



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΧΩΡΟΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΔΟΜΗΜΕΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕ ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ & ΥΛΙΚΑ

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΜΕ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΥΠΟΨΗ ΤΟΝ ΒΑΘΜΟ ΚΟΡΕΣΜΟΥ
ΤΟΥ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ

Αλέξανδρος Λυρατζάκης

Επιβλέπων: Αναπληρωτής Καθηγητής ΙΩΑΝΝΗΣ ΤΣΟΜΠΑΝΑΚΗΣ

Σκοπός μελέτης

Η παρούσα μελέτη στοχεύει:

- Στην ακριβή προσομοίωση της μη-γραμμικής συμπεριφοράς τυπικών παραδοσιακών υφιστάμενων κατασκευών φέρουσας τοιχοποιίας.
- Στην ακριβέστερη δυνατή προσομοίωση της μη-γραμμικής συμπεριφοράς ακόρεστου εδάφους.
- Στην εφαρμογή σύγχρονης τεχνογνωσίας και μεθόδων που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον στο σχεδιασμό νέων κατασκευών, στη μελέτη κτισμάτων πολιτισμικής κληρονομιάς.
- Στον προσδιορισμό της μεταβολής της απόκρισης της ανωδομής ανάλογα με τη μεταβολή του βαθμού κορεσμού του υπεδάφους.
- Στον προσδιορισμό της Συνολικής Βελτίωσης (Σπυράκος, 2015) της κατασκευής και στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων ενίσχυσης της.

Περιεχόμενα Διπλωματικής

Κεφάλαιο 1^ο : Κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία

Κεφάλαιο 2^ο : Ενίσχυση κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία

Κεφάλαιο 3^ο : Δυναμική Αλληλεπίδραση Εδάφους - Θεμελίωσης - Κατασκευής

Κεφάλαιο 4^ο : Αποτίμηση των κατασκευών

Κεφάλαιο 5^ο : Αποτίμηση βάσει επιπέδων επιτελεστικότητας

Κεφάλαιο 6^ο : Αριθμητική προσομοίωση

Κεφάλαιο 7^ο : Επαυξητικές μη-γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας αρχικού κτιρίου

Κεφάλαιο 8^ο : Εφαρμογή μεθοδολογίας «Συνολικής Βελτίωσης» στον αρχικό φορέα

Κεφάλαιο 9^ο : Επαυξητικές μη-γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας ενισχυμένου κτιρίου

Κεφάλαιο 10^ο : Εφαρμογή μεθοδολογίας «Συνολικής Βελτίωσης» στον ενισχυμένο φορέα

Κεφάλαιο 11^ο : Συμπεράσματα

Παράρτημα Α : Επιρροή ιδιοπεριόδου συστήματος εδάφους κατασκευής στην απόκριση της ανωδομής

Παράρτημα Β : Αναλυτικά αποτελέσματα δυναμικών μη-γραμμικών αναλύσεων

Μέθοδοι ενίσχυσης των κατασκευών απο φερουσα τοιχοποιια

- Ενίσχυση θεμελιώσεων (αβαθής υποθεμελίωση, βαθιά υποθεμελίωση με μικροπασσάλους, ενίσχυση εδάφους)
- Διάζωμα οπλισμένου σκυροδέματος
- Αρμολόγημα
- Ενέματα
- Οριζόντιο διάφραγμα
- Ενίσχυση με προένταση
- Μανδίας οπλισμένου σκυροδέματος
- Ριζοοπλισμοί
- Ενίσχυση με σύνθετα υλικά

Ενίσχυση των κατασκευών

Κριτήρια επιλογής μέτρων ενίσχυσης:

- η δομική συμπεριφορά του κτιρίου μετά από πιθανές επεμβάσεις,
- η αντιστρεψιμότητα μίας επεμβάσεως,
- η δυνατότητα ή η απαίτηση να διατηρηθεί η μορφή της κατασκευής και μετά την επέμβαση,
- η συμβατότητα με τα υλικά της κατασκευής,
- η διαχρονικότητα της επέμβασης,
- το κόστος επέμβασης και μελλοντικής συντήρησης, ως προς την εγκατεστημένη αξία,
- ο χρόνος εκτέλεσης των εργασιών,
- το κόστος και η όχληση των ενοίκων,
- η δυνατότητα επαρκούς υποσύλωσης κατά τη διάρκεια των εργασιών επισκευής ή ενίσχυσης.

Δυναμική αλληλεπίδραση εδάφους - θεμελίωσης - κατασκευής

Φυσική του φαινομένου:

1. Η παραμόρφωση του εδάφους κατά τη σεισμική διέγερση συμπαρασύρει τη θεμελίωση και την υποστηριζόμενη κατασκευή.
2. Αναπτύσσονται στην κατασκευή αδρανειακές δυνάμεις, οι οποίες οδηγούν σε δυναμικές φορτίσεις, τη θεμελίωση και διαβιβάζονται στο έδαφος.
3. Ως αποτέλεσμα ένα πρόσθετο κυματικό πεδίο εκπέμπεται από τη διεπιφάνεια του εδάφους θεμελίωσης.
4. Το σύνθετο κυματικό πεδίο διεγείρει εκ νέου το σύστημα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη νέων αδρανειακών δυνάμεων και νέου κυματικού πεδίου.

Μέθοδοι ανάλυσης:

- ✓ **Άμεση μέθοδος:** Ικανότητα να συμπεριλάβει στην ανάλυση σύνθετες γεωμετρίες τόσο στο εδαφικό υλικό όσο και στην κατασκευή.
- ✓ **Μέθοδος αποσυζευγμένων συστημάτων:** Η ανάλυση γίνεται θεωρώντας γραμμική συμπεριφορά ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή της αρχής της επαλληλίας. Συνεπώς, δεν υπάρχει η δυνατότητα διεξαγωγής πλήρους μη-γραμμικής ανάλυσης.

Αποτίμηση των κατασκευών

Ορισμός: Η διαδικασία προσδιορισμού της συμπεριφοράς υφιστάμενων κατασκευών

Μέθοδοι Αποτίμησης:

1. Εμπειρικές μέθοδοι (Μέθοδοι Ταξινόμησης, Μέθοδοι Αξιολόγησης)
2. Πειραματικές μέθοδοι (μέτρηση της αντοχής των υλικών των κατασκευών, επιτόπου ή στο εργαστήριο)
3. Αναλυτικές μέθοδοι (ακριβέστερες μέθοδοι με αυξημένο κόστος και χρόνο εφαρμογής)
 - ελαστική στατική ανάλυση,
 - ελαστική δυναμική ανάλυση,
 - μη-γραμμική στατική ανάλυση,
 - μη-γραμμική δυναμική ανάλυση.

Επαυξητική μη-γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας

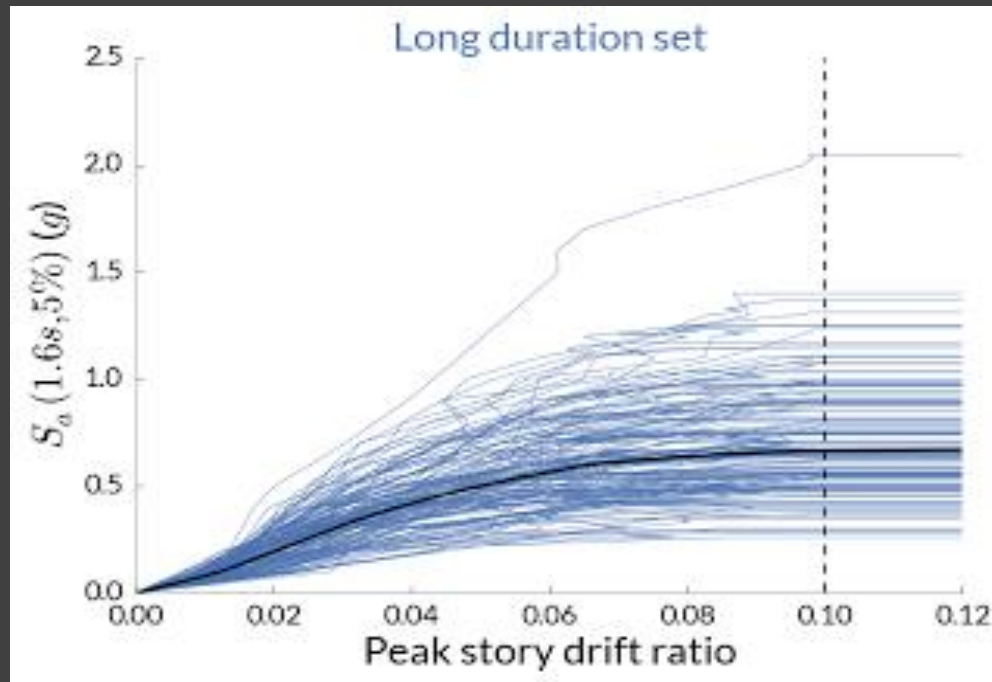
- ❖ Η νεότερη και ακριβέστερη μέθοδος.
- ❖ Εξέλιξη της μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης.
- ❖ Η κατασκευή υποβάλλεται σε παράλληλες αναλύσεις της ίδιας χρονοϊστορίας με αυξομείωση της μέγιστης επιτάχυνσης.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου:

1. Επιλέγεται το επιβαλλόμενο επιταχυνσιογράφημα (καταγραφή αναφοράς, a_1)
2. Επιβάλλεται το επιταχυνσιογράφημα σε διαφορετικές εντάσεις.
3. Για την αυξομείωση της εδαφικής κίνησης χρησιμοποιείται ενιαίος πολλαπλασιαστικός συντελεστής (Scale Factor). $\lambda \in [0, +\infty)$.
4. Επιλέγεται μέτρο έντασης (intensity measure, IM): μέγιστη επιτάχυνση εδάφους (PGA), μέγιστη ταχύτητα εδάφους (PVG), μέγιστη φασματική επιτάχυνση, που αντιστοιχεί στην πρώτη ιδιοπερίοδο της κατασκευής T_1 .
5. Ορίζεται ο δείκτης βλάβης (damage measure, DM) όπως η μέγιστη τέμνουσα βάσης, οι στροφές των κόμβων, η μέγιστη πλαστιμότητα των ορόφων, η μέγιστη μετατόπιση κορυφής και η μέγιστη στροφή ορόφου.

Καμπύλη IDA

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων συνοψίζονται στην καμπύλη IDA



Αποτίμηση βάσει επιπέδων επιτελεστικότητας

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΝΕΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Σχεδιασμός νέων κατασκευών βάσει της αξιολόγησης της συμπεριφοράς τους (Performance Based Design)

Το εξεταζόμενο κτίριο:

- ✓ πρέπει να μην υποστεί βλάβες σε συχνούς μικρούς σεισμούς,
- ✓ πρέπει να συνεχίσει να λειτουργεί με επισκευάσιμες βλάβες σε μέτριας έντασης σεισμούς,
- ✓ δεν πρέπει να καταρρεύσει σε σπάνιους αλλά ισχυρούς σεισμούς.

Σχεδιάζονται βάσει ενός προκαθορισμένου επιπέδου βλάβης για κάθε επίπεδο σεισμικής διέγερσης.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Έλλειψη κοινής προσέγγισης για την εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης μνημειακών και ιστορικών κατασκευών λόγω:

- Περιορισμών στην υλοποίηση επεμβάσεων σε κτίρια πολιτισμικής κληρονομιάς που προκύπτουν από διεθνώς αποδεκτές οδηγίες (Perpetuate).
- Ποικιλομορφίας στον τρόπο και στα υλικά δόμησης των ιστορικών κατασκευών.

Ανάγκη εύρεσης χρυσής τομής μεταξύ της ασφάλειας και του σεβασμού στην μνημειακή αξία της κατασκευής.

Συνολικής Βελτίωσης (Σπυράκος 2015): Νέα μεθοδολογία που αποσκοπεί στην εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης μνημειακών κατασκευών.

Μεθοδολογία «Συνολικής Βελτίωσης»

Στόχος: Εφαρμογή επεμβάσεων για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και για προκαθορισμένη οριακή κατάσταση.

Μετά το πέρας του χρονικού διαστήματος: Εκ νέου αποτίμηση του κτίσματος και επανεξέταση ανάγκης λήψης κατάλληλων μέτρων.

Συμβατική Διάρκεια Επέμβασης (T_{Δ}): Ορίζεται ως ο χρόνος για τον οποίο η επέμβαση εξασφαλίζει μια προκαθορισμένη στάθμη επιτελεστικότητας.

Υπολογισμός της περιόδου επαναφοράς (T_{RL}):

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

Σεισμική Ζώνη Z1

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

Σεισμική Ζώνη Z2

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

Σεισμική Ζώνη Z3

Υιοθετώντας κατανομή Poisson για τους σεισμούς, η T_{Δ} υπολογίζεται από τη σχέση:

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

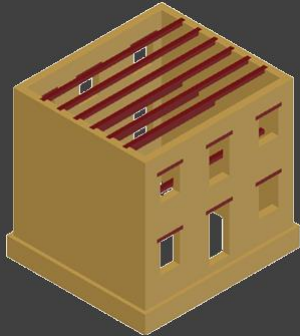
Προτείνεται, σύμφωνα με τα επίπεδα σχεδιασμού (Ε.Σ.) κατά ΚΑΝΕΠΕ:

- Η T_{Δ} να υπερβαίνει τα 50 έτη για στόχο A2.
- Η T_{Δ} να προσεγγίζει τα 50 έτη ή τουλάχιστον να μην υπολείπεται των 20 ετών για στόχο B1.

Προσομοίωση μοντέλου

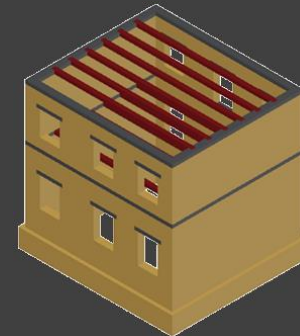
ΑΡΧΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ

- ❖ Τυπικό κτίριο άοπλης φέρουσας τοιχοποιίας ελληνικού τύπου
- ❖ Κατασκευασμένο από λαξευμένα λιθοσώματα και κονίαμα γενικής χρήσης
- ❖ Δάπεδα ορόφου και δώματος από ξύλινες δοκούς
- ❖ Ξύλινα υπέρθυρα
- ❖ Προέκταση και διαπλάτυνση τοιχοποιίας για τη θεμελίωση της κατασκευής



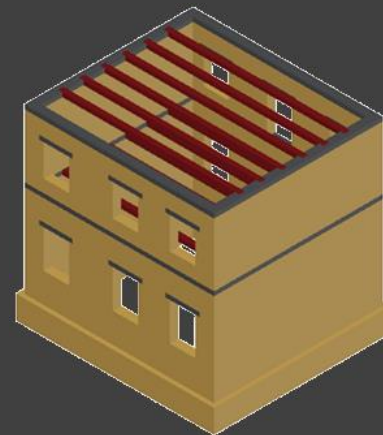
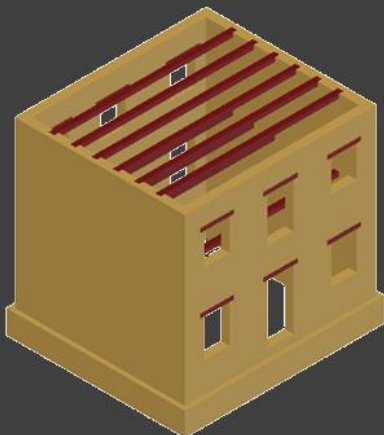
ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ

- Ενίσχυση της κατασκευής:
- ❖ Αντικατάσταση ξύλινων σενάζ με υπέρθυρα Ο/Σ.
 - ❖ Εγκιβωτισμός ξύλινων δοκών σε διαζώματα Ο/Σ



Διαστάσεις μοντέλου

- ❖ Διαστάσεις κάτοψης: 10X8m
- ❖ Πάχος τοιχοποιίας: 40cm
- ❖ Ύψος ισόγειου: 4m
- ❖ Ύψος ορόφου: 3cm
- ❖ Παράθυρα: 1.2mX1.8m, πόρτα: 1.2mX2.8m στο ισόγειο
- ❖ Παράθυρα: 1.2mX1.5m, πόρτα: 1.2mX2.2m στο ισόγειο
- ❖ Ξύλινες δοκοί: 20cmX40cm
- ❖ Υπέρθυρα ύψους: 20cm



Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά δομικών υλικών

Φέρουσα Τοιχοποιία

Σχεδιασμός σύμφωνα με τον EC6

- ✓ Θλιπτική αντοχή φέρουσας τοιχοποιίας $\Rightarrow f = K f_b^{0.7} f_m^{0.3} \Rightarrow f = 4.4 \text{MPa}$
- ✓ Εφελκυστική αντοχή τοιχοποιίας // στους αρμούς $\Rightarrow f_{t//} = f_m^k / 4 \Rightarrow f_{t//} = 0.125 \text{MPa}$
- ✓ Εφελκυστική αντοχή τοιχοποιίας \perp στους αρμούς $\Rightarrow f_{t\perp}^{t//} = f_m^k / 4 \Rightarrow f_{t\perp}^{t//} = 0.25 \text{MPa}$
- ✓ Μέτρο Ελαστικότητας $\Rightarrow E = 1000 f \Rightarrow E = 2.2 \text{GPa}$
- ✓ Λόγος Poisson \Rightarrow Δεν προσδιορίζεται βάσει του EC6 \Rightarrow Από βιβλιογραφία $\nu = 0.3$

Ξύλινες δοκοί

Επιλέχθηκε η χρήση ξυλείας μέσης αντοχής κατηγορίας C24 του EC5

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΞΥΛΙΝΩΝ ΔΟΚΩΝ		
Εφελκυστική αντοχή παράλληλα στις ίνες	$f_{t//}$ (MPa)	14
Εφελκυστική αντοχή κάθετα στις ίνες	$f_{t\perp}$ (MPa)	0.5
Θλιπτική αντοχή παράλληλα στις ίνες	$f_{t//}$ (MPa)	21
Θλιπτική αντοχή κάθετα στις ίνες	$f_{t\perp}$ (MPa)	2.5
Λόγος Poisson	ν	0.4
Μέτρο ελαστικότητας	E (GPa)	11
Πυκνότητα	ρ (kg/m ³)	350

Προσομοίωσης μη-γραμμικής συμπεριφοράς τοιχοποιίας

Κριτήριο διαρροής: Παραβολικό Drucker-Prager

$$f = \sqrt{3J_2 + \sqrt{3}\beta\sigma J_1} - \sigma = 0$$

όπου:

σ, β : σταθερές του υλικού,

J_1 : το πρώτο αναλλοίωτο μέγεθος του τανυστή τάσεων το οποίο δίνεται από την εξίσωση:

$$J_1 = \sum \sigma_{ii}$$

J_2 : το δεύτερο αναλλοίωτο μέγεθος του τανυστή των εκτροπικών τάσεων δίνεται από την εξίσωση:

$$J_2 = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}{6}$$

Σύμφωνα με την εξίσωση του κριτηρίου υπολογίστηκαν οι σταθερές σ & β :

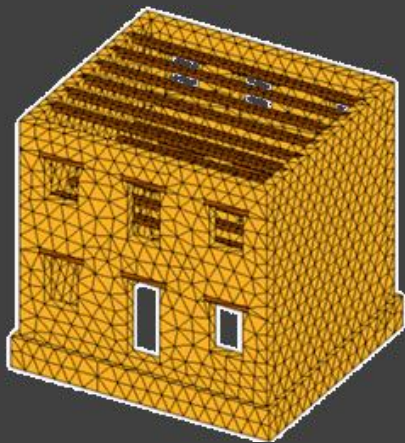
$$\sigma = 68 \text{ kPa}$$

$$\beta = 2.98$$

Προσομοίωμα Κατασκευής στο λογισμικό MSC Marc

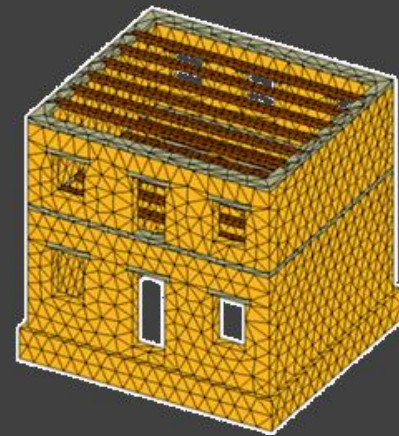
ΑΡΧΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ

- Συνολικά: 16401 3D solid τετράεδρα στοιχεία & 4982 κόμβοι.
- 3972 στοιχεία για την προσομοίωση των ξύλινων δοκών.
- 12429 στοιχεία για την προσομοίωση της τοιχοποιίας.



ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ

- Συνολικά: 17302 3D solid τετράεδρα στοιχεία & 5012 κόμβοι.
- 2984 στοιχεία για την προσομοίωση των ξύλινων δοκών.
- 3106 στοιχεία για την προσομοίωση των διαζωμάτων και σενάζ Ο.Σ.
- 11212 στοιχεία για την προσομοίωση της τοιχοποιίας



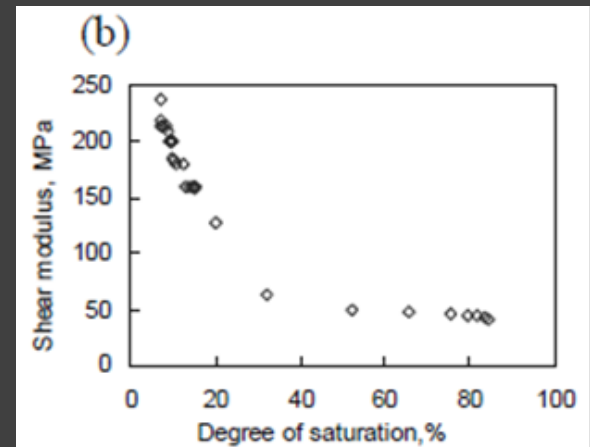
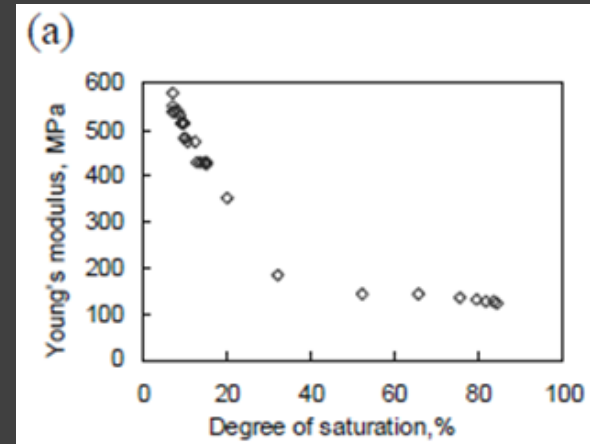
Χαρακτηριστικά εδαφικής στρώσης

Έδαφος θεμελίωσης: Ιλυώδης Άμμος

Κατάσταση κορεσμού: Μερικώς κορεσμένο

- Μεταβολή ρ , E , ν ανάλογα με τον S_r *
- Εξετάστηκαν 8 διαφορετικές καταστάσεις κορεσμού.

$S_r(\%)$	$E(\text{MPa})$	ν	$\rho(\text{kg/m}^3)$
8	540	0.35	1533.6
12	470	0.34285	1550.4
16	410	0.32258	1567.2
20	340	0.30769	1584
32	180	0.38461	1634.4
54	116	0.11538	1726.8
63	120	0.2	1764.6
80	110	0.14583	1836



* Evaluation of void ratio and elastic modulus of unsaturated soil using elastic waves. Buey et al. (2013)

Προσομοίωση μη-γραμμικής συμπεριφοράς εδαφους

Κριτήριο αστοχίας: κλασικό Cam Clay για ακόρεστα εδάφη

$$f = q^2 - M^2 p' (p'_m - p')$$

όπου

$$p'_m = e^{(N - \kappa \ln p') / (\lambda - \kappa)}$$

κ, λ : παράμετροι της καμπύλης συμπίεσης και αποφόρτισης,

N : παράμετρος της γραμμής ισότροπης συμπίεσης,

M : q/p' στην κρίσιμη κατάσταση.

Τροποποίηση κριτηρίου και προέκταση σε ακόρεστα εδάφη*

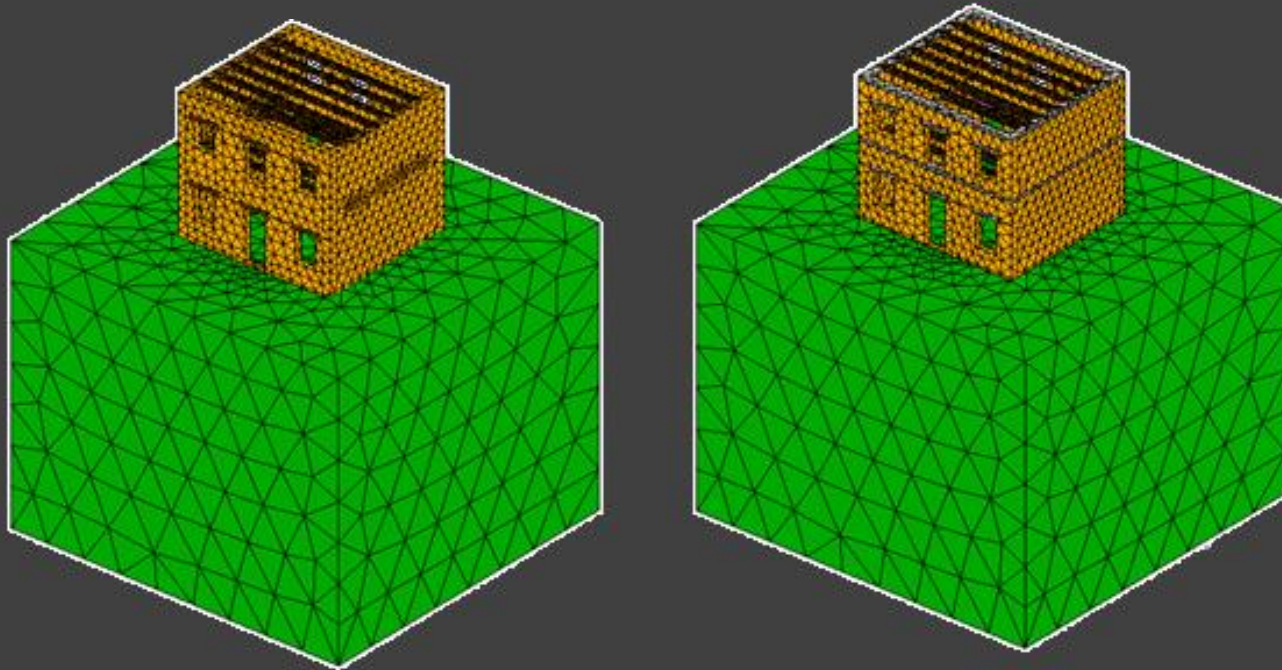
Μεταβολή του δείκτη προστεροποίησης συναρτήσε του βαθμού κορεσμού:

$$p'_c = p_{csat} e^{7(1 - sr)}$$

* Application to a compacted soil of a Cam Clay model extended to unsaturated conditions, Casini et al. (2008)

Προσομοίωμα Κατασκευής στο MSC Marc

- ✓ Διαστάσεις εδαφικής στρώσης: 20m x 20m x 15m
- ✓ Στοιχεία: 10085 3D solid τετράεδρα στοιχεία
- ✓ Εξασφάλιση συνέχειας: Ελατήρια δυσκαμψίας $k=12000\text{kN/m}$



Ιδιομορφική Ανάλυση

Σκοπός: Προσδιορισμός θεμελιώδους ιδιοπεριόδου ανωδομής.

Η φασματική επιτάχυνση για τη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο είναι απαραίτητη για την επιλογή και την κλιμάκωση των χρονοϊστοριών.

Δεσπόζουσα ιδιοπερίοδος => Η ιδιοπερίοδος της πρώτης ιδιομορφής, η οποία δεν μεταβάλλεται.

Αρχικό κτίριο

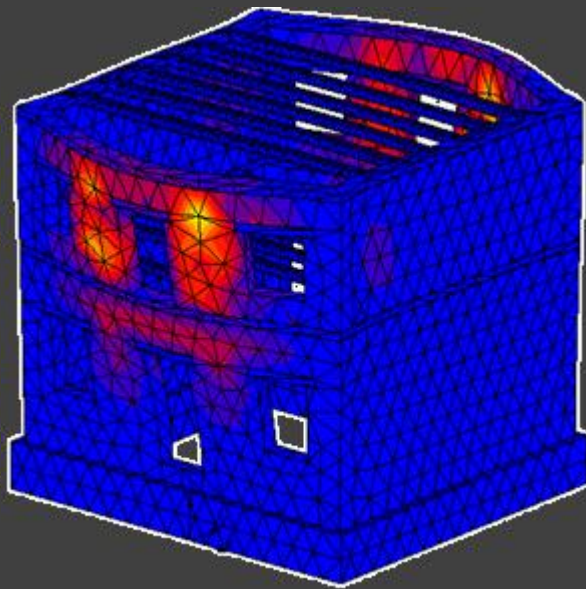
Ιδιομορφή	Ιδιοσυχνότητα (Hz)	Ιδιοπερίοδος (s)
1 ^η	11.94	0.5259
2 ^η	12.87	0.4879
3 ^η	14.84	0.4232
4 ^η	16.09	0.3903
5 ^η	21.31	0.2946
6 ^η	23.37	0.2687
7 ^η	24.17	0.2598
8 ^η	27.43	0.2289
9 ^η	28.87	0.2175
10 ^η	29.55	0.2125

Ενισχυμένο κτίριο

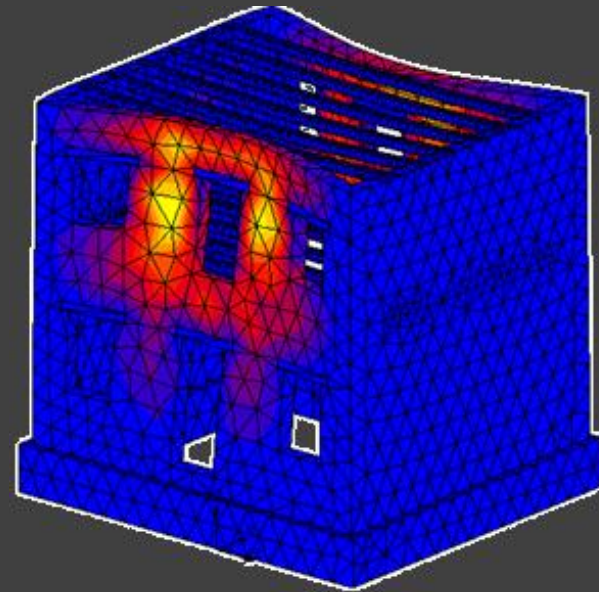
Ιδιομορφή	Ιδιοσυχνότητα (Hz)	Ιδιοπερίοδος (s)
1 ^η	11.96	0.5250
2 ^η	13	0.4830
3 ^η	15.03	0.4178
4 ^η	15.52	0.4046
5 ^η	19.18	0.3274
6 ^η	19.39	0.3238
7 ^η	20.71	0.3032
8 ^η	21.03	0.2986
9 ^η	22.49	0.2792
10 ^η	24.32	0.2582

Ιδιομορφές κτιρίου

ΑΡΧΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ



ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ



3^η Ιδιομορφή

Επιλογή χρονοϊστοριών

Επιλογή σεισμών από τη βάση δεδομένων του Berkeley βάσει των εξής κριτηρίων:

- Συμβατότητα με το φάσμα σχεδιασμού τύπου 1 του EC8, το οποίο χρησιμοποιείται στην Ελλάδα.
- Σεισμοί κοντινού και μέσου πεδίου (επικεντρική απόσταση κάτω από 30km).
- Σεισμοί με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση από 0.4g μέχρι 0.7g.
- Σεισμοί μεγέθους από 6R μέχρι 7.5R.
- Site Class: D.

Region	Station name	Eq magnitude	PGA (g)
Imperial Valley-06	Bonds Corner	6.53	0.686
	El Centro Array #5		0.448
	El Centro Array #7		0.42
	El Centro Array #8		0.538
Mammoth Lakes	Convict Creek	6.06	0.419
Coalinga-01	Pleasant Valley P.P.	6.36	0.571
N. Palm Springs	North Palm Springs	6.06	0.59
	Whitewater Trout Farm		0.602
Chalfant Valley	Zack Brothers Ranch	6.19	0.425
Loma Prieta	Capitola	6.93	0.48
	Gilroy Array #3		0.462
Cape Mendocino	Rio Dell Overpass - FF	7.01	0.424
Big Bear-01	Big Bear Lake - Civic Cr	6.46	0.503
Northridge-01	Beverly Hills - 14145	6.69	0.459
	Canyon Country		0.436
	LA - Obregon Park		0.467
	Newhall - Fire Sta		0.698
	Pardee - SCE		0.505
	Rinaldi Receiving Sta		0.634
	Santa Monica City Hall		0.591

Κλιμάκωση επιταχυνσιογραφημάτων

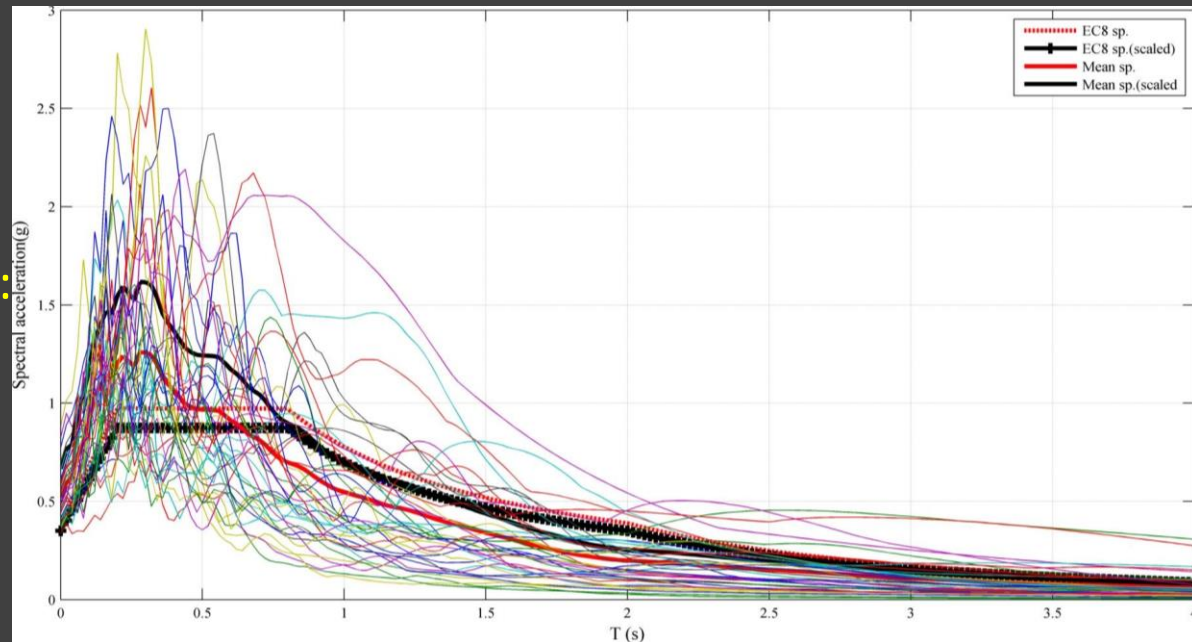
Δημιουργία φάσματος σχεδιασμού στο λογισμικό ISSARS (Σέξτος,2010) για:

- δεσπόζουσα ιδιοπερίοδο $T=0.525s$,
- τοπικές εδαφικές στρωματογραφικές συνθήκες: Site Class: D,
- απόσβεση 5%,
- PGA 0.24g.

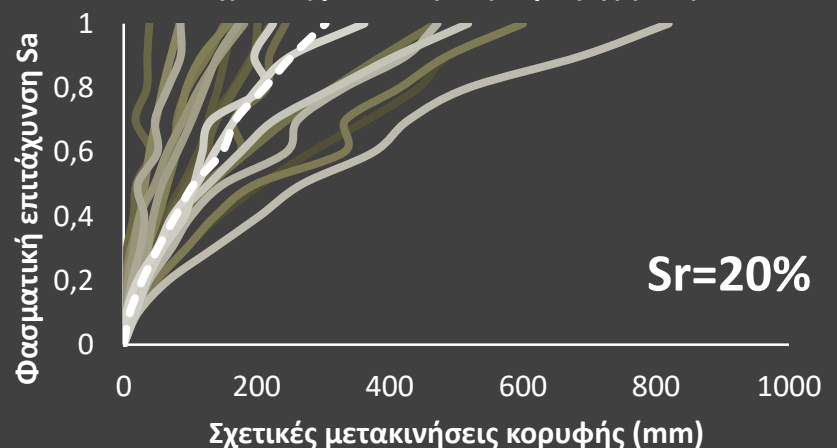
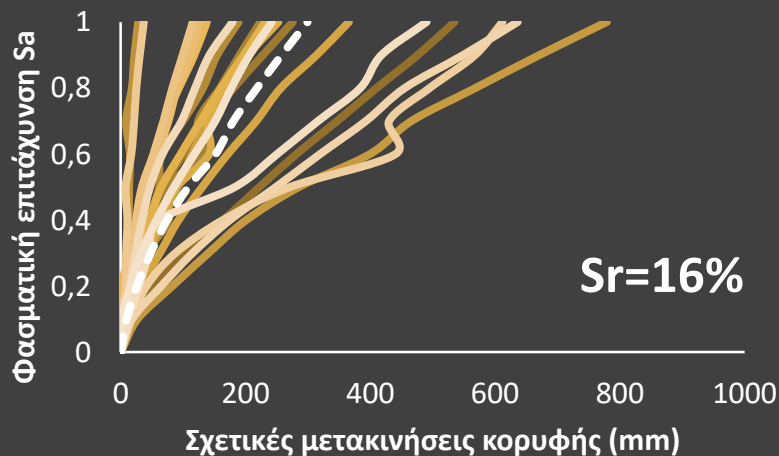
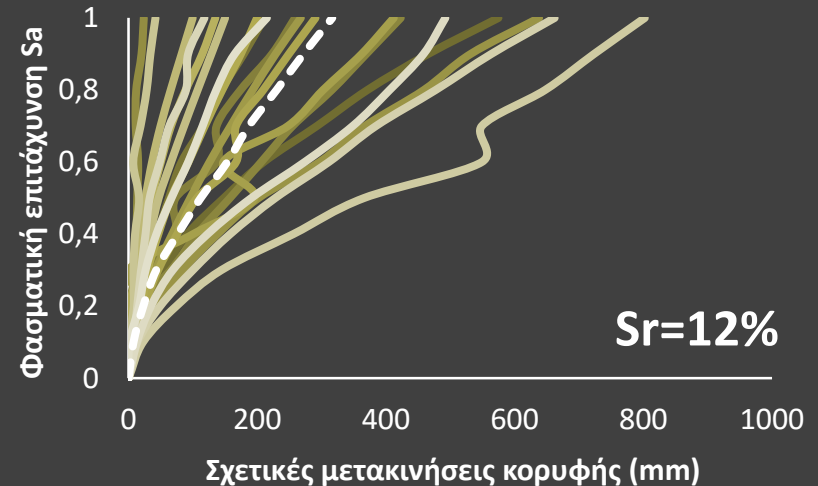
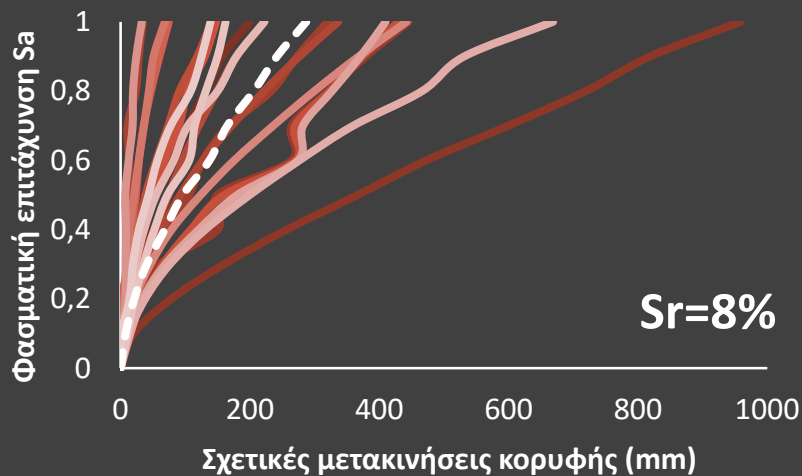
Συντελεστής κλιμάκωσης:

0.7825

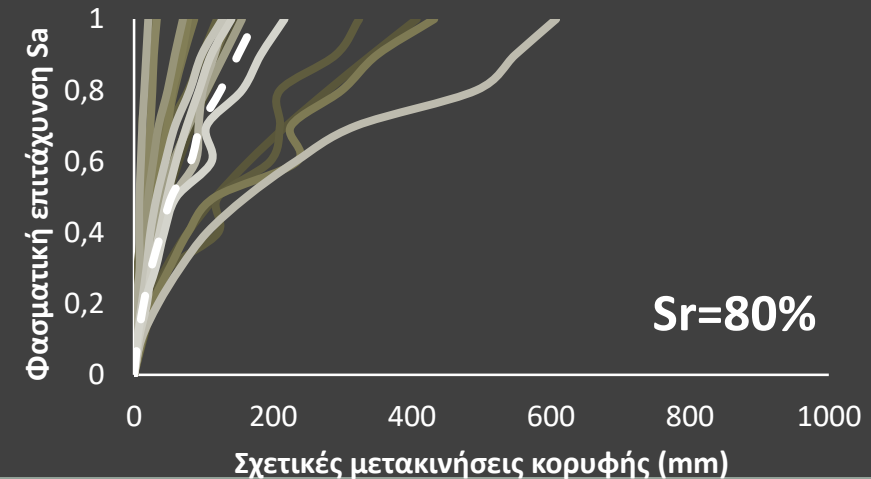
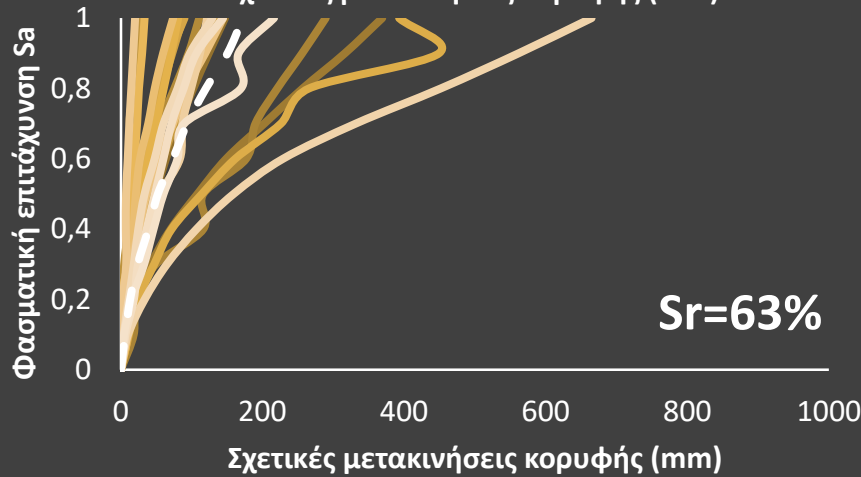
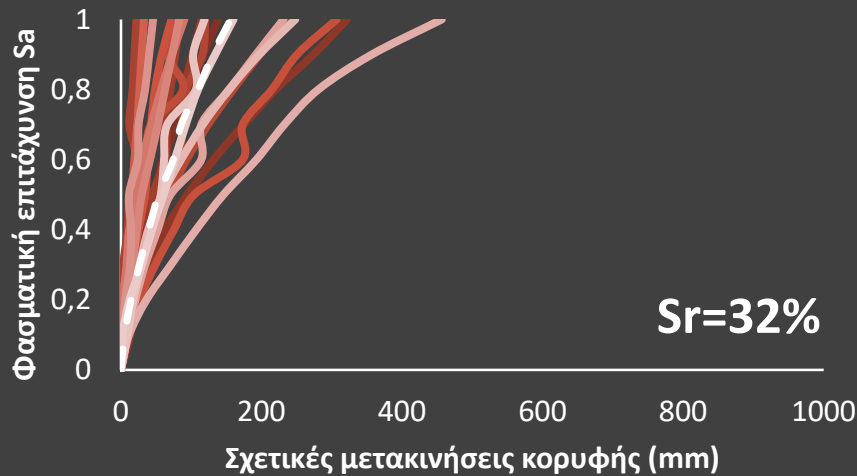
$Sa(T_1)=0.976g$



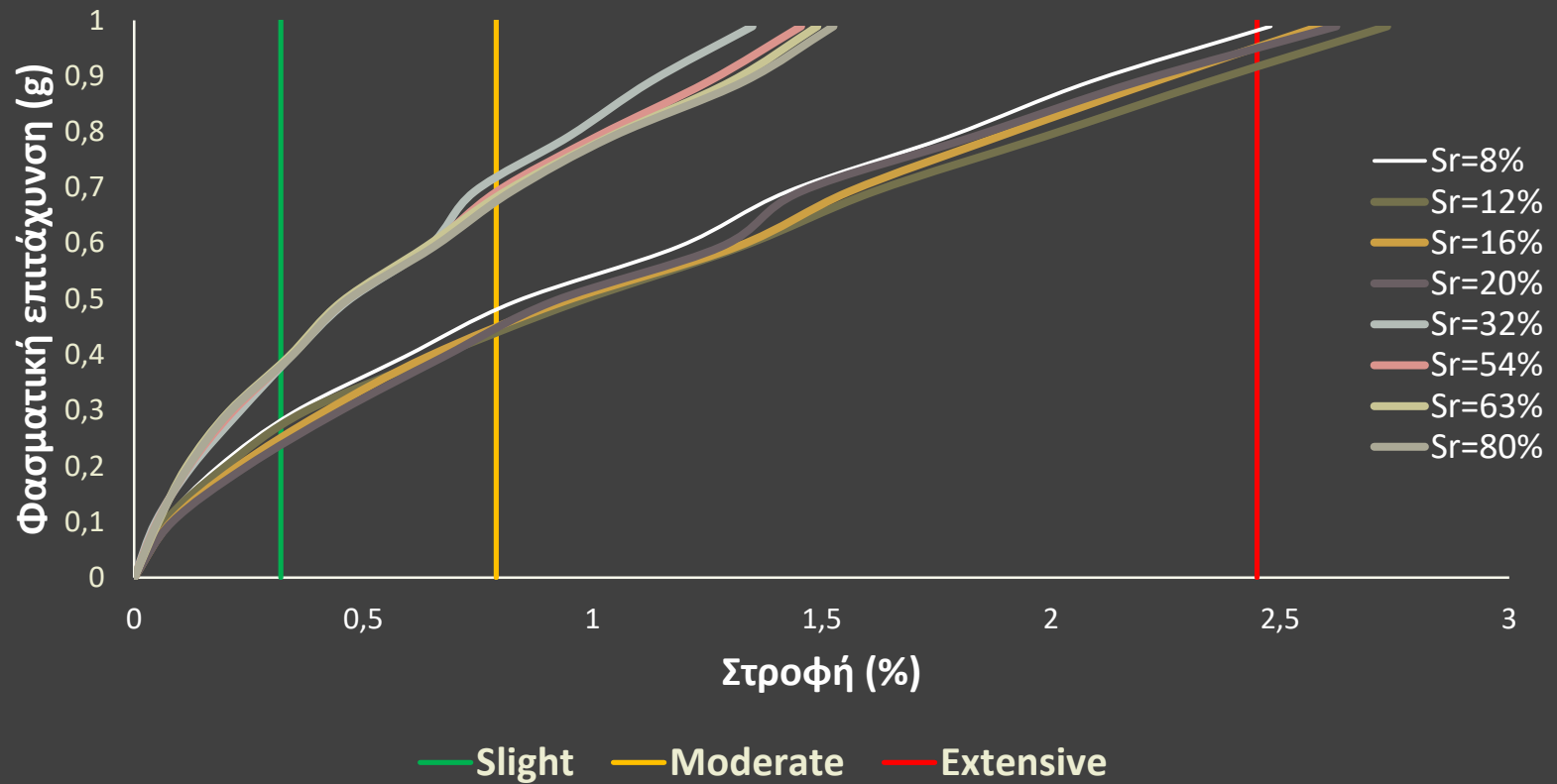
Αρχικό κτίριο: Καμπύλες IDA για μικρές τιμές του Sr



Αρχικό κτίριο: Καμπύλες IDA για μεγάλες τιμές του Sr



Αρχικό κτίριο: Οριακές καταστάσεις & Μέσες καμπύλες ανά Sr



Αρχικό κτίριο: συμβατική διάρκεια ζωής ανά βαθμό κορεσμού

Στάθμη	Ε.Σ.	P _R	A-Sr8 T _Δ (έτη)	A-Sr12 T _Δ (έτη)	A-Sr16 T _Δ (έτη)	A-Sr20 T _Δ (έτη)	A-Sr32 T _Δ (έτη)	A-Sr54 T _Δ (έτη)	A-Sr63 T _Δ (έτη)	A-Sr80 T _Δ (έτη)
Slight (Α)	A1	10	1	1	1	1	4	5	5	5
	A2	50	9<50	7<50	5<50	4<50	26<50	23<50	30<50	30<50
Moderate (Β)	B1	10	8<20	8<20	7<20	6<20	38<50	38<50	40<50	38<50
	B2	50	54	51	43	38	252	252	262	252
Extensive (Γ)	Γ1	10	134	114	114	134	-	-	483	455
	Γ2	50	884	751	751	884	-	-	3177	2999

Προσδιορισμός συνολικής διάρκειας ζωής για μεταβαλλόμενες συνθήκες κορεσμού

Ο υπολογισμός της συνολικής διάρκειας ζωής της κατασκευής έγινε λαμβάνοντας υπόψιν ότι:

- ❖ Η απόκριση του κτιρίου διαφέρει ανάλογα με τον βαθμό κορεσμού του υπεδάφους.
- ❖ Ο βαθμός κορεσμού του εδάφους μεταβάλλεται με το χρόνο.

Δεν υπάρχουν στοιχεία από σχετικές μελέτες για την ετήσια διακύμανση του βαθμού κορεσμού.

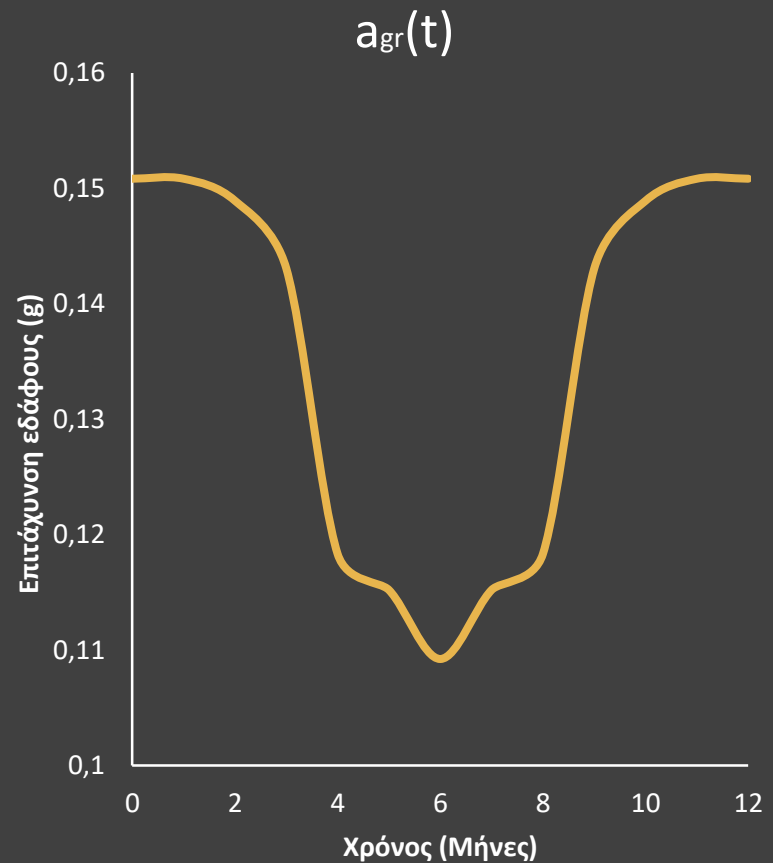
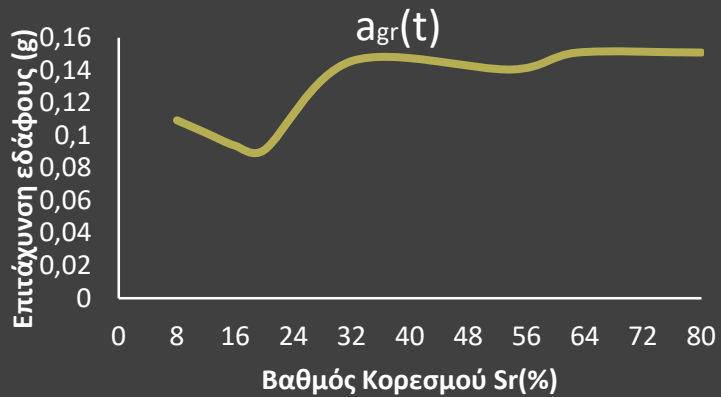
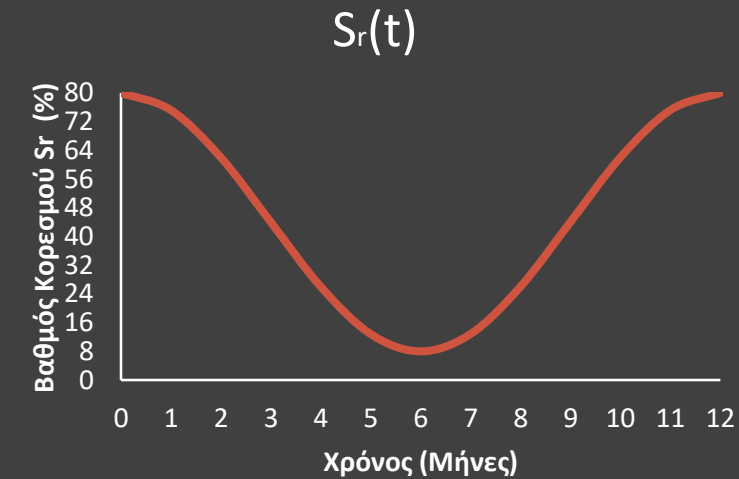
Παρατηρήθηκε ότι η μεταβολή του ύψους βροχής ακολουθούν περίπου ημιτονοειδή καμπύλη και θεωρήθηκε ότι και το διάγραμμα της μεταβολής του βαθμού κορεσμού θα είναι αυτής της μορφής.

Συνάρτηση μεταβολής:

$$S_r(t): S_r = 44 + 36 \cos(\pi t / 6)$$

$$S_r \in [8, 80]$$

Επίπεδο σχεδιασμού Α2: Διάγραμμα $S_r(t)$ (Αρχικό κτίριο)



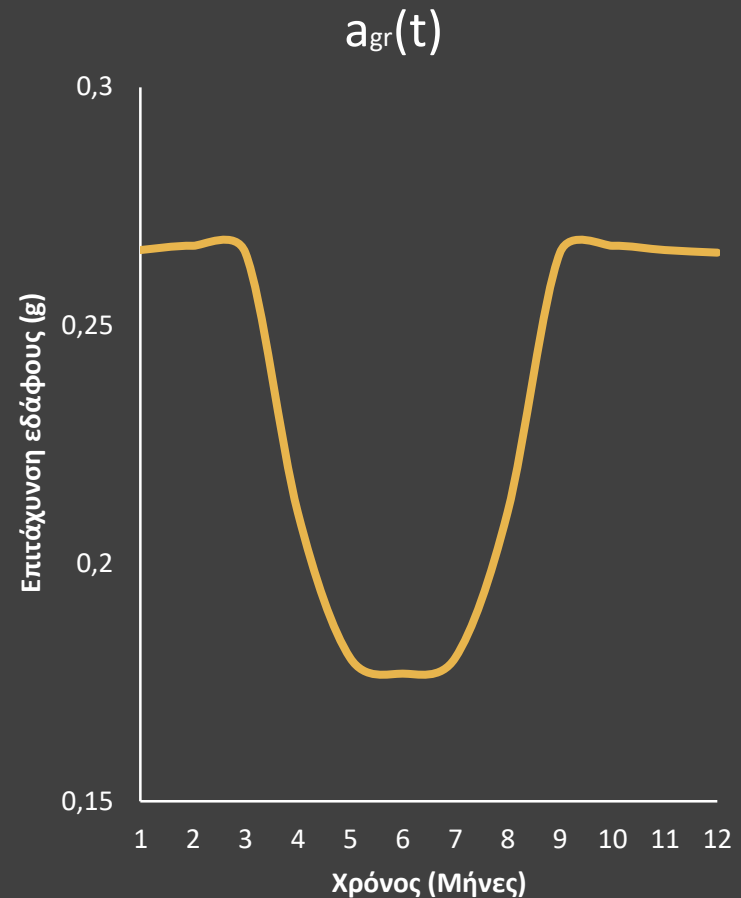
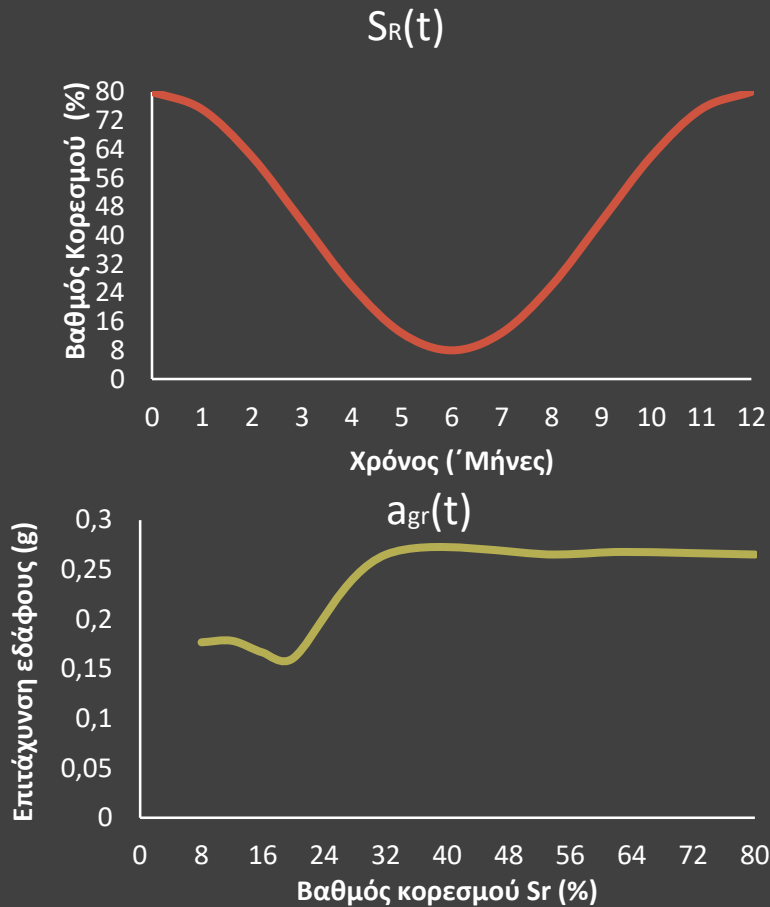
Επίπεδο σχεδιασμού A2: Υπολογισμός T_{Δ} (Αρχικό κτίριο)

Μήνας	S_r (%)	α_{gr} (g)	T_{Δ} (έτη)	Πιθανότητα υπέρβασης για 9 έτη
1	75.173	0.15083	30	15.00
2	61.987	0.14892	28	16.07
3	43.978	0.14306	24	18.75
4	25.975	0.118325	12	37.50
5	12.805	0.1152	10	45.00
6	8	0.10922	9	50.00
7	12.848	0.1152	10	45.00
8	26.05	0.118325	12	37.50
9	44.065	0.14306	24	18.75
10	62.063	0.14892	28	16.07
11	75.217	0.15083	30	15.00
12	80	0.15083	30	15.00

$$T_{\Delta} = 50T_{\Delta cr} / (\sum P_{9i} / 12) = 50T_{\Delta cr} / P_{9tot}$$

$$T_{\Delta} = 16 \text{ έτη}$$

Επίπεδο σχεδιασμού Β1: Διάγραμμα $S_r(t)$ (Αρχικό κτίριο)



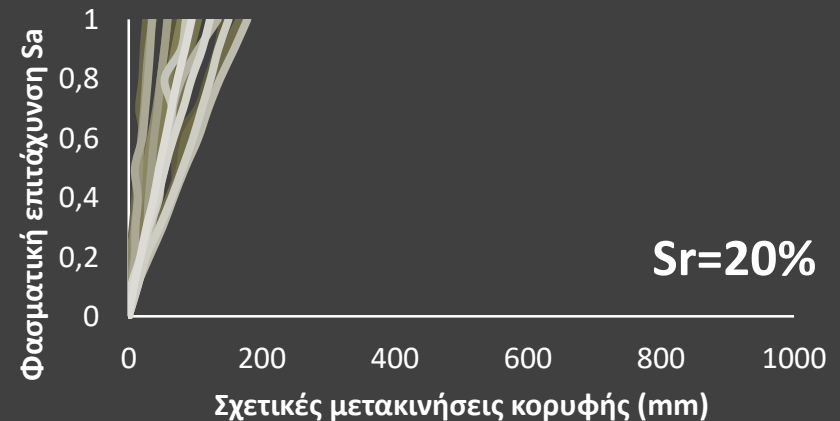
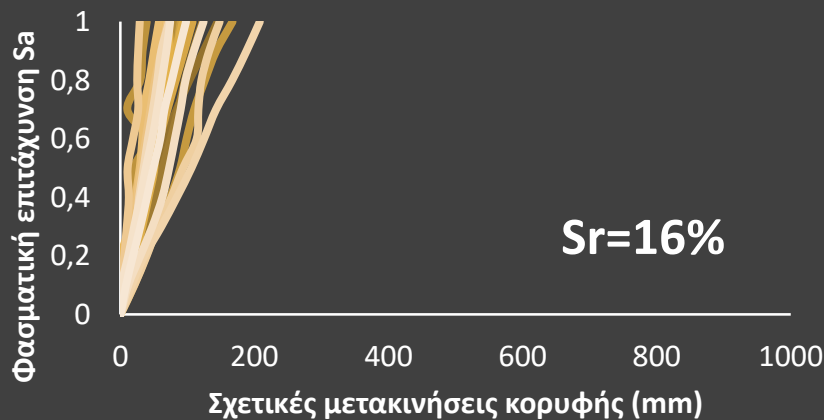
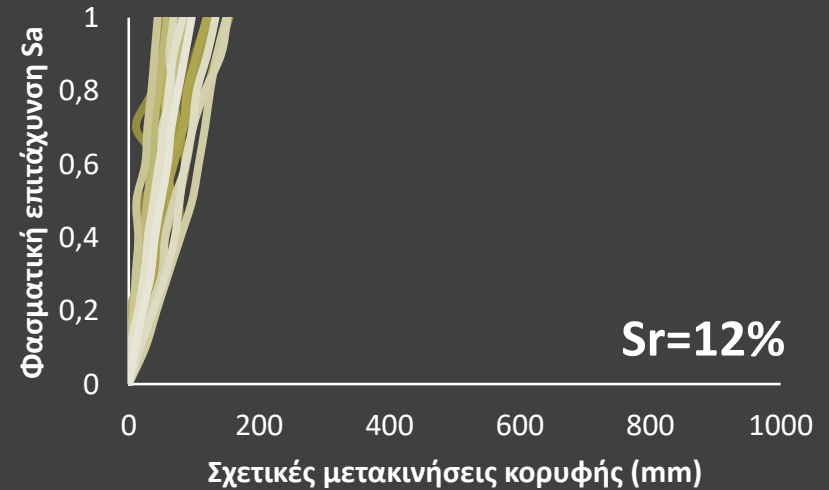
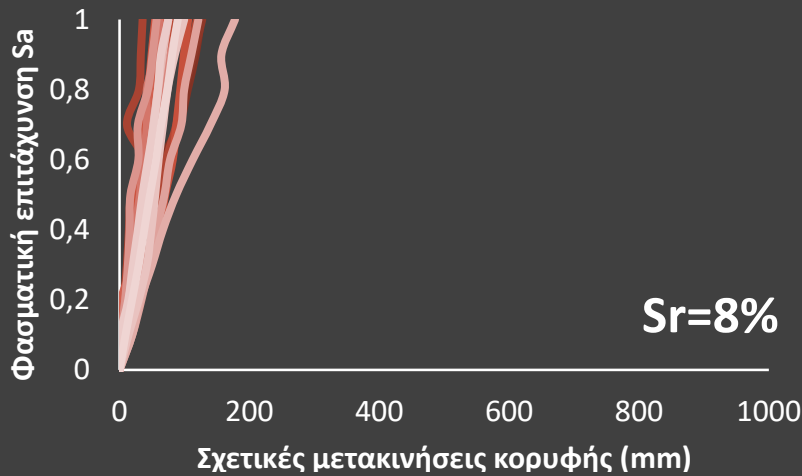
Επίπεδο σχεδιασμού B1: Υπολογισμός T_{Δ} (Αρχικό κτίριο)

Μήνας	S_r (%)	a_{gr} (g)	T_{Δ} (έτη)	Πιθανότητα υπέρβασης για 8 έτη
1	75.173	0.2658	39	2.05
2	61.987	0.2667	39	2.05
3	43.978	0.2653	38	2.11
4	25.975	0.2107	16	5
5	12.805	0.1801	9	8.89
6	8	0.1768	8	10
7	12.848	0.1801	9	8.89
8	26.05	0.2107	16	5
9	44.065	0.2653	38	2.11
10	62.063	0.2667	39	2.05
11	75.217	0.2658	39	2.05
12	80	0.2653	38	2.11

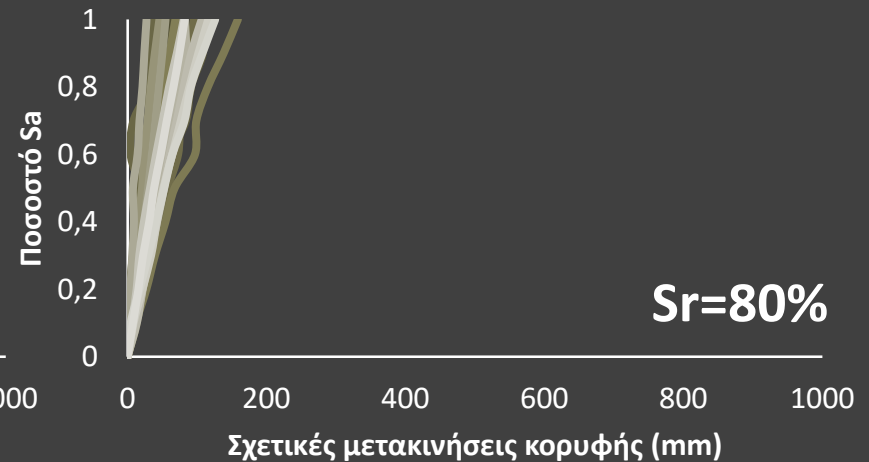
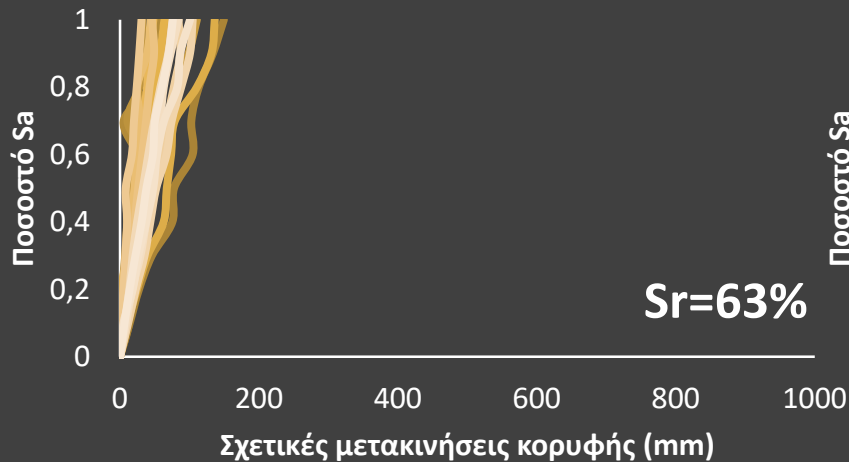
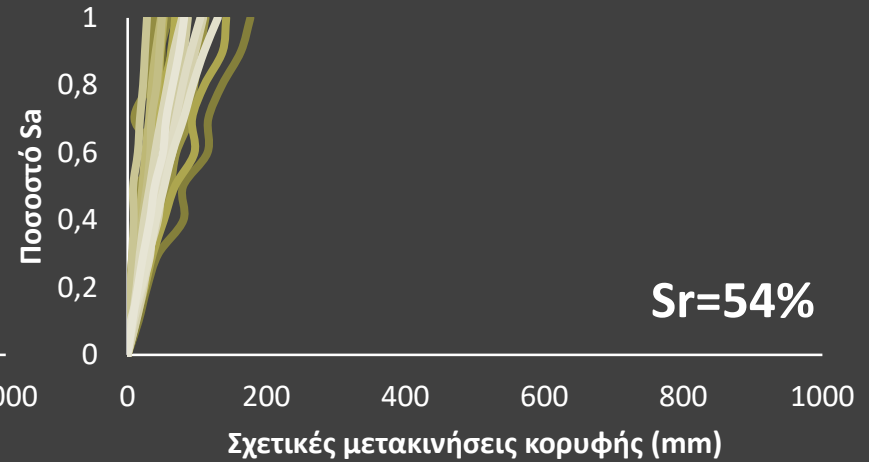
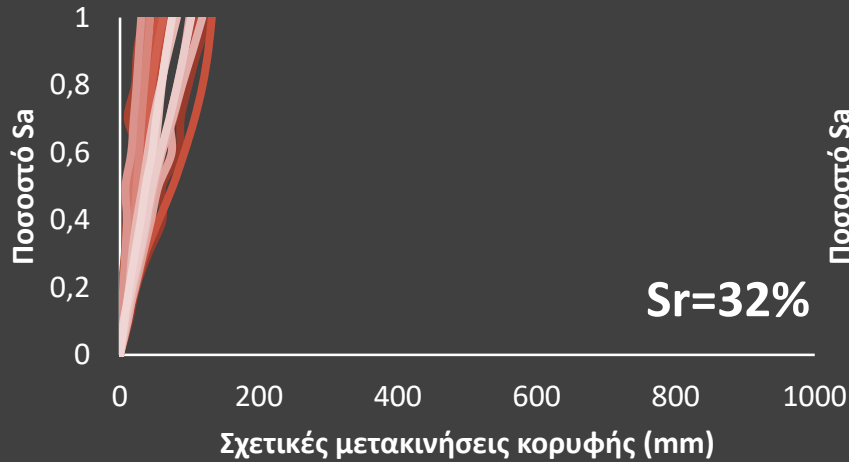
$$T_{\Delta} = 10T_{\Delta cr} / (\sum P_{gi} / 12) = 10T_{\Delta cr} / P_{8tot}$$

$$T_{\Delta} = 19 \text{ έτη}$$

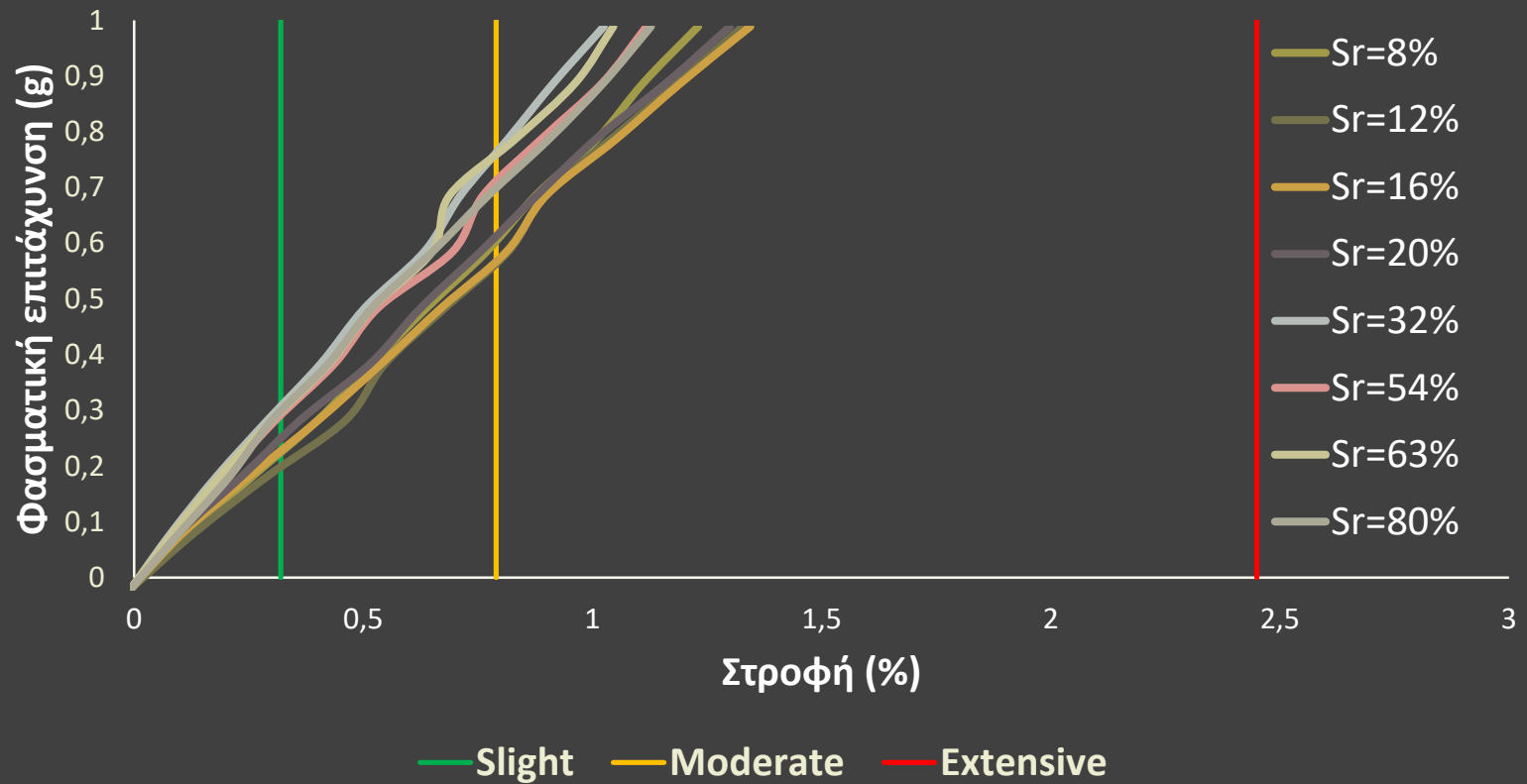
Ενισχυμένο κτίριο: Καμπύλες IDA για μικρές τιμές του S_r



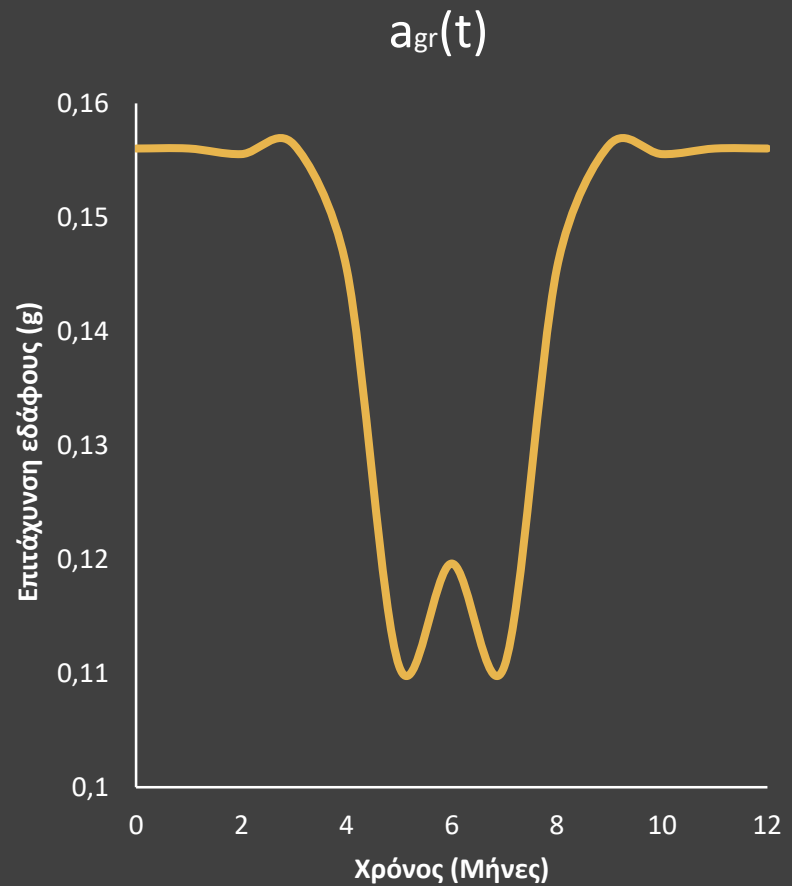
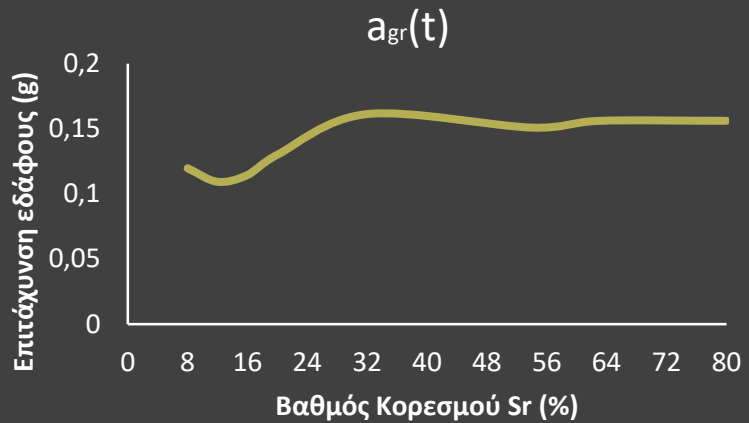
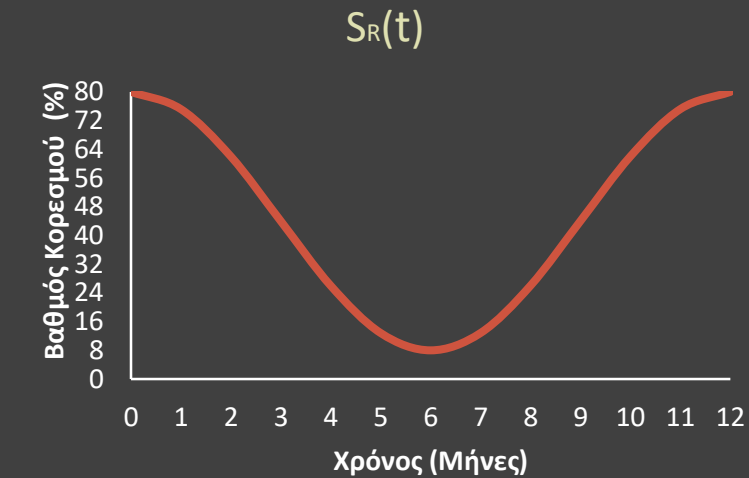
Ενισχυμένο κτίριο: Καμπύλες IDA για μεγάλες τιμές του Sr



Ενισχυμένο κτίριο: Οριακές καταστάσεις & Μέσες καμπύλες ανά Sr



Επίπεδο σχεδιασμού A2: Διάγραμμα $S_r(t)$ (Ενισχυμένο κτίριο)



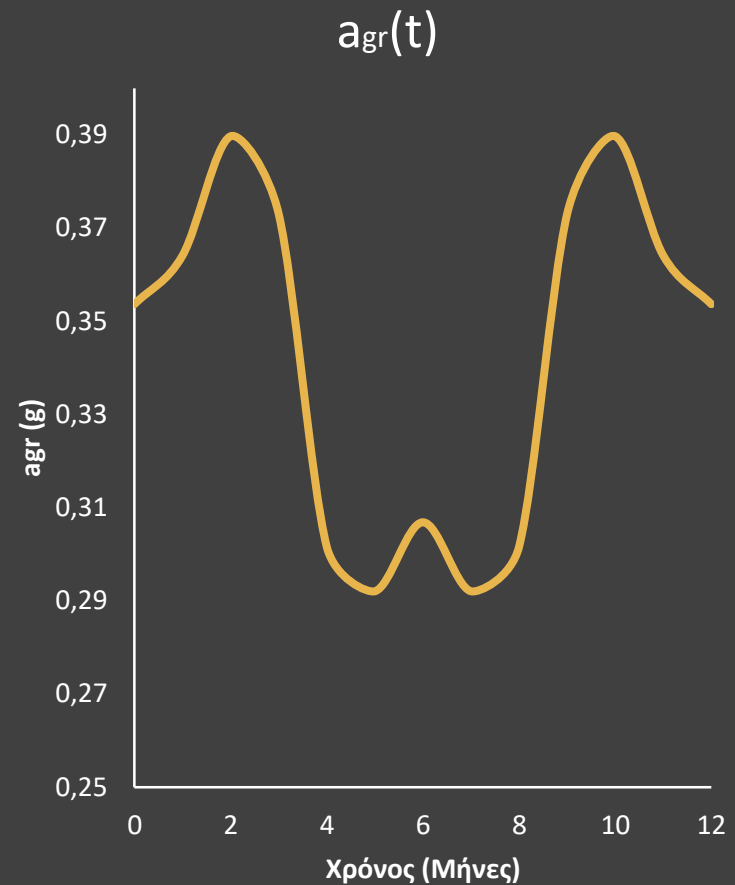
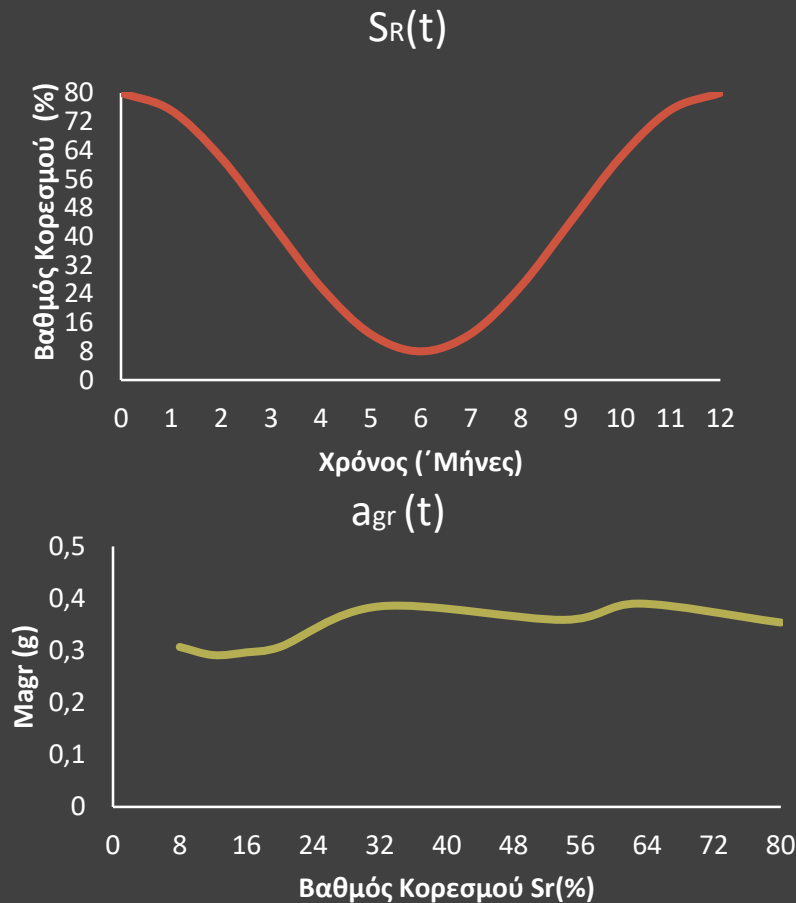
Επίπεδο σχεδιασμού A2: Υπολογισμός T_{Δ} (Ενισχυμένο κτίριο)

Μήνας	S_r (%)	α_{gr} (g)	T_{Δ} (έτη)	Πιθανότητα υπέρβασης για 9 έτη
1	75.173	0.15603	34	13.24
2	61.987	0.15554	33	13.64
3	43.978	0.15637	34	13.24
4	25.975	0.14553	26	17.31
5	12.805	0.1106	9	50.00
6	8	0.11962	12	37.50
7	12.848	0.1106	9	50.00
8	26.05	0.14553	26	17.31
9	44.065	0.15637	34	13.24
10	62.063	0.15554	33	13.64
11	75.217	0.15603	34	13.24
12	80	0.15603	34	13.24

$$T_{\Delta} = 50T_{\Delta cr} / (\sum P_{gi} / 12) = 50T_{\Delta cr} / P_{8tot}$$

$$T_{\Delta} = 21 \text{ Έτη}$$

Επίπεδο σχεδιασμού Β2: Διάγραμμα $S_r(t)$ (Ενισχυμένο κτίριο)



Επίπεδο σχεδιασμού B1: Υπολογισμός T_{Δ} (Ενισχυμένο κτίριο)

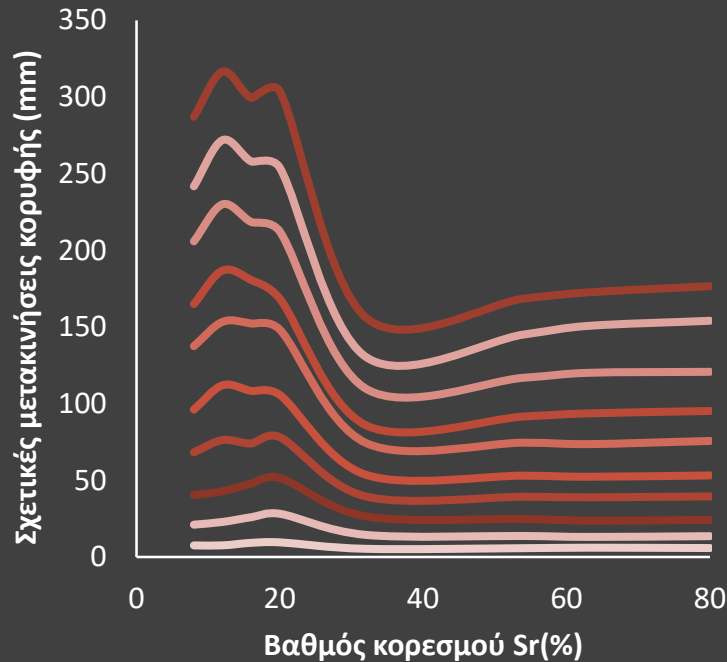
Μήνας	S_r (%)	a_{gr} (g)	T_{Δ} (έτη)	Πιθανότητα υπέρβασης για 55 έτη
1	75.173	0.3641	127	4.33
2	61.987	0.3897	164	3.35
3	43.978	0.37301	140	3.93
4	25.975	0.3016	62	8.87
5	12.805	0.29205	55	10.00
6	8	0.30686	67	8.21
7	12.848	0.29205	55	10.00
8	26.05	0.3016	62	8.87
9	44.065	0.37301	140	3.93
10	62.063	0.3897	164	3.35
11	75.217	0.3641	127	4.33
12	80	0.35366	114	4.82

$$T_{\Delta} = 10T_{\Delta cr} / (\sum P_{55i} / 12) = 10T_{\Delta cr} / P_{55tot}$$

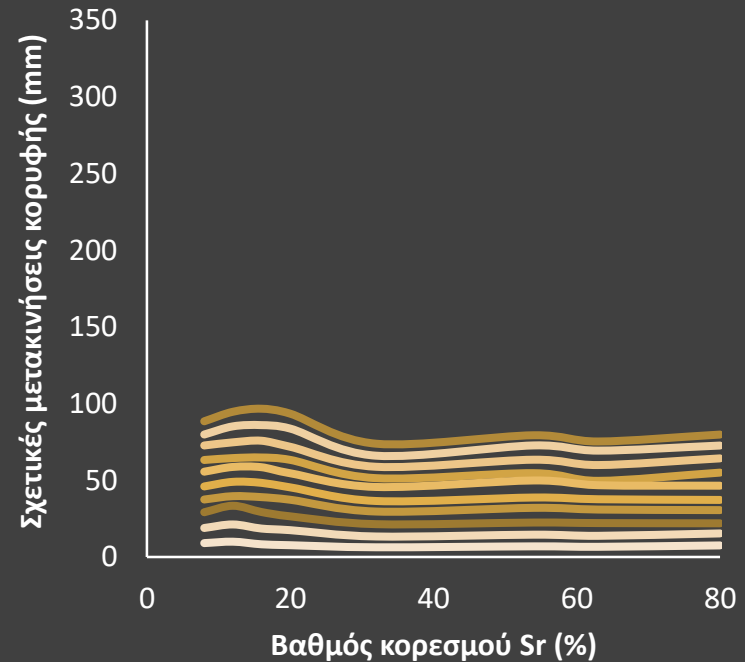
$$T_{\Delta} = 89 \text{ Έτη}$$

Συμπεράσματα: Επιβεβαίωση μεταβολής απόκρισης κατασκευής ανάλογα με το βαθμό κορεσμού υπεδάφους

ΑΡΧΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ

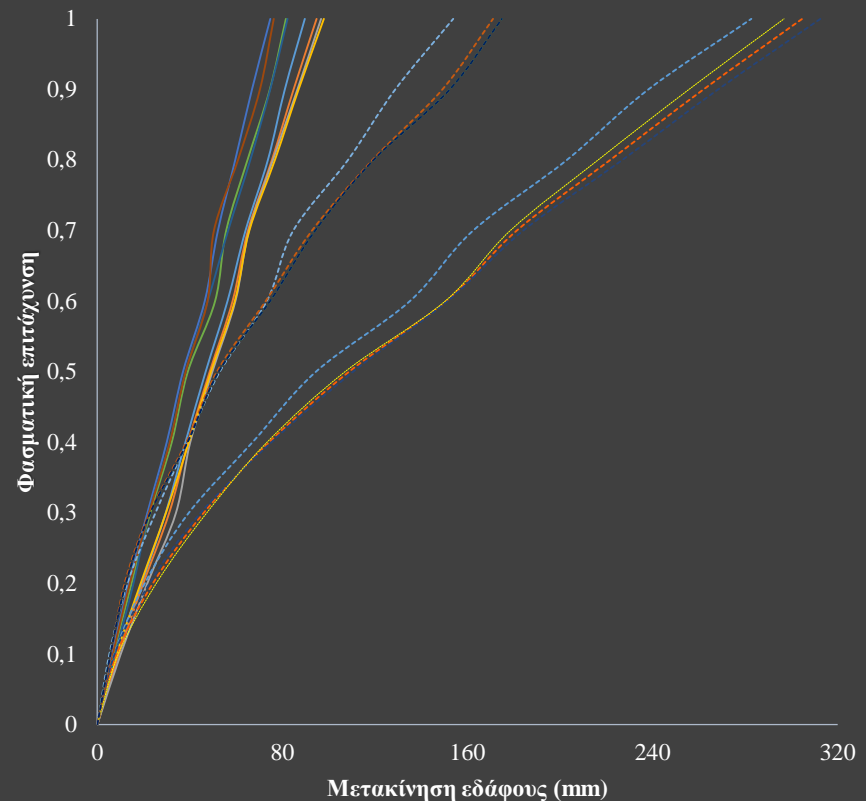


ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΚΤΙΡΙΟ



Αποτελεσματικότητα ενίσχυσης κατασκευής

- ✓ Η ενίσχυση περιορίζει σημαντικά τις μέγιστες σχετικές μετακινήσεις κορυφής.
- ✓ Η εφαρμογή του διαζώματος μειώνει τις μέγιστες σχετικές μετακινήσεις της κορυφής κάτω από τα 100mm.
- ✓ Στους μεγάλους βαθμούς κορεσμού, η απόκριση της κατασκευής δεν βελτιώνεται ιδιαίτερα στα πρώτα 4 βήματα κλιμάκωσης (0.1-0.4Sa).
- ✓ Στα μεγαλύτερα βήματα κλιμάκωσης η εφαρμογή των ενισχύσεων βελτιώνει σταδιακά την απόκριση της κατασκευής
- ✓ Για μικρούς βαθμούς κορεσμού, οι μετακινήσεις της κορυφής του αρχικού μοντέλου είναι αισθητά υψηλότερες από του ενισχυμένου.



Συμπεράσματα εφαρμογής μεθοδολογίας «Συνολικής Βελτίωσης»

- Λόγω της μεταβολής της απόκρισης της κατασκευής ανάλογα με το βαθμό κορεσμού του υπεδάφους παρατηρήθηκε αύξηση της T_{Δ} στην περίπτωση έδρασης σε έδαφος με μεγάλο S_r .
- Η συμβατική διάρκεια ζωής του αρχικού κτιρίου δεν ικανοποιεί σε καμία περίπτωση τα κατώτατα προτεινόμενα όρια στα εξεταζόμενα επίπεδα σχεδιασμού A2 και B1.
- Η βελτίωση της απόκρισης της κατασκευής μετά την εφαρμογή του διαζώματος, έχει ως αποτέλεσμα και την αύξηση της T_{Δ} .

Μοντέλο	Επίπεδο σχεδιασμού	Συνολική Συμβατική Διάρκεια Ζωής T_{Δ} (Ετη)
Αρχικό	A2	16
	B1	19
Ενισχυμένο	A2	21 (+5)
	B1	89 (+70)

Μελλοντικές προεκτάσεις

- ❖ Εφαρμογή διαδικασίας σε κτίριο εδραζόμενο σε λεπτόκοκκα αργιλικά εδάφη.
- ❖ Χρήση εναλλακτικού λογισμικού για τη μείωση του υπολογιστικού κόστους.
- ❖ Εφαρμογή της διαδικασίας για διεγέρσεις με διαφορετικά χαρακτηριστικά.
- ❖ Ανάγκη προσδιορισμού οριακών τιμών στροφών για τις στάθμες επιτελεστικότητας του EC8.

Για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων προτείνεται:

- Η εύρεση ακριβούς διαγράμματος μεταβολής του S_r με το χρόνο.
- Δημιουργία αλγορίθμου, ο οποίος θα υπολογίζει τη συμβατική διάρκεια ζωής λαμβάνοντας τυχαία ζεύγη τιμών του S_r και της a_{gr} από το διάγραμμα και θα βρίσκει τη μέση T_{Δ} .

Σας ευχαριστώ για την
προσοχή σας!
