

2^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ
ΣΤΗ ΔΟΜΗΣΗ 1 – 3 ΙΟΥΝΙΟΥ, ΑΙΑΝΗ ΚΟΖΑΝΗΣ

Ενέματα Διαφραγματικών Τοίχων με Ελληνική Ιπτάμενη Τέφρα ΕΙΤ1 και ΕΙΤ2

Ι. Παπαγιάννη, Β. Πάχτα

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Εισαγωγή

Τα ενέματα είναι μεγάλης ρευστότητας αναμίγματα συνδετικών κονιών με νερό (ή και με λεπτόκοκκο αδρανές υλικό) τα οποία εφαρμόζοντας με πίεση σε υποστρώματα (εδαφικό, σκυρόδεμα, τοιχοποιία) και πληρούν τις υπάρχουσες ασυνέχειες (σπηλαιώσεις, ρωγμές, πόρους) βελτιώνοντας τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υποστρωμάτων και την αδιαπερατότητα.



Εισαγωγή

Η τεχνική αυτή των ενεμάτων ξεκίνησε από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα (1921 – 1931) [Ξανθάκος; Ρ. 1979] με συνδετικό υλικό τον μπετονίτη και έκτοτε βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στον κατασκευαστικό τομέα σε:

- ✓ Διαφραγματικούς τοίχους (ανάντι και κάτω από τα φράγματα η βελτίωση της στεγανότητας εδαφικών υποστρωμάτων)
- ✓ Ενίσχυση υπεδάφους θεμελιώσεων
- ✓ Ενίσχυση αναχωμάτων
- ✓ Πλήρωση κενών πίσω από σήραγγες



Εισαγωγή

- ✓ Ενίσχυση βάθρων γεφυρών
- ✓ Πλήρωση κενών ή σπηλαιώσεων για αποφυγή καθιζήσεων
- ✓ Ενίσχυση και επισκευή κατασκευών από σκυρόδεμα (φράγματα, τούνελ)

Ο γεωτεχνικός τομέας φαίνεται ότι απορροφά το μεγαλύτερο όγκο ενεμάτων.



Υλικά Ενεμάτων

Τα υλικά που διεθνώς χρησιμοποιούνται σήμερα είναι:

- ✓ Τσιμέντο
- ✓ Ιπτάμενη Τέφρα
- ✓ Πυριτική Ιπτάμενη Τέφρα + Τσιμέντο
- ✓ Τσιμέντο + Αργιλικό υλικό
- ✓ Ιπτάμενη Τέφρα + Αργιλικό υλικό
- ✓ Λεπτόκοκκη Άμμος μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί κατά περίπτωση
- ✓ Πρόσμικτα: Επιβραδυντές, Ρευστοποιητές, Διογκωτικά.



Βασικές Ιδιότητες Ενεμάτων

- ✓ **Ρευστότητα** (Διατήρηση διεισδυτικότητας με το χρόνο)
- ✓ **Συνεκτικότητα** (μη απόμιξη κατά την εφαρμογή και με την πάροδο του χρόνου)
- ✓ **Διεισδυτικότητα**
- ✓ Ανάπτυξη αντοχής και μηχανικών χαρακτηριστικών (Για κάθε εφαρμογή προδιαγράφονται 28 ημερών ή 90 ημερών αντοχή)



✓ Για την χρήση ιπτάμενων τεφρών στα ενέματα υπάρχει μεγάλη εμπειρία διεθνώς και με έργα μεγάλης προβολής, όπως είναι η κατασκευή της σήραγγας της Μάγχης ή εγκαταστάσεων εξαγωγής πετρελαίου που λειτουργούν σε σκληρές συνθήκες περιβάλλοντος.

✓ Σχετικοί Κανονισμοί:

BS 3892 Part 2 (1984) “Specification for PFA for Use in Grouts and for Miscellaneous Uses in Concrete”

Ελληνική Ιπτάμενη Τέφρα

Υπάρχουν πολύ θετικά αποτελέσματα εργαστηριακής έρευνας:

- Ι. Παπαγιάννη (1990)
- Ι. Ν. Μάρκου (2005) «Ενίσχυση εδαφών με ενέσεις λειοτριβημένης τέφρας»

Εφαρμογές;



✓ Στο 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων, Λάρισα 13-15 Νοεμβρίου 2008, παρουσιάστηκαν [Κ. Αναστασόπουλος et al] τα μέτρα στεγανοποίησης του ταμιευτήρα Πραμορίτσας (το έργο ολοκληρώθηκε το 2007) με σχεδιασμό κουρτίνας τσιμεντενέσεων 62.500 m².

Υλικά: Νερό – Τσιμέντο 2:1 + 2% Μπετονίτη κ.β. νερού

Συνολική απορρόφηση τσιμέντου: 1.300 τόνοι.

✓ Ήδη από το '85 η ΔΕΗ στην κατασκευή του φράγματος Πουρνάρι II αντιλαμβάνεται το θέμα της γρήγορης πήξης του τσιμέντου στα ενέματα που είχαν σχεδιαστεί για διαφραγματικές κουρτίνες με σύσταση:

Τσιμέντο I 45 270 Kg/m³

Μπετονίτης 45 Kg/m³

Νερό 895 Kg

Πρόσμικτο λιγνοσουλφονικής βάσης

Προδιαγραφόμενα χαρακτηριστικά:

Θλιπτική αντοχή 3 Kg/cm² 7 ημερών

Μέτρο Ελαστικότητας 200 – 500 Kg/cm² 7 ημερών

Υδατοδιαπερατότητα $\kappa < 10^{-6}$ cm/sec (υπό 1.5 atm)

Χρόνος ροής 35-40 sec μετά 1h



Πειραματικά αποτελέσματα ενεμάτων με ιπτάμενη τέφρα EIT1 και EIT2

Χαρακτηριστικά Τεφρών		
	EIT1	EIT2
SiO₂	33.5	41.0
Al₂O₃	13.90	16.0
Fe₂O₃	5.10	6.7
CaO	27.0	17.9
MgO	2.90	4.0
SO₃	5.00	3.90
L.O.I	5.80	4.05
CaO avail	8.52	2.98
Insoluble residue	24.65	37.0
Na₂O+K₂O	1.7	1.60
SiO₂	24.80	30.50
R₄₅	35	30

Πίνακας Συνθέσεων

Κωδ.	Υλικά	Μέρη Βάρους	Χρόνος ροής (sec)	$\sigma_{\theta\lambda}$ (MPa)		σ_{κ} (MPa)		E (GPa)	
				7d	28d	7d	28d	7d	28d
1	Τσιμέντο Ι42,5 Ρευστοποιητής Λόγος Ν/Κ=0,43	1,0 1% κ.β. κονιών	11	28,3	32,9	9,5	5,7	1,82	1,89
2	Τσιμέντο ΙV32,5 Ρευστοποιητής Λόγος Ν/Κ=0,51	1,0 1% κ.β. κονιών	9,74	20,4	24,5	7,4	7,8	1,39	1,65
3	Τσιμέντο Ι42,5 Ακατέργαστη Τέφρα Ρευστοποιητής Λόγος Ν/Κ=0,51	0,8 0,2 1% κ.β. κονιών	10,5	29,4	30,7	7,2	6,3	1,69	1,84
4	Τσιμέντο Ι42,5 Ακατέργαστη Τέφρα Ρευστοποιητής Λόγος Ν/Κ=0,52	0,6 0,4 1% κ.β. κονιών	9,72	25,0	23,7	7,9	7,6	1,62	1,77
5	Τσιμέντο Ι42,5 Ακατέργαστη Τέφρα Ρευστοποιητής Λόγος Ν/Κ=0,54	0,4 0,6 1% κ.β. κονιών	9,4	16,2	18	6,5	7,1	1,34	1,49
6	Τσιμέντο Ι42,5 Ακατέργαστη Τέφρα Ρευστοποιητής Λόγος Ν/Κ=0,63	0,2 0,8 1% κ.β. κονιών	9,1	8,9	13	4,1	4	0,80	1,15
7	Τσιμέντο Ι42,5 Ακατέργαστη Τέφρα Ρευστοποιητής Λόγος Ν/Κ=0,66	0,1 0,9 1% κ.β. κονιών	9,76	7,0	11,3	3,2	3,7	0,62	0,95
8	Ακατέργαστη Τέφρα Ρευστοποιητής Λόγος Ν/Κ=0,68	1,0 1% κ.β. κονιών	9,55	3,7	7,1	1,4	2,6	0,34	0,77

Πίνακας Συνθέσεων

Κωδ.	Υλικά	Μέρη Βάρους	Χρόνος ροής (sec)	$\sigma_{\theta\lambda}$ (MPa)		σ_{κ} (MPa)		E (GPa)	
				7d	28d	7d	28d	7d	28d
9	Τσιμέντο Ι42,5 Κατεργασμένη Τέφρα Ρευστοποιητής Λόγος Ν/Κ=0,49	0,8 0,2 1% κ.β. κονιών	10,02	27,0	26,4	7,2	9,2	1,68	1,91
10	Τσιμέντο Ι42,5 Κατεργασμένη Τέφρα Ρευστοποιητής Λόγος Ν/Κ=0,55	0,6 0,4 1% κ.β. κονιών	9,65	26,1	26,5	5,8	6,5	1,51	1,60
11	Τσιμέντο Ι42,5 Κατεργασμένη Τέφρα Ρευστοποιητής Λόγος Ν/Κ=0,74	0,4 0,6 1% κ.β. κονιών	9,0	14,6	16,4	3,4	3,9	1,07	1,17
12	Τσιμέντο Ι42,5 Κατεργασμένη Τέφρα Ρευστοποιητής Λόγος Ν/Κ=0,45	0,2 0,8 1% κ.β. κονιών	9,45	11,2	16,2	3,2	3,6	0,85	0,93
13	Τσιμέντο Ι42,5 Κατεργασμένη Τέφρα Ρευστοποιητής Λόγος Ν/Κ=0,73	0,1 0,9 1% κ.β. κονιών	9,76	8,1	13	3,7	3,8	0,66	0,74
14	Κατεργασμένη Τέφρα Ρευστοποιητής Λόγος Ν/Κ=0,69	1,0 1% κ.β. κονιών	9,53	4,1	6,4	1,6	2,2	0,38	0,45



Ιδιότητες

- ✓ Χρησιμοποιήθηκε πολύστροφος αναμικτήρας
- ✓ Η εξίδρωση κατά ASTM C 940-81 ήταν μηδενική για όλα τα αναμίγματα
- ✓ Επίτευξη υψηλής ομοιογένειας στα ενέματα (με έλεγχο πυκνότητας)
- ✓ Ο χρόνος ροής με τον κώνο March μετρήθηκε αρχικά, 1 ώρα και 3 ώρες μετά την ανάμιξη του ενέματος

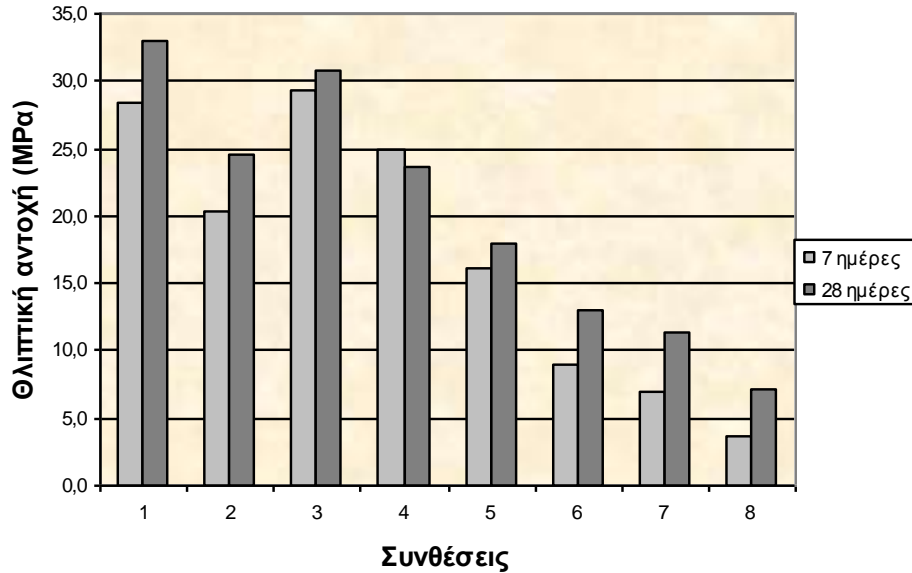


Ιδιότητες Ενεμάτων

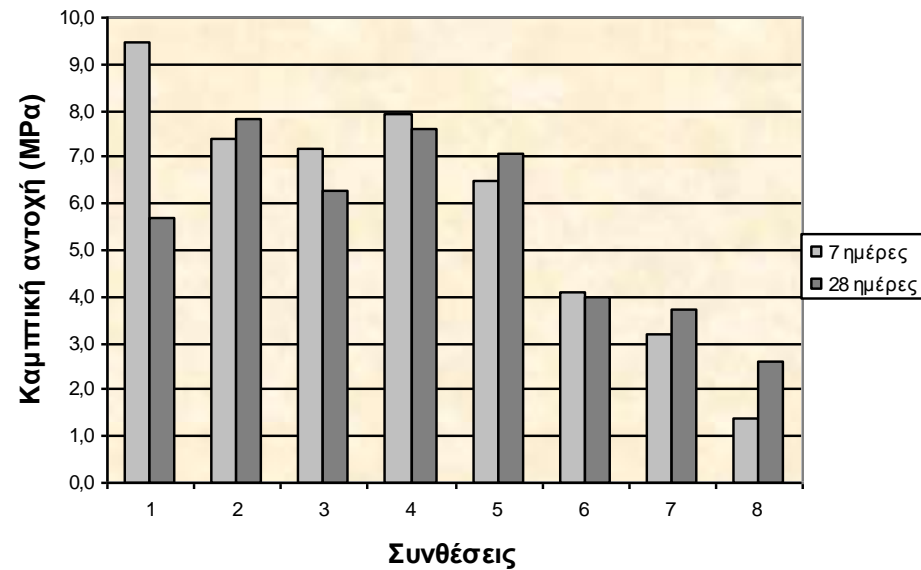
Κωδ. Σύνθεσης		Χρόνοι ροής (sec)		
		Αρχικός	1 h μετά	3 h μετά
CEM I 42.5	1	11	15	Πήξη
CEM IV 32.5	2	9.74	12.17	28.2
EIT1	3	10.5	12.8	23.2
	4	9.72	11.5	38.7
	5	9.4	12.7	100
	6	9.1	36	110
	7	9.76	38	126
	8	9.55	40	118
EIT2	9	10.02	17	49
	10	9.65	20	88
	11	9.0	18	118
	12	9.45	22	122
	13	9.76	42	130
	14	9.53	48	127

Θλιπτική και Καμπτική αντοχή με Τέφρα ΕΙΤ1

ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΗ ΙΤ

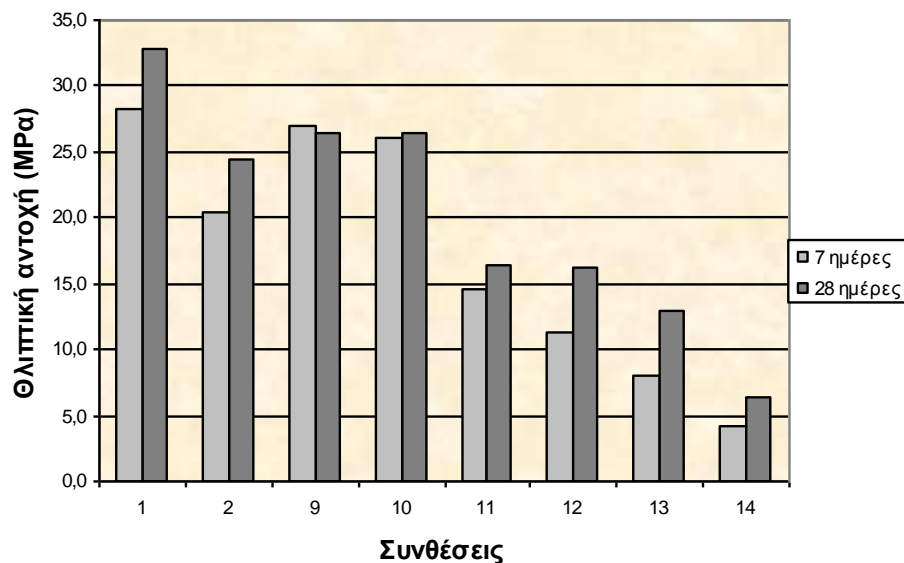


ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΗ ΙΤ

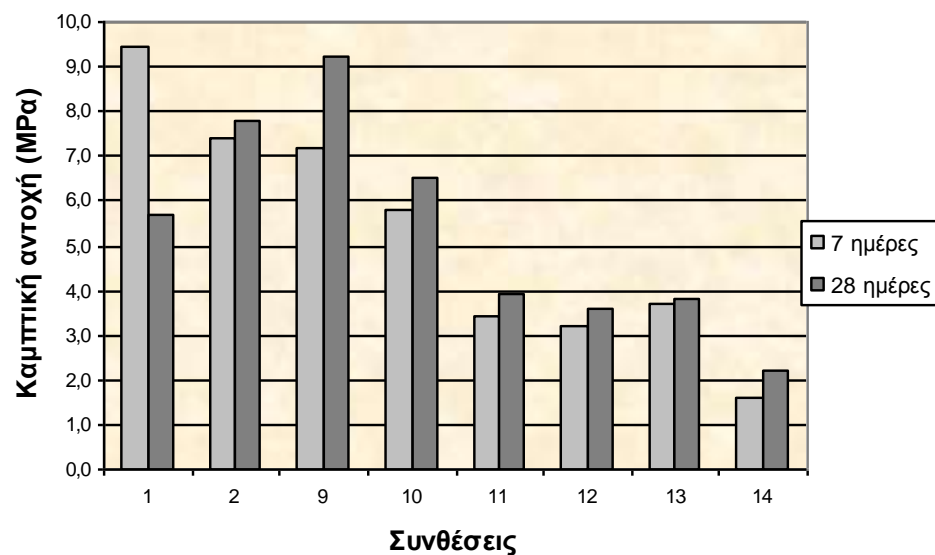


Θλιπτική και Καμπτική αντοχή με Τέφρα ΕΙΤ2

ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΗ ΙΤ

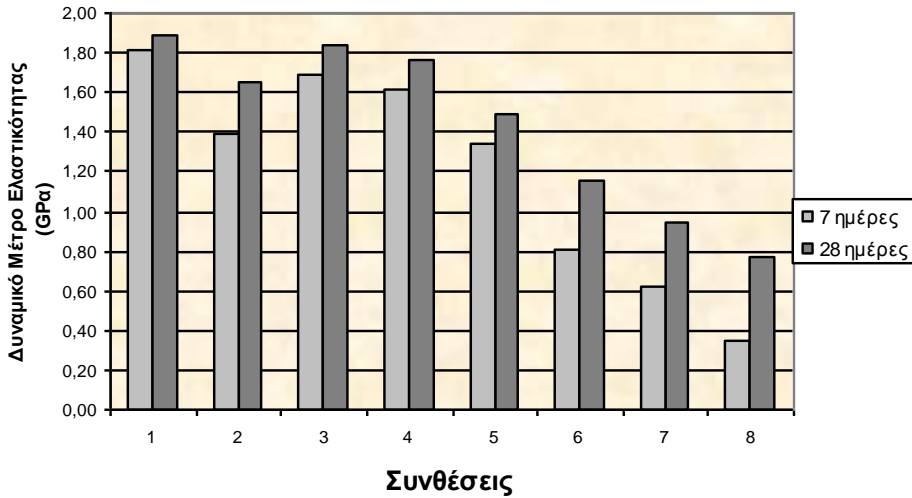


ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΗ ΙΤ

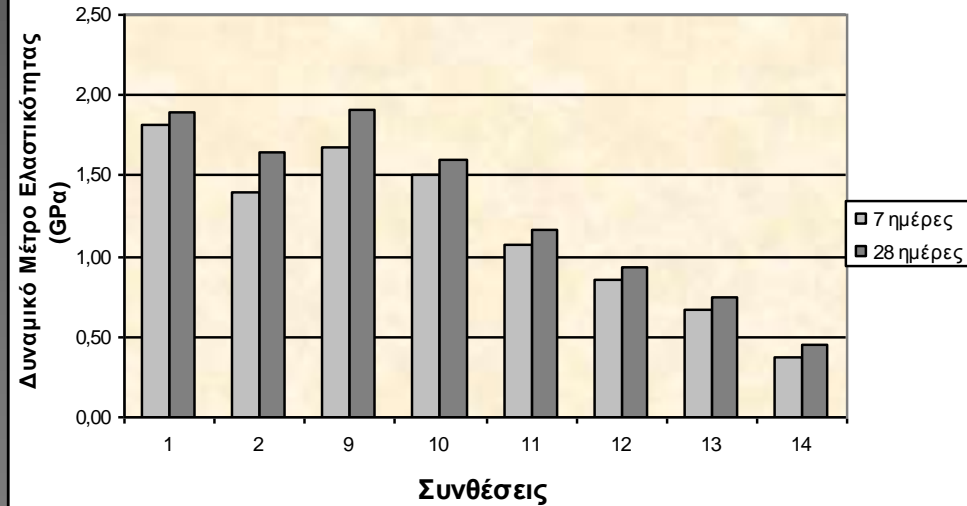


Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας με ΕΙΤ1 και ΕΙΤ2

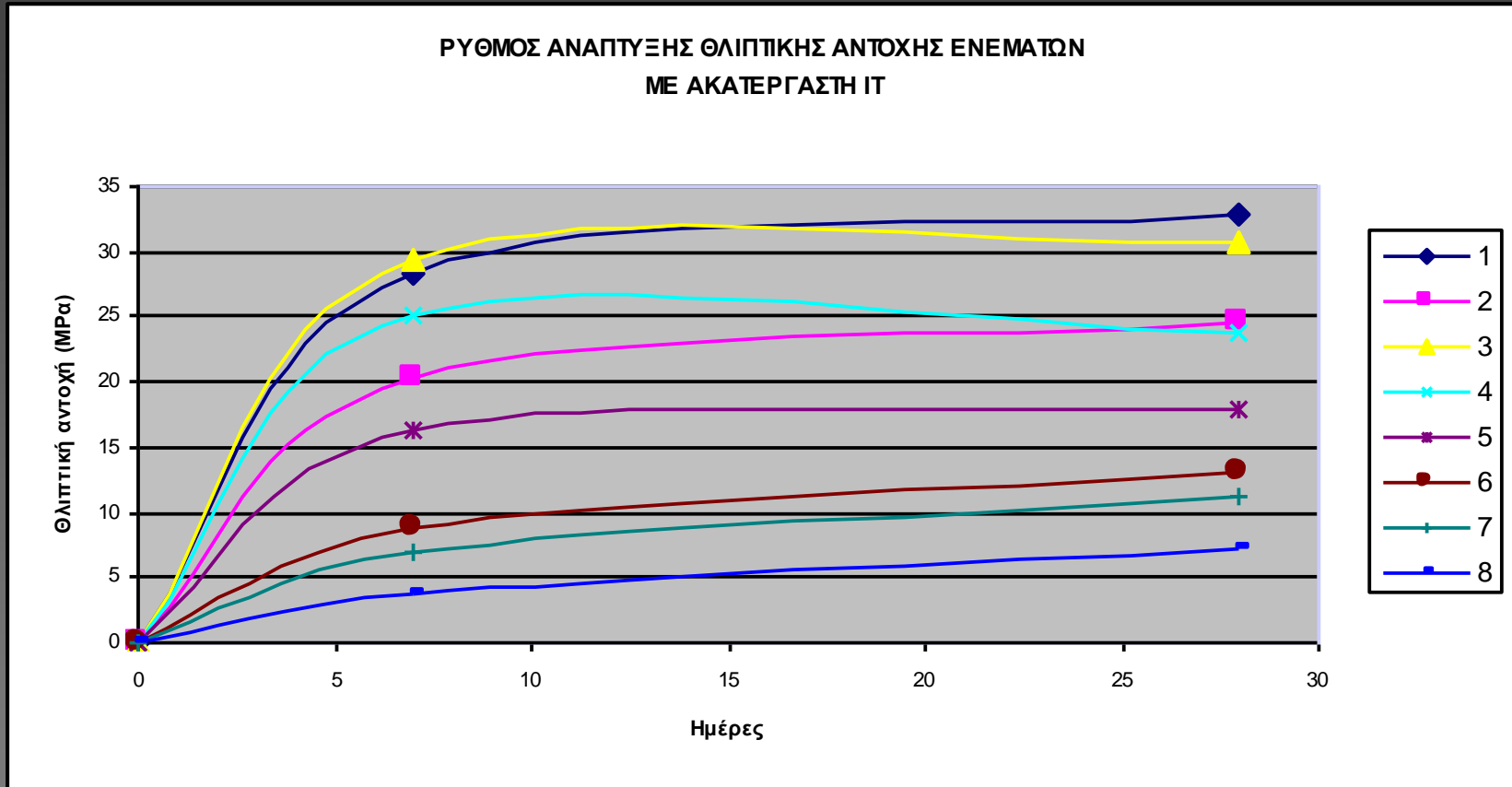
ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΗ ΙΤ



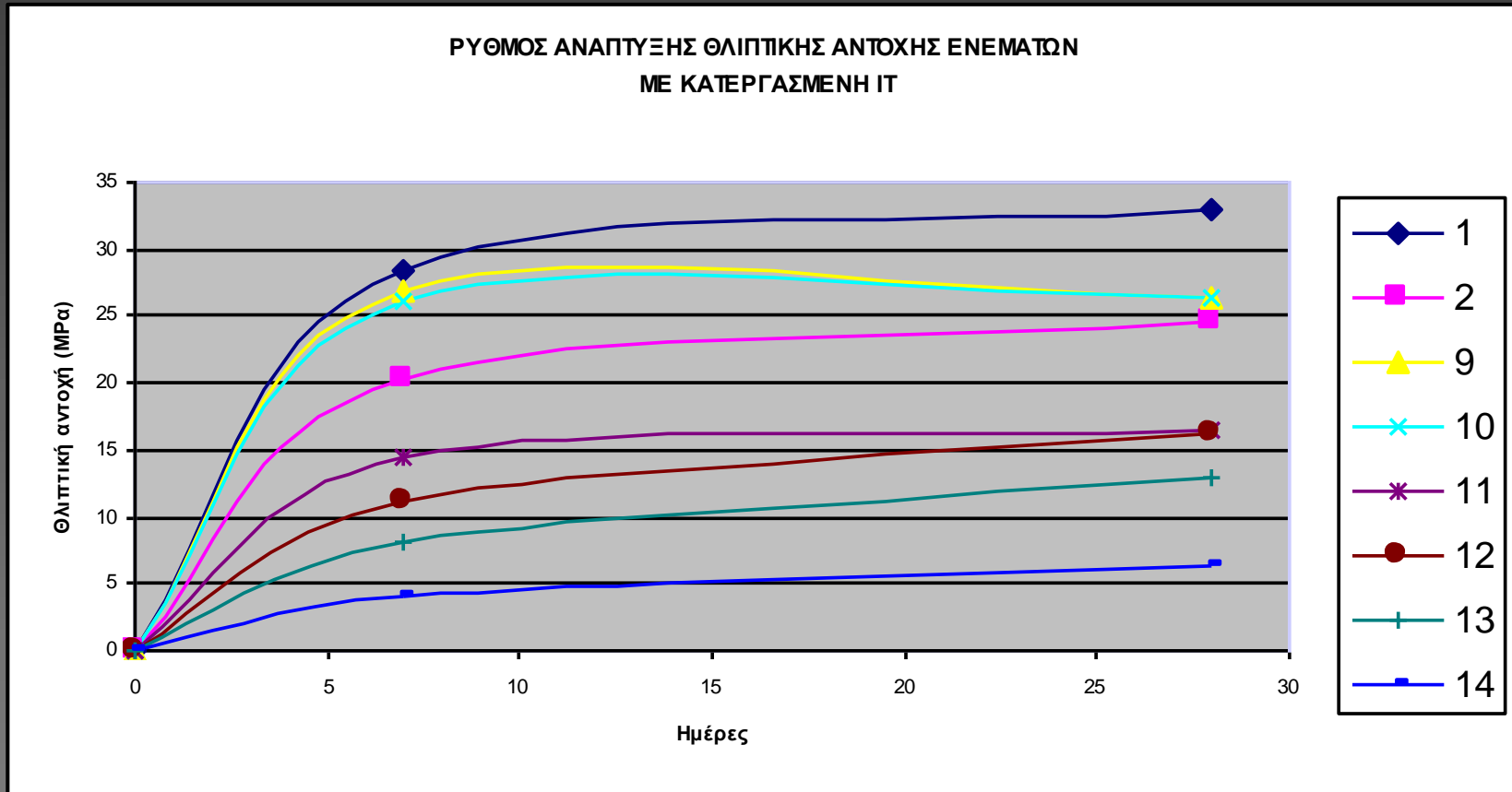
ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΗ ΙΤ



Ρυθμός ανάπτυξης θλιπτικής αντοχής με ΕΙΤ1



Ρυθμός ανάπτυξης θλιπτικής αντοχής με ΕΙΤ2



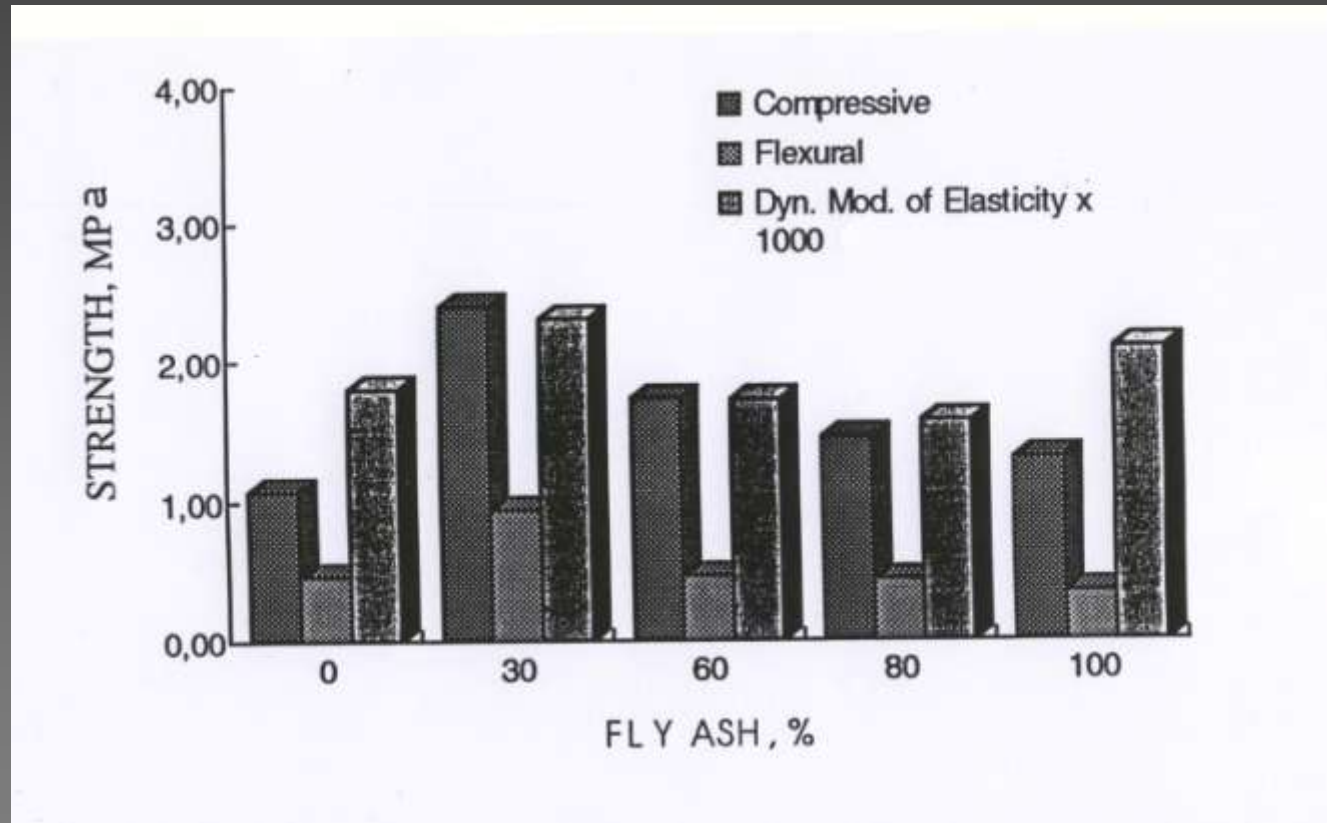
Συνθέσεις ενεμάτων με τσιμέντο – τέφρα ΕΙΤ2 - μπεντονίτη

Κωδ.	Τσιμέντο CEM I 42.5	Τέφρα ΕΙΤ2	Μπεντονίτης	Νερό/Κονία
1	1.0	-	0.25	2.0
2	0.7	0.3	0.25	2.0
3	0.5	0.5	0.25	2.0
4	0.8	0.2	0.25	2.0
5	0.0	1.0	0.25	2.0+Ρευστοποιητής

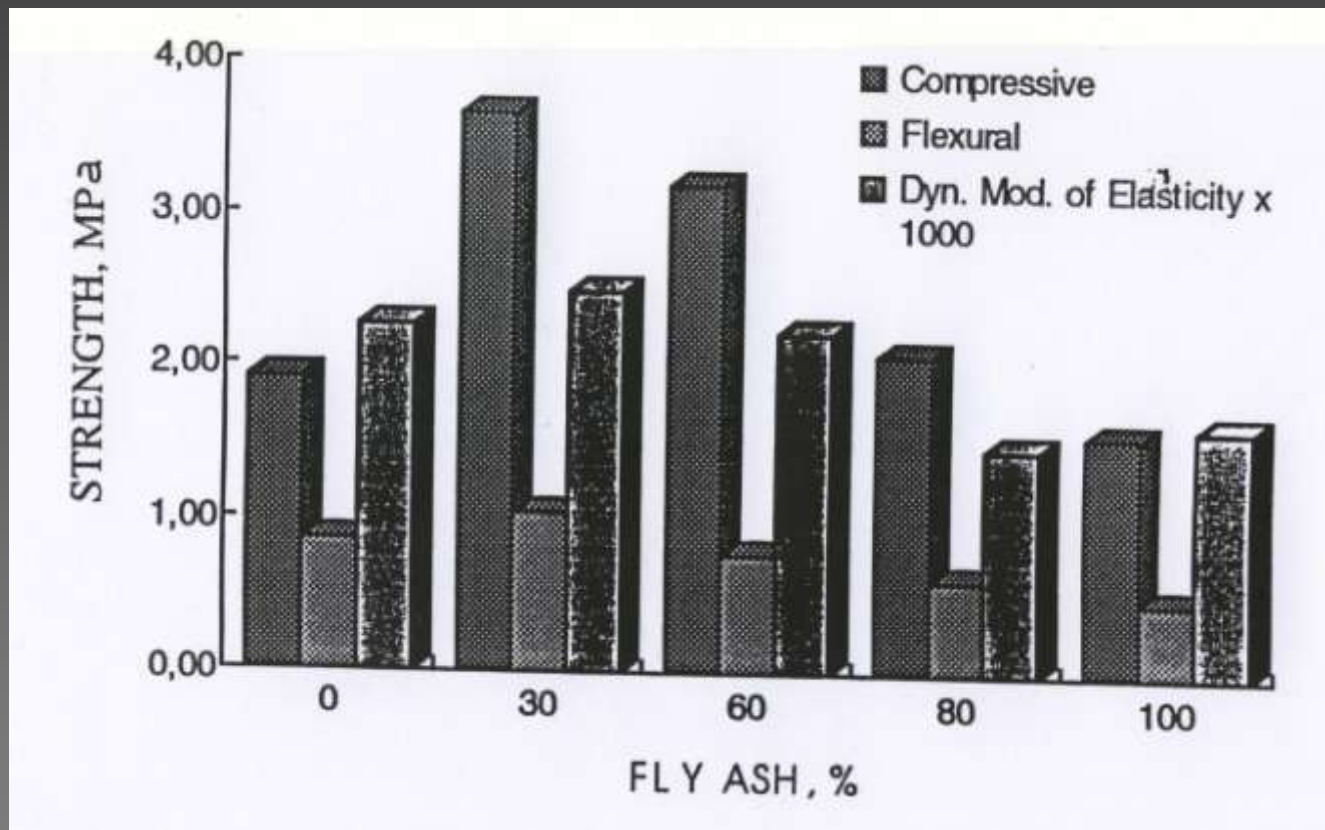
Ιδιότητες ενεμάτων Τσιμέντου – ΕΙΤ2 - Μπεντονίτη

Κωδ.	Χρόνος ροής 1h μετά την ανάμιξη ASTM C 939	Τελική εξίδρωση ASTM C 940	Μεταβολή όγκου % 24 h μετά τη μίξη DIN 4227
1	8.5	6.03	9.17
2	8.0	7.15	1.00
3	9.5	5.24	6.08
4	12.5	0.0	3.10
5	14.5	0.0	3.90

Μηχανικά Χαρακτηριστικά ενεμάτων τσιμέντου – ΕΙΤ2 – Μπεντονίτη 28 ημερών



Μηχανικά Χαρακτηριστικά ενεμάτων τσιμέντου – ΕΙΤ2 – Μπεντονίτη 90 ημερών



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ✓ Το επίπεδο αντοχής που επιτυγχάνεται με σκέτη ιπτάμενη τέφρα EIT1 σε 7 ημέρες είναι πάνω από 3 MPa και σε 28 ημέρες γύρω στα 6 MPa. Συνδυάζοντας CEM I 42.5μ με διάφορα ποσοστά EIT1 μπορούν να επιτευχθούν αντοχές από 10 έως 25 MPa σε ενέματα χωρίς άμμο ή άλλο αδρανές υλικό.
- ✓ Με EIT2 οι αντοχές ενεμάτων που επιτυγχάνονται με σκέτη τέφρα κυμαίνονται γύρω στο 5 MPa σε 7 ημέρες και στο 7.5 MPa σε 28 ημέρες. Μίγματα τέφρας τσιμέντου αναπτύσσουν από 10 έως 30 MPa αντοχή ανάλογα με το ποσοστό προσθήκης της τέφρας.



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ✓ Τα τριμερή συστήματα τσιμέντου – ΕΙΤ2 – Μπεντονίτης αναπτύσσουν στις 28 ημέρες πάνω από 1.5 MPa αντοχή και σε 90 ημέρες από 1.5 έως 3.5 MPa αντοχή ανάλογα με το ποσοστό προσθήκης της τέφρας.
- ✓ Η τέφρα φαίνεται ότι συνεισφέρει σημαντικά στην ομοιογένεια και στην ανάπτυξη αντοχής των μιγμάτων αυτών. Σε μεγάλα ποσοστά απαιτείται προσθήκη ρευστοποιητή για αποδεκτό χρόνο ροής



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ✓ Όλα τα αναμίγματα με EIT1 ή με EIT2 παρουσιάζουν χρόνο ροής μετά 1 h λιγότερο από 45 sec, ενώ μετά 3 h τα ενέματα με τέφρα εξακολουθούν και έχουν μετρήσιμο χρόνο ροής. Ανάμεσα στην EIT1 και EIT2 καλύτερα συμπεριφέρεται ως προς τον χρόνο ροής η EIT1.
- ✓ Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αυτά με προηγούμενες εργασίες του Εργαστηρίου Δομικών Υλικών ήταν προφανές ότι ο τρόπος ανάμιξης με πολύστροφο αναμικτήρα προσδίδει πολύ καλή ομοιογένεια στο μίγμα και μειώνει την τάση απόμιξης με τον χρόνο



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ✓ Συμπερασματικά μπορεί να λεχθεί ότι:
- ✓ Υπάρχει μεγάλη δυνατότητα σχεδιασμού ενεμάτων που να βασίζονται σε ιπτάμενη τέφρα EIT1 ή EIT2 και να πληρούν τις προδιαγραφόμενες απαιτήσεις του έργου παρέχοντας συγχρόνως τεχνικά οφέλη, όπως είναι:
- ✓ Διατήρηση χρόνου ροής, λόγω αργής πήξης
- ✓ Μειωμένη τάση απόμιξης με συνέπεια να παρέχεται σταθερότητα όγκου και ανθεκτικότητα στους διαφραγματικούς τοίχους.



Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας