

ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΤΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ ΣΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

ὕπὸ

A. M. ΚΩΣΤΗΚΙΔΗ καὶ K. A. MATH

Εργαστήριο Γενικῆς καὶ Ἀνόργανης Χημικῆς Τεχνολογίας τοῦ Ἀριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

(Received 2.12.81)

Abstract: *The continuously increasing production of fly ash from power plants led, among others, our laboratory in the study of the substitution part of Portland cement by the lignite ashes from the Ptolemaide region, and the examination of the prepared test mortars. The experiments presented here covered the compression strength and the linear change after curing in autoclave and/or waterbath.*

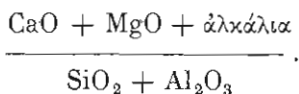
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ἡ ἔλλειψη καὶ συγχρόνως τὸ κόστος τῆς ἐνέργειας στὴν παραγωγή τοῦ τσιμέντου, καθὼς καὶ ἡ ὕψηλὴ ζήτηση τσιμέντου Portland στὴ βιομηχανία οἰκοδομικῶν κατασκευῶν ὀδήγησαν πολλοὺς ἐρευνητές, σὲ διάφορες χῶρες, στὴ μελέτῃ τῆς μερικῆς ἀντικατάστασης τοῦ τσιμέντου ἀπὸ ὑδραυλικά πρόσθετα (ποζολάνες) κατὰ τὴν παρασκευὴ τοῦ σκυροδέματος. Παράλληλα, μὲ τὴν ἐπέκταση τῶν θερμοηλεκτρικῶν ἐργοστασίων, ἐμφανίσθηκε μιὰ συνεχῶς αὐξανόμενη παραγωγή ἰπτάμενης τέφρας—πού εἶναι βιομηχανικὸ στερεὸ ἀπόβλητο—καὶ παρουσιάσθηκε τὸ πρόβλημα τῆς κατάλληλης ἀποθέσεως ἐκατομμυρίων τόννων τὸ χρόνο.

Κατ' αὐτὸ τὸν τρόπο, ἄρχισαν οἱ μελέτες γιὰ τὴν πλήρη, κατὰ τὸ δυνατό, χρησιμοποίησι καὶ ἀξιοποίησι τῆς τέφρας, πού στράφηκαν σὲ τελείως διαφορετικὲς κατευθύνσεις—ἀπὸ τὴν χρησιμοποίησίν της σάν λίπασμα, καθὼς καὶ γιὰ τὴ διεργασία μολυσμένων ὑδάτων, μέχρι τὸ διαχωρισμὸ καὶ παραλαβὴ τῶν συστατικῶν της (ἀργίλλιο, σίδηρος, τιτάνιο, γερμάνιο, κλπ.). Στὸ πλαίσιο αὐτὸ τοποθετοῦνται καὶ οἱ μελέτες γιὰ τὴ μερικὴ ἀντικατάστασι τοῦ τσιμέντου ἀπὸ τὴν ἰπτάμενη τέφρα (1).

Ἀνάμεσα στοὺς ἐρευνητές πού ὀδηγήθηκαν σ' αὐτὴ τὴν κατεύθυνσι,

συγκαταλέγεται και τὸ Ἐργαστήριό μας με δύο παλιότερες ἐργασίες (2, 3). Στὴν πρώτη ἀπὸ τὶς δύο αὐτὲς δημοσιεύσεις, ἐξετάσθηκε ἡ δύναμη συμπίεσεως και ἐφελκυσμοῦ τῶν ὑπὸ δοκιμὴ τσιμεντοκονιαμάτων, και ὑπολογίσθησαν οἱ ποζολανικὲς και ὑδραυλικὲς ιδιότητες τοῦ ὑλικοῦ, χρησιμοποιώντας σὰν κριτήρια τὸ συντελεστὴ Feret και τὴ σχέση



Ἐνῶ, στὴ δευτέρα μελετήθηκαν οἱ εὐνοϊκὲς συνθήκες κατατμήσεως τῆς τέφρας και ἔγιναν μετρήσεις τῆς εἰδικῆς ἐπιφάνειας. Ἡ ἐξέταση αὐτὴ τῆς ἐπιδράσεως τῆς τέφρας σὰν ἀντικατάστατο τοῦ τσιμέντου ἔγινε ἐπειδὴ εἶχε γίνεи ἀντιληπτὴ ἡ σημασία τοῦ μεγέθους τῶν σωματιδίων τοῦ ὑλικοῦ αὐτοῦ.

Μεγάλη σημασία, δηλαδή, ἔχει ἡ ὁμοιογένεια τῆς ἱπτάμενης τέφρας. Ἡ σύσταση τῆς τέφρας, ὅπως ξέρουμε, ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὰ ὀρυκτολογικὰ χαρακτηριστικὰ τοῦ κάρβουνοῦ ποὺ χρησιμοποιεῖται στὴν καύση, τὴ θερμοκρασία τῆς καύσεως, τὴν ταχύτητα διόδου μέσα ἀπὸ τὸ θάλαμο τῆς καύσεως, τὸ ρυθμὸ ψύξεως, κ.ἄ. Ἀπὸ τὴν ἀποψη τῆς βιομηχανίας τσιμέντου, ἡ τεχνολογία τῆς καύσεως θὰ πρέπει νὰ ἐλέγχεται κατάλληλα. Κάτι τέτοιο ὅμως εἶναι πολὺ γιὰ νὰ τὸ ἀναμένουμε ἀπὸ ἕνα σταθμὸ παραγωγῆς ἠλεκτρικῆς ἐνέργειας, πρὸς τὸ παρὸν τουλάχιστον.

Θὰ πρέπει νὰ σημειωθεῖ ὅτι στὸ ἐξωτερικὸ ἔχει γίνεи ἀξιόλογη πρόοδος στὸ γενικότερο θέμα, ἀφοῦ ἔχουν ἀρχίσει οἱ μελέτες πρὶν ἀπὸ τὸν πόλεμο (4). Ἔτσι, ἔχουν καθορισθεῖ προδιαγραφὲς γιὰ τὴν τέφρα, και τὴν καταλληλότητά της σὰν πρόσθετο συστατικὸ στὸ τσιμέντο (5), ποὺ βέβαια ἔχουν ληφθεῖ ὑπόψη.

Ἡ τέφρα καθὼς και τὰ ἄλλα ἀνόργανα συστατικὰ ποὺ χρησιμοποιοῦνται σὰν πρόσθετα, ἰδιαίτερα οἱ διάφορες ποζολάνες (φυσικὲς ἢ τεχνητές), ἔχουν ἐνδιαφέρον γιὰ τὸ συνδυασμὸ με τὸ τσιμέντο δροῦν σὰν ἐνεργὸ μέρος τοῦ κονιάματος. Εἶναι γνωστὸ (6) ὅτι ἀπὸ τὴν ἀποψη τῆς ἀνθεκτικότητας, γενικὰ οἱ ποζολάνες ἀσκοῦν τὶς παρακάτω εὐνοϊκὲς ἐπιδράσεις στὶς ιδιότητες τοῦ τσιμέντου και τοῦ σκυροδέματος:

- 1) Αὐξάνουν τὴν ἀντίσταση πρὸς διαβρωτικὰ νερὰ (ὄξινα), χάρις στὴ χημικὴ τους σύσταση και στὴ σύνδεσή τους με τὸ ὕδροξείδιο τῆς ἀσβέστου ποὺ ἀπελευθερώνεται ἀπὸ τὴν ἐνυδάτωση τοῦ clinker.
- 2) Μειώνουν τὴ διαπερατότητα και τὴ δυνατότητα ἐκπλύσεως τῆς ἀσβέστου.
- 3) Αὐξάνουν τὴ σχετικὴ δύναμη ἐφελκυσμοῦ.
- 4) Ἐξαφανίζουν ἐπιβλαβεῖς ἀντιδράσεις ἀνάμεσα πρὸς περιεχόμενα τοῦ τσιμέν-

ντου (Na_2O , K_2O) και διάφορα δραστικά συστατικά (SiO_2 , δολομιτικός ασβεστόλιθος).

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

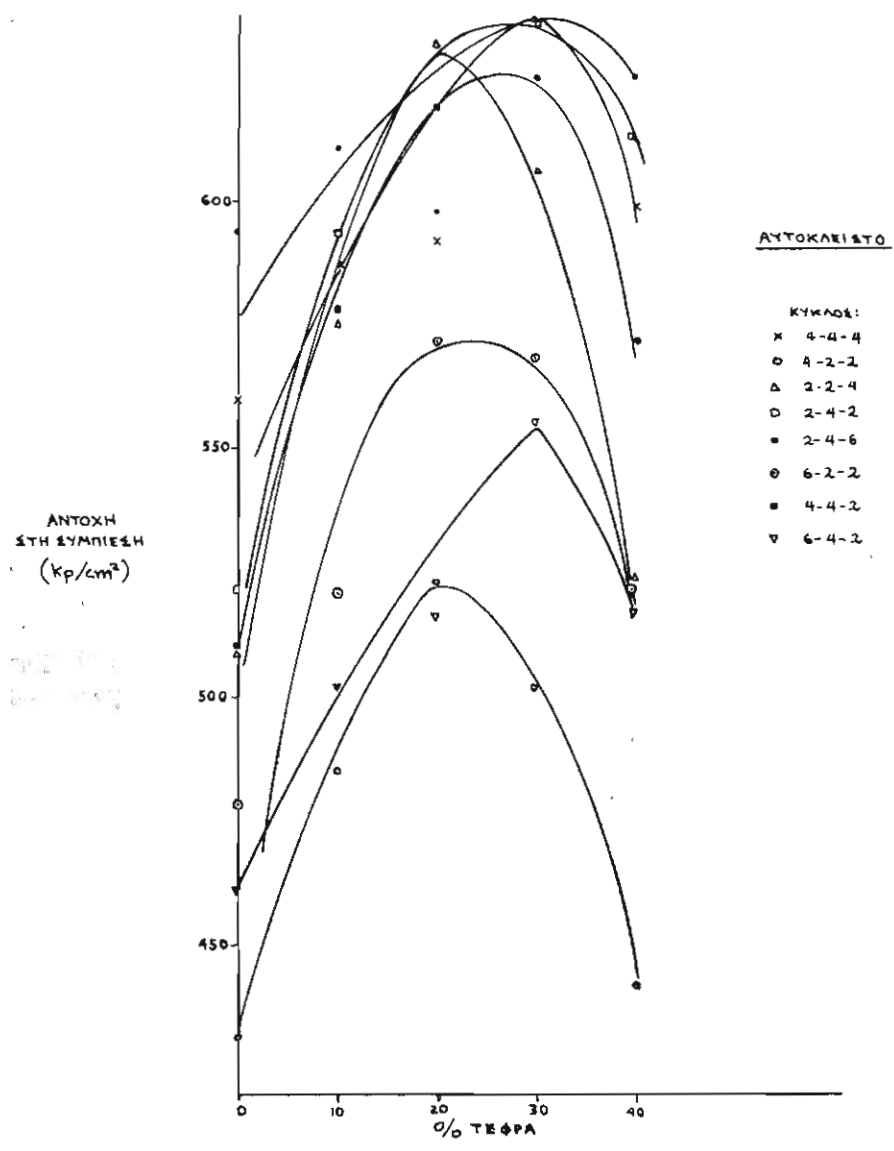
Ουσιαστικά, έγιναν μετρήσεις δύο αντιπροσωπευτικών ιδιοτήτων του τσιμεντοκονιάματος, της άντοχής στη συμπίεση, που είναι μία χαρακτηριστική μηχανική ιδιότητα, και της γραμμικής μεταβολής των δοκιμίων, που όφειλόνταν σε επίδραση της υγρασίας (φυσική ιδιότητα). Λεπτομέρειες για τον τρόπο εργασίας και τη χημική ανάλυση της τέφρας και του τσιμέντου δόθηκαν στις προηγούμενες εργασίες (2, 3).

Τα δοκίμια, μορφής κυλίνδρου διαμέτρου και ύψους περίπου 11,36 mm, μετά την κατασκευή τους διατηρούνται για ώριμανση σε υδρόλουτρο στους 20°C για 7, 28 και 90 μέρες. Πριν εξετασθούν, τοποθετήθηκαν για 24 ώρες σε χώρο κορεσμένο με υδρατμούς θερμοκρασίας 20°C. Επίσης εξετάσθηκε ή κατεργασία άλλων δοκιμίων (από τα ίδια υλικά) σε αυτόκλειστο, επειδή η διαστολή στο αυτόκλειστο αποτελεί μία παράμετρο κλειδί στον έλεγχο της ποιότητας της ιπτάμενης τέφρας (1). Το αυτόκλειστο λειτούργησε σε διάφορους κύκλους, που παριστάνονται με τρεις αριθμούς, όπως φαίνεται στα σχήματα. Οί αριθμοί αυτοί, που σημαίνουν ώρες παραμονής, αντιστοιχούν στις τρεις μεταβλητές: Το χρόνο που διατηρείται το αυτόκλειστο στους 40°C, το χρόνο ανόδου της θερμοκρασίας ως τους 176°C, και το χρόνο παραμονής στους 176°C. Όλες οι τιμές που δίνονται είναι ό μέσος όρος από πέντε δοκίμια.

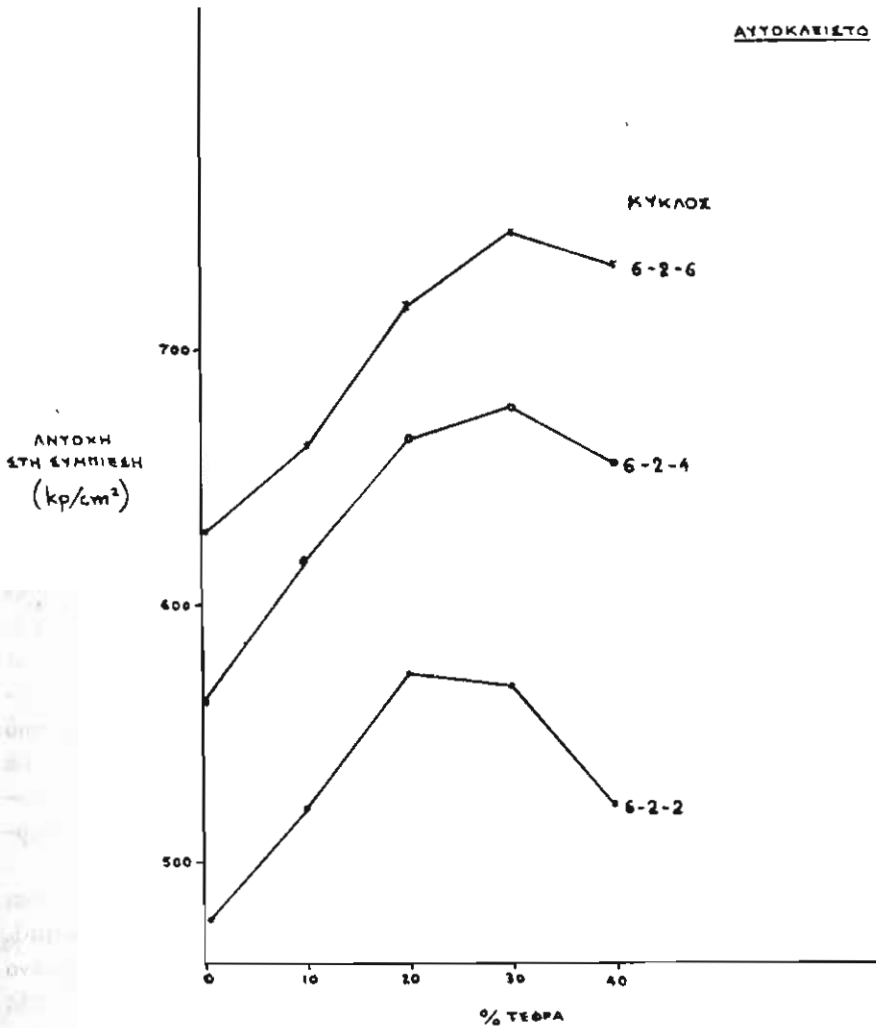
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Τα σκυροδέματα χαρακτηρίζονται γενικά από την παρατηρούμενη άντοχη συμπίεσεως ύστερα από 28 μέρες. Λιγότερη συχνή είναι η δοκιμή για τη δύναμη έφελκυσμού και τη δύναμη κάμψεως. Οί χημικές αντιδράσεις όμως, που λαμβάνουν μέρος στο σκληραμένο πολτό (άλοιφή) του τσιμέντου, συνεχίζονται για μία περίοδο αξιοσημείωτα μεγαλύτερη από τις 28 μέρες. Παίρνει μήνες, ή ακόμα χρόνια, ώσπου να ληφθεί μία σταθερή κατάσταση που αντιστοιχεί σε ένα όρισμένο περιβάλλον. Αυτοί οί μετασχηματισμοί, καθώς και μερικές έξωτερικές επιδράσεις που επηρεάζουν τη σκληραμένη αλοιφή, μπορούν να προκαλέσουν καταστροφή στο σκυρόδεμα. Οί καταστροφικές αυτές



Σχ. 1. Επίδραση του ποσοστού της προστιθέμενης τέφρας στην άντοχή σε πίεση κατά τη διεργασία στο αυτόκλειστο σε διάφορους κύκλους.



Σχ. 2. Μελέτη του χρόνου διεργασίας στο αυτόκλειστο με την άντοχή σέ πίεση, σάν συνάρτηση του ποσοστού προστιθέμενης τέφρας.

λειτουργίες συνολικά είναι γνωστές σαν διάβρωση του τσιμέντου, και εκδηλώνονται εξωτερικά με ρωγμές λεπτές ή πλατύστες, το πόσιμο των γωνιών ή άκρων, σχηματισμό ενός λευκού ιζήματος (που δείχνει την έκπλυση), και τελικά μπορούν να οδηγήσουν στην αποσάθρωση του σκυροδέματος και του κονιάματος. Θα πρέπει, δηλαδή να λαμβάνονται υπόψη από τους σχεδιαστές δομών σκυροδέματος.

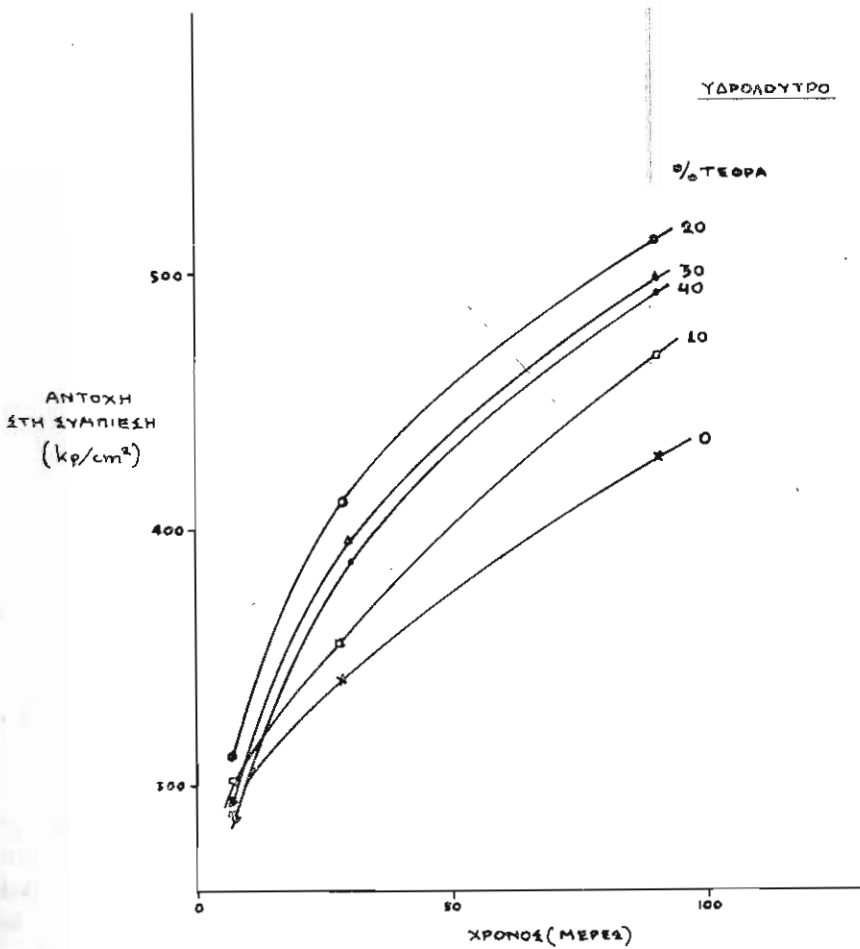
Τα Σχήματα 1-4 περιέχουν ένα μέρος των αποτελεσμάτων πάνω στην άντοχη των δοκιμιών που κατασκευάστησαν. Μελετήθηκε η επίδραση της προστιθέμενης τέφρας, σαν ποσοστό τσιμέντου, στην άντοχη στη συμπίεση σε συνάρτηση με το χρόνο διεργασίας ή παραμονής στο αυτόκλειστο και το υδρόλουτρο. Το Σχήμα 1 παρουσιάζει διάφορους κύκλους στο αυτόκλειστο. Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι έχουμε ένα μέγιστο άντοχης γύρω στα 25% περίπου προστιθέμενης τέφρας, και ότι ακόμη και το 40% είχε πάντα μεγαλύτερη άντοχη από το καθαρό τσιμέντο. Η επίδραση των κύκλων δε φαίνεται καθαρά. Παρόλα αυτά η άντοχη αυξανόταν με το χρόνο διεργασίας, όπως δείχνει το Σχήμα 2.

Το ίδιο συμπέρασμα για το χρόνο παραμονής στο υδρόλουτρο, αυτή τη φορά, και την άντοχη βγαίνει και από το Σχήμα 3. Ένω, συνήθως στο υδρόλουτρο το 20% σε τέφρα είχε τη μεγαλύτερη άντοχη, και τα 30 και 40% είχαν μεγαλύτερη από το 10% (και από το 0%), όπως φαίνεται και από το Σχήμα 4.

Γενικά, οι τιμές άντοχης από το αυτόκλειστο ήταν ψηλότερες απ' ό,τι με το υδρόλουτρο. Πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχουν ιδιαίτερα πλεονεκτήματα στην παρασκευή, με την προσθήκη τέφρας, προϊόντων του μπετόν, που πρόκειται στην παραγωγική διαδικασία να βρίσκονται σε επαφή με ατμό. Τα προϊόντα αυτά αναπτύσσουν μικρότερη θερμότητα ενυδατώσεως (ή ενυδάτωση του τσιμέντου είναι μια εξώθερμη λειτουργία, δηλαδή ελευθερώνεται θερμότητα καθώς σκληραίνει ή αλοιφή).

Η μείωση της διαπερατότητας στο σκυρόδεμα με την τέφρα το κάνει ανώτερο (άνθεκτικώτερο) από το μπετόν από καθαρό τσιμέντο Portland. Στην άδιαπερατότητα αυτή αποφασιστικός παράγοντας είναι το περιεχόμενο σε διοξείδιο του πυριτίου και οφείλεται στην ανάπτυξη με την παρουσία της τέφρας περισσότερου gel, δηλαδή του συναθροίσματος μιᾶς ή περισσότερων στερεών φάσεων μεγάλης ειδικής επιφάνειας μαζί με ένα σύστημα πόρων, που δημιουργείται κατά τις αντιδράσεις ενυδατώσεως.

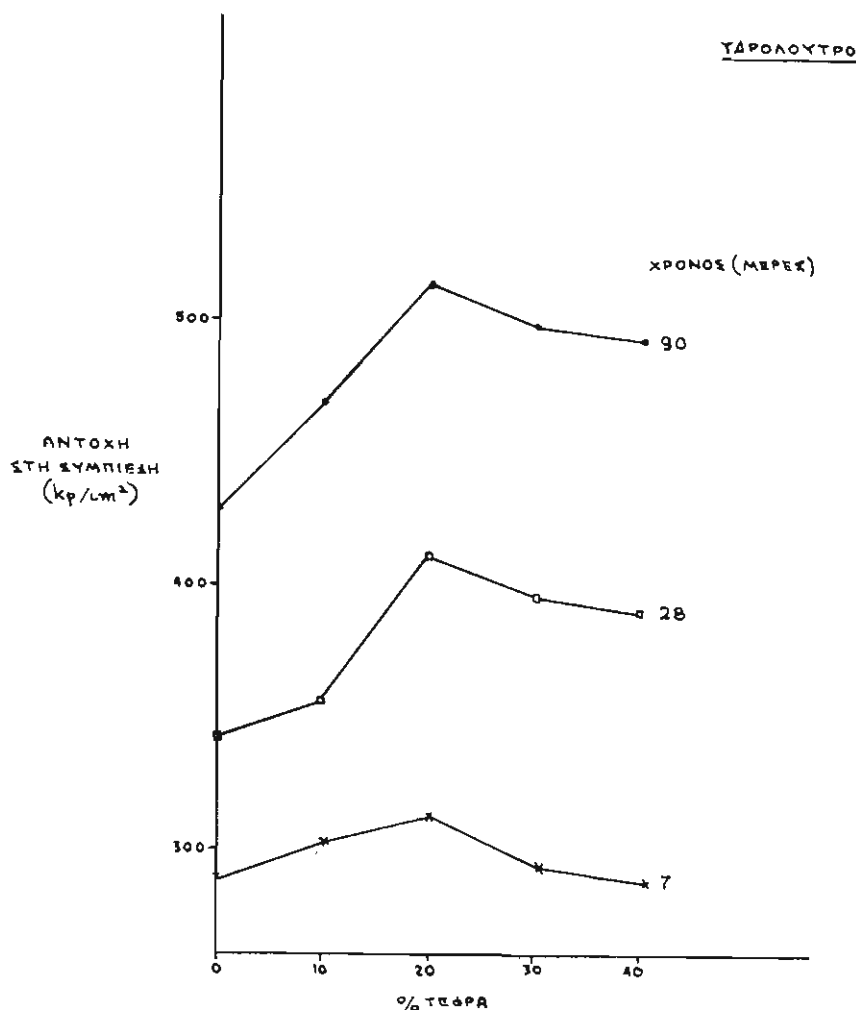
Είναι γνωστό (7), ότι το υδροξείδιο του ασβεστίου που ελευθερώνεται κατά την ενυδάτωση του πυριτικού τριασβεστίου (alite) και του πυριτικού β- διασβεστίου (belite) - που είναι κρυσταλλικές φάσεις του clinker του τσιμέντου Portland - συνδέονται με το χημικά ενεργό διοξείδιο του πυριτίου της προστιθέμενης ποζολάνας. Έτσι, το ίον του ασβεστίου που προέρχεται



Σχ. 3. Επίδραση του χρόνου παραμονής στο υδρόλουτρο στην άντοχή σε πίεση, σε συνάρτηση με το ποσοστό προστιθέμενης τέφρας (Αντίστοιχος κύβλος 4-2-2).

από το clinker αντιδρά με το ενεργό περιεχόμενο σε διοξείδιο του πυριτίου (που καλείται διαλυτό) της τέφρας και τα προϊόντα γεμίζουν τους πόρους του gel. Με αποτέλεσμα το υδροξείδιο του ασβεστίου να μετατρέπεται σε υδροπυριτικό μονασβέστιο και η τιμή του pH του μπετόν να μειώνεται με την προσθήκη της ποζολάνας.

Βλέπουμε λοιπόν ότι η αντίσταση των σκυροδεμάτων που γίνονται από τσιμέντα με τέφρα εξαρτάται σημαντικά από την ηλικία του σκυροδέματος.



Σχ. 4. 'Επίδραση τού ποσοστού προστιθέμενης τέφρας στην άντοχή σέ πίεση κατά τή διάρκεια παραμονής στο ύδρόλουτρο ('Αντίστοιχος κύκλος 4-2-2).

Ἡ ἀλληλεπίδραση μεταξύ τού ὕδροξειδίου τού ἀσβεστίου καί τού ὑδραυλικοῦ πρόσθετου συνήθως παίρνει ἀρκετό χρόνο γιά νά ἀναπτυχθεῖ. Ἡ ἐνεργότητα μιᾶς ὀρισμένης ποζολάνας ἐξαρτᾶται πρωταρχικά ἀπό τό περιεχόμενό της σέ ἐνεργό διοξειδίο τού πυριτίου. Πιστεύεται ὅτι ἡ ἔρευνα τού ἐργαστηρίου μας θά πρέπει νά συνεχισθεῖ σ' αὐτό τόν τομέα τῶν ἀντιδράσεων παρουσία τῆς

τέφρας, ώστε να μπορέσουν οι παραπάνω εξηγήσεις να τεθούν σε μια πιό βέβαιη βάση.

Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί και στη βιβλιογραφία (8) για την άντοχή. Γενικά, η ποιότητα της τέφρας και η ανάγκη για την ομοιογένεια της μπορούν να θεωρηθούν σαν μειονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες ποζολάνες. Πλεονέκτημα όμως του μπετόν με τέφρα είναι η χαμηλή απαίτηση για νερό, συγκρινόμενη με πολλά άλλα υδραυλικά πρόσθετα, που η εισαγωγή τους συχνά αυξάνει κατά πολύ την απαίτηση σε νερό των μιγμάτων του σκυροκονιάματος.

Η κατάτμηση της ιπτάμενης τέφρας (αύξηση της ειδικής επιφάνειας) όχι μόνο δεν οδηγεί σε μια αύξηση της απαιτήσεως για νερό των μιγμάτων, αλλά αντίθετα ελαφρά μειώνει αυτή την απαίτηση. Η φύση αυτού του φαινομένου μπορεί να εξηγηθεί φυσικοχημικά (9).

Η μείωση στο λόγο νερό: τσιμέντο είναι ευνόικη για μια ποικιλία λόγων, ανάμεσα στους οποίους είναι η αύξηση της άντοχής του τσιμέντου, και γιατί βελτιώνεται η αντίσταση στη διάβρωση. Σ' αυτό το τελευταίο θέμα, στη διάβρωση του μπετόν (κύρια από θειικά και χλωριούχα ιόντα) γίνεται έρευνα στο Έργαστήριο και στο άμεσως προσεχές μέλλον θα δημοσιευθούν τα πρώτα αποτελέσματα.

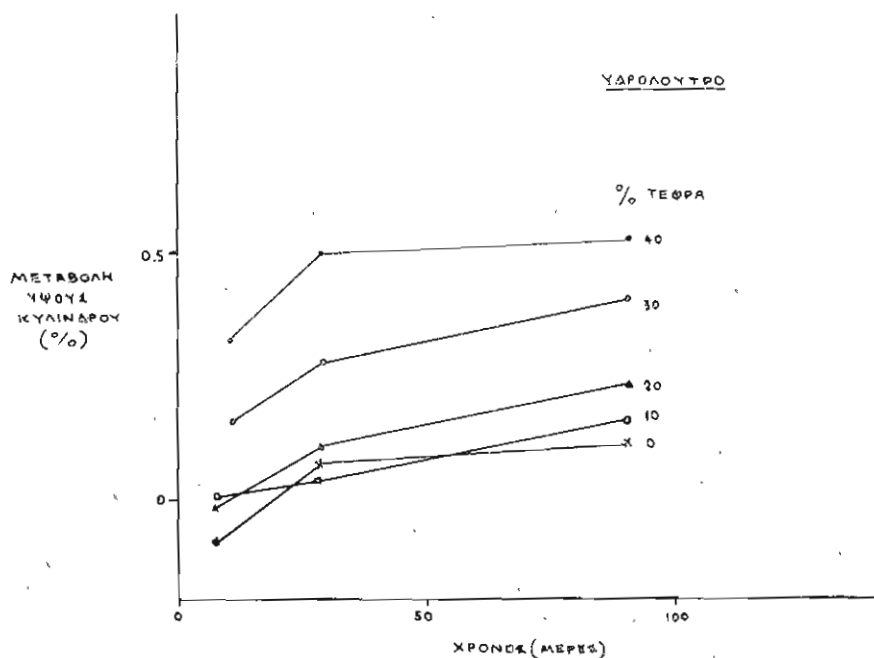
ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ

Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο σκληραμένος πολτός του τσιμέντου, όπως ξέρουμε, δεν είναι σταθερή, γιατί κατά τη διάρκεια της ενυδατώσεως οι νεοσχηματιζόμενες ενώσεις δεν παριστάνουν τη χαμηλότερη στάθμη ενέργειας που είναι δυνατή στο σύστημα. Ούτε και αυτό το gel δε βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας, καθώς οι μονο- και διμοριακές υδάτινες στοιβάδες τείνουν να μειώσουν την επιφανειακή τους ενέργεια και συνεπώς το gel περνά σταδιακά σε μια λιγότερο διασπαρμένη κατάσταση. Η λειτουργία αυτή δεν τελειώνει σε 28 μέρες, και ούτε ακόμη σε 360 μέρες.

Πρόσθετα, πάντα παραμένουν σωματίδια του clinker που δεν έχουν αντιδράσει με νερό. Το βάθος όπου εισχωρεί η ενυδάτωση είναι 5 μm σε ένα μήνα και 8 μm σε 3 μήνες (7), έτσι ώστε τα σωματίδια του τσιμέντου που αρχικά ήταν μεγαλύτερα από 16 μm έχουν αφήσει άνυδρους πυρήνες ενσωματωμένους στο gel. Αφού ο όγκος των προϊόντων της ενυδατώσεως, που θα συνεχισθεί, είναι μεγαλύτερος από τα άνυδρα, η επακόλουθη αύξηση του όγκου θα προκαλέσει τάσεις στο υλικό. Μία ακόμη αναπόφευκτη αλλαγή του όγκου οφείλεται στην ανάληψη διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα.

Ἡ ξήρανση καὶ ἡ ἐπανόργανση τῆς σκληραμένης ἀλοιφῆς τοῦ τσιμέντου συνοδεύεται ἀπὸ συρρίκνωση καὶ διόγκωση. Ἄν μιὰ ψηλότερη σχετικὴ ὑγρασία περιβάλλοντος ἐπιτρέψει σὲ ἓνα ξηραμένο στὸν ἀέρα πολτὸ τσιμέντου νὰ προσροφήσει ὑδρατμὸ μέσα στὶς ἐσωτερικὲς πορώδεις ἐπιφάνειές του, τότε ἐμφανίζεται μιὰ μείωση τῆς ἐπιφανειακῆς τάσεως στὶς ὑδάτινες στοιβάδες τῶν φάσεων τοῦ gel, καὶ αὐτὸ παρασύρει κατὰ κάποιον τρόπο τὴ στερεὰ ἐπιφάνεια νὰ διασταλεῖ. Ἡ ξήρανση συνοδεύεται ἀπὸ μιὰ λειτουργία ἐκροφῆσεως, καθὼς ἀυξάνει ἡ ἐπιφανειακὴ τάση ποὺ συνεπάγεται τὴ συρρίκνωση τοῦ στερεοῦ πολτοῦ. Ὅσο πιὸ μεγάλη εἶναι ἡ εἰδικὴ ἐπιφάνεια, τόσο πιὸ ἔντονες εἶναι αὐτὲς οἱ ἀλλαγές τοῦ ὄγκου καὶ στὴν ἀκραία περίπτωση, τὰ φαινόμενα αὐτὰ μποροῦν νὰ ὀδηγήσουν σὲ καταστροφὴ τῆς δομῆς.

Στὸ πλαίσιο αὐτὸ ἔγινε ἡ μελέτη τῆς ἐπιδράσεως τῆς τέφρας στὴ μεταβολὴ τοῦ ὕψους τῶν δοκιμίων, ποὺ ἐκφράσθηκε σὰν $(\Delta L/L) \times 100$ καὶ μέρος τῶν ἀποτελεσμάτων φαίνεται στὰ Σχήματα 5 καὶ 6. Παρατηρεῖται ὅτι ἔχουμε μιὰ αὐξηση τοῦ ποσοστοῦ γραμμικῆς μεταβολῆς μὲ τὸ ποσοστὸ προστιθέμε-

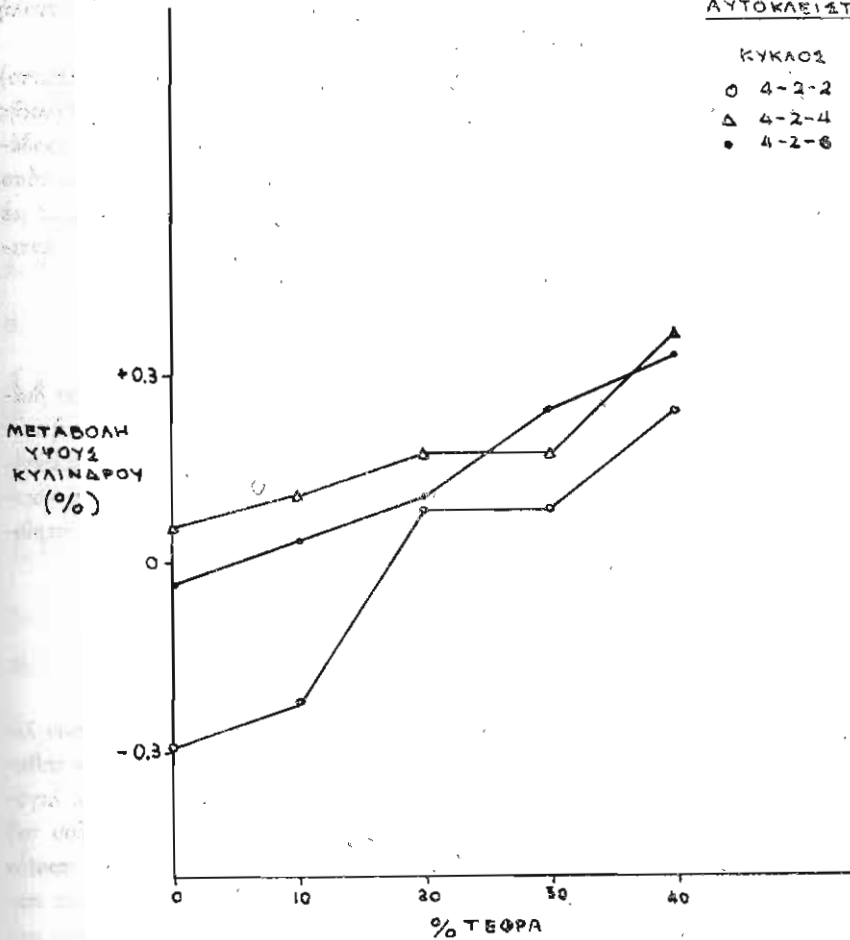


Σχ. 5. Μελέτη τοῦ ποσοστοῦ μεταβολῆς τοῦ ὕψους κυλίνδρου μὲ τὸ χρόνο παραμονῆς στὸ ὑδρόλουτρο, στὰ διάφορα ποσοστά προστιθέμενης τέφρας (Ἀντίστοιχος κύκλος 6-2-6).

ΑΥΤΟΚΛΕΙΣΤΟ

ΚΥΚΛΟΣ

- 4-2-2
- △ 4-2-4
- 4-2-6

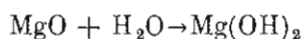


Σχ. 6. Μελέτη του ποσοστού μεταβολής του ύψους κυλίνδρων σε συνάρτησή με το ποσοστό προστιθέμενης τέφρας και με το χρόνο διεργασίας στο αυτόκλειστο (διάφοροι κύκλοι).

νης τέφρας στο υδρόλουτρο και στο αυτόκλειστο. Γενικά, λόγω των υγρών συνθηκών πρόκειται για διόγκωση, εκτός από όρισμένες αρχικές τιμές, όπου ή ώριμανση βρίσκεται στα πρώτα στάδια, και εμφανίζεται συρρίκνωση. Επίσης, φαίνεται κάποια αύξηση στη γραμμική μεταβολή με το χρόνο παραμονής στο υδρόλουτρο, ενώ ή κατάσταση είναι κάπως συγκεκριμένη στο αυτόκλειστο (Σχήμα 6). Ακόμη, δέν προκύπτει σαφής σχέση από τους αντίστοιχους κύκλους μεταξύ άντοχής και μεταβολής ύψους. Τα πειράματα συμπληρώθηκαν

από στατιστική ανάλυση. Σημειώνεται ότι η μέγιστη παραδεκτή διαστολή (ή συστολή) στο αυτόκλειστο είναι 0,5% (4).

Οι γραμμικές μεταβολές κατά την ώριμανση με άτμο (στο αυτόκλειστο) είναι μία συνάρτηση τόσο της αντίδρασεως ένυδατώσεως και της υδραυλικής κινήσεως, όσο και της θερμικής διαστολής του στερεού μέρους του σκυροδέματος. Οι μεταβολές της ένυδατώσεως των συνήθων πυριτικών δεν είναι τόσο μεγάλες, αν λάβουμε υπόψη μας και τον παράγοντα χρόνο, συγκρινόμενες με τη θερμική διαστολή ή την υδραυλική κίνηση, αλλά υπάρχουν ορισμένες αντιδράσεις ένυδατώσεως, όπως για παράδειγμα η αντίδραση



που είναι γνωστή ότι δείχνει υπερβολικά μεγάλη διόγκωση, και καλείται διάβρωση του μαγνησίου (6). Γενικά, όμως, η λειτουργία που είναι γνωστή σαν ώριμανση (ή ένηλικίωση) του σκυροδέματος αυξάνει την άντοχη και την αντίστασή του στη διάβρωση. Έτσι, σκληραμένος πολτός του τσιμέντου ή σκυρόδεμα που εκτίθεται σε διαβρωτική επίδραση, ύστερα από μακρύτερη περίοδο ώριμάνσεως, είναι λιγότερο πιθανό να υποστεί ζημιές.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μερική αντικατάσταση τσιμέντου Portland από ιπτάμενη τέφρα των λιγνιτών της Πτολεμαΐδας δίνει τσιμεντοκονίαμα πολύ άνθεκτικό. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στη μείωση της διαπερατότητας, στην απώθηση για λιγότερο νερό των μιγμάτων, και στη σύνδεση του χημικά ένεργου διοξειδίου του πυριτίου της τέφρας με το έλευθερούμενο υδροξείδιο του ασβεστίου, προϊόν της ένυδατώσεως του τσιμέντου. Η μεγαλύτερη άντοχη παρατηρήθηκε περίπου στο 25% προστιθέμενης τέφρας, αν ακόμα και το 40% παρουσίασε μεγαλύτερη άντοχη από το 0%. Σοβαρή επίδραση είχε η ηλικία του τσιμεντοκονιάματος, που του δίνει μεγαλύτερη αντίσταση στη διάβρωση. Σημειώνεται επίσης η μεγάλη σημασία της κατατήσεως και όμογενοποίησεως της τέφρας, πριν τη χρησιμοποίησή της.

REFERENCES

1. SPENCER J. D. and WRIELDON C. E. (ed.), Proc. 5th Intl. Ash Utilization Symp., NTIS, US Dept. Energy, Atlanta, Feb., p. 544 (1979).
2. VOYATZAKIS E., SIPITANOS K. M., and CHRISTAKI-PAPAGEORGIU A., *Revue des Matériaux de Construction*, 703, 6, 341 (1976).
3. SIPITANOS K. M., VOYATZAKIS E., and MELIDIS S. B., *ibid.* 707, 4, 211 (1977).
4. ASTM, «Symp. on Use of Pozzolan Materials in Mortars and Concretes», 1st Pacific Area National Meeting, San Francisco, Oct. (1949).
5. ASTM, C 311-68 (1969), C 441-69 (1969) and C 618-68T (1969).
6. The Cement Assoc. of Japan, Proc. 5th Intl. Symp. Chemistry of Cement-Part III, Tokyo p. 193 and 570 (1968).
7. Biczok I., «Concrete Corrosion - Concrete Protection», Akadémiai Kiado, Budapest, p. 72 and 41 (1972).
8. US Bu Mi, Proc. 2nd Ash Utilization Symp., Pittsburgh, IC 8488, Dept. Interior, p. 171 (1970).
9. US Bu Mi, Proc. Fly Ash Utilization, Pittsburgh, IC 8348, Dept. Interior, p. 188 (1967).

REFERENCES

1. SPENCER J. D. and WHIELDON C. E. (ed.), Proc. 5th Intl. Ash Utilization Symp., NTIS, US Dept. Energy, Atlanta, Feb., p. 544 (1979).
2. VOYATZAKIS E., SIPITANOS K. M., and CHRISTAKI-PAPAGEORGIOU A., Revue des Matériaux de Construction, 703, 6, 341 (1976).
3. SIPITANOS K. M., VOYATZAKIS E., and MELIDIS S. B., *ibid.* 707, 4, 211 (1977).
4. ASTM, «Symp. on Use of Pozzolan Materials in Mortars and Concretes», 1st Pacific Area National Meeting, San Francisco, Oct. (1949).
5. ASTM, C 311-68 (1969), C 441-69 (1969) and C 618-68T (1969).
6. The Cement Assoc. of Japan, Proc. 5th Intl. Symp. Chemistry of Cement-Part III, Tokyo p. 193 and 570 (1968).
7. Biczok I., «Concrete Corrosion - Concrete Protection», Akadémiai Kiado, Budapest, p. 72 and 41 (1972).
8. US Bu Mi, Proc. 2nd Ash Utilization Symp., Pittsburgh, IC 8488, Dept. Interior, p. 171 (1970).
9. US Bu Mi, Proc. Fly Ash Utilization, Pittsburgh, IC 8348, Dept. Interior, p. 188 (1967).

REFERENCES

1. SPENCER J. D. and WHIELDON C. E. (ed.), Proc. 5th Intl. Ash Utilization Symp., NTIS, US Dept. Energy, Atlanta, Feb., p. 544 (1979).
2. VOYATZAKIS E., SIPITANOS K. M., and CHRISTAKI-PAPAGEORGIU A., Revue des Matériaux de Construction, 703, 6, 341 (1976).
3. SIPITANOS K. M., VOYATZAKIS E., and MELIDIS S. B., *ibid.* 707, 4, 211 (1977).
4. ASTM, «Symp. on Use of Pozzolanic Materials in Mortars and Concretes», 1st Pacific Area National Meeting, San Francisco, Oct. (1949).
5. ASTM, C 311-68 (1969), C 441-69 (1969) and C 618-68T (1969).
6. The Cement Assoc. of Japan, Proc. 5th Intl. Symp. Chemistry of Cement-Part III, Tokyo p. 193 and 570 (1968).
7. Biczok I., «Concrete Corrosion - Concrete Protection», Akadémiai Kiado, Budapest, p. 72 and 41 (1972).
8. US Bu Mi, Proc. 2nd Ash Utilization Symp., Pittsburgh, IC 8488, Dept. Interior, p. 171 (1970).
9. US Bu Mi, Proc. Fly Ash Utilization, Pittsburgh, IC 8348, Dept. Interior, p. 188 (1967).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΤΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ
ΣΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

υπό

A. M. ΚΩΣΤΗΚΙΔΗ και K. A. MATH

(Εργαστήριο Γενικής και Ανόργανης Χημικής Τεχνολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης)

Η αδιάσπαστη συνεχώς παραγωγή ηπτάμενης τέφρας από τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια οδήγησαν, ανάμεσα στους άλλους, και το εργαστήριό μας στη μελέτη της αντικατάστασής μέρους του τσιμέντου Portland από την τέφρα των λιγνιτών της Πτολεμαΐδας, και την εξέταση των παράγόμενων δοκιμίων του τσιμεντοκονιάματος. Τα πειράματα, που παρουσιάζονται σ' αυτή την εργασία, έγιναν για τον έλεγχο της άντοχής στη συμπίεση και της γραμμικής μεταβολής ύστερα από ώριμανση σε αυτόκλειστο και / ή υδρολουτρο.