I 42.5 και το εκάστοτε εξεταζόμενο νερό με λόγο w/c 0.5. Ζυγίστηκαν αρχικά 500 g τσιμέντου και τοποθετήθηκαν σε μηχανικό αναδευτήρα (mixer σχεδιασμένο κατά EN196-1), ο οποίος μετά την προσθήκη 250 mL νερού τέθηκε σε λειτουργία επιτυγχάνοντας ικανοποιητική ανάδευση για 3 min. Η συνεχής ανάδευση (για 2 min στην αργή και 1 min στην γρήγορη ταχύτητα του αναδευτήρα) οδήγησε στη δημιουργία ομογενών παστών τσιμέντων. Με την ολοκλήρωση της μίξης οι πάστες χυτεύονται σε κυβικές μήτρες των 4 cm και παραμένουν μέχρι σκλήρυνσης κάτω από συνθήκες υγρασίας στο εργαστήριο. Μια ημέρα μετά την ανάμιξη, τα δοκίμια αποσπάστηκαν από τα καλούπια τους και τοποθετήθηκαν σε λουτρό με νερό όπου και συντηρήθηκαν μέχρι δοκιμής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Στις ηλικίες όπου μετρήθηκαν και οι θλιπτικές αντοχές των αντίστοιχων κονιαμάτων - 2, 7 και 28 ημέρες -, τα δοκίμια βγήκαν από το λουτρό συντήρησης και πραγματοποιήθηκε διακοπή ενυδάτωσης με εμβάπτιση διαδοχικά σε ακετόνη και διαιθυλαιθέρα για 25 min στον κάθε διαλύτη. Τα δείγματα μετά την επεξεργασία με τους οργανικούς διαλύτες τοποθετήθηκαν σε θάλαμο κενού για 24 ώρες, ώστε να απομακρυνθούν οι πτητικοί διαλύτες. Μετά την απομάκρυνση των δοκιμών από το κενό, κομμάτια από το εσωτερικό του δείγματος (core) λειοτριβήθηκαν και φυλάχθηκαν σε ξηρό περιβάλλον (πλαστικά σακουλάκια και ξηραντήρα), προς αποφυγή εισόδου ατμοσφαιρικού αέρα και επαναπρόσληψη υγρασίας και CO₂ μέχρι την ημέρα της δοκιμής. Στα δείγματα ενυδατωμένου

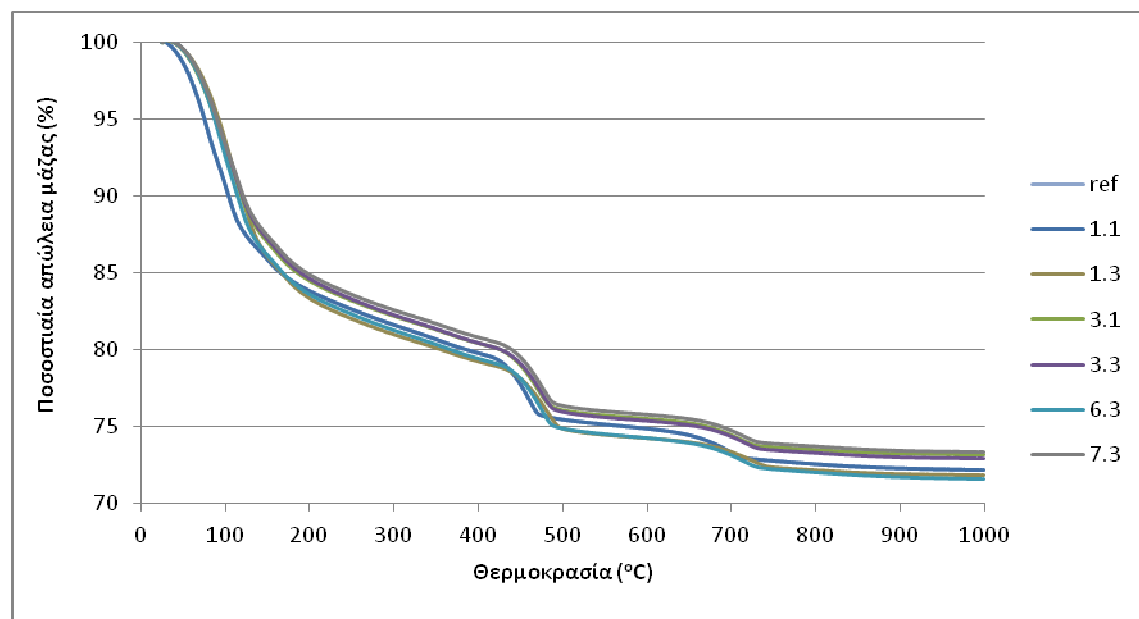
τσιμέντου που προέκυψαν από τις αναμίξεις με τα δείγματα νερού στις τρεις ηλικίες πραγματοποιήθηκε θερμική και ορυκτολογική ανάλυση.

11.2.1. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

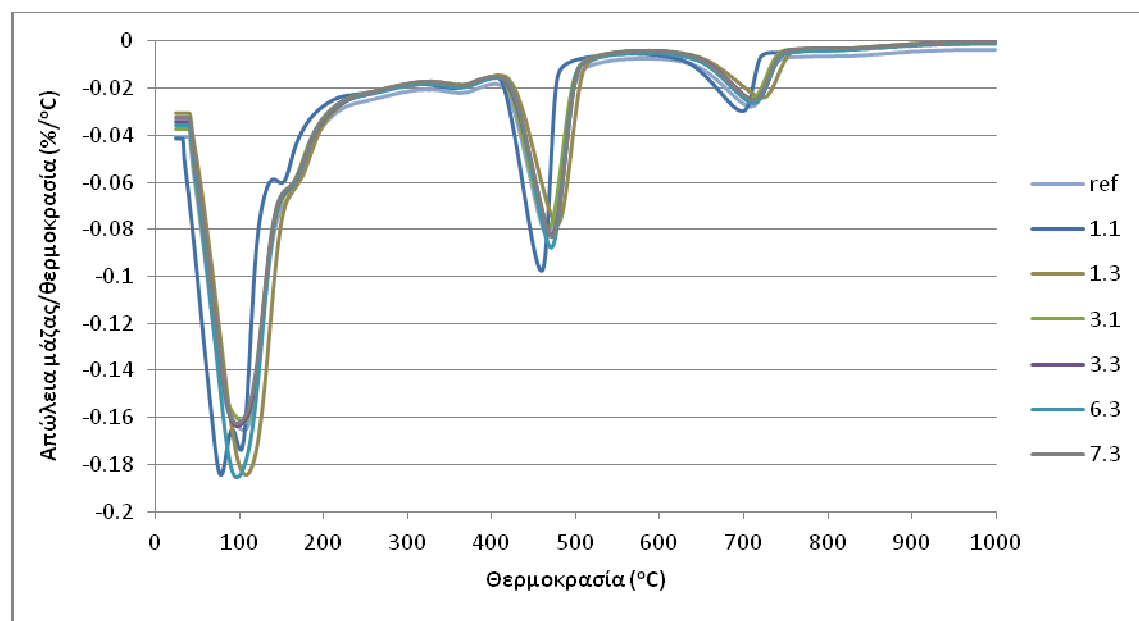
Η θερμιδοβαρυτομετρική ανάλυση (TG) και διαφορική θερμική ανάλυση (DTG) χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση των ενυδατωμένων προϊόντων του κάθε συστήματος τσιμέντου-νερού και για την ποσοτικοποίηση των προϊόντων αυτών προς τον προσδιορισμό του ρυθμού εξέλιξης της ενυδάτωσης. Οι μετρήσεις της θερμικής ανάλυσης πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα σκόνης πάστας σε θερμοζυγό Mettler STARe 851/LF/1600 TG/SDTA. Χρησιμοποιήθηκε χωνευτήριο πλατίνας χωρητικότητας 70 mL και το βάρος κάθε δείγματος κυμάνθηκε στην περιοχή 45-55 mg. Τα δείγματα εξετάστηκαν σε ατμόσφαιρα N₂ (50 mL/min), ενώ ο ρυθμός ανάπτυξης της θερμοκρασίας που επιλέχθηκε ήταν 20°C/min (από θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι τους 1000°C).

Ένα σύστημα ενυδατωμένης πάστας τσιμέντου είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο καθώς εμφανίζει ένυδρες φάσεις που χάνουν τα χημικώς ενωμένα ή κρυσταλλικά νερά τους σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, όπου πολλές φορές οι θερμοκρασιακές αυτές περιοχές επικαλύπτονται. Επίσης σε αλκαλικά συστήματα η ενανθράκωση κάποιων συστατικών, κυρίως του πορτλαντίτη, λόγω επαφής με τον ατμοσφαιρικό αέρα είναι αναπόφευκτη παρά τον προσεκτικό χειρισμό των δειγμάτων. Για τον λόγο αυτόν τα συμπεράσματα της ανάλυσης είναι κυρίως συγκριτικά και λαμβάνονται υπόψη οι εξής παραδοχές όσον αφορά τις αιτίες απώλειας μάζας στις διάφορες θερμοκρασιακές περιοχές:

- 25 – 105°C: απομάκρυνση απομένουσας φυσικής υγρασίας
- 110 – 170°C: απώλεια κρυσταλλικών νερών της γύψου και του εττριγκίτη
- 180 – 420°C: απώλεια νερού από τις ενυδατωμένες φάσεις CSH
- 430 – 530°C: διάσπαση του πορτλαντίτη
- 600 – 900°C: απελευθέρωση CO₂ από το ανθρακικό ασβέστιο.



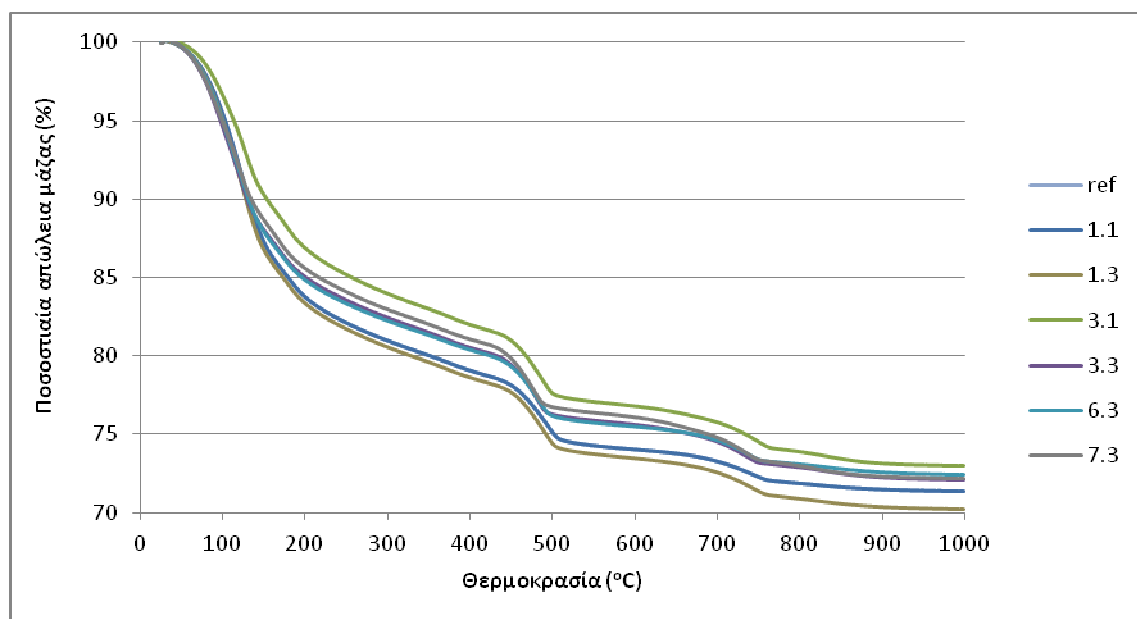
Εικόνα 11.2.
Διαγράμματα
θερμικής
ανάλυσης
παστών
τσιμέντου
ηλικίας 2
ημερών



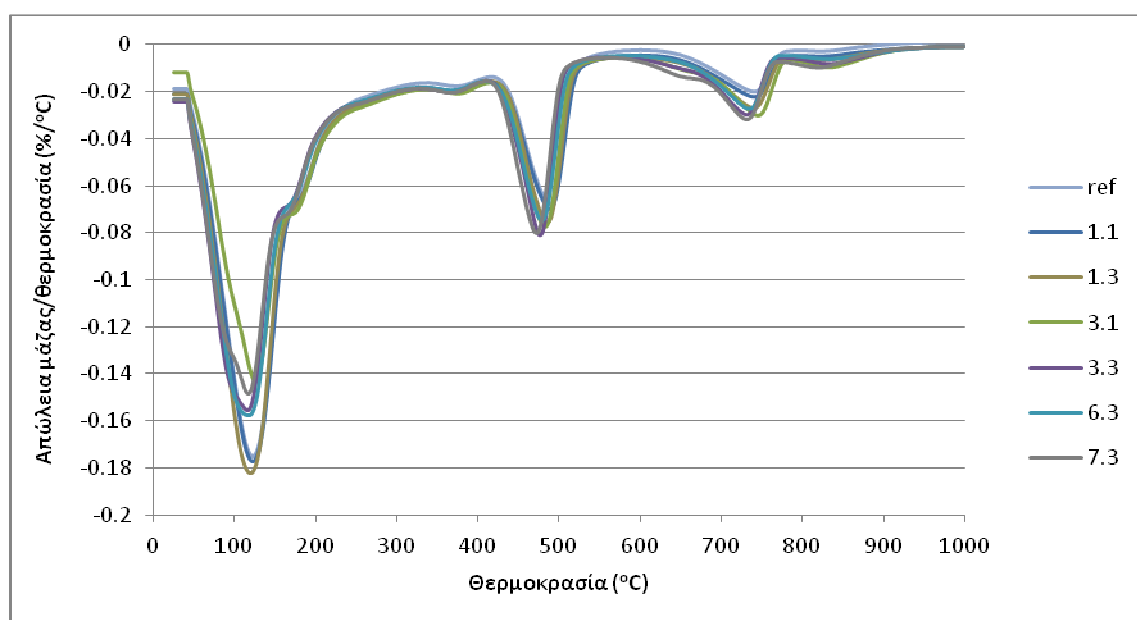
Εικόνα 11.3.
Διαγράμματα
διαφορικής
θερμικής
ανάλυσης
παστών
τσιμέντου
ηλικίας 2
ημερών

Πίνακας 11.3. Αποτελέσματα θερμικής ανάλυσης παστών τσιμέντου ηλικίας 2 ημερών

Θερ/σιακή περιοχή	% απώλεια μάζας						
	ref	1.1	1.3	3.1	3.3	6.3	7.3
25°-105°C	10.15	10.14	7.32	7.63	7.51	8.27	7.41
110°-170°C	4.56	4.18	6.95	5.79	5.75	5.94	5.65
180°-420°C	5.10	5.00	5.25	5.12	5.27	5.27	5.16
430°-530°C	4.05	3.83	4.20	4.07	4.19	4.29	4.20
600°-900°C	2.53	2.57	2.33	2.28	2.37	2.54	2.36
Συνολική απώλεια	27.93	27.82	28.20	26.83	27.05	28.37	26.69
% Ca(OH) ₂	16.7	15.8	17.3	16.7	17.2	17.6	17.3



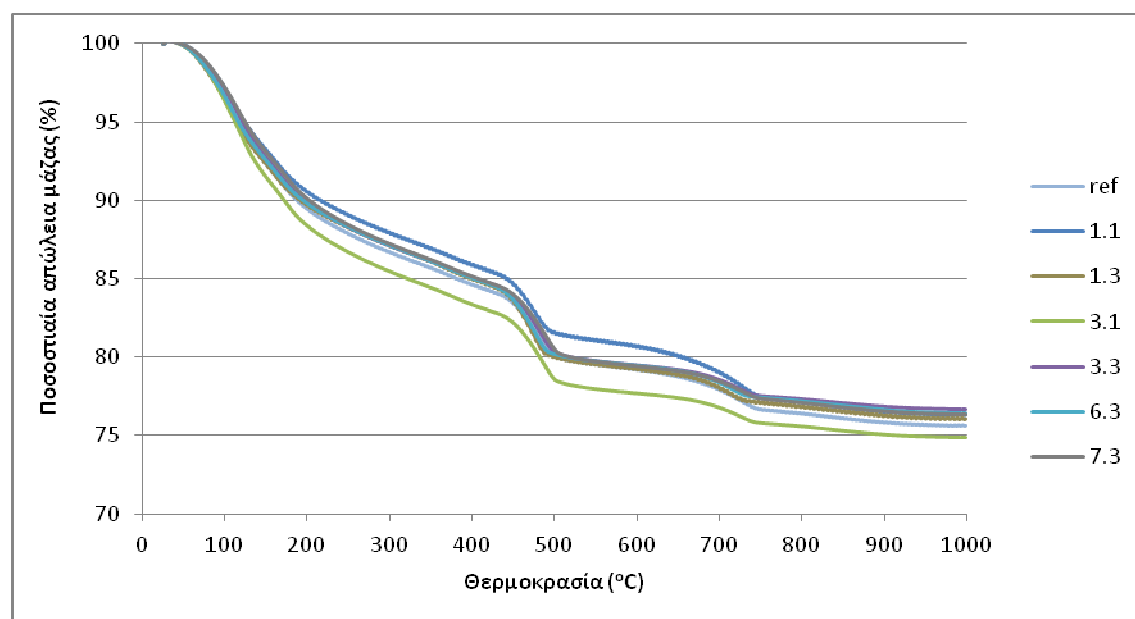
Εικόνα 11.4.
 Διαγράμματα
 θερμικής
 ανάλυσης
 παστών
 τσιμέντου
 ηλικίας 7
 ημερών



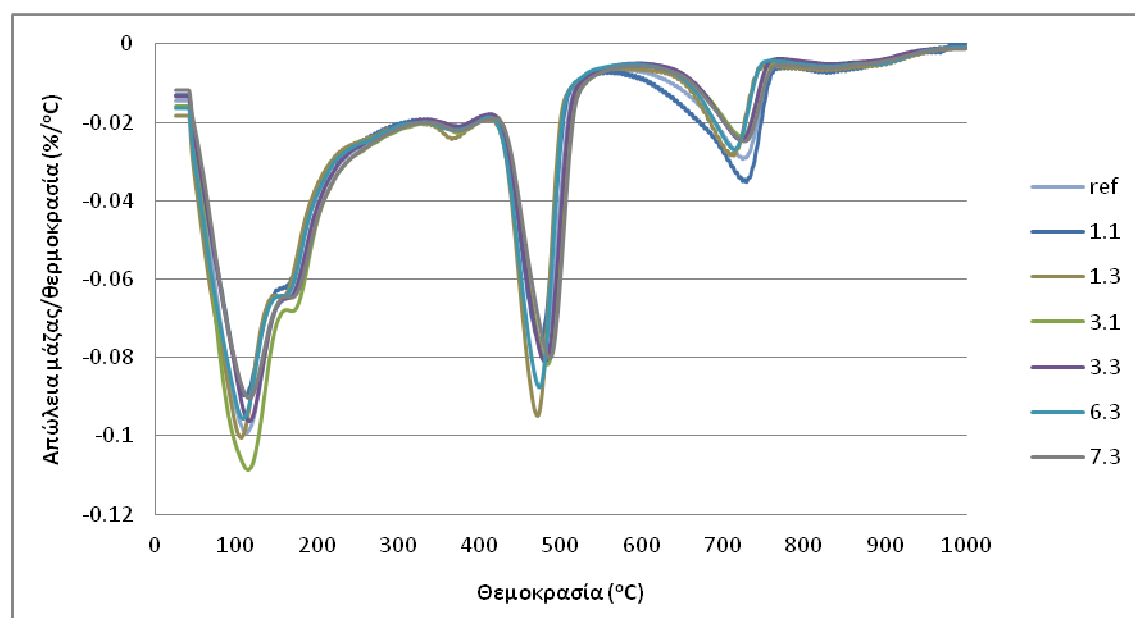
Εικόνα 11.5.
 Διαγράμματα
 διαφορικής
 θερμικής
 ανάλυσης
 παστών
 τσιμέντου
 ηλικίας 7
 ημερών

Πίνακας 11.4. Αποτελέσματα θερμικής ανάλυσης παστών τσιμέντου ηλικίας 7 ημερών

Θερ/σιακή περιοχή	% απώλεια μάζας						
	ref	1.1	1.3	3.1	3.3	6.3	7.3
25°-105°C	5.42	5.34	5.77	3.98	6.16	5.88	5.75
110°-170°C	7.30	8.22	8.09	6.63	6.44	6.84	6.33
180°-420°C	6.25	6.19	6.21	6.39	5.74	5.76	5.78
430°-530°C	4.23	4.17	4.27	4.29	4.06	4.05	4.09
600°-900°C	3.03	2.55	3.10	3.66	3.37	2.92	3.79
Συνολική απώλεια	28.42	28.61	29.76	27.02	27.87	27.61	27.84
% Ca(OH) ₂	17.4	17.1	17.6	17.6	16.7	16.7	16.8



Εικόνα 11.6.
Διαγράμματα
θερμικής
ανάλυσης
παστών
τσιμέντου
ηλικίας 28
ημερών



Εικόνα 11.7.
Διαγράμματα
διαφορικής
θερμικής
ανάλυσης
παστών
τσιμέντου
ηλικίας 28
ημερών

Πίνακας 11.5. Αποτελέσματα θερμικής ανάλυσης παστών τσιμέντου ηλικίας 28 ημερών

% απώλεια μάζας							
Θερ/σιακή περιοχή (°C)	Ref	1.1	1.3	3.1	3.3	6.3	7.3
25°-105°C	3.76	3.33	4.07	4.20	3.36	3.85	3.23
110°-170°C	4.69	4.27	4.34	5.12	4.68	4.38	4.53
180°-420°C	6.13	5.80	5.84	6.46	6.08	6.00	6.39
430°-530°C	4.43	4.58	4.79	4.68	4.65	4.59	4.70
600°-900°C	3.39	4.16	2.99	2.62	2.64	2.82	2.88
Συνολική απώλεια	24.40	23.68	23.96	25.12	23.30	23.57	23.69
% Ca(OH)₂	18.2	18.8	19.7	19.3	19.1	18.9	19.3

Στις **εικόνες 11.2-11.7** καθώς και στους **Πίνακες 11.3-11.5** συνοψίζονται τα αποτελέσματα της θερμικής ανάλυσης για τις επτά πάστες τσιμέντου στις τρεις εξεταζόμενες ηλικίες. Τα βασικά προϊόντα ενυδάτωσης παστών τσιμέντου είναι δύο: η ένυδρη ασβεστοπυριτική φάση C-S-H και η υδράσβεστος $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ή CH. Επειδή το C-S-H αποτελεί μία πολύπλοκη άμορφη φάση χωρίς σταθερή χημική σύσταση, δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί η συγκέντρωσή του με γνώση της απώλειας μάζας λόγω της απελευθέρωσης των χημικώς ενωμένων νερών του. Στην περίπτωση αυτή μπορεί απλά να γίνει μία σύγκριση των απωλειών μάζας μεταξύ των διαφορετικών δειγμάτων. Σημειώνεται ότι στην συγκεκριμένη θερμοκρασιακή περιοχή (180-420°C) χάνουν τα νερά τους και άλλες ένυδρες φάσεις όπως η AFm ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ mono phases) στους 185-200°C, ο ενυδατωμένος γκελενίτης ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) στους 180-210°C, η ένυδρη ασβεστοαργιλική φάση ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$) στους 250-270°C και το άλας του Friedel ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) στους 310-355°C.

Το τελευταίο έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί αποτελεί κρυσταλλική ένωση που δεσμεύει τα χλωριόντα με την βοήθεια του C_3A του κλίνκερ σχηματίζοντας έτσι ένα αδιάλυτο άλας, η παρουσία του οποίου επισημαίνει παγίδευση των χλωριόντων και μεγαλύτερη αντίσταση στην διαπερατότητα τους. Όπως όμως φαίνεται από την θερμική ανάλυση, δεν ανιχνεύεται κάποια κορυφή στην θερμοκρασιακή περιοχή που το άλας του Friedel σημειώνει απώλεια μάζας, η οποία να διαφέρει μεταξύ των παστών που παράχθηκαν με νερό χωρίς την προσθήκη χλωριόντων (ref, 1.1, 3.1) και αυτών που αναμίχθηκαν με νερό που περιείχε χλωριόντα (1.3, 3.3, 6.3, 7.3). Το παραπάνω ενισχύει και τα συμπεράσματα του κεφαλαίου 10.5, ότι δηλαδή τα χλωριόντα παραμένουν στην τσιμεντόπαστα σε διαλυτή μορφή επιδεινώνοντας έτσι την αντίσταση των δοκιμών στην διείδυση ιόντων χλωρίου.

Όσον αφορά την παραγωγή του CH, μπορεί να γίνει σχετικά ακριβής υπολογισμός της

συγκέντρωσής του από την απώλεια μάζας στην θερμοκρασιακή περιοχή 430-530°C όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 8.3.3. Η μικρή διαφορά που συναντάται κατά τον υπολογισμό αυτό θα πρέπει να αποδοθεί στην δυσκολία προσδιορισμού τις ακριβούς θερμοκρασιακής περιοχής που γίνεται η διάσπαση του πορτλαντίτη στην κάθε πάστα τσιμέντου.

Παρατηρείται ότι στην περίπτωση απώλειας μάζας κατά την απομάκρυνση των νερών του C-S-H, αλλά και στην περιεκτικότητα των παστών σε CH οι διαφορές μεταξύ των συστημάτων τσιμέντου - νερού είναι ιδιαίτερες μικρές (στις περισσότερες περιπτώσεις κάτω από 1%) και έτσι μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η μορφή και η εξέλιξη των προϊόντων ενυδάτωσης παραμένει πρακτικά ανεπηρέαστη από την ποιότητα του νερού ανάμιξης. Η επιταχυντική δράση των χλωριόντων δεν γίνεται ιδιαίτερα εμφανής στην μελέτη ενυδάτωσης εκτός από την ηλικία των 2 ημερών, όπου και η δράση των χλωριόντων είναι εντονότερη. Στην ηλικία αυτή παρατηρείται ελαφριά αυξημένη περιεκτικότητα CH στα δείγματα που αναμίχθηκαν με νερό που είχε γίνει προσθήκη χλωριόντων. Στις υπόλοιπες ηλικίες οι διαφορές δεν είναι αξιολογήσιμες.

11.2.2. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Παράλληλα με την θερμική ανάλυση των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση τους με την τεχνική της περιθλάσης ακτίνων X (XRD) η οποία επιβεβαιώνει την παρουσία – ή όχι – των προϊόντων ενυδάτωσης με κρυσταλλική διάταξη, ενώ παράλληλα δίνει μια συγκριτική εικόνα μεταξύ των δειγμάτων. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε διάταξη Siemens D 5000 X-ray diffractometer (CuKα radiation, 40KV, 30 mA) που λειτούργησε στις 0.02°/sec σε περιοχή 5-70° 2θ. Συμπληρωματικά με τα αποτελέσματα πραγματοποιήθηκε ποσοτικοποίηση των ανιχνευόμενων κορυφών με λογισμικό που εφαρμόζει την μέθοδο Rietveld. Η ποσοτική ανάλυση φάσεων (ή αλλιώς Rietveld XRD ποσοτικοποίηση) αποτελεί μία μέθοδο

προσδιορισμού των ποσοτήτων των κρυσταλικών φάσεων σε ένα πολυφασικό σύστημα. Η μέθοδος βασίζεται στην σχέση:

$$W_P = S_P(ZMV)_P / \sum_{i=1}^n S_i(ZMV)_i \quad 11-1$$

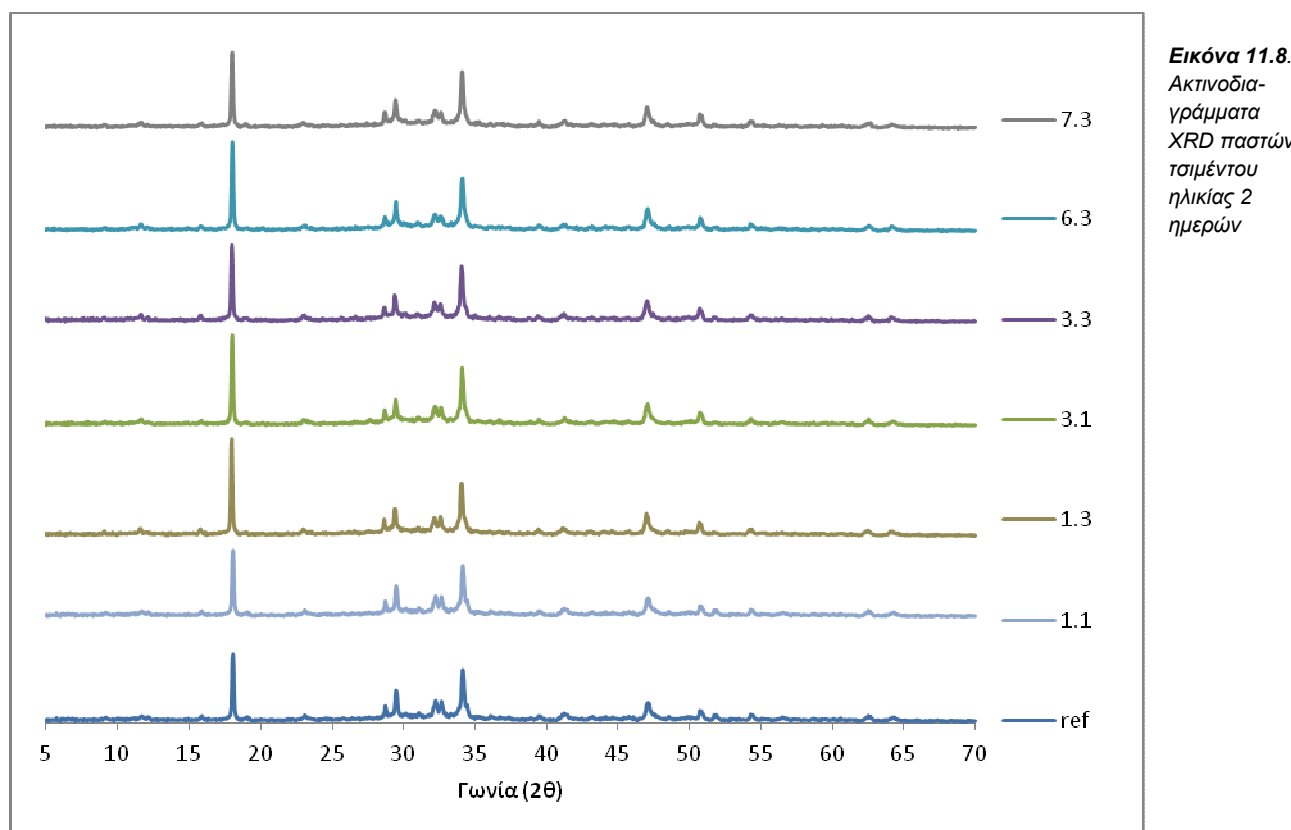
Όπου W είναι ο σχετικός λόγος μάζας της φάσης P στο σύστημα n φάσεων, S είναι ο παράγοντας Rietveld, Z ο αριθμός μονάδων ανά κελί, M η μάζα της μονάδας και V ο όγκος του κελιού.

Ακολουθούν τα ακτινοδιαγράμματα των δειγμάτων για κάθε ηλικία (**εικόνες 11.8-11.10**) καθώς και οι ποσοτικές αναλύσεις Rietveld (**Πίνακες 11.5-11.8**).

Η ορυκτολογική ανάλυση XRD δείχνει ότι όλες οι πάστες ακολουθούν περίπου τον ίδιο ρυθμό ενυδάτωσης με μικρές διαφορές. Από τα ακτινοδιαγράμματα αλλά και την ανάλυση Rietveld φαίνεται ότι όλες οι πάστες παρουσιάζουν ακριβώς τις ίδιες φάσεις στις αντίστοιχες ηλικίες ενυδάτωσης. Κατά την πορεία της ενυδάτωσης αντιδρούν πρώτα το C_3S , το C_3A και η γύψος και με πολύ πιο αργούς ρυθμούς το C_2S και το C_4AF . Τα προϊόντα ενυδάτωσης που παράγονται και αυξάνεται η περιεκτικότητά τους όσο μεγαλώνει η ηλικία των δοκιμών είναι το $Ca(OH)_2$, το CSH και ο εττριγκίτης και ταυτόχρονα εμφανίζονται ενανθρακωμένες φάσεις (κυρίως της υδρασβέστου) όπως ο ασβεστίτης και ο δολομίτης.

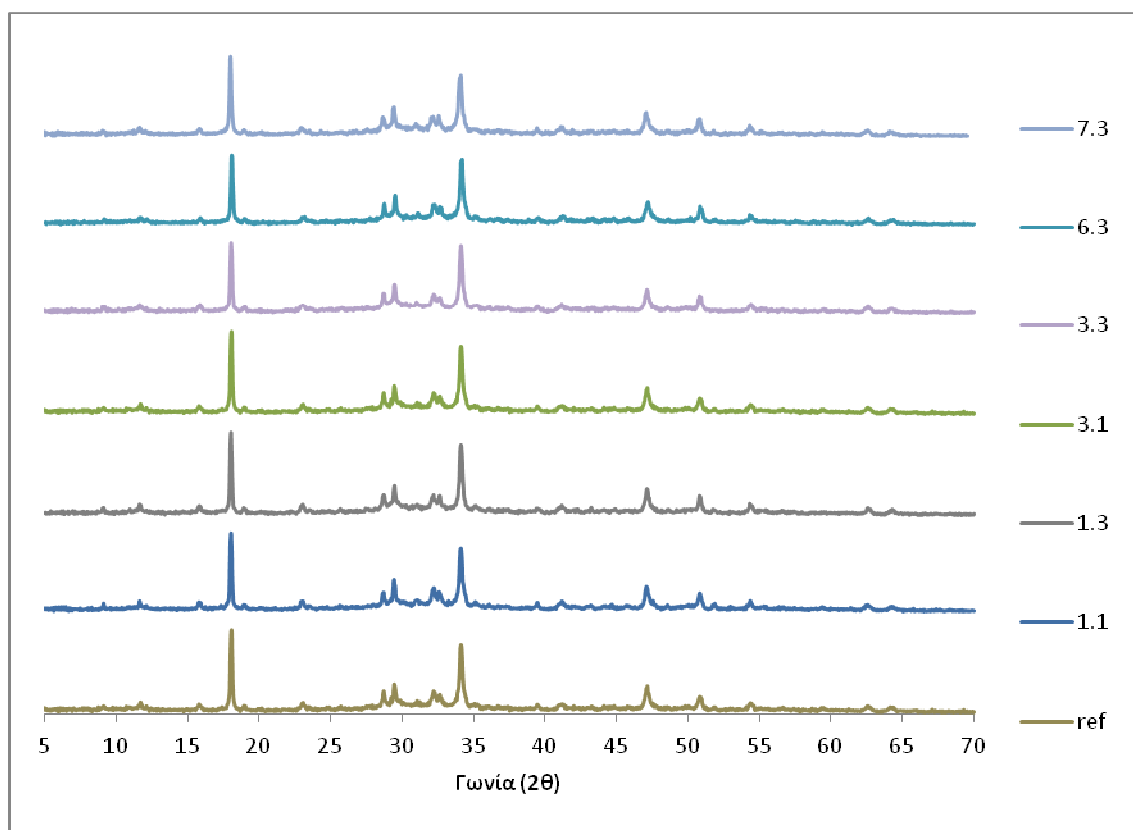
Υπενθυμίζεται εδώ ότι το CSH είναι κυρίως άμορφο και στο XRD ανιχνεύεται μόνο μέρος του που έχει κρυσταλλωθεί στην μερικώς ενανθρακωμένη μορφή του ροζενχανίτη (rosenhahnite, $Ca_3Si_3O_8(OH)_{1.9}(CO_3)_{0.1}$). Η αδυναμία του XRD να ταυτοποιήσει άμορφες φάσεις επηρεάζει και την ανάλυση Rietveld η οποία και υπολογίζει % w/w περιεκτικότητα ως προς το κρυσταλλικό μόνο μέρος του υλικού. Αυτός είναι ο λόγος που εμφανίζονται πολύ μεγαλύτερες περιεκτικότητες υδρασβέστου $Ca(OH)_2$ σε σχέση με την θερμική ανάλυση. Κατά την θερμική

ανάλυση λαμβάνεται υπόψη η ποσοστιαία απώλεια μάζας σε σχέση με όλο το υλικό και γι' αυτό τα αποτελέσματά της θεωρείται ότι βρίσκονται πιο κοντά στα πραγματικά. Και στην περίπτωση της ορυκτολογικής ανάλυσης πάντως οι διαφορές που εμφανίζονται είναι αρκετά μικρές και τυχαίες σε σχέση με την συμπεριφορά του κάθε δείγματος στην κάθε ηλικία και σε σύγκριση πάντα με τις θλιπτικές αντοχές των αντίστοιχων κονιαμάτων. Είναι εμφανές ότι η ορυκτολογική ανάλυση θέτει μια πιο πλήρη ίσως εικόνα των προϊόντων ενυδάτωσης αλλά δεν είναι απολύτως αξιόπιστη. Στην περίπτωση του δείγματος 1.3 για παράδειγμα υπολογίζεται από την ανάλυση Rietveld ότι στην ηλικία των 2 ημερών έχει παραμείνει στην πάστα 7.7% μη ενυδατωμένου C_3S , το οποίο στις 7 ημέρες αυξάνεται σε ποσοστό 8.2. Υπάρχει επομένως ένα περιθώριο σφάλματος της μεθόδου, η οποία όμως παρέχει μία αρκετά σαφή εικόνα της ενυδατωμένης πάστας και των στοιχείων που την αποτελούν. Σημειώνεται εδώ ότι ούτε στην ορυκτολογική ανάλυση ανιχνεύτηκε το άλας του Friedel.



Πίνακας 11.5. Ποσοτική ανάλυση Rietveld ακτινοδιαγραμμάτων παστών τσιμέντου ηλικίας 2 ημερών

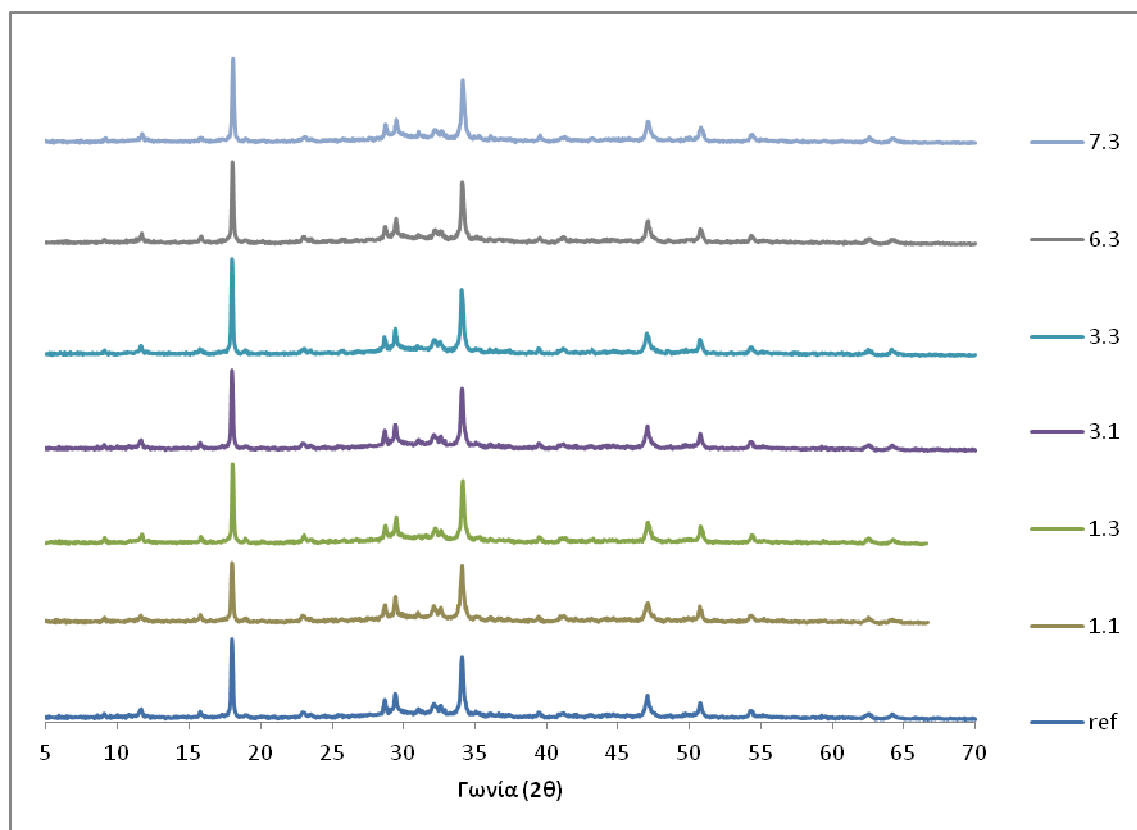
Ορυκτολογική φάση	ref	1.1	1.3	3.1	3.3	6.3	7.3
% περιεκτικότητα							
Ca(OH)_2	25.3	25.3	24.7	24.6	25.3	24.9	25.4
C_2S	19.1	20.6	18.6	16.2	14.2	14.9	16.3
C_3S	11.8	10.3	7.7	13.1	12.0	12.5	11.5
CSH	10.3	9.6	12.7	13.6	13.7	12.7	12.1
C_4AF	8.5	6.6	11.6	11.2	9.3	11.4	9.7
CaCO_3	8.6	10.3	9.1	7.3	7.7	9.4	9.2
Εττριγκίτης	7.1	7.3	6.8	4.2	8.1	5.1	6.2
Δολομίτης	6.2	6.0	5.9	6.4	6.3	6.4	6.5
C_3A	1.2	2.0	0.7	1.0	1.0	0.6	0.5
Γύψος	1.0	1.1	1.0	1.6	1.5	1.4	1.3
MgO	0.4	0.3	0.7	0.6	0.4	0.4	0.7
Χαλαζίας	0.5	0.6	0.4	0.2	0.5	0.2	0.6
CaO	-	-	-	-	-	0.1	-



Εικόνα 11.9.
Ακτινοδια-
γράμματα
XRD παστών
τσιμέντου
ηλικίας 7
ημερών

Πίνακας 11.6. Ποσοτική ανάλυση Rietveld ακτινοδιαγραμμάτων παστών τσιμέντου ηλικίας 7 ημερών

Ορυκτολογική φάση	ref	1.1	1.3	3.1	3.3	6.3	7.3
	% περιεκτικότητα						
Ca(OH)_2	29.2	28.1	30.1	31.0	30.4	31.1	31.8
C_2S	16.7	15.5	13.0	19.0	12.4	18.9	14.5
CSH	12.3	11.7	12.5	11.1	14.1	11.7	11.2
Επτριγκίτης	10.2	11.6	13.5	10.1	13.0	7.3	10.3
CaCO_3	8.0	8.2	9.2	8.1	9.6	8.5	9.6
C_3S	7.2	8.6	8.2	9.3	6.7	6.8	6.9
Δολομίτης	5.3	7.7	6.6	4.9	6.5	6.2	8.0
C_4AF	3.5	5.3	3.2	3.2	4.0	6.8	4.6
C_3A	1.0	1.3	1.3	1.0	0.6	0.5	0.7
Γύψος	1.2	1.3	1.9	1.4	1.6	1.1	1.3
MgO	0.4	0.5	0.2	0.5	0.4	0.4	0.4
Χαλαζίας	0.4	0.3	0.4	0.4	0.7	0.7	0.6
CaO	-	-	-	-	0.1	-	-



Εικόνα 11.10.
Ακτινοδια-
γράμματα
XRD παστών
τσιμέντου
ηλικίας 28
ημερών

Πίνακας 11.7. Ποσοτική ανάλυση Rietveld ακτινοδιαγραμμάτων παστών τσιμέντου ηλικίας 28 ημερών

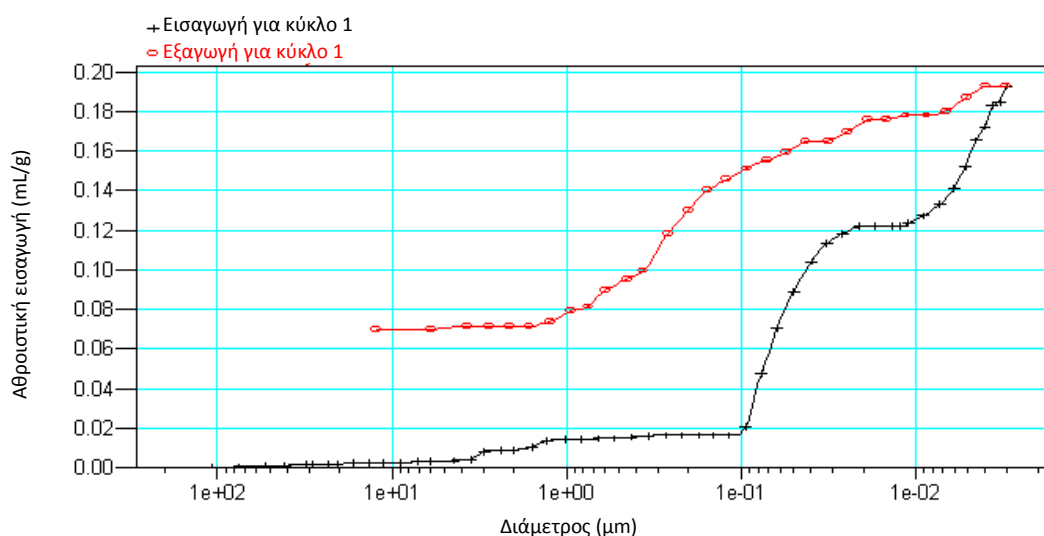
Ορυκτολογική φάση	ref	1.1	1.3	3.1	3.3	6.3	7.3
	% w/w περιεκτικότητα						
Ca(OH) ₂	31.9	28.9	32.2	31.3	31.1	29.3	36.7
CSH	15.7	14.8	13.4	14.3	16.1	16.2	12.3
C ₂ S	12.3	10.6	10.8	11.7	11.3	16.2	15.0
Εττριγκίτης	9.3	11.9	13.8	11.2	9.2	6.7	7.8
CaCO ₃	8.7	8.3	9.1	9.2	9.0	8.1	9.3
C ₃ S	7.2	7.6	6.5	7.2	4.4	7.9	8.3
C ₄ AF	6.6	8.1	4.1	7.7	9.1	8.8	1.4
Δολομίτης	5.6	7.6	6.8	5.3	7.5	4.3	5.6
Γύψος	1.7	1.3	2.1	1.5	1.9	2.0	2.0
MgO	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.4	0.3
C ₃ A	0.1	0.2	0.6	0.2	0.1	0.0	0.4
Χαλαζίας	0.5	0.4	0.3	0.0	0.0	0.2	0.8
CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

11.2.3. ΠΟΡΟΣΙΜΕΤΡΙΑ

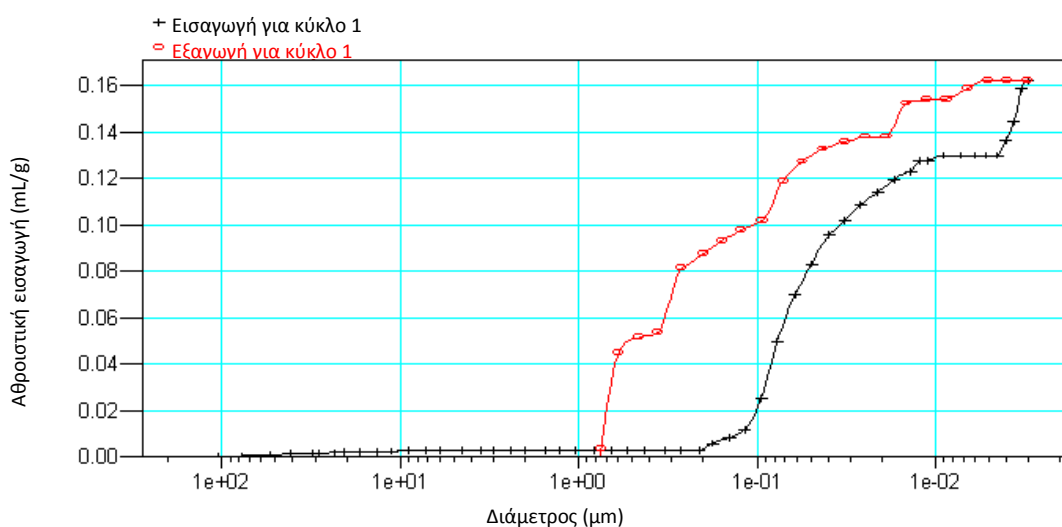
Για να εξακριβωθεί η επίδραση των στερεών (λούμης) που υπάρχουν στο νερό έκπλυσης στο πορώδες και άρα στην αντοχή των κονιαμάτων παρασκευάστηκαν δύο επιπλέον πάστες με τσιμέντο OPC (χημική ανάλυση στον **Πίνακα 11.1**), μία με απιονισμένο νερό και μία με νερό έκπλυσης (1.1) και πραγματοποιήθηκε διακοπή ενυδάτωσης στις 7 ημέρες, όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Για την εκτίμηση του πορώδους των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η ποροσιμετρία Hg (mercury intrusion porosimetry). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ποροσίμετρο τύπου 'Porosimeter 2000' (Fisons Instruments) με μέγιστη πίεση εισαγωγής Hg 2000 bar. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον **Πίνακα 11.8** και στις **εικόνες 11.11-11.15**.

Πίνακας 11.8. Αποτελέσματα MIP για τις δύο πάστες τσιμέντου

Μέγεθος	μ/μ	ref	1.1
Συνολικός όγκος εισαγωγής Hg	mL/g	0.1930	0.1625
Συνολική επιφάνεια πόρων	m ² /g	66.397	47.743
Μέση διάμετρος πόρων (όγκος)	μm	0.0447	0.0511
Μέση διάμετρος πόρων (επιφάνεια)	μm	0.0047	0.0037
Μέσος όρος διαμέτρου πόρων (4V/A)	μm	0.0116	0.0136
Πυκνότητα όγκου	g/mL	1.7291	1.7338
Φαινομενική πυκνότητα	g/mL	2.5953	2.4137
Πορώδες	%	33.3762	28.1686



Εικόνα 11.11. Αθροιστική εισαγωγή Hg έναντι διαμέτρου πόρων για την πάστα τσιμέντου με απιονισμένο νερό (ref)



Εικόνα 11.12. Αθροιστική εισαγωγή Hg έναντι διαμέτρου πόρων για την πάστα τσιμέντου με νερό έκπλυσης (1.1)

Το βασικότερο συμπέρασμα που εξάγεται από τα αποτελέσματα της ανάλυσης της ποροσιμετρίας είναι ότι με την ανάμιξη νερού έκπλυσης στην πάστα τσιμέντου επιτυγχάνεται μείωση του πορώδους κατά 5%. Το αποτέλεσμα αυτό ενισχύει τις υποθέσεις που έγιναν στο κεφάλαιο 10.4.3, ότι δηλαδή η βελτίωση των αντοχών που εμφανίζουν τα κονιάματα που αναμίχθηκαν με νερό που περιείχε στερεά έναντι του νερού βρύσης ή του διηθημένου νερού έκπλυσης οφείλεται σε μείωση του πορώδους λόγω τις ιδιότητας των αιωρούμενων στερεών (λούμης) να λειτουργούν ως πληρωτικό υλικό (φύλλερ) γεμίζοντας τα κενά που σχηματίζονται μέσα στην πάστα και δημιουργώντας ταυτόχρονα πυρήνες ενυδάτωσης. Η δράση αυτή προκαλεί αλλαγές στο πορώδες της πάστας προσφέροντας την παρατηρούμενη μείωση στην ανάλυση της ποροσιμετρίας. Ένα ακόμα συμπέρασμα που προκύπτει από τα αποτελέσματα αλλά κυρίως από τα διαγράμματα των **εικόνων 11.11** και **11.12** είναι η διαφορά μεταξύ των διαμέτρων των πόρων στα δύο διαφορετικά συστήματα τσιμέντου-νερού. Φαίνεται ότι στην περίπτωση χρήσης νερού έκπλυσης για την ανάμιξη της πάστας δεν υπάρχει εισαγωγή ή εξαγωγή Hg σε πόρους μεγαλύτερης διαμέτρου ($>0.8 \mu\text{m}$ για την εξαγωγή και $>0.2 \mu\text{m}$ για την εισαγωγή). Αυτό αποδεικνύει γέμισμα αυτών των πόρων από κόκκους λούμης η οποία φτάνει σε λεπτότητα μέχρι και $0.2 \mu\text{m}$ όπως έχει φανεί και στην **εικόνα 8.12**. Επίσης παρατηρείται αλλαγή στο σχήμα των πόρων με την προσθήκη λούμης στο ανάμιγμα καθώς υπολογίστηκε αύξηση του όγκου και μείωση τη επιφάνειας όσον αφορά τις διαμέτρους των κόκκων γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πληρώθηκαν πόροι μεγαλύτερης επιφάνειας.

11.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Από την εξέταση παστών τσιμέντου που παράχθηκαν με τα νερά 1.1, 1.3, 3.1, 3.3, 6.3, 7.3 και απιονισμένο παρατηρήθηκαν ελάχιστες διαφορές όσον αφορά την απαίτηση σε νερό, τους χρόνους πήξης και την εξέλιξη των προϊόντων ενυδάτωσης

- Δεν παρατηρήθηκε δημιουργία νέων φάσεων που να προέκυψαν από τα διαφορετικά χαρακτηριστικά του νερού (pH, χλωριόντα, λούμη)
- Παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του πορώδους (5%) στην περίπτωση πάστας που αναμίχθηκε με νερό έκπλυσης έναντι απιονισμένου νερού

11.4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[11.1] EN 196-3 (1995), Methods of testing cement. Determination of setting time and soundness, European Committee for Standardization (CEN), Brussels

12. ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΤΗ ΛΟΥΜΗ

Η λούμη, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, είναι η λάσπη που προκύπτει στον πυθμένα των δεξαμενών καθίζησης του νερού έκπλυσης. Εξετάστηκε η χρήση λούμης υπό διαφορετικές μορφές και μελετήθηκαν η εργασιμότητα και οι αντοχές των παραγόμενων τσιμεντοκονιαμάτων. Η οπτική από την οποία χρησιμοποιείται η λούμη ποικίλει. Γίνεται χρήση της αιωρούμενη στο νερό, όπως έχει μελετηθεί μέχρι τώρα, αλλά σε ακραίες περιεκτικότητες, χρησιμοποιείται ως ασβεστολιθικό φύλλερ που υποκαθιστά τσιμέντο σε μικρά ποσοστά και εξετάζεται το πώς επηρεάζει τα κονιάματα όταν αλληλεπιδρά με άμμους που έχουν διαφορετική περιεκτικότητα σε παιπάλη.

12.1. Η ΛΟΥΜΗ ΣΤΟ ΝΕΡΟ

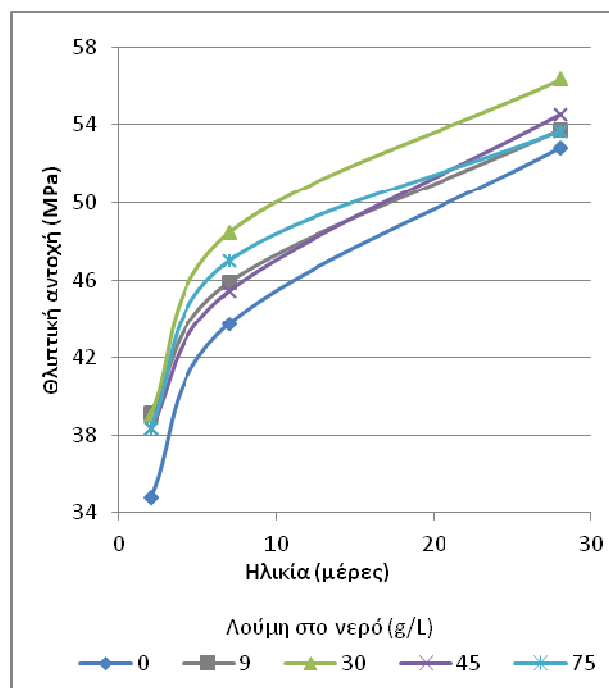
Έχει προαναφερθεί στον **Πίνακα 10.1** η παρασκευή δειγμάτων νερού της σειράς 5, όπου γίνεται προσθήκη λούμης σε δείγματα νερού έκπλυσης ώστε να επιτευχθούν περιεκτικότητες έως και 75,000 mg/L ή 75 g/L. Τα δείγματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για να αναμιχθούν κονιάματα της ίδιας σύνθεσης που περιγράφεται στο κεφάλαιο 10.2 και εξετάστηκαν ως προς την εργασιμότητά τους και τις αντοχές τους όπως έχει αναλυθεί εκτενώς στα κεφάλαια 10.3 και 10.4 αντίστοιχα. Γίνεται σύγκριση με τα κονιάματα που παράχθηκαν με νερό βρύσης (0 g/L λούμης) και νερό έκπλυσης (9 g/L λούμης) και τα αποτελέσματα των δοκιμών φαίνονται στον **Πίνακα 12.1**.

Στην **εικόνα 12.1** παρουσιάζεται η τάση που εμφανίζουν οι θλιπτικές αντοχές σε σχέση με την ποσότητα λούμης αιωρούμενης στο νερό. Είναι προφανές ότι η παρουσία λούμης στο νερό ανάμιξης έχει θετική επίδραση στην θλιπτική αντοχή των δοκιμών όπως έχει αναλυθεί και προηγουμένως στα κεφάλαια 9 και 10. Το βέλτιστο ποσοστό προσθήκης φαίνεται να είναι τα 30g/L, όπως συμπεραίνεται εύκολα από το διάγραμμα της **εικόνας 12.1**. Σε γενικές γραμμές τα δοκίμια με δείγματα νερού που περιέχουν

λούμη εμφανίζουν καλύτερα αποτελέσματα από αυτό με νερό βρύσης όσον αφορά την εξέλιξη των αντοχών τους αλλά παρουσιάζουν σημαντικά μειωμένη εργασιμότητα όπως ήταν αναμενόμενο και από τις δοκιμές με σκυρόδεμα (κεφάλαιο 9). Παρόλα αυτά οι συνθέσεις με 9 g/L και 30 g/L δεν εμφανίζουν πολύ έντονη μείωση στις εξαπλώσεις των νωπών κονιαμάτων και η εργασιμότητά τους μπορεί να διορθωθεί με προσθήκη μικρής ποσότητας υπερρευστοποιητή.

Πίνακας 12.1. Αποτελέσματα εργασιμότητας και αντοχών δοκιμών που παράχθηκαν με λούμη προστιθέμενη στο νερό ανάμιξης

Λούμη στο νερό (g/L)	Εξάπλωση (cm)	Θλιπτική αντοχή (MPa)		
		2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες
0	16.7	34.75	43.75	52.85
9	16.0	39.15	45.90	53.75
30	15.1	39.05	48.45	56.35
45	14.4	38.35	45.45	54.55
75	13.9	38.40	47.00	53.70



Εικόνα 12.1. Θλιπτικές αντοχές έναντι ηλικίας κονιαμάτων για δοκίμια που παράχθηκαν με λούμη προστιθέμενη στο νερό ανάμιξης

12.2. ΞΗΡΗ ΛΟΥΜΗ ΩΣ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΤΟ

ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Για να χρησιμοποιηθεί η ξηρή λούμη στα αναμίγματα τσιμεντοκονιαμάτων προηγήθηκαν ξήρανσή της στους 60°C για 24h ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία της και αποσυσσωμάτωση με ανακίνηση και όχι με άλεση ώστε να μην επηρεαστεί η κοκκομετρική κατανομή της. Η ξηρή λούμη προστέθηκε σε αναμίγματα κονιαμάτων ακολουθώντας τις συνθέσεις που περιγράφονται στον **Πίνακα 12.2**. Όπως φαίνεται, η μόνη διαφορά

μεταξύ των αναμιγμάτων είναι η αναλογία μεταξύ τσιμέντου και λούμης. Με την μείωση της ποσότητας τσιμέντου στο μίγμα αυξάνεται ο λόγος νερού/τσιμέντου όμως, αν η λούμη θεωρηθεί δευτερεύον συστατικό του τσιμέντου, ο λόγος w/cm (water/cementitious material) παραμένει σταθερός στην τιμή 0.5. Τα αποτελέσματα των αντοχών και της εργασιμότητας των κονιαμάτων, που παράχθηκαν με διαδικασίες όμοιες με τις προηγούμενες ενότητες (κεφάλαιο 10), φαίνονται στον **Πίνακα 12.3**.

Πίνακας 12.2. Συνθέσεις τσιμεντοκονιαμάτων με χρήση ξηρής λούμης ως φίλλερ τσιμέντου

Ποσοστό υποκατάστασης τσιμέντου (%)	Τσιμέντο (g)	Θραυστή ασβεστολιθική άμμος (g)	Λούμη (g)	Νερό (g)	w/c
-	540	1156.5	0	270	0.50
2	530	1156.5	10	270	0.51
4	520	1156.5	20	270	0.52
6	510	1156.5	30	270	0.53
8	500	1156.5	40	270	0.54

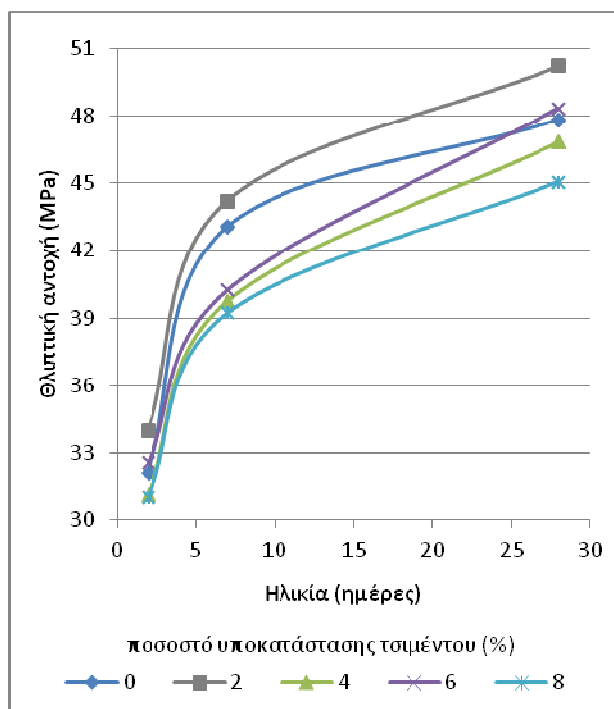
Πίνακας 12.3. Αποτελέσματα δοκιμών τσιμεντοκονιαμάτων που περιέχουν ξηρή λούμη

Ποσοστό υποκατάστασης τσιμέντου (%)	Εξάπλωση (cm)	2 ημέρες		7 ημέρες		28 ημέρες	
		Αντοχή (MPa)					
		Κάμψη	Θλίψη	Κάμψη	Θλίψη	Κάμψη	Θλίψη
-	17.1	6.01	32.13	6.82	43.05	7.86	47.83
2	16.6	5.93	34.00	6.91	44.23	7.21	50.23
4	15.4	5.86	31.15	6.92	39.75	6.99	46.83
6	14.9	5.64	32.55	6.46	40.23	8.01	48.33
8	14.5	5.08	31.03	6.27	39.20	7.18	45.05

Τα αποτελέσματα φαίνονται σχηματικά και στην **εικόνα 12.2**, όπου αντιπαραβάλλονται οι θλιπτικές αντοχές με τις ηλικίες των δοκιμών για τα διάφορα ποσοστά υποκατάστασης τσιμέντου. Είναι εμφανές ότι το κονίαμα με 2% υποκατάσταση τσιμέντου με λούμη παρουσιάζει

τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με όλα τα άλλα κονιάματα συμπεριλαμβανομένου και του δοκιμίου αναφοράς (0% υποκατάσταση). Όσο αυξάνονται τα ποσοστά υποκατάστασης μειώνονται οι αντοχές, ως επί το πλείστο χαμηλότερα από το δοκίμιο αναφοράς, χωρίς

όμως να παρουσιάζονται πολύ έντονες διαφορές. Βασική διαφορά υπάρχει πάλι στην εργασιμότητα. Παρά το γεγονός ότι ο πραγματικός λόγος στερεών/νερού δεν αλλάζει, υπάρχει σημαντική μείωση της εξάπλωσης. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η λούμη σαν υλικό είναι πιο υδρόφιλο και απορροφά αρκετά περισσότερο νερό σε σχέση με το τσιμέντο που αντικαθιστά. Επομένως στην περίπτωση χρήσης λούμης στην συγκεκριμένη εφαρμογή είναι απολύτως απαραίτητη η χρήση υπερρευστοποιητή.



Εικόνα 12.2. Θλιπτικές αντοχές κονιαμάτων με μερική υποκατάσταση τσιμέντου με λούμη

12.3. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΛΟΥΜΗΣ ΚΑΙ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΆΜΜΟΥ

Σε αυτήν την παράγραφο εξετάστηκε πόσο επιβλαβής ή ευεργετική μπορεί να είναι η ύπαρξη υψηλής περιεκτικότητας ασβεστολιθικής παιπάλης σε ένα ανάμιγμα κονιάματος όταν αυτή προέρχεται από την θραυστή ασβεστολιθική άμμο ή από την λούμη στο νερό έκπλυσης. Επισημαίνεται ότι ο Κανονισμός Τεχνολογίας του Σκυροδέματος (ΚΤΣ, 97 [5.14]) προβλέπει ότι η συνολική παιπάλη της άμμου που χρησιμοποιείται σε ανάμιγμα σκυροδέματος δεν πρέπει να

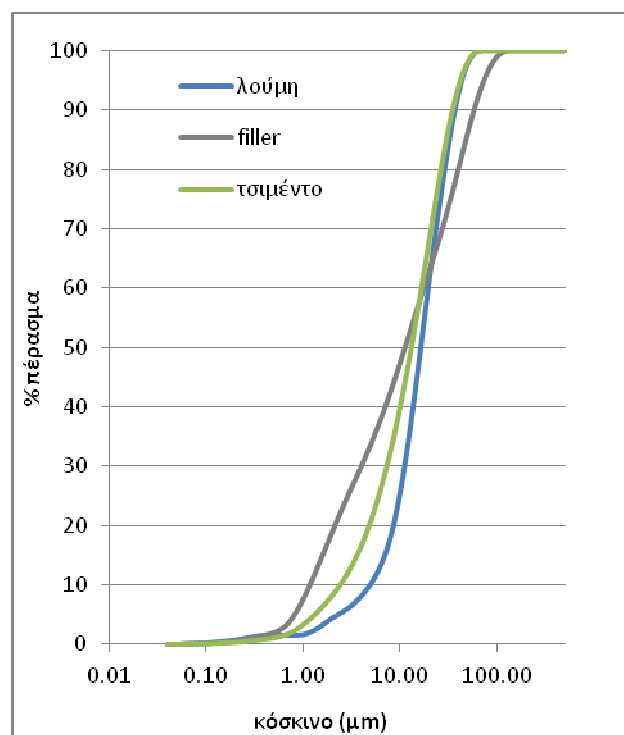
υπερβαίνει το 16% καθώς και ότι το εθνικό πρότυπο (ΕΛΟΤ 345, 1979 [5.13]) για το νερό ανάμιξης σκυροδέματος προβλέπει ως μέγιστη περιεκτικότητα ανόργανων στερεών στο νερό ανάμιξης τα 3000 ppm ή 3 g/L. Εξετάστηκαν διάφορα δοκίμια με μεγάλο εύρος περιεκτικότητας σε παιπάλη άμμου καθώς και λούμης αιωρούμενης στο νερό, ώστε να αποσαφηνιστεί ο ρόλος της λούμης και να μελετηθεί περαιτέρω η αλληλεπίδραση με το ασβεστολιθικού filler στα ανάμγματα. Οι ιδιότητες που μελετήθηκαν είναι οι θλιπτικές αντοχές και η εργασιμότητα σε σειρές δοκιμών με διάφορους λόγους w/c και κυμαινόμενες περιεκτικότητες λούμης και filler.

12.3.1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

12.3.1.1. ΤΣΙΜΕΝΤΟ, ΛΟΥΜΗ ΚΑΙ FILLER

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως (κεφάλαιο 8.3), η λούμη αποτελεί ένα εξαιρετικά λεπτόκοκκο υλικό ασβεστολιθικής φύσεως κυρίως λόγω της φύσης των αδρανών που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα. Προφανώς, η λούμη που προκύπτει στις ελληνικές μονάδες σκυροδέματος είναι κυρίως ασβεστολιθικής προέλευσης λόγω της μεγάλης ποσότητας ασβεστόλιθου που υπάρχει στην χώρα και ευρείας χρήσης του ως αδρανές, ενώ σε άλλες χώρες της βορείου Ευρώπης που χρησιμοποιούνται και αργιλοπυριτικά αδρανή η χημική ανάλυση της αντίστοιχης λούμης θα ήταν διαφορετική.

Στην **εικόνα 12.3** συγκρίνεται η λεπτότητα του τσιμέντου CEM I 42.5 (**Πίνακας 10.2**), του ασβεστολιθικού filler που χρησιμοποιήθηκε και της λούμης. Από τη σύγκριση των τριών καμπυλών φαίνεται καθαρά πως η κοκκομετρική κατανομή της λούμης βρίσκεται πιο κοντά σε αυτήν του τσιμέντου παρά σε αυτήν του filler. Σημειώνεται εδώ ότι το filler έχει πιο ευρεία κοκκομετρική κατανομή καλύπτοντας μικρότερες αλλά και μεγαλύτερες διαμέτρους κόκκων από την λούμη και το τσιμέντο.



Εικόνα 12.3. Καμπύλες κοκκομετρικής ανάλυσης με laser τσιμέντου CEM I 42.5, filler και λούμης

12.3.1.2. ΆΜΜΟΣ

Η άμμος που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις συνθέσεις προήλθε από το λατομείο του ομίλου ΤΙΤΑΝ που βρίσκεται στην περιοχή Ξηρορέματος του Ασπροπύργου Αττικής. Οι συνθέσεις παρασκευάστηκαν με διαφορετικές και συγκεκριμένες περιεκτικότητες filler στην άμμο. Για τον επιτυχή προσδιορισμό της ποσότητας του filler στην άμμο, κρίθηκε αναγκαίος ο διαχωρισμός των χονδρόκοκκων κλασμάτων της άμμου από την περιεχόμενη παιπάλη της, ώστε κατά την παρασκευή των δοκιμών να προστίθενται, με τη βοήθεια ζυγού, οι ακριβείς ποσότητες filler και άμμου που υπαγορεύονται από το σχεδιασμό των πειραμάτων. Ο διαχωρισμός της άμμου έγινε με τη μέθοδο της υγρής κοσκίνισης. Δείγματα από τις προκύπτουσες συνθέσεις άμμου αναλύθηκαν με τη μέθοδο 'ισοδύναμο άμμου' ώστε να ερευνηθεί η ενδεχόμενη υψηλή περιεκτικότητα της σε αργιλοπυριτική παιπάλη (η οποία πρέπει να βρίσκεται σε συγκεκριμένα χαμηλά ποσοστά στα κονιάματα).

Κατά τη διαδικασία της υγρής κοσκίνισης, δείγματα άμμου από το λατομείο Ξηρορέματος υποβάλλονται στην παρακάτω διαδικασία:

1. 500g άμμου τοποθετούνται σε βαθύ δοχείο.
2. Η άμμος ξεπλένεται καλά ώστε να είναι διαυγής. Υπολογίζεται ότι οι κόκκοι της άμμου που απομακρύνονται από την έκπλυση είναι διαμέτρου μικρότερης από 100 μm.
3. Το νερό της έκπλυσης με τα λεπτά κλάσματα της άμμου περνάει από κόσκινο Νο 200 (75 μm) έτσι ώστε να συλλεχθούν οι κόκκοι που είναι μεγαλύτεροι από 75 μm και πάνω.
4. Η άμμος που δεν περιέχει filler τοποθετείται για 24 ώρες σε φούρνο ξήρανσης στους 95 °C.
5. Αφού κοσκινιστεί και ξηρανθεί η ποσότητα άμμου χωρίς filler που είναι απαραίτητη για την διεξαγωγή των πειραμάτων, χωρίζεται σε τέσσερα μέρη και φτυαρίζεται ώστε να ομογενοποιηθεί (τεταρτομερισμός).

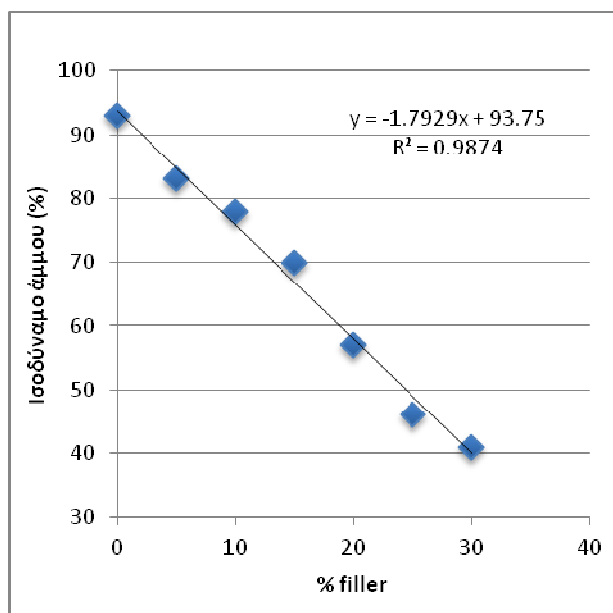
Στη συνέχεια, ποσότητες άμμου και filler ζυγίζονται σε ζυγό ακριβείας δευτέρου δεκαδικού ψηφίου ώστε να παραχθούν συνθέσεις άμμου που η περιεκτικότητά τους σε filler είναι 0, 5, 10, 15, 20, 25 και 30 % αντίστοιχα.

Δείγματα 300g από κάθε σύνθεση άμμου υποβάλλονται στη δοκιμή 'ισοδύναμο άμμου'. Η δοκιμή αυτή γίνεται για να διαπιστωθεί η παρουσία επιβλαβών ποσοτήτων αργίλου. Η παρουσία αργίλου στην άμμο είναι ανεπιθύμητη διότι προκαλεί διόγκωση μετά από κορεσμό του αδρανούς με νερό και περιβάλλει τους κόκκους του αδρανούς με αποτέλεσμα να λειτουργεί ως λιπαντικό. Στον **Πίνακα 12.4** και στην **εικόνα 12.4** φαίνονται τα αποτελέσματα του ισοδύναμου άμμου που στην προκειμένη περίπτωση μετρήθηκε κυρίως για να επαληθευτεί η ακρίβεια των κοσκινίσεων και των συνθέσεων της άμμου.

Πίνακας 12.4. Ισοδύναμο άμμου για δείγματα που περιέχουν 0, 5, 10, 15, 20, 25 και 30% filler

% filler	% ισοδύναμο άμμου
0	93
5	83
10	78
15	70
20	57
25	46
30	41

Τα αποτελέσματα από την δοκιμή ισοδύναμου άμμου δείχνουν πως η άμμος που χρησιμοποιείται σε όλες τις συνθέσεις ικανοποιεί την συνθήκη για χαμηλή περιεκτικότητα σε άργιλο. Με την αύξηση του ποσοστού σε filler παρατηρείται μείωση του ισοδύναμου άμμου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αύξηση της περιεκτικότητας της ασβεστολιθικής παιπάλης στην άμμο και όχι στην αυξημένη παρουσία αργίλου.



Εικόνα 12.4. Γραφική αναπαράσταση Ισοδύναμου άμμου δειγμάτων περιέχουν 0, 5, 10, 15, 20, 25 και 30% filler.

12.3.2. ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Ο σχεδιασμός των συνθέσεων των τσιμεντοκονιαμάτων (Πίνακας 12.5) έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε η ποσότητα των λεπτόκοκκων ασβεστολιθικών υλικών να υπερβεί σταδιακά τα όρια των Ελληνικών προτύπων είτε ως ποσοστό παιπάλης στην άμμο είτε ως περιεκτικότητα λούμης στο νερό. Αυξανόμενη της ποσότητας παιπάλης, η εργασιμότητα αναπόφευκτα μειώνεται και ως εκ τούτου σχεδιάστηκαν και συνθέσεις κονιαμάτων σταθερής εργασιμότητας, με τιμές εξάπλωσης περίπου 17.2 cm, με μεταβαλλόμενο λόγο w/c ούτως ώστε να υπάρχει μια πιο σφαιρική εικόνα αποτελεσμάτων.

Η περιεκτικότητα 10g/L λούμης στο νερό, που χρησιμοποιήθηκε στις μισές συνθέσεις (σειρές b και d), είναι μία μέση -έως υψηλή- τιμή περιεκτικότητας στερεών στο νερό έκπλυσης όταν αυτό απορρίπτεται απευθείας από το εσωτερικό του οχήματος ανάμιξης και μεταφοράς νωπού σκυροδέματος και είναι πάνω από τρεις φορές μεγαλύτερη από την ισχύουσα ελληνική προδιαγραφή για νερό ανάμιξης σκυροδέματος (3g/L).

Είναι σημαντικό επίσης να τονιστεί ότι μία μέση ποσότητα ασβεστολιθικού filler στην άμμο κυμαίνεται σε ποσοστά από 10-20%. Οι τιμές 0,5 και 25% δεν συναντώνται στην βιομηχανική πρακτική και παράχθηκαν στις συγκεκριμένες συνθέσεις στο πλαίσιο της μελέτης και μόνο για συγκριτικούς λόγους.

Πίνακας 12.5. Κωδικοποίηση και συνθέσεις τσιμεντοκονιαμάτων με διαφορετικές περιεκτικότητες filler και λούμης

Κωδικός κονιάματος	% filler στην άμμο	g/L λούμης στο νερό	filler άμμου (g)	Χονδρόκοκκη άμμος (g)	Τσιμέντο (g)	Νερό (g)	w/c
0.a	0	0	0	1156.5	540	270	0.5
5.a	5	0	57.8	1098.7	540	270	0.5
10.a	10	0	115.6	1040.9	540	270	0.5
15.a	15	0	173.5	983.0	540	270	0.5
20.a	20	0	231.2	925.3	540	270	0.5
25.a	25	0	289.1	867.4	540	270	0.5
0.b	0	10	0	1156.5	540	270	0.5
5.b	5	10	57.8	1098.7	540	270	0.5
10.b	10	10	115.6	1040.9	540	270	0.5
15.b	15	10	173.5	983.0	540	270	0.5
20.b	20	10	231.2	925.3	540	270	0.5
25.b	25	10	289.1	867.4	540	270	0.5
0.c	0	0	0	1156.5	540	240	0.44
15.c	15	0	173.5	983.0	540	265	0.49
20.c	20	0	231.2	925.3	540	277	0.51
25.c	25	0	289.1	867.4	540	290	0.54
0.d	0	10	0	1156.5	540	240	0.44
15.d	15	10	173.5	983.0	540	265	0.49
20.d	20	10	231.2	925.3	540	278	0.51
25.d	25	10	289.1	867.4	540	292	0.54

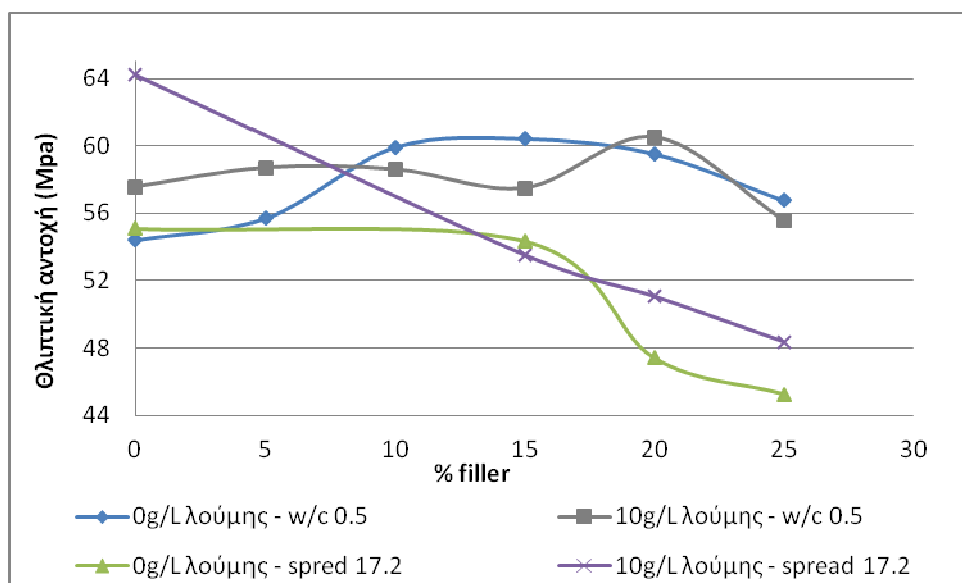
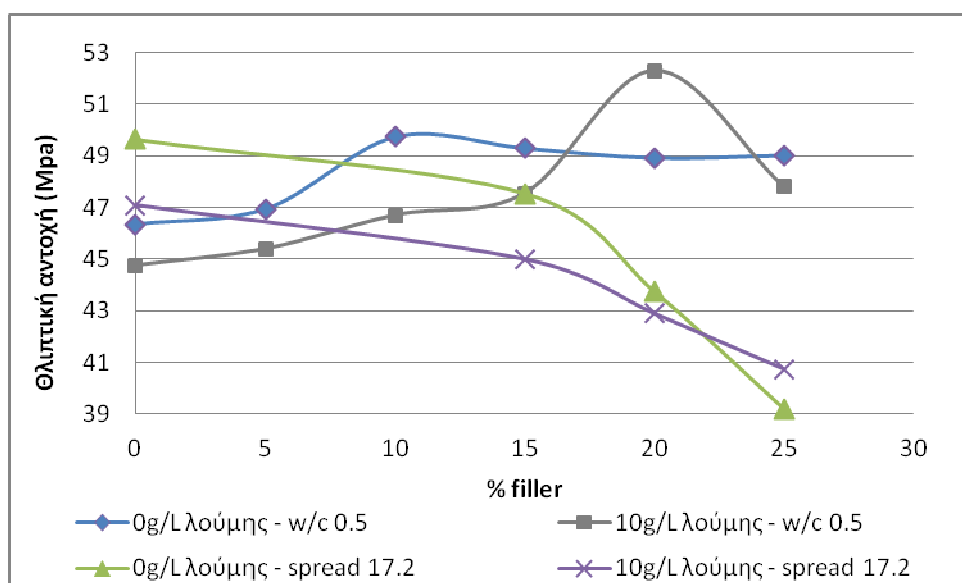
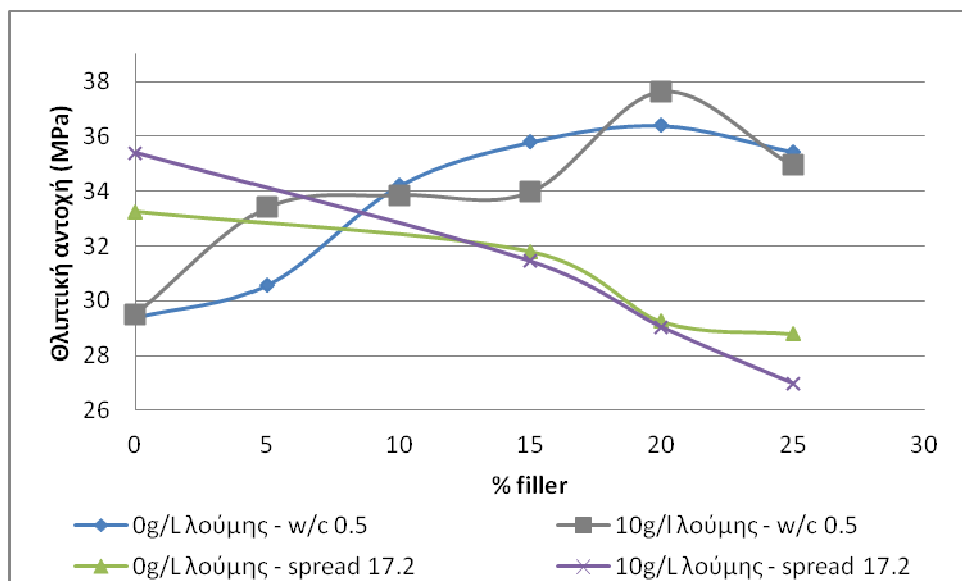
12.3.3. ΘΛΙΠΤΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑ

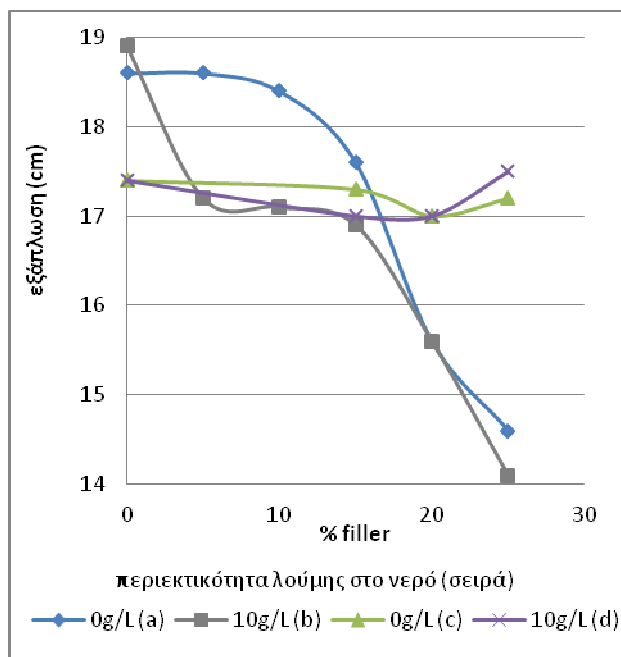
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις εξάπλωσης (EN 1015-3 [10.1]) και αντοχών (EN 1015-11 [10.2]) των παραπάνω συνθέσεων παρατίθενται στον **Πίνακα 12.6**.

Επίσης, συγκριτικά εμφανίζονται τα αποτελέσματα των θλιπτικών αντοχών ανά ηλικίες κονιαμάτων και σειρές συνθέσεων στις **εικόνες 12.5, 12.6 και 12.7** καθώς και τα αποτελέσματα της εξάπλωσης στην **εικόνα 12.8**.

Πίνακας 12.6. Αποτελέσματα εξάπλωσης, καμπτικών και θλιπτικών αντοχών κονιαμάτων με διαφορετικές περιεκτικότητες filler και λούμης

Κωδικός κονιάματος	Εξάπλωση (cm)	2 ημέρες		7 ημέρες		28 ημέρες	
		Κάμψη (MPa)	Θλίψη (MPa)	Κάμψη (MPa)	Θλίψη (MPa)	Κάμψη (MPa)	Θλίψη (MPa)
0.a	18.6	5.01	29.40	7.5	46.35	7.87	54.40
5.a	18.6	5.17	30.60	7.5	46.95	7.44	55.70
10.a	18.4	5.67	34.20	7.67	49.75	6.34	59.90
15.a	17.6	5.88	35.80	7.09	49.30	6.44	60.40
20.a	15.6	5.76	36.40	6.59	48.93	7.07	59.50
25.a	14.6	5.22	35.45	6.41	49.03	6.41	56.75
0.b	18.4	4.79	29.52	6.23	44.75	6.54	57.58
5.b	17.9	5.48	33.42	6.2	45.40	6.62	58.70
10.b	17.5	5.70	33.86	5.91	46.70	7.11	58.55
15.b	17.5	5.56	33.97	5.63	47.55	6.58	57.50
20.b	16.6	5.57	37.65	6.89	52.30	7.12	60.50
25.b	16.2	5.38	34.95	5.78	47.80	6.56	55.60
0.c	17.4	5.51	33.25	7.41	49.65	6.46	55.10
15.c	17.3	5.58	31.80	6.77	47.55	6.97	54.35
20.c	17.0	4.85	29.25	6.56	43.75	5.8	47.40
25.c	17.2	5.07	28.80	5.85	39.20	6.51	45.25
0.d	17.4	5.4	35.40	7.42	47.10	8.82	64.20
15.d	17.0	5.38	31.50	6.36	45.00	6.96	53.50
20.d	17.0	5.01	29.10	5.18	42.90	6.87	51.05
25.d	17.5	4.75	27.00	5.72	40.75	6.53	48.35





Εικόνα 12.8. Εργασιμότητα κονιαμάτων για τις τέσσερις σειρές συνθέσεων

Στην **εικόνα 12.5** παρατίθεται η συσχέτιση των θλιπτικών αντοχών 2 ημερών και της περιεκτικότητας % σε filler. Παρατηρείται, για σταθερό λόγο w/c 0.5, ότι με την αύξηση του ποσοστού του filler υπάρχει μία σαφής τάση αύξησης των θλιπτικών αντοχών. Και στις δύο καμπύλες παρατηρείται μέγιστο για περιεκτικότητα 20% filler.

Όσον αφορά τα κονιάματα σταθερής εξάπλωσης, φαίνεται ξεκάθαρα η τάση μείωσης των θλιπτικών αντοχών με την αύξηση της περιεκτικότητας % σε filler. Το προφανές συμπέρασμα είναι πως η αύξηση της περιεκτικότητας σε filler οδηγεί σε μείωση των θλιπτικών αντοχών λόγω της αύξησης του λόγου w/c. Για περιεκτικότητα 0 % σε filler, η θλιπτική αντοχή της σύνθεσης που περιέχει 10 g/L λούμης είναι υψηλότερη από αυτή που δεν περιέχει λούμη. Συμπεραίνεται συνεπώς ότι όταν απουσιάζει το filler από την άμμο, η λούμη, η οποία είναι επίσης ασβεστολιθικής φύσης, το υποκαθιστά βοηθώντας την ανάπτυξη πρώιμων αντοχών. Για 15 και 20 % περιεκτικότητα σε filler οι τιμές των δύο καμπυλών σχεδόν συμπίπτουν, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα, πως σε συνθέσεις, όπου η περιεκτικότητα filler στην άμμο κρίνεται ικανοποιητική, προσθήκη λούμης στην

άμμο της τάξης των 10 g/L δεν φαίνεται να επηρεάζει τις θλιπτικές αντοχές. Από τη γενική εικόνα των αντοχών των 2 ημερών παρατηρείται πως η λούμη δεν επηρεάζει τις πρώιμες θλιπτικές αντοχές. Θα μπορούσε να σημειωθεί ότι για περιεκτικότητα σε filler γύρω 20%, λούμης 10 g/L και λόγου w/c 0.5 παρατηρούνται οι υψηλότερες αντοχές. Παρόλα αυτά παρατηρείται αξιοσημείωτη μείωση της εργασιμότητας από την τιμή 17.2 cm που μπορεί να θεωρηθεί ως αναφορά.

Η εικόνα των αντοχών των 7 ημερών (**εικόνα 12.6**) είναι παρόμοια με αυτή των 2 ημερών. Για τις συνθέσεις σταθερού w/c που περιέχουν 10 g/L λούμης φαίνεται πως η τάση ανάπτυξης θλιπτικών αντοχών 7 ημερών ακολουθεί, γενικά, την πορεία που ακολουθεί και το διάγραμμα των δύο ημερών. Η τιμή της θλιπτικής αντοχής 7 ημερών για 20% περιεκτικότητας filler, εκτός του ότι παρουσιάζει ένα τοπικό μέγιστο, είναι υψηλότερη τιμή των μετρούμενων αντοχών. Αντίστοιχα, οι συνθέσεις σταθερής εξάπλωσης εξακολουθούν να εμφανίζουν μειωτική τάση αυξανόμενου του filler, αρά και του λόγου νερού/τσιμέντου.

Στην **εικόνα 12.7** συσχετίζονται οι θλιπτικές αντοχές των 28 ημερών με την αύξηση της περιεκτικότητας % σε filler. Η εικόνα είναι παρόμοια με αυτή των προηγούμενων ηλικιών μόνο που σε αυτήν την περίπτωση η αύξηση των αντοχών για τις συνθέσεις σταθερού λόγου w/c είναι αρκετά ηπιότερη και σε σημείο που θα μπορούσε να θεωρηθεί και ευθεία. Αντίθετα, η πτώση των αντοχών των συνθέσεων σταθερής εξάπλωσης παραμένει έντονη, ιδιαίτερα στην περίπτωση της περιεκτικότητας 10 g/L σε λούμη.

12.3.4. ΜΕΘΟΔΟΣ TAGUCHI

Από τα παραπάνω αποτελέσματα είναι φανερό ότι σε περίπτωση σταθερού λόγου w/c, αυξάνοντας την ποσότητα filler την άμμο, αυξάνονται και οι αντοχές του παραγόμενου κονιάματος μέχρι ένα βέλτιστο σημείο (συνήθως 20% filler). Αντίθετα, στις σειρές συνθέσεων με σταθερή εξάπλωση,

όπου μεγαλώνοντας το ποσοστό του filler αναπόφευκτα αυξάνεται και ο λόγος w/c, η προσθήκη filler συνεπάγεται πτώση των αντοχών. Δημιουργήθηκε έτσι η ανάγκη να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση του κάθε παράγοντα στις ιδιότητες του παραγόμενου κονιάματος.

Επιλέχθηκε η στατιστική μέθοδος Taguchi, η οποία βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς τόσο της έρευνας όσο και της παραγωγής για την στατιστική επεξεργασία δεδομένων. Ο τρόπος λειτουργίας της μεθόδου αυτής βασίζεται στις παρακάτω αρχές [12.1]:

- Κατασκευή μιας κλίμακας μέτρησης, βασισμένης στα χαρακτηριστικά εισόδου του συστήματος, προκειμένου να μετρηθεί ο βαθμός ανομοιομορφίας ή παρατυπίας διαφόρων καταστάσεων.
- Ποσοτικοποίηση της λειτουργικότητας του συστήματος με το κατάλληλο μέτρο.
- Ελαχιστοποίηση του αριθμού των διαστάσεων (μεταβλητών) για μία πιο αποτελεσματική διάγνωση – λήψη απόφασης.
- Πρόβλεψη της απόδοσης του συστήματος υπό διαφορετικές συνθήκες.
- Αντιμετώπιση προβλημάτων που εμφανίζονται συχνά στα συστήματα πολλών διαστάσεων, όπως πολυσυγγραμμικότητα και χαμηλές συσχετίσεις.

Επιλέχθηκαν τρεις παράγοντες επιρροής των ιδιοτήτων των κονιαμάτων που παίρνουν από τρεις τιμές:

- i) ποσοστό συμμετοχής filler στο κονίαμα (0, 15 και 25%),
- ii) περιεκτικότητα λούμης στο νερό (0, 10 και 50g/L) και
- iii) λόγος w/c (0,44, 0,50 και 0,54).

Η τρίτη τιμή περιεκτικότητας λούμης στο νερό, 50g/L, αποτελεί το μέγιστο επιτρεπτό όριο που

υποδεικνύει το αμερικανικό πρότυπο για το νερό ανάμιξης σκυροδέματος (ASTM C 1602/C 1602M, 2006) και θεωρήθηκε μία αποδεκτή, αλλά ακραία, τιμή στερεών στο νερό. Ο στόχος είναι η εύρεση του ποσοστού εξάρτησης % των θλιπτικών αντοχών και της εξάπλωσης από το ποσοστό του filler, την περιεκτικότητα λούμης και τον λόγο w/c. Με τη χρήση σχετικού στατιστικού προγράμματος (Minitab) έγινε δυνατή η επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Ορίζονται στο σύστημα ως ανεξάρτητες μεταβλητές ο λόγος w/c, η περιεκτικότητα σε filler και η περιεκτικότητα σε λούμη και ως εξαρτημένες οι θλιπτικές αντοχές 2, 7 και 28 ημερών και η εξάπλωση. Εν συνεχεία, δίνονται από το σύστημα τα δεδομένα τις κάθε σύνθεσης. Για να ελεγχθούν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί των παραπάνω μεταβλητών απαιτούνται 27 πειράματα. Η μέθοδος Taguchi υποδεικνύει σχεδιασμό πειραμάτων ο οποίος καταλήγει στα 9 πειράματα που παρουσιάζονται στον **Πίνακα 12.7**.

Πίνακας 12.7. Σχεδιασμός συνθέσεων Taguchi

Κωδικός κονιάματος	% filler στην άμμο	w/c	Λούμη στο νερό (g/L)
T1	0	0.54	0
T2	15	0.54	10
T3	25	0.54	50
T4	0	0.50	10
T5	15	0.50	50
T6	25	0.50	0
T7	0	0.44	50
T8	15	0.44	0
T9	25	0.44	10

Στον πίνακα που ακολουθεί (**Πίνακας 12.8**) δίνονται τα αποτελέσματα των εξαπλώσεων και των θλιπτικών αντοχών 2, 7 και 28 ημερών των εννέα πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην στατιστική μέθοδο Taguchi. Αυτές οι τιμές εισήχθησαν στο πρόγραμμα ώστε να γίνει η

στατιστική επεξεργασία και να προσδιοριστεί η % επίδραση, του λόγου w/c, της περιεκτικότητας σε filler και της περιεκτικότητας σε λούμη στην εξάπλωση και στις θλιπτικές αντοχές 2, 7 και 28 ημερών.

Πίνακας 12.8. Αποτελέσματα εξάπλωσης και θλιπτικών αντοχών συνθέσεων Taguchi

κ/κ	Εξάπλωση (cm)	Θλίψη 2 ημερών (MPa)	Θλίψη 7 ημερών (MPa)	Θλίψη 28 ημερών (MPa)
T1	22.3	20.70	34.75	48.10
T2	19.1	24.65	41.85	46.30
T3	16.3	29.70	39.9	48.90
T4	18.4	29.52	44.75	57.58
T5	16.6	35.10	48.05	56.60
T6	14.6	35.45	49.02	56.75
T7	15.7	34.40	43.35	56.50
T8	14.2	35.40	47.80	59.75
T9	10.0 ¹	43.55	50.10	61.40

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Taguchi φαίνονται στον **Πίνακα 12.9**. Είναι προφανές ότι ενώ η περιεκτικότητα της λούμης στο νερό ανάμιξης ελάχιστα επηρεάζει τις ιδιότητες των προκυπτόντων κονιαμάτων, οι άλλοι δύο παράγοντες εμφανίζουν ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Στην εργασιμότητα του κονιάματος το ποσοστό του filler και ο λόγος w/c φαίνεται να έχουν ένα παραπλήσιο ποσοστό επίδρασης με τον λόγο w/c να επηρεάζει λίγο περισσότερο. Στις θλιπτικές, όμως, αντοχές του κονιάματος, ο λόγος w/c έχει περίπου 2.5 φορές μεγαλύτερο ποσοστό επιρροής από το filler στις πρώιμες αντοχές ενώ οι αντοχές των 28 ημερών

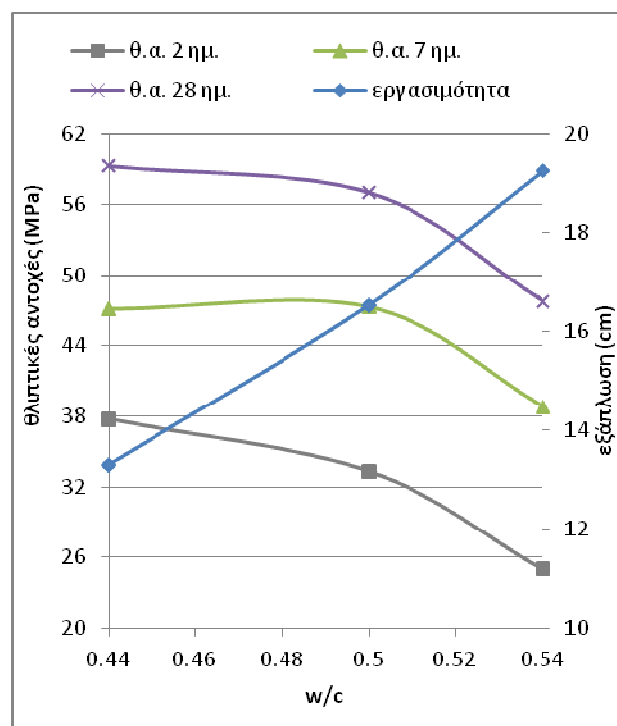
φαίνεται να εξαρτώνται σχεδόν εξ ολοκλήρου από αυτόν. Γεγονός είναι ότι και από τις **εικόνες 12.5-12.7** παραπάνω φάνηκε ότι η αρνητική επιρροή στις θλιπτικές αντοχές ενός μεγάλου λόγου w/c ήταν πολύ μεγαλύτερη από την θετική επίδραση του αυξημένου ποσοστού filler στις συνθέσεις σταθερού w/c, κάτι που επαληθεύτηκε από την στατιστική αυτή επεξεργασία. Η εικόνα αυτή είναι αρκετά πιο έντονη στις θλιπτικές αντοχές των 28 ημερών.

Πίνακας 12.9. Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας Taguchi

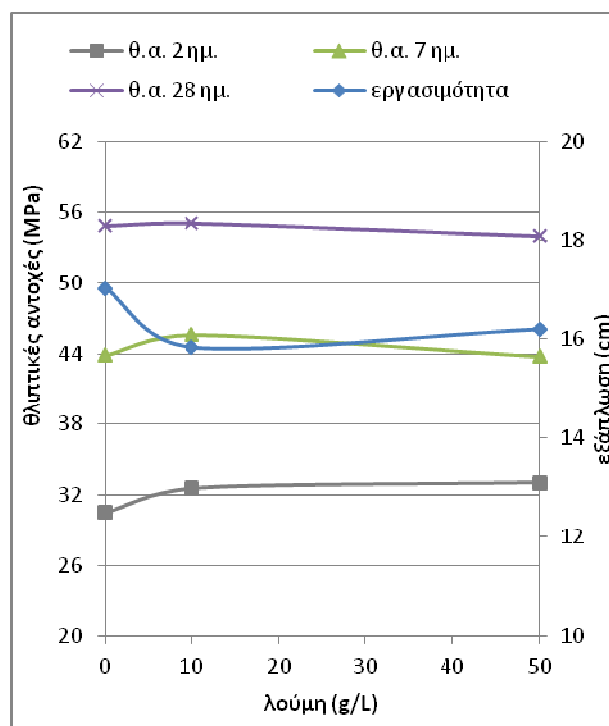
Ιδιότητα	Ποσοστά επίδρασης (%)			
	w/c	filler	λούμης	σύνολο
Εξάπλωση	55.35	42.22	2.37	99.94
Αντοχή 2 ημερών	69.00	26.59	3.00	98.59
Αντοχή 7 ημερών	69.73	26.90	3.09	99.72
Αντοχή 28 ημερών	93.04	2.03	0.84	95.91

Τα ποιοτικά διαγράμματα (**εικόνες 12.9-12.11**) Taguchi ενισχύουν τα παραπάνω συμπεράσματα. Αποδεικνύεται ότι αύξηση του λόγου w/c αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με την εργασιμότητα ενώ επιφέρει μείωση των αντοχών με μικρότερη επίδραση για αύξηση w/c από 0.44 σε 0.5 και μεγαλύτερη για αύξηση από 0.5 σε 0.54.

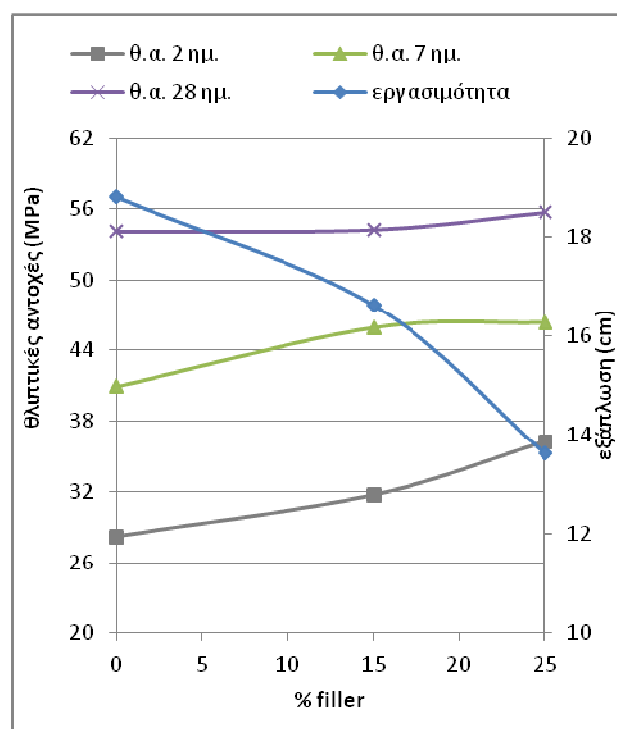
¹ Λόγω της πολύ μεγάλης ποσότητας λεπτόκοκκων υλικών και του μικρού λόγου w/c στην συγκεκριμένη σύνθεση, δεν ήταν δυνατό να μετρηθεί η εξάπλωση και η τοποθέτηση της σε μήτρα έγινε με δόνηση. Η τιμή 10 είναι μία αυθαίρετη τιμή που δόθηκε ώστε να μπορέσει να ολοκληρωθεί ο υπολογισμός της μεθόδου Taguchi.



Εικόνα 12.9. Ποιοτική απεικόνιση επίδρασης λόγου w/c στις ιδιότητες των κονιαμάτων



Εικόνα 12.11. Ποιοτική απεικόνιση επίδρασης περιεκτικότητας λούμης στο νερό στις ιδιότητες των κονιαμάτων



Εικόνα 12.10. Ποιοτική απεικόνιση επίδρασης ποσοστού filler στις ιδιότητες των κονιαμάτων

Αντίστοιχα είναι εμφανές ότι η αύξηση του ποσοστού του filler στο ανάμικτο έχει ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση της εργασιμότητας και αύξηση των αντοχών των 2 και 7 ημερών. Η επίδραση στις αντοχές των 28 ημερών είναι σχεδόν μηδενική αφού η αντίστοιχη καμπύλη αποτελεί ευθεία με ελάχιστη κλίση. Σχεδόν μηδενική κλίση παρουσιάζουν και όλες οι καμπύλες επίδρασης της λούμης στις μετρούμενες ιδιότητες των κονιαμάτων με εξαίρεση ίσως την μείωση της εξάπλωσης με αύξηση της περιεκτικότητας σε λούμη από 0 g/L σε 10 g/L.

12.4. ΛΟΥΜΗ ΚΑΙ ΠΥΡΙΤΙΚΗ ΆΜΜΟΣ

Πραγματοποιήθηκε δοκιμή θλιπτικής αντοχής σε κλασικά κονιάματα που αναμίχθηκαν με νερό έκπλυσης που περιέχει λούμη σε σύγκριση με νερό δικτύου. Τα κονιάματα συντέθηκαν με 450 g CEM I 52.2 (Πίνακας 11.1), 1350 g πυριτική πρότυπη άμμο CEN και 225 g νερό (δικτυού ή έκπλυσης). Στόχος αυτής της δοκιμής ήταν η εξέταση της συμπεριφοράς της λούμης σε συνεργασία με πυριτικά αδρανή έναντι των ασβεστολιθικών που μελετήθηκαν στα υπόλοιπα

κεφάλαια της διατριβής. Τα αποτελέσματα των αντοχών φαίνονται στον **Πίνακα 12.10**.

Πίνακας 12.10. Θλιπτικές αντοχές (MPa) κονιαμάτων με πυριτική άμμο

Νερό ανάμιξης	1 ημέρα	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες
Βρύσης	18.3	33.5	48.5	67.6
Έκπλυσης	18.6	31.5	45.9	67.1

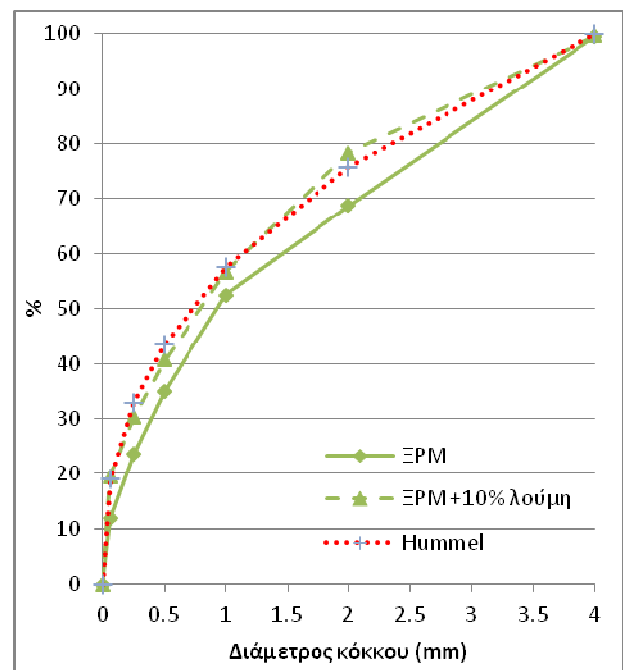
Από τα αποτελέσματα των αντοχών φαίνεται ότι το νερό που περιέχει λούμη προκαλεί μείωση των αντοχών των κονιαμάτων, ιδιαίτερα για τις ηλικίες των 2 και 7 ημερών. Αυτό προκαλεί ενδιαφέρον δεδομένου ότι παρόμοια δοκίμια, με τσιμέντο CEM I 42.5 παρασκευάστηκαν σε προηγούμενα στάδια της διατριβής και σε κάθε περίπτωση εμφάνιζαν βελτιωμένες αντοχές σε σχέση με το νερό βρύσης, ιδιαίτερα σε πρώιμες ηλικίες. Βασική διαφορά μεταξύ της σύνθεσης των τσιμεντοκονιαμάτων του κεφαλαίου 10 και αυτών που παρουσιάζονται στον **Πίνακα 12.10** είναι το είδος της άμμου που χρησιμοποιήθηκε. Όπως έχει προαναφερθεί, στα τσιμεντοκονιάματα του κεφαλαίου 10 χρησιμοποιήθηκε θραυστή ασβεστολιθική άμμος με σκοπό να εξεταστούν κονιάματα ως «μικρογραφίες» δοκιμών σκυροδέματος. Όπως έχει αποδειχθεί στα κεφάλαια 10 και 11, τα αιωρούμενα σωματίδια του νερού έκπλυσης (λούμη) ενισχύουν την πλήρωση των κενών που εμφανίζονται μεταξύ των αδρανών και της τσιμεντόπαστας, βελτιώνοντας με αυτόν τον τρόπο την κοκκομετρική κατανομή της άμμου.

Είναι πιθανό η βοηθητική δράση της λούμης στην κατανομή της θραυστής άμμου να μην εφαρμόζεται στην περίπτωση της πυριτικής. Κάτι τέτοιο είναι εμφανές από τις κοκκομετρικές καμπύλες που κατασκευάστηκαν για τις δύο άμμους, - πρότυπη πυριτική CEN και θραυστή ασβεστολιθική Ξηρορέματος - ως έχουν και με 10% προσθήκη λούμης που παρουσιάζονται στις **εικόνες 12.12 και 12.13**.

Όπως αναπτύχθηκε από τον Hummel το 1959 [12.2] μπορούν να δημιουργηθούν βέλτιστες κοκκομετρικές κατανομές για τα αδρανή των σκυροδεμάτων και κονιαμάτων που να επιτρέπουν την μείωση ποσότητας τσιμέντου στο ανάμιγμα και να επιτυγχάνουν την μέγιστη δυνατή αντοχή. Ο Hummel χρησιμοποίησε την παρακάτω εξίσωση για την κατασκευή των βέλτιστων καμπυλών:

$$P''(d) = \left(\frac{d}{d_{\max}} \right)^q \quad 12-1$$

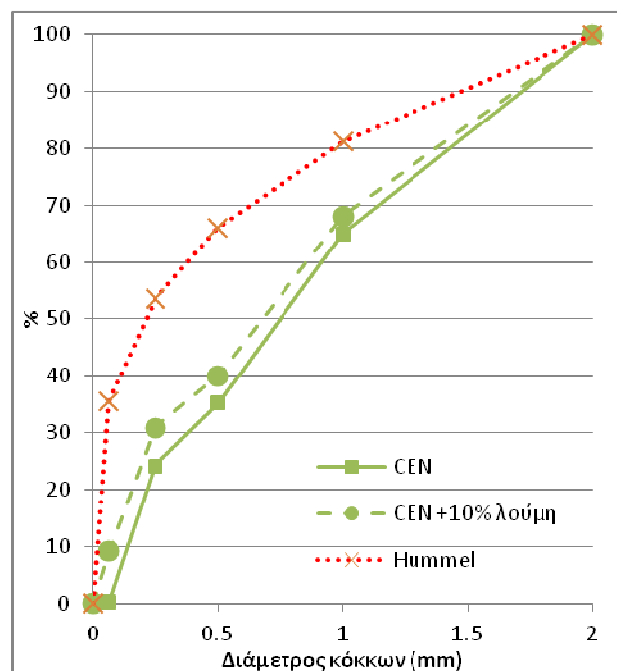
, όπου d είναι η εκάστοτε διάμετρος του κόσκινου, $P'(d)$ το ποσοστό των σωματιδίων του αδρανούς με μέγεθος κόκκου μικρότερο από διάμετρο d , $d_{\max}$ η μέγιστη διάμετρος των αδρανών και q σταθερά ίση με 0.4 για στρογγυλά αδρανή όπως η CEN άμμος και 0.3 για πολύπλευρα γωνιώδη αδρανή όπως η άμμος Ξηρορέματος.



Εικόνα 12.12. Κοκκομετρική κατανομή θραυστής άμμου σε σχέση με την αντίστοιχη καμπύλη Hummel

Όπως φαίνεται και από τα αντίστοιχα διαγράμματα, η προσθήκη λούμης ενισχύει την κοκκομετρική κατανομή της θραυστής άμμου τοποθετώντας την έτσι ώστε σχεδόν να εφάπτεται με την καμπύλη Hummel. Αντίθετα, η λούμη δεν

δρα ευεργετικά όταν προστίθεται στην πρότυπη άμμο η οποία είναι ειδικά σχεδιασμένη να περιέχει μηδενικό ποσοστό παιπάλης και κόκκων άνω των 2 mm. Συγκεκριμένα, η προσθήκη λεπτών σωματιδίων αλλοιώνει την ομαλότητα της καμπύλης.



Εικόνα 12.13. Κοκκομετρική κατανομή πυριτικής άμμου σε σχέση με την αντίστοιχη καμπύλη Hummel

12.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Όταν η λούμη χρησιμοποιηθεί σε ανάμιγμα κονιάματος, είτε ως έχει αιωρούμενη στο νερό ή σε ξηρή μορφή, επιφέρει μείωση της εργασιμότητας του νωπού κονιάματος
- Όταν χρησιμοποιείται λούμη ως έχει, προκαλεί αύξηση των αντοχών ακόμα και όταν προστίθεται σε ακραία ποσοστά
- Ξηρή λούμη μπορεί να λειτουργήσει ως δευτερεύον συστατικό του τσιμέντου και σε μικρά ποσοστά να προσφέρει και αύξηση των αντοχών
- Η παρουσία πολλών λεπτών σωματιδίων στο κονίαμα μπορεί να επιφέρει δραστικές αλλαγές στην εργασιμότητα και την αντοχή του. Παρά ταύτα, η λούμη, στα ποσοστά που είναι δυνατό να συμμετέχει στο ανάμιγμα

επιδρά ελάχιστα στις ιδιότητες των κονιαμάτων σε σχέση με το ποσοστό της παιπάλης που υπάρχει στην άμμο και τον λόγο w/c

- Η λούμη, ενώ συνεργάζεται πολύ καλά με ασβεστολιθικά αδρανή, παρουσία πυριτικής άμμου επιφέρει μικρή μείωση των αντοχών των κονιαμάτων

12.6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[12.1] Rao, Ravella Sreenivas; C. Ganesh Kumar, R. Shetty Prakasham, Phil J. Hobbs (March 2008). "The Taguchi methodology as a statistical tool for biotechnological applications: A critical appraisal". *Biotechnology Journal* 3 (4): 510–523.

[12.2] Hummel, A. (1959). *Das Beton-ABC – Ein Lehrbuch der Technologie des Schwerbetons und des Leichtbetons*, 11th edn, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin

13. ΝΕΡΟ ΈΚΠΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΑ

ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΜΕ ΙΠΤΑΜΕΝΕΣ ΤΕΦΡΕΣ

Συμπληρωματικά με τα υπόλοιπα πειραματικά σκέλη της διατριβής, έγινε διερεύνηση της πιθανότητας ενεργοποίησης υπτάμενων τεφρών (IT) σε διμερή συστήματα τσιμέντου-τέφρας, με την βοήθεια του νερού έκπλυσης των οχημάτων μεταφοράς έτοιμου σκυροδέματος. Είναι γνωστό [13.1 - 13.3] ότι ιδιαιτέρως αλκαλικά διαλύματα χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση IT και γενικά βιομηχανικών παραπροϊόντων με αποτέλεσμα την γρήγορη ανάπτυξη θλιπτικών αντοχών και παραγωγή C-S-H. Συγκεκριμένα έχει μελετηθεί η χρήση διαλυμάτων NaOH και KOH για την ενεργοποίηση IT και σκωριών. Σε τιμές pH μεγαλύτερες από 12 (συνήθως 13) σπάνε οι δεσμοί O-Si-O των παραπροϊόντων και παράγονται ενυδατωμένες αλκαλικές ενώσεις ασβεστίου, πυριτίου και αργιλίου. Η παραπάνω διαδικασία ενισχύεται σε αυξημένες θερμοκρασίες.

Δεδομένου ότι πλέον οι μονάδες έτοιμου σκυροδέματος χρησιμοποιούν στην πλειοψηφία τους σύνθετα τσιμέντα στα οποία συμμετέχουν σε σημαντικό ποσοστό IT, θεωρήθηκε σκόπιμο να μελετηθεί η επίδραση που μπορεί να έχει το νερό έκπλυσης των οχημάτων σε τέτοιου τύπου τσιμέντα.

13.1. ΥΛΙΚΑ

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις υπτάμενες τέφρες η χημική ανάλυση των οποίων φαίνεται στον **Πίνακα 13.1**. Πρόκειται για τρεις ασβεστούχες τέφρες με κάποιες διαφοροποιήσεις στην χημική τους ανάλυση. Η IT1 έχει μέση περιεκτικότητα σε ασβέστιο και σχετικά υψηλή σε πυρίτιο ενώ οι τέφρες IT2 και IT3 είναι τέφρες υψηλού ασβεστίου. Η τέφρα IT3 έχει την ιδιαιτερότητα να εμφανίζει υψηλή τιμή στην περιεκτικότητα SO₃. Οι τέφρες, πριν την ανάμιξή τους με το τσιμέντο CEM I 52.5, αλέστηκαν έτσι ώστε να φτάσουν τα ίδια επίπεδα λεπτότητας.

Πίνακας 13.1. Χημική ανάλυση και λεπτότητα υπτάμενων τεφρών

Οξείδιο	IT1	IT2	IT3
SiO ₂	44.08	30.53	30.70
CaO	16.95	40.59	34.00
fCaO	2.13	10.36	7.63
Al ₂ O ₃	21.95	12.79	9.40
Fe ₂ O ₃	9.42	6.61	6.12
MgO	2.36	4.6	4.01
SO ₃	1.62	2.81	10.90
K ₂ O	1.35	0.77	0.50
Na ₂ O	0.65	0.3	0.52
P ₂ O ₅	0.13	0.26	0.18
TiO ₂	0.25	0.68	0.36
LOI	1.23	1.10	3.57
R ₉₀	0.80	1.40	1.10
R ₄₅	3.60	5.60	4.80
Λεπτότητα (cm ² /g)	7150	8890	7870

13.2. ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Παρασκευάστηκαν τσιμέντα με μερική υποκατάσταση του CEM I 52.5 (**Πίνακας 11.1**) με τις τρεις IT σε ποσοστά προσθήκης 10, 20 και 30%. Τα τσιμέντα που προέκυψαν από τις αναμίξεις χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή κονιαμάτων με πρότυπη άμμο (CEN). Τα δέκα κονιάματα (τρία για έκαστη τέφρα και ένα αναφοράς με τσιμέντο OPC) παρασκευάστηκαν από δύο φορές, μία με νερό βρύσης και μία νερό έκπλυσης (sludge water, sw) ακολουθώντας τις συνθέσεις του **Πίνακα 13.2**. Σημειώνεται εδώ ότι σκοπός της μελέτης δεν ήταν να εξεταστεί η ποζολανικότητα της κάθε τέφρας και η δράση των υποκαταστάσεων του τσιμέντου στην εξέλιξη των αντοχών των κονιαμάτων, αλλά η επίδραση του αλκαλικού νερού έκπλυσης στα συστήματα τσιμέντου - υπτάμενης τέφρας έναντι του νερού δικτύου.

Πίνακας 13.2. Συνθέσεις κονιαμάτων με IT και νερό έκπλυσης

Κωδικός κονιάματος	OPC	IT1	IT2	IT3	Άμμος	Νερό βρύσης	Νερό έκπλυσης
Ref	450	-	-	-	1350	225	-
Ref sw	450	-	-	-	1350	-	225
1.10	405	45	-	-	1350	225	-
1.20	360	90	-	-	1350	225	-
1.30	315	135	-	-	1350	225	-
1.10sw	405	45	-	-	1350	-	225
1.20sw	360	90	-	-	1350	-	225
1.30sw	315	135	-	-	1350	-	225
2.10	405	-	45	-	1350	225	-
2.20	360	-	90	-	1350	225	-
2.30	315	-	135	-	1350	225	-
2.10sw	405	-	45	-	1350	-	225
2.20sw	360	-	90	-	1350	-	225
2.30sw	315	-	135	-	1350	-	225
3.10	405	-	-	45	1350	225	-
3.20	360	-	-	90	1350	225	-
3.30	315	-	-	135	1350	225	-
3.10sw	405	-	-	45	1350	-	225
3.20sw	360	-	-	90	1350	-	225
3.30sw	315	-	-	135	1350	-	225

13.3. ΘΛΙΠΤΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ

Τα κονιάματα αναμίχθηκαν κατά EN196-1 [13.4] και πραγματοποιήθηκαν θραύσεις των σκληρυσμένων δοκιμών για μέτρηση αντοχών στις ηλικίες των 1, 2, 7 και 28 ημερών, όπως παρουσιάζονται και στον **Πίνακα 13.3**. Τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν μέσο όρο 4-8 θραύσεων, ανάλογα με την ηλικία και το είδος του δοκιμίου. Παρά τις πολύ μικρές διαφορές που παρουσιάζονται μεταξύ των διαφορετικών ειδών

νερού ανάμιξης, παρατηρείται ότι το δοκίμιο αναφοράς που αναμίχθηκε με νερό έκπλυσης παρουσιάζει μειωμένες αντοχές σε σχέση με αυτό που παράχθηκε με νερό βρύσης, όπως έχει συζητηθεί εκτενώς στο κεφάλαιο 12.4. Παρόλα αυτά, η μελέτη αυτή εστιάζει στα αποτελέσματα των τσιμέντων με IT όταν αναμιγνύονται με νερό έκπλυσης σε σχέση με το νερό βρύσης.

Πίνακας 13.3. Θλιπτικές αντοχές (MPa) κονιαμάτων με IT και νερό έκπλυσης

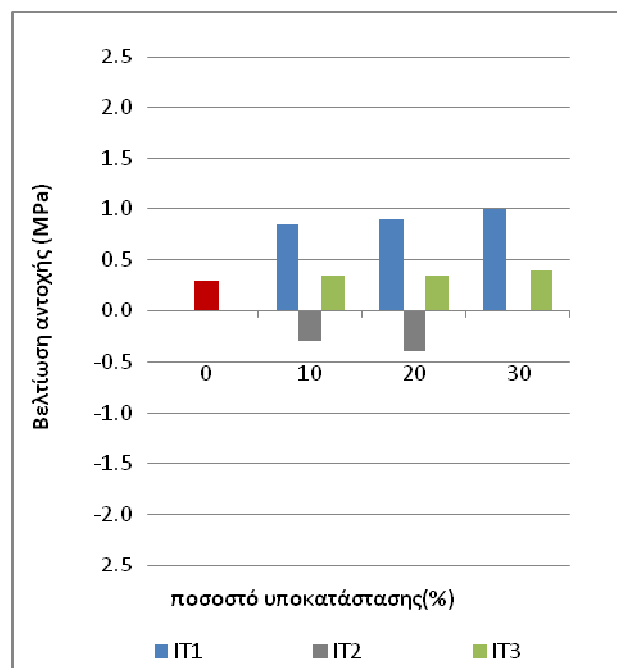
Κωδικός κονιάματος	1 ημέρα	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες
Ref	18.3	33.5	48.5	67.6
Ref sw	18.6	31.5	45.9	67.1
1.10	15.5	28.1	43.9	59.0
1.20	13.4	25.7	41.0	57.3
1.30	11.0	22.1	35.0	55.6
1.10sw	16.4	29.7	42.4	59.1
1.20sw	14.3	26.2	39.7	57.2
1.30sw	12.0	21.8	36.7	55.5
2.10	15.5	28.2	45.0	59.8
2.20	13.7	24.9	42.4	56.0
2.30	12.5	24.1	38.7	54.3
2.10sw	15.2	27.5	44.8	57.5
2.20sw	13.3	25.3	42.7	57.3
2.30sw	12.5	24.5	40.4	54.8
3.10	14.9	27.9	44.9	60.8
3.20	13.3	22.3	39.6	58.1
3.30	10.8	17.8	28.5	51.5
3.10sw	15.2	27.8	45.8	61.2
3.20sw	13.7	23.5	39.5	57.4
3.30sw	11.2	18.2	29.4	52.0

Για τον λόγο αυτό σχεδιάστηκαν διαγράμματα που απεικονίζουν την βελτίωση των θλιπτικών αντοχών σε κάθε ηλικία (**εικόνες 13.1-13.4**), όπου συγκρίνονται οι διαφορές μεταξύ των αντοχών κονιαμάτων με νερό έκπλυσης και με νερό βρύσης, για κάθε τέφρα στα τρία ποσοστά υποκατάστασης με την αντίστοιχη διαφορά στο δοκίμιο αναφοράς.

Είναι προφανές ότι οι διαφορές μεταξύ πανομοιότυπων δοκιμών που παρασκευάστηκαν με διαφορετικό είδος νερού είναι μικρές και δεν

ξεπερνούν τα ± 2.5 MPa. Στην ηλικία της 1 ημέρας οι απόλυτες τιμές των διαφορών είναι ακόμα μικρότερες και μπορεί να θεωρηθεί ότι το νερό έκπλυσης επηρεάζει ελάχιστα τις αντοχές των κονιαμάτων αναφοράς, IT2 και IT3, με την IT3 να εμφανίζει ελαφρά βελτιωμένες αντοχές παρουσία νερού έκπλυσης. Στην περίπτωση της IT1 εμφανίζεται ανοδική τάση των αντοχών που συνοδεύει την αύξηση του ποσοστού της τέφρας στο ανάμιγμα. Παρατηρείται δηλαδή μία εμφανής βελτίωση ήδη από την ηλικία της 1 ημέρας για την πιο πυριτική από τις τέφρες που

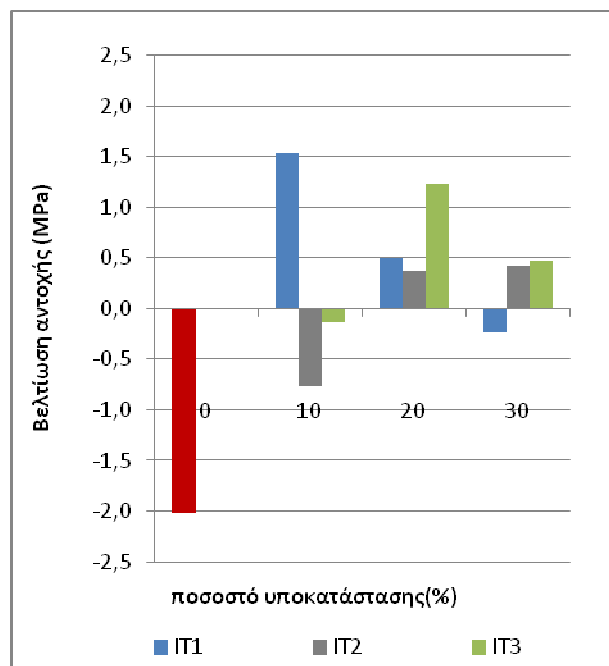
χρησιμοποιήθηκαν όταν αναμιγνύεται με το νερό έκπλυσης.



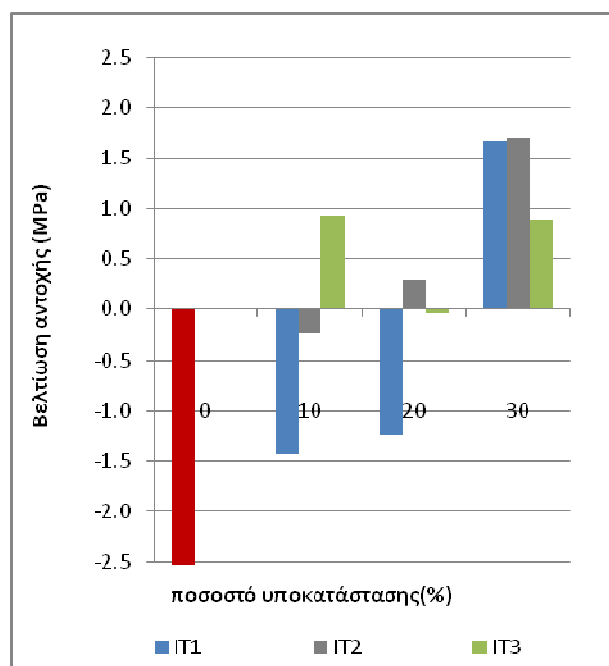
Εικόνα 13.1. Βελτίωση αντοχών κονιαμάτων ηλικίας 1 ημέρας

Για την ηλικία των 2 ημερών παρατηρείται ως επί το πλείστον βελτίωση των αντοχών των τσιμεντών που περιέχουν IT όταν αναμιγνύονται με νερό έκπλυσης, η οποία σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνά το 1 MPa. Η IT1 συνεχίζει να παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα, κάτι που ενισχύει το προηγούμενο συμπέρασμα, ότι η συγκεκριμένη τέφρα παρουσιάζει βελτιωμένα αποτελέσματα πρώιμων αντοχών όταν αναμιγνύεται με αλκαλικό νερό έκπλυσης.

Στην ηλικία των 7 ημερών η εικόνα των αντοχών περιπλέκεται, χωρίς όμως να εμφανίζονται ακραία αποτελέσματα και με τα τσιμεντά που περιέχουν IT να εμφανίζουν διαρκώς βελτιωμένες αντοχές σε σχέση με το τσιμέντο αναφοράς. Τα καλύτερα αποτελέσματα στην συγκεκριμένη ηλικία παρουσιάζονται για το ποσοστό υποκατάστασης 30% για όλες τις τέφρες. Είναι πιθανόν για μεγαλύτερα ποσοστά υποκατάστασης οι τέφρες να μην είχαν αντιδράσει με το νερό έκπλυσης μέχρι αυτήν την ηλικία.



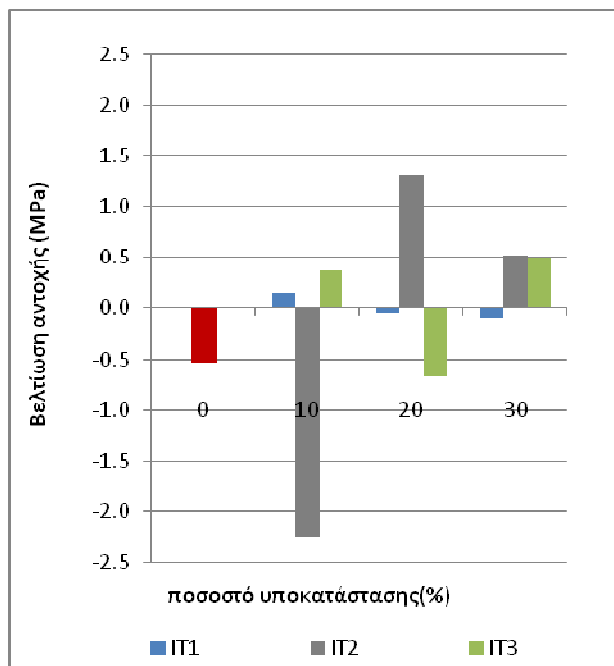
Εικόνα 13.2. Βελτίωση αντοχών κονιαμάτων ηλικίας 2 ημερών



Εικόνα 13.3. Βελτίωση αντοχών κονιαμάτων ηλικίας 7 ημερών

Όσον αφορά την ηλικία των 28 ημερών, εκτός από κάποιες ακραίες τιμές αντοχών που παρουσιάζονται στην περίπτωση της IT2, η εικόνα των αντοχών δείχνει εξισορρόπηση μεταξύ των δοκιμών που παρασκευάστηκαν με νερό δικτύου σε σύγκριση με νερό έκπλυσης. Στις περιπτώσεις των τεφρών IT1 και IT3, αλλά και του δοκιμίου αναφοράς οι διαφορές μεταξύ των αντοχών που

αναμίχθηκαν με διαφορετικά νερά είναι μικρότερες από 0.5 MPa.



Εικόνα 13.4. Βελτίωση αντοχών κονιαμάτων ηλικίας 28 ημερών

13.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Ανεξάρτητα από το είδος της τέφρας, η χρήση νερού έκλυσης δείχνει να βελτιώνει την πρώιμη αντοχή των σύνθετων τσιμεντών. Η βελτίωση αυτή - σε ρεαλιστικά ποσοστά προσθήκης της τάξης 10-20% - είναι πιο εμφανής στα συστήματα με τέφρα μέση περιεκτικότητας σε ασβέστιο (και σχετικά υψηλού SiO_2)
- Η συγκεκριμένη αύξηση φαίνεται να εξαντλείται με τη πρόοδο της ενυδάτωσης, χωρίς ωστόσο η τελική αντοχή όλων των συστημάτων με νερό έκλυσης να υπολείπεται των αντίστοιχων τσιμεντών που παρασκευάστηκαν με νερό δικτύου.
- Δεδομένης της όχι ιδιαίτερα υψηλής αλκαλικότητας του νερού έκλυσης ($\text{pH}=12.5$), τα αποτελέσματα θεωρούνται ικανοποιητικά και σε συμφωνία με σχετικές μελέτες που «απαιτούν» τιμές $\text{pH}>13.2$ στο πορώδες διάλυμα για πιο ουσιαστική ενεργοποίηση της IT.

- Είναι πιθανό τα λεπτά αιωρούμενα σωματίδια της τέφρας να ενισχύουν το ήδη υπάρχων filler effect των τεφρών στα συστήματα τσιμεντού - τέφρας.
- Τα σύνθετα τσιμεντά με IT έχουν μόνο να ωφεληθούν από την προσθήκη νερού έκλυσης και κυρίως στο κομμάτι των πρώιμων αντοχών.

13.5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [13.1] Palomo A., Grutzeck M., Blanco M. (1999). Alkali-activated fly ashes - A cement for the future, Cem. Con. Res. 29, 1323-1329
- [13.2] Blaakmer J., van Loo W. (1994). Diabind, an alkali-activated slag fly ash binder, Proc. 1st Intern.Conf. Alkaline cements and concretes, Vol.1., p. 347-360, VIPOL Stock Comp.
- [13.3] Frantisek Skvara, Jan Slosar, Jan Bohunek and Alena Markova (2003). Alkali-Activated Fly Ash Geopolymeric Materials, Proceedings of the 11th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC) Durban, South Africa
- [13.4] EN 196-1. (2005) Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength, European Committee for Standardization (CEN), Brussels

14. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρακάτω συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από την διατριβή σε συνδυασμό με προτάσεις για την αποδοτική ανακύκλωση του νερού έκπλυσης των ΜΕΣ:

- Αρχικά εντοπίστηκε και μελετήθηκε διεξοδικά ένα πραγματικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν στην καθημερινή τους λειτουργία οι ελληνικές Μονάδες Έτοιμου Σκυροδέματος (ΜΕΣ). Σύμφωνα με την έρευνα που πραγματοποιήθηκε, οι μεγάλες μονάδες που υπάρχουν στα αστικά κέντρα καλούνται να μειώσουν τον αριθμό των απορριπτόμενων υλικών τους και έχουν εγκατεστημένα συστήματα ανακύκλωσης του νερού έκπλυσης οχημάτων μεταφοράς έτοιμου σκυροδέματος. Η ανακύκλωση του νερού όμως περιλαμβάνει το στάδιο της εξουδετέρωσης του νερού έκπλυσης λόγω της τήρησης του ελληνικού προτύπου ΕΛΟΤ 345. Τα συστήματα αυτά εμπεριέχουν κόσθη εγκατάστασης (δεξαμενές εξουδετέρωσης, αντλίες) και λειτουργικά (κόστος HCl, συντήρηση συστήματος εξουδετέρωσης) που οι ΜΕΣ μικρότερου δυναμικού αδυνατούν να καλύψουν με αποτέλεσμα η ανακύκλωση του νερού να περιορίζεται μόνο σε μονάδες υψηλότερης παραγωγικότητας οι οποίες είναι και οι μόνες που συμμετείχαν στην έρευνα.
- Τα νερά ανακύκλωσης που προκύπτουν από τα προαναφερθέντα συστήματα ανακύκλωσης έχουν το χαρακτηριστικό να εμφανίζουν υψηλή περιεκτικότητα σε χλωριόντα λόγω της εξουδετέρωσης με HCl. Οι συγκεντρώσεις αυτές των χλωριόντων δεν φτάνουν στο πραγματικό νερό παραγωγής σκυροδέματος καθώς η μέθοδος ανακύκλωσης των μονάδων περιλαμβάνει την αραίωση του συγκεκριμένου νερού με μεγάλες ποσότητες νερού δικτύου όταν προορίζεται για χρήση σε σκυρόδεμα. Η ενέργεια αυτή έχει ως αποτέλεσμα το απομένον νερό ανακύκλωσης να χρησιμοποιείται, όπως απάντησαν
- ανεξάρτητες ΜΕΣ στο ερωτηματολόγιο, σε εξωτερικές χρήσεις (καθάρισμα, πότισμα) οι οποίες μπορεί να αποδειχτούν επικίνδυνες για τον υδροφόρο ορίζοντα και την ανθρώπινη υγεία καθώς, εκτός από την υψηλή περιεκτικότητα σε Cl⁻, υπάρχει περίπτωση να σημειωθούν ακραίες τιμές pH λόγω λανθασμένης εξουδετέρωσης.
- Το νερό έκπλυσης, πριν το στάδιο της καθίζησης και εξουδετέρωσης έχει υψηλό pH και αυξημένη περιεκτικότητα σε στερεά. Συγκεκριμένα οι τιμές του pH κυμαίνονται σε επίπεδα 12 - 12.5 και προκύπτουν από την έκπλυση του, ιδιαίτερα αλκαλικού, σκυροδέματος και πιο συγκεκριμένα των διαλυτών συστατικών της ενυδατωμένης τσιμεντόπαστας που απελευθερώνουν OH⁻. Η περιεκτικότητα σε στερεά - τα οποία βρίσκονται διαλελυμένα ή αιωρούμενα στο νερό έκπλυσης - ποικίλει ανάλογα με το επίπεδο των εκπλύσεων αλλά σε γενικές γραμμές παρατηρήθηκε ότι δεν ξεπερνά τα 10,000 mg/L. Η λούμνη, που αποτελεί την λάσπη που σχηματίζεται στον πυθμένα των δεξαμενών καθίζησης του συστήματος ανακύκλωσης του νερού, εκτιμάται ότι παράγεται σε ποσότητες περίπου 200 tons/annum σε μία μονάδα υψηλής παραγωγικότητας και σύμφωνα με την στατιστική μελέτη που προηγήθηκε απορρίπτεται από όλες τις ευρωπαϊκές και ελληνικές μονάδες.
- Η λούμνη είναι ένα ιδιαίτερα λεπτόκοκκο υλικό, με μέση διάμετρο κόκκων 20μm, και ασβεστολιθικής φύσεως, η οποία φυσικά προέρχεται από το κατά περίπτωση είδος των αδρανών που χρησιμοποιεί η μονάδα έτοιμου σκυροδέματος. Δεδομένου ότι στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται σχεδόν κατά αποκλειστικότητα θραυστά ασβεστολιθικά αδρανή, η λούμνη που προκύπτει από άλλες μονάδες θεωρείται ότι θα έχει παρόμοια σύσταση. Συγκεκριμένα αποτελείται κυρίως από CaCO₃ και δευτερευόντως από SiO₂ και

Ca(OH)_2 . Σημειώνεται εδώ ότι σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται άλλου είδους αδρανή (όπως σε χώρες τις βορείου Ευρώπης) η χημική σύσταση της λούμης αναμένεται να είναι διαφορετική καθώς, για παράδειγμα, τα λεπτόκοκκα κλάσματα πυριτικών αδρανών είναι κατά βάση αργιλικά και βλαβερά για το σκυρόδεμα. Υπογραμμίζεται ότι η παρούσα διατριβή αφορά την μελέτη παραπροϊόντων ελληνικών ΜΕΣ και μπορεί να επεκταθεί και άλλες σε χώρες που χρησιμοποιούν παρόμοια ασβεστολιθικά αδρανή.

- Παρατηρήθηκε ότι η λούμη, όταν παραμένει αιωρούμενη στο νερό έκπλυσης, χωρίς δηλαδή το νερό να περάσει το στάδιο της καθίζησης, συνεργάζεται πολύ καλά με το τσιμέντο αλλά και με πιο πολύπλοκα συστήματα όπως κονιάματα και σκυρόδεμα, ιδιαίτερα όταν τα αδρανή που χρησιμοποιούνται είναι και αυτά ασβεστολιθικά. Για περιεκτικότητες λούμης στο νερό $\sim 9,000 \text{ mg/L}$ (όπως βρέθηκε να είναι μία μέγιστη ρεαλιστική τιμή) τα κονιάματα που παράχθηκαν βρέθηκαν να υπερτερούν στις πρώιμες θλιπτικές αντοχές έναντι κονιαμάτων που παράχθηκαν με διηθημένο νερό ή νερό δικτύου κατά περίπου 4 MPa. Η διαφορά αυτή μειώνεται στις 7 ημέρες και μηδενίζεται στις 28 ημέρες. Η ευεργετική δράση των στερεών του νερού κατά κύριο λόγο οφείλεται στην πλήρωση των κενών από την λούμη, όπως μερικώς αποδείχτηκε από την, κατά 5%, μείωση του πορώδους όπως αυτό μετρήθηκε για πάστα τσιμέντου που παράχθηκε με νερό έκπλυσης σε σύγκριση με απιονισμένο. Η μείωση του πορώδους, εκτός από την θετική επίδραση στις αντοχές μπορεί να είναι και ευεργετική για την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.
- Παράλληλα, η παρουσία της λούμης στο νερό δεν επιδρά στους χρόνους πήξης, στην θερμότητα ενυδάτωσης του τσιμέντου και στην αντίσταση σε διείδυση χλωριόντων ενώ, μέσω μελέτης ενυδάτωσης παστών τσιμέντου,

δεν σημειώθηκε η δημιουργία νέων προϊόντων ενυδάτωσης. Παρατηρήθηκε ότι έχει αρνητική δράση στην εργασιμότητα καθώς σημειώθηκε μικρή μείωση στην εξάπλωση των κονιαμάτων και στην κάθιση των αναμιγμάτων σκυροδέματος. Σε κάθε περίπτωση όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς περιορισμούς σε αναμίγματα με άμμο οποιασδήποτε περιεκτικότητας σε παιπάλη καθώς, μετά από στατιστική ανάλυση βρέθηκε ότι επιδρά ελάχιστα στις αντοχές και την εργασιμότητα κονιαμάτων σε σχέση με την αντίστοιχη επίδραση της παιπάλης που βρίσκεται στην άμμο.

- Το υψηλό pH που μετράται σε δείγματα νερού έκπλυσης (με στερεά ή διηθημένα) παρατηρήθηκε ότι δεν έχει καμία επίδραση σε όλες τις ιδιότητες των σκυροδεμάτων, κονιαμάτων και παστών τσιμέντου που μελετήθηκαν στην παρούσα διατριβή, εκτός από μικρή βελτίωση που σημειώνεται στις αντοχές αναμιγμάτων με σύνθετα τσιμέντα Πόρτλαντ σε συνδυασμό πάντα με την θετική επίδραση της λούμης.
- Όταν, λόγω κανονισμών, επιχειρείται μείωση του pH, το οξύ που θα χρησιμοποιηθεί για την εξουδετέρωση είναι ύψιστης σημασίας. Στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε HNO_3 σημειώθηκαν σημαντικές μειώσεις στις θλιπτικές αντοχές των τσιμεντοκονιαμάτων - έως και -12% - και ιδιαιτέρως για τιμές pH του νερού ανάμιξης μικρότερες από 7. Στην περίπτωση χρήσης HCl τα τσιμεντοκονιάματα εμφάνισαν υψηλότερες αντοχές - βελτιώσεις $\sim 5 \text{ MPa}$ σε σχέση με νερό δικτύου - , κάτι που αποδόθηκε τελικά στην επιταχυντική δράση των χλωριόντων στην ενυδάτωση του τσιμέντου και όχι στην μείωση του pH. Η βέλτιστη συγκέντρωση υπολογίστηκε ότι είναι 1500-2000 ppm Cl^- .
- Μελετήθηκε εκτενώς η δράση των χλωριόντων που βρίσκονται διαλελυμένα στο νερό ανάμιξης και εκτός από την σημαντική

βελτίωση των αντοχών εξάχθηκαν τα παρακάτω συμπεράσματα. Η αύξηση της περιεκτικότητας σε χλωριόντα μπορεί να οδηγήσει σε μικρή αύξηση της θερμότητας ενυδάτωσης ενώ επιδρά ελάχιστα στους χρόνους πήξης χωρίς να παρατηρείται κάποια συγκεκριμένη συσχέτιση μεταξύ των Cl^- και των χρόνων που μετρήθηκαν. Κατά την μελέτη ενυδάτωσης παρατηρήθηκε ότι τα χλωριόντα δεν δεσμεύτηκαν σε κάποιο προϊόν ενυδάτωσης σχηματίζοντας νέα ορυκτολογική φάση και έτσι εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα ιόντα παραμένουν σε διαλυτή μορφή στην ενυδατωμένη τσιμεντόπαστα. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται και από τα αποτελέσματα της δοκιμής αντίστασης σε διείσδυση χλωριόντων όπου στα κονιάματα που αναμίχθηκαν με νερό που περιείχε χλωριόντα παρατηρήθηκε ενίσχυση της ποσότητας των χλωριόντων που διείσδυσαν το σώμα του δοκιμίου με αποτέλεσμα αύξηση του κινδύνου διάβρωσης του οπλισμού σε περίπτωση εφαρμογής σε οπλισμένο σκυρόδεμα.

- Από τα παραπάνω προκύπτει το γενικότερο συμπέρασμα ότι το νερό έκπλυσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς επιπτώσεις ως έχει για την παραγωγή νέου σκυροδέματος καθώς καλύπτει τις προδιαγραφές των σχετικών προτύπων (90% των αντοχών του δοκιμίου αναφοράς και έως 25% μεταβολή στους χρόνους πήξης). Συγκεκριμένα προτείνεται το δίκτυο ανακύκλωσης νερού των ΜΕΣ να αποτελείται μόνο από δεξαμενές συλλογής νερού έκπλυσης εξοπλισμένες με σύστημα ανάδευσης ώστε να αποφεύγεται η καθίζηση της λούμης. Όταν το νερό ανάμιξης περιέχει λούμη, αναμένονται βελτιωμένες αντοχές (σε σκυροδέματα παρατηρήθηκε βελτίωση 2.5-8 MPa) χωρίς να επηρεάζονται αρνητικά άλλες ιδιότητες των σκυροδεμάτων. Η εργασιμότητα μπορεί να διορθωθεί με μικρή αλλαγή στη σύνθεση (αύξηση ποσότητας υπερ-ρευστοποιητή ή μείωση των λεπτόκοκκων αδρανών). Κρίνεται ότι το στάδιο της

εξουδετέρωσης δεν είναι απαραίτητο και παρά τα οφέλη που μπορεί να προσφέρει, στην περίπτωση χρήσης HCl , υπάρχει κίνδυνος αυξημένης διείσδυσης χλωριόντων στο σκυρόδεμα.

- Σε περίπτωση μικρής μονάδας που δεν μπορεί να διαθέσει σύστημα ανάδευσης προτείνεται απλή συλλογή του νερού έκπλυσης για παραγωγή νέου σκυροδέματος. Η λούμη που προκύπτει μπορεί ύστερα από ξήρανση (η οποία τους καλοκαιρινούς μήνες επέρχεται φυσικά) να χρησιμοποιηθεί ως φύλλερ άμμου σε μονάδες dry mix ή δευτερεύον συστατικό του τσιμέντου στην τσιμεντοβιομηχανία, λύση λιγότερο επιθυμητή λόγω μεταφορικού κόστους.
- Σύντομα, με την εφαρμογή του EN206 στις ελληνικές ΜΕΣ, οι μονάδες θα κληθούν να τηρήσουν το EN1008 όσον αφορά το νερό παραγωγής σκυροδέματος και θα καταργηθεί η εξουδετέρωση του νερού ανακύκλωσης μειώνοντας έτσι σημαντικά το κόστος του νερού. Η χρήση λούμης μέσα στο νερό, ενώ θεωρητικά επιτρέπεται από το EN1008, δεν εφαρμόζεται ούτε στην Ευρώπη κυρίως λόγω άγνοιας των επιδράσεων που μπορεί να υπάρξουν στο σκυρόδεμα. Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής αποσαφηνίζουν την δράση της με στόχο έναν νέο τρόπο αντιμετώπισης του θέματος της ανακύκλωσης του νερού έκπλυσης των οχημάτων μεταφοράς έτοιμου σκυροδέματος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΕΛΟΤ 345: 1979 «ΤΟ ΎΔΩΡ ΑΝΑΜΙΞΕΩΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ»

ΕΛΟΤ 345

Σ Χ Ε Δ Ι Ο

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ

HELLENIC

STANDARD

ELOT

345

ΕΛΟΤ

ΤΟ ΥΔΩΡ ΑΝΑΜΙΞΕΩΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

WATER FOR MIXING AND CURING OF CONCRETE

Κάθε ενδιαφερόμενος μπορεί να κάνει παρατηρήσεις, προτάσεις τροποποιήσεων κλπ. σχετικά με το σχέδιο αυτό. Οι παρατηρήσεις πρέπει να είναι αιτιολογημένες και να αποσταλούν το αργότερο στον ΕΛΟΤ μέχρι την

20 Μαΐου 1979

©ΕΛΟΤ ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΕΩΣ

Αχαρνών 313, 11145 Αθήνα

Το Σχέδιο Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 345 συντάχθηκε από την Τεχνική Επιτροπή Τ.Ε. 20 "ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ" που έχει συσταθεί και λειτουργεί στο Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, με βάση το σχέδιο προτύπου ΤΕΕ/ΕΝΟ 2001, "Το ύδωρ αναμίξεως και συντηρήσεως σκυροδέματος".

Στην Επιτροπή Τ.Ε. 20 συμμετέχουν εκπρόσωποι των ακόλουθων υπηρεσιών, οργανισμών, κλπ.

ΔΗΜΟΣΙΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

- Υπουργείο Δημοσίων Έργων
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ν.Π.Δ.Δ και ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος
- Ελληνικός Οργανισμός Τυποποιήσεως

ΣΥΛΛΟΓΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

- Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος
- Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών
- Σύνδεσμος Ελλήνων Βιομηχάνων

Αυτό το κείμενο είναι Σχέδιο και υπόκειται σε ενδεχόμενες αλλαγές. Γι' αυτό το λόγο δε συνιστάται η χρησιμοποίησή του ως Ελληνικού Προτύπου.

7723189

ΕΛΟΤ 345

ΤΟ ΥΔΩΡ ΑΝΑΜΙΞΕΩΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΝ**

Η παρούσα προδιαγραφή αφορά εις το ύδωρ προς παρασκευήν και συντήρησιν σκυροδέματος. Το θαλάσσιον ύδωρ δεν αποτελεί αντικείμενον της παρούσης προδιαγραφής.

2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ**2.1 Γενικές ποιοτικές απαιτήσεις.**

Το ύδωρ αναμίξεως και συντηρήσεως σκυροδέματος οφείλει να είναι εν γένει καθαρόν και να μην περιέχη συστατικά δυνάμενα να προκαλέσουν δυσμενείς επιρροάς επί της αντοχής και της ανθεκτικότητος του σκυροδέματος εις διάρκειαν ή δυνάμενα να παραβιάσουν την προστασίαν του οπλισμού έναντι διαβρώσεως. Ενδεχομένως χρησιμοποιούμενα επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα δεν πρέπει να προέρχονται από τέλματα ή από βιομηχανικά απόβλητα ούτε να περιέχουν ζωικά απορρίμματα, σάκχαρα, ελαιώδεις ή λιπαρές ουσίες ή ανθρακικό κάλιο. Ειδικώτερον οφείλουν να πληρούνται αι απαιτήσεις της παρ.2.2.

2.2 Το προς παρασκευήν σκυροδέματος ύδωρ οφείλει να είναι ανεγνωρισμένως πόσιμον, ήτοι κοινοτικού δικτύου ή πηγής ποσίου ύδατος, που χρησιμοποιείται επί αρκετόν χρονικόν διάστημα ή άλλως να πληροί τας κάτωθι απαιτήσεις κατά περιπτώσιν.

2.2.1 Προεντεταμένον σκυρόδεμα.

Δια το ύδωρ σιμεντενέσεων πρέπει τούτο να πληροί απαραίτητως τας απαιτήσεις της στήλης (α) του πίνακος 1.

Ειδικώτερον για την παρασκευή αυτού τούτου τού προεντεταμένου σκυροδέματος, επιτρέπεται η χρήσις ύδατος εφ' όσον τα ποσοστά των εν αυτώ περιεχομένων βλαπτικών ουσιών είναι κατώτερα εκείνων της στήλης "α" του πίνακος 1. Εάν τα ποσοστά μιάς ή περισσοτέρων των ως άνω βλαπτικών ουσιών είναι μεγαλύτερα των ποσοστών της στήλης "α" του πίνακος 1, ουχί δε μεγαλύτερα εκείνων της στήλης "β", επιτρέπεται η χρήσις του ως άνω ύδατος υπό τους κάτωθι δύο όρους που ισχύουν συγχρόνως αμφότεροι:

I. Υφίσταται λίαν μακροχρόνιος πείρα αναμφισβήτως ικανοποιητικής συμπεριφοράς έργων εκ προεντεταμένου σκυροδέματος εις τα οποία το ύδωρ τούτο εχρησιμοποιήθη.

II. Η θλιπτική αντοχή του διά του εξεταζομένου ύδατος παρασκευαζομένου σκυροδέματος εις ηλικίας 7 ημερών, 28 ημερών και 6 μηνών δεν υπολείπεται περισσότερον του 10% της θλιπτικής αντοχής του αυτού σκυροδέματος παρασκευαζομένου διά ποσίου ύδατος. Η σύνθεσις του ούτως εξεταζομένου σκυροδέματος οφείλει να συμπίπτη προς την σύνθεσιν του εν έργω παρασκευασθησμένου σκυροδέματος.

Εν πάση περιπτώσει απαγορεύεται η χρήσις ύδατος εφ' όσον τα ποσοστά μιάς ή περισσοτέρων των εν αυτώ περιεχομένων βλαπτικών ουσιών είναι ανώτερα εκείνων της στήλης "β" του πίνακος 1.

2.2.2 Σιδηροπαγές σκυρόδεμα ή άοπλον σκυρόδεμα ειδικών απαιτήσεων*.

Επιτρέπεται η χρήση ύδατος εφ' όσον τα ποσοστά των εν αυτώ περιεχομένων βλαπτικών ουσιών είναι κατώτερα εκείνων της στήλης "α" του πίνακος 1. Εάν τα ποσοστά μιάς των ως άνω βλαπτικών ουσιών είναι μεγαλύτερα των ποσοστών της στήλης "α" του πίνακος 1, ουχί δε μεγαλύτερα εκείνων της στήλης "β", επιτρέπεται η χρήση του ως άνω ύδατος υπό τον όρον ότι υφίσταται μακροχρόνιος πείρα ικανοποιητικής συμπεριφοράς έργων εκ σιδηροπαγούς σκυροδέματος εις τα οποία το ύδωρ τούτο εχρησιμοποιήθη ή, ελλείψει τοιαύτης πείρας, υπό τον όρο ότι η θλιπτική αντοχή του διά του εξεταζομένου ύδατος παρασκευαζομένου σκυροδέματος εις ηλικίας 7 ημερών, 28 ημερών και 6 μηνών δεν υπολείπεται περισσότερον του 10% της θλιπτικής αντοχής του αυτού σκυροδέματος παρασκευαζομένου διά ποσίου ύδατος. Η σύνθεσις του ούτως εξεταζομένου σκυροδέματος οφείλει να συμπίπτη προς την σύνθεσιν του εν έργω παρασκευασθησμένου σκυροδέματος.

Εις περίπτωσιν καθ' ήν τα ποσοστά μιάς εν τω ύδατι περιεχομένων βλαπτικών ουσιών είναι ανώτερα εκείνων της στήλης "β" του πίνακος 1, η χρήση του ύδατος επιτρέπεται υπό την σύγχρονον προϋπόθεσιν αμφοτέρων των ως άνω δύο όρων (πείρας και αντοχής).

2.2.3 Άοπλον σκυρόδεμα άνευ ειδικών απαιτήσεων.

Επιτρέπεται η χρήση ύδατος υπό την προϋπόθεσιν επαρκούς πείρας εις την χρήση τούτου διά την παρασκευήν άοπλον σκυροδεμάτων ή άλλως, εφ' όσον τα ποσοστά της στήλης "β" του πίνακος 1 ή, εφ' όσον η θλιπτική αντοχή του διά του εξεταζομένου ύδατος παρασκευαζομένου σκυροδέματος εις ηλικίας 7 ημερών, 28 ημερών και 6 μηνών δεν υπολείπεται περισσότερων του 10% της θλιπτικής αντοχής του αυτού σκυροδέματος παρασκευαζομένου διά ποσίου ύδατος. Η σύνθεσις του ούτως εξεταζομένου σκυροδέματος οφείλει να συμπίπτη προς την σύνθεσιν του εν έργω παρασκευασθησμένου σκυροδέματος.

* Υπό τον όρον τούτον νοούνται λόγου χάριν ανεπίχριστον σκυρόδεμα, ή καταπονούμενον σκυρόδεμα άοπλον.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΚΘΕΣΙΣ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Διά την σύνταξιν της παρούσης προδιαγραφής, η Επιτροπή ευρέθη ενώπιον ιδιαιτέρως ανεπαρκών ή αλληλοσυγκρουομένων απόψεων των κανονισμών διαφόρων χωρών και της διεθνούς βιβλιογραφίας. Παρά ταύτα, εκρίθη σκόπιμον να δοθούν λεπτομερέστεραι οδηγίαι, αντι παλαιότερων λεκτικών μάλλον υποδείξεων, παρ' όλον ότι η υφισταμένη σχετική πείρα δεν δύναται να θεωρηθή ως επαρκής.

Εξ άλλου, το θέμα της χρησιμοποίησης των θαλασσιών υδάτων ως υδάτων αναμίξεως σκυροδέματος αποτελεί ιδιαίτερον θέμα, η διατύπωσις του οποίου θα βραδύνη, λόγω της έπι αυξημένης ασαφείας του θέματος τούτου και εν αναμονή αποτελεσμάτων σχετικών ερευνών αι οποίαί εκτελούνται από ετών εν Ελλάδι.

2 ΠΕΡΙ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ

2.1 Ως μέγιστον όριον οξύτητος εκπεφρασμένης εις CaCO_2 εγένετο δεκτή η τιμή 0,01%. Τα μόνα επί του θέματος ανευρεθέντα στοιχεία εκ της βιβλιογραφίας είναι τα όρια τα οποία δίδονται εις τας προδιαγραφάς των Πολιτειών Florida και Illinois των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής.

Η προδιαγραφή της Πολιτείας Florida δέχεται τιμήν 0,05% εις CaCO_3 (έκδοσις 1959, "Standard specifications for road and bridge construction"), ή δέ προδιαγραφή της Πολιτείας Illinois δέχεται 0,005% εις CaCO_3 (έκδοσις 1958, "Standard specifications for road and bridge construction").

Το πρώτον όριον εθεωρήθη λίαν ευρύ, το δέ δεύτερον εξαιρετικώς αυστηρόν. Έχοντες δέ εκ παραλλήλου υπ' όψιν τόν αποτελούντα τό αντικείμενον του παραρτήματος Β πίνακα αποτελεσμάτων αναλύσεων φυσικών υδάτων εκ διαφόρων περιοχών της Ελλάδος (δείγματα 170) εκ του οποίου καταφαίνεται ότι τα πλείστα των εξετασθέντων δειγμάτων έχουν αλκαλικήν αντίδρασιν και συνεπώς δύναται ακινδύνως, τουλάχιστον από απόψεως οξύτητος, να χρησιμοποιηθούν πρός παρασκευήν σκυροδέματος, θεωρούμεν ότι τό τεθέν όριον 0,01% δύναται να αποτελέση μίαν πρακτικήν τιμήν επιτρεπομένης οξύτητος διά τας ελληνικάς συνθήκας.

Σημειωτέον, ότι τό υπό της Portland Association ("Mixing water for concrete 1966") αναφερόμενον όριον των 10.000 ppm (=1%) διά αποκλειστικώς ανόργανα οξέα, δέν ελήφθη υπ' όψιν ενταύθα, δοθέντος ότι κατά τόν τρέχοντα έλεγχον οξύτητος δέν ζητείται η διάκρισις οργανικών και ανοργάνων οξέων. Κατά ταύτα, τα υιοθετηθέντα συντηρητικώτερα όρια σκοπούν περισσότερον εις την έναντι οργανικών οξέων προστασίαν, καίτοι ουδεμία περί τούτου διάκρισις γίνεται.

2.2 Ως μέγιστον όριον αλκαλικότητος, εκπεφρασμένης εις CaCO_3 , εγένετο δεκτή η τιμή 0,05%. Τα μόνα επί τού θέματος ανευρεθέντα στοιχεία εκ της βιβλιογραφίας είναι τά όρια άτινα αναγράφονται εις Προδιαγραφάς των Πολιτειών Florida και Illinois, περί ών και ανωτέρω. Εις την πρώτην αναφέρεται μέγιστον όριον 0,05%, εις δέ την δευτέραν 0,025%.

Δεδομένου ότι εκ τού αναφερθέντος ανωτέρω πίνακος αποδεικνύεται, ότι πολλά εκ των εξετασθέντων Ελληνικών δειγμάτων έχουν αλκαλικήν αντίδρασιν υπερβαίνουσαν τό όριον τού 0,025%, δεχόμεθα τό όριον τού 0,05%, επί τη βάσει και των συμπερασμάτων της παραγράφου 2.9.

ΕΛΟΤ 345

ΠΙΝΑΞ 1
Κρίσιμα Όρια Βλαπτικών Ουσιών

Α/Α	Ιδιότητες - Συστατικά	Όρια (ppm)*	
		α	β
1	Ολική οξύτης, εκπεφρασμένη εις ανθρακικών ασβέστιον (CaCO_3) (μετρουμένη ως προς δείκτην φαιναλοφθαλείνην)	100 ^(α)	500 ^(β)
2	Ολική αλκαλικότητα, εκπεφρασμένη εις ανθρακικών ασβέστιον (CaCO_3) (μετρουμένη ως προς δείκτην ηλιανθίνην)	500 ^(c)	-
3	Ανόργανα στερεά (προκειμένου περί αόπλου και σιδηροπαγούς σκυροδέματος)	3000	15000
4	Ανόργανα στερεά (προκειμένου περί προεντεταμένου σκυροδέματος)	800	800
5	Οργανικά στερεά	200	500
6	Θειικά άλατα εκπεφρασμένα εις θεικόν νάτριον (Na_2SO_4) (προκειμένου περί αόπλου και σιδηροπαγούς σκυροδέματος)	1500	3000
7	Θειικά άλατα εκπεφρασμένα εις θεικόν νάτριον (Na_2SO_4) (προκειμένου περί προεντεταμένου σκυροδέματος)	400	400
8	Χλωριούχα άλατα εκπεφρασμένα εις χλωριούχον νάτριον (NaCl) (προκειμένου περί αόπλου και σιδηροπαγούς σκυροδέματος)	2000	15000
9	Χλωριούχα άλατα εκπεφρασμένα εις χλωριούχον νάτριον (NaCl) (προκειμένου περί προεντεταμένου σκυροδέματος)	400	400
10	Υπερμαγγανικών κάλιον (KMnO_4) (προκειμένου περί ωπλισμένου σκυροδέματος μόνον)	50	100
11	Λιπαρά και σακχαρώδεις ουσίες	εντελώς απηλλαγμένον	

* (ppm) = μέρη βάρους ανά εκατομμύριον

Ο προσδιορισμός των ως άνω συστατικών θα γίνεται ως ακολούθως:

1-5, κατά την Αμερικανικήν Πρότυπον μέθοδον Α.Α.Σ.Η.Τ.Ο/Τ26 μέχρις εκδόσεως του σχετικού Ελληνικού Προτύπου

6-11, κατά τās ανεγνωρισμένας μεθόδους της Αναλυτικής Χημείας.

(α) Διά την πρώτην διερεύνησιν καταλληλότητος δύναται να γίνεται χρήσις μετρήσεως pH, οπότε το αντίστοιχον κατώτερον όριον είναι 6.

(β) Ομοίως ως άνω, με κατώτερον όριον pH = 5

(c) Ομοίως ως άνω, με ανώτερον όριον pH = 9.

Εις πάσας τās ανωτέρω περιπτώσεις, η τελική απόφασις καταλληλότητος θα λαμβάνεται διά των χημικών μετρήσεων περί των οποίων αι γραμμάι 1 και 2 του Πίνακος 1.

ΕΛΟΤ 345

2.3 Διά τα ανόργανα στερεά, προκειμένου περί αόπλου και σιδηροπαγούς σκυροδέματος υιοθετείται ως όριον στήλης "α" η τιμή 3.000 rrm ως εις την προδιαγραφήν της Πολιτείας Illinois, καίτοι εις την προδιαγραφήν της Πολιτείας Florida υιοθετείται όριον 800 rrm, τό μέν διότι έκ των 170 εξετασθέντων υδάτων ευρέθησαν 20 υπερβαίνοντα τό όριον των 800 rrm, (χωρίς πείρα χρήσεως αυτών να είναι δυσμενής), τό δε, έξ άλλου, λόγω τού γεγονότος ότι μόνον 2 εκ των 170 εξετασθέντων ελληνικών δειγμάτων υπερβαίνουν τό όριον των 3.000 rrm. Το όριον στήλης "β" επελέγη βάσει τού κατωτέρου ορίου τού Γαλλικού Κανονισμού (9).

Εξ' άλλου, όμως, προκειμένου περί προεντεταμένου σκυροδέματος, γίνεται δεκτό τό συντηρητικώτερο όριον των 800 rrm έν αναφορά πρός τās ειδικās διατάξεις των παραγράφων 2.5 και 2.6 περί προεντεταμένου σκυροδέματος.

2.4 Διά τα οργανικά στερεά, υιοθετείται ως όριον στήλης "β" 500 rrm, ως απαιτείται εις την προδιαγραφήν της Πολιτείας Florida. Εξ άλλου, μόνον έν έκ των 170 δειγμάτων τού μνημονευθέντος πίνακος ευρέθη έχον στερεά οργανικά ίσα πρός 400 rrm. Τό όριον στήλης "α" έκ 200 rrm επιλέγεται ως εις την προδιαγραφήν της Πολιτείας Illinois, υπερβαίνεται δε μόνον υπό 4 δειγμάτων Ελληνικών υδάτων. Συναφώς αναφέρεται καί τό ενδεικτικόν όριον ικανοποιητικής περιεκτικότητας εις συνολικά στερεά 2.000 rrm κατά Portland Cement Association (ένθα ανωτέρω), έναντι τού ημετέρου ορίου "α" συνολικών στερεών, ίσου πρός 3.000 + 200 = 3.200 rrm διά σιδηροπαγές καί 800 + 200 = 1.000 rrm διά προεντεταμένον σκυρόδεμα.

2.5 Διά τα θειικά άλατα, υιοθετείται ως όριον στήλης "α" τό της προδιαγραφής της Πολιτείας California (16) όριον των 1500 rrm. Σημειούται δε ότι έκ των ελληνικών δειγμάτων έν μόνον ευρέθη περιέχον θειικά άλατα εις ποσοστόν ανώτερον των 1000 rrm. Επί τούτοις, καί τό αντίστοιχόν όριον τού Ελβετικού Κανονισμού (10) είναι ίσον πρός 1500 rrm εις Na₂SO₄. Σημειούται πάντως ότι, κατά τόν Czernih (σελίς 107) (4), περιεκτικότης ύδατος εις SO₃ ίση πρός 1200 rrm είναι τελείως αβλαβής.

Ως όριον στήλης "β" υιοθετήθη μία ενδιάμεσος τιμή μεταξύ τού ανεκτού ποσοστού 10.000 rrm, όπερ μνημονεύεται εις τās δημοσιεύσεις (3) και (15) της Portland Cement Association (P.C.A.), καί τού μάλλον συντηρητικού ορίου των 2200 rrm της νεωτέρας (1964) προδιαγραφής της Πολιτείας California (16) διά τό άοπλον σκυρόδεμα. Τέλος, προκειμένου περί προεντεταμένου σκυροδέματος, καί μέχρις αποκτήσεως ακριβεστέρων στοιχείων, γίνεται δεκτή ή μάλλον συντηρητική απαίτησις της παλαιότερας προδιαγραφής (1958) της Πολιτείας California (17) ως υποχρεωτικού ορίου 400 rrm.

2.6 Προκειμένου περί των χλωριόντων (Cl⁻) η Επιτροπή έλαβε κατ' αρχήν υπ' όψιν διά την στήλην "α" τά όρια των περί ών ανωτέρω προδιαγραφών των Αμερικανικών Πολιτειών California 1958: 3000 rrm, California 1964: 1600 rrm, Illinois 1958: 1000 rrm, των οποίων την συντηρητικότητα δέν δύναται νά συμμερισθί. Πράγματι, η νεωτέρα προδιαγραφή της Πολιτείας California ανέχεται δε' αυτό τούτο τό προεντεταμένον σκυρόδεμα όριον 1080 rrm. Όθεν, κατ' αναλογίαν ευαισθησίας, θα ηδύνατο να υιοθετηθί διά τό σιδηροπαγές σκυρόδεμα όριον διπλάσιας τάξεως. Εξ άλλου, η συνήθης ανοχή περιεκτικότητος τού σιδηροπαγούς σκυροδέματος εις CaCl₂, περί ής κατωτέρω, οδηγεί εις αντιστοιχίαν ανεκτού ποσοστού NaCl ίσην πρός 20.000 rrm περίπου. Διά ταύτα η Επιτροπή θεωρεί ως ικανοποιητικόν όριον την τιμήν 2.000 rrm. Ειδικώτερον, ως πρός τό όριον "β", υιοθετήθη τιμή μικρότερα της υπό της Portland Cement Association (P.C.A.) αναφερομένης, διά λόγους κινδύνου διαβρώσεως τού οπλισμού σιδηροπαγούς σκυροδέματος. Ούτω, η Επιτροπή εβασίσθη εις την ευρέως επικρατούσα άποψιν (βλέπε, επί παραδείγματι, British Standard Code of Practice CP 200 B) καθ' ήν, έναντι τού ως άνω κινδύνου, επιτρέπεται η παρουσία CaCl₂ (περιεκτικότητος 70%) εις ποσοστόν 2% κατά βάρος τσιμέντου. Επί τούτοις, λαμβανομένου υπ' όψιν συνήθους λόγου ύδατος πρός τσιμέντον ίσου πρός τσιμέντον ίσου πρός 0,65, η αντίστοιχος επιτρεπομένη περιεκτικότης CaCl₂, αναγομένη εις τό ύδωρ αναμίξεως, ευρίσκεται ίση πρός

$$2\% \times 0,70 : 0,65 = 2,15\%$$

οπότε η αντίστοιχος περιεκτικότης NaCl θα ανέρχεται εις

$$2,15\% \times \left(\frac{2 \times 35,5}{40 + 2 \times 35,5} \right) \times \left(\frac{23 + 35,5}{35,5} \right) = 2,26\%$$

Επειδή όμως το Cl υπό την μορφήν NaCl είναι οξειδωτικώτερον ή υπό μορφήν CaCl₂ (U. Evans: "Corrosion and Oxidation of Metals", 1960, σελίς 304), η Επιτροπή, ελλείψει ακριβεστέρων στοιχείων, έκρινε σκόπιμον νά περιορίσει την τιμήν ταύτην εἰς τὰ δύο τρίτα. Τοιουτοτρόπως προέκυψε τὸ ἀνώτερον ὅριον στήλης "β"

$$\frac{2}{3} \times 2,26\% = 1,5\% = 15.000 \text{ ppm}$$

επιβαλλόμενον ἐναντι τοῦ κινδύνου διαβρώσεως τοῦ χάλυβος σιδηροπαγούς σκυροδέματος.

Εἰδικώτερον ὅσον ἀφορὰ εἰς τὸ προεντεταμένον σκυρόδεμα, υιοθετήθη τὸ ὅριον τῶν 400 ppm εἰς NaCl τῆς προδιαγραφῆς τῆς Πολιτείας California (1958), ὅπερ δὲν ἀπέχει σημαντικῶς τῆς νεωτέρας ἀπαιτήσεως τῶν Γερμανικῶν Ὁδηγιῶν (Korrosionsschutz bei Spannbeton - und Stahlbetonbauteilen, Beton Kalender, 1968, 1, σελίς 831) περί 300 ppm εἰς Cl⁻ ἤτοι 495 ppm εἰς NaCl, καὶ τῆς ἀπαιτήσεως τῆς ἀντιστοίχου Ἀμερικάνικης προδιαγραφῆς τοῦ American Concrete Institute (ACI, Building Code Requirements for Reinforced Concrete (proposed Revision), 1970) ἀπαιτούσης 250 ppm εἰς Cl⁻. Ἐπὶ τούτοις, ἡ Επιτροπή δὲν υιοθέτησε τὸ ὑψηλότερον ὅριον τῶν 1080 ppm τῆς νεωτέρας (1964) προδιαγραφῆς τῆς Πολιτείας California.

2.7 Προκειμένου περί σιδηροπαγούς ἢ προεντεταμένου σκυροδέματος, υιοθετεῖται ἡ ἀπαιτήσις τοῦ Ἑλβετικοῦ Κανονισμοῦ (ἐνθα ἀνωτέρω) περί ἀνωτέρου ὁρίου περιεκτικότητος ὕδατος εἰς KMnO₄, ἴσου πρὸς 100 ppm. Σημειοῦται ὅτι τὸ KMnO₄, οὐσία ἐντόνως οξειδωτικῇ, οὐδεμίαν ἐπίδρασιν ἔχει ἀπὸ τῆς ἀντοχῆς τοῦ σκυροδέματος (βλέπε "Admixtures for concrete", Cement and Concrete Association, 1968, σελίς 53).

2.8 Τέλος, καθ' ὅσον ἀφορὰ τὴν περιεκτικότητα εἰς λιπαράς καὶ σακχαρώδεις οὐσίας, ἡ Επιτροπή ἀπέφυγε τὴν ἀναγραφὴν ποσοτικῶν περιορισμῶν, ἀφ' ἐνός μὲν λόγω τῶν ἀντιλεγόμενων ἀπόψεων τῆς βιβλιογραφίας, ἀφ' ἐτέρου δὲ λόγω τῆς ἐξαιρετικῆς ευαισθησίας τῆς διαδικασίας τῆς πῆξεως τοῦ τσιμέντου ἐναντι τῆς παρουσίας καὶ ελαχιστοτάτων ποσοτήτων ἐκ τῶν ὡς ἀνω οὐσιῶν. Ἀλλωστε, αἱ οὐσίαι αὗται δὲν ἔχουν φυσικὴν προέλευσιν ἐντὸς τῶν ὑδάτων καὶ ἡ ἐναντι αὐτῶν προστασία δύναται νά εἶναι πλήρης (καθαρότης δοχείων κλπ.)

2.9 Σχόλια ἐπὶ τῆς συμπληρωματικῆς ἐρεῦνης τοῦ Κ.Ε.Δ.Ε. ἀφορώσης εἰς τὰς ἐπὶ τῆς ἀντοχῆς κονιάματος ἐπιπτώσεις τῆς χρήσεως διαφόρων φυσικῶν ὑδάτων μὲ ἰδιότηας καὶ περιεκτικότητας συστατικῶν εὐρισκομένων πλησίον τῶν ὁρίων τῆς παρούσης προδιαγραφῆς:

2.9.1 Περιγραφή

Ἐκ τῶν ἐξετασθέντων ἀρχικῶς 170 δειγμάτων ὑδάτων, ὡς πρὸς τὴν περιεκτικότητα τούτων εἰς συστατικά ἐπιβλαβῆ διὰ τὸ σκυρόδεμα, διεχωρίσθησαν ἐπτά δείγματα (προελεύσεως ὡς κάτωθι), τῶν ὁποίων αἱ περιεκτικότητες εἰς ἐπιβλαβῆ συστατικά ἐπλησίαζον ἢ ὑπερέβαινον τὰ ὅρια τῆς στήλης "α" τοῦ πίνακος 1 τῆς παρούσης προδιαγραφῆς.

1. Φρέατος θέσεως Δελφίνια Κερκύρας (Περ. Ἐργ. Ἰωαννίνων)
2. Χωρίου Πουλίτσα (χ.θ.16+700 Κόρινθος - Κιάτον) φρέαρ (1ον Γ.Ε.Κ.Ο. Ξυλόκαστρον)
3. Ὑδραγωγείου Κορησσού (Περ. Ἐργ. Κοζάνης)
4. Ὑδραγωγείου πάλεως Σχηματαρίου (ΔΤΥΝ Βοιωτίας)
5. Ποταμοῦ παρὰ τὸ χωρίον Θερμά Νιγρίτης (ΔΤΥΝ Σερρών)
6. Λίμνης Ἀμβρακίας (θέσις λήψεως γέφυρα Σαμαρίου) (ΔΤΥΝ Αἰτωλοακαρνανίας)
7. Φρέατος λατομεῖου Ρεθύμνης (χ.θ. 10 + 500 (Περ. Ἐργ. Ηρακλείου).

ΕΛΟΤ 345

Εκ των νέων δειγμάτων των υδάτων της ως άνω προελεύσεως παρουσίασαν ηυξημένες περιεκτικότητας βλαπτικών συστατικών τά κάτωθι:

- α. Το του Υδραγωγείου πόλεως Σχηματαρίου: με ολική αλκαλικότητα 17,75 ml N/10 HCl
- β. Το του φρέατος λατομείου Ρεθύμνης: συνολικά στερεά ανόργανα και οργανικά 2659 ppm, οργανικά 294 ppm και χλωριόντα 1123 ppm
- γ. Το της λίμνης Αμβρακίας: θειικά 345 ppm, χωρίς όμως και αυτά να υπερβαίνουν τά όρια της στήλης "β" του πίνακος 1 της παρούσης προδιαγραφής.

Διά των επτά ως άνω δειγμάτων παρεσκευάσθησαν:

- α) δοκίμια τσιμεντοκονιάματος τά οποία υπεβλήθησαν εις έλεγchon της αντοχής εις εφελκυσμόν εκ κάμψεως και εις θλίψιν
- β) τσιμεντοπολτός, με τό υπολογισθέν δι' εκάστην περίπτωση ύδωρ κανονικής συνεκτικότητας, και προσδιωρίσθη ό χρόνος πήξεως του τσιμέντου.

Τα αποτελέσματα αντιστοιχών δοκιμών δι' απεσταγμένου ύδατος και ποσίμου τοιούτου Ε.Ε.Υ. Αθηνών, εχρησιμοποιήθησαν διά την σύγκρισιν.

2.9.2 Συμπεράσματα.

α. Εκ των αποτελεσμάτων της ερεύνης ταύτης δέν προέκυψαν μεταβολαι αντοχών εσκληρυμένου κονιάματος, πέραν εκείνων αι οποίαι παρουσιάζονται έν τη πράξει λόγω συνήθων αιτών ήσσονος πειραματικών αποτελεσμάτων.

β. Ειδικώτερον, καθ' όσον αφορά εις τόν χρόνον πήξεως τσιμέντου, η Επιτροπή ειχεν αρχικώς περιλάβει εις την παράγραφον 2.1 και τό ακόλουθον κείμενον:

"Υδωρ συνεπαγόμενον μεταβολήν του χρόνου ενάρξεως πήξεως του χρησιμοποιηθησόμενου τσιμέντου (ελεγχόμενου επί κανονικού τσιμεντοπολτού) μεγαλυτέραν της $\pm 1/2$ ώρας, έν πάση δε περίπτωση, συνεπαγόμενον χρόνον ενάρξεως πήξεως μικρότερον των 60 λεπτών ή μεταβολή χρόνου λήξεως πήξεως μεζονα των ± 3 ωρών, θεωρείται ως ακατάλληλον". Τό ως άνω κείμενον ηπολογείτο αρχικώς ως εξής:

"Καθ' όσον αφορά εις την επιτρεπομένην μεταβολήν του χρόνου ενάρξεως πήξεως γίνεται δεκτή η μοναδική επί τούτου έν τη διεθνεί βιβλιογραφία απαίτησις του Βρεττανικού Κανονισμού (B.S 3148/1959) ± 30 λεπτά. Διά δε τας επιτρεπομένας μεταβολάς του χρόνου λήξεως πήξεως, επί του οποίου ό ανωτέρω Βρεττανικός Κανονισμός ουδέν αναφέρει, γίνεται δεκτόν τό διάστημα ± 1 ώρα, όπερ αναφέρεται εις τούς Αμερικανικούς Κανονισμούς διά τά ρευστοποιητικά (A.S.T.M. C 494 - 71, "περί προσθέτων").

Οπωσδήποτε, προσετέθη και απαίτησις ελαχίστου απολύτου χρόνου ενάρξεως πήξεως, ό οποίος οφείλει νά μήν είναι μικρότερος του χρόνου, του απαιτουμένου υπό του κανονισμού, διά τά τσιμέντα, έν γένει, ήτοι 60 λεπτά".

Εκ της ανωτέρω διατυπώσεως αποδεικνύεται ότι δέν διετίθεντο επαρκή στοιχεία βιβλιογραφίας επί του θέματος. Εκτοτε προστετέθη και έτερον δεδομένον, τό οποίον δυσχεραίνει περαιτέρω την διατύπωσιν συγκεκριμένων ανεκτών ορίων έν σχέσει με τόν χρόνον πήξεως.

Φυσικά ύδατα εκ διαφόρων σημείων της Επικρατείας, περί ών ανωτέρω, των οποίων αι ιδιότητες ευρίσκοντο εντός των ορίων της παρούσης προδιαγραφής, παρουσίασαν μεταβολάς χρόνου ενάρξεως πήξεως μέχρι και 1 ώρας.

Κατόπιν πάντων των ανωτέρω και μέχρι συστηματικώτερας επαναλήψεως των ως άνω δοκιμών, η Επιτροπή έκρινε σκόπιμον όπως μή διατυπωθεί εις τό κείμενον της προδιαγραφής, η σχετική περί χρόνου πήξεως πρόβλεψις.

ΕΛΟΤ 345

2.10 Σημειώσεις

Είς τās εκτελεσθείσας υπό τού ΚΕΔΕ αναλύσεις υδάτων:

α. Όταν η αλκαλικότης εκφρασθή εις χιλιοστόλιτρα δεκατοκανονικού διαλύματος υδροχλωρικού οξέος (ml N/10 HCl) επί 200 γραμμαρίων ύδατος, η αντιστοιχία πρὸς αλκαλικότητα εκφραζομένην εις μέρη βάρους ανά εκατομμύριον ανθρακικού ασβεστίου (ppm CaCO₃) ευρίσκεται ὡς κάτωθι:

$$1 \text{ ml N/10 HCl} = 25 \text{ ppm CaCO}_3$$

$$1 \text{ ppm CaCO}_3 = 0,04 \text{ ml N/10 HCl}$$

β. Όταν η οξύτης εκφρασθή εις χιλιοστόλιτρα δεκατοκανονικού διαλύματος υδροξειδίου τού νατρίου (ml N/10 NaOH) επί 200 γραμμαρίων ύδατος, η αντιστοιχία πρὸς οξύτητα εκφραζομένην εις μέρη βάρους ανά εκατομμύριον ανθρακικού ασβεστίου (ppm CaCO₃) ευρίσκεται ὡς κάτωθι:

$$1 \text{ ml N/10 NaOH} = 25 \text{ ppm CaCO}_3$$

$$1 \text{ ppm CaCO}_3 = 0,04 \text{ ml N/10 NaOH}$$

γ. Όταν η περιεκτικότης εις θειϊκά ἄλατα εκφρασθή εις μέρη βάρους ανά εκατομμύριον θειϊκῶν ιόντων (SO₄⁻), η αντιστοιχία πρὸς μέρη βάρους ανά εκατομμύριον θειϊκού νατρίου (Na₂SO₄) ἔχει ὡς κάτωθι:

$$1 \text{ ppm Na}_2\text{SO}_4 = 0,676 \text{ ppm SO}_4^-$$

$$1 \text{ ppm SO}_4^- = 1,479 \text{ ppm Na}_2\text{SO}_4$$

δ. Όταν η περιεκτικότης εις χλωριούχα ἄλατα εκφρασθή εις μέρη βάρους ανά εκατομμύριον χλωριόντων (Cl⁻), η αντιστοιχία πρὸς μέρη βάρους ανά εκατομμύριον χλωριούχου νατρίου (NaCl) ἔχει ὡς κάτωθι:

$$1 \text{ ppm NaCl} = 0,607 \text{ ppm Cl}^-$$

$$1 \text{ ppm Cl}^- = 1,648 \text{ ppm NaCl.}$$

3 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙΣΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. "Standard specification for road and bridge construction ", State of Florida, 1959
2. "Standard specifications for road and bridge construction", State of Illinois, 1958
3. Concrete Information "Mixing water for concrete", Portland Cement Association, 1966
4. Czernin:"Zement - Chemie fur Bauingenieuren" Springer
5. British Standard 3148/1959
6. British Standard Code of Practice CP 200 B/1966
7. ASTM C 494-71 "Chemical admixtures for concrete".
8. "Resistance du beton aux eaux agressives", Centre Scientifique et Technique de la Construction, Note 57, Bruxelles 1966

ΕΛΟΤ 345

9. "Eau de gachage pour beton de construction", Norme Francaise, P 18-303, 1941
10. "Norm für die Berechnung, Konstruktion, und Ausführung von Bauwerken aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton", Schweizerischer Ingenieur und Architekten - Verein, 1968 (παράγραφος 15.2)
11. U. Evans: "Corrosion and oxidation of metals", E. Arnold, London 1960
12. "Korrosionsschutz bei Spannbeton und Stahlbetonbauteilen", Beton Kalender 1969
13. "Admixtures for concrete", Cement and Concrete Association, 1968, (μετάφρασις έκ τής ολλανδικής του "Toevoegingen van Betonspecie")
14. ACI Building Code Requirements for Reinforced Concrete (proposed Revision), Journal ACI Febr. 1970
15. H. Steinour: "Concrete mix water", Portland Cement Association, 1960
16. "Standard specifications", State of California, Highway Transp. Agency, 1964
17. "Standard specifications", State of California, Highway Transp. Agency, 1958.

ΕΛΟΤ 345

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΙΝΑΞ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΕΚ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΝ ΚΟΖΑΝΗΣ

α/α	Προέλευσις Δείγματος	Ολική αλκαλικότης Αντικ. HCl, με N/10 HCl	ΡΗ	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδια ppm	Θειικά ppm	Αμμοκίαινα ppm	Συνολική αλκαλικότης εξ Γερμ. βεβαίως	Ειδικόν βάρος εξ 15 °C.	Σκληρότα (Αντίδ. Felling)	Μακροσκοπικαί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαύγεια	Χρώμα
I. ΑΠΟΣΤΟΛΗ														
1	Υδραγωγείον Πάλ. Σιατίστης	5,80	7,8	185	36,0	0,0	28,8	0,00	9,10	1,00034	Αρνητική	Ασμίον	Διαυγές	Άχρουν
2	Υδραγωγείον Πάλ. Πτολεμαίδος	4,75	7,8	184	28,1	5,0	40,8	0,00	7,28	1,00013	"	"	"	"
3	Φυσική πηγή 3χλμ. από Καζάνης προς Καστοριά	11,40	8,0	331	31,7	5,0	45,6	0,00	17,36	1,00053	"	"	"	"
4	Ποταμός Αλιάκμων (εξέθ. γέφυρας προς Γρεβενά	6,40	7,9	270	21,0	2,0	48,0	56,00	11,90	1,00014	"	"	Θολόν	Υποκίτρ.
II. ΑΠΟΣΤΟΛΗ														
5	Χαλκίον Κρυσταλλοπηγή	0,80	6,8	40	5,0	1,0	0,0	0,00	2,24	1,00010	"	"	Διαυγές	Άχρουν
6	Υδραγωγείον Φλωρίνης	1,70	7,1	70	7,0	0,0	4,8	0,00	1,98	1,00011	"	"	"	"
7	Χειμάρρος Αρμενοχωρίου - Τριποτάμου	1,50	7,0	138	11,0	3,0	33,6	159,00	2,24	1,00006	"	"	Ελ. θολόν	Υποκίτρ.
III. ΑΠΟΣΤΟΛΗ														
8	Υδραγωγείον Αμυνταίου	8,60	7,4	266	12,0	2,0	9,6	0,00	13,44	1,00049	"	"	Διαυγές	Άχρουν
9	Ποταμού Βενέτικου Εθν. οδού Γρεβενών - Μετσόβου - Ιωαννίνων	6,50	6,8	171	132,0	1,0	43,2	0,00	10,08	1,00027	"	"	"	"
10	Υδραγωγείον Πόλεως Γρεβενών	4,30	7,2	132	43,0	2,0	48,0	0,00	6,72	1,00024	"	"	"	"
11	Χειμάρρου Εθν. οδού Γρεβενών - Μετσόβου	7,90	6,9	241	72,0	2,0	72,0	0,00	13,44	1,00028	"	"	"	"
12	Υδραγωγείον Κορφαίου	15,40	7,2	477	101,0	3,0	81,6	0,00	24,08	1,00092	"	"	"	"
13	Αίμνης Καστοριάς	8,50	7,1	140	33,0	2,0	48,0	0,00	16,80	1,00023	"	"	"	"
14	Υδραγωγείον Καστοριάς	7,80	7,5	109	28,0	2,0	72,0	0,00	12,68	1,00025	"	"	"	"
15	Υδραγωγείον Λαγούς Ορεστικού	7,90	7,4	229	29,0	1,0	86,4	0,00	13,32	1,00043	"	"	"	"

ΕΛΟΤ 345

Δ.Τ.Υ.Ν. ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ															
Σημ.	Προέλευσης Δείγματος	Ολική αλκαλικότητα Δείγματος ml N/10 HCL	pH	Συνολικά Στοιχεία			Χλωρίδα ppm	Θειικά ppm	Αμμοκρίτα ppm	Ευκαμια αλκαλικότητα έως 7 αρ. βαθμ.	Ειδικόν βάρος εξ 15°C.	Σάβουρα (Anidip. Felling)	Μακροσκοπικά εξετάσεις		
				Ανθρακικά Οργανικά ppm	Οργανικά ppm	Χωρίσματα ppm							Οσμή	Δυσήγεια	Χρώμα
1	Λίμνης Οζερού, θέας λήμνης όχθρα	8,00	7,5	299	12,0	22	36	28,00	5,88	1,00171	Αρνητική	Λασμον	Ελ. θαλόν	Λιχρών	
2	Λίμνης Τριχωνίδας, θέας λήμνης διαμ. Τριχωνίδας Λασιμαχίας	4,40	7,4	144	0,2	18	21	0,00	6,72	1,00087	"	"	Διαυγές	"	
3	Ποταμού Ινάχου, θέας λήμνης Γέφυρα Ποδεγορέας	7,30	7,3	229	1,0	14	16	0,00	5,60	1,00052	"	"	"	"	
4	Ποταμού Αχελώου, θέας λήμνης Νέα Γέφ. Αχελώου	4,20	7,2	205	5,0	9	2	0,00	6,16	1,00047	"	"	"	"	
5	Υδροσταγίου πόλεως Αγρινίου	7,70	7,0	347	1,0	19	50	0,00	8,40	1,00075	"	"	"	"	
6	Λίμνης Λασιμαχίας, θέας λήμνης Συκιά	5,20	7,3	184	10,0	19	33	0,00	6,72	1,00071	"	"	"	"	
7	Ποταμού Ερημίτης, θέας λήμνης Γέφ. Αγρινίου Αβόρανης	6,40	7,2	188	4,0	18	110	0,00	6,16	1,00110	"	"	"	"	
8	Λίμνης Αμβρακίας, θέας λήμνης Γέφυρα Σαμαρίου	3,00	5,5	1518	23,0	154	825	99,50	49,28	1,00157	"	"	"	"	
9	Κυρία διάδρομος Λεονίου ευνέντητας με νέαν επαρχ. οδόν Απαλικού - Αγρινίου	8,10	7,0	886	1,6	34	350	0,00	24,08	1,00078	"	"	"	"	
10	Ποταμού Ευλήνου θέας λήμνης νέα γέφ. Ευλήνου επί Εθν. οδού Αντιρρίου - Αγρινίου	5,20	7,0	197	4,0	9	96	0,00	5,60	1,00009	"	"	"	"	

ΕΛΟΤ 345

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΝ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

α/α	Προέλευσις Δείγματος	Ολική ελαστικότητα Διπλάσιον τιμ. π.π. πρ. Ν/10 HCL	ΡΗ	Συνολικά Στερεά		Χλωριόντα ppm	Θειικά ppm	Αμυρώμενα ppm	Συνολική αλκαλότητα εις Γερμ. βαθμούς	Ειδικόν βάρος εις 15 °C.	Σάχημα (Αντίδρ. Felling)	Μακροσκοπικαί εξετάσεις		
				Ακόρεστα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαύγεια	Χρώμα
I. ΑΠΟΣΤΟΛΗ														
1	Ποταμού Λούρου (θέσις πλατανάκια)	6,30	7,4	210	12	8	57,6	0,00	10,06	1,00017	Αρνητική	Λοσμον	Διαυγές	Άχρουν
2	Πόλεως Άρτης	9,70	7,4	483	54	16	153,6	0,80	22,12	1,00051	"	"	"	"
3	Ποταμού Αράχθου (θέσις Γέφυρα Άρτης)	6,50	7,3	311	11"	9	81,6	1,60	14,56	1,00018	"	"	"	"
4	Πόλεως Πρεβέζης	12,10	7,7	787	28	230	129,6	0,00	9,24	1,00063	"	"	"	"
5	Ποταμού Βοϊδομάτι (Γέφυρα Βοϊδοματίου)	5,20	7,9	219	16	8	76,8	0,80	10,84	1,00006	"	"	"	"
6	Ποταμού Καραμά (Πηγαί ποταμού)	6,30	7,3	1527	22	5	979,2	0,00	117,86	1,00143	"	"	"	"
7	Ποταμού Αώου (Κονίτης Γέφυρα)	5,70	7,7	199	31	2	67,2	0,00	8,96	1,00020	"	"	"	"
8	Αίμης Παμβώτιδος	4,10	7,7	210	27	36	36,4	2,00	6,72	1,00014	"	"	"	"
9	Πόλεως Ιωαννίνων	5,70	7,6	235	26	13	67,2	0,80	10,06	1,00026	"	"	"	"
II. ΑΠΟΣΤΟΛΗ														
10	Υδραγωγείον Κανελακίου	7,10	7,5	343	19	10	120,0	0,00	18,48	1,00060	"	"	"	"
11	Ποταμού Αχέρωνος	6,00	7,2	356	19	11	177,6	0,00	19,04	1,00051	"	"	"	"
12	Ποταμού Ερέθωνος	8,70	7,4	289	32	9	76,8	0,00	16,80	1,00044	"	"	"	"
13	Υδραγωγείον Μεσσήνης	8,10	7,6	242	23	12	82,4	0,00	13,44	1,00041	"	"	"	"
14	Υδραγωγείον Κοιν. Λούρου	11,80	7,7	370	34	37	81,6	0,00	17,92	1,00058	"	"	"	"
15	Πόλεως Ηγουμένιτης	8,00	7,5	291	17	10	192,0	0,00	15,12	1,00036	"	"	"	"
16	Υδραγωγ. Ριζάνης (Αγ. Γεωργ.)	4,80	7,4	14	8	6	57,6	0,00	7,84	1,00029	"	"	"	"
17	Υδραγωγείον Μενήνης	11,00	7,5	144	32	12	81,6	0,00	16,80	1,00058	"	"	"	"
18	Γεφύρας διακλ. πρὸς Παλιώκωρον	7,30	7,4	109	6	5	57,6	0,00	16,80	1,00040	"	"	"	"
19	Υδραγωγείον Μπαδουκίου	6,70	7,7	111	10	4	57,6	0,00	11,21	1,00056	"	"	"	"
III. ΑΠΟΣΤΟΛΗ														
20	Υδραγωγείον Κονίτης	6,80	7,4	210	38	5	40,0	0,00	9,52	1,00044	"	"	"	"
21	Κονιότητος Κλυδωνιάς οδῶν Ιωαννίνων - Κονίτης	6,80	7,3	226	8	5	40,0	0,00	8,96	1,00031	"	"	"	"
22	Υδραγωγείον Κερκύρας	9,80	7,5	691	55	18	264,0	0,00	25,20	1,00079	"	"	"	"
23	Πηγῆς θέσεως Πάβρου Κερκύρας	12,00	7,4	1027	81	75	307,0	0,00	32,48	1,00093	"	"	"	"
24	Πηγῆς θέσεως Μπαρμπάκη Κερκύρας	8,80	7,6	2755	297	1200	216,0	0,00	47,60	1,00215	"	"	"	"
25	Φρέατος θέσεως Δελφίνια Κερκύρας	16,00	7,4	1799	115	52	69,0	0,00	22,40	1,00046	"	"	"	"
26	Υδραγωγείον χωρίου Αλεπαύς Κερκύρας	13,00	7,3	1791	106	50	1125,0	0,00	96,32	1,00239	"	"	"	"

ΕΛΟΤ 345

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΝ ΤΡΙΠΟΛΕΩΣ

α/α	Προέλευσις Δείγματος	Ολική αλκαλικότης Δείκτης Ν/10 HCl ml	P. H	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδια ppm	Θειικά ppm	Αιωρούμενα ppm	Συνολική αλκαλικότης εξ 7 επι- βεβίαις	Εξάν- βάρος εξ 15 °C.	Σάπυρα (Αντίδρ. Felling)	Μακροσκοπικαί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαύγεια	Χρώμα
1	Υδραγωγείον Καλαμάτας	7,90	7,4	422	44	49	134,4	0,00	18,78	1,00017	Αρνητική	Άοσμον	Διαυγές	Άχρουν
2	Υδραγωγείον Τριπόλεως	5,80	7,8	182	24	4	72,0	0,00	6,12	1,00044	"	"	"	"
3	Υδραγωγείον Σπάρτης	8,00	7,5	224	28	4	48,0	0,00	12,88	1,00044	"	"	"	"
4	Υδραγωγείον Μεγαλοπόλεως	9,30	7,7	298	35	13	76,8	0,00	15,12	1,00045	"	"	"	"
5	Υδραγωγείον Άργους	9,50	7,8	265	32	5	72,0	0,00	15,56	1,00046	"	"	"	"

Δ.Τ.Υ.Ν. ΕΥΒΟΙΑΣ

α/α	Προέλευσις Δείγματος	Ολική αλκαλικότης Δείκτης Ν/10 HCl ml	P. H	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδια ppm	Θειικά ppm	Αιωρούμενα ppm	Συνολική αλκαλικότης εξ 7 επι- βεβίαις	Εξάν- βάρος εξ 15 °C.	Σάπυρα (Αντίδρ. Felling)	Μακροσκοπικαί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαύγεια	Χρώμα
1	Χειμάρρου Ψαχνών	9,10	8,3	298	40	34	76,8	0,00	15,98	1,00015	Αρνητική	Άοσμον	Διαυγές	Άχρουν
2	Χειμάρρου Μονοδρίου	6,05	8,2	201	19	15	48,0	0,00	10,36	1,00034	"	"	"	"
3	Χειμάρρου Γουβών	14,05	8,3	546	69	21	81,6	135,00	22,12	1,00058	"	"	Θολόν	Γαλακτώχ.
4	Χειμάρρου Κηρέως	12,05	8,4	1399	84	24	43,2	1079,00	18,48	1,00054	"	"	"	Κεραμόχρ.
5	Χειμάρρου Μπιζιάνων	4,10	7,3	395	49	98	91,2	0,00	10,08	1,00048	"	"	Διαυγές	Άχρουν
6	Χειμάρρου Ισπαιάς	11,75	8,0	434	70	18	36,4	107,00	17,84	1,00069	"	"	Ελ. θολόν	Ελ. γαλακτ.
7	Χειμάρρου Καρύστου	5,40	7,7	236	30	33	76,8	0,00	8,68	1,00018	"	"	Διαυγές	Άχρουν
8	Χειμάρρου Σικτανής	7,90	7,8	288	20	25	86,4	0,00	14,00	1,00023	"	"	"	"

ΕΛΟΤ 345

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΝ ΚΑΒΑΛΑΣ

α/α	Προέλευσις Δεγµατος	Ολική αλκαλικότης Αλκαλίων ml N/10 HCL	P.H	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδια ppm	Θειικά ppm	Αιωρούµενα ppm	Συνολική αλκαλικότης εξ Γερµ. βαθµός	Ειδών βάρος εξ 15°C.	Σιχάρα (Anhyd. Felling)	Μακροσκοπικά εξετάσεις		
				Ανόνια + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαύγεια	Χρώμα
1	Πόλεως Ορεστιάδος	11,30	7,5	529	8	101	67,2	0,00	20,16	1,00037	Αρνητική	Άοσμον	Διαυγής	Άχρουν
2	Πόλεως Ξάνθης	1,40	6,9	92	7	5	72,0	0,00	3,92	1,00002	"	"	"	"
3	Παραδείσου (Νομού Καβάλας)	8,50	7,6	241	13	6	33,6	0,00	14,00	1,00049	"	"	"	"
4	Αιμεναρίων Θάσου	12,90	7,6	373	2	6	57,6	0,00	19,04	1,00088	"	"	"	"
5	Πόλεως Διδυμοτείχου	7,90	7,4	321	50	56	76,8	0,00	14,56	1,00070	"	"	"	"
6	Μπουνάρ - Μπάσσα (Ν. Καβάλας)	8,90	7,2	233	16	5	76,8	0,00	13,44	1,00027	"	"	"	"
7	Φερρών (Νομού Έβρου)	3,60	7,2	257	80	24	91,2	0,00	2,80	1,00039	"	"	"	"
8	Πόλεως Κομοτηνής	1,00	7,1	61	8	9	76,8	0,00	2,80	1,00014	"	"	"	"
9	Αιμένος Θάσου	9,20	7,4	254	92	8	33,6	0,00	14,00	1,00059	"	"	"	"
0	Πόλεως Καβάλας	11,20	7,5	336	19	12	33,6	0,00	16,80	1,00076	"	"	"	"
1	Πόλεως Κάτω Νευροκοπίου	8,70	7,4	218	32	3	28,8	0,00	14,56	1,00040	"	"	"	"
2	Πόλεως Δράμας	9,00	7,6	257	57	10	38,4	0,00	14,56	1,00080	"	"	"	"
3	Πόλεως Αλεξανδρουπόλεως	12,00	7,3	431	70	43	81,6	0,00	20,72	1,00076	"	"	"	"

Δ.Τ.Υ.Ν. ΦΘΚΙΔΟΣ

α/α	Προέλευσις Δεγµατος	Ολική αλκαλικότης Αλκαλίων ml N/10 HCL	P.H	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδια ppm	Θειικά ppm	Αιωρούµενα ppm	Συνολική αλκαλικότης εξ Γερµ. βαθµός	Ειδών βάρος εξ 15°C.	Σιχάρα (Anhyd. Felling)	Μακροσκοπικά εξετάσεις		
				Ανόνια + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαύγεια	Χρώμα
1	Ποταμού Μόρνου	6,00	7,4	180	9	3	14,4	0,00	10,64	1,00052	Αρνητική	Άοσμον	Διαυγής	Άχρουν
2	Δεξ. πόλεως υδρεύσεως Αμφίσσης	8,90	7,5	258	11	5	57,6	0,00	16,80	1,00022	"	"	"	"
3	Δεξ. πόλεως υδρεύσεως Δελφών	8,90	7,4	173	7	6	48,0	0,00	10,64	1,00023	"	"	"	"

ΕΛΟΤ 345

Δ.Τ.Υ.Ν. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ

α/α	Προέλευσις Δειγματος	Ολική οξείδωσή Δείκτης Ηλεκθ. πH N/10 HCL	pH	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδα ppm	Θειικά ppm	Αιωρούμενα ppm	Συνολική αλκαλότητα εξ Γερμ. βαθμού	Εξιδόν βάρος εξ 15 οC.	Σάχχαρα (Αντάρ. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαλύμα	Χρώμα
1	Υδραγωγείων Βόλου - Φυλακί	4,20	7,2	250	51	31	77	0,00	6,72	1,00029	Αρνητική	Αοσμον	Διαυγές	Άχρουν
2	Πηγαίου ποταμού πάλ. Τρικάλων	5,00	7,2	209	9	5	72	0,00	8,40	1,00030	"	"	"	"
3	Βελεστίνο	6,60	7,3	343	44	26	81	0,00	11,20	1,00023	"	"	"	"
4	Πηγαίου ποταμού χ.Θ. 31 + 000 οδού Τρικάλων - Ιωαννίνων	6,00	7,5	293	25	4	47	0,00	11,20	1,00116	"	"	"	"
5	Ανασίου ποταμού πάλ. Τρικάλων	6,40	7,3	347	86	7	38	0,00	6,72	1,00024	"	"	"	"
6	Αρτεσιανών φρεστών πόλεως Τρικάλων	6,00	7,2	268	30	3	24	0,00	8,40	1,00043	"	"	"	"
7	Αλιμυρός (Βόλου)	7,20	7,4	266	48	15	24	0,00	10,64	1,00052	"	"	"	"
8	Μικροθήβαι (Βόλου)	15,20	7,6	546	71	32	28	0,00	25,20	1,00084	"	"	"	"
9	Αφίσου (Βόλου)	6,80	7,4	282	15	36	19	0,00	11,20	1,00023	"	"	"	"
10	Αρτεσιανών φρεστών Τρικάλων	5,40	7,5	208	12	4	43	0,00	8,96	1,00042	"	"	"	"

Δ.Τ.Υ.Ν. ΗΜΑΘΙΑΣ

α/α	Προέλευσις Δειγματος	Ολική οξείδωσή Δείκτης Ηλεκθ. πH N/10 HCL	pH	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδα ppm	Θειικά ppm	Αιωρούμενα ppm	Συνολική αλκαλότητα εξ Γερμ. βαθμού	Εξιδόν βάρος εξ 15 οC.	Σάχχαρα (Αντάρ. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαλύμα	Χρώμα
1	Βερροίας	9,00	7,5	237	22	5,0	43,2	0,00	11,48	1,00019	Αρνητική	Αοσμον	Διαυγές	Άχρουν
2	Καπανού	7,00	7,3	303	49	9,5	48,0	0,00	28,00	1,00034	"	"	"	"
3	Δρακίου	1,00	6,9	47	17	3,5	28,8	0,00	1,12	1,00003	"	"	"	"
4	Ριζομάτιων	1,80	6,8	53	10	3,0	33,6	0,00	2,24	1,00028	"	"	"	"
5	Παλυθενδρίου	6,60	6,8	239	18	11,0	38,4	0,00	9,24	1,00045	"	"	"	"
6	Μελίκης	10,80	7,2	381	35	13,0	48,0	0,00	15,66	1,00086	"	"	"	"

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΝ ΠΑΤΡΩΝ

α/α	Προέλευσις Δείγματος	Ολική οξείδωσις Δείκτης Ηλεκθ. πH N/10 HCL	pH	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδα ppm	Θειικά ppm	Αιωρούμενα ppm	Συνολική αλκαλότης εξ Γερμ. βαθμού	Εξιδόν βάρος εξ 15 οC.	Σάχχαρα (Αντάρ. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαλύμα	Χρώμα
I. ΑΠΟΣΤΟΛΗ														
1	Υδραγωγείων Πόλεως Πατρών	7,80	7,5	236	0,0	11,0	24,0	0,00	15,12	1,00006	Αρνητική	Αοσμον	Διαυγές	Άχρουν
II. ΑΠΟΣΤΟΛΗ														
2	Υδραγωγείων Αργοστολίου	7,80	7,3	1021	104,0	473,0	81,6	0,00	19,04	1,00126	"	"	"	"
3	Πόλεως Ζακύνθου Πηγάδα Κακολύρη	5,40	7,6	1173	46,0	160,0	484,4	0,00	26,32	1,00158	"	"	"	"
4	Υδραγωγείων Πόλεως Ζακύνθου	5,20	7,3	414	29,0	75,0	43,2	0,00	10,64	1,00047	"	"	"	"

ΕΛΟΤ 345

Δ.Τ.Υ.Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ

α/α	Προέλευσης Δείγματος	Ολική οξαλικότητα Δείκτης H ₂ SO ₄ πρ. N/10 HCl	pH	Συνολικά Στερεά		Χλωρόντα ppm	Θειικά ppm	Αιωρούμενα ppm	Συνολική σκληρότητα εξ. Γ επι. βαθμός	Εξιδαν βάρος εξ. 15°C	Στάχαρα (Αντίδο. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διάλυση	Χρώμα
1	Υδραγωγείον Μεγάρων	13,33	7,7	524	149	73	72,0	0,00	22,98	1,00073	Αρνητική	Άοσμον	Διαυγές	Άχρουν
2	Υδραγωγείον Αθηνών (Ούλεν)	8,35	7,9	240	28	17	43,2	0,00	11,20	1,00023	.	.	.	.

Δ.Τ.Υ.Ν. ΛΑΡΙΣΗΣ

α/α	Προέλευσης Δείγματος	Ολική οξαλικότητα Δείκτης H ₂ SO ₄ πρ. N/10 HCl	pH	Συνολικά Στερεά		Χλωρόντα ppm	Θειικά ppm	Αιωρούμενα ppm	Συνολική σκληρότητα εξ. Γ επι. βαθμός	Εξιδαν βάρος εξ. 15°C	Στάχαρα (Αντίδο. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διάλυση	Χρώμα
1	Υδραγωγείον Λαρίσης	4,10	8,0	255	31	18	43	0,00	14,58	1,00047	Αρνητική	Άοσμον	Διαυγές	Άχρουν
2	Υδραγωγείον Ελασσόνας	4,90	7,5	241	24	12	43	0,00	11,76	1,00043	.	.	.	.
3	Υδραγωγείον Τυρνάβου	4,80	7,7	397	35	22	48	0,00	16,80	1,00086	.	.	.	.
4	Υδραγωγείον Φαρσάλων	4,90	7,5	371	59	21	57	0,00	15,68	1,00084	.	.	.	.

Δ.Τ.Υ.Ν. Ν. ΣΕΡΡΩΝ

α/α	Προέλευσης Δείγματος	Ολική οξαλικότητα Δείκτης H ₂ SO ₄ πρ. N/10 HCl	pH	Συνολικά Στερεά		Χλωρόντα ppm	Θειικά ppm	Αιωρούμενα ppm	Συνολική σκληρότητα εξ. Γ επι. βαθμός	Εξιδαν βάρος εξ. 15°C	Στάχαρα (Αντίδο. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διάλυση	Χρώμα
1	Υδωρ πόσιμον πόλεως Σερρών	1,80	7,2	123	5	6	24	0,00	15,68	1,00017	Αρνητική	Άοσμον	Διαυγές	Άχρουν
2	Υδωρ εκ του ποταμού παρά το χωριόν Θερμά Νιγρίτης	12,20	8,0	775	131	45	57	0,00	18,24	1,00058	.	.	.	.
3	Υδωρ ποταμού Μπελνίτης παρά το χωριόν Σκατούσα (εκ του ποταμού Στριμμόνας)	4,70	7,9	299	16	11	48	0,00	8,96	1,00058	.	.	.	.
4	Υδωρ πόσιμον παρά την Μαυροβάλασσαν	3,90	7,7	377	28	18	98	0,00	18,24	1,00086	.	.	.	.
5	Υδωρ πόσιμον περιοχής Παγγαίου	3,30	7,5	275	7	7	19	0,00	3,36	1,00067	.	.	.	.

ΕΛΟΤ 345

1ον Γ.Ε.Κ.Ο. ΣΥΛΟΚΑΣΤΡΟΥ

α/α	Προέλευσης Δείγματος	Ολική αλκαλικότητα Δεκτης Ηλεκτ. ml N/10 HCL	P H	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδα ppm	Θειικά ppm	Αιωρούμενα ppm	Συνολική σκληρότητα ως Γ.αμ. βαθμός	Ειδικός βάρος ως 15°C	Σάπωση (Αντίδρ. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαλυτά	Χρώμα
1	Χορδόν Πουλίτσα (χ.8.18+700) (Κόρινθος - Κιάτον/χρόαφ)	17,15	7,1	864	84	64	211,2	2,00	34,40	1,00860	Αρνητική	Άοσμον	Διαλυτές	Άχρουν
2	Πηγή ως χ.8. 5 + 000 (Τμήματος Κορήθου - Κιάτου)	14,20	7,5	1230	75	189	196,0	1,00	30,60	1,00095	*	*	*	*
3	Χειμάρρου Σούδα	14,40	7,1	1046	120	95	369,0	0,00	36,90	1,00095	*	*	*	*
4	Χειμάρρου Κριού	14,10	7,8	580	64	112	91,2	0,80	22,10	1,00068	*	*	*	*
5	Πόλεως Αιγαίου (υδραγωγείου)	9,40	7,5	308	8	18	14,4	0,00	15,90	1,00039	*	*	*	*
6	Χειμάρρου Μεγανήτου	7,10	7,8	275	19	10	4,8	0,00	13,40	1,00026	*	*	*	*
7	Χειμάρρου Φοίνικας	6,20	7,7	261	0	7	28,8	65,00	10,00	1,00001	*	*	Θολόν	Ελ.γαλακτ
8	Χειμάρρου Βολινάιου	5,60	7,6	204	10	7	48,0	0,00	10,90	1,00010	*	*	Διαλυτές	Άχρουν

Δ.Τ.Υ.Ν ΒΟΙΩΤΙΑΣ

α/α	Προέλευσης Δείγματος	Ολική αλκαλικότητα Δεκτης Ηλεκτ. ml N/10 HCL	P H	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδα ppm	Θειικά ppm	Αιωρούμενα ppm	Συνολική σκληρότητα εκ Γ.αμ. βαθμός	Ειδικό βάρος εκ 15°C	Σάπωση (Αντίδρ. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαλυτά	Χρώμα
I. ΑΠΟΣΤΟΛΗ														
1	Μέλανος ποταμού	9,50	7,4	138	37	4	43,2	0,00	17,92	1,00030	Αρνητική	Άοσμον	Διαλυτές	Άχρουν
2	Κηφισού ποταμού	8,60	7,8	159	16	7	48,0	18,00	17,36	1,00044	"	"	Ελ. θολόν	"
3	Ερικονα ποταμού Λεβαδείας	8,50	7,7	118	0	5	43,2	0,00	16,24	1,00021	"	"	Διαλυτές	"
II. ΑΠΟΣΤΟΛΗ														
4	Υδραγωγείου πόλεως Θηβών	8,60	7,4	380	59	26	100,0	0,00	12,88	1,00056	"	"	"	"
5	Υδραγωγείου πόλεως Βαγίων	5,80	7,8	645	118	82	86,0	0,00	17,36	1,00086	"	"	"	"
6	Υδραγωγείου πόλεως Σχηματαρίου	15,00	6,8	763	118	150	120,0	0,00	25,76	1,00067	"	"	"	"

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΝ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

α/α	Προέλευσης Δείγματος	Ολική αλκαλικότητα Δεκτης Ηλεκτ. ml N/10 HCL	P H	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδα ppm	Θειικά ppm	Αιωρούμενα ppm	Συνολική σκληρότητα ως Γ.αμ. βαθμός	Ειδικός βάρος ως 15°C	Σάπωση (Αντίδρ. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαλυτά	Χρώμα
1	Υδραγωγείου Πόλεως Χανίων	4,70	6,9	235	27	11	9,6	0,00	8,98	1,00023	Αρνητική	Άοσμον	Διαλυτές	Άχρουν
2	Αίμνη Γεωργιοπούλ. (N Χαν.)	5,15	7,2	3070	341	1387	417,6	0,00	42,00	1,00231	*	*	*	*
3	Πηγή πλατάν. Σούδας	5,45	7,1	2601	40	36	57,6	0,00	10,64	1,00008	*	*	*	*
4	Εκ φρέατος Λατομ. Ρεθ. χ. 8. 10 + 500	8,70	7,4	4284	405	1967	412,8	0,00	43,68	1,00331	*	*	*	*
5	Εκ ψαγίων Ρεθύμνου	8,40	7,4	3407	344	1547	316,8	0,00	49,68	1,00254	*	*	*	*
6	Υδραγωγείου πόλεως Ηρακλείου	5,90	7,3	249	26	27	62,4	0,00	10,92	1,00041	*	*	*	*
7	Υδραγωγείου πόλεως Αγ. Νικολ.	14,25	7,2	176	24	21	67,3	0,00	26,36	1,00059	*	*	*	*
8	Εκ γεωτρήσεως εξω Μουλιανών	4,50	7,4	844	90	73	163,2	0,00	8,40	1,00036	*	*	*	*

ΕΛΟΤ 345

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΝ ΘΕΣΣΟΝΙΚΗΣ

α/α	Προέλευσης Δείγματος	Ολική αλκαλικότητα Δείκτης Νιτανέ, ml N/10 HCL	P _H	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδα ppm	Θειικά ppm	Αμφοτέρωθεν ppm	Συνολική αλκαλικότητα εξ Γερμ. βαθμίδας	Ειδικός βάρος εξ 15 °C.	Σάχαρα (Αντιδρ. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαύγεια	Χρώμα
1	Οργανισμός Υδρεύσεως Θεσπώνης	9,35	7,8	352	28,0	31,0	76,8	0,00	13,72	1,00021	Αρνητική	Ασμον	Διαυγής	Άχρουν
2	Ποταμός Αβρός	5,75	8,0	302	19,6	8,0	62,4	28,00	11,48	1,00022	*	*	Θολόν	Ασθ. υπ
3	Ποταμός Γαλλικός	8,45	8,3	301	16,6	23,0	93,0	0,00	17,38	1,00022	*	*	Διαυγής	Άχρουν
4	Λίμνη Αγίου Βασιλείου Λαγκαδά	11,30	8,5	315	23,2	108,0	48,0	82,00	15,40	1,00047	*	*	Θολόν	Υποκρίτ
5	Αίσονος ποταμού (Μαυρονέρι) Πυρρίας	4,70	7,4	169	4,0	13,0	43,2	0,00	8,96	1,00007	*	*	Διαυγής	Άχρουν

Δ.Τ.Υ.Ν. ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ

α/α	Προέλευσης Δείγματος	Ολική αλκαλικότητα Δείκτης Νιτανέ, ml N/10 HCL	P _H	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδα ppm	Θειικά ppm	Αμφοτέρωθεν ppm	Συνολική αλκαλικότητα εξ Γερμ. βαθμίδας	Ειδικός βάρος εξ 15 °C.	Σάχαρα (Αντιδρ. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαύγεια	Χρώμα
1	Ποταμού Κρακελιάτη	4,40	7,5	338	58	1	43	0,00	6,16	1,00075	Αρνητική	Ασμον	Διαυγής	Άχρουν
2	Ποταμού Μέγδοβα	5,20	7,2	217	25	1	19	0,00	7,84	1,00041	*	*	*	*
3	Ποταμού Αγ. Τριάδος	5,10	7,1	166	21	1	24	0,00	6,16	1,00026	*	*	*	*
4	Ποταμού Αγραφιώτη Ευρυτανίας	5,10	7,5	149	31	1	48	0,00	7,28	1,00023	*	*	*	*

Δ.Τ.Υ.Ν. ΧΙΟΥ

α/α	Προέλευσης Δείγματος	Ολική αλκαλικότητα Δείκτης Νιτανέ, ml N/10 HCL	P _H	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδα ppm	Θειικά ppm	Αμφοτέρωθεν ppm	Συνολική αλκαλικότητα εξ Γερμ. βαθμίδας	Ειδικός βάρος εξ 15 °C.	Σάχαρα (Αντιδρ. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαύγεια	Χρώμα
1	Υδρεύσεως Δήμου Χίου	10,00	7,4	382	11	72	57	0,00	16,80	1,00087	Αρνητική	Ασμον	Διαυγής	Άχρουν
2	Υδρεύσεως Δήμου Βροντάδου	6,90	7,2	496	11	70	237	0,00	15,56	1,00259	*	*	*	*
3	Εκ Φρέατος Μυήκου Παγκάλου Περιοχής πόλεως Χίου	6,50	7,5	496	29	53	149	0,00	16,24	1,00031	*	*	*	*
4	Εκ Φρέατος Δημητρίου Παγκάλου Περιοχής πόλεως Χίου	15,80	7,5	1105	77	280	141	0,00	40,60	1,00066	*	*	*	*

ΕΛΟΤ 345

Δ.Τ.Υ.Ν. ΛΕΥΚΑΔΟΣ

α/α	Προέλευση Δείγματος	Ολική αλκαλικότητα Δείκτης Ηλενθ. ml N/10 HCL	pH	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδα ppm	Θετικά ppm	Αεριοζόμενα ppm	Συνολική αλκικότητα ελ. Γ.εμ. βαθμός	Ειδικός βάρος εκ 15 °C	Σάχαρα (Anthr. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαύγεια	Χρώμα
1	Άνευ ενδείξεως	4,90	7,3	253	11	34	139	0,00	9,24	1,00250	Αρνητική	Άσπρον	Διαυγές	Άχρουν
2	Νυδρίου Λευκάδος	9,10	7,0	273	4	13	153	0,00	13,44	1,00910	"	"	"	"
3	Τεχνική Υπηρεσία Βασική	10,00	7,5	447	8	35	283	0,00	20,72	1,00710	"	"	"	"
4	Πόλεως Λευκάδος	11,60	7,7	833	28	253	77	0,00	22,40	1,00167	"	"	"	"

Δ.Τ.Υ.Ν. ΚΙΑΚΙΣ

α/α	Προέλευση Δείγματος	Ολική αλκαλικότητα Δείκτης Ηλενθ. ml N/10 HCL	pH	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδα ppm	Θετικά ppm	Αεριοζόμενα ppm	Συνολική αλκικότητα ελ. Γ.εμ. βαθμός	Ειδικός βάρος εκ 15 °C	Σάχαρα (Anthr. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαύγεια	Χρώμα
1	Αξίου Ποταμού παρά την Αειούπολη	4,90	7,2	347	21	14	46	0,00	10,64	1,00080	Αρνητική	Άσπρον	Διαυγές	Άχρουν
2	Ρεώματος Γοργόνης παρά το Καμποχώριον	4,60	7,1	400	13	21	29	0,00	8,96	1,00008	"	"	"	"
3	Γαλλικού Ποταμού παρά το Κεντρικόν	1,80	8,7	230	25	16	67	64,00	8,18	1,00017	"	"	Ελ. θαλόν	"
4	Ρεώματος Παλαιού Γυναικοκάστρου Νομού Κιλκίς	4,70	7,5	365	23	38	31	19,00	12,88	1,00008	"	"	"	"

Δ.Τ.Υ.Ν. ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

α/α	Προέλευση Δείγματος	Ολική αλκαλικότητα Δείκτης Ηλενθ. ml N/10 HCL	pH	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδα ppm	Θετικά ppm	Αεριοζόμενα ppm	Συνολική αλκικότητα ελ. Γ.εμ. βαθμός	Ειδικός βάρος εκ 15 °C	Σάχαρα (Anthr. Felling)	Μακροσκοπικοί εξετάσεις		
				Ανόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαύγεια	Χρώμα
1	Ν. Φωκαίας Κασσάνδρας Χαλκιδικής	14,10	7,8	479	68	10	19,2	0,00	20,16	1,00087	Αρνητική	Άσπρον	Διαυγές	Άχρουν
2	Αρναίας Χαλκιδικής	2,40	7,9	177	23	6	24,0	0,00	3,52	1,00041	"	"	"	"
3	Πενταχωρίου Κασσάνδρας Χαλκιδικής	15,60	6,5	846	175	51	67,2	0,00	27,44	1,00088	"	"	"	"
4	Χειμάρρου Χαβρία Σιθωνίας Χαλκιδικής	6,70	7,2	293	37	8	28,8	0,00	11,76	1,00034	"	"	"	"
5	Πολυγύρου	10,60	7,5	398	52	9	38,4	0,00	10,64	1,00086	"	"	"	"

ΕΛΟΤ 345

Δ.Τ.Υ.Ν. ΛΕΣΒΟΥ

α/α	Προέλευσης Δείγματος	Ολική αλκαλικότητα Δείκτης Η-Ισοδ. ml N/10 HCL	pH	Συνολικά Στερεά		Χλωρίδα ppm	Θειικά ppm	Ανιχνεύσιμα ppm	Ευκαλυπτική αλκαλικότητα εις Γ-σφ. βελία	Ειδικό βάρος εξ 15°C	Σύνθετος (Αντίδο. Felling)	Μακροσκοπικές εξετάσεις		
				Αόργανα + Οργανικά ppm	Οργανικά ppm							Οσμή	Διαγεία	Χρώμα
1	Μυτιλήνης	5,30	7,0	370	27	27	5	0,00	15,68	1,00041	Αρνητική	Άοσμον	Διαγεία	Αχρουν
2	Πλαμαρίου	3,40	7,2	227	20	78	9	0,00	9,52	1,00018	*	*	*	*
3	Ερεσσού	3,60	7,5	387	16	32	29	0,00	10,08	1,00023	*	*	*	*
4	Πολυχνίου	8,00	7,9	489	91	21	33	0,00	22,96	1,00045	*	*	*	*
5	Μηθύμνης	0,70	7,4	171	19	51	5	0,00	2,24	1,00056	*	*	*	*
6	Καλλονής	0,60	7,7	238	20	14	19	0,00	3,36	1,00054	*	*	*	*

ΕΛΟΤ 345

Οι μονάδες που αναφέρονται στο παρόν σχέδιο προτύπου έχουν αντικατασταθεί με νέες ως εξής:

Αναφερόμενες στο σχέδιο	Ισχύουσες σήμερα
kg/m^3	KN/m^3
kg/cm^2	N/mm^2
kg	N
cm	mm
ml	cm^3
λεπτά	min

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΠΡΟΣ ΜΕΣ

Ελληνικό Ερωτηματολόγιο

Ανακύκλωση Νερού σε Μονάδες Παραγωγής Έτοιμου Σκυροδέματος

(Μια έρευνα που απευθύνεται σε μονάδες Έτοιμου και Προκατασκευασμένου σκυροδέματος, από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών)

1. Στη μονάδα παράγεται:

- Έτοιμο Σκυρόδεμα ☐
- Προκατασκευασμένο Σκυρόδεμα ☐
- Άλλο (παρακαλώ διευκρινίστε): ☐
-

2. Ποια είναι η δυναμικότητα της μονάδας (m^3 έτοιμου σκυροδέματος / μήνα);

Παρακαλώ επιλέξτε:

- <2000 : ☐
- 2000-10000 : ☐
- 10000-30000: ☐
- 30000-50000 : ☐
- >50000 : ☐

3. Τι ποσότητα νερού καταναλώνεται στη μονάδα ($\text{m}^3/\text{μήνα}$);

Παρακαλώ σημειώστε:

.....

- Δεν γνωρίζω : ☐
- Δεν ελέγχεται : ☐

4. Ποιό είναι το κόστος κατανάλωσης (€/μήνα) νερού;

Παρακαλώ σημειώστε:

Δεν γνωρίζω: ☐

Δεν ελέγχεται: ☐

5. Η μονάδα καταναλώνει νερό:

- Δικτύου : ☐
- Γεώτρησης : ☐
- Πηγής : ☐
- Άλλο (παρακαλώ διευκρινίστε) :
-

6. Διαθέτει η μονάδα σύστημα ανακύκλωσης νερού:

- ΝΑΙ : ☐
- ΟΧΙ : ☐

7. Το ανακυκλωμένο νερό χρησιμοποιείται απευθείας στην παραγωγή ή του γίνεται κάποια πρότερη επεξεργασία:

- Απευθείας : ☐
- Επεξεργασία (παρακαλώ
διευκρινίστε) :

8. Παρακαλώ περιγράψτε με συντομία το χρησιμοποιούμενο σύστημα ανακύκλωσης:

.....

.....

9. Γίνεται χρήση του ανακυκλωμένου νερού για άλλο σκοπό (πότισμα, καθάρισμα, κλπ.):

- ΝΑΙ (παρακαλώ διευκρινίστε) :
-
- ΟΧΙ ☐

10. Ποιός τύπος αδρανών χρησιμοποιείται;

- Ασβεστολιθικά Αδρανή (Θραυστά Αδρανή Λατομείου) ☐
- Δολομιτικά Αδρανή : ☐
- Πυριτικά Αδρανή (Ποταμίσια Αδρανή): ☐
- Συνδυασμός: ☐

11. Η λούμη (λάσπη στον πυθμένα των δεξαμενών νερού) αξιοποιείται ή απορρίπτεται?

Απορρίπτεται

☐

Αξιοποιείται (παρακαλώ διευκρινίστε)

.....

.....

12. Γίνεται αξιοποίηση του επιστρεφόμενου σκυροδέματος;

ΝΑΙ : ☐

ΟΧΙ : ☐

13. Τι παραπροϊόντα ή/και απόβλητα προκύπτουν από την παραγωγική διαδικασία;

.....

.....

Αγγλικό Ερωτηματολόγιο

Concrete sludge water recycling

(A survey concerning reclamation methods for Ready mix and Precast concrete Plants conducted by the National Technical University of Athens, School of Chemical Engineers)

1. Are you a:

Ready mix concrete Producer ☐

Precast Concrete Producer ☐

Other (Please specify) ☐

2. What is your unit's production dynamic? (m³ ready mixed concrete / month)?

Please choose:

<2000 ☐

2000-10000 ☐

10000-30000 ☐

30000-50000 ☐

>50000 ☐

3. What is your estimation of the monthly average water quantity used (m³/month)?

Please Note

Not Known ☐

Not Monitored ☐

4. What is your estimation of the average water consumption cost (€/month)?

Please Note

Not Known ☐

Not Monitored ☐

5. The water used for the production of concrete is from:

Water Mains ☐

Drilling ☐

Well ☐

Different source (please specify) ☐

6. Does your plant have a water recycle system?

YES ☐

NO ☐

7. Is the recycled water used directly in new production or after a treatment:

Directly : ☐

Treated (please define) : ☐

8. Please provide a brief description of the water recycling system used:

9. Is the recycled water used for other purposes besides concrete production (cleaning, watering, etc.)?

YES (please define) ☐

NO ☐

10. Which type of aggregate is used?

Crushed / Quarry ☐

River Gravel ☐

River Crushed ☐

Combination ☐

Other (please specify) ☐

11. Is the sludge in the bottom of the water tanks rejected or used?

Rejected ☐

Used (please define) ☐

12. Is the returned concrete reused?

NO ☐

YES (please elaborate) ☐

13. What byproducts and/or wastes are produced:

14. Which standard is followed for the concrete mixing water?

Please choose:

EN 1008 ☐

ASTM 1602 ☐

Other (please specify) ☐

15. In which country is your plant located?

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΕΣ

Δ/α	ονομασία	κτύμα αγκικό	TDS (mg/L)	κτύμα τελικό	συνόλογα σιτρεά	ml δείγματος	ml AgNO ₃	ml NH ₄ SCN	Cl	NaCl (mg/L)	ml δείγματο	Χλωειτήριο αγκικό	Χλωειτήριο τελικό	SO ₄ (mg/L)	Na ₂ SO ₄ (ppm)	pH	εξήγητ	CaCO ₃ (ppm)	CaCO ₃ HCl (ppm)
1	Υεωρήσης Ευκρίτια	123.2514	50	123.3047	1066	10	5	5	0	0	25	28.9794	29.0098	500.496	740	7.3	4.7	117.5	9.5
2	Υεωρήσης Ν.Ραϊδεστός	163.9754	50	163.9944	380	10	5	5	0	0	25	28.8212	28.8298	141.588	209	7.8	2.3	57.5	11.7
3	Υεωρήσης Κεράδου	184.0681	50	184.0894	426	10	5	4.86	49.634	82	25	27.4912	27.4985	120.185	178	7.7	1.7	42.5	11
4	Υεωρήσης Νεοχωρούδα	179.268	50	179.3115	870	10	5	4.46	191.45	316	25	19.7301	19.7594	482.386	713	7.6	2.6	66	12.9
5	Υεωρήσης Κοσκίου	147.0184	50	147.0449	530	10	5	4.75	88.633	146	25	27.661	27.6858	408.3	604	8.3	2.65	66.25	14.7
6	Υεωρήσης Μάνδρα	77.3605	50	77.4098	986	10	5	4.1	319.1	526	25	19.5913	19.4111	326.0	482	7.5	2.9	72.5	14.6
26	πηγής Κορυπ	63.6579	50	63.6427	1696	10	5	3.72	453.8	748	25	21.066	21.0931	446.2	660	7.4	3.1	77.5	16
27	πηγής Αινάδευ	184.9585	50	185.0171	1172	10	5	4.41	209.2	345	25	20.6105	20.6328	367.1	543	7.3	3.65	91.25	14.6
28	πηγής Μετίσης	186.0676	50	186.0907	462	10	5	4.87	46.1	76	25	29.006	29.0319	426.41	631	7.7	1.35	33.75	10.2
29	πηγής Παιακός	162.4185	50	162.4565	760	10	5	4.8	70.9	117	25	28.9695	29.0038	564.705	835	7.5	2.05	51.25	13.7
7	οακρύλωσης Ευκρίτια	184.9591	50	185.0945	2708	10	5	3.02	701.97	1157	25	27.8648	27.8944	487.325	721	6.7	1.35	33.75	1.7
8	οακρύλωσης Νεοχωρούδα	188.5448	50	188.7257	3618	10	10	7.26	971.41	1601	25	28.924	28.9596	586.107	867	7.1	4.4	110	5.9
9	οακρύλωσης Μάνδρα	158.4107	50	158.5273	2332	10	10	8.06	667.79	1133	25	29.7306	29.7539	383.604	567	7.1	1.05	26.25	2.2
10	οακρύλωσης Κοσκίου	188.4644	50	188.5395	1482	10	5	4.78	77.997	129	25	28.9243	28.9753	839.648	1242	12.3	0	0	35.8
11	οακρύλωσης Παιακός	188.5423	50	188.577	694	10	10	9.88	42.5	70	25	19.3201	19.3404	334.2	494	7.5	2.05	51.25	13.7
12	οακρύλωσης Αινάδευ	163.9796	50	164.125	2908	10	5	4.51	173.7	286	25	20.9058	20.935	480.7	711	6.2	1.7	42.5	1
13	οακρύλωσης Μαλακκασ	158.4076	50	158.6623	5094	10	5	1.75	1152.2	1899	25	28.8235	28.8443	1000.99	1480	6.7	3.8	95	4.8
14	οακρύλωσης Μετίσης	184.0689	50	184.1132	886	10	5	4.4	212.7	351	25	19.7594	19.7989	650.316	962	5.5	1.5	37.5	0.5
15	οακρύλωσης Κορυπ	156.482	50	156.624	2840	10	5	3.5	531.8	876	25	27.5136	27.5992	1409.29	2084	11.5	0	0	6.4
16	παρρυλός Νεοχωρούδα	179.5507	50	179.5949	884	10	5	4.35	230.44	380	25	27.6594	27.6785	330.92	489	7.6	3.3	82.5	13.1
17	παρρυλός Ευκρίτια	162.4214	50	162.4994	1560	10	5	4.22	276.53	456	25	19.727	19.7579	508.728	752	7.3	2.75	68.75	7.7
18	παρρυλός Κοσκίου	98.8613	50	98.8874	522	10	5	4.83	60.27	99	25	27.4923	27.5137	352.323	521	9.1	0.45	11.25	12.7
19	παρρυλός Ν.Ραϊδεστός	171.123	50	171.1441	422	10	5	4.86	49.634	82	25	28.9841	29.0058	357.262	528	8.3	1.5	37.5	12.4
20	παρρυλός Μάνδρα	166.198	50	166.2506	1052	10	-	-	-	-	25	27.4873	27.5065	316.1	468	7.1	6.6	165	20
21	παρρυλός Παιακός	178.5988	50	178.6337	698	10	5	4.84	56.7	93	25	21.1052	21.1261	344.1	509	7.1	4.75	118.75	13.3
22	παρρυλός Μετίση	187.9246	50	187.9472	452	10	5	4.81	67.4	111	25	20.0861	20.0973	184.4	273	7.7	1.4	35	8.7
23	παρρυλός Αινάδευ	188.4626	50	188.5182	1112	10	5	4.5	177.3	292	25	27.6673	27.8952	459.337	679	7.6	2.7	67.5	16.2
24	παρρυλός Μαλακκασ	123.246	50	123.2798	676	10	5	4.7	106.4	175	25	27.6853	27.7254	660.194	976	9.0	0	0	3.6
25	παρρυλός Κορυπ	98.8659	50	98.9553	1788	10	5	3.56	510.5	841	25	21.1508	21.2076	935.138	1383	7.7	2	50	12.6

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Προσωπικά Στοιχεία

Όνομα / Επίθετο

Μόνικα Ζερβάκη

Διεύθυνση

Αφροδίτης 94, 175 62, Παλαιό Φάληρο, Αθήνα

Τηλέφωνα

+30 213 0035764, +30 210 7722893

Κινητό

+30 6945666858

e-mail

monika.zervaki@gmail.com

Εθνικότητα

Ελληνική / Ολλανδική

Ημερομηνία γέννησης

2 Σεπ 1985

Εκπαίδευση

Τίτλος

Διδάκτωρ (PhD)

Χρονική Περίοδος

Απρ 2009 - Ιαν 2014

Αντικείμενο εξειδίκευσης

Ανόργανη και Αναλυτική Χημεία / Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών

Εκπαιδευτικό Ίδρυμα

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Τίτλος

Χημικός Μηχανικός (MSc)

Χρονική Περίοδος

Οκτ 2003 - Μαρ 2009

Εκπαιδευτικό Ίδρυμα

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Εργασιακή Εμπειρία

Θέση εργασίας

Μέλος επιστημονικής ομάδας Εργαστηρίου Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας

Χρονική Περίοδος

Ιαν 2008 - σήμερα

Κύρια απασχόληση και
ευθύνες

Εξειδικευμένες αναλύσεις σε θέματα που αφορούν κυρίως δομικά υλικά και βιομηχανικά παραπροϊόντα μέσω εθνικής ή ευρωπαϊκής χρηματοδότησης.

Επωνυμία εργοδότη

Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ / Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Θέση εργασίας

Εξωτερικός συνεργάτης

Χρονική Περίοδος

Ιαν 2012 - σήμερα

Κύρια απασχόληση

Χημικές αναλύσεις υγρών αποβλήτων / Σχεδιασμός συστημάτων επεξεργασίας

Επωνυμία εργοδότη

ΠΑΡΑΛΟΣ Τεχνική Α.Ε. /Ακτή Μιαούλη 53-55, Πειραιάς

Θέση εργασίας

Πρακτική Άσκηση ως τεχνικός χημικών αναλύσεων

Χρονική Περίοδος

6 Ιουλ 2008 - 6 Αυγ 2008

Κύρια απασχόληση

Υπεύθυνη χημικών αναλύσεων νερού για τα συστήματα ψύξης του σταθμού

Επωνυμία εργοδότη

ΑΣΠ Σύρου (Σταθμός Παραγωγής Ενέργειας, ΔΕΗ) / Ερμούπολη, Σύρος

Άλλη εμπειρία	Εμπειρία σε βιομηχανικό περιβάλλον - διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου, δοκιμές εργαστηρίου R&D βιομηχανίας τσιμέντου, μελέτη εναλλακτικών καυσίμων και πρώτων υλών, κλπ - καθώς το πλήθος των πειραματικών μετρήσεων του διδακτορικού έγινε σε συνεργασία με μεγάλη τσιμεντοβιομηχανία Εξοικείωση με εθνικά και διεθνή πρότυπα και κανονισμούς που αφορούν προδιαγραφές δομικών υλικών (EN 206, ΚΤΣ 97, ΕΛΟΤ). Συμμετοχή στην συγγραφή πλήθους επιστημονικών και τεχνικών εκθέσεων που έχουν δημοσιευτεί σε συνέδρια και διεθνή επιστημονικά περιοδικά Εμπειρία στην εκπαίδευση φοιτητών σε εργαστήρια καθώς και στην παράδοση διαλέξεων και παρουσιάσεων σε προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές Συμμετοχή σε εθνικά και ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα
Προγράμματα	Εθνικό Πρόγραμμα Συνεργασία ΠΡΑΞΗ Ι: «Συνεργατικά έργα μικρής και μεσαίας κλίμακας» - ΤΕΦΡΟΔΟΣ - Ανάπτυξη Υλικών Σκυροδέματος για Οδοποιία και Ογκολίθους για Προβλήτες. Κατασκευή Πιλοτικών Οδοστρωμάτων και Προβλητών Συμμόρφωση ελληνικών βιομηχανιών ασβέστη και ασβεστοπολτού με τον κανονισμό REACH. Πραγματοποίηση χαρακτηρισμού, χημικών αναλύσεων και τεχνικών εκθέσεων DEBCO: “Διερεύνηση δυνατότητας χρήσης ιπτάμενης τέφρας από μικτή καύση λιγνίτη / βιομάζας ως πρόσθετο τσιμέντου με βάση το Πρότυπο EN 197-1”. Ανάθεση έργου από ΕΚΕΤΑ-ΙΤΕΣΚ Ερευνητικό πρόγραμμα συνεργασίας ΕΜΠ - ΕΚΠΑ: «Μελέτη Οργανοανόργανων Λιπασμάτων Φιλικών προς το Περιβάλλον»
Ικανότητες	
Μητρική Γλώσσα	Ελληνικά
Άλλες Γλώσσες	Αγγλικά
	Άριστη χρήση
	Ολλανδικά
	Βασική Γνώση
Τεχνικές ικανότητες	Καλή γνώση δοκιμών ιδιοτήτων τσιμέντου και νωπού ή σκληρυσμένου σκυροδέματος και κονιάματος
	Καλή χρήση φυσικών μεθόδων ανάλυσης όπως XRD και TG και εξοικείωση με SEM, XRF, Κοκκομετρική ανάλυση με laser, Ποροσιμετρία, Φασματομετρία, κλπ.
	Εμπειρία στην ανάλυση νερού και υγρών αποβλήτων όπως και στον χαρακτηρισμό βιομηχανικών παραπροϊόντων με αναλυτικές μεθόδους
Γνώσεις Η/Υ	Άριστη γνώση του MS Office με ιδιαίτερη εξοικείωση σε MS Word, Excel και PowerPoint
	Μικρή εμπειρία σε στατιστικά προγράμματα όπως Minitab και SPSS
Δημοσιεύσεις	S. Tsimas, G. Vardaka, M. Zervaki, Composing cement raw mix by using fly and bottom high calcium ashes, <i>EuroCoalAsh</i>, Warsaw, 2008, pp73-84 - Maria Myrto Dardavila, Monika Zervaki, Stamatis Tsimas, Hellenic Bottom Ash: The Present Status And Utilization Perspectives, <i>2nd EVIPAR Conference</i>, Kozani, Greece, 2009, pp231-239

- **Monika Zervaki**, Utilization Of Wastes From Ready-Mix Concrete And Mortar Plants: First Approach, 2nd EVIPAR Conference, Kozani, Greece, 2009, pp308-312
- Βαρδάκα Γ., **Ζερβάκη Μ.**, Δαρδαβίλα Μ., Αντίοχος Σ., Γκαλμπένης Χ. και Τσίμας Σ., Μεγιστοποίηση της Χρήσης Ιπτάμενων και Υγρών Λιγνιτικών Τεφρών στην Βιομηχανία Τσιμέντου, 7^η ΠΕΣΧΜ, Πάτρα, 3-5 Ιουνίου, 2009
- **M. Zervaki**, S. Tsimas, Physical and chemical properties of waste water from ready-mixed concrete plants, 5th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Croatia, 2009, pp264
- Σ. Τσίμας, Χ-Τ Γκαλμπένης, Γ. Βαρδάκα, **Μ. Ζερβάκη**, Διαχείριση αποβλήτων δομικών υλικών με στόχο την αειφορία. Σχεδιασμός νέων δομικών υλικών και ανάπτυξη νέων μεθόδων, Honorary Edition for NTUA Professor Nikolaos Spyrellis, Athens, Greece, 2009, pp347-356
- **Μ. Ζερβάκη**, Σ. Τσίμας and Χ. Λεπτοκαρίδης, Επαναχρησιμοποίηση νερού έκπλυσης από οχήματα μεταφοράς έτοιμου σκυροδέματος, ο ρόλος του pH, 3rd conference on Small and Decentralized Water and Wastewater Treatment Plants, Skiathos, Greece, 2010
- Konstantinos Chassapis, Maria Roulia, Evangelia Vrettou, Despina Fili, and **Monika Zervaki** (2010), "Biofunctional Characteristics of Lignite Fly Ash Modified by Humates: A New Soil Conditioner", *Bioinorganic Chemistry and Applications*, vol. 2010, Article ID 457964, 8 pages, 2010. doi:10.1155/2010/457964
- Stamatis Tsimas, **Monika Zervaki** (2011), "Reuse of waste water from ready-mixed concrete plants", *Management of Environmental Quality: An International Journal*, volume 22 issue 1, Special Issue: 5th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, pp.7-17
- **Monika Zervaki**, Christos Leptokaridis, Stamatis Tsimas, "Reuse of by-products from ready-mixed concrete plants for the production of cement mortars", 6th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik, Croatia, September 25-29, 2011
- **Zervaki M.**, Tsaggari G., Leptokaridis C. and Tsimas S., "Application Of The Taguchi Method On The Peer Effect Of Concrete Wash Water Sludge And Filler In Cement Mortars", 3rd EVIPAR conference, Thessaloniki, Greece, 2012
- Karabinis E., Grammelis P., Itskos G., Kakaras E., **Zervaki M.**, Tsimas S., "Investigation Of The Potential Use Of Fly Ash From Cofiring Lignite / Biomass As Supplementary Cementitious Material", 3rd EVIPAR conference, Thessaloniki, Greece, 2012
- Tsimas Stamatis, Moutsatsou Angeliki, **Zervaki Monika**, Drosou Christina Amalia, Karakasi Olga, Papadopoulos Achilleas, Masavetas Ilias, Tsimas Emmanouil, Vardaka Georgia, Karamberi Alexandra, Vavyloni Katerina "Statistical analysis as a key for the selection of suitable fractions of lignite fly ashes towards their further exploitation" *Proc. of 3rd EuroCoalAsh Conference*, 26-27 September 2012, Thessaloniki Greece
- **M. Zervaki**, M. Mappouridou, C. Leptokaridis, S. Tsimas, "Concrete sludge water recycling: An essential practice for the sustainability of a ready mix concrete plant", *Third International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering*, Vienna, Austria, October 3-6, 2012
- **Monika Zervaki**, Christos Leptokaridis, Stamatis Tsimas, "Utilization of concrete sludge water: the effect of mixing water's properties on mortar strength development and hydration", *Twelfth International Conference on Recent Advances in Concrete Technology and Sustainability Issues*, Prague, Czech Republic, October 31-November 2, 2012
- **Zervaki, M.**, Leptokaridis, C., Tsimas, S., Reuse of By-Products from Ready-Mixed Concrete Plants for the Production of Cement Mortars, *J. sustain. dev. energy water environ. syst.*, 1(2), pp 152-162, 2013
- S.K. Antiohos, J.G. Tapali, **M. Zervaki**, J. Sousa-Coutinho, S. Tsimas, V.G. Papadakis, Low embodied energy cement containing untreated RHA: A strength development and

Αθλητισμός

- durability study, *Construction and Building Materials* 49 (2013) 455–463
- **Μ. Ζερβάκη**, Σ. Τσίμας, «Επίδραση Χαρακτηριστικών Νερού Έκλυσης Οχημάτων Μεταφοράς Σκυροδέματος στις Ιδιότητες Κονιαμάτων με Βάση το Τσιμέντο», 9^ο ΠΕΣΧΜ: Η συμβολή της χημικής μηχανικής στην αειφόρο ανάπτυξη, Αθήνα, 2013
- Ιστιοπλοΐα**
- Πανελλήνια πρωταθλήματα στην κατηγορία 420 κατά τα έτη 2001, 2002, 2003
- Προπονήτρια σε εκπαιδευτικές και αγωνιστικές ομάδες σε τέσσερις ναυτικούς ομίλους κατά τα έτη 2004-2012