

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ TAGUCHI ΣΤΗΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΛΑΣΠΗΣ ΚΑΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Μ. Ζερβάκη¹, Γ. Τσαγγάρης¹, Χ. Λεπτοκαρίδης² και Σ. Τσίμας¹

¹Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 73, Ζωγράφου, Αθήνα

² Εργαστήριο Τεχνολογίας Σκυροδέματος, Όμιλος TITAN A.E., Εργοστάσιο Καμαρίου, Τ.Θ. 18, 19 200, Ελευσίνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εξέταση της χρήσης του νερού έκπλυσης των οχημάτων μεταφοράς σκυροδέματος στην παραγωγή φρέσκου σκυροδέματος, διερευνώντας ιδιαίτερα την υψηλή περιεκτικότητα του νερού σε αιωρούμενα στερεά (τσιμεντολάσπη). Η περιεκτικότητα της τσιμεντολάσπης αυτής, που αποτελείται από λεπτόκοκκο ασβεστόλιθο (λούμη), στο νερό περιορίζεται σημαντικά από τα ισχύοντα πρότυπα νερού ανάμιξης σκυροδέματος. Στην παρούσα εργασία παρασκευάζονται τσιμεντοκονιάματα όπου αντιμετωπίζονται διάφορες παράμετροι -περιεκτικότητα τσιμεντολάσπης, ποσοστά παιπάλης στην άμμο και λόγος w/c- και με κατάλληλη στατιστική επεξεργασία (μέθοδος Taguchi) υπολογίζεται το ποσοστό επιρροής των εξεταζομένων παραγόντων στις αντοχές και την εργασιμότητα των κονιαμάτων. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η τσιμεντολάσπη επηρεάζει ελάχιστα τις ιδιότητες των κονιαμάτων σε αντίθεση με τον λόγο w/c και τα ποσοστά παιπάλης.

Λέξεις κλειδιά: Τσιμεντολάσπη, Ασβεστολιθική Παιπάλη, Τσιμεντοκονίαμα, Μονάδες Έτοιμου Σκυροδέματος, Μέθοδος Taguchi

APPLICATION OF THE TAGUCHI METHOD ON THE PEER EFFECT OF CONCRETE WASH WATER SLUDGE AND FILLER IN CEMENT MORTARS

Zervaki M.¹, Tsaggaris G.¹, Leptokaridis C.² and Tsimas S.¹

¹Laboratory of Inorganic and Analytical Chemistry, School of Chemical Engineers NTUA, 9 Iroon Polytechniou str. 157 73 Athens, Greece

²Concrete Technology Laboratory, Titan Cement Company S.A., Kamari Plant, P.O. Box 18, 19 200 Elefsina, Greece

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the utilization of concrete mixing trucks wash water for the production of fresh concrete by focusing on the high total solids content of the water (concrete sludge). Water concentration in sludge, consisting mainly of limestone, is restricted from current norms concerning concrete mixing water. In the current work cement mortars are designed with several variations –sludge quantity, sand filler percentage and w/c ratio- and with appropriate statistical analysis (Taguchi method), the influence percentage of the parameters is calculated, in relation with the mortars' properties. Results show that, unlike sand filler and w/c ratio, concrete sludge has a minimum effect on mortars' performance.

Key words: Concrete Wash Water Sludge, Sand Filler, Cement mortars, Ready mixed Concrete Plants, Taguchi Method

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα πιο σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα που αφορούν τη βιομηχανία έτοιμου σκυροδέματος είναι η απόρριψη στο περιβάλλον του νερού που χρησιμοποιείται για την έκπλυση των οχημάτων μεταφοράς και ανάμιξης σκυροδέματος. Το νερό έκπλυσης παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε διαλελυμένα και αιωρούμενα στερεά, τόσο μη ενυδατωμένου και ενυδατωμένου τσιμέντου όσο και εξαιρετικά λεπτών κλασμάτων των αδρανών του νωπού σκυροδέματος. Τα στερεά αυτά σε ξηρή μορφή είναι ιδιαιτέρως λεπτόκοκκα και κατατάσσονται εντός των ορίων του ορισμού της παιπάλης (<75 μ m). Ως εκ τούτου, η αλκαλικότητα του νερού έκπλυσης είναι πολύ υψηλή, παρουσιάζει pH κοντά στο 12,5 ενώ έχουν αναφερθεί από τη διεθνή εμπειρία τιμές μέχρι 13 (B. Chatveera, P. Lertwattanaruk, 2009). Για τα ελληνικά δεδομένα, όπου η πλειονότητα των αδρανών είναι ασβεστολιθικής φύσεως, η τσιμεντολάσπη αυτή αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθική παιπάλη.

Υπολογίζεται ότι η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται καθημερινά για να ξεπλένεται το εσωτερικό των οχημάτων μεταφοράς σκυροδέματος είναι περίπου 1500 L νερού ανά φορτηγό, ενώ η αναξιοποίητη (και συνεπώς απορριπτόμενη) ποσότητα σκυροδέματος μπορεί να φθάσει και τα 300 L. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι η απόρριψη του νερού έκπλυσης στο περιβάλλον επιβαρύνει σημαντικά τον υδροφόρο ορίζοντα (F. Sandrolini, E. Franzoni, 2001). Μία προσπάθεια που αφορά την επίλυση του παραπάνω προβλήματος, στην Ελλάδα αλλά και διεθνώς, είναι η ανακύκλωση του νερού έκπλυσης και η επαναχρησιμοποίησή του για την παρασκευή νέων παρτίδων σκυροδέματος (S. Tsimas, M. Zervaki, 2011).

Όσο αφορά τον Ελλαδικό χώρο, η επαναχρησιμοποίηση του ανακυκλούμενου νερού καθώς και η περιεκτικότητά αυτού στο νερό ανάμιξης επιβάλλεται από αυστηρούς κανόνες (πιο αυστηρούς από ότι στον διεθνή χώρο). Επιπροσθέτως, ο Κανονισμός Τεχνολογίας του Σκυροδέματος (ΚΤΣ, 97) προβλέπει ότι η συνολική παιπάλη της άμμου που χρησιμοποιείται σε ανάμιγμα σκυροδέματος δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16%. Επίσης, το εθνικό πρότυπο (ΕΛΟΤ 345, 1979) για το νερό ανάμιξης σκυροδέματος προβλέπει ως μέγιστη περιεκτικότητα ανόργανων στερεών στο νερό ανάμιξης τα 3000ppm. Επομένως, συμπεραίνεται ότι τα Ελληνικά πρότυπα που ισχύουν αυτή τη στιγμή για τη βιομηχανία του έτοιμου σκυροδέματος όσο αφορά τα λεπτόκοκκα υλικά σε ένα ανάμιγμα δεν σχετίζονται άμεσα αλλά πρέπει να εφαρμόζονται ταυτοχρόνως. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με το Ευρωπαϊκό πρότυπο νερού ανάμιξης σκυροδέματος (EN 1008, 2002) που προβλέπει ένα συνολικό ποσοστό παιπάλης στο ανάμιγμα, συμψηφίζοντας την τσιμεντολάσπη του νερού και τα λεπτόκοκκα κλάσματα της άμμου.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθεί η επίδραση της τσιμεντολάσπης που περιέχεται στο νερό ανάμιξης σε συνδυασμό με την ύπαρξη ασβεστολιθικής παιπάλης στην άμμο στις φυσικομηχανικές ιδιότητες παραγομένων δοκιμίων κονιάματος. Οι βασικές ιδιότητες που μελετούνται είναι οι θλιπτικές αντοχές και η εργασιμότητα του κονιάματος σε σειρές δοκιμίων με διάφορους λόγους w/c και κυμαινόμενες περιεκτικότητες τσιμεντολάσπης και filler. Η ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την παραπάνω ανάλυση συμπληρώνεται με την μέθοδο Taguchi που υποδεικνύει σχεδιασμό πειραμάτων και στατιστική επεξεργασία.

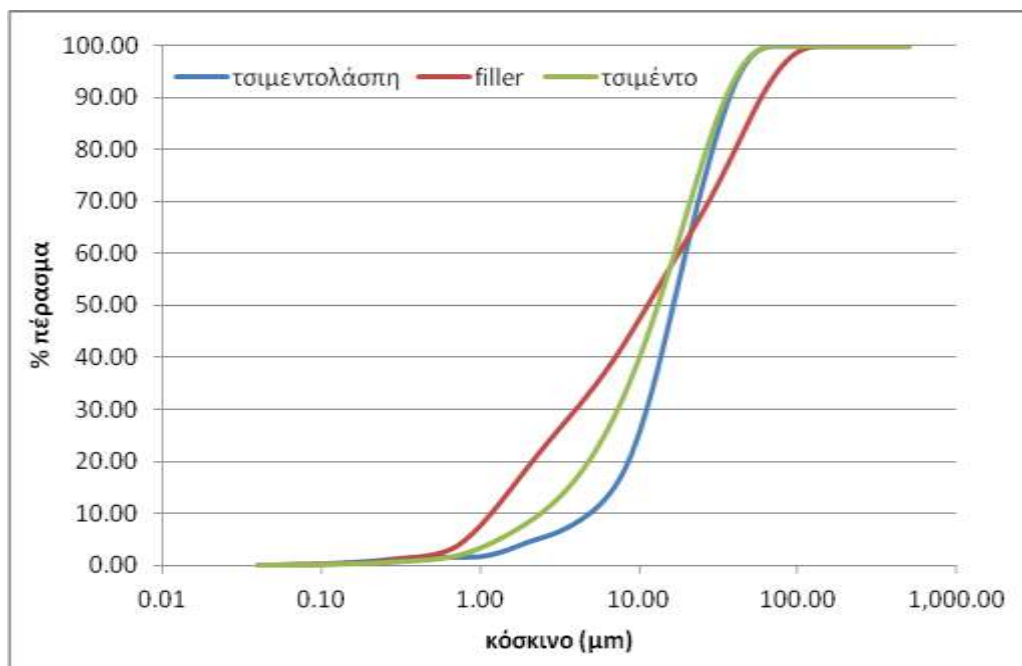
2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των εξετασθέντων κονιαμάτων καθώς και μία σύντομη περιγραφή της προεργασίας τους φαίνεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Πρώτες ύλες– Προεργασία

Υλικό	Προεργασία
Τσιμέντο CEM I 42.5	Καμία
Άμμος (χονδρόκοκκη)	Ασβεστολιθική άμμος Ξηρορέματος απαλλαγμένη από το λεπτόκοκκο κλάσμα της (<90μm) κατόπιν υγρής κοσκίνισης
Άμμος (λεπτόκοκκη - filler)	Ασβεστολιθική παιπάλη εμπορίου με R ₁₀₀ : 140μm και R ₉₅ : 71μm
Τσιμεντολάσπη (Λούμη)	Λούμη συλλεγμένη από δεξαμενή ανακύκλωσης νερού μονάδας παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος. Το δείγμα υπέστη ξήρανση στους 95°C για 24h και αποσυσσωμάτωση με ανάμιξη αλλά όχι άλεση

Η τσιμεντολάσπη που συλλέχθηκε, κατόπιν χημικής, ορυκτολογικής, θερμοβαρτομετρικής ανάλυσης και σάρωσης με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, διαπιστώθηκε ότι είναι κυρίως ασβεστολιθικής φύσεως (περίπου 70% CaCO₃) ενώ περιέχει και πορτλαντίτη, CSH, ετρινγκίτη καθώς και οξείδια πυριτίου, αργιλίου και σιδήρου. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η εξαιρετική λεπτότητα του υλικού που όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1 είναι παρεμφερής με αυτή του τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία.



Εικόνα 1. Κοκκομετρική κατανομή τσιμεντολάσπης, παιπάλης και τσιμέντου

Τα τσιμεντοκονιάματα που παράχθηκαν μελετήθηκαν ως προς την εργασιμότητά τους με μέτρηση εξάπλωσης (EN 1015-3, 1999) και τις θλιπτικές και καμπτικές αντοχές τους (EN 1015.11, 1999).

3 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Ο σχεδιασμός των συνθέσεων των τσιμεντοκονιαμάτων (Πίνακας 2) 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 τσιμεντολάσπης στο νερό. Αυξανόμενης της ποσότητας παιπάλης, η εργασιμότητα αναπόφευκτα μειώνεται και ως εκ τούτου σχεδιάστηκαν και συνθέσεις κονιαμάτων σταθερής εξάπλωσης με μεταβαλλόμενο λόγο w/c ούτως ώστε να υπάρχει μια πιο σφαιρική εικόνα αποτελεσμάτων.

Πίνακας 2. Συνθέσεις τσιμεντοκονιαμάτων

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

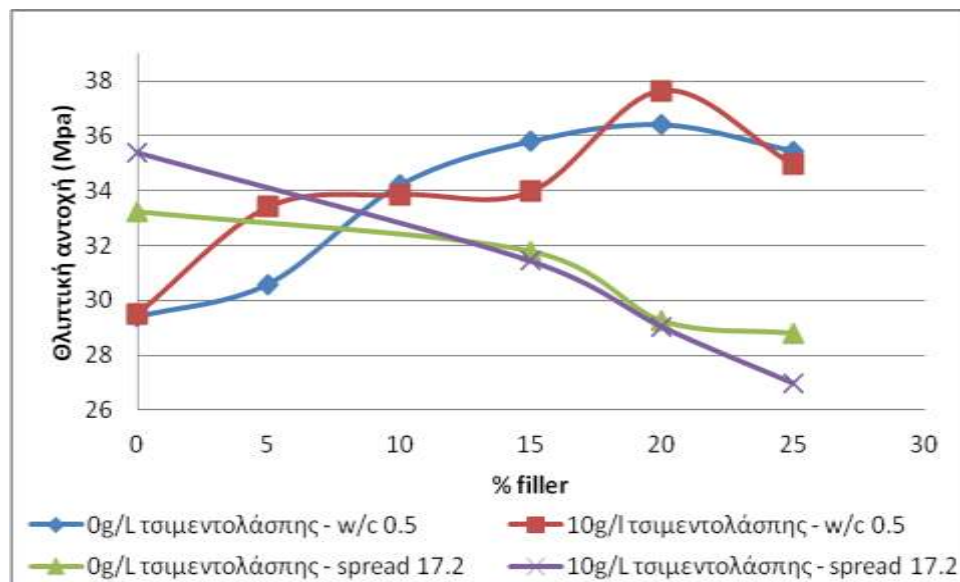
Η περιεκτικότητα 10g/L τσιμεντολάσπης (λούμης) στο νερό, που χρησιμοποιήθηκε στις μισές συνθέσεις (σειρές b και d), είναι μία μέση τιμή περιεκτικότητας στερεών στο νερό έκπλυσης όταν αυτό εξέρχεται απευθείας από το εσωτερικό του οχήματος ανάμιξης και μεταφοράς νωπού σκυροδέματος και είναι τουλάχιστον τρεις φορές μεγαλύτερη από την ισχύουσα ελληνική προδιαγραφή για νερό ανάμιξης σκυροδέματος (3g/L).

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

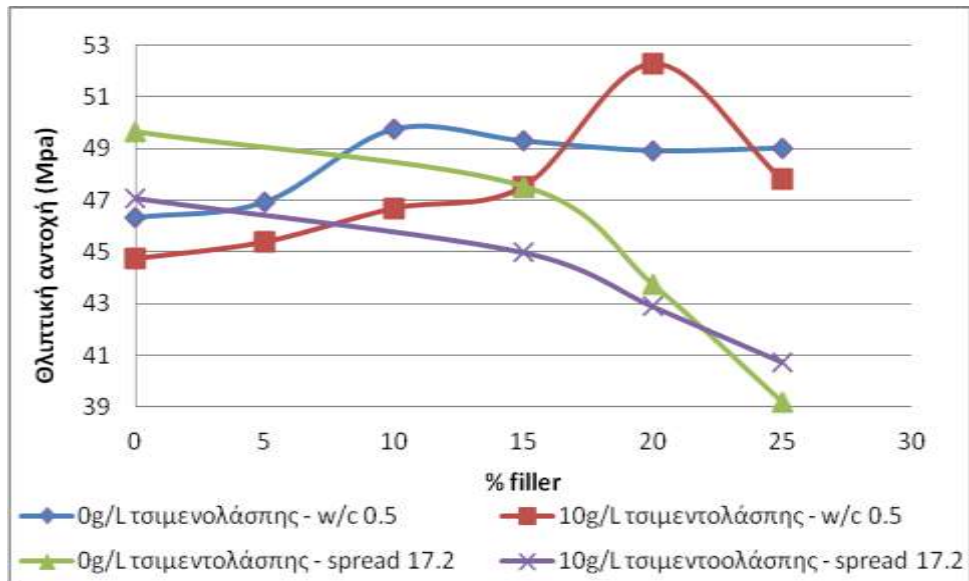
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις εξάπλωσης και αντοχών των παραπάνω συνθέσεων παρατίθενται στον Πίνακα 3. Επίσης, συγκριτικά εμφανίζονται τα αποτελέσματα των θλιπτικών αντοχών ανά ηλικίες κονιαμάτων και σειρές συνθέσεων στις Εικόνες 2, 3 και 4.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα εξάπλωσης, καμπτικών και θλιπτικών αντοχών κονιαμάτων

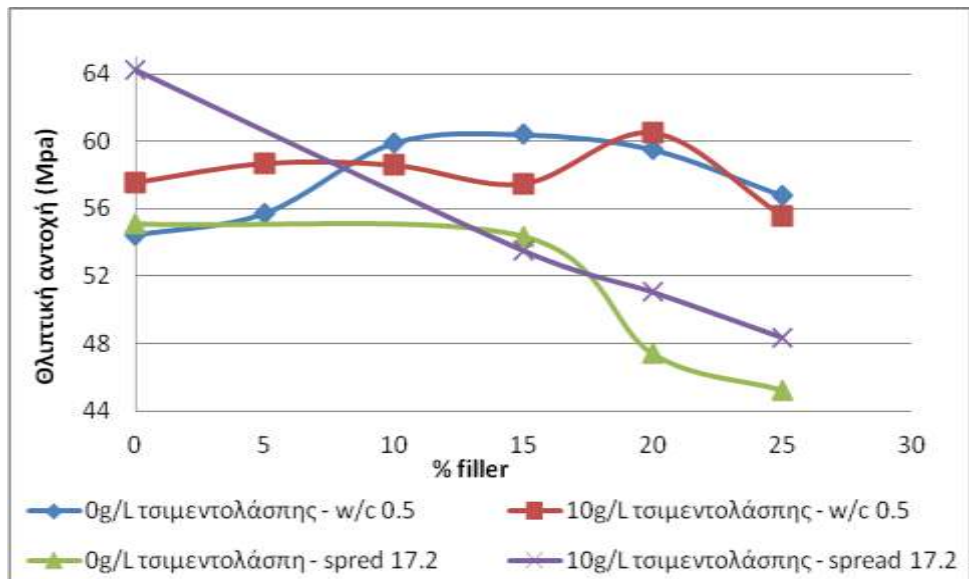
Κωδικός κονιάματος	Εξάπλωση (cm)	2 Ημέρες		7 Ημέρες		28 Ημέρες	
		Κάμψη (MPa)	Θλίψη (MPa)	Κάμψη (MPa)	Θλίψη (MPa)	Κάμψη (MPa)	Θλίψη (MPa)
0.a	18,6	5,01	29,40	7,5	46,35	7,87	54,40
5.a	18,6	5,17	30,60	7,5	46,95	7,44	55,70
10.a	18,4	5,67	34,20	7,67	49,75	6,34	59,90
15.a	17,6	5,88	35,80	7,09	49,30	6,44	60,40
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 2. Θλιπτικές αντοχές κονιαμάτων σε ηλικία 2 ημερών



Εικόνα 3. Θλιπτικές αντοχές κονιαμάτων σε ηλικία 7 ημερών



Εικόνα 4. Θλιπτικές αντοχές κονιαμάτων σε ηλικία 28 ημερών

5 ΜΕΘΟΔΟΣ TAGUCHI

Από τα παράπανω αποτελέσματα είναι φανερό ότι σε περίπτωση σταθερού λόγου w/c, αυξάνοντας την ποσότητα filler την άμμο, αυξάνονται και οι αντοχές του παραγόμενου κονιαματος μέχρι ένα βέλτιστο σημείο (συνήθως 15 - 20% filler). Αντίθετα, στις σειρές συνθέσεων με σταθερή εξάπλωση, όπου αυξάνοντας το ποσοστό του filler αναπόφευκτα αυξάνεται και ο λόγος w/c, η προσθήκη filler συνεπάγεται πτώση των αντοχών. Δημιουργήθηκε έτσι η ανάγκη να ποσοτικοποιηθεί το ποσοστό επιρροής του κάθε παράγοντα στις ιδιότητες του παραγόμενου κονιαματος.

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:

- Κατασκευή μιας κλίμακας μέτρησης, βασισμένης στα χαρακτηριστικά εισόδου του συστήματος, προκειμένου να μετρηθεί ο βαθμός παρατυπίας διαφόρων περιπτώσεων.

- 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: filler (0, 15 και 25%), τσιμεντολάσπη (0, 10 και 50g/L) και w/c (0,44, 0,50 και 0,54). Η τρίτη τιμή περιεκτικότητας τσιμεντολάσπης 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). Για να ελεγχθούν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί των παραπάνω μεταβλητών απαιτούνται 27 πειράματα. Η μέθοδος Taguchi υποδεικνύει σχεδιασμό πειραμάτων ο οποίος καταλήγει στα παρακάτω 9 πειράματα (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Σχεδιασμός συνθέσεων Taguchi

Κωδικός κονιάματος	% filler στην άμμο	w/c	Τσιμεντολάσπη 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

Τα παραπάνω πειράματα πραγματοποιήθηκαν δίνοντας τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στον Πίνακα 5. Λόγω της πολύ μεγάλης ποσότητας λεπτόκοκκων υλικών και του μικρού λόγου w/c στη σύνθεση T9, δεν ήταν δυνατό να μετρηθεί η εξάπλωση και η τοποθέτηση της σε μήτρα έγινε με δόνηση. Η τιμή 10 είναι μία αρκετά χαμηλή τιμή που δόθηκε ώστε να μπορέσει να ολοκληρωθεί ο υπολογισμός της μεθόδου Taguchi. Στον Πίνακα 6 φαίνονται τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας όπου έχουν υπολογιστεί τα ποσοστά επιρροής του κάθε παράγοντα, ποσοστό filler, λόγου w/c και περιεκτικότητας τσιμεντολάσπης, στα αποτελέσματα των δοκιμών εξάπλωσης και θλιπτικών αντοχών 2, 7 και 28 ημερών.

Είναι προφανές ότι ενώ η περιεκτικότητα τσιμεντολάσπης 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 επιρροής 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 2, 3 και 4 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. Η εικόνα αυτή είναι αρκετά πιο έντονη στις θλιπτικές αντοχές των 28 ημερών.

Πίνακας 5. Αποτελέσματα εξάπλωσης και θλιπτικών αντοχών συνθέσεων Taguchi

Κωδικός κονιάματος	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	43,55	50,10	61,40

Πίνακας 6. Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας Taguchi

Ιδιότητα	Επιρροή w/c	Επιρροή filler	Επιρροή τσιμεντολάσπης	Συνολική επιρροή
Εξάπλωση	55,35%	42,22%	2,37%	99,94%
Θλιπτικές Αντοχές 2 ημερών	69,00%	26,59%	3,00%	98,59%
Θλιπτικές Αντοχές 7 ημερών	69,73%	26,90%	3,09%	99,72%
Θλιπτικές Αντοχές 28 ημερών	93,04%	2,03%	0,84%	95,91%

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτήν την έρευνα παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η τσιμεντολάσπη που υπάρχει αιωρούμενη στο νερό έκπλυσης οχημάτων μεταφοράς έτοιμου σκυροδέματος επηρεάζει ελάχιστα τις ιδιότητες των παραγόμενων κονιαμάτων, ακόμα και σε ποσότητες που ξεπερνούν κατά πολύ τα ελληνικά όρια. Άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί το νερό έκπλυσης στην παραγωγή σκυροδέματος χωρίς να απαιτείται η περαιτέρω επεξεργασία του.
- Στην περίπτωση 20% filler στην άμμο, 10g/L τσιμεντολάσπης στο νερό και λόγου w/c 0,5 εμφανίζονται τα καλύτερα αποτελέσματα θλιπτικών αντοχών χωρίς να υπάρχει πολύ μεγάλη μείωση της εξάπλωσης.
- Την εξάπλωση επηρεάζουν σε σχεδόν ίσο βαθμό ο λόγος w/c και το ποσοστό του filler, ενώ πολύ λίγο επηρεάζει η τσιμεντολάσπη.
- Τις θλιπτικές αντοχές 2 και 7 ημερών επηρεάζει κυρίως ο λόγος w/c και αρκετά λιγότερο το filler. Η περιεκτικότητα τσιμεντολάσπης στο νερό επηρεάζει σε ποσοστό της τάξης του 3%.
- Η εικόνα αλλάζει για τις θλιπτικές αντοχές των 28 ημερών όπου το αποτέλεσμα εξαρτάται σχεδόν εξ ολοκλήρου από τον λόγο w/c καθώς το filler επηρεάζει κατά 2% και η τσιμεντολάσπη κατά 0,8% τις αντοχές.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Chatveera B. & Lertwattanak P. (2009), Use of ready-mixed concrete plant sludge water in concrete containing an additive or admixture, *Journal of Environmental Management* 90, pp 1901-1908

Franco Sandrolini, Elisa Franzoni (2001), Waste wash water recycling in ready-mixed concrete plants, *Cement and Concrete Research* 31, pp485-489

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

ΦΕΚ 315 (1997), Τεύχος Δεύτερο, «Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, Υλικά Παρασκευή και Έλεγχος Σκυροδέματος», σελ 3561-3595

ΕΛΟΤ 345, 1979. Το Ύδωρ Αναμίξεως και Συντηρήσεως Σκυροδέματος, Ελληνικός Οργανισμός Τυποποιήσεως (ΕΛΟΤ), Αθήνα

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.

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.

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.

ASTM C 1602/C 1602M, Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete, American Society for Testing and Materials, 2006