

GEOENVIRONMENTAL EFFECTS OF THE M=6.4 17 NOVEMBER 2015 EARTHQUAKE ON SOUTH LEFKADA, IONIAN SEA, GREECE

Papathanassiou G.¹, Ganas A.², Moshou A.² and Valkaniotis S³

¹Aristotle University of Thessaloniki, gpapatha@geo.auth.gr

²National Observatory of Athens, aganas@noa.gr

³Koronidos Str., 42100 Trikala, Greece, valkaniotis@yahoo.com

Abstract

The 17th November Mw=6.4 shallow event occurred along a N20±5°E strike-slip fault with right-lateral sense of slip. The earthquake caused a lot of structural damage to the villages of Agios Petros, Athani, Dragano and Komilio, all located in south Lefkada island. Environmental effects include liquefaction, extensive rock falls and landslides. No surface ruptures were found in the field. Road cracks are interpreted as secondary phenomena of gravitational nature induced by ground shaking. The value of the macroseismic intensity ESI-07 was assessed as VIII-IX. The documentation of the earthquake-induced environmental effects was realized using the Earthquake Geo Survey App. (for Android OS).

Keywords: earthquake, rock falls, liquefaction, Lefkada, 2015.

Περίληψη

Στις 17 Νοεμβρίου 2015, ένας ισχυρός σεισμός μεγέθους M 6.4 σημειώθηκε στην περιοχή της Λευκάδας προκαλώντας το θάνατο 2 ανθρώπων. Αναφορικά με τις γεωλογικές - περιβαλλοντικές αστοχίες που προκλήθηκαν από τη σεισμική δόνηση, αυτές επικεντρώθηκαν κυρίως στο δυτικό τμήμα του νησιού. Ο κυρίαρχος τύπος αστοχιών αφορούσε αστοχίες πρανών όπως καταπτώσεις βράχων και κατολισθήσεις. Μικρότερης έντασης και έκτασης φαινόμενα αποτυπώθηκαν στο κεντρικό τμήμα του νησιού ενώ προς τα ανατολικά ελάχιστες τοπικές αστοχίες σε πρανή δρόμων εντοπίστηκαν. Φαινόμενα ρευστοποίησης καταγράφηκαν στην περιοχή της Βασιλικής όπου είχαμε και μεγάλες σε έκταση ζημιές στις λιμενικές εγκαταστάσεις.

1. Introduction

In the morning of November 17, 2015 (09:10 local time) a strong Mw 6.4 shallow earthquake occurred on the island of Lefkada (Ganas *et al.*, 2015). The epicentre determined by the National Observatory of Athens (NOA) was near the village Agios Petros in south Lefkada, with geographic coordinates: N38.666°, E20.597° and the depth at 11km (Figure 1). The event caused two fatalities while many houses suffered minor damages, mainly situated at villages within the epicentral area. This event occurred 12 years after the last strong 2003 earthquake, near the coast of north Lefkada (Papadopoulos *et al.*, 2003; Karakostas *et al.*, 2004; Papathanassiou *et al.*, 2005; Papadimitriou *et al.*, 2006) and it is the fifth earthquake within one century that triggered severe geoenvironmental effects.

The goal of this article is to provide information regarding the spatial distribution, and characteristics (incl. dimensions where it was feasible), of the earthquake-induced geological effects. In order to achieve this, this study was based on the outcome of a field survey that took place immediately after the occurrence of the earthquake (Nov 19-22, 2015) and thus, we were able to timely report the triggered geo-environmental effects (slope failures, liquefaction etc.). In the following pages, a detailed map and brief description of the earthquake-induced failures is presented while more information will be published after data processing.

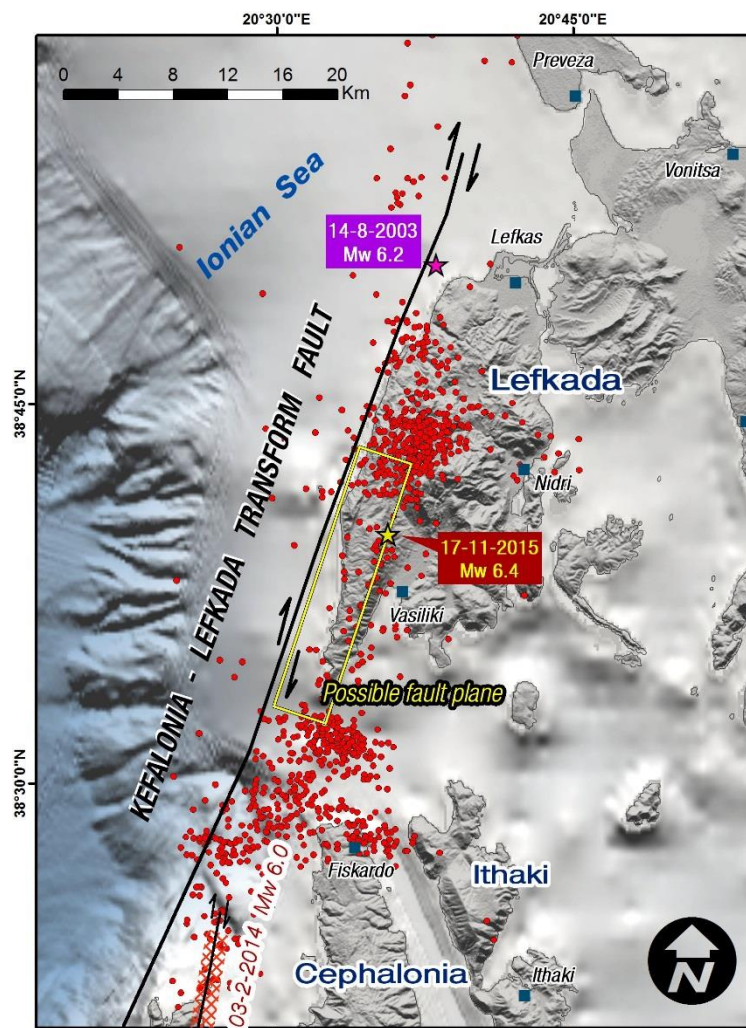


Figure 1 - 17th November 2015 Lefkada main earthquake and aftershock revised epicentres recorded by National Observatory of Athens (NOA). Dextral faults along the Kefalonia-Lefkada TF are shown as black lines.

2. The 17 November 2015 earthquake: location and intensity

On November 17, 2015, 07:10 GMT (09:10 local time) central Ionian Sea was struck by a strong, shallow earthquake (NOA magnitudes ML 6.0-Mw 6.4 respectively; depth 11 km). Based on published Moment Tensor solutions the 2015 earthquake occurred on a near-vertical strike-slip fault running along Lefkada's western coast, with dextral sense of motion in response to ENE-WSW horizontal strain in central Ionian Sea (Ganas *et al.*, 2013). The shallow earthquake ruptured a coastal

fault, in contrast to the 2014 events that occurred on dextral strike-slip faults onshore Cephalonia (Valkaniotis *et al.*, 2014; Boncori *et al.*, 2015; see Figure 1 for fault surface projection). 1038 revised (NOA) aftershock solutions from the period November 17-December 17, 2015 are plotted in Figures 1 (red dots) and 2 (classified for magnitude and depth). It is evident that a general N-S arrangement of aftershocks exists with two main clusters: one in central Lefkada (Northern cluster) with shallower hypocentres and one in the offshore (mainly) area between Lefkada – Cephalonia (southern cluster). The clusters are possibly formed by Coulomb stress changes on either end of the rupture. According to Eppo-ITSak the value of PGA recorded at the Vassiliki sensor was equal to $a=0.36g$ (http://www.itsak.gr/uploads/news/earthquake_reports/Lefkas_M6.0_17-11-2015.pdf/) Taking into account the field observations as they were reported during the post-earthquake reconnaissance survey, the macroseismic intensity was assessed based on the definition of the ESI-07 scale. The advantages of the ESI-07 scale is that the assessment of the intensity is solely based on geoenvironmental effects, maintaining the consistency with the historical seismicity and the relevant provided information, and accordingly the man made environment e.g. seismic codes cannot influence the final assessment of the macroseismic intensity (Papathanassiou and Pavlides, 2007). As a preliminary outcome, it is concluded that the highest intensity was observed within the area delineated by the villages of Dragano - Athani - Porto Katsiki and Egremnoi beach.

3. Historical seismicity

The Ionian Islands have suffered from many destructive earthquakes. There is reliable, semi-detailed information for at least twenty four (24) events, since 1612 which induced ground failures at the island of Lefkada (Kouskouna *et al.*, 1993; Papathanassiou *et al.*, 2005). Regarding the similarity of earthquake-induced failures among these events, it can be concluded that four, 1783, 1885, 1914 and April 1948 events triggered similar failures with the ones generated by the 2015 event.

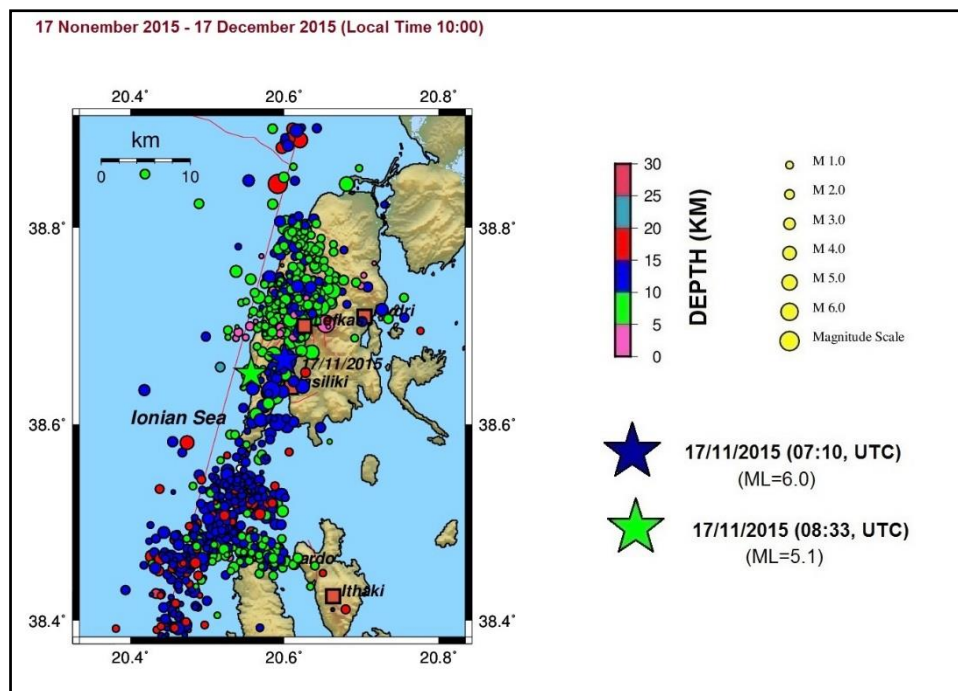


Figure 2 - Seismicity map of the Lefkada sequence from NOA analysis (revised) data. Map contains 1038 shallow events until December 17th, 2015.

4. Geoenvironmental effects

The majority of earthquake-related phenomena were rock falls, landslides, road-fill failures and small-scale size liquefaction (Figure 3). The area that was widely affected by these phenomena is the one delineated by the villages of Komilio, Dragano and Athani on the east and to the west by the coastal zone from Porto Katsiki to Ag. Nikitas (Figure 3). This zone is characterized as very likely to slope failures due to the combination of geomorphological parameters (high elevation and steep slope) with the highly fracture rock mass due to tectonic activity (Papathanassiou *et al.*, 2005). Regarding the eastern part of the island, the earthquake triggered only sparse and small size rock falls on very prone to slope failures sites e.g. road cuts while at the northern part of the island, where the city of Lefkada is located, no geoenvironmental effects have been reported.

The documentation of the earthquake-induced environmental effects was realized using the Earthquake Geo Survey App. (for Android OS).

4.1 Slope failures

The dominant geoenvironmental effects triggered by the 2015 Lefkada earthquake were related to slope failures. Rock falls and landslides were widespread on the western part of the island and at the central area, on both natural and cut slopes. The most densely concentration of these type of earthquake-induced ground deformations was reported on the coastal zone from Porto Katsiki to Egremnoi beach and along the 6 km long road of Tsoukalades- Ag. Nikitas, and are accompanied by small and large-size rock falls, rock mass slides and shallow landslides. It should be pointed out that this zone has been classified as very susceptible to slope failures by Papathanassiou *et al.* (2013).

Furthermore, cracks on paved roads were observed along the road network at the central and western part of the island, mainly within the zone that has been previously mentioned. One of the most representative cases of this type of failure has been observed at the entrance of village Athani, resulted to the closure of this road.

4.2 Liquefaction phenomena

Although the fact that event is characterized as one of the strongest shocks that occurred in the island of Lefkada, generation of liquefaction-induced ground failures were mainly concentrated along the coastal zone between the villages of Vassiliki and Ponti. In particular, spots of small-scale liquefaction features e.g. sand craters and a ground crack through which grey fine-grained material was ejected were reported. In addition, the 2015 earthquake induced severe damages to the waterfront area of Vassiliki and particularly to the recently constructed pier and quay. It should be pointed out that no evidence of liquefaction, like ejecta through the cracks, was observed.

5. Environmental Seismic Intensity scale ESI-07

One of the goals of the post-earthquake field survey was to quantitatively report the earthquake-induced ground failures in order to proceed to the assessment of the macroseismic intensity. In order to achieve this, we applied the Environmental Seismic Intensity scale ESI-07 (Michetti *et al.*, 2007). As a preliminary outcome, it can be concluded that the highest intensity was observed within the area delineated by the villages of Dragano - Athani - Porto Katsiki and Egremnoi beach. The value of the macroseismic intensity ESI-07 within this zone was assessed as VIII-IX.

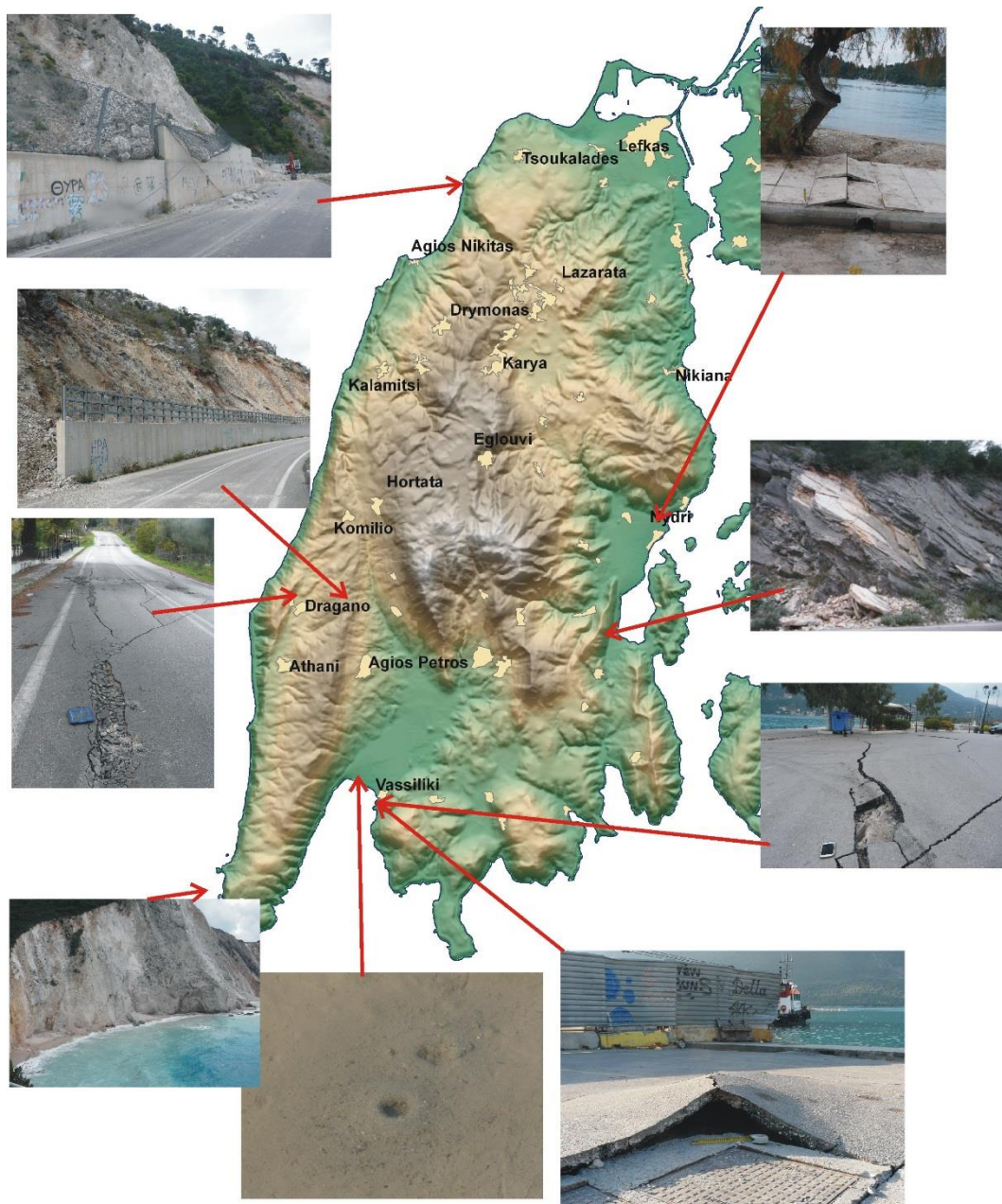


Figure 3 - Spatial distribution of earthquake-induced failures triggered by the Lefkada 2015 event. See text for discussion.

6. Acknowledgments

We thank the NOA seismic data analysis team for phase data. We also thank Efthimios Lekkas, Iannis Koukouvelas, Efthimios Sokos, Yiannis Kassaras, Vassilis Karakostas, Panagiotis Paschos, Pierre Briole, George Bozionelos, Antonio Avallone, Diego Melgar, Panagiotis Argyrakis,

Evangelos Mendonidis, Panagiotis Elias, Fillippos Doukatas and Spiros Pavlides for discussions. Fieldwork was funded by the GSRT project INDES-MUSA <http://www.indes-musa.gr/>.

7. References

- Boncori, M., Papoutsis, I., Pezzo, G., Tolomei, C., Atzori, S., Ganas, A., Karastathis, V., Salvi, S., Kontoes, Ch. and Antonioli, A., 2015. The February 2014 Cephalonia earthquake (Greece): 3D deformation field and source modeling from multiple SAR techniques, *Seismological Research Letters*, January/February 2015, 86(1), 124-137. <http://dx.doi.org/10.1785/0220140126> (First published on November 19, 2014).
- Ganas, A., Marinou, A., Anastasiou, D., Paradissis, D., Papazissi, K., Tzavaras, P. and Drakatos, G., (2013). GPS-derived estimates of crustal deformation in the central and north Ionian Sea, Greece: 3-yr results from NOANET continuous network data, *Journal of Geodynamics*, 67, 62-71.
- Ganas, A., Briole, P., Papathanassiou, G., Bozionelos, G., Avallone, A., Melgar, D., Argyrakos, P., Valkaniotis, S., Mendonidis, E., Moshou, A. and Panagiotis, E., 2015. A preliminary report on the Nov 17, 2015 M=6.4 South Lefkada earthquake, Ionian Sea, Greece, Released on Dec. 4th to EMSC, <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/239/M6-5-GREECE-on-November-17th-2015-at-07-10-UTC/>.
- Karakostas, V., Papadimitriou, E. and Papazachos, C., 2004. Properties of the 2003 Lefkada, Ionian Islands, Greece, earthquake seismic sequence and seismicity triggering, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 94, 1976-1981.
- Kouskouna, V., Makropoulos, K.C. and Tsiknakis, K., 1993. Contribution of historical information to a realistic seismicity and hazard assessment of an area, The Ionian Islands earthquakes of 1767 and 1769: historical investigation. In: Stucchi, M., ed., "Historical Investigation of European Earthquakes," Materials of the CEC project "Review of Historical Seismicity in Europe", 1, 195-206.
- Michetti, A.M., Esposito, E., Guerrieri, L., Porfido, S., Serva, L., Tatevossian, R., Vittori, E., Audemard, F., Azuma, T., Clague, J., Commerci, V., Gurpinar, A., McCalpin, J., Mohammadioun, B., Morner, N.A., Ota, Y. and Roghazin, E., 2007. Intensity Scale ESI (2007). In: *Memorie Descrittive Carta Geologica d'Italia*, Guerrieri, L. and Vittori E. ed., APAT, Servizio Geologico d'Italia-Dipartimento Difesa del Suolo, Roma, Italy, 74, 53 pp.
- Papadimitriou, P., Kaviris, G. and Makropoulos, K., 2006. The Mw=6.3 2003 Lefkada Earthquake (Greece) and induced transfer changes, *Tectonophysics*, 423, 73-82.
- Papadopoulos, G.A., Karastathis, V.K., Ganas, A., Pavlides, S., Fokaefs, A. and Orfanogiannaki, K., 2003. The Lefkada, Ionian Sea (Greece), shock (Mw 6.2) of 14 August 2003: Evidence for the characteristic earthquake from seismicity and ground failures, *Earth Planet, Space*, 55, 713-718.
- Papathanassiou, G., Pavlides, Sp. and Ganas, A., 2005. The 2003 Lefkada earthquake: Field observations and preliminary microzonation map based on liquefaction potential index for the town of Lefkada, *Engineering Geology*, 82, 1, 12-31.
- Papathanassiou, G. and Pavlides, S., 2007. Using the INQUA scale for the assessment of intensity: Case study of the 2003 Lefkada (Ionian Islands), Greece earthquake, *Quaternary International*, 173-174, 4-14.
- Papathanassiou, G., Valkaniotis, S., Ganas, A. and Pavlides, S., 2013. GIS-based statistical analysis of the spatial distribution of earthquake-induced landslides in the island of Lefkada, Ionian Islands, Greece, *Landslides*, 10, 6, 771-783, doi:10.1007/s10346-012-0357S.
- Valkaniotis, S., Ganas, A., Papathanassiou, G. and Papanikolaou, M., 2014. Field observations of geological effects triggered by the January-February 2014 Cephalonia (Ionian Sea, Greece) earthquakes, *Tectonophysics*, 630, 150-157.

ESI-2007. A NEW MACROSEISMIC ENVIRONMENTAL SEISMIC INTENSITY SCALE ORIENTED ON GEOLOGICAL DEFORMATIONS

Papathanassiou G. and Pavlides S.

*Aristotle University of Thessaloniki, School of Geology, 54124, Thessaloniki, Greece,
gpapatha@auth.gr, pavlides@geo.auth.gr*

Abstract

Intensity scales are used in order to measure the effects of an earthquake using the impact of the ground shaking on humans, man made environment and environment. The ESI-2007 is a new scale based solely on the earthquake-induced ground deformations, proposed by the INQUA Subcommission on Paleoseismicity. This scale has been translated in seven languages for a more systematic application. In this review article the new Intensity Scale is presented, as well as a brief of the earthquake case studies, occurred in Greece recently, in which the ESI-2007 was applied, is taken place. In addition, the definitions of intensity degrees are provided in Greek at the end of this article as appendix.

Keywords: *Earthquake Intensity, ground deformation effects, seismicity of Greece.*

Περίληψη

Οι μακροσκοπικές κλίμακες έντασης ενός σεισμού έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των επιπτώσεων του, βασιζόμενες στην καταγραφή της επίδρασης την εδαφικής κίνησης στην συμπεριφορά του ανθρώπου και τις μεταβολές που προκαλούνται στο φυσικό και τεχνητό περιβάλλον. Η προτεινόμενη κλίμακα ESI-2007, από την επιτροπή της Παλαιοσεισμολογίας, κλίμακα INQUA λαμβάνει υπόψη της, κατά την εκτίμηση της σεισμικής έντασης, μονάχα τις εδαφικές παραμορφώσεις και μεταβολές τις οποίες προκάλεσε η σεισμική δόνηση. Η συγκεκριμένη μακροσεισμική κλίμακα έχει μεταφραστεί σε επτά γλώσσες για την όσο το δυνατόν καλύτερη χρήση της παγκοσμίως. Στο τέλος του άρθρου, παρουσιάζονται με τη μορφή υπομνήματος οι ορισμοί των εντάσεων στην ελληνική γλώσσα.

Λέξεις κλειδιά: *Σεισμός, μακροσεισμική ένταση, εδαφικές παραμορφώσεις σεισμού.*

1. Introduction

Seismic intensity is used to estimate the level of the ground shaking based on descriptions of the effects that were triggered by the earthquake. In countries with well documented reports concerning historical seismicity e.g. Greece, the distribution of the intensity can help scientists to estimate the locations and sizes of earthquakes that occurred before the instrumental period, and thus assess the seismic hazard of the area.

For the evaluation of intensity, the three parameters of reported ground failures, structural damage, and peoples' reactions should be taken into account at the same weight. However, the EMS (European Macroseismic Scale) scale seems to underestimate the earthquake-induced ground effects. The evaluated intensities based on EMS scale mainly depend on the vulnerability of

buildings. However, building performance depends on the seismic code provisions of each country. For example, Greece has updated the code several times since 1959. Obviously, the vulnerability of the buildings that were constructed based on the guidelines of the upgraded versions is reduced relative to the buildings constructed before 1959. This situation could lead to a different estimate of the size of an earthquake that occurred in two regions where the building stock is comprised of old and modern structures, respectively. Furthermore, there is a possibility of error when comparing the intensities of recent and past events, creating an error in the assessment of the seismic hazard analysis of the region.

In order to avoid this inaccuracy, a scale based solely on earthquake environmental effects that can be used in combination with other scales was developed by the INQUA (International Quaternary Association), Subcommittee on Paleoseismicity. The recently **Environmental Seismic Intensity scale** (ESI 2007) described by Michetti *et al.* (2007), is the result of the revisions of previous versions. In addition, in order to facilitate the worldwide use of the ESI 2007 scale, it has been translated in ten languages. Moreover, an application for Android systems was developed by Papathanassiou and Kopsachilis in 2013 based on the Earthquake Environmental Effects form, proposed by the INQUA TERPRO Focus Area on Paleoseismology and Active Tectonics, for reporting earthquake-induced deformations and processing the collected data at the end of a post-earthquake reconnaissance field survey. This application, named Earthquake Geo Survey, can be installed both in tablets and smart phones.

More information about the INQUA scale and the definitions of intensity degrees can be found on the website <http://www.isprambiente.gov.it/en/publications/technical-periodicals/descriptive-memories-of-the-geological-map-of-earthquake-environmental-effect-for-seismic-hazard-assessment-the-esi-intensity-scale-and-the-eee-catalogue>.

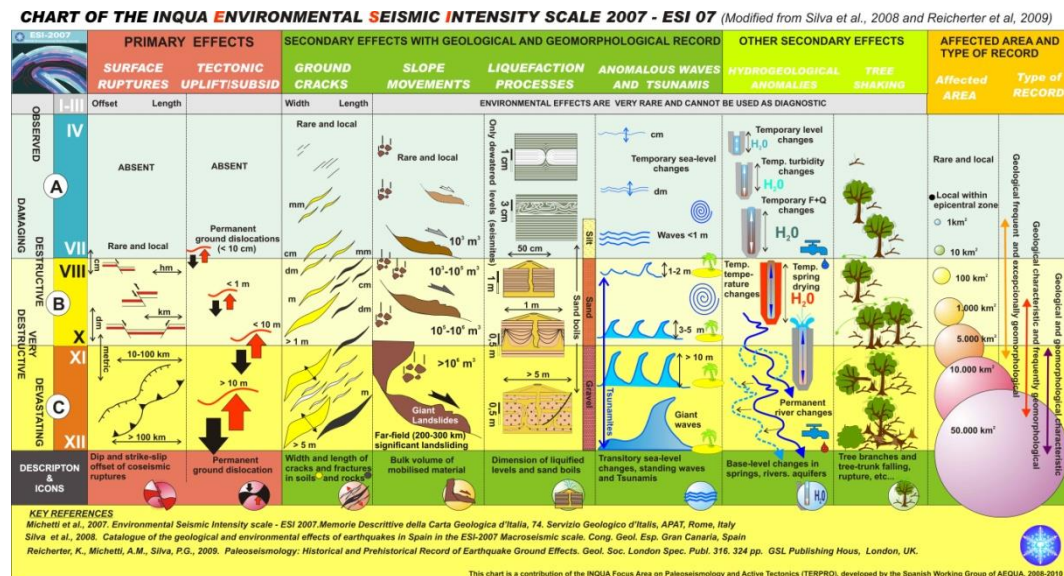


Figure 1 - Chart of the ESI-2007 scale (Michetti *et al.*, 2007).

2. Applying the ESI-2007 in Greece

The ESI-2007 scale has been applied in several earthquake case studies in Greece e.g. Lefkada 2003, Athens 1999, Kythira 2006 in order to evaluate the macroseismic intensity values. A brief summary of the studies performed for these events is provided below. In particular:

The Lefkada 2003 earthquake (Papathanassiou and Pavlides, 2007)

From the comparison among the evaluated intensities of the Lefkada 2003 earthquake based on the ESI-2007 scale and the EMS scale (Papadopoulos *et al.*, 2003), it was concluded that in most of the

sites the values are about the same. However, significant differences are concentrated in villages that have been constructed after the revision of the first Greek seismic code (1992), where the strengthening of the buildings resulting in better performance under ground shaking. At these sites the evaluated intensities based on EMS scale are lower than the “INQUA intensity” degrees, due to the fact that the evaluation of the EMS intensity is mainly based on building performance. At these locations, differences are also observed among the intensity degrees of two past events (1914 Ms 6.3 and 1948 Ms 6.5) and the values of the last one based on the EMS scale, although the ground failures are similar. At these sites the evaluated INQUA degrees are more similar to the intensities of the previous events, than are the EMS ones, helping comparison of the historical seismicity with recent seismic activity.

Sofades 1954 (Papathanassiou *et al.*, 2007)

The Sofades 1954 earthquake (Ms 6.8) induced severe structural damages and remarkable environmental effects in an extended area of Central Greece. The maximum intensity, based on ESI-2007 scale, was evaluated as IX-X at the site of Ekkara, where surface faulting was reported. At the other locations, the degrees of intensities range from VI to VIII. From the comparison of the “ESI-2007” values of intensities with the “MM” ones, as they were assessed by Papazachos and Papazachou (1989), is concluded that at sites where the event induced severe secondary effects the evaluated intensities are about the same. However, at the site of Sofades the degree of intensity based on MM scale was evaluated as IX-X due to structural damages, although no ground deformations were reported.

Alkyonides 1981 (Papanikolaou *et al.*, 2009)

In the 1981 Alkyonides example, the ESI 2007 intensity scale provides not only a slightly higher maximum epicentral intensity (X), but also a different spatial distribution of the isoseismals, compared to the traditional scales. This implies that current traditional scales possibly underestimate the ‘strength’ of this kind of earthquake sequence. This occurs partly because the epicentral area, where significant EEE were recorded, was relatively sparsely populated.

Elia 1988 (Fokaefs and Papadopoulos, 2007)

The evaluated intensities based on ESI scale are as high as those resulting from the Modified Mercalli scale. This is because the Elia 1988 earthquake triggered widespread environmental effects including cracks, rock falls and liquefaction and accordingly both the MM and ESI scale intensities were based on similar effects.

Pyrgos 1993 (Papanikolaou *et al.*, 2009)

The EMS 1992 and the ESI 2007 scales seem to comply well regarding not only the maximum recorded epicentral intensity, but also with the overall isoseismal pattern. Nevertheless, it should be mentioned that no villages were founded near the landslide or the liquefaction-prone areas, otherwise it is possible that the traditional intensities would have recorded a higher epicentral intensity value.

Athens 1999 (Fokaefs and Papadopoulos, 2007)

Regarding the evaluated intensities for this event, Fokaefs and Papadopoulos (2007) concluded that the ESI-based ones failed to approach the MM intensities due to the fact that there were only few ground failures. Because of this ESI-based intensities are much lower than those assessed using the MM intensity scale.

Kythira 2006 (Lekkas *et al.*, 2008)

Regarding the 2006 Kythira event, the ESI 2007 and the traditional macroseismic scales correlate well, suggesting a maximum VII-VIII intensity.

3. Conclusion - Discussion

Taking into account the fact that the ESI-2007 scale has been applied in a wide variety of earthquakes regarding the magnitude and the generation of geological failures, we believed that a summary

dealing with the reliability and accuracy of the evaluated intensities could be provided. This outcome, summarized by the previously mentioned studies, is briefly presented below:

- In case of earthquakes-induced ground deformations, the application of the new macroseismic intensity scale (ESI-2007) results to similar degrees of intensity as the MM scale. However, in an absence or low severity ground damage, ESI-scale intensities may underestimate the overall effects of an earthquake.
- On the contrary in urban areas constructed according to modern code provisions, the evaluation of the intensity based on EMS scale may underestimate the ground shaking
- There is inconsistency between ESI 2007 and traditional scales for the high intensity values (IX, X). In particular, the “saturation” of the traditional scales at these values indicates the meaningful of the ESI-2007.
- When the ESI 2007 and the traditional intensity scales disagree, the intensity has to coincide with the highest value between these two independent estimates (Papanikolaou *et al.*, 2009)
- Earthquake environmental effects provide higher objectivity in the process of assigning intensity values, so that the ESI 2007 scale is the best tool to compare recent, historic and pre-historic earthquakes as well as earthquakes from different tectonic settings (Papanikolaou *et al.*, 2009)

4. References

- Fokaefs, A. and Papadopoulos, G., 2007. Testing the New INQUA Intensity Scale in Greek Earthquakes, *Quaternary International*, 173/174, 15-22.
- Lekkas, E.L., Papanikolaou, I.D., Papanikolaou, D.I. and Danamos, G., 2008. Correlating the damage pattern and the geological structure. Local site effects from the 2006 MW=6.7 KYTHIRA island intermediate depth event, SW Greece, The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Michetti, A.M., Esposito, E., Guerrieri, L., Porfido, S., Serva, L., Tatevossian, R., Vittori, E., Audemard, F., Azuma, T., Clague, J., Commerci, V., Gurpinar, A., McCalpin, J., Mohammadioun, B., Morner, N.A., Ota, Y. and Roghazin, E., 2007. Environmental Seismic Intensity Scale 2007, ESI 2007. In: Guerrieri, L. and Vittori, E., eds., Intensity Scale ESI 2007, *Memorie descrittive della Carta Geologica d' Italia*, 74, 7-54.
- Papadopoulos, A.G., Karastathis, V., Ganas, A., Pavlides, S., Fokaefs, A. and Orfanogiannaki, K., 2003. The Lefkada, Ionian Sea (Greece), shock (Mw 6.2) of 14 August 2003: evidence for the characteristic earthquake from seismicity and ground failures, *Earth Planets and Space*, 55, 713-718.
- Papanikolaou, I.D., Papanikolaou, D.I. and Lekkas, E.L., 2009. Advances and limitations of the Environmental Seismic Intensity scale (ESI 2007) regarding near-field and farfield effects from recent earthquakes in Greece: implications for the seismic hazard assessment. In: Reicherter, K., Michetti, A.M. and Silva Barroso, P.G., eds., *Palaeoseismology: Historical and Prehistorical Records of Earthquake Ground Effects for Seismic Hazard Assessment*, The Geological Society, London, Special Publ., 316, 1130.
- Papathanassiou, G. and Pavlides, S., 2007. Using the INQUA Scale for the Assessment of Intensity: Case Study of the 2003 Lefkada (Ionian Islands), Greece Earthquake, *Quaternary International*, 173-174, 4-14.
- Papathanassiou, G., Valkaniotis, S. and Pavlides, S., 2007. Applying the INQUA scale to the Sofades 1954, central Greece, earthquake, Proc. of the 11th International Conference of Greek Geological Society, *Bulletin of the Geological Society of Greece*, XXXVII, 1226-1233.
- Papazachos, B.C. and Papazachou, K., 1989. The earthquakes of Greece, Ziti Publ., Thessaloniki, 365 pp.

Appendix

Η ESI-2007 Κλίμακα Μακροσεισμικών Εντάσεων που στηρίζεται αποκλειστικά σε περιβαλλοντικές επιπτώσεις των σεισμών, δηλαδή σε επιφανειακές εδαφικές παραμορφώσεις (διαρρήξεις, καταπτώσεις βράχων, κατολισθήσεις, ρευστοποιήσεις κ.α.), ανωμαλίες υπογείων και επιφανειακών υδάτων (αλλαγή χημισμού και θερμοκρασίας, παροχή, θολότητα κ.α.), καθώς και σε θαλάσσια σεισμικά κύματα (tsunami), είναι διαθέσιμη στο διαδίκτυο σε (η ηλεκτρονική διεύθυνση δίνεται παραπάνω) σε δέκα (10) γλώσσες και παρουσιάζεται στην ελληνική γλώσσα στον επιστημονικό κόσμο της Ελλάδος, στον τόμο:

Earthquake Environmental Effects for seismic hazard Assessment: the ESI intensity scale and the EEE Catalogue, Memorie, Carta Geologica D'Italia, ISPRA, Servizio Geologico D'Italia, XCVII, 181 pp.

Περιγραφή της κλίμακας ESI 2007

Η κλίμακα ESI 2007 είναι δομημένη σε δώδεκα βαθμούς. Στον τίτλο κάθε βαθμού έντασης εκφράζεται η δριμύτητα του σεισμού και το μέγεθος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Κατά την περιγραφή, τα χαρακτηριστικά και το μέγεθος των πρωτογενών επιπτώσεων αναφέρονται στην αρχή κάθε βαθμού. Έπειτα, οι δευτερογενείς επιπτώσεις περιγράφονται σε σχέση με τη συνολική περιοχή εμφάνισης τους για την εκτίμηση της επικεντρικής έντασης, η οποία ομαδοποιείται σε διάφορες κατηγορίες, όπως ορίζεται από τον αρχικό βαθμό του γεγονότος. Το μορφοποιημένο με πλάγια γραφή κείμενο χρησιμοποιείται για να δώσει έμφαση σε περιγραφές οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αποκλειστικοί διαγνωστικοί παράγοντες για ένα συγκεκριμένο βαθμό έντασης.

Οι πρωτογενείς επιπτώσεις είναι σε άμεση συνάρτηση με την ενέργεια του σεισμού και προπάντων με την επιφανειακή εκδήλωση της σεισμογόνου πηγής. Το μέγεθος των πρωτογενών επιπτώσεων τυπικά εκφράζεται με δύο παραμέτρους: i) το συνολικό μήκος του επιφανειακού ίχνους του ρήγματος (SRL, Total Surface Rupture Length) και ii) τη μέγιστη μετατόπιση (MD, Maximum Displacement). Η εμφάνισή τους συνήθως συνδέεται με μια ελάχιστη τιμή της έντασης (VIII), εκτός των περιπτώσεων επιφανειακών σεισμών σε ηφαιστειακές περιοχές. Τα ποσοτικά χαρακτηριστικά της τεκτονικής επιφανειακής παραμόρφωσης (ανύψωση, ταπείνωση; uplift, subsidence) λαμβάνονται επίσης υπόψη.

Ως δευτερογενείς επιπτώσεις χαρακτηρίζονται εκείνα τα φαινόμενα που προκαλούνται από την εδαφική κίνηση και ταξινομούνται σε οκτώ κύριες κατηγορίες:

α) Υδρογεωλογικές ανωμαλίες: στην κατηγορία αυτή περιγράφονται μεταβολές στην παροχή των πηγών και ποταμών καθώς επίσης και μεταβολές στις φυσικο-χημικές ιδιότητες των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων (π.χ. θερμοκρασία, θολότητα). Αυτές οι επιπτώσεις παρατηρούνται σε εντάσεις από IV έως X.

β) Ανωμαλίες στον κυματισμό/ Tsunamis: στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται φαινόμενα όπως κυματισμός σε κλειστές λεκάνες, υπερχειλίση νερού σε πισίνες και λεκάνες καθώς επίσης και tsunamis. Στην τελευταία περίπτωση, τα tsunamis, ως διαγνωστικοί παράγοντες θεωρούνται κυρίως οι επιπτώσεις του κύματος στις ακτές (βάθος εισχώρησης στην ενδοχώρα, διάβρωση παραλίας, αλλαγές στην παράκτια μορφολογία) χωρίς βεβαίως να αγνοούνται η επίδραση στον άνθρωπο και στις κατασκευές.

γ) Εδαφικές διαρρήξεις: οι εδαφικές διαρρήξεις περιγράφονται με βάση το μήκος τους (από cm μέχρι εκατοντάδες μέτρα), πλάτος (από mm έως m) και πυκνότητα στο χώρο. Οι εδαφικές διαρρήξεις παρατηρούνται σε εντάσεις από IV και διατηρούνται σταθερές σε μέγεθος (κορεσμός) σε ένταση βαθμού X.

δ) Αστοχίες πρανών: στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλοι οι τύποι των κατολισθήσεων συμπεριλαμβανομένων των καταπτώσεων, ολισθήσεων και εδαφικών ροών. Όταν το λιθολογικό και μορφολογικό πλαίσιο είναι παρόμοιο τότε ο όγκος και το εμβαδό της περιοχής αποτελούν τις διαγνωστικές παραμέτρους. Αυτές οι επιπτώσεις παρατηρούνται σε ένταση από IV και διατηρούν το μέγεθος τους σταθερό σε ένταση βαθμού X.

ε) Ταλάντωση δέντρων: αυτές οι επιπτώσεις παρατηρούνται σε εντάσεις από IV έως X. Η περιγραφή των βαθμών της έντασης ουσιαστικά ακολουθεί τους δημοσιευμένους βαθμούς έντασης των Dengler και McPherson (1993).

ζ) **Φαινόμενα ρευστοποίησης:** σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται φαινόμενα κώνων και ηφαιστειών άμμου, ανάδυση νερού και αμμώδους υλικού και ορισμένοι τύποι πλευρικής εξάπλωσης, συνίζησης και καθίζησης. Χαρακτηρίζουν εντάσεις βαθμού V έως X.

η) **Σύννεφα σκόνης:** παρατηρούνται σε περιοχές με ξηρό κλίμα σε βαθμό έντασης μεγαλύτερο από VIII.

θ) **Αναπήδηση βράχων:** το μέγιστο μέγεθος των βράχων αποτελεί διαγνωστικό παράγοντα για την εκτίμηση της έντασης και παρατηρούνται σε εντάσεις από IX μέχρι XII. Τέτοια φαινόμενα παρατηρούνται σε θέσεις όπου οι εδαφικές επιταχύνσεις είναι μεγαλύτερες της βαρύτητας.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις παρατηρούνται και χαρακτηρίζουν εντάσεις βαθμού μεγαλύτερου του IV. Μερικοί κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων (υδρολογικές ανωμαλίες) είναι δυνατό να παρατηρηθούν ακόμα και σε χαμηλότερους βαθμούς έντασης αλλά δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως διαγνωστικά στοιχεία. Η ακρίβεια στην αξιολόγηση της έντασης αυξάνει στους μεγαλύτερους βαθμούς, και συγκεκριμένα σε θέσεις παρατήρησης πρωτογενών επιπτώσεων (συνήθως σε εντάσεις μεγαλύτερες του VIII), έως και ένταση XII. Σε ένταση μεγαλύτερη του X, οι επιπτώσεις στο ανθρωπογενές δομημένο περιβάλλον και στους ανθρώπους δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθώς οι κατασκευές έχουν συνήθως ολοκληρωτικά καταστραφεί (κορεσμός) και για αυτό το λόγο δεν είναι δυνατή η διάκριση μεταξύ διαφορετικών βαθμών έντασης. Σε αυτήν την περίπτωση, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κυριαρχούν και για αυτό αποτελούν το πιο αποτελεσματικό εργαλείο για την αξιολόγηση της έντασης.

Πώς να χρησιμοποιήσετε την κλίμακα ESI 2007

Η χρησιμοποίηση της μακροσεισμικής κλίμακας ESI ως ένα ανεξάρτητο εργαλείο για την εκτίμηση της έντασης προτείνεται στις περιπτώσεις εκείνες όπου μονάχα οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαγνωστικά καθώς οι επιπτώσεις στον άνθρωπο και στο ανθρωπογενές δομημένο περιβάλλον είναι είτε ανεπαρκείς είτε κορεσμένες. Στην περίπτωση που οι τελευταίες επιπτώσεις μπορούν να ληφθούν υπόψη και να αξιολογηθούν, τότε είναι δυνατή η εκτίμηση δύο ανεξάρτητων τιμών μακροσεισμικής έντασης. Η τελική τιμή έντασης θα ισούται με την υψηλότερη τιμή μεταξύ των δύο εκτιμήσεων. Προφανώς, σε αυτές τις περιπτώσεις, η γνώμη και η εμπειρία ενός ειδικού είναι απαραίτητη. Η επικεντρική ένταση (I_0) δηλώνει την ένταση της δόνησης σε αντιστοιχία με το επίκεντρο. Οι παράμετροι που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά της επιφανειακής εκδήλωσης του σεισμογόνου ρήγματος καθώς επίσης και η συνολική έκταση της κατανομής των δευτερογενών φαινομένων (κατολισθήσεις, ρευστοποιήσεις) είναι επίσης ανεξάρτητα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της I_0 με βάση τα περιβαλλοντικά φαινόμενα, με αφετηρία τον βαθμό έντασης VII (Πίνακας 1). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις περιπτώσεις εκείνες όπου τα χαρακτηριστικά της επιφανειακής εκδήλωσης του σεισμογόνου ρήγματος τοποθετούνται στο όριο μεταξύ δύο βαθμών έντασης. Σε αυτήν την περίπτωση, θα πρέπει να επιλεγεί εκείνη η τιμή της έντασης που βρίσκεται σε συμφωνία με τα χαρακτηριστικά και την έκταση εμφάνισης δευτερογενών επιπτώσεων. Επίσης, κατά την αξιολόγηση της έντασης της συνολικής περιοχής, συνιστάται να μην συμπεριλαμβάνονται απομονωμένες παρατηρήσεις φαινομένων στο μακρινό πεδίο. Σε αυτήν την διαδικασία αξιολόγησης επίσης θεωρείται ουσιώδης η γνώμη ενός ειδικού. Η τοπική ένταση αξιολογείται κυρίως δια μέσου της περιγραφής των δευτερογενών επιπτώσεων που λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικές «θέσεις» που βρίσκονται μέσα σε μια «τοποθεσία». Αυτή η τιμή της έντασης πρέπει να συγκριθεί με την αντίστοιχη τοπική ένταση η οποία εκτιμήθηκε με βάση τις ζημιές. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στον όρο «τοποθεσία» ο οποίος αναφέρεται τόσο για κατοικημένες περιοχές (πόλη, χωριό) όσο και για γεωγραφικές περιοχές χωρίς την ύπαρξη κατοικημένων εκτάσεων. Όταν σε μια θέση παρατηρούνται μονάχα πρωτογενείς επιπτώσεις τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μέγεθος της μέγιστης μετατόπισης της τοπικής επιφανειακής διάρρηξης.

Ορισμός της έντασης

Από **I** έως **III**: Δεν προκαλούνται περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι οποίες να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως διαγνωστικοί στοιχεία.

IV Αρκετά αισθητός σεισμός / Πρώτες σαφείς επιπτώσεις στο περιβάλλον

Πρωτογενείς επιπτώσεις απουσιάζουν

Δευτερογενείς επιπτώσεις

α) Καταγράφονται μικρές μεταβολές στη στάθμη του νερού σε πηγάδια και/ή στην παροχή πηγών, καθώς επίσης και εξαιρετικά σπάνια μικρές μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού και θολότητα του νερού στις πηγές και στα πηγάδια, ειδικά σε πηγές που βρίσκονται σε μεγάλα καρστικά συστήματα, τα οποία θεωρούνται ως τα πιο επιρρεπή σε τέτοια φαινόμενα.

Πίνακας 1 - Διακύμανση παραμέτρων επιφανειακής εκδήλωσης του σεισμογόνου ρήγματος (πρωτογενείς επιπτώσεις) κα μέγεθος συνολικής έκτασης (δευτερογενών επιπτώσεων) για κάθε βαθμό έντασης.

I ₀	ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ		ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
	ΜΗΚΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ (SRL)	ΜΕΓ. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ (MD)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ
IV	-	-	-
V	-	-	-
VI	-	-	-
VII	(*)	(*)	10 km ²
VIII	Αρκετές εκατοντάδες μέτρα	εκατοστόμετρα	100 km ²
IX	1- 10 km	5 - 40 cm	1000 km ²
X	10 - 60 km	40 - 300 cm	5000 km ²
XI	60 – 150 km	300 –700 cm	10000 km ²
XII	> 150 km	> 700 cm	> 50000 km ²

(*) περιορισμένες επιφανειακές διαρρήξεις, δεκάδων έως εκατοντάδων μέτρων μήκους και εκατοστών μετατόπισης (offset) μπορούν να παρατηρηθούν και ουσιαστικά να συνδεθούν με επιφανειακούς σεισμούς σε ηφαιστειακές περιοχές.

β) Κυματισμός σε κλειστές λεκάνες (λίμνες) με ύψος μερικών εκατοστών, συνήθως παρατηρείται ως παλιρροιακό κύμα, ίσως ορατός με γυμνό μάτι, συνήθως στο μακρινό πεδίο από ισχυρούς σεισμούς. Οι ανωμαλίες στον κυματισμό γίνονται αντιληπτές από όλους τους ανθρώπους που επιβαίνουν σε μικρά πλοία, ελάχιστους σε μεγαλύτερα πλοία, σχεδόν από όλους στην ακτή. Ταλάντωση νερού σε πισίνες και ίσως παρατηρηθεί υπερχειλίση.

γ) Ρωγμές με άνοιγμα χιλιοστού ίσως περιστασιακά παρατηρηθούν σε θέσεις επιρρεπείς λόγω λιθολογίας (χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις, κορεσμένα εδάφη) και/ή λόγω μορφολογίας (πρανή).

δ) Κατ'εξάιρεση, καταπτώσεις βράχων και μικρές κατολισθήσεις ίσως ενεργοποιηθούν σε πρανή τα οποία βρίσκονται σε οριακή ισορροπία (ευστάθεια), π.χ. απότομα πρανή με χαλαρά και γενικά κορεσμένα εδάφη.

ε) Ασθενής ταλάντωση των κλαδιών των δέντρων.

V Ισχυρός σεισμός/ βασικές επιπτώσεις στο περιβάλλον

Πρωτογενείς επιπτώσεις απουσιάζουν

Δευτερογενείς επιπτώσεις

α) Καταγράφονται μεταβολές στη στάθμη του νερού σε πηγάδια και/ή στην παροχή πηγών, καθώς επίσης και μικρές μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού και θολότητα του νερού στις λίμνες, στις πηγές και στα πηγάδια.

β) Κυματισμός στις λίμνες με ύψος εκατοστών, μερικές φορές ορατός με γυμνό μάτι, στο μακρινό πεδίο από ισχυρούς σεισμούς. Οι ανωμαλίες στον κυματισμό, με ύψος μέχρι μερικές δεκάδες εκατοστά, γίνονται αντιληπτές από όλους τους ανθρώπους που είτε επιβαίνουν σε πλοία είτε βρίσκονται στην ακτή. Υπερχείλιση νερού σε πισίνες.

γ) Ρωγμές (με άνοιγμα μεγέθους χιλιοστού και αρκετών εκατοστών έως ένα μέτρο μήκος) τοπικά παρατηρούνται σε θέσεις επιρρεπείς λόγω λιθολογίας (χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις, κορεσμένα εδάφη) και/ή λόγω μορφολογίας (πρανή).

δ) Μικρές καταπτώσεις βράχων, κυκλικές κατολισθήσεις και εδαφικές ροές ίσως συμβούν, συχνά αλλά όχι απαραίτητα κατά μήκος απότομων πρανών τα οποία βρίσκονται σε οριακή ισορροπία, κυρίως χαλαρές αποθέσεις και κορεσμένα εδάφη. Υποθαλάσσιες κατολισθήσεις ίσως προκληθούν, οι οποίες μπορεί να επιφέρουν μικρές ανωμαλίες στον κυματισμό σε παράκτιες θέσεις θαλασσών και λιμνών.

ε) Κλαδιά δέντρων και θάμνοι ταλαντώνονται ελαφρώς ενώ σπανίως ίσως πέσουν ξερά κλαδιά και ώριμα φρούτα.

ζ) Σε εξαιρετικά σπάνιες περιπτώσεις καταγράφονται εμφανίσεις ρευστοποίησης (κόννοι άμμου), μικρού μεγέθους και σε θέσεις επιρρεπείς σε ρευστοποίηση (περιοχές υψηλής επιδεκτικότητας, πρόσφατες, αλλουβιακές και παράκτιες αποθέσεις, επιφανειακός υδροφόρος ορίζοντας).

VI Ελαφρώς βλαπτικός / μέτριες επιπτώσεις στο περιβάλλον

Πρωτογενείς επιπτώσεις απουσιάζουν

Δευτερογενείς επιπτώσεις

α) Καταγράφονται τοπικά σημαντικές μεταβολές στη στάθμη του νερού σε πηγάδια και/ή στην παροχή πηγών, καθώς επίσης και μικρές μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού και θολότητα του νερού στις λίμνες, στις πηγές και στα πηγάδια.

β) Κυματισμός στις λίμνες με ύψος δεκάδων εκατοστών προκαλεί πλημμυρικά φαινόμενα σε περιορισμένες περιοχές κοντά στις ακτές. Οι ανωμαλίες στον κυματισμό, με ύψος μέχρι μερικές δεκάδες εκατοστά, γίνονται αντιληπτές από όλους τους ανθρώπους που είτε επιβαίνουν σε πλοία είτε βρίσκονται στην ακτή. Υπερχείλιση νερού σε πισίνες και μικρές λίμνες.

γ) Ρωγμές, με άνοιγμα μεγέθους χιλιοστού έως εκατοστών και μήκους αρκετών μέτρων παρατηρούνται σε χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και/ή σε κορεσμένα εδάφη, κατά μήκος απότομων πρανών ή όχθες ποταμών μπορούν να φτάσουν έως 1-2 εκατοστά εύρος. Μικρά ανοίγματα σχηματίζονται σε δρόμους είτε ασφαλτοστρωμένους είτε λιθόστρωτους.

δ) Καταπτώσεις βράχων και κατολισθήσεις με όγκο έως 10^3m^3 ίσως προκληθούν, κυρίως σε θέσεις με οριακή ισορροπία όπως απότομα πρανή με χαλαρά κορεσμένα εδάφη ή σε πολύ αποσθρωμένους / ρωγματομένους (κατακερματισμένους) βραχώδεις σχηματισμούς. Υποθαλάσσιες κατολισθήσεις ίσως προκληθούν, οι οποίες μπορεί να επιφέρουν μικρές ανωμαλίες στον κυματισμό σε παράκτιες θέσεις οι οποίες συνήθως καταγράφονται ενόργανα.

ε) Μέτριες έως ισχυρές ταλαντώσεις κλαδιών δέντρων και θάμνων, ίσως σπάσουν και πέσουν κορυφές δέντρων και άκρα κλαδιών, ανάλογα με τα είδη, το φορτίο των φρούτων και την ωριμότητά τους.

ζ) Αραιές εμφανίσεις ρευστοποίησης (κόννοι άμμου), μικρού μεγέθους και σε θέσεις επιρρεπείς στη ρευστοποίηση (περιοχές υψηλής επιδεκτικότητας, πρόσφατες, αλλουβιακές και παράκτιες αποθέσεις, επιφανειακός υδροφόρος ορίζοντας).

VII Βλαπτικός / αξιόλογες επιπτώσεις στο περιβάλλον

Πρωτογενείς επιπτώσεις σπανίως παρατηρούνται, σχεδόν αποκλειστικά σε ηφαιστειακές περιοχές. Περιορισμένες επιφανειακές διαρρήξεις, μήκους δεκάδων έως εκατοντάδων μέτρων με μετατοπίσεις (offset) μεγέθους εκατοστόμετρου ίσως παρατηρηθούν, ειδικά σε περιπτώσεις αρκετά επιφανειακών σεισμών.

Δευτερογενείς επιπτώσεις: η συνολική έκταση της πληγείσας περιοχής είναι της τάξης των 10km².

α) Καταγράφονται τοπικά σημαντικές προσωρινές μεταβολές στη στάθμη του νερού σε πηγάδια και/ή στην παροχή πηγών. Σπανίως, ίσως εμφανιστούν ή ξηραθούν μικρές πηγές. Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του νερού και θολότητα του νερού στις λίμνες, στις πηγές και στα πηγάδια.

β) Κυματισμός με ύψος μεγαλύτερο του ενός μέτρου προκαλεί πλημμυρικά φαινόμενα σε περιορισμένες παράκτιες περιοχές και προκαλεί ζημιές σε αντικείμενα ποικίλου μεγέθους. Υπερχείλιση νερού σε μικρές λεκάνες και τάφρους.

γ) Ρωγμές, με άνοιγμα έως 5-10 εκατοστών και μήκους εκατοντάδων μέτρων παρατηρούνται κυρίως σε χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και/ή σε κορεσμένα εδάφη, σπανίως σε ξηρή άμμο, αργιλοαμμώδη και αργιλικά εδάφη διαρρήξεις έως 1 εκατοστό εύρος. Μικρές ρωγμές μεγέθους εκατοστόμετρου είναι συνήθεις σε δρόμους είτε ασφαλτοστρωμένους είτε λιθόστρωτους.

δ) Διεσπαρμένες κατολισθήσεις παρατηρούνται σε επιρρεπείς περιοχές όπου επικρατούν συνθήκες μη ισορροπίας (απότομα πρανή με χαλαρά/κορεσμένα εδάφη) ενώ καταπτώσεις βράχων λαμβάνουν χώρα σε απότομα φαράγγια και πρανή. Το μέγεθός τους είναι σημαντικό (10³-10⁵ m³). Σε θέσεις με ξηρή άμμο, αργιλοαμμώδη και αργιλικά εδάφη ο όγκος είναι συνήθως μεγαλύτερος από 100 m³. Οι διαρρήξεις, οι ολισθήσεις και οι καταπτώσεις ίσως επηρεάσουν φυσικά πρανή ποταμών, τεχνητά αναχώματα και εκσκαφές σε χαλαρά ιζήματα ή αποσπασμένους / ρωγματομένους (κατακερατισμένους) βραχώδεις σχηματισμούς. Υποθαλάσσιες κατολισθήσεις ίσως προκληθούν, επιφέροντας κύματα σε παράκτιες θέσεις θαλασσών και λιμνών, τα οποία γίνονται άμεσα αισθητά από ανθρώπους σε πλοία και στα λιμάνια.

ε) Δέντρα και θάμνοι ταλαντεύονται έντονα, κυρίως σε πυκνές δασικές περιοχές, κορυφές δέντρων και άκρα κλαδιών σπάνε και πέφτουν.

ζ) Παρατηρούνται αραιές εμφανίσεις ρευστοποίησης (κόννοι άμμου), με διάμετρο έως 50 εκατοστά, σε θέσεις επιρρεπείς στη ρευστοποίηση (περιοχές υψηλής επιδεκτικότητας, πρόσφατες, αλλουβιακές και παράκτιες αποθέσεις, επιφανειακός υδροφόρος ορίζοντας).

VIII Αρκετά βλαπτικός / εκτεταμένες επιπτώσεις στο περιβάλλον

Πρωτογενείς επιπτώσεις σπανίως παρατηρούνται.

Επιφανειακές διαρρήξεις του σεισμογόνου ρήγματος (surface faulting), μήκους αρκετών εκατοντάδων μέτρων με μετατοπίσεις (offset) μεγέθους εκατοστόμετρου ίσως παρατηρηθούν, ειδικά σε περιπτώσεις αρκετά επιφανειακών σεισμών. Τεκτονική ταπείνωση ή ανύψωση της επιφάνειας με μέγιστες τιμές της τάξης μερικών εκατοστών ίσως παρατηρηθούν.

Δευτερογενείς επιπτώσεις: η συνολική έκταση της πληγείσας περιοχής είναι της τάξης των 100 km².

α) Προσωρινές συνήθως μεταβολές στο σημείο εξόδου νερού και/ή στην παροχή πηγών. Ίσως ξηραθούν μικρές πηγές. Διακυμάνσεις στη στάθμη του νερού σε πηγάδια. Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του νερού, κυρίως της θερμοκρασίας ίσως παρατηρηθούν σε πηγές και/ή πηγάδια. θολότητα του νερού στις λίμνες, στις πηγές και στα πηγάδια. Εκπομπή αερίου, συνήθως θείου, παρατηρείται τοπικά.

β) Κυματισμός με ύψος 1-2 μέτρα προκαλεί πλημμυρικά φαινόμενα σε παράκτιες περιοχές και προκαλεί ζημιές σε ποικίλου μεγέθους αντικείμενα. Διάβρωση εκτάσεων παρατηρείται κατά μήκος

των ακτών όπου θάμνοι και μικρά δέντρα με αδύναμο σύστημα ριζών ξεριζώνονται και μεταφέρονται μακριά. Υπερχείλιση με ορμή του νερού σε μικρές λεκάνες και τάφρους.

γ) Ρωγμές, με άνοιγμα έως 50 εκατοστά και μήκους εκατοντάδων μέτρων παρατηρούνται κυρίως σε χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και/ή σε κορεσμένα εδάφη. Παρατηρούνται διαρρήξεις μεγέθους δεκατόμετρου οι οποίες είναι συνήθεις σε δρόμους είτε ασφαλτοστρωμένους είτε λιθόστρωτους καθώς επίσης και μικρές πτυχώσεις λόγω συμπίεσης.

δ) Εκτεταμένες μικρού έως μέσου μεγέθους (10^3 - 10^5 m³) κατολισθήσεις παρατηρούνται σε επιρρεπείς περιοχές, σπανίως ίσως παρατηρηθούν και σε πρανή με ομαλή κλίση. Όπου επικρατούν συνθήκες μη ισορροπίας (απότομα πρανή με χαλαρά/κορεσμένα εδάφη) λαμβάνουν χώρα καταπτώσεις βράχων (σε απότομα φαράγγια και παράκτια πρανή) και το μέγεθος τους κάποιες φορές είναι μεγάλο (10^5 - 10^6 m³). Κατολισθήσεις φράζουν στενές κοιλάδες και ίσως δημιουργήσουν προσωρινές ή μόνιμες λίμνες. Οι διαρρήξεις, οι ολισθήσεις και οι καταπτώσεις ίσως επηρεάσουν τις όχθες ποταμών, τα τεχνητά αναχώματα και τις εκσκαφές σε χαλαρά ιζήματα ή αποσθρωμένους / ρωγματομένους (κατακερατισμένους) βραχώδεις σχηματισμούς. Συχνές υποθαλάσσιες κατολισθήσεις σε παράκτιες θέσεις.

ε) Δέντρα ταλαντώνονται έντονα; κλαδιά ίσως σπάσουν και πέσουν, ακόμα και ξεριζωμένα δέντρα σε απότομα πρανή ίσως πέσουν.

ζ) Παρατηρούνται πυκνές εμφανίσεις ρευστοποίησης στην επικεντρική περιοχή, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες, κώνοι άμμου με διάμετρο έως 1 μέτρο, τοπικές πλευρικές εξαπλώσεις και καθιζήσεις (έως 30cm), με εμφάνιση ρηγματώσεων παράλληλων προς το παραλιακό μέτωπο (όχθη ποταμού, λίμνες, κανάλια, ακτή).

η) Σε ξηρές περιοχές, σύννεφα σκόνης ίσως σηκωθούν από το έδαφος στην επικεντρική περιοχή.

θ) Ίσως παρατηρηθεί αναπήδηση μικρών ογκόλιθων και πετρών και κορμών δέντρων, από την οποία δημιουργούνται ίχνη σε μαλακό έδαφος.

IX Καταστροφικός / Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις συνιστούν μια εκτεταμένη πηγή κινδύνου και αποτελούν σημαντική παράμετρο για την εκτίμηση της έντασης

Πρωτογενείς επιπτώσεις παρατηρούνται.

Δημιουργούνται εδαφικές διαρρήξεις (surface faulting), μήκους μερικών χιλιομέτρων με μετατοπίσεις (offsets) συνήθως μεγέθους αρκετών εκατοστών. Τεκτονική ταπεινώση ή ανύψωση της εδαφικής επιφάνειας με μέγιστες τιμές της τάξης μερικών δεκάμετρων ίσως παρατηρηθούν.

Δευτερογενείς επιπτώσεις: η συνολική έκταση της πληγείσας περιοχής είναι της τάξης των 1000 km².

α) Προσωρινές συνήθως μεταβολές στην παροχή των πηγών και/ή στη θέση τους σε σημαντικό βαθμό. Ίσως ξηραθούν μέσου μεγέθους πηγές. Προσωρινές διακυμάνσεις στη στάθμη του νερού σε πηγάδια είναι κοινό γνώρισμα. Μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού, κυρίως της θερμοκρασίας ίσως παρατηρηθούν σε πηγές και/ή πηγάδια, θολότητα του νερού στις λίμνες, στις πηγές και στα πηγάδια. Εκπομπή αερίου, συνήθως θειούχου, παρατηρείται τοπικά και ίσως καούν θάμνοι και χόρτα σε αυτές τις θέσεις.

β) Κυματισμός με ύψος μερικών μέτρων τόσο σε ακίνητο όσο και σε τρεχούμενο νερό. Σε πλημμυρικές πεδιάδες ίσως τα ρέματα να αλλάξουν την ροή τους λόγω εδαφικής καθίζησης. Μικρές κοιλάτρες ίσως εμφανιστούν ή αδειάσουν. Tsunamis ίσως εισχωρήσουν σε βάθος δεκάδων μέτρων στην ακτή πλημμυρίζοντας τις περιοχές αυτές. Εκτεταμένη διάβρωση περιοχών κατά μήκος της παραλίας, όπου θάμνοι και δέντρα μπορεί να ξεριζωθούν και να μεταφερθούν μακριά

γ) Ρωγμές, με άνοιγμα έως 100 εκατοστά και μήκους εκατοντάδων μέτρων παρατηρούνται κυρίως σε χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και/ή σε κορεσμένα εδάφη. Σε βραχώδεις σχηματισμούς μέχρι 10 cm. Παρατηρούνται διαρρήξεις σημαντικού μεγέθους σε δρόμους είτε ασφαλτοστρωμένους είτε λιθόστρωτους καθώς επίσης και μικρές πτυχώσεις λόγω συμπίεσης.

δ) Εκτεταμένες κατολισθήσεις παρατηρούνται σε επιρρεπείς περιοχές και σε πρηνή με ομαλή κλίση όπου επικρατούν συνθήκες μη ισορροπίας (απότομα πρηνή με χαλαρά/κορεσμένα εδάφη), καταπτώσεις βράχων λαμβάνουν χώρα σε απότομα φαράγγια και παράκτια πρηνή και το μέγεθός τους συνήθως είναι μεγάλο (10^5m^3) και μερικές φορές αρκετά μεγάλο (10^6m^3). Κατολισθήσεις φράζουν στενές κοιλάδες και ίσως δημιουργήσουν προσωρινές ή μόνιμες λίμνες. Τα πρηνή στις όχθες ποταμών, τα τεχνητά αναχώματα και οι εκσκαφές συχνά αστοχούν. Συχνές μεγάλες υποθαλάσσιες κατολισθήσεις σε παράκτιες περιοχές.

ε) Δέντρα ταλαντώνονται έντονα. Κλαδιά και κορμοί δέντρων συχνά σπάνε και πέφτουν. Μερικά δέντρα ίσως ξεριζωθούν και πέσουν κυρίως σε απότομα πρηνή.

ζ) Παρατηρούνται συχνές εμφανίσεις ρευστοποίησης και ανάδυση νερού, κώνοι άμμου με διάμετρο έως 3 μέτρα, συχνές πλευρικές εξαπλώσεις και καθιζήσεις (περισσότερο από 30cm), με εμφάνιση ρηγματώσεων παράλληλων προς το παραλιακό μέτωπο (όχθη ποταμού, λίμνες, κανάλια, ακτή).

η) Σε ξηρές περιοχές, σύννεφα σκόνης σηκώνονται από το έδαφος.

θ) Ίσως παρατηρηθεί αναπήδηση μικρών ογκόλιθων και σπάσιμο κορμών δέντρων και μετακίνηση μερικών μέτρων από την αρχική τους θέση, και ανάλογα με την κλίση του εδάφους ίσως αφήσουν αποτυπώματα σε μαλακό έδαφος.

X Πολύ καταστροφικός / Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις συνιστούν την κύρια πηγή κινδύνου και αποτελούν κρίσιμη παράμετρο για την εκτίμηση της έντασης

Πρωτογενείς επιπτώσεις κυριαρχούν.

Η επιφανειακή εκδήλωση του ρήγματος εκτείνεται μερικές δεκάδες χιλιομέτρων με μετατόπιση από δεκάδες εκατοστών έως μερικά μέτρα. Δημιουργούνται βυθίσματα βαρύτητας και επιμήκεις δομές συμπίεσης. Σε σεισμούς μικρού εστιακού βάθους σε ηφαιστειακές περιοχές το μήκος της διάρρηξης ίσως είναι αρκετά μικρότερο. Τεκτονική καθίζηση ή ανύψωση της εδαφικής επιφάνειας με μέγιστες τιμές της τάξης μερικών μέτρων ίσως παρατηρηθούν.

Δευτερογενείς επιπτώσεις: η συνολική έκταση της πληγείσας περιοχής είναι της τάξης των 5000km^2 .

α) Σημαντικές μεταβολές στην παροχή πολλών πηγών και/ή στο σημείο εξόδου του νερού. Ίσως πηγές ξηραθούν προσωρινά ή μόνιμα. Προσωρινές διακυμάνσεις στη στάθμη του νερού σε πηγάδια. Μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού, κυρίως της θερμοκρασίας παρατηρούνται σε πηγές και/ή πηγάδια. Λασπωμένο νερό σε μεγάλες λεκάνες, λίμνες, πηγές και σε πηγάδια. Εκπομπή αερίου, συνήθως θείουχου, παρατηρείται και ίσως καούν θάμνοι και χόρτα σε αυτές τις θέσεις.

β) Κυματισμός με ύψος μερικών μέτρων και φαινόμενα υπερχειλίσης σε μεγάλες λίμνες και ποτάμια. Σε πλημμυρικές πεδιάδες τα ρέματα ίσως να αλλάξουν την διαδρομή τους, προσωρινά ή μόνιμα, λόγω εκτεταμένης εδαφικής καθίζησης. Λεκάνες ίσως εμφανιστούν ή αδειάσουν. Tsunamis ίσως πλησιάσουν στην ακτή με ύψος έως 5 μέτρα και εισχωρήσουν σε επίπεδες περιοχές σε βάθος χιλιομέτρων, πλημμυρίζοντας τις περιοχές αυτές. Μικροί ογκόλιθοι ίσως παρασυρθούν για πολλά μέτρα. Εκτεταμένη διάβρωση περιοχών κατά μήκος της παραλίας, προκαλώντας αξιοσημείωτες μεταβολές στην ακτογραμμή. Δέντρα κοντά στην ακτή ξεριζώνονται και μεταφέρονται μακριά.

γ) Εδαφικές ρωγμές, με άνοιγμα μεγαλύτερο από 1 μέτρο και μήκους εκατοντάδων μέτρων παρατηρούνται συχνά σε χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και/ή σε κορεσμένα εδάφη. Σε βραχώδεις σχηματισμούς το άνοιγμα των ρωγμών φθάνει αρκετά δεκάμετρα. Παρατηρούνται διαρρήξεις σημαντικού μεγέθους σε δρόμους είτε ασφαλτοστρωμένους είτε λιθόστρωτους καθώς επίσης και μικρές πτυχώσεις λόγω συμπίεσης.

δ) Μεγάλες κατολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων ($>10^5$ - 10^6m^3) παρατηρούνται συχνά ανεξάρτητα από τις συνθήκες ισορροπίας, δημιουργώντας προσωρινές ή μόνιμες φραγματογενείς λίμνες (barrier lakes). Τα πρηνή στις όχθες ποταμών, τα τεχνητά αναχώματα και οι εκσκαφές αστοχούν. Συχνές μεγάλες υποθαλάσσιες κατολισθήσεις σε παράκτιες περιοχές (offset).

ε) Δέντρα ταλαντώνονται έντονα. Κλαδιά και κορμοί δέντρων συχνά σπάνε και πέφτουν. Μερικά δέντρα ίσως ξεριζωθούν και πέσουν.

ζ) Οι εμφανίσεις ρευστοποίησης με ανάδυση νερού και η προκαλούμενη συμπίκνωση των εδαφών ίσως αλλάξουν την μορφή περιοχών, κώνοι άμμου με διάμετρο μεγαλύτερη από 6 μέτρα, Κατακόρυφη μετατόπιση > 1 μέτρο, μεγάλες και επιμήκεις ρηγματώσεις λόγω πλευρικής εξάπλωσης είναι σύνηθες φαινόμενο.

η) Σε ξηρές περιοχές, σύννεφα σκόνης σηκώνονται από το έδαφος.

θ) Αναπήδηση ογκόλιθων (διάμετρος 2-3 μέτρων) και μετακίνηση εκατοντάδων μέτρων από την αρχική τους θέση, ακόμα και σε πρηνή με ήπια κλίση, αφήνοντας αποτυπώματα σε μαλακό έδαφος.

XI Ισοπεδωτικός / Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την εκτίμηση της έντασης εξαιτίας του κορεσμού των κατασκευαστικών αστοχιών

Πρωτογενείς επιπτώσεις κυριαρχούν.

Το μήκος του επιφανειακού ίχνους του σεισμογόνου ρήγματος εκτείνεται από αρκετές δεκάδες χιλιομέτρων έως και περισσότερο από εκατό km με μετατόπιση (offset) έως αρκετά μέτρα. Δημιουργούνται βυθίσματα βαρύτητας και επιμήκεις δομές συμπίεσης. Δίκτυα ύδρευσης και αποστράγγισης μπορεί να υποστούν ζημιές λόγω σημαντικών μετατοπίσεων. Τεκτονική ταλείνωση ή ανύψωση της επιφάνειας με μέγιστες τιμές της τάξης πολλών μέτρων ίσως παρατηρηθούν.

Δευτερογενείς επιπτώσεις: η συνολική έκταση της πληγείσας περιοχής είναι της τάξης των 10.000 km².

α) Σημαντικές μεταβολές στην παροχή πολλών πηγών και/ή στο σημείο εξόδου του νερού. Ίσως αρκετές πηγές ξηραθούν προσωρινά ή μόνιμα. Προσωρινές ή μόνιμες διακυμάνσεις στη στάθμη του νερού σε πηγάδια. Μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού, κυρίως της θερμοκρασίας παρατηρούνται σε πηγές και/ή πηγάδια. Παρατηρείται συχνά λασπωμένο νερό σε μεγάλες λεκάνες, λίμνες, πηγές και σε πηγάδια. Εκπομπή αερίου, συνήθως θείου, παρατηρείται και ίσως καούν θάμνοι και χόρτα σε αυτές τις θέσεις.

β) Μεγάλα κύματα δημιουργούνται σε μεγάλες λίμνες και ποτάμια και παρατηρούνται φαινόμενα υπερχειλίσης. Σε πλημμυρικές πεδιάδες τα ρέματα ίσως να αλλάξουν την πορεία τους, προσωρινά ή μόνιμα, λόγω εκτεταμένης εδαφικής καθίζησης και φαινομένων κατολίπησης. Λεκάνες ίσως εμφανιστούν ή αδειάσουν. Tsunamis ίσως πλησιάσουν στην ακτή με ύψος ίσως και περισσότερο από 15 μέτρα, και ισοπεδώνουν επίπεδες περιοχές σε βάθος χιλιομέτρων. Ακόμα και ογκόλιθοι ίσως παρασυρθούν για πολλά μέτρα. Εκτεταμένη διάβρωση παράκτιων περιοχών, προκαλώντας αξιοσημείωτες μεταβολές στην ακτογραμμή. Δέντρα κοντά στην ακτή ξεριζώνονται και μεταφέρονται μακριά.

γ) Εδαφικές ρωγμές, με άνοιγμα αρκετών μέτρων παρατηρούνται συχνά σε χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και/ή σε κορεσμένα εδάφη. Σε βραχώδεις σχηματισμούς τα άνοιγμα των ρωγμών φθάνει το ένα μέτρο (1m). Παρατηρούνται διαρρήξεις σημαντικού ανοίγματος σε δρόμους είτε ασφαλτοστρωμένους είτε λιθόστρωτους καθώς επίσης και μικρές πτυχώσεις λόγω συμπίεσης.

δ) Μεγάλες κατολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων (>10⁵-10⁶ m³) παρατηρούνται συχνά ανεξάρτητα από τις συνθήκες ισορροπίας, δημιουργώντας προσωρινές ή μόνιμες φραγματογενείς λίμνες (barrier lakes). Τα πρηνή στις όχθες ποταμών, τα τεχνητά αναχώματα και οι εκσκαφές αστοχούν. Αναχώματα και χωμάτινα φράγματα υφίστανται σημαντικές ζημιές. Σημαντικές κατολισθήσεις μπορεί να παρατηρηθούν σε επικεντρικές αποστάσεις 200-300 km. Συχνές μεγάλες υποθαλάσσιες κατολισθήσεις σε παράκτιες περιοχές.

ε) Δέντρα ταλαντώνονται έντονα; Κλαδιά και κορμοί δέντρων σπάνε και πέφτουν. Δέντρα ξεριζώνονται και πέφτουν.

ζ) Φαινόμενα ρευστοποίησης αλλάζουν την μορφή εκτεταμένων πεδινών εκτάσεων, όπου παρατηρείται καθίζηση αρκετών μέτρων, πολλές εμφανίσεις ηφαιστειών άμμου και σφοδρές πλευρικές εξάπλωσεις.

η) Σε ξηρές περιοχές, σύννεφα σκόνης σηκώνονται από το έδαφος.

θ) Αναπήδηση μεγάλων ογκόλιθων (διάμετρος αρκετών μέτρων) και μετακίνηση τους από την αρχική θέση, ακόμα και σε πρηνή με ήπια κλίση, αφήνοντας αποτυπώματα σε μαλακό έδαφος.

ΧII Απόλυτα Ισοπεδωτικός / Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι το μοναδικό εργαλείο για την εκτίμηση της έντασης

Πρωτογενείς επιπτώσεις κυριαρχούν.

Το μήκος του επιφανειακού ίχνους του σεισμογόνου ρήγματος είναι τουλάχιστον μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα και το άλμα (offset) δεκάδες μέτρα. Δημιουργούνται βυθίσματα βαρύτητας και επιμήκεις δομές συμπίεσης. Τοπογραφικές και/ή γεωμορφολογικές μεταβολές, οι οποίες προκλήθηκαν από τις πρωτογενείς επιπτώσεις, παίρνουν μεγάλες διαστάσεις τόσο σε έκταση όσο και σε μέγεθος (χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ανύψωση ακτογραμμών, εμφάνιση ή εξαφάνιση από το απτικό πεδίο χαρακτηριστικών τοπογραφικών στοιχείων, αλλαγή πορείας ποταμών, δημιουργία καταρρακτών, δημιουργία ή εξαφάνιση λιμνών).

Δευτερογενείς επιπτώσεις: η συνολική έκταση της πληγείσας περιοχής είναι της τάξης των 50.000 km² και περισσότερο.

α) Σημαντικές μεταβολές στην παροχή πολλών πηγών και/ή στο σημείο εξόδου του νερού. Ίσως πολλές πηγές ξηραθούν προσωρινά ή μόνιμα. Προσωρινές ή μόνιμες διακυμάνσεις στη στάθμη του νερού σε πηγάδια. Σημαντικές μεταβολές των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του νερού, κυρίως της θερμοκρασίας παρατηρούνται σε πηγές και/ή πηγάδια. Παρατηρείται συχνά λασπωμένο νερό σε μεγάλες λεκάνες, λίμνες, πηγές και σε πηγάδια. Εκπομπή αερίου, συνήθως θειούχου, παρατηρείται και ίσως καούν θάμνοι και χόρτα σε αυτές τις θέσεις.

β) Γιγάντια κύματα δημιουργούνται σε λίμνες και ποτάμια και παρατηρούνται φαινόμενα υπερχειλίσης. Σε πλημμυρικές πεδιάδες τα ρέματα αλλάζουν την πορεία τους ακόμα και την κατεύθυνση ροής τους, προσωρινά ή μόνιμα, λόγω εκτεταμένης εδαφικής καθίζησης και φαινομένων κατολισθησης. Λεκάνες ίσως εμφανιστούν ή αδειάσουν. Tsunamis ίσως πλησιάσουν στην ακτή με ύψος αρκετών δεκάδων μέτρων, και ισοπεδώνουν επίπεδες περιοχές σε βάθος χιλιομέτρων. Μεγάλοι ογκόλιθοι μετακινούνται σε μεγάλες αποστάσεις. Εκτεταμένη διάβρωση των ακτών, και αξιοσημείωτες μεταβολές στην παράκτια μορφολογία. Πολλά δέντρα ξεριζώνονται και μεταφέρονται μακριά. Όλα τα αγκυροβολημένα πλοία παρασύρονται και μετακινούνται προς την ενδοχώρα σε μεγάλες αποστάσεις. Οι άνθρωποι στην ύπαιθρο δεν μπορούν να σταθούν όρθιοι.

γ) Πολλές εδαφικές ρωγμές, με άνοιγμα μεγαλύτερο του ενός μέτρου ή και περισσότερο στο υπόβαθρο, και περισσότερο από 10 m σε χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις και/ή σε κορεσμένα έδαφη. Το μήκος τους εκτείνεται αρκετά χιλιόμετρα.

δ) Μεγάλες κατολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων (>10⁵-10⁶ m³) παρατηρούνται συχνά ανεξάρτητα από τις συνθήκες ισορροπίας, δημιουργώντας προσωρινές ή μόνιμες φραγματογενείς λίμνες (barrier lakes). Τα πρηνή στις όχθες ποταμών, τα τεχνητά αναχώματα και οι εκσκαφές αστοχούν. Αναχώματα και χωμάτινα φράγματα υφίστανται σημαντικές ζημιές. Σημαντικές κατολισθήσεις παρατηρούνται σε επικεντρικές αποστάσεις μεγαλύτερες των 200-300 km. Συχνές μεγάλες υποθαλάσσιες κατολισθήσεις σε παράκτιες περιοχές. ε) Δέντρα ταλαντώνονται έντονα. Κλαδιά και κορμοί δέντρων σπάνε και πέφτουν. Πολλά δέντρα ξεριζώνονται και πέφτουν.

ζ) Φαινόμενα ρευστοποίησης παρατηρούνται σε μεγάλες σε έκταση περιοχές και αλλάζουν την μορφολογία εκτεταμένων επίπεδων εκτάσεων, όπου παρατηρείται καθίζηση αρκετών μέτρων, εκτεταμένες εμφανίσεις μεγάλων ηφαιστειών άμμου και εκτεταμένες σφοδρές πλευρικές εξαπλώσεις.

η) Σε ξηρές περιοχές, σύννεφα σκόνης σηκώνονται από το έδαφος.

θ) Αναπήδηση πολύ μεγάλων ογκόλιθων και μετακίνηση τους από την αρχική θέση σε μεγάλες αποστάσεις, ακόμα και σε πρηνή με ήπια κλίση, αφήνοντας αποτυπώματα σε μαλακό έδαφος.