

Ο Ρόλος των Υλικών στην
Αντισεισμική Προστασία Μνημείων

Αγγελακοπούλου Ελένη, Υ.Δρ.ΕΜΠ

Επ. Υπεύθυνη: Καθ. Α. Μοροπούλου

Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Σχολή
Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ

Ένα διεπιστημονικό
ολοκληρωμένο πρόγραμμα για
την επιλογή κατάλληλων
κονιαμάτων αποκατάστασης
για τοιχοποιίες από
οπτόπλινθους, μεγάλου αρμού,
της Βυζαντινής Περιόδου



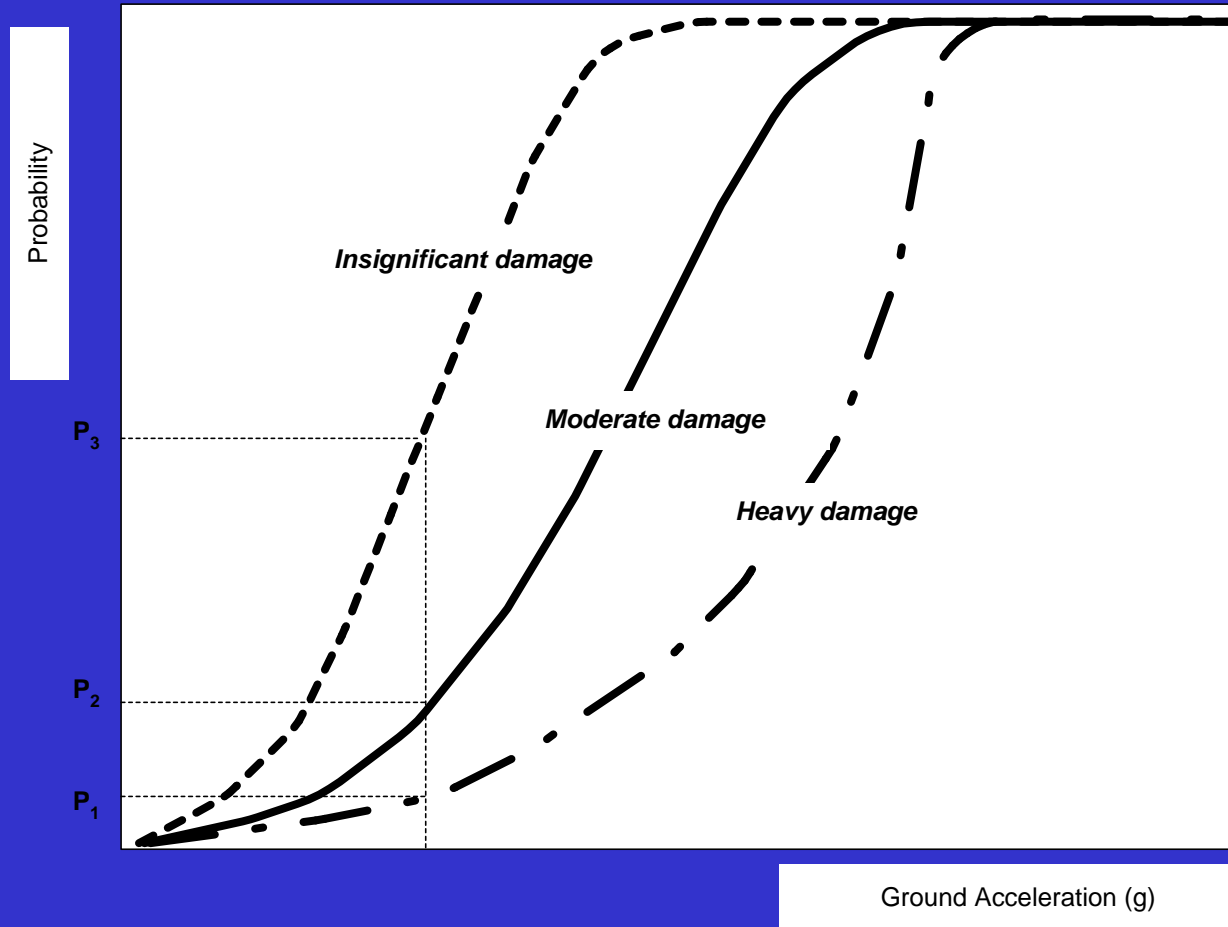
Σχεδιασμός Αντισεισμικής Προστασίας Μνημείων

Σκοπός

Πρόβλεψη της συμπεριφοράς μιας κατασκευής και των επιμέρους δομικών στοιχείων της σε σεισμική δράση.

1. Ανάπτυξη ενός υπολογιστικού μοντέλου το οποίο να προσομοιάζει την κατασκευή και να μπορεί να προβλέψει την συμπεριφορά της σε σεισμικές δράσεις.
2. Δεδομένα για την σεισμική δραστηριότητα της περιοχής (διαγράμματα επιταχύνσεων, κ.α.)
3. Καθορισμός των κριτηρίων για την ταυτοποίηση των καταστάσεων βλάβης.
4. Καθορισμός αντιπροσωπευτικών παραμέτρων που επηρεάζουν την συμπεριφορά μιας κατασκευής σε σεισμικές δράσεις (μηχανικά χαρακτηριστικά των δομικών υλικών, γεωμετρία της κατασκευής, κ.α.)
5. Επίλυση του μοντέλου για διαφορετικές τιμές των παραπάνω παραμέτρων και για διαφορετικές τιμές εδαφικής επιτάχυνσης. Στατιστική επεξεργασία των δεδομένων.
6. Ανάπτυξη καμπυλών θραυστότητας οι οποίες συσχετίζουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών με την εδαφική επιτάχυνση και την πιθανότητα εμφάνισης διαφορετικού βαθμού βλάβης στην κατασκευή.
7. Τελική επιλογή των υλικών και τεχνικών συντήρησης, αποκατάστασης και ενίσχυσης σύμφωνα με τα δεδομένα των καμπυλών θραυστότητας.

Καμπύλες Θραυστότητας



Για την ίδια τιμή εδαφικής επιτάχυνσης και για την ίδια κατασκευή η πιθανότητα να παρουσιαστεί συγκεκριμένος βαθμός βλάβης σχετίζεται με τα μηχανικά χαρακτηριστικά των δομικών υλικών (αντοχή σε θλίψη, εφελκυσμό, μέτρο ελαστικότητας).

Στο παραπάνω πλαίσιο ένα ολοκληρωμένο, διεπιστημονικό πρόγραμμα είναι σε εξέλιξη στο ΕΜΠ.

Σκοπός του προγράμματος

- Μελέτη της επίδρασης των κονιαμάτων στην στατική και δυναμική συμπεριφορά των παραδοσιακών τοιχοποιιών της Βυζαντινής περιόδου
- Επιλογή κατάλληλων κονιαμάτων αποκατάστασης τα οποία θα συνεισφέρουν στην βέλτιστη απόκριση των ιστορικών κατασκευών σε στατική και δυναμική καταπόνηση

1. Σχεδιασμός και παραγωγή κονιαμάτων μεγάλων αδρανών (σκυρόδεμα) – Αποτίμηση των φυσικοχημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών τους – Τμήμα Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Επ. Υπεύθ.: Καθ. Α. Μοροπούλου

2. Μελέτη της συμπεριφοράς πιλοτικών τοιχοποιιών σε στατική και δυναμική καταπόνηση – Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Εργ. Αντισεισμικής Τεχνολογίας, Επ. Υπευθ. Καθ. Π. Καρύδης

3. Μελέτη της συμπεριφοράς συγκεκριμένου μνημείου διαμέσου πεπερασμένων στοιχείων – Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Δομοστατικής, Επ. Υπευθ. Καθ. Κ. Συρμακέζης

Επιλογή κατάλληλων κονιαμάτων αποκατάστασης τα οποία θα συνεισφέρουν στην βέλτιστη απόκριση των ιστορικών κατασκευών σε στατική και δυναμική καταπόνηση

1. Σχεδιασμός και παραγωγή κονιαμάτων μεγάλων αδρανών (σκυρόδεμα) – Αποτίμηση των φυσικοχημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών τους – Τμήμα Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Επ. Υπεύθ.: Καθ. Α. Μοροπούλου

Αρχή του σχεδιασμού

Η μελέτη των ιστορικών κατασκευών τα οποία παρουσίασαν άριστη συμπεριφορά σε σεισμούς μπορεί να αποτελέσει ένα πολύτιμο εργαλείο για

- Την αποκωδικοποίηση των δομικών υλικών και των τεχνικών κατασκευής
- Την αναπαραγωγή υλικών με ανάλογη συμπεριφορά

Χαρακτηριστικά Βυζαντινά μνημεία τα οποία παρουσίασαν άριστη συμπεριφορά σε σεισμούς είναι:

- Η Αγία Σοφία στην Κωνσταντινούπολη
- Ο Άγιος Μιχαήλ στο Κίεβο

Υλικά Κατασκευής

παρουσίασαν
ανάλογη
φυσικοχημική και
μηχανική
συμπεριφορά και
τεχνολογία
παραγωγής

Αγία Σοφιά



Άγιος Μιχαήλ

Κονιάματα Αρμών

Συνδετική Κονία:

Ελαφρώς Υδραυλικός Ασβέστης

Αδρανή:

Μίγμα σπασμένων κεραμικών και άμμου

Χονδρόκοκκα αδρανή: 0-16 mm

Διάμετρος μεγίστου κόκκου: 1,5 cm

Αδρανή > 8 mm: Θραυσμένα κεραμικά

Αδρανή < 8 mm: μίγμα θραυσμένων κεραμικών και άμμου (μίγμα ασβεστολιθικής και πυριτικής φύσης)

Ποσοστό σπασμένου κεραμικού στα συνολικά αδρανή: 40%



Σκυροδέματα Κατασκευών Βυζαντινής Περιόδου

Ανάλογα Φυσικοχημικά και Μηχανικά Χαρακτηριστικά

- Υψηλή Εφελκυστική Αντοχή
- Χαμηλό Μέτρο Ελαστικότητας
- Χαμηλές τιμές πυκνότητας
- Παρουσία άμορφων ένυδρων αργιλοπυριτικών ενώσεων σε μορφή gel στην συνδετική κονία τα οποία παρέχουν μεγαλύτερη απορρόφηση ενέργειας
- Καλή πρόσφυση μεταξύ
 - Συνδετικής Κονίας-Αδρανών
 - Σκυροδέματος-Οπτόπλινθου

Κριτήρια για την αποτίμηση των κονιαμάτων αποκατάστασης όσον αφορά στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

1. Ανάλογη μικροδομή με ιστορικό σκυρόδεμα και οπτόπλινθο
2. Χημική Συγγένεια με ιστορικό σκυρόδεμα και οπτόπλινθο (χημική πρόσφυση σκυροδέματος/οπτόπλινθου εκτός από μηχανική)
3. Απουσία παραγωγής παραπροϊόντων που μπορεί να βλάψουν τα υπό γειτνίαση δομικά υλικά

Κριτήρια για την αποτίμηση των κονιαμάτων αποκατάστασης όσον αφορά στα μηχανικά χαρακτηριστικά

1. **Αντοχή σε Κάμψη:** >2 MPa
2. **Μέτρο Ελαστικότητας** <14000 MPa
3. **Θλιπτική Αντοχή** $\sim 8-14$ MPa (δεδομένου ότι το σκυρόδεμα πρέπει να παρουσιάζει χαμηλότερη θλιπτική αντοχή από τα δομικά στοιχεία - Για τους ιστορικούς πλίνθους $F_{c,b} \sim 15-18$ MPa)

Σχεδιασμός των συνθέσεων σκυροδεμάτων

Επιλογή πρώτων υλών

Πρώτες ύλες παραδοσιακού τύπου προκειμένου να διασφαλιστεί η φυσικοχημική συμβατότητα με τα αυθεντικά υλικά

Συνδετικές Κονίες

Αερίκος ασβέστης, Φυσικός Υδραυλικός Ασβέστης (NHL3.5-Z σύμφωνα με το ENV 459-1)

Ποζολανικά Πρόσθετα

Φυσικής Προέλευσης (Μηλαϊκή Γη)

Τεχνητής Προέλευσης (Μετακαολίνης)

Τσιμέντο: για συγκριτικούς λόγους

Η συγκεκριμένη έρευνα έχει σαν στόχο την επίτευξη 3 κύριων στόχων

ο Την επίδραση της φύσης των αδρανών στα μηχανικά χαρακτηριστικά των σκυροδεμάτων.

ο Την επίδραση της φύσης της συνδετικής κονίας στα μηχανικά χαρακτηριστικά των σκυροδεμάτων.

ο Την παραγωγή σκυροδεμάτων ανάλογων με τα ιστορικά - Μελέτη συμπεριφοράς πιλοτικών τοιχοποιιών σε στατική, δυναμική καταπόνηση- Μελέτη συμπεριφοράς συγκεκριμένου μνημείου σε στατική, δυναμική καταπόνηση (πεπερασμένα στοιχεία)

Μελέτη της επίδρασης της φύσης των αδρανών

Παρασκευή συνθέσεων σκυροδεμάτων με την ίδια συνδετική κονία και αδρανή διαφορετικής φύσης αλλά με την ίδια κοκκοδιαβάθμιση

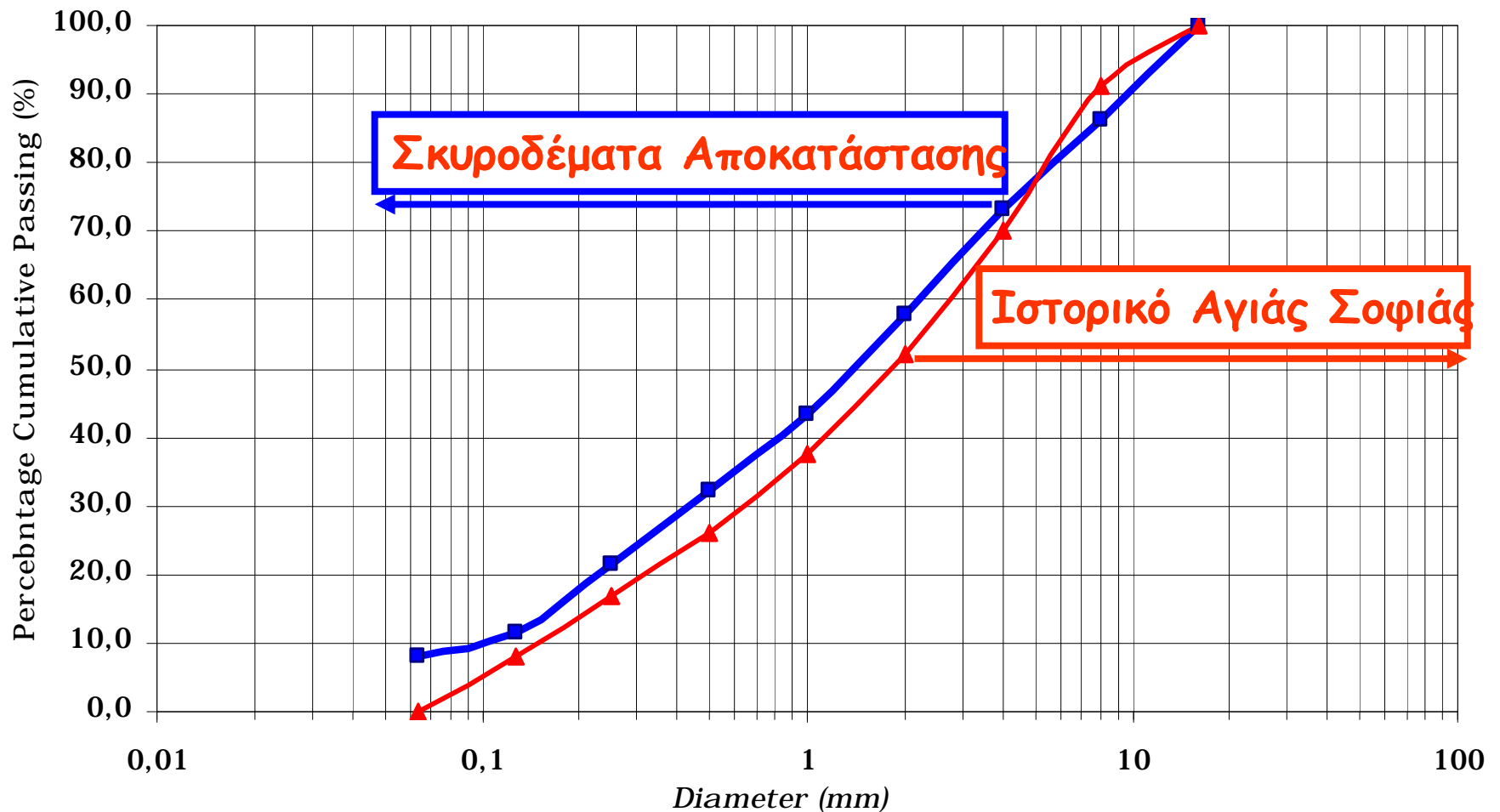
Κωδ.	Υδρασβ (L)	Μηλαϊ. (EM)	Μετακ. (MK)	Αδρανή
I	10	20		70, άμμος/γαρμπίλι
II	10	20		70, άμμος/θραυσμένο κεραμικό
III	15		15	70, άμμος/γαρμπίλι
IV	15		15	70, άμμος/θραυσμένο κεραμικό
V	15		15	70, θραυσμένο κεραμικό

Μελέτη της επίδρασης της φύσης της συνδετικής κονίας

Παρασκευή συνθέσεων σκυροδεμάτων με τα ίδια αδρανή και συνδετική κονία διαφορετικής φύσης

Κωδ.	L	(MK)	(NHL)	(C)	Αδρανή
VI	20	10			70, άμμος/θραυσμένα κεραμικά
VII	15			15	70, άμμος/θραυσμένα κεραμικά
VIII			30		70, άμμος/θραυσμένα κεραμικά
IX	27,5	2,5			70, άμμος/θραυσμένα κεραμικά

Κατανομή μεγέθους κόκκων των αδρανών των συνθέσεων σκυροδεμάτων σε σύγκριση με τα ιστορικά της Αγίας Σοφίας



Δοκιμή Καθίσεως (Slump Test) - Αποτίμηση της Εργασιμότητας και του προστιθέμενου νερού



Κριτήριο του καθίσεως: 10-40 mm

(σύμφωνα με το EN 12350-2)

Κατά αυτόν τον τρόπο το **προστιθέμενο νερό** ήταν το **ελάχιστο** που μπορούσε να προστεθεί και οι συνθέσεις παρουσίασαν **παρόμοια συνεκτικότητα και εργασιμότητα.**

Μήτρες

- ο 10x10x50cm για την αποτίμηση της αντοχής σε κάμψη και θλίψη των σκυροδεμάτων
- ο Συμπύκνωση με τράπεζα δόνησης



Συνθήκες Συντήρησης

Συνθέσεις Μετακαολίνη, Τσιμέντου, Υδραυλικού Ασβέστη

- ο 7 ημέρες: υγρό θάλαμο ($RH > 95\%$, $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$)
- ο 7^η ημέρα: αφαίρεση από μήτρες
- ο 7^η ημέρα – ημέρα δοκιμών: συντήρηση σε σταθερές συνθήκες ($RH = 50 \pm 1\%$, $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$)

Συνθέσεις Μηλαϊκής Γης

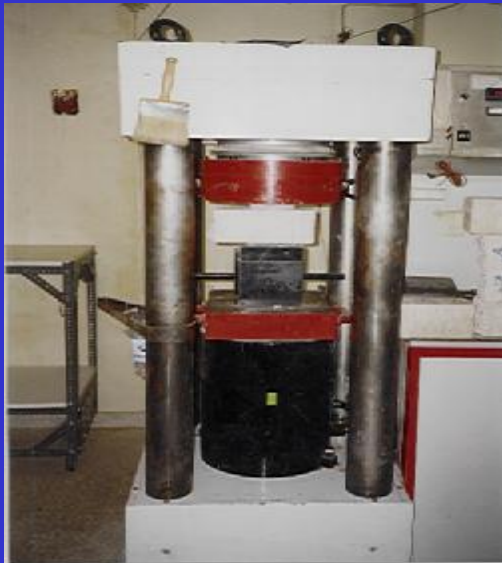
- ο 14 ημέρες: υγρό θάλαμο ($RH > 95\%$, $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$)
- ο 14^η ημέρα: αφαίρεση από μήτρες
- ο 14^η ημέρα – ημέρα δοκιμών: συντήρηση σε σταθερές συνθήκες ($RH = 50 \pm 1\%$, $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$)

ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Μηχανικά Χαρακτηριστικά

ο **Αντοχή σε Θλίψη** (ASTM C 116) [TONI TECHNIK INSTRUMENT, μέγιστο φορτίο: 3000 KN, Ρυθμός φόρτισης: 0.5 KN/sec]

ο **Αντοχή σε Κάμψη** (ASTM C 78 00) [AVERY – DENISON 7122, μέγιστο φορτίο: 2.000KN]
στα χρονικά διαστήματα των 1, 3, 6 μηνών.

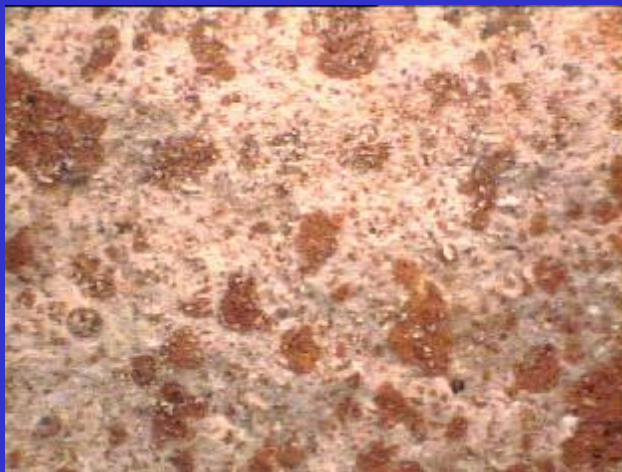


ΤΕΧΝΙΚΕΣ

- ο **Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών** για την αποτίμηση της **συνάφειας** των αδρανών με την **συνδετική κονία**, την **ομογένεια** της **συνδετικής ύλης** και **τυχόν ύπαρξη μικρορωγμών**
- ο **Υπερηχοσκόπηση** για την αποτίμηση του **δυναμικού μέτρου ελαστικότητας Ed** (CNS Farnell-Pundit 5, transducers frequency: 54 KHz)
- ο **Διαφορική Θερμική και Θερμοβαρυμετρική Ανάλυση** [DTA/TG, Netzsch 409EP) για την αποτίμηση της **μεταβολής του Ca(OH)_2** στους 1, 3, 6, 12 μήνες

Αποτελέσματα και Συζήτηση
Αποτελεσμάτων - Μικροσκόπιο
Οπτικών Ινών

Μακροσκοπική Φωτογραφία:
Ομοιόμορφη κατανομή των
αδρανών στην μάζα του
σκυροδέματος

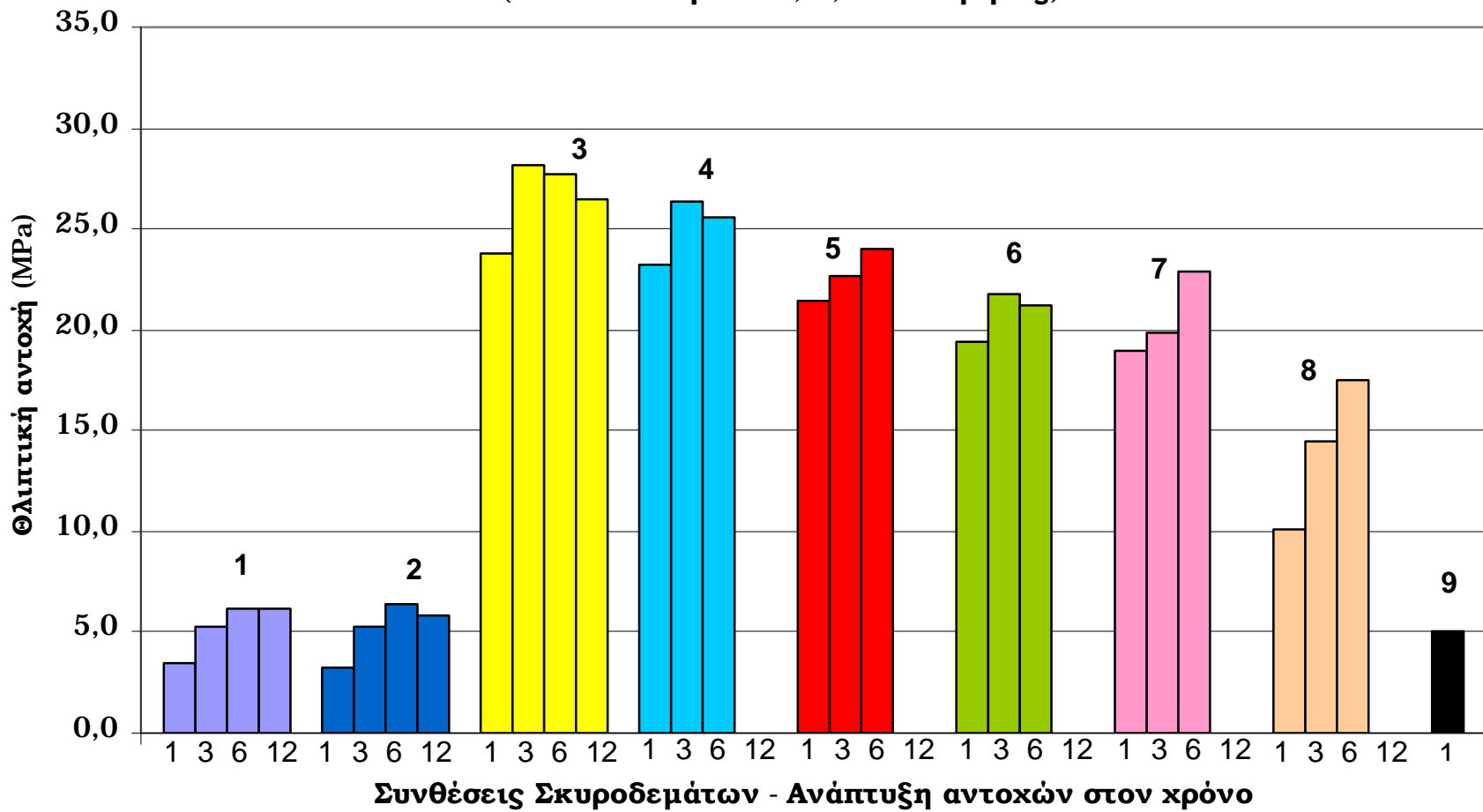


Φωτογραφία FOM: Καλύτερη πρόσφυση της συνδετικής
κονίας με το θραυσμένο κεραμικό από ότι με το γαρμπίλι

Αποτελέσματα και Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Αντοχή σε Θλίψη

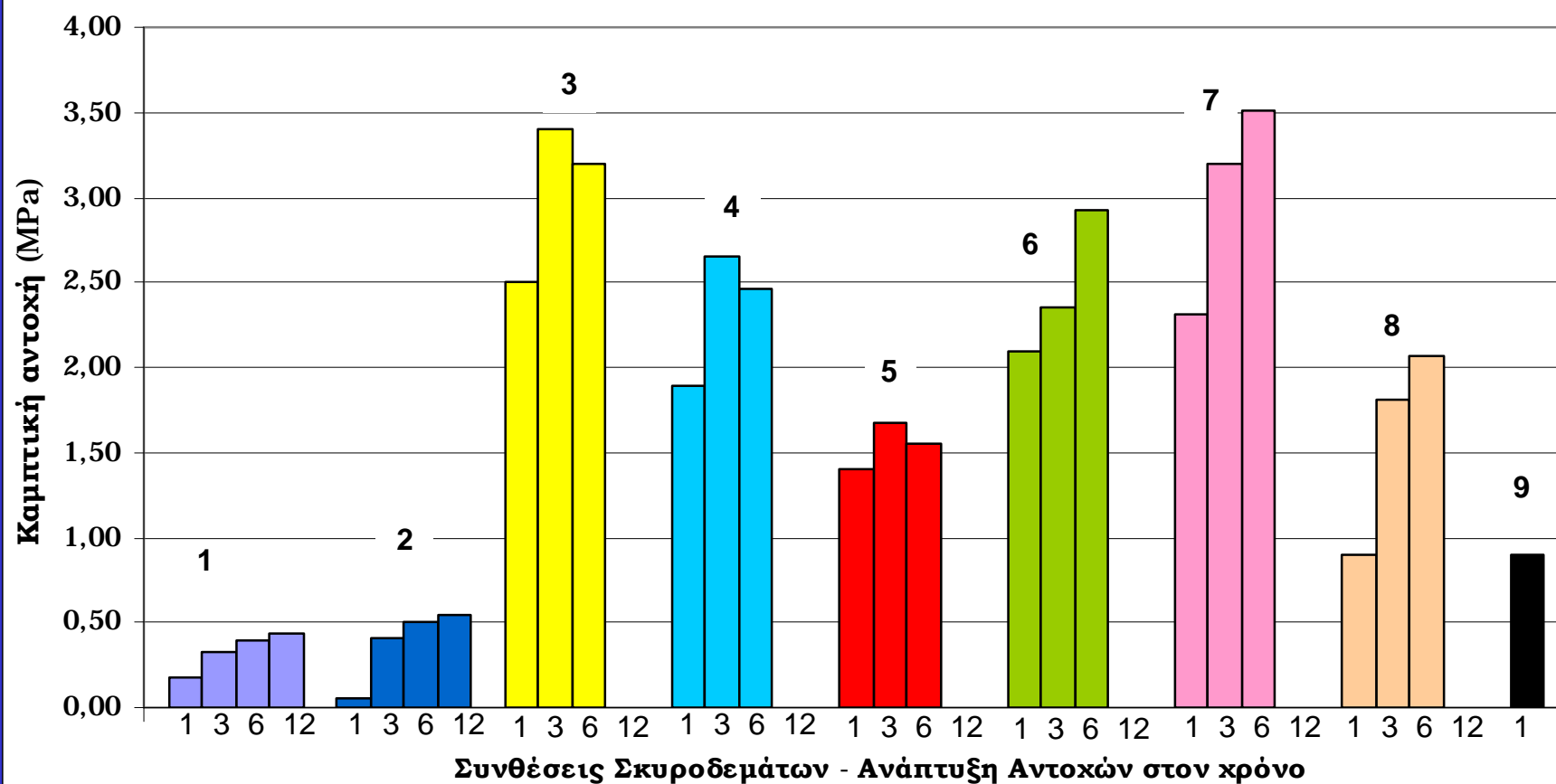
Θλιπτική αντοχή σκυροδεμάτων αποκατάστασης
(Ηλικία δοκιμών 1, 3, 6 & 12 μήνες)



Αποτελέσματα και Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Αντοχή σε Κάμψη

Καμπτική αντοχή σκυροδεμάτων αποκατάστασης
(Ηλικία δοκιμών 1, 3, 6 & 12 μήνες)



Σύγκριση των 2 ποζολανικών προσθέτων

Η χρήση μετακαολίνη αύξησε τις τιμές της θλιπτικής και καμπτικής αντοχής κατά >500% σε σχέση με την μηλαϊκή γη.

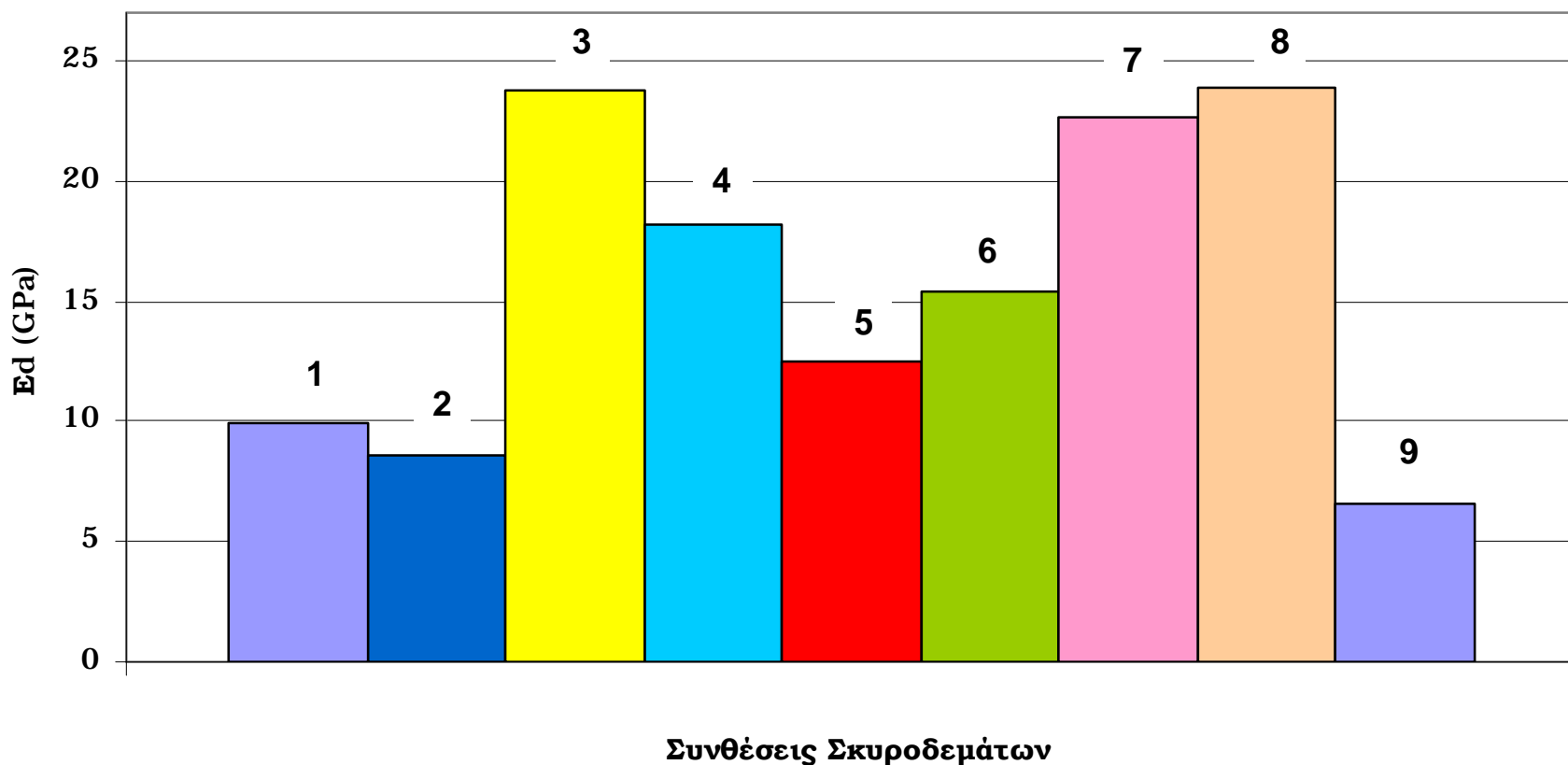
Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στα παρακάτω χαρακτηριστικά του **Μετακαολίνη**:

- Υψηλή λεπτότητα
- Χημική σύσταση
- Υψηλή ειδική επιφάνεια

Αποτελέσματα και Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας σε χρονικό διάστημα 3 μηνών

Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας σκυροδεμάτων
(Ηλικία δοκιμών 3 μήνες)



Αποτελέσματα και Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Αποτελέσματα ελεύθερου Ca(OH)_2 στις συνθέσεις σκυροδεμάτων σε χρονικό διάστημα 1 μήνα

Κωδ.	Χρόνος	350-450°C	
		$\text{H}_2\text{O} - \text{Ca(OH)}_2$	Ca(OH)_2
I	1m	0,60	2,47
II	1m	1,90	7,81
III	1m	-	-
IV	1m	-	-
V	1m	-	-
VI	1m	0.68	2.79
VII	1m	3.35	13.77
VIII	1m	2.85	11.71

ο Οι συνθέσεις του μετακαολίνη έχουν δεσμεύσει το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ σε χρονικό διάστημα ενός μήνα.

ο Οι υπόλοιπες συνθέσεις βρίσκονται σε εξέλιξη.

ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

- Τελική αποτίμηση των χαρακτηριστικών των συνθέσεων στους 12 μήνες
- Αποτίμηση του στατικού μέτρου ελαστικότητας (E_{st})
- Συσχέτιση του στατικού μέτρου ελαστικότητας με το Δυναμικό ($E_{st}-E_d$)

Τελικό αποτέλεσμα της ερευνητικής εργασίας

Επιλογή 3 τύπων σκυροδεμάτων τα οποία να παρουσιάζουν εύρος των μηχανικών τους αντοχών και τα οποία θα αποτιμηθούν:

**Στην κλίμακα
πυλοτικών
τοιχοποιιών σε
στατικές και
δυναμικές τάσεις**

**Στην κλίμακα ενός
συγκεκριμένου
μνημείου
χρησιμοποιώντας
πεπερασμένα
στοιχεία**

Μελέτη της συμπεριφοράς πιλοτικών τοιχοποιιών σε
στατική και δυναμική καταπόνηση - Σχολή
Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Εργ. Αντισεισμικής
Τεχνολογίας, Επ. Υπευθ. Καθ. Π. Καρύδης

Στόχος

Μελέτη της συνεισφοράς των σκυροδεμάτων στην
στατική και δυναμική απόκριση της τοιχοποιίας

Μελέτη της στατικής συμπεριφοράς πιλοτικών τοιχοποιιών

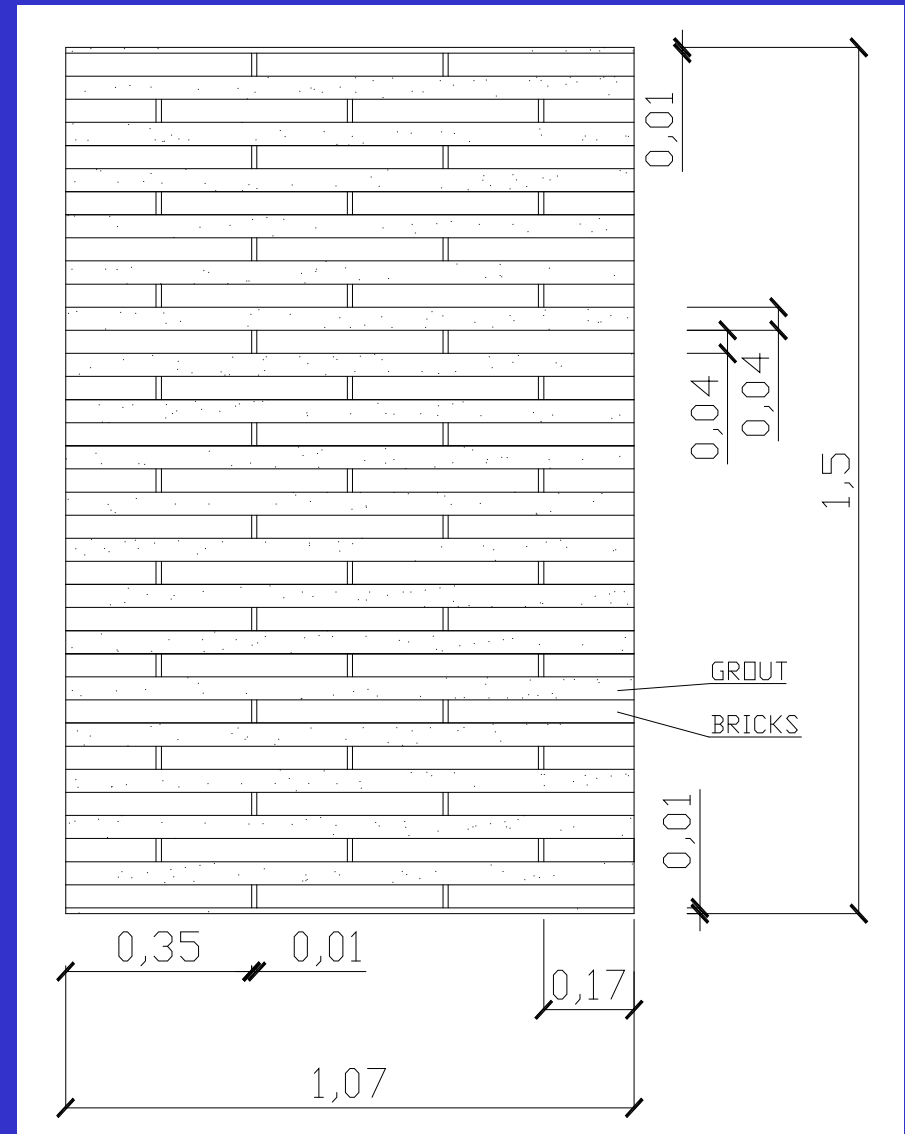
Κατασκευή τριών πιλοτικών τοιχοποιιών για κάθε σύνθεση σκυροδέματος.

Διαστάσεις δοκιμίου τοιχοποιίας:

1.00m x 1.50m x 0.35m

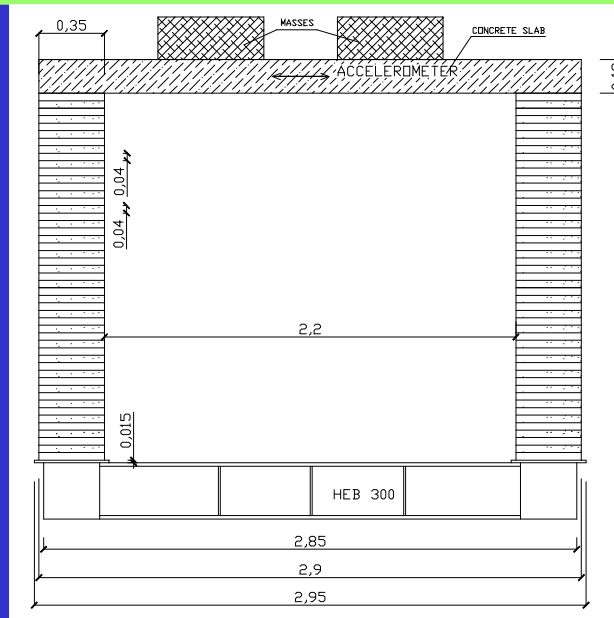
Πάχος αρμού: 3.5cm

Προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας και του διαγράμματος τέμνουσας/μετακίνησης



Μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς της τοιχοποιίας
Κατασκευή 2 παράλληλων τοιχοποιιών με διαστάσεις 2.70m x
2.00m x 0.35m, οι οποίες θα συνδέονται με πλάκα
σκυροδέματος.

Το δοκίμιο θα υποβληθεί σε διέγερση λευκού θορύβου για το προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών του **(ιδιοπερίοδος και απόσβεση)**. Στη συνέχεια το δοκίμιο θα υποβληθεί σε κλιμακωτά αυξανόμενη διέγερση. Τέλος, θα προσδιοριστούν τα **διαγράμματα τέμνουσας-μετακίνησης για σεισμικές καταπονήσεις.**



3. Μελέτη της συμπεριφοράς συγκεκριμένου μνημείου
διαμέσου πεπερασμένων στοιχείων - Σχολή Πολιτικών
Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Δομοστατικής, Επ. Υπευθ.
Καθ. Κ. Συρμακέζης

Στόχος

Μελέτη της συνεισφοράς των σκυροδεμάτων στην
δυναμική απόκριση ενός συγκεκριμένου μνημείου της
Βυζαντινής περιόδου

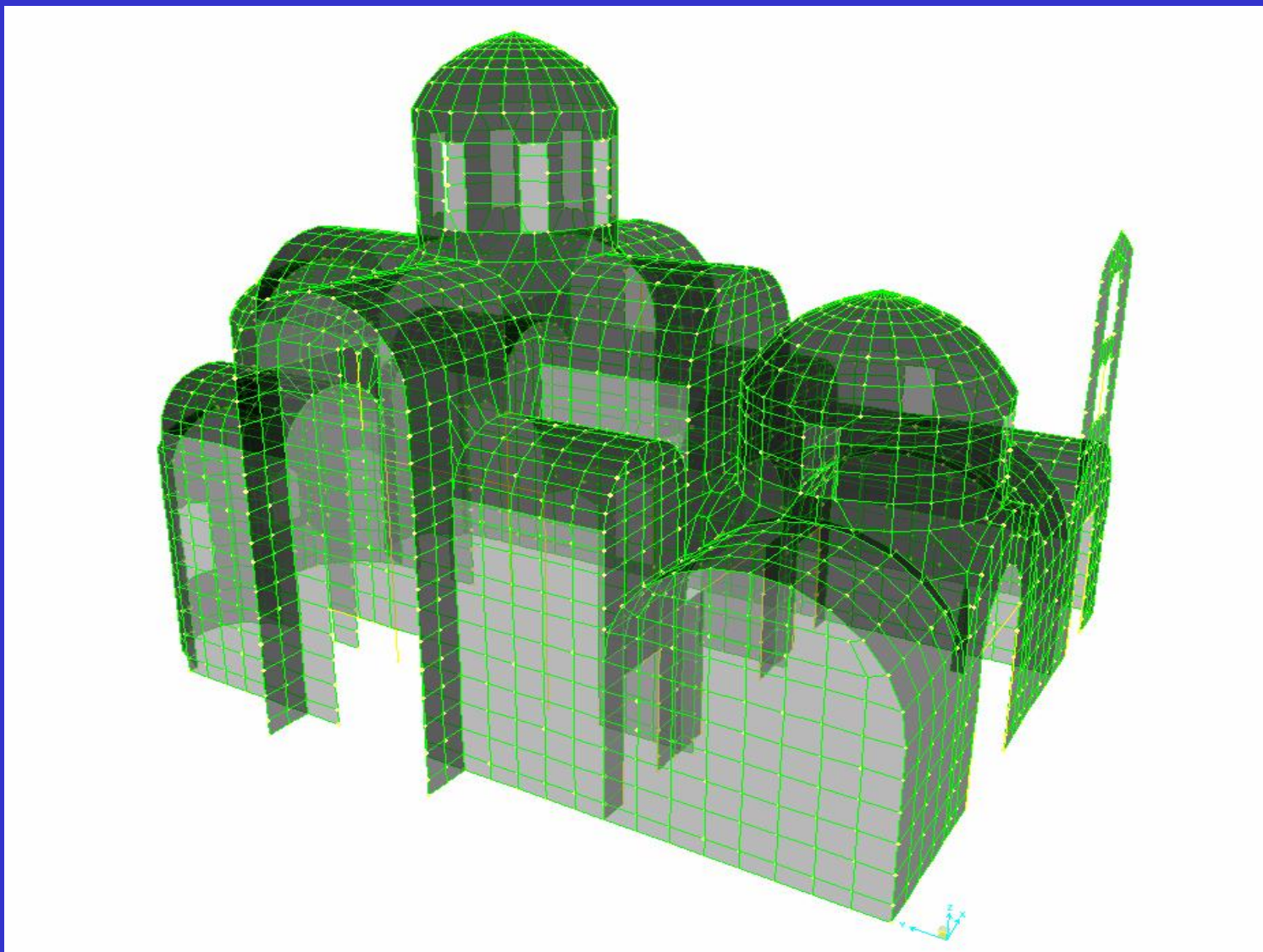
Μοναστήρι της Καισαριανής στην Αθήνα



Αναπτύχθηκε μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων προκειμένου να αποδοθούν με ακρίβεια οι ιδιότητες και η συμπεριφορά του συγκεκριμένου μνημείου

Το συγκεκριμένο μοντέλο λαμβάνει υπόψη τόσο την γεωμετρία της κατασκευής όσο και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των δομικών υλικών προκειμένου να προβλέψει την συμπεριφορά του μνημείου σε δυναμικές καταπονήσεις

Μοντέλο Τετρασμένων στοιχείων για το μνημείο



Το μοντέλο θα επιλυθεί για καθένα από τα
τρία σκυροδέματα προκειμένου να
προσδιοριστεί

η σύνθεση που συνεισφέρει στην καλύτερη
απόκριση όλης της κατασκευής στις
σεισμικές δράσεις

Συμπεράσματα

Στη συγκεκριμένη ερευνητική εργασία επιχειρήθηκε μια **ολοκληρωμένη και διεπιστημονική μελέτη** για

- Μελέτη της επίδρασης των κονιαμάτων στην στατική και δυναμική συμπεριφορά των παραδοσιακών τοιχοποιιών της Βυζαντινής περιόδου
- Επιλογή κατάλληλων κονιαμάτων αποκατάστασης τα οποία θα συνεισφέρουν στην βέλτιστη απόκριση των ιστορικών κατασκευών σε στατική και δυναμική καταπόνηση

Η έρευνα είναι σε εξέλιξη...

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν:

Α.Ε. ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΤΙΤΑΝ,
Τμήμα Έρευνας και Ανάπτυξης

Για την τεχνική βοήθεια και προσφορά των
εργαστηριακών του χώρων

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν:

ο ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (ΟΑΣΠ)

ο ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ (ΓΓΕΤ)

ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΟΥ
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Ευχαριστώ
για την προσοχή σας ...

Βιβλιογραφία

1. Moropoulou, A., Bakolas, A., Aggelakopoulou E., "Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis", *Thermochimica Acta*, 422/1-2, (2004), In Press.
2. Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E., Anagnostopoulou, S., "Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries", *Cement and Concrete Composites*, In Press, Corrected Proof.
3. Moropoulou, A., Bakolas, A., Aggelakopoulou, E., "The effects of limestone characteristics and calcination temperature to the reactivity of quicklime", *Cement and Concrete Research*, Volume 31, Issue 4, April 2001, Pages 633-639
4. Moropoulou A., Aggelakopoulou E., Bakolas A., Tzanetos F., Psymogerakou P., "Design of Concrete for restoration interventions on buildings of Byzantine Era- Evaluation of their chemical and mechanical characteristics", *International Symposium on Advances in concrete through science and engineering*, Evanston, Illinois, USA (2004)
5. Moropoulou, A., Aggelakopoulou, E., "The role of materials in the earthquake protection of monuments", *6th International Symposium on the Conservation of Monuments in Mediterranean Basin*, Lisbon, Portugal (2004).

6. Moropoulou, A., Cakmak, A.S., Biscontin, G., Crushed brick lime mortars of Justinian's Hagia Sophia, *Materials Issues in Art and Archaeology V*, Materials Research Society, Vol. 462 (1997), pp.307-316.
7. Moropoulou, A., Cakmak, A.S., Lohvyn, N., "Earthquake resistant construction techniques and materials of byzantine monuments in Kiev", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19 (2000) pp. 603-315.
8. Moropoulou, A., Lohvyn, N., "Earthquake resistant byzantine (11th c.) Church of St. Michael in Kiev", *PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology*, 58 (2000) pp. 53-69.
9. Cakmak, A.S., Moropoulou, A., Mullen, C.A, Interdisciplinary study of dynamic behavior and earthquake response of Hagia Sophia, *J. Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol 14, No 9, (1995), pp. 125-133.
10. Moropoulou A. et al, Advanced Byzantine cement based composites resisting earthquake stresses: the crushed brick/lime mortars of Justinian's Hagia Sophia, *Construction and Building Materials*, Vol. 16 (2002), Issue 8, pp.543-552

11. Moropoulou, A., "Reverse engineering to discover traditional technologies: A proper approach for compatible restoration mortars", *PACT, J. European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology*, 58 (2000) pp. 81-107.
12. Moropoulou, A. et al, Technology and behavior of rubble masonry mortars, *J. Construction and Building Materials*, Vol. 11, No 2 (1997), pp. 119-129.
13. Moropoulou, A. et al, Study of mortars in the Medieval City of Rhodes, *Conservation of Stone and Other Materials*, RILEM-UNESCO, E & FN Spot, Paris (1993), pp. 394-401.
14. Bakolas, A. et al, Characterization of structural Byzantine mortars by thermogravimetric analysis, *Thermochimica Acta*, Vol. 321, No 1-2 (1998) pp. 151-160.
15. Cakmak, A.S., Erdik, M., Moropoulou A., A joint program for the protection of the Justinian Hagia Sophia, 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Conference Proceedings, Publ. Technical Chamber of Greece, Rhodes, Vol. 4 (1997), pp. 153-171.
16. Moropoulou A. et al, "Repair mortars for the Byzantine masonries restoration interventions providing earthquake protection", Fourth Int. Conf. On Earthquake Resistant Engineering Structures, ERES 2003, in press