

## Επίδραση της ιπτάμενης τέφρας στην ανθεκτικότητα σκυροδεμάτων από τεταρτομερή σύνθετα τσιμέντα

### **Π. Πιπλικάκη**

*A.E Τσιμέντων TITAN., Διεύθυνση Έρευνας και Ποιότητας, Τ.Θ. 18-19200, Ελευσίνα*

### **Μ.Χανιωτάκης**

*A.E Τσιμέντων TITAN., Διεύθυνση Έρευνας και Ποιότητας, Τ.Θ. 18-19200, Ελευσίνα*

### **Μ. Κατσιώτη**

*Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Σχολή Χημικών Μηχανικών, Χημείας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9 Ζωγράφου, Αθήνα, 15773*

*Λέξεις κλειδιά:* ιπτάμενη τέφρα, τεταρτομερή σύνθετα τσιμέντα, ανθεκτικότητα σκυροδέματος

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αποτίμηση της επίδρασης της ιπτάμενης τέφρας στην ανθεκτικότητα σκυροδεμάτων από τεταρτομερή σύνθετα τσιμέντα. Έτσι, παράχθηκαν τσιμέντα με διαφορετικά ποσοστά ιπτάμενης τέφρας, μηλαϊκής γης και ασβεστόλιθου καθώς και τσιμέντο με 35% ιπτάμενη τέφρα της ίδιας κατηγορίας αντοχής. Επιπλέον, παρήχθησαν σκυροδέματα στα οποία μετρήθηκε το βάθος ενανθράκωσης και η διείδυση χλωριόντων καθώς και κονιάματα στα οποία μετρήθηκε η διόγκωση λόγω προσβολής από θειικά ιόντα. Συμπερασματικά, η καλύτερη ανθεκτικότητα των σκυροδεμάτων επιτυγχάνεται με συνέργια των συστατικών. Συνεπώς η βέλτιστη χρήση της ιπτάμενης τέφρας όσον αφορά την ανθεκτικότητα είναι ως συστατικό τεταρτομερών παρά διμερών σύνθετων τσιμέντων.

## Influence of fly ash in durability of concrete made from quaternary blended cements

### **P. Pipilikaki**

*TITAN S.A, RD&Q Department, PO Box 18-19200, Elefsina*

### **M. Chaniotakis**

*TITAN S.A, RD&Q Department, PO Box 18-19200, Elefsina*

### **M. Katsioti**

*Laboratory of Inorganic and Analytical Chemistry, School of Chemical Engineers NTUA, 9, Heroon Polytechniou str. 157 73 Athens*

*Key words:* fly ash, quaternary blended cements, concrete durability

**ABSTRACT:** This study aims at evaluating the influence of fly ash on durability of concrete made from quaternary blended cements. Thus cements of the same class having different proportions of fly ash, pozzolana and limestone and also cement having 35% fly ash were produced. Furthermore concretes were produced in which carbonation depth and chlorides penetration was measured while the expansion due to sulfates attack was measured in mortars. Conclusively, the best concrete durability is achieved by synergy of the constituents of cements. Therefore, the optimum use of fly ash is in quaternary rather than in binary blended cement.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ανθεκτικό θεωρείται το σκυρόδεμα το οποίο αντιστέκεται στην φθορά στην οποία μπορεί να εκτεθεί. Η φθορά αυτή μπορεί να προέρχεται, είτε από εξωτερικούς είτε από εσωτερικούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, τρία είναι τα ρευστά που συνδέονται με την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος: το νερό το οποίο μπορεί να μεταφέρει επιθετικά ιόντα ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), το διοξείδιο του άνθρακα και το οξυγόνο. [Neville 1995]

Η διαδικασία της ενανθράκωσης είναι θεωρητικά πολύ απλή αλλά στην πραγματικότητα είναι πολύπλοκη. Βασικά το υδροξείδιο του ασβεστίου ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) σε επαφή με το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) δημιουργεί ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ). Το νερό δεν καταναλώνεται αλλά χρειάζεται για το αντίδραση. Όταν το  $\text{Ca(OH)}_2$  καταναλώνεται, το pH της πάστας τσιμέντου/διαλύματος πόρων θα μειωθεί και όλες οι άλλες ενυδατωμένες φάσεις θα καταστραφούν. Το τελικό προϊόν θα αποτελείται από μίγμα ανθρακικών ιόντων μαζί με υδροξείδια του σιδήρου, πυριτίου και αργιλίου. Η μεγαλύτερη πρόκληση είναι η κινητική και η ταχύτητα της διαδικασίας της ενανθράκωσης.

Η διαδικασία της ενανθράκωσης περιγράφεται από τους νόμους του Fick, ο 1ος νόμος του Fick δίνει τη μεταφορά μάζας λόγω διάχυσης ενώ ο 2ος νόμος του Fick δίνει το βάθος ενανθράκωσης. Μια λεπτομερειακή γνώση όλων των παραμέτρων που ελέγχουν τον ρυθμό της ενανθράκωσης είναι δύσκολη και για αυτό πρέπει να γίνουν απλοποιήσεις. Μια απλή εξίσωση που αναφέρεται στη βιβλιογραφία [Neville 1995] για τον υπολογισμό του βάθους ενανθράκωσης είναι η ακόλουθη:

$$D=Kt^{0.5} \quad (1)$$

όπου: D=το βάθος ενανθράκωσης, (mm), K=συντελεστής ενανθράκωσης ( $\text{mm/ημέρα}^{0.5}$ ), t=χρόνος έκθεσης (ημέρες).

Η προσβολή από χλωριόντα ξεχωρίζει ως η κύρια αιτία διάβρωσης του σιδηροπλισμού και από το γεγονός ότι μόνο λόγω των επιδράσεων της διάβρωσης αυτής προκύπτει καταστροφή του σκυροδέματος που τον περιβάλλει. Η διάβρωση του σιδηροπλισμού είναι μια από τις κύριες αιτίες καταστροφής κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ο ρυθμός της διείδυσης χλωριόντων στο σκυρόδεμα επηρεάζεται από την δεσμευτική ικανότητα του σκυροδέματος. Το σκυρόδεμα δεν είναι αδρανές όσον αφορά τα χλωριόντα στο διάλυμα των πόρων του. Μέρος των χλωριόντων αντιδρά με το σκυρόδεμα και δεσμεύεται είτε φυσικά είτε χημικά και αυτή η δέσμευση μειώνει το ρυθμό διάχυσης. Η δεσμευτική ως προς τα χλωριόντα ικανότητα ελέγχεται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα. Η ύπαρξη συμπληρωματικών συστατικών στο τσιμέντο επηρεάζει την δεσμευτική ικανότητα, παρόλο που η ακριβής επιρροή δεν είναι σαφής. [Kouloumbi et al. 1992, Batis et al. 2005, Mira et al. 2002, Rasheeduzzafar 1992] Επίσης το περιεχόμενο  $\text{C}_3\text{A}$  επηρεάζει την δεσμευτική ικανότητα του τσιμέντου αφού αυξημένο  $\text{C}_3\text{A}$  οδηγεί σε αυξημένη δέσμευση των χλωριόντων. [Neville 1995]

Ο όρος προσβολή από θειικά ιόντα χρησιμοποιείται για να εκφράσει μια σειρά χημικών αντιδράσεων μεταξύ των θεικών ιόντων και των συστατικών της σκληρυμένης πάστας τσιμέντου που υπάρχει στο σκυρόδεμα, η οποία προκαλείται από την έκθεση του σκυροδέματος σε θειικά ιόντα και υγρασία. Όπως και στην περίπτωση άλλων επιθετικών ιόντων, τα θειικά ιόντα έχουν μεγαλύτερες αρνητικές επιπτώσεις για το σκυρόδεμα όταν βρίσκονται σε αέρια ή υγρή μορφή- η τελευταία μορφή είναι η πιο συνήθης- ενώ προσβολή από στερεά χημικά που περιέχουν θειικά ιόντα είναι σπάνια. [Scalny et al. 2002, Neville 2004]

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Παρήχθησαν με χρήση εργαστηριακού σφαιρόμυλου τσιμέντα με 35% ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας (35% FA), 12% ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας, 11% Μηλαϊκή γη, 8%

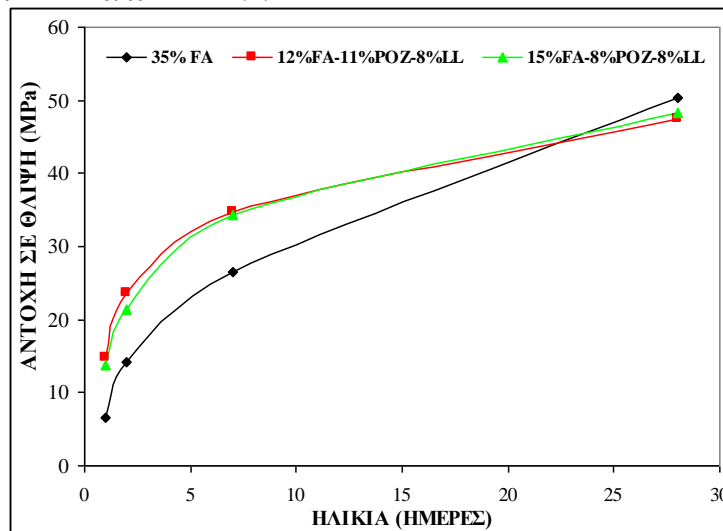
ασβεστόλιθο(12% FA-11% POZ-8% LL) και 15% ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας, 8% Μηλαϊκή γη, 8% ασβεστόλιθο(15% FA- 8% POZ-8% LL) τα οποία εμπίπτουν στην ίδια κατηγορία αντοχής (42.5).

Με χρήση των παραπάνω σύνθετων τσιμέντων παρασκευάστηκαν σκυροδέματα στα οποία μετρήθηκε το βάθος ενανθράκωσης σύμφωνα με την οδηγία Rilem CPC-18 σε ηλικίες 28,56,90,120 και 180 ημερών και της διείσδυσης χλωριόντων σύμφωνα με το ASTM C 1202 σε ηλικίες 28, 90 και 180 ημερών καθώς και τσιμεντοκονιάματα στα οποία προσδιορίστηκε η διόγκωση λόγω προσβολής από θειικά ιόντα με μέτρηση της μεταβολής μήκους με συσκευή μικρομέτρου σε ηλικίες 28,56,90,120,150 και 180 ημερών.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 1. Αντοχή σε θλίψη

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αντοχής σε θλίψη παρουσιάζονται στην Εικόνα 1. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα τεταρτομερή σύνθετα τσιμέντα έχουν υψηλότερες πρώιμες αντοχές από το διμερές τεφροτσιμέντο γεγονός που οφείλεται στην πληρωτική ικανότητα των προσθέτων που περιέχει και ειδικότερα του ασβεστολίθου.[Katsioti et al. 2008, Κατσιώτη κ.α. 2008] Αντίθετα η αντοχή στις 28 ημέρες είναι περίπου ίδια και για τα τρία τσιμέντα και φυσικά εντάσσονται στην ίδια κατηγορία αντοχής 42.5 σύμφωνα το ΕΛΟΤ-EN 197-1.

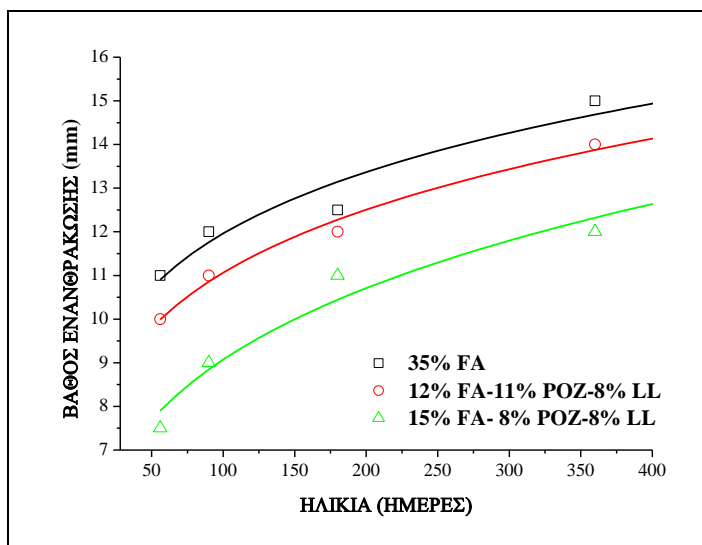


Εικόνα 1: Διάγραμμα αντοχής σε θλίψη

### 2. Βάθος ενανθράκωσης

Τα αποτελέσματα της δοκιμής ενανθράκωσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 2. Από το διάγραμμα είναι εμφανές ότι τη μεγαλύτερη ενανθράκωση παρουσιάζει το σκυροδέμα που παρασκευάστηκε από τσιμέντο με 35% ιπτάμενη τέφρα. Η μικρότερη ενανθράκωση εμφανίζεται στο τσιμέντο με 15% ιπτάμενη τέφρα, 8% ποζολάνη και 8% ασβεστόλιθο.

Προκειμένου να εκτιμηθεί καλύτερα ο ρυθμός ενανθράκωσης των σκυροδεμάτων έγινε προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων σε εξίσωση της  $D=K \cdot t^\alpha$ , όπου  $D$ =βάθος ενανθράκωσης σε mm,  $K$ = συντελεστής ενανθράκωσης,  $t$ =χρόνος έκθεσης και  $\alpha$ = συντελεστής βαρύτητας του χρόνου. Τα αποτελέσματα της προσαρμογής παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.



Εικόνα 2: Διάγραμμα εξέλιξης ενανθράκωσης

Το πρώτο συμπέρασμα που προκύπτει από την προσαρμογή είναι ότι ο συντελεστής βαρύτητας για όλα τα τσιμέντα είναι μικρότερος από το 0,5 που εμφανίζεται στην εξίσωση (1) της βιβλιογραφίας. Αυτό σημαίνει ότι η επίδραση του χρόνου έχει μικρότερη βαρύτητα στην εξέλιξη της ενανθράκωσης στα σύνθετα τσιμέντα.

Όσον αφορά τον συντελεστή ενανθράκωσης η μεγαλύτερη τιμή, όπως ήταν αναμενόμενο, παρουσιάζεται στο διμερές τεφροτσιμέντο. Είναι λοιπόν σαφές ότι τα τεταρτομερή σύνθετα τσιμέντα παρουσιάζουν καλύτερη ανθεκτικότητα έναντι ενανθράκωσης από το διμερές τεφροτσιμέντο.

Πίνακας 1: Υπολογισμοί συντελεστών ενανθράκωσης

	K	$\alpha$	R <sup>2</sup>
35% FA	5,72	0,16	0,93
12% FA-11% POZ-8% LL	4,90	0,18	0,99
15% FA- 8% POZ-8% LL	3,01	0,23	0,95

### 3. Διείδυση χλωριόντων

Τα αποτελέσματα της ταχείας δοκιμής διείδυσης χλωριόντων παρουσιάζονται στην Εικόνα 3. Με κατάλληλους μαθηματικούς υπολογισμούς είναι εφικτό να προσδιοριστεί ο συντελεστής διάχυσης χλωριόντων. Ο τρόπος υπολογισμού και τα αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

Η κίνηση ιόντων σε ένα διάλυμα κάτω από την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου περιγράφεται από την εξίσωση Nernst-Planck [16]:

$$-J_i = D_i \frac{\partial C_i(x)}{\partial x} + \frac{z_i F}{RT} D C_i \frac{\partial E(x)}{\partial x} + C_i v_i(x) \quad (1)$$

Όπου:

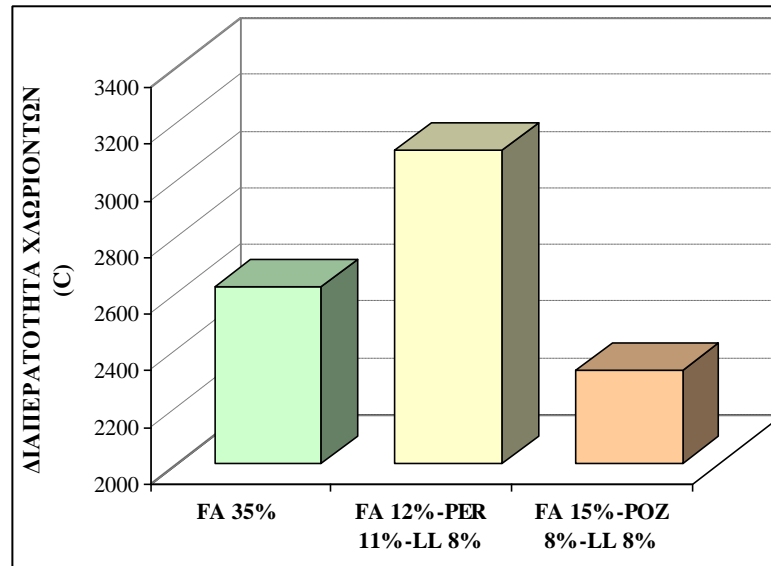
$J_i$  είναι η ροή των ιοντικών ειδών  $i$ ,

$D_i$  είναι ο συντελεστής διάχυσης των ιοντικών ειδών  $i$ ,

$C_i(x)$  είναι η συγκέντρωση των ιοντικών ειδών  $i$  ως συνάρτηση της απόστασης  $x$ ,

$z_i$  είναι το σθένος των ιοντικών ειδών  $i$ ,

F είναι η σταθερά του Faraday,  
R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων,  
T είναι η θερμοκρασία K,  
E(x) είναι το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό δυναμικό ως συνάρτηση του x και  
 $v_i$  είναι η ταχύτητα μεταφοράς των ιοντικών ειδών i.



Εικόνα 3: Συγκριτικό διάγραμμα διαπερατότητας χλωριόντων

Θεωρώντας την περίπτωση όπου δεν υπάρχει μεταφορά (δηλαδή δεν υπάρχει βαθμίδα πίεσης ή υγρασίας) και υποθέτοντας ότι το ποσοστό της καθαρής διάχυσης είναι αμελητέο σε σύγκριση με την επίδραση της κίνησης λόγω ηλεκτρικού ρεύματος, κάτι που είναι λογικό για ένα επαρκώς δυνατό ηλεκτρικό πεδίο, τουλάχιστον 10-15 V (Andrade,1993), έτσι εξίσωση (1) γίνεται:

$$J = \frac{z_i F D C_i}{RT} \frac{\partial E(x)}{\partial x} \quad (2)$$

Αυτή η εξίσωση είναι δυνατό να επιλυθεί ως προς D όταν εξακριβωθεί η ιοντική ροή των χλωριόντων και κάνοντας τις παρακάτω υποθέσεις: α)ότι υπάρχει γραμμική πτώση του δυναμικού κατά μήκος του κελιού, β) ότι η συγκέντρωση των χλωριόντων είναι σταθερή στην άνοδο του κελιού, γ) ότι το σύστημα έχει φτάσει σε κατάσταση ισορροπίας και δ) ότι η θερμοκρασία του κελιού και του σκυροδέματος είναι σταθερή. (Andrade,1993)

Στην περίπτωση των συγκεκριμένων πειραμάτων η ιοντική ροή των χλωριόντων υπολογίζεται από την τιμή του ρεύματος που διέρχεται από το κελί ή από την αντίστοιχη συνολική ποσότητα φορτίου (Coulombs). Η συγκέντρωση των χλωριόντων στην άνοδο διατηρείται σταθερή λόγω της πειραματικής μεθόδου, το σύστημα ισορροπεί ενώ η θερμοκρασία μετριέται με θερμοστοιχεία και είναι σε μεγάλο βαθμό σταθερή. Έτσι για τον υπολογισμό του συντελεστή διάχυσης προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$D_{\text{eff}} = \frac{RT I_n L}{n F^2 E A C Z} \quad (2)$$

Όπου:

I είναι το διερχόμενο ρεύμα σε A,  
 L είναι το μήκος του δοκιμίου σε m,  
 A είναι η κάθετη επιφάνεια του δοκιμίου σε m<sup>2</sup>,  
 E είναι το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο σε V,  
 T είναι η απόλυτη θερμοκρασία σε °K,  
 t<sub>n</sub> είναι ο αριθμός μεταφοράς των χλωριόντων που είναι 0,65,  
 Z είναι το ηλεκτρικό φορτίο των χλωριόντων,  
 n είναι το σθένος των χλωριόντων,  
 F είναι η σταθερά Faraday,  
 C είναι η συγκέντρωση χλωριόντων στο διάλυμα NaCl και  
 R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων.

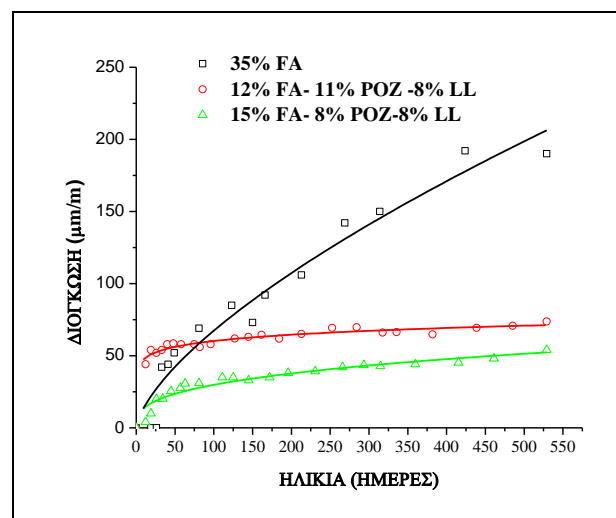
Πίνακας 2: Υπολογισμοί συντελεστών διείσδυσης χλωριόντων

	Coulomb	Συντελεστής διείσδυσης χλωριόντων
35% FA	2622	26,8
12% FA-11% POZ-8% LL	3108	31,7
15% FA- 8% POZ-8% LL	2330	24,0

Όσον αφορά την διείσδυση χλωριόντων φαίνεται ότι το διμερές τεφροτσιμέντο εμφανίζει καλή ανθεκτικότητα αλλά την καλύτερη ανθεκτικότητα παρουσιάζει το τεταρτομερές σύνθετο τσιμέντο με το μεγαλύτερο ποσοστό ιπτάμενης τέφρας. Η συμπεριφορά αυτή δικαιολογείται από το γεγονός ότι η ιπτάμενη τέφρα έχει ικανότητα δέσμευσης των χλωριόντων. [Dhir et al. 1997] Από την άλλη πλευρά τα τεταρτομερή σύνθετα τσιμέντα έχουν μειωμένο πορώδες λόγω της πληρωτικής ικανότητας του ασβεστολίθου και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την συνολικά καλύτερη ανθεκτικότητά τους έναντι διείσδυσης χλωριόντων. [Katsioti et al. 2008]

#### 4. Ανθεκτικότητα έναντι προσβολής από θειικά ιόντα

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων διόγκωσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 4. Στα δεδομένα προσαρμόστηκε εξίσωση της μορφής  $E=K_e \cdot t^a$ , όπου E=βάθος εναθράκωσης σε mm,  $K_e$  = συντελεστής διείσδυσης θεικών ιόντων, t=χρόνος έκθεσης και a= συντελεστής βαρύτητας του χρόνου. Τα αποτελέσματα της προσαρμογής παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 .



Εικόνα 4: Διάγραμμα διόγκωσης σε περιβάλλον θεικών ιόντων

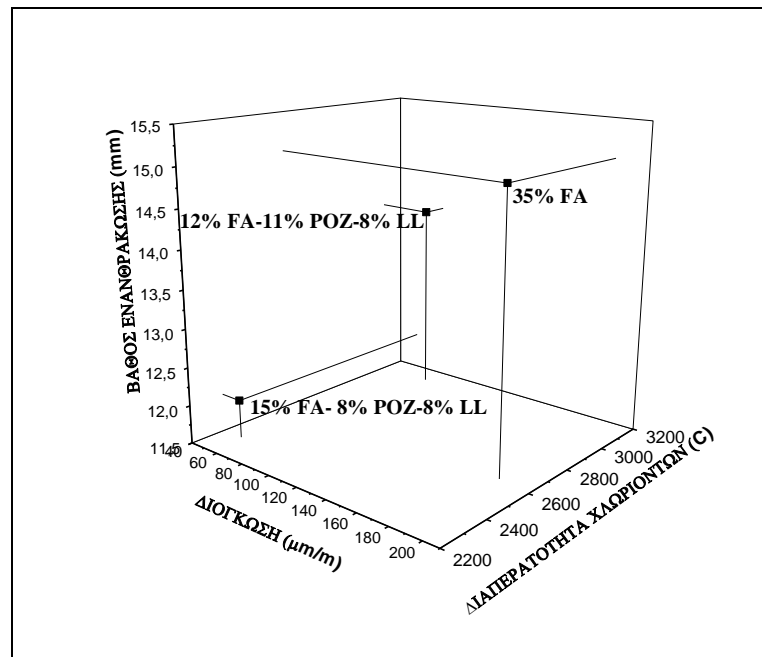
Πίνακας 3: Υπολογισμοί συντελεστών διείσδυσης θεικών ιόντων

	K	$\alpha$	R <sup>2</sup>
35% FA	3,05	0,67	0,9
12% FA-11% POZ-8% LL	37,9	0,10	0,9
15% FA- 8% POZ-8% LL	6,3	0,34	0,9

Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι το κονίαμα που παρασκευάστηκε με χρήση διμερούς τερφοτισμένου έχει μικρή αρχική διόγκωση σε περιβάλλον θεικών ιόντων η οποία όμως συνεχίστηκε με γρήγορο ρυθμό (συντελεστής βαρύτητας του χρόνου υψηλός). Από την άλλη πλευρά τα τετραμερή σύνθετα τσιμέντα παρουσίασαν πολύ μικρότερη συνολικά διόγκωση σε περιβάλλον θεικών ιόντων, της οποίας η εξέλιξη ήταν βραδύτερη.

### 5. Συσχέτιση συνιστωσών ανθεκτικότητας

Οι συνιστώσες της ανθεκτικότητας συσχετίστηκαν όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα της Εικόνας 5 με σκοπό να βρεθεί η βέλτιστη σύσταση.



Εικόνα 5: Συσχέτιση συνιστωσών ανθεκτικότητας

Από το παραπάνω διάγραμμα είναι εμφανές ότι το τετραμερές σύνθετο τσιμέντο με το μεγαλύτερο ποσοστό ιπτάμενης τέφρας (15%) εμφάνισε την καλύτερη ανθεκτικότητα έναντι όλων των βλαπτικών παραγόντων. Είναι λοιπόν σαφές ότι με συνέργια διαφορετικών υλικών επιτυγχάνεται το καλύτερο αποτέλεσμα όσον αφορά την ανθεκτικότητα.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παραπάνω πειραματική διερεύνηση προκύπτουν τα κάτωθι συμπεράσματα:

- Τα τεταρτομερή σύνθετα τσιμέντα έχουν υψηλότερες πρώιμες θλιπτικές αντοχές από τα αντίστοιχα διμερή τεφροτσιμέντα ίδιας κατηγορίας αντοχής.
- Τα τεταρτομερή σύνθετα τσιμέντα παρουσιάζουν καλύτερη ανθεκτικότητα έναντι ενανθράκωσης από το διμερές τεφροτσιμέντο.
- Η καλύτερη ανθεκτικότητα έναντι διείσδυσης χλωριόντων επιτυγχάνεται με χρήση υψηλού ποσοστού ιπτάμενης τέφρας και άλλων κύριων συστατικών.
- Τα τετραμερή σύνθετα τσιμέντα παρουσιάζουν μικρότερη συνολικά διόγκωση σε περιβάλλον θεικών ιόντων, της οποίας η εξέλιξη ήταν βραδύτερη.
- Τέλος, είναι εμφανές ότι η ιπτάμενη τέφρα συμβάλλει σημαντικά στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος όταν χρησιμοποιείται σε μεγάλο ποσοστό (~15%) σε τετραμερή σύνθετα τσιμέντα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Andrade C., 1993. Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from Ionic Migration Measurements”, Cem. Con. Res.,23,(3), 724-742

Batis G., Pantazopoulou P., Tsvivilis S. and Badogiannis E., 2005. The effect of metakaolin on the corrosion behavior of cement mortars., Cem. Conc. Comp.27, 125-130

Dhir R.K., El-Mor M.A. K., Dyer T.D. 1997. Developing chloride resisting concrete using PFA., Cem. Concr. Res., 27,[11], 1633-1639

Μ.Κατσιώτη, Π.Πιπλικάκη, Μ.Φαρδής, Γ.Παπαβασιλείου, Δ.Παπαγεωργίου, Ε.Χανιωτάκης, 2008. Μελέτη της επίδρασης της προσθήκης διαφορετικών ποσοστών ασβεστόλιθου σε παστές συνθέτων τσιμέντων στη διαμόρφωση του πορώδους τους, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων

Katsioti M., Pipilikaki P., Pavlou C., Chaniotakis E., Fardis M.,Karakosta E.,Papavasileiou G. 2008. Study of the Hydration Process of Quaternary Blended Cements and Durability of the Produced Mortars and Concretes. 8th International Conference on Creep, Shrinkage and Durability of Concrete and Concrete Structures (CONCREEP8), September 30th - October 2nd, 2008, Ise-Shima, Japan

Kouloumbi, N., Batis, G, 1992. Chloride corrosion of steel rebars in mortars with fly ash admixtures, Cem. Conc. Comp.14, [3], 199-207

Midgley H.G., Illston J.M, 1984. The penetration of chlorides into hardened cement pastes, Cem. Concr. Res., 14,[4] 546-558

Mira P., V. G. Papadakis and S. Tsimas, 2002. Effect of lime putty addition on structural and durability properties of concrete, Cem. Con. Res., 32,[5] 683-689

Neville A., The confused world of sulfate attack on concrete, 2004,Cem. Concr. Res. 34, 1275-1296

Neville, A.M, 1995. Properties of concrete, 4rth edition, Prentice Hall, Edinburgh Gate, Harlow,England, p.490-495

Rasheeduzzafar, Dakhil F.D., Bader M.A., Khan M.M, 1992. Performance of corrosion resisting steels in chloride bearing concrete, ACI Mat.J., 89,[5]

Scalny J., Marchand J. Odler I., 2002,Sulfate attack on concrete, Spon press