

Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. Bull. Geol. Soc. Greece	Τομ. XVIII Vol.	σελ. 91-97 pag.	Αθήνα 1986 Athens
--	-----------------------	-----------------------	-------------------------

SEISMIC GAPS AND LONG - TERM EARTHQUAKE PREDICTION IN THE AEGEAN AREA*

by

G. A. PAPADOPOULOS

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στον Αιγαϊακό χώρο υπάρχουν δύο ζώνες επιφανειακών σεισμών με υψηλή σεισμικότητα, εκείνες του Βόρειου Αιγαίου (BA) και του Κορινθιακού - Πατραϊκού - Σαρωνικού κόλπου (ΠΚΣ) (σχ. 1). Εμφλευσμός με Β-Ν διεύθυνση και κανονικά ρήγματα χαρακτηρίζουν τις δύο ζώνες.

Δύο πρόσφατοι κατάλογοι που περιέχουν ακριβείς πληροφορίες για τους σεισμούς που έγιναν στον Ελλαδικό χώρο, τόσο στην ιστορική εποχή όσο και στον παρόντα αιώνα, χρησιμοποιήθηκαν σαν πηγές δεδομένων για την αναγνώριση σεισμικών κενών και τη μακράς διάρκειας σεισμική πρόγνωση στις δύο ζώνες. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας (TSUNAMIS) από πρόσφατο κατάλογο.

Η γεωγραφική διανομή των επικέντρων δείχνει ότι η ζώνη BA ήταν πολύ ενεργή στους ιστορικούς χρόνους (σχ. 2). Στον παρόντα αιώνα η ζώνη αυτή είναι επίσης ενεργή σε σεισμούς μεγέθους $M \geq 6,0$, εκτός από το κεντρικό τμήμα της που είναι σε ησυχία από το 1893 (σχ. 3). Συνεπώς το τμήμα αυτό είναι ένα σεισμικό κενό πρώτου είδους κατά MOGI. Από τη σχέση (1) που έχει βρεθεί μεταξύ της μετασεισμικής περιοχής, S, σε τετραγωνικά εκατοστά και του επιφανειακού μεγέθους, M, βρίσκουμε ότι $M = 7,4$. Συνεπώς, συμπεραίνεται ότι ένας τουλάχιστον μεγάλος ($7,4 < M \leq 6,5$) επιφανειακός ($h < 70$ KM) σεισμός πρέπει να αναμένεται στο κεντρικό τμήμα της ζώνης BA στα επόμενα χρόνια.

Η γεωγραφική διανομή των μεγάλων σεισμών (σχ. 4) δείχνει ότι το δυτικό τμήμα της ζώνης ΠΚΣ είναι γενικά πιο ενεργό από το ανατολικό. Στον προηγούμενο αιώνα έγιναν σ' αυτό πέντε μεγάλοι σεισμοί με πολλές καταστροφές και TSUNAMIS. Όμως, αυτό το τμήμα είναι σε ησυχία από το 1888. Η γεωγραφική διανομή των σεισμών μεγέθους $M \geq 4,9$ που έγιναν στη ζώνη ΠΚΣ στον παρόντα αιώνα (σχ. 5) δείχνει ότι στο ανατολικό τμήμα (περιοχή Αλκυονίδων) υπήρξε ένα κενό σε επίκεντρα τέτοιων σεισμών. Στο κενό αυτό έγινε ο μεγάλος σεισμός του 1981 και οι μεγαλύτεροι μετασεισμοί αυτού. Συνεπώς, αυτό ήταν ένα σεισμικό κενό δεύτερου είδους. Το σχήμα 5 δείχνει επίσης την παρουσία δύο ακόμη σεισμικών κενών του ίδιου είδους. Άρα στα κενά αυτά πρέπει να αναμένονται μεγάλοι επιφανειακοί σεισμοί στα επόμενα χρόνια. Τα μεγέθη που υπολογίστηκαν από τη σχέση (1) είναι 6,7 και 6,5 για το ανατολικό και το δυτικό κενό αντίστοιχα.

Η σεισμική προϊστορία και των δύο ζωνών δείχνει ότι οι αναμενόμενοι σεισμοί είναι πιθανό να διεγείρουν TSUNAMIS στις παράκτιες περιοχές τους.

* ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. — Σεισμικά κενά και μακράς διάρκειας πρόγνωση σεισμών στην περιοχή του Αιγαίου.

Κατατέθηκε 7.11.83, ανακοινώθηκε 5.12.83.

ABSTRACT

A seismic gap of the first kind has been recognized in the North Aegean seismic belt. Large ($6.5 \leq M \leq 7.4$) shallow earthquakes are very probable to occur in that gap in the next years. Two seismic gaps of the second kind have been defined in the Patraikos - Corinthiakos - Saronikos seismic belt. Large ($M = 6.5 - 6.7$) shallow earthquakes are very probable to occur in those gaps in the next years.

Introduction

In the Aegean area there are two distinct shallow seismic zones (PAPAZACHOS 1980), the external and internal ones, with quite different geophysical properties (PAPADOPOULOS 1982). In the internal zone exist some very active seismic belts. The North Aegean (NA) and the Patraikos - Corinthiakos - Saronikos (PCS) are such belts (fig. 1). Both of them are seismotectonically homogeneous

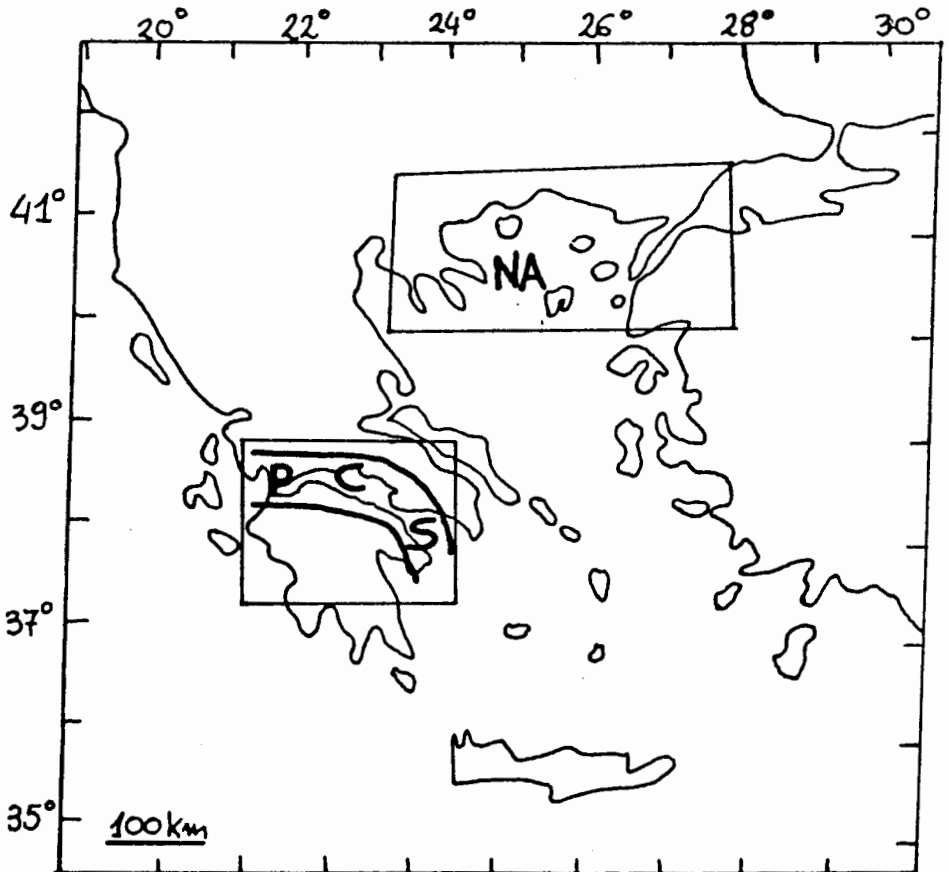


Fig. 1. The Aegean area. PCS = Patraikos - Corinthiakos - Saronikos seismic belt. NA = North Aegean seismic belt.

with a north - south tensional stress field and normal faulting.

During the last five years or so, several methods have been applied (seismic gaps, seismicity rates, seismicity periodicities) to achieve long-term earthquake prediction in the Hellenic Arc. Accurate seismic data concerning the historical period as well as the present century have been used here for the long term prediction of the NA and PCS belts using the method of seismic gaps.

The data

Two recently published catalogues of earthquake in Greece and the surrounding regions (PAPAZACHOS AND COMNINAKIS 1982, COMNINAKIS AND PAPAZACHOS 1982) have been used as data sources for the shallow earthquakes which occurred in the NA and PCS belts during the historical period (479 B.C. - 1900 A.D.) and the present century (1901-1980). The data of the period 1800-1910 are very probably complete for shocks with $M \geq 6.5$. As far as the period 1911-1980 is concerned the data are complete for $M \geq 4.9$. Epicenter errors are estimated to be less than 50 km and 30 km for the earthquakes of the periods 479 B.C. - 1799 A.D. and 1800-1980. The errors of the surface wave magnitudes (M) are less than 0.5 and 0.3 as far as the shocks of the historical period and of the present century are concerned. Data for the years 1981-1983 have been taken from the Bulletins of the ISC and of the Seismological Institute of the National Observatory of Athens.

Data for taunamis observed in the Greek coasts have been derived by a very recently prepared catalogue (PAPADOPOULOS AND CHALKIS 1984).

The north Aegean belt

According to MOGI (1979) there are two kinds of seismic gaps. The first kind is a gap in the spatial distribution of rupture zones of the largest shocks in a seismic belt and the second kind is a gap in seismicity of small magnitude earthquakes before large shocks. This second kind of gap has a doughnut shape (MOGI 1969).

Figure 2 shows the spatial distribution of the epicenters of the known large ($M \geq 6.5$) earthquakes which occurred in the NA region (39.6° - 41° N, 23° - 27° E) during the historical times. It is obvious that there was a very clear seismic belt with E - W direction. Five large earthquakes occurred in the central part (24.9° - 26° E) of that belt during the previous century.

Figure 3 shows the spatial distribution of the epicenters of the earthquakes with $M \geq 6.0$ which occurred in the NA seismic belt during the present century. It is very clear that the central part of the belt is free of epicenters of such earthquakes while the eastern and western parts are very active from the beginning of the century, that is, the central part is in seismicity quiescence since 1893. Thus, I conclude that this region is a gap of the first kind. For this reason, at least one large ($M \geq 6.5$), shallow ($h < 70$ km) earthquake must be expected to occur in the next

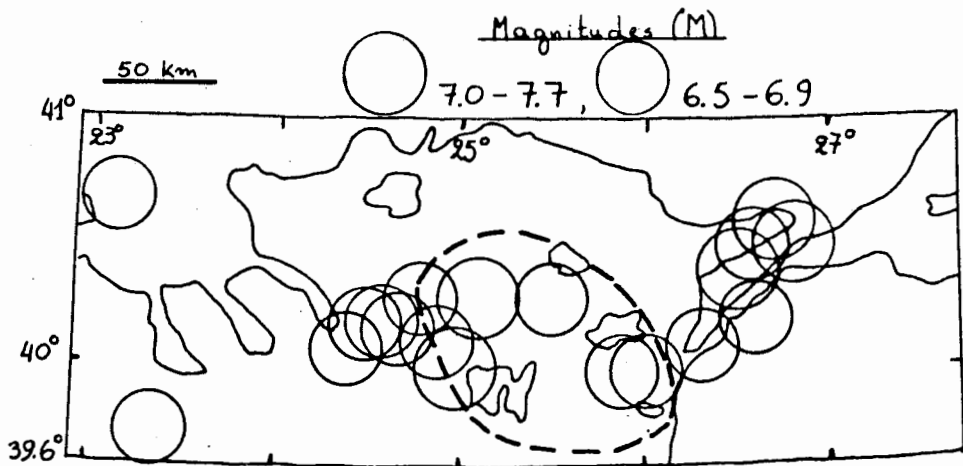


Fig. 2. Spatial distribution of the epicenters of the large historical shocks in the North Aegean. The central part was active in the historical times.

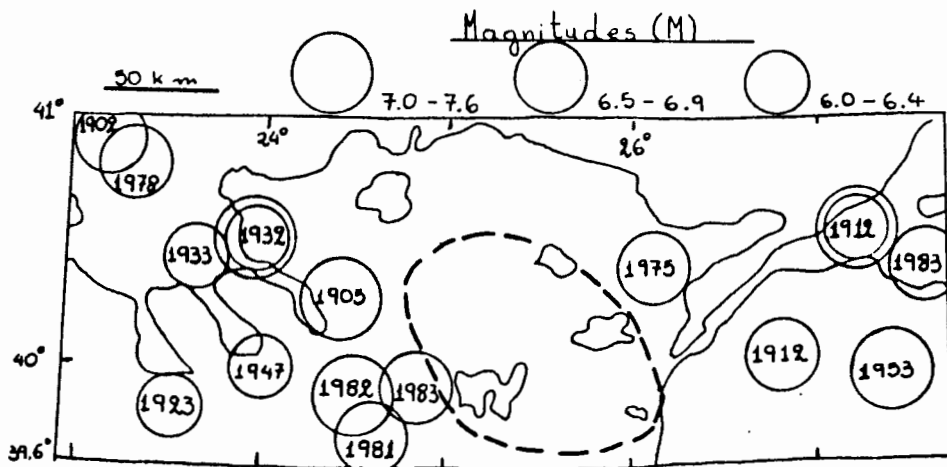


Fig. 3. Spatial distribution of the epicenters of the large earthquake shock which occurred in the North Aegean from 1901 to 1983. The central part is a gap of the first kind.

years. The surface of that region is 8300 km². If we apply the relation

$$\log S = 4.95 + 1.21 M \quad (1)$$

between the aftershock area, S, in cm² and the surface wave magnitude, M (BATH AND DUDA 1964) we will find that earthquake with magnitude equal to 7.4 correspond to that region. Thus, the magnitude of the expected earthquake may be between 6.5 and 7.4.

It is of interest to note that at least three out of seven large historical earthquakes, which occurred in the central part, were accompanied by large tsunamis. I have the opinion that the expected large earthquake is probable to generate such a tsunami.

The Patraikos - Corinthiakos - Saronikos belt

The PCS belt (37.5°-38.6° N, 21.4°-23.3° E) is one of the most active regions in the Aegean area. Figure 4 shows the spatial distribution of the epicenters of the known large earthquakes which occurred in that belt during the historical times and the present century. It is clear that the western part (21.4°-22.5° E) is more active than the eastern one. Five large earthquakes occurred in that part in the previous century. The same part is free of large earthquakes since 1888. Thus, I conclude that at least one large shallow shock must be expected to occur there in the next years.

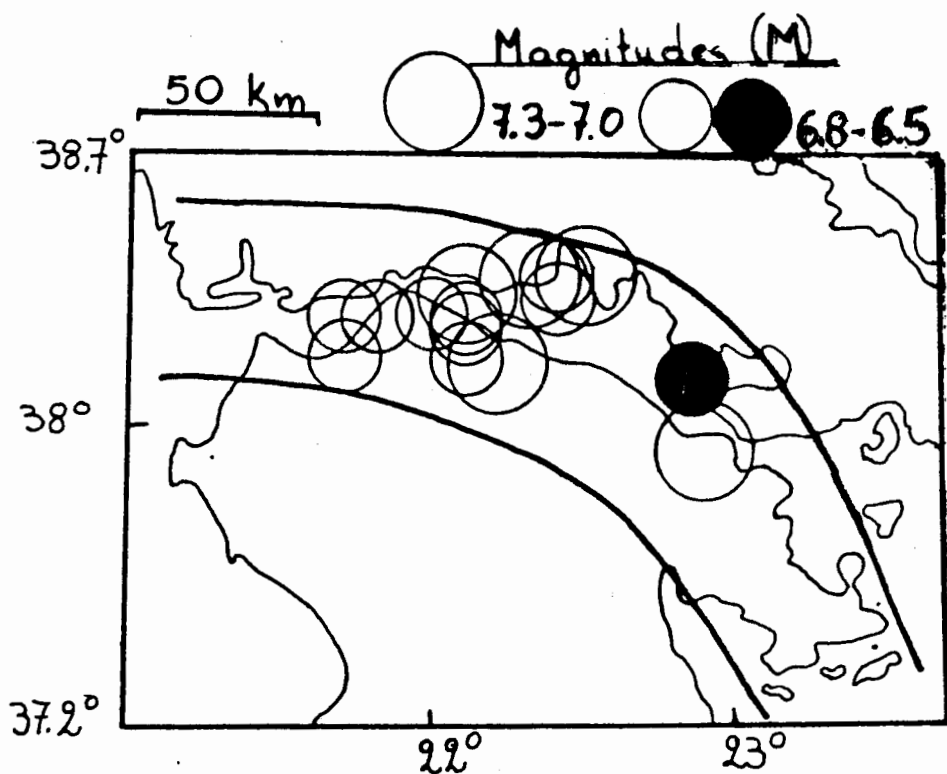


Fig. 4. Spatial distribution of the epicenters of the large shocks which occurred in the PCS seismic belt in historical times (white circles) and in the present century (black circle).

The spatial distribution of the epicenters of the earthquakes ($M \geq 4.9$) which occurred in the PCS belt from 1911 to 1982 is shown in figure 5. In the eastern part of the belt there was seismic gap of the second kind which was in quiescence at least since 1911. A large main shock ($M = 6.7$) and its largest aftershocks ($M = 6.4$ and 6.3) occurred in that gap during the February - March of 1981. In the western part there are two seismic gaps, the western Corinthiakos and the Patraikos ones, which are free of epicenters of small earthquakes at least since 1911. The expected earthquakes is very probable to occur in those gaps, as the same happened in the eastern part of the seismic belt. The surface of the western Corinthiakos and Patraikos gaps is 1200 km^2 and 750 km^2 respectively. If we apply the relation (1) we will find that earthquakes with magnitudes equal to 6.7 and 6.5 correspond to these regions. Considering the fact that at least seven out of thirteen known large historical shocks, which occurred in the western part, were accompanied by large, damaging tsunamis, it is concluded that the expected earthquakes is very probable to generate such tsunamis.

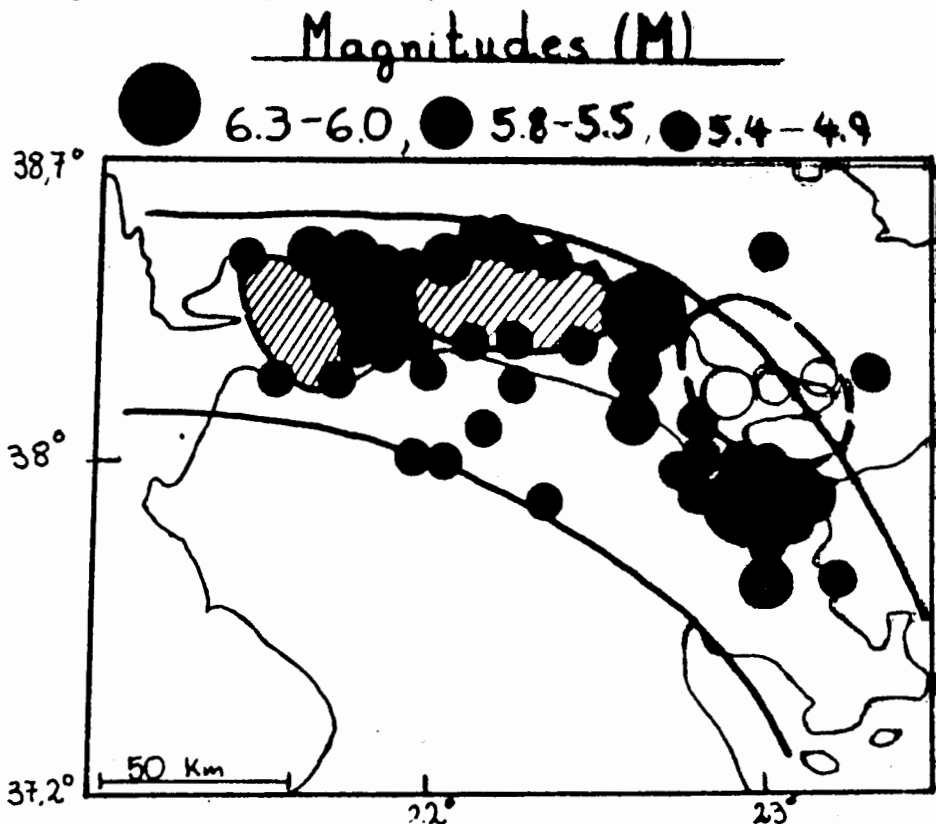


Fig. 5. Two gaps of the second kind exist in the western part of the PCS seismic belt (dashed regions). A gap of the second kind was existed in the eastern part since 1911. In this gap occurred a main shock (6.7) and its largest aftershocks (6.4 and 6.3) in 1981. The black circles represent the epicenters of the shocks which occurred in the belt from 1911 to 1982.

REFERENCES

- BATH M. and DUDA S. 1964. — Earthquake volume, fault plane area, seismic energy, strain deformation and relation quantities. — *Ann. di Geof.*, 17, 353-386.
- COMNINAKIS P. E. and PAPAZACHOS B. C. 1982. — A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 1901-1980. — *Publ. of the Univ. of Thessaloniki, Geoph. Lab.*, 5, 1-146.
- MOGI K. 1969. — Some features of recent seismic activity in and near Japan (2). Activity before and after great earthquakes. — *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, 47, 395-417.
- MOGI K. 1979. — Two kinds of seismic gaps. — *Pageoph*, 117, 1172-1186.
- PAPADOPOULOS G. A. 1982. — Contribution to the study of the active deep tectonics of the Aegean and the surrounding area. — *D. Sci. Thesis, Univ. of Thessaloniki*, 176 p.
- PAPADOPOULOS G. A. and CHALKIS B. J. 1984. — Tsunamis observed in Greece and the surrounding area from antiquity up to the present times. — *Marine Geology*, 56, 309-317.
- PAPAZACHOS B. C. 1980. — Seismicity rates and long term earthquake prediction in the Aegean area. — *Quatern. Geod.*, 3, 171-190.
- PAPAZACHOS B. C. and COMNINAKIS P. E. 1982. — A catalogue of historical earthquakes in Greece and surrounding area, 479 B. C. — 1900 A. D. — *Publ. of the Univ. of Thessaloniki, Geoph. Lab.*, 5, 1-24.

Ερώτηση από Δ. Κισκύρα

Η απουσία μεγάλων σεισμών στο κεντρικό τμήμα του Β. Αιγαίου από το 1893 και στην περιοχή του Δυτ. Κορινθιακού κόλπου - Πατραϊκού από το 1888 αποτελεί μια απλή ένδειξη για μελλοντικούς σεισμούς. Το ίδιο ισχύει και για πολλές άλλες περιπτώσεις π.χ. της Αταλάντης, Δ. Μεσσηνίας, Κυθέρων κλπ.

Δεν αναφέρατε που βασιστήκαμε και μιλήσατε για εκδήλωση μεγάλων σεισμών στα επόμενα χρόνια; Ο παράγοντας μεγάλη χρονική διάρκεια (σεισμικό κενό) δεν είναι αρκετός.

Στη θαλάσσια περιοχή Δ. Μεσσηνίας ο τελευταίος σεισμός έγινε το 1886 και στην περιοχή Ν.Δ. των Κυθέρων 1867, δηλ. περισσότερο χρονικό διάστημα, χωρίς να γίνει σεισμός. Συνεπώς αν θα γίνει σεισμός στις περιοχές, που αναφέρατε μπορεί να είναι σύμπτωση όχι απόδειξη.

Ο χάρτης των ιστορικών σεισμών τί ακρίβεια έχει εφόσον στηρίχθηκε σε παλιές παραδόσεις;

Απάντηση στην ερώτηση του κ. Κισκύρα

Μίλησα για εκδήλωση μεγάλων σεισμών στα επόμενα χρόνια βασιζόμενος στα κριτήρια που χρησιμοποιούνται διεθνώς για την αναγνώριση σεισμικών κενών. Τα κριτήρια αυτά περιέχονται, όπως και η σχετική βιβλιογραφία, στο κείμενο της ανακοίνωσής μου περιληπτικά. Είναι όμως σημαντικό να τονιστεί ότι η μεγάλη διάρκεια της σεισμικής ησυχίας δεν ταυτίζεται με την έννοια του σεισμικού κενού, αλλά αποτελεί ένα από τα κριτήρια αυτού. Σε ό,τι αφορά την ακρίβεια των ιστορικών δεδομένων, γίνεται αναφορά στο κείμενο. Η ακρίβεια αυτή είναι αναμφισβήτητα ικανοποιητική για μελέτες στην κλίμακα των σεισμικών ζωνών.