

**Επίδραση του τύπου του τσιμέντου στην ανθεκτικότητα
των σκυροδεμάτων έναντι ενανθράκωσης**
Influence of the type of cement on durability of concrete
against carbonation

Χρήστος ΤΑΣΣΟΣ¹, Κοσμάς ΣΙΔΕΡΗΣ², Αλέξανδρος ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ³,
Νικόλαος ΠΙΣΤΟΦΙΔΗΣ⁴, Εμμανουήλ ΧΑΝΙΩΤΑΚΗΣ⁵

*Λέξεις κλειδιά: ανθεκτικότητα (durability), ενανθράκωση (carbonation),
χλωριόντα (chlorine penetration), σκυρόδεμα (concrete), τσιμεντοκονίαμα (cement
mortar)*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση του τύπου του τσιμέντου στην αντίσταση έναντι ενανθράκωσης των σκυροδεμάτων. Τέσσερις τύποι τσιμέντων χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή τσιμεντοκονιαμάτων και σκυροδεμάτων διαφορετικών κατηγοριών αντοχής. Όλα τα δοκίμια εκτέθηκαν σε περιβάλλον επιταχυνόμενης ενανθράκωσης για χρονικό διάστημα μέχρι την ηλικία των έξι μηνών. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν τη σημαντική επίδραση του τύπου του τσιμέντου στην αντίσταση του σκυροδέματος έναντι ενανθράκωσης.

ABSTRACT: In this project is being examined the influence of the type of cement on concrete's resistance against carbonation. Four types of cement were used for the production of concrete mixes of different stress classes. All specimens were exposed in accelerated carbonation environment for six months. The results have shown the significant influence of the type of cement on durability of concrete against carbonation.

¹Πολ. Μηχανικός, υπ. Διδάκτορας, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, email: ctassos@civil.duth.gr

²Αναπληρωτής Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, email: kksider@civil.duth.gr

³Πολ. Μηχανικός, υπ. Διδάκτορας, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, email: achatzip@civil.duth.gr

⁴Χημικός Μηχανικός, Διεύθυνση Έρευνας και Ποιότητας TITAN ΑΕ, email: pistofidisn@titan.gr

⁵Χημικός, Διεύθυνση Έρευνας και Ποιότητας TITAN ΑΕ, email: haniotakise@titan.gr

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

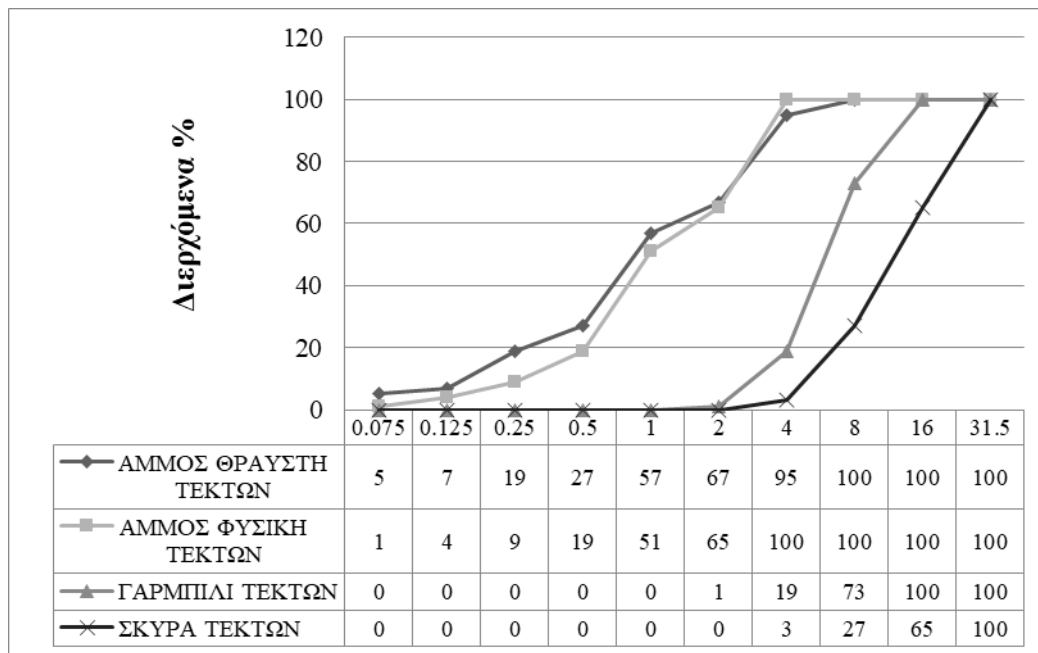
Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2 (ΕΛΟΤ EN1992) η απαίτηση χρήσης ανθεκτικού σκυροδέματος ενδέχεται να οδηγήσει στην επιλογή σκυροδέματος με μεγαλύτερη αντοχή από αυτή που απαιτείται από το δομοστατικό σχεδιασμό. Ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 2016 καθώς και το Εθνικό Προσάρτημα ΕΛΟΤ EN 206 ορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν τα σκυροδέματα που χρησιμοποιούνται ανάλογα με την κατηγορία περιβαλλοντικής έκθεσης των κατασκευών που σκυροδετούνται με αυτά. Στους σχετικούς πίνακες γίνεται διάκριση των σκυροδεμάτων που εκτίθενται σε περιβάλλοντα χλωρίοντων τα οποία προέρχονται από τη θάλασσα (κατηγορία έκθεσης XS) ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου που έχει χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή τους. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο και για την κατηγορία έκθεσης XC (διάβρωση οπλισμού λόγω ενανθράκωσης του σκυροδέματος) όπου οι δύο κανονισμοί ουσιαστικά υιοθετούν -με ελάχιστες διαφοροποιήσεις- τις απαιτήσεις του Ευρωπαϊκού Προτύπου EN 206-13. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση του τύπου του τσιμέντου στην αντίσταση έναντι ενανθράκωσης των σκυροδεμάτων. Τέσσερις τύποι τσιμέντων χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή τσιμεντοκονιαμάτων και σκυροδεμάτων διαφορετικών κατηγοριών αντοχής. Όλα τα δοκίμια εκτέθηκαν σε περιβάλλον επιταχυνόμενης ενανθράκωσης για χρονικό διάστημα μέχρι την ηλικία των έξι μηνών. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν τη σημαντική επίδραση του τύπου του τσιμέντου στην αντίσταση του σκυροδέματος έναντι ενανθράκωσης. Η επιλογή ακατάλληλου τύπου τσιμέντου δύναται να μειώσει σημαντικά το χρόνο ζωής έναντι ενανθράκωσης, ακόμη και αν η κατηγορία αντοχής του σκυροδέματος παραμένει σταθερή και ικανοποιούνται οι σχετικές απαιτήσεις των κανονιστικών πλαισίων.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Παρήχθησαν έξι διαφορετικά μείγματα συμβατικού σκυροδέματος και τέσσερα διαφορετικά μείγματα τσιμεντοκονιαμάτων. Τα μείγματα σκυροδέματος ανήκαν στις κατηγορίες αντοχής C25/30 και C30/37 (EN206-1, 2000). Όλα τα μείγματα παρασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας τσιμέντα τύπου CEM I 42.5R, CEM II 42.5(A-M)N, CEM II 32.5(B-M)N και CEM II 32.5(B-LL)N. Τα μείγματα παρασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν σε νωπή κατάσταση. Τα χονδρόκοκκα αδρανή αποτελούνταν από θρυμματισμένο γρανίτη με μέγιστο μέγεθος 32mm. Τα λεπτόκοκκα αδρανή υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν θραυστή και φυσική πυριτική άμμος. Υψηλού εύρους, μείωσης νερού, καρβοξυλικού αιθέρα, πολυμερές πρόσμικτο προστέθηκε σε διαφορετικές δοσολογίες, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή εργασιμότητα. Η χημική ανάλυση των τσιμέντων που χρησιμοποιήθηκαν φαίνεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Χημική ανάλυση τσιμέντων

	CEM I 42,5 R	CEM II 42,5 (A-M)N	CEM II 32,5 (B-M)N	CEM II 32,5 (B-LL)N
SiO ₂	20,86	23,85	28	14,4
Al ₂ O ₃	5,38	5,22	9	5,1
Fe ₂ O ₃	2,73	4,13	5,5	2,4
CaO	60,88	58,2	48	62,5
MgO	2,31	3,2	2,2	1,6
SO ₃	3,13	3,3	3,2	3,2
K ₂ O	1,93	0,68	1,5	0,1
Na ₂ O	-	0,32	0,5	0,2
TiO ₂	-	0,24	-	-
P ₂ O ₅	-	0,06	-	-
SrO	-	0,03	-	-
Cr ₂ O ₃	-	0,02	-	-
ZnO	-	0,01	-	-
MnO	-	-	-	-
ειδικό βάρος	3,1	3,1	3,15	3,05



Σχήμα 1. Κοκκομετρική καμπύλη αδρανών

Στα μείγματα τσιμεντοκονιάματος χρησιμοποιήθηκε πρότυπη άμμος ενώ στα μείγματα σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκε γαρμπίλι (2-16 mm) και σκύρα (8-32 mm) τα οποία προήλθαν από θραύση φυσικού πετρώματος σε σπαστήρα.

Πίνακας 2. Μελέτη σύνθεσης μειγμάτων σκυροδέματος

Μελέτη Σύνθεσης	C 25/30 CEM I 42.5	C 30/37 CEM I 42.5	C 25/30 CEM II 42.5	C 30/37 CEM II 42.5	C 25/30 Mixed	C 30/37 Mixed	C25/30 Mixed	C30/37 Mixed
kg/m ³	Σ1	Σ2	Σ3	Σ4	Σ5	Σ6	Σ7	Σ8
Τσιμέντο I 42,5	300	350	300	350	0	0	0	0
Τσιμέντο II 42,5	0	0	0	0	150	200	150	200
Τσιμέντο II 32,5	0	0	0	0	150	150	0	0
Τσιμέντο II 32,5 (B-LL)N	0	0	0	0	0	0	150	150
Άμμος Ποταμίσια	400	400	400	400	400	400	400	400
Άμμος Θραυστή	500	500	500	500	500	500	500	500
Γαρμπίλι	270	270	270	270	270	270	270	270
Σκύρα	630	630	630	630	630	630	630	630
Νερό	180	175	180	175	180	175	180	175
Υπερ/της	1,17	1,4	1,17	1,4	1,17	1,4	1,17	1,4
Επιβρ/ής	0,56	0,69	0,56	0,69	0,56	0,69	0,56	0,69
N/T	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5
Κάθιση (cm)	16	17	22	15	18,5	21	15	15

Οι αναλογίες καθώς και οι ιδιότητες των νωπών μειγμάτων παρουσιάζονται για όλα τα σκυροδέματα και τσιμεντοκονιάματα που παρασκευάστηκαν στους Πίνακες 2 και 3.

Πίνακας 3. Μελέτη σύνθεσης μειγμάτων τσιμεντοκονιάματος

Μελέτη Σύνθεσης	CEM I 42.5	CEM II 42.5	CEM II 32.5	CEM II 32.5 (B-LL)
gr/1,7lt	T1	T2	T3	T4
Τσιμέντο I 42,5	450	0	0	0
Τσιμέντο II 42,5	0	450	0	0
Τσιμέντο II 32,5	0	0	450	0
Τσιμέντο II 32,5 (B-LL)	0	0	0	450
Άμμος	1350	1350	1350	1350
Νερό	225	225	225	225
N/T	0,5	0,5	0,5	0,5
Εξάπλωση (cm)	13,5	13,5	14	14

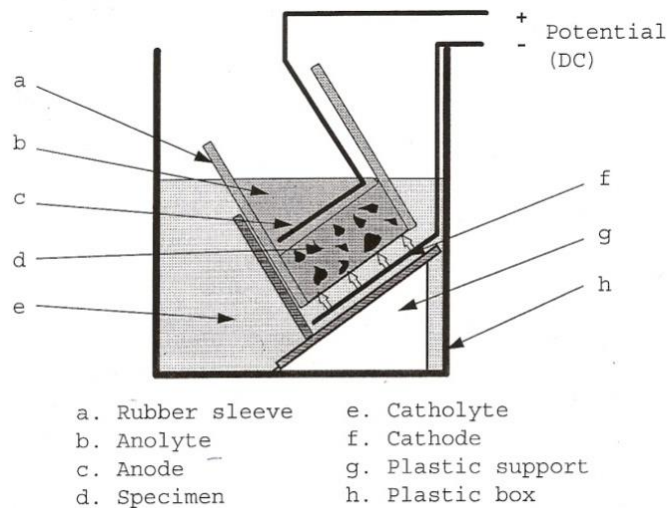
Τα δοκίμια τσιμεντοκονιάματος ήταν πρίσματα 40x40x160mm και κύλινδροι 100x200mm ενώ τα δοκίμια σκυροδέματος που παρασκευάστηκαν ήταν κύβοι ακμής 150mm και κύλινδροι 60x100mm και 100x200mm. Όλα τα δείγματα συντηρήθηκαν σε θάλαμο συντήρησης (T=20°C, RH>98%) μέχρι την ηλικία των δοκιμών.

Τα κυλινδρικά δοκίμια 60x100mm χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης. Τα δοκίμια αυτά συντηρήθηκαν στον ως άνω υγρό θάλαμο για 3 ημέρες ενώ στη συνέχεια συντηρήθηκαν σε περιβάλλον εργαστηρίου μέχρι την ηλικία των 28 ημερών. Μετά την ηλικία αυτή εισήχθησαν στο θάλαμο επιταχυνόμενης ενανθράκωσης.

Οι κύβοι των 150mm χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση της θλιπτικής αντοχής σε διαφορετικές ηλικίες και για τον προσδιορισμό της υδατοαπορροφητικότητας. Η αντίσταση σε ενανθράκωση μετρήθηκε σε κυλινδρικά δοκίμια 60x100mm.

Αυτοί οι μικροί κύλινδροι αρχικά συντηρήθηκαν επί 3 ημέρες στο προαναφερόμενο θάλαμο συντήρησης. Από αυτή την ηλικία και μετά τοποθετήθηκαν σε περιβάλλον εργαστηρίου (σχετική υγρασία=50-60% και θερμοκρασία=20±2°C). Στην ηλικία των 28 ημερών μεταφέρθηκαν στο θάλαμο επιταχυνόμενης ενανθράκωσης (T=20°C, σχετική υγρασία=55% , CO₂=1%). Τα δοκίμια παρέμειναν σε αυτόν τον θάλαμο για 60 ημέρες.

Η αντίσταση σε διείσδυση χλωριόντων των σκυροδεμάτων μετρήθηκε σε κυλινδρικά δοκίμια με διάμετρο 100mm και ύψος 50mm που σχηματίζονται από τους κύλινδρους 100x200mm. Τα δοκίμια αυτά συντηρήθηκαν όπως παραπάνω μέχρι την ηλικία των 28 ημερών. Ακολούθως εκτιμήθηκε ο συντελεστής διάχυσης χλωριόντων De σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο πρότυπο NT Build 492 (1999) και φαίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Διάταξη NT Build 492

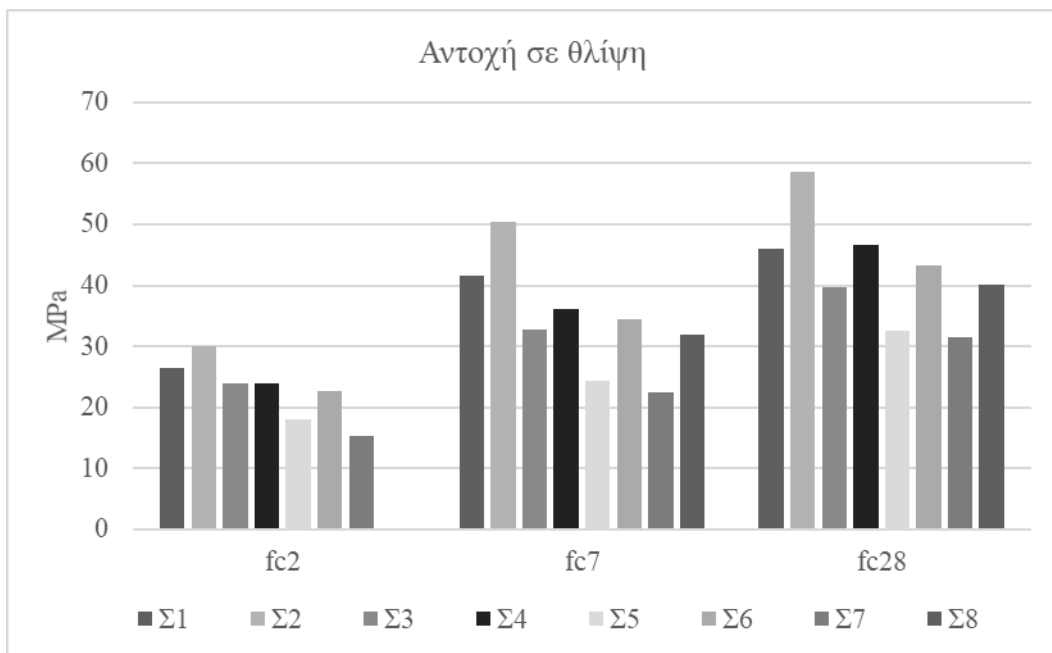
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αντοχή σε Θλίψη

Η αντοχή σε θλίψη μετρήθηκε για όλα τα μείγματα σκυροδέματος και τσιμεντοκονιάματος στις ηλικίες των 2, 7 και 28. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στους Πίνακες 4 και 5 και παρίστανται γραφικώς στα Σχήματα 3 και 4.

Πίνακας 4. Αντοχή σε θλίψη των μειγμάτων σκυροδέματος (MPa)

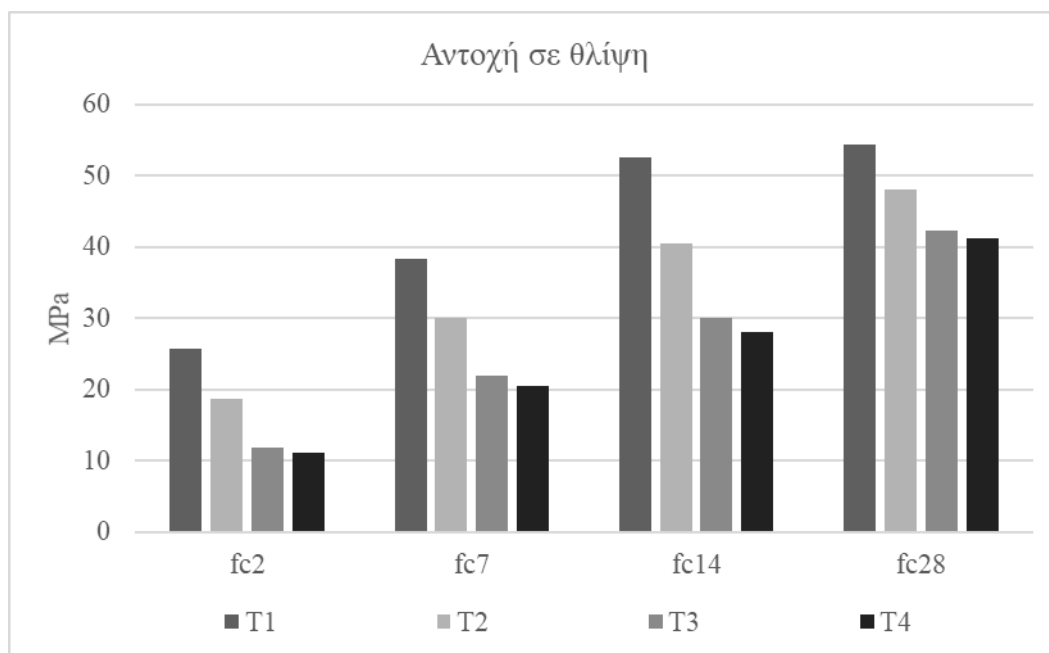
(MPa)	Σ1	Σ2	Σ3	Σ4	Σ5	Σ6	Σ7	Σ8
fc ₂	26,4	30	23,9	24	18,1	22,7	15,3	22,7
fc ₇	41,7	50,4	32,7	36,1	24,3	34,5	22,4	32,0
fc ₂₈	46,1	58,7	39,7	46,7	34,0	43,3	32,5	40,2



Σχήμα 3. Θλιπτική αντοχή μειγμάτων σκυροδέματος

Πίνακας 5. Αντοχή σε θλίψη των μειγμάτων κονιάματος (MPa)

(MPa)	T1	T2	T3	T4
fc ₂	25,7	18,8	11,8	11,1
fc ₇	38,4	30,0	21,9	20,6
fc ₁₄	52,6	40,6	30,0	28,1
fc ₂₈	54,4	48,1	42,3	41,3



Σχήμα 4. Θλιπτική αντοχή μειγμάτων τσιμεντοκονιάματος

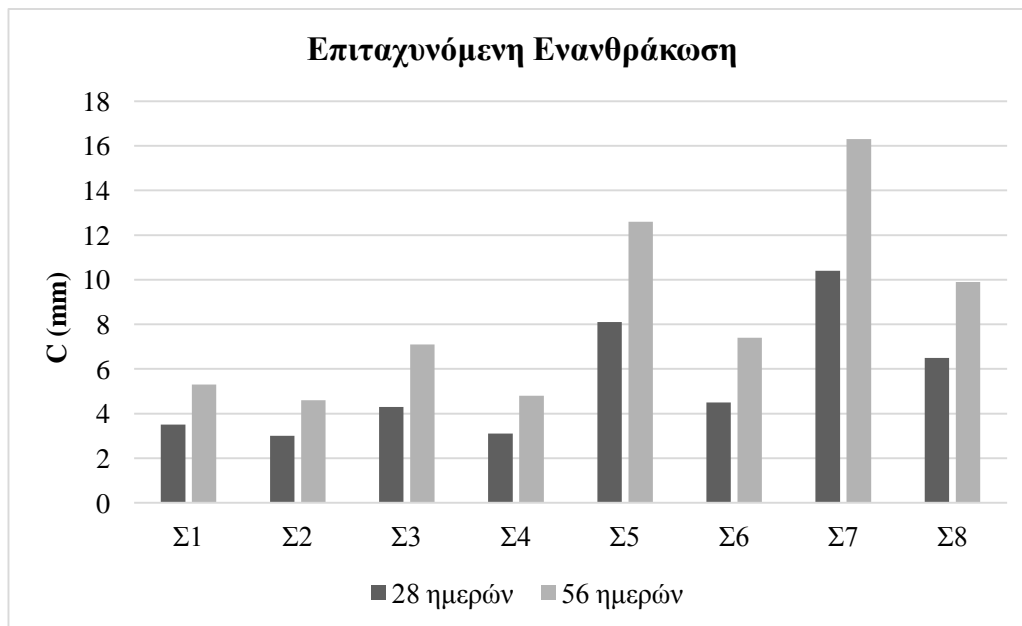
Από τις τιμές των ανωτέρω πινάκων φαίνεται ότι με τη χρήση τσιμέντου τύπου 42,5 η θλιπτική αντοχή αυξάνεται σημαντικά. Στην ηλικία των 28 ημερών όλα τα μείγματα τσιμεντοκονιάματος έχουν τιμές αντοχής μέσα στα αποδεκτά όρια.

Βάθος Ενανθράκωσης

Το βάθος ενανθράκωσης μετρήθηκε με ψεκασμό των φρεσκοθραυσμένων επιφανειών των δοκιμίων, με δείκτη φαινολοφθαλείνης, σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο Πρότυπο EN 14630. Το βάθος ενανθράκωσης όλων των μειγμάτων παρουσιάζεται στους Πίνακες 6 και 7 και παρίσταται γραφικώς στα Σχήματα 5 και 6.

Πίνακας 6. Βάθος επιταχυνόμενης ενανθράκωσης των μειγμάτων σκυροδέματος

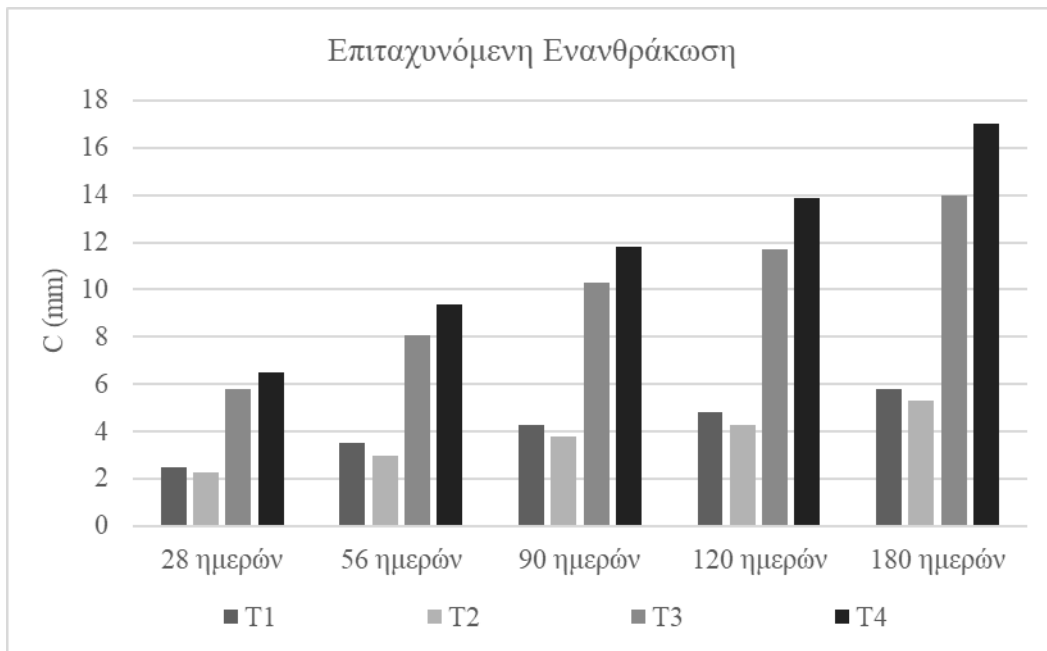
Ενανθράκωση (mm)	Σ1	Σ2	Σ3	Σ4	Σ5	Σ6	Σ7	Σ8
28 ημερών	3,5	3,0	4,3	3,1	8,1	4,5	10,4	6,5
56 ημερών	5,3	4,6	7,1	4,8	12,6	7,4	16,3	9,9



Σχήμα 5. Βάθος επιταχυνόμενης ενανθράκωσης των μειγμάτων σκυροδέματος

Πίνακας 7. Βάθος επιταχυνόμενης ενανθράκωσης των μειγμάτων κονιάματος

Ενανθράκωση (mm)	T1	T2	T3	T4
28 ημερών	2,5	2,3	5,8	6,5
56 ημερών	3,5	3	8,1	9,4
90 ημερών	4,3	3,8	10,3	11,8
120 ημερών	4,8	4,3	11,7	13,9
180 ημερών	5,8	5,3	14,0	17,0



Σχήμα 6. Βάθος επιταχυνόμενης ενανθράκωσης των μειγμάτων τσιμεντοκονιάματος

Στα Σχήματα αυτά αποτυπώνεται η θετική επίδραση που προσδίδει η χρήση τσιμέντου 42,5 στα μείγματα. Το βάθος επιταχυνόμενης ενανθράκωσης όλων των σκυροδεμάτων και κονιαμάτων μειώνεται σημαντικά και μάλιστα η μείωση στα κονιάματα ξεπερνά το 58%.

Συντελεστής Διείσδυσης Χλωριόντων

Οι τιμές του συντελεστή διάχυσης χλωριόντων D_c που μετρήθηκαν σύμφωνα με το Πρότυπο NT Build 492 παρουσιάζονται για όλα τα μείγματα στους Πίνακες 8 και 9 και παρίστανται γραφικώς στα Σχήματα 7 και 8.

Πίνακας 8. Συντελεστής διείσδυσης χλωριόντων De ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$) μειγμάτων σκυροδέματος

	Σ1	Σ2	Σ3	Σ4	Σ5	Σ6
28 ημερών	8,27	7,58	10,39	8,08	14,32	10,27
180 ημερών	7,32	6,95	9,20	7,60	12,10	9,56



Σχήμα 7. Συντελεστής διείσδυσης χλωριόντων μειγμάτων σκυροδέματος

Πίνακας 9. Συντελεστής διείσδυσης χλωριόντων De ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$) μειγμάτων τσιμεντοκονιάματος

	T1	T2	T3	T4
28 ημερών	6,27	7,18	9,31	10,09
56 ημερών	6,13	7,11	9,09	9,75
180 ημερών	5,72	6,16	7,91	8,42



Σχήμα 8. Συντελεστής διείσδυσης χλωριόντων μειγμάτων τσιμεντοκονιάματος

Ο συντελεστής διείσδυσης χλωριόντων μειώνεται σε όλα τα μείγματα κατηγορίας αντοχής C30/37. Η μείωση αυτή είναι μεγαλύτερη στα μείγματα όπου έγινε χρήση τσιμέντου CEM I 42,5 και CEM II 42,5. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός ότι σε όλα τα μείγματα ο συντελεστής De μειωνόταν όσο αυξανόταν η ηλικία των δοκιμίων. Μάλιστα η μείωση του συντελεστή είναι εντονότερη στα μείγματα που παρασκευάστηκαν με σύνθετα τσιμέντα, κάτι το οποίο αναμενόταν λόγω της εξέλιξης της ποζολανικής αντίδρασης. Έχει προγραμματιστεί να γίνει μέτρηση στις 365 ημέρες προκειμένου να υπολογιστεί ο συντελεστής χρόνου σύμφωνα με τις απαιτήσεις της FIB.

Υδατοαπορροφητικότητα

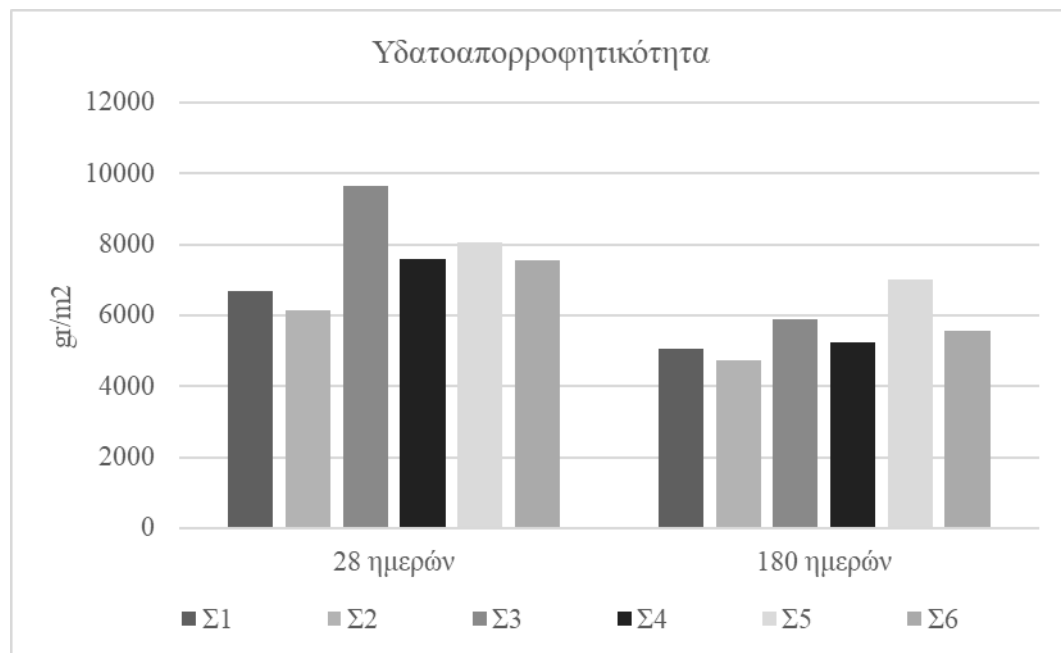
Οι μετρήσεις υδατοαπορροφητικότητας των μειγμάτων σκυροδέματος πραγματοποιήθηκαν στις ηλικίες των 28 και 180 ημερών σε δοκίμια ακμής 100mm, ενώ των μειγμάτων κονιάματος σε πρισματικά δοκίμια 40x40x160mm. Τα δοκίμια παρέμειναν στο θάλαμο συντήρησης του εργαστηρίου μέχρι την ηλικία των 28 ημερών. Στη συνέχεια, ξηράθηκαν στους 65 °C μέχρι σταθεροποίησης του βάρους τους. Κατόπιν, τα δοκίμια προετοιμάστηκαν κατάλληλα (τυλίχθηκαν με μονωτική ταινία περιμετρικά για την εξασφάλιση της απορρόφησης μόνο από τη βάση του δοκιμίου) και αφού ζυγίστηκαν, τοποθετήθηκαν σε λεκάνες με καθαρό νερό κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το νερό να

καλύπτει 3-5 mm του ύψους του δοκιμίου σύμφωνα με το πρότυπο RILEM TC 116 (1999).

Μετρήσεις μεταβολής του βάρους των δοκιμίων πραγματοποιήθηκαν στις χρονικές στιγμές των 10 min, 30 min, 60 min, 90 min, 120 min, 180 min, 240 min, 480 min και 24hr. Τα βάρη αυτά διαιρέθηκαν με την εκτεθειμένη επιφάνεια του δοκιμίου στο νερό (0,0225m² και 0,0064m² αντίστοιχα) για να υπολογιστεί η υδατοαπορροφητικότητα σε μονάδες gr/m².

Πίνακας 10: Υδατοαπορροφητικότητα μειγμάτων σκυροδέματος

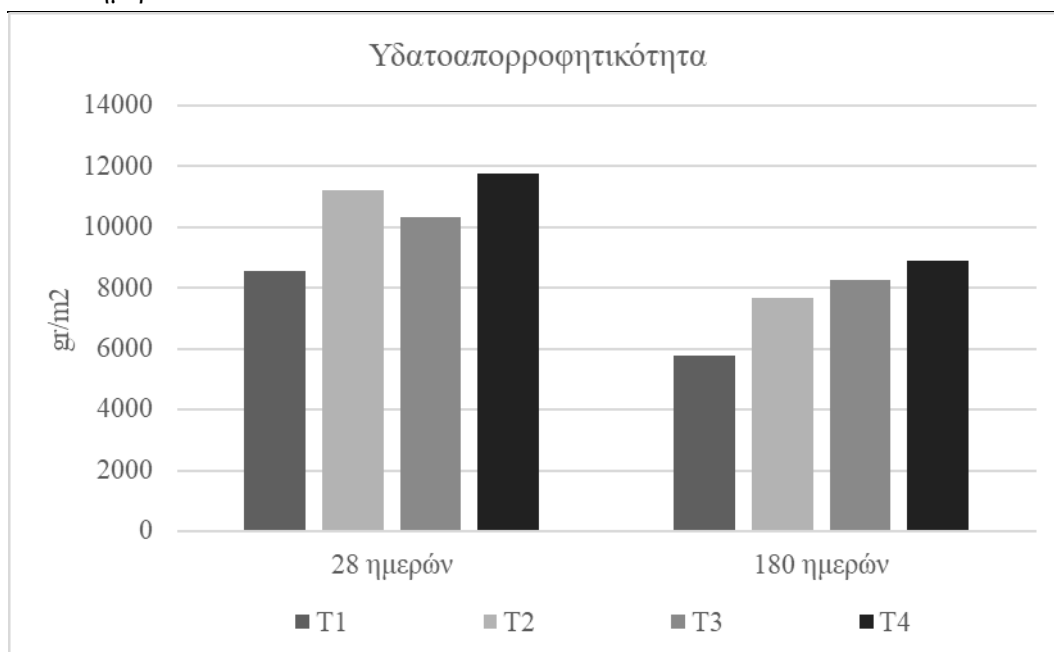
gr/m ²	Σ1	Σ2	Σ3	Σ4	Σ5	Σ6
28 ημερών	6700	6150	9650	7600	8050	7550
180 ημερών	5050	4740	5900	5250	7000	5550



Σχήμα 9. Υδατοαπορροφητικότητα μειγμάτων σκυροδέματος

Πίνακας 11: Υδατοαπορροφητικότητα μειγμάτων κονιάματος

gr/m ²	T1	T2	T3	T4
28 ημερών	8545	11230	10320	11740
180 ημερών	5760	7680	8270	8880



Σχήμα 10. Υδατοαπορροφητικότητα μειγμάτων τσιμεντοκονιάματος

Η χρήση τσιμέντου τύπου 42,5 φαίνεται να προσδίδει και στη μέτρηση της υδατοαπορροφητικότητας καλύτερα αποτελέσματα ιδίως στις μετρήσεις των 180 ημερών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση τσιμέντων τύπου κατηγορίας αντοχής 42.5 (CEM I και CEM II) φαίνεται με τα μέχρι στιγμής αποτελέσματα να προσδίδει τα καλύτερα χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας έναντι ενανθράκωσης, χλωριόντων και υδατοαπορροφητικότητας στα μείγματα σκυροδέματος. Όλοι οι δείκτες ανθεκτικότητας παρουσιάζονται μειωμένοι όταν στην παρασκευή των μειγμάτων χρησιμοποιούνται τσιμέντα κατηγορίας αντοχής 32.5. Ιδιαίτερα η περίπτωση των σκυροδεμάτων C25/30 που παρασκευάζονται με συνδυασμό σύνθετων τσιμέντων κατηγορίας αντοχής 32.5 και 42.5 αναπτύσσει σχεδόν διπλάσιο βάθος επιταχυνόμενης ενανθράκωσης σε σχέση με το αντίστοιχο σκυρόδεμα που παρασκευάζεται μόνο με τσιμέντο κατηγορίας Π42.5. Η πρακτική αυτή είναι

συνηθισμένη στην Ελλάδα για λόγους μείωσης του κόστους παραγωγής, και δεν απαγορεύεται από τον Κανονισμό σκυροδέματος, οδηγεί όμως στην παραγωγή σκυροδεμάτων με αισθητά μειωμένο χρόνο ζωής έναντι ενανθράκωσης. Περαιτέρω έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη για την με ακρίβεια κατάστρωση των σχετικών εξισώσεων και την ποσοτικοποίηση της επίδρασης του τύπου του τσιμέντου στην ανθεκτικότητα των παρασκευασθέντων σκυροδεμάτων τόσο έναντι ενανθράκωσης όσο και έναντι διείσδυσης χλωριόντων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

ΕΛΟΤ EN 1992-1-1:2005 Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα, (2015)

ΚΤΣ-2016, Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, (2016)

ΕΛΟΤ EN 206:2013 Σκυρόδεμα - Προδιαγραφή, επιδόσεις, παραγωγή και συμμόρφωση, (2013)

EN 206-1, Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity, CEN/TC 104, (2000)

EN 14630, Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method, (2006)

NT Build 492 - Concrete Mortar and Cement-based Repair Materials - Chloride Migration Coefficient from Non-steady-state Migration Experiments, (1999)

RILEM TC 116-PCD, Permeability of Concrete as a Criterion of its Durability, International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures, (1999)