



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

**Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών**

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ - ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3

Αποτελέσματα του σεισμού στις κατασκευές

Α. Αναλυτικό Παράδειγμα – Από γραπτές μαρτυρίες

Οι δύο περιγραφές που ακολουθούν αναφέρονται στα αποτελέσματα του σεισμού των Θαλασσίων Άλπεων στις 20 Ιουλίου 1564 στα χωριά La Bollène, Roquebillière και Belvédère της περιοχής Nissard (Νίκαια της Γαλλίας).

Η παρακάτω αναφορά γράφτηκε από το συμβολαιογράφο της Νίκαιας Λυμπονίς· το πρωτότυπο κείμενο χάθηκε και έγινε γνωστό χάρη στην μεταγραφή του από τον Σκαλιέρο, ένα τοπικό ιστορικό του 18^{ου} αιώνα, ο οποίος σημειώνει ότι το κείμενο είναι προσαρτημένο στο συμβολαιογραφικό πρωτόκολλο του 1565:

«Για την παράδοση ώρα και τον τρομερό σεισμό που έγινε στο κομιτάτο της Νίκαιας την ίδια χρονιά στο χιλιοστό πεντακοσιοστό [πεντηκοστό διαγραμμαμένο] εξηκοστό τέταρτο χρονολογική εποχή [ινδικτιώνος] έβδομη και μέρα καταστρεπτική [Διός] γύρω στις 20 Ιουλίου μία ώρα της νύχτας έγινε κάποιος σεισμός στο κομιτάτο της Νίκαιας χωρίς όμως κάποια βλάβη αλλά όλη τη νύχτα εξ αιτίας της συνεχούς διάδοσης εκείνου για δεύτερη φορά έδωσε σεισμό στην περιοχή Lantusie [Latusque] ο οποίος ήταν τόσο ηχηρός και ορμητικός ώστε ο τόπος Bolene αφανίστηκε ολότελα και ρηγματώθηκε [ερειπώθηκε] στον οποίο όλοι οι τοίχοι των σπιτιών είχαν ρωγμές και τα 2/3 του πληθυσμού αυτού του τόπου σκοτώθηκαν και σχεδόν το άλλο 1/3 τραυματίστηκαν· στους τόπους Roquebillière [rocabigliera] και Belvédère [de bello] σχεδόν το μισό μέρος αφανίστηκε και [ήταν] τόσο ερειπωμένο ενώ στην περιοχή Rocabigliera σκοτώθηκαν 22 και σχεδόν 60 τραυματίστηκαν και στον τόπο Belvédère [bello vedere] σκοτώθηκαν 50 και όλοι τραυματίστηκαν.

Η δεύτερη αναφορά είναι η ιστορία της Provence από τον Καίσαρα Νοστράδαμο, πρωτότοκο γιό του περίφημου Μιχαήλ· η πηγή αυτή περιέχει μία έκθεση που λέγεται ότι την είχε αφήσει «σε ρολό γραμμένο στην τοπική διάλεκτο της Νίκαιας κάποιος από την περιοχή της Νίκαιας που πέρασε από το Salon (Salon-de-Provence, όπου ο Νοστράδαμος διήνυσε τα τελευταία χρόνια της ζωής του) την ίδια εποχή» με το σεισμό.

[Τον ίδιο καιρό [1564] πέρασε από την πόλη μας, τη Sallon, ένας που μιλούσε για εκείνα τα μέρη, ο οποίος διηγούμενος αυτά τα θλιβερά πράγματα και αυτές τις τόσο παράξενες προφητείες, άφησε ένα ρολό [πάπυρο;] γραμμένο στη γλώσσα του και στη γλώσσα της Nissard που μοιάζει με παλιά προβηγκιακά [και περιγράφει] τις ερειπωμένες πόλεις και τα κάστρα: η Boullene [Bollene] συνολικά και εκ θεμελίων ερειπωμένη, 250 νεκροί και 14 τραυματίες]

Ανάλυση

Αυτή η αναφορά είναι χαρακτηριστικό είδος διαθέσιμου υλικού σε σχέση με τους πρώιμους ιστορικούς σεισμούς. Η ποσότητα των πληροφοριών είναι εξαιρετικά περιορισμένη, τόσο σε σχέση με τις βλάβες, όσο και με το είδος των κτηρίων. Από μία επιφανειακή εκτίμηση φαίνεται ότι η Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική κλίμακα δεν είναι τόσο ικανή όσο άλλες κλίμακες να αντιμετωπίσει περιπτώσεις όπου λεπτομερείς πληροφορίες για τα κτήρια δεν είναι διαθέσιμες. Αυτό δεν ισχύει στην προκειμένη περίπτωση· άλλες κλίμακες ή κάνουν υπόγειες υποθέσεις για τον τύπο του κτηρίου, γεγονός το οποίο περιορίζει τις επιλογές του αναλυτή, ή χρησιμοποιούν γενικές κατηγοριοποιήσεις, οι οποίες παρέχουν ελάχιστη ανάλυση.

Για την Roquebillière και τη Belvédère «τα μισά σπίτια υπέστησαν βαρείες βλάβες». Σε αυτή την περίπτωση, η ερμηνεία της κατανομής των βλαβών ως «τα περισσότερα βαθμού 4, πολλά βαθμού 5» δεν μπορεί πλέον να υποστηριχθεί. Η «Πολλά βαθμού 4, μερικά βαθμού 5» είναι ακόμη αξιόπιστη, και η «πολλά βαθμού 3, μερικά βαθμού 4» μπορεί να ληφθεί υπόψη, αλλά ταιριάζει λιγότερο. Με την τρωτότητα να κυμαίνεται πάλι μεταξύ Α και Β, έχουμε εύρος εντάσεων 7-9, αλλά το πιθανότερο είναι 8-9.

Β. ΔΕΔΟΜΕΝΑ

1. Με βάση τις πληροφορίες που δόθηκαν στο αναλυτικό παράδειγμα, να γίνει διεξοδική εκτίμηση της έντασης στην **Bollène** του παραπάνω παραδείγματος.
2. Δίνονται οι περιγραφές των βλαβών που προκάλεσαν δύο σεισμοί, ένας ιστορικός και ένας σύγχρονος. Να εκτιμηθούν οι κατηγορίες τρωτότητας των κτηρίων και οι βαθμοί βλάβης που αναφέρονται σε κάθε τόπο στα κείμενα του κάθε σεισμού. Τέλος, να ληφθεί υπόψη το σύνολο των πληροφοριών σε κάθε τόπο και να εκτιμηθεί η ένταση του σεισμού. Η κάθε εκτίμησή σας να γίνεται με την ανάλογη τεκμηρίωση.

Ταξινόμηση της κλίμακας EMS98

I. Μη αισθητός

- α) Δεν γίνεται αισθητός, ακόμα και υπό τις ευνοϊκότερες συνθήκες.
- β) Κανένα αποτέλεσμα.
- γ) Απουσία βλαβών.

II. Ανεπαίσθητος

- α) Η δόνηση είναι αισθητή μόνο σε μεμονωμένες περιπτώσεις (<1%) ατόμων που αναπαύονται και σε ειδικές θέσεις μέσα στα κτήρια.
- β) Κανένα αποτέλεσμα.
- γ) Απουσία βλαβών.

III. Ασθενής

- α) Ο σεισμός είναι αισθητός μέσα σε κτήρια από λίγους. Όσοι αναπαύονται αισθάνονται μια ταλάντωση ή ελαφρό τρέμουλο.
- β) Ανηρητημένα αντικείμενα αιωρούνται ελαφρά.
- γ) Απουσία βλαβών.

IV. Ευρέως αισθητός

- α) Ο σεισμός είναι αισθητός από πολλούς μέσα σε κτήρια και από πολύ λίγους έξω. Λίγοι ξυπνούν. Το επίπεδο της ταλάντωσης δεν προκαλεί φόβο. Η ταλάντωση είναι μέτρια. Οι παρατηρητές αισθάνονται ελαφρό τρέμουλο ή ταλάντωση του κτηρίου, δωματίου, κρεβατιού, καρέκλας κλπ.
- β) Πιατικά, ποτήρια, παράθυρα και πόρτες κροτούν. Ανηρητημένα αντικείμενα αιωρούνται. Σε ορισμένες περιπτώσεις ελαφρά έπιπλα δονούνται εμφανώς. Σε ορισμένες περιπτώσεις ξύλινες κατασκευές τρίζουν.
- γ) Απουσία βλαβών.

V. Ισχυρός

- α) Ο σεισμός είναι αισθητός από τους περισσότερους μέσα στα κτήρια και από λίγους έξω. Λίγοι φοβούνται και τρέχουν έξω. Πολλοί ξυπνούν. Οι παρατηρητές αισθάνονται μια δυνατή ταλάντωση ή τράνταγμα όλου του κτηρίου, δωματίου ή επίπλου.
- β) Ανηρητημένα αντικείμενα αιωρούνται αισθητά. Πιατικά, ποτήρια, παράθυρα και πόρτες χτυπούν μεταξύ τους. Μικρά ασταθή αντικείμενα μπορεί να μετακινηθούν ή να πέσουν. Πόρτες και παράθυρα ανοιγοκλείνουν. Υγρά ταλαντώνονται και μπορεί να χυθούν από γεμάτα δοχεία. Τα ζώα μέσα στο σπίτι μπορεί να είναι ανήσυχα.
- γ) Βλάβες βαθμού 1 σε λίγα κτήρια τρωτότητας A και B.

VI. Ελαφρά βλαβερός

- α) Ο σεισμός είναι αισθητός από τους περισσότερους μέσα στα κτήρια και από πολλούς έξω. Λίγοι χάνουν την ισορροπία τους. Πολλοί φοβούνται και τρέχουν έξω.
- β) Μικρά αντικείμενα κανονικής σταθερότητας μπορεί να πέσουν και έπιπλα μπορεί να μετακινηθούν. Σε ορισμένες περιπτώσεις πιάτα και ποτήρια μπορεί να σπάσουν. Τα κατοικίδια ζώα (ακόμα και όταν είναι έξω) μπορεί να τρομάξουν.
- γ) Βλάβες βαθμού 1 σε πολλά κτήρια τρωτότητας A και B.
Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τρωτότητας A και B.
Βλάβες βαθμού 1 σε λίγα κτήρια τρωτότητας C.

VII. Βλαβερός

- α) Οι περισσότεροι φοβούνται και προσπαθούν να τρέξουν έξω. Πολλοί έχουν δυσκολία να σταθούν όρθιοι, κυρίως στους ανώτερους ορόφους.

β) Έπιπλα μετακινούνται και ασταθή έπιπλα μπορεί να ανατραπούν. Μεγάλος αριθμός αντικειμένων πέφτουν από τα ράφια. Το νερό ξεχύνεται από δοχεία, δεξαμενές και λίμνες.

γ) Βλάβες βαθμού 3 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Α· σε λίγα βαθμού 4.

Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Β· σε λίγα βαθμού 3.

Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τρωτότητας C.

Βλάβες βαθμού 1 σε λίγα κτήρια τρωτότητας D.

VIII. Βαριά βλαβερός

α) Πολλοί έχουν δυσκολία να σταθούν όρθιοι, ακόμα και έξω.

β) Έπιπλα μπορεί να ανατραπούν. Αντικείμενα όπως τηλεοράσεις, γραφομηχανές κλπ. πέφτουν στο έδαφος. Ταφόπλακες ενίοτε μετακινούνται, περιστρέφονται ή ανατρέπονται. Σε πολύ χαλαρό έδαφος μπορεί να παρατηρηθεί κυματισμός.

γ) Βλάβες βαθμού 4 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Α· σε λίγα βαθμού 5.

Βλάβες βαθμού 3 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Β· σε λίγα βαθμού 4.

Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τρωτότητας C· σε λίγα βαθμού 3.

Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τρωτότητας D.

IX. Καταστρεπτικός

α) Γενικός πανικός. Άνθρωποι μπορεί να πέσουν με βία στο έδαφος.

β) Πολλά μνημεία και στύλοι ανατρέπονται ή περιστρέφονται. Παρατηρείται κυματισμός σε χαλαρό έδαφος.

γ) Βλάβες βαθμού 5 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Α.

Βλάβες βαθμού 4 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Β· σε λίγα βαθμού 5.

Βλάβες βαθμού 3 σε πολλά κτήρια τρωτότητας C· σε λίγα βαθμού 4.

Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τρωτότητας D· σε λίγα βαθμού 3.

Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τρωτότητας E.

X. Πολύ καταστρεπτικός

γ) Βλάβες βαθμού 5 στα περισσότερα κτήρια τρωτότητας Α.

Βλάβες βαθμού 5 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Β.

Βλάβες βαθμού 4 σε πολλά κτήρια τρωτότητας C· σε λίγα βαθμού 5.

Βλάβες βαθμού 3 σε πολλά κτήρια τρωτότητας D· σε λίγα βαθμού 4.

Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τρωτότητας E· σε λίγα βαθμού 3.

Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τρωτότητας F.

XI. Συντριπτικός

γ) Βλάβες βαθμού 5 στα περισσότερα κτήρια τρωτότητας Β.

Βλάβες βαθμού 4 στα περισσότερα κτήρια τρωτότητας C· σε πολλά βαθμού 5.

Βλάβες βαθμού 4 σε πολλά κτήρια τρωτότητας D· σε λίγα βαθμού 5.

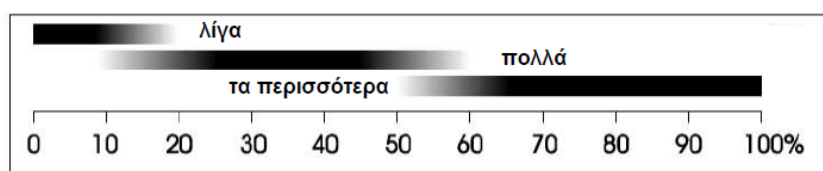
Βλάβες βαθμού 3 σε πολλά κτήρια τρωτότητας E· σε λίγα βαθμού 4.

Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τρωτότητας F· σε λίγα βαθμού 3.

XII. Ολοκληρωτικά συντριπτικός

γ) Όλα τα κτήρια τρωτότητας Α, Β και σχεδόν όλα τρωτότητας C καταστρέφονται. Τα περισσότερα κτήρια τρωτότητας D, E και F καταστρέφονται. Τα αποτελέσματα του σεισμού έχουν προσεγγίσει τα μέγιστα δυνατά αποτελέσματα.

Καθορισμός ποσοτήτων



**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		—○—				
	Άσπλη λιθοδομή / Ταιμεντόλιθος	—○—					
	Άσπλη λιθοδομή με πλάκες απλ. ακυροδέματος		—○—				
	Οπλισμένη πλινθοδομή ή εγκιβωτισμένη τοιχοποιία			—○—			
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	Σκελετός χωρίς αντισεισμική σχεδίαση (ΑΣ)	—○—					
	Σκελετός με μέτριο βαθμό ΑΣ		—○—				
	Πλαίσιο με υψηλό βαθμό ΑΣ			—○—			
	Τοιχεία χωρίς ΑΣ		—○—				
	Τοιχεία με μέτριο βαθμό ΑΣ			—○—			
	Τοιχεία με υψηλό βαθμό ΑΣ				—○—		
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ	Χαλύβδινες κατασκευές			—○—			
ΞΥΛΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	Ξύλινες κατασκευές		—○—				

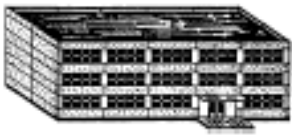
○ πιθανότερη κατηγορία τρωτότητας — πιθανό εύρος
— λιγότερο πιθανό εύρος, ειδικές περιπτώσεις

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.