

## ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ<sup>1</sup>

ΕΥΘ. Λ. ΛΕΚΚΑΣ<sup>2</sup>

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Περιγράφονται τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν σε σεισμικές δονήσεις οι οποίες επιφέρουν μικρές ή μεγάλες καταστροφές μέσα από αντιπροσωπευτικά παραδείγματα σεισμών σε διάφορες περιοχές του κόσμου της τελευταίας δεκαετίας. Συγκεκριμένα περιγράφονται προβλήματα που έχουν ως κύριο αίτιο εκδήλωσης τις σεισμικές δονήσεις ή τα έμμεσα αποτελέσματα αυτών στο δομημένο περιβάλλον. Ειδικότερα περιγράφονται η διαφυγή των πετρελαιοειδών στο έδαφος και στη θάλασσα, η ανεξέλεγκτη απόρριψη αδρανών υλικών, η ρύπανση της ατμόσφαιρας, ο πρόχειρος ενταφιασμός των νεκρών και η καταστροφική φραγμάτων.

### ABSTRACT

It is widely known that earthquakes bring significant social and financial implications globally and are of the most awesome and most difficultly confrontable natural disasters. Despite the noticeable progress in the identification of the components that constitute the problem and therefore in its management, the overall ramifications are continuously increasing on a global scale, due to the increased vulnerability of the huge urban complexes and generally to the complexity of organization in modern societies.

Until recently the main components including the post-earthquake assessment of ramifications have been the number of casualties, the damage in the urban structure, the infrastructure and the industrial units, the overall financial loss, the required recovery time to the pre-earthquake situation, as well as the degree of disorganization of the social structure.

Another recently detected component of paramount importance that adds to the whole situation is the environmental implications of a seismic disaster. This is perfectly exemplified in recent strong seismic events that occurred all over the world and specifically at the earthquakes of Kobe (Japan 1999), Adana (Turkey 1998), Izmit and Düzce (Turkey 1999), Athens (1999), Chi-Chi (Taiwan 1999) and Gujarat (India 2001).

This paper deals with problems encountered after severe disasters, such as oil seeping into the soil and the sea caused by refinery failure, uncontrollable disposal of inert material from collapsed constructions, atmospheric pollution, burial of the deceased and destruction of dams. It is estimated that ramifications wrought by seismic events are likely to consist a major problem in future earthquakes.

**ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ** : Σεισμοί, περιβάλλον, επιπτώσεις, καταστροφές.

**KEYWORDS** : Earthquakes, environment, consequences, disasters.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό οι σεισμοί σε παγκόσμιο επίπεδο προκαλούν σημαντικές επιπτώσεις στον κοινωνικό και οικονομικό τομέα και αποτελούν μία από τις σημαντικότερες και δυσκολότερα αντιμετωπίσιμες φυσικές καταστροφές. Παρά το γεγονός ότι έχει επιτευχθεί σημαντική πρόοδος στη διερεύνηση των επιμέρους συνιστωσών που συνθέτουν το πρόβλημα, συνεπώς και στην αντιμετώπισή του, εν τούτοις λόγω της αυξανόμενης τρωτότητας των μεγάλων οικιστικών συγκροτημάτων και γενικότερα της πολυπλοκότητας της οργάνωσης των σύγχρονων κοινωνιών, οι συνολικές επιπτώσεις σε παγκόσμιο επίπεδο αυξάνονται διαρκώς (SMITH 1992, ALEXANDER 1993).

Μέχρι πρόσφατα οι κύριες συνισταμένες που ελαμβάνοντο υπόψη στην εκτίμηση των επιπτώσεων μετά μία σεισμική δόνηση ήταν ο αριθμός των θυμάτων, οι καταστροφές στο δομημένο ιστό, οι καταστροφές στα έργα υποδομής και στις

---

<sup>1</sup>: ENVIRONMENTAL PROBLEMS CAUSED BY SEISMIC DISASTERS

<sup>2</sup>: Αναπλ. Καθηγητής, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Παν/μιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη, Ζωγράφου, [elekkas@geol.uoa.gr](mailto:elekkas@geol.uoa.gr)

βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οι συνολικές οικονομικές απώλειες, ο χρόνος επανόρθωσης και επανόδου στην πριν το σεισμό κατάσταση και ο βαθμός αποδιοργάνωσης του κοινωνικού ιστού.

Μία άλλη συνιστώσα η οποία μόλις τελευταία συνειδητοποιήθηκε ότι υπεισέρχεται πρόσθετα στο όλο θέμα είναι οι συνολικές επιπτώσεις που έχει στο περιβάλλον μία σεισμική καταστροφή. Τούτο έχει καταγραφεί σε πρόσφατους μεγάλους σεισμούς που εκδηλώθηκαν σε διάφορα σημεία της υφελίου και ειδικότερα στους σεισμούς Kobe (Ιαπωνία 1999), Adana (Τουρκία 1998), Νικομήδεια (Izmit) και Düzce (Τουρκία 1999), Αθήνα (1999), Chi-Chi (Taiwan 1999) και Gujarat (Ινδία 2001).

Στη συνέχεια περιγράφονται τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα που προέκυψαν στους προηγούμενους σεισμούς ενώ στο τέλος γίνεται μία συνολική εκτίμηση της διαγραφόμενης κατάστασης και των προοπτικών.

## **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ**

### **ΔΙΑΦΥΓΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ**

Κατά το σεισμό του Izmit (Νικομήδεια - Τουρκία 1999) παρατηρήθηκαν σε δεκάδες περιπτώσεις διαρροές πετρελαιοειδών εξαιτίας της θραύσης των αγωγών μεταφοράς ή την καταστροφή δεξαμενών αποθήκευσης (ΛΕΚΚΑΣ και συνεργάτες, 1999). Συγκεκριμένα παρατηρήθηκαν θραύσεις και παραμορφώσεις αγωγών μεταφοράς προϊόντων υδρογονανθράκων στην ευρύτερη περιοχή των πόλεων Izmit - Derementere - Yalova με αποτέλεσμα την διάχυση των προϊόντων υδρογονανθράκων είτε στο έδαφος είτε στην παράκτια ζώνη του κόλπου του Μαρμαρά.

Οι θραύσεις των αγωγών μεταφοράς οφείλονται : (i) στη διέλευση του σεισμικού ρήγματος το οποίο παρουσίασε μία μετατόπιση των εκατέρωθεν τεμαχίων της τάξεως των 3-5 μέτρων (LEKKAS E., 2001a) με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να απορροφηθεί η παραμόρφωση από τους αγωγούς, (ii) σε εδαφικές διαρρήξεις και παραμορφώσεις που έλαβαν χώρα σε χαλαρούς παράκτιους σχηματισμούς και (iii) σε ρευστοποιήσεις εδάφων που εκδηλώθηκαν σε εκτεταμένες περιοχές με αποτέλεσμα την απώλεια στήριξης των έργων στη θεμελίωση.

Εκτός από τις θραύσεις των αγωγών μεταφοράς παρατηρήθηκαν σημαντικές καταστροφές σε δεξαμενές στα διυλιστήρια Turpas που ευρίσκονται δυτικά της πόλης Izmit και της χημικής βιομηχανίας Petkin. Η καταστροφή των δεξαμενών οφείλεται : (i) στη σφοδρότητα της σεισμικής κίνησης και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της που εμπειρείχε μεγάλες εδαφικές μετακινήσεις και μεγάλες περιόδους οι οποίες είναι ιδιαίτερα καταστροφικές σε ανάλογου όγκου και σχήματος κατασκευές και (ii) σε κατασκευαστικούς λόγους και κυρίως στις αστοχίες της βάσης στήριξης - θεμελίωσης των δεξαμενών.

Από τη θραύση των αγωγών και την καταστροφή των δεξαμενών διοχετεύθηκαν κλάσματα υδρογονανθράκων χιλιάδων τόνων, πολλά από τα οποία ήταν τοξικά, σύμφωνα με εκτιμήσεις των τοπικών αρχών είτε στην επιφάνεια και στη συνέχεια στο υπέδαφος είτε στο παράκτιο περιβάλλον της θάλασσας του Μαρμαρά. Οι τοπικές και κρατικές αρχές έδωσαν προτεραιότητα, όπως ήταν φυσικό, στις διασωστικές προσπάθειες των εγκλωβισμένων για αρκετές ημέρες μετά το γεγονός αλλά και στην επίλυση των τεράστιων προβλημάτων τροφοδοσίας, ιατρικής συνδρομής, στέγασης, κ.τ.λ. για τουλάχιστον δύο εκατομμύρια κατοίκους. Έτσι οι εργασίες απορρύπανσης καθυστέρησαν και δεν αποτέλεσαν πρώτη προτεραιότητα με αποτέλεσμα οι ρυπαντές να διαχυθούν και να μολύνουν ευρύτατες περιοχές με τεράστιες επιπτώσεις στο παράκτιο οικοσύστημα.

### **ΑΝΕΞΕΛΕΓΚΤΗ ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

Κατά τους σεισμούς Kobe (1999), Adana (1998), Izmit, Düzce (1999) και Gujarat (2001) εκδηλώθηκε σημαντικός αριθμός καταρρεύσεων κτιρίων κάθε τύπου και είδους σε μεγάλα και μικρά οικιστικά συγκροτήματα στις ευρύτερες επικεντρικές περιοχές. Σε μερικές μάλιστα απ' τις περιπτώσεις ο αριθμός των κτιρίων που κατάρρευσαν άμεσα ή κρίθηκαν κατεδαφιστέα ανήλθαν σε αρκετές χιλιάδες γεγονός το οποίο οφείλετο σε ορισμένους παράγοντες όπως τα χαρακτηριστικά της σεισμικής δόνησης, το είδος των εδαφών θεμελίωσης, τα συνοδά γεωδυναμικά φαινόμενα, τις ατέλειες στις κατασκευές κ.ά. (LEKKAS & VASSILAKIS 2000, ΛΕΚΚΑΣ και συνεργάτες 1999, ΔΑΝΑΜΟΣ και συνεργάτες 2001, LEKKAS 2001b).

Αμέσως μετά την λήξη της περιόδου της έκτακτης ανάγκης τόσο για ψυχολογικούς λόγους όσο και για λόγους ασφάλειας και άμεσης επανακατοίκησης κρίνεται σκόπιμη

η μεταφορά των συντριμμάτων των κατασκευών σε άλλες θέσεις συνήθως παρακείμενες του τόπου της καταστροφής. Δεδομένου όμως των τεράστιων προβλημάτων που ανακύπτουν όπως θέματα διάσωσης, ανάγκες σίτισης, ιατρικής και ψυχολογικής συνδρομής, επανακατοίκησης στα οποία οι αρχές δικαιολογημένα στρέφουν την προσοχή τους, η επιλογή της θέσης απόρριψης των μπαζών αποτελεί θέμα συνήθως τελευταίας προτεραιότητας (Εικ. 1).



**Εικ. 1:** Ανεξέλεγκτη απόρριψη αδρανών υλικών που προέρχονται από καταρρεύσεις οικοδομών κατά το σεισμό του Gujarat (Ινδία, 2001).

**Fig. 1:** Uncontrollable disposal of inert material from collapsed constructions after the Gujarat earthquake (India, 2001).

Έτσι είναι μοιραίο η επιλογή θέσεων απόρριψης των αδρανών υλικών συνήθως από τεμάχια σκυροδέματος, οπλισμού και τοιχοποιίας αλλά και άλλων υλικών πολλές φορές επικίνδυνων να μην είναι βέλτιστες. Έτσι, έχει παρατηρηθεί : (i) η απόρριψη των υλικών να γίνεται στην παράκτια θαλάσσια ζώνη και κυρίως κατά μήκος της ακτογραμμής με πλέον αντιπροσωπευτικά παραδείγματα των σεισμών Kobe, Izmit και Gujarat και (ii) απόρριψη μπαζών κατά μήκος ποταμών, ρευμάτων με πλέον αντιπροσωπευτικά παραδείγματα των σεισμών των Αθηνών (ρέμα Χελιδονούς), Düzce, Adana και Gujarat.

Στις ανωτέρω περιπτώσεις η προκύπτουσα εικόνα μετά την απόθεση εκατομμυρίων κυβικών μέτρων αδρανών υλικών ήταν δυσμενής για το χώρο και αλλοίωσε δραστικά κάθε στοιχείο που συνιστούσε την περιβαλλοντική εικόνα. Πρόσθετα υλικά που πιθανώς να υπήρχαν στις κατοικίες που κατέρρευσαν ήταν πιθανό να διέρρευσαν στον περιβάλλοντα χώρο επιβαρύνοντας έτσι την όλη κατάσταση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω των τεράστιων ποσών που απαιτούνται για την εκ νέου αποκομιδή είναι πολύ δύσκολη η αποκατάσταση της περιοχής.

#### **ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ**

Ρύπανση της ατμόσφαιρας έχει παρατηρηθεί σε σεισμικές καταστροφές κατά τις οποίες καταστράφηκαν ή υπέστησαν βλάβες εργοστασιακές μονάδες κυρίως χημικών βιομηχανιών. Το πλέον αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι η περίπτωση των εκρήξεων και στη συνέχεια της ανάφλεξης των προϊόντων και κλασμάτων υδρογονανθράκων στα διυλιστήρια της Turpas κατά το σεισμό του Izmit (ΛΕΚΚΑΣ και συνεργάτες, 1999).

Ειδικότερα κατά το συγκεκριμένο σεισμό σε δεξαμενές και υψηλούς πύργους των διυλιστηρίων ανεφλέγησαν καύσιμα πιθανότατα μετά από σπινθήρες λόγω τριβών κατά τη δόνηση. Η πυρκαγιά παρά τις προσπάθειες επίγειων και εναέριων μέσων διέρκησαν πέντε ημέρες με αποτέλεσμα τεράστιοι πίδακες καπνού να εμφανιστούν και να μολύνουν την ατμόσφαιρα της ευρύτερης περιοχής (Εικ. 2).



**Εικ. 2:** Αποψη της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από την εκδήλωση των πυρκαγιών στα διυλιστήρια Tupras κατά το σεισμό του Izmit (Τουρκία, 1999) σε φωτογραφία πάνω και δορυφορική εικόνα κάτω (LANDSAT, 18 Αυγούστου 1999).

**Fig. 2:** Atmospheric pollution due to the manifestation of fires at the Tupras refinery after the Izmit earthquake (Turkey, 1999) depicted at the photograph (top) and the satellite image (bottom) (LANDSAT, 18 August 1999).

Μια παρόμοια εικόνα παρατηρήθηκε και στο σεισμό του Kobe από πυρκαγιές οι οποίες εκδηλώθηκαν στο τμήμα της πόλης που υπήρχαν κατασκευές από ξύλο. Στις συγκεκριμένες συνοικίες οι πυρκαγιές προήρχοντο από τις εστίες των οικιών στις οποίες καύσιμη ύλη ήταν το φυσικό αέριο καθώς επίσης και η ανάφλεξη του φυσικού αερίου σε ορισμένα σημεία του δικτύου διανομής στα οποία υφίσταντο πεπαλαιωμένος εξοπλισμός. Και στην περίπτωση αυτή προκλήθηκε εκτεταμένη ρύπανση της ατμόσφαιρας απ' τις πυρκαγιές οι οποίες διάρκεσαν δύο περίπου εικοσιτετράωρα.

#### **ΠΡΟΧΕΙΡΟΣ ΕΝΤΑΦΙΑΣΜΟΣ ΝΕΚΡΩΝ**

Σε περιπτώσεις μεγάλων καταστροφικών σεισμών στις οποίες υπάρχει μεγάλος αριθμός θυμάτων τίθεται επιτακτικό το θέμα του άμεσου ενταφιασμού των νεκρών δεδομένου του κινδύνου να μεταδοθούν νοσήματα στον εναπομείναντα πληθυσμό. Στους σεισμούς Adana (1.000 νεκροί), Izmit (17.000 νεκροί) και Düzce (12.000 νεκροί) παρά το γεγονός ότι αρχικά κατορθώθηκε να γίνει δυνατή κανονική ταφή σε συγκεκριμένους χώρους κοιμητηρίων εν τούτοις στη συνέχεια διαπιστώθηκε ότι αυτό ήταν αδύνατο λόγω άλλων προβλημάτων που ανακύπτουν ή λόγω του μεγάλου αριθμού

των θυμάτων με αποτέλεσμα να διανοίγονται ομαδικοί τάφοι σε περιοχές οι οποίες δεν πληρούσαν τις στοιχειώδεις προδιαγραφές (Εικ. 3). Έτσι είναι δυνατό να προκληθεί μόλυνση και ρύπανση των υπογείων υδροφόρων οριζόντων αλλά και των εδαφών γενικότερα.



**Εικ. 3:** Πρόχειρος ενταφιασμός νεκρών κατά το σεισμό στα Adana (Τουρκία, 1998).

**Fig. 3:** Rough burial of the deceased after the Adana earthquake (Turkey, 1998).

#### **ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ**

Σε ορισμένες περιπτώσεις σεισμών κατέρρευσαν μεγάλα φράγματα, η καταστροφή των οποίων είχε ως αποτέλεσμα όχι μόνο την αύξηση των επιπτώσεων αλλά και την αλλοίωση ορισμένων στοιχείων του περιβάλλοντος. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελεί ο σεισμός Chi-Chi την Taiwan κατά τον οποίο κατεστράφη το φράγμα Shih Kang, το οποίο ευρίσκεται 25 km από το επίκεντρο (LEKKAS, 2000). Η καταστροφή του φράγματος που ήταν κατασκευασμένο με οπλισμένο σκυρόδεμα οφείλετο στο γεγονός ότι το σεισμικό ρήγμα διήλθε από τη βάση του.

Τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα που ανέκυψαν ήταν η αλλοιωμένη πλέον εικόνα της περιοχής κατάκλισης του φράγματος και η δραστική αλλοίωση της κοίτης του ποταμού κατόντη από την έντονη διάβρωση και απόθεση τεράστιων μαζών λάσπης στα κατόντη.

#### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

Οι μεγάλες σεισμικές καταστροφές που εκδηλώθηκαν τα τελευταία χρόνια σε διάφορα σημεία του πλανήτη πέραν του γεγονότος ότι έχουν τεράστιες επιπτώσεις προκάλεσαν και μεγάλα ή μικρότερα περιβαλλοντικά προβλήματα.

Είναι ενδεχόμενο πέρα από τις όσες περιπτώσεις περιβαλλοντικών προβλημάτων που έχουν παρατηρηθεί να προκύψουν και άλλα τα οποία έως τώρα μας είναι άγνωστα.

Ανεξάρτητα πάντως από αυτά, τα περιβαλλοντικά προβλήματα αποτελούν μία παράμετρο η οποία θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στο συνολικό υπολογισμό των επιπτώσεων που προκάλεσαν μεγάλα σεισμικά γεγονότα.

#### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

[1] ALEXANDER, D. (1993). – Natural Disasters. London, UCL Press.

[2] ΔΑΝΑΜΟΣ, Γ., ΛΕΚΚΑΣ, Ε. & ΛΟΖΙΟΣ, Σ. (2001). – Ο Σεισμός στο Gujarat, Δυτική Ινδία (26 Ιαν. 2001). Ένα γεωδυναμικό επεισόδιο σε ενδοηπειρωτικό περιβάλλον συμπίεσης; 9ο Διεθνές Συνέδριο Ελλην. Γεωλ. Εταιρίας, Αθήνα 2001, Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρίας, Τομ. XXXIV/4, 1405-1415.

[3] ΛΕΚΚΑΣ, Ε., ΔΑΝΔΟΥΛΑΚΗ, Μ., ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ, Κ., ΛΑΛΕΧΟΣ, Σ. & ΚΥΡΙΑΖΗΣ, Α. (1999). – Ο σεισμός στο Izmit της Τουρκίας, 1999. Σεισμοτεκτονικό πλαίσιο – Χαρακτηριστικά σεισμού & εδαφικής κίνησης – Συνοδά γεωδυναμικά φαινόμενα –

Γεωγραφική κατανομή & τυπολογία καταστροφών. 13ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος Τ.Ε.Ε., Τεύχος Ειδικής Συνεδρίας, Ρέθυμνο.

**[4]**LEKKAS, E. (2000). Analysis of damage parameters of the Chi-chi Taiwan earthquake. Risk Analysis II, ed. Brebbia C.A., Witt Press, 419-432.

**[5]**LEKKAS, E. & VASSILAKIS, M. (2000). - The Adana earthquake (Turkey) - Seismotectonic framework - Geodynamic phenomena - Impact on the structured environment. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, No 480.

**[6]**LEKKAS, E. (2001a). - The 1999 earthquake activity in Izmit, NW Turkey. An opportunity for the study of actualistic strike-slip related tectonic forms. 9th Congress of the Geol. Soc. of Greece, Athens 2001, Bull. Geol. Soc. of Greece, Vol. XXXIV/4, 1523-1529.

**[7]**LEKKAS, E. (2001b). - Parameters of intensity distribution in the Izmit and Düzce (Turkey) earthquakes. 9th Congress of the Geol. Soc. of Greece Athens 2001, Bull. Geol. Soc. of Greece, Vol. XXXIV/4, 1515-1521.

**[8]**SMITH, K. (1992). - Environmental Hazards: Assessing risk and reducing disaster. London, Routledge Press.