

# Επίδραση των προσθέτων στεγανωτικών μάζας με κρυσταλλική δράση στις ιδιότητες νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος

## Impact of crystalline waterproofing admixtures on the properties of fresh and hardened concrete

Χατζηαγοράστου Παναγιώτης<sup>1</sup>

*Λέξεις κλειδιά: Σκυρόδεμα, Πρόσθετα, Στεγανωτικά μάζας, Κρυσταλλική δράση, Συνέδριο, Αθήνα*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Από τα θεμέλια μιας κατασκευής, έως τα προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος, τις δεξαμενές και τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, το σκυρόδεμα είναι ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα οικοδομικά υλικά. Ωστόσο, λόγω της σύνθεσής του, είναι συχνά επιρρεπές σε βλάβες και φθορά από το νερό και τις χημικές επιδράσεις. Επειδή το σκυρόδεμα είναι ένα πορώδες υλικό, το νερό μπορεί να διεισδύσει στην δομή του μέσω πόρων και μικρορωγμών και έτσι να δημιουργηθούν προβλήματα στην ανθεκτικότητα και στη διάρκεια ζωής των κατασκευών. Αυτά τα επιβλαβή αποτελέσματα μπορούν να αποφευχθούν με τη χρήση προσθέτων κρυσταλλικής τεχνολογίας στεγανοποίησης, η οποία βελτιώνει αποτελεσματικά την στεγανότητα του σκυροδέματος, μειώνοντας έτσι το μακροπρόθεσμο κόστος συντήρησης. Στην παρούσα εισήγηση παρουσιάζεται η κρυσταλλική τεχνολογία και γίνεται ανάλυση των στεγανωτικών προσθέτων μάζας με κρυσταλλική δράση. Περιγράφονται οι ιδιότητές τους, τα πλεονεκτήματα και η θετική επίδρασή τους στην αντοχή, στεγανότητα και αντίσταση σε διείσδυση νερού του σκληρυμένου σκυροδέματος.

**ABSTRACT:** Concrete is one of the most commonly used building materials for the construction of foundations, prefabricated concrete elements, tanks and water treatment plants. However, due to its composition, it is often prone to damage and wear through water and chemical effects. Because it is a porous material, water can penetrate into its structure through pores and microcracks and thus affect the durability and lifetime of concrete structures. These harmful effects can be avoided by using additives with crystalline waterproofing technology, which effectively improves the tightness of concrete, thus reducing long-term maintenance costs. The present paper presents the crystalline technology and analyzes the water resisting admixtures with crystalline action. Their properties, advantages and positive effects on the properties of hardened concrete like compressive strength, water impermeability and resistance to penetration of water under pressure are described.

---

<sup>1</sup> Χημικός PhD, ISOMAT ABEE, Θεσσαλονίκη, e mail: [panos@isomat.gr](mailto:panos@isomat.gr)

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τον νέο ΚΤΣ-2016 σαν σκυρόδεμα μειωμένης υδατοπερατότητας και κατά συνέπεια υψηλής ανθεκτικότητας, θεωρείται το σκυρόδεμα που ικανοποιεί τις απαιτήσεις με μέγιστο λόγο  $N/T=0,50$  και ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου 350 κιλά ανά κυβικό σκυροδέματος (Μαρσέλλος, 2016). Επειδή το σκυρόδεμα είναι ένα πορώδες υλικό, η δομή του δεν είναι απολύτως στεγανή και το νερό δύναται να διεισδύσει στη δομή του μέσω πόρων και μικρορωγμών ένεκα της τριχοειδούς απορρόφησης ή ένεκα της υδροστατικής πίεσης (Avak & Goris, 2009). Σε κάποιες περιπτώσεις η διαπερατότητα του σκυροδέματος μπορεί να επιδεινωθεί από εξωτερικούς παράγοντες όπως η ανεπαρκής συμπύκνωση και ωρίμανση, που μπορεί να οδηγήσουν σε μειωμένη ανθεκτικότητα, δηλαδή μικρότερη αντοχή στο χρόνο.

Τα πρόσθετα μειωμένης διαπερατότητας (permeability-reducing admixtures) στοχεύουν στη βελτίωση της ανθεκτικότητας μέσω της ελεγχόμενης ροής του νερού και της υγρασίας στο σκυρόδεμα (ACI 212.3R-10, 2010).

Ο όρος διαπερατότητα σημαίνει την αντίσταση του σκυροδέματος στην διείσδυση νερού υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για την μείωση της διείσδυσης του νερού στο σκυρόδεμα κατατάσσονται σε δύο υποκατηγορίες:

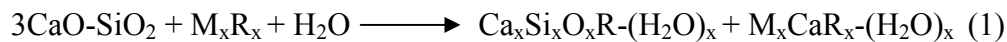
- Πρόσθετα για σκυρόδεμα που είναι εκτεθειμένο σε μη υδροστατικές συνθήκες
- Πρόσθετα για σκυρόδεμα που είναι εκτεθειμένο σε υδροστατικές συνθήκες

Συνήθως τα πρόσθετα μειωμένης διαπερατότητας περιλαμβάνουν υλικά από μία ή περισσότερες από τις παρακάτω χημικές κατηγορίες:

- Υδροφοβικά ή υδατοαπωθητικά χημικά που περιλαμβάνουν εστέρες, άλατα λιπαρών οξέων με μακριά αλυσίδα, φυτικά έλαια, προϊόντα του πετρελαίου (ορυκτέλαιο, παραφίνες και ασφαλτικά). Αυτά τα υλικά δημιουργούν μία υδατοαπωθητική στρώση κατά μήκος των πόρων του σκυροδέματος, όμως οι πόροι παραμένουν φυσικώς ανοιχτοί (Rixom & Mailvaganam, 1986).
- Λεπτόκοκκα στερεά υλικά όπως ποζολάνες, θηραϊκή γη, μπεντονίτης, πυριτική άχνη, ιπτάμενη τέφρα και τρασσία γη. Αυτά τα στερεά υλικά αυξάνουν την πυκνότητα της δομής του σκυροδέματος, μειώνουν τους πόρους και περιορίζουν με φυσικό τρόπο το πέρασμα του νερού διαμέσου των πόρων δηλ. μειώνουν την υδατοπερατότητα (Βιάζης, 2003).
- Στεγανωτικά υλικά κρυσταλλικά δράσης που αποτελούνται από ενεργά χημικά που εμπεριέχονται συνήθως σε ένα φορέα από τσιμέντο και άμμο. Αυτά δημιουργούν κρυστάλλους στα τριχοειδή αγγεία του σκυροδέματος που αντιστέκονται μόνιμα στην διείσδυση του νερού (ACI 212.3R-10, 2010).

Τα στεατικά άλατα και άλλα υδρόφοβα υλικά χρησιμοποιούνται γενικά σε περιπτώσεις όπου επικρατεί μικρή ή καθόλου υδροστατική πίεση. Στερεά υλικά με λεπτότατο καταμερισμό μπορούν να μειώσουν την περατότητα σε μη υδροστατικές συνθήκες μέσω της αύξησης της πυκνότητας ή γεμίζουν απλά τους πόρους του σκυροδέματος και βελτιώνουν την στεγανότητά του. Ακόμη και στην περίπτωση ενός σκυροδέματος με μειωμένο πορώδες, όπου η ροή του νερού είναι πολύ περιορισμένη, οι πόροι δεν είναι πλήρως φραγμένοι. Αυτά τα προϊόντα χρησιμοποιούνται για περιπτώσεις μη υδροστατικής πίεσης ή ακόμη και σε συνδυασμό με υδρόφοβα υλικά για την επίτευξη συνεργιών.

Σε αντίθεση με τα υδρόφοβα υλικά, τα πρόσθετα κρυσταλλικής δράσης είναι υδρόφιλα και τα ενεργά συστατικά τους αντιδρούν με νερό και τσιμέντο μέσα στο σκυρόδεμα, αναπτύσσονται παντού σε όλο το βάθος και δημιουργούν κρυσταλλικά ιζήματα που φράζουν τους πόρους στις υπάρχουσες μικρορωγμές και στα τριχοειδή αγγεία. Ο μηχανισμός είναι αντίστοιχος με την δημιουργία των ένυδρων ασβεστοπυριτικών φάσεων του τσιμέντου (C-S-H phases) με αποτέλεσμα τα κρυσταλλικά ιζήματα να είναι πλήρως ενσωματωμένα στο ενυδατωμένο τσιμέντο και στη μάζα του σκυροδέματος (ACI 212.3R-10, 2010). Ως επακόλουθο το σκυρόδεμα έχει σημαντικά αυξημένη αντίσταση σε διείσδυση νερού λόγω της υδροστατικής πίεσης. Κατά τη διάρκεια της ζωής του σκυροδέματος καθώς σχηματίζονται τριχοειδείς ρωγμές, τα κρυσταλλικά πρόσθετα συνεχίζουν να ενεργοποιούνται με την παρουσία υγρασίας και σφραγίζουν τα επιπρόσθετα κενά. Αυτό συμβάλει επίσης στην βελτίωση της ανθεκτικότητας των κατασκευών σε εναλλαγή κύκλων ψύξης- απόψυξης. Μία επισκόπηση της γενικής διαδικασίας δίνει η χημική εξίσωση 1 (ACI 212.3R-10, 2010):



Calcium silicate + crystalline promoter + water  $\longrightarrow$  modified calcium silicate hydrate + pore-blocking precipitate

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### Σύνθεση σκυροδέματος

Στόχος των πειραμάτων ήταν ο έλεγχος των ιδιοτήτων νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος υπό την επίδραση ενός στεγανωτικού προσθέτου σε μορφή σκόνης με κρυσταλλική δράση που φέρει την εμπορική ονομασία AQUAMAT ADMIX της εταιρίας ISOMAT. Για τις ανάγκες της εργασίας σχεδιάστηκε ένα σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 όπου α) στο 1ο ανάμιγμα δεν χρησιμοποιήθηκε στεγανωτικό πρόσθετο (σκυρόδεμα αναφοράς) και β) στο 2ο ανάμιγμα έγινε προσθήκη του στεγανωτικού κρυσταλλικής δράσης, όπως προκύπτει από τον πίνακα 1:

**Πίνακας 1:** αναλογίες σύνθεσης σκυροδέματος

Συστατικά σκυροδέματος	Ανάμιγμα 1	Ανάμιγμα 2
CEM IV / B (W-P) 32,5 R (ΗΡΑΚΛΗΣ)	285 kg/m <sup>3</sup>	285 kg/m <sup>3</sup>
Άμμος λατομείου 0/4 mm	1.070 kg/m <sup>3</sup>	1.070 kg/m <sup>3</sup>
Γαρμπίλι λατομείου 4/16 mm	140 kg/m <sup>3</sup>	140 kg/m <sup>3</sup>
Σύντριμμα λατομείου 16/31,5 mm	660 kg/m <sup>3</sup>	660 kg/m <sup>3</sup>
Πολυκαρβοξυλικός υπερρυστοποιητής	1,14 kg/m <sup>3</sup>	1,14 kg/m <sup>3</sup>
Νερό ανάμιξης	178,2 kg/m <sup>3</sup>	178,2 kg/m <sup>3</sup>
AQUAMAT-ADMIX	---	2,85 kg/m <sup>3</sup>

### **Ανάμιξη σκυροδέματος και προετοιμασία δοκιμίων**

Η ανάμιξη του σκυροδέματος πραγματοποιήθηκε κατά EN 480-1 με εργαστηριακό αναμκτήρα τύπου 55-C0119/A του οίκου controls Ιταλίας. Αρχικά γίνεται η προσθήκη της συνολικής ποσότητας των αδρανών στον αναμκτήρα μαζί με την μισή ποσότητα του νερού ανάμιξης. Ακολουθεί ανάμιξη του μίγματος αδρανών/νερού για 2 min. Κατόπιν ακολουθεί παύση της διαδικασίας ανάμιξης για άλλα 2 min. Αμέσως μετά προστίθεται το τσιμέντο, συνεχίζεται η ανάμιξη για 30 sec και εντός άλλων 30 sec προστίθεται πρώτα η υπόλοιπη ποσότητα νερού και μετά το πρόσθετο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το πρόσθετο προστέθηκε σαν αριάνι. Σύμφωνα με τις οδηγίες του παραγωγού για το αριάνι απαιτούνται 20 κιλά του προσθέτου και 25,5 κιλά νερό. Αυτό σημαίνει ότι η ποσότητα του νερού που χρειάζεται για το αριάνι πρέπει να αφαιρεθεί από την συνολική ποσότητα νερού ανάμιξης.

Η παρασκευή και η ωρίμανση των δοκιμίων, διαστάσεων 150x150x150 mm<sup>3</sup>, για τον έλεγχο της αντοχής σε θλίψη πραγματοποιήθηκε κατά EN 12390-2. Ο προσδιορισμός της αντοχής σε θλίψη 28 ημερών πραγματοποιήθηκε κατά EN 12390-3 με τη συσκευή, ALPHA 3-3000 S του οίκου form+test Γερμανίας. Η επίδραση των προσθέτων κρυσταλλικής δράσης αξιολογήθηκε με τον έλεγχο της διείσδυσης νερού υπό πίεση σε δοκίμια σκυροδέματος, 150x150x150 mm, σύμφωνα με το EN 12390-8. Τα δοκίμια για τον έλεγχο της αντίστασης σε διείσδυση νερού ξεκαλουπώθηκαν 24 ώρες μετά την παρασκευή τους και αφού εκτραχύνθηκε η πάνω πλευρά τους με ατσαλόβουρτσα, τοποθετήθηκαν α) σε νερό θερμοκρασίας 20±2°C για 20 ημέρες και κατόπιν β) σε ειδικό χώρο φύλαξης δοκιμίων για άλλες 7 ημέρες σε συνθήκες 21±2°C και 60±5% υγρασία. Ο προσδιορισμός του βάθους διείσδυσης νερού στα δοκίμια σκυροδέματος πραγματοποιήθηκε με τη συσκευή water permeability apparatus, 55-C0244/A του οίκου controls Ιταλίας, με την εκτραχυμένη επιφάνεια να υπόκειται σε υδροστατική πίεση 5 bar για 72 ώρες. Τα δοκίμια σχίστηκαν μετά στη μέση και προσδιορίζεται το βάθος διείσδυσης νερού όπως φαίνεται στα σχήματα 1 ως 4:



**Σχήμα 1:** Τοποθέτηση των δοκιμίων στη συσκευή ελέγχου διείσδυσης νερού υπό πίεση



**Σχήμα 2:** Σπάσιμο των δοκιμίων στη μέση στη συσκευή αντοχής σε θλίψη



**Σχήμα 3:** Οπτικός έλεγχος του βάθους διείσδυσης νερού στα σπασμένα δοκίμια



**Σχήμα 4:** Ακριβής προσδιορισμός του βάθους διείσδυσης νερού

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα συνολικά αποτελέσματα από τον έλεγχο των ιδιοτήτων του νωπού και του σκληρυμένου σκυροδέματος αναφέρονται στον πίνακα 2:

**Πίνακας 2:** ιδιότητες νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ			
		Ανάμιγμα 1	Ανάμιγμα 2
Δοσολογία AQUAMAT-ADMIX (% κ.β. τσιμέντου)		---	1,0
Κάθηση κατά EN 12350-2 (cm)		19	17
Εξάπλωση κατά EN 12350-5 (cm)		48,5	47
Αεροπεριεκτικότητα κατά EN 12350-7 (%)		2,7	2,7
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ			
Αντοχές 1 ημέρας κατά EN 12390-2 (N/mm <sup>2</sup> )		4,5	3,6
Αντοχές 7 ημερών κατά EN 12390-2 (N/mm <sup>2</sup> )		22,9	25
Αντοχές 28 ημερών κατά EN 12390-2 (N/mm <sup>2</sup> )		26,3	28
Βάθος διείσδυσης νερού υπό πίεση (3 μέρες, 5 bar) κατά EN 12390-8	Δοκίμιο No. 1	11,0 cm	6,0 cm
	Δοκίμιο No. 2	8,5 cm	6,0 cm
	Δοκίμιο No. 3	9,3 cm	5,6 cm
	M.O.	9,6 cm	5,87 cm

Σύμφωνα με τα παρακάτω αποτελέσματα το στεγανωτικό πρόσθετο κρυσταλλικής δράσης AQUAMAT-ADMIX επηρεάζει ανεπαίσθητα την εργασιμότητα του σκυροδέματος, δεν εισάγει αέρα, αυξάνει ελαφρώς τις τελικές αντοχές σε θλίψη, μειώνει σημαντικά κατά 38,85% το βάθος διείσδυσης νερού και κατά συνέπεια αυξάνει την στεγανότητα του σκυροδέματος.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα πρόσθετα μειωμένης υδατοπερατότητας κρυσταλλικής δράσης παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Δημιουργούν κρυσταλλικά ιζήματα στους πόρους του σκυροδέματος τα οποία εξασφαλίζουν μόνιμα την στεγάνωση κατασκευών σκυροδέματος ενάντια στη διείσδυση νερού ειδικά σε συνθήκες υδροστατικής πίεσης.
- Δεν επηρεάζουν την εργασιμότητα του νωπού σκυροδέματος
- Δεν μειώνουν τις αντοχές του σκληρυμένου σκυροδέματος
- Βελτιώνουν την αντοχή των κατασκευών σε κύκλους ψύξης-απόψυξης (Dvorkin, 2013)
- Έχουν την ικανότητα επισκευής ρωγμών (ACI 212.3R-10, 2010)
- Αυξάνουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος και την αντοχή στο χρόνο αντίστοιχα την διάρκεια ζωής

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αναλυτικά τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 με την προσθήκη προσθέτων μειωμένης υδατοπερατότητας με κρυσταλλική δράση, καθώς και τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προέκυψαν. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν αντίστοιχες εργασίες και οι περιορισμένες βιβλιογραφικές αναφορές στο πεδίο αυτό βασίζονται αποκλειστικά σε εφαρμοσμένη έρευνα μέσω ινστιτούτων πάνω σε εμπορικά προϊόντα, υπάρχει ένα ευρύ αντικείμενο για περαιτέρω έρευνα. Ένα μελλοντικό πεδίο έρευνας είναι ο προσδιορισμός του βάθους σχηματισμού των κρυστάλλων και η μελέτη της μικροδομής του σκληρυμένου σκυροδέματος σε

διάφορες κατηγορίες σκυροδέματος με την βοήθεια ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης.

## **ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

1. ACI 212.3R-10, “Report on Chemical Admixtures for Concrete”, ACI Committee 212, Technical Report (2010)
2. Avak, R. & Goris, A., “Stahlbetonbau aktuell”, Praxishandbuch (2009)
3. Rixom, M.R. & Mailvaganam, N.P., “Chemical Admixtures for Concrete”, E.&F.N. Spon Ltd, (1986)
4. Βιάζης Γεώργιος, “Τεχνολογία Δομικών Υλικών”, Αθήνα (2003)
5. Μαρσέλλος Νίκος, “Νέος ΚΤΣ-2016”, Εκδόσεις Δεδεμάδη, Αθήνα (2016)
6. Dvorkin L.I., “Testing on concrete of additive AQUAMAT-ADMIX”, national university of water management and nature resources use, Rivne, Ukraine, test report No 11/1, (2013)