



Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος

Σεισμικές βλάβες σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα:

- Δοκός, υποστύλωμα, τοίχωμα και κόμβος
- Μαλακοί όροφοι, κοντά υποστυλώματα
- Βλάβες και επιρροή των τοιχοπληρώσεων
- Παραδείγματα από πραγματικές κατασκευές

Δρ. Σπυρίδων Διαμαντόπουλος
Ιανουάριος 2025

Εισαγωγή στην παθολογία κατασκευών

- Ένας ισχυρός σεισμός θέτει σε **δοκιμασία** το σύνολο μιας κατασκευής.
- Συνέπεια είναι να αποκαλύπτονται όλες οι αδυναμίες, που μπορεί να οφείλονται σε ατέλειες του Κανονισμού σχετικές με τα φορτία σχεδιασμού, την διαστασιολόγηση και όπλιση των δομικών στοιχείων ή/και σε σφάλματα υπολογισμού.
- Οι βλάβες που δημιουργεί ο σεισμός δύσκολα ταξινομούνται και πολύ δυσκολότερα μπορούν να συνδεθούν ποσοτικά με το αίτιο που τις προκάλεσε.
- Ο δυναμικός χαρακτήρας της διεγέρσεως και η ανελαστική απόκριση μιας κατασκευής κατά την φάση δημιουργίας βλαβών, θέτει υπό αμφισβήτηση κάθε προσπάθεια ερμηνείας που στηρίζεται στη στατική προσομοίωση του φαινομένου.
- Παρ' όλες τις δυσκολίες που έχει μια ταξινόμηση των βλαβών, γίνεται μια προσπάθεια να καταταγούν σε κατηγορίες και να δοθούν ερμηνείες.

Βλάβες Θεμελίωσης

- Συμπεριλαμβάνουν προβλήματα στο υπέδαφος της κατασκευής ή και στην ίδια την θεμελίωση της κατασκευής.
- Τα προβλήματα στο υπέδαφος μπορεί να αναφέρονται σε ολισθήσεις, καθιζήσεις ή/και σε μεγάλες ρωγμές κοντά στη θεμελίωση της κατασκευής.
- Τα προβλήματα του υπεδάφους ή των θεμελίων θεωρούνται πολύ σοβαρά και επικίνδυνα για την ασφάλεια της κατασκευής.



Βλάβες ανωδομής

- Η ανωδομή συνήθως είναι το τμήμα των κατασκευών που δέχεται τις μεγαλύτερες πιέσεις και άρα τις μεγαλύτερες βλάβες λόγω των σεισμών.
- Στις βλάβες της ανωδομής συμπεριλαμβάνονται όλα τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν σε ένα κτίριο και δεν αφορούν στη θεμελίωση της κατασκευής.
- Η ανωδομή αποτελείται από :
 - ❑ Τον φέροντα οργανισμό:
 - Υποστυλώματα
 - Δοκοί
 - Τοιχώματα
 - Πλάκες
- ❑ Τον οργανισμό πλήρωσης
- ❑ Τις δευτερεύουσες κατασκευές

Ιδιαίτερης σημασίας είναι οι κόμβοι δοκών-υποστυλωμάτων

Βλάβες ανωδομής

- Οι βλάβες στην ανωδομή δεν είναι εφικτό να αποφευχθούν ακόμα και αν η κατασκευή είναι άρτια σχεδιασμένη και πλήρως μελετημένη.
- Η φιλοσοφία των σύγχρονων κανονισμών επιτρέπει τις βλάβες ακόμη και στο φέροντα οργανισμό της κατασκευής.
- Τίθεται όμως ως απαράβατος κανόνας οι βλάβες να είναι περιορισμένες και επιδιορθώσιμες.
- Οι βλάβες που παρουσιάζονται στην ανωδομή των κατασκευών είναι:
 - ☐ **Βλάβες σε υποστυλώματα**
 - ☐ **Βλάβες μαλακού ορόφου**
 - ☐ **Βλάβες σε κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων**
 - ☐ **Βλάβες σε τοιχώματα**
 - ☐ **Βλάβες σε δοκούς**
 - ☐ **Βλάβες σε πλάκες**

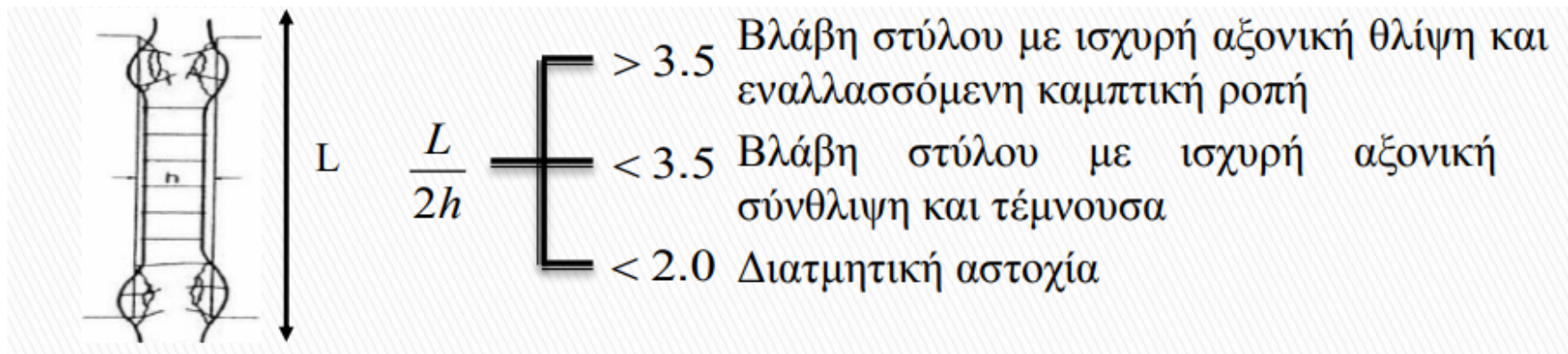
Βλάβες υποστυλωμάτων

- Οι βλάβες στα υποστυλώματα είναι από τις πιο **συχνές** και πιο **σοβαρές** καθώς ένας μετασεισμός μπορεί να προκαλέσει μερική/ολική κατάρρευση.
- Οι βλάβες αυτές ανάλογα με την καταπόνηση του υποστυλώματος διακρίνονται σε **καμπτικού** και **διατμητικού** χαρακτήρα.
- Οι βλάβες **καμπτικού χαρακτήρα** εμφανίζονται στα σημεία με τη μεγαλύτερη ένταση δηλαδή στην κορυφή/βάση των στύλων.



Βλάβες υποστυλωμάτων (διατμητικές)

- Οι βλάβες **διατμητικού χαρακτήρα** παρουσιάζονται στις περιοχές των υποστυλωμάτων με τη μεγαλύτερη διατμητική αδυναμία.
- Τα δομικά στοιχεία που έχουν μικρότερη αντοχή στις υψηλές καμπτικές ροπές, όπως τα περιμετρικά υποστυλώματα, εμφανίζουν διαρροή του οπλισμού τους με αποτέλεσμα να έχουν μειωμένη διατμητική αντίσταση



Βλάβες υποστυλωμάτων (καμπτοδιατμητικές)

- Μία σοβαρότερη βλάβη, ψαθυρού χαρακτήρα, είναι αυτή που οφείλεται στη **συνύπαρξη κάμψης και διάτμησης** σε δομικά στοιχεία που υπόκεινται σε θλίψη μεγάλης έντασης.
- Προκαλεί σύνθλιψη και αποδιοργάνωση της θλιβόμενης ζώνης , εμφανίζεται και στις δύο πλευρές του υποστυλώματος, οδηγεί σε βράχυνσή του και σε λυγισμό των κατακόρυφων ράβδων οπλισμού.
- Τα υποστυλώματα αυτά έχουν μικρότερη διατομή από αυτήν που απαιτείται και βρίσκονται κοντά σε κόμβους που συντρέχουν ισχυροί δοκοί.
- Το σημαντικότερο πρόβλημα που δημιουργεί η βλάβη αυτή στην κατασκευή είναι η σημαντική μείωση της δυσκαμψίας του υποστυλώματος, η οποία αποφέρει αδυναμία μεταφοράς των κατακόρυφων φορτίων.
- Η αδυναμία αυτή οδηγεί σε υπερφόρτωση των γειτονικών υποστυλωμάτων από ανακατανομή της έντασης, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση της κατασκευής μέσα από μία διενέργεια αλυσιδωτών αστοχιών.

Βαθμοί βλάβης υποστυλωμάτων

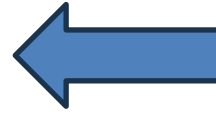
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (Υποστυλώματα και Τοιχώματα)			
ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ			
	Βαθμός Βλάβης A	Βαθμός Βλάβης B1	Βαθμός Βλάβης B2
ΣΟΒΑΡΕΣ ΒΛΑΒΕΣ			
	Βαθμός Βλάβης Γ1		Βαθμός Βλάβης Γ2
ΒΑΡΥΕΣ ΒΛΑΒΕΣ			Βαθμός Βλάβης Δ
ΚΟΜΒΟΙ (Δοκού – Υποστυλώματος)			
	Βαθμός Βλάβης B ή Γ		Βαθμός Βλάβης Δ

Τυπικοί Βαθμοί Βλάβης Κατακόρυφων Στοιχείων και Κόμβων

Συνήθεις βλάβες υποστυλωμάτων



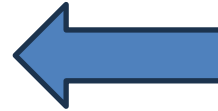
Καμπτική αστοχία
υποστυλώματος



Διατμητική αστοχία
υποστυλώματος πάνω & κάτω
με λυγισμό ράβδων και θραύση
λεπτών & αραιών συνδετήρων



Συνήθεις βλάβες υποστυλωμάτων

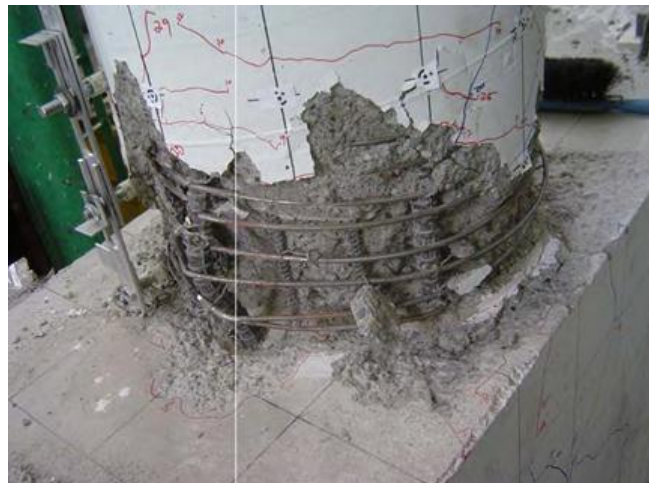


Διατμητική αστοχία
υποστυλώματος πάνω & κάτω
με λυγισμό ράβδων και θραύση
λεπτών & αραιών συνδετήρων

Καμπτική αστοχία
υποστυλώματος



Συνήθεις βλάβες υποστυλωμάτων



Καμπτικές αστοχίες υποστυλωμάτων (δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων).¹²

Συνήθεις βλάβες υποστυλωμάτων



Διατμητικές αστοχίες υποστυλώματος με λυγισμό ράβδων και θραύση λεπτών ή/και αραιών συνδετήρων

Συνήθεις βλάβες υποστυλωμάτων



Διατμητική αστοχία
ορθογωνικού
υποστυλώματος



Διατμητική αστοχία
κυκλικού
υποστυλώματος



Διατμητική αστοχία
κοντού
υποστυλώματος

Συνήθεις βλάβες υποστυλωμάτων



Αστοχία κοντού υποστυλώματος



Αστοχία σειράς κοντών υποστυλωμάτων

Συνήθεις βλάβες υποστυλωμάτων



Αστοχία κοντού υποστυλώματος σε κλιμακοστάσιο.

Μαλακός όροφος

- Για παράδειγμα όταν έχουμε ένα **εύκαμπτο ισόγειο** (πilotή) δημιουργείται πρόβλημα επειδή πάνω από τη στάθμη θεμελίωσης ενός πολυώροφου κτιρίου δημιουργείται ένας ασθενής, ένας «μαλακός όροφος» σε σχέση με τους υπερκείμενους.
- Η διαφορά στην ακαμψία ανάμεσα στην pilotή και τους άλλους ορόφους δημιουργείται από την τοιχοποιία που υπάρχει στους υπερκείμενους ορόφους.



Βλάβες μαλακού ορόφου

- Η επιλογή δημιουργίας πιλοτής συνεπάγεται την εμφάνιση «γόνατος» στην πρώτη ιδιομορφή ταλαντώσεως-δηλαδή αλλοίωση της καθ' ύψος κατανομής των σεισμικών δυνάμεων καθώς και συγκέντρωση μεγάλων ανελαστικών παραμορφώσεων στα άκρα των υποστυλωμάτων του ισογείου, ενώ οι υπόλοιποι όροφοι συμπεριφέρονται (περίπου) σαν στερεά σώματα.
- Αξίζει να σημειωθεί ότι οι πιλοτές που έχουν κατασκευαστεί μέχρι και το 1985 δεν έχουν μελετηθεί για την αντισεισμική τους συμπεριφορά. Το πρόβλημα ήρθε στην επιφάνεια από το σεισμό της 7ης Σεπτεμβρίου 1999, όπου μόνον στην περιοχή Αδάμες της Κηφισιάς είχαμε εφτά οικοδομές «κόκκινες», που τελικά κατεδαφίστηκαν, με σοβαρές ζημιές που προήλθαν από την ύπαρξη και μόνον πιλοτής.

Βλάβες μαλακού ορόφου



Αστοχία μαλακού ορόφου, σεισμός Αιγίου, 1995.

Βλάβες μαλακού ορόφου

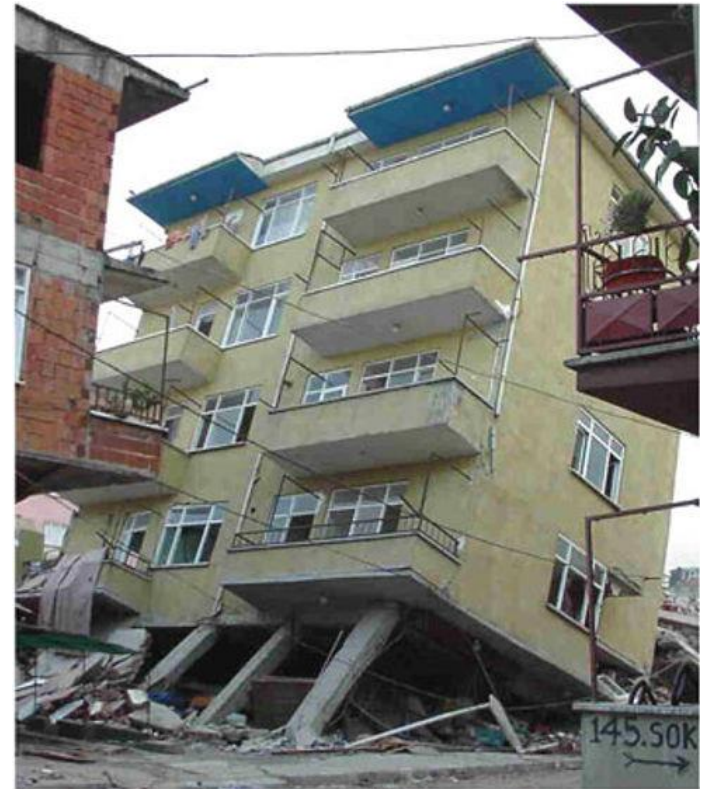


Απώλεια ισογείου εξαιτίας μηχανισμού μαλακού ορόφου.

Βλάβες μαλακού ορόφου



*Αστοχία μαλακού ορόφου,
σεισμός L'Aquila, 2009.*



*Αποτέλεσμα αστοχίας
μαλακού ορόφου.*

Βλάβες λόγω κρούσης

- Ένας σημαντικός παράγοντας που μπορεί να προκαλέσει βλάβες στα κτίρια κατά την εξέλιξη ενός σεισμού είναι η θέση και το ύψος των πλακών των διπλανών κτιρίων μιας οικοδομής.
- Στο «συνεχές» σύστημα δόμησης, τα κτίρια, αν και υπολογίζονται σαν ανεξάρτητοι φέροντες οργανισμοί, αλληλοεπηρεάζονται, συγκρουόμενα, κατά τη διάρκεια του σεισμού.
- Ιδιαίτερα έντονο είναι το πρόβλημα όταν οι στάθμες των πλακών των γειτονικών κτιρίων δεν συμπίπτουν.
- Τότε οι πλάκες της μιας οικοδομής ενεργούν κρουστικά κατά την ταλάντωση στους στύλους της άλλης με αποτέλεσμα τη θραύση των στύλων.
- Έτσι, γίνεται επιτακτική η ανάγκη διαχωρισμού των γειτονικών κτιρίων με τη βοήθεια αντισεισμικών αρμών, ώστε να αποφεύγεται η αλληλεπίδραση μεταξύ τους.
- Η κατασκευαστική διαμόρφωση του αντισεισμικού αρμού θα πρέπει να εξασφαλίζει πλήρη ανεξαρτησία κινήσεων στα διαχωριζόμενα κτίρια, χωρίς αμοιβαία μεταβίβαση δυνάμεων.

Βλάβες λόγω κρούσης

*Εμβολισμός υποστυλώματος από την
πλάκα γειτονικού κτιρίου*



(Πηγή: Γιαννόπουλος Ι., 2005)

Βλάβες σε κόμβους δοκών - υποστυλωμάτων

- Οι βλάβες σε κόμβους δοκών και υποστυλωμάτων ακόμη και όταν βρίσκονται σε πρωταρχικό στάδιο, (πρώτες ρηγματώσεις), πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη και να θεωρούνται ιδιαίτερα ανησυχητικές για την κατασκευή.
- Οι βλάβες αυτής της μορφής υποβαθμίζουν την ακαμψία των φερόντων στοιχείων και οδηγούν σε μη ελεγχόμενες ανακατανομές εντάσεως.



Διαγώνια ρηγματώση εξωτερικού κόμβου

Βλάβες σε κόμβους δοκών - υποστυλωμάτων



Αστοχία εξωτερικού κόμβου και πρακτική απώλεια στήριξης δοκού.

Αστοχία κόμβου και απώλεια περίσφιγξης συνδετήρων λόγω τοποθέτησης υδρορρόης εντός του υποστυλώματος.

Βλάβες σε κόμβους δοκών - υποστυλωμάτων



Αστοχία κόμβου δοκού-υποστυλώματος.

Βλάβες σε κόμβους δοκών - υποστυλωμάτων



Αστοχία κόμβου δοκού-υποστυλώματος.

Βλάβες σε αρμούς σκυροδέτησης

- Αιτία της βλάβης είναι η κακή σύνδεση του παλιού με το νέο σκυρόδεμα.
- Αναπόσπαστο κομμάτι της ένωσης παλιού-νέου σκυροδέματος είναι η τοποθέτηση οπλισμού ραφής στον αρμό διακοπής εργασίας.
- Οι βλάβες αυτές συνήθως δεν προκαλούν κατάρρευση της κατασκευής, διότι η οριζόντια διάταξη των ρηγματώσεων δεν αφαιρεί τη δυνατότητα από το τοίχιο να μπορεί να φέρει τα κατακόρυφα φορτία.

Βλάβες σε τοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα

- Οι βλάβες που προκαλούνται από τον σεισμό στα τοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος είναι τριών (3) τύπων :

- ☐ Χιαστί ρήγματα διατμήσεως
- ☐ Ολίσθηση στον αρμό διακοπής εργασίας
- ☐ Βλάβες καμπτικού χαρακτήρα (όπως οι οριζόντιες ρηγματώσεις) με συντριβή της θλιβόμενης ζώνης.

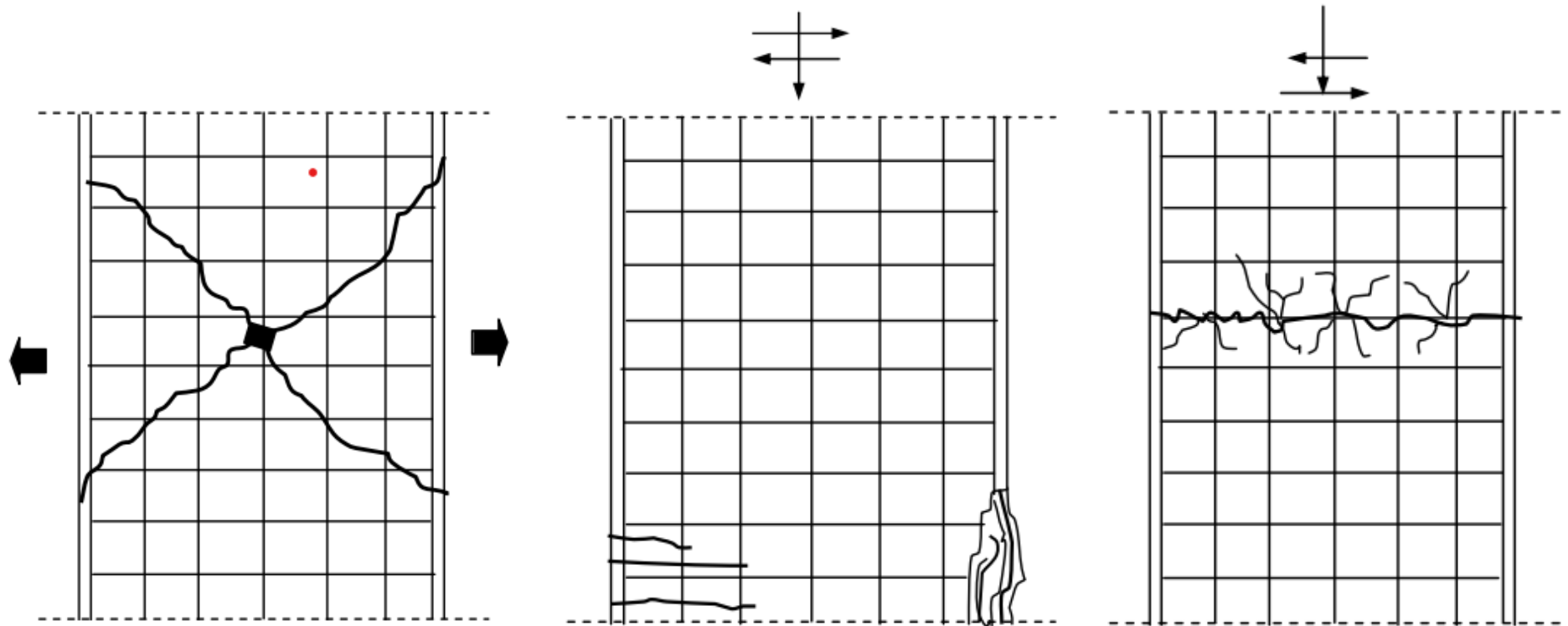


*Διατμητική αστοχία
τοιχωμάτων με μεγάλες
παραμορφώσεις*



(Πηγή: Γιαννόπουλος Ι., 2005)

Βλάβες σε τοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα



Εικόνα διατμητικής βλάβης τοιχώματος

Εικόνα καμπτικής βλάβης τοιχώματος

Εικόνα βλάβης τοιχωμάτων στη στάθμη διακοπής εργασίας

Βλάβες σε τοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα



Βλάβες σε τοιχεία από Οπλισμένο Σκυρόδεμα

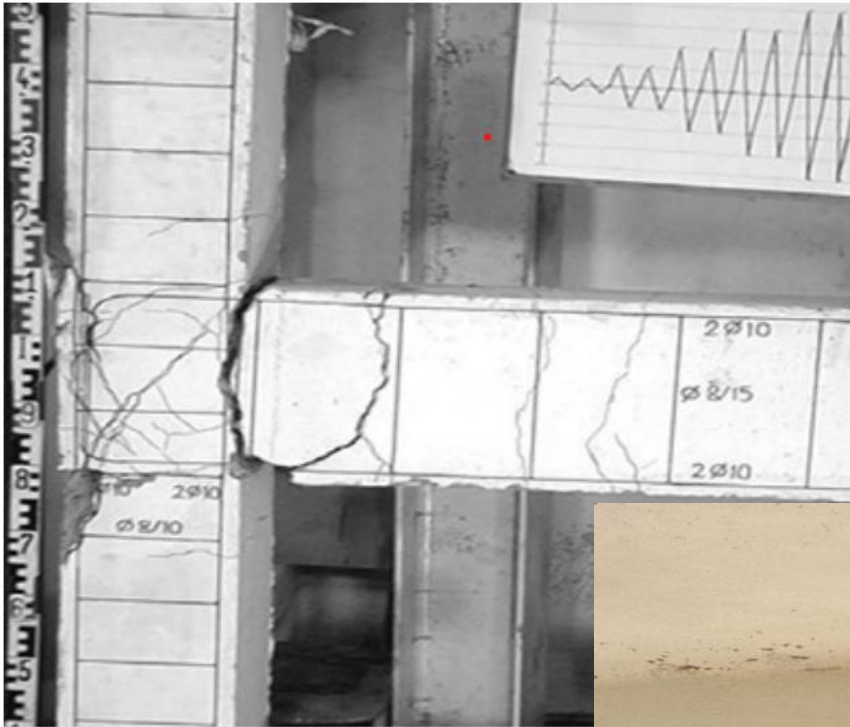
Βλάβες σε δοκούς

Οι βλάβες που παρουσιάζονται στους δοκούς δεν επηρεάζουν σημαντικά την ευστάθεια του φορέα και είναι δύο ειδών: α) καμπτικές , β) διατμητικές

- ❑ Οι **καμπτικές βλάβες** στο άνω πέλμα της δοκού, εμφανίζονται με τη μορφή εγκάρσιων ρωγμών κοντά στις στηρίξεις λόγω των σεισμικών ή μακροχρόνιων δράσεων. Στο κάτω πέλμα εμφανίζονται επίσης κοντά στις στηρίξεις. Η πρώτη αιτία είναι η καμπτική αστοχία της διατομής από διαρροή του εφελκυσμένου οπλισμού και η δεύτερη η ανεπαρκής αγκύρωση και η ολίσθηση του οπλισμού του κάτω πέλματος.
- ❑ Οι **διατμητικές βλάβες** που είναι και σοβαρότερες εμφανίζονται μετά από ένα σοβαρό σεισμό στις περιοχές στήριξης των δοκών. Επειδή η μορφή αστοχίας αυτής της βλάβης είναι ψαθυρή, την καθίστα ανεπιθύμητη. Ένας άλλος τύπος διατμητικής αστοχίας είναι αυτός που παρατηρείται σε περιπτώσεις εφαρμογής συγκεντρωμένων φορτίων όπως για παράδειγμα τα «φυτευτά» υποστυλώματα.

Βλάβες σε δοκούς

(Πηγή :Kristiawan et al., 2021)



Διατμητική βλάβη σε δοκό.

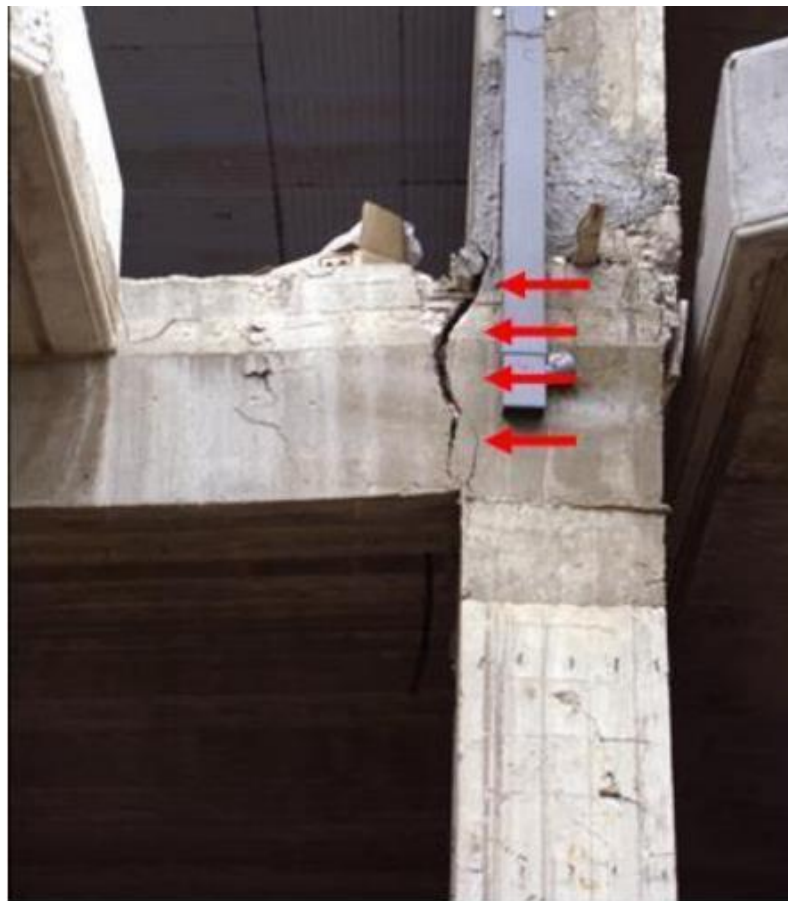
Ανεπαρκής αγκύρωση κάτω
ράβδων δοκού λόγω
σκυροδέτησης
υποστυλώματος πάνω από
τη «μασχάλη» της δοκού.



(Πηγή: Γιαννόπουλος Ι., 2005)

33

Βλάβες σε δοκούς



Ανεπαρκής αγκύρωση πάνω & κάτω ράβδων δοκού.

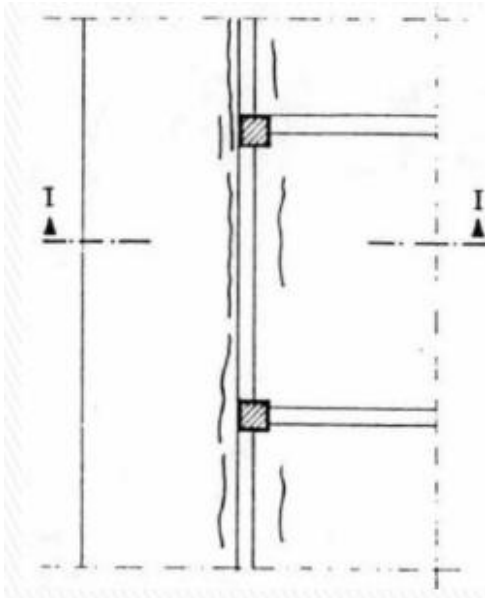
Βλάβες σε πλάκες

Οι βλάβες που εμφανίζονται σε επιφανειακά δομικά στοιχεία όπως οι πλάκες, δεν είναι πρωτεύουσας σημασίας γιατί δεν επηρεάζουν την ευστάθεια του φορέα. Επίσης λόγω του μεγάλου βαθμού υπερστατικότητας που έχουν οι ίδιες οι πλάκες δεν αντιμετωπίζουν κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα. Οι πιο συχνά εμφανιζόμενοι τύποι βλαβών είναι οι εξής :

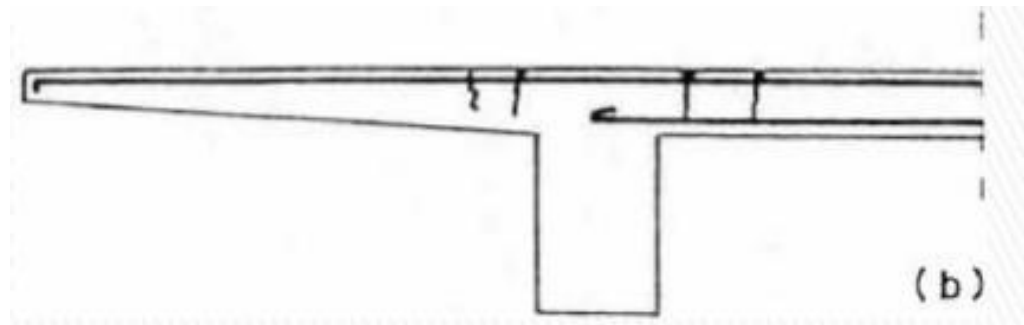
1. **Ρήγματα παράλληλα ή κάθετα προς τους οπλισμούς** σε τυχαίες θέσεις. Ο αυτός τύπος βλάβης είναι και ο συχνότερος.
2. **Ρήγματα σε κρίσιμες διατομές** μεγάλων ανοιγμάτων ή μεγάλων προβόλων κάθετα προς τους κύριους οπλισμούς
3. **Ρήγματα σε περιοχές ανωμαλιών κατόψεως** , όπως στις γωνίες μεγάλων οπών (φωταγωγοί, ανοίγματα εσωτερικών κλιμακοστασίων)
4. **Ρήγματα σε σημεία συγκεντρώσεως μεγάλων σεισμικών δυνάμεων** στις ζώνες συνδέσεως των πλακών με τοιχεία ή με υποστυλώματα χωρίς δοκούς.

Βλάβες σε πλάκες

- ❑ Ο πρώτος τύπος βλάβης (συχνότερος), οφείλεται στη διεύρυνση των τριχοειδών ρηγμάτων που υπήρχαν στο σκυρόδεμα από την καμπτική λειτουργία ή από τις θερμοκρασιακές μεταβολές που εμφανίστηκαν από το σεισμό. Σπανιότερα οφείλεται σε καθιζήσεις στύλων.
- ❑ Ο δεύτερος και τρίτος τύπος βλάβης προκαλείται συνήθως από την κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης.
- ❑ Ο τέταρτος τύπος βλάβης είναι απόρεια της αστοχίας διατρήσεως που επιτείνεται από την καμπτική καταπόνηση λόγω σεισμού.



(a)

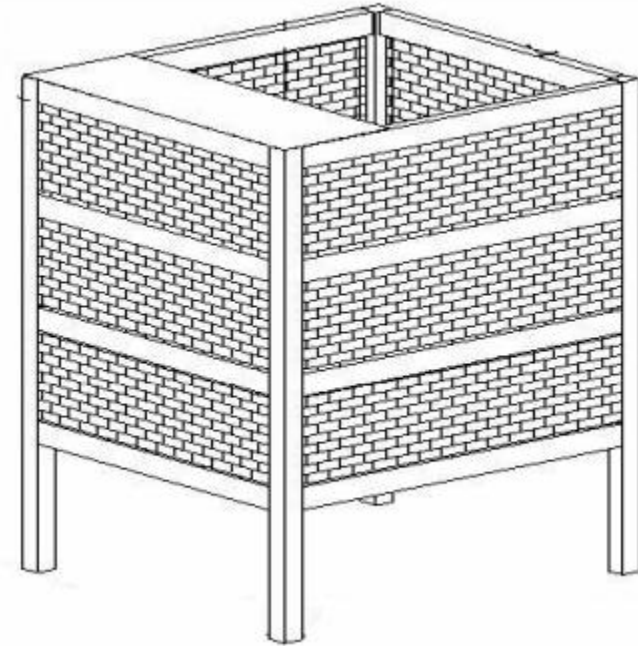


Βλάβη πλάκας στην κρίσιμη περιοχή προβόλου: α) Κάτοψη της πλάκας (άνω επιφάνεια) και β) τόμη I-I

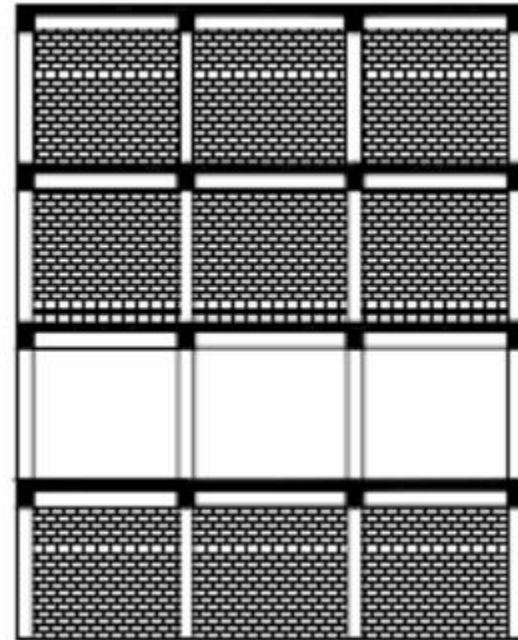
Εισαγωγή στις τοιχοπληρώσεις

- Στον Ελληνικό χώρο, το σύνολο σχεδόν των τοίχων πληρώσεως κατασκευάζεται με πλινθοδομές σε επαφή με το πλαίσιο του φέροντα οργανισμού. Καθώς ο οργανισμός πληρώσεως κατασκευάζεται από μικρότερης αντοχής και παραμορφωσιμότητας υλικά (πλίνθοι-κονίαμα-επίχρισμα) από τον σκελετό, είναι ο πρώτος που αστοχεί.
- Η αστοχία του οργανισμού πληρώσεως αρχίζει πριν ακόμα εμφανιστούν ζημιές στο σκελετό και κατά συνέπεια δεν μπορούν να θεωρηθούν επικίνδυνες για την ευστάθεια της κατασκευής.
- Οι βλάβες στον οργανισμό πληρώσεως απορροφούν συνήθως το μεγαλύτερο ποσοστό από τις δαπάνες επισκευής γιατί συνδέονται με ευρείας κλίμακας επισκευές εγκαταστάσεων και καλύψεων όπως για παράδειγμα επιχρίσματα, χρώματα, πλακάκια, μαρμαροεπενδύσεις, υδραυλικά, ηλεκτρολογικά κτλ.

Εισαγωγή στις τοιχοπληρώσεις



Έλλειψη τοιχοπλήρωσης στο ισόγειο

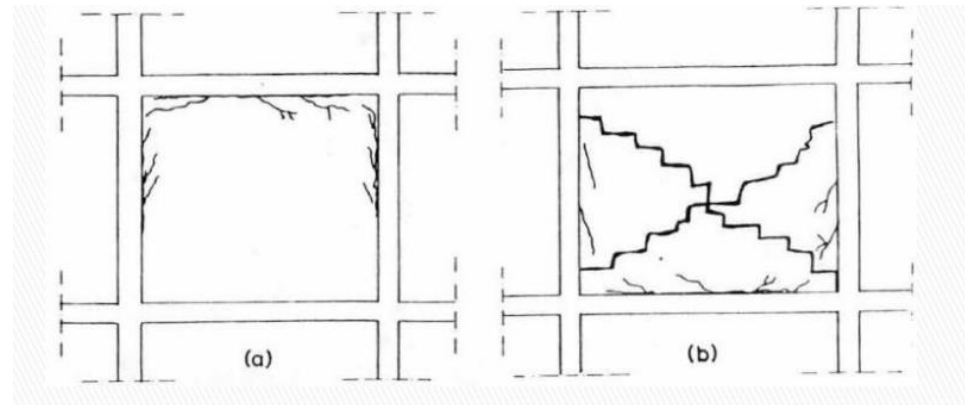


Διακοπή τοιχοπλήρωσης στο δεύτερο όροφο

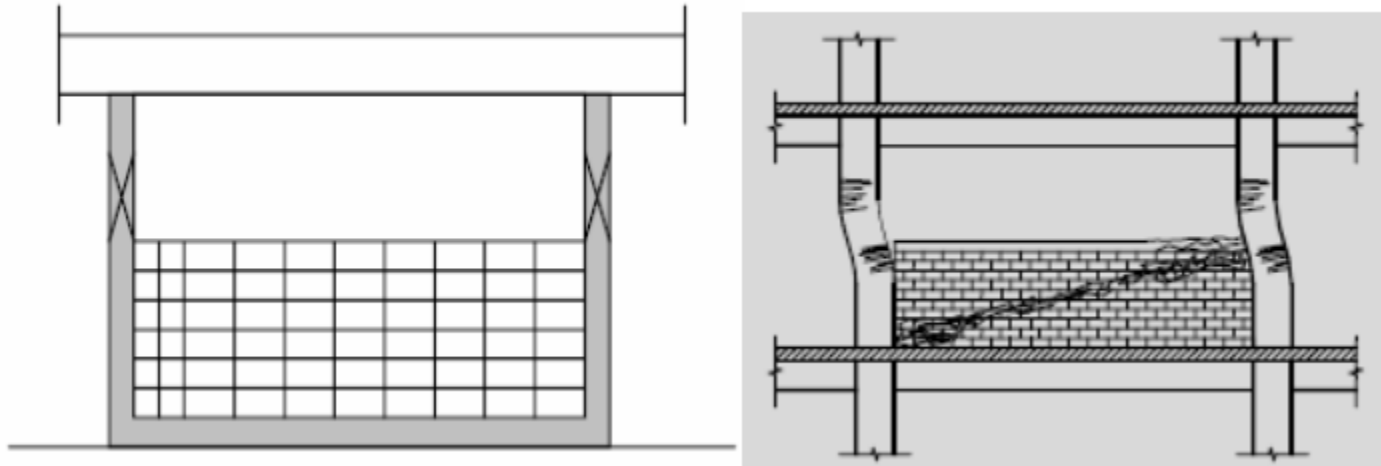
Βλάβες στις τοιχοπληρώσεις

Οι βλάβες στον οργανισμό πληρώσεως ακολουθούν την εξής εξελικτική πορεία:

1. Κατά την διέγερση της κατασκευής με σεισμό, το πλαίσιο του σκυροδέματος αρχίζει να παραμορφώνεται οπότε εκδηλώνονται τα πρώτα ρήγματα στα επιχρίσματα και μάλιστα στις γραμμές επαφής τοιχοποιίας και σκελετού.
2. Με την αύξηση της παραμόρφωσης του πλαισίου, τα ρήγματα αυτά διαπερνούν τις τοιχοποιίες, γεγονός που εκδηλώνεται με αποκόλληση της τοιχοποιίας από το περιβάλλον αυτήν πλαίσιο.
3. Στη συνέχεια εκδηλώνονται ρήγματα χιαστί, τα οποία είναι μικρά στην αρχή και ακολούθως μεγάλα στο σώμα της τοιχοποιίας υπό μορφή κλιμακωτή δια των αρμών του κονιάματος. Όταν τα ρήγματα δεν διαπερνούν το σώμα του τοίχου, η βλάβη χαρακτηρίζεται ελαφριά ενώ σε διαφορετική περίπτωση σοβαρή (χιαστί ρήγματα).



Βλάβες εξαιτίας των τοιχοπληρώσεων



Διακοπή τοιχοπλήρωσης καθ' ύψος – αιτία εμφάνισης κοντών υποστυλωμάτων.

Βλάβες σε τοιχοπληρώσεις



*Διαγώνιες ρωγμές σε
τοιχοπληρώσεις.*

Βλάβες σε τοιχοπληρώσεις



Διαγώνιες ρωγμές σε τοιχοπληρώσεις.

Βλάβες σε τοιχοπληρώσεις



Αστοχία τοιχοπλήρωσης λόγω έλλειψης συνδετικού ή μη αποτελεσματικής σύνδεσης μεταξύ των στρώσεων.

Βλάβες σε τοιχοπληρώσεις



Αστοχία τοιχοπλήρωσης.

Δευτερεύουσες κατασκευές

- Αυτές κυρίως είναι κατασκευές όπως υαλοστάσια, καμινάδες, πατάρια και δεν μας αφορούν τόσο διότι οι συγκεκριμένες βλάβες δεν επηρεάζουν καθόλου την στατικότητα ενός κτιρίου.



Βλάβες σε υαλοστάσιο



Βλάβες σε καμινάδα

Δευτερεύουσες κατασκευές



Βλάβες σε υαλοστάσια



*Βλάβες σε χώρους αεροδρομίου,
2010 Maule, Chile earthquake*



*Βλάβες σε νοσοκομείο, 2016 Muisne,
Ecuador earthquake*

Χωριοθέτηση βλαβών

- Έχει διαπιστωθεί τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό ότι οι βλάβες εκδηλώνονται περισσότερο στους χαμηλούς ορόφους και κυρίως στο ισόγειο. Οι βλάβες σε υψηλούς ορόφους συνήθως εμφανίζονται σε κτίρια πολύ μεγάλου πλήθους ορόφων, κυρίως εξ' αιτίας των ανωτέρων μορφών ταλάντωσης.
- Σύμφωνα με όλους τους αντισεισμικούς κανονισμούς, οι μεγαλύτερες σεισμικές τέμνουσες εμφανίζονται στους χαμηλούς ορόφους, έχοντας παράλληλα και μεγαλύτερη διαθέσιμη αντοχή. Επομένως, οι βλάβες αναμένεται να κατανέμονται ομοιόμορφα καθ' ύψος των βλαβών.
- Με την συνεισφορά των τοιχοποιιών πλήρωσης, καλύπτονται πρόσθετες ανάγκες που δημιουργούνται στους ανώτερους κόμβους παρά στους κατώτερους.
- Οι περισσότερες βλάβες εκδηλώνονται στη περίμετρο του κτιρίου.

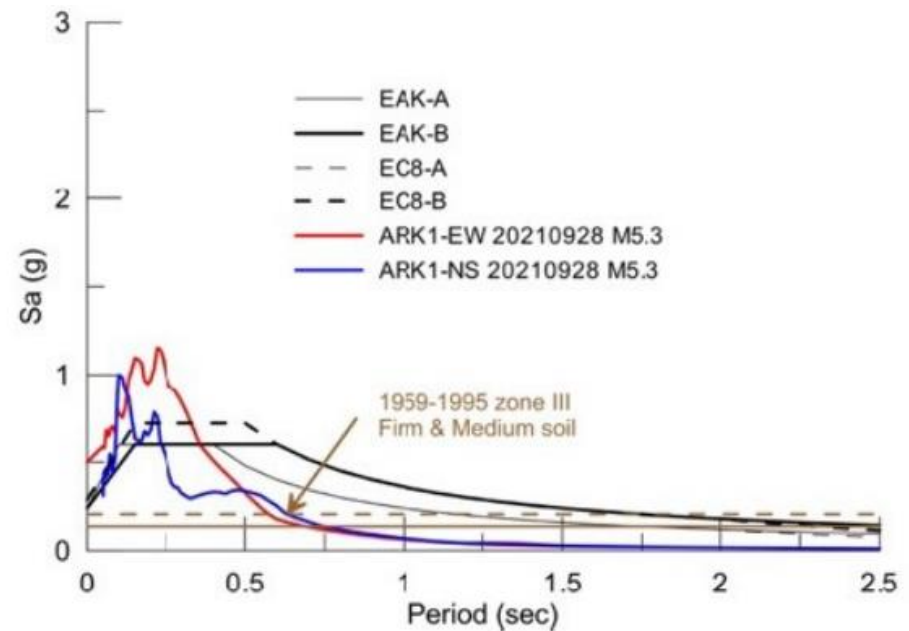
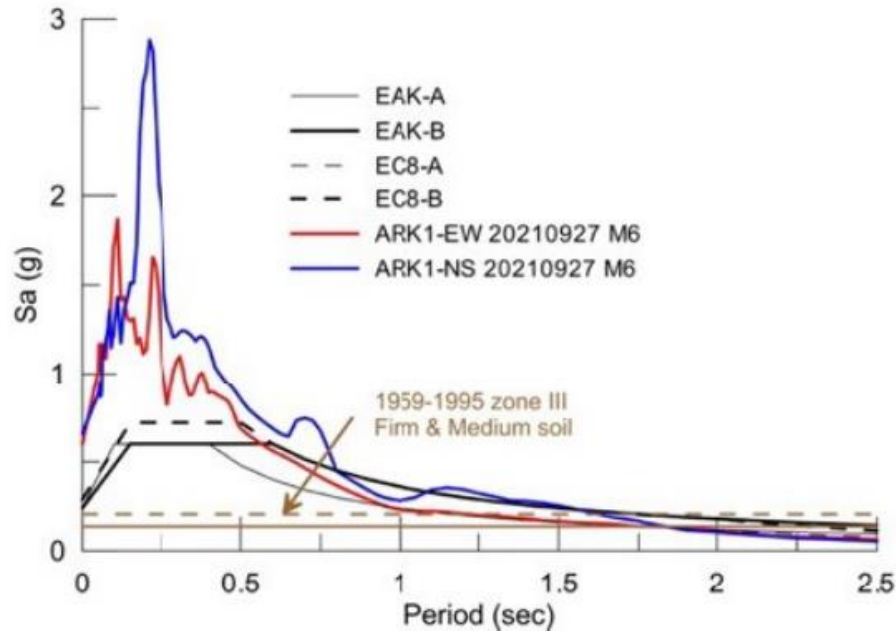
Σεισμός Αρκαλοχώρι, 2021

- ❑ Τα κτίρια της ευρύτερης περιοχής κατατάσσονται, από την άποψη του Αντισεισμικού Κανονισμού ο οποίος εφαρμόσθηκε κατά την μελέτη τους, στις εξής κατηγορίες: Προ του 1959, 1959-1985, 1986- 1995, 1995-2000, 2000-2003, 2003-2014 και 2014 έως σήμερα.
- ❑ Στην πλειονότητά τους, τα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία τα οποία εμφάνισαν βλάβες είναι κατασκευασμένα προ του 1959 (δηλαδή, χωρίς εφαρμογή Αντισεισμικού Κανονισμού) ή με τον Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959.
- ❑ Πολλές από τις βλάβες που παρατηρήθηκαν αφορούσαν κτίρια στα οποία είτε δεν είχαν ακολουθηθεί οι κανονισμοί είτε παρέμειναν χωρίς συντήρηση για πολλά χρόνια, είτε είχαν υποστεί μεταγενέστερες επεμβάσεις.
- ❑ Σημειώνεται ότι όταν έγινε ο σεισμός δεν υπήρχε εθνικός κανονισμός για αποτίμηση και επεμβάσεις σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία, καθότι ο σχετικός Κανονισμός (ΚΑΔΕΤ) τέθηκε σε ισχύ τον Απρίλιο του 2023.
- ❑ Ο Ευρωκώδικας 8-Μέρος 3 (CEN2004) δεν περιλαμβάνει επαρκή στοιχεία για την αποτίμηση και τις επεμβάσεις σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία.

Σεισμός Αρκαλοχώρι

- ❑ Κατά τον σεισμό στο Αρκαλοχώρι παρατηρήθηκαν βλάβες και στα κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος.
- ❑ Η πλειονότητα των κτηρίων οπλισμένου σκυροδέματος ήταν μονώροφα και διώροφα και λιγότερα τριώροφα.
- ❑ Παρατηρήθηκαν παλαιότερες αποφλοιώσεις και αστοχίες σε στοιχεία ΩΣ , διατμητικές βλάβες και αστοχίες κοντών υποστυλωμάτων.
- ❑ Η έλλειψη επαρκών συνδετήρων ήταν εμφανής ενώ παρατηρήθηκε λυγισμός οπλισμών.
- ❑ Παρατηρήθηκαν εκτεταμένες βλάβες και καταρρεύσεις σε μικρό αριθμό κτηρίων.
- ❑ Παρατηρήθηκαν σε μεγάλο ποσοστό βλάβες στον μη φέροντα οργανισμό, στην πλειονότητα ως εκτεταμένες βλάβες στις τοιχοπληρώσεις, π.χ. αποκολλήσεις τοίχων από το πλαίσιο και ανατροπή, μετακινήσεις τοίχων εκτός επιπέδου και ρηγματώσεις από κάμψη εντός επιπέδου.

Σεισμός Αρκαλοχώρι



Φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης των οριζοντίων συνιστωσών στη θέση του σταθμού ARK1 για τις δύο σεισμικές διεγέρσεις (27/9/2021 ML5.8 αριστερά και 28/9/2021 ML5.3 δεξιά). Σύγκριση με τα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού του EAK2000 και του EC8.

Σεισμός Αρκαλοχώρι



*Αστοχίες στις τοιχοπληρώσεις και στα υποστυλώματα διωρόφου κτηρίου
Ο.Σ. στο Αρκαλοχώρι.*

Σεισμός Αρκαλοχώρι



Αστοχίες στις τοιχοπληρώσεις και στα υποστυλώματα διωρόφου κτηρίου ΟΣ

Σεισμός Αρκαλοχώρι



*Αποφλοίωση σκυροδέματος και
αστοχίες στοιχείων ΟΣ σε τριώροφη
οικοδομή.*



Σεισμός Αρκαλοχώρι



Διατμητικές βλάβες στα υποστυλώματα του ισογείου.

Σεισμός Αρκαλοχώρι



Πριν το σεισμό

- Αστοχία κτηρίου στην Βόνη.
- Αποκολλήσεις τοιχοπληρώσεων, αστοχίες κόμβων, διατμητική αστοχία κοντών υποστυλωμάτων.



Μετά το σεισμό

Σεισμός Αρκαλοχώρι



*Αστοχίες στα υποστυλώματα του
ισογείου και στα στηθαία των εξωστών
σε τριώροφο κτίριο Ο.Σ.*



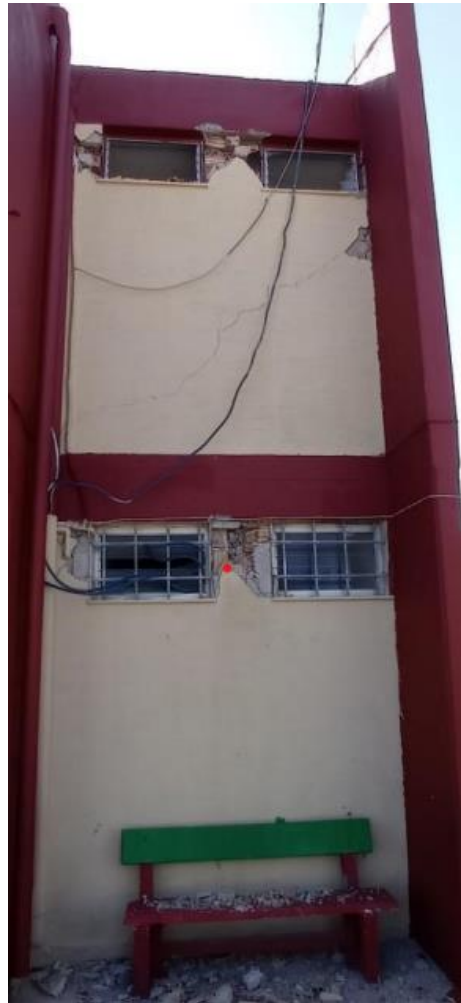
Βλάβες στο κλιμακοστάσιο σε κτίριο Ο.Σ.

Σεισμός Αρκαλοχώρι



- Τριώροφη κατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος η οποία υπέστη καθολικές βλάβες.
- Παρατηρούνται αστοχίες στα **υποστυλώματα**, στις **δοκούς**, στους **κόμβους** και μεγάλη **παραμένουσα παραμόρφωση**.
- Πρόκειται για προσθήκη σε ισόγειο κτίριο χωρίς επαρκείς αγκυρώσεις των κατακόρυφων οπλισμών.

Σεισμός Αρκαλοχώρι



*Εκτεταμένες βλάβες στο 1ο
Δημοτικό Σχολείο Αρκαλοχωρίου
(κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος).*

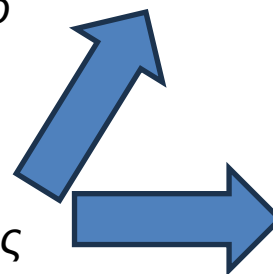
Σεισμός Αρκαλοχώρι

Εκτεταμένες βλάβες στο Εκθεσιακό Κέντρο Αρκαλοχωρίου.



*Εκτός επιπέδου αστοχία τριγωνικής μετώπης από
οπτοπλινθοδομή*

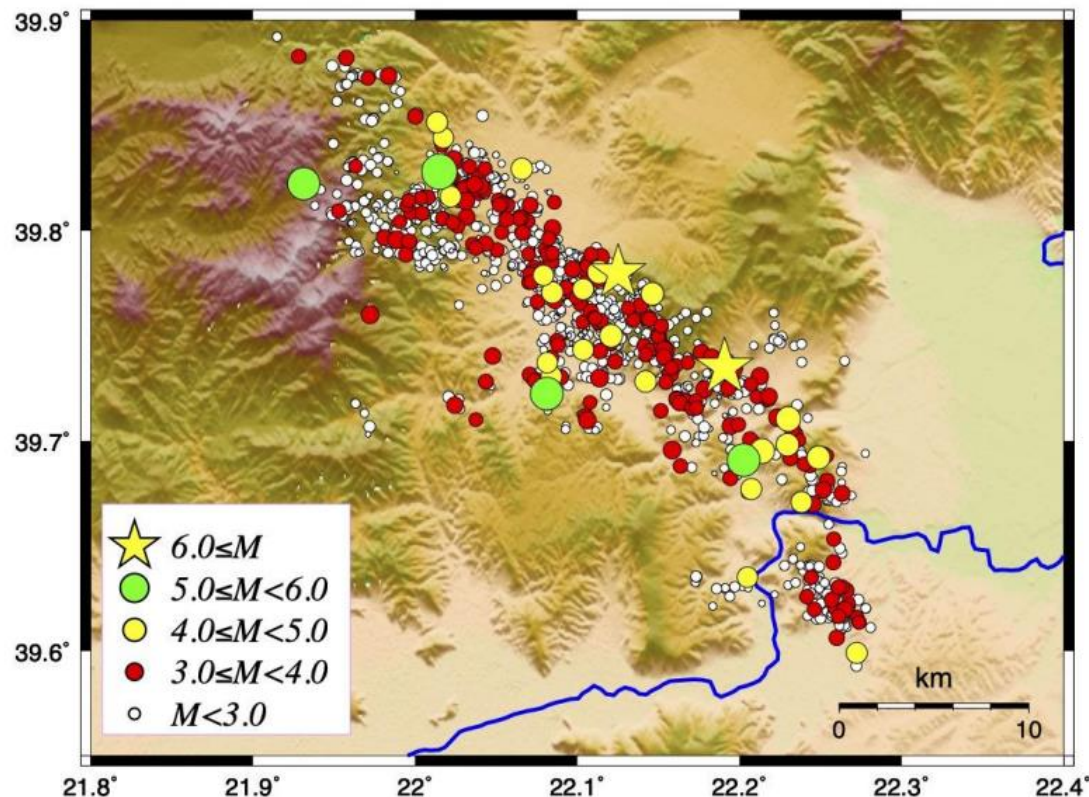
Βλάβες σε κόμβους



Σεισμός Θεσσαλία, 2021

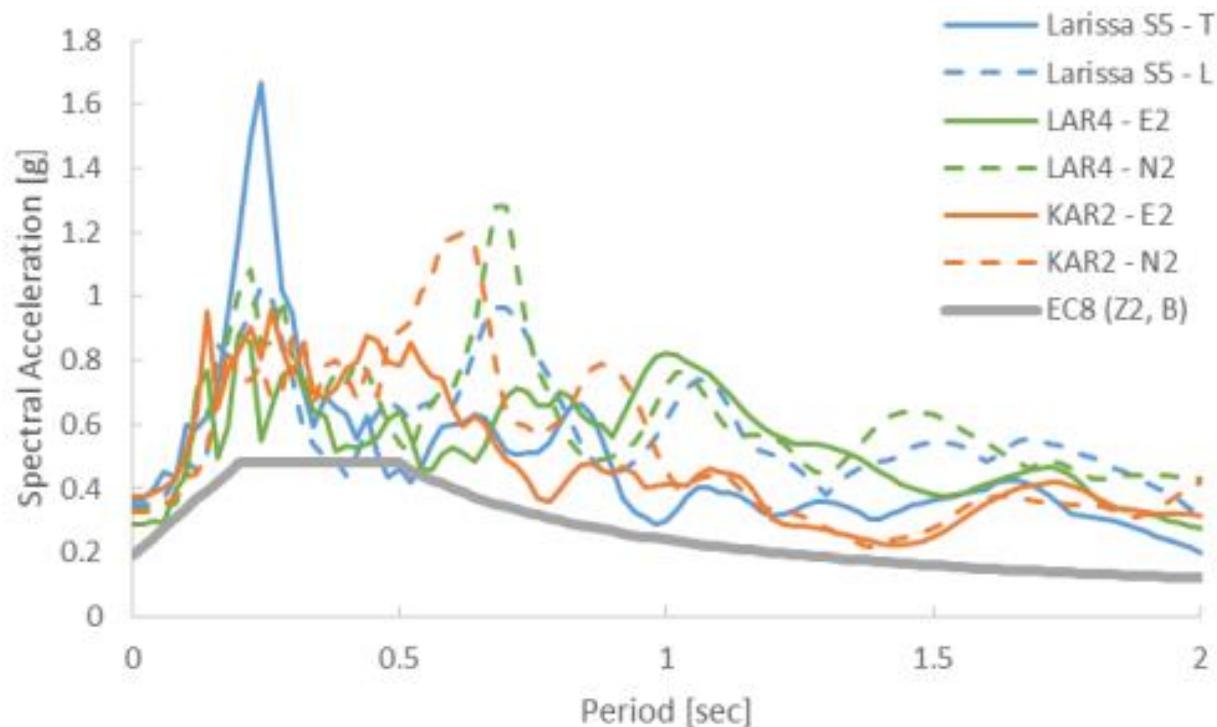
- Ισχυρός σεισμός μεγέθους M6.3 την 3η Μαρτίου 2021 στην περιοχή της Βόρειας Θεσσαλίας. Ο σεισμός αυτός είναι ο ισχυρότερος που έχει γίνει στην ευρύτερη περιοχή από το 1941, όταν ένας σεισμός μεγέθους M6.3 έπληξε την πόλη της Λάρισας. Το επίκεντρό του βρίσκεται ~15 χλμ βορειοδυτικά της Λάρισας και βορειοδυτικά του νεοτεκτονικού ρήγματος του Τυρνάβου. Ο κύριος σεισμός προκάλεσε εκτεταμένες βλάβες, εξαιτίας της θέσης του κοντά σε κατοικημένες περιοχές.
- Ο κύριος σεισμός ακολουθήθηκε από μεγάλο αριθμό μετασεισμών, πολλοί από τους οποίους έγιναν αισθητοί από τους κατοίκους των πολλών κωμοπόλεων και χωριών της περιοχής.
- Την επόμενη ημέρα (4 Μαρτίου 2021) ένας δεύτερος ισχυρός κύριος σεισμός με M6.0 έγινε σε χώρο γειτονικό της κύριας διάρρηξης, επεκτείνοντας το ρήγμα του πρώτου κύριου σεισμού προς τα βορειοδυτικά.
- Οι λύσεις των μηχανισμών γένεσης και των δύο ισχυρών σεισμών καθώς και των ισχυρότερων μετασεισμών, δείχνουν κανονική ολίσθηση σε ρήγματα τα οποία κλίνουν προς τα βορειοανατολικά.

Σεισμός Θεσσαλία



Χάρτης αναγλύφου της περιοχής με τις επανυπολογισμένες εστιακές συντεταγμένες των 1476 μετασεισμών που έγιναν κατά τις πρώτες 32 ημέρες της σεισμικής ακολουθίας. Διαφορετικά σύμβολα έχουν επιλεγεί για να δείξουν διαφορετικά εύρη μεγεθών, σύμφωνα με το ένθετο. Τα κίτρινα άστρα δείχνουν τα επίκεντρα των δύο κύριων σεισμών και οι πράσινοι κύκλοι τα επίκεντρα των τεσσάρων ισχυρότερων μετασεισμών.

Σεισμός Θεσσαλία



Φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης για απόσβεση 5% των καταγραφών που εξετάστηκαν, μεγεθυμένων στην ελάχιστη ένταση που απαιτείται για την ανατροπή των κολωνίσκων στη θέση Ζάρκο και σύγκρισή τους με το ελαστικό φάσμα απόκρισης του ΕΚ8-1 για σεισμική ζώνη Z2 και έδαφος κατηγορίας B.

Σεισμός Θεσσαλία



Αστοχία μαλακού ορόφου



Αστοχία κεφαλής υποστυλώματος

- Οι βλάβες σε κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος ήταν περιορισμένες.
- Παρατηρήθηκαν κυρίως αστοχίες στις περιοχές των κόμβων σε μαλακό όροφο, σε συνδυασμό με έλλειψη ή αραιή διάταξη συνδετήρων και τοπικό λυγισμό οπλισμού.
- Παρατηρήθηκαν ωστόσο σε κτήρια από τοιχοποιία εκτεταμένες βλάβες έως και καταρρεύσεις.

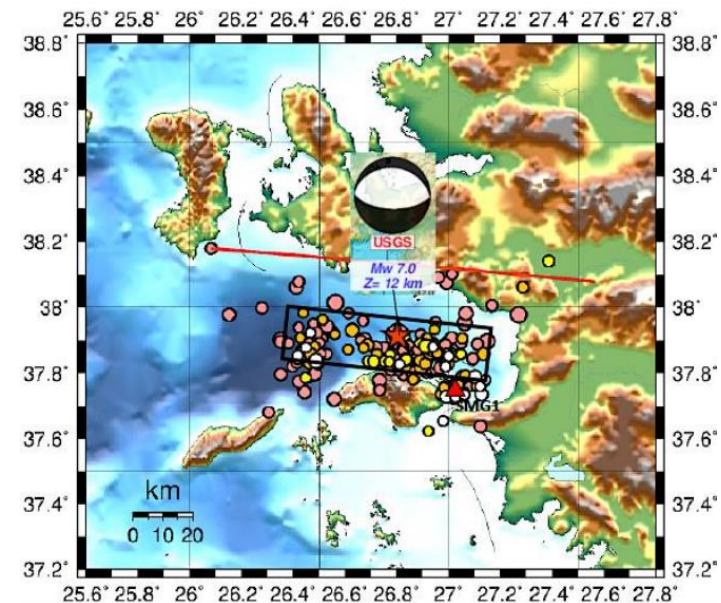
Σεισμός Σάμος, 2020



Γενική άποψη στο Βαθύ της Σάμου αμέσως μετά τον ισχυρό σεισμό της 30/10/2020

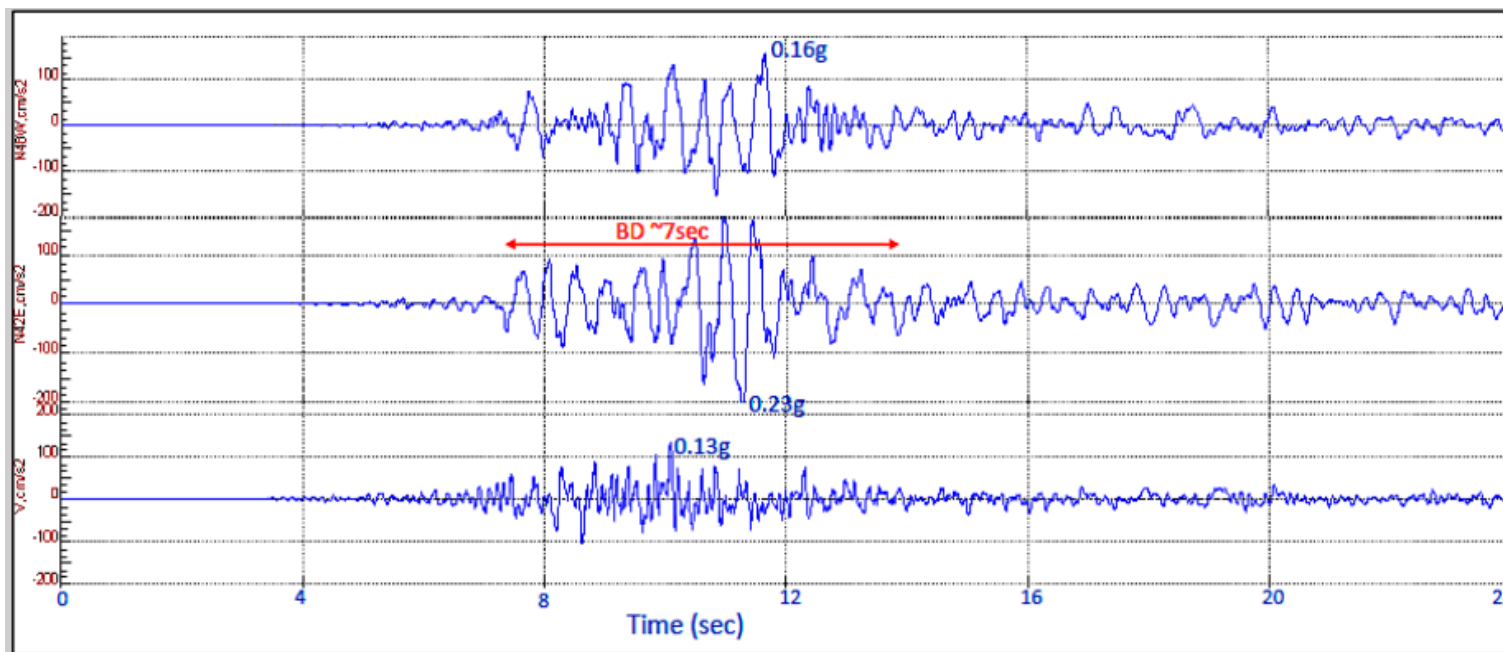
Σεισμός Σάμος

- Ο σεισμός της 30 Οκτωβρίου 2020, 13:51 ώρα Ελλάδας, εκδηλώθηκε στη θαλάσσια περιοχή περίπου 20km βόρεια της Σάμου με συντεταγμένες επίκεντρου σύμφωνα με το Εργαστήριο Γεωφυσικής του ΑΠΘ, 37.914N, 26.804E, βάθος $h=13\text{km}$ και είχε μέγεθος 7.0, από ρήγμα κανονικής διάρρηξης και διεύθυνση περίπου Ανατολή – Δύση, όπως έδειξαν οι σχετικές λύσεις των παραμέτρων πηγής εννέα διεθνών σεισμολογικών κέντρων.
- Τέτοιο μέγεθος σεισμού δικαιολογεί μεγάλη επιφάνεια διάρρηξης με μήκος 50-60km και πλάτος 20- 30km.
- Λεπτομερής μελέτη σεισμικότητας δεδομένων του Ενιαίου Εθνικού Δικτύου Σειсмоγράφων κατά τις 4 πρώτες ημέρες της σεισμικής ακολουθίας, κατέδειξε την επιφάνεια του σεισμικού ρήγματος με το επίκεντρο στο κέντρο αυτής.



Σεισμός Σάμος

- Επιπλέον, παρατηρήσεις πεδίου (Lekkas et al. 2020) έδειξαν ανύψωση του νησιού της Σάμου κατά ~20cm γεγονός που ενισχύει την άποψη ότι η Σάμος βρίσκεται στο άνω τέμαχος (foot wall) του κανονικού ρήγματος.

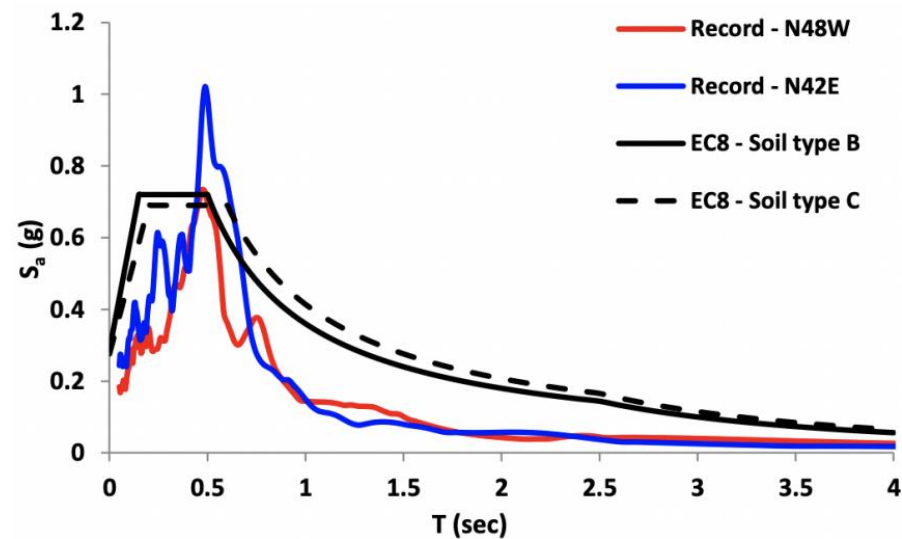
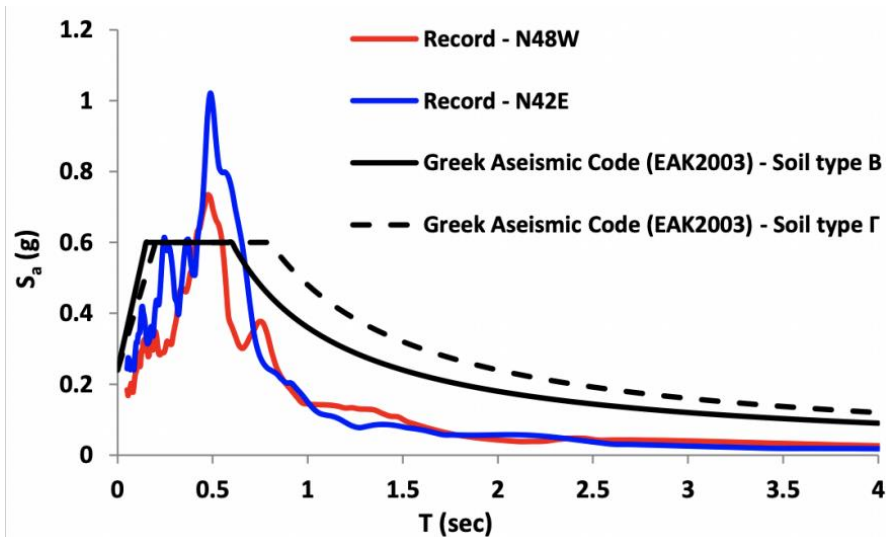


Χρονοϊστορία εδαφικής επιτάχυνσης στο σταθμό SMG1 (Βαθύ, Σάμου) των δύο οριζοντίων συνιστωσών (N48W, N42E, V από πάνω προς τα κάτω αντίστοιχα). Η περιβάλλουσα διάρκεια (BD) ισχυρής δόνησης για επίπεδο επιτάχυνσης $\geq 0.05g$, δείχνεται με κόκκινο βέλος

Σεισμός Σάμος

- Τα κτίρια της Σάμου κατατάσσονται, από την άποψη του Αντισεισμικού Κανονισμού ο οποίος εφαρμόσθηκε κατά την μελέτη τους, στις εξής κατηγορίες: Προ του 1959, 1959-1985, 1986-1995, 1995- 2000, 2000-2003, 2003-2014 και 2014 έως σήμερα.
- Στην πλειονότητά τους, τα κτήρια από φέρουσα τοιχοποιία τα οποία εμφάνισαν βλάβες είναι κατασκευασμένα προ του 1959 (δηλαδή, χωρίς εφαρμογή Αντισεισμικού Κανονισμού) ή με τον Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959 (δηλαδή, για οριζόντια δύναμη ίση με 6%-12% των μονίμων και κινητών φορτίων, ανάλογα με την επικινδυνότητα εδάφους, κατανεμημένη ανάλογα με την δυσκαμψία των πεσσών).
- Πολλές από τις βλάβες που παρατηρήθηκαν αφορούσαν κτίρια στα οποία είτε δεν είχαν ακολουθηθεί αυτά τα κριτήρια, είτε παρέμειναν χωρίς συντήρηση, είτε είχαν υποστεί μεταγενέστερες επεμβάσεις.

Σεισμός Σάμος



Φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης οριζοντίων συνιστωσών στη θέση του σταθμού επιταχυνσιογράφου SMG1 σε σύγκριση με τα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού του ΕΚ2000 και του Ευρωκώδικα EC8.

Σεισμός Σάμος



Αστοχία μαλακού ορόφου σε πεντάωροφη οικοδομή.

Σεισμός Σάμος



Αστοχία κοντού υποστυλώματος σε τετράωροφη οικοδομή.

Σεισμός Σάμος



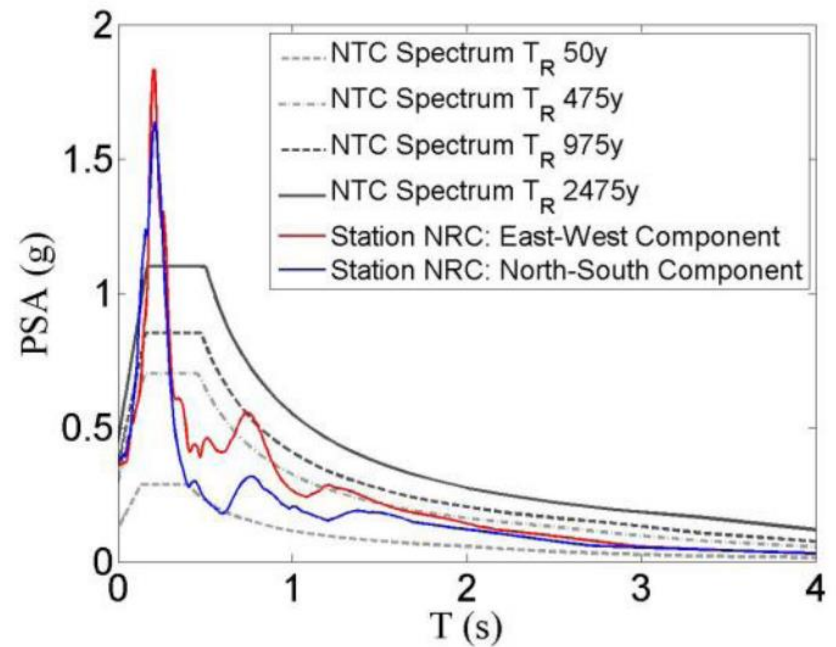
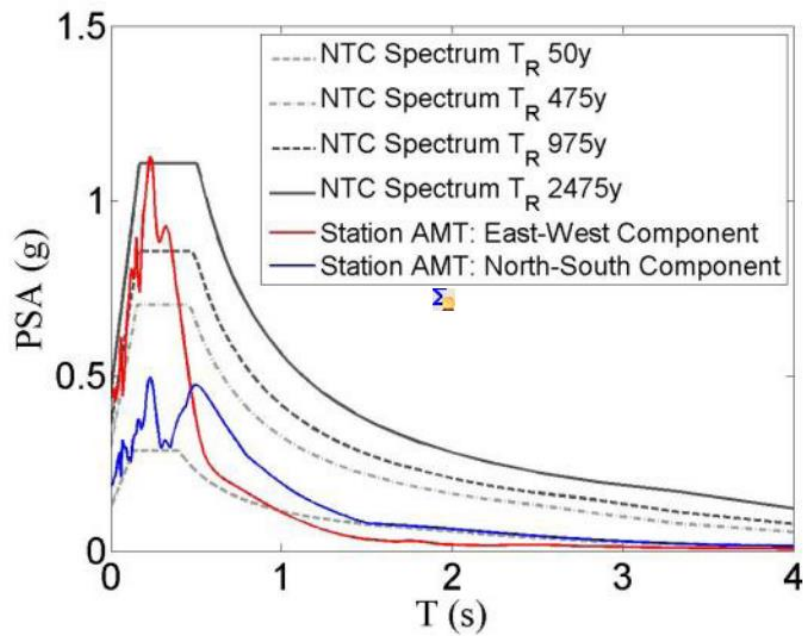
Διατμητική αστοχία σε τοίχωμα μαλακού ορόφου

Σεισμός Amatrice, 2016



<http://www.kpbs.org/photos/2016/aug/24/84839/>

Σεισμός Amatrice



Σεισμός Amatrice



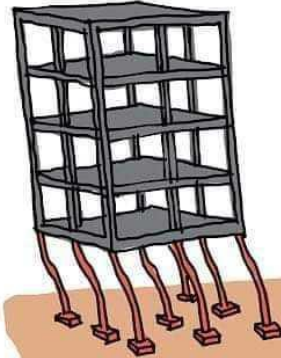
Πολλαπλές αστοχίες κτηρίου.

Σεισμός Amatrice



Αστοχία κόμβων δοκού - υποστυλώματος

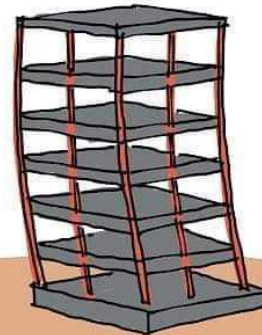
EARTHQUAKE RESISTANT DESIGN



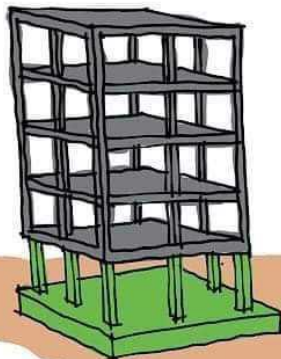
WEAK LOWER LEVELS



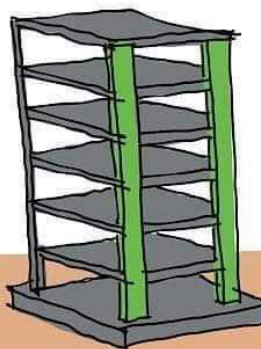
DISCONTINUED VERTICAL ELEMENTS



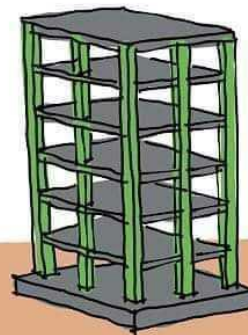
WEAK COLUMNS



STRONG LOWER LEVELS



SYMMETRICAL SKELETON



STRONG COLUMNS



07SKETCHES.CO