ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΕΡΑΚΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΜΙΚΤΩΝ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Ανδρέας Γεωργιάδης
Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Ηρώων Πολυτεχνείου 9 Ζωγράφου,157 80

Δήμητρα Σέγγου
Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Ηρώων Πολυτεχνείου 9 Ζωγράφου, 157 80

Δημήτρης Παπαγεωργίου
Α.Ε. Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ, Διεύθυνση Έρευνας και Ποιότητας, Τ.Θ. 18, Ελευσίνα, 19200

Χρήστος Τέας
Α.Ε. Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ, Διεύθυνση Έρευνας και Ποιότητας, Τ.Θ. 18, Ελευσίνα, 19200

Νεοκλής Μανάρης
Α.Ε. Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ, ΚΕΔΥ, INTERMIX, Κανελλοπούλου 1, Ελευσίνα, 19200

Λέξεις κλειδιά: κονίαμα, ποσοστό αέρα, ειδικό βάρος, αερακτικά, κοκκομετρία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η παραγωγή και χρήση έτοιμων ξηρών βιομηχανικών κονιαμάτων αποτελεί μία συνεχώς αυξανόμενη πρακτική στην κατασκευή στον ελληνικό χώρο. Από τις κυριότερες απαιτήσεις κατά την παραγωγική διαδικασία των ξηρών κονιαμάτων είναι η αντοχή (θλιπτική και καμπτική) καθώς και η εργασιμότητα που σχετίζεται άμεσα με το ποσοστό αέρα και το ειδικό βάρος του νωπού κονιάματος. Αυτές οι παράμετροι σχετίζονται και με τη σωστή χρήση και εφαρμογή των κονιαμάτων, αφού συχνά περιγράφονται από τις προδιαγραφές του έργου αλλά και είναι ελεγχόμενες από το σύστημα ποιότητας της παραγωγής των κονιαμάτων, βάση των ευρωπαϊκών προτύπων ΕΝ, που ισχύουν για τα έτοιμα κονιάματα.

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν οι επιπτώσεις στις ιδιότητες του νωπού και σκληρυμένου κονιάματος από τις μεταβολές της κοκκομετρικής κατανομής και το ποσοστό και τον τύπο του αερακτικού προσμίκτου. Όλες αυτές οι τροποποιήσεις δεν είναι εύκολα επιτεύξιμες σε κονιάματα που παράγονται επιτόπου στο έργο, ενώ αντίθετα η βιομηχανική διαδικασία δίνει τη δυνατότητα κοσκίνισης και παραγωγής κλασμάτων επιλεγμένης κοκκομετρίας και παράλληλα επιτρέπει την προσθήκη ελεγχόμενων ποσοστών από τα πρόσθετα.

Comment [A.G.1]: η εργασιμότητα που σχετίζεται άμεσα με το

Comment [A.G.2]:

Comment [A.G.3]:

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας μία αρχική σύνθεση κονιάματος με κοκκομετρική κατανομή αδρανούς παρόμοια με την άμμο λατομείου όπως χρησιμοποιείται στα έργα, χρησιμοποιήθηκε ως σύνθεση αναφοράς. Σε αυτή τη σύνθεση ελέγχθηκαν αρχικά τα αερακτικά πρόσμικτα σε διάφορα ποσοστά, ενώ ακολούθως με προσθήκη και αφαίρεση επιμέρους κλασμάτων δημιουργήθηκαν κοκκομετρίες με διαφορετικές κατανομές, με σκοπό τη μελέτη της επίπτωσης στο ποσοστό αέρα.

Comment [A.G.4]: της εργασίας

Comment [A.G.5]:

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών φαίνεται ότι η επίδραση των αερακτικών προσμίκτων στην αντοχή και το ειδικό βάρος του κονιάματος σχετίζεται άμεσα με το ποσοστό τους, ενώ σημαντική παράμετρο αποτελεί ο τύπος της δραστικής ένωσης (olefin sulfate/sulfonate salts) και ο χρόνος ανάμιξης. Η βελτιστοποίηση της κοκκομετρίας με κατάλληλη προσθήκη επιμέρους κλασμάτων μπορεί να οδηγήσει στις επιθυμητές αντοχές και το επιθυμητό ειδικό βάρος, χωρίς να απαιτείται η τροποποίηση του ποσοστού του συνδετικού υλικού.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύγχρονη εξέλιξη στην κατασκευή δίνει τη δυνατότητα για χρήση έτοιμων ξηρών βιομηχανικών κονιαμάτων για την εκτέλεση των βασικών εργασιών όπως η κατασκευή τοιχοποιίας, η επίχριση και η πλήρωση δαπέδων. Με βάση την ευρωπαϊκή νομοθεσία, τα κονιάματα τοιχοποιίας και επίχρισης υποχρεούνται να συμμορφώνονται στις απαιτήσεις του προτύπου EN 998-1 και 2 και να διατίθενται με σήμα πιστοποίησης CE (EN 998-1), (EN 998-2). Πέραν των συμβατικών υποχρεώσεων που προκύπτουν από τα ευρωπαϊκά πρότυπα, ο παραγωγός, για να συμβαδίζει με την παραδοσιακή τεχνική αλλά και για να εξασφαλίσει τη μεγαλύτερη ικανοποίηση του πελάτη, προχωρά και σε πρόσθετες δοκιμές με σκοπό να βελτιστοποιήσει την απόδοση και τη συμπεριφορά του προϊόντος.

Comment [A.G.6]:

Comment [A.G.7]:

Comment [A.G.8]:

Βασικές παραμέτρους αποτελούν οι αντοχές των κονιαμάτων, το ποσοστό αέρα και το ειδικό βάρος του νωπού κονιάματος, που σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους αλλά και με τη συμπεριφορά και την απόδοση των κονιαμάτων, σε νωπή και σκληρυμένη κατάσταση.

Comment [A.G.9]: παραμέτρους

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Ως κονίαμα αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ένα κονίαμα με θραυστή ασβεστολιθική άμμο (λατομείο Ξηρορέματος) κοκκομετρίας 0-4,0mm, τσιμέντο τύπου CEM I-42,5N και υδράσβεστο σε σκόνη. Τα συνδετικά υλικά διατηρήθηκαν σε σταθερά ποσοστά σε όλες τις συνθέσεις. Για να μπορέσει να υπάρξει πλήρης αξιολόγηση της επίδρασης των διαφόρων

κλασμάτων της άμμου στο κονίαμα, η άμμος κοσκινίστηκε σε 5 κλάσματα με κοκκομετρίες 0-0,7mm, 0-1,4mm, 0,7-1,4mm, 1,4-2,0mm και 2,0-4,0mm, ενώ κατάλληλη διόρθωση της κοκκομετρίας γίνεται με ασβεστολιθική παιπάλη 0-0,1mm. Στην αρχική σύνθεση αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν τα κλάσματα με την ίδια σύνθεση της ακοσκίνιστης άμμου. Με χρήση αυτής της σύνθεσης, ακολούθως έγιναν δοκιμές με μεταβαλλόμενα ποσοστά των χημικών προσμίκτων.

Για να επιτευχθεί μία πλήρης αξιολόγηση της επίπτωσης των συστατικών του κονιάματος στις ιδιότητες του, αρχικά αξιολογήθηκαν τα χημικά πρόσμικτα που χρησιμοποιούνται. Οι πιο συνήθεις τύποι περιλαμβάνουν: τροποποιητές ιξώδους (αιθέρες κυτταρίνης) που ρυθμίζουν τη συνεκτικότητα και τη συγκράτηση νερού, διασπειρόμενα πολυμερή σε σκόνη που βελτιώνουν την πρόσφυση και ανθεκτικότητα του κονιάματος και αερακτικά πρόσθετα με διαφορετικές δραστικές ενώσεις. Η αξιολόγηση έγινε με προσθήκη των υλικών σε διαφορετικά ποσοστά.

Comment [A.G.10]:

Comment [A.G.11]:

Στη συνέχεια έγιναν δοκιμές όπου με κατάλληλη προσθήκη και αφαίρεση των ενδιάμεσων κλασμάτων που είχαν δημιουργηθεί με την κοσκίνιση της πρωτογενούς άμμου, έγινε μεταβολή της κοκκομετρικής κατανομής με σκοπό να ελεγχθούν οι βέλτιστες κοκκομετρικές κατανομές ως προς το ειδικό βάρος του κονιάματος. Οι δοκιμές αυτές έγιναν με και χωρίς την χρήση αερακτικού, με σκοπό να ελεγχθεί και η συνέργια της κοκκομετρικής κατανομής και του αερακτικού. Ο σχηματισμός των σταθεροποιημένων φυσαλίδων αέρα είναι μία ιδιότητα που εξαρτάται από πολλές παραμέτρους και γι' αυτό είναι απαραίτητη η διατήρηση όλων των άλλων παραμέτρων σταθερών για να έχουμε αξιόπιστα συμπεράσματα (Du L., 2005), (Edmeades R.M., 1988).

Βασικός στόχος ήταν η επίτευξη κονιάματος παρόμοιας συνεκτικότητας με εξάπλωση 17,0±0,5mm. Έτσι ο λόγος νερού/τσιμέντου είναι μεταβλητός σε όλες τις περιπτώσεις, αφού η εργασιμότητα αποτελεί το κύριο πρακτικό ζητούμενο στις περιπτώσεις επίχρισης και όχι οι αντοχές. Όλα τα κονιάματα μετρήθηκαν με χρήση πρότυπων μεθόδων όπως περιγράφονται από τα αντίστοιχα πρότυπα, δηλαδή μέτρηση εξάπλωσης κατά EN1015-3, μέτρηση ειδικού βάρους νωπού κονιάματος κατά EN1015-6, μέτρηση ποσοστού αέρα κατά EN1015-7, μέτρηση συγκρατούμενου νερού κατά EN1015-8 και μέτρηση αντοχών κατά EN1015-11.

Σε ορισμένα από τα κονιάματα έγινε μέτρηση του πορώδους με χρήση ποροσιμετρίας υδραργύρου. Από τα αποτελέσματα αυτής της τεχνικής μπορεί να αξιολογηθεί η επίδραση της προσθήκης αερακτικών στη δημιουργία σταθερού πόρου που να διατηρείται στο νωπό και το

σκληρυμένο κονίαμα. Η μέτρηση του πορώδους έγινε με χρήση της συσκευής Autopore III της Micromeritics.

3. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων φαίνεται ότι:

Όλα τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των κονιαμάτων επιδρούν θετικά στη μεταβολή του ειδικού βάρους του νωπού κονιάματος αφού προκύπτουν μικρότερες τιμές και συνεπώς ελαφρύτερα κονιάματα. Αυτό γίνεται γιατί οι ενώσεις αυτές έχουν την ικανότητα δημιουργίας σταθερών πόρων αέρα, άρα αυξάνουν το ποσοστό αέρα του κονιάματος και μειώνουν το ειδικό βάρος, όπως φαίνεται στις Εικ. 1-3. Η μείωση του ειδικού βάρους είναι γραμμική σε σχέση με το ποσοστό προσθήκης των προσμίκτων στο κονίαμα και όπως ήταν αναμενόμενο είναι μεγαλύτερη με τη χρήση των αερακτικών προσμίκτων (Εικ. 2). Αντίστοιχη αναλογία υπάρχει μεταξύ του ειδικού βάρους του κονιάματος και του ποσοστού προσθήκης αερακτικών και των αντοχών, όπως φαίνεται στις Εικ. 4 και 5. Στην περίπτωση μας η χρήση αερακτικού προσμίκτου δραστικής ένωσης olefin sulfonate ($R–SO_3–Na$) δεν έδειξε σημαντικές διαφορές από την χρήση αερακτικού δραστικής ένωσης olefin sulfate ($R–O–SO_3–Na$), αφού και τα δύο αερακτικά έδωσαν παρόμοια ποσοστά αέρα.

Η κατάλληλη τροποποίηση της κοκκομετρικής κατανομής (Εικ. 6) μπορεί να οδηγήσει το ποσοστό αέρα του κονιάματος σε οριακές τιμές. Αυτό μπορεί να βελτιστοποιήσει το ειδικό βάρος του κονιάματος ή τις αντοχές ανάλογα με το ποιο είναι το ζητούμενο. Η επιλεκτική μεταβολή των ποσοστών των κλασμάτων της άμμου με σκοπό να επιτευχθεί η μέγιστη συμπύκνωση της μάζας του κονιάματος ή η μέγιστη παρουσία αέρα, μπορεί να οδηγήσει σε κατάλληλες ιδιότητες χωρίς μεταβολή των συνδετικών υλικών ή των προσμίκτων. Παρόλα αυτά φαίνεται ότι σε περίπτωση που μεταβάλλεται η συνέχεια της κοκκομετρικής κατανομής και χρησιμοποιείται αερακτικό δεν υπάρχει προστιθέμενη συνέργια, ενώ μεταβάλλεται και η δραστικότητα των αερακτικών. Υπάρχει όμως η δυνατότητα με χρήση ασυνεχών κοκκομετρικών κατανομών να αυξηθεί το ποσοστό αέρα του κονιάματος χωρίς αύξηση του ποσοστού αερακτικού. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ανάλογα με τον τύπο του αερακτικού και την κοκκομετρία έχουμε αύξηση του ποσοστού αέρα 170-290% (ΑΕΑ 1) και 180-310% (ΑΕΑ 2). Αντιθέτως η διατήρηση συνεχόμενων κοκκομετρικών κατανομών διατηρεί τη συνέργια με το αερακτικό, δηλαδή η σύνθεση με το μεγαλύτερο ποσοστό αέρα χωρίς αερακτικό διατηρεί το υψηλότερο ποσοστό αέρα και με το πρόσθετο. Οι αντίστοιχες αυξήσεις αέρα με τη χρήση αερακτικού σε αυτή την περίπτωση είναι από 310-340% (ΑΕΑ 1) και από 260-310% (ΑΕΑ 2).

Comment [A.G.12]: σταθερών πόρων

Comment [A.G.13]: ανάλογα με το ποιο

Comment [A.G.14]:

Η μέτρηση του πορώδους στο σκληρυμένο κονίαμα επιβεβαιώνει ότι με την χρήση αερακτικού επιτυγχάνεται η διατήρηση σταθερών πόρων συγκεκριμένου μεγέθους, που επιτρέπει στο κονίαμα να έχει βελτιωμένες ιδιότητες σε νωπή και σκληρυμένη κατάσταση. Συγκρίνοντας τις ιδιότητες των κονιαμάτων όπως προκύπτουν από την ποροσιμετρία φαίνεται ότι ο μέσος πόρος των κονιαμάτων με αερακτικό είναι μεγαλύτερος κατά ~50-60%, ενώ και οι μετρήσεις του ειδικού βάρους δείχνουν ότι έχουμε ένα ελαφρύτερο κονίαμα, όπως φαίνεται στον πίνακα 2. Ο συνολικός ειδικός όγκος του κονιάματος που αποτελεί παράμετρο που σχετίζεται με τους ανοικτούς πόρους (Webb P.A., 2001) δείχνει ότι τα κονιάματα με αερακτικό έχουν αυξημένο ειδικό όγκο, δηλαδή στο εσωτερικό τους έχουν περισσότερα σταθεροποιημένα κενά, όπως φαίνεται στην Εικ. 7.

Comment [A.G.15]: σταθερών πόρων συγκεκριμένου μεγέθους

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά δειγμάτων με αερακτικό και αναφοράς

	ΑΕΑ 1	ΑΕΑ 2	ΝΟ ΑΕΑ
Ειδικός όγκος, mL/g	0,1191	0,1016	0,0916
Μέση ακτίνα πόρου (όγκου) μm	0,5513	0,5007	0,3499
Ειδικό βάρος (φαινόμενο) g/mL	1,84	1,88	2,01
Ειδικό βάρος (πραγματικό) g/mL	2,35	2,33	2,46
Πορώδες %	21,8	19,1	18,3

* ηλικία 28 ημ.

Δεν είναι εύκολο να προκύψουν συσχετίσεις που να συνδέουν την κοκκομετρία της άμμου με τις αντοχές, αφού η βιβλιογραφία δείχνει ότι παρόμοιες μεταβολές επηρεάζονται και από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες της άμμου (Glencross-Grant R., 2003) πέραν της κοκκομετρίας, ενώ υπάρχει και η μεταβλητότητα του λόγου νερού/τσιμέντο.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας φαίνεται ότι η επίδραση των προσμίκτων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή κονιαμάτων μπορεί να ωφελήσει τις ιδιότητες του νωπού και σκληρυμένου κονιάματος ειδικά σε θέματα ειδικού βάρους. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται δοκιμή της δραστικότητας του προσμίκτου και της συνέργιας με τα υπάρχοντα υλικά. Επιπρόσθετα οι κατάλληλες τροποποιήσεις της κοκκομετρικής κατανομής μπορούν να επηρεάσουν το ειδικό βάρος και το ποσοστό αέρα του κονιάματος ώστε να βελτιστοποιηθεί αυτή η παράμετρος, χωρίς αλλαγή των ποσοστών των χρησιμοποιούμενων προσμίκτων.

Comment [A.G.16]: των ποσοστών των χρησιμοποιούμενων προσθέτων

5. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Du L., Folliard K.J., “Mechanisms of air entrainment in concr ete”, Cement & Concrete Research, Vol. 35, No 8 (2005) 1463-1471

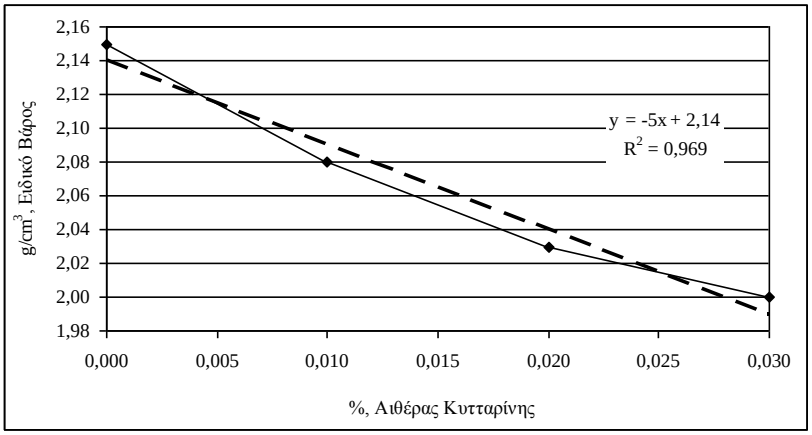
Edmeades R.M., Hewlett P.C., “Cement Admixtures”, in “Lea’s Chemistry of Cement and Concrete”, ed. Hewlett P.C., Arnold Publishers, USA (1988) 837-901

EN 998-1 Specification for mortar for masonry – Part 1 : Rendering and plastering mortar (2003)

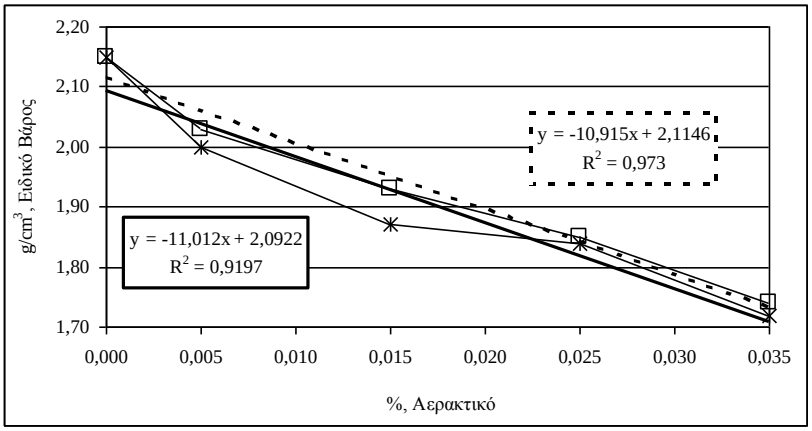
EN 998-2 Specification for mortar for masonry – Part 2 : Masonry mortar (2003)

Glencross-Grant R., Walker P., “Survey of building sands in Australia”, Construction and Building Materials, Vol. 17 (2003) 259-268

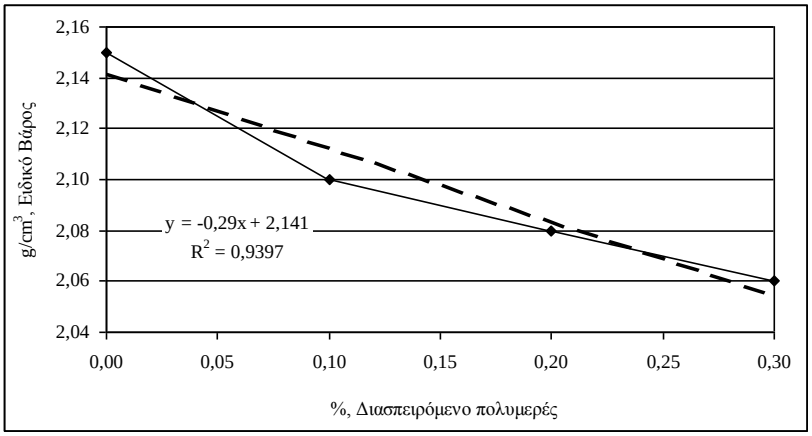
Webb P.A., “An introduction to the physical characterization of materials by mercury intrusion porosimetry with emplasis on reduction and presentation of experimental data”, Micromeritics Instrument Corp., Norcross, GA, Technical Report (2001)



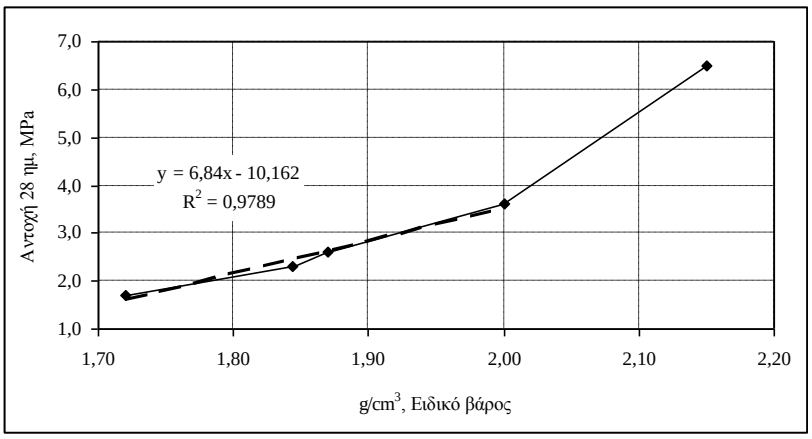
Εικόνα 1. Σχέση % αιθέρα κυτταρίνης προς ειδικό βάρος



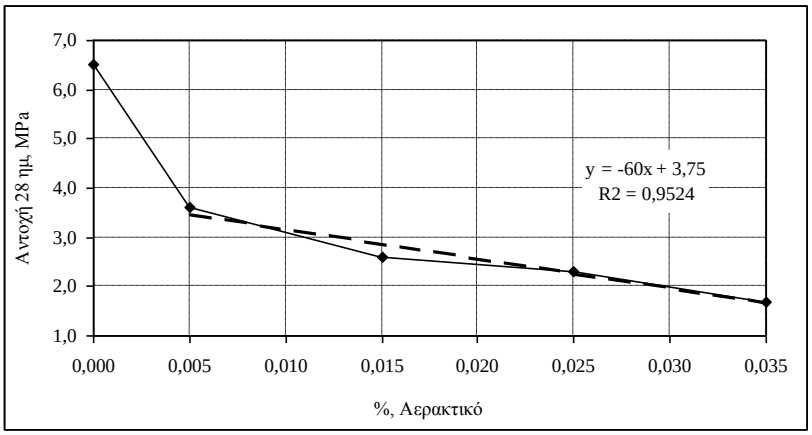
Εικόνα 2. Σχέση % αερακτικού προς ειδικό βάρος



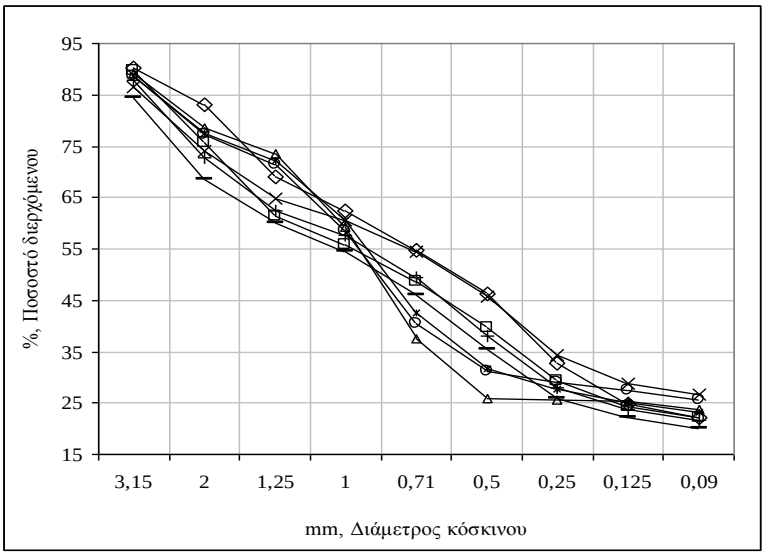
Εικόνα 3. Σχέση % πολυμερούς προς ειδικό βάρος



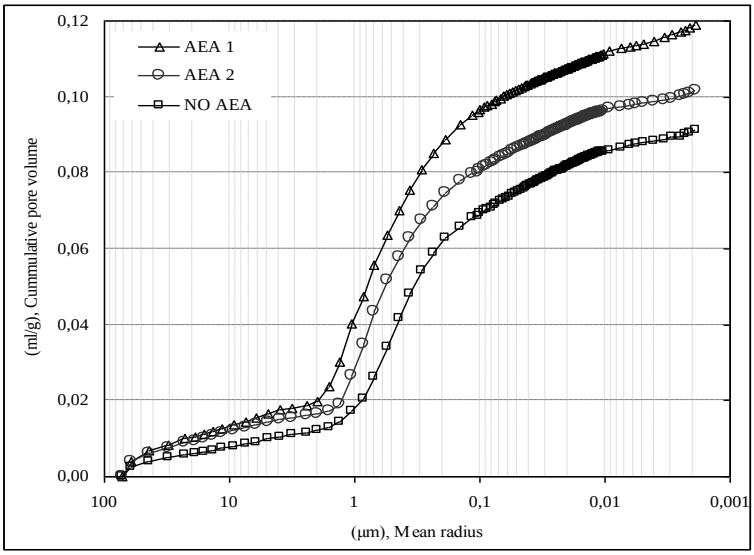
Εικόνα 4. Σχέση ειδικού βάρους και αντοχών



Εικόνα 5. Σχέση % αερακτικού και αντοχών



Εικόνα 6. Κοκκομετρικές κατανομές αδρανών στα κονιάματα



Εικόνα 7. Διαγράμματα πορώδους κονιαμάτων με και χωρίς αερακτικό

Πίνακας 2. Δοκιμές χημικών προσμίκτων

	%	%	%	%	%*	%*	*%	%*	%**	%**	%**	%**	%	%	%
0-1,4 mm	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
2-4 mm	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1,4-2 mm	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
0,7-1,4 mm	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
0-0,7 mm	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
0-0,1 mm	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Αιθέρας κυτταρίνης	---	0,01	0,02	0,03	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Αερακτικό	---	---	---	---	0,005	0,015	0,025	0,035	0,005	0,015	0,025	0,035	---	---	---
Συμπολυμερές	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,1	0,2	0,3
Αντ. θλίψης 3ημ (MPa)	2,8	2,0	2,2	1,7	1,0	0,8	0,8	0,9	2,1	1,6	1,3	0,7	2,2	2,0	1,9
Αντ. θλίψης 7ημ (MPa)	3,8	2,9	2,9	2,3	1,5	1,3	1,3	1,2	2,9	2,5	2,0	1,0	2,9	2,8	2,7
Αντ. θλίψης 28ημ (MPa)	6,5	5,2	5,5	4,6	3,6	2,6	2,3	1,7	5,2	4,1	3,1	1,6	5,5	5,5	5,5
Αντ. κάμψης 3ημ (MPa)	0,8	0,7	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,7	0,6	0,5	0,3	0,7	0,7	0,5
Αντ. κάμψης 7ημ (MPa)	1,2	1,0	1,1	1,0	0,7	0,7	0,6	0,6	1,0	0,8	0,7	0,5	1,0	1,0	0,9
Αντ. κάμψης 28ημ (MPa)	1,9	1,5	1,7	1,5	1,2	1,0	0,9	0,9	1,6	1,4	1,2	0,9	1,6	1,8	1,7
Απαιτούμενο νερό (%)	14,8	15,5	15,3	15,3	15,0	14,8	14,5	14	14,5	14,5	14,5	14,25	14,5	14,5	14,0
Εξάπλωση (cm)	16,7	16,6	16,8	17,0	17,4	16,8	16,7	16,7	16,8	17,1	17,1	16,9	16,5	16,8	17,1
Ειδικό βάρος (kg/L)	2,15	2,08	2,03	2,00	2,00	1,87	1,84	1,72	2,03	1,93	1,85	1,74	2,10	2,08	2,06
Αέρας (%)	5	7	9	11	10,5	15	18	23	9	14	17	21	7	8	9
Συγκρ. νερό (%)	85,6	88,1	93,7	96,9	84,0	84,4	85,7	86,8	86,2	85,9	87,0	86,1	84,7	84,1	83,9

* Αερακτικό 1, ** Αερακτικό 2, Τα ποσοστά αδρανών είναι κανονικοποιημένα ως προς το σύνολο τους

Πίνακας 3.1 Δοκιμές με μεταβαλλόμενη κοκκομετρία

	%	%	%	%	%*	%*	%*	%*	%**	%**	%**	%**
0-1,4 mm	5	0	10	9	5	0	10	9	5	0	10	9
2-4 mm	22	17	20	18	22	17	20	18	22	17	20	18
1,4-2 mm	12	0	0	0	12	0	0	0	12	0	0	0
0,7-1,4 mm	17	56	45	49	17	56	45	49	17	56	45	49
0-0,7 mm	32	0	4	0	32	0	4	0	32	0	4	0
0-0,1 mm	12	27	21	24	12	27	21	24	12	27	21	24
Αερακτικό	---	---	---	---	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Αντ. θλίψης 3ημ (MPa)	3,5	3,1	3,0	3,2	1,2	0,8	1,2	0,8	1,3	0,5	1,1	1,5
Αντ. θλίψης 7ημ (MPa)	5,0	4,6	4,0	4,4	2,2	1,5	2,3	1,5	2,2	1,9	2,3	2,3
Αντ. θλίψης 28ημ (MPa)	7,7	7,4	7,7	7,9	3,8	2,8	4,0	2,6	4,1	3,8	4,4	4,2
Αντ. κάμψης 3ημ (MPa)	1,0	0,9	0,9	0,9	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,2	0,6	0,7
Αντ. κάμψης 7ημ (MPa)	1,4	1,3	1,1	1,2	0,8	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,9	0,9
Αντ. κάμψης 28ημ (MPa)	2,1	2,1	1,8	2,0	1,3	1,1	1,5	1,0	1,2	1,3	1,6	1,5
Απαιτούμενο νερό (%)	13,75	14,25	14,25	14	13,5	14,25	13,75	14	13,75	14	13,75	14
Εξάπλωση (cm)	16,8	16,6	17,4	17,0	16,7	16,7	16,8	16,5	17,3	16,8	16,6	16,5
Ειδικό βάρος (kg/L)	2,16	2,11	2,07	2,08	1,93	1,81	1,92	1,95	1,89	1,84	1,91	1,91
Αέρας (%)	5	6,5	8	8	14,5	18	15	13,5	15,5	17	14,5	14,5
Συγκρ. νερό (%)	85,6	86,1	83,9	85,5	88,0	87,4	86,0	87,2	86,1	86,1	87,2	86,6

* Αερακτικό 1, ** Αερακτικό 2, Τα ποσοστά αδρανών είναι κανονικοποιημένα ως προς το σύνολο τους

Πίνακας 3.2 Δοκιμές με μεταβαλλόμενη κοκκομετρία

	%	%	%	%*	%*	%*	%**	%**	%**
0-1,4 mm	13	11	9	13	11	9	13	11	9
2-4 mm	24	26	29	24	26	29	24	26	29
1,4-2 mm	7	8	7	7	8	7	7	8	7
0,7-1,4 mm	13	15	16	13	15	16	13	15	16
0-0,7 mm	29	30	29	29	30	29	29	30	29
0-0,1 mm	14	10	10	14	10	10	14	10	10
Αερακτικό	---	---	---	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Αντ. θλίψης 3ημ (MPa)	4,0	3,6	3,4	2,0	1,5	1,8	2,7	1,3	2,5
Αντ. θλίψης 7ημ (MPa)	5,1	4,7	4,5	2,7	1,9	2,5	3,5	1,9	3,0
Αντ. θλίψης 28ημ (MPa)	8,6	7,9	7,5	4,9	3,9	4,1	6,1	3,8	5,5
Αντ. κάμψης 3ημ (MPa)	1,2	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	0,9	0,6	0,9
Αντ. κάμψης 7ημ (MPa)	1,7	1,4	1,5	1,0	0,8	0,8	1,1	0,8	1,2
Αντ. κάμψης 28ημ (MPa)	2,1	2,0	2,1	1,5	1,3	1,5	1,7	1,3	2,0
Απαιτούμενο νερό (%)	14,25	13,75	14,25	14,25	13,75	13,75	14	13,75	13,5
Εξάπλωση (cm)	17,0	16,6	16,9	16,6	17,0	17,3	16,5	17,4	16,6
Ειδικό βάρος (kg/L)	2,16	2,17	2,19	1,93	1,91	1,96	1,97	1,91	2,05
Αέρας (%)	4,5	4,8	3,8	14	15	13	12,5	15	10
Συγκρ. νερό (%)	87,0	85,3	84,6	89,1	87,2	85,6	89,0	86,2	87,0

* Αερακτικό 1, ** Αερακτικό 2, Τα ποσοστά αδρανών είναι κανονικοποιημένα ως προς το σύνολο τους