

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 9^{ΗΣ} ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 1989

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΣΟΛΩΝΟΣ ΚΥΔΩΝΙΑΤΟΥ

ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ.— 'Ο σεισμικός κίνδυνος στην 'Αχαΐα και ιδιαίτερα σέ έν-
δεχόμενη Ζεύξη Ρίου - 'Αντιρρίου, ύπό τοῦ 'Ακαδημαϊκοῦ κ. 'Α. Γαλα-
νοπούλου*.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

'Η 'Αχαΐα καὶ τὰ περίχωρά της (37.7° N 38.7° , 21.5° E 22.5°), καὶ ἰδίως οἱ παράκτιοι οἰκισμοὶ της, ἔχουν ἀπὸ τὸ 373 π.Χ. δοκιμασθεῖ ἀπὸ σεισμικὲς κατα-
στροφὲς εὐρείας ἐκτάσεως (Galanopoulos 1955), ὅπως ἐπίσης καὶ ἀπὸ θαλάσσια
καταστρεπτικὰ κύματα βαρύτητας (Galanopoulos, 1960) ποὺ διεγέρθηκαν ἀπὸ
ἐρημωτικοὺς σεισμοὺς ποὺ εἶχαν τὴν ἐστία τους στὸ δυτικὸ μυχὸ τοῦ Κορινθιακοῦ
κόλπου ($38\ 1/2^{\circ}$ N, $22\ 1/4^{\circ}$ E) καὶ στὸν ἀνατολικὸ μυχὸ τοῦ κόλπου τῶν Πατρῶν ($38\ 1/4^{\circ}$ N, $21\ 3/4^{\circ}$ E). 'Απὸ τοὺς σεισμοὺς αὐτοὺς μεγαλύτερες ἐρημώσεις ἐπέφεραν οἱ
σεισμοὶ τοῦ 373 π.Χ. καὶ τῆς 26ης Δεκεμβρίου 1861.

Τὸ χειμῶνα τοῦ 373 π.Χ. καταστράφηκαν ὁλοσχερῶς τὰ Βοῦρα καὶ καταπον-
τίσθηκε ἡ 'Ελίκη μετὰ τὴν παραλία της μήκους περίπου 2 χιλιομέτρων (βλ. στὴν Εἰκ. 1
τὴ μαύρη λωρίδα τοῦ 'Αλλουβίου). 'Αναφέρεται ὅτι τὸ θαλάσσιο κύμα βαρύτητας
ποὺ διεγέρθηκε ἀπὸ τὴν κατολίσθηση τῆς παραλίας ἀφάνισε 10 πολεμικὰ πλοῖα. 'Ο
σεισμὸς τῆς 26ης Δεκεμβρίου 1861, ποὺ προκάλεσε μεγάλες καταστροφὲς στὰ
Βαλιμήτικα καὶ τὰ Τρυπιά, ἀπόσπασε μετὰξὺ τῶν ποταμῶν Μεγανίτου καὶ
'Ερασίνου, νοτίως τῆς περιοχῆς ποὺ βρισκόταν ἄλλοτε ἡ πόλη 'Ελίκη, ἔκταση
περίπου 15 τετραγωνικῶν χιλιομέτρων. 'Απὸ τὴν ἔκταση αὕτῃ 1,3 τετραγωνικὰ

* A. G. GALANOPOULOS. The Earthquake Hazard in Achaja and Particularly in a Rion-Antirion
Coupling.

χιλιόμετρα ἐθαλάσσευσαν. Ἀξιόλογα θαλάσσια κύματα βαρύτητας, ποὺ προκάλεσαν βλάβες στὴν Ἀχαΐα, διεγέρθηκαν καὶ ἀπὸ τοὺς σεισμοὺς τῆς 14ης Μαΐου 1748 ($38^{\circ} 1/4'N$, $22^{\circ} 1/4'E$), τῆς 8ης Ἰανουαρίου 1804 ($38^{\circ} 1/4'N$, $21^{\circ} 3/4'E$) καὶ τῆς 23ης Αὐγούστου 1817 ($38^{\circ} 1/4'N$, $22^{\circ} 1/4'E$), ὡς καὶ ἀπὸ τοὺς γειτονικοὺς σεισμοὺς τῆς 6ης Ἰανουαρίου 1821 ($37^{\circ} 3/4'N$, $21^{\circ} 1/2'E$) καὶ τῆς 3ης Ὀκτωβρίου 1887 ($38^{\circ} 1/4'N$, $22^{\circ} 3/4'E$).

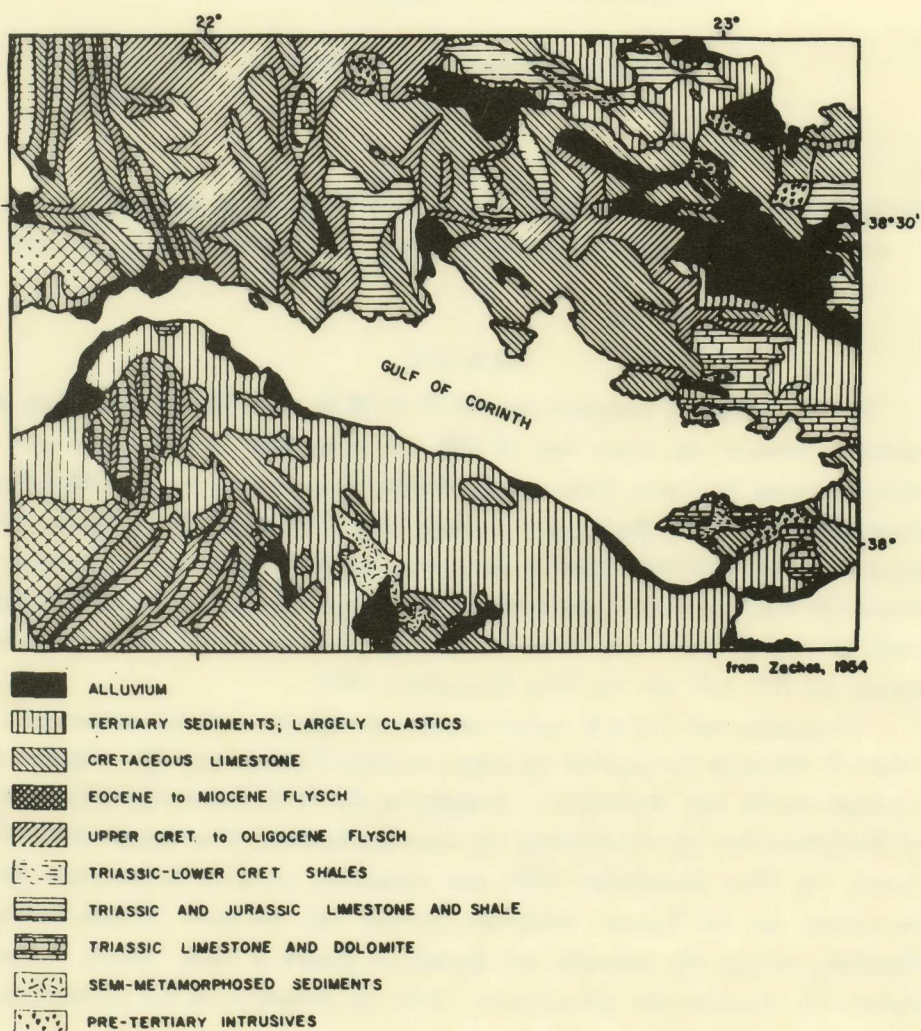


Fig. 1. Surface Geology of Corinth area. Reproduced from Heezen et al., 1966.

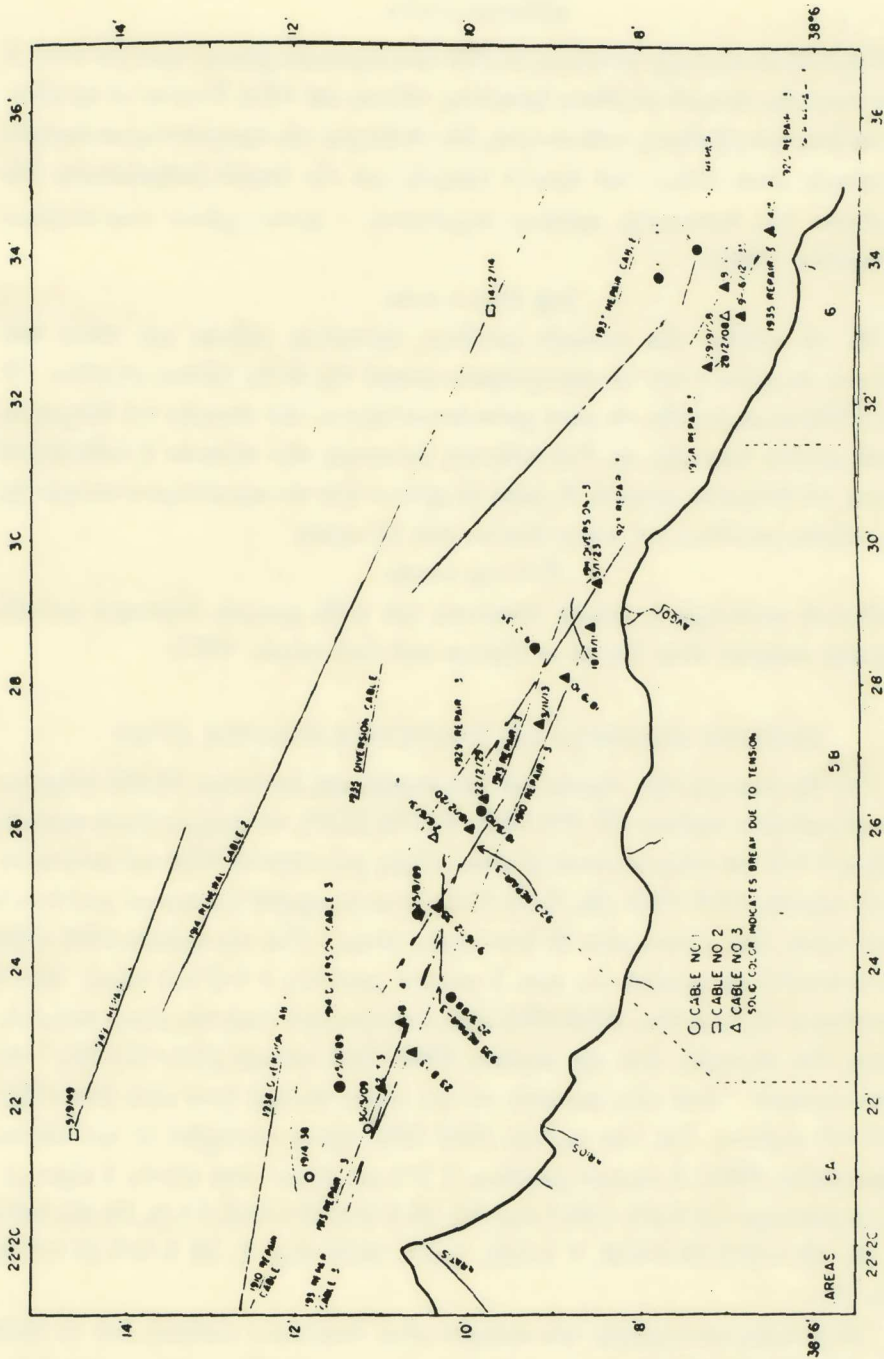
Ἡ Ἀξία ἰδιαίτερης ἀναφορᾶς εἶναι τὰ θαλάσσια καταστρεπτικά κύματα ποὺ παράγονται συνήθως τὸ χειμῶνα χωρὶς σεισμό (1963, Φεβρουαρίου 7), ὡς καὶ οἱ διαρρήξεις καλωδίων ποὺ παρατηροῦνται σὲ περιπτώσεις μικροτέρων σεισμῶν (1888, Σεπτεμβρίου 9, 38.2°N, 22.1° E, 6Ms καὶ 1889 Αὐγούστου 25, 38 1/4°N, 22°E, 6 1/4Ms). Οἱ διαρρήξεις αὐτὲς παράγονται ἀπὸ κατολισθήσεις ὑποθαλασσίων, προσχωματικῶν κόνων ποὺ δημιουργοῦνται κοντὰ στὶς ἐκβολὲς τῶν μεγαλυτέρων ποταμῶν, λ.χ. Ἑρινεός, Μόρνος κ.λπ. (Galanopoulos et al., 1964). Οἱ κατολισθήσεις αὐτὲς, ποὺ διεγείρονται λόγω αὐξήσεως τῆς πορικῆς πιέσεως καὶ μειώσεως τῆς ἀντοχῆς σὲ διάτμηση, δημιουργοῦν ἰσχυρὰ δινορεύματα ἰλύος (turbidity currents) ποὺ μποροῦν νὰ προκαλέσουν ὄχι μόνον διαρρήξεις ὑποβρυχίων καλωδίων, ἀλλὰ καὶ σημαντικὲς ζημιὲς σὲ παράκτιες κατασκευὲς λόγω ὑποσκάψεως, ἀπὸ τὸ στροβιλισμὸ τῶν ὑδάτων, τῶν θεμελίων αὐτῶν.

Ἀπὸ τὸ 1887 μέχρι τὸ 1935 ἔχουν ἀναφερθεῖ 23 διαρρήξεις τηλεγραφικῶν καλωδίων ποὺ ἔχουν προκληθεῖ ἀπὸ ὑποθαλάσσιες κατολισθήσεις στὸν Κορινθιακὸ Κόλπο (Heezen et al., 1966). Ἀπὸ αὐτὲς μόνον 6 διεγέρθηκαν ἀπὸ σεισμό (Βλ. Πίν. 5). Κατὰ τὸν Heezen καὶ τοὺς συνεργάτες του ἔχουν συμβεῖ τουλάχιστον 47 διαρρήξεις σὲ 10 τουλάχιστον στόμια διαφόρων ποταμῶν (βλ. Εἰκ. 2 καὶ 3).

Ἀξιόλογες καταστροφὲς ἔχουν παρατηρηθεῖ στὴν ἀναφερόμενη περιοχὴ πρὶν ἀπὸ τὸ 1800 καὶ κατὰ τὸ 600 καὶ 279 π.Χ., τὸ 23 μ.Χ. καὶ κατὰ τὰ ἔτη 551, 1147, 1402¹, 1580, 1660, 1714 καὶ 1785 (Galanopoulos 1981).

Ὁ προγραμματισμὸς ἐνὸς μεγάλου ἔργου, ὅπως ἡ ζεύξη τοῦ στενοῦ Ρίου-Ἀντιρρίου, ἀπαιτεῖ, λόγω τῆς μεγάλης οἰκονομικῆς ἀξίας καὶ κοινωνικῆς του σπουδαιότητος, πλήρη γνώση τῆς μακρᾶς σεισμικῆς ἱστορίας τῆς περιοχῆς γιὰ τὴν ἀκριβῆ ἀποτίμηση τόσο τῆς σεισμικῆς ἐπιβαρύνσεως, ὅσο καὶ τῶν ὑδροδυναμικῶν ἐπιδράσεων στὶς ὁποῖες πρόκειται νὰ ὑποβληθεῖ ὅλο τὸ ὑπ' ὄψιν ἔργο καὶ ἰδίως τὰ θεμέλιά του. Ἐπὶ πλέον, γιὰ τὴν πλήρη ἀξιολόγηση τῶν ἐπιβαρύνσεων αὐτῶν ἀπαιτεῖται ὁ ἀκριβὴς ὑπολογισμὸς μὲ βάση τὰ νεώτερα σεισμομετρικὰ πλέον δεδομένα καὶ μὲ σύγχρονη μεθοδολογία τοῦ μέγιστου χρόνου ἐπαναλήψεως τῶν μεγαλυτέρων σεισμῶν ποὺ ἀναμένονται στὴν ἐν λόγω περιοχὴ.

1. Λίαν ἰσχυρὸς σεισμὸς, ποὺ δὲν ἀναφέρεται στὸν κατάλογο βλαβερῶν σεισμῶν τοῦ 1981, συνέβηκε στὸν Κορινθιακὸ Κόλπο (38 1/4° N, 22 1/2° E) τὸν Ἰούνιο τοῦ 1402. Ὁ σεισμὸς αὐτὸς συνοδεύθηκε ἀπὸ ἐρημωτικὸ θαλάσσιο κύμα ποὺ εἰσέβαλε στὸ Ξυλόκαστρο καὶ στὴν Ἑρατεινὴ μέχρι ἀποστάσεως 1200 μέτρων ἀπὸ τὴν ἀκτὴ. Στὴ νότια ἀκτὴ, ἀπὸ τὸ Αἶγιο μέχρι τὸ Ξυλόκαστρο, σημειώθηκαν μεγάλες καταστροφὲς VIII-IX βαθμοῦ. Ἀνάλογες καταστροφὲς σημειώθηκαν στὴ βόρεια ἀκτὴ, κυρίως στὴν Ἑρατεινὴ καὶ τὴν Ἀμφισσα. Ἡ ζώνη καταστροφῶν περιέλαβε τὸ Διακοφτὸ καὶ τὴ Ζάχολη. Αὐξηση τῆς παροχῆς κρηνῶν καὶ φρεάτων παρατηρήθηκε ἀπὸ τὴν Πάτρα μέχρι τὴν Κόρινθο. Στὴν Πάτρα καὶ στὴν Κόρινθο οἱ ζημιὲς ἀπὸ τὸ σεισμὸ ἦσαν ἀσήμαντες.



ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για δοθεῖσα περιοχή, ἐκτάσεως 10.000 τετραγωνικῶν χιλιομέτρων καὶ πάνω, ὁ χρόνος ἀναμονῆς σεισμοῦ μεγέθους ὁρισμένης τάξεως καὶ πάνω δύναται νὰ προσδιορισθῇ σὲ διάφορους βαθμοὺς πιθανότητος, ἐὰν τὸ δεῖγμα τῶν προγενέστερων σεισμῶν τῆς περιοχῆς εἶναι πλήρες καὶ ἀρκετὰ ἐπαρκὲς γιὰ τὴν ἀκριβῆ βαθμολόγηση τῶν παραμέτρων τῆς ἐμπειρικῆς σχέσεως συχνότητος - μέσου χρόνου ἐπαναλήψεως (Galanopoulos 1988):

$$\text{Log} (N_c) = a - bt,$$

ὅπου N_c τὸ πλῆθος τῶν σεισμῶν μεγέθους ὁρισμένης τάξεως καὶ πάνω ποὺ συμβαίνουν σὲ χρόνο t ἀπὸ τὸν προηγούμενο σεισμὸ τῆς αὐτῆς τάξεως μεγεθῶν. Ὁ χρόνος t δίδεται μὲ μονάδα τὸ μέσο χρόνο ἐπαναλήψεως τῶν σεισμῶν τοῦ δείγματος τῆς ὑπὸ μελέτη περιοχῆς, m . Γιὰ ἐκθετικὴ κατανομὴ τῶν σεισμῶν ἢ πιθανότητα ἐκλύσεως τοῦ ἐπόμενου σεισμοῦ, P , μέσα σὲ χρόνο t ἀπὸ τὸν προηγούμενο σεισμὸ τῆς αὐτῆς τάξεως μεγέθους καὶ πάνω δίνεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$P = 1 - \exp (-t/m)$$

Σὲ ἐκθετικὴ κατανομὴ ἢ τυπικὴ ἀπόκλιση γιὰ κάθε χρονικὸ διάστημα μεταξὺ διαδοχικῶν σεισμῶν εἶναι ἴση μὲ m (Savage and Cocherham, 1987).

ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΥΤΩΝ

Γιὰ τὴν περιοχή τῆς Ἀχαΐας καὶ τῶν περιχώρων, ἐκτάσεως 10.000 τετραγωνικῶν χιλιομέτρων περίπου ($37.7^\circ\text{N } 38.7^\circ, 21.5^\circ\text{E } 22.5^\circ$), τὸ ὑπάρχον ὑλικὸ σεισμῶν μεγέθους 5 $1/2$ καὶ πάνω φαίνεται νὰ εἶναι πλήρες μόνο ἀπὸ τὸ 1958 καὶ μετέπειτα. Γιὰ τὴν περίοδο 1958-1985 (βλ. Table 1) ἔχουν καταχωρηθεῖ 42 σεισμοὶ μεγέθους 5 $1/2$ καὶ πάνω ἀπὸ αὐτοὺς μόνο 29 ἦταν κύριοι σεισμοί. Γιὰ τὴν περίοδο 1908-1958 ἔχουν συνταχθεῖ σὲ καταλόγους μόνο 7 σεισμοὶ μεγέθους 5 $1/2$ καὶ πάνω. Ἐὰν ἡ σεισμικότητα τῆς περιόδου 1958-1985 εἶναι ἀντιπροσωπευτικὴ τῆς μέσης σεισμικῆς δράσεως τῆς περιοχῆς, ἀπὸ τὴν περίοδο 1908-1958 λείπουν $[(51 \times 42)/28] - 7 = 69$ περίπου σεισμοί. Ἀπὸ τοὺς σεισμοὺς αὐτοὺς κύριοι σεισμοὶ ἦταν μόνο $[(51 \times 29)/28] - 7 = 46$ περίπου. Γιὰ τὴν περίοδο 1800-1900 ἔχουν συνταχθεῖ σὲ καταλόγους (Galanopoulos, 1981) 9 σεισμοὶ μεγέθους 5 $3/4$ καὶ πάνω ἀπὸ αὐτοὺς 3 εἶχαν μέγεθος μεγαλύτερο τοῦ 6 $3/4$ (1817 Aug. 23, $38 \ 1/4^\circ\text{N } 22 \ 1/4^\circ\text{E}$, 7 $1/4$, IX-XI: 1861 Dec. 26, $38 \ 1/4^\circ\text{N } 22 \ 1/4^\circ\text{E}$, 7 $1/2\text{M}$, X-XI: 1870 Aug. 1, $38 \ 1/2^\circ\text{N } 22 \ 1/2^\circ\text{E}$, 7 $1/4$, X).

Ἡ ἔλλειψη καταγραφῆς τῶν σεισμῶν εἶναι ἰδιαίτερος αἰσθητὴ ἀπὸ τὸ 1938 μέχρι τὸ 1958. Ἐπὶ 20 ἔτη περίπου ὑπάρχει σεισμικὴ ἡρεμία ποὺ δὲν συμβιβάζεται ὅχι μόνο μὲ τὴ μέση σεισμικὴ δράση τῆς νεώτερης περιόδου 1958-1985 (1 σεισμὸς

μεγέθους 5 1/2 και πάνω κάθε έτος περίπου), αλλά και με αυτήν τής παλαιότερης σειсмоγραφικής περιόδου 1909-1938 (1 σεισμός κάθε 5 έτη περίπου).

Με αυτά τὰ δεδομένα, ὁ ὑπολογισμὸς τοῦ σεισμικοῦ κινδύνου στὴν Ἀχαΐα καὶ τὰ περὶχωρά της βασίσθηκε ἀναγκαστικῶς στὰ δεδομένα τῆς περιόδου 1958-1985. Τὸ ὕλικὸ τῆς περιόδου αὐτῆς παρουσιάζεται συνοπτικῶς στοὺς πίνακες 2, 3 καὶ 4.

TABLE 1

List of earthquakes with $M_s \geq 5 \frac{1}{2}$ in Achaja and Environs
(37.7° N 38.7° and 21.5° E 22.5°). Sample period 1958-1985.

No	Date	Location		Depth km	Intensity I _o	Magnitude M _s	Interevent Time in Days	
		N°	E°					
1	1958, Nov.	15	37.7, 22.0	23	VI	5 3/4	—	—
2	1962, Jan.	19	38.5, 22.4	48	VI - VII	5 1/2	1161	1161
3	1962, Oct.	4	37.9, 22.3	43	VI	5 1/2	258	258
4	1965, March	31	38.4, 22.3	45	VIII	6 1/2	909	909
5	1965, April	5	37.7, 22.0	34	IX - X	6	5	5
6	1965, July	6*	38.4, 22.4	18	VII - VIII	6 1/4	92	—
7	1966, April	1	38.7, 21.5	45	—	5 1/2	269	361
8	1966, June	24*	38.7, 21.5	34	VI	5 1/2	84	—
9	1967, Jan	4	38.4, 22.0	1	VIII	6	194	278
10	1970, May	12	38.2, 22.5	39	—	5 1/2	1224	1224
11	1972, June	15	38.3, 22.2	34	VI - VII	6	765	765
12	1972, July	25	38.7, 21.5	50	VI - VII	5 1/2	40	40
13	1972, Sept.	13	38.0, 22.4	75	VIII	6 1/2	50	50
14	1974, Dec.	2	38.4, 22.3	34	VI - VII	5 1/2	810	810
15	1975, April	4	38.1, 22.0	56	VI	6 1/2	123	123
16	1975, May	19	38.3, 22.3	26	V - VI	5 3/4	45	45
17	1975, June	30	38.5, 21.6	3	VII - VIII	6 1/4	42	42
18	1975, July	25	38.4, 21.9	38	VI	5 3/4	25	25
19	1975, Sept.	13*	38.5, 22.0	40	V	5 3/4	50	—
20	1975, Dec.	21*	38.5, 21.7	2	VII - VIII	6 1/4	99	—
21	1975, Dec.	31	38.5, 21.7	19	IX	6 1/2	10	159
22	1975, Dec.	31*	38.5, 21.6	23	—	5 1/2	0	—
23	1977, Dec.	29	38.3, 22.2	37	V - VI	6	729	729
24	1979, March	26	37.7, 21.6	46	VII	5 1/2	452	452
25	1980, July	2*	38.3, 22.0	39	VI	5 1/2	464	—
26	1980, July	2	38.1, 22.0	20	VI	5 3/4	0	464
27	1981, March	14*	38.4, 21.6	10	—	5 1/2	255	—
28	1981, April	14	38.4, 22.0	18	VI	5 3/4	31	286

Cont. Table 1

29 1982, Jan	9*	38.4 , 22.0	11	—	5 1/2	270	—
30 1982, Apr	26	37.7 , 21.5	35	VI	5 1/2	107	377
31 1982, May	5*	37.7 , 21.6	43	—	5 1/2	9	—
32 1982, June	9	38.4 , 21.9	41	—	5 1/2	35	44
33 1983, Jan.	30	38.2 , 21.9	21	—	5 1/2	235	235
34 1983, Febr.	24	38.6 , 22.2	55	—	5 3/4	25	25
35 1983, Sept.	19	38.7 , 22.5	11	—	5 1/2	207	207
36 1984, Jan.	2*	38.3 , 22.1	10	—	5 1/2	105	—
37 1984, Jan.	18*	38.4 , 22.1	6	—	5 1/2	16	—
38 1984, Febr.	11	38.4 , 22.1	19	VI	6 3/4	24	145
39 1984, Febr.	11*	38.3 , 22.2	10	—	5 1/2	0	—
40 1984, Febr.	25	38.3 , 21.8	25	—	5 3/4	14	14
41 1984, Febr.	28*	38.3 , 21.8	25	—	5 1/2	3	—
42 1985, Sept.	4	38.5 , 21.5	25	—	5 1/2	554	557

Additional Data for the Period 1908—1938

1 1909, May	30	38 1/4 , 22 1/4	20	VIII	6	—	—
2 1909, July	15	37.9 , 21.5	3	IX - X	5 3/4	46	46
3 1917, Dec.	24	38.5 , 21.8	14	VII	5 3/4	3449	3449
4 1925, July	6	37.8 , 22.1	129	VII	6 1/2	2751	2751
5 1932, Aug.	15	38 1/2 , 22 1/4	100	VI	5 3/4	2597	2597
6 1938, Sept.	18	38 , 22 1/2	100	—	6 1/4	2225	2225
						(7363)	(7363)

Fore-and aftershocks denoted by* in the date were discarded in the second sample as interdependent events.

TABLE 2

Cumulative frequency of earthquakes in Magnitude Increments
($\Delta m = 1/2$)

Frequency	Magnitude Ms		
	5 1/2	6	6 1/2
All data N_1	30	7	5
N_{c_1}	42	12	5
Data without inter- N_2	19	5	5
dependent events N_{c_2}	29	10	5

Gutenberg-Richter's Earthquake Recurrence Model (1944):

$$\text{Log } (N_{c_1}) = 6.687 - 0.925 \text{ Ms} , \sigma = \pm 0.048 \quad (1)$$

$$\text{Log } (N_{c_2}) = 5.636 - 0.764 \text{ Ms} , \sigma = \pm 0.045 \quad (2)$$

TABLE 3

Cumulative frequency of earthquake occurrences per actual repeat time expressed as unit time
the average interoccurrence time ($m_1 = 243$, $m_2 = 352$ Days)

Frequency		Repeat Times (t)					
		1	2	3	4	5	6
All data	N_1	28	6	2	3	1	1
	N_{c1}	41	13	7	5	2	1
Data without inter-	N_2	17	5	4	2	—	—
dependent events	N_{c2}	28	11	6	2	—	—

Galanopoulos' Earthquake Recurrence Model (1988):

$$\text{Log } (N_{c1}) = 1.827 - 0.3043t, \sigma = \pm 0.080 \quad (3)$$

$$\text{Log } (N_{c2}) = 1.814 - 0.3638t, \sigma = \pm 0.054 \quad (4)$$

TABLE 4

Distribution of percentage of earthquake occurrences in terms of actual interoccurrence time (t)

Percentage	Repeat Times (t)						Total
	1	2	3	4	5	6	
Sample 1	68	15	5	7	2	2	99
Sample 2	61	18	14	7	—	—	100

TABLE 5

Breaks of telegraph cables occurred in the gulf of Corinth by turbidity currents originating at the mouth of the major rivers (Heezen et al., 1966)

Asterisks * in the date denote submarine landslides triggered by concurrent earthquakes

No	Date of Failure	Rivers Area
1	1887, Oct. 4*	Mornos
2	1888, Sept. 9*	Meganitis
3	1889, Aug. 25*	Mornos-Krathis
4	1889, Oct. 4*	Mornos-Krathis
5	1902, Sept. 10	Erineos
6	1907, April 19	Erineos
7	1908, May 14	Dendron
8	1908, Sept. 29	Dendron
9	1909, May 30*	Krathis
10	1910, Sept. 18	Avgo
11	1911, Nov. 18	Avgo
12	1913, Aug. 28	Krathis-Krios
13	1914, Jan. 18	Krathis-Krios
14	1914, Dec. 5	Sithas
15	1918, Oct. 30	Sithas
16	1919, Oct. 20	Sithas
17	1920, Dec. 18	Dendron
18	1921, Dec. 9	Sithas
19	1923, Jan. 5	Avgo
20	1927, Nov. 12	Erineos
21	1928, Jan. 30	Mornos
22	1928, April 22*	Sithas
23	1935, Dec. 9	Avgo

ΕΞΑΓΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Το μεγαλύτερο σεισμικό μέγεθος που σημειώθηκε κατά την περίοδο 1909-1985 ήταν 6 3/4 (1984, Φεβρ. 11). 'Από την εξέλιξη συχνότητας-μεγέθους (2) προκύπτει ότι ο μέσος χρόνος επαναλήψεως ενός σεισμού μεγέθους 6 3/4 ή μεγαλύτερου είναι 9 έτη περίπου. 'Εάν ή κατανομή των κυρίων σεισμών της 'Αχαΐας και των περιχώρων κατά τάξεις πραγματικών μέσων χρόνων επαναλήψεως (βλ. Πίνακα 4) είναι

Ίδια και για σεισμούς μεγέθους $6 \frac{3}{4}$ και πάνω, τότε υπάρχει πιθανότητα 61% να γίνει στην αναφερόμενη περιοχή ένας σεισμός μεγέθους $6 \frac{3}{4}$ και πάνω μέχρι το 1993, 79% μέχρι το 2002, 93% μέχρι το 2011, και 100% μέχρι το 2020. Με την έκδοχή ότι ισχύει η σχέση συχνότητας-μέσου χρόνου επαναλήψεως [4] και για σεισμούς μεγέθους $6 \frac{3}{4}$ και πάνω, ο μέγιστος χρόνος αναμονής ενός σεισμού ανάλογου μεγέθους είναι $(1.814/0.3638) \times 9 = 45$ έτη περίπου μετά τον προηγούμενο σεισμό μεγέθους $6 \frac{3}{4}$.

Με την έκδοχή ότι ισχύουν οι σχέσεις συχνότητας-μεγέθους και συχνότητας-μέσου χρόνου επαναλήψεως [2] και [4] και για σεισμούς μεγέθους $7 \frac{1}{2}$ και άνω, ο μέγιστος χρόνος αναμονής ενός σεισμού μεγέθους ανάλογου με αυτόν που αποδίδεται στο μεγαλύτερο σεισμό που παρατηρήθηκε μέχρι τώρα στην περιοχή της 'Αχαΐας (1861, Δεκ. 26) είναι $(1.814/0.3638) \times 35 = 175$ έτη περίπου. Αυτό σημαίνει ότι μεταξύ 2001 και 2036 υπάρχει πιθανότητα 100% να γίνει στην 'Αχαΐα και τα περίχωρά της σεισμός του αυτού μεγέθους με αυτόν της 26 Δεκεμβρίου 1861. 'Εάν οι σχέσεις συχνότητας-μεγέθους και συχνότητας-μέσου χρόνου επαναλήψεως [1] και [3], που βασίζονται στο δείγμα που περιλαμβάνει ολόκληρο το ύλικό, είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικές, και επομένως περισσότερο αξιόπιστες, ο μέγιστος χρόνος επαναλήψεως των σεισμών μεγέθους $7 \frac{1}{2}$ και πάνω είναι 300 έτη περίπου. Στην περίπτωση αυτή η χρονική περίοδος αναμονής σεισμού μεγέθους $7 \frac{1}{2}$ και πάνω στην εξεταζόμενη περιοχή με πιθανότητα 100% υπολογίζεται μεταξύ του 2111 και 2161.

'Εάν θεωρήσουμε τώρα τους σεισμούς που προκάλεσαν καταστροφές VIII βαθμού και πάνω (μακροσεισμικού μεγέθους $M_s \geq 6 \frac{3}{4}$) στην εξεταζόμενη περιοχή από το 600 π.Χ. μέχρι και το 1870 (600 π.Χ., 373, 279, 23 μ.Χ., 551, 1147, 1402, 1580, 1748, 1804, 1817, 1861 και 1870), η μέση περίοδος επαναλήψεως των, m, είναι 191 έτη περίπου. 'Η εξίσωση σεισμικής συχνότητας-μέσου πραγματικού χρόνου επαναλήψεως κατά το υπόδειγμα σεισμικής συχνότητας A. Γαλανοπούλου (1988) είναι: $\log N_c = 1.43 - 0.364t$ με τυπική απόκλιση $\sigma = \pm 0.027$ και μέγιστο χρόνο αναμονής $t_m = 3,928m = 750$ έτη περίπου.

Θά πρέπει εδώ να τονισθεί ότι κάθε σεισμός μεταβάλλει τον έστιακό του όγκο —κάποτε ελαφρά, κάποτε δραστικά— και ή αλλοιωθείσα έστία γίνεται ισχυρότερη ή ασθενέστερη από ό,τι ήταν προηγουμένως. 'Επί πλέον, διάχυση των πορικών υγρών μετά τη διάρρηξη μεταβάλλει την τριβή κατά μήκος των ρηγμάτων, έμποδίζουσα την ολίσθηση σ'ε μερικά και προωθούσα αυτήν σ' άλλα. Τέλος, σ'ε βάθη 12 έως 15 χιλμ., όπου γίνονται οι περισσότεροι ισχυροί σεισμοί, ο φλοιός μπορεί να φθάσει σ'ε θερμοκρασία στην οποία ο χαλαζίας που είναι συστατικό των γρανιτικών πετρωμάτων γίνεται εύηλατος και διευκολύνει τον έρπυσμό (Stein and Yeats, 1989). 'Ο έρπυ-

σμός ανακουφίζει τὸν ἐστιακὸ ὄγκο καὶ ἀποτρέπει τὴ διάρρηξη. Συνεπῶς, οἰαδήποτε σεισμικὴ πρόβλεψη μακρᾶς διαρκείας, καὶ πολὺ περισσότερο πιθανολογούμενη πρόγνωση, ποὺ βασίζεται σὲ στατιστικούς μέσους ὅρους ἢ προηγούμενη συμπεριφορὰ τῶν σεισμῶν, ὅσονδήποτε προηγμένη κι ἂν εἶναι ἢ ἐφαρμοσθεῖσα πιθανολογικὴ προσέγγιση, μπορεῖ τελικὰ νὰ μὴν εἶναι ὀρθή. Καθὼς αὐξάνουν μὲ τὸ χρόνο οἱ πιέσεις καὶ ἐλαστικὲς τάσεις καὶ ἡ παραμόρφωση τοῦ ἐστιακοῦ ὄγκου προσεγγίζει τὴν προηγούμενη κρίσιμη στάθμη, ἡ ἀντοχὴ διαρρήξεως ποὺ ὀδηγεῖ σὲ ἄλλο σεισμὸ ἢ σμῆνος σεισμῶν μπορεῖ νὰ ἔχει μεταβληθεῖ, καὶ τοῦτο θὰ καταστεῖ φανερό μόνον ἐκ τῶν ὑστέρων!... Πρόσφατα ὁ Lomnitz (1989), σχολιάζοντας νέο προηγμένο ὑπόδειγμα ἐπαναλήψεως σεισμῶν, παρατηρεῖ τελικῶς ὅτι «ὁ σεισμικὸς κίνδυνος εἶναι μᾶλλον τυχερὸ παιγνίδι, τοῦ ὁποίου δὲν γνωρίζουμε ἀκόμη ὅλους τοὺς κανόνες».

Πάντως, ἀπὸ τὴ μακρὰ σεισμικὴ ἱστορία τῆς περιοχῆς εἶναι φανερό ὅτι τὸ ὑπὸ κατασκευὴ ἔργο ἀπειλεῖται ὄχι τόσο ἀπὸ τοὺς ἐρημωτικούς σεισμοὺς ($M_s \geq 7 \frac{1}{2}$), ποὺ εἶναι σχετικῶς σπάνιοι, ὅσο κυρίως ἀπὸ τὰ ὑδροδυναμικὰ φαινόμενα ποὺ ἀναπτύσσονται σχετικῶς συχνὰ —καὶ ἰδίως τὸ χειμῶνα (373 π.Χ., 1804, 1821, 1861, 1963)— ἀπὸ τὴ ρευστοποίηση (liquefaction) λόγω ἀπότομης φορτίσεως ἢ σεισμικῆς ἐπιβαρύνσεως τῶν προσχωματικῶν κόνων ποὺ σχηματίζονται στὰ δέλτα τῶν μεγαλύτερων ποταμῶν ποὺ καταλήγουν στὸν Κορινθιακὸ Κόλπο, καὶ ἰδίως στὴ νότια πλευρὰ αὐτοῦ.

REFERENCES

- A. Galanopoulos, Erdbebegeographie von Griechenland. «Ann. Geol. Pays Hellen.», Vol. 6, pp. 83-121, 1955.
- A. Galanopoulos, Tsunamis Observed on the Coasts of Greece from Antiquity to Present Time. «Ann. di Geof.» Vol. 13, n. 3-4, pp. 369-386, 1960.
- A. Galanopoulos, N. Delibasis and P. Comninakis, A Tsumani Generated by an Earth Slump Set in Motion without Shock. «Ann. Geol. Pays Hellen.», Vol. 16, pp. 93-110, 1964.
- A. Galanopoulos, The Damaging Shocks and the Earthquake Potential of Greece. «Ann. Geol. Pays Hellen.», Vol. 30/2, pp. 647-724, 1981.
- A. Galanopoulos, A New Version of Earthquake Recurrence Model. «Bull. Seism. Soc. Am.», Vol. 78, No. 3, pp. 1375-1379, 1988.
- B. Gutenberg and C. F. Richter, Frequency of Earthquakes in California. «Bull. Seism. Soc. Am.», Vol. 34, pp. 185-188, 1944.
- B. C. Heezen, M. Ewing and G. L. Johnson, The Gulf of Corinth Floor. «Deep-Sea Res.», Vol. 13, pp. 381-411, 1966.
- Lomnitz C., Comment on «Temporal and Magnitude Dependence in Earthquake Recurrence Models.» By C. A. Cornell and S. R. Winterstein. «Bull. Seism. Soc. Amer.», Vol. 79, No. 5, p. 1662, 1989.

- J. C. Savage and R. S. Cockerham, Quasi-Periodic Occurrence of Earthquakes in the 1978-1986 Bishop-Mammoth Lakes Sequence, Eastern California. «Bull. Seism. Soc. Am.», Vol. 77, pp. 1347-1368, 1987.
- Stein S. Ross and Yeats S. Robert, Hidden Earthquakes. «Scientific American», June, pp. 30-39. 1989.

SUMMARY

The Earthquake Hazard in Achaja and Particularly in a Rion-Antirion Coupling

On the grounds of the Gutenberg-Richter's and Galanopoulos' earthquake recurrence models, i.e. the cumulative frequency-magnitude and cumulative frequency-actual repeat time relations for Achaja and environs, the return period range for $6 \frac{3}{4}$ Ms (the maximum earthquake magnitude recorded in the instrumental period 1901-1985) is ca. 45 yr and for $7 \frac{1}{2}$ Ms (the maximum earthquake magnitude observed in the pre-instrumental period) is ca. 175 yr.

It might be added that each earthquake changes the related focal volume -sometimes slightly, sometimes drastically- and the altered focus is either stronger or weaker than it was in its former state. In addition, diffusion of the pore fluid after the rupture alters the friction along faults inhibiting slip on some fractures and promoting on others. Finally, at depths of 12 to 15 kilometers, where most of the major earthquakes occur, the crust may reach a temperature at which the quartz component of the rock becomes ductile and facilitates creep (Stein and Yeats, 1989). Therefore, any long-term prediction, let alone probabilistic forecasting, based on statistical averages or previous earthquake behaviour, no matter how sophisticated the applied probabilistic approach gets, may ultimately not be valid. As the stresses and strains and deformation of the focal volume build towards previous critical levels, the breakdown strength leading to another earthquake or earthquake clustering may have changed, and that will be evident only in hindsight!... Quoting (Lomnitz, 1989), «the earthquake risk is a game of chance of which we still don't know all the rules».

Special attention is called to the vulnerability of the sea-shore structures in the study area to tsunamis and turbidity currents initiated usually during the autumn-winter season by submarine landslides, i.e. gravitational displacements of unstable sediments at the rivers mouths, and occasionally by earthquakes.