



Ερευνητικό Πρόγραμμα «ΘΑΛΗΣ - ΕΜΠ»

**Σύγχρονη Μεθοδολογία Εκτίμησης της Σεισμικής Τρωτότητας
και Αντισεισμικής Αναβάθμισης Λιμενικών Συστημάτων**

MIS : 380174.

Δράση 8:

Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της
σεισμικής τρωτότητας λιμενικών εγκαταστάσεων

Σύνταξη:

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Επιστημονικώς Υπεύθυνος:

Καθ. Κ. Πιτιλάκης

Σεπτέμβριος, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Ερευνητικό Πρόγραμμα «ΘΑΛΗΣ - ΕΜΠ»

Σύγχρονη Μεθοδολογία Εκτίμησης της Σεισμικής Τρωτότητας και Αντισεισμικής Αναβάθμισης Λιμενικών Συστημάτων

MIS : 380174.

Δράση 8:

Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της
σεισμικής τρωτότητας λιμενικών εγκαταστάσεων

Παραδοτέο 8.1:

Μέθοδος Αξιολόγησης σεισμικής τρωτότητας λιμενικών έργων στην
Ελλάδα

Τεχνική Εκθεση

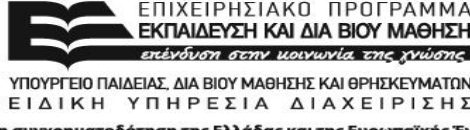
Σύνταξη:

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Σεπτέμβριος, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

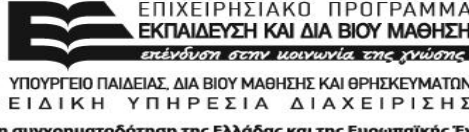
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Εισαγωγή | 2 |
| 2 | Αποτίμηση της σεισμικής τρωτότητας και λειτουργικότητας λιμενικών υποδομών | 6 |
| 3 | Αποτίμηση της σεισμικής τρωτότητας και διακινδύνευσης λιμενικών εγκαταστάσεων σε επίπεδο συστήματος | 19 |
| 4 | Συμπεράσματα | 26 |
| | Βιβλιογραφία | 27 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

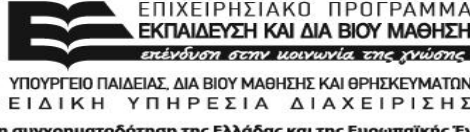
1 Εισαγωγή

Η σεισμική διακινδύνευση των λιμενικών εγκαταστάσεων συνδέεται με τη σεισμική επικινδυνότητα, τη δομική τρωτότητα και σπουδαιότητα των επιμέρους συνιστωσών τους, καθώς και τη χρονική και χωρική έκθεση αυτών. Οι επιπτώσεις από την έκθεση σε σεισμικό κίνδυνο σχετίζονται με τις ανθρώπινες απώλειες, τις δομικές βλάβες και το κόστος αποκατάστασης, αλλά και τα ποικίλα κόστη (οικονομικά και κοινωνικά) που σχετίζονται με τη μείωση ή διακοπή της λειτουργικότητας των λιμένων αμέσως μετά την εκδήλωση ενός σεισμικού γεγονότος. Η εμπειρία από μεγάλους σεισμούς (π.χ. Loma Prieta, 1989 στις Η.Π.Α., Hyogoken-Nanbu, 1995, και Tokachi-Oki, 2003 στην Ιαπωνία, Kocaeli, 1999 στην Τουρκία) έχει επιδείξει την υψηλή τρωτότητα των λιμενικών εγκαταστάσεων, καθώς και τις σοβαρές φυσικές και οικονομικές απώλειες που μπορούν να προκληθούν λόγω της εδαφικής ταλάντωσης και εδαφικής αστοχίας (ρευστοποίηση εδάφους). Επιπλέον, τα λιμάνια είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένα σε σειсмоγενή θαλάσσια κύματα (tsunami), με αποτέλεσμα την σοβαρή επιδείνωση των πάσης φύσεως απωλειών σε περίπτωση εκδήλωσης τέτοιων φαινομένων (π.χ. σεισμός και tsunami Tohoku, 2011 και Hokkaido, 1993 στην Ιαπωνία). Στο Παραδοτέο ΠΕ2 έγινε επισκόπηση των σεισμικών βλαβών και ταξινόμηση των μορφών αστοχίας σε λιμενικές εγκαταστάσεις και υποδομές με παραδείγματα από τον ελληνικό και διεθνή χώρο.

Η σεισμική απόκριση, και επομένως η τρωτότητα, των λιμενικών εγκαταστάσεων, όπως για παράδειγμα των κρηπιδότοιχων, επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις εδαφικές μετακινήσεις και την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής, καθιστώντας σχετικά πολύπλοκη την αποτίμησή της. Συγκεκριμένα, η σεισμική απόκριση των κατασκευών υποδεικνύει ότι οι παραμορφώσεις του εδάφους και οι αντίστοιχες παραμορφώσεις και εντάσεις των δομικών στοιχείων, αποτελούν τις βασικές παραμέτρους σχεδιασμού, ενώ, αντίθετα με τις συμβατικές μεθόδους οριακής ισορροπίας, ορισμένα επίπεδα παραμενουσών παραμορφώσεων μπορεί να γίνονται αποδεκτά στο σχεδιασμό τους.

Οι μελέτες απόκρισης και αποτίμησης της σεισμικής τρωτότητας των λιμενικών εγκαταστάσεων στηρίζονται σε εμπειρικές και πιο πρόσφατα σε αναλυτικές μεθόδους. Τα εμπειρικά στοιχεία προέρχονται κυρίως από σεισμούς εκτός ευρωπαϊκού χώρου και κατά κύριο λόγο από την Ιαπωνία. Επιπλέον, η συσχέτιση μεταξύ βλάβης και λειτουργικότητας είναι απαραίτητη για την εκτίμηση των έμμεσων απωλειών όπως για παράδειγμα η μείωση της ικανότητας φορτοεκφόρτωσης εμπορευμάτων.

Οι σχέσεις τρωτότητας αποτελούν βασικό στοιχείο για την αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης τόσο των μεμονωμένων στοιχείων (π.χ. κρηπιδότοιχοι, γερανογέφυρες, κτίρια κτλ) όσο και του συστήματος του λιμένος συνολικά. Εκφράζουν συνεχής συναρτήσεις μεταξύ της πιθανότητας το υπό εξέταση στοιχείο να βρίσκεται ή να έχει υπερβεί μια προκαθορισμένη στάθμη βλάβης για δεδομένη σεισμική ένταση. Σημαντική είναι η τυπολογική κατηγοριοποίηση της κάθε συνιστώσας (βλ. ΠΕ2), καθώς γίνεται η παραδοχή ότι οι κατασκευές με παρόμοια τεχνικά χαρακτηριστικά αναμένεται να παρουσιάζουν παρόμοια απόκριση σε



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ίδια σεισμική δράση. Επομένως οι καμπύλες τρωτότητας διαφοροποιούνται για την κάθε τυπολογική κατηγορία. Μαθηματικά εκφράζονται από την παρακάτω σχέση (Kennedy and Ravindra, 1984; Ellingwood, 2001; Wen et al., 2003a,b).

$$F_R(x) = P[DS \geq dsi | IM = x] \quad (1)$$

όπου IM το μέτρο της σεισμικής έντασης (intensity measure), DS η στάθμη βλάβης του υπό εξέταση στοιχείου, dsi οι προκαθορισμένες στάθμες βλάβης (π.χ. μικρές, μέτριες, εκτενείς, πλήρεις) και F_R η καμπύλη τρωτότητας. Η σεισμική ένταση εκφράζεται με διάφορες παραμέτρους, όπως η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration – PGA), η μέγιστη εδαφική ταχύτητα (Peak Ground Velocity – PGV), η μέγιστη εδαφική μετακίνηση (Peak Ground Displacement – PGD), η μέγιστη φασματική επιτάχυνση (Peak Spectral Acceleration – PSA), η μέγιστη φασματική ταχύτητα (Peak Spectral Velocity – PSV), η μέγιστη φασματική μετακίνηση (Peak Spectral Displacement – PSD), ή η μόνιμη εδαφική μετακίνηση (Permanent Ground Displacement – PGD) στην περίπτωση εδαφικής αστοχίας. Οι καμπύλες τρωτότητας συνήθως εκφράζονται με συναρτήσεις σωρευτικής κατανομής, όπως κανονική, λογαριθμοκανονική, διωνυμική ή κατανομή βήτα. Η περίπτωση της λογαριθμοκανονικής κατανομής δύο παραμέτρων (διάμεσος τιμή και τυπική απόκλιση) που συναντάται συχνότερα, εκφράζεται με την παρακάτω σχέση:

$$P[ds \geq i | IM] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{tot,ds_i}} \ln \left(\frac{IM}{IM_{m,ds_i}} \right) \right] \quad (2)$$

όπου:

$P[ds \geq i | IM]$: η πιθανότητα υπέρβασης της στάθμης βλάβης dsi υπό σεισμική ένταση IM

IM_{m,ds_i} : η διάμεσος τιμή κατωφλίου της παραμέτρου σεισμικής έντασης (IM) (π.χ. PGA, PGV, PGD) που απαιτείται για να προκληθεί η ds_i στάθμη βλάβης

β_{tot,ds_i} : η τυπική απόκλιση του φυσικού λογαρίθμου της παραπάνω παραμέτρου για τη στάθμη βλάβης, ds_i , που περιγράφει το σύνολο των αβεβαιοτήτων, οι οποίες υπεισέρχονται στον υπολογισμό της τρωτότητας

Φ : η τυπική κανονική σωρευτική συνάρτηση

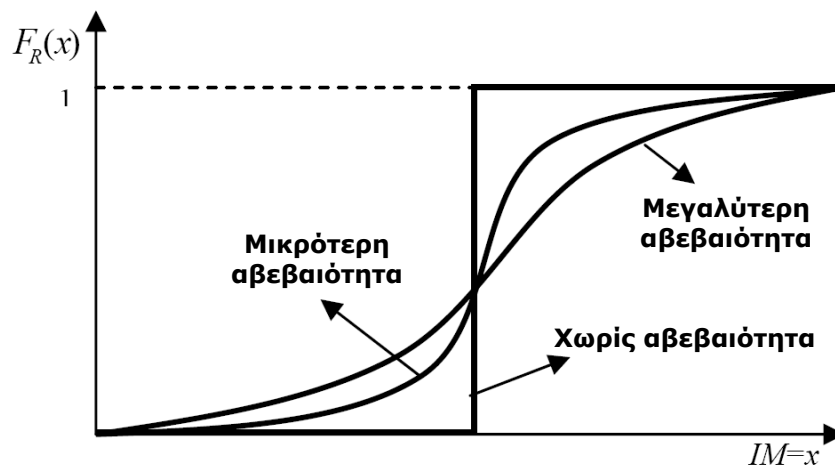
Η τυπική απόκλιση β_{tot} , αντιπροσωπεύει το σύνολο των αβεβαιοτήτων στην κάθε καμπύλη τρωτότητας και συνήθως συνδέεται με τρεις παράγοντες (NIBS, 2004; Karros et al., 2006), τον προσδιορισμό των σταθμών βλάβης (β_{ds}), την αντοχή και απόκριση της κατασκευής (β_C), τη σεισμική απαίτηση και χαρακτηριστικά της επιβαλλόμενης σεισμικής φόρτισης (β_D). Θεωρείται ότι οι τρεις αυτοί παράγοντες αβεβαιοτήτων, είναι στατιστικώς ανεξάρτητοι, οπότε η β_{tot} δίνεται από τη σχέση:

$$\beta_{tot} = \sqrt{\beta_{DS}^2 + \beta_C^2 + \beta_D^2} \quad (3)$$

Οι καμπύλες σεισμικής τρωτότητας είναι δυνατό να εξαχθούν από πειραματικά αποτελέσματα (πειραματικές καμπύλες τρωτότητας), στατιστική επεξεργασία παρατηρήσεων μετά από

σεισμούς (εμπειρικές καμπύλες τρωτότητας), τη γνώση ειδικών (καμπύλες τρωτότητας με βάση την έμπειρη κρίση), αριθμητικές προσομοιώσεις (αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας), ή συνδυασμό αυτών (υβριδικές καμπύλες τρωτότητας).

Το Σχήμα 1 απεικονίζει μια τυπική καμπύλη τρωτότητας. Η δομική αντοχή της κατασκευής για κάθε στάθμη βλάβης ελέγχει την θέση του κέντρου της καμπύλης, ενώ η αβεβαιότητα ελέγχει το σχήμα ή την διασπορά της (Wen et al., 2003a). Οι καμπύλες που βρίσκονται κοντά στην κατακόρυφο αντιστοιχούν σε χαμηλά επίπεδα αβεβαιότητας, ενώ αυτές με μεγαλύτερες αβεβαιότητες εκτείνονται σε ένα ευρύτερο φάσμα της σεισμικής έντασης (Elnashai et al., 2008; Lu et al., 2010).



Σχήμα 1 Χαρακτηριστικά της καμπύλης σεισμικής τρωτότητας (Wen et al., 2003b).

Η παραγωγή των συναρτήσεων τρωτότητας προϋποθέτει τον ορισμό οριακών καταστάσεων (limit states) τα οποία περιγράφουν τα όρια μεταξύ διαφορετικών καταστάσεων βλάβης, που αναφέρονται ως στάθμες βλάβης (damage states). Τα κριτήρια βλάβης εξαρτώνται από τον τύπο της κατασκευής και την μέθοδο που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των σχέσεων τρωτότητας. Συνήθως διακρίνονται σε μηδενικές, μικρές, μέτριες, εκτενείς και καθολικές βλάβες. Μια τέτοια διάκριση προσφέρεται και για την ορθολογική διαχείριση του σεισμικού κινδύνου, καθώς γίνεται συσχέτιση με τη διάρκεια και το κόστος αποκατάστασης, καθώς και τη λειτουργικότητα των επιμέρους λιμενικών εγκαταστάσεων και του λιμένα συνολικά.

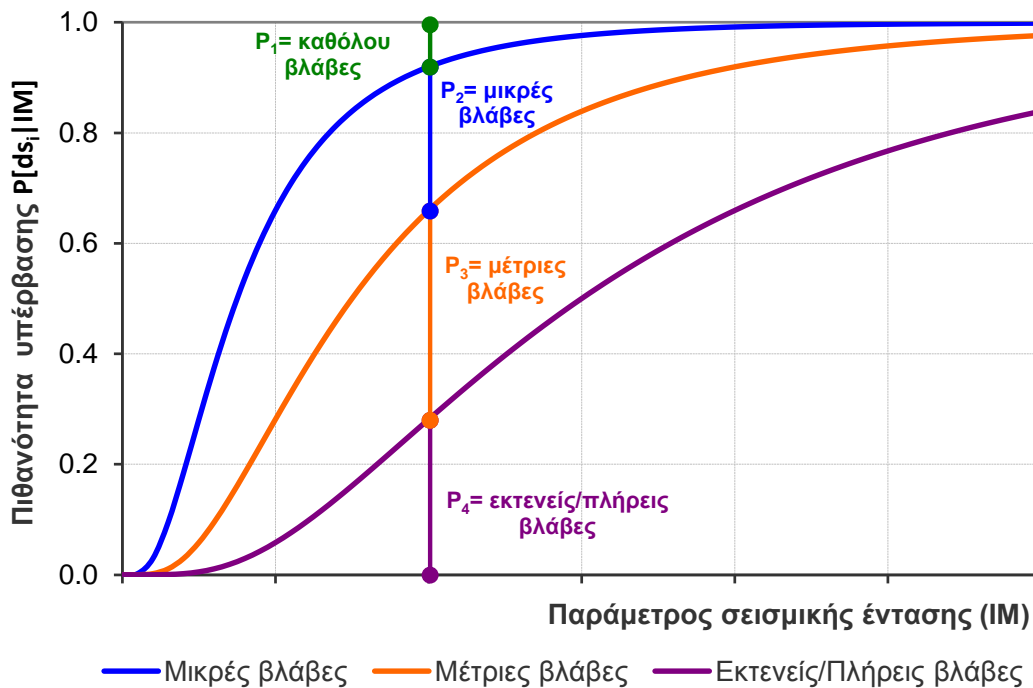
Στο Σχήμα 2 δίνεται η γραφική απεικόνιση ενδεικτικών καμπυλών τρωτότητας για την περίπτωση τεσσάρων σταθμών βλάβης ($i = 0, 1, 2, 3$). Οι πιθανότητες $P[ds=i]$ να βρίσκεται το υπό μελέτη στοιχείο σε κάθε στάθμη βλάβης (ds_i), υπολογίζονται μέσω των πιθανοτήτων υπέρβασης $P[ds \geq i]$:

- $P_0(=\text{καθόλου}) = 1.0 - P(ds \geq \text{μικρές})$
- $P_1(=\text{μικρές}) = P(ds \geq \text{μικρές}) - P(ds \geq \text{μέτριες})$

- $P_2(=\text{μέτριες}) = P(ds \geq \text{μέτριες}) - P(ds \geq \text{εκτενείς/πλήρεις})$

- $P_3(=\text{εκτενείς/πλήρεις}) = P(ds \geq \text{εκτενείς/πλήρεις})$

Το άθροισμα αυτών των πιθανοτήτων είναι ίσο με 1.00.

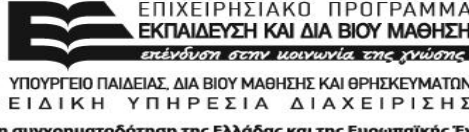


Σχήμα 2 Παράδειγμα καμπυλών τρωτότητας.

Στο Κεφάλαιο 2 συνοψίζονται οι διαθέσιμες καμπύλες σεισμικής τρωτότητας παράκτιων λιμενικών έργων (κρηπιδότοιχοι) και εξοπλισμού διαχείρισης φορτίων (γερανοί) που αποτελούν και τα βασικότερα στοιχεία των λιμένων. Επίσης, παρουσιάζονται διάφοροι δείκτες μέτρησης της λειτουργικότητας των υποδομών ενός λιμένα τόσο σε επίπεδο μεμονωμένων στοιχείων όσο και των λιμενικών εγκαταστάσεων συνολικά, και συνοψίζονται διαθέσιμες μέθοδοι εκτίμησης της απόδοσης των λιμενικών λειτουργιών. Στο Κεφάλαιο 3, παρουσιάζεται μια σύγχρονη μεθοδολογία αποτίμησης της σεισμικής τρωτότητας και διακινδύνευσης ενός λιμένα, λαμβάνοντας υπόψη αλληλεπιδράσεις μεταξύ υποδομών.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

2 Αποτίμηση της σεισμικής τρωτότητας και λειτουργικότητας λιμενικών υποδομών

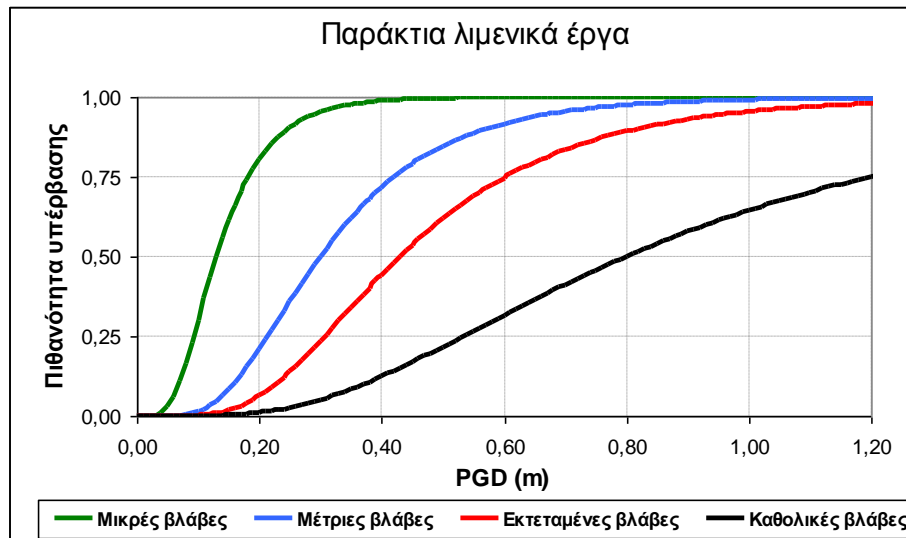
Η εμπειρία από προηγούμενους σεισμούς κατέδειξε ότι η εκδήλωση σεισμικών απωλειών στις λιμενικές εγκαταστάσεις και τις συνιστώσες αυτών (όπως για παράδειγμα κρηπιδότοιχοι, προβλήτες, γερανοί και εγκαταστάσεις αποθήκευσης) μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη λειτουργικότητα ενός λιμένα, με αρνητικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις για την ευρύτερη περιοχή. Μάλιστα, σημαντικές απώλειες είναι δυνατό να εκδηλωθούν όχι μόνο υπό την επίδραση ισχυρών σεισμικών διεγέρσεων, αλλά και υπό την επιβολή μετρίων επιπέδων σεισμικής έντασης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το λιμάνι του Oakland στον σεισμό της Loma Prieta (ΗΠΑ) το 1989 και το λιμάνι του Kobe στον σεισμό του Hyogo-ken Nanbu (Kobe, Ιαπωνία) το 1995, όπου οι βλάβες που σημειώθηκαν οδήγησαν σε εκτεταμένες οικονομικές επιπτώσεις για τα ίδια τα λιμάνια, αλλά και για την οικονομία σε τοπικό, εθνικό ακόμα και διεθνές επίπεδο (Werner et al., 1999).

Οι διαθέσιμες μελέτες αποτίμησης της σεισμικής τρωτότητας των λιμενικών εγκαταστάσεων στηρίζονται σε εμπειρικές και αναλυτικές μεθόδους. Ειδικότερα για τα παράκτια λιμενικά έργα, οι υπάρχουσες μελέτες συνδέουν συνήθως τις αναμενόμενες άμεσες απώλειες με την εκδήλωση φαινομένων ρευστοποίησης και εξ'αυτής μόνιμων εδαφικών παραμορφώσεων.

Παρακάτω ακολουθεί βιβλιογραφική επισκόπηση των διαθέσιμων μεθόδων για την αποτίμηση της σεισμικής τρωτότητας και διακινδύνευσης των παράκτιων λιμενικών έργων και του εξοπλισμού μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου. Επιπλέον δίνονται οι δείκτες λειτουργικότητας τόσο των επιμέρους στοιχείων όσο και του σύνθετου συστήματος ενός λιμένα.

A. Παράκτια λιμενικά έργα

Εμπειρικές καμπύλες τρωτότητας που περιγράφουν τις πιθανές απώλειες λόγω σεισμού για τα παράκτια λιμενικά έργα προτείνονται από το HAZUS (NIBS, 2004). Περιγράφονται από κανονικές-λογαριθμικές αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής δύο παραμέτρων (μέση τιμή και τυπική απόκλιση) που δίνουν την πιθανότητα εμφάνισης ή υπέρβασης ορισμένων επιπέδων βλάβης για δεδομένα επίπεδα μόνιμης εδαφικής μετακίνησης (PGD) (Σχήμα 3). Ο δείκτης βλάβης που χρησιμοποιείται για τον ορισμό τους είναι ο τύπος και η έκταση της δομικής βλάβης και του επιπέδου εξυπηρευτικότητας. Στην περίπτωση αυτή δεν γίνεται διάκριση μεταξύ διαφορετικών τυπολογιών, ενώ η εδαφική παραμόρφωση μπορεί να οφείλεται σε αστοχία του εδάφους λόγω ρευστοποίησης (καθίζηση ή πλευρική μετατόπιση), ή διάρρηξης ρήγματος.



Σχήμα 3 Καμπύλες τρωτότητας για παράκτια λιμενικά έργα (NIBS, 2004).

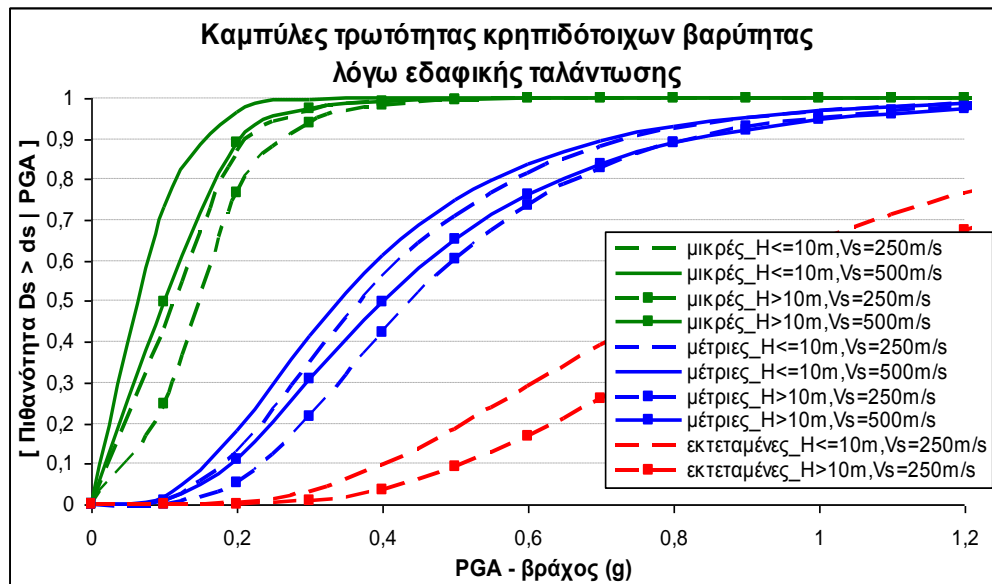
Αναλυτικές μέθοδοι έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την αποτίμηση της τρωτότητας των παράκτιων λιμενικών έργων.

Για την αποτίμηση του βαθμού των άμεσων απωλειών των τοίχων βαρύτητας, ο Ichii (2003, 2004) πρότεινε αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας με βάση τα αποτελέσματα απλοποιημένων δυναμικών αναλύσεων πεπερασμένων στοιχείων με τη βοήθεια του κώδικα FLIP (Morita et al., 1997), λαμβάνοντας επίσης υπόψη την εκδήλωση του φαινομένου της ρευστοποίησης. Προτείνονται συνολικά 20 διαφορετικές καμπύλες τρωτότητας που συνδέουν την κορυφαία τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) με την πιθανότητα υπέρβασης ορισμένων σταθμών βλάβης. Η σεισμική συμπεριφορά των κρηπιδότοιχων βαρύτητας καθορίζεται από τις εξής παραμέτρους: τον λόγο των δύο διαστάσεων του τοίχου (πλάτος προς ύψος, W/H), το ανηγμένο ως προς το ύψος του τοίχου βάθος των αμμωδών αποθέσεων (D_1/H) και την τιμή του ισοδύναμου αριθμού κτύπων N_{SPT} (N_{65}) των αμμωδών στρωμάτων κάτω και πίσω από τον τοίχο. Ορίζονται πέντε στάθμες βλάβης, ενώ ο δείκτης βλάβης που χρησιμοποιείται για τον ορισμό τους είναι η ανηγμένη προς το ύψος του τοίχου μετακίνηση/ολίσθηση του προς την θάλασσα και το κόστος αποκατάστασης.

Οι Na and Shinozuka (2009) παρουσίασαν μια μεθοδολογία για την αποτίμηση των επιπτώσεων λόγω σεισμού στην λειτουργία του συστήματος ενός λιμενικού τερματικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων, ενσωματώνοντας μοντέλα προσομοίωσης της λειτουργίας του σταθμού και καμπυλών τρωτότητας των λιμενικών εγκαταστάσεων. Παρουσίασαν, βάσει αριθμητικών ανελαστικών προσομοιώσεων μέσω του λογισμικού ARENA (Rockwell Automation, 2006) και λαμβάνοντας υπόψη την εκδήλωση φαινομένων ρευστοποίησης, δύο ομάδες καμπυλών τρωτότητας (για την αρχική κατασκευή και την κατασκευή μετά από επιδιόρθωση/ενίσχυσή της) ως συνάρτηση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) σε

δύσκαμπτους εδαφικούς ή βραχώδεις σχηματισμούς. Επιπλέον, πρότειναν καμπύλες τρωτότητας για ένα σταθμό εμπορευματοκιβωτίων με βάση την τρωτότητα των ανεξάρτητων στοιχείων των αποβάθρων.

Οι Kakderi and Pitilakis (2010) και Κακδέρη (2011) πρότειναν αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας για κρηπιδότοιχους/τοιχούς αντιστήριξης για την περίπτωση μόνο της εδαφικής ταλάντωσης χωρίς φαινόμενα ρευστοποίησης (Σχήμα 4). Η σεισμική απόκριση του συστήματος κρηπιδότοιχου-εδάφους διερευνήθηκε μέσω δυναμικών μη γραμμικών αναλύσεων σε αριθμητικό προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων με τον κώδικα PLAXIS (Plaxis, 2007). Μελετήθηκαν τυπικές διατομές κρηπιδωμάτων, με διαφορετική γεωμετρία, εδαφικές συνθήκες θεμελίωσης και σεισμικές διεγέρσεις, με χρήση προσομοιωμάτων πεπερασμένων στοιχείων. Λαμβάνοντας υπόψη τις αβεβαιότητες των παραμέτρων που υπεισέρχονται στην ανάλυση, παράγονται καμπύλες τρωτότητας, σύμφωνα με τα ιδιαίτερα τυπολογικά χαρακτηριστικά του τοίχου (ύψος τοίχου $H \geq 10\text{m}$ και $H < 10\text{m}$), τον τύπο του εδάφους θεμελίωσης (εδάφη Β και C κατά τον EC8) και τα χαρακτηριστικά της σεισμικής διέγερσης. Οι στάθμες βλάβης ορίζονται βάσει των παραμενουσών μετακινήσεων των τοίχων και της σεισμικής απόκρισης εδάφους-κατασκευής, ενώ οι καμπύλες τρωτότητας δίνονται σε συνάρτηση με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) σε συνθήκες 'οιονεί' βραχώδους υποβάθρου.



Σχήμα 4 Αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας για κρηπιδότοιχους βαρύτητας λόγω εδαφικής ταλάντωσης (Κακδέρη, 2011).

Στη μελέτη των Ko et al. (2010) παρουσιάζεται η ανάλυση της σεισμικής τρωτότητας των διαφραγματικών κρηπιδότοιχων του λιμένα Hualien στην Ταϊβάν, με χρήση δισδιάστατων μη-γραμμικών δυναμικών αναλύσεων πεπερασμένων στοιχείων μέσω του κώδικα PLAXIS (Plaxis,



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

2007). Προτείνονται καμπύλες τρωτότητας με τη μορφή λογαριθμοκανονικών αθροιστικών συναρτήσεων κατανομής δύο παραμέτρων, ενώ ως δείκτης βλάβης χρησιμοποιήθηκε η μέγιστη παραμένουσα μετακίνηση στην κορυφή του διαφράγματος υπό την επίδραση διαφορετικών επιπέδων μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) σε συνθήκες ελευθέρου πεδίου.

Ο Shafieezadeh (2011) παρουσίασε μια αναλυτική μελέτη της σεισμικής απόκρισης κρηπιδωμάτων θεμελιωμένων σε πασσάλους σε δυνητικά ρευστοποιήσιμα εδάφη, πραγματοποιώντας μη-γραμμικές δυναμικές αναλύσεις. Στη συνέχεια, ανέπτυξε αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας, λαμβάνοντας υπόψη τις αλληλεπιδράσεις του συστήματος γερανού – κρηπιδοτοίχου. Η προσομοίωση βασίστηκε σε δισδιάστατα καθώς και τρισδιάστατα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων στο λογισμικό OpenSEES (Mazzoni et al., 2009). Ως καλύτερη παράμετρος σεισμικής έντασης για αυτές τις κατασκευές χρησιμοποιήθηκε η κορυφαία εδαφική ταχύτητα (PGV) όπως προέκυψε μετά από μια αυστηρή πιθανολογική ανάλυση.

Οι Chiou et al. (2011) πρότειναν μια διαδικασία για την ανάπτυξη αναλυτικών καμπυλών τρωτότητας για τυπικές αποβάθρες θεμελιωμένες σε πασσάλους με χρήση της μεθόδου φασματικής ικανότητας (capacity spectrum method - CSM). Το τρισδιάστατο αριθμητικό προσομοίωμα έγινε μέσω του λογισμικού SAP2000 (Csi, 2004). Ως δείκτης βλάβης χρησιμοποιήθηκε η μετακίνηση του καταστρώματος της αποβάθρας. Κατασκευάστηκαν καμπύλες τρωτότητας λογαριθμοκανονικής κατανομής σε συνάρτηση με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA).

Οι Calabrese and Lai (2013) πρότειναν μια μεθοδολογία για πιθανολογική εκτίμηση καμπυλών τρωτότητας για κρηπιδότοιχους με χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων, λαμβάνοντας ή όχι υπόψη και την εκδήλωση ρευστοποίησης. Τα προσομοιώματα του τοίχου που εξετάστηκαν διαφοροποιούνταν ως προς τη γεωμετρία (διαφορετικό πλάτος τοίχου), ενώ για τη στρωματογραφία του εδάφους χρησιμοποιήθηκε ο χαρακτηρισμός των εδαφών της περιοχής του λιμανιού που εξετάζεται. Τα αριθμητικά προσομοιώματα, τα οποία πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του κώδικα FLAC (Itasca, 2007), βαθμονομήθηκαν με διάφορους τρόπους ώστε να είναι αξιόπιστα.

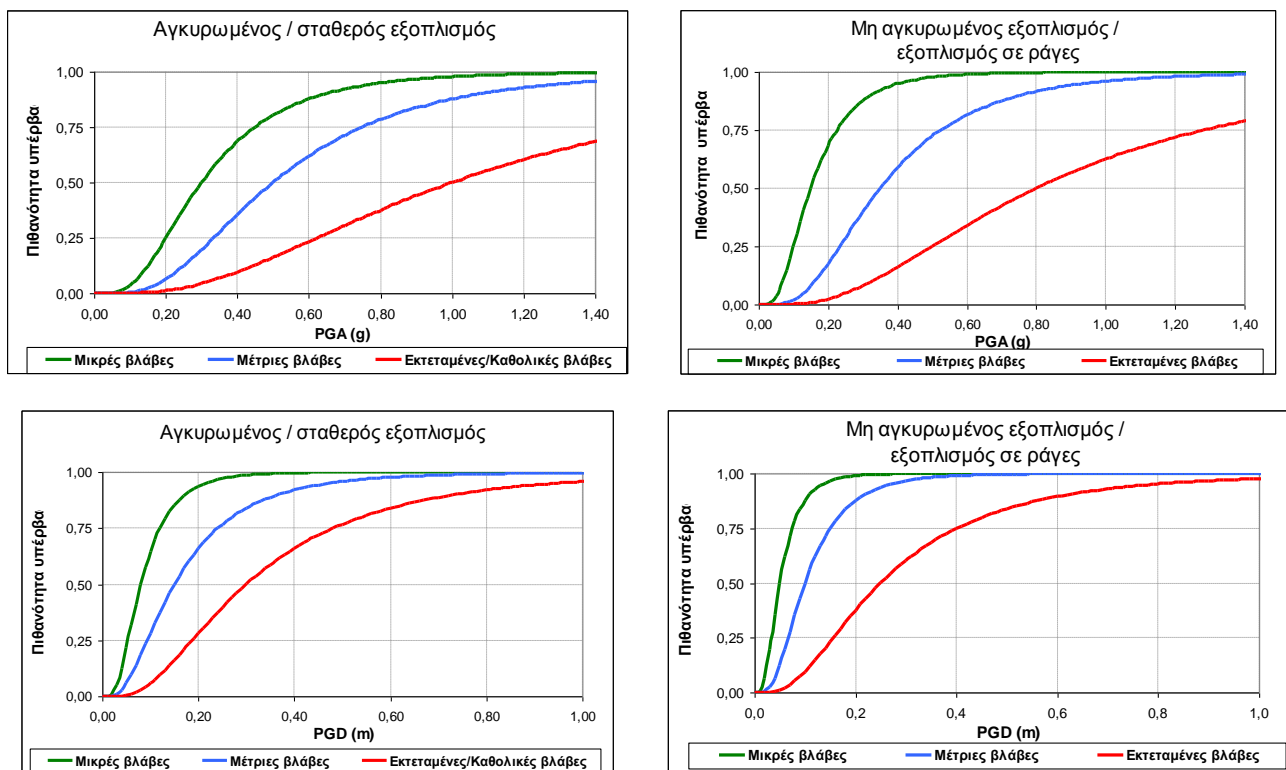
Καμπύλες τρωτότητας για κρηπιδότοιχους βαρύτητας αναπτύχθηκαν από τους Miraei and Jafarian (2013). Πραγματοποιήθηκαν δυναμικές δισδιάστατες μη-γραμμικές αναλύσεις με τη βοήθεια του λογισμικού FLAC (Itasca, 2007) για την αποτίμηση της απόκρισης των κατασκευών σε όρους οριζόντιας μετακίνησης στην κορυφή του τοίχου. Στις προτεινόμενες καμπύλες τρωτότητας λήφθηκαν υπόψη διάφορα κριτήρια απόκρισης όπως η εξυπηρετικότητα, η δυνατότητα επισκευής ή οι βλάβες που οδηγούν σε κατάρρευση.

Οι Torkamani et al. (2014) πρότειναν καμπύλες τρωτότητας για αποβάθρες θεμελιωμένες σε κεκλιμένους πασσάλους. Το αριθμητικό προσομοίωμα έγινε μέσω του λογισμικού FLAC (Itasca, 2007). Χρησιμοποιήθηκαν τρεις δυναμικές παράμετροι απαίτησης: ο παράγοντας πλαστικότητας μετακίνησης, η διαφορική καθίζηση μεταξύ του καταστρώματος και του

εδάφους πίσω από αυτό και η κανονικοποιημένη παραμένουσα οριζόντια μετακίνηση. Οι αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας κατασκευάστηκαν με εφαρμογή της επαυξητικής δυναμικής ανάλυσης (Incremental Dynamic Analysis - IDA). Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας με χρήση της μεθόδου first-order second-moment (FOSM) για την αποτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων αβεβαιότητας στην σεισμική απόκριση των αποβάρων.

Β. Εξοπλισμός διαχείρισης φορτίου

Η μεθοδολογία του HAZUS (NIBS, 2004) περιλαμβάνει καμπύλες τρωτότητας για τον εξοπλισμό διαχείρισης και αποθήκευσης φορτίου οι οποίες βασίζονται στην έμπειρη κρίση ειδικών. Περιγράφονται από κανονικές-λογαριθμικές αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής που δίνουν την πιθανότητα εμφάνισης ή υπέρβασης ορισμένων σταθμών βλάβης για δεδομένα επίπεδα μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) και μόνιμης εδαφικής μετακίνησης (PGD) (Σχήμα 5). Ορίζονται τέσσερις στάθμες βλάβης (καθόλου, μικρές, μέτριες και εκτεταμένες/καθολικές βλάβες), ενώ γίνεται διάκριση μεταξύ σταθερών (αγκυρωμένων) στοιχείων εξοπλισμού και εξοπλισμού σε ράγες (μη-αγκυρωμένο).

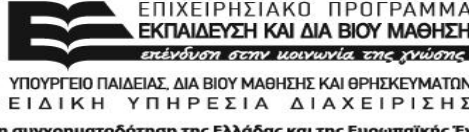


Σχήμα 5 Καμπύλες τρωτότητας για τον εξοπλισμό μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου (NIBS, 2004).

Ο Kosbab (2010) παρουσίασε μια αναλυτική μέθοδο για την ανάλυση της σεισμικής τρωτότητας των γερανών εμπορευματοκιβωτίων, πραγματοποιώντας μη-γραμμικές δυναμικές



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

αναλύσεις για τρεις αντιπροσωπευτικούς τύπους γερανών. Τρισδιάστατα καθώς και δισδιάστατα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση στο λογισμικό OpenSEES (Mazzoni et al., 2009). Οι παραδοχές του αριθμητικού προσομοιώματος που υιοθετήθηκαν βαθμονομήθηκαν με πειραματικά αποτελέσματα (Kosbab, 2010) που προέκυψαν από την εξέταση αντίστοιχου τύπου γερανού υπό-κλίμακα. Καθορίστηκαν τέσσερις οριακές καταστάσεις βάσει της μέγιστης μετακίνησης του πλαισίου σε ανελαστική στατική ανάλυση (pushover) δισδιάστατου προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων και της έμπειρης κρίσης. Η πρώτη οριακή κατάσταση ορίστηκε ως ο εκτροχιασμός (μετακίνηση της βάσης των ποδιών του γερανού σε σχέση με τις σιδηροτροχιές κίνησης), ενώ τα υπόλοιπα τρία επίπεδα ορίστηκαν ως η δυνατότητα άμεσης χρήσης, η εκδήλωση δομικής βλάβης και η πλήρης κατάρρευση. Ως παράμετρος της σεισμικής έντασης χρησιμοποιήθηκε η φασματική επιτάχυνση S_a στη θεμελιώδη ιδιοσυχνότητα για το εκτιμώμενο επίπεδο απόσβεσης της κατασκευής.

Γ. Λειτουργικότητα λιμενικών υποδομών

Δείκτες λειτουργικότητας μεμονωμένων στοιχείων

Ο καθορισμός της λειτουργικότητάς των επιμέρους στοιχείων που συνθέτουν έναν λιμένα μετά την εκδήλωση ενός σεισμικού γεγονότος είναι καθοριστικής σημασίας για τον προσδιορισμό του επιπέδου εξυπηρετικότητας του λιμένος. Οι πιθανές βλάβες των στοιχείων οδηγούν σε μείωση της λειτουργικότητας, που μπορεί να καθοριστεί με βάση τις εξής παραμέτρους:

Παράκτια λιμενικά έργα - Κρηπιδότοιχοι:

- Λόγος του μήκους που βρίσκεται σε λειτουργία προς συνολικό μήκος.
- Διαθέσιμο μήκος πρόσδεσης ανά κατηγορία πλοίου.
- Παραμένουσα μετακίνηση και κλίση.
- Διαφορική καθίζηση στην ποδιά και μεταξύ της ποδιάς και της περιβάλλουσας επιφάνειας.

Εξοπλισμός διαχείρισης φορτίου – Γερανοί:

- Διαφορική μετακίνηση των παράλληλων σιδηροτροχιών (εκτροχιασμός, απώλεια της ευθυγράμμισης ή ανατροπή).
- Κορυφαίες τιμές της απόκρισης των δομικών μελών και του εξοπλισμού.

Δείκτες λειτουργικότητας λιμενικών εγκαταστάσεων



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Οι λιμένες παρέχουν υπηρεσίες προς τους πελάτες τους, πλοιοκτήτες/διαχειριστές/ναυλομεσίτες, εξαγωγείς-εισαγωγείς εμπορευμάτων/ναυλομεσίτες/μεταφορείς/καταναλωτές και άλλους και τους επιβάτες. Οι σύγχρονοι λιμένες λειτουργούν ως επιχειρήσεις (λιμενική βιομηχανία), που επιδιώκουν την αποτελεσματική λειτουργία τους με στόχο την ικανοποίηση των πελατών τους (Μακρής, 2008). Είναι πιθανό ένας λιμένας να παρέχει ολοκληρωμένες υπηρεσίες για την εξυπηρέτηση των πλοίων, αλλά ανεπαρκείς υπηρεσίες για την φορτοεκφόρτωση και μεταφορά φορτίων και εμπορευματοκιβωτίων. Για το λόγο αυτό, η απόδοση των λειτουργιών των λιμένων δεν μπορεί να αποτιμηθεί μέσω ενός μόνο δείκτη.

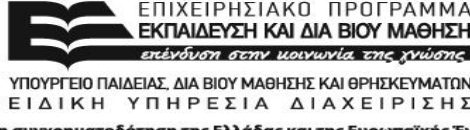
Η αποτίμηση της λειτουργικότητας των λιμενικών εγκαταστάσεων στηρίζεται στην μέτρηση της απόδοσης των λιμενικών λειτουργιών και της παραγωγικότητας. Σε γενικές γραμμές, η απόδοση της λιμενικής παραγωγικής διαδικασίας (port performance) αξιολογείται με τη χρήση τεσσάρων κατηγοριών μέτρησης (Μακρής, 2008):

- Παραγωγής (production measures).
- Παραγωγικότητας (productivity measures).
- Αξιοποίησης (utilization measures).
- Εξυπηρέτησης (service measures).

Για τα μεγάλα λιμενικά συστήματα διεθνώς, η διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων αναγνωρίζεται ως η κύρια πηγή εισοδήματος και η εμπορευματική κίνηση έχει καταγράψει μια εκθετική αύξηση κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών. Οι διεθνείς σταθμοί εμπορευματοκιβωτίων έχουν αναγνωρίσει οικονομικούς, τεχνικούς, λειτουργικούς και εμπορευματικούς δείκτες που ουσιαστικά παρέχουν μια εικόνα των λειτουργιών τους, επιτρέποντας τους διαχειριστές να παρακολουθούν τα πιο σημαντικά αποτελέσματα και να εκτιμούν την σπουδαιότητα τους. Οι μετρήσεις της παραγωγικότητας λιμένων περιλαμβάνουν εκτός από τον αριθμό χειρισμών εμπορευματοκιβωτίων ανά ώρα (που αποτελεί τον κύριο δείκτη απόδοσης ενός λιμένα) και πληθώρα άλλων σημαντικών παραμέτρων, όπως χρονικές, χωρικές, λειτουργικές καθώς και παραμέτρους επιδιωκόμενης επίδοσης. Μια σύνοψη των δεικτών απόδοσης των λιμενικών λειτουργιών (Port Performance Indicators-PPIs) της διεθνούς βιβλιογραφίας (άνω των 160 σε αριθμό) δίνεται από την Κακδέρη (2011).



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

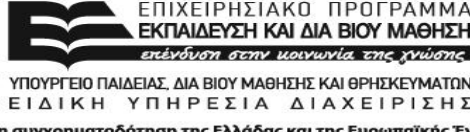


ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Η κίνηση εμπορευματοκιβωτίων (container throughput) αποτελεί αναμφισβήτητα τον πιο σημαντικό και ευρέως αποδεκτό δείκτη παραγωγικότητας ενός λιμένα ή ενός τερματικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων. Σχεδόν όλες οι προηγούμενες μελέτες λειτουργικότητας χρησιμοποιούν τον δείκτη αυτόν ως παράμετρο εξαγωγής των αποτελεσμάτων, καθώς συνδέεται στενά με τις ανάγκες εξοπλισμού και υπηρεσιών φορτίου και αποτελεί την βασική παράμετρο αναφοράς των εμπορευματικών λιμένων, ιδιαίτερα σε όρους του σχετικού μεγέθους τους, του μεγέθους επενδύσεων ή των επιπέδων δραστηριότητας. Το πλέον σημαντικό όμως είναι ότι το μέγεθος της κίνησης εμπορευματοκιβωτίων καθορίζει και το μέγεθος των εσόδων του λιμένα ή του τερματικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων. Στοιχεία και δεδομένα σχετικά με τους όγκους των φορτίων καταγράφονται από τους λιμένες και είναι γενικά διαθέσιμα. Στον



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 1 δίνεται ένα παράδειγμα για το λιμάνι της Θεσσαλονίκης. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί του δείκτη αυτού, καθώς θα πρέπει να γίνει μια διαφοροποίηση μεταξύ των διαφορετικών αγαθών ή προϊόντων στην περίπτωση που δεν εξετάζονται μόνο οι κινήσεις εμπορευματοκιβωτίων, ενώ ο όγκος παραγωγής δεν παρέχει επαρκή πληροφόρηση για τις οικονομικές επιπτώσεις ενός λιμένα, και η αύξηση των όγκων παραγωγής ερμηνεύεται κυρίως από τις διεθνείς εμπορευματικές ροές, και όχι από την απόδοση του ίδιου του λιμένα.

Ο μέσος χρόνος παραμονής του πλοίου στον λιμένα (ship turn-round time) κατά κανόνα αναφέρεται από τις λιμενικές αρχές. Οι χρόνοι αυτοί παρέχουν μια ένδειξη του πόσο γρήγορα το πλοίο εισέρχεται στο λιμάνι, εκφορτώνει, φορτώνει και αναχωρεί από το λιμάνι. Επομένως ο δείκτης αυτός εκφράζει την συνολική απόδοση μιας ευρείας κλίμακας παροχής λιμενικών υπηρεσιών, που συνήθως περιλαμβάνει και τις λιμενικές αρχές. Ωστόσο, συγκρίσεις μεταξύ των λιμένων δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν, καθώς το κάθε λιμάνι χρησιμοποιεί διαφορετικές παραμέτρους μέτρησης του χρόνου παραμονής του πλοίου στον λιμένα. Ο δείκτης αυτός χαρακτηρίζεται από τον Chung (1993) ως το κύριο μέτρο της απόδοσης ενός λιμένα, μαζί με το ολικό βάρος σε τόνους του φορτίου που χειρίζεται το λιμάνι ανά πλοίο ανά μέρα. Η παραγωγικότητα των λιμένων συνήθως μετράται σε όρους του ολικού βάρους σε τόνους του φορτίου που χειρίζεται ανά μονάδα σταθμού εργασίας ανά ώρα, ενώ για την αποτίμηση της απόδοσης του λιμένα από την πλευρά των εισαγωγέων/ εξαγωγέων, αυτό που έχει ενδιαφέρον είναι ο χρόνος διαμονής του φορτίου στο λιμάνι. Η απόδοση σε όρους αξιοποίησης των εγκαταστάσεων μετράται σε σχέση με την χωρητικότητα σε τόνους των πλοίων που εξυπηρετούνται στο λιμάνι και/ή το ολικό βάρος σε τόνους του διαχειριζόμενου φορτίου. Διάφοροι οικονομικοί δείκτες χαρακτηρίζονται επίσης ως βασικές μετρήσεις της απόδοσης.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 1 Συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία κίνησης Ιανουαρίου-Σεπτεμβρίου έτους 2014 και 2015 για το λιμάνι της Θεσσαλονίκης (Πηγή: <http://www.thpa.gr/>)

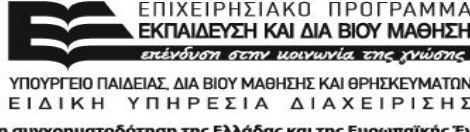
| Έτος | 2015 | 2014 | Διαφορά | |
|---|------------------|------------------|-----------------|---------------|
| | Ιαν.-Σεπτ. | Ιαν.-Σεπτ. | Σύνολο | % |
| Εμπορεύματα (τόνοι)-Περιοχή ΟΛΘ | | | | |
| Συμβατικό φορτίο (χωρίς ΕΓ/ΟΓ) | 3.224.858 | 3.452.985 | -228.127 | -6,61 |
| RO-RO εντός ΕΓ/ΟΓ | 49.070 | 32.550 | 16.520 | 50,75 |
| Εμπορευματοκιβώτια (σε τόνους)* | 1.999.977 | 1.994.742 | 5.235 | 0,26 |
| Σύνολο σε τόνους | 5.273.905 | 5.480.277 | -206.372 | -3,77 |
| Εμπορεύματα (τόνοι) - Άλλα Κρηπιδώματα | | | | |
| Προβλήτας ΑΓΕΤ | 163.809 | 180.708 | -16.899 | -9,35 |
| Αγκυροβόλια Υγρών Καυσίμων | 5.183.876 | 3.772.340 | 1.411.536 | 37,42 |
| Εμπορευματοκιβώτια | | | | |
| Εμπορευματοκιβώτια (σε τεμάχια) | 171.317 | 171.813 | -496 | -0,29 |
| Εμπορευματοκιβώτια (TEU) | 252.127 | 249.563 | 2.564 | 1,03 |
| Λιμενική Κίνηση (TEU)** | 252.107 | 249.151 | 2.956 | 1,19 |
| Πλοία | | | | |
| Κρηπιδώματα ΟΛΘ | 1.008 | 1.057 | -49 | -4,64 |
| Προβλήτας ΑΓΕΤ | 77 | 88 | -11 | -12,50 |
| Αγκυροβόλια Υγρών Καυσίμων | 375 | 381 | -6 | -1,57 |
| Σύνολο | 1.460 | 1.526 | -66 | -4,33 |
| Επιβάτες | 14.169 | 39.107 | -24.938 | -63,77 |

*Στις αναγραφόμενες ποσότητες βάρους δεν περιλαμβάνεται το απόβαρο εμπορευματοκιβωτίων.

**Τα εμπορευματοκιβώτια transhipment υπολογίζονται μόνο κατά την εκφόρτωση.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Οι Nam et al. (2002) αναγνωρίζουν ως βασικές παραμέτρους της απόδοσης των λιμενικών λειτουργιών το μέσο χρόνο παραμονής εκτός κρηπιδώματος στον λιμένα, το μέσο χρόνο ελλιμενισμού, το μέσο λόγο κατάληψης του κρηπιδώματος, τον μέσο χρόνο αναμονής και τον μέσο αριθμό των γερανών εμπορευματοκιβωτίων που διατίθενται ανά πλοίο.

Σύμφωνα με τους Peter and Raixão Casaca (2003), η λειτουργικότητα ενός λιμένα μπορεί να καθοριστεί συνολικά, και ο δείκτης που μετρά καλύτερα την λειτουργικότητα είναι ο συνολικός χρόνος που το φορτίο παραμένει στο λιμάνι.

Ακόμα ένας δείκτης, που χρησιμοποιείται σε έναν αριθμό λιμένων είναι η προστιθέμενη αξία που γεννάται στο λιμάνι. Ο δείκτης αυτός σχετίζεται με την αποτίμηση της οικονομικής σπουδαιότητας του λιμένα, αλλά δεν παρέχει καμία πληροφόρηση για την απόδοση του.

Η αυξανόμενη ενσωμάτωση των λιμένων σε εφοδιαστικές αλυσίδες (logistics chains) οδήγησε στην ανάπτυξη κατάλληλων δεικτών ειδικά εστιασμένων στην αποτίμηση της ενσωμάτωσης (Bichou and Gray, 2004).

Τέλος, σύμφωνα με το Transportation Research Board (The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, USA) (TRB Reports), η ιδανική βάση δεδομένων για την αποτίμηση της λειτουργικότητας και απόδοσης ενός λιμενικού συστήματος, θα πρέπει να περιλαμβάνει τις εξής παραμέτρους:

- Τον χρόνο (ημερομηνία) που σχετίζεται με την κίνηση του πλοίου.
- Τον τρόπο διακίνησης (φορτηγό, σιδηροτροχιά, νερό) και τις υπο-κατηγορίες αυτού.
- Την προέλευση και τον προορισμό του προϊόντος, περιλαμβάνοντας και τις διεθνείς φορτώσεις.
- Τις ανταλλαγές υπηρεσιών και εξοπλισμού, περιλαμβάνοντας και τη διαρρυθμιστικότητα.
- Τον τύπο του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την κίνηση του προϊόντος.
- Το βάρος του προϊόντος, την πυκνότητα και την αξία.
- Το μέγεθος του φορτίου.
- Τη διαδρομή που χρησιμοποιείται για τις εγχώριες φορτώσεις. Για το διεθνές εμπόριο, την κίνηση από την ενδοχώρα προς/από έναν λιμένα, αεροδρόμιο ή πύλη και την κίνηση προς/από τις ξένες αγορές.
- Τη (συμβατική) σχέση μεταξύ μεταφορέα και δέκτη.
- Τις τιμές, τα τέλη και τα κόστη μεταφοράς.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

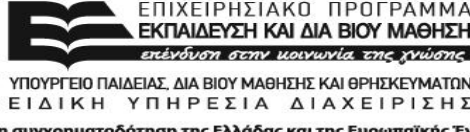
- Τη χρονική ευαισθησία ή την ευαλότητα του προϊόντος.
- Τις κινήσεις του εξοπλισμού.
- Άλλα προϊόντα που κινούνται με το ίδιο στοιχείο εξοπλισμού (πολλαπλά προϊόντα είτε από τον ίδιο είτε από διαφορετικούς μεταφορείς).
- Τους οικονομικούς πολλαπλασιαστές που σχετίζονται με το φορτίο.
- Την κυριότητα του φορτίου, περιλαμβάνοντας ονόματα και διευθύνσεις του μεταφορέα, του αποδέκτη, και του παροχέα διακίνησης.
- Τις τιμές φόρου και καυσίμων.
- Την σχέση μεταξύ της κίνησης των αγαθών στην τοπική οικονομία και των θέσεων απασχόλησης.
- Την έγκαιρη συλλογή στοιχείων και αναφορά των αποστολών εμπορεύματος.
- Την αναγνώριση του πραγματικού και ακριβούς προϊόντος που μεταφέρθηκε.

Επιπλέον, απαιτούνται οι παρακάτω δείκτες:

- Ο μέσος χρόνος παραμονής του πλοίου στον λιμένα.
- Το μέσο ολικό βάρος σε τόνους ανά πλοίο ανά ημέρα.
- Ο μέσος χρόνος παραμονής του πλοίου στο κρηπίδωμα.
- Ο μέσος χρόνος του πλοίου εκτός κρηπιδώματος στον λιμένα.
- Ο μέσος χρόνος αναμονής (νεκρός χρόνος).
- Ο μέσος ρυθμός αναμονής.
- Οι τόνοι φορτίου ανά ώρα απασχόλησης πληρώματος.
- Ο αριθμός εμπορευματοκιβωτίων σε TEUs (Μονάδα ισοδύναμη είκοσι ποδών - Twenty-foot equivalent unit) ανά γερανό (άγκιστρο).
- Ο χρόνος διαμονής.
- Η παραγωγή του κρηπιδώματος.
- Η παραγωγή ανά μέτρο κρηπιδώματος.
- Ο βαθμός κατάληψης του κρηπιδώματος (%).



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

- Ο βαθμός αξιοποίησης του κρηπιδώματος (%).
- Το εισόδημα (δαπάνη) του φορτίου ανά ολική χωρητικότητα (Gross register tonnage- GRT) ή καθαρή χωρητικότητα (Net register tonnage- NRT) πλοίου.
- Το λειτουργικό πλεόνασμα ανά τόνο χειριζόμενου φορτίου.
- Ο βαθμός απόδοσης στον κύκλο εργασιών.

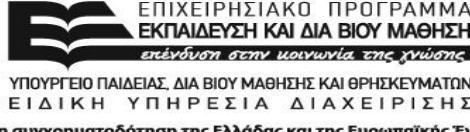
Μελέτες της απόδοσης των λιμενικών λειτουργιών

Οι κλασικές προσεγγίσεις για την λειτουργικότητα και την απόδοση των λιμένων θεωρούν το λιμάνι ως μια βιομηχανία η οποία, όπως όλοι οι βιομηχανικοί τομείς, μετρά την λειτουργικότητά της, κυρίως μέσω αναλύσεων αποδοτικότητας. Η βασική έννοια και αρχή των μετρήσεων αποδοτικότητας είναι ο λόγος των συνολικών εκροών- προϊόντων παραγωγής προς τις αρχικές εισροές. Οι μετρήσεις αυτές είναι περισσότερο εστιασμένες στους δείκτες παραγωγικότητας, παρά το γεγονός ότι η απόδοση της εφοδιαστικής (logistics performance) μπορεί να συγκριθεί και με άλλες κατηγορίες δεικτών απόδοσης, όπως το κόστος, η εξυπηρέτηση των πελατών, τα στοιχεία διαχείρισης και οι δείκτες ποιότητας και παραγωγικότητας. Οι αναλύσεις αποδοτικότητας των λιμένων δέχονται τρεις επιστημονικές ποσοτικές μεθόδους: την *ανάλυση χρηματοοικονομικών δεικτών (ratio analysis)* (Song and Cullinane, 2001), τις *οικονομετρικές μεθόδους ανάλυσης (econometric frontier)* (Liu, 1995, Coto Milan et al., 2000; Estache et al., 2001; Cullinane et al., 2002; Cullinane and Song, 2003) και την *Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων - Π.Α.Δ. (Data Envelopment Analysis- DEA)* (Roll and Hayuth, 1993; Martinez-Budria et al., 1999; Tongzon, 2001; Valentine and Gray, 2001; Barros, 2003a,b; Barros and Athanassiou, 2004; Cullinane et al., 2005; Al-Eraqi et al., 2008; Azevedo et al., 2009). Η μέθοδος της «*Ελεύθερης Θήκης Απόθεσης*» (*Free Disposal Hull-FDH*) αποτελεί μια εναλλακτική τεχνική (που ανήκει στην κατηγορία του μαθηματικού προγραμματισμού) για μια προσέγγιση της αποδοτικότητας. Κάποιες άλλες διαδικασίες εξετάζουν τους λιμένες ως επιχειρηματικούς οργανισμούς με μετρήσεις αποδοτικότητας βασιζόμενες στα κέρδη.

Επίσης, έχουν αναπτυχθεί αρκετά μοντέλα προσομοίωσης των λιμενικών λειτουργιών, ιδιαίτερα για σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων (McLean and Biles, 2008; Song et al., 2005; Van Rensburg et al., 2005; Bush et al., 2003; Goldsman et al., 2002; Shabayek and Yeung, 2002; Nam et al., 2002; Legato and Mazza, 2001; Tahar and Hussain, 2000; Bendall and Stent, 1999; Ramani, 1996; Lai et al., 1995; Lawrence, 1973). Οι παραπάνω μελέτες στηρίζονται στην χρήση διαφορετικών μεθόδων, όπως οι γενετικοί αλγόριθμοι και προσομοίωση, η θεωρία ουράς (queuing theory) και τα μοντέλα κόστους και εφοδιαστικής (logistics). Με χρήση διαφόρων δεδομένων εισαγωγής, επιτυγχάνεται η προσομοίωση της λειτουργίας και απόδοσης των λιμενικών συστημάτων, ποσοτικοποιώντας παραμέτρους ενδεικτικές των φυσικών λειτουργιών, της παραγωγικότητας, καθώς και οικονομικών και δημοσιονομικών χαρακτηριστικών του λιμένα. Τα μέτρα απόδοσης των λειτουργιών του λιμένα που δίνονται ως αποτελέσματα και στοιχεία εξαγωγής των μοντέλων προσομοίωσης, μπορούν να



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



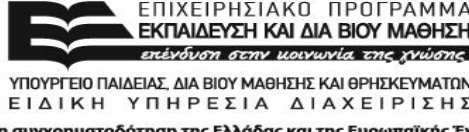
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ταξινομηθούν σε δείκτες λειτουργικούς, οικονομικούς/χρηματικούς, παραγωγικότητας, απόδοσης, αξιοποίησης και άλλους.

Οι επιπτώσεις ενός σεισμικού γεγονότος στις λιμενικές λειτουργίες έχουν εξεταστεί από περιορισμένες σε αριθμό μελέτες. Το γενικό μοντέλο σεισμικής διακινδύνευσης των λιμένων που προτείνεται από τους Audigier et al. (2000) παρέχει πληροφορίες για τις πιθανές άμεσες οικονομικές απώλειες λόγω αστοχίας εγκαταστάσεων ή διακοπής των λιμενικών λειτουργιών. Οι Na and Shinozuka (2009) παρέχουν μια μεθοδολογία για την εκτίμηση των επιπτώσεων μιας σεισμικής διέγερσης στην λειτουργικότητα ενός λιμενικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων. Το αναλυτικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε για την εκτίμηση των οικονομικών απωλειών του συστήματος που έχει υποστεί βλάβες ενσωματώνει μοντέλα προσομοίωσης των λειτουργιών του τερματικού σταθμού και καμπύλες τρωτότητας των λιμενικών συνιστωσών σε λογισμικό. Ο έλεγχος της αξιοπιστίας του λογισμικού γίνεται βάσει καταγραφών πραγματικών στοιχείων λειτουργίας σταθμών εμπορευματοκιβωτίων. Τελικά, προτείνονται καμπύλες τρωτότητας για την αποτίμηση της σεισμικής απόκρισης του συστήματος του σταθμού εμπορευματοκιβωτίων. Επίσης, οι Pachakis and Kiremidjian (2004) παρουσιάζουν μια μεθοδολογία για την πιθανοτική αποτίμηση των λειτουργικών απωλειών σε λιμένες πολλών τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων μετά την εκδήλωση συγκεκριμένων σεισμικών σεναρίων. Για τον σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης των λιμενικών λειτουργιών, η εφαρμογή του οποίου έγινε σε διάφορα παραδείγματα λιμένων με έναν ή περισσότερους σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων. Οι σεισμικές απώλειες που υπολογίζονται αφορούν τις άμεσες απώλειες των στοιχείων, τις καθарές απώλειες εισοδήματος, τις απώλειες αξιοπιστίας προς τρίτους και τους εργαζόμενους και τις έμμεσες απώλειες. Μέσα σε ένα γενικότερο πλαίσιο αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης που αναπτύχθηκε ειδικά για τους λιμένες της δυτικής ακτής των Η.Π.Α., οι Ivey et al. (2010) συνδέουν την διακινδύνευση με τις οικονομικές απώλειες λόγω δομικών βλαβών και τις απώλειες λόγω διακοπής της κίνησης του λιμένα σε χρηματικούς πλέον όρους. Οι συνολικές απώλειες του λιμένα υπολογίζονται βάσει των φυσικών απωλειών για δεδομένο επίπεδο σεισμικής έντασης και των απωλειών λειτουργικότητας λόγω του αριθμού των εμπορευματοκιβωτίων που θα πρέπει να σταλούν σε άλλο λιμάνι καθώς υπερβαίνουν την μειωμένη λόγω σεισμού ικανότητα εξυπηρέτησης του λιμένα (Ivey, 2012).



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

3 Αποτίμηση της σεισμικής τρωτότητας και διακινδύνευσης λιμενικών εγκαταστάσεων σε επίπεδο συστήματος

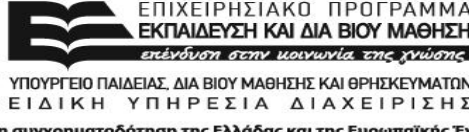
Η σύγχρονη πρακτική για την μείωση της σεισμικής διακινδύνευσης των λιμενικών εγκαταστάσεων στηρίζεται συνήθως στον ορισμό κριτηρίων σχεδιασμού ή ενίσχυσης για τις μεμονωμένες κατασκευές σε όρους καθορισμένων επιπέδων αναπτυσσόμενων εντατικών μεγεθών, μετακινήσεων, τάσεων, κ.τ.λ. Ωστόσο, η εξασφάλιση της λειτουργικότητας τους και η διατήρηση των υπηρεσιών ναυτιλίας σε έναν λιμάνι μετά την εκδήλωση ενός σεισμού εξαρτώνται όχι μόνο από την απόκριση των μεμονωμένων συνιστωσών, αλλά και από την θέση που αυτά κατέχουν στον λιμένα και την επάρκεια τους, καθώς και από τις φυσικές και λειτουργικές σχέσεις και αλληλεξαρτήσεις μεταξύ αυτών, δηλαδή από το σύνολο του συστήματος μιας λιμενικής εγκατάστασης.

Σχετικά με την ανάλυση συστημάτων, πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει την σεισμική απόκριση δικτύων, όπως για παράδειγμα το οδικό δίκτυο και τα δίκτυα ύδρευσης και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (Kiremidjian et al., 2002; Shinozuka et al., 2005; Shinozuka et al., 2007; Shiraki et al., 2007; Werner and Taylor, 2002; Zhou, 2006; Selcuk and Yucemen, 1999; Aoki et al., 2002; Ang et al., 1996; Adachi and Ellingwood, 2008). Αντίθετα, οι μελέτες της σεισμικής συμπεριφοράς των λιμενικών εγκαταστάσεων είναι περιορισμένες (Pachakis and Kiremidjian, 2003, 2004; Werner and Taylor, 2004; Shinozuka, 2009) με πλέον πρόσφατη αυτή που έγινε στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος της ΕΕ SYNER-G (Pitilakis et al. 2014). Κατά βάση, οι μελέτες αυτές περιλαμβάνουν την προσομοίωση της δυναμικής εδαφικής κίνησης υπό την επίδραση δεδομένων σεισμικών σεναρίων, και ακολούθως την εκτίμηση των αναμενόμενων βλαβών της κάθε συνιστώσας. Δεν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση των βλαβών και της διακοπής της λειτουργίας μιας ή περισσότερων συνιστωσών στη συμπεριφορά του συστήματος και στην ικανότητα εξυπηρέτησης της εμπορικής και επιβατικής διακίνησης, καθώς και οι τοπικές, εθνικές ή ακόμα και διεθνείς οικονομικές επιπτώσεις από τις σεισμικές απώλειες και την διακοπή ή μείωση της λειτουργικότητας μιας σημαντικής λιμενικής εγκατάστασης. Οι περισσότερες από τις διαθέσιμες μεθοδολογίες καταλήγουν στον υπολογισμό των άμεσων φυσικών απωλειών (δομικές βλάβες και κόστος αποκατάστασης). Σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται εκτίμηση των άμεσων (κόστος από την διακοπή/μείωση της λειτουργικότητας και απώλειες εισοδήματος) και έμμεσων (οικονομικές επιπτώσεις λόγω της εκδήλωσης σεισμικών βλαβών σε άλλους τομείς) οικονομικών απωλειών, ενώ συνήθως δε λαμβάνεται γενικά υπόψη η επίδραση των σχέσεων μεταξύ των συνιστωσών τους, και η συνολική απόκριση του συστήματος των λιμενικών εγκαταστάσεων.

Παρακάτω παρουσιάζεται μια μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος SYNER-G (Pitilakis et al., 2014) για την αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης και της λειτουργικότητας των λιμενικών εγκαταστάσεων ως σύστημα, προσομοιώνοντας τις λιμενικές δραστηριότητες και λαμβάνοντας υπόψη τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων του συστήματος. Επίσης είναι δυνατό να ληφθούν υπόψη οι επιστημικές αβεβαιότητες



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

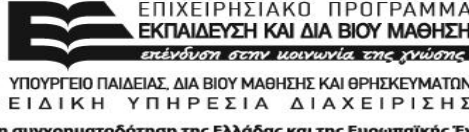
(epistemic uncertainty) στις παραμέτρους των διαφόρων μοντέλων (μέσω μιας ιεραρχικής ακυκλικής αλυσίδας πιθανοτήτων κατανομών).

Στόχος της ανάλυσης αυτής είναι η εκτίμηση μέσω μιας πιθανοτικής προσέγγισης, της καμπύλης διακινδύνευσης του συστήματος, που περιγράφει τη μέση ετήσια συχνότητα γεγονότων, οριζόμενων σε όρους απώλειας λειτουργικότητας του συστήματος. Η ανάλυση βασίζεται στο αντικειμενοστραφές παράδειγμα προγραμματισμού (object-oriented paradigm) όπου κάθε σύστημα (αντικείμενο) περιγράφεται από μια ομάδα τάξεων (classes), που ορίζουν τις ιδιότητες (attributes) και τις μεθόδους (methods) του συστήματος, και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Η προσομοίωση κάθε δικτύου στηρίζεται στην ταξινόμηση των συνιστωσών που προτάθηκε στο SYNER-G και απαιτεί: α) την περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του συστήματος (εσωτερικές αλληλεπιδράσεις, intra-dependencies) κάτω από αδιατάρακτες και διαταραγμένες συνθήκες (π.χ. στην κατάσταση βλάβης μετά από ένα σεισμό), β) την αποτίμηση της φυσικής και λειτουργικής βλάβης της κάθε συνιστώσας μέσω συναρτήσεων ή καμπυλών τρωτότητας, γ) τον προσδιορισμό των αλληλεπιδράσεων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων (εξωτερικές αλληλεπιδράσεις, inter-dependencies) και δ) τον καθορισμό δεικτών λειτουργικότητας (Performance Indicators, PIs) για τις συνιστώσες και τα συστήματα (Pitilakis et al., 2014).

Τα υπολογιστικά μοντέλα περιλαμβάνουν τα ακόλουθα: α) την προσομοίωση σεισμικών γεγονότων και αντίστοιχων παραμέτρων σεισμικής έντασης (seismic hazard class), β) την προσομοίωση των φυσικών απωλειών των συνιστωσών του κάθε δικτύου και την συνολική απόκριση του συστήματος (network class), γ) την προσομοίωση των συνεργιών μεταξύ συστημάτων. Το μοντέλο σεισμικού κινδύνου περιλαμβάνει: 1) τυχαία δειγματοληψία γεγονότων σε όρους επικέντρου, μεγέθους και τρόπου διάρρηξης του ρήγματος σύμφωνα με τη σεισμικότητα της υπό εξέταση περιοχής και 2) χωρική κατανομή συσχετισμένων (correlated) σεισμικών εντάσεων για τα γεγονότα του δείγματος στις θέσεις των συνιστωσών των δικτύων και υποδομών που θεωρούνται ως επιδεκτικές σε βλάβη ('shakefields' method, Weatherill et al., 2014). Ανάλογα με την τυπολογία της κάθε συνιστώσας και την αντίστοιχη σχέση τρωτότητας, υπολογίζονται οι παράμετροι σεισμικής έντασης (π.χ. PGA, PSA, PGV, PGD) σε κάθε θέση. Η πιθανοτική αποτίμηση της λειτουργικότητας και απόδοσης των συστημάτων γίνεται με εφαρμογή της στοχαστικής διαδικασίας Monte Carlo. Για λόγους απλότητας, η μεθοδολογία εστιάζεται στην απόδοση των συστημάτων αμέσως μετά την εκδήλωση του σεισμικού γεγονότος χωρίς να λαμβάνονται υπόψη μετασεισμικές ακολουθίες ή/και η πορεία αποκατάστασης των ζημιών. Τελικός στόχος είναι η εκτίμηση της πιθανότητας υπέρβασης διαφορετικών επιπέδων απώλειας της λειτουργικότητας για κάθε σύστημα υπό την επίδραση κάθε πιθανού σεισμικού συμβάντος. Το αποτέλεσμα αυτό αποτελεί την "καμπύλη επίδοσης" (performance curve) που είναι ισοδύναμη της καμπύλης διακινδύνευσης (risk curve) για την περίπτωση στοιχείων και όχι συστημάτων, υπό την επίδραση μεμονωμένων (π.χ. μέθοδος PEER, Cornell and Krawinkler, 2000) ή πολλαπλών κινδύνων (π.χ. Selva, 2013).



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

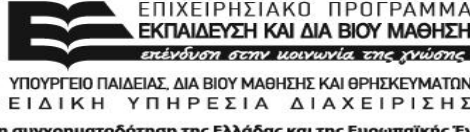
Για την αποτίμηση της τρωτότητας των λιμένων σε επίπεδο συστήματος, είναι απαραίτητη η προσομοίωση των λιμενικών λειτουργιών. Στη συγκεκριμένη μεθοδολογία γίνεται προσομοίωση της κίνησης των εμπορευματοκιβωτίων και του χύδην φορτίου. Η επιβατική κίνηση, ενώ αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την παρακολούθηση της ύφεσης και της διαδικασίας αποκατάστασης μετά από ένα σεισμό, δεν λαμβάνεται υπόψη, καθώς δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία κίνησης επιβατών σε παλαιότερους σεισμούς, και επομένως δεν κατέστη δυνατή η ανάπτυξη κατάλληλων μοντέλων. Για την περίπτωση της διακίνησης φορτίου, γίνεται η υπόθεση τερματικών σταθμών με διακριτές λειτουργίες (κάθε τερματικός σταθμός είναι είτε σταθμός διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων είτε χύδην φορτίου). Τα στοιχεία που εξετάζονται περιλαμβάνουν τους προβλήτες, τις αποβάθρες, τα κρηπιδώματα και τον εξοπλισμό διαχείρισης φορτίου (γερανούς/γερανογέφυρες εμπορευματοκιβωτίων/χύδην φορτίου). Τα κρηπιδώματα και οι γερανοί αποτελούν τις φυσικές συνιστώσες του λιμένα, ενώ οι αποβάθρες και οι προβλήτες αποτελούν κατασκευαστικά (λειτουργικά) στοιχεία. Μια ομάδα διαφόρων αποβάθρων αποτελεί έναν προβλήτα. Επίσης κάθε αποβάθρα αποτελεί ένα κομμάτι μιας παράκτιας κατασκευής (κρηπίδωμα) που έχει σχεδιαστεί να εξυπηρετεί ένα μόνο πλοίο, και συνίσταται από ένα τμήμα κρηπιδώματος που εξυπηρετείται από έναν ή περισσότερους γεραμούς. Το μήκος της αποβάθρας υπολογίζεται με βάση το λειτουργικό βάθος της. Για την ποσοτικοποίηση της ικανότητας εξυπηρέτησης των αποβάθρων, γίνεται θεώρηση της ικανότητας χειρισμού φορτίου (ανυψώσεις ανά ώρα/τόνοι ανά ώρα) των γερανών. Ο κύριος δείκτης λειτουργικότητας (PI) που χρησιμοποιείται είναι το συνολικό φορτίο/αριθμός εμπορευματοκιβωτίων που διακινούνται ή/και παραδίδονται (στην πύλη του λιμένα) σε ένα προ-καθορισμένο χρονικό διάστημα, ανά τερματικό σταθμό και στο λιμάνι συνολικά. Επιπλέον, η κύρια αλληλεπίδραση που λαμβάνεται υπόψη είναι μεταξύ του εξοπλισμού διαχείρισης φορτίου και του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας (Electric Power Network, EPN), και συγκεκριμένα η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους γεραμούς. Αν ένας κόμβος που αντιπροσωπεύει έναν γερανό δεν τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από τον κόμβο αναφοράς του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας (ηλεκτρικός υποσταθμός) και ο γεραμός δεν διαθέτει εναλλακτική πηγή παροχής ενέργειας, τότε αυτός θεωρείται ως μη-λειτουργικός. Τα κλεισίματα οδών από κτίρια που έχουν καταρρεύσει εντός ενός λιμένα αποτελεί επίσης μια σημαντική αλληλεπίδραση που μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εμπόδιο για τη διακίνηση και μεταφορά φορτίου/εμπορευματοκιβωτίων από τους τερματικούς σταθμούς στις πύλες του λιμένα.

Για την αποτίμηση της λειτουργικότητας του λιμένα γίνεται χρήση δεικτών λειτουργικότητας σε επίπεδο συστήματος, όπως αυτοί υπολογίζονται για διάφορα σεισμικά γεγονότα (Σχήμα 6). Τα κύρια σημεία υπολογισμού είναι τα ακόλουθα:

1. Γίνεται δειγματοληψία και καθορισμός ενός συνόλου σεισμικών γεγονότων σύμφωνα με τη σεισμικότητα της περιοχής (shakefields method).
2. Για κάθε ένα από τα σεισμικά γεγονότα που ορίζονται στο βήμα (1):



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

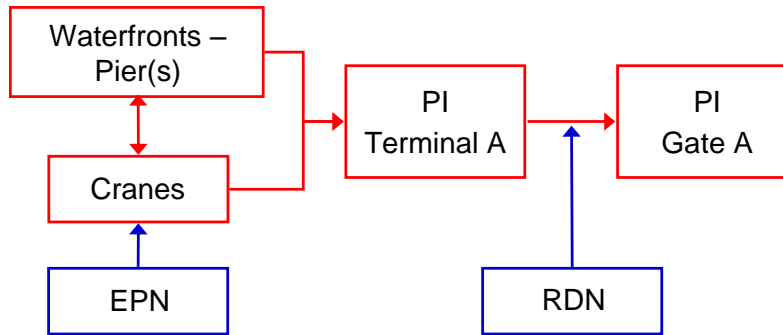
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

- Υπολογίζονται τα πεδία σεισμικής έντασης (shakefields) μέσα στην περιοχή του λιμένα.
 - Για όλες τις συνιστώσες, υπολογίζονται οι φυσικές απώλειες (βλάβες) βάσει καμπυλών τρωτότητας για τα δεδομένα μεγέθη σεισμικής έντασης. Σε περίπτωση συνιστωσών επιδεικτικών τόσο στην εδαφική ταλάντωση (PGA, PSA) όσο και στην εδαφική αστοχία (PGD), όπως π.χ. οι γερανοί, υπολογίζονται οι αντίστοιχες παράμετροι σεισμικής έντασης και οι πιθανές βλάβες, και τα αποτελέσματα συνδυάζονται με χρήση ανάλυσης Δέντρου Σφαλμάτων (πύλη Η).
 - Με βάση τις φυσικές βλάβες που έχουν υπολογιστεί για κάθε σεισμικό γεγονός του δείγματος, αποτιμάται η κατάσταση λειτουργικότητας της κάθε συνιστώσας, λαμβάνοντας υπόψη και τις εσωτερικές και εξωτερικές αλληλεπιδράσεις (intra, inter – dependencies).
 - Για όλα τα συστήματα, γίνεται υπολογισμός των δεικτών λειτουργικότητας με βάση τη λειτουργικότητα των επιμέρους συνιστωσών και την ανάλυση του συστήματος. Στη συνέχεια υπολογίζεται και το “κυλιόμενου μέσου” (μέση τιμή για όλα τα σεισμικά γεγονότα του δείγματος).
3. Γίνεται εκτίμηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Συγκεκριμένα:
- Η καμπύλη μέσης ετήσιας συχνότητας υπέρβασης (mean annual frequency of exceedance ή “καμπύλη διακινδύνευσης”) για όλους τους δείκτες λειτουργικότητας, με βάση τις ετήσιες συχνότητες των σεισμικών γεγονότων και τους υπολογιζόμενους δείκτες λειτουργικότητας.
 - Οι καταστάσεις λειτουργικότητας (ή βλάβες) για κάθε συνιστώσα.
 - Η συσχέτιση μεταξύ των καταστάσεων λειτουργικότητας (ή βλάβες) και των δεικτών λειτουργικότητας.
 - Οι βλάβες, οι καταστάσεις και οι δείκτες λειτουργικότητας καθορίζονται για συγκεκριμένα γεγονότα (που διαλέγονται από τις καμπύλες διακινδύνευσης και αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες περιόδους επαναφοράς).

Το σύνολο (δείγμα) των σεισμικών γεγονότων που ορίζονται στο βήμα (1) θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο ώστε να μπορούν να εξαχθούν ευσταθή αποτελέσματα. Η διαδικασία της σύγκλισης για τη λήψη ευσταθών αποτελεσμάτων ελέγχεται από τον “κυλιόμενο μέσο” κάθε δείκτη λειτουργικότητας (βήμα 2).



Σχήμα 6 Μοντέλο λειτουργικότητας λιμενικών εγκαταστάσεων (Pitilakis et al., 2014).

Στη συνέχεια, περιγράφονται οι δείκτες λειτουργικότητας του λιμενικού συστήματος.

Σταθμός εμπορευματοκιβωτίων

α) Τερματικός σταθμός (διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων)

Η λειτουργικότητα του τερματικού σταθμού μετράται σε όρους: “TCoH = συνολικός αριθμός εμπορευματοκιβωτίων που διακινούνται (φορτώνονται και εκφορτώνονται) ανά ημέρα, σε ισοδύναμα 20 ποδών (Twenty-foot Equivalent Units, TEU)”.

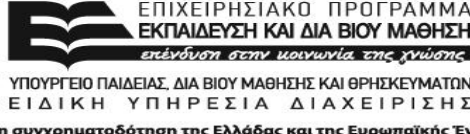
Για την απόδοση του λιμένα, θεωρείται το άθροισμα των δεικτών λειτουργικότητας που αναφέρονται σε όλους τους σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων. Το μήκος της αποβάθρας (μήκος πλοίου) εκτιμάται με βάση το λειτουργικό βάθος του προβλήτα, αντιστρέφοντας την ακόλουθη σχέση παλινδρόμησης, που δίνει το βάθος του κρηπιδώματος ως συνάρτηση του συνολικού μήκους του πλοίου (Pachakis and Kiremidjian, 2005):

$$Draft = \begin{cases} -0.100 + 0.056 \cdot LOA, & \text{for } LOA \leq 200m \\ 7.668 + 0.018 \cdot LOA, & \text{for } LOA > 200m \end{cases} \quad (4)$$

όπου “Draft” είναι το βάθος του κρηπιδώματος, και “LOA” είναι το μήκος της αποβάθρας (μήκος πλοίου).

Στην πράξη, για κάθε κρηπίδωμα, υπολογίζεται το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος αποβάθρας με χρήση της Εξίσωσης 4. Το κρηπίδωμα διαιρείται στο μέγιστο δυνατό αριθμό αποβάθρων με μήκος μεγαλύτερο από το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος για την εξυπηρέτηση των πλοίων. Στη συνέχεια, κάθε γερανός σχετίζεται με την πλησιέστερη αποβάθρα.

Για κάθε γερανό, ορίζεται επίσης και ένας κόμβος (σημείο ζήτησης) του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Ο κόμβος αυτός συνδέεται με έναν υποσταθμό του δικτύου μέσω μη-τρωτών γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας. Σε περίπτωση αστοχίας στην παροχή ενέργειας, οι γερανοί είναι σε θέση να λειτουργήσουν με εφεδρικές πηγές ενέργειας, εάν αυτές υπάρχουν. Η



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

λειτουργικότητα των κόμβων (σημείων ζήτησης) γενικά καθορίζεται από αναλύσεις δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες μπορεί να είναι είτε αναλύσεις ροής είτε απλές αναλύσεις συνδετικότητας.

Για την αποτίμηση της λειτουργικότητας των επιμέρους συνιστωσών, ορίζονται οι ακόλουθοι κανόνες:

- Το κρηπίδωμα (αποβάθρα) είναι λειτουργικό εάν η βλάβη (damage, D) είναι μικρότερη από μέτρια (για κάθε τύπο μεγέθους έντασης).
- Ο γερανός είναι λειτουργικός εάν η βλάβη (D) είναι μικρότερη από μέτρια και υπάρχει παροχή ηλεκτρικής ενέργειας (από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ή από εφεδρική πηγή).
- Η αποβάθρα είναι λειτουργική εάν το κρηπίδωμα και τουλάχιστον ένας γερανός είναι λειτουργικά, διαφορετικά ο δείκτης λειτουργικότητας του ορίζεται ίσος με 0.
- Εάν η αποβάθρα είναι λειτουργική, ο δείκτης λειτουργικότητας ορίζεται ίσος με το άθροισμα των ικανοτήτων διακίνησης φορτίου των λειτουργικών γερανών που περιλαμβάνει. Σε περίπτωση περισσότερων του ενός γερανών, αυτοί μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα για την φόρτωση/εκφόρτωση εμπορευματοκιβωτίων σε ένα πλοίο, και έτσι ο χρόνος που το πλοίο μένει στην αποβάθρα μειώνεται.

$CraneCapacity_k = r * 24 \text{ TEU/day}$ (ισοδύναμα 20 ποδών ανά ημέρα)

Αποβάθρα (Berth) : $PI_{bi} = \sum_k * CraneCapacity_k$

Προβλήτας (Pier) : $PI_{pm} = \sum_i PI_{bi}$

Τερματικός σταθμός (Terminal) : $PI_{tr} = \sum_m PI_{pm}$

Λιμάνι (Harbor) : $PI_H = \sum_r PI_{tr}$

όπου $CraneCapacity_k$ είναι η ικανότητα του k^{ou} γερανού, r είναι η παραγωγικότητα του γερανού, PI_{bi} είναι ο δείκτης λειτουργικότητας της $i^{ης}$ αποβάθρας, PI_{pm} είναι ο δείκτης λειτουργικότητας του m^{ou} προβλήτα, PI_{tr} είναι ο δείκτης λειτουργικότητας του r^{ou} τερματικού σταθμού και PI_H είναι ο δείκτης λειτουργικότητας του λιμανιού. Ο υπολογισμός γίνεται με βάση την υπόθεση 24ωρης λειτουργίας του λιμένα.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

β) Πύλη (παράδοση εμπορευματοκιβωτίων)

Η λειτουργικότητα του λιμανιού στην πύλη μετράται σε όρους: *“TCoM = συνολικός αριθμός κινήσεων εμπορευματοκιβωτίων ανά ημέρα, σε ισοδύναμα 20 ποδών (Twenty-foot Equivalent Units, TEU) για ολόκληρη τη λιμενική εγκατάσταση”*.

Σε αυτή την περίπτωση, ο συνολικός αριθμός των κινήσεων εμπορευματοκιβωτίων είναι ίσος με το άθροισμα των εμπορευματοκιβωτίων που διακινούνται ανά ημέρα (TCoH) σε όλους τους τερματικούς σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων που συνδέονται με την πύλη μέσω του οδικού δικτύου.

Για την εκτίμηση του δείκτη TCoM, επιπρόσθετα από τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη το οδικό δίκτυο που συνδέει τον τερματικό σταθμό με την πύλη του λιμένα, με όλες τις σημαντικές συνιστώσες του (π.χ. γέφυρες, άνω διαβάσεις, σήραγγες) και φυσικά τα κτίρια και τις μονάδες αποθήκευσης εντός του λιμένα που μπορεί να καταρρεύσουν και να κλείσουν το οδικό δίκτυο (Pitilakis et al., 2014). Η διασύνδεση του τερματικού σταθμού και της πύλης του λιμένα στηρίζεται σε ανάλυση του οδικού δικτύου.

Σταθμός χύδην φορτίου

α) Τερματικός σταθμός (διακίνηση χύδην φορτίου)

Η λειτουργικότητα του τερματικού σταθμού μετράται σε όρους: *“TCaH = συνολικό φορτίο που διακινείται (φορτώνεται και εκφορτώνεται) ανά ημέρα, σε τόνους”*.

Για την απόδοση του λιμένα, θεωρείται το άθροισμα των δεικτών λειτουργικότητας που αναφέρονται σε όλους τους σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων.

Για την περίπτωση του χύδην φορτίου ακολουθείται η ίδια μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω για τους σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων, με τις ακόλουθες τροποποιήσεις:

Η παραγωγικότητα του γερανού (r) δίνεται σε τόνους ανά ώρα.

$CraneCapacity = r * 24 \text{ tones/day}$ (υπόθεση 24ωρης λειτουργίας).

β) Πύλη (παράδοση χύδην φορτίου)

Η λειτουργικότητα του λιμανιού στην πύλη μετράται σε όρους: *“TCaM = συνολικός αριθμός κινήσεων φορτίου ανά ημέρα (σε τόνους) για ολόκληρη τη λιμενική εγκατάσταση”*.

Σε αυτή την περίπτωση, ο συνολικός αριθμός των κινήσεων φορτίου είναι ίσος με το άθροισμα του φορτίου που διακινείται ανά ημέρα σε όλους του τερματικούς σταθμούς χύδην φορτίου που συνδέονται με την πύλη μέσω του οδικού δικτύου. Η μεθοδολογία για τον υπολογισμό του δείκτη TCaM, και των απαιτούμενων πρόσθετων παραμέτρων, είναι ανάλογη με όσα περιγράφηκαν παραπάνω για τον δείκτη TCoM.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



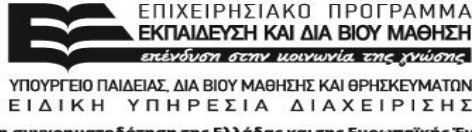
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Η υπολογιστική εφαρμογή και η προσομοίωση των τάξεων των συστημάτων (class modelling) περιγράφονται με λεπτομέρεια από τους Pitilakis et al. (2014).

4 Συμπεράσματα

Στο παρόν παραδοτέο έγινε σύνοψη των διαθέσιμων μεθόδων εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας παράκτιων λιμενικών έργων (κρηπιδότοιχοι) και εξοπλισμού διαχείρισης φορτίων (γερανοί). Μέσω αυτών των μεθόδων εκτιμάται ο βαθμός βλάβης που ενδέχεται να υποστεί μια κατασκευή υπό δεδομένη σεισμική ένταση, ο οποίος συσχετίζεται με τη λειτουργικότητα των υποδομών ενός λιμένα μετά από ένα σεισμό τόσο σε επίπεδο μεμονωμένων στοιχείων όσο και των λιμενικών εγκαταστάσεων συνολικά. Η λειτουργικότητα συνδέεται με τις λιμενικές λειτουργίες και την παραγωγικότητα του συστήματος. Μεταξύ πολυάριθμων δεικτών, η κίνηση εμπορευματοκιβωτίων αποτελεί τον πιο σημαντικό δείκτη μέτρησης της λειτουργικότητας ενός λιμένα.

Η αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης σε επίπεδο συστήματος, εξαρτάται τόσο από την απόκριση των μεμονωμένων συνιστωσών όσο και από τις φυσικές και λειτουργικές σχέσεις μεταξύ αυτών. Ωστόσο, υπεισέρχονται διάφορες αβεβαιότητες που σχετίζονται με τον υπολογισμό της σεισμικής επικινδυνότητας, της τρωτότητας, της λειτουργικότητας των μεμονωμένων συνιστωσών και του συστήματος συνολικά, τις συνέργειες μεταξύ συνιστωσών εντός του συστήματος και του τελευταίου με εξωτερικά δίκτυα (π.χ. παροχής ηλεκτρικής ενέργειας). Στο παρόν, παρουσιάσθηκε μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για την αποτίμηση της τρωτότητας ενός λιμένα σε επίπεδο συστήματος όπου γίνεται προσομοίωση της κίνησης των εμπορευματοκιβωτίων και του χύδην φορτίου με βάση μια πιθανοτική προσέγγιση. Λαμβάνονται υπόψη τα κρηπιδώματα, οι γερανοί, και η τροφοδοσία των τελευταίων από το δίκτυο ηλ. ενέργειας. Η λειτουργικότητα του συστήματος μετριέται με το συνολικό φορτίο/αριθμό εμπορευματοκιβωτίων που διακινούνται ή/και παραδίδονται (στην πύλη του λιμένα) σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, ανά τερματικό σταθμό και στο λιμάνι συνολικά. Η καμπύλη διακινδύνευσης, που περιγράφει την μέση ετήσια συχνότητα υπέρβασης σε όρους του δείκτη λειτουργικότητας του λιμένα, προκύπτει μέσω προσομοίωσης τύπου Monte Carlo, κατά την οποία γίνεται δειγματοληψία σεισμικών γεγονότων σύμφωνα με τη σεισμικότητα της περιοχής και υπολογίζονται οι παράμετροι σεισμικής έντασης, καθώς και ο βαθμός βλάβης και λειτουργικότητας της κάθε συνιστώσας.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Βιβλιογραφία

- Adachi, T. and B.R. Ellingwood (2008). "Service ability of earthquake-damaged water systems: effects of electrical power availability and power back up systems on system vulnerability", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 93, No. 1, pp. 78–88.
- Al-Eraqi, A.S., A. Mustafa, A.T. Khader and C.P. Barros (2008). "Efficiency of Middle Eastern and East African Seaports: Application of DEA Using Window Analysis", European Journal of Scientific Research, Vol. 23, No. 4, pp. 597-612.
- Ang, A.H.S., J.A. Pires and R. Villaverde (1996). "A model for the seismic reliability assessment of electric power transmission systems", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 51, No. 1, pp. 7–22.
- Aoki, T., R. Ceravolo, A. De Stefano, C. Genovese and D. Sabia (2002). "Seismic vulnerability assessment of chemical plants through probabilistic neural networks", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 77, No. 3, pp. 263–8.
- Audigier, M.A., Kiremidjian, A., Chiu, S.S., and King, S.A. (2000). Risk analysis of port facilities. 12th WCEE, Auckland, New Zeland.
- Azevedo, S.G., J. Ferreira, J.C.Q. Dias and S.F. Palma (2009). "Performance evaluation of the main terminal containers in the Iberian seaports: a benchmarking approach", Proceeding of the POMS 20th Annual Conference Orlando, Florida U.S.A.
- Barros, C.P. (2003a). "Incentive regulation and efficiency of Portuguese port authorities", Maritime Economics & Logistics, Vol. 5, No. 1, pp. 55–69.
- Barros, C.P. (2003b). "The measurement of efficiency of Portuguese sea port authorities with DEA", International Journal of Transport Economics, Vol. 30, No. 3, pp. 335–354.
- Barros, C.P. and M. Athanassiou (2004). "Efficiency in European Seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal", Maritime Economics & Logistics, Vol. 6, No. 2, pp. 122–140.
- Bendall, H.B., and A.F. Stent (1999). "Longhaul feeder services in an era of changing technology: An Asia-Pacific perspective", Maritime Policy & Management, Vol. 26, No. 2, pp. 45-159.
- Bichou, K. and R. Gray (2004). "A Logistics and Supply Chain Management Approach to Port Performance Measurement", Maritime Policy & Management, Vol. 31, No. 1, pp. 47-67.
- Bush, A., W.E. Biles and G.W. DePuy (2003). "Iterative Optimization and Simulation of Barge Traffic on an Inland Waterway", Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, pp. 751-1756.
- Calabrese A. and Lai C.G. (2013). Fragility functions of blockwork wharves using artificial neural networks. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 52, pp. 88-102.
- Chiou, J.-S., C.-H. Chiang, H.-H. Yang and S.-Y. Hsu (2011). "Developing fragility curves for a pile-supported wharf". Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 31, pp. 830–840.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

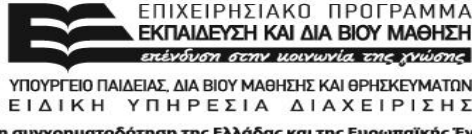
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



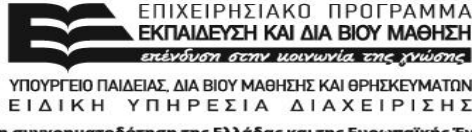
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

- Chung, K.C. (1993). "Port Performance Indicators", The World Bank, Transport No. PS-6.
- Cornell, C. and H. Krawinkler (2000). "Progress and challenges in seismic performance assessment". PEER News 2000, Vol. 3, No. 2.
- Coto Millan, P., J. Baños Pino and A. Rodrigues Alvarez (2000). "Economic efficiency in Spanish ports: Some empirical evidence", Maritime Policy & Management, Vol. 27, No. 2, pp. 169–175.
- Cullinane, K., D. Song and T. Wang (2005). "The Application of Mathematical Programming Approaches to Estimating Container Port Production Efficiency", Journal of Productivity Analysis, Vol. 24, No. 1, pp. 73–92.
- Cullinane, K.P.B. and D.W. Song (2003). "A Stochastic Frontier Model of the productive efficiency of Korean Container Terminals", Applied Economics, Vol. 35, No. 3, pp. 251–267.
- Cullinane, K.P.B., D.W. Song and R. Gray (2002). "A Stochastic Frontier Model of the efficiency of major container terminals in Asia: Assessing the influence of administrative and ownership structures", Transportation Research, Part A, Vol. 36, No. 8, pp. 743–762.
- Ellingwood, B.R. (2001). "Earthquake risk assessment of building structures", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 74, No. 3, pp. 251-262.
- Elnashai, A.S., L.J. Cleveland, T. Jefferson and J. Harrald (2008). "Impact of Earthquakes on the Central USA", Mid-America Earthquake Center, Report 08-02.
- Estache, A., M. González and L. Trujillo (2001). "Efficiency gains from port reforms and the potential for yardstick competition: Lessons from México", World Development, Vol. 30, No. 4, pp. 545–560.
- Goldman, D., S. Pernet and K. Kang (2002). "Simulation of Transportation Logistics", Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, ed. E. Yucesan, C.H. Chen, J. L. Snowdown, and J. M. Charnes, pp. 901-904.
- Ichii, K. (2003). "Application of Performance-Based Seismic Design Concept for Caisson-Type Quay Walls", PhD Dissertation, Kyoto University.
- Ichii, K. (2004). "Fragility Curves for Gravity-Type Quay Walls Based on Effective Stress Analyses", Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC Canada.
- Itasca Consulting Group Inc. (2007). FLAC (Fast lagrangian analysis of continua), Minneapolis
- Ivey, B.L. (2012). Forecasting Earthquake Losses in Port Systems, in Civil and Environmental Engineering. Georgia Institute of Technology: Proquest Dissertations and Theses.
- Ivey, L.M., G.J. Rix, and S.D. Werner (2010). Framework for Earthquake Risk Assessment for Container Ports. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2166.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- Kakderi, K. and K. Pitilakis (2010). "Seismic performance and reliability of port facilities – The case of Thessaloniki (Greece)", Proceedings of 5th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor I.M. Idriss, San Diego, California, Paper 6.04a.
- Kappos, A.J., Panagopoulos, G., Panagiotopoulos, C., Penelis, G. (2006). A hybrid method for the vulnerability assessment of R/C and URM buildings, Bull Earthq Eng, Vol. 4, No 4, pp. 391-413
- Kennedy, R.P. and M.K. Ravindra (1984). "Seismic fragilities for nuclear power plant studies", Nuclear Engineering and Design, Vol. 79, No. 1, pp. 47-68.
- Kiremidjian, A.S., Y. Fan, A. Hortacsu, K. Burnell and J. Legrue (2002). "Earthquake risk assessment for transportation systems: analysis of pre-retrofitted system", Proceedings of the 7th National Conference on Earthquake Engineering, EERI, III, pp. 2109-2116.
- Ko, Y.-Y., H.-H. Yang and C.H. Chen (2010). "Seismic fragility analysis for sheet pile wharves – Case study of the Hualien harbor in Taiwan", Proceedings of 5th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor I.M. Idriss, San Diego, California, Paper No. 6.05a.
- Kosbab, B.D. (2010). "Seismic performance evaluation of port container cranes allowed to uplift". PhD thesis, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology.
- Lai, K.K., K. Lam and W.K. Chan. (1995). "Shipping containers logistics and allocation", Journal of the Operational Research Society, Vol. 46, No. 6, pp. 687-697.
- Lawrence, P.A. (1973). "A Computer Simulation Model for Port Planning", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 4, No. 1, pp. 26–39.
- Legato, P. and R.M. Mazza (2001). "Berthing planning and resources optimisation at a container terminal via discrete event simulation", European Journal of Operational Research, Vol. 133, No. 3, pp. 537-547.
- Liu, Z. (1995). "The comparative performance of public and private enterprises", Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 29, No. 3, pp. 263–274.
- Lu, DG., X.H. Yu, M.M. Jia and G.Y. Wang (2010). "Simplified fragility analysis methods for minimum life-cycle cost seismic design of generic structures", Proceedings of the 10th International Conference on Structural Safety and Reliability, ICOSSAR, 13-17 September, Osaka, Japan.
- Martinez-Budria, E.R., Diaz-Armas, M. Navarro-Ibanez and T. Ravelo-Mesa (1999). "A Study of the Efficiency of Spanish Port Authorities Using Data Envelopment Analysis", International Journal of Transport Economics, Vol. 26, No. 2, pp. 237–253.



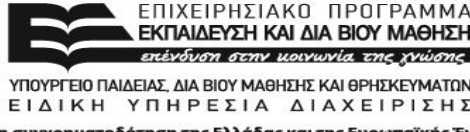
Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- McLean, A.A. and W.E. Biles (2008). "A simulation approach to the evaluation of operational costs and performance in liner shipping operations", Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, S.J. Mason, R.R. Hill, L. Mönch, O. Rose, T. Jefferson, J.W. Fowler eds.
- Miraei, M. and Y. Jafarian (2013). "Fragility curves for assessing the seismic vulnerability of gravity quay walls". Proceedings of COMPDYN 2013, In 4th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering M. Papadrakakis, V. Papadopoulos, V. Plevris (eds.), Kos Island, Greece.
- Morita T., Iai S., Liu H., Ichii K. and Sato Y. (1997). "Simplified method to determine parameter of FLIP", Technical note of Port and Harbour Research Institute, No.869 (in Japanese)
- Na, U.J. and M. Shinozuka (2009). "Simulation-based seismic loss estimation of seaport transportation system", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 94, No. 3, pp. 722-731.
- Nam, K.-C., K.-S. Kwak and M.-S. Yu (2002). "Simulation Study of Container Terminal Performance", Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol. 128, No. 3, pp. 126-132.
- National Institute of Building Sciences (NIBS) (2004). "Earthquake loss estimation methodology", HAZUS Technical manuals, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Mazzoni S, McKenna F, Scott MH, Fenves GL (2009). Open system for earthquake engineering simulation user command-language manual. Berkeley, California: Pacific Earthquake Engineering Research Center
- Pachakis D. and A.S. Kiremidjian (2004). "Estimation of Downtime-Related Revenue Losses in Seaports Following Scenario Earthquakes", Earthquake Spectra, Vol. 20, No. 2, pp. 427-449.
- Pachakis, D. and A. Kiremidjian (2003). "The use of simulation in disaster response planning and risk management of ports and harbors", Proceedings of the 6th U.S. Conference and Workshop on Lifeline Earthquake Engineering, TCLEE, Monograph No. 25, ASCE, pp. 425-434.
- Pachakis, D. and Kiremidjian A. S. (2005). "Estimation of Downtime-Related Revenue Losses in Maritime Ports due to Earthquakes". Blume Center Technical Report No. 146.
- Peter, B.M. and A.C. Paixão Casaca (2003). "Measuring lean ports performance", International Journal of Transport Management, Vol. 1, No. 4, pp. 189–202.
- Pitilakis, K., P. Franchin, B. Khazai and H. Wenzel (Eds) (2014). "SYNER-G: Systemic seismic vulnerability and risk assessment of complex urban, utility, lifeline systems and critical facilities. Methodology and applications". Series: Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, 31, Springer, Netherlands.
- Plaxis (2007). "Plaxis finite element code for soil and rock analyses. User's Manual, Version 8.6 Dynamic". The Netherlands.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- Ramani, K.V. (1996). "An interactive simulation model for the logistics planning of container operations in seaports", *Simulation*, Vol. 66, No. 5, pp. 291-300.
- Rockwell Automation, *Arena user's guide*. Rockwell software, (2006).
- Roll, Y. and Y. Hayuth. (1993). "Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis (DEA)", *Maritime Policy and Management*, Vol. 20, No. 2, 153–161.
- Csi (2004). *SAP2000: V11.0-integrated software for structural analysis and design*. Berkeley, CA, USA: Computers and Structures.
- Selcuk, A.S. and M.S. Yucemen (1999). "Reliability of lifeline networks under seismic hazard", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 65, No. 3, pp. 213–27.
- Selva, J. (2013). "Long-term multi-risk assessment: statistical treatment of interaction among risks". *Natural Hazards* Vol. 67, No. 2, pp. 701-722, DOI: 10.1007/s11069-013-0599-9.
- Shabayek, A.A., and W.W. Yeung (2002). "A simulation model for the Kwai Chung container terminals in Hong Kong", *European Journal of Operational Research*, Vol. 140, No. 1, pp. 1-11.
- Shafieezadeh, A. (2011). "Seismic vulnerability assessment of wharf structures". PhD thesis, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology.
- Shinozuka, M. (2009). "Performance Reliability of Port Facilities", *Proceedings of the 10th International Conference on Structural Safety and Reliability, ICOSSAR*, Osaka, Japan.
- Shinozuka, M., X. Dong, T.C. Chen and X. Jin (2007). "Seismic performance of electric transmission network under component failures", *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 36, No. 2, pp. 227–44.
- Shinozuka, M., Y.W. Zhou, S.H. Kim, Y. Murachi, S. Banerjee, S. Cho and H. Chung (2005). "Socio-economic effect of seismic retrofit implemented on bridges in the Los Angeles highway network", *Technical Report for California Department of Transportation, Division of Research and Innovation, CA, F/CA/SD-2005/03*.
- Shiraki, N., M. Shinozuka, J.E. Moore, S.E. Chang, H. Kameda and S. Tanaka (2007). "System risk curves: probabilistic performance scenarios for highway networks subject to earthquake damage", *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 13, No. 1, pp. 43–54.
- Song, D., J. Zhang, J. Carter, T. Field, J. Marshall, J. Polak, K. Schumecher, P. Shina-Ray, and J. Woods (2005). "On Cost-Efficiency of the global container shipping network", *Maritime Policy and Management*, Vol. 32, No. 1, 15-30.
- Song, D.W. and K.P.B. Cullinane (2001). "Asian container ports and productivity: implication for the new Millenium", *Singapore Maritime and Port Journal*, Maritime and Port Authority of Singapore, pp. 146–161.
- Tahar, R.M., and K. Hussain (2000). "Simulation and analysis for the Kelang container terminal", *Logistics Information Management*, Vol. 13, No. 1, pp. 14-20.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

- Tongzon, J. (2001). "Efficiency Measurement of Selected Australian and Other International Ports Using Data Envelopment Analysis", *Transportation Research A: Policy and Practice*, Vol. 35, No. 2, pp. 113–128.
- Torkamani, H. H., K. Bargi, R. Amirabadi and N. J. McClough (2014). "Fragility estimation and sensitivity analysis of an idealized pile-supported wharf with batter piles". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 61-62, pp. 92–106.
- Valentine, V.F. and R. Gray. (2001). "The Measurement of Port Efficiency Using Data Envelopment Analysis", *Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research*, Seoul, South Korea.
- Van Rensburg, J.J., J. He and A.J. Kleywegt (2005). "A computer simulation model of container movement by Sea", *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, ed. M.E. Kuhl, N.M. Steiger, F.B. Armstrong, and J.A. Joines, pp. 1559-1566.
- Weatherill, G., S. Esposito, I. Iervolino, P. Franchin and F. Cavalieri (2014). "Framework for seismic hazard analysis of spatially distributed systems", in: K. Pitilakis et al. (eds). *SYNER-G: Systemic seismic vulnerability and risk assessment of complex urban, utility, lifeline systems and critical facilities. Methodology and applications*. Springer, Netherlands, 2014.
- Wen, Y.K, B.E. Ellingwood and J. Bracci (2003a). "Vulnerability Function Derivation for Consequence-Based Engineering", *Mid-America Earthquake Center Report*.
- Wen, Y.K., B.R. Ellingwood, D. Veneziano and J. Bracci (2003b). "Uncertainty modelling in earthquake engineering", *MAE Center Project FD-2 Report*.
- Werner, S. and C. Taylor (2004). "Final Report: Seismic-risk-reduction planning evaluations for wharf and embankment strengthening program (WESP)", *Port of Oakland, Oakland CA*, prepared by SEISEC-NHMI for Port of Oakland, Oakland, CA.
- Werner, S.D. and C.E. Taylor (2002). "Component vulnerability modelling issues for analysis of seismic risks to transportation lifeline systems. Acceptable risk processes — lifelines and natural hazards", *Council on Disaster Reduction and Technical Council for Lifeline Earthquake Engineering*.
- Werner, S.D., C.E. Taylor and J.M. Ferritto (1999). "Seismic risk reduction planning for ports lifelines", *Proceedings of the 5th U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering- Optimizing Post-Earthquake Lifeline System Reliability*, W. M. Elliot and P. McDonough, eds., TCLEE, Monograph No. 16, ASCE, pp. 503-512.
- Zhou, Y. (2006). "Probabilistic seismic risk assessment of highway transportation network", *PhD. dissertation, University of California Irvine*.
- Κακδέρη Κ. (2011). «Εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας και διαχείριση της σεισμικής διακινδύνευσης σε σύνθετα συστήματα μεταφορών. Εφαρμογή στις λιμενικές



εγκαταστάσεις.» Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μακρής, Δ. (2008). «Οργάνωση και διαχείριση θαλάσσιων μεταφορών και λιμένων. Σημειώσεις: Λιμένας-Λιμενική επιχείρηση, Λιμενική παραγωγή, Δείκτες απόδοσης λιμένα», Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Σχεδιασμός, Οργάνωση και Διαχείριση Συστημάτων Μεταφορών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Ερευνητικό Πρόγραμμα «ΘΑΛΗΣ - ΕΜΠ»

Σύγχρονη Μεθοδολογία Εκτίμησης της Σεισμικής Τρωτότητας και Αντισεισμικής Αναβάθμισης Λιμενικών Συστημάτων

MIS : 380174.

Δράση 8:

Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της
σεισμικής τρωτότητας λιμενικών εγκαταστάσεων

Παραδοτέο 8.2:

Υπολογισμός τρωτότητας συγκεκριμένων
λιμενικών εγκαταστάσεων

Τεχνική Εκθεση

Σύνταξη:

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Σεπτέμβριος, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



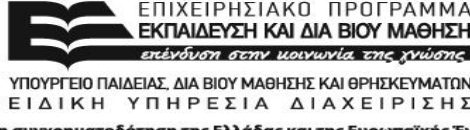
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Εισαγωγή | 2 |
| 2 | Αναλυτική μελέτη σεισμικής απόκρισης κρηπιδότοιχου – γερανού Λιμένα Θεσσαλονίκης | 4 |
| 2.1 | Περιγραφή αριθμητικού προσομοιώματος..... | 4 |
| 2.2 | Σεισμικά σενάρια | 8 |
| 2.3 | Αποτελέσματα αναλύσεων | 14 |
| 3 | Πρόταση νέων καμπυλών τρωτότητας κρηπιδότοιχων βαρύτητας και γεραμών | 17 |
| 3.1 | Προσδιορισμός των καμπυλών τρωτότητας με τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης της βλάβης | 21 |
| 3.2 | Προσδιορισμός των καμπυλών τρωτότητας με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας | 24 |
| 4 | Συμπεράσματα | 28 |
| | Παράρτημα | 31 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

1 Εισαγωγή

Οι λιμένες αποτελούν σημαντικές υποδομές μιας χώρας, που έχουν ως βασική τους λειτουργία τη μεταφορά ανθρώπων και εμπορευμάτων δια θαλάσσης. Ουσιαστικά το λιμάνι είναι ένα σύνθετο σύστημα αποτελούμενο από παράκτια λιμενικά έργα (π.χ. κρηπιδότοιχοι), εξοπλισμό μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου (π.χ. γερανοί), δίκτυα (π.χ. ηλεκτρικής ενέργειας, ύδρευσης κτλ) και άλλες υποδομές. Στην περίπτωση που κάποια συνιστώσα μιας λιμενικής εγκατάστασης υποστεί βλάβη, με αποτέλεσμα τη διακοπή ή μείωση της λειτουργικότητας της, η ομαλή λειτουργία του λιμένα τίθεται σε κίνδυνο.

Οι κρηπιδότοιχοι είναι κατασκευές παράλληλες στην ακτή που επιτρέπουν την πλαγιοδέτηση ή πρυμοδέτηση και φορτοεκφόρτωση πλοίων καθώς δημιουργούν κατακόρυφα μέτωπα που εκτείνονται σε βάθος επαρκές για την προσέγγιση πλοίων. Οι διαφορετικοί τύποι κρηπιδότοιχων διακρίνονται ανάλογα με τη γεωμετρία, το είδος της διατομής, το υλικό κατασκευής, τον τύπο θεμελίωσης, την ύπαρξη και το είδος αγκυρώσεων κ.τ.λ. (PIANC 2001).

Συχνές μορφές σεισμικής αστοχίας των παράκτιων λιμενικών έργων αποτελούν η πλευρική μετακίνηση-ολίσθηση και στροφή προς τη θάλασσα και η γενική παραμόρφωση, καθίζηση και κλίση των κρηπιδότοιχων και των διαφραγμάτων. Οι παραμένουσες κλίσεις οδηγούν σε μείωση του στατικού συντελεστή ασφαλείας (Factor of Safety-FS) μετά το σεισμό, ενώ η ολίσθηση αποτελεί περισσότερο πρόβλημα λειτουργικότητας παρά ασφάλειας της μεμονωμένης κατασκευής. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει στην περίπτωση γεραμών καθώς υπάρχει ο κίνδυνος αστοχίας λόγω διαφορικών οριζόντιων (και κατακορύφων) μετακινήσεων στη βάση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών μικρής κλίμακας σε δονητική τράπεζα για τη μελέτη των σεισμικών παραμορφώσεων κρηπιδότοιχων βαρύτητας που πραγματοποιήθηκαν από τους Ghalandarzadeh et al. (1998), οι βασικές μορφές αστοχίας που παρατηρήθηκαν περιλαμβάνουν την οριζόντια μετακίνηση (ολίσθηση) και την κλίση. Η στροφή του τοίχου είναι δύσκολο να προβλεφθεί ποσοτικά και ποιοτικά. Οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν την απόκριση της κατασκευής είναι η τυπολογία και το βάρος του τοίχου, η ένταση του σεισμικού κραδασμού, και η αντοχή / δυσκαμψία των εδαφικών υλικών της θεμελίωσης και του επιχώματος. Η ανάλυση των παράκτιων λιμενικών έργων/κατασκευών αντιστήριξης υπό σεισμικές συνθήκες αποτελεί ένα ενδιαφέρον και σύνθετο πρόβλημα, καθώς οι μηχανισμοί της αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής δεν είναι πάντοτε πλήρως κατανοητοί. Η επίδραση της δυναμικής αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής είναι καθοριστική, και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στη μελέτη της σεισμικής απόκρισης των παράκτιων λιμενικών έργων.

Οι γερανοί και γενικότερα ο εξοπλισμός και τα διάφορα συστήματα διαχείρισης φορτίου, μπορούν να θεωρηθούν ως στοιχεία εξοπλισμού μεγάλων διαστάσεων, τα οποία και χρησιμοποιούνται με σκοπό τη φόρτωση και εκφόρτωση των μεταφερόμενων φορτίων από και προς τα πλοία, καθώς και για τη μεταφορά αυτών, την προσωρινή απόθεση ή και αποθήκευση τους. Μπορούν να χαρακτηριστούν και να ταξινομηθούν σε κατηγορίες, με βάση κάποια χαρακτηριστικά τους, τα βασικότερα από τα οποία είναι ο τρόπος έδρασης και κίνησης τους στο υπόβαθρο που τα



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

υποστηρίζει, καθώς και η ύπαρξη ή όχι κάποιου αντισεισμικού σχεδιασμού (η οποία και εκφράζεται με την τοποθέτηση ή την απουσία αντίστοιχα κάποιων συστημάτων αγκύρωσης και περιορισμού των μετακινήσεων τους σε περίπτωση εκδήλωσης μιας σεισμικής διέγερσης).

Η εμπειρία από προηγούμενους σεισμούς έχει δείξει ότι οι γερανοί μπορεί να πάρουν κλίση και να ανασηκωθούν από τις σιδηροτροχιές έδρασης τους, χωρίς υποχρεωτικά να υποστούν σημαντικές βλάβες στα δομικά τους μέλη. Σε μερικές περιπτώσεις βέβαια μπορεί να μην επανέλθουν και πάλι στις σιδηροτροχιές τους, με αποτέλεσμα τον εκτροχιασμό τους. Συχνά, παρά το γεγονός ότι οι τροχοί βρίσκονται εκτός των σιδηροτροχιών, το πλαίσιο του γερανού βρίσκεται ακόμα στην ελαστική περιοχή, ενώ στην περίπτωση αυτή η αποκατάσταση των τροχών στις ράγες δεν είναι γενικά δύσκολη. Η εκδήλωση σχετικής μετακίνησης των σιδηροτροχιών του γερανού μπορεί να προκαλέσει την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων στο φορέα του γερανού και να οδηγήσει ακόμα και στην κατάρρευση για μεγάλες τιμές σχετικής μετακίνησης. Η απόκριση των γερανών κατά τη διάρκεια των σεισμικών διεγέρσεων είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς η πιθανή εκδήλωση βλάβης και η διακοπή της λειτουργίας τους μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στις έμμεσες απώλειες του λιμένα καθώς και στη διαδικασία αποκατάστασης μετά το σεισμό. Οι γερανοί εμπορευματοκιβωτίων αποτελούν ιδιαίτερα τρωτά στοιχεία μιας λιμενικής εγκατάστασης (Chang 2000b), ενώ η τρωτότητα των σύγχρονων υπερμεγεθών γερανών εμφανίζεται ιδιαίτερα αυξημένη λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους και βάρους τους (Soderberg 2007). Επιπλέον, οι διαδικασίες επιδιόρθωσης ή ακόμα και αντικατάστασης σε περίπτωση κατάρρευσης είναι αρκετά δύσκολες και χρονοβόρες. Ωστόσο παρόλη την κρισιμότητα τους οι μελέτες της σεισμικής απόκρισης των στοιχείων αυτών δεν έχουν τύχει ιδιαίτερης προσοχής. Ο καθορισμός των βασικών παραμέτρων που επιδρούν αρνητικά στη σεισμική συμπεριφορά των γερανών αποτελεί το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη σχέσεων τρωτότητας, καθώς και αποδεκτών ορίων συμπεριφοράς και σταθμών βλάβης υπό την επίδραση συγκεκριμένων επιπέδων σεισμικής διέγερσης (Κακδέρη 2011).

Στο πλαίσιο του παρόντος παραδοτέου, πραγματοποιήθηκε αναλυτική εκτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς της πιο σημαντικής τυπολογίας κρηπιδότοιχων βαρύτητας (βάθους 12.0 m) του λιμένα Θεσσαλονίκης, όπου γίνεται πλήθος φορτοεκφορτώσεων καθημερινά από γεραμούς συγκεκριμένου τύπου και διαστάσεων. Οι αναλύσεις αναφέρονται αποκλειστικά στην περίπτωση εδαφικής ταλάντωσης χωρίς τη θεώρηση φαινομένων ρευστοποίησης. Σημειώνεται ότι η αριθμητική προσομοίωση του συστήματος κρηπιδότοιχου-εδάφους έγινε από την ερευνητική ομάδα του Ε.Μ.Π. Στη συνέχεια υπολογίσθηκαν αναλυτικές σχέσεις τρωτότητας τόσο για το κρηπίδωμα όσο και για το γερανό που εδράζεται σε αυτό, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα τυπολογικά χαρακτηριστικά του τοίχου, τον τύπο του εδάφους θεμελίωσης και τα χαρακτηριστικά της σεισμικής διέγερσης. Οι προτεινόμενες καμπύλες τρωτότητας για εδαφική ταλάντωση παρέχουν μια πιο ακριβή εκτίμηση της αναμενόμενης σεισμικής απόκρισης των κατασκευών αυτών για συνήθεις ισχυρές σεισμικές διεγέρσεις και συνθήκες θεμελίωσης, με στόχο την ενίσχυση της σεισμικής αξιοπιστίας και ασφάλειας των λιμενικών εγκαταστάσεων.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

2 Αναλυτική μελέτη σεισμικής απόκρισης κρηπιδότοιχου – γερανού Λιμένα Θεσσαλονίκης

Η σεισμική απόκριση των παράκτιων λιμενικών έργων καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες. Παλαιότερα σεισμικά γεγονότα έχουν καταδείξει ότι η σεισμική συμπεριφορά των λιμενικών εγκαταστάσεων, όπως των κρηπιδότοιχων, επηρεάζεται σημαντικά από τις ιδιότητες των εδαφικών υλικών.

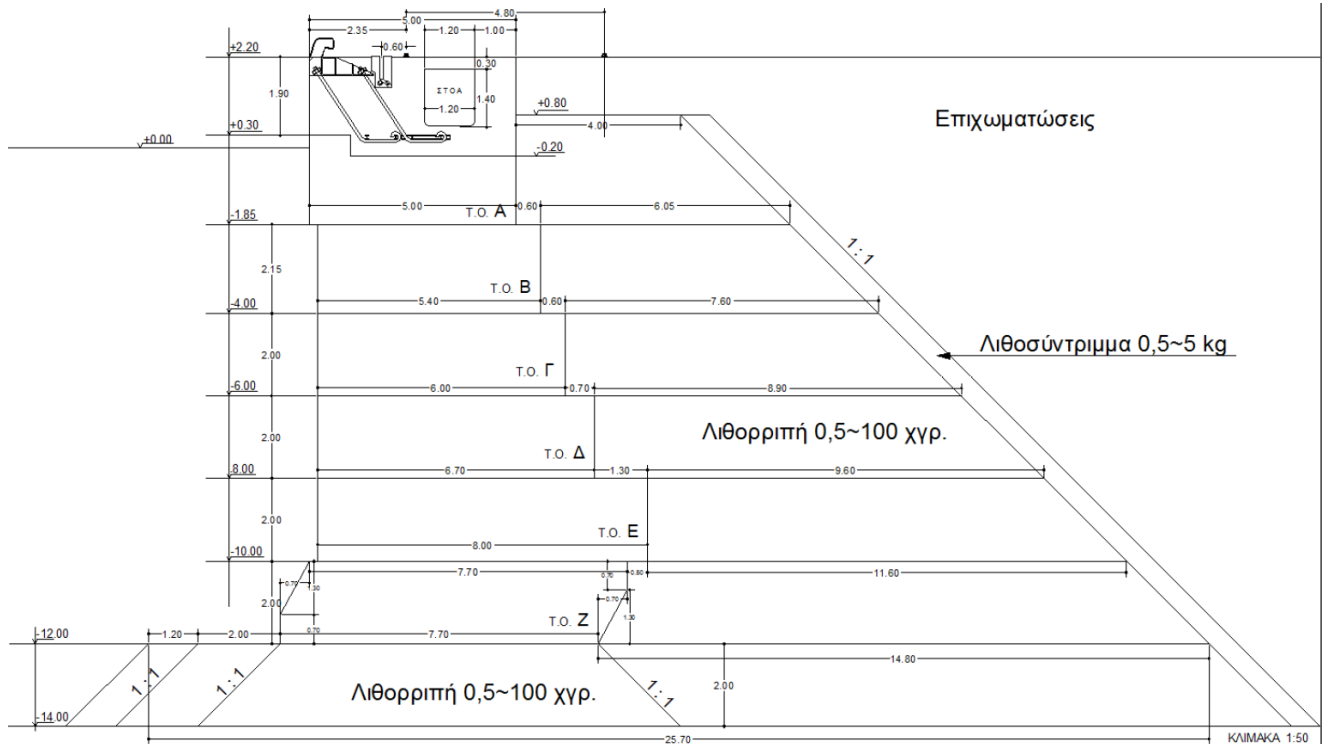
Η πόλη της Θεσσαλονίκης και η ευρύτερη περιοχή μελέτης, ανήκει γεωλογικά στις ζώνες Περιοδοπική κατά κύριο λόγο και Σερβομακεδονική. Το υπόβαθρο καλύπτουν νεογενείς με τεταρτογενείς αποθέσεις. Το σεισμικό υπόβαθρο της περιοχής Θεσσαλονίκης πρακτικά τοποθετείται περί την διαχωριστική γραμμή των πλειο-πλειστοκαινικών αποθέσεων και του μεταμορφωμένου υποβάθρου που αποτελείται από γνεύσιους, επιγνεύσιους, και πρασινοσχιστόλιθους (SRMLIFE, 2003-2007). Η περιοχή του λιμανιού είναι ένα μέρος αυτού του γενικού γεωτεχνικού υποβάθρου.

Ο προσδιορισμός των αντιπροσωπευτικών εδαφικών προσομοιωμάτων του λιμανιού με τα όρια και τη διακύμανση των τιμών των φυσικών και των μηχανικών χαρακτηριστικών τους βασίστηκε στα αποτελέσματα όλων των διαθέσιμων γεωτεχνικών και γεωλογικών ερευνών/μελετών (γεωτρήσεων, SPT και CPT), γεωφυσικών διασκοπήσεων (Cross-hole, Down-hole, μετρήσεις μικροθορύβου) και ειδικών εργαστηριακών δοκιμών και αναλύσεων 1D και 2D τομών σε διαφορετικές θέσεις του λιμανιού που έχουν πραγματοποιηθεί από το Εργαστήριο Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων του Α.Π.Θ., τα οποία συγκεντρώθηκαν από την ερευνητική ομάδα του Α.Π.Θ. σε συνεργασία με την τεχνική υπηρεσία του Οργανισμού Λιμένα Θεσσαλονίκης (ΟΛΘ). Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά του εδάφους είναι γνωστά στη θέση που είχε πραγματοποιήσει γεωτεχνική-γεωφυσική έρευνα (γεωτρήσεις, Down-hole, εργαστηριακές δοκιμές) το ΙΤΣΑΚ/ΟΑΣΠ (Εκκλησία λιμανιού Θεσσαλονίκης) μέχρι το βάθος των 80,0 m, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για την κατανόηση του γεωτεχνικού υποβάθρου του λιμανιού και τη διεξαγωγή της μελέτης.

Ακολουθεί περιγραφή της τυπολογίας του κρηπιδότοιχου, της θέσης και του φορτίου γερανού που ασκείται σε αυτόν, της εδαφικής στήλης, των σεισμικών κινήσεων εισαγωγής, καθώς και του αριθμητικού προσομοιώματος που χρησιμοποιήθηκε για τις αναλύσεις. Στη συνέχεια δίνονται τα αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων σε όρους μέγιστων οριζόντιων επιταχύνσεων και μέγιστων και παραμενουσών οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων στην κορυφή και βάση του τοίχου, στις θέσεις των πόδων του γερανού καθώς και σε συνθήκες ελεύθερου πεδίου. Ακόμη δίνονται η μέγιστη και παραμένουσα στροφή του κρηπιδότοιχου.

2.1 Περιγραφή αριθμητικού προσομοιώματος

Επιλέχθηκε ένας αντιπροσωπευτικός κρηπιδότοιχος βαρύτητας από σκυρόδεμα, βάθους 12.0 m, της έκτης προβλήτας του λιμένα Θεσσαλονίκης. Η τυπική διατομή τους απεικονίζεται στο Σχήμα 1. Πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές δυναμικές αναλύσεις για επιλεγμένες σεισμικές κινήσεις, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση εδάφους – κατασκευής. Επίσης λήφθηκε υπόψη η θέση και το φορτίο που μεταφέρεται από το γερανό στον κρηπιδότοιχο.



Σχήμα 1 Τυπική διατομή κρηπιδότοιχων βάθους 12.0 m λιμανιού Θεσσαλονίκης (πηγή: ΟΛΘ).

Για τη δυναμική ανάλυση του κρηπιδότοιχου καταστρώθηκε δι-διάστατο προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων με το λογισμικό ABAQUS (2012) το οποίο ανταποκρίνεται στην υιοθετηθείσα διατομή του εδάφους (βλ. Παραδοτέο 3.1, Ε.Μ.Π). Το τυπικό προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων απεικονίζεται στο Σχήμα 2α. Χρησιμοποιήθηκαν τετρακομβικά στοιχεία επίπεδης παραμόρφωσης. Το εδαφικό προσομοίωμα λαμβάνει υπόψη την στρωματογραφία του εδάφους (Σχήμα 2β) που λήφθηκε όπως περιγράφηκε παραπάνω, καθώς και την απομείωση της διατμητικής του αντοχής με την παραμόρφωση και την μη γραμμικότητα του υλικού λόγω ανακύκλισης. Το τελευταίο επιτυγχάνεται με χρήση κατάλληλης υπορουτίνας, προκειμένου να αποδοθούν οι δοθείσες καμπύλες G-γ και ξ-γ του Σχήματος 2β, οι οποίες προέκυψαν από εκτεταμένες εργαστηριακές δοκιμές (Pitilakis and Anastasiadis, 1998).

Για την προσομοίωση του κρηπιδότοιχου χρησιμοποιήθηκαν επίσης τετρακομβικά στοιχεία επίπεδης παραμόρφωσης. Σημειώνεται ότι έχει προσομοιωθεί η ακριβής γεωμετρία των τεχνητών ογκολίθων. Επιπλέον, με χρήση κατάλληλων στοιχείων διεπιφάνειας προσομοιώθηκε η δυνατότητα ολίσθησης τόσο μεταξύ των τεχνητών ογκολίθων, όσο και του κρηπιδότοιχου επί της εξυγιαντικής στρώσης.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



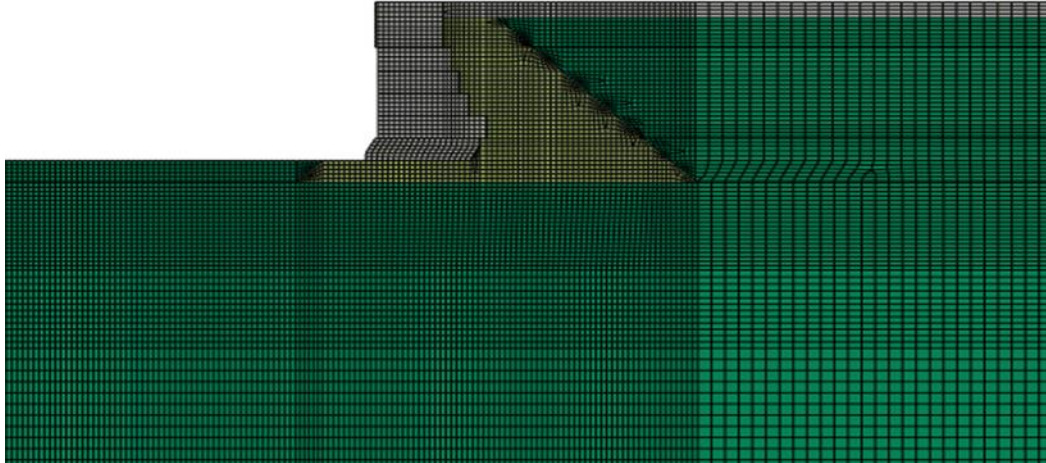
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



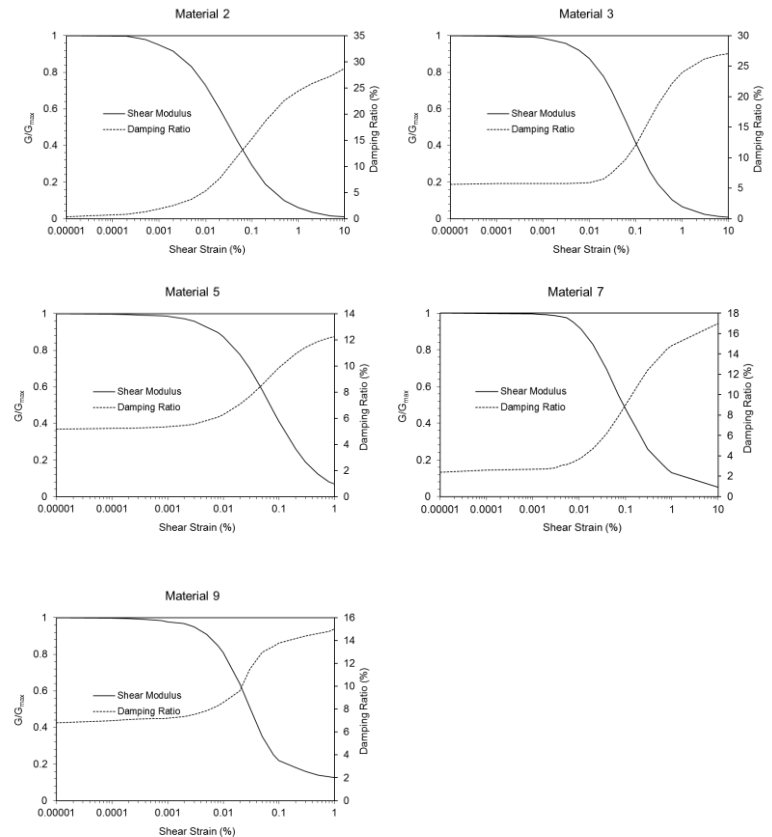
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

(α)



(β)

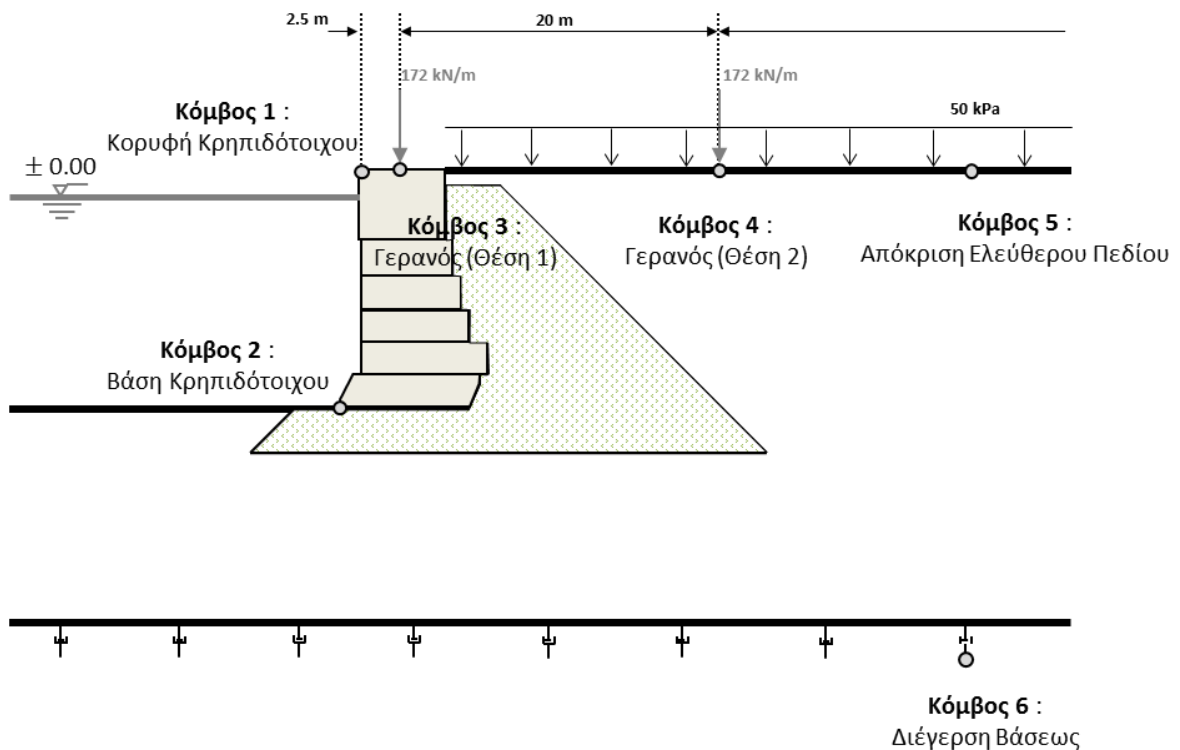
| Depth (m) | USCS | G-γ-D curves | Vs (m/s) | c (kPa) | φ (°) | γ _m (kN/m) |
|-----------|-------|--------------|----------|---------|-------|-----------------------|
| 1.0 | SM | Mat 2 | 300 | 5 | 27 | 18 |
| 1.5 | | | 270 | | | |
| 2.0 | | | 240 | | | |
| 4.0 | CH/CL | Mat 7 | 224 | 15 | 20 | 16.34 |
| 5.0 | | | 211 | | | |
| 6.0 | | | 198 | | | |
| 9.0 | | | 121 | | | |
| 11.0 | SM | | 115 | 9.0 | 38.92 | 19.75 |
| 12.0 | CL | | 118 | 23.0 | 22.75 | 20.55 |
| 14.0 | | | 154 | | | |
| 16.0 | SC | Mat 5 | 274 | 15 | 38 | 20.80 |
| 20.0 | | | 274 | | | |
| 24.0 | | | 274 | | | |
| 26.5 | CL | | 299 | 26.0 | 24.03 | 20.09 |
| 31.0 | SC | Mat 3 | 375 | 15 | 38 | 20.80 |
| 32.0 | | | 404 | | | |
| 36.0 | | | 479 | | | |
| 42.0 | CL | | 558 | 31.0 | 25.03 | 19.82 |
| 44.0 | SC | | 339 | 15 | 38 | 20.80 |
| 45.0 | CL | Mat 9 | 299.5 | 26.0 | 24.29 | 20.81 |
| 46.0 | | | 260 | | | |
| 48.0 | | | 244 | 48.0 | 19.84 | 20.68 |
| 50.0 | | | 281 | | | |
| 53.0 | CL | | 453 | 85.0 | 13.15 | 19.97 |
| 55.5 | | 400 | | | | |



Σχήμα 2 (α) Προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων (β) Τυπικό εδαφικό προφίλ στην θέση της σημειούμενης τομής A-A' και βασικές παράμετροι δυναμικού σχεδιασμού.

Οι τιμές των κινητών φορτίων που φέρει ο προβλήτας κατά τον σεισμικό συνδυασμό δράσεων, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς (δηλ. με την εφαρμογή του συντελεστή 0.5 επί των χαρακτηριστικών τιμών), έχουν ως ακολούθως (Σχήμα 3) :

- Κατακόρυφο φορτίο γερανού 172 kN/m επί δύο ραγών απεχουσών 20m μεταξύ τους.
- Ομοιόμορφο φορτίο λειτουργίας στο επίχωμα 50 kPa.



Σχήμα 3 Σκαριφηματική απόδοση του προσομοιώματος και φορτία σχεδιασμού [συντελεστής 0.5 επί των χαρακτηριστικών τιμών του φορτίου των γερανών και των κινητών].

Προκειμένου να αποδοθεί ρεαλιστικά η απόκριση του ελεύθερου πεδίου, τοποθετήθηκαν κινηματικές δεσμεύσεις στα πλευρικά σύνορα του καννάβου. Οι χρονοϊστορίες των επιταχύνσεων επιβλήθηκαν μέσω αποσβεστήρων, οι οποίοι τοποθετήθηκαν στην βάση (σε βάθος -54m από την ΜΣΘ) για την ορθή προσομοίωση της απόσβεσης ακτινοβολίας. Η ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων (V_s) του εδαφικού υποβάθρου λήφθηκε ίση με 600 m/s.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

2.2 Σεισμικά σενάρια

Η σεισμική απόκριση των παράκτιων λιμενικών έργων επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά της σεισμικής διέγερσης στην περιοχή μελέτης. Ο υψηλός υδροφόρος ορίζοντας στις παράκτιες περιοχές και τα ιδιαίτερα δυναμικά χαρακτηριστικά των κατά κανόνα τεχνητών επιχωματώσεων στη βάση και στην επίχωση των κατασκευών αντιστήριξης αποτελούν βασικές παραμέτρους για την απόκριση των κατασκευών αυτών υπό την επίδραση της εδαφικής ταλάντωσης. Ο τελικός προσδιορισμός της επιβαλλόμενης σεισμικής φόρτισης και των χαρακτηριστικών αυτής, για διαφορετικά σεισμικά σενάρια περιγράφεται παρακάτω.

Θεωρήθηκαν δύο σεισμικά σενάρια. Ένα κανονικό σενάριο σχεδιασμού κι ένα ακραίο (χαμηλής πιθανότητας να συμβεί - υψηλών όμως συνεπειών) σενάριο, τα οποία αντιστοιχούν σε περιόδους επαναφοράς $T_m=475$ χρόνια και $T_m=4975$ χρόνια αντίστοιχα. Οι τιμές μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης PGA σε συνθήκες επιφανειακής έξαρσης βραχύδους υποβάθρου που υπολογίστηκαν από το προτεινόμενο φάσμα ελαστικής απόκρισης ομοιόμορφης επικινδυνότητας (Uniform Hazard Spectrum - UHS) για την περιοχή του λιμανιού της Θεσσαλονίκης, έτσι όπως προέκυψε από πρόσφατα αποτελέσματα του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος SHARE (Giardini et al., 2013) είναι 0,29g και 0,81g για το σενάριο σχεδιασμού και το ακραίο σενάριο αντίστοιχα. Για την εκτέλεση των αριθμητικών αναλύσεων, επιλέγονται μια σειρά από χρονοϊστορίες επιτάχυνσης ως αντιπροσωπευτικές των δύο σεναρίων.

Για το σενάριο των 475 χρόνων επιλέχθηκαν 10 επιταχυνσιογραφήματα (Πίνακας 1) από την Ευρωπαϊκή Βάση Δεδομένων (European Strong-Motion Database). Αυτά αναφέρονται σε βράχο ή δύσκαμπτα εδάφη (έδαφος B σύμφωνα με EC8) με μέγεθος σεισμικής ροπής (M_w) και επικεντρική απόσταση (R) που κυμαίνεται μεταξύ $5.0 < M_w < 7.2$ και $0 < R < 45 \text{ km}$ αντίστοιχα. Το βασικό κριτήριο επιλογής είναι ο μέσος όρος των φασμάτων επιτάχυνσης του συνόλου των επιταχυνσιογραφημάτων να έχει τη μικρότερη δυνατή τιμή της παραμέτρου «έψιλον» (Baker και Cornell, 2005) στο εύρος περιόδων $0.00 < T < 2.00 \text{ sec}$ σε σχέση με το αντίστοιχο ομοιόμορφο φάσμα ελαστικής απόκρισης (UHS) που προκύπτει από το SHARE.

Η διαδικασία βελτιστοποίησης πραγματοποιείται με χρήση του λογισμικού REXEL (Iervolino et al., 2010) που επιτρέπει την επιλογή επιταχυνσιογραφημάτων που κατά μέσο όρο είναι συμβατά με το φάσμα αναφοράς. Το Σχήμα 4 απεικονίζει το μέσο ελαστικό φάσμα απόκρισης των καταγραφών σε σύγκριση με το αντίστοιχο φάσμα που υιοθετήθηκε από το SHARE για το σενάριο των 475 χρόνων. Όπως φαίνεται επιτεύχθηκε ικανοποιητική αντιστοιχία μεταξύ των δύο φασμάτων.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

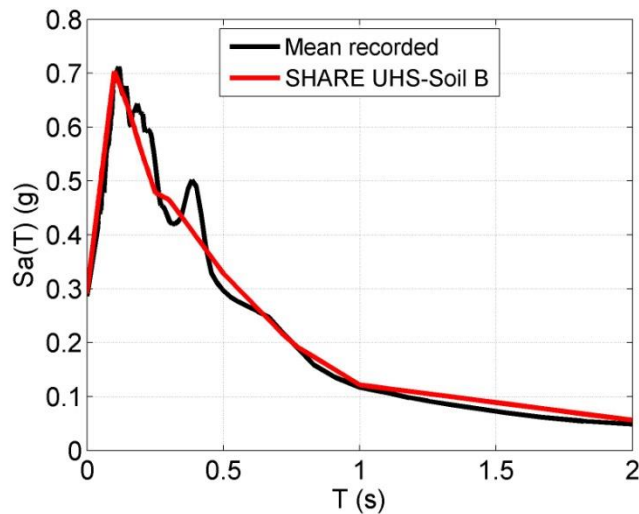


ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Πίνακας 1 Κατάλογος σεισμικών καταγραφών που χρησιμοποιήθηκαν για τις δυναμικές αναλύσεις για το σενάριο των 475 χρόνων

| Όνομα σεισμού | Ημερομηνία | Mw | Επικεντρική απόσταση [km] | PGA [m/s ²] | EC8 Κατάταξη εδάφους |
|-------------------------|------------|-----|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| Ano Liosia | 7/9/1999 | 6 | 16 | 2.60 | B |
| Dursunbey | 18/7/1979 | 5.3 | 6 | 2.82 | B |
| Montenegro (aftershock) | - | 6.2 | 17 | 2.70 | B |
| Friuli (aftershock) | 15/9/1976 | 6 | 14 | 2.32 | B |
| Duzce 1 | 12/11/1999 | 7.2 | 11 | 1.09 | B |
| South Iceland | 17/6/2000 | 6.5 | 17 | 3.92 | B |
| Umbria Marche | 26/9/1997 | 6 | 11 | 4.54 | B |
| Patras | 14/7/1993 | 5.6 | 9 | 3.34 | B |
| Kefallinia island | 23/1/1992 | 5.6 | 14 | 2.22 | B |
| Kozani (aftershock) | 19/5/1995 | 5.2 | 16 | 2.60 | B |



Σχήμα 4 Μέσο ελαστικό φάσμα απόκρισης των κινήσεων εισαγωγής σε σύγκριση με το φάσμα ελαστικής απόκριση ομοιόμορφης επικινδυνότητας (UHS) που υιοθετήθηκε από το SHARE (σε συνθήκες επιφανειακής έξαρσης βραχώδους υποβάθρου) για το σενάριο των 475χρόνων.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

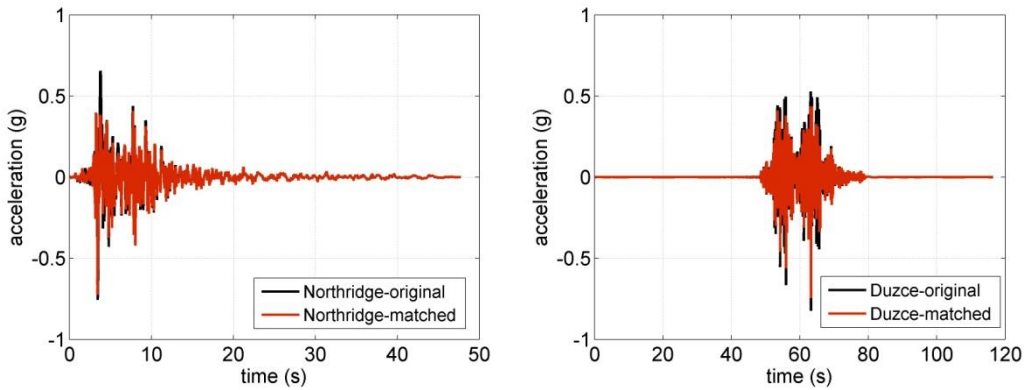
Για το σενάριο των 4975 χρόνων η επιλογή πραγματικών καταγραφών, το φάσμα των οποίων να πλησιάζει το φάσμα που προέκυψε από το ερευνητικό πρόγραμμα SHARE (Giardini et al., 2013), ήταν αδύνατη καθώς δεν υπήρχαν διαθέσιμες καταγραφές. Συνεπώς, πραγματικές καταγραφές τροποποιήθηκαν κατάλληλα τόσο σε όρους πλάτους, όσο και στο συχνοτικό περιεχόμενο, ώστε το φάσμα απόκρισης τους να πλησιάζει το προτεινόμενο φάσματα απόκρισης για την περιοχή του λιμανιού Θεσσαλονίκης.

Τα συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του κώδικα SeismoMatch (Seismosoft, 2013) μέσω του οποίου τα επιταχυνσιογραφήματα τροποποιούνται ώστε το φάσμα τους να ταιριάζει με ένα συγκεκριμένο φάσμα απόκρισης, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο που προτάθηκε από τους Abrahamson (1992) και Hancock et al. (2006). Πρόσφατα οι Grant and Diaferia (2012) έχουν δείξει ότι αυτό το ταίριασμα στο φάσμα δε φαίνεται να οδηγεί σε σημαντική μεροληψία στα αποτελέσματα των αναλύσεων.

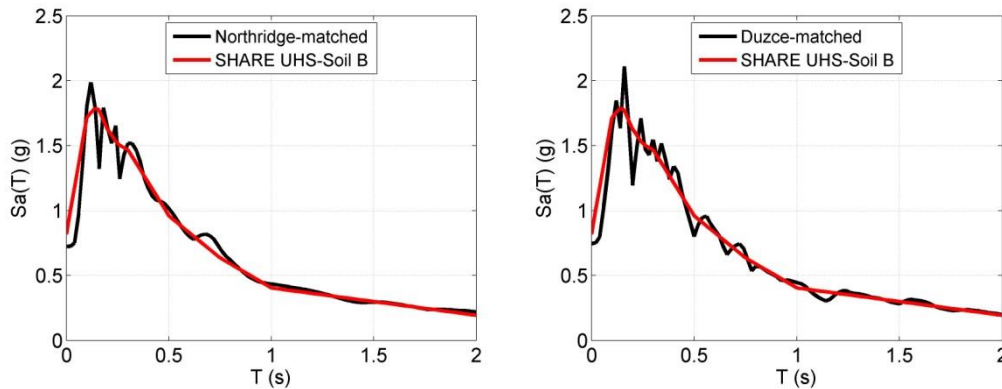
Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τις δύο πραγματικές καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν για να παραχθούν τα συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα που συγκλίνουν στο φάσμα του SHARE. Αυτές αναφέρονται σε δύσκαμπτα εδάφη (έδαφος Β σύμφωνα με EC8) με $M_w > 6.5$, $0 < R < 60 \text{ km}$ and $PGA > 0.4g$. Στο Σχήμα 5 φαίνονται οι αρχικές και οι παραγόμενες συνθετικές χρονοϊστορίες επιτάχυνσης. Τελικά, στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται το φάσμα «στόχος» του SHARE (φάσμα ελαστικής απόκρισης ομοιόμορφης επικινδυνότητας- έδαφος Β για το σενάριο των 4975 χρόνων) και τα αντίστοιχα παραγόμενα φάσματα για τις δύο καταγραφές.

Πίνακας 2 Κατάλογος σεισμικών καταγραφών που χρησιμοποιήθηκαν για τις δυναμικές αναλύσεις για το σενάριο των 4975 χρόνων

| Όνομα σεισμού | Ημερομηνία | M_w | Επικεντρική απόσταση [km] | PGA [m/s^2] | EC8 Κατάταξη εδάφους |
|---------------|------------|-------|---------------------------|-----------------|----------------------|
| Northridge-01 | 17/01/1994 | 6.69 | 8.5 | 7.36 | B |
| Duzce | 12/11/1999 | 7.1 | 27 | 8.97 | B |



Σχήμα 5 Αρχικές και συνθετικές χρονοϊστορίες επιτάχυνσης για τις δύο καταγραφές που θεωρήθηκαν για το σενάριο των 4975 χρόνων



Σχήμα 6 Το φάσμα «στόχος» του SHARE για το σενάριο των 4975 χρόνων και τα αντίστοιχα παραγόμενα φάσματα για τις δύο καταγραφές

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες και τα φάσματα επιταχύνσεων των εξετασθέντων διεγέρσεων. Στο πρώτο μέρος των αναλύσεων επιβλήθηκαν οι πραγματικές διεγέρσεις, ενώ στο δεύτερο μέρος πραγματοποιήθηκε κλιμάκωση των χρονοϊστοριών (PGA : 0.1g, 0.2g, 0.3g, 0.4g, 0.5g, 0.6g, 0.8g και 1g. Η φόρτιση της ανωδομής προκύπτει από τα διαδιδόμενα προς την επιφάνεια σεισμικά κύματα. Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα ισοϋψών πλαστικών παραμορφώσεων και οριζόντιων μετατοπίσεων του τυπικού κρηπιδότοιχου απεικονίζονται στο Σχήμα 8. Παρατηρείται ότι κρίσιμος μηχανισμός αστοχίας είναι η στροφή του κρηπιδότοιχου λόγω πλαστικοποίησης του έμπροσθέν του εδάφους.



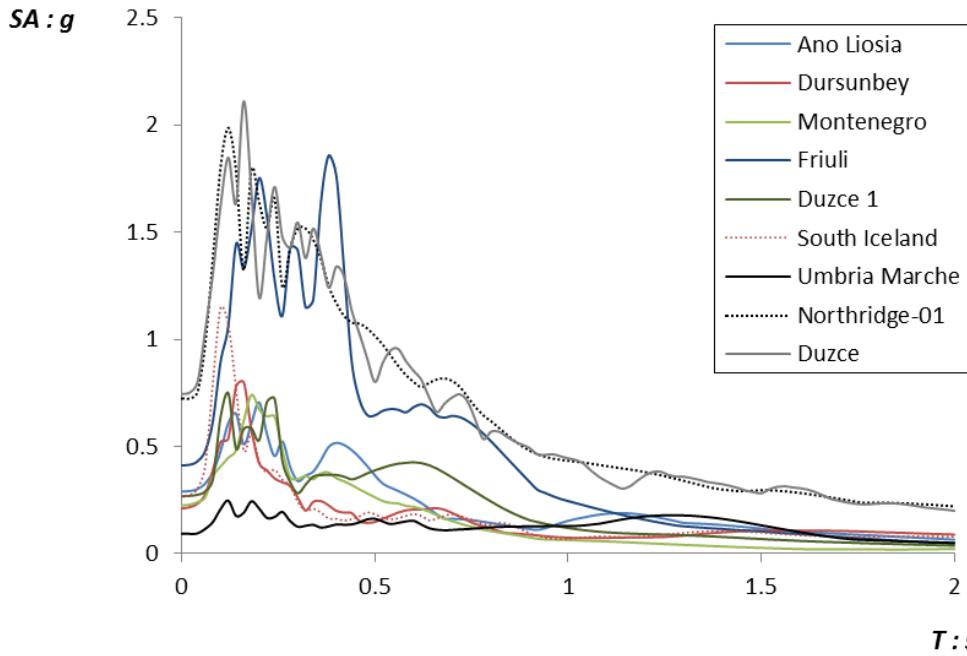
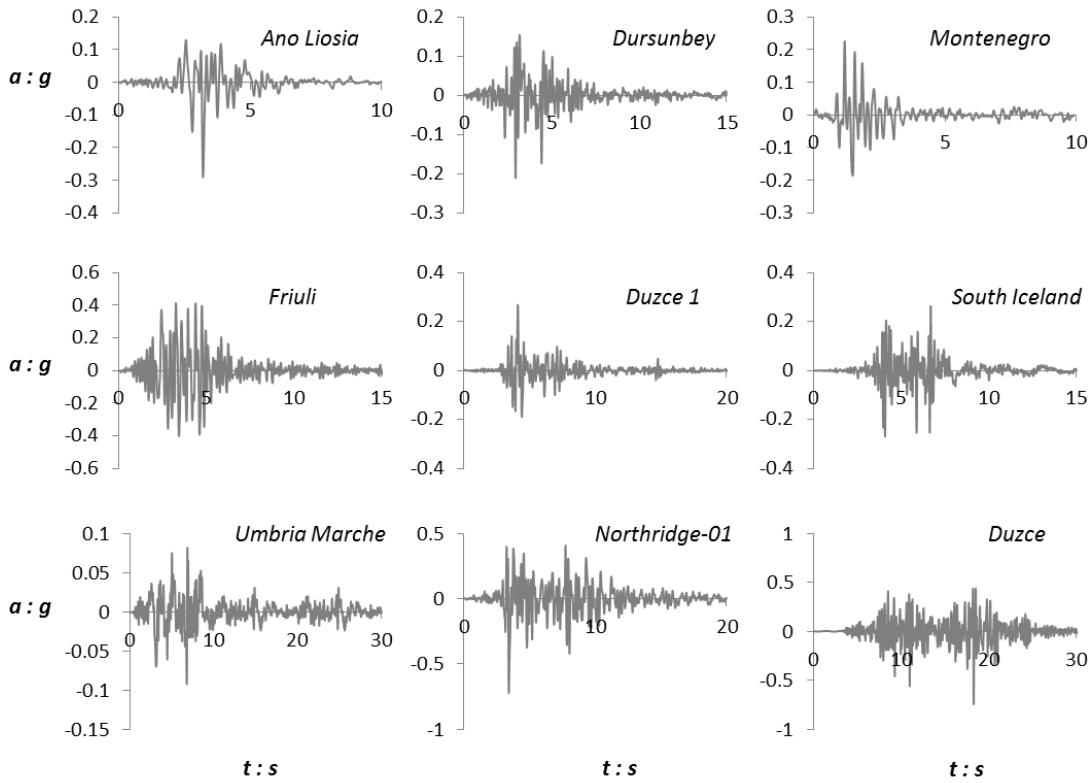
Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Σχήμα 7 Επιταχυνσιογραφήματα και φάσματα επιταχύνσεων των διεγέρσεων που χρησιμοποιήθηκαν.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



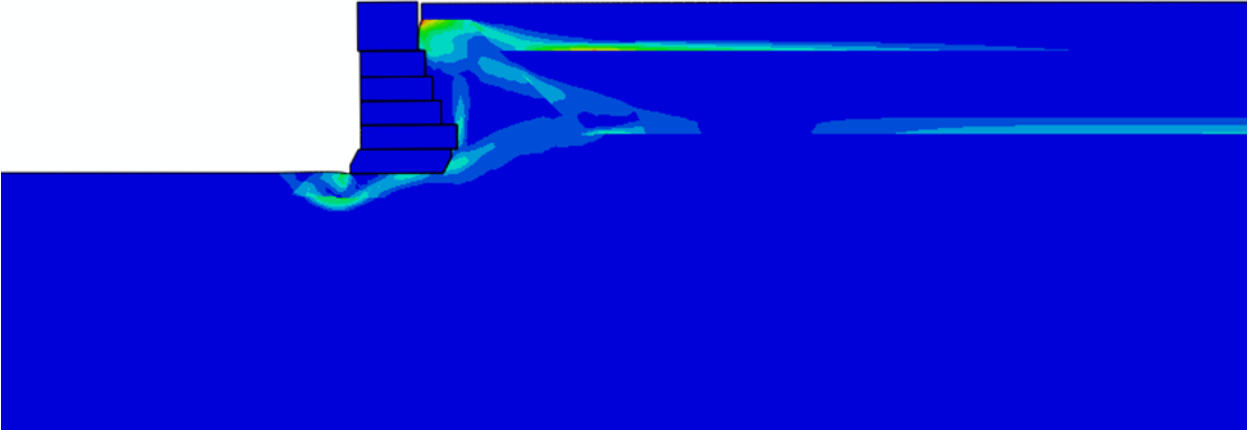
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

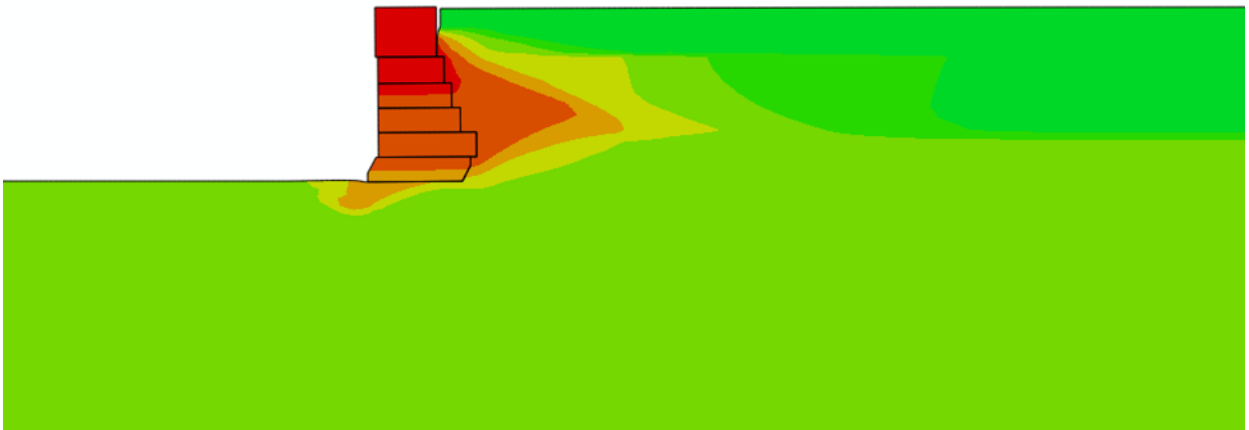


ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

(α)



(β)



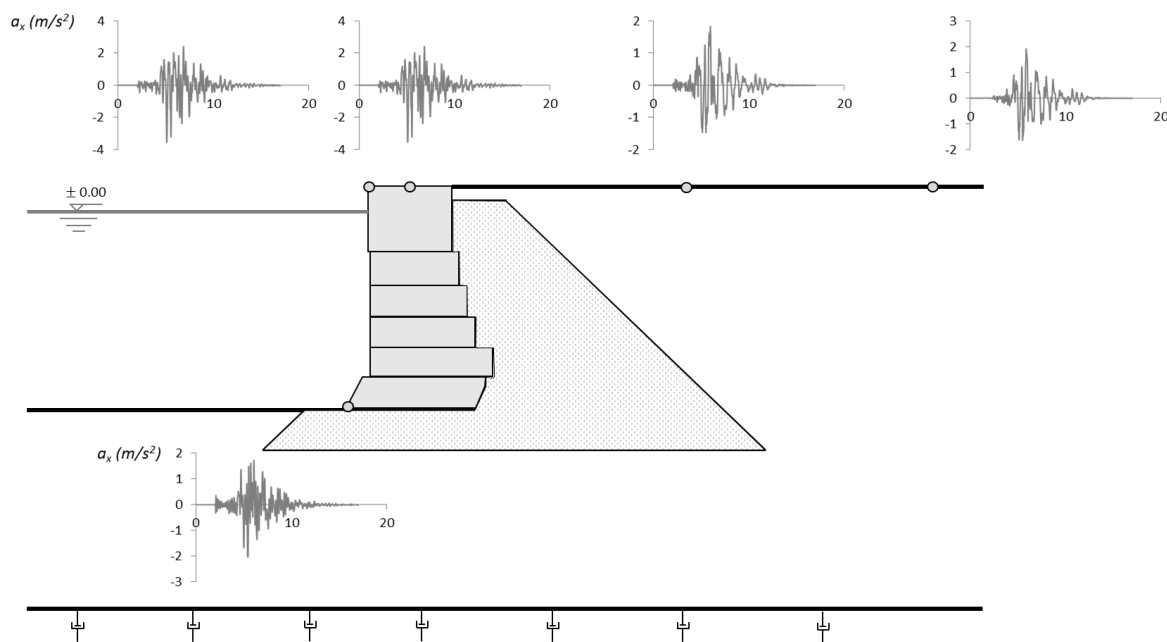
Σχήμα 8 Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα δυναμικής ανάλυσης : (α) κατανομή πλαστικών παραμορφώσεων (β) κατανομή οριζόντιων μετακινήσεων.

2.3 Αποτελέσματα αναλύσεων

Τα αποτελέσματα των δυναμικών αναλύσεων παρατίθενται στο παράρτημα (Πίνακας 7 - Πίνακας 42). Στο πρώτο μέρος των αναλύσεων επιβλήθηκαν οι πραγματικές διεγέρσεις, ενώ στο δεύτερο μέρος πραγματοποιήθηκε κλιμάκωση των χρονοϊστοριών (PGA : 0.1g, 0.2g, 0.3g, 0.4g, 0.5g, 0.6g, 0.8g και 1g).

- Αναπτυσσόμενες Επιταχύνσεις

Για κάθε περίπτωση υπολογίζονται οι χρονοϊστορίες των επιταχύνσεων στην επιφάνεια του επιχώματος (ελεύθερο πεδίο), στη βάση και στην κορυφή του κρηπιδότοιχου, καθώς και στις θέσεις του γερανού (θέση 1 και 2). Ενδεικτικά στο Σχήμα 9 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων όταν η διέγερση της βάσης είναι το επιταχυνσιογράφημα «Ανο Λιοσία». Το πλέον κρίσιμο για την περίπτωση του κρηπιδώματος μέγεθος είναι οι σεισμικώς επιβαλλόμενες μόνιμες μετατοπίσεις και στροφές των τεχνητών ογκολίθων οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

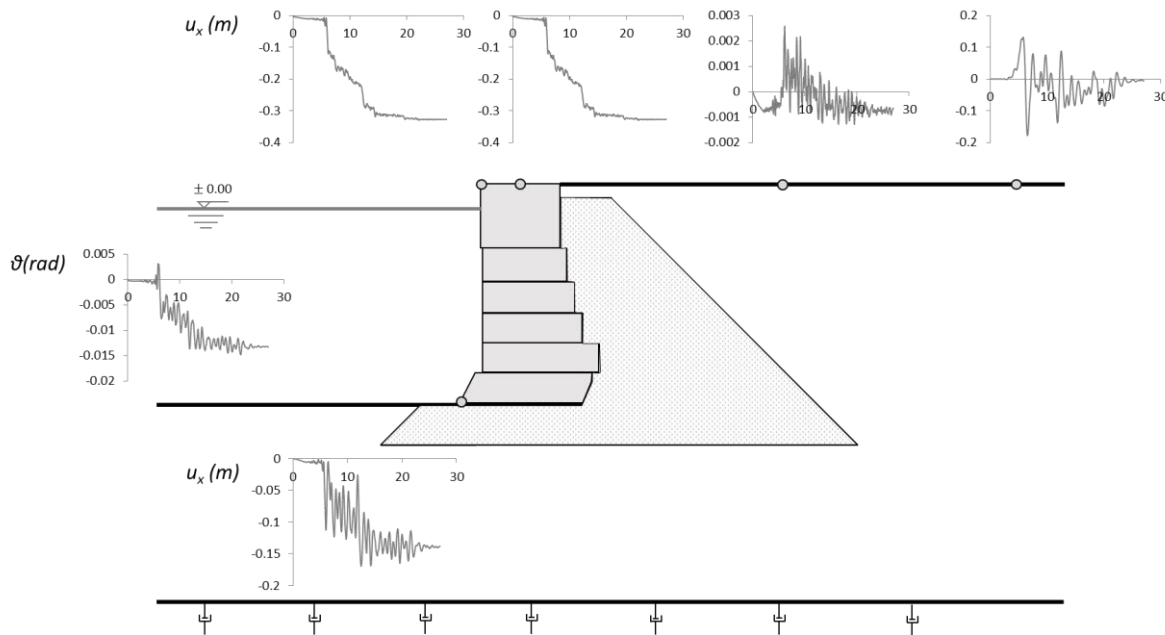


Σχήμα 9 Χρονοϊστορίες οριζόντιων επιταχύνσεων όταν η διέγερση της βάσης είναι το επιταχυνσιογράφημα «Ανο Λιοσία»

- Αναπτυσσόμενες Μετακινήσεις και Στροφές

Για κάθε περίπτωση υπολογίζονται οι χρονοϊστορίες των αναπτυσσόμενων μετακινήσεων σε χαρακτηριστικούς κόμβους του προσομοιώματος (στην επιφάνεια του επιχώματος «ελεύθερο πεδίο», στη βάση και στην κορυφή του κρηπιδότοιχου, καθώς και στις θέσεις 1 και 2 των πόδων του γερανού), οι θέσεις των οποίων απεικονίζονται στο Σχήμα 3, για τις σεισμικές διεγέρσεις που υιοθετήθηκαν. Ενδεικτικά στο Σχήμα 10 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες οριζόντιων μετατοπίσεων

και η χρονοϊστορία στροφής όταν ως διέγερση βάσης επιβάλλεται το επιταχυνσιογράφημα «Northridge 01». Για την κάθε περίπτωση επιπλέον υπολογίζονται οι χρονοϊστορίες μετακίνησης και στροφής του κρηπιδότοιχου. Εν γένει κρισιμότερο σε όρους αναπτυσσόμενων μετακινήσεων είναι το επιταχυνσιογράφημα «Northridge 01».



Σχήμα 10 Χρονοϊστορίες οριζόντιων μετατοπίσεων και χρονοϊστορία στροφής όταν η διέγερση της βάσης είναι το επιταχυνσιογράφημα «Northridge 01»

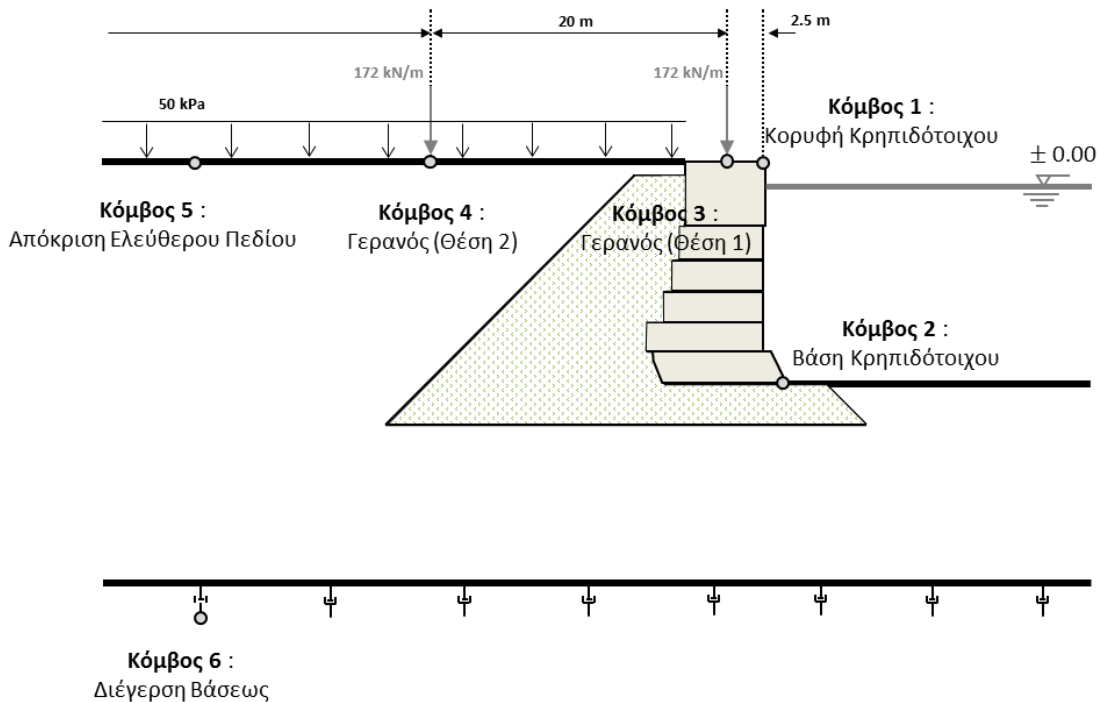
Σημειώνεται ότι ως μετακίνηση ορίζεται η σχετική μετακίνηση του τοίχου ως προς το ελεύθερο πεδίο (δηλ. ως προς την μετακίνηση του κόμβου του εδάφους σε μεγάλη απόσταση ανάντη του έργου, η οποία δεν επηρεάζεται από την παρουσία της κατασκευής). Η τελική τιμή της μετακίνησης ορίζεται ως παραμένουσα μετακίνηση (μετά το πέρας της σεισμικής φόρτισης), ενώ η μέγιστη μετακίνηση λαμβάνει χώρα κατά την διάρκεια της ταλάντωσης, έχει δε στιγμιαία διάρκεια. Η ολίσθηση μεταξύ των τεχνητών ογκολίθων καθώς και η ολίσθηση του τοίχου επί της εξυγιαντικής στρώσης είναι σε όλες τις περιπτώσεις πρακτικώς μηδενικές. Συνεπώς, η μετακίνηση του τοίχου οφείλεται στην στροφή του λόγω των σεισμικώς επιβαλλόμενων ωθήσεων και συνοδεύεται από εδαφική αστοχία στον πόδα του και επομένως μερική καθίζησή του.

Η μέγιστη τιμή της οριζόντιας μετακίνησης του τοίχου στην κορυφή κυμαίνεται από 1.8 cm έως 33 cm και στην βάση του από 1.5 cm έως 17.7 cm, η δε καθίζηση αυτού (κυρίως λόγω στροφής κατά την διάρκεια του σεισμού) κυμαίνεται επίσης από 2.0 cm έως 16.0 cm. Όπως αναμενόταν, η οριζόντια μετακίνηση δεν είναι συγκεντρωμένη στην διεπιφάνεια τοίχου-ανακουφιστικού πρίσματος, αλλά κατανέμεται μειούμενη προς τα ανάντη του κρηπιδότοιχου εμφανίζοντας προφανώς μέγιστο στην θέση του κρηπιδότοιχου.

Ως στροφή του κρηπιδότοιχου ορίζεται ο λόγος της οριζόντιας διαφορικής μετακίνησης μεταξύ της κορυφής και της βάσης του προς το ύψος του. Κατά την διάρκεια της σεισμικής φόρτισης η κατασκευή υπόκειται σε λικνιστική ταλάντωση ως στερεό σώμα. Η τελικά τιμή της στροφής ορίζεται ως παραμένουσα στροφή μετά το πέρας της σεισμικής φόρτισης, ενώ η μέγιστη στροφή λαμβάνει χώρα κατά την διάρκεια της ταλάντωσης, έχει δε στιγμιαία διάρκεια. Η μέγιστη στροφή του τοίχου κυμαίνεται μεταξύ 0.06° έως 0.85° .

Στο παράρτημα (Πίνακας 7 έως Πίνακας 42) παρουσιάζονται στους χαρακτηριστικούς κόμβους του προσομοιώματος οι μέγιστες τιμές των αναπτυσσόμενων επιταχύνσεων, οι μέγιστες και παραμένουσες τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων μετατοπίσεων, καθώς και η μέγιστη και παραμένουσα στροφή του τοίχου για όλες τις περιπτώσεις κλιμάκωσης των σεισμικών διεγέρσεων.

Τέλος, τα ως άνω αποτελέσματα παρατίθενται και για τον αριστερό τοίχο (Σχήμα 11), προκειμένου να ληφθεί υπόψιν η φορά της επιβαλλόμενης διέγερσης, αφού όπως αναμενόταν το πρόβλημα είναι εντόνως μη συμμετρικό, παρά την γεωμετρική του συμμετρία (Πίνακας 43 έως Πίνακας 78).



Σχήμα 11 Σκαριφηματική απόδοση του προσομοιώματος για τον αριστερό τοίχο και φορτία σχεδιασμού.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

3 Πρόταση νέων καμπυλών τρωτότητας κρηπιδότοιχων βαρύτητας και γερανών

Μέσω των καμπυλών τρωτότητας εκτιμάται ο βαθμός βλάβης που θα υποστεί ένα στοιχείο για ένα δεδομένο επίπεδο σεισμικής έντασης. Οι καμπύλες τρωτότητας αποτελούν κρίσιμα στοιχεία για την αποτίμηση των πιθανών απωλειών και άμεσων επιπτώσεων μιας κατασκευής ή υποδομής υπό την επίδραση μιας σεισμικής διέγερσης. Παρέχουν την πιθανότητα για το υπό κίνδυνο στοιχείο να βρίσκεται ή να υπερβαίνει μία δεδομένη στάθμη βλάβης υπό την επίδραση μιας σεισμικής διέγερσης ορισμένου επιπέδου έντασης, που εκφράζεται συνήθως σε όρους μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (Peak Ground Acceleration–PGA), μέγιστης εδαφικής ταχύτητας (Peak Ground Velocity–PGV), φασματικής επιτάχυνσης (Spectral Acceleration– S_a), φασματικής μετακίνησης (Spectral Displacement– S_d), ή μόνιμης εδαφικής μετακίνησης (Permanent Ground Displacement–PGD) και παραμόρφωσης. Οι στάθμες βλάβης περιγράφονται με διαφορετικές παραμέτρους και διαβαθμίσεις, όπως για παράδειγμα με βάση την ένταση των βλαβών (π.χ. μικρές, μέτριες, εκτενείς, καθολικές) ή τη δυνατότητα επιδιόρθωσης (π.χ. μηδενικές / μικρές, επισκευάσιμες, σημαντικές βλάβες). Για τον ορισμό των σταθμών βλάβης, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν οι εξής παράμετροι:

- Εμπειρικές παράμετροι (στατιστική επεξεργασία παρατηρήσεων μετά από σεισμούς).
- Γνώση ειδικών (με βάση την έμπειρη κρίση).
- Οικονομικά κριτήρια (π.χ. κόστος επισκευής).
- Δείκτες λειτουργικότητας ή εξυπηρετικότητας (ικανότητα λειτουργίας μετά την εκδήλωση ενός σεισμικού γεγονότος).

Για το ίδιο επίπεδο σεισμικής διέγερσης θα έχουμε διαφορετική απόκριση με βάση τον τύπο του εκτιθέμενου σε κίνδυνο στοιχείου. Ομάδες στοιχείων με παρόμοια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά αναμένεται να παρουσιάσουν παρόμοια συμπεριφορά υπό την επίδραση μιας σεισμικής διέγερσης με δεδομένη ένταση. Για το λόγο αυτό, προτείνονται διαφορετικές καμπύλες τρωτότητας ανάλογα με την τυπολογία της κάθε συνιστώσας.

Οι καμπύλες σεισμικής τρωτότητας είναι δυνατόν να εξαχθούν από πειραματικά αποτελέσματα (πειραματικές καμπύλες τρωτότητας), στοιχεία ερευνών και καταγραφής πραγματικών στοιχείων βλαβών (ή μη) μετά την εκδήλωση σεισμικών διεγέρσεων (εμπειρικές καμπύλες τρωτότητας), την έμπειρη κρίση ειδικών (με βάση την έμπειρη κρίση), αριθμητικές προσομοιώσεις (αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας) ή συνδυασμό αυτών (υβριδικές καμπύλες τρωτότητας).



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Στάθμες βλάβης κρηπιδότοιχων

Ο Πίνακας 3 περιγράφει τις στάθμες βλάβης για παράκτια λιμενικά έργα όπως προτείνεται στη μεθοδολογία HAZUS (NIBS 2004).

Πίνακας 3 Περιγραφή σταθμών βλάβης για παράκτια λιμενικά έργα (HAZUS, NIBS 2004)

| Στάθμες βλάβης | Περιγραφή |
|------------------|--|
| Μικρές βλάβες | Μικρή μόνιμη εδαφική καθίζηση με συνέπεια λίγοι πάσσαλοι (των αποβάθρων και κρηπιδότοιχων) να παρουσιάζουν βλάβες. Ρηγματώσεις στην επιφάνεια των αποβάθρων. Πιθανότητα απαίτησης επισκευών. |
| Μέτριες βλάβες | Σημαντική μόνιμη εδαφική μετακίνηση με μερικούς πασσάλους (των αποβάθρων και κρηπιδότοιχων) να παρουσιάζουν βλάβες και αστοχίες. |
| Εκτενείς βλάβες | Αστοχία πολλών πασσάλων, μεγάλου εύρους ολίσθησης των αποβάθρων και σημαντική μόνιμη εδαφική μετακίνηση που προκαλεί εκτεταμένες ρηγματώσεις των επιστρώσεων. |
| Καθολικές βλάβες | Αστοχία των περισσότερων πασσάλων λόγω σημαντικής μόνιμης εδαφικής μετακίνησης. Εκτεταμένες βλάβες σε όλη την έκταση των λιμενικών εγκαταστάσεων. |

Στο παρόν παραδοτέο για τον ορισμό των σταθμών βλάβης του κρηπιδότοιχου εισάγεται ένας δείκτης βλάβης (damage index – DI) που περιγράφει το λόγο της παραμένουσας οριζόντιας με φορά προς τη θάλασσα μετακίνησης στην κορυφή του τοίχου (u_x) προς το ύψος του κρηπιδότοιχου (H). Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Ναυτιλίας (PIANC 2001), ορίζονται τέσσερις στάθμες βλάβης, ως εξής:

- Μικρές βλάβες: DI < 1.5%.
- Μέτριες βλάβες: DI = 1.5 – 5.0 %.
- Εκτενείς βλάβες: DI = 5.0 – 10.0 %.
- Καθολικές βλάβες: DI > 10.0 %.

Τα παραπάνω όρια τιμών για το δείκτη βλάβης (DI) υιοθετούνται και εδώ για τον ορισμό των τεσσάρων σταθμών βλάβης. Για την παραγωγή των καμπυλών τρωτότητας χρησιμοποιούνται οι διάμεσες τιμές μεταξύ των παραπάνω ορίων του δείκτη βλάβης:

- Μικρές βλάβες: DI = 0.75 %.
- Μέτριες βλάβες: DI = 3.25 %.
- Εκτενείς βλάβες: DI = 7.50 %.
- Καθολικές βλάβες: DI = 12.50 %.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Στάθμες βλάβης γερανών

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία HAZUS (NIBS 2004) ορίζονται τρεις στάθμες για μικρές, μέτριες, και εκτενείς / καθολικές βλάβες με βάση το βαθμό της δομικής βλάβης (Πίνακας 4).

Πίνακας 4 Περιγραφή σταθμών βλάβης για παράκτια γερανούς / εξοπλισμό φορτο-εκφόρτωσης για μη ακυρωμένο εξοπλισμό/εξοπλισμό σε ράγες (HAZUS, NIBS 2004)

| Στάθμες βλάβης | Περιγραφή |
|-----------------------------|--|
| Μικρές βλάβες | Μικρός εκτροχιασμός ή απώλεια της ευθυγράμμισης χωρίς καμία σημαντική δομική βλάβη στη βάση των σιδηροτροχιών. Μικρές επιδιορθώσεις και ρυθμίσεις μπορεί να είναι απαραίτητες για την αποκατάσταση της λειτουργικότητας του γερανού. |
| Μέτριες βλάβες | Εκτροχιασμός λόγω διαφορετικής μετακίνησης των παράλληλων τροχιών. Απαιτούνται επιδιορθώσεις των τροχιών και μερικές επιδιορθώσεις των δομικών μελών. |
| Εκτενείς / Καθολικές βλάβες | Σημαντικές βλάβες στον εξοπλισμό. Πιθανότατα ανατροπής ή πλήρους εκτροχιασμού των γερανών. Απαιτείται αντικατάσταση των δομικών μελών. |

Στο παρόν παραδοτέο για τον ορισμό των σταθμών βλάβης του γερανού εισάγεται ένας δείκτης βλάβης (DI) που περιγράφει τη συνισταμένη (οριζόντια και κατακόρυφη) παραμένουσα διαφορική μετακίνηση των πόδων του γερανού (du). Σύμφωνα με την έμπειρη κρίση ειδικών της τεχνικής υπηρεσίας του λιμανιού ορίζονται τρεις στάθμες βλάβης με βάση το βαθμό της παραμένουσας διαφορικής μετακίνησης (du), ως εξής:

- Μικρές βλάβες: DI=1.0 – 5.0 cm.
- Μέτριες βλάβες: DI=5.0 – 20.0 cm.
- Εκτενείς βλάβες: DI=20.0 – 50.0 cm.

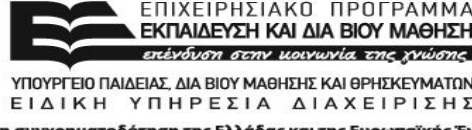
Τα παραπάνω όρια τιμών για το δείκτη βλάβης (DI) υιοθετούνται και εδώ για τον ορισμό των τριών σταθμών βλάβης. Για την παραγωγή των καμπυλών τρωτότητας χρησιμοποιούνται οι διάμεσες τιμές μεταξύ των ορίων του δείκτη βλάβης που προτείνονται παραπάνω.

- Μικρές βλάβες: DI=3.0 cm.
- Μέτριες βλάβες: DI=12.5 cm.
- Εκτενείς βλάβες: DI=35.0 cm.

Για την εκτίμηση των καμπυλών τρωτότητας χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων στις οποίες η σεισμική διέγερση της πραγματικής καταγραφής κλιμακώθηκε έως +/- 0.3g. Η επιλογή αυτή έγινε προκειμένου η επικλιμάκια αναγωγή των καταγραφών να είναι κατά το δυνατόν πιο ρεαλιστική. Στη συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή των παραγόμενων καμπυλών τρωτότητας για κρηπιδότοιχους και γερανούς του λιμανιού Θεσσαλονίκης με δύο διαφορετικές μεθοδολογίες.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Ορισμός καμπυλών τρωτότητας

Οι καμπύλες τρωτότητας υπολογίζονται από αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής, που δίνουν την πιθανότητα υπέρβασης συγκεκριμένων σταθμών βλάβης. Αναπαρίστανται ως κανονικές λογαριθμικές αθροιστικές συναρτήσεις δύο παραμέτρων (διάμεσος τιμή και τυπική απόκλιση β) η γενική μορφή των εξισώσεων αυτών δίνεται από τη σχέση:

$$P[DS_i/IM] = \Phi\left(\frac{\ln(IM) - \ln(\overline{IM}_i)}{\beta}\right) \quad (1)$$

όπου:

- $\Phi(\cdot)$: η συνάρτηση της τυπικής κανονικής σωρευτικής κατανομής
- IM : η παράμετρος σεισμικής έντασης εκφρασμένη σε όρους μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (Peak Ground Acceleration–PGA) στην επιφάνεια του εδάφους
- \overline{IM}_i : η διάμεσος τιμή της παραμέτρου σεισμικής έντασης (IM) που απαιτείται για να προκληθεί η DS_i στάθμη βλάβης (διάμεσος τιμή κατωφλίου στη στάθμη βλάβης i)
- β : η τυπική απόκλιση του φυσικού λογαρίθμου της παραπάνω παραμέτρου για τη στάθμη βλάβης DS_i , που περιγράφει το σύνολο των αβεβαιοτήτων, οι οποίες υπεισέρχονται στον υπολογισμό της τρωτότητας
- DS_i : η στάθμη βλάβης

Η τυπική απόκλιση β , αντιπροσωπεύει το σύνολο των αβεβαιοτήτων στην κάθε καμπύλη τρωτότητας και συνήθως συνδέεται με τρεις παράγοντες (NIBS, 2004; Karros et al., 2006), τον προσδιορισμό των σταθμών βλάβης (β_{DS}), την αντοχή και απόκριση της κατασκευής (β_C), τη σεισμική απαίτηση και χαρακτηριστικά της επιβαλλόμενης σεισμικής φόρτισης (β_D). Θεωρείται ότι οι τρεις αυτοί παράγοντες αβεβαιοτήτων, είναι στατιστικώς ανεξάρτητοι, οπότε η β δίνεται από τη σχέση:

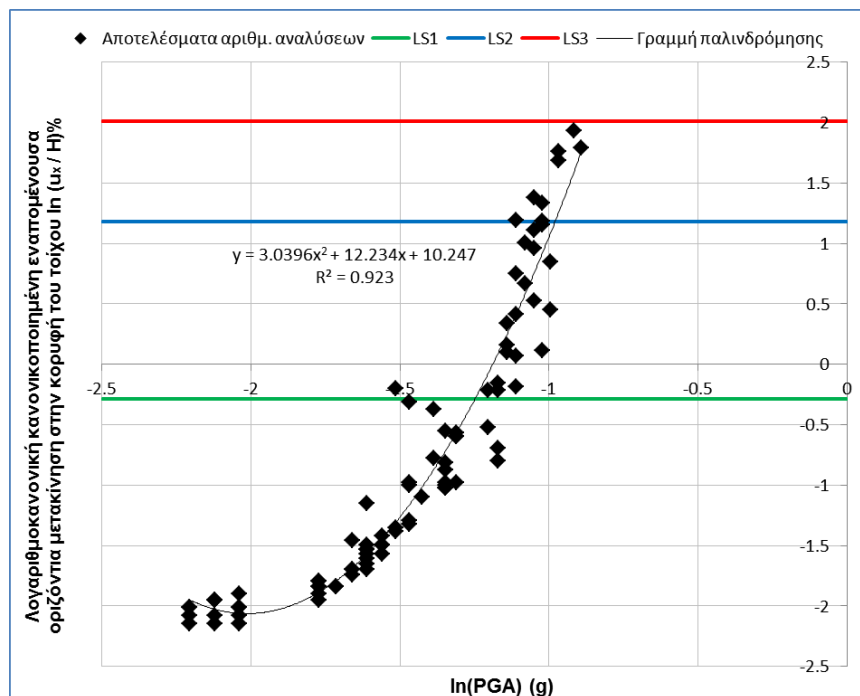
$$\beta_{tot} = \sqrt{\beta_{DS}^2 + \beta_C^2 + \beta_D^2} \quad (2)$$

3.1 Προσδιορισμός των καμπυλών τρωτότητας με τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης της βλάβης

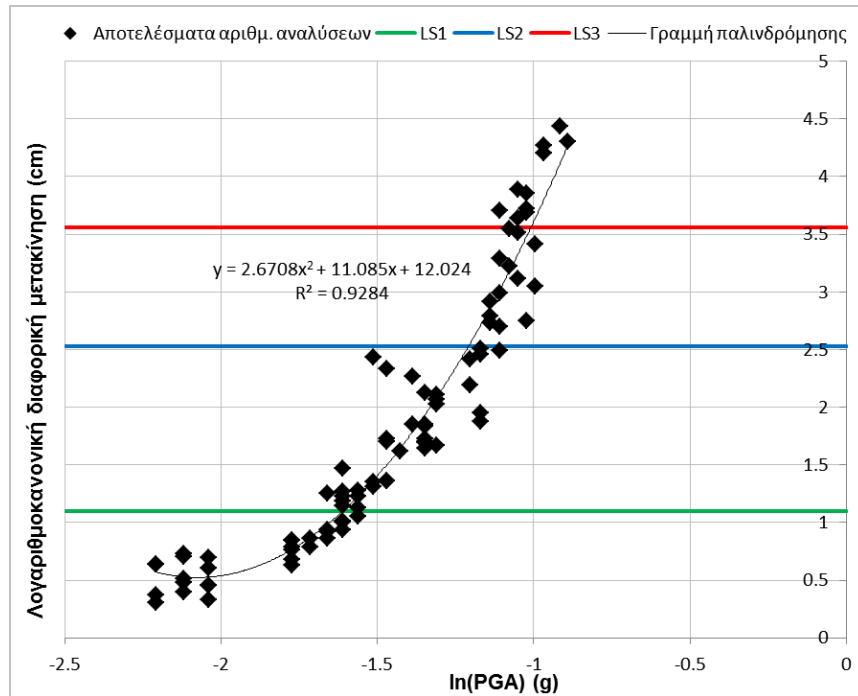
Σύμφωνα με τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης της βλάβης, οι παράμετροι των καμπυλών τρωτότητας καθορίζονται με βάση τη σχέση μεταξύ του δείκτη βλάβης ($DI=u_x/H$) και της σεισμικής έντασης σε όρους PGA σε συνθήκες ελεύθερου πεδίου. Η σχέση αυτή περιγράφεται μέσω του διαγράμματος εξέλιξης της βλάβης (Σχήμα 12, Σχήμα 13). Από τη σχέση αυτή καθορίζονται οι διάμεσες τιμές κατωφλίου της PGA που αντιστοιχούν στο μέσο δείκτη βλάβης για κάθε στάθμη βλάβης.

Η αβεβαιότητα στον ορισμό των σταθμών βλάβης λαμβάνεται ίση με 0,4 (όπως στο HAZUS για τα κτίρια). Η αβεβαιότητα για την κατασκευαστική αντοχή λαμβάνεται ίση με 0,25 (όπως στο HAZUS για τα κτίρια που είναι σχεδιασμένα με κάποιο κανονισμό). Τέλος η αβεβαιότητα που σχετίζεται με τη σεισμική απαίτηση, λαμβάνεται υπόψη από τη διακύμανση των λογαριθμικών των αριθμητικών αποτελεσμάτων (μέτρο σεισμικής έντασης – δείκτη βλάβης) σε σχέση με τη καμπύλη παλινδρόμησης.

Για την περίπτωση του κρηπιδότοιχου που εξετάζεται ορίζονται μόνο μικρές, μέτριες και εκτενείς βλάβες λόγω εδαφικής ταλάντωσης καθώς τα αποτελέσματα των αναλύσεων δε φτάνουν μέχρι την τελευταία στάθμη βλάβης (καθολικές βλάβες) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 12.



Σχήμα 12 Σχέσεις μέτρου σεισμικής έντασης – δείκτη βλάβης (κρηπιδότοιχου) και καμπύλη παλινδρόμησης

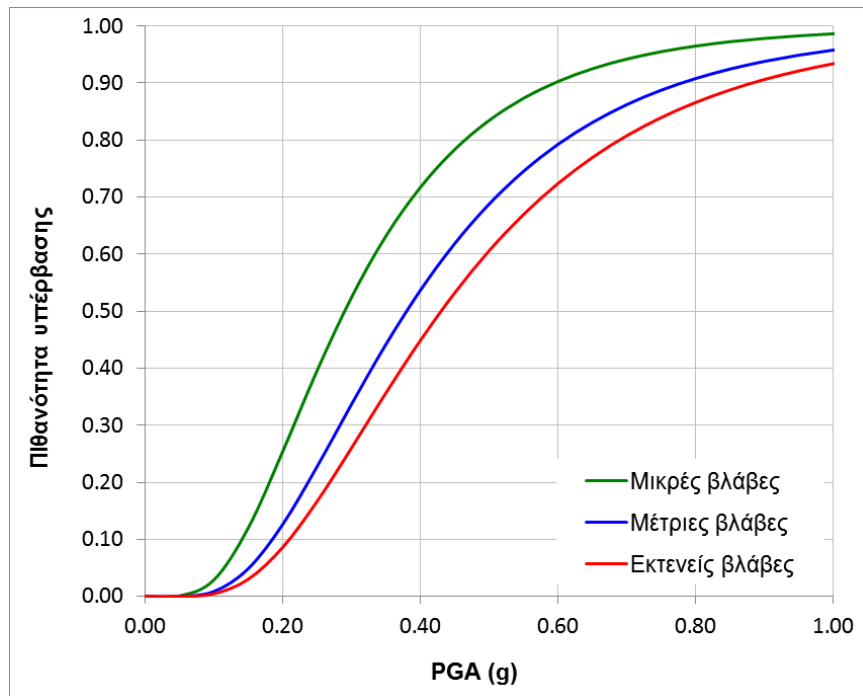


Σχήμα 13 Σχέσεις μέτρου σεισμικής έντασης – δείκτη βλάβης (γερανού) και καμπύλη παλινδρόμησης

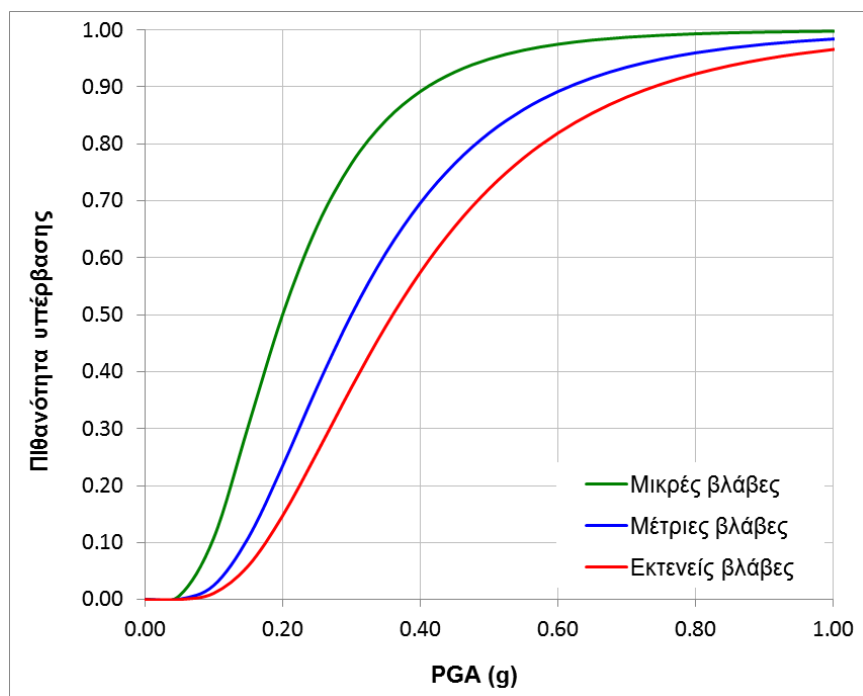
Στο Σχήμα 14 και Σχήμα 15 απεικονίζονται οι παραγόμενες καμπύλες τρωτότητας για τον κρηπιδότοιχο και το γερανό αντίστοιχα, που δίνουν την πιθανότητα υπέρβασης των σταθμών βλάβης για ορισμένη τιμή της PGA στο ελεύθερο πεδίο ($DS > DS_i / PGA$). Ο Πίνακας 5 δίνει τις παραμέτρους των καμπυλών.

Πίνακας 5 Παράμετροι αναλυτικών καμπυλών τρωτότητας με βάση τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης της βλάβης για κρηπιδότοιχους και γεραμούς στο λιμάνι Θεσσαλονίκης

| Βλάβες | Μικρές | Μέτριες | Εκτενείς |
|----------------------|--------|---------|----------|
| Κρηπιδότοιχοι | | | |
| Διάμεσος τιμή (g) | 0.29 | 0.38 | 0.43 |
| β | 0.56 | 0.56 | 0.56 |
| Γερανοί | | | |
| Διάμεσος τιμή (g) | 0.20 | 0.30 | 0.36 |
| β | 0.56 | 0.56 | 0.56 |



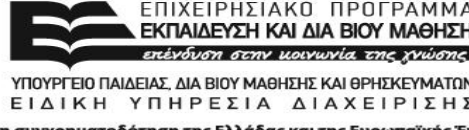
Σχήμα 14 Καμπύλες τρωτότητας με βάση τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης της βλάβης για κρηπιδότοιχους στο λιμάνι Θεσσαλονίκης



Σχήμα 15 Καμπύλες τρωτότητας με βάση τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης της βλάβης για γερανούς στο λιμάνι Θεσσαλονίκης



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

3.2 Προσδιορισμός των καμπυλών τρωτότητας με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας

Σύμφωνα με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας, η βέλτιστη εκτίμηση των παραμέτρων μιας κατανομής είναι εκείνη που μεγιστοποιεί την πιθανότητα εμφάνισης των δειγμάτων που έχουν αρχικά παρατηρηθεί (π.χ. Saxena et al. 2000, Shinozuka et al. 2000, 2003, Kim and Feng 2003, Straub and Der Kiureghian 2008). Στην παρούσα μελέτη, το δείγμα περιλαμβάνει τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων, δηλαδή της παραμέτρου σεισμικής έντασης (PGA στην ελεύθερη επιφάνεια) και της αντίστοιχης τιμής του δείκτη βλάβης, D/H (%) για τους κρηπιδοτόιχους και d (m) για τους γερανούς. Υπολογίζονται η διάμεσος τιμή (c) και η τυπική απόκλιση (β) της συνάρτησης λογαριθμοκανονικής κατανομής για τις οποίες μεγιστοποιείται η πιθανότητα εμφάνισης των αποτελεσμάτων της αριθμητικής ανάλυσης. Η γενική μορφή της συνάρτησης πιθανοφάνειας είναι η εξής:

$$L = \prod_{i=1}^N [F(a_i)]^{x_i} [1 - F(a_i)]^{1-x_i} \quad (3)$$

όπου:

- $F(\cdot)$: περιγράφει την καμπύλη τρωτότητας για μια συγκεκριμένη στάθμη βλάβης,
- a_i : η τιμή PGA στην επιφάνεια του εδάφους,
- x_i : αντιπροσωπεύει την τυχαία μεταβλητή Bernoulli, παίρνει τιμές $x_i = 1$ ή 0 ανάλογα εάν η κατασκευή υφίσταται ή όχι τη δεδομένη στάθμη βλάβης υπό την $PGA = a_i$ και την δεδομένη κεντρική τιμή του δείκτη βλάβης (DI)
- N : ο συνολικός αριθμός των προσομοιώσεων.

Θεωρώντας λογαριθμοκανονική κατανομή, η $F(a)$ περιγράφεται με τη σχέση:

$$F(a) = \Phi \left[\frac{\ln \left(\frac{a}{c} \right)}{\beta} \right] \quad (4)$$

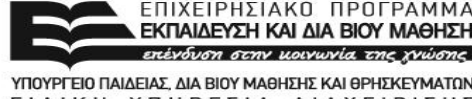
όπου: a είναι η PGA στην ελεύθερη επιφάνεια και $\Phi[\cdot]$ η συνάρτηση της κανονικής κατανομής.

Οι δύο παράμετροι c και β υπολογίζονται έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί ο όρος $\ln L$ (και επομένως η συνάρτηση πιθανοφάνειας L), ικανοποιώντας την εξίσωση:

$$\frac{d \ln L}{dc} = \frac{d \ln L}{d\beta} = 0 \quad (5)$$



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η λογική των καμπυλών τρωτότητας υπαγορεύει ότι για μια δεδομένη τιμή της σεισμικής έντασης, η πιθανότητα για την εμφάνιση μιας μικρότερης στάθμης βλάβης είναι πάντοτε μεγαλύτερη από αυτή μιας σοβαρότερης βλάβης. Προκειμένου να μην τέμνονται οι καμπύλες τρωτότητας και να τηρείται η παραπάνω συνθήκη, υπολογίζεται μια κοινή τυπική απόκλιση, μέσω της εκτίμησης μέγιστης πιθανοφάνειας. Παρακάτω περιγράφεται η συνάρτηση πιθανοφάνειας, όπως διαμορφώνεται σε αυτή την περίπτωση για τέσσερις στάθμες βλάβης (ds_1 : καθόλου, ds_2 : μικρές, ds_3 : μέτριες, ds_4 : εκτενείς) (Shinozuka et al. 2003). Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν τρεις καμπύλες τρωτότητας, ενώ η $P_{ik}=P(a_i, ds_k)$ δηλώνει την πιθανότητα ότι η κατασκευή θα βρίσκεται στη στάθμη βλάβης ds_k , όταν υπόκειται σε σεισμική ένταση με $PGA=a_i$.

Όλες οι καμπύλες περιγράφονται από συναρτήσεις λογαριθμοκανονικής κατανομής δύο παραμέτρων:

$$F_j(a_i; c_j, \beta_j) = \Phi \left[\frac{\ln \left(\frac{a_i}{c_j} \right)}{\beta_j} \right] \quad (6)$$

όπου: c_j και β_j είναι η διάμεσος τιμή και η λογαριθμοκανονική τυπική απόκλιση των καμπυλών τρωτότητας για $j=1$ (\geq μικρές), 2 (\geq μέτριες), 3 (\geq εκτενείς βλάβες).

Με βάση αυτόν τον ορισμό και θεωρώντας κοινή β για όλες τις καμπύλες, προκύπτει:

$$P_{i1} = P(a_i, ds_1) = 1 - F_1(a_i, c_1, \beta),$$

$$P_{i2} = P(a_i, ds_2) = F_1(a_i, c_1, \beta) - F_2(a_i, c_2, \beta)$$

$$P_{i3} = P(a_i, ds_3) = F_2(a_i, c_2, \beta) - F_3(a_i, c_3, \beta)$$

$$P_{i4} = P(a_i, ds_4) = F_3(a_i, c_3, \beta)$$

Η συνάρτηση μέγιστης πιθανοφάνειας εκφράζεται ως εξής:

$$L(c_1, c_2, c_3, \beta) = \prod_{i=1}^n \prod_{k=1}^4 P_k(a_i; ds_k)^{x_{ik}} \quad (7)$$

όπου: $x_{ik}=1$, εάν η στάθμη βλάβης ds_k παρατηρείται στην i προσομοίωση για $a=a_i$, αλλιώς $x_{ik}=0$.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω αβεβαιότητες.

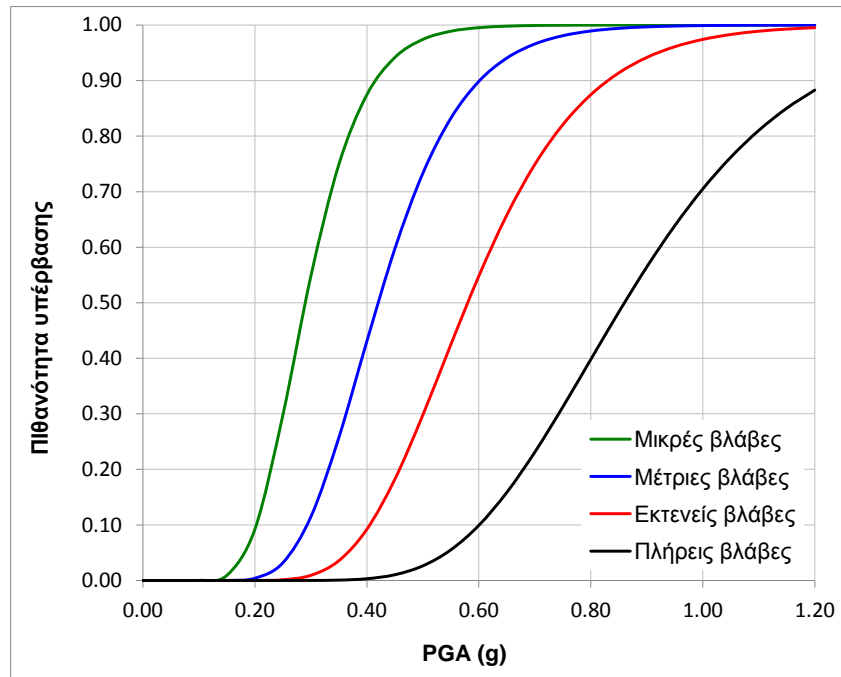
Η συζευγμένη αβεβαιότητα στη σεισμική απαίτηση και στον ορισμό των σταθμών βλάβης (β'), η οποία λαμβάνεται υπόψη μέσω της διασποράς των αποτελεσμάτων δείκτη βλάβης – PGA θεωρώντας τυχαίες τιμές της κεντρικής τιμής του δείκτη βλάβης. Έγινε η υπόθεση ότι η τελευταία ακολουθεί μια λογαριθμοκανονική κατανομή με διάμεσο την τιμή της κάθε στάθμης (όπως αυτές ορίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο) και συντελεστή διακύμανσης 0,4. Για το σκοπό αυτό παράγονται 500 τυχαία ζεύγη τιμών (PGA, x_i) μέσω προσομοίωσης τύπου Monte Carlo, συγκρίνοντας την τιμή του δείκτη βλάβης (DI_i) με τυχαίες τιμές της κεντρικής τιμής του δείκτη βλάβης (DI). Τέλος, λαμβάνεται υπόψη η αβεβαιότητα στην αντοχή (β_c) της κατασκευής η οποία θεωρείται εμπειρικά ίση με $\beta_c=0.25$. Η συνολική αβεβαιότητα περιγράφεται από τη λογαριθμοκανονική τυπική απόκλιση (β):

$$\beta = \sqrt{\beta'^2 + \beta_c^2} \quad (8)$$

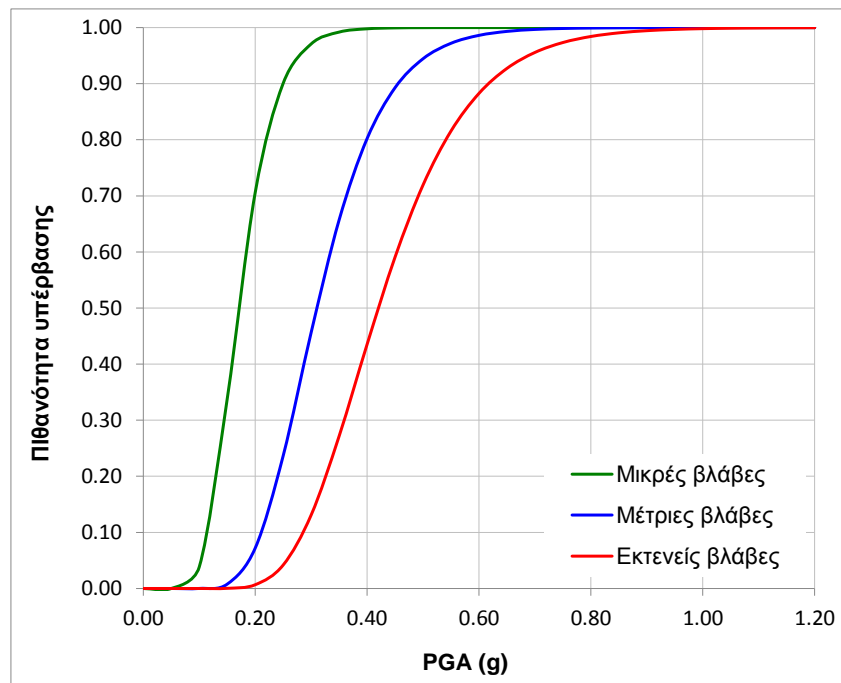
Οι προτεινόμενες καμπύλες τρωτότητας δίνονται στα διαγράμματα στο Σχήμα 16 και Σχήμα 17 για τον κρηπιδότοιχο και το γερανό αντίστοιχα, ενώ ο Πίνακας 6 δίνει τις παραμέτρους των καμπυλών.

Πίνακας 6 Παράμετροι καμπυλών τρωτότητας με βάση την εκτίμηση μέγιστης πιθανοφάνειας για κρηπιδότοιχους και γερανούς στο λιμάνι Θεσσαλονίκης

| Βλάβες | Μικρές | Μέτριες | Εκτενείς | Πλήρεις |
|----------------------|--------|---------|----------|---------|
| Κρηπιδότοιχοι | | | | |
| Διάμεσος τιμή (g) | 0.29 | 0.42 | 0.58 | 0.86 |
| β | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.28 |
| Γερανοί | | | | |
| Διάμεσος τιμή (g) | 0.17 | 0.31 | 0.42 | - |
| β | 0.30 | 0.30 | 0.30 | - |



Σχήμα 16 Καμπύλες τρωτότητας με βάση την εκτίμηση μέγιστης πιθανοφάνειας για κρηπιδότοιχους στο λιμάνι Θεσσαλονίκης



Σχήμα 17 Καμπύλες τρωτότητας με βάση την εκτίμηση μέγιστης πιθανοφάνειας για γερανούς στο λιμάνι Θεσσαλονίκης



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

4 Συμπεράσματα

Στο παρόν παραδοτέο διερευνήθηκε η σεισμική τρωτότητα ανεξάρτητων στοιχείων λιμενικών εγκαταστάσεων μέσω αριθμητικών μεθόδων. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν οι κρηπιδότοιχοι και οι γερανοί, που αποτελούν τις πλέον σημαντικές συνιστώσες ενός λιμένα, καθώς η πιθανή εκδήλωση βλάβης και η διακοπή της λειτουργίας τους μπορεί να επιδράσει σημαντικά στις έμμεσες απώλειες του λιμένα, καθώς και στη διαδικασία αποκατάστασης μετά το σεισμό. Πραγματοποιήθηκε λεπτομερής αριθμητική μελέτη της σεισμικής απόκρισης ενός τυπικού κρηπιδότοιχου του λιμανιού Θεσσαλονίκης λαμβάνοντας υπόψη τη θέση και το φορτίο του γερανού σε αυτό, καθώς επίσης και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του (γεωμετρία, εδαφικές συνθήκες, σεισμικό υπόβαθρο) με στόχο την πρόταση αναλυτικών καμπυλών τρωτότητας υπό εδαφική ταλάντωση χωρίς την παρουσία ρευστοποίησης.

Οι νέες καμπύλες τρωτότητας προέκυψαν με εφαρμογή δύο μεθόδων, του διαγράμματος εξέλιξης της βλάβης και της μέγιστης πιθανοφάνειας. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων, παρατηρείται ότι για την περίπτωση των μικρών και μέτριων βλαβών, οι υπολογιζόμενες διάμεσες τιμές κατωφλίου δε διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, ενώ για τις εκτενείς βλάβες, οι υπολογιζόμενες διάμεσες τιμές κατωφλίου είναι μεγαλύτερες στην περίπτωση χρήσης της μεθόδου μέγιστης πιθανοφάνειας. Επιπλέον, στην περίπτωση των καθολικών βλαβών για τους κρηπιδότοιχους βαρύτητας δεν ορίζονται καμπύλες τρωτότητας με τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης της βλάβης, καθώς για υψηλές τιμές του ορίου του δείκτη βλάβης δεν προκύπτουν σημεία του δείγματος που να το υπερβαίνουν. Αναφορικά με τις τιμές της τυπικής απόκλισης, παρατηρείται ότι οι τιμές της τυπικής απόκλισης (β) που υπολογίζονται με τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης της βλάβης είναι συστηματικά μεγαλύτερες από τις τιμές β που υπολογίζονται με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Επομένως, η μέθοδος του διαγράμματος εξέλιξης της βλάβης προκύπτει ελαφρώς πιο συντηρητική. Η μέθοδος μέγιστης πιθανοφάνειας είναι μία στατιστική προσέγγιση που δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα όταν υπάρχει ικανοποιητικό δείγμα δεδομένων για όλες τις οριζόμενες στάθμες βλάβης. Σε περιπτώσεις, όπως εν μέρει και αυτή που εξετάστηκε, έλλειψης επαρκών αριθμητικών αποτελεσμάτων, μια προσέγγιση μέσω του διαγράμματος εξέλιξης της βλάβης κρίνεται πιο ρεαλιστική.

Οι προτεινόμενες καμπύλες τρωτότητας για εδαφική ταλάντωση παρέχουν μια πιο ακριβή εκτίμηση της αναμενόμενης σεισμικής απόκρισης των κατασκευών αυτών για συνήθεις ισχυρές σεισμικές διεγέρσεις, με στόχο την πιο αξιόπιστη εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης τόσο των μεμονωμένων στοιχείων όσο και του λιμενικού συστήματος συνολικά. Προτείνεται η πύκνωση των αναλύσεων σεισμικής απόκρισης κρηπιδοδοιχών βαρύτητας με χρήση επιπλέον διατομών, εδαφικών προσομοιωμάτων και σεισμικών διεγέρσεων, ώστε να προκύψουν καμπύλες τρωτότητας που θα καλύπτουν ένα ευρύτερο φάσμα περιπτώσεων.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Βιβλιογραφία

- ABAQUS, 2012. Analysis User's Manual - version 6.10. Dassault Systèmes, SIMULIA Inc, USA
- Abrahamson, N.A. 1992. Non-stationary spectral matching, Seismological Research Letters, 63(1), p. 30
- Chang S.E. (2000b). "Disasters and transport systems: loss, recovery and competition at the Port of Kobe after the 1995 earthquake", Journal of Transport Geography, Vol 8, No 1, pp.53-65.
- Ghalandarzadeh, A., Orita, T., Towhata, I. and Yun, F. (1998). "Shaking table tests on seismic deformation of gravity quaywalls", Soils and Foundations, Special issue on geotechnical aspects of the January 17, 1995 Hyogoken-Nambu earthquake, No 2, pp. 115-132.
- Giardini D., Woessner J., Danciu L., Crowley H., Cotton F., Gruenthal G., Pinho R., Valensise G., Akkar S., Arvidsson R., Basili R., Cameelbeck T., Campos-Costa A., Douglas J., Demircioglu M.B., Erdik M., Fonseca J., Glavatovic B., Lindholm C., Makropoulos K., Meletti F., Musson R., Pitilakis K., Sesetyan K., Stromeyer D., Stucchi M., Rovida A., 2013. Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE): Online Data Resource, <http://portal.share-eu.org:8080/jetspeed/portal/>, doi: 10.12686/SED-00000001-SHARE
- Grant, D.N. and Diaferia, R. 2012. Assessing adequacy of spectrum-matched ground motions for response history analysis. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 42(9): 1265-1280.
- Hancock, J., Watson-Lamprey, J., Abrahamson, N.A., Bommer, J.J., Markatis, A., McCoy, E. and Mendis R. 2006. An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets. Journal of Earthquake Engineering(10): 67-89.
- Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E. 2010. REXEL: Computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. Bulletin of Earthquake Engineering 8:339-362.
- National Institute of Building Sciences (NIBS) (2004). "Earthquake loss estimation methodology", HAZUS Technical manuals, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Kim, S., Feng, M.Q. (2003). Fragility analysis of bridges under ground motion with spatial variation. International Journal of Non- Linear Mechanics, 38:705-721.
- PIANC 2001. "Seismic Design Guidelines for Port Structures", International Navigation Association, Balkema, 474 p.
- Pitilakis, K., and Anastasiadis, A., 1998. Soil and site characterization for seismic response analysis, Proceeding of the XI ECEE, Paris 6-11 Sept. 1998, Inv.Lectures, pp.65-90.
- Saxena, V., Deodatis, G., Shinozuka, M., Feng, M.Q. (2000). Development of fragility curves for multi-span reinforced concrete bridges. Proceedings of the International Conference on Monte Carlo Simulation, Principality of Monaco, Balkema Publishers
- Seismomatch, Seismosoft [Computer program], <http://www.seismosoft.com> (Accessed: October 2013)
- Shinozuka, M., Feng, M.Q., Lee, J., Naganuma, T. (2000). Statistical analysis of fragility curves. J. Engrg. Mech. ASCE 126(12):1224-1231.
- Shinozuka, M., Feng, M.Q., Kim, H.K., Uzawa, T., Ueda, T. (2003). Statistical analysis of fragility curves, Technical Report MCEER-03-0002, State University of New York, Buffalo.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

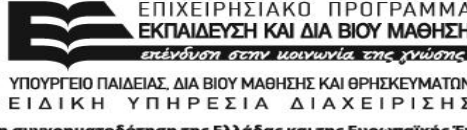


ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

- Soderberg, E.G. (2007). "Seismic Response of Jumbo Cranes and Design Recommendations to Limit Damage and Prevent Collapse", in W. Watson (ed.), ASCE Ports 2007, Proc. of 11th Triennial International Conference, San Diego, California.
- SRMLIFE (2003-2007). "Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας δικτύων κοινής ωφέλειας, υποδομών, κτιρίων στρατηγικής σημασίας για τη διαχείριση του σεισμικού κινδύνου σε πολεοδομικά συγκροτήματα. Εφαρμογή στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης», Ερευνητικό Πρόγραμμα, Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ).
- Straub, D., Der Kiureghian, A, (2008). Improved seismic fragility modeling from empirical data, J. Structural Safety 30:320-336.
- Κακδέρη, Κ. (2011). «Εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας και διαχείριση της σεισμικής διακινδύνευσης σε σύνθετα συστήματα μεταφορών. Εφαρμογή στις λιμενικές εγκαταστάσεις», Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Παράρτημα

Πίνακας 7 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (πραγματικές καταγραφές)

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147ya_record | -0.36 | -0.21 | -0.36 | 0.19 | 0.20 |
| 000229ya_record | -0.37 | -0.17 | -0.37 | -0.18 | 0.17 |
| 000239ya_record | -0.46 | 0.21 | -0.46 | -0.18 | -0.21 |
| 000594ya_record | -0.65 | -0.42 | -0.65 | 0.32 | 0.31 |
| 001313xa_record | -0.53 | 0.22 | -0.53 | -0.23 | -0.24 |
| 004676xa_record | -0.35 | -0.19 | -0.35 | -0.21 | 0.19 |
| 006494xa_record | 0.22 | 0.09 | 0.22 | 0.11 | 0.11 |
| NGA_1004_H1 | -1.01 | -0.34 | -1.01 | 0.36 | 0.34 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.73 | -0.44 | -0.72 | -0.37 | -0.35 |

Πίνακας 8 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (πραγματικές καταγραφές)

| Καταγραφή | $\vartheta_{max} (deg)$ | $\vartheta_{res} (deg)$ |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147ya_record | -0.11 | -0.05 |
| 000229ya_record | -0.08 | -0.04 |
| 000239ya_record | -0.10 | -0.06 |
| 000594ya_record | -0.40 | -0.27 |
| 001313xa_record | -0.14 | -0.10 |
| 004676xa_record | -0.07 | -0.05 |
| 006494xa_record | -0.06 | -0.03 |
| NGA_1004_H1 | -0.85 | -0.76 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.85 | -0.70 |

Πίνακας 9 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (πραγματικές καταγραφές)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|----------------|-------------|
| | $u_{x,max}$ | $u_{x,res}$ | $u_{x,max}$ | $u_{x,res}$ | $u_{x,max}$ | $u_{x,res}$ | $u_{x,max}$ | $u_{x,res}$ | $u_{x,max}$ | $u_{x,res}$ |
| 000147ya_record | -2.9 | -2.6 | -2.5 | -1.3 | -2.9 | -2.6 | -0.1 | 0.0 | 4.4 | 0.1 |
| 000229ya_record | -2.2 | -1.9 | -1.5 | -0.9 | -2.2 | -1.9 | -0.1 | 0.0 | -4.6 | 0.3 |
| 000239ya_record | -3.0 | -2.7 | -2.1 | -1.2 | -3.0 | -2.7 | -0.1 | 0.0 | -5.9 | 0.3 |
| 000594ya_record | -10.8 | -10.3 | -6.6 | -3.5 | -10.8 | -10.3 | 0.1 | 0.0 | -6.7 | -1.9 |
| 001313xa_record | -4.4 | -4.0 | -3.7 | -1.6 | -4.4 | -4.0 | -0.1 | 0.0 | -4.1 | -0.4 |
| 004676xa_record | -2.4 | -2.2 | -1.7 | -1.1 | -2.4 | -2.2 | -0.1 | 0.0 | -7.0 | 0.7 |
| 006494xa_record | -1.8 | -1.6 | -1.5 | -0.9 | -1.8 | -1.6 | -0.1 | 0.0 | -6.5 | 0.4 |
| NGA_1004_H1 | -33.0 | -32.7 | -17.0 | -13.8 | -33.0 | -32.7 | 0.3 | -0.1 | -17.8 | -0.6 |
| T-NSMP_1596_H1 | -31.8 | -31.4 | -17.7 | -14.0 | -31.8 | -31.4 | 0.2 | 0.0 | -18.0 | -3.4 |

Πίνακας 10 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (πραγματικές καταγραφές)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|----------------|-------------|
| | $u_{y,max}$ | $u_{y,res}$ | $u_{y,max}$ | $u_{y,res}$ | $u_{y,max}$ | $u_{y,res}$ | $u_{y,max}$ | $u_{y,res}$ | $u_{y,max}$ | $u_{y,res}$ |
| 000147ya_record | -4.1 | -3.4 | -3.2 | -2.5 | -3.6 | -3.1 | -5.4 | -5.3 | -5.2 | -4.9 |
| 000229ya_record | -3.4 | -2.9 | -2.4 | -2.0 | -3.0 | -2.7 | -3.9 | -3.8 | -4.1 | -3.9 |
| 000239ya_record | -3.3 | -2.8 | -2.3 | -2.0 | -2.9 | -2.5 | -4.2 | -4.0 | -3.9 | -3.7 |
| 000594ya_record | -8.5 | -6.9 | -7.5 | -6.2 | -6.4 | -5.6 | -12.7 | -12.3 | -11.0 | -10.6 |
| 001313xa_record | -4.5 | -3.8 | -3.6 | -3.0 | -3.8 | -3.3 | -6.8 | -6.4 | -6.9 | -6.1 |
| 004676xa_record | -3.1 | -2.8 | -2.1 | -1.9 | -2.7 | -2.5 | -3.9 | -3.8 | -4.0 | -3.8 |
| 006494xa_record | -3.2 | -2.8 | -2.2 | -1.9 | -2.8 | -2.6 | -3.7 | -3.6 | -3.8 | -3.8 |
| NGA_1004_H1 | -17.3 | -16.3 | -17.2 | -16.2 | -13.6 | -12.7 | -24.9 | -24.2 | -22.5 | -19.3 |
| T-NSMP_1596_H1 | -16.1 | -14.1 | -15.7 | -13.9 | -12.1 | -10.9 | -23.1 | -22.6 | -16.2 | -15.7 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Πίνακας 11 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : **Πίνακας 12** Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (PGA : 0.1g)

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147γα_record | -0.36 | -0.11 | -0.36 | -0.13 | -0.13 |
| 000229γα_record | 0.21 | 0.11 | 0.21 | -0.11 | -0.13 |
| 000239γα_record | -0.28 | -0.15 | -0.28 | -0.14 | -0.12 |
| 000594γα_record | -0.35 | 0.20 | -0.35 | -0.15 | -0.15 |
| 001313χα_record | -0.22 | 0.10 | -0.22 | -0.12 | -0.13 |
| 004676χα_record | -0.19 | 0.09 | -0.19 | 0.12 | -0.11 |
| 006494χα_record | 0.22 | 0.10 | 0.22 | 0.12 | 0.12 |
| NGA_1004_H1 | -0.30 | -0.12 | -0.30 | 0.13 | 0.12 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.27 | -0.10 | 0.27 | -0.11 | -0.11 |

| Καταγραφή | $\vartheta_{max} (deg)$ | $\vartheta_{res} (deg)$ |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147γα_record | -0.05 | -0.03 |
| 000229γα_record | -0.05 | -0.03 |
| 000239γα_record | -0.06 | -0.03 |
| 000594γα_record | -0.08 | -0.05 |
| 001313χα_record | -0.07 | -0.03 |
| 004676χα_record | -0.05 | -0.03 |
| 006494χα_record | -0.06 | -0.03 |
| NGA_1004_H1 | -0.07 | -0.04 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.07 | -0.04 |

Πίνακας 13 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 0.1g)

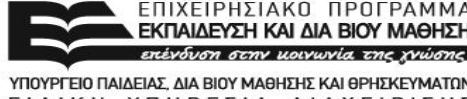
| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ |
| 000147γα_record | -1.8 | -1.5 | -1.2 | -0.7 | -1.8 | -1.5 | -0.1 | 0.0 | 1.5 | 0.0 |
| 000229γα_record | -1.7 | -1.4 | -0.9 | -0.7 | -1.7 | -1.4 | -0.1 | -0.1 | -2.1 | 0.2 |
| 000239γα_record | -1.7 | -1.5 | -1.2 | -0.8 | -1.7 | -1.5 | -0.1 | 0.0 | -2.6 | 0.1 |
| 000594γα_record | -2.8 | -2.3 | -1.8 | -1.0 | -2.8 | -2.3 | -0.1 | 0.0 | -1.5 | 0.0 |
| 001313χα_record | -2.0 | -1.6 | -1.5 | -0.8 | -2.0 | -1.6 | -0.1 | 0.0 | -1.5 | -0.1 |
| 004676χα_record | -1.8 | -1.4 | -1.0 | -0.7 | -1.8 | -1.4 | -0.1 | -0.1 | -2.5 | 0.2 |
| 006494χα_record | -1.9 | -1.7 | -1.7 | -1.0 | -1.9 | -1.7 | -0.1 | 0.0 | -7.0 | 0.5 |
| NGA_1004_H1 | -2.2 | -1.8 | -1.4 | -0.9 | -2.2 | -1.8 | -0.1 | 0.0 | 1.8 | 0.1 |
| T-NSMP_1596_H1 | -2.2 | -1.8 | -1.3 | -0.8 | -2.2 | -1.8 | -0.1 | 0.0 | -1.6 | 0.0 |

Πίνακας 14 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 0.1g)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ |
| 000147γα_record | -2.5 | -2.1 | -1.5 | -1.3 | -2.2 | -2.0 | -2.7 | -2.5 | -2.7 | -2.5 |
| 000229γα_record | -2.5 | -2.2 | -1.6 | -1.3 | -2.2 | -2.0 | -2.6 | -2.5 | -2.6 | -2.4 |
| 000239γα_record | -2.5 | -2.1 | -1.5 | -1.3 | -2.2 | -1.9 | -2.8 | -2.5 | -2.5 | -2.4 |
| 000594γα_record | -3.1 | -2.7 | -2.1 | -1.8 | -2.7 | -2.4 | -3.8 | -3.6 | -3.3 | -3.1 |
| 001313χα_record | -2.8 | -2.3 | -1.8 | -1.5 | -2.4 | -2.1 | -3.2 | -3.0 | -3.1 | -2.9 |
| 004676χα_record | -2.3 | -2.1 | -1.4 | -1.2 | -2.0 | -1.9 | -2.5 | -2.3 | -2.4 | -2.2 |
| 006494χα_record | -3.4 | -2.9 | -2.4 | -2.1 | -3.0 | -2.8 | -4.0 | -3.9 | -4.1 | -4.1 |
| NGA_1004_H1 | -2.7 | -2.3 | -1.8 | -1.5 | -2.4 | -2.1 | -3.0 | -2.9 | -3.0 | -2.8 |
| T-NSMP_1596_H1 | -2.7 | -2.3 | -1.7 | -1.4 | -2.3 | -2.0 | -2.8 | -2.7 | -2.7 | -2.6 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη

ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 15 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 0.2g)

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147ya_record | -0.39 | -0.15 | -0.39 | -0.16 | -0.18 |
| 000229ya_record | -0.35 | -0.17 | -0.35 | -0.18 | 0.17 |
| 000239ya_record | -0.42 | 0.20 | -0.42 | -0.16 | -0.20 |
| 000594ya_record | -0.43 | -0.27 | -0.43 | -0.20 | -0.21 |
| 001313xa_record | -0.51 | 0.20 | -0.51 | -0.21 | -0.19 |
| 004676xa_record | -0.27 | -0.17 | -0.27 | -0.17 | -0.17 |
| 006494xa_record | 0.32 | 0.21 | 0.32 | 0.24 | 0.22 |
| NGA_1004_H1 | -0.52 | -0.22 | -0.52 | 0.19 | 0.18 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.41 | -0.20 | -0.41 | -0.17 | -0.16 |

Πίνακας 16 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδοτικού (PGA : 0.2g)

| Καταγραφή | $\vartheta_{max} (deg)$ | $\vartheta_{res} (deg)$ |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147ya_record | -0.07 | -0.04 |
| 000229ya_record | -0.07 | -0.04 |
| 000239ya_record | -0.09 | -0.05 |
| 000594ya_record | -0.14 | -0.10 |
| 001313xa_record | -0.10 | -0.07 |
| 004676xa_record | -0.06 | -0.04 |
| 006494xa_record | -0.28 | -0.20 |
| NGA_1004_H1 | -0.14 | -0.08 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.13 | -0.09 |

Πίνακας 17 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 0.2g)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ |
| 000147ya_record | -2.2 | -1.9 | -1.9 | -1.0 | -2.2 | -1.9 | -0.1 | 0.0 | 3.0 | 0.1 |
| 000229ya_record | -2.2 | -1.9 | -1.4 | -0.9 | -2.2 | -1.9 | -0.1 | 0.0 | -4.3 | 0.1 |
| 000239ya_record | -2.8 | -2.4 | -2.0 | -1.1 | -2.8 | -2.4 | -0.1 | 0.0 | -5.2 | 0.3 |
| 000594ya_record | -4.4 | -3.9 | -2.6 | -1.4 | -4.4 | -3.9 | -0.1 | 0.0 | -3.1 | -0.3 |
| 001313xa_record | -3.2 | -2.8 | -2.6 | -1.1 | -3.2 | -2.8 | -0.1 | 0.0 | -3.0 | -0.3 |
| 004676xa_record | -2.1 | -1.8 | -1.3 | -0.9 | -2.1 | -1.8 | -0.1 | 0.0 | -5.1 | 0.5 |
| 006494xa_record | -10.0 | -9.8 | -7.2 | -4.9 | -10.0 | -9.8 | 0.1 | 0.0 | -13.5 | 1.7 |
| NGA_1004_H1 | -3.7 | -3.4 | -2.4 | -1.4 | -3.7 | -3.4 | -0.1 | 0.0 | -4.4 | 0.1 |
| T-NSMP_1596_H1 | -4.1 | -3.6 | -2.4 | -1.4 | -4.1 | -3.6 | -0.1 | 0.0 | -3.8 | 0.1 |

Πίνακας 18 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 0.2g)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ |
| 000147ya_record | -3.3 | -2.8 | -2.3 | -1.9 | -2.8 | -2.5 | -4.0 | -3.9 | -4.1 | -3.8 |
| 000229ya_record | -3.3 | -2.8 | -2.4 | -2.0 | -2.9 | -2.6 | -3.8 | -3.6 | -3.9 | -3.7 |
| 000239ya_record | -3.1 | -2.7 | -2.2 | -1.8 | -2.7 | -2.4 | -3.9 | -3.7 | -3.5 | -3.4 |
| 000594ya_record | -4.5 | -3.7 | -3.4 | -2.8 | -3.8 | -3.2 | -6.1 | -5.8 | -5.6 | -5.4 |
| 001313xa_record | -3.8 | -3.2 | -2.8 | -2.3 | -3.3 | -2.8 | -5.1 | -4.9 | -5.2 | -4.8 |
| 004676xa_record | -2.8 | -2.4 | -1.8 | -1.5 | -2.4 | -2.2 | -3.1 | -3.0 | -3.1 | -2.9 |
| 006494xa_record | -7.1 | -6.2 | -6.4 | -5.5 | -5.9 | -5.2 | -11.5 | -11.1 | -10.0 | -9.4 |
| NGA_1004_H1 | -4.1 | -3.4 | -3.2 | -2.6 | -3.4 | -3.0 | -5.4 | -5.3 | -5.1 | -4.9 |
| T-NSMP_1596_H1 | -3.8 | -3.2 | -2.8 | -2.3 | -3.2 | -2.7 | -5.0 | -4.8 | -4.7 | -4.4 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 19 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 0.3g)

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | a_x (g) | a_x (g) | a_x (g) | a_x (g) | a_x (g) |
| 000147γα_record | -0.37 | -0.21 | -0.37 | 0.18 | 0.20 |
| 000229γα_record | -0.38 | 0.21 | -0.38 | 0.20 | -0.21 |
| 000239γα_record | -0.54 | -0.22 | -0.54 | -0.23 | -0.23 |
| 000594γα_record | -0.56 | 0.32 | -0.56 | -0.26 | -0.26 |
| 001313χα_record | -0.53 | -0.22 | -0.53 | -0.26 | -0.26 |
| 004676χα_record | -0.37 | 0.21 | -0.37 | -0.22 | -0.20 |
| 006494χα_record | -0.50 | -0.30 | -0.50 | -0.33 | -0.30 |
| NGA_1004_H1 | -0.59 | -0.22 | -0.59 | 0.22 | 0.25 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.60 | 0.19 | -0.60 | -0.21 | -0.19 |

Πίνακας 20 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (PGA : 0.3g)

| Καταγραφή | ϑ_{max} (deg) | ϑ_{res} (deg) |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147γα_record | -0.11 | -0.06 |
| 000229γα_record | -0.11 | -0.06 |
| 000239γα_record | -0.13 | -0.08 |
| 000594γα_record | -0.27 | -0.17 |
| 001313χα_record | -0.17 | -0.12 |
| 004676χα_record | -0.08 | -0.05 |
| 006494χα_record | -0.88 | -0.81 |
| NGA_1004_H1 | -0.23 | -0.15 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.19 | -0.13 |

Πίνακας 21 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 0.3g)

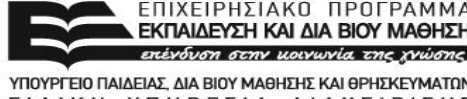
| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ |
| 000147γα_record | -3.0 | -2.7 | -2.5 | -1.3 | -3.0 | -2.7 | -0.1 | 0.0 | 4.5 | 0.0 |
| 000229γα_record | -3.0 | -2.7 | -2.2 | -1.1 | -3.0 | -2.7 | -0.1 | 0.0 | -6.6 | -0.2 |
| 000239γα_record | -3.6 | -3.3 | -2.5 | -1.4 | -3.6 | -3.3 | -0.1 | 0.0 | -8.0 | 0.3 |
| 000594γα_record | -7.3 | -6.9 | -4.4 | -2.7 | -7.3 | -6.9 | 0.1 | 0.0 | -4.8 | -0.5 |
| 001313χα_record | -5.3 | -5.0 | -4.3 | -1.9 | -5.3 | -5.0 | -0.1 | 0.0 | -4.6 | -0.5 |
| 004676χα_record | -2.6 | -2.3 | -1.9 | -1.2 | -2.6 | -2.3 | -0.1 | 0.0 | -7.9 | 0.6 |
| 006494χα_record | -37.1 | -36.5 | -20.0 | -16.5 | -37.1 | -36.5 | 0.2 | -0.2 | -26.1 | -1.4 |
| NGA_1004_H1 | -6.4 | -6.2 | -4.1 | -2.6 | -6.4 | -6.2 | 0.1 | 0.0 | -6.9 | 0.2 |
| T-NSMP_1596_H1 | -5.9 | -5.4 | -3.8 | -2.3 | -5.9 | -5.4 | -0.1 | 0.0 | -5.7 | 0.1 |

Πίνακας 22 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 0.3g)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ |
| 000147γα_record | -4.2 | -3.4 | -3.3 | -2.6 | -3.7 | -3.1 | -5.5 | -5.4 | -5.3 | -5.0 |
| 000229γα_record | -4.2 | -3.6 | -3.3 | -2.7 | -3.7 | -3.2 | -5.4 | -5.3 | -5.5 | -5.2 |
| 000239γα_record | -3.9 | -3.3 | -2.9 | -2.4 | -3.3 | -2.9 | -5.2 | -5.0 | -4.6 | -4.5 |
| 000594γα_record | -6.4 | -5.1 | -5.4 | -4.3 | -5.0 | -4.3 | -9.6 | -9.1 | -8.5 | -8.2 |
| 001313χα_record | -4.9 | -4.2 | -4.1 | -3.4 | -4.1 | -3.5 | -7.7 | -7.3 | -7.5 | -6.7 |
| 004676χα_record | -3.3 | -3.0 | -2.4 | -2.1 | -2.9 | -2.7 | -4.4 | -4.2 | -4.4 | -4.2 |
| 006494χα_record | -17.2 | -16.1 | -17.1 | -16.1 | -13.1 | -12.4 | -25.2 | -24.7 | -20.9 | -17.5 |
| NGA_1004_H1 | -5.7 | -4.7 | -4.8 | -3.9 | -4.6 | -3.9 | -8.5 | -8.2 | -7.3 | -6.8 |
| T-NSMP_1596_H1 | -5.0 | -4.3 | -4.1 | -3.5 | -4.1 | -3.6 | -7.4 | -7.2 | -6.4 | -6.2 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 23 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 0.4g)

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147γα_record | -0.43 | -0.24 | -0.43 | 0.23 | 0.23 |
| 000229γα_record | -0.46 | 0.23 | -0.46 | 0.25 | 0.26 |
| 000239γα_record | -0.64 | -0.27 | -0.64 | -0.27 | 0.26 |
| 000594γα_record | -0.64 | -0.39 | -0.64 | 0.32 | 0.31 |
| 001313χα_record | -0.58 | -0.27 | -0.58 | -0.30 | -0.30 |
| 004676χα_record | -0.37 | 0.27 | -0.37 | -0.26 | -0.22 |
| 006494χα_record | -0.65 | -0.47 | -0.65 | 0.36 | 0.35 |
| NGA_1004_H1 | -0.59 | 0.24 | -0.59 | 0.32 | 0.32 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.54 | -0.25 | -0.54 | -0.24 | -0.22 |

Πίνακας 24 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (PGA : 0.4g)

| Καταγραφή | $\theta_{max} (deg)$ | $\theta_{res} (deg)$ |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| 000147γα_record | -0.16 | -0.09 |
| 000229γα_record | -0.20 | -0.11 |
| 000239γα_record | -0.17 | -0.10 |
| 000594γα_record | -0.38 | -0.26 |
| 001313χα_record | -0.26 | -0.18 |
| 004676χα_record | -0.10 | -0.06 |
| 006494χα_record | -1.57 | -1.46 |
| NGA_1004_H1 | -0.35 | -0.24 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.29 | -0.18 |

Πίνακας 25 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 0.4g)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ |
| 000147γα_record | -4.6 | -4.4 | -3.5 | -2.2 | -4.6 | -4.4 | -0.1 | 0.0 | 6.1 | 0.2 |
| 000229γα_record | -4.5 | -4.3 | -3.1 | -1.4 | -4.5 | -4.3 | -0.1 | 0.0 | -8.9 | -0.4 |
| 000239γα_record | -4.6 | -4.3 | -3.3 | -1.7 | -4.6 | -4.3 | -0.1 | 0.0 | -10.9 | 0.3 |
| 000594γα_record | -10.1 | -9.7 | -6.4 | -3.4 | -10.1 | -9.7 | 0.1 | 0.0 | -6.5 | -1.7 |
| 001313χα_record | -7.9 | -7.1 | -5.6 | -2.6 | -7.9 | -7.1 | 0.1 | 0.0 | -6.3 | -1.1 |
| 004676χα_record | -3.2 | -3.0 | -2.8 | -1.6 | -3.2 | -3.0 | -0.1 | 0.0 | -10.5 | 1.1 |
| 006494χα_record | -67.6 | -66.3 | -36.4 | -30.1 | -67.6 | -66.3 | -0.4 | -0.4 | -39.3 | -4.9 |
| NGA_1004_H1 | -11.0 | -10.7 | -6.5 | -4.7 | -11.0 | -10.7 | 0.1 | 0.0 | -9.4 | 0.1 |
| T-NSMP_1596_H1 | -8.3 | -7.9 | -5.3 | -3.4 | -8.3 | -7.9 | 0.1 | 0.0 | -7.8 | -0.3 |

Πίνακας 26 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 0.4g)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ |
| 000147γα_record | -5.2 | -4.2 | -4.3 | -3.4 | -4.5 | -3.8 | -7.6 | -7.3 | -6.9 | -6.7 |
| 000229γα_record | -5.4 | -4.5 | -4.5 | -3.8 | -4.6 | -4.0 | -7.9 | -7.6 | -7.7 | -7.1 |
| 000239γα_record | -4.7 | -3.9 | -3.7 | -3.0 | -3.9 | -3.4 | -6.6 | -6.3 | -5.8 | -5.6 |
| 000594γα_record | -8.2 | -6.6 | -7.2 | -5.9 | -6.3 | -5.4 | -12.3 | -11.9 | -10.8 | -10.5 |
| 001313χα_record | -6.4 | -5.3 | -5.5 | -4.6 | -5.1 | -4.5 | -10.4 | -10.0 | -10.0 | -9.2 |
| 004676χα_record | -4.0 | -3.5 | -3.1 | -2.7 | -3.5 | -3.2 | -5.7 | -5.4 | -5.6 | -5.4 |
| 006494χα_record | -28.4 | -27.0 | -29.2 | -27.8 | -21.2 | -20.3 | -38.2 | -36.8 | -30.2 | -25.9 |
| NGA_1004_H1 | -7.9 | -6.5 | -7.0 | -5.8 | -6.1 | -5.3 | -12.2 | -11.7 | -10.1 | -9.8 |
| T-NSMP_1596_H1 | -6.8 | -5.6 | -5.9 | -4.8 | -5.4 | -4.7 | -10.6 | -10.2 | -8.4 | -7.9 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 27 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 0.5g)

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147γα_record | -0.50 | -0.33 | -0.50 | 0.28 | 0.27 |
| 000229γα_record | -0.43 | 0.30 | -0.43 | 0.27 | 0.28 |
| 000239γα_record | -0.63 | -0.28 | -0.63 | -0.31 | 0.31 |
| 000594γα_record | -0.67 | -0.50 | -0.67 | -0.38 | 0.36 |
| 001313χα_record | -0.62 | -0.32 | -0.62 | -0.35 | -0.33 |
| 004676χα_record | -0.43 | -0.32 | -0.43 | -0.27 | -0.26 |
| 006494χα_record | -0.70 | -0.45 | -0.70 | -0.37 | 0.36 |
| NGA_1004_H1 | -0.62 | 0.27 | -0.62 | 0.34 | 0.33 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.62 | -0.29 | -0.62 | -0.27 | -0.27 |

Πίνακας 28 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (PGA : 0.5g)

| Καταγραφή | $\vartheta_{max} (deg)$ | $\vartheta_{res} (deg)$ |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147γα_record | -0.27 | -0.17 |
| 000229γα_record | -0.28 | -0.19 |
| 000239γα_record | -0.21 | -0.13 |
| 000594γα_record | -0.51 | -0.34 |
| 001313χα_record | -0.33 | -0.26 |
| 004676χα_record | -0.14 | -0.09 |
| 006494χα_record | -2.11 | -2.04 |
| NGA_1004_H1 | -0.50 | -0.41 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.41 | -0.30 |

Πίνακας 29 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 0.5g)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ |
| 000147γα_record | -7.9 | -7.7 | -5.3 | -3.5 | -7.9 | -7.7 | 0.1 | 0.0 | -7.9 | 0.1 |
| 000229γα_record | -7.1 | -6.6 | -4.5 | -1.9 | -7.1 | -6.6 | -0.1 | 0.0 | -11.9 | -0.8 |
| 000239γα_record | -5.9 | -5.4 | -4.0 | -2.1 | -5.9 | -5.4 | -0.1 | 0.0 | -13.9 | 0.1 |
| 000594γα_record | -13.9 | -13.5 | -7.8 | -5.0 | -13.9 | -13.5 | 0.2 | 0.0 | -8.3 | -3.4 |
| 001313χα_record | -10.6 | -10.0 | -6.3 | -3.7 | -10.6 | -10.0 | 0.2 | 0.1 | -8.1 | -1.6 |
| 004676χα_record | -4.7 | -4.4 | -4.0 | -2.3 | -4.7 | -4.4 | -0.1 | 0.0 | -13.2 | 1.7 |
| 006494χα_record | -101.9 | -101.4 | -58.0 | -50.9 | -101.9 | -101.4 | -0.7 | -0.7 | -43.6 | 1.7 |
| NGA_1004_H1 | -18.6 | -18.2 | -10.5 | -8.0 | -18.6 | -18.2 | 0.2 | -0.1 | -12.0 | 0.0 |
| T-NSMP_1596_H1 | -13.3 | -12.7 | -7.1 | -5.3 | -13.3 | -12.7 | 0.2 | 0.0 | -10.4 | -1.1 |

Πίνακας 30 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 0.5g)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ |
| 000147γα_record | -6.8 | -5.7 | -6.0 | -5.0 | -5.5 | -4.9 | -10.4 | -9.8 | -8.3 | -7.9 |
| 000229γα_record | -7.1 | -5.9 | -6.3 | -5.2 | -5.8 | -5.0 | -10.3 | -9.9 | -10.1 | -9.2 |
| 000239γα_record | -5.4 | -4.6 | -4.5 | -3.8 | -4.5 | -3.9 | -7.9 | -7.6 | -7.1 | -6.7 |
| 000594γα_record | -10.1 | -8.7 | -9.2 | -8.1 | -7.8 | -7.1 | -15.8 | -15.0 | -13.5 | -12.8 |
| 001313χα_record | -8.0 | -6.7 | -7.1 | -6.0 | -6.4 | -5.5 | -12.9 | -12.5 | -12.0 | -11.0 |
| 004676χα_record | -5.1 | -4.2 | -4.1 | -3.4 | -4.3 | -3.8 | -7.3 | -7.0 | -7.2 | -6.8 |
| 006494χα_record | -37.3 | -36.0 | -38.7 | -37.4 | -27.7 | -26.7 | -48.3 | -46.8 | -34.2 | -30.3 |
| NGA_1004_H1 | -10.4 | -9.2 | -9.8 | -8.7 | -8.1 | -7.3 | -16.1 | -15.6 | -13.1 | -12.7 |
| T-NSMP_1596_H1 | -8.5 | -7.4 | -7.8 | -6.7 | -6.7 | -6.0 | -13.8 | -13.3 | -10.4 | -10.0 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 31 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 0.6g)

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147γα_record | -0.54 | -0.42 | -0.54 | -0.31 | -0.30 |
| 000229γα_record | -0.48 | 0.28 | -0.48 | 0.33 | 0.29 |
| 000239γα_record | -0.56 | -0.34 | -0.56 | -0.35 | 0.32 |
| 000594γα_record | -0.66 | 0.45 | -0.66 | -0.38 | 0.37 |
| 001313χα_record | -0.68 | 0.33 | -0.68 | -0.35 | -0.33 |
| 004676χα_record | -0.54 | -0.36 | -0.54 | -0.30 | -0.27 |
| 006494χα_record | -0.81 | -0.53 | -0.81 | -0.40 | 0.40 |
| NGA_1004_H1 | -0.64 | 0.34 | -0.64 | 0.38 | 0.34 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.68 | -0.32 | -0.68 | -0.31 | -0.32 |

Πίνακας 32 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (PGA : 0.6g)

| Καταγραφή | $\vartheta_{max} (deg)$ | $\vartheta_{res} (deg)$ |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147γα_record | -0.40 | -0.27 |
| 000229γα_record | -0.38 | -0.25 |
| 000239γα_record | -0.25 | -0.17 |
| 000594γα_record | -0.60 | -0.46 |
| 001313χα_record | -0.43 | -0.35 |
| 004676χα_record | -0.20 | -0.13 |
| 006494χα_record | -2.74 | -2.64 |
| NGA_1004_H1 | -0.62 | -0.52 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.59 | -0.45 |

Πίνακας 33 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 0.6g)

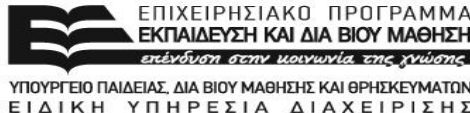
| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ |
| 000147γα_record | -13.0 | -12.7 | -8.2 | -5.9 | -13.0 | -12.7 | 0.1 | 0.0 | 9.6 | 0.0 |
| 000229γα_record | -9.5 | -9.2 | -6.1 | -3.0 | -9.5 | -9.2 | 0.1 | 0.0 | -15.9 | -1.5 |
| 000239γα_record | -7.0 | -6.5 | -4.6 | -2.3 | -7.0 | -6.5 | -0.1 | 0.0 | -17.2 | -0.2 |
| 000594γα_record | -19.5 | -18.9 | -9.4 | -7.4 | -19.5 | -18.9 | 0.2 | 0.1 | -10.1 | -4.3 |
| 001313χα_record | -13.2 | -13.0 | -7.2 | -4.3 | -13.2 | -13.0 | 0.2 | 0.1 | -9.9 | -4.1 |
| 004676χα_record | -6.9 | -6.8 | -5.6 | -3.4 | -6.9 | -6.8 | 0.1 | 0.0 | -15.9 | 2.6 |
| 006494χα_record | -150.9 | -150.4 | -92.1 | -85.1 | -150.9 | -150.4 | -1.1 | -1.0 | 51.2 | 20.8 |
| NGA_1004_H1 | -23.6 | -23.4 | -13.1 | -10.4 | -23.6 | -23.4 | 0.2 | -0.1 | -14.7 | 0.3 |
| T-NSMP_1596_H1 | -19.6 | -19.1 | -10.5 | -8.0 | -19.6 | -19.1 | 0.1 | 0.0 | -13.8 | -2.5 |

Πίνακας 34 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 0.6g)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ |
| 000147γα_record | -8.6 | -7.6 | -7.8 | -7.0 | -6.8 | -6.3 | -13.2 | -12.7 | -10.7 | -10.2 |
| 000229γα_record | -9.1 | -7.9 | -8.4 | -7.2 | -7.4 | -6.7 | -13.5 | -12.8 | -13.8 | -12.7 |
| 000239γα_record | -6.4 | -5.3 | -5.4 | -4.5 | -5.1 | -4.4 | -9.4 | -9.1 | -8.5 | -7.8 |
| 000594γα_record | -11.9 | -11.0 | -11.4 | -10.5 | -9.8 | -8.8 | -19.3 | -18.4 | -16.2 | -15.6 |
| 001313χα_record | -9.9 | -8.7 | -9.2 | -8.0 | -7.9 | -7.0 | -15.3 | -14.8 | -13.8 | -13.2 |
| 004676χα_record | -6.1 | -5.1 | -5.3 | -4.3 | -5.1 | -4.4 | -9.3 | -9.0 | -8.8 | -8.3 |
| 006494χα_record | -45.2 | -44.1 | -47.3 | -46.2 | -32.9 | -32.1 | -61.1 | -59.2 | -36.7 | -32.7 |
| NGA_1004_H1 | -13.7 | -12.2 | -13.2 | -11.9 | -10.9 | -9.8 | -19.8 | -19.2 | -17.8 | -15.7 |
| T-NSMP_1596_H1 | -11.5 | -9.9 | -10.9 | -9.4 | -8.8 | -7.8 | -17.3 | -16.5 | -12.9 | -12.6 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 35 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 0.8g)

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | a_x (g) | a_x (g) | a_x (g) | a_x (g) | a_x (g) |
| 000147γα_record | -0.58 | -0.42 | -0.58 | 0.35 | 0.34 |
| 000229γα_record | -0.57 | 0.34 | -0.57 | 0.37 | 0.34 |
| 000239γα_record | -0.46 | -0.45 | -0.46 | 0.35 | -0.41 |
| 000594γα_record | -0.81 | -0.60 | -0.81 | -0.41 | 0.39 |
| 001313χα_record | 0.68 | -0.34 | 0.68 | -0.39 | -0.35 |
| 004676χα_record | 0.57 | -0.36 | 0.57 | 0.34 | 0.27 |
| 006494χα_record | 1.43 | -0.60 | 1.43 | 0.48 | 0.46 |
| NGA_1004_H1 | -1.14 | -0.40 | -1.14 | 0.36 | 0.36 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.73 | -0.48 | -0.73 | -0.46 | -0.36 |

Πίνακας 36 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (PGA : 0.8g)

| Καταγραφή | θ_{max} (deg) | θ_{res} (deg) |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| 000147γα_record | -0.55 | -0.47 |
| 000229γα_record | -0.51 | -0.45 |
| 000239γα_record | -0.33 | -0.24 |
| 000594γα_record | -0.71 | -0.61 |
| 001313χα_record | -0.71 | -0.62 |
| 004676χα_record | -0.37 | -0.29 |
| 006494χα_record | -3.68 | -3.57 |
| NGA_1004_H1 | -1.01 | -0.90 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.97 | -0.85 |

Πίνακας 37 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 0.8g)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ |
| 000147γα_record | -19.9 | -19.5 | -11.7 | -7.9 | -19.9 | -19.5 | 0.2 | 0.0 | 13.9 | -1.6 |
| 000229γα_record | -15.6 | -15.3 | -8.2 | -4.2 | -15.6 | -15.3 | 0.2 | 0.0 | -24.1 | -2.8 |
| 000239γα_record | -9.4 | -9.0 | -5.8 | -3.1 | -9.4 | -9.0 | 0.2 | 0.0 | -24.0 | -1.0 |
| 000594γα_record | -26.0 | -25.4 | -12.3 | -10.2 | -26.0 | -25.4 | 0.2 | 0.0 | -13.7 | -5.7 |
| 001313χα_record | -20.6 | -20.3 | -8.5 | -5.0 | -20.6 | -20.3 | 0.3 | 0.0 | -13.6 | -8.4 |
| 004676χα_record | -14.9 | -14.7 | -10.1 | -7.6 | -14.9 | -14.7 | 0.2 | 0.0 | -21.5 | 4.9 |
| 006494χα_record | -235.7 | -234.3 | -155.3 | -145.8 | -235.7 | -234.3 | -1.6 | -1.4 | 72.2 | 54.3 |
| NGA_1004_H1 | -39.5 | -39.3 | -20.3 | -17.0 | -39.5 | -39.3 | 0.3 | -0.1 | -19.6 | -0.7 |
| T-NSMP_1596_H1 | -38.6 | -38.0 | -20.4 | -17.0 | -38.6 | -38.0 | 0.2 | -0.1 | -19.8 | -3.8 |

Πίνακας 38 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 0.8g)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ |
| 000147γα_record | -13.3 | -12.0 | -12.8 | -11.5 | -10.8 | -9.8 | -20.2 | -18.2 | -16.9 | -14.3 |
| 000229γα_record | -15.4 | -13.7 | -14.9 | -13.3 | -13.1 | -11.6 | -20.2 | -19.5 | -21.3 | -19.2 |
| 000239γα_record | -8.0 | -6.6 | -7.1 | -5.9 | -6.4 | -5.5 | -12.3 | -11.9 | -10.9 | -10.5 |
| 000594γα_record | -15.9 | -14.8 | -15.5 | -14.5 | -12.9 | -12.0 | -24.0 | -22.8 | -20.8 | -19.6 |
| 001313χα_record | -15.7 | -13.8 | -14.9 | -13.6 | -13.1 | -11.0 | -20.2 | -19.7 | -19.3 | -17.5 |
| 004676χα_record | -8.7 | -7.7 | -8.1 | -7.0 | -7.0 | -6.3 | -14.2 | -3.4 | -13.9 | -12.6 |
| 006494χα_record | -56.0 | -55.1 | -59.2 | -58.3 | -39.6 | -39.0 | -84.9 | -83.7 | -35.8 | -33.6 |
| NGA_1004_H1 | -20.5 | -19.1 | -20.4 | -19.2 | -16.0 | -15.0 | -29.0 | -28.0 | -25.1 | -21.0 |
| T-NSMP_1596_H1 | -18.1 | -16.1 | -17.8 | -16.1 | -13.6 | -12.2 | -25.7 | -25.1 | -18.2 | -17.0 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 39 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 1.0g)

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147ya_record | -0.68 | -0.60 | -0.68 | 0.39 | 0.33 |
| 000229ya_record | -0.72 | 0.40 | -0.72 | 0.47 | 0.41 |
| 000239ya_record | -0.59 | -0.50 | -0.59 | -0.41 | -0.37 |
| 000594ya_record | 1.05 | -0.83 | 1.05 | 0.40 | 0.39 |
| 001313xa_record | 0.79 | 0.57 | 0.79 | 0.44 | 0.36 |
| 004676xa_record | 0.83 | 0.50 | 0.83 | 0.43 | 0.29 |
| 006494xa_record | 1.75 | 0.88 | 1.75 | -0.51 | 0.45 |
| NGA_1004_H1 | -1.24 | -0.52 | -1.24 | 0.38 | -0.38 |
| T-NSMP_1596_H1 | 1.38 | -0.68 | 1.40 | -0.49 | -0.41 |

Πίνακας 40 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (PGA : 1.0g)

| Καταγραφή | $\vartheta_{max} (deg)$ | $\vartheta_{res} (deg)$ |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147ya_record | -0.83 | -0.74 |
| 000229ya_record | -0.70 | -0.62 |
| 000239ya_record | -0.41 | -0.31 |
| 000594ya_record | -0.92 | -0.80 |
| 001313xa_record | -0.81 | -0.73 |
| 004676xa_record | -0.54 | -0.44 |
| 006494xa_record | -4.46 | -4.39 |
| NGA_1004_H1 | -1.48 | -1.38 |
| T-NSMP_1596_H1 | -1.64 | -1.54 |

Πίνακας 41 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 1.0g)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|----------------|-------------|
| | $u_{x,max}$ | $u_{x,res}$ | $u_{x,max}$ | $u_{x,res}$ | $u_{x,max}$ | $u_{x,res}$ | $u_{x,max}$ | $u_{x,res}$ | $u_{x,max}$ | $u_{x,res}$ |
| 000147ya_record | -31.1 | -30.7 | -16.24 | -12.41 | -31.13 | -30.70 | -0.16 | -0.04 | -11.96 | -1.53 |
| 000229ya_record | -24.8 | -24.7 | -13.45 | -9.40 | -24.83 | -24.71 | -0.10 | 0.03 | -27.61 | -1.56 |
| 000239ya_record | -10.8 | -10.6 | -6.35 | -2.94 | -10.80 | -10.63 | -0.09 | 0.04 | -32.25 | -3.24 |
| 000594ya_record | -35.4 | -34.8 | -17.0 | -15.0 | -35.4 | -34.8 | -0.2 | 0.0 | -16.2 | -5.6 |
| 001313xa_record | -27.2 | -26.8 | -12.3 | -8.8 | -27.2 | -26.8 | 0.2 | -0.1 | -16.3 | -10.5 |
| 004676xa_record | -26.3 | -26.09 | -18.80 | -15.14 | -26.31 | -26.09 | -0.10 | 0.00 | -27.50 | 8.58 |
| 006494xa_record | -334.7 | -331.84 | -236.82 | -223.13 | -334.71 | -331.84 | -2.00 | -1.89 | -24.92 | 93.18 |
| NGA_1004_H1 | -65.1 | -64.67 | -33.88 | -30.53 | -65.11 | -64.67 | -0.31 | -0.21 | -22.87 | 3.87 |
| T-NSMP_1596_H1 | -72.5 | -72.04 | -36.86 | -33.88 | -72.55 | -72.04 | -0.46 | -0.30 | -27.36 | -6.11 |

Πίνακας 42 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 1.0g)

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|----------------|-------------|
| | $u_{y,max}$ | $u_{y,res}$ | $u_{y,max}$ | $u_{y,res}$ | $u_{y,max}$ | $u_{y,res}$ | $u_{y,max}$ | $u_{y,res}$ | $u_{y,max}$ | $u_{y,res}$ |
| 000147ya_record | -18.3 | -16.9 | -18.1 | -16.8 | -14.6 | -13.5 | -26.1 | -24.5 | -23.9 | -20.2 |
| 000229ya_record | -19.9 | -18.4 | -19.5 | -18.2 | -16.9 | -15.5 | -27.6 | -26.8 | -25.8 | -22.5 |
| 000239ya_record | -9.9 | -8.4 | -9.0 | -7.8 | -7.9 | -6.9 | -14.5 | -14.0 | -13.8 | -12.8 |
| 000594ya_record | -19.8 | -18.3 | -19.5 | -18.2 | -15.6 | -14.7 | -30.0 | -28.4 | -24.3 | -23.2 |
| 001313xa_record | -19.3 | -17.2 | -18.6 | -17.0 | -16.5 | -13.8 | -24.7 | -23.7 | -23.3 | -20.6 |
| 004676xa_record | -13.5 | -12.1 | -13.0 | -11.7 | -11.3 | -10.1 | -21.8 | -21.4 | -20.7 | -18.1 |
| 006494xa_record | -66.4 | -65.2 | -70.4 | -69.3 | -46.6 | -45.5 | -110.8 | -108.3 | -39.2 | -36.9 |
| NGA_1004_H1 | -27.5 | -25.6 | -28.0 | -26.2 | -20.8 | -19.3 | -39.0 | -36.8 | -28.6 | -24.4 |
| T-NSMP_1596_H1 | -26.9 | -25.4 | -27.6 | -26.2 | -19.7 | -18.6 | -38.8 | -37.6 | -25.5 | -23.0 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 43 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (πραγματικές καταγραφές) – αριστερός τοίχος

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147ya_record | 0.34 | 0.17 | 0.34 | 0.21 | 0.20 |
| 000229ya_record | -0.26 | 0.20 | -0.26 | 0.19 | 0.17 |
| 000239ya_record | 0.43 | -0.20 | 0.43 | -0.20 | -0.21 |
| 000594ya_record | -1.25 | 0.53 | -1.24 | 0.35 | 0.32 |
| 001313xa_record | 0.51 | 0.23 | 0.51 | -0.23 | -0.25 |
| 004676xa_record | 0.32 | 0.25 | 0.32 | -0.20 | -0.19 |
| 006494xa_record | 0.20 | 0.12 | 0.20 | 0.11 | 0.11 |
| NGA_1004_H1 | 0.55 | -0.36 | 0.55 | 0.39 | 0.33 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.72 | 0.46 | -0.72 | -0.37 | -0.35 |

Πίνακας 44 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (πραγματικές καταγραφές) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | $\vartheta_{max} (deg)$ | $\vartheta_{res} (deg)$ |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147ya_record | 0.11 | 0.05 |
| 000229ya_record | 0.08 | 0.04 |
| 000239ya_record | 0.10 | 0.05 |
| 000594ya_record | 0.34 | 0.26 |
| 001313xa_record | 0.21 | 0.13 |
| 004676xa_record | 0.08 | 0.04 |
| 006494xa_record | 0.06 | 0.03 |
| NGA_1004_H1 | 0.96 | 0.87 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.83 | 0.74 |

Πίνακας 45 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (πραγματικές καταγραφές) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ |
| 000147ya_record | 2.7 | 2.5 | 2.6 | 1.3 | 2.7 | 2.5 | 0.1 | 0.0 | 4.4 | 0.1 |
| 000229ya_record | 2.3 | 2.0 | 1.7 | 1.1 | 2.3 | 2.0 | 0.1 | 0.0 | -4.6 | 0.3 |
| 000239ya_record | 2.8 | 2.5 | 2.0 | 1.1 | 2.8 | 2.5 | 0.1 | 0.0 | -5.9 | 0.3 |
| 000594ya_record | 14.6 | 14.1 | 9.8 | 7.6 | 14.6 | 14.1 | -0.2 | -0.1 | -6.7 | -1.9 |
| 001313xa_record | 5.8 | 5.5 | 3.6 | 2.2 | 5.8 | 5.5 | 0.1 | 0.0 | -4.1 | -0.4 |
| 004676xa_record | 2.3 | 2.1 | 1.5 | 1.0 | 2.3 | 2.1 | 0.1 | 0.0 | -7.0 | 0.7 |
| 006494xa_record | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 0.9 | 1.8 | 1.6 | 0.1 | 0.0 | -6.5 | 0.4 |
| NGA_1004_H1 | 39.5 | 39.4 | 20.3 | 17.8 | 39.5 | 39.4 | 0.3 | 0.2 | -17.9 | -0.6 |
| T-NSMP_1596_H1 | 36.6 | 36.3 | 21.1 | 17.9 | 36.6 | 36.3 | 0.2 | 0.1 | -17.9 | -3.4 |

Πίνακας 46 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (πραγματικές καταγραφές) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ |
| 000147ya_record | -4.4 | -3.5 | -3.4 | -2.7 | -3.8 | -3.2 | -5.3 | -5.1 | -5.2 | -4.9 |
| 000229ya_record | -3.3 | -2.8 | -2.3 | -2.0 | -2.9 | -2.6 | -3.9 | -3.8 | -4.2 | -3.9 |
| 000239ya_record | -3.5 | -2.8 | -2.5 | -1.9 | -3.0 | -2.5 | -4.2 | -3.9 | -3.8 | -3.7 |
| 000594ya_record | -7.8 | -6.8 | -7.1 | -6.1 | -6.5 | -5.5 | -14.0 | -13.4 | -11.2 | -10.7 |
| 001313xa_record | -4.7 | -4.0 | -3.7 | -3.2 | -3.7 | -3.3 | -6.8 | -6.5 | -6.9 | -6.1 |
| 004676xa_record | -3.3 | -2.9 | -2.4 | -2.0 | -2.9 | -2.6 | -3.9 | -3.7 | -3.9 | -3.8 |
| 006494xa_record | -3.4 | -2.9 | -2.4 | -2.0 | -3.0 | -2.7 | -3.8 | -3.7 | -3.8 | -3.8 |
| NGA_1004_H1 | -18.8 | -17.7 | -18.9 | -17.8 | -14.5 | -13.7 | -25.5 | -24.4 | -22.4 | -19.1 |
| T-NSMP_1596_H1 | -15.7 | -14.6 | -15.4 | -14.5 | -11.9 | -11.1 | -23.5 | -23.2 | -16.0 | -15.6 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 47 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 0.1g) – αριστερός τοίχος

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147γα_record | 0.21 | -0.08 | 0.21 | -0.12 | -0.13 |
| 000229γα_record | 0.16 | 0.10 | 0.16 | -0.13 | -0.12 |
| 000239γα_record | 0.28 | -0.09 | 0.28 | -0.12 | -0.12 |
| 000594γα_record | 0.30 | 0.18 | 0.30 | -0.15 | -0.15 |
| 001313χα_record | 0.30 | -0.09 | 0.30 | -0.13 | -0.13 |
| 004676χα_record | 0.17 | 0.14 | 0.17 | 0.13 | -0.11 |
| 006494χα_record | 0.21 | 0.11 | 0.21 | 0.12 | 0.12 |
| NGA_1004_H1 | 0.26 | 0.12 | 0.26 | 0.14 | 0.13 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.22 | 0.10 | 0.22 | -0.11 | -0.11 |

Πίνακας 48 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (PGA : 0.1g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | $\vartheta_{max} (deg)$ | $\vartheta_{res} (deg)$ |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147γα_record | 0.06 | 0.03 |
| 000229γα_record | 0.05 | 0.03 |
| 000239γα_record | 0.06 | 0.04 |
| 000594γα_record | 0.08 | 0.05 |
| 001313χα_record | 0.08 | 0.04 |
| 004676χα_record | 0.05 | 0.03 |
| 006494χα_record | 0.07 | 0.03 |
| NGA_1004_H1 | 0.06 | 0.04 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.07 | 0.04 |

Πίνακας 49 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 0.1g) – αριστερός τοίχος

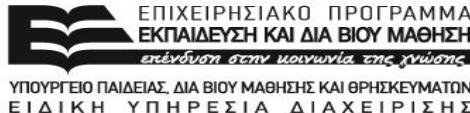
| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|----------------|------------|
| | u_x, max | u_x, res | u_x, max | u_x, res | u_x, max | u_x, res | u_x, max | u_x, res | u_x, max | u_x, res |
| 000147γα_record | 1.9 | 1.6 | 1.1 | 0.7 | 1.9 | 1.6 | 0.1 | 0.1 | 1.5 | 0.0 |
| 000229γα_record | 1.6 | 1.4 | 1.1 | 0.7 | 1.6 | 1.4 | 0.1 | 0.0 | -2.1 | 0.2 |
| 000239γα_record | 2.0 | 1.7 | 1.0 | 0.7 | 2.0 | 1.7 | 0.1 | 0.1 | -2.6 | 0.1 |
| 000594γα_record | 2.7 | 2.4 | 1.6 | 1.0 | 2.7 | 2.4 | 0.1 | 0.0 | -1.5 | 0.0 |
| 001313χα_record | 2.1 | 1.8 | 1.3 | 0.9 | 2.1 | 1.8 | 0.1 | 0.0 | -1.5 | -0.1 |
| 004676χα_record | 1.7 | 1.5 | 0.9 | 0.7 | 1.7 | 1.5 | 0.1 | 0.1 | -2.5 | 0.2 |
| 006494χα_record | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.0 | 1.9 | 1.7 | 0.1 | 0.0 | -7.0 | 0.5 |
| NGA_1004_H1 | 2.2 | 1.8 | 1.4 | 0.8 | 2.2 | 1.8 | 0.1 | 0.0 | 1.8 | 0.1 |
| T-NSMP_1596_H1 | 2.1 | 1.7 | 1.1 | 0.8 | 2.1 | 1.7 | 0.1 | 0.0 | -1.6 | 0.0 |

Πίνακας 50 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 0.1g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|----------------|------------|
| | u_y, max | u_y, res | u_y, max | u_y, res | u_y, max | u_y, res | u_y, max | u_y, res | u_y, max | u_y, res |
| 000147γα_record | -2.6 | -2.2 | -1.7 | -1.3 | -2.3 | -2.0 | -2.7 | -2.5 | -2.7 | -2.5 |
| 000229γα_record | -2.4 | -2.1 | -1.5 | -1.3 | -2.1 | -2.0 | -2.6 | -2.5 | -2.6 | -2.5 |
| 000239γα_record | -2.6 | -2.2 | -1.6 | -1.3 | -2.3 | -2.0 | -2.7 | -2.5 | -2.6 | -2.4 |
| 000594γα_record | -3.2 | -2.6 | -2.2 | -1.7 | -2.8 | -2.3 | -3.6 | -3.3 | -3.4 | -3.1 |
| 001313χα_record | -2.7 | -2.3 | -1.8 | -1.5 | -2.3 | -2.1 | -3.1 | -3.0 | -3.1 | -2.9 |
| 004676χα_record | -2.3 | -2.1 | -1.4 | -1.2 | -2.1 | -1.9 | -2.5 | -2.3 | -2.4 | -2.2 |
| 006494χα_record | -3.5 | -3.0 | -2.6 | -2.2 | -3.2 | -2.8 | -4.1 | -4.0 | -4.1 | -4.1 |
| NGA_1004_H1 | -3.0 | -2.4 | -2.0 | -1.6 | -2.6 | -2.2 | -3.3 | -3.0 | -3.1 | -2.8 |
| T-NSMP_1596_H1 | -2.6 | -2.3 | -1.7 | -1.4 | -2.3 | -2.0 | -2.8 | -2.6 | -2.7 | -2.6 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 51 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 0.2g) – αριστερός τοίχος

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147γα_record | 0.26 | 0.12 | 0.26 | 0.17 | -0.18 |
| 000229γα_record | -0.25 | 0.20 | -0.25 | 0.19 | 0.17 |
| 000239γα_record | 0.42 | -0.18 | 0.42 | -0.19 | -0.19 |
| 000594γα_record | -0.46 | 0.29 | -0.46 | -0.23 | -0.21 |
| 001313χα_record | 0.37 | 0.16 | 0.37 | -0.20 | -0.20 |
| 004676χα_record | 0.28 | 0.21 | 0.28 | 0.16 | -0.17 |
| 006494χα_record | 0.39 | 0.21 | 0.39 | 0.24 | 0.23 |
| NGA_1004_H1 | 0.41 | 0.17 | 0.41 | -0.21 | 0.18 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.33 | 0.18 | 0.33 | 0.16 | -0.16 |

Πίνακας 52 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (PGA : 0.2g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | $\theta_{max} (deg)$ | $\theta_{res} (deg)$ |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| 000147γα_record | 0.08 | 0.04 |
| 000229γα_record | 0.07 | 0.04 |
| 000239γα_record | 0.09 | 0.05 |
| 000594γα_record | 0.14 | 0.10 |
| 001313χα_record | 0.16 | 0.09 |
| 004676χα_record | 0.07 | 0.04 |
| 006494χα_record | 0.31 | 0.24 |
| NGA_1004_H1 | 0.10 | 0.06 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.13 | 0.09 |

Πίνακας 53 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 0.2g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ |
| 000147γα_record | 2.2 | 1.9 | 1.8 | 0.9 | 2.2 | 1.9 | 0.1 | 0.0 | 3.0 | 0.1 |
| 000229γα_record | 2.3 | 2.0 | 1.7 | 1.1 | 2.3 | 2.0 | 0.1 | 0.0 | -4.3 | 0.1 |
| 000239γα_record | 2.6 | 2.2 | 1.7 | 1.0 | 2.6 | 2.2 | 0.1 | 0.0 | -5.2 | 0.3 |
| 000594γα_record | 4.8 | 4.3 | 3.2 | 1.8 | 4.8 | 4.3 | 0.1 | 0.0 | -3.1 | -0.3 |
| 001313χα_record | 4.2 | 3.8 | 2.5 | 1.5 | 4.2 | 3.8 | 0.1 | 0.0 | -3.0 | -0.3 |
| 004676χα_record | 2.0 | 1.7 | 1.2 | 0.8 | 2.0 | 1.7 | 0.1 | 0.0 | -5.1 | 0.5 |
| 006494χα_record | 9.0 | 8.8 | 5.2 | 2.8 | 9.0 | 8.8 | -0.1 | 0.0 | -13.5 | 1.8 |
| NGA_1004_H1 | 3.1 | 2.9 | 2.6 | 1.3 | 3.1 | 2.9 | 0.1 | 0.0 | -4.4 | 0.1 |
| T-NSMP_1596_H1 | 3.9 | 3.5 | 2.1 | 1.3 | 3.9 | 3.5 | 0.1 | 0.0 | -3.8 | 0.1 |

Πίνακας 54 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 0.2g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ |
| 000147γα_record | -3.5 | -2.9 | -2.6 | -2.1 | -3.1 | -2.7 | -4.0 | -3.8 | -4.0 | -3.8 |
| 000229γα_record | -3.2 | -2.7 | -2.2 | -1.9 | -2.8 | -2.5 | -3.8 | -3.7 | -4.0 | -3.8 |
| 000239γα_record | -3.3 | -2.7 | -2.3 | -1.8 | -2.8 | -2.4 | -3.8 | -3.6 | -3.5 | -3.4 |
| 000594γα_record | -4.0 | -3.6 | -3.1 | -2.8 | -3.5 | -3.1 | -5.9 | -5.7 | -5.6 | -5.4 |
| 001313χα_record | -3.8 | -3.2 | -2.8 | -2.4 | -3.0 | -2.7 | -5.1 | -4.8 | -5.2 | -4.8 |
| 004676χα_record | -2.8 | -2.4 | -1.8 | -1.6 | -2.4 | -2.2 | -3.1 | -3.0 | -3.1 | -2.9 |
| 006494χα_record | -7.6 | -6.5 | -6.8 | -5.9 | -6.1 | -5.4 | -10.9 | -10.7 | -9.9 | -9.3 |
| NGA_1004_H1 | -4.1 | -3.4 | -3.1 | -2.6 | -3.6 | -3.1 | -5.4 | -5.2 | -5.1 | -4.9 |
| T-NSMP_1596_H1 | -4.0 | -3.3 | -3.0 | -2.4 | -3.3 | -2.8 | -5.0 | -4.8 | -4.7 | -4.4 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Πίνακας 55 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 0.3g) – αριστερός τοίχος

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147γα_record | 0.34 | 0.18 | 0.34 | 0.21 | 0.20 |
| 000229γα_record | 0.32 | 0.24 | 0.32 | 0.24 | 0.21 |
| 000239γα_record | 0.52 | 0.25 | 0.52 | 0.21 | -0.23 |
| 000594γα_record | 0.59 | 0.31 | 0.59 | -0.27 | -0.25 |
| 001313χα_record | 0.54 | 0.26 | 0.54 | -0.25 | -0.27 |
| 004676χα_record | 0.31 | 0.27 | 0.31 | -0.21 | -0.20 |
| 006494χα_record | 0.49 | 0.35 | 0.49 | 0.33 | 0.31 |
| NGA_1004_H1 | 0.36 | 0.23 | 0.36 | 0.23 | 0.25 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.54 | -0.21 | 0.54 | -0.20 | -0.20 |

Πίνακας 56 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (PGA : 0.3g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | $\vartheta_{max} (deg)$ | $\vartheta_{res} (deg)$ |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147γα_record | 0.11 | 0.05 |
| 000229γα_record | 0.11 | 0.05 |
| 000239γα_record | 0.12 | 0.07 |
| 000594γα_record | 0.25 | 0.19 |
| 001313χα_record | 0.23 | 0.16 |
| 004676χα_record | 0.09 | 0.05 |
| 006494χα_record | 0.91 | 0.80 |
| NGA_1004_H1 | 0.18 | 0.14 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.22 | 0.14 |

Πίνακας 57 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 0.3g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|----------------|------------|
| | u_x, max | u_x, res | u_x, max | u_x, res | u_x, max | u_x, res | u_x, max | u_x, res | u_x, max | u_x, res |
| 000147γα_record | 2.9 | 2.6 | 2.7 | 1.3 | 2.9 | 2.6 | 0.1 | 0.0 | 4.5 | 0.0 |
| 000229γα_record | 3.2 | 2.9 | 2.7 | 1.7 | 3.2 | 2.9 | 0.1 | 0.0 | -6.6 | -0.2 |
| 000239γα_record | 3.5 | 3.2 | 2.7 | 1.4 | 3.5 | 3.2 | 0.1 | 0.0 | -8.0 | 0.3 |
| 000594γα_record | 8.8 | 8.3 | 5.8 | 3.5 | 8.8 | 8.3 | -0.1 | 0.0 | -4.8 | -0.5 |
| 001313χα_record | 6.9 | 6.6 | 4.1 | 2.7 | 6.9 | 6.6 | -0.1 | 0.0 | -4.6 | -0.5 |
| 004676χα_record | 2.5 | 2.2 | 1.6 | 1.0 | 2.5 | 2.2 | 0.1 | 0.0 | -7.9 | 0.6 |
| 006494χα_record | 38.4 | 38.2 | 21.6 | 18.5 | 38.4 | 38.2 | 0.2 | 0.2 | -26.0 | -1.4 |
| NGA_1004_H1 | 5.9 | 5.6 | 4.4 | 2.2 | 5.9 | 5.6 | 0.1 | 0.0 | -6.9 | 0.2 |
| T-NSMP_1596_H1 | 6.0 | 5.6 | 3.7 | 2.1 | 6.0 | 5.6 | 0.1 | 0.0 | -5.7 | 0.1 |

Πίνακας 58 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 0.3g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|----------------|------------|
| | u_y, max | u_y, res | u_y, max | u_y, res | u_y, max | u_y, res | u_y, max | u_y, res | u_y, max | u_y, res |
| 000147γα_record | -4.4 | -3.6 | -3.5 | -2.8 | -3.9 | -3.3 | -5.5 | -5.3 | -5.3 | -5.0 |
| 000229γα_record | -4.1 | -3.4 | -3.1 | -2.6 | -3.5 | -3.1 | -5.4 | -5.2 | -5.6 | -5.3 |
| 000239γα_record | -4.0 | -3.3 | -3.0 | -2.5 | -3.4 | -2.9 | -5.3 | -5.1 | -4.6 | -4.5 |
| 000594γα_record | -5.8 | -5.2 | -4.9 | -4.4 | -4.7 | -4.2 | -9.5 | -9.1 | -8.6 | -8.3 |
| 001313χα_record | -5.1 | -4.4 | -4.2 | -3.6 | -4.0 | -3.6 | -7.7 | -7.3 | -7.6 | -6.7 |
| 004676χα_record | -3.7 | -3.1 | -2.8 | -2.2 | -3.2 | -2.8 | -4.3 | -4.1 | -4.3 | -4.2 |
| 006494χα_record | -17.4 | -15.9 | -17.3 | -15.9 | -13.2 | -12.3 | -25.3 | -24.2 | -21.1 | -17.5 |
| NGA_1004_H1 | -5.4 | -4.6 | -4.5 | -3.9 | -4.5 | -4.0 | -8.1 | -7.7 | -7.3 | -6.7 |
| T-NSMP_1596_H1 | -5.4 | -4.5 | -4.4 | -3.7 | -4.4 | -3.8 | -7.3 | -7.1 | -6.5 | -6.2 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 59 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 0.4g) – αριστερός τοίχος

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147γα_record | 0.50 | 0.28 | 0.50 | 0.24 | 0.23 |
| 000229γα_record | 0.40 | -0.29 | 0.40 | 0.27 | 0.26 |
| 000239γα_record | 0.61 | 0.28 | 0.61 | 0.28 | -0.27 |
| 000594γα_record | -1.09 | 0.50 | -1.09 | 0.34 | 0.32 |
| 001313χα_record | 0.66 | 0.33 | 0.66 | -0.30 | -0.30 |
| 004676χα_record | -0.34 | 0.30 | -0.34 | -0.24 | -0.22 |
| 006494χα_record | -1.14 | -0.50 | -1.14 | 0.36 | 0.35 |
| NGA_1004_H1 | 0.42 | 0.22 | 0.42 | 0.33 | 0.32 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.62 | -0.24 | 0.62 | 0.23 | -0.22 |

Πίνακας 60 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότουχου (PGA : 0.4g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | $\vartheta_{max} (deg)$ | $\vartheta_{res} (deg)$ |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147γα_record | 0.16 | 0.11 |
| 000229γα_record | 0.15 | 0.10 |
| 000239γα_record | 0.16 | 0.11 |
| 000594γα_record | 0.34 | 0.25 |
| 001313χα_record | 0.29 | 0.22 |
| 004676χα_record | 0.13 | 0.07 |
| 006494χα_record | 1.70 | 1.62 |
| NGA_1004_H1 | 0.32 | 0.25 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.25 | 0.20 |

Πίνακας 61 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 0.4g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ |
| 000147γα_record | 4.7 | 4.5 | 3.6 | 1.9 | 4.7 | 4.5 | 0.1 | 0.0 | 6.1 | 0.2 |
| 000229γα_record | 5.7 | 5.3 | 4.7 | 2.7 | 5.7 | 5.3 | 0.1 | 0.0 | -8.9 | -0.4 |
| 000239γα_record | 4.8 | 4.5 | 3.7 | 1.9 | 4.8 | 4.5 | 0.1 | 0.0 | -10.9 | 0.3 |
| 000594γα_record | 13.9 | 13.3 | 9.3 | 7.0 | 13.9 | 13.3 | -0.2 | -0.1 | -6.5 | -1.7 |
| 001313χα_record | 10.1 | 9.7 | 6.2 | 4.3 | 10.1 | 9.7 | -0.1 | 0.0 | -6.3 | -1.1 |
| 004676χα_record | 3.4 | 3.1 | 2.0 | 1.3 | 3.4 | 3.1 | 0.1 | 0.0 | -10.5 | 1.1 |
| 006494χα_record | 87.0 | 85.6 | 49.7 | 45.5 | 87.0 | 85.6 | 0.7 | 0.6 | -39.3 | -4.9 |
| NGA_1004_H1 | 10.7 | 10.5 | 7.1 | 4.3 | 10.7 | 10.5 | -0.1 | 0.0 | -9.4 | 0.2 |
| T-NSMP_1596_H1 | 9.0 | 8.5 | 5.5 | 3.4 | 9.0 | 8.5 | 0.1 | 0.0 | -7.8 | -0.3 |

Πίνακας 62 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 0.4g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ |
| 000147γα_record | -5.5 | -4.6 | -4.5 | -3.8 | -4.7 | -4.0 | -7.5 | -7.1 | -6.9 | -6.7 |
| 000229γα_record | -5.2 | -4.5 | -4.3 | -3.7 | -4.5 | -4.0 | -7.8 | -7.5 | -7.7 | -7.2 |
| 000239γα_record | -4.9 | -4.2 | -4.0 | -3.4 | -4.2 | -3.6 | -6.8 | -6.4 | -5.9 | -5.7 |
| 000594γα_record | -7.6 | -6.6 | -6.8 | -5.9 | -6.3 | -5.4 | -13.4 | -13.0 | -10.9 | -10.6 |
| 001313χα_record | -6.3 | -5.4 | -5.5 | -4.7 | -4.9 | -4.3 | -10.3 | -9.9 | -10.2 | -9.2 |
| 004676χα_record | -4.7 | -3.8 | -3.8 | -3.0 | -4.0 | -3.4 | -5.8 | -5.7 | -5.5 | -5.3 |
| 006494χα_record | -30.6 | -29.5 | -31.6 | -30.5 | -22.9 | -22.1 | -42.1 | -41.8 | -30.3 | -26.0 |
| NGA_1004_H1 | -7.5 | -6.5 | -6.8 | -5.9 | -6.0 | -5.3 | -12.0 | -11.3 | -10.3 | -9.8 |
| T-NSMP_1596_H1 | -6.9 | -5.8 | -6.1 | -5.0 | -5.6 | -4.8 | -10.0 | -9.5 | -8.4 | -7.9 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Πίνακας 63 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 0.5g) – αριστερός τοίχος

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147γα_record | 0.59 | 0.33 | 0.59 | 0.28 | 0.27 |
| 000229γα_record | 0.50 | -0.31 | 0.50 | 0.31 | 0.29 |
| 000239γα_record | 0.62 | 0.34 | 0.62 | 0.29 | 0.31 |
| 000594γα_record | -1.76 | 0.68 | -1.76 | -0.38 | 0.35 |
| 001313χα_record | 0.74 | 0.38 | 0.74 | -0.40 | -0.33 |
| 004676χα_record | 0.40 | 0.32 | 0.40 | -0.25 | -0.26 |
| 006494χα_record | -1.24 | -0.68 | -1.24 | 0.39 | 0.36 |
| NGA_1004_H1 | 0.53 | -0.25 | 0.53 | 0.32 | 0.32 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.62 | 0.62 | 0.62 | -0.28 | -0.27 |

Πίνακας 64 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (PGA : 0.5g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | $\vartheta_{max} (deg)$ | $\vartheta_{res} (deg)$ |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147γα_record | 0.25 | 0.17 |
| 000229γα_record | 0.23 | 0.18 |
| 000239γα_record | 0.19 | 0.14 |
| 000594γα_record | 0.39 | 0.34 |
| 001313χα_record | 0.34 | 0.27 |
| 004676χα_record | 0.19 | 0.11 |
| 006494χα_record | 2.57 | 2.50 |
| NGA_1004_H1 | 0.46 | 0.39 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.36 | 0.30 |

Πίνακας 65 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 0.5g) – αριστερός τοίχος

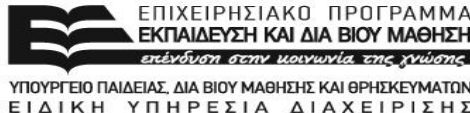
| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ |
| 000147γα_record | 7.4 | 7.2 | 5.5 | 2.9 | 7.4 | 7.2 | 0.1 | 0.0 | -7.9 | 0.1 |
| 000229γα_record | 9.4 | 9.2 | 7.5 | 4.8 | 9.4 | 9.2 | -0.1 | 0.0 | -11.9 | -0.8 |
| 000239γα_record | 6.4 | 6.0 | 4.8 | 2.6 | 6.4 | 6.0 | -0.1 | 0.0 | -13.9 | 0.1 |
| 000594γα_record | 21.2 | 20.3 | 13.7 | 11.9 | 21.2 | 20.3 | -0.2 | 0.0 | -8.3 | -3.4 |
| 001313χα_record | 13.2 | 12.9 | 9.0 | 6.2 | 13.2 | 12.9 | -0.2 | 0.0 | -8.0 | -1.6 |
| 004676χα_record | 4.8 | 4.5 | 2.7 | 1.6 | 4.8 | 4.5 | 0.1 | 0.0 | -13.2 | 1.7 |
| 006494χα_record | 127.0 | 124.1 | 69.1 | 62.2 | 127.0 | 124.1 | 1.1 | 0.9 | -43.6 | 1.7 |
| NGA_1004_H1 | 17.0 | 16.8 | 10.2 | 7.1 | 17.0 | 16.8 | -0.2 | 0.0 | -12.0 | 0.0 |
| T-NSMP_1596_H1 | 13.7 | 13.2 | 8.2 | 5.8 | 13.7 | 13.2 | -0.1 | 0.0 | -10.4 | -1.1 |

Πίνακας 66 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 0.5g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ |
| 000147γα_record | -6.7 | -5.7 | -5.9 | -5.0 | -5.6 | -4.9 | -9.7 | -9.3 | -8.3 | -7.9 |
| 000229γα_record | -6.8 | -5.9 | -6.0 | -5.2 | -5.7 | -5.1 | -11.0 | -10.4 | -10.2 | -9.3 |
| 000239γα_record | -5.7 | -4.8 | -4.7 | -4.0 | -4.9 | -4.1 | -8.1 | -7.8 | -7.2 | -6.8 |
| 000594γα_record | -10.1 | -8.7 | -9.3 | -8.0 | -8.3 | -7.1 | -17.7 | -16.8 | -14.0 | -12.9 |
| 001313χα_record | -7.6 | -6.7 | -6.8 | -6.0 | -6.0 | -5.4 | -13.3 | -12.7 | -12.1 | -11.1 |
| 004676χα_record | -5.9 | -4.7 | -5.0 | -3.9 | -5.0 | -4.1 | -7.5 | -7.2 | -7.1 | -6.7 |
| 006494χα_record | -44.1 | -43.1 | -46.2 | -45.1 | -32.4 | -31.7 | -55.4 | -54.8 | -33.7 | -30.3 |
| NGA_1004_H1 | -10.1 | -9.1 | -9.5 | -8.6 | -7.9 | -7.3 | -15.6 | -15.0 | -13.3 | -12.9 |
| T-NSMP_1596_H1 | -8.3 | -7.3 | -7.6 | -6.7 | -6.6 | -5.9 | -13.5 | -12.8 | -10.4 | -10.1 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 67 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 0.6g) – αριστερός τοίχος

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147γα_record | 0.55 | 0.32 | 0.55 | -0.31 | -0.30 |
| 000229γα_record | 0.53 | -0.29 | 0.53 | 0.33 | 0.30 |
| 000239γα_record | 0.66 | 0.31 | 0.66 | -0.33 | -0.31 |
| 000594γα_record | -1.77 | 0.79 | -1.77 | 0.40 | 0.37 |
| 001313χα_record | -1.52 | -0.43 | -1.53 | -0.40 | -0.36 |
| 004676χα_record | 0.47 | 0.32 | 0.47 | -0.26 | -0.27 |
| 006494χα_record | -0.62 | -0.50 | -0.62 | 0.45 | 0.39 |
| NGA_1004_H1 | 0.58 | 0.26 | 0.58 | 0.36 | 0.33 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.69 | 0.30 | 0.69 | -0.32 | -0.32 |

Πίνακας 68 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (PGA : 0.6g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | $\vartheta_{max} (deg)$ | $\vartheta_{res} (deg)$ |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147γα_record | 0.37 | 0.27 |
| 000229γα_record | 0.32 | 0.24 |
| 000239γα_record | 0.22 | 0.17 |
| 000594γα_record | 0.49 | 0.44 |
| 001313χα_record | 0.42 | 0.35 |
| 004676χα_record | 0.27 | 0.18 |
| 006494χα_record | 3.46 | 3.39 |
| NGA_1004_H1 | 0.67 | 0.59 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.50 | 0.44 |

Πίνακας 69 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 0.6g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ |
| 000147γα_record | 11.9 | 11.5 | 7.9 | 4.9 | 11.9 | 11.5 | -0.1 | 0.0 | 9.6 | 0.0 |
| 000229γα_record | 13.1 | 12.7 | 9.7 | 6.7 | 13.1 | 12.7 | -0.2 | -0.1 | -15.9 | -1.5 |
| 000239γα_record | 8.0 | 7.7 | 6.0 | 3.5 | 8.0 | 7.7 | -0.1 | 0.0 | -17.2 | -0.2 |
| 000594γα_record | 28.8 | 28.1 | 19.7 | 17.2 | 28.8 | 28.1 | 0.3 | 0.1 | -10.1 | -4.3 |
| 001313χα_record | 18.6 | 18.2 | 12.0 | 9.5 | 18.6 | 18.2 | -0.1 | 0.0 | -9.9 | -4.1 |
| 004676χα_record | 6.8 | 6.6 | 3.8 | 2.2 | 6.8 | 6.6 | 0.1 | 0.0 | -15.9 | 2.6 |
| 006494χα_record | 156.7 | 151.7 | 76.3 | 67.6 | 156.7 | 151.7 | 1.3 | 1.2 | 51.2 | 20.8 |
| NGA_1004_H1 | 25.7 | 25.5 | 14.0 | 10.8 | 25.7 | 25.5 | -0.2 | 0.1 | -14.7 | 0.3 |
| T-NSMP_1596_H1 | 21.7 | 21.1 | 12.9 | 10.3 | 21.7 | 21.1 | -0.2 | 0.0 | -13.8 | -2.5 |

Πίνακας 70 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 0.6g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ |
| 000147γα_record | -8.5 | -7.4 | -7.7 | -6.7 | -6.9 | -6.1 | -12.6 | -12.0 | -10.6 | -10.1 |
| 000229γα_record | -9.6 | -8.2 | -8.6 | -7.5 | -7.9 | -7.0 | -14.7 | -13.9 | -14.2 | -12.8 |
| 000239γα_record | -6.6 | -5.4 | -5.6 | -4.7 | -5.5 | -4.6 | -9.8 | -9.3 | -8.9 | -8.0 |
| 000594γα_record | -12.4 | -11.1 | -11.8 | -10.6 | -10.3 | -9.0 | -21.6 | -20.8 | -16.5 | -15.6 |
| 001313χα_record | -8.7 | -7.9 | -8.1 | -7.3 | -6.9 | -6.2 | -16.5 | -15.8 | -14.0 | -13.1 |
| 004676χα_record | -7.4 | -5.9 | -6.6 | -5.2 | -6.1 | -5.0 | -9.8 | -9.4 | -8.6 | -8.1 |
| 006494χα_record | -56.0 | -55.3 | -59.1 | -58.4 | -40.5 | -39.9 | -64.2 | -63.5 | -36.1 | -32.6 |
| NGA_1004_H1 | -14.1 | -12.8 | -13.7 | -12.6 | -10.9 | -10.1 | -19.5 | -19.0 | -18.0 | -15.7 |
| T-NSMP_1596_H1 | -10.5 | -9.7 | -9.9 | -9.2 | -8.2 | -7.7 | -17.7 | -17.1 | -13.1 | -12.7 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 71 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 0.8g) – αριστερός τοίχος

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147ya_record | 0.54 | -0.38 | 0.54 | -0.38 | -0.33 |
| 000229ya_record | 0.63 | 0.43 | 0.63 | -0.36 | -0.33 |
| 000239ya_record | -0.80 | 0.36 | -0.80 | -0.38 | -0.40 |
| 000594ya_record | -1.23 | 0.49 | -1.23 | 0.54 | 0.39 |
| 001313xa_record | -1.52 | -0.52 | -1.52 | -0.46 | -0.35 |
| 004676xa_record | 0.58 | -0.38 | 0.58 | 0.31 | -0.27 |
| 006494xa_record | -1.25 | 0.71 | -1.25 | 0.55 | 0.46 |
| NGA_1004_H1 | -0.62 | -0.43 | -0.62 | 0.35 | 0.35 |
| T-NSMP_1596_H1 | -0.82 | 0.52 | -0.82 | -0.39 | -0.36 |

Πίνακας 72 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδοτόχου (PGA : 0.8g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | $\vartheta_{max} (deg)$ | $\vartheta_{res} (deg)$ |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147ya_record | 0.53 | 0.44 |
| 000229ya_record | 0.37 | 0.32 |
| 000239ya_record | 0.31 | 0.25 |
| 000594ya_record | 0.68 | 0.62 |
| 001313xa_record | 0.62 | 0.54 |
| 004676xa_record | 0.49 | 0.39 |
| 006494xa_record | 5.22 | 5.17 |
| NGA_1004_H1 | 1.11 | 1.04 |
| T-NSMP_1596_H1 | 0.98 | 0.94 |

Πίνακας 73 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 0.8g) – αριστερός τοίχος

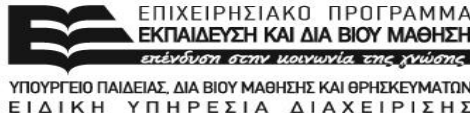
| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ |
| 000147ya_record | 22.2 | 21.8 | 14.5 | 10.8 | 22.2 | 21.8 | -0.1 | 0.0 | 13.9 | -1.6 |
| 000229ya_record | 20.6 | 20.3 | 16.1 | 12.4 | 20.6 | 20.3 | -0.3 | -0.1 | -24.2 | -2.8 |
| 000239ya_record | 12.2 | 12.0 | 8.4 | 5.7 | 12.2 | 12.0 | -0.1 | 0.0 | -24.0 | -1.0 |
| 000594ya_record | 37.6 | 37.1 | 24.8 | 21.6 | 37.6 | 37.1 | 0.3 | 0.1 | -13.7 | -5.7 |
| 001313xa_record | 30.4 | 29.9 | 19.6 | 16.5 | 30.4 | 29.9 | -0.2 | 0.1 | -13.6 | -8.4 |
| 004676xa_record | 14.2 | 14.0 | 6.7 | 4.3 | 14.2 | 14.0 | 0.1 | 0.0 | -21.5 | 4.9 |
| 006494xa_record | 222.3 | 215.1 | 96.6 | 87.0 | 222.3 | 215.1 | 1.8 | 1.7 | 72.2 | 54.3 |
| NGA_1004_H1 | 47.7 | 47.6 | 24.8 | 21.7 | 47.7 | 47.6 | 0.3 | 0.3 | -19.7 | -0.7 |
| T-NSMP_1596_H1 | 46.1 | 45.5 | 26.1 | 22.3 | 46.1 | 45.5 | 0.3 | 0.2 | -19.8 | -3.8 |

Πίνακας 74 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 0.8g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ |
| 000147ya_record | -13.2 | -11.5 | -12.6 | -11.0 | -10.8 | -9.4 | -19.1 | -18.3 | -16.7 | -14.3 |
| 000229ya_record | -14.4 | -13.2 | -13.5 | -12.6 | -12.7 | -11.7 | -23.1 | -21.8 | -21.4 | -19.3 |
| 000239ya_record | -8.2 | -6.9 | -7.2 | -6.2 | -6.6 | -5.7 | -12.7 | -12.4 | -11.1 | -10.6 |
| 000594ya_record | -16.5 | -14.8 | -16.1 | -14.6 | -13.5 | -11.9 | -25.7 | -25.1 | -20.5 | -19.5 |
| 001313xa_record | -13.1 | -11.8 | -12.5 | -11.4 | -10.3 | -9.2 | -22.3 | -21.6 | -19.2 | -17.4 |
| 004676xa_record | -10.4 | -9.2 | -9.8 | -8.8 | -8.4 | -7.4 | -14.8 | -3.5 | -13.8 | -12.6 |
| 006494xa_record | -78.8 | -77.4 | -84.0 | -82.6 | -55.3 | -54.1 | -80.3 | -79.4 | -35.5 | -33.2 |
| NGA_1004_H1 | -21.9 | -20.7 | -22.2 | -21.0 | -17.0 | -15.9 | -29.0 | -27.6 | -24.8 | -20.7 |
| T-NSMP_1596_H1 | -18.3 | -17.3 | -18.4 | -17.4 | -13.9 | -13.0 | -27.3 | -26.5 | -18.0 | -16.9 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 75 Μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις (PGA : 1.0g) – αριστερός τοίχος

| | Κορυφή | Βάση | Γερανός (Σημείο Α) | Γερανός (Σημείο Β) | Ελεύθερο Πεδίο |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Καταγραφή | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ | $a_x (g)$ |
| 000147γα_record | 0.54 | 0.49 | 0.55 | 0.38 | 0.33 |
| 000229γα_record | 0.76 | 0.47 | 0.76 | 0.40 | 0.39 |
| 000239γα_record | -0.90 | 0.49 | -0.90 | -0.49 | -0.38 |
| 000594γα_record | -2.15 | 0.50 | -2.15 | 0.45 | 0.39 |
| 001313χα_record | -1.56 | -0.59 | -1.55 | -0.47 | 0.34 |
| 004676χα_record | 0.74 | -0.46 | 0.74 | -0.33 | 0.29 |
| 006494χα_record | -2.65 | 0.93 | -2.64 | 0.54 | 0.44 |
| NGA_1004_H1 | 0.79 | -0.65 | 0.79 | 0.49 | 0.38 |
| T-NSMP_1596_H1 | -1.39 | -0.69 | -1.38 | -0.43 | -0.40 |

Πίνακας 76 Μέγιστη και παραμένουσα στροφή κρηπιδότοιχου (PGA : 1.0g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | $\vartheta_{max} (deg)$ | $\vartheta_{res} (deg)$ |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 000147γα_record | 0.70 | 0.61 |
| 000229γα_record | 0.61 | 0.55 |
| 000239γα_record | 0.41 | 0.33 |
| 000594γα_record | 0.77 | 0.71 |
| 001313χα_record | 0.74 | 0.66 |
| 004676χα_record | 0.78 | 0.66 |
| 006494χα_record | 7.34 | 7.25 |
| NGA_1004_H1 | 1.68 | 1.58 |
| T-NSMP_1596_H1 | 1.69 | 1.63 |

Πίνακας 77 Μέγιστες και παραμένουσες οριζόντιες μετατοπίσεις σε cm σε cm (PGA : 1.0g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ | $u_{x, max}$ | $u_{x, res}$ |
| 000147γα_record | 30.79 | 30.25 | 19.86 | 15.16 | 30.79 | 30.25 | 0.14 | 0.05 | 18.43 | -1.52 |
| 000229γα_record | 32.43 | 32.13 | 22.42 | 18.56 | 32.43 | 32.13 | 0.19 | 0.03 | 18.47 | -1.54 |
| 000239γα_record | 18.02 | 17.40 | 12.09 | 9.27 | 18.02 | 17.40 | 0.09 | -0.04 | 1.54 | -3.23 |
| 000594γα_record | 41.1 | 40.6 | 26.5 | 22.9 | 41.1 | 40.6 | 0.2 | 0.1 | -16.2 | -5.6 |
| 001313χα_record | 36.6 | 36.1 | 24.3 | 19.7 | 36.6 | 36.1 | -0.2 | 0.0 | -16.3 | -10.5 |
| 004676χα_record | 23.97 | 23.69 | 10.64 | 7.41 | 23.97 | 23.69 | 0.16 | 0.04 | 9.28 | 8.59 |
| 006494χα_record | 286.90 | 278.95 | 108.03 | 99.31 | 286.90 | 278.95 | 2.15 | 2.07 | 108.52 | 93.24 |
| NGA_1004_H1 | 70.20 | 69.89 | 34.20 | 30.71 | 70.20 | 69.89 | 0.46 | 0.36 | 18.80 | 3.90 |
| T-NSMP_1596_H1 | 83.31 | 82.87 | 46.81 | 42.45 | 83.31 | 82.87 | 0.47 | 0.39 | 9.25 | -6.07 |

Πίνακας 78 Μέγιστες και παραμένουσες κατακόρυφες μετατοπίσεις σε cm (PGA : 1.0g) – αριστερός τοίχος

| Καταγραφή | Κορυφή | | Βάση | | Γερανός (Σημείο Α) | | Γερανός (Σημείο Β) | | Ελεύθερο Πεδίο | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|
| | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ | $u_{y, max}$ | $u_{y, res}$ |
| 000147γα_record | -17.5 | -16.0 | -17.2 | -15.8 | -14.4 | -13.2 | -25.8 | -24.7 | -23.9 | -20.2 |
| 000229γα_record | -19.5 | -18.0 | -19.0 | -17.8 | -16.8 | -15.5 | -30.4 | -28.5 | -25.9 | -22.4 |
| 000239γα_record | -9.5 | -8.4 | -8.8 | -7.8 | -7.7 | -6.9 | -15.9 | -15.3 | -14.0 | -12.8 |
| 000594γα_record | -18.4 | -17.5 | -18.2 | -17.3 | -15.3 | -14.2 | -28.9 | -28.2 | -24.4 | -23.1 |
| 001313χα_record | -15.7 | -14.6 | -15.4 | -14.4 | -12.4 | -11.6 | -27.2 | -25.8 | -23.3 | -20.7 |
| 004676χα_record | -16.1 | -14.9 | -15.9 | -14.8 | -13.0 | -11.9 | -22.1 | -20.8 | -20.7 | -18.0 |
| 006494χα_record | -102.0 | -99.9 | -107.4 | -105.4 | -71.2 | -69.6 | -96.0 | -94.3 | -38.3 | -36.4 |
| NGA_1004_H1 | -30.3 | -29.1 | -31.3 | -30.0 | -22.9 | -21.9 | -37.7 | -37.5 | -28.5 | -24.3 |
| T-NSMP_1596_H1 | -29.5 | -28.1 | -30.4 | -29.1 | -21.8 | -20.7 | -40.6 | -39.3 | -25.4 | -23.2 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Ερευνητικό Πρόγραμμα «ΘΑΛΗΣ - ΕΜΠ»

Σύγχρονη Μεθοδολογία Εκτίμησης της Σεισμικής Τρωτότητας και Αντισεισμικής Αναβάθμισης Λιμενικών Συστημάτων

MIS : 380174.

Δράση 8:

Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της
σεισμικής τρωτότητας λιμενικών εγκαταστάσεων

Παραδοτέο 8.3:

Εκτίμηση σεισμικής τρωτότητας αγωγών και
λοιπών λιμενικών κατασκευών στην Ελλάδα

Τεχνική Εκθεση

Σύνταξη:

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Σεπτέμβριος, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



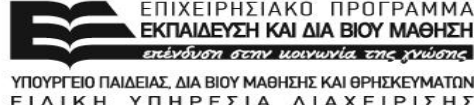
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Εισαγωγή | 2 |
| 2 | Εκτίμηση σεισμικής τρωτότητας αγωγών | 2 |
| 3 | Εκτίμηση σεισμικής τρωτότητας εγκαταστάσεων δεξαμενών | 16 |
| 4 | Συμπεράσματα | 28 |
| | Βιβλιογραφία | 29 |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

1 Εισαγωγή

Η εμπειρία από μεγάλους σεισμούς του παρελθόντος (π.χ. LomaPrieta, 1989, στις Η.Π.Α., Hyogoken-Nanbu, 1995, και Tokachi-Okii, 2003, στην Ιαπωνία, Kocaeli, 1999, στην Τουρκία) έχει επιδείξει την υψηλή τρωτότητα των λιμενικών εγκαταστάσεων, καθώς και τις σοβαρές φυσικές και οικονομικές (άμεσες και έμμεσες) απώλειες που μπορούν να προκληθούν λόγω της εδαφικής ταλάντωσης και εδαφικής αστοχίας. Η αποτίμηση της επιδεκτικότητας των λιμενικών εγκαταστάσεων σε σεισμικές βλάβες είναι επομένως βαρύνουσας σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση της σεισμικής διακινδύνευσης ενός λιμένα. Οι σχέσεις μεταξύ σεισμικής έντασης και βλάβης αποτελούν το βασικό εργαλείο για την εκτίμηση της τρωτότητας των κατασκευών με συγκεκριμένα τυπολογικά χαρακτηριστικά.

Στο συγκεκριμένο Παραδοτέο πραγματοποιείται μια βιβλιογραφική επισκόπηση των διαθέσιμων σχέσεων τρωτότητας για στοιχεία πέραν των κρηπιδοτοιχών και των γερανών που συνθέτουν ένα σύνολο λιμενικών εγκαταστάσεων, όπως είναι οι αγωγοί και οι δεξαμενές αποθήκευσης (π.χ. καυσίμων, ύδατος κτλ). Σημειώνεται ότι οι διαθέσιμες μελέτες στηρίζονται κυρίως σε εμπειρικές μεθόδους. Οι σχέσεις τρωτότητας για αγωγούς υπολογίζουν τις αναμενόμενες βλάβες ανά km αγωγού για δεδομένη σεισμική ένταση, ενώ οι αντίστοιχες σχέσεις για δεξαμενές υπολογίζουν την πιθανότητα το υπό εξέταση στοιχείο να βρίσκεται ή να έχει υπερβεί μια προκαθορισμένη στάθμη βλάβης (π.χ. μικρές, μέτριες, εκτενείς, πλήρεις) για δεδομένη σεισμική ένταση (Pitilakis et al., 2014). Επίσης οι στάθμες βλάβης που προτείνονται στη βιβλιογραφία σχετίζονται κατά κύριο λόγο με τις άμεσες οικονομικές απώλειες, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις συσχετίζονται με το επίπεδο λειτουργικότητας της συγκεκριμένης συνιστώσας ή και με τον απαιτούμενο χρόνο αποκατάστασης. Δίνονται τέλος κάποιες συστάσεις αναφορικά με την επιλογή των πιο δόκιμων σχέσεων που μπορούν να εφαρμοστούν για την τυπολογία κατασκευών του Ελλαδικού χώρου.

2 Εκτίμηση σεισμικής τρωτότητας αγωγών

2.1 Τυπολογία αγωγών

Οι αγωγοί διακρίνονται καταρχήν με βάση τη χρήση τους, σε αγωγούς μεταφοράς πόσιμου νερού, όμβριων υδάτων, λυμάτων, φυσικού αερίου ή υγρών καυσίμων. Η τυπολογία τους εξαρτάται πρωτίστως από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: τη θέση (υπέργειοι ή υπόγειοι), το υλικό, τη γεωμετρία (διάμετρος αγωγού, πάχος τοιχώματος), τον τύπο του αρμού, τον τύπο της



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

σύνδεσης (συνεχείς, σε τμήματα) και τις συνθήκες διάβρωσης (όπως η ηλικία και οι εδαφικές συνθήκες). Σύμφωνα με τα παραπάνω, η πρώτη βασική διάκριση των αγωγών είναι σε υπόγειους (θαμμένους εντός μικρού βάθους ορύγματος) ή υπέργειους (συνήθως σε κάποια βάση από σκυρόδεμα ή μεταλλική). Το παρόν κεφάλαιο θα επικεντρωθεί περισσότερο στους υπόγειους αγωγούς, που αποτελεί την πιο τυπική κατηγορία για τη μεταφορά ρευστών ή αερίων σε ένα λιμάνι. Παρακάτω (Πίνακας 1) δίδονται οι πιο κοινοί τύποι υλικών και συνδέσεων που χρησιμοποιούνται σε υπόγειους αγωγούς.

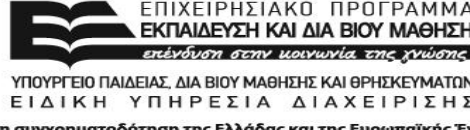
Πίνακας 1. Οι πιο κοινοί τύποι υλικών και συνδέσεων που χρησιμοποιούνται σε υπόγειους αγωγούς (NIBS, 2004, ALA 2001)

| Υλικό | Τύπος σύνδεσης |
|------------------------|---|
| Αμίαντος-Τσιμέντο (AC) | Φλάντζα (Rubber gasket) |
| Χυτοσίδηρος (CI) | Μούφα (Socket and Spigot) Τύπος Α |
| Ελατός σίδηρος (DI) | Γενικές ενώσεις (τύπου A, K, T) Ενώσεις που ανθίστανται σε σεισμό (Τύποι S, SII) |
| Χάλυβας (WS) | Συγκόλληση Κοχλιωτές ενώσεις (threaded joints SGP) |
| Πλαστικό (PVC) | Τύπος TS |
| Πολυαιθυλένιο (PE) | Ηλεκτροσύντηξη |

Οι αγωγοί μπορούν επίσης να διακριθούν σε αγωγούς ελεύθερης ροής και σε αγωγούς πίεσης. Οι αγωγοί ελεύθερης ροής είναι απλά κανάλια (ανοικτά στην ατμόσφαιρα και υπερυψωμένα) ή τάφροι ή σωληνώσεις ή σήραγγες όπου η ροή γίνεται σε ελεύθερη επιφάνεια (συνήθως, είναι μερικώς γεμάτοι). Οι αγωγοί πίεσης (θαμμένοι ή υπέργειοι) μπορεί να είναι σωλήνες ή σήραγγες στους οποίους η μετακίνηση των ρευστών γίνεται υπό πίεση. Προκειμένου να αποφευχθεί η μόλυνση του επεξεργασμένου ύδατος, οι σωλήνες πόσιμου νερού λειτουργούν τις περισσότερες φορές υπό πίεση. Η πίεση σχεδιασμού των διάφορων τύπων αγωγών μπορεί να επηρεάσει μια σειρά από τυπολογικά και μηχανικά χαρακτηριστικά όπως: τον τύπο και την αντοχή του υλικού, τη διάμετρο, το πάχος του τοιχώματος, τον τύπο της σύνδεσης, την ομαλότητα της επικάλυψης, τη ροή σχεδιασμού. Τα κανάλια χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ύδατος. Γενικά, τα κανάλια λειτουργούν με ατμοσφαιρική πίεση και είναι μεγαλύτερα σε διαστάσεις από τους αγωγούς πίεσης. Βασικά πλεονεκτήματα είναι η ευελιξία κατασκευής τους, η διάρκεια ζωής τους συγκρινόμενη με τους μεταλλικούς αγωγούς που συνήθως χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ύδατος και η μικρή απώλεια της



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

υδραυλικής παροχής (αρκετά μικρή στην πάροδο των ετών). Σημαντικό μειονέκτημα μπορεί να θεωρηθεί η ανάγκη διασφάλισης της τελικής παροχής.

Οι υπόγειοι αγωγοί είναι ευάλωτοι σε βλάβες που προκαλούνται κυρίως από μόνιμες εδαφικές μετακινήσεις λόγω εδαφικής αστοχίας (π.χ. ρευστοποίηση, κατολίσθηση, διασταύρωση με ρήγμα), σε συνδυασμό με τη συνήθως μη παραμένουσα εδαφική παραμόρφωση λόγω εδαφικής ταλάντωσης. Ο Πίνακας 2 συνοψίζει τα βασικά χαρακτηριστικά των δύο αυτών φυσικών φαινομένων. Σύμφωνα με τον Eguchi (1987), αρκετοί σεισμοί ανά τον κόσμο έχουν προκαλέσει σημαντικές βλάβες σε υπόγειους αγωγούς κυρίως ως αποτέλεσμα της γειτνίασης με ρήγμα, της ρευστοποίησης ή της κατολίσθησης (Hall 1987).

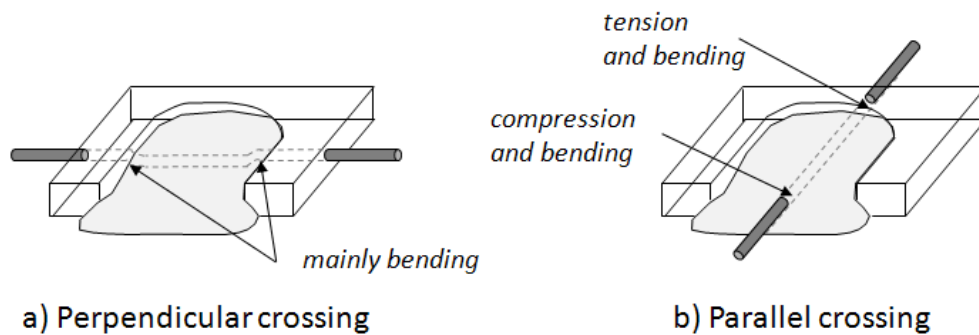
Πίνακας 2. Σύνοψη των δύο κύριων τύπων εδαφικής παραμόρφωσης που επηρεάζουν τους υπόγειους αγωγούς σε περίπτωση σεισμού

| | Μόνιμη εδαφική μετακίνηση | Εδαφική ταλάντωση |
|--------------------------------|---|---|
| Επικινδυνότητα | Γειτνίαση με ρήγμα, ρευστοποίηση, κατολίσθηση | Κύματα R , Κύματα S |
| Μέτρο σεισμικής έντασης | PGD (παραμένουσα εδαφική μετακίνηση) | Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση/ ταχύτητα/ παραμόρφωση |
| Χωρική επίπτωση | Τοπική και συγκεντρωμένη | Σε μεγάλη έκταση |

2.2 Βλάβες λόγω της παραμένουσας εδαφικής μετακίνησης

Οι παραμένουσες εδαφικές μετακινήσεις είναι συνήθως η κύρια αιτία εμφάνισης βλαβών σε υπόγειους αγωγούς, όπως επιβεβαιώθηκε από πληθώρα παραδειγμάτων σε προηγούμενους σεισμούς, για παράδειγμα του Kern County το 1952, της Niigata το 1964, της Alaska το 1964, της Niigata το 2007 και των σεισμών του Canterbury το 2010 και 2011. Κατά τη διάρκεια του σεισμού του San Fernando το 1971, οι αγωγοί από σίδηρο υπέστησαν σημαντικές βλάβες λόγω της εδαφικής ταλάντωσης, ωστόσο σοβαρές ήταν επίσης οι βλάβες λόγω της πλευρικής εξάπλωσης του εδάφους (Σχήμα 1) (EERI 1986, O'Rourke and Trautmann 1981, O'Rourke 1988). Αναφορικά με την ρευστοποίηση, ένα καλό παράδειγμα αστοχίας σε αγωγούς είναι αυτό του σεισμού της Niigata το 1964, όπου ο μέσος ρυθμός αστοχιών έφτασε τα 0.97 ανά km αγωγών. Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζουν οι βλάβες που παρατηρήθηκαν στα δίκτυα αγωγών της πόλης του Christchurch λόγω εκτεταμένης ρευστοποίησης κατά τους πρόσφατους σεισμούς

του Canterbury (2010 και 2011) στη Νέα Ζηλανδία (O'Rourke et al., 2012, O'Rourke et al., 2014). Οι αγωγοί φυσικού αερίου παρουσίασαν περιορισμένες έως καθόλου βλάβες (0.006/km), γεγονός που αποδίδεται στην αντοχή και πλαστιμότητα των αγωγών πολυαιθυλενίου ακόμη και σε υψηλές εφελκυστικές τάσεις. Αντίθετα, οι αγωγοί ύδρευσης παρουσίασαν εκτεταμένες βλάβες έως και 2.59/km σε αμιαντοτσιμεντοσωλήνες και έως 2.46/km σε χυτοσιδηρούς σωλήνες. Στο δίκτυο αποχέτευσης οι βλάβες ανήλθαν σε 1.06/km εντός της ζώνης ρευστοποίησης (Kongar et al. 2015). Ενδεικτικά στο Σχήμα 2 φαίνονται τυπικές βλάβες λόγω καθίζησης και πλευρικής παραμόρφωσης που υπέστη αγωγός μεταφοράς καυσίμων του λιμανιού Lyttelton στο Christchurch από το σεισμό του Darfield (2010).



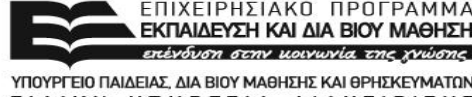
Σχήμα 1. Βασικές μορφές αστοχίας σε αγωγό που διασταυρώνεται (α) κάθετα και (β) παράλληλα με την πλευρική εξάπλωση (προσαρμογή από Rauch, 1997)



Σχήμα 2. (α) Καθίζηση και πλευρική παραμόρφωση σε αγωγό μεταφοράς καυσίμων (β) Προσωρινή ξύλινη στήριξη για παραλαβή της καθίζησης αγωγού μεταφοράς καυσίμων (Cubrinovski et al, 2010).



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

2.3 Βλάβες λόγω της εδαφικής ταλάντωσης

Οι O'Rourke & Ayala (1990) ανέφεραν ότι οι σεισμοί που έχουν υποστεί βλάβες αποκλειστικά μόνο λόγω της εδαφικής ταλάντωσης είναι λίγοι, όπως αυτός του Michoacan το 1985 ή αυτός της Loma Prieta το 1989. Ωστόσο, στις περισσότερες των περιπτώσεων, φαίνεται ότι η εδαφική ταλάντωση οδηγεί σε αστοχία αγωγών οι οποίοι έχουν ήδη χάσει μέρος της αντοχής τους είτε λόγω διάβρωσης είτε λόγω κακής ποιότητας συγκόλλησης (EERI 1986). Άλλα σεισμικά γεγονότα, όπως οι σεισμοί του Northridge το 1994, του Kobe το 1995, του Kocaeli 1999, του Chi-Chi το 1999, και του Canterbury το 2010 και 2011, επιβεβαίωσαν τη σχετική τρωτότητα των αγωγών στην ισχυρή εδαφική κίνηση και την σχετικά καλή απόκριση των πιο σύγχρονων συγκολλητών αγωγών από σίδηρο και πολυαιθυλένιο. Για παράδειγμα κατά τους σεισμούς του Canterbury το 2010 και 2011 οι βλάβες που σημειώθηκαν σε αγωγούς ύδρευσης στην πόλη του Christchurch ήταν κατά μέσο όρο 0.27/km εκτός ζώνης ρευστοποίησης έναντι 1.68/km στις ζώνες ρευστοποίησης. Για τους αγωγούς αποχέτευσης οι αντίστοιχες βλάβες ήταν 1.06/km και 0.12/km. Επομένως, στον αντισεισμικό σχεδιασμό συστημάτων αγωγών, έμφαση πρέπει να δίνεται στην ευκαμψία των αγωγών και στην ποιότητα των συγκολλήσεων ή των συνδέσεων καθώς οι τελευταίες αποτελούν αποδεδειγμένα τα πιο τρωτά στοιχεία του αγωγού.

2.4 Μορφές αστοχίας για υπόγειους αγωγούς

Η άμεση βλάβη σε αγωγούς μπορεί να χαρακτηριστεί ως διαρροή ή θραύση. Το ποσοστό των διαρροών και των θραύσεων σχετίζεται κυρίως με τη διάμετρο του αγωγού. Εξαρτάται επίσης από τον τύπο της εδαφικής παραμόρφωσης (εδαφική ταλάντωση ή μόνιμη εδαφική μετακίνηση). Η πιο σοβαρή μορφή αστοχίας σε αγωγούς που κατασκευάζονται σε τμήματα, παρουσιάζεται στην περίπτωση διασταύρωσης με την επιφανειακή εμφάνιση ρήγματος (ALA, 2001). Επίσης οι θραύσεις των αγωγών μπορούν να λαμβάνουν χώρα λόγω των σχετικών κατακόρυφων μετατοπίσεων σε μεταβατικές ζώνες μεταξύ εδαφικών σχηματισμών διαφορετικής δυσκαμψίας και σε περιοχές με εδάφη επιδεκτικά σε ρευστοποίηση. Θραύσεις μπορούν επίσης να προκληθούν στις θέσεις όπου οι αγωγοί εισέρχονται σε δεξαμενές ή άλλες εγκαταστάσεις. Οι κατολισθήσεις μπορούν επίσης να προκαλέσουν σοβαρές τοπικές βλάβες σε υπόγειους αγωγούς που διέρχονται εντός πρανών.

Οι συνεχείς αγωγοί όπως οι συγκολλητοί αγωγοί από σίδηρο συνήθως αστοχούν λόγω παραμορφώσεων που προκαλούνται από κάμψη, τοπικό λυγισμό και εφελκυσμό του κορμού του αγωγού (O'Rourke and Liu, 1999). Αυτές οι παραμορφώσεις μπορεί να μην προκαλέσουν άμεσα διαρροή, ωστόσο η μεταβολή της διατομής του αγωγού μπορεί να οδηγήσει σε



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

διακοπή της ροής του ρευστού (ή του αερίου). Μία ακόμη κρίσιμη παράμετρος που επηρεάζει την αντίσταση των συνεχών αγωγών αποτελεί η ποιότητα των συγκολλήσεων, καθώς μελέτες έχουν δείξει ότι οι αγωγοί που κατασκευάστηκαν με κακής ποιότητας συγκολλήσεις πριν από τη δεκαετία του 1930 υπέστησαν βλάβες κυρίως στις θέσεις των συνδέσεων.

Οι αγωγοί σε τμήματα συνήθως αποτελούνται από άκαμπτα τμήματα αγωγών (π.χ. από χυτοσίδηρο ή σκυρόδεμα) που συνδέονται μέσω εύκαμπτων ή χαλαρών συνδέσεων. Αυτή η τυπολογία αγωγών δεν μπορεί να αντέξει μεγάλες μετακινήσεις πριν τη διαρροή του υλικού κατασκευής. Σύμφωνα με την ALA (2001) διακρίνονται τρεις μορφές αστοχίας για αυτό τον τύπο αγωγών: εφελκυσμός και κάμψη του κορμού του αγωγού, εκτεταμένη στροφή της σύνδεσης και αξονικός εφελκυσμός των συνδέσεων. Αντίστοιχα σύμφωνα με τους Singhal (1984) και O'Rourke and Liu (1999) οι πιο πιθανές μορφές αστοχίας των συνδέσεων είναι ο αξονικός εφελκυσμός, η τοπική σύνθλιψη, και η στροφή, ενώ για τον κορμό είναι οι περιμετρικές καμπτικές ρηγματώσεις.

Εκτός από αυτές τις συνήθεις μορφές αστοχίας, ένα δίκτυο αγωγών είναι γενικά πιο επιδεκτικό σε βλάβες σε θέσεις ασυνεχειών, όπως στις γωνίες του αγωγού, στις θέσεις των βαλβίδων ή στις θέσεις των συνδέσεων με γειτονικές εγκαταστάσεις (π.χ. δεξαμενές) όπου αναπτύσσονται υψηλές τάσεις (ALA, 2001). Επίσης, η διάβρωση μπορεί να μειώσει το πάχος του τοιχώματος και να δημιουργήσει ετερογενείς ζώνες που μπορούν να οδηγήσουν σε συγκεντρώσεις τάσεων και πιθανές αστοχίες.

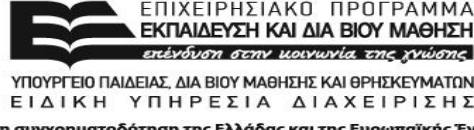
Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι βασικές μορφές αστοχίας των αγωγών (Πίνακας 3 και Πίνακας 4) για την περίπτωση της εδαφικής ταλάντωσης και της μόνιμης εδαφικής μετακίνησης αντίστοιχα.

Πίνακας 3. Πιθανές μορφές αστοχίας υπόγειων αγωγών σε σεισμό λόγω εδαφικής ταλάντωσης

| Τυπολογία | Μορφή αστοχίας | Αναφορά |
|-------------------|---|---|
| Συνεχείσαγωγοί | Εφελκυστική αστοχία, τοπικός λυγισμός, κάμψη δοκού, ολίσθηση συγκόλλησης | O'Rourke and Liu (1999) |
| Αγωγοί σε τμήματα | Αξονικός εφελκυσμός συνδέσεων, τοπική σύνθλιψη συνδέσεων, στροφή συνδέσεων, περιμετρικές καμπτικές ρηγματώσεις | Singhal (1984), O'Rourke and Liu (1999) |
| Αγωγοί σε τμήματα | Αξονικός εφελκυσμός συνδέσεων, στροφή συνδέσεων, εφελκυστικές και καμπτικές παραμορφώσεις στον κορμό του αγωγού | ALA (2001) |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 4. Πιθανές μορφές αστοχίας υπόγειων αγωγών σε σεισμό λόγω παραμένουσας εδαφικής μετακίνησης

| Αίτιο | Μορφή αστοχίας | Αναφορά |
|-----------------------------------|---|----------------------------|
| Ρευστοποίηση | Κατακόρυφες μετατοπίσεις, εγκάρσια παραμόρφωση, αξονική παραμόρφωση | Ο'Rourke and Palmer (1996) |
| Κατολίσθηση, διασταύρωση με ρήγμα | Διασταύρωση σε κάθετη διεύθυνση: Ο αγωγός υφίσταται κυρίως εφελκυσμό Διασταύρωση υπό γωνία: Ο αγωγός υφίσταται εφελκυσμό ή θλίψη και κάμψη Παράλληλα σε σχέση με την κατολίσθηση ή το ρήγμα: Ο αγωγός υφίσταται κάμψη | Ο'Rourke et al. (1998) |

2.5 Σχέσεις τρωτότητας για αγωγούς

Ορισμός των σταθμών βλάβης

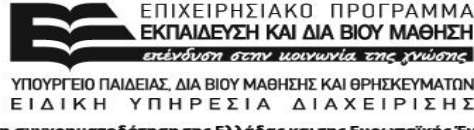
Η αστοχία σε αγωγούς μπορεί να εκφραστεί σε όρους ρυθμού επιδιορθώσεων ανά km (repair rate RR), δηλαδή του αριθμού των αναγκαίων επιδιορθώσεων ανά μονάδα μήκους του αγωγού (συνήθως σε km) μετά τον σεισμό. Για έναν αγωγό μήκους L με ένα δεδομένο ρυθμό επιδιορθώσεων ανά km (RR), η πιθανότητα εμφάνισης n συνολικών επιδιορθώσεων σε όλο το μήκος του μπορεί να εκτιμηθεί μέσω μιας κατανομής Poisson σύμφωνα με την σχέση:

$$P(N = n) = \frac{(RR \cdot L)^n}{n!} \cdot e^{-RR \cdot L} \quad (1)$$

Η χρήση του ρυθμού επιδιορθώσεων δεν επιτρέπει κάποιο διαχωρισμό αναφορικά με τον τύπο της επιδιόρθωσης που απαιτείται ή τη σοβαρότητα αυτής. Αυτό σχετίζεται με το γεγονός ότι σχεδόν όλες οι διαθέσιμες σχέσεις εκτίμησης της τρωτότητας αγωγών είναι εμπειρικές και δεν λαμβάνουν υπόψη την φύση της επιδιόρθωσης. Ωστόσο, σύμφωνα με το HAZUS (NIBS, 2004), ο τύπος της επιδιόρθωσης μπορεί να εξαρτηθεί από τον τύπο της εδαφικής παραμόρφωσης. Έτσι, ένας αγωγός που έχει υποστεί βλάβη λόγω μόνιμης εδαφικής μετακίνησης είναι πιο πιθανό να παρουσιάσει πλήρη θραύση (γίνεται μάλιστα η υπόθεση ότι το 80% των αστοχιών θα αντιστοιχούν σε θραύση και 20% αυτών σε διαρροή), ενώ σε περίπτωση εδαφικής ταλάντωσης η πιο πιθανή αστοχία που αναμένεται να παρουσιάσει είναι η διαρροή (και γίνεται αντίστοιχα η υπόθεση ότι στην περίπτωση αυτή το 80% των αστοχιών θα αντιστοιχούν σε διαρροή και 20% αυτών σε θραύση).



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Τέλος, με βάση το HAZUS (NIBS, 2004), είναι δυνατό να εκτιμηθεί η στάθμη βλάβης κατά μήκος ενός τμήματος αγωγού (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Προτεινόμενες στάθμες βλάβης για αγωγούς

| Στάθμη βλάβης | Περιγραφή της βλάβης |
|---------------|---|
| DS0 | Μηδενική βλάβη |
| DS1 | Καθόλου διαρροές ή θραύσεις |
| DS2 | Τουλάχιστον μία διαρροή κατά μήκος του αγωγού |
| | Τουλάχιστον μία θραύση κατά μήκος του αγωγού |

Επισκόπηση των διαθέσιμων σχέσεων τρωτότητας

Παρακάτω γίνεται μια επισκόπηση των διαθέσιμων καμπυλών και σχέσεων τρωτότητας με βάση τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε και τις τυπολογίες που μελετήθηκαν.

Στην περίπτωση των σχέσεων και καμπυλών τρωτότητας για αγωγούς που υπόκεινται σε εδαφική ταλάντωση, η βιβλιογραφική επισκόπηση οδήγησε σε έναν αριθμό περίπου 20 εμπειρικών σχέσεων (Πίνακας 6), όπου δίνονται επίσης οι τυπολογίες που μελετήθηκαν και η παράμετρος σεισμικής έντασης που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε μια από αυτές. Όπως φαίνεται στον πίνακα οι περισσότερες σχέσεις χρησιμοποιούν ως μέτρο σεισμικής έντασης τη μέγιστη εδαφική ταχύτητα (peak ground velocity - PGV). Κάποιες από τις εμπειρικές σχέσεις έχουν μια σταθερή αρχική καμπύλη ("backbone curve") και μεταβάλλονται ως προς τον τελικό ρυθμό επιδιορθώσεων/km μέσω ενός συντελεστή K που εξαρτάται από το μέγεθος της διαμέτρου, το υλικό και τον τύπο της σύνδεσης. Για $K=1$ η σχέση τρωτότητας περιγράφει το ρυθμό επιδιορθώσεων/km για «κανονικές» συνθήκες, ενώ για μικρότερο ή μεγαλύτερο K αναπαριστά περιπτώσεις όπου η προκύπτουσα βλάβη μειώνεται ή αυξάνεται αντιστοίχως.

Πίνακας 6. Σύνοψη των διαθέσιμων σχέσεων τρωτότητας για αγωγούς που υπόκεινται σε εδαφική ταλάντωση

| Βιβλιογραφική αναφορά | Τυπολογία | Μέτρο σεισμικής έντασης |
|------------------------|--|-------------------------|
| Katayama et al. (1975) | - κυρίως χυτοσιδηροί αγωγοί (CI) - κακές, μέσες και καλές εδαφικές συνθήκες | PGA |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

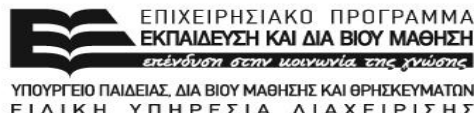


ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

| | | |
|--|---|---------------|
| Isoyama and Katayama (1982) | - κυρίως χυτοσίδηροί αγωγοί (CI) | PGA |
| Eguchi (1983) | Αγωγοί από συγκολλητόσίδηρο με συγκόλληση με αέριο (WSGWJ), Αγωγοί από συγκολλητό σίδηρο με συγκόλληση τόξου (WSAWJ), Αμιαντοσιμεντοσωλήνες (AC), Αγωγοί από συγκολλητό σίδηρο με καλαφατικούς συνδέσμους (WSCJ), χυτοσίδηροί αγωγοί (CI) | MMI |
| Barenberg (1988) | - κυρίως χυτοσίδηροί αγωγοί(CI) | PGV |
| Eguchi (1991) | Αγωγοί από συγκολλητό σίδηρο με συγκόλληση με αέριο (WSGWJ), Αγωγοί από συγκολλητό σίδηρο με συγκόλληση τόξου (WSAWJ), Αμιαντοσιμεντοσωλήνες (AC), Αγωγοί από συγκολλητό σίδηρο με καλαφατικούς συνδέσμους (WSCJ), χυτοσίδηροί αγωγοί(CI), αγωγοί από ελατό σίδηρο (DI),πλαστικοί αγωγοί (PVC),από πολυαιθυλένιο (PE) | MMI |
| O'Rourke et al. (1991) | - | MMI |
| Hamada (1991) | - | PGA |
| O'Rourke and Ayala (1993) HAZUS (NIBS 2004) | - ψαθυροί ή εύκαμπτοι αγωγοί | PGV |
| Eidinger et al. (1995) Eidinger (1998) | - τύπος υλικού - τύπος σύνδεσης - διάμετρος - τύπος εδάφους | PGV |
| O'Rourke et al. (1998) | - κυρίως χυτοσίδηροί αγωγοί(CI) | PGV, PGA, MMI |
| Isoyama et al. (1998) | - τύπος υλικού - διάμετρος | PGV |
| Toprak (1998) | - καμία διάκριση | PGV |
| O'Rourke and Jeon (1999) | - κυρίως χυτοσίδηροί αγωγοί(CI) - διάμετρος | PGV |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

| | | |
|------------------------------|--|--|
| Eidinger and Avila (1999) | - τύπος υλικού - τύπος σύνδεσης - διάμετρος - τύπος εδάφους | PGV |
| Isoyama et al. (2000) | - τύπος υλικού: CI, DI, PVC, steel, AC - διάμετρος - τύπος εδάφους | PGA, PGV |
| ALA (2001) | - τύπος υλικού - τύπος σύνδεσης - διάμετρος - τύπος εδάφους | PGV |
| Chen et al. (2002) | - τύπος υλικού - διάμετρος | PGA, PGV, MMI |
| Pineda and Ordaz (2003) | - κυρίως ψαθυροί αγωγοί (CI, AC) | PGV |
| O'Rourke and Deyoe (2004) | - κυρίως χυτοσιδηροί αγωγοί (CI) | PGV, PGS |
| Pineda and Ordaz (2007) | - κυρίως ψαθυροί αγωγοί (CI, AC) | PGV ² /PGA |
| Maruyama and Yamazaki (2010) | - τύπος υλικού (CI, DI, PVC) | PGV |
| O'Rourke et al. (2012) | - κυρίως ψαθυροί αγωγοί (CI, AC) | GMPGV (γεωμετρική διάμεσος της PGV) |

Οι σχέσεις που περιγράφονται στον Πίνακα 6 βασίζονται σε εμπειρικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από παρατηρήσεις μετά το σεισμό. Συνήθως γίνονται κάποιες προσαρμογές στα αρχικά δεδομένα. Για παράδειγμα, στην μεθοδολογία της ALA (2001), λαμβάνεται υπόψη μόνο η βλάβη του κύριου αγωγού για την εκτίμηση της σχετικής τρωτότητας των διαφορετικών υλικών των αγωγών. Επίσης, τα δεδομένα που σχετίζονται με αστοχίες λόγω της μόνιμης εδαφικής μετακίνησης μπορούν να εξαλειφθούν όταν μελετάται μόνο η επιρροή της εδαφικής ταλάντωσης. Στη συνέχεια, τα σημεία των δεδομένων συσχετίζονται με μια προκαθορισμένη σχέση η οποία μπορεί να είναι για παράδειγμα μια γραμμική συνάρτηση ή μια συνάρτηση νόμου δύναμης (π.χ. ALA, 2001). Είναι επίσης δυνατή η κατασκευή συγκεκριμένων μοντέλων με βάση διάφορες παραμέτρους του αγωγού όπως το υλικό, τη διάμετρο ή τον τύπο σύνδεσης. Αναφορικά με την επιρροή της μόνιμης εδαφικής μετακίνησης, έχουν προταθεί αντίστοιχες εμπειρικές σχέσεις τρωτότητας, τα βασικά χαρακτηριστικά των οποίων συνοψίζονται παρακάτω (Πίνακας 7). Όπως φαίνεται στον πίνακα οι περισσότερες σχέσεις χρησιμοποιούν



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

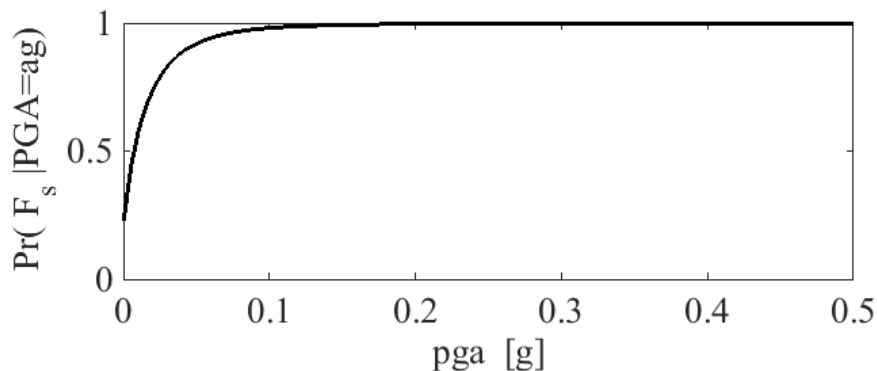
ως μέτρο σεισμικής έντασης την παραμένουσα εδαφική μετακίνηση (Permanent ground displacement - PGD).

Πίνακας 7. Σύνοψη των διαθέσιμων σχέσεων τρωτότητας για αγωγούς που υπόκεινται σε μόνιμη εδαφική μετακίνηση

| Βιβλιογραφική αναφορά | Τυπολογία | Μέτρο σεισμικής έντασης |
|---|---|---|
| Eguchi et al. (1983) | - τύπος υλικού: WS, AC, CI - τύπος σύνδεσης: συγκόλληση με αέριο, συγκόλληση τόξου, με καλαφατικούς συνδέσμους | PGD |
| Honegger and Eguchi (1992) HAZUS (NIBS 2004) | - εύκαμπτοι (DI, steel, PVC) ή ψαθυροί (AC, concrete, CI) αγωγοί | PGD |
| Heubach (1995) | - τύπος υλικού - τύπος σύνδεσης | PGD |
| Ballantyne et al. (1996) | - τύπος υλικού | PGD |
| Eidinger and Avila (1999) | - εύκαμπτοι ή ψαθυροί αγωγοί | PGD |
| ALA (2001) | - τύπος υλικού - τύπος σύνδεσης | PGD |
| O'Rourke et al. (2012) | - τύπος υλικού: AC, CI, PVC | Γωνιακή παραμόρφωση (β) και πλευρική παραμόρφωση (ε _{HP}) |

Συγκριτικά, υπάρχουν λιγότερες αναλυτικές σχέσεις τρωτότητας για υπόγειους αγωγούς. Οι Terzi et al. (2007) ανέπτυξαν καμπύλες τρωτότητας για αγωγούς σε τμήματα που υπόκεινται σε παραμένουσα εδαφική μετακίνηση, χρησιμοποιώντας ένα προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων και λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση αγωγού-εδάφους. Τα αποτελέσματα ήταν σε καλή συμφωνία με την περίπτωση ενός αγωγού από PVC που υπέστη βλάβη στο σεισμό της Λευκάδας 2003. Πιο πρόσφατα, οι Miraglia et al. (2015) πρότειναν καμπύλες τρωτότητας για υπόγειους αγωγούς υψηλής πίεσης που υπόκεινται στον κίνδυνο ρευστοποίησης (Σχήμα 3) χρησιμοποιώντας ένα πιθανοτικό μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων που λάμβανε υπόψη και την αλληλεπίδραση αγωγού-εδάφους. Για τη γενίκευση των

καμπυλών τρωτότητας απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση για διαφορετικές διαμέτρους και τύπους υλικών των αγωγών.



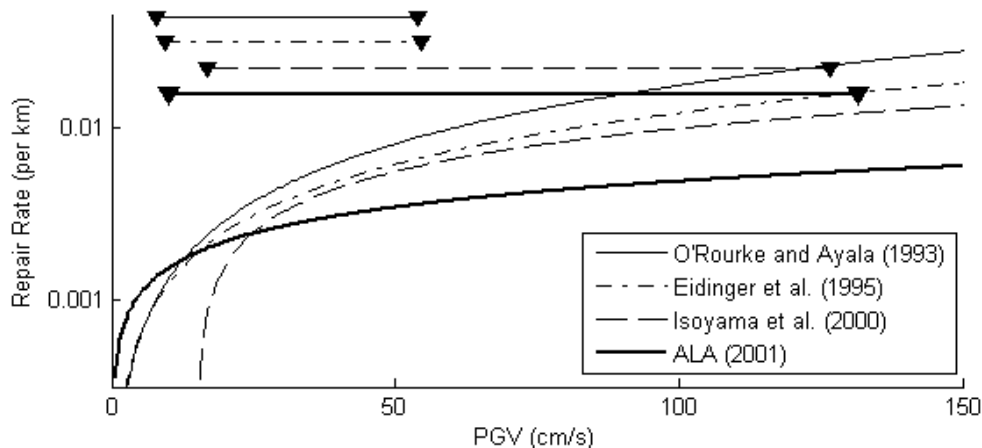
Σχήμα 3. Καμπύλη τρωτότητας συναρτήσει της PGA για υπόγειους αγωγούς υψηλής πίεσης που υπόκεινται στον κίνδυνο ρευστοποίησης για τη στάθμη βλάβης 1 (DS1) (Miraglia et al. 2015)

2.6 Συγκριτική παρουσίαση των σχέσεων τρωτότητας

Κάποιες από τις παραπάνω σχέσεις τρωτότητας για αγωγούς που υπόκεινται σε εδαφική ταλάντωση (O'Rourke and Ayala, 1993, Eidinger and Avila, 1999, Isoyama et al., 1998, ALA, 2001) και μόνιμη εδαφική μετακίνηση (Honegger and Eguchi, 1992, Eidinger and Avila, 1999, Heubach, 1995, ALA, 2001) ελέγχθηκαν με βάση τις παρατηρήσεις σε αγωγούς του δικτύου ύδρευσης (κυρίως ψαθυρούς) μετά το σεισμό της Λευκάδας το 2003 (Pitilakis et al., 2006). Σε γενικές γραμμές αποδείχθηκε ότι οι σχέσεις τρωτότητας που προτείνει το HAZUS φαίνεται να αποτυπώνουν επαρκώς τη συμπεριφορά του συστήματος των αγωγών σε όρους συνολικού αριθμού αστοχιών τόσο για την περίπτωση της εδαφικής ταλάντωσης όσο και για την περίπτωση της εδαφικής αστοχίας. Πιο πρόσφατα, οι Esposito et al. (2013) σύγκριναν τις διαθέσιμες σχέσεις τρωτότητας με τις βλάβες που παρατηρήθηκαν στους αγωγούς του δικτύου φυσικού αερίου στο σεισμό της L'Aquila το 2009. Η μεγαλύτερη τρωτότητα των αγωγών της L'Aquila σε σχέση με αυτή που προβλέπουν οι διαθέσιμες σχέσεις μπορεί να συσχετιστεί με τον τύπο των συνδέσεων τους (τύπος συγκόλλησης) καθώς και με τις διάφορες αβεβαιότητες που συνδέονται με τον υπολογισμό του μέτρου σεισμικής έντασης και του ρυθμού επιδιορθώσεων. Οι O'Rourke et al. (2014) σύγκριναν τα δεδομένα βλαβών σε αγωγούς από τη σεισμική ακολουθία του Christchurch το 2011 στη Νέα Ζηλανδία σε όρους ρυθμού επιδιορθώσεων- γεωμετρική διάμεσος PGV (GMPGV) με τις διαθέσιμες σχέσεις

τρωτότητας για ψαθυρούς αγωγούς (CI, AC) και διαπίστωσαν ικανοποιητική σύγκλιση. Επίσης πρότειναν νέες σχέσεις τρωτότητας για αγωγούς που υπόκεινται σε μόνιμες εδαφικές μετακινήσεις συναρτήσει της γωνιακή παραμόρφωσης (β) και της πλευρικής παραμόρφωσης (ϵ_{HP}) που επιτρέπουν να ληφθεί υπόψη η συνδυαστική επιρροή της πλευρικής και της κατακόρυφης εδαφικής παραμόρφωσης.

Αναφορικά με τις σχέσεις τρωτότητας για αγωγούς που υπόκεινται σε εδαφική ταλάντωση, αναφέρεται ότι η μελέτη της ALA (2001) είναι πιο πρόσφατη από αυτή του HAZUS, καθώς η τελευταία στηρίζεται στη μελέτη των O'Rourke and Ayala (1993). Οι σχέσεις που προτείνονται στην ALA (2001) βασίζονται σε μεγαλύτερη βάση εμπειρικών δεδομένων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 18 σεισμούς, ενώ οι O'Rourke and Ayala (1993) χρησιμοποίησαν αντίστοιχα δεδομένα από 6 σεισμούς τα οποία συμπεριλαμβάνονται και στη βάση δεδομένων της ALA (2001). Επίσης, ο σημαντικά μεγαλύτερος αριθμός δεδομένων στην ALA (2001) επιτρέπει πιο ισορροπημένη κατανομή των διάφορων τυπολογιών των αγωγών. Στο Σχήμα 4 συγκρίνονται κάποιες από τις διαθέσιμες εμπειρικές σχέσεις τρωτότητας για αγωγούς που υπόκεινται σε εδαφική ταλάντωση, θεωρώντας διορθωτικό συντελεστή $K=1$ (the backbone curve).

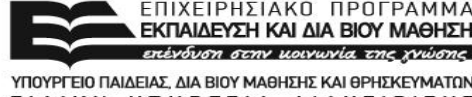


Σχήμα 4. Σύγκριση των πιο διαδεδομένων σχέσεων τρωτότητας για αγωγούς που υπόκεινται σε εδαφική ταλάντωση (συναρτήσει της PGV). Οι ευθείες γραμμές αναφέρονται στο εύρος της εφαρμογής των σχέσεων (Tromans, 2004)

Όπως σχολιάστηκε από τον O'Rourke (1999), η σχέση τρωτότητας των O'Rourke and Ayala (1993) φαίνεται να είναι υπερ-συντηρητική, με το ρυθμό επιδιορθώσεων να επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη μεγάλη διάρκεια του σεισμού του Michoacan το 1985 (Tromans, 2004).



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Οι σχέσεις που προτείνονται από την ALA (2001) και από τους Isoyama et al. (2000) προσφέρουν μεγαλύτερο εύρος εφαρμογής, σε σχέση με αυτές των O'Rourke and Ayala (1993) και των Eidinger et al. (1995), οι οποίες δε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερες τιμές της PGV. Παρακάτω παρατίθενται κάποια από τα βασικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη μελέτη του Tromans (2004):

- Η σχέση των O'Rourke et al. (1998) προτείνεται να χρησιμοποιείται συγκεκριμένα για τις ΗΠΑ, καθώς δε χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από άλλες περιοχές. Επίσης η σχέση αυτή μπορεί να εφαρμοστεί μόνο για χυτοσίδηρους αγωγούς.
- Η σχέση των Isoyama et al. (2000) προτείνεται για την Ιαπωνία, ενώ η εφαρμογή της σε άλλες περιοχές μπορεί να είναι προβληματική.
- Η σχέση της ALA (2001) προτείνεται για γενική εφαρμογή καθώς έχει προκύψει από μια παγκόσμια βάση δεδομένων.

Η σχέση της ALA (2001) μπορεί να αναπαραστήσει μια επαρκή λύση για την αποτίμηση της τρωτότητας υπόγειων αγωγών. Δίνει τον ρυθμό επιδιορθώσεων ανά km (RR) σε σχέση με την PGV (σε cm/s) μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

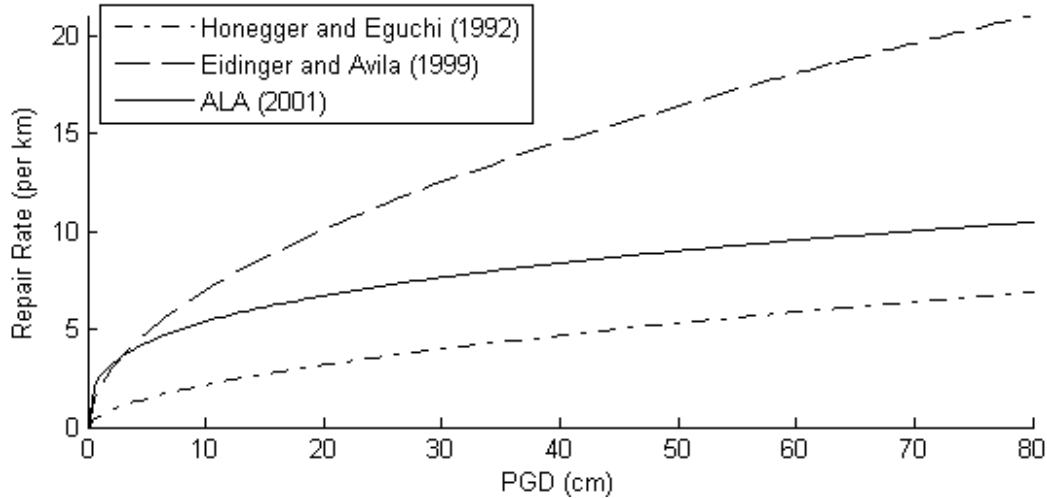
$$RR = K_1 0.002416 PGV \quad (2)$$

Η παράμετρος K_1 χρησιμοποιείται για την προσαρμογή της καμπύλης σε σχέση με την αρχική της μορφή (backbone curve), με βάση το υλικό, τον τύπο της σύνδεσης, τον τύπο του εδάφους και τη διάμετρο του αγωγού.

Αναφορικά με την επιρροή της παραμένουσας εδαφικής μετακίνησης, η σχέση που προτείνει η ALA (2001) είναι επίσης πιο πρόσφατη από αυτή του HAZUS, καθώς η τελευταία στηρίζεται στη μελέτη των Honnegger and Eguchi (1992). Η βάση εμπειρικών δεδομένων της ALA (2001) είναι πιο ολοκληρωμένη αποτελούμενη από 41 σημεία από 4 σεισμούς, με τη ρευστοποίηση ως βασικό μηχανισμό αστοχίας. Στο Σχήμα 5 συγκρίνονται κάποιες από τις πιο διαδεδομένες εμπειρικές σχέσεις τρωτότητας για αγωγούς που υπόκεινται σε παραμένουσα εδαφική μετακίνηση, θεωρώντας διορθωτικό συντελεστή $K=1$ (the backbone curve). Όπως φαίνεται στο σχήμα, οι σχέσεις τρωτότητας παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, η καμπύλη που προτείνεται στην ALA (2001) βρίσκεται μεταξύ των καμπυλών των Honnegger and Eguchi (1992) και των Eidinger and Avila (1999). Με βάση τα παραπάνω, η σχέση τρωτότητας της ALA (2001) προτείνεται ως πιο κατάλληλη για εφαρμογή, δίνει τον ρυθμό επιδιορθώσεων ανά km (RR) σε σχέση με την PGD (σε cm) μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

$$RR = K_2 2.5829 PGD^{0.319} \quad (3)$$

Ο διορθωτικός συντελεστής K_2 εξαρτάται από τον τύπο του υλικού και τον τύπο της σύνδεσης.



Σχήμα 5. Σύγκριση των πιο διαδεδομένων σχέσεων τρωτότητας για αγωγούς που υπόκεινται σε παραμένουσα εδαφική μετακίνηση

3 Εκτίμηση σεισμικής τρωτότητας εγκαταστάσεων δεξαμενών

3.1 Τυπολογία δεξαμενών αποθήκευσης

Ανάλογα με τη χρήση τους διακρίνονται σε δεξαμενές αποθήκευσης νερού, καυσίμων, υγραερίου ή άλλων υλικών (π.χ. αμμωνία, μελάσα κτλ). Ειδικά για το δίκτυο ύδρευσης, οι δεξαμενές αποθήκευσης είναι δυνατό να τοποθετηθούν στην αρχή, κατά μήκος ή στο τέλος του συστήματος. Ο σκοπός τους μπορεί να είναι η αποθήκευση του νερού για λειτουργικούς λόγους, η παροχή ανακουφιστικών ποσοτήτων ύδατος όταν υπάρχει ανάγκη, η εξασφάλιση του απαραίτητου χρόνου προκειμένου το νερό να οδηγηθεί στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας κ.λ.π. Οι δεξαμενές αποθήκευσης μπορεί να είναι κλειστές ή ανοιχτού τύπου, καθώς και πίεσης ή άνευ. Επίσης υπόγειες, υπέργειες ή εδραζόμενες στο έδαφος.

Αναφορικά με την τυπολογία των δεξαμενών, ο ATC-13 (1985) διακρίνει τρεις τύπους ανάλογα με τον τύπο της θεμελίωσης (βαθιά θεμελίωση, γενική κοιτόστρωση ή υπέργεια). Το HAZUS (NIBS, 2004) κατηγοριοποιεί τις δεξαμενές ανάλογα με το υλικό τους (μεταλλικές, σκυροδέματος, ξύλινες), το είδος θεμελίωσης (εδραζόμενες στο έδαφος, υπόγειες) και την ύπαρξη ή μη αγκύρωσης. Η ALA (2001) αναγνωρίζει 11 διαφορετικούς τύπους δεξαμενών ανάλογα με το μέγεθος, το υλικό, τον τύπο της οροφής, τον τύπο της θεμελίωσης, την ύπαρξη αγκύρωσης και τον κανονισμό που χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό τους.

3.2 Μηχανισμοί αστοχίας δεξαμενών

Παρατηρήσεις αστοχιών σε δεξαμενές αποθήκευσης υγρών κατά τη διάρκεια σεισμών του παρελθόντος δείχνουν ότι οι μη-αγκυρωμένες δεξαμενές, καθώς και οι κυλινδρικές δεξαμενές με μεγάλο λόγο ύψους προς διάμετρο είναι οι πιο τρωτές (EERI 1986, 1990). Επίσης οι μεταλλικές δεξαμενές είναι πιο επιδεκτικές σε βλάβη σε σχέση με τις δεξαμενές από σκυρόδεμα. Στο



Σχήμα 6 παρουσιάζονται ενδεικτικά αστοχίες δεξαμενών του δικτύου ύδρευσης ως αποτέλεσμα του σεισμού του Northridge (1994) και του Kocaeli (1999).



Σχήμα 6. (α) Αστοχία δεξαμενής νερού κοντά στην περιοχή Izmit (Kocaeli Earthquake, 1999)
(β) Ολοκληρωτική κατάρρευση δεξαμενής 750,000-gallon κοντά στο Castaic Junction (Northridge, 1994)

Επιπλέον, στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται οι δεξαμενές του σταθμού πετρελαίου του λιμανιού Lyttelton στο Christchurch μετά από το σεισμό του Darfield (2010). Ως αποτέλεσμα της

πλευρικής μετακίνησης καθώς και της ρευστοποίησης, οι δεξαμενές υπέστησαν σοβαρές ζημιές (Cubrinovski et al, 2010). Την πιο σοβαρή πλευρική μετακίνηση υπέστη η δεξαμενή 1, η οποία μετακινήθηκε 50 mm. Η δεξαμενή 2 υπέστη ομοιόμορφη καθίζηση 30 mm προκαλώντας διαχωρισμό της γέφυρας που συνέδεε αυτήν με γειτονική δεξαμενή παρόμοια γεωμετρία (Σχήμα 7β). Τέλος, οι δεξαμενές 3 και 4 υπέστησαν μετακινήσεις που οδήγησαν στην αποκόλληση όλων σχεδόν των αγκυρίων από την περίμετρο της βάσης τους.



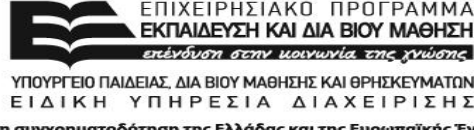
Σχήμα 7. (α) Περιοχή Fulton Hogan Bitumen Plant (GoogleEarth image, 43.6088°S, 172.7140°E). (β) δεξαμενή 2 (δεξιά, η πιο μεγάλη λευκή δεξαμενή) και δεξαμενές 3 και 4 (αριστερά, μικρότερες γκρι δεξαμενές) (γ) Επισκευή των δεξαμενών 3 και 4 (προσθήκη σφικκτήρων). Αξιοσημείωτη η αποκόλληση της αρχικής αγκύρωσης (Cubrinovski et al, 2010)

Παρακάτω συνοψίζονται οι βασικοί μηχανισμοί αστοχίας, NZNSEE, 1986, Kennedy and Kassawara, 1989, ALA, 2001, Gehl et al., 2014).

- *Ο λυγισμός του κελύφους (shell bulking mode):* είναι από τις βασικότερες μορφές αστοχίας των μεταλλικών δεξαμενών. Περιλαμβάνει τον εξωτερικό λυγισμό του κελύφους, ως



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

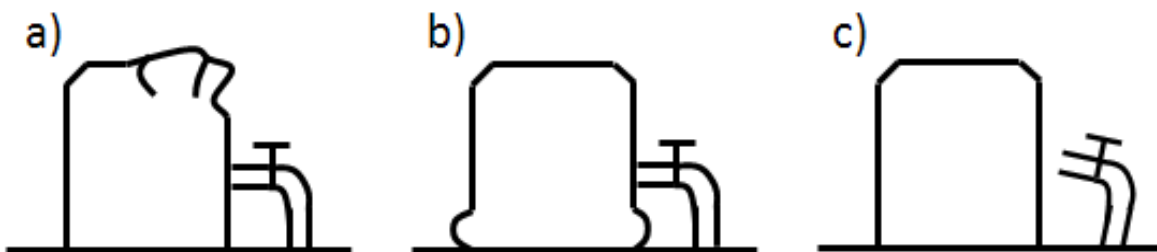
προεξέχων κύρτωμα στη βάση της δεξαμενής, υπό τη μορφή «ποδός ελέφαντα» (“elephant foot”). Μερικές φορές ο λυγισμός συμβαίνει σε όλη την περίμετρο της δεξαμενής. Ο λυγισμός της βάσης της δεξαμενής συνοδεύεται από απώλεια του περιεχομένου λόγω θραύσης των ενώσεων των αγωγών και σπανιότερα μπορεί να οδηγήσει και σε κατάρρευση.

- *Η αστοχία της οροφής (roof damage):* Σε γεμάτες ή επαρκώς γεμάτες δεξαμενές η αντίσταση της οροφής στην κίνηση του περιεχομένου της δεξαμενής λόγω σεισμού δημιουργεί υποπίεση. Εκτεταμένες ζημιές στην οροφή ή στα εξαρτήματα μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία του επάνω τμήματος της δεξαμενής και σε απώλεια μέχρι και του 1/3 του περιεχομένου της.
- *Η αστοχία της αγκύρωσης (anchorage failure):* πολλές μεταλλικές δεξαμενές αγκυρώνονται με κοχλίες και ιμάντες. Η σεισμική υπερφόρτιση μπορεί να οδηγήσει σε εξόλκευση των αγκυρίων (anchor sprull-out), επιμήκυνση (stretching) ή αστοχία (failure). Ωστόσο πιθανή αστοχία της αγκύρωσης δεν μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια του περιεχομένου των δεξαμενών αυτών.
- *Η αστοχία του συστήματος στήριξης (tank support system failure):* Οι υπέργειες δεξαμενές (που δεν είναι θεμελιωμένες σε γενική κοιτόστρωση ή σε πασσάλους) συνήθως στηρίζονται σε σύλους ή σε πλαίσια τα οποία είναι δυνατόν να αστοχήσουν σε εγκάρσια σεισμικά φορτία λόγω ανεπάρκειας του δομικού τους συστήματος. Συνήθως, η αστοχία του συστήματος στήριξης οδηγεί σε ολοκληρωτική απώλεια του περιεχομένου τους.
- *Η αστοχία της θεμελίωσης (foundation failure):* Συχνά οι δεξαμενές κατασκευάζονται σε μαλακά εδάφη χωρίς να προηγείται εξυγίανση του εδάφους θεμελίωσης. Άμεσο αποτέλεσμα είναι η αυξημένη πιθανότητα να παρουσιάσουν μόνιμες εδαφικές παραμορφώσεις (ρευστοποίηση ή κατολισθήσεις) που έχουν ως συνέπεια τη στροφή, τις διαφορικές καθιζήσεις και τις έντονες παραμορφώσεις της βάσης της δεξαμενής ή των πλευρικών τοιχωμάτων. Στην περίπτωση που η δεξαμενή κατασκευάστηκε με ακλόνητη θεμελίωση, είναι δυνατόν να προκληθεί θραύση των κεφαλοδέσμων ή των συγκολλήσεων της βάσης εφόσον η δεξαμενή δε στηρίζεται επαρκώς έναντι της ανύψωσης.
- *Η αστοχία του συστήματος στήριξης (hydrodynamic pressure failure):* Περιφερειακές εφελκυστικές δυνάμεις μπορούν να αναπτυχθούν λόγω της πίεσης που μπορεί να προκληθεί από την εδαφική επιτάχυνση μεταξύ του υγρού περιεχομένου και της δεξαμενής. Άμεσο αποτέλεσμα είναι ρηγματώσεις και διαρροές. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε δεξαμενές στις οποίες οι συνδέσεις έχουν κατασκευαστεί με κοχλιώσεις, αλλά και σε δεξαμενές από σκυρόδεμα λόγω υπερβολικών εφελκυστικών δυνάμεων στον οπλισμό.

- Οι αστοχίες αγωγών σύνδεσης (*connecting pipe failure*): Ένας από τους σημαντικότερους λόγους απώλειας του περιεχομένου της δεξαμενής σε σεισμό είναι η θραύση των αγωγών στη σύνδεση με τις δεξαμενές. Αυτό συνήθως είναι αποτέλεσμα μεγάλων κατακόρυφων μετακινήσεων που προκαλούνται λόγω κάμψης, λόγω αστοχίας της θεμελίωσης ή λόγω ανύψωσης της κατασκευής. Η αστοχία δύσκαμπτων αγωγών μπορεί να προκληθεί και από οριζόντιες μετατοπίσεις. Παράλληλα, αστοχίες αγωγών μπορούν να οδηγήσουν σε διάβρωση των υλικών της θεμελίωσης.
- Η αστοχία του φρεατίου (*manhole failure*): Λόγω των σημαντικών τάσεων που αναπτύσσονται περιμετρικά του φρεατίου ορισμένων δεξαμενών, το τελευταίο μπορεί να αστοχήσει με αποτέλεσμα να οδηγήσει σε απώλεια του περιεχομένου τους.

Εκτός από την απώλεια του αποθηκευμένου υλικού που μπορεί να επηρεάσει την ομαλή λειτουργία του λιμένα, η αστοχία μιας δεξαμενής, ειδικά σε περιπτώσεις αποθήκευσης πετρελαιοειδών και άλλων υλικών (π.χ. αμμωνία), μπορεί να συνδέεται με διαρροές βλαβερών υλικών ή/και κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς.

Τέλος, η επιρροή της παραμένουσας εδαφικής μετακίνησης που μπορεί να προκληθεί από ρευστοποίηση ή κατολίσθηση του εδάφους μπορεί να είναι σημαντική, οδηγώντας σε εκτεταμένες βλάβες στις δεξαμενές αποθήκευσης που εδράζονται στο έδαφος. Σε ορισμένες περιπτώσεις δεξαμενών κυρίως από σκυρόδεμα ακόμη και μια μικρή μετατόπιση μπορεί να προκαλέσει αστοχία της δεξαμενής (ALA, 2001).



Σχήμα 8. Σχηματική απεικόνιση των συχνότερων μορφών αστοχίας δεξαμενών αποθήκευσης: (α) αστοχία της οροφής, (β) λυγισμός της βάσης κελύφους μορφής «ποδός ελέφαντα» και (c) αστοχία των αγωγών σύνδεσης

3.3 Καμπύλες τρωτότητας για δεξαμενές



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Ορισμός των σταθμών βλάβης

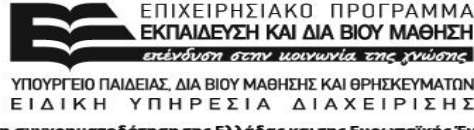
Οι καμπύλες τρωτότητας που δίνονται στη βιβλιογραφία ανεξαρτήτως της μεθόδου βάσει της οποίας έχουν προκύψει (αναλυτική ή εμπειρική) συνήθως υιοθετούν τον ίδιο αριθμό σταθμών βλάβης και παρόμοια περιγραφή για τον ορισμό τους (O'Rourke and So, 2000, ALA, 2001, NIBS, 2004, Berahman and Behnamfar, 2007). Ο Πίνακας 8 παρουσιάζει τις στάθμες βλάβης που προτείνονται στο HAZUS (NIBS, 2004) και στη μελέτη των O'Rourke and So (2000). Ο ορισμός των σταθμών βλάβης που προτείνεται στην ALA (2001) είναι σχεδόν όμοιος με αυτούς του HAZUS (NIBS, 2004) και των O'Rourke and So (2000).

Πίνακας 8. Στάθμες βλάβης που προτείνονται στο HAZUS (NIBS, 2004) και στη μελέτη των O'Rourke and So (2000) για δεξαμενές

| Στάθμη βλάβης | Περιγραφή της βλάβης |
|----------------------------------|---|
| DS1 Μηδενικές βλάβες | Χωρίς βλάβη στη δεξαμενή και στους αγωγούς σύνδεσης |
| DS2 Μικρές βλάβες | Αστοχία της οροφής (όχι λόγω λυγισμού του κελύφους), μικρή απώλεια του περιεχομένου, μικρή βλάβη στους αγωγούς σύνδεσης, όχι λυγισμός μορφής «ποδός ελέφαντα» |
| DS3 Μέτριες βλάβες | Λυγισμός του κελύφους της βάσης (μορφής «ποδός ελέφαντα») με μικρή απώλεια του περιεχομένου |
| DS4 Εκτενείς βλάβες | Λυγισμός του κελύφους της βάσης (μορφής «ποδός ελέφαντα») με μεγάλη απώλεια του περιεχομένου, βλάβη στους αγωγούς σύνδεσης |
| DS5 Καθολικές βλάβες/ κατάρρευση | Ολική αστοχία, κατάρρευση της δεξαμενής |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Οι στάθμες βλάβης που προτείνονται παραπάνω σχετίζονται με τις άμεσες οικονομικές απώλειες (το ποσοστό του κόστους επισκευής σε σχέση με το κόστος αντικατάστασης της δεξαμενής) ενώ ο Πίνακας 9 δείχνει ότι δεν υπάρχει κάποιος προφανής συσχετισμός μεταξύ αυτού του κριτηρίου και της λειτουργικότητας της δεξαμενής.

Πίνακας 9. Σύγκριση των πιο συνήθων μορφών αστοχίας με την προκύπτουσα απώλεια περιεχομένου (ALA, 2001)

| Πιο συνήθεις μορφές αστοχίας | Κόστος επισκευής (% του κόστους αντικατάστασης) | Απώλεια περιεχομένου |
|---|---|----------------------|
| Θραύση αγωγού αποστράγγισης | 1% - 2% | 50% - 100% |
| Θραύση αγωγού υπερχειλίσης | 1% - 2% | 0% - 2% |
| Θραύση των αγωγών σύνδεσης | 1% - 5% | 100% |
| Θραύση της βάσης στήριξης | 2% - 20% | 100% |
| Μερική αστοχία της οροφής | 2% - 20% | 0% - 10% |
| Ολική αστοχία της οροφής | 5% - 30% | 0% - 20% |
| Λυγισμός του κελύφους της οροφής | 10% - 40% | 0% - 20% |
| Λυγισμός του κελύφους της βάσης («πόδι ελέφαντα») χωρίς διαρροή | 30% - 80% | 0% |
| Λυγισμός του κελύφους της βάσης («πόδι ελέφαντα») με διαρροή | 40% - 100% | 100% |

Πίνακας 10. Στάθμες βλάβης που προτείνονται στο HAZUS (NIBS, 2004) για συστήματα δεξαμενών

| Στάθμη βλάβης | Περιγραφή της βλάβης |
|----------------------|--|
| DS1 Μηδενικές βλάβες | Πλήρως λειτουργική |
| DS2 Μικρές βλάβες | Δυσλειτουργία της δεξαμενής για μικρό χρονικό διάστημα (<3 μέρες) λόγω απώλειας ηλεκτρικής ενέργειας ή μικρής βλάβης στη δεξαμενή |
| DS3 Μέτριες βλάβες | Δυσλειτουργία της δεξαμενής για χρονικό διάστημα περίπου μιας εβδομάδας λόγω απώλειας ηλεκτρικής ενέργειας, εκτεταμένη βλάβη στον εξοπλισμό ή σημαντικές βλάβες στη δεξαμενή |
| DS4 Εκτενείς βλάβες | Εκτενείς βλάβες στη δεξαμενή ή στους αγωγούς |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

| | |
|----------------------|--|
| | σύνδεσης |
| DS5 Καθολικές βλάβες | Ολική αστοχία όλων των αγωγών σύνδεσης ή κατάρρευση της δεξαμενής |



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Έτσι, σύμφωνα με την ALA (2001) (βλ. Πίνακα 9), η θραύση ενός αγωγού σύνδεσης αναμένεται να επιφέρει μικρό κόστος επισκευής (μεταξύ 1% με 5% του κόστους αντικατάστασης), αλλά θα θέσει την δεξαμενή εντελώς εκτός λειτουργίας. Επομένως μπορεί να θεωρηθεί πως όταν ξεπεραστεί η στάθμη βλάβης 2 (DS2), η λειτουργικότητα της δεξαμενής μπορεί να χαθεί πλήρως τουλάχιστον για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα.

Το HAZUS προτείνει εναλλακτικά να ληφθεί υπόψη όχι μόνο η δεξαμενή αλλά το συνολικό σύστημα που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του περιεχομένου της δεξαμενής στο δίκτυο των αγωγών που περιλαμβάνει: τη δεξαμενή, τους αγωγούς σύνδεσης, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, τις γεννήτριες, τους ηλεκτρικούς/μηχανολογικούς εξοπλισμούς. Λαμβάνοντας υπόψη τη συνεισφορά κάθε συνιστώσας του συστήματος, οι στάθμες βλάβης μπορούν κατά κάποιο τρόπο να συνδεθούν με κριτήρια λειτουργικότητας/εξυπηρετικότητας (Πίνακας 10).

Επισκόπηση των διαθέσιμων καμπυλών τρωτότητας

Οι O'Rourke and So (2000) πρότειναν εμπειρικές καμπύλες τρωτότητας συναρτήσεως της PGA για μεταλλικές δεξαμενές βασιζόμενοι σε περισσότερες από 400 αστοχίες δεξαμενών από 9 σεισμικά γεγονότα στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Μελέτησαν την επιρροή δύο παραμέτρων: το λόγο ύψους προς διάμετρο της δεξαμενής και το σχετικό όγκο του περιεχομένου της. Ωστόσο, δεν έγινε καμία διάκριση αναφορικά με την ύπαρξη ή όχι αγκύρωσης. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της λογιστικής παλινδρόμησης που επιτρέπει την προσαρμογή των εμπειρικών δεδομένων ενώ για την εκτίμηση των παραμέτρων τρωτότητας χρησιμοποιήθηκε η λογαριθμική σωρευτική κατανομή.

Οι καμπύλες τρωτότητας που προτείνονται στην ALA (2001) συναρτήσεως της PGA βασίζονται επίσης σε εμπειρικά δεδομένα από 532 δεξαμενές, η οποίες υποβλήθηκαν σε σεισμικές διεγέρσεις μεγέθους 0.1g ή μεγαλύτερου. Μια τυπολογική διάκριση έγινε με βάση το ποσοστό του αποθηκευόμενου περιεχομένου και της ύπαρξης ή μη αγκύρωσης. Όπως οι O'Rourke and So (2000), η μελέτη της ALA καταλήγει ότι οι δεξαμενές με επίπεδο πληρότητας μικρότερο του 50% δεν υπέστησαν αρκετές βλάβες ώστε να υπολογιστούν καμπύλες τρωτότητας για τα επίπεδα βλάβης 4 (DS4) και 5 (DS5).

Βασιζόμενοι σε παρατηρήσεις πεδίου που παρουσιάστηκαν προηγουμένως στην ALA (2001), οι Berahman and Behnamfar (2007) χρησιμοποίησαν μια στοχαστική μέθοδο ώστε να βελτιώσουν τις εμπειρικές καμπύλες τρωτότητας όπου λήφθηκε υπόψη τόσο η τυχαιότητα (random) όσο και η επιστημική (epistemic) (π.χ. λόγω συστηματικού σφάλματος του μοντέλου, μικρού μεγέθους δείγματος, λαθών στις μετρήσεις κλπ) αβεβαιότητα. Οι σχέσεις τρωτότητας αναπτύχθηκαν



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

χρησιμοποιώντας μια πιθανοτική συνάρτηση για τις οριακές στάθμες βλάβης. Οι καμπύλες τρωτότητας που προέκυψαν ήταν λιγότερο συντηρητικές σε σχέση με τις αντίστοιχες της ALA (2001). Επίσης, ένα σημαντικό συμπέρασμα ήταν ότι η σωρευτική λογαριθμική κατανομή που χρησιμοποιείται συνήθως για να εκφράσει τις καμπύλες τρωτότητας δεν φάνηκε να παρέχει την καλύτερη δυνατή προσαρμογή στα διαθέσιμα εμπειρικά δεδομένα. Ωστόσο οι Berahman and Behnamfar (2007) ανέπτυξαν καμπύλες τρωτότητας μόνο για μια συγκεκριμένη τυπολογία δεξαμενών (μεταλλικές, μη-αγκυρωμένες) και επομένως συμπληρωματικές καμπύλες τρωτότητας θα πρέπει να αναπτυχθούν και για τις υπόλοιπες τυπολογίες. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι καμπύλες τρωτότητας που προτείνονται στη μελέτη των Berahman and Behnamfar (2007) δεν μπορούν να εκφραστούν με μία απλή αναλυτική σχέση αλλά περιγράφονται από ένα ολοκλήρωμα (integral formulation).

Οι Iervolino et al. (2004) ανέπτυξαν μια αναλυτική προσέγγιση για την κατασκευή καμπυλών τρωτότητας συναρτήσεως της PGA για μεταλλικές, μη-αγκυρωμένες δεξαμενές. Λήφθηκε υπόψη μόνο μία μορφή αστοχίας: ο λυγισμός του κελύφους («πόδι ελέφαντα»). Η τελική καμπύλη τρωτότητας εκφράστηκε ως μια σωρευτική λογαριθμική κατανομή, όπου η διάμεσος και η τυπική απόκλιση εκτιμήθηκαν βασιζόμενοι σε δυο παραμέτρους: το λόγο ύψους προς ακτίνα και το συντελεστή τριβής μεταξύ της δεξαμενής και της βάσης στήριξης.

Η μελέτη των Salzano et al. (2003) επικεντρώνεται στο επίπεδο πληρότητας (σχεδόν γεμάτες ή επίπεδο πληρότητας >50%) δεξαμενών αγκυρωμένων ή μη. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε εμπειρικά δεδομένα κυρίως από σεισμούς στην Αμερική.

Τέλος, στη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο HAZUS (NIBS, 2004) προτείνονται καμπύλες τρωτότητας για συστήματα δεξαμενών συναρτήσεως της PGA που λαμβάνουν υπόψη και την τρωτότητα του εξοπλισμού που απαιτείται για την ομαλή λειτουργία της δεξαμενής (τη δεξαμενή, τους αγωγούς σύνδεσης, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, τις γεννήτριες, τους ηλεκτρικούς/μηχανολογικούς εξοπλισμούς). Στη συνέχεια χρησιμοποιείται μια ανάλυση λογικού δέντρου για την εκτίμηση της λειτουργικότητας του συστήματος της δεξαμενής με βάση τη στάθμη βλάβης καθεμίας από τις συνιστώσες του.

Όλες οι παραπάνω καμπύλες τρωτότητας αναφέρονται σε δεξαμενές αποθήκευσης που υπόκεινται σε εδαφική ταλάντωση. Το HAZUS (NIBS, 2004) και η ALA (2001) προτείνουν επίσης καμπύλες τρωτότητας (συναρτήσεως της PGD) για δεξαμενές αποθήκευσης που υπόκεινται σε παραμένουσα εδαφική μετακίνηση.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

3.4 Συγκριτική παρουσίαση των σχέσεων τρωτότητας για δεξαμενές

Οι μελέτες των O'Rourke and So (2000) και της ALA (2001) είναι οι πιο διεξοδικές, καθώς επιτρέπουν τη διάκριση με βάση το ποσοστό του αποθηκευμένου περιεχομένου, την ύπαρξη ή όχι αγκύρωσης και το λόγο ύψους προς ακτίνα. Ωστόσο, κάποιες από τις προτεινόμενες καμπύλες βασίζονται σε λιγοστά εμπειρικά δεδομένα, γεγονός που μπορεί να εγείρει θέματα αναφορικά με τη στατιστική αξιοπιστία των σχετικών καμπυλών τρωτότητας. Επίσης, οι στάθμες βλάβης που προτείνονται σε αυτές τις μελέτες ορίζονται με βάση τη φυσική βλάβη στη δεξαμενή που όπως αποδείχθηκε είναι δύσκολο να συνδεθεί με την απώλεια λειτουργικότητας.

Εκτός των άλλων, για τις δεξαμενές αποθήκευσης πετρελαίου που είναι τοποθετημένες σε πολύπλοκες εγκαταστάσεις η θεώρηση μόνο της φυσικής βλάβης στη δεξαμενή είναι υπεραπλουστευμένη και μάλλον μη-συντηρητική προσέγγιση. Επομένως σε μια πιο ολοκληρωμένη μελέτη θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το συνολικό σύστημα συμπεριλαμβανομένων της δεξαμενής, των αγωγών σύνδεσης, του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, των γεννητριών, του ηλεκτρικού/μηχανολογικού εξοπλισμού, κλπ.

Προτείνεται επομένως η υιοθέτηση των καμπυλών τρωτότητας για συστήματα δεξαμενών που αναπτύχθηκαν στο HAZUS (NIBS, 2004).

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μη αγκυρωμένες δεξαμενές από Ο/Σ αποτελούν την πιο συχνή τυπολογία δεξαμενών στην Ελλάδα. Στους Πίνακες 11 και 12 δίνονται οι παράμετροι (διάμεσος και τυπική απόκλιση) των καμπυλών τρωτότητας δεξαμενών Ο/Σ για την περίπτωση της εδαφικής ταλάντωσης και της παραμένουσας εδαφικής μετακίνησης αντίστοιχα. Στα σχήματα 9 και 10 παρουσιάζονται οι σχετικές καμπύλες τρωτότητας που προτείνει το HAZUS για δεξαμενές από Ο/Σ που υπόκεινται σε εδαφική ταλάντωση και παραμένουσα εδαφική μετακίνηση αντίστοιχα.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



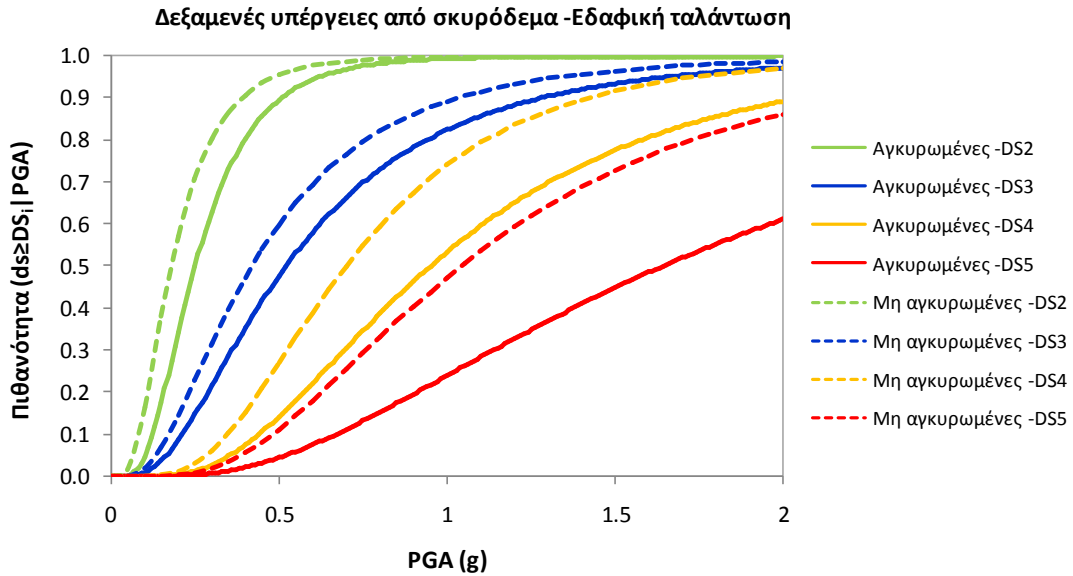
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 11. Παράμετροι τρωτότητας για δεξαμενές από Ο/Σ- Εδαφική ταλάντωση (NIBS 2004)

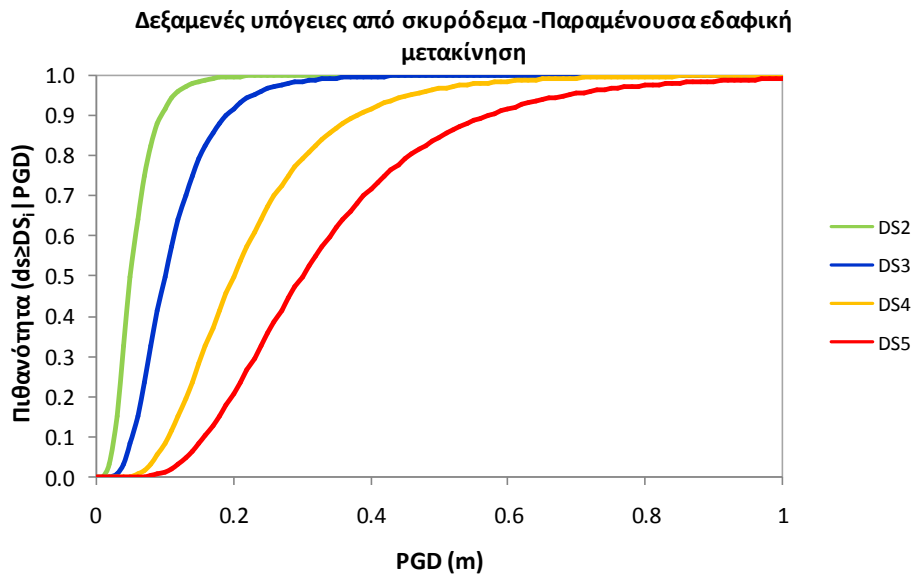
| Τυπολογία | Στάθμες βλάβες | Διάμεσος PGA (g) | Τυπική απόκλιση β |
|---|------------------------|------------------|-------------------|
| Δεξαμενές αγκυρωμένες από Ο/Σ εδραζόμενες στο έδαφος | Μικρές βλάβες (DS2) | 0.25 | 0.55 |
| | Μέτριες βλάβες (DS3) | 0.52 | 0.70 |
| | Εκτενείς βλάβες (DS4) | 0.95 | 0.60 |
| | Καθολικές βλάβες (DS5) | 1.64 | 0.70 |
| Δεξαμενές μη- αγκυρωμένες από Ο/Σ εδραζόμενες στο έδαφος | Μικρές βλάβες (DS2) | 0.18 | 0.60 |
| | Μέτριες βλάβες (DS3) | 0.42 | 0.70 |
| | Εκτενείς βλάβες (DS4) | 0.70 | 0.55 |
| | Καθολικές βλάβες (DS5) | 1.04 | 0.60 |

Πίνακας 12. Παράμετροι τρωτότητας για δεξαμενές από Ο/Σ- Παραμένουσα εδαφική μετακίνηση (NIBS 2004)

| Τυπολογία | Στάθμες βλάβες | Διάμεσος PGD (m) | Τυπική απόκλιση β |
|-------------------------------|------------------------|------------------|-------------------|
| Υπόγειες δεξαμενές από Ο/Σ | Μικρές βλάβες (DS2) | 0.05 | 0.50 |
| | Μέτριες βλάβες (DS3) | 0.10 | 0.50 |
| | Εκτενείς βλάβες (DS4) | 0.20 | 0.50 |
| | Καθολικές βλάβες (DS5) | 0.30 | 0.50 |



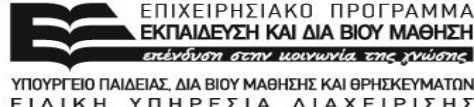
Σχήμα 9. Καμπύλες τρωτότητας για υπέργειες δεξαμενές Ο/Σ (αγκυρωμένες ή μη) όπως προτείνονται στο HAZUS (NIBS, 2004) για εδαφική ταλάντωση



Σχήμα 10. Καμπύλες τρωτότητας για υπόγειες δεξαμενές Ο/Σ όπως προτείνονται στο HAZUS (NIBS, 2004) για παραμένουσα εδαφική μετακίνηση



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

4 Συμπεράσματα

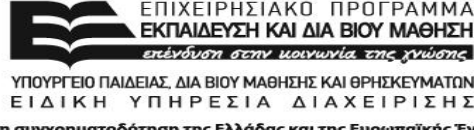
Στο παρόν παραδοτέο έγινε μια βιβλιογραφική επισκόπηση των διαθέσιμων σχέσεων τρωτότητας αγωγών και δεξαμενών, οι οποίες βασίζονται κυρίως σε εμπειρικά δεδομένα παρά σε αριθμητικές αναλύσεις ή πειραματικές δοκιμές. Άμεση συνέπεια αυτού είναι ότι οι συγκεκριμένες εμπειρικές σχέσεις που βασίζονται συνήθως σε δεδομένα από σεισμούς της Αμερικής ή της Ιαπωνίας μπορεί να μην είναι κατάλληλες για τις τυπολογίες που συναντώνται στην Ελλάδα. Ελλείψει όμως άλλων προτείνεται να χρησιμοποιούνται αυτές που παρουσιάστηκαν συνοπτικά στην παρούσα έκθεση.

Οι εμπειρικές σχέσεις τρωτότητας για αγωγούς σχετίζονται κυρίως με εμφάνιση βλαβών σε δίκτυα αγωγών και όχι σε αγωγούς πεπερασμένου μήκους. Για την περίπτωση δικτύου υπόγειων αγωγών που υπόκεινται σε εδαφική ταλάντωση ή σε παραμένουσες εδαφικές μετακινήσεις προτείνεται η χρήση των σχέσεων της ALA (2001) καθώς θεωρούνται ως πιο κατάλληλες για την τυπολογία αγωγών στην Ελλάδα.

Μια σειρά εμπειρικών καμπύλων τρωτότητας παρουσιάστηκαν επίσης για τις δεξαμενές αποθήκευσης. Προτείνεται η υιοθέτηση των καμπυλών τρωτότητας για συστήματα δεξαμενών που αναπτύχθηκαν στο HAZUS (NIBS, 2004) που λαμβάνουν υπόψη και την τρωτότητα του εξοπλισμού που συμμετέχει στη λειτουργία της δεξαμενής.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



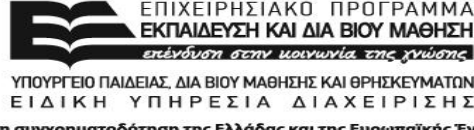
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Βιβλιογραφία

- ALA (2001) Seismic fragility formulations for water systems. American Lifeline Alliance, ASCE
- Ballantyne D, Heubach W, Archibald P (1996) Earthquake vulnerability of the Greater Vancouver Water District's pipeline system. Proceedings of the Pan Pacific Hazards '96 Conference, Vancouver, BC, Canada
- Barenberg ME (1988) Correlation of pipe damage with ground motion. Journal of Geotechnical Engineering 114(6): 706-711
- Berahman F, Behnamfar F (2007) Seismic fragility curves for unanchored on-grade steel storage tanks: Bayesian approach. Journal of Earthquake Engineering 11(2): 1-31
- Chen WW, Shih B, Chen YC, Hung JH, Hwang HH (2002) Seismic response of natural gas and water pipelines in the Ji-Ji earthquake. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22:1209-1214
- Cubrinovski, M, Green RA, Allen J, Ashford SA, Bowman E, Bradley BA, Cox B, Hutchinson T, Kavazanjian E, Orense R, O'Rourke T, Pender M, Quigley M and Wotherspoon L (2010). Geotechnical reconnaissance of the 2010 Darfield (Canterbury) earthquake. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 43(4): 243–320.
- EERI (1986) Reducing earthquake hazards: lessons learned from earthquakes. Publication n°86-02, Earthquake Engineering Research Institute, El Cerrito, CA
- EERI (1990) Loma Prieta earthquake reconnaissance report. Supplement to vol. 6, Earthquake Engineering Research Institute, El Cerrito, CA
- Eguchi RT (1987) Seismic risk to natural gas and oil systems. FEMA 139, Earthquake Hazard Reduction Series 30: 15-33
- Eguchi RT (1991) Early post-earthquake damage detection for underground lifelines. Final Report to the national Science Foundation, Dames and Moore PC, Los Angeles, CA
- Eguchi RT, Legg MR, Taylor CE, Philipson LL, Wiggins JH (1983) Earthquake Performance of Water and Natural Gas Supply System. J. H. Wiggins Company, NSF Grant PFR-8005083, Report 83-1396-5
- Eidinger J (1998) Lifelines, Water Distribution System in the Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989, Performance of the Built Environment –Lifelines. US Geological Survey Professional Paper 1552-A, A63-A80, A Schiff (ed)
- Eidinger J, Avila E (1999) Guidelines for the seismic upgrade of water transmission facilities. ASCE, TCLEE, Monograph 15



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

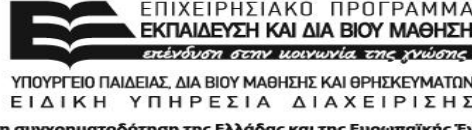


ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

- Eidinger J, Maison B, Lee D, Lau BB (1995) East Bay municipality utility district water distribution damage in 1989 Loma Prieta earthquake. Proceedings of the Fourth US Conference on Lifeline Earthquake Engineering, Monograph 6, ASCE, 240-247
- Espósito S, Giovinazzi S, Elefante L, Iervolino I (2013) Performance of the L'Aquila (central Italy) gas distribution network in the 2009 (Mw 6.3) earthquake. Bulletin of Earthquake Engineering, 11:2447–2466.
- Hall WJ (1987) Earthquake engineering research needs concerning gas and liquid fuel lifelines. FEMA 139, Earthquake Hazard Reduction Series 30: 35-49
- Hamada M (1991) Estimation of earthquake damage to lifeline systems in Japan. Proceedings of the Third Japan-US Workshop on earthquake resistant design of lifeline facilities and countermeasures for soil liquefaction, San Francisco, CA
- Heubach W (1995) Seismic damage estimation for buried pipeline systems. In: O'Rourke M (ed) Proceedings of the 4th US conference on lifeline earthquake engineering, Monograph No. 6, TCLEE/ASCE, pp 312-319
- Honegger DG, Eguchi RT (1992). Determination of the relative vulnerabilities to seismic damage for San Diego County Water Authority: water transmission pipelines.
- Iervolino I, Fabbrocino G, Manfredi G (2004) Fragility of standard industrial structures by a response surface based method Journal of earthquake engineering 8 (06): 927-945
- Isoyama R, Ishida E, Yune K, Shirozu T (1998) Study on seismic damage estimation procedure for water pipes. Journal of Japan Water Works Association, 67(2): 25-40
- Isoyama R, Ishida E, Yune K, Shirozu T (2000) Seismic damage estimation procedure for water supply pipelines. Proceedings of the Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, Paper n°1762, Auckland, New-Zealand
- Isoyama R, Katayama T (1982) Reliability evaluation of water supply systems during earthquake. Report of the Institute of Industrial Science, University of Tokyo, vol. 30(1)
- Gehl P., Desramaut N., Réveillère A. and Modaressi H. (2014) Fragility Functions of Gas and Oil Networks, in: K. Pitilakis et al. (eds). SYNER-G: Typology definition and fragility functions for physical elements at seismic risk. Buildings, lifelines, transportation networks and critical facilities. Series title: Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, 27, Springer, Netherlands.
- Katayama T, Kubo K, Sato N (1975) Earthquake damage to water and gas distribution systems. Proceedings of the US National Conference on Earthquake Engineering, Oakland, CA, EERI, 396-405



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

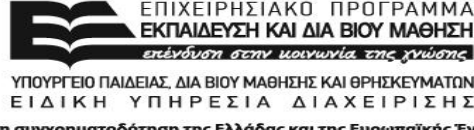


ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
στένωση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

- Kennedy RP, Kassawara RP (1989) Seismic evaluation of large flat-bottomed tanks. Proceedings of the Second Symposium on Current Issues Related to Nuclear Power Plant Structures, Equipment, and Piping with Emphasis on Resolution of Seismic Issues in Low-Seismicity Regions, EPRI NP-6437-D.
- Kongar I, Esposito S, Giovinazzi S (2015) Post-earthquake assessment and management for infrastructure systems: learning from the Canterbury (New Zealand) and L'Aquila (Italy) earthquakes. Bull Earthquake Eng, doi 10.1007/s10518-015-9761-y
- Maruyama Y, Yamazaki F (2010). Construction of fragility curve for water distribution pipes based on damage datasets from recent earthquakes in Japan. Proceedings of the 9th U.S. National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Toronto, Ontario, Canada, 25-29July, 2010
- Miraglia, S., Courage, W., Meijers, P. 2015. Fragility functions for pipeline in liquefiable sand: a case study on the Groningen gas-network. In Haukaas, T. (Ed.) (2015). *Proceedings of the 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP12)*, Vancouver, Canada, July 12-15.
- NIBS (2004) Earthquake Loss Estimation Methodology HAZUS. National Institute of Building Sciences, FEMA, Washington D.C.
- NZNSEE (1986) Seismic design of storage tanks. Recommendations of a Study Group of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering
- O'Rourke MJ (1988) Mitigation of seismic effects on water systems. Proceedings of the TCLEE/ASCE Symposium on the Seismic Design and Construction of Complex Civil Engineering Systems, St Louis, MO, 65-78
- O'Rourke MJ (1999) Estimation of post-earthquake water system serviceability. Proceedings of the 7th Japan-US Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, MCEER, State University of New York at Buffalo, Buffalo, NY, 391-403
- O'Rourke MJ, Ayala G (1990) Seismic damage to pipeline: case study. Journal of Transportation Engineering, 116(2): 123-134
- O'Rourke MJ, Ayala G (1993) Pipeline damage due to wave propagation. Journal of Geotechnical Engineering 119(9):1490-1498
- O'Rourke MJ, Deyoe E (2004) Seismic damage to segment buried pipe. Earthquake Spectra 20(4): 1167-1183



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- O'Rourke MJ, Liu X (1999) Response of Buried Pipelines Subject to Earthquake Effects. MCEER Monograph No. 3RI. 1986. Reducing earthquake hazards: lessons learned from earthquakes. Publication n°86-02, Earthquake Engineering Research Institute, El Cerrito, CA
- O'Rourke MJ, So P (2000) Seismic fragility curves for on-grade steel tanks. Earthquake Spectra 16(4)
- O'Rourke TD, Gowdy TE, Stewart HE, Pease JW (1991) Lifeline and geotechnical aspects of the 1989 Loma Prieta earthquake. Proceedings of the Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St Louis, MO
- O'Rourke TD, Jeon SS (1999) Factors affecting water supply damage caused by the Northridge earthquake. Proceedings of the Fifth US Conference of Lifeline Earthquake Engineering, Seattle, WA
- O'Rourke TD, Jeon SS, Toprak S, Cubrinovski M, Jung JK (2012) Underground lifeline system performance during the Canterbury earthquake sequence. Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal
- O'Rourke TD, Toprak S, Sano Y (1998) Factors affecting water supply damage caused by the Northridge earthquake. Proceedings of the Sixth US national Conference on Earthquake Engineering
- O'Rourke TD, Trautmann CH (1981) Earthquake ground rupture effects on jointed pipe. Proceedings of the Second Specialty Conference of the Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, DJ Smith (ed), 65-80
- O'Rourke TD, Palmer MC (1996) Earthquake Performance of Gas Transmission Pipelines. Earthquake Spectra 12(3): 493-527
- O'Rourke TD, Jeon SS, Toprak S, Cubrinovski M, Hughes M, Ballegooy S, Bouziou D (2014) Earthquake Response of Underground Pipeline Networks in Christchurch, NZ. Earthquake Spectra 30(1): 183-204.
- Pitilakis K, Alexoudi M, Argyroudis S, Monge O, Martin C (2006) Earthquake risk assessment of lifelines. Bulletin of Earthquake Engineering 4: 365-390
- Pitilakis, K., H. Crowley and A. Kaynia (Eds) 2014a. *SYNER-G: Typology definition and fragility functions for physical elements at seismic risk. Buildings, lifelines, transportation networks and critical facilities*. Series title: Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, 27, Springer, Netherlands.
- Pineda O, Ordaz M (2003) Seismic vulnerability function for high diameter buried pipelines: Mexico City's primary water system case. Proceedings of the International Conference on Pipeline Engineering Construction 2: 1145-1154



- Pineda O, Ordaz M (2007) A new seismic parameter to estimate damage in buried pipelines due to seismic wave propagation. *Journal of Earthquake Engineering*, 11(5): 773-786
- Rauch AF (1997) EPOLLS: An empirical method for predicting surface displacements due to liquefaction-induced lateral spreading in earthquakes. PhD Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA
- Salzano E, Iervolino I, Fabbrocino G (2003) Seismic risk of atmospheric storage tanks in the framework of quantitative risk analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16: 403-409
- Singhal AC (1984) Nonlinear behavior of ductile iron pipeline joints. *Journal of Technical Topics in Civil Engineering* 110(1)
- K. Pitilakis, E. Crowley, A. Kaynia (Eds.) (2014). SYNER-G: typology definition and fragility functions for physical elements at seismic risk, Springer Science and Business Media, Dordrecht, Netherlands. ISBN 978-94-007-7872-6
- Terzi VG, Alexoudi MN, Hatzigogos TN (2007) Numerical assessment of damage state of segmented pipelines due to permanent ground deformation. *Proceedings of the Tenth International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering*, Tokyo, Japan, 202
- Toprak S (1998) Earthquake effects on buried lifeline systems. PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, NY
- Tromans I (2004) Behaviour of buried water supply pipelines in earthquake zones. PhD Thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London