

ΘΕΜΑΤΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ:

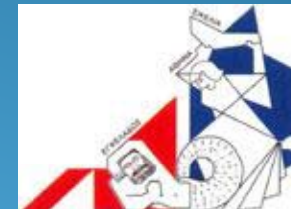
A. Η πρόκληση των Επεμβάσεων σε Ιστορικές Κατασκευές.

B. Η Εμπειρία των Επεμβάσεων στον Πανάγιο Τάφο

Κωνσταντίνος Χ. ΣΠΥΡΑΚΟΣ
Καθηγητής ΕΜΠ

Δ/ντης Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας

*Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας,
Τομέας Δομοστατικής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ
<http://lee.civil.ntua.gr/>*



**Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών & Τεχνικό
Επιμελητήριο Ελλάδας/Τμ. Δυτικής Ελλάδας**
24^ο ΦΟΙΤΗΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ – 21 & 22 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Α. Η πρόκληση των Επεμβάσεων σε Ιστορικές Κατασκευές

Κωνσταντίνος Χ. ΣΠΥΡΑΚΟΣ
Καθηγητής ΕΜΠ

Δ/ντης Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας



*Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας,
Τομέας Δομοστατικής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ
<http://lee.civil.ntua.gr/>*



**Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών & Τεχνικό
Επιμελητήριο Ελλάδας/Τμ. Δυτικής Ελλάδας
24^ο ΦΟΙΤΗΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ – 21 & 22 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2018**

Αντικείμενο

Οι **περιορισμοί** που απορρέουν από την υλοποίηση των παρεμβάσεων σε ιστορικά κτίσματα και μνημεία ώστε να είναι συμβατές με τις διεθνώς αποδεκτές κατευθυντήριες γραμμές σε πολλές περιπτώσεις **δεν επιτρέπουν την ικανοποίηση του επιπέδου ασφάλειας που επιβάλλεται σε νέες κατασκευές.**

Προτείνεται ένα πλαίσιο το οποίο οδηγεί σε εφαρμόσιμες επεμβάσεις εξισορροπώντας τις απαιτήσεις της **ασφάλειας** και του **σεβασμού των πολιτιστικών και αρχαιολογικών χαρακτηριστικών** των κτισμάτων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Βασική Πηγή



Engineering Structures Journal 2018; Volume 160: pages 34-43

<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.01.022>

Κανονισμός Επεμβάσεων, ΚΑΝ.ΕΠΕ. (συνέχεια)

Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού φέροντος οργανισμού

	Στάθμη επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού		
P_R για $T_L=50$	Περιορισμένες βλάβες (A)	Σημαντικές βλάβες (B)	Οιονεί κατάρρευση (Γ)
50% ($T_{RL}=72$ έτη)	A1	B1	Γ1
10% ($T_{RL}=475$ έτη)	A2	B2	Γ2

Αποδεχόμενοι ότι τα κτίσματα πολιτιστικής κληρονομιάς ανήκουν στις κατηγορίες σπουδαιότητας III και IV, τότε σύμφωνα με πρόταση της Επιτροπής Υποστήριξης του ΚΑΝ.ΕΠΕ. δύνανται να υιοθετηθούν οι στόχοι αποτίμησης και ανασχεδιασμού: **A1, A2, B2.**

Αντισεισμική Προστασία Μνημείων στην Ελλάδα

Αξιόλογες προσπάθειες από Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (**ΟΑΣΠ**) και Ευρωπαϊκό Κέντρο Πρόληψης και Πρόγνωσης Σεισμών (**ΕΚΠΠΣ**).

Επιλογή σεισμικής δράσης σχεδιασμού και αποδεκτών επιπέδων βλάβης με βάση τη **σπουδαιότητα του μνημείου**:

(**I₁**): μνημεία παγκόσμιας σπουδαιότητας

(**I₂**): μνημεία εθνικής σπουδαιότητας

(**I₃**): μνημεία τοπικού ενδιαφέροντος

Αντισεισμική Προστασία Μνημείων στην Ελλάδα – (συνέχεια)

Προτείνεται τα μνημεία να κατατάσσονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες ανάλογα με την **επισκεψιμότητά** τους:

C1: Σχεδόν **συνεχής παρουσία κοινού** ή συχνή παρουσία μεγάλων ομάδων κοινού:

- (i) κατοικημένα κτίρια στο ιστορικό κέντρο των πόλεων,
- (ii) μνημεία που χρησιμοποιούνται ως μουσεία, και
- (iii) μνημεία που χρησιμοποιούνται συνεχώς ως χώροι λατρείας.

C2: **περιστασιακή χρήση** ή **σποραδική παρουσία** μικρών ομάδων κοινού:

- (i) επισκέψιμα μόνο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, και
- (ii) σε απομακρυσμένες περιοχές ή σπανίως επισκέψιμα.

C3: μνημεία στα οποία η είσοδος επιτρέπεται **μόνο σε προσωπικό υπηρεσίας**.

Στρατηγική Επεμβάσεων - Αρχές

Οι επεμβάσεις στα κτίσματα πολιτιστικής κληρονομιάς θα πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες **αρχές**:

- (i) **Σεβασμός στο πρωτότυπο** (αυθεντικότητα, αυτοτέλεια, σύστημα δομής).
- (ii) **Τεκμηρίωση** (ιστορική, αρχαιολογική, αρχιτεκτονική, παθολογίας, υλικών, δόμησης).
- (iii) **Αναστρεψιμότητα** προτεινομένων επεμβάσεων.
- (iv) **Συμβατότητα** υφισταμένων και νέων υλικών.
- (v) **Ανθεκτικότητα** σε διάρκεια των νέων επεμβάσεων.
- (vi) **Περιορισμός των επεμβάσεων** στις απαραίτητες.

Στρατηγική Επεμβάσεων - Εναλλακτικές

Οι κατά κανόνα εφαρμοζόμενες επεμβάσεις σε κτίσματα πολιτιστικής κληρονομιάς μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκουν σε **δύο κατηγορίες**:

- (i) «**Συνολική Βελτίωση**» η οποία επιχειρεί να βελτιώσει την ασφάλεια έναντι σεισμού του συνόλου του δομήματος μέσω **εκτεταμένων αλλά μη παρεμβατικών επεμβάσεων** επιτυγχάνοντας ένα στόχο ενδεχομένως χαμηλότερο από εκείνο που καθορίζεται για νέες κατασκευές
- (ii) «**Τοπική Βελτίωση**», η οποία βελτιώνει την απόκριση της κατασκευής μέσω **τοπικών επεμβάσεων χωρίς όμως να επηρεάζεται η συνολική συμπεριφορά** της κατασκευής.

Μέτρα Επέμβασης Καθορισμένης Διάρκειας Πρόταση

Η βασική ιδέα:

Επιλογή **επεμβάσεων** που πληρούν μια προκαθορισμένη οριακή κατάσταση **για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα**.

Μετά το πέρας αυτού του διαστήματος επιβάλλεται να πραγματοποιηθεί **εκ νέου αποτίμηση** του κτίσματος και ανάλογα με τα αποτελέσματα να επανεξεταστεί η λήψη κατάλληλων μέτρων.

Η μεθοδολογία απαιτεί:

- (i) την εισαγωγή του όρου «**ονομαστική διάρκεια επέμβασης**», **T_{Δ}** , η οποία ορίζεται ως ο χρόνος για τον οποίο η επέμβαση εξασφαλίζει ένα επιλεγμένο στόχο,
- (ii) τη χρήση είτε μιας **σχέσης εξασθένησης** είτε **φασμάτων** σχεδιασμού.

Μέτρα Επέμβασης Καθορισμένης Διάρκειας Βήματα

ΒΗΜΑ 1: Υπολογισμός της μέγιστης επιτάχυνσης a_{gRL} για την οποία επιτυγχάνεται η επιθυμητή στάθμη επιτελεστικότητας.

ΒΗΜΑ 2: Υπολογισμός της περιόδου επαναφοράς T_{RL} με χρήση κατάλληλης σχέσης εξασθένησης. Για τις τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας, Z_i , ($i=1,2,3$), που ισχύουν για την Ελλάδα:

Ζώνη Z1: $\log a_{gR} \approx 0.277 \log T_{RL} + 1.579$

Ζώνη Z2: $\log a_{gR} \approx 0.264 \log T_{RL} + 1.739$

Ζώνη Z3: $\log a_{gR} \approx 0.240 \log T_{RL} + 2.015$

Θεωρείται $a_{gR} = a_{gRL}/0.8$

Μέτρα Επέμβασης Καθορισμένης Διάρκειας Βήματα (συνέχεια)

ΒΗΜΑ 3: Υπολογισμός της T_{Δ} από την περίοδο επαναφοράς T_{RL} και την πιθανότητα υπέρβασης P_R μέσω της σχέσης:

$$T_{RL} = -\frac{T_{\Delta}}{\ln(1 - P_R)} \approx \frac{T_{\Delta}}{P_R}$$

υιοθετώντας κατανομή Poisson για τους σεισμούς.

ΒΗΜΑ 4: Για $\gamma_I \neq 1.00$ το T_{Δ} ονομάζεται $T_{\Delta R}$ και υπολογίζεται εφαρμόζοντας την ακόλουθη σχέση:

$$\gamma_I \approx (T_{\Delta R} / T_{\Delta})^{-1/k}$$

όπου το k είναι της τάξης του 3 (EC8-1).

Μέτρα Επέμβασης Καθορισμένης Διάρκειας Ελάχιστα Όρια

Σε κάθε περίπτωση προτείνεται:

- ο $T_{\Delta R} \geq 50$ έτη για στόχο **A1** και ταυτόχρονα
- ο $T_{\Delta R} \geq 20$ έτη για στόχο **B2**.
- ο **Μετά το** πέρας της χρονικής διάρκειας που ορίζει το $T_{\Delta R}$ να **αποτιμάται εκ νέου** η σεισμική επικινδυνότητα του κτίσματος.
- ο **Αν δεν ικανοποιούνται** τα ελάχιστα όρια για το $T_{\Delta R}$ που ορίζονται στα (i) και (ii), το κτίσμα θα πρέπει να θεωρείται ότι ανήκει στην **κατηγορία C3**.

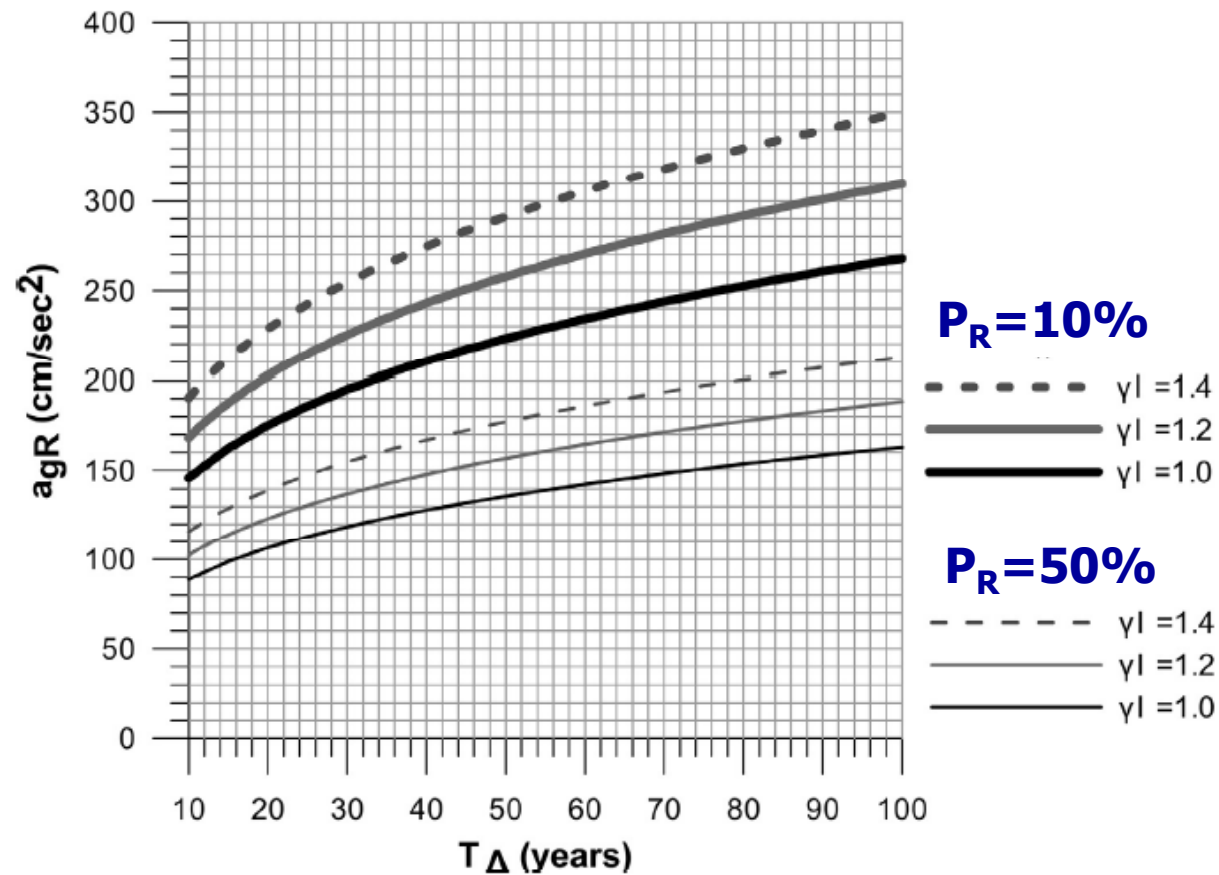
Μέτρα Επέμβασης Καθορισμένης Διάρκειας Ελάχιστα Όρια (συνέχεια)

Με αυτό τον τρόπο

1. με το **πρώτο κριτήριο, (i)**, επιτρέπεται το κτίσμα να υποστεί ελαφριές βλάβες σε ένα συχνό σεισμό,
2. με το **δεύτερο κριτήριο, (ii)**, επιτρέπεται οι ενδεχόμενες βλάβες, αν είναι σημαντικές, να είναι επισκευάσιμες και επιπλέον να μην προκληθεί τραυματισμός ατόμων.

Με την εφαρμογή της διαδικασίας για κάθε ζώνη επικινδυνότητας προκύπτουν διαγράμματα ($a_{gR} - T_{\Delta}$), όπως στο ακόλουθο διάγραμμα για ζώνη Z2.

Μέτρα Επέμβασης Καθορισμένης Διάρκειας Διαγράμματα



Διαγράμματα υπολογισμού ονομαστικής διάρκειας ζωής, T_{Δ} .
Ενδεικτικά για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z2

Παράδειγμα Εφαρμογής Περιγραφή

Το παράδειγμα εφαρμογής αφορά ιστορική εκκλησία



Παράδειγμα Εφαρμογής Περιγραφή (συνέχεια)

Η εκκλησία:

- ο Έχει κατασκευαστεί **χωρίς αντισεισμικό κανονισμό** σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z2
- ο Πρόκειται για **τρίκλιτη βασιλική με τρούλο** και ξύλινη στέγη
- ο Η κάτοψη είναι **ορθογωνική** με **μήκος και πλάτος 25 και 21 μέτρα**, αντίστοιχα. Το ύψος μέχρι τη βάση του τρούλου είναι 12 μέτρα.
- ο Η δομή της τοιχοποιίας είναι μικτή με τμήματα από οπτοπλινθοδομή και αργολιθοδομή με λαξευτούς γωνιόλιθους.

Παράδειγμα Εφαρμογής Αναλύσεις

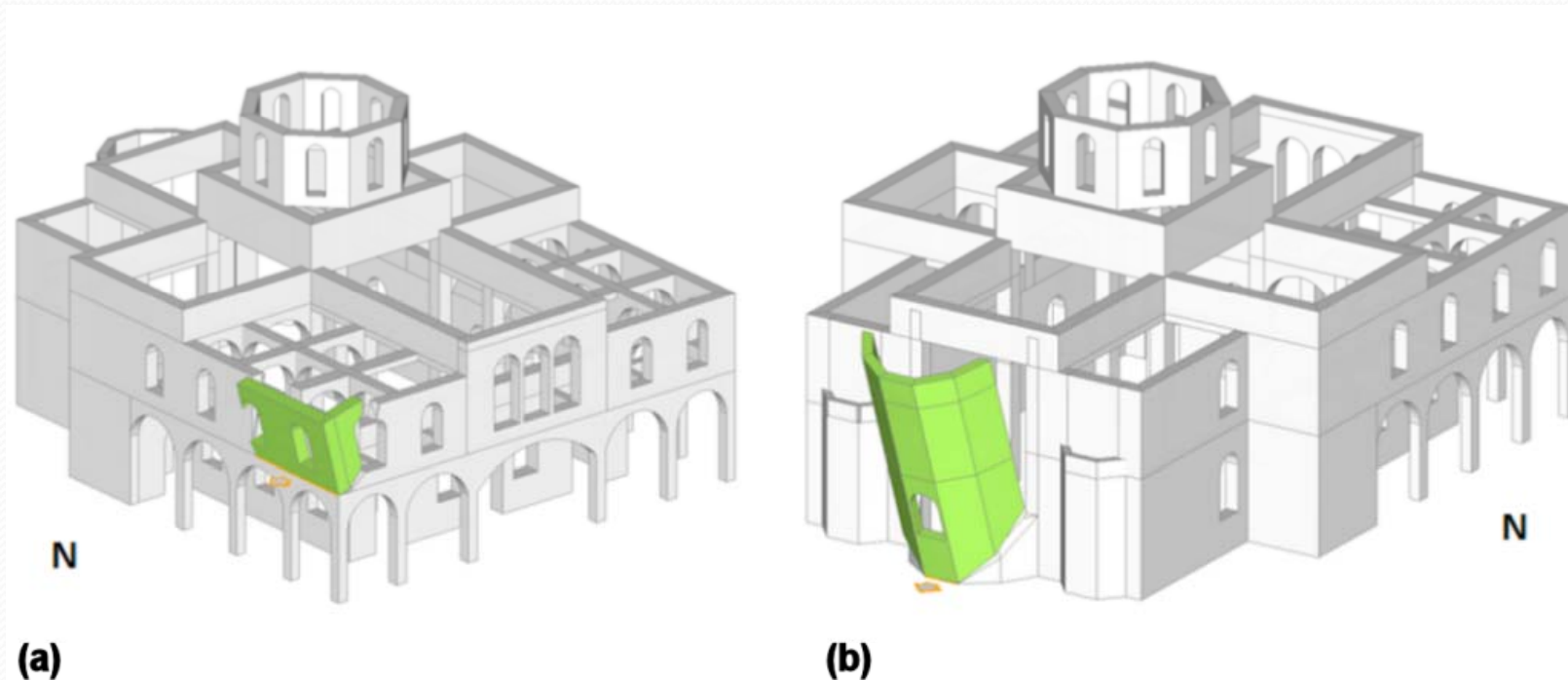
Στις αναλύσεις χρησιμοποιούνται τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας όπως αυτά προέκυψαν από τα **πειραματικά αποτελέσματα** και τις **επί τόπου ενόργανες μετρήσεις**.

Πραγματοποιήθηκαν δύο τύποι ανάλυσης:

- (i) **αναλύσεις τοπικών μηχανισμών** μελετώντας τμήματα του δομήματος τα οποία μπορούν να κινηθούν ανεξάρτητα από το συνολικό φέροντα οργανισμό, και
- (ii) αναλύσεις θεωρώντας το **σύνολο της κατασκευής** ως ένα συνεχές μέσο, όπου όλα τα επιμέρους τμήματα δρουν και παραμορφώνεται από κοινού κατά τη διάρκεια της διέγερσης.

Τα επιμέρους αυτά τμήματα καλούμενα και **μακροστοιχεία** προσδιορίζονται με αποδεκτή αξιοπιστία βάσει της λεπτομερούς **οπτικής επιθεώρησης** και **αποτύπωσης**.

Παραδείγματα Τοπικών Μηχανισμών Αστοχίας (Μακροστοιχεία)



(α) Ανατροπή τμήματος της βόρειας όψης,
(β) Ανατροπή της κεντρικής κόγχης στην ανατολική όψη.

Παραδείγματα Τοπικών Μηχανισμών Αστοχίας από Πρόσφατους Σεισμούς



(α) Σχολείο

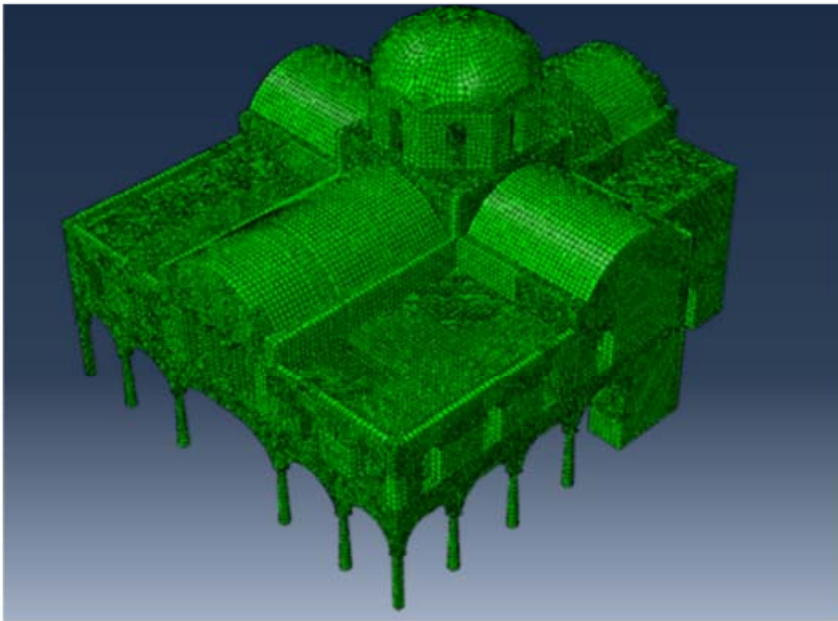


(β) Ιερός Ναός

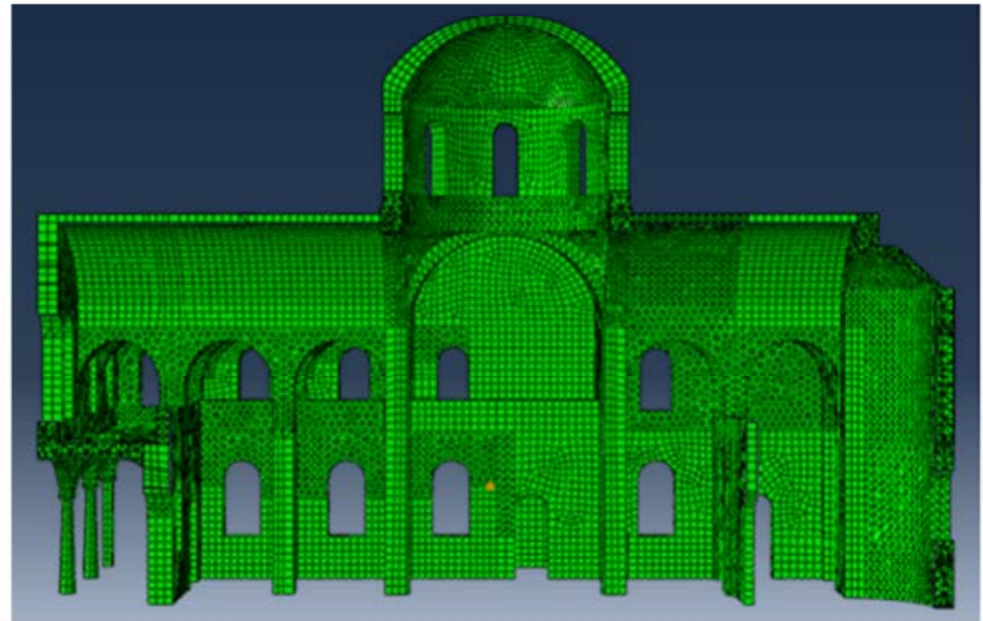
Παράδειγμα Εφαρμογής

Ανάλυση Συνόλου:

Προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων



(a)



(b)

(α) Τρισδιάστατη απεικόνιση,
(β) Τομή κατά μήκος της διεύθυνσης δύσης – ανατολής.

Παράδειγμα Εφαρμογής Αποτελέσματα αναλύσεων

Επιδιώκεται να επιτευχθούν οι στόχοι **B2** και **A1** λαμβάνοντας επεμβατικά μέτρα «Συνολικής Βελτίωσης» για κατηγορία **Σπουδαιότητας III** ($\gamma_I=1.2$).

Ανήκει σε **ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z2**.

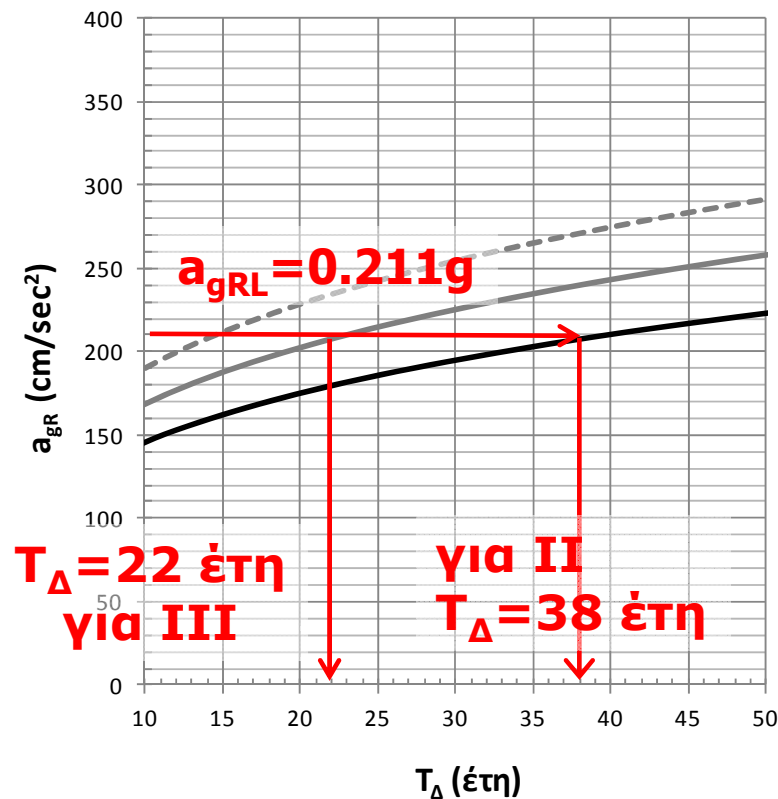
Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων έστω ότι:

- ❖ Η στάθμη «**Σημαντικές Βλάβες B**» επιτυγχάνεται για **$a_{gRL}=0.211g$**
- ❖ Η στάθμη «**Περιορισμένες Βλάβες A**» επιτυγχάνεται για **$a_{gRL}=0.165g$**

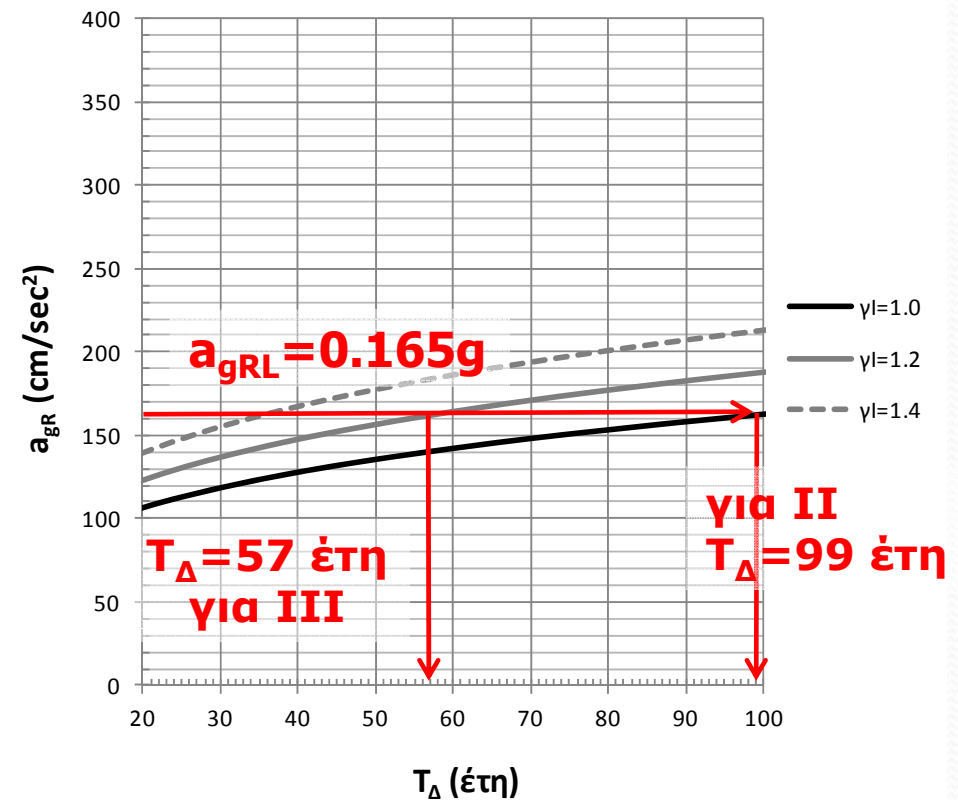
Παράδειγμα Εφαρμογής

Χρήση διαγραμμάτων για υπολογισμό T_{Δ}

$P_R=10\%$



$P_R=50\%$



Διαγράμματα υπολογισμού ονομαστικής διάρκειας ζωής, T_{Δ} .
Ενδεικτικά για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z2

Παράδειγμα Εφαρμογής Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα & Εναλλακτικές

	Σπουδαιότητα II $\gamma_I=1.0$				Σπουδαιότητα III $\gamma_I=1.2$			
	Περιορισμένες βλάβες		Σημαντικές βλάβες (B)		Περιορισμένες βλάβες (A)		Σημαντικές βλάβες (B)	
P_R	A	T_Δ	B	T_Δ	A	T_Δ	B	T_Δ
50%	A1	99	B1	-	A1	57	B1	-
10%	A2	-	B2	38	A2	-	B2	22

(1) Ικανοποιούνται τα κριτήρια (i) και (ii) που προτάθηκαν
ο Για **στάθμη A1** και Σπουδαιότητα III, $T_\Delta=57 > 50$ έτη.
ο Για **στάθμη B2** και Σπουδαιότητα III, προκύπτει $T_\Delta=22 > 20$ έτη.

(2) Μετά το πέρας των 22 ετών → νέα αποτίμηση και επιλογή είτε:
(α) εφαρμογής επεμβάσεων για την **εκ νέου επίτευξη του στόχου B2**, ή
(β) **περιορισμού της επισκεψιμότητας** του μνημείου για **επιπλέον 16 έτη**, δηλαδή προσωρινής θεώρησης του μνημείου ως κατηγορία Σπουδαιότητας II και πραγματοποίησης επανέλεγχου μετά το πέρας $T_\Delta=38$ ετών.

Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία με την εισαγωγή της έννοιας της «**ονομαστικής διάρκειας ζωής των παρεμβάσεων, T_{Δ}** » προτείνει μια εύχρηστη διαδικασία η οποία:

- (i) Εναρμονίζει τη σύγχρονη φιλοσοφία των **αντισεισμικών κανονισμών** με την **πρακτική των επεμβάσεων** σε κτίσματα πολιτιστικής κληρονομιάς.
- (ii) **Αποτρέπει την άμεση εφαρμογή παρεμβατικών επεμβάσεων** οι οποίες δεν ικανοποιούν αφενός μεν αισθητικά και αρχαιολογικά κριτήρια καθώς και τις βασικές αρχές των επεμβάσεων σε μνημεία (π.χ. Χάρτα Βενετίας).

Συμπεράσματα – (συνέχεια)

Η παρούσα εργασία με την εισαγωγή της έννοιας της «**ονομαστικής διάρκειας ζωής των παρεμβάσεων, T_{Δ}** » προτείνει μια εύχρηστη διαδικασία η οποία:

- (iii) Παρέχει τη δυνατότητα **εφαρμογής των παρεμβάσεων** σε μελλοντικό χρόνο **με χρήση των επιστημονικών δεδομένων και τεχνικών** που θα είναι τότε διαθέσιμα.
- (iv) Καθορίζει χρονικά όρια μετά την πάροδο των οποίων **η σεισμική διακινδύνευση** του κτίσματος **θα πρέπει να επανεξετάζεται.**



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Διεπιστημονική Ερευνητική Ομάδα Προστασίας Μνημείων

Ολοκληρωμένο Πρόγραμμα Διαγνωστικής Έρευνας και Στρατηγικός Σχεδιασμός Υλικών και Επεμβάσεων Συντήρησης και Αποκατάστασης του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στον Πανίερο Ναό της Αναστάσεως στα Ιεροσόλυμα

Καθ. Κ. Σπυράκος

Σχολή ΠΜ ΕΜΠ, Εργαστήριο
Αντισεισμικής Τεχνολογίας

Επιστημονικά Υπεύθυνη:

Καθ. Α. Μοροπούλου

Διεπιστημονική Ομάδα ΕΜΠ:

Καθ. Ε. Κορρές, Σχολή ΑΜ ΕΜΠ, τ. Διευθ. ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων»

Καθ. Α. Γεωργόπουλος, Σχολή ΑΤΜ ΕΜΠ, Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας

Καθ. Α. Μοροπούλου, Δ/ντρια Σπουδών ΔΠΜΣ ΕΜΠ Κατ. «Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης»,

Σχολή ΧΜ ΕΜΠ, Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών

Καθ. Κ. Σπυράκος, Σχολή ΠΜ ΕΜΠ, Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας



Β. Η Εμπειρία των Επεμβάσεων στον Πανάγιο Τάφο

Επιστημονική Ομάδα:

Κ. Χ. Σπυράκος, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ
Δ/ντης Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας

Χ. Μουζάκης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

Χ. Α. Μανιατάκης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Μεταδ. Ερευνητής

Σ. Ασημακόπουλος, Ηλεκτρονικός Μηχανικός, Ε.ΔΙ.Π. ΕΜΠ

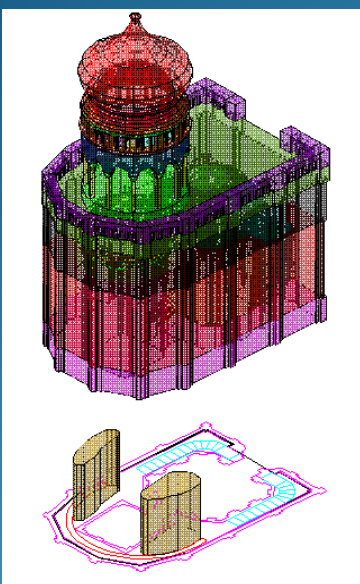
Εργασία:

Moropoulou, A., Korres, E., Georgopoulos, A., Spyarakos, C., Mouzakis, C., Lambrou, E., Pantazis, G., Kavvadas, M., Marinos, P., Moropoulos, N., Zafeiris, V., Lampropoulos, K., Apostolopoulou, M., Maniatakis, C.A., Agapakis, M., Agapakis, J., Fragkiadoulakis, A., (2017).

FAITHFUL REHABILITATION,

Civil Engineering—ASCE 2017;87(10):pp. 54-61,78-78

<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/cieqag.0001244>



Γενική άποψη του Παναγίου Τάφου πριν από τις επεμβάσεις



Απόψεις του Παναγίου Τάφου - εξωτερικά



Ανατολική όψη



Δυτική όψη

Απόψεις του Παναγίου Τάφου - εξωτερικά



Βόρεια όψη

Νότια όψη



Απόψεις του Παναγίου Τάφου - εσωτερικά



Παρεκκλήσιο του Αγγέλου



Κύριος ταφικός θάλαμος

Αποκατεστημένη μορφή



Η πρόκληση των
Επεμβάσεων σε Ιστορικές
Κατασκευές.
Η Εμπειρία των
Επεμβάσεων στον
Πανάγιο Τάφο



Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών & Τεχνικό
Επιμελητήριο Ελλάδας/Τμ. Δυτικής Ελλάδας
24^ο ΦΟΙΤΗΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ – 21 & 22 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2018

Σας ευχαριστώ

Κωνσταντίνος Χ. Σπυράκος



Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας,
Τομέας Δομοστατικής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ
<http://lee.civil.ntua.gr/>

