

Σταμάτης Τσίμας, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σωτήρης Τσιβιλής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Μ.Π.

Σ. Τσίμας, Σ. Τσιβιλής

Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου

Copyright © 2010, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Γλωσσική επιμέλεια

Ελένη Γιαννακοπούλου, *Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.*

Σχεδιασμός εξωφύλλου, ηλεκτρονική σελιδοποίηση

Στέλλα Μπορουτζή, *Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.*

Σχεδιασμός σχημάτων

Ειρήνη Βούλγαρη, *Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.*

Στέλλα Μπορουτζή, *Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.*

Ροζίτα Ταμπακοπούλου, *Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.*



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Μ.Π.

Θωμαΐδειο Κτήριο Εκδόσεων

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Ζωγράφου

Τηλ.: 210 772 2578, fax: 210 772 1127

e-mail: ntuapres@central.ntua.gr

www.ntua.gr/ntuapres

ISBN: 978-960-254-691-8

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ.....	15
1.2 ΟΙ ΣΥΝΔΕΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ.....	17
1.3 ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΠΟΡΤΛΑΝΤ.....	18
1.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	18
2 ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	21
2.1 ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.....	21
2.2 ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	22
2.3 ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ.....	23
3 ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΟΙΝΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ.....	25
3.1 ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ EN 197-1.....	25
3.1.1 ΤΑ ΚΥΡΙΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.....	27
3.1.1.1 Κλίνκερ τσιμέντου Πόρτλαντ, Κ.....	27
3.1.1.2 Σκωρία υψικαμίνων, S.....	27
3.1.1.3 Ποζολανικά υλικά, Ρ, Q.....	27
3.1.1.4 Ιπτάμενες τέφρες, V, W.....	28
3.1.1.5 Burnt shale, T.....	28
3.1.1.6 Ασβεστόλιθος, L, LL.....	29
3.1.1.7 Silica fume, D.....	29
3.1.2 ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ (MAC).....	29
3.1.3 ΘΕΙΙΚΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ.....	30
3.1.4 ΠΡΟΣΘΕΤΑ.....	30
3.1.5 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ.....	30
3.1.6 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ, ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ.....	32

3.2 Ο ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ	32
3.3 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ EN 197-1 ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ	35
3.4 ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ASTM	37
3.4.1 ΟΙ ΤΥΠΟΙ ΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΠΟΡΤΛΑΝΤ ΚΑΤΑ ASTM	37
3.4.2 ΑΝΑΜΕΙΓΜΕΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ PORTLAND	39
3.5 ΕΙΔΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ	39
4 ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	41
4.1 ΛΕΠΤΟΤΗΤΑ	41
4.2 ΧΡΟΝΟΣ ΠΗΞΗΣ	43
4.2.1 ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	43
4.2.2 ΑΡΧΗ ΚΑΙ ΤΕΛΟΣ ΠΗΞΗΣ	44
4.3 ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΟΓΚΟΥ	45
4.4 ΑΝΤΟΧΕΣ	45
4.5 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ	49
5 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	51
5.1 ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	52
5.2 ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ	56
5.3 ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	58
5.4 ΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥΣ	59
5.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΤΟ ΜΕΙΓΜΑ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	62
5.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	63
5.6.1 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	64
5.7 ΑΝΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΠΡΟΣΜΕΙΞΕΙΣ ΣΤΙΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	67
5.8 Η ΛΕΠΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	69
6 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	73
6.1 ΓΕΝΙΚΑ	73
6.2 ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΤΑ ΑΣΒΕΣΤΟΥΧΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	74
6.2.1 ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	74
6.2.2 ΣΚΟΝΗ ΑΠΟΚΟΝΙΩΣΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΚΑΜΙΝΩΝ	75
6.2.3 ΣΚΩΡΙΑ ΥΨΙΚΑΜΙΝΟΥ	76
6.2.4 ΜΕΙΓΜΑ ΣΚΩΡΙΑΣ ΥΨΙΚΑΜΙΝΟΥ ΚΑΙ ΣΚΩΡΙΑΣ ΜΕΤΑΛΛΑΚΤΩΝ	76
6.2.5 ΑΛΛΑ ΥΛΙΚΑ	77
6.3 ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΤΑ ΠΥΡΙΤΙΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	78
6.3.1 ΑΜΜΟΣ ΧΥΤΗΡΙΟΥ	78
6.3.2 ΑΜΜΟΣ ΕΚΠΛΥΣΗΣ	78
6.3.3 ΤΕΦΡΑ ΦΛΟΙΩΝ ΡΥΖΙΟΥ	79
6.3.4 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΕΙΡΑ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ	80
6.4 ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΤΑ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	81
6.4.1 ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΚΑΤΑΛΥΤΩΝ	81
6.4.2 ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ	81
6.4.3 ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ ΥΨΗΛΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΑΝΘΡΑΚΑ	83
6.4.4 ΤΕΦΡΑ ΠΥΘΜΕΝΑ	84

6.4.5 ΑΠΟΒΑΗΤΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΡΒΟΥΝΟΥ	85
6.4.6 ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥΣ	85
6.5 ΑΛΛΑ ΥΛΙΚΑ	85
6.5.1 ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	86
6.5.2 ΑΠΟΒΑΗΤΑ ΜΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΨΗΣΗΣ	86
6.5.3 ΛΑΣΠΗ ΑΠΟΘΕΙΩΣΗΣ ΑΠΑΕΡΙΩΝ	87
6.6 ΤΕΛΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	87
7 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	91
7.1 Η ΛΑΤΟΜΕΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	94
7.1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΤΟΥ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ	94
7.1.2 Η ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ	96
7.2 Η ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	98
7.2.1 ΘΡΑΥΣΗ	98
7.2.1.1 Γενική περιγραφή θραυστήρων	98
7.2.1.2 Λόγος σμίκρυνσης	99
7.2.1.3 Είδη θραυστήρων	100
7.2.2 ΠΡΟΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ	104
7.2.2.1 Θεωρία της προομογενοποίησης	105
7.2.2.2 Συστήματα προομογενοποίησης	106
7.2.2.3 Τεχνικές απόθεσης	107
7.2.2.4 Μηχανήματα προομογενοποίησης	108
7.2.3 ΑΛΕΣΗ ΦΑΡΙΝΑΣ	109
7.2.3.1 Η άλεση στο χώρο της βιομηχανίας τσιμέντου	109
7.2.3.2 Στόχοι και απόδοση των διεργασιών άλεσης	110
7.2.3.3 Ανοικτό και κλειστό κύκλωμα. Πλεονεκτήματα κλειστών κυκλωμάτων	111
7.2.3.4 Σφαιρόμυλοι	114
7.2.3.5 Λειτουργικά στοιχεία στους σφαιρόμυλους	118
7.2.3.6 Δυναμικότητα σφαιρόμυλων	121
7.2.3.7 Αλεστικά σώματα	123
7.2.3.8 Διαχωριστές	127
7.2.3.9 Άλλοι τύποι μύλων. Κάθετοι μύλοι	128
7.2.3.10 Διαφορές στην άλεση της φαρίνας και του κλίνκερ	132
7.2.4 ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ	133
7.3 Η ΕΨΗΣΗ	134
7.3.1 ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΨΗΣΗΣ	135
7.3.2 ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΨΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	136
7.3.2.1 Αντιδράσεις κάτω των 1300°C	138
7.3.2.2 Αντιδράσεις στην περιοχή των 1300-1450°C	139
7.3.2.3 Αντιδράσεις κατά την ψύξη	139
7.3.3 ΚΛΙΝΚΕΡ: Η ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	140
7.3.3.1 Πυριτικό τριασβέστιο	141
7.3.3.2 Πυριτικό διασβέστιο	142
7.3.3.3 Αργιλικό τριασβέστιο	143
7.3.3.4 Σιδηραργιλικό τετρασβέστιο ή φάση του φερρίτη	143
7.3.4 ΕΨΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	144

7.3.4.1 Παράγοντες που επιδρούν στην εψησιμότητα	144
7.3.4.2 Ποσοτική έκφραση της εψησιμότητας	146
7.3.5 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΨΗΣΗΣ	147
7.3.5.1 Συστήματα έψησης	147
7.3.5.2 Λειτουργικά χαρακτηριστικά περιστροφικής καμίνου	151
7.3.5.3 Τα καύσιμα	152
7.3.5.4 Η πυρίμαχη επένδυση της περιστροφικής καμίνου	155
7.3.5.5 Συστήματα ψύξης	156
7.3.6 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΚΑΙ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΨΗΣΗΣ	157
7.4 Η ΑΛΕΣΗ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	159
7.4.1 ΚΥΛΙΝΔΡΟΠΡΕΣΣΕΣ	159
7.4.1.1 Κυκλώματα άλεσης με κυλινδρόπρεσα	161
7.4.1.2 Επίδραση της χρήσης κυλινδρόπρεσας στην παραγωγική διαδικασία και στην ποιότητα του προϊόντος	163
7.4.1.3 Προβλήματα από τη χρήση κυλινδρόπρεσας στην παραγωγική διαδικασία	164
7.4.2 ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	164
7.4.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΑΛΕΣΗΣ	168
8 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	173
8.1 Η ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΑΛΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΤΗΣ ΚΑΜΙΝΟΥ. ΚΥΚΛΟΙ ΤΩΝ ΑΛΚΑΛΙΩΝ	174
8.2 ΟΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΛΙΝΚΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ	175
8.3 Η ΨΥΞΗ ΤΟΥ ΚΛΙΝΚΕΡ	176
8.4 ΟΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΛΕΣΗΣ	178
8.4.1 ΕΙΔΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	178
8.4.2 ΑΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΦΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΚΛΙΝΚΕΡ	180
8.4.3 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	182
8.4.4 ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΣΗΣ	183
8.4.5 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΜΥΛΟ. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ	185
8.4.6 ΘΕΡΜΙΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΥΛΟΥ	186
8.5 ΟΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	188
9 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	189
9.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	189
9.2 ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ. ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	192
9.3 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΠΟΚΟΝΙΩΣΗΣ	195
9.3.1 ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ	195
9.3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΦΙΛΤΡΑ	197
9.3.3 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΩΝ - ΗΛΕΚΤΡΟΦΙΛΤΡΩΝ	198
10 ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ PORTLAND	201
10.1 ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΚΛΙΝΚΕΡ	202
10.1.1 ΠΥΡΙΤΙΚΟ ΤΡΙΑΣΒΕΣΤΙΟ	202
10.1.2 ΠΥΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΣΒΕΣΤΙΟ	203
10.1.3 ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΤΡΙΑΣΒΕΣΤΙΟ	204

10.1.4 ΦΕΡΡΙΤΙΚΗ ΦΑΣΗ	205
10.2 ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ PORTLAND	206
10.2.1 ΤΟ ΝΕΡΟ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ	206
10.2.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ	208
10.3 ΕΚΛΥΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ	208
10.4 ΠΗΞΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ PORTLAND	211
10.4.1 ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΓΥΨΟΥ ΣΤΗΝ ΠΗΞΗ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	212
10.5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΝΤΟΧΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ PORTLAND	214
11 ΣΥΝΘΕΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ PORTLAND	216
11.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	216
11.2 ΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΩΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ	218
11.2.1 Η ΣΚΩΡΙΑ ΥΨΙΚΑΜΙΝΩΝ	220
11.2.2 ΟΙ ΙΠΤΑΜΕΝΕΣ ΤΕΦΡΕΣ	222
11.2.3 Η ΠΥΡΙΤΙΚΗ ΠΑΙΠΑΛΗ	224
11.3 Η ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ PORTLAND	225
11.3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ	225
11.3.2 Η ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΜΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ	227
11.3.2.1 Ταξινόμηση των φάσεων της ενυδάτωσης	227
11.3.2.2 Ενυδάτωση της σκωρίας και τσιμέντων με σκωρίες	227
11.3.2.3 Ενυδάτωση των ιπταμένων τεφρών και τσιμέντων με τέφρες	229
11.3.2.4 Ενυδάτωση της πυριτικής παιπάλης και τσιμέντων με πυριτική παιπάλη	229
11.4 ΣΥΝΘΕΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΜΕ ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΟΖΟΛΑΝΕΣ	230
11.4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	230
11.4.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	231
11.5 ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ PORTLAND	235
11.6 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ	239
11.7 ΟΙ ΙΠΤΑΜΕΝΕΣ ΤΕΦΡΕΣ ΩΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	241
11.7.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΩΠΟΥ ΚΑΙ ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	241
11.7.2 ΟΙ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΙΠΤΑΜΕΝΕΣ ΤΕΦΡΕΣ	245
11.7.3 ΟΙ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΙΠΤΑΜΕΝΕΣ ΤΕΦΡΕΣ	246
11.8 Ο ΜΕΤΑΚΑΟΛΙΝΗΣ ΩΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	247
11.8.1 ΜΕΤΑΚΑΟΛΙΝΗΣ	247
11.8.2 ΣΥΝΘΕΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΜΕ ΜΕΤΑΚΑΟΛΙΝΗ	248
11.8.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΤΑΚΑΟΛΙΝΗΣ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	248
12 ΕΙΔΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ	251
12.1 ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΙΙΚΩΝ ΑΛΑΤΩΝ	251
12.2 ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΕΝΥΔΑΤΩΣΗΣ	254
12.3 ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΥΨΗΛΩΝ ΑΡΧΙΚΩΝ ΑΝΤΟΧΩΝ	259
12.4 ΛΕΥΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ PORTLAND	259
12.5 ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ	262
12.6 ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΧΑΜΗΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ	263
12.6.1 ΒΕΛΙΤΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ	264
12.6.2 ΘΕΙΟΑΣΒΕΣΤΑΡΓΙΛΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ	265
12.6.3 ΑΛΙΝΙΤΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ	265

12.7 ΤΣΙΜΕΝΤΑ OILWELL	266
13 ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	267
13.1 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	268
13.1.1 ΤΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	268
13.1.2 ΤΟ ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ	270
13.1.3 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΜΕΙΚΤΑ	271
13.1.3.1 Βελτιωτικά ή χημικά πρόσμεικτα	271
13.1.3.2 Πρόσθετα συστατικά	272
13.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ	273
13.3 ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	277
13.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	278
13.4.1 Η ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑ	278
13.4.2 ΟΙ ΑΝΤΟΧΕΣ	279
13.4.3 ΤΟ ΠΟΡΩΔΕΣ	281
13.4.4 Η ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ	282
13.5 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	284
14 ΠΡΟΣΒΟΛΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΙΤΙΕΣ	287
14.1 ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΟΠΟΥ ΕΚΤΙΘΕΤΑΙ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	287
14.2 ΠΡΟΣΒΟΛΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΙΤΙΕΣ	288
14.2.1 ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟΥ	289
14.2.2 ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΤΙΟΝΤΩΝ	291
14.2.3 ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΖΟΥΝ ΔΙΟΓΚΟΥΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ	292
14.2.3.1 Επίδραση θεικών	292
14.2.3.2 Αντίδραση αλκαλίων-αδρανών σκυροδέματος	294
14.2.3.3 Ενυδάτωση των κρυσταλλικών MgO και CaO	296
14.2.3.4 Διάβρωση του σιδηροπλισμού του σκυροδέματος	297
14.2.4 ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ	299
14.2.5 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ	299
14.2.6 ΟΞΙΝΗ ΠΡΟΣΒΟΛΗ	302
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	305
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ	311