

ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ

Αποτελέσματα του
σεισμού στις
τεχνικές
κατασκευές



Μία κλίμακα εντάσεων μοιάζει κατά κάποιον τρόπο με το σύστημα της **στενογραφίας**, με την έννοια ότι επιτρέπει τη συμπύκνωση μίας φλύαρης περιγραφής των αποτελεσμάτων του σεισμού σε ένα μοναδικό σύμβολο (συνήθως ένα αριθμό). Η περιγραφή της έντασης με αυτό τον τρόπο είναι χρήσιμη για να παρουσιαστούν οι περιορισμοί στη σύλληψή της.

Η ένταση είναι περισσότερο περιγραφική υπό την έννοια της αφήγησης σε πεζό λόγο, παρά αναλυτική, όπως η μέτρηση που παρέχει ένα όργανο. Η ένταση είναι ικανή να αναλυθεί και να ερμηνευθεί, και αποτελεί όντως μία πολύ χρήσιμη παράμετρο, αφού η χρησιμότητά της υπερβαίνει ό,τι θα μπορούσε να γίνει με μία απλή συρραφή περιγραφών.

ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΕΝΤΑΣΗΣ

Οι διάφορες κλίμακες έντασης αποτελούνται από μία σειρά περιγραφών των αποτελεσμάτων διαφόρων βαθμών σεισμικής δόνησης σε ένα αριθμό κτηρίων που μπορεί να συναντήσει κανείς στο καθημερινό περιβάλλον. Αυτά μπορούν να δράσουν ως αισθητήρες, εφόσον η αντίδρασή τους στη δόνηση χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της σφοδρότητας της δόνησης, αλλά δεν αποτελούν ειδικό εξοπλισμό που πρέπει να εγκατασταθεί από τον ερευνητή.

Αυτό είναι και ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της έντασης ως εργαλείου: δεν χρειάζονται όργανα για να τη μετρήσουν. Οι αισθητήρες που έχουν παραδοσιακά χρησιμοποιηθεί στις κλίμακες εντάσεων χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες:

Έμβια όντα

Συνήθη αντικείμενα

Φυσικό περιβάλλον

Κτήρια. Καθώς αυξάνει η ένταση, τα κτήρια υφίστανται σταδιακά όλο και σοβαρότερες βλάβες.

ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Σε μια πολύ απλή κλίμακα έντασης, όλες οι βλάβες σε κτήρια ενός συγκεκριμένου τύπου θα ομαδοποιούνταν μαζί ανεξάρτητα από την αντοχή του κτηρίου που έπαθε τη βλάβη.

Αυτή η κλίμακα θα ήταν εύκολη στη χρήση, αλλά θα μπορούσε να δώσει αρκετά παραπλανητικά αποτελέσματα σε μια περιοχή όπου υπάρχουν διαφορετικοί τύποι κτηρίων.

Από την άλλη πλευρά, μπορεί κάποιος να φανταστεί μια κλίμακα έντασης για την οποία θα χρειαζόταν να γνωρίζει τις ακριβείς κατασκευαστικές παραμέτρους ενός κτηρίου πριν να εκτιμήσει την δόνηση που προκάλεσε την παρατηρούμενη βλάβη. Αυτή η κλίμακα μπορεί να ήταν ακριβής, αλλά θα ήταν αδύνατον να χρησιμοποιηθεί στην πράξη.

Η Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα ενσωματώνει μια παραδοχή, σύμφωνα με την οποία έχει χρησιμοποιηθεί μια απλή διάκριση της αντοχής των κτηρίων σε δόνηση που προκαλείται από σεισμό (τρωτότητα), προκειμένου να δώσει μια αξιόπιστη μέθοδο διάκρισης του τρόπου με τον οποίο τα κτήρια μπορούν να αντιδράσουν στη σεισμική δόνηση.

Ο **Πίνακας Τρωτότητας** είναι μια απόπειρα να κατηγοριοποιηθεί η αντοχή των κατασκευών με εύχρηστο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη και τον τύπο του κτηρίου και άλλους παράγοντες.

Αυτή είναι μια εξέλιξη από τις προηγούμενες κλίμακες που χρησιμοποιούσαν μόνο τον τύπο της κατασκευής ως παράγοντα τρωτότητας.

ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΕΝΤΑΣΗΣ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Παρουσιάστηκαν σοβαρά προβλήματα με τον χειρισμό μελετημένων κτηρίων ή αντισεισμικών κατασκευών για αξιολογήσεις έντασης. Οι αιτίες γι' αυτό ήταν:

- Η περιορισμένη γνώση και εμπειρία μέχρι τώρα σχετικά με τη συστηματοποίηση των μορφών σεισμικών βλαβών για τις κατηγορίες κτηρίων.
- Η μεγάλη ποικιλία συστημάτων ταξινόμησης των μελετημένων κατασκευών στους αντισεισμικούς κανονισμούς.
- Διαφωνίες μεταξύ μηχανικών και σεισμολόγων σχετικά με τη χρήση της έντασης και σχετικά θέματα έρευνας (π.χ. μια τάση μεταξύ μηχανικών να υπερεκτιμούν τη σημασία των ενόργανων δεδομένων σχετικά με τις εντάσεις και επομένως ο κίνδυνος να υπερτιμηθεί η έννοια της έντασης).

ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΕΝΤΑΣΗΣ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Παρουσιάστηκαν σοβαρά προβλήματα με τον χειρισμό μελετημένων κτηρίων ή αντισεισμικών κατασκευών για αξιολογήσεις έντασης. Οι αιτίες γι' αυτό ήταν:

- Η συχνά ανακριβής σεισμολογική προσέγγιση στην εκτίμηση της έντασης σχετικά με τους κτηριακούς τύπους που χρησιμοποιούνταν προηγούμενα στις κλίμακες MSK-64 ή MM-56. Δηλαδή η γενική παράβλεψη της ποιότητας κατασκευής, της δομικής κανονικότητας, της αντοχής των υλικών, της κατάστασης συντήρησης, κ.ο.κ., καθώς και η ανάγκη να ληφθούν υπ' όψη θέματα όπως οι συνθήκες κλιμάκωσης.

Ήταν ήδη αποδεκτό από παλαιότερα ότι μόνο τα **μελετημένα** κτήρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκτίμηση έντασης, βάσει των αρχών αντισεισμικού σχεδιασμού.

Βασικό βήμα ήταν η εισαγωγή του **Πίνακα Τρωτότητας** που προσφέρει τη δυνατότητα χειρισμού σε ένα πλαίσιο διαφορετικών ειδών κτηρίων και της ποικιλίας του πραγματικού εύρους της τρωτότητάς τους.

Σε προηγούμενες εκδόσεις κλιμάκων οι κτηριακοί τύποι καθορίζονταν με ένα αρκετά περιορισμένο τρόπο, μόνο με τον τύπο κατασκευής.

Αυτός ο πίνακας τρωτότητας, ως θεμελιώδες τμήμα της EMS, ενσωματώνει τα μελετημένα και τα μη μελετημένα κτήρια σ' ένα ενιαίο πλαίσιο. Η εισαγωγή του πίνακα τρωτότητας αγνωρίστηκε ευρέως, καθώς και η εισαγωγή των νέων ορισμών των βαθμών βλάβης και ειδικά ο Οδηγός Χρήσης της Κλίμακας Έντασης και τα διάφορα Παραρτήματα.

Νέοι κτηριακοί τύποι ή αυτοί που δεν καλύπτονται από τον παρόντα πίνακα τρωτότητας μπορούν να προστεθούν με κατάλληλο τρόπο. Γενικά, οι τεχνικές απόψεις που ενσωματώθηκαν στη νέα κλίμακα εκτιμήθηκαν από τους μηχανικούς. Αποτέλεσαν θέμα συναντήσεων σε διεθνή συνέδρια αντισεισμικής τεχνολογίας, και ακόμη μιας Ειδικής Θεματικής Συνάντησης σχετικά με την EMS-92 στο Παγκόσμιο Συνέδριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας στο Ascarulco το 1996.

Τα νέα στοιχεία της EMS με τη μορφή του πίνακα τρωτότητας και των βαθμών βλάβης διευκόλυνε τη χρήση της κλίμακας από ασφαλιστές, προγραμματιστές και υπεύθυνους κέντρων αποφάσεων για να εξάγουν σενάρια βλαβών ή κινδύνου για συγκεκριμένες εντάσεις.

ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ ΕΝΤΑΣΕΩΝ

Ταξινομήσεις που χρησιμοποιούνται στην Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα (EMS)

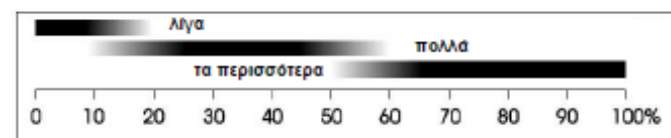
Κατάταξη κατασκευών (κτηρίων) σε κατηγορίες τρωτότητας (Πίνακας Τρωτότητας)

	Τύπος κατασκευής	Κατηγορία τρωτότητας					
		A	B	C	D	E	F
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	Αργολιθοδομή	○					
	Χαλαρή λιθοδομή	○	—				
	Πλινθοδομή	○	—				
	Απλή λιθοδομή	—	○				
	Λιθοδομή με μεγάλους λίθους		—	○	—		
	Άοπλη λιθοδομή / Τσιμεντόλιθος	—	○	—			
	Άοπλη λιθοδομή με πλάκες οπλ. σκυροδέματος		—	○	—		
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	Οπλισμένη πλινθοδομή ή εγκατασκευασμένη τοιχοποιία			—	○	—	
	Σκελετός χωρίς αντισεισμική σχεδίαση (ΑΣ)	—	—	○	—		
	Σκελετός με μέτριο βαθμό ΑΣ		—	—	○	—	
	Πλαίσιο με υψηλό βαθμό ΑΣ			—	—	○	—
	Τοιχεία χωρίς ΑΣ		—	○	—		
	Τοιχεία με μέτριο βαθμό ΑΣ			—	○	—	
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ	Χαλύβδινες κατασκευές			—	—	○	—
	Εύλινες κατασκευές		—	—	○	—	

○ πιθανότερη κατηγορία τρωτότητας — πιθανό εύρος
— λιγότερο πιθανό εύρος, ειδικές περιπτώσεις

Οι κτηριακοί τύποι από τοιχοποιία νοούνται ως, π.χ. απλή λιθοδομή, ενώ οι κτηριακοί τύποι από οπλισμένο σκυρόδεμα (ΟΣ) νοούνται ως, π.χ. σκελετός ΟΣ ή τοιχείο ΟΣ. Βλ. ενότητα 2 των Οδηγιών και Υλικού Υποβάθρου για περισσότερες λεπτομέρειες, επίσης σε σχέση με τη χρήση των κτηρίων με αντισεισμικό σχεδιασμό.

Καθορισμός ποσοτήτων



ΒΑΘΜΟΙ ΒΛΑΒΗΣ

Οι βαθμοί βλάβης είναι και αυτοί ένας συμβιβασμός. Οι βαθμοί 1 έως 5 θα έπρεπε ιδεατά να αντιπροσωπεύουν μία **γραμμική αύξηση** της σφοδρότητας της δόνησης. Αυτό γίνεται κατά προσέγγιση και οι βαθμοί βλάβης είναι έντονα επηρεασμένοι από την ανάγκη περιγραφής του είδους της βλάβης το οποίο μπορεί αμέσως να αναγνωρίσει ο παρατηρητής.

Δεν αναφέρονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί μεταξύ κατηγοριών τρωτότητας και βαθμών βλάβης για κάθε βαθμό της κλίμακας, αλλά συνήθως μόνο **οι δύο υψηλότεροι**. Συνάγεται ότι ανάλογος αριθμός κτηρίων έπαθε βλάβες μικρότερων βαθμών.

ΒΑΘΜΟΙ ΒΛΑΒΗΣ

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στη διαφορά μεταξύ **δομικής** και **μη δομικής** βλάβης, και να γίνεται προσεκτικός διαχωρισμός μεταξύ βλάβης στο **κύριο σύστημα (φέρον/δομικό)** και βλάβης στα **δευτερεύοντα (μη δομικά) στοιχεία** (όπως τοίχοι πλήρωσης ή τοιχοπετάσματα).

Στην ειδική περίπτωση κτηρίων με αντισεισμικό σχεδιασμό θα πρέπει κανείς να διακρίνει τη βλάβη σε ειδικές (και επομένως προβλεφθείσες) ζώνες ελαστικότητας (όπως δοκάρια σύνδεσης σε κατασκευές με τοιχεία, αρμούς σε κτήρια με προκατασκευασμένα τοιχώματα ή δοκάρια σε συνδέσμους κατασκευών με σκελετό).

Συστήνεται να εξετάζονται τα κτήρια **μέσα και έξω**, αφού η εμφάνιση της όψης μπορεί να είναι παραπλανητική (παρόλο που μερικές φορές αυτό είναι δύσκολο για λόγους ασφαλείας). Δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι βλάβες που οφείλονται σε άλλα φαινόμενα που συνδέονται με το σεισμό, αλλά δεν οφείλονται στη σεισμική δόνηση. Τέτοια φαινόμενα περιλαμβάνουν βλάβες λόγω **αλληλοσύγκρουσης διπλανών κτηρίων με ανεπαρκή διαχωριστικά στοιχεία, κατολισθήσεων, αστοχίας πρανών και ρευστοποίησης**.

Σε αντίθεση, βλάβες μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες εξ αιτίας παραγόντων όπως φαινόμενα **συντονισμού, ή όταν τα σεισμικά φορτία ξεπεράσουν το επίπεδο που προβλέπεται από το βαθμό αντισεισμικού σχεδιασμού**, παραμένουν άμεσο αποτέλεσμα της σεισμικής δόνησης και πρέπει να ληφθούν υπόψη ως έχουν.

Τύποι κτηρίων και κατηγορίες τρωτότητας Βαθμοί βλάβης

α) Κατασκευές σχεδιασμένες για σεισμό μικρής έντασης με μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης, πρέπει να αντέξουν ένα τέτοιο γεγονός χωρίς δομικές βλάβες και χωρίς ή μόνο με ελάχιστες βλάβες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη λειτουργικότητά τους.

β) Κατασκευές σχεδιασμένες για σεισμό μέτριας έντασης με χαμηλή πιθανότητα εμφάνισης, μπορούν σαφώς να αποκριθούν στο σεισμό σχεδιασμού με ελαφρές μη δομικές βλάβες, αλλά αναμένεται να διασωθούν χωρίς να χάσουν τη λειτουργικότητά τους.

γ) Κατασκευές σχεδιασμένες για σεισμό μεγάλης έντασης πρέπει να αντέξουν στις δομικές βλάβες χωρίς απώλεια της δομικής τους ακεραιότητας και ευστάθειας. Για αυτό το επίπεδο σχεδιασμού οι σεισμικές βλάβες επιτρέπονται, χωρίς όμως να υπερβαίνουν το βαθμό 3.

Επομένως, μπορεί να υπάρχει συσσώρευση βλαβών στους βαθμούς 2 και 3.

Χρήση της αρνητικής πληροφορίας

- «ο σεισμός τρόμαξε πολύ τους κατοίκους της Slavonice αλλά δεν προκάλεσε καμμία βλάβη»

Υψηλά κτήρια και άλλες ειδικές περιπτώσεις

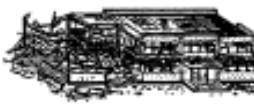
Επίδραση εδαφικών συνθηκών

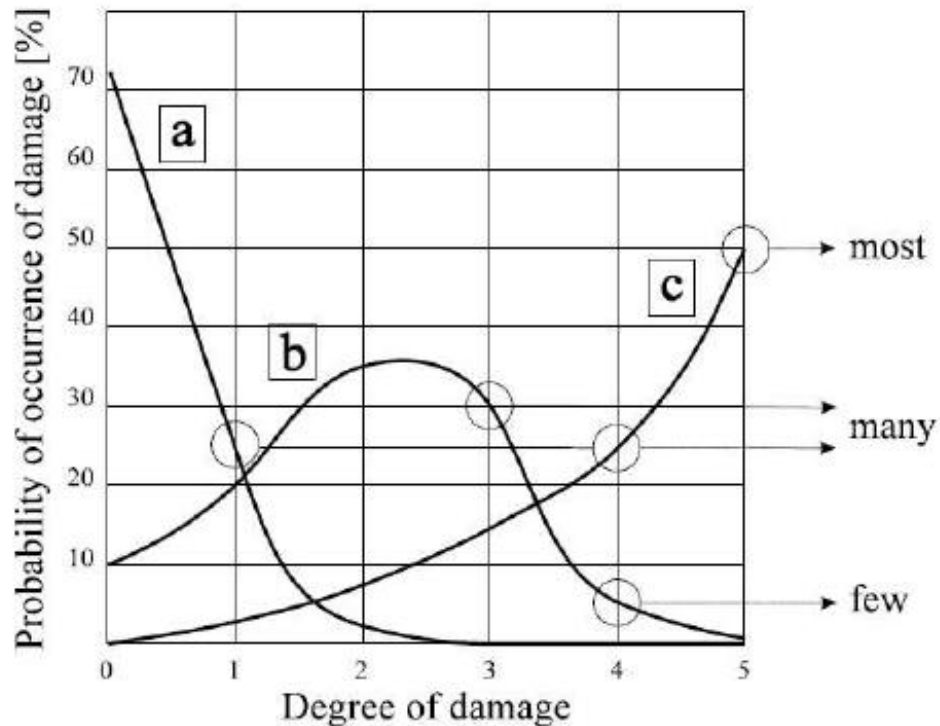
Ταξινόμηση βλαβών

Παρατήρηση: ο τρόπος με τον οποίο ένα κτήριο παραμορφώνεται υπό την επήρεια σεισμικού φορτίου εξαρτάται από τον κτηριακό τύπο. Ως μια ευρεία ταξινόμηση μπορεί κανείς να ομαδοποιήσει τύπους κτηρίων από τοιχοποιία καθώς και κτήρια από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Κατηγορίες βλαβών σε κτήρια από τοιχοποιία	
	Βαθμός 1: <i>Αμελητέες έως ελαφρές βλάβες (καθόλου δομικές βλάβες, ελαφρές μη δομικές βλάβες)</i> Τριχοειδείς ρωγμές σε λίγους τοίχους. Πτώση μόνο μικρών κομματιών επιχρίσματος. Πτώση χαλαρών λίθων από τα ανώτερα τμήματα του κτηρίου σε πολύ λίγες περιπτώσεις.
	Βαθμός 2: <i>Μέτριες βλάβες (ελαφρές δομικές βλάβες, μέτριες μη δομικές βλάβες)</i> Ρωγμές σε πολλούς τοίχους. Πτώση αρκετά μεγάλων κομματιών επιχρίσματος. Μερική κατάρρευση καπνοδόχων.
	Βαθμός 3: <i>Σημαντικές έως βαριές βλάβες (μέτριες δομικές βλάβες, βαριές μη δομικές βλάβες)</i> Μεγάλες και εκτεταμένες ρωγμές στους περισσότερους τοίχους. Αποκόλληση κεραμιδιών. Θραύση σε καπνοδόχους κατά μήκος της γραμμής της οροφής. Βλάβες σε μεμονωμένα μη δομικά στοιχεία (χωρίσματα, αετώματα).
	Βαθμός 4: <i>Πολύ βαριές βλάβες (βαριές δομικές βλάβες, πολύ βαριές μη δομικές βλάβες)</i> Σοβαρές αστοχίες στους τοίχους. Μερική δομική αστοχία οροφών και δαπέδων.
	Βαθμός 5: <i>Καταστροφή (πολύ βαριές δομικές βλάβες)</i> Ολική ή σχεδόν ολική κατάρρευση

Ταξινόμηση βλαβών

Κατηγορίες αστοχιών σε κτήρια από οπλισμένο σκυρόδεμα	
	Βαθμός 1: <i>Αμελητέες έως ελαφρές βλάβες (καθόλου δομικές βλάβες, ελαφρές μη δομικές βλάβες)</i> Λεπτές ρωγμές στο επίχρισμα πάνω από στοιχεία του σκελετού ή σε τοίχους στη βάση. Λεπτές ρωγμές σε χωρίσματα και τοίχους πληρώσεως.
	Βαθμός 2: <i>Μέτριες βλάβες (ελαφρές δομικές βλάβες, μέτριες μη δομικές βλάβες)</i> Ρωγμές σε υποστυλώματα και δοκούς του φέροντος σκελετού και σε δομικούς τοίχους. Ρωγμές σε χωρίσματα και τοίχους πληρώσεως. Πτώση σαθρών επενδύσεων και επιχρισμάτων. Πτώση κονιάματος από τους αρμούς των πανέλων τοιχοποιίας.
	Βαθμός 3: <i>Σημαντικές έως βαριές βλάβες (μέτριες δομικές βλάβες, βαριές μη δομικές βλάβες)</i> Ρωγμές στα υποστυλώματα και στους κόμβους δοκών και υποστυλωμάτων των σκελετών στη βάση και στους αρμούς συνδεδεμένων τοιχείων. Θρυμματισμός επικάλυψης οπλισμού, παραμόρφωση ράβδων οπλισμού. Μεγάλες ρωγμές σε χωρίσματα και τοίχους πλήρωσης, αστοχία ανεξάρτητων πανέλων πλήρωσης
	Βαθμός 4: <i>Πολύ βαριές βλάβες (βαριές δομικές βλάβες, πολύ βαριές μη δομικές βλάβες)</i> Μεγάλες ρωγμές στα δομικά στοιχεία με αστοχία του σκυροδέματος σε θλίψη και θραύση των ράβδων οπλισμού. Αστοχία πρόσφυσης των οπλισμών των δοκών,, κλίση υποστυλωμάτων. Κατάρρευση λίγων υποστυλωμάτων ή ενός μεμονωμένου ανώτερου ορόφου.
	Βαθμός 5: <i>Καταστροφή (πολύ βαριές δομικές βλάβες)</i> Κατάρρευση ισόγειου ή μέρους (π.χ. πτέρυγας) κτηρίων.



○ intersecting points between typical damage probability functions and damage grades taken for the classification of intensity degrees

Level of intensity:

a I = VI **b** I = VIII **c** I = X

Σχέση μεταξύ χαρακτηριστικών κατανομών συχνότητας βαθμών βλάβης για διαφορετικούς βαθμούς έντασης και ορισμοί που χρησιμοποιούνται στην παρούσα κλίμακα έντασης.

Στον άξονα x παριστάται ο Βαθμός βλάβης και στον άξονα y η Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης (%). Με κύκλο παρουσιάζονται τα σημεία τομής μεταξύ χαρακτηριστικών συναρτήσεων πιθανότητας βλάβης και βαθμών βλάβης που λαμβάνονται για την κατάταξη των βαθμών έντασης.



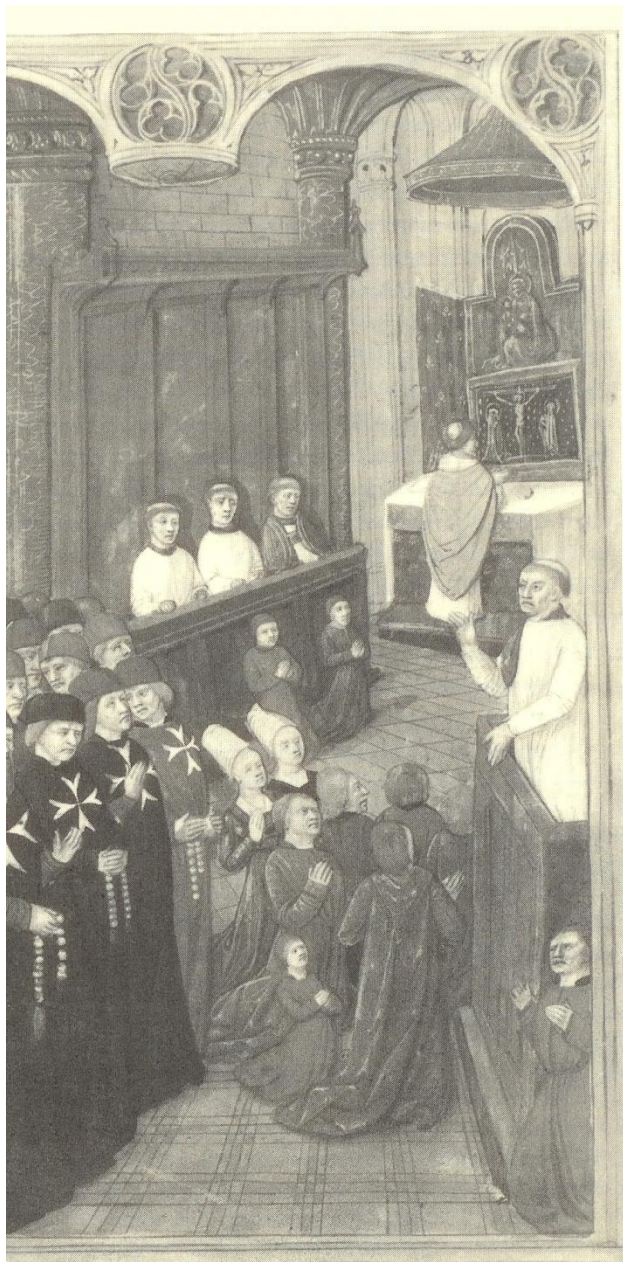
Photo: USGS/D. Carver

生中継

兵庫県 芦屋市内







manuscrit de Caesars: Bibliothèque Nationale de France

VOLUME 47, N. 2/3, April/June 2004



Editrice Compositori



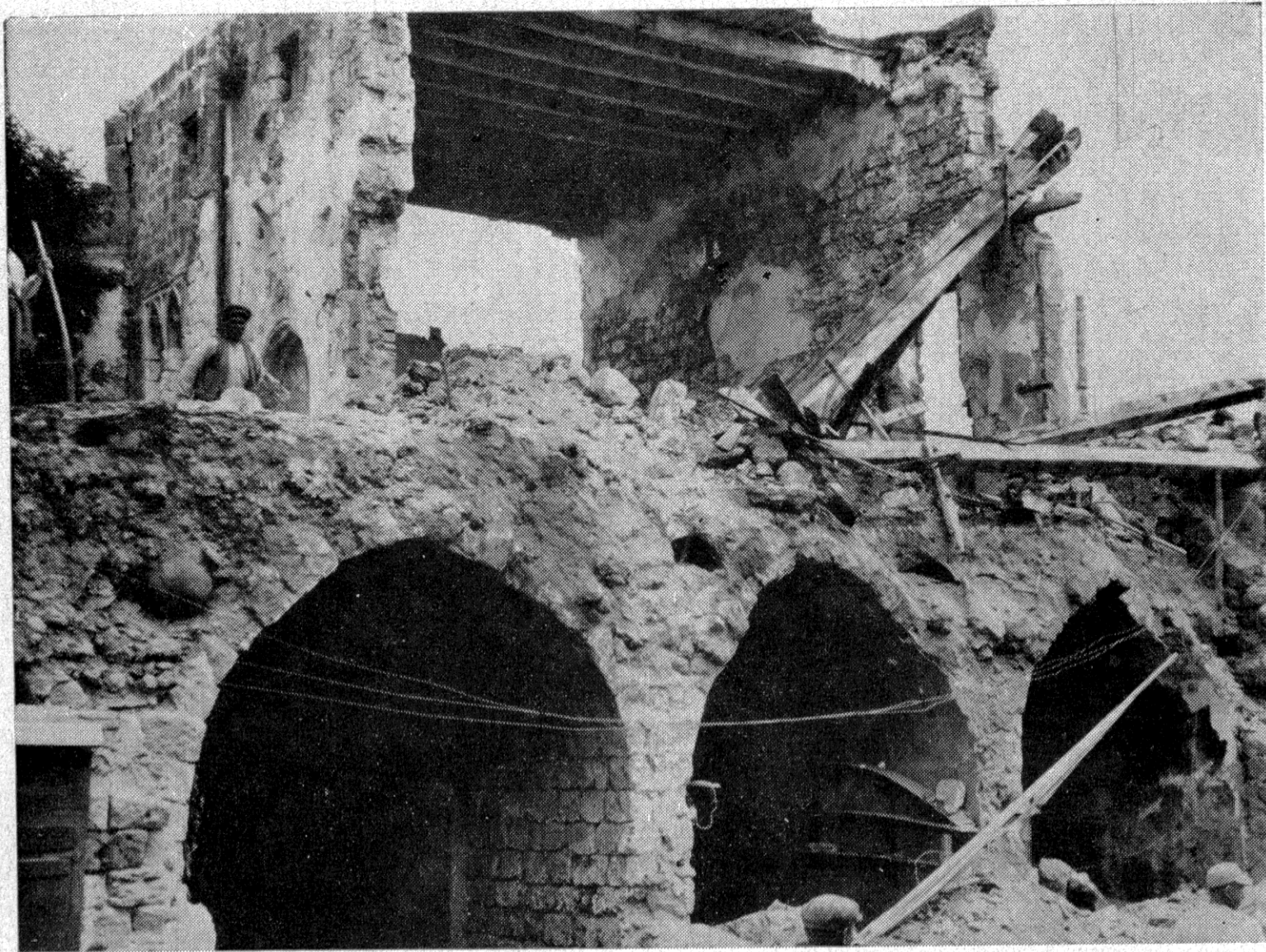


Fig. 6 : Failure of the houses in the old district of the town of Rhodes, Island of Rhodes, during the earthquakes of April 24 and 25, 1957.

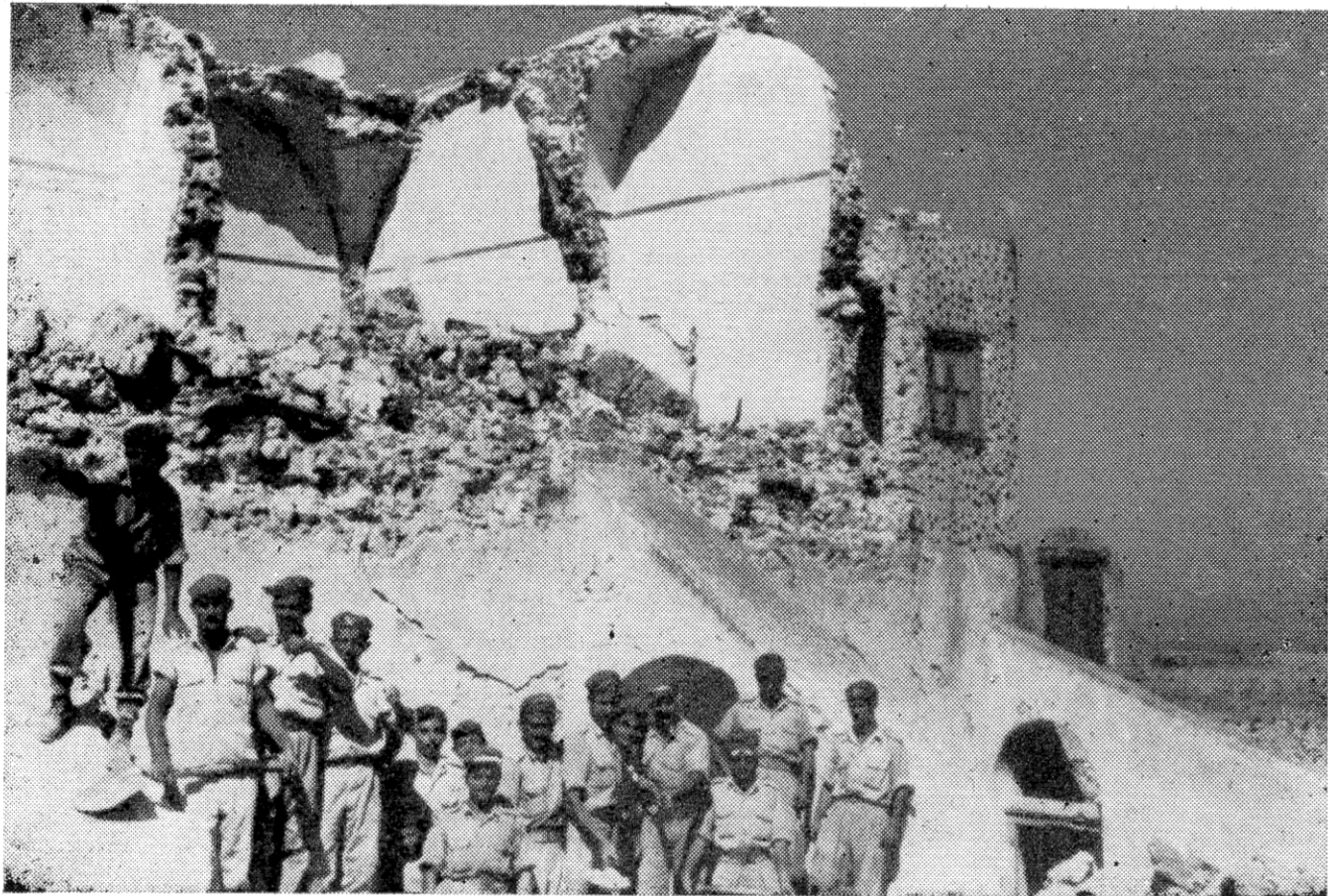


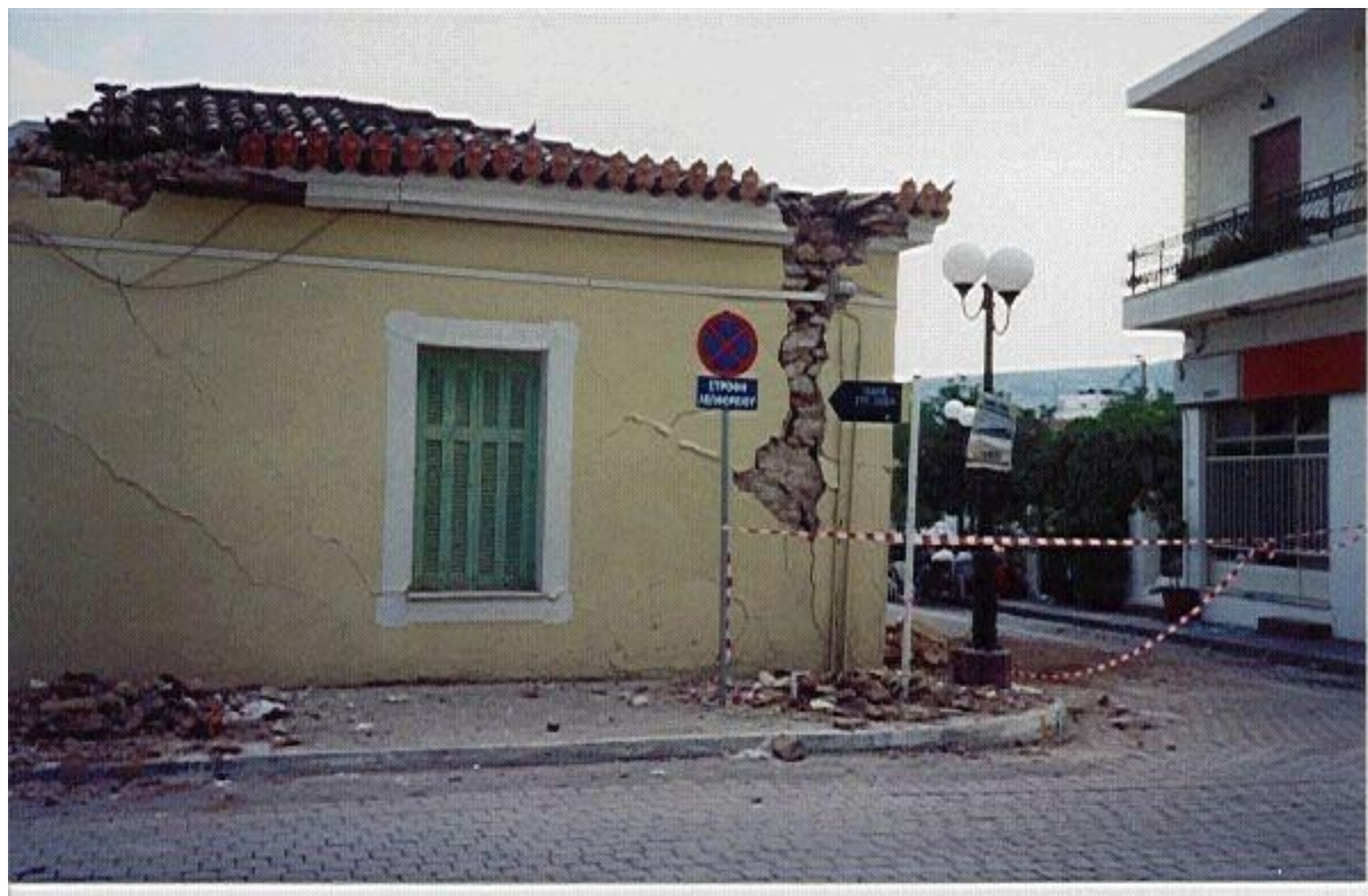
Fig. 4—Common type of failure in Phira, Thera Island, after the earthquakes of July 9, 1956.





*Μία άποψις οίκιας μετά την κατεδάφισιν
τῶν ἐτοιμορρόπων τοίχων της.*

(Φωτογραφία 4^η Ελ. Βήματος τῶν Ἀθηνῶν)











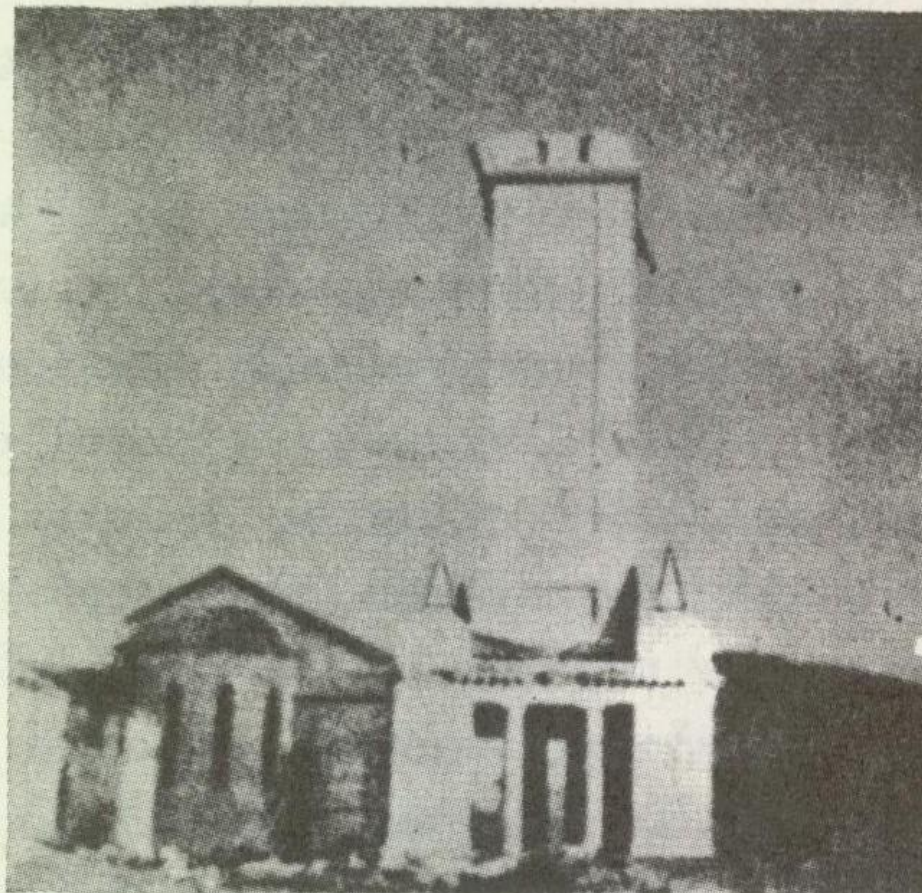












Εἰκ. 60. Κατάρρευσις τοῦ ἄνω μέρους τοῦ κωδωνοστασίου τοῦ ναοῦ τοῦ Ἁγίου Διονυσίου, ἐν Ζακύνθῳ, κατὰ τοὺς σεισμοὺς τῆς 9-12 Αὐγούστου 1953. Ὁ ναός, παραπλεύρως, οὐδεμίαν ζημίαν ὑπέστη.



Photo 1. Left: damage abandoned structure at the port of Piraeus. Centre: damage to the Pantanassa bell tower, Right: partial collapse to old buildings Source: iefimerida.gr - <https://www.iefimerida.gr/ellada/seismos-stin-athina-eleghoi-oi-zimies-se-foto>

Αθήνα 2019



