



Ερευνητικό Πρόγραμμα «ΘΑΛΗΣ - ΕΜΠ»

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

MIS : 380174.

Δράση 9:

Πρόταση Σχεδίου Αντιμετώπισης φυσικής καταστροφής
σε λιμενικό σύστημα

Σύνταξη:

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Επιστημονικώς Υπεύθυνος:

Καθηγητής 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 9:

Πρόταση Σχεδίου Αντιμετώπισης φυσικής καταστροφής
σε λιμενικό σύστημα

Παραδοτέο 9.1:

Νέα Μέθοδος σεισμικού υπολογισμού κρηπιδοτοιχών

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



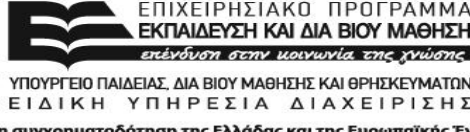
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή	2
2	Σύγκριση των νέων καμπυλών τρωτότητας για κρηπιδότοιχο με αντίστοιχες από βιβλιογραφία	4
3	Σύγκριση των νέων καμπυλών τρωτότητας για γερανό με αντίστοιχες από βιβλιογραφία	15
4	Συμπεράσματα	18
	Βιβλιογραφία	19



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

Οι λιμενικές εγκαταστάσεις αποτελούν υποδομές ζωτικής σημασίας για την οικονομική και εμπορευματική δραστηριότητα σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Λόγω της σημασίας τους, αλλά και των βλαβών που έχουν σημειωθεί σε πρόσφατους σεισμούς με δυσμενείς βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις, έχουν προταθεί πολλές μεθοδολογίες αποτίμησης της σεισμικής τρωτότητας και διακινδύνευσης των λιμενικών εγκαταστάσεων. Στο παρόν παραδοτέο γίνεται σύντομη επισκόπηση διαθέσιμων καμπυλών τρωτότητας για κρηπιδότοιχους και γερανούς και σύγκριση αυτών με τις νέες καμπύλες (Παραδοτέο 8.2) για υποδομές του λιμανιού Θεσσαλονίκης.

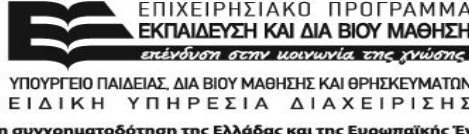
Στόχος είναι η αξιολόγηση και έλεγχος της αξιοπιστίας των νέων σχέσεων τρωτότητας με βάση εμπειρικές καμπύλες τρωτότητας (που προέκυψαν από παρατηρήσεις βλαβών μετά την εκδήλωση σεισμικών διεγέρσεων) ή αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας (που προέκυψαν από αριθμητικές προσομοιώσεις). Σημαντικές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι τα τυπολογικά χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων κατασκευών και η αιτία της εδαφικής παραμόρφωσης (εδαφική ταλάντωση ή εδαφική αστοχία). 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). Οι τύποι γερανών διακρίνονται συνήθως ανάλογα με την ανυψωτική ικανότητα, αλλά και τον τρόπο έδρασης τους (αγκυρωμένοι ή χωρίς αγκύρωση/κινούμενοι σε ράγες).

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 (διάμεσος και τυπική απόκλιση) που δίνουν την πιθανότητα εμφάνισης ή υπέρβασης ορισμένων σταθμών βλάβης για δεδομένα επίπεδα μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης (PGD). Οι στάθμες βλάβης ορίζονται από τον τύπο και έκταση της δομικής βλάβης, καθώς και το επίπεδο εξυπηρευτικότητας. Στην περίπτωση αυτή δε 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.

Οι Kakderi and Pitilakis (2010) και Κακδέρη (2011) πρότειναν αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας για κρηπιδότοιχους/τοιχούς αντιστήριξης για την περίπτωση της εδαφικής ταλάντωσης χωρίς να λαμβάνονται υπόψη φαινόμενα ρευστοποίησης. Μελετήθηκαν τυπικές διατομές



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

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 και τα χαρακτηριστικά της σεισμικής διέγερσης. Οι προτεινόμενες καμπύλες τρωτότητας προκύπτουν με δύο διαφορετικές μεθοδολογίες, τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης βλάβης και τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας.

Ο Ichii (2003, 2004) πρότεινε αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας για τοίχους βαρύτητας με βάση αποτελέσματα απλοποιημένων δυναμικών αναλύσεων πεπερασμένων στοιχείων, 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.

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.

Από τις βιβλιογραφικές μεθόδους αποτίμησης σεισμικής τρωτότητας των παράκτιων λιμενικών έργων, οι καμπύλες που προτείνονται από τους Κακδέρη (2011) και Calabrese and Lai (2013) είναι οι μόνες στη διεθνή βιβλιογραφία για την εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης των κατασκευών αυτών για συνήθεις ισχυρές σεισμικές διεγέρσεις και εδάφη θεμελίωσης, όσον αφορά μόνο την επίδραση της εδαφικής ταλάντωσης. Συνεπώς, πιο άμεση σύγκριση των νέων καμπυλών τρωτότητας για κρηπιδότοιχο του λιμανιού Θεσσαλονίκης μπορεί να γίνει με αυτές τις σχέσεις.

Σημειώνεται ότι στις προτεινόμενες από τη βιβλιογραφία καμπύλες τρωτότητας για κρηπιδότοιχο των Κακδέρη (2011), Ichii (2003, 2004) και Calabrese and Lai (2013) ως παράμετρος σεισμικής έντασης χρησιμοποιείται η κορυφαία εδαφική επιτάχυνση (PGA) σε συνθήκες 'οιονεί' βραχώδους υποβάθρου, ενώ στις νέες καμπύλες τρωτότητας για κρηπιδότοιχο του λιμανιού Θεσσαλονίκης που αναπτύσσονται στο Παραδοτέο 8.2 ως παράμετρος σεισμικής έντασης χρησιμοποιείται η κορυφαία εδαφική επιτάχυνση (PGA) στην



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

επιφάνεια. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν και νέες καμπύλες τρωτότητας για κρηπιδότοιχο, με τις ίδιες μεθοδολογίες που περιγράφονται στο Παραδοτέο 8.2 χρησιμοποιώντας ως παράμετρο σεισμικής έντασης την κορυφαία εδαφική επιτάχυνση (PGA) σε συνθήκες βραχώδους υποβάθρου, με τις οποίες γίνονται και οι τελικές συγκρίσεις.

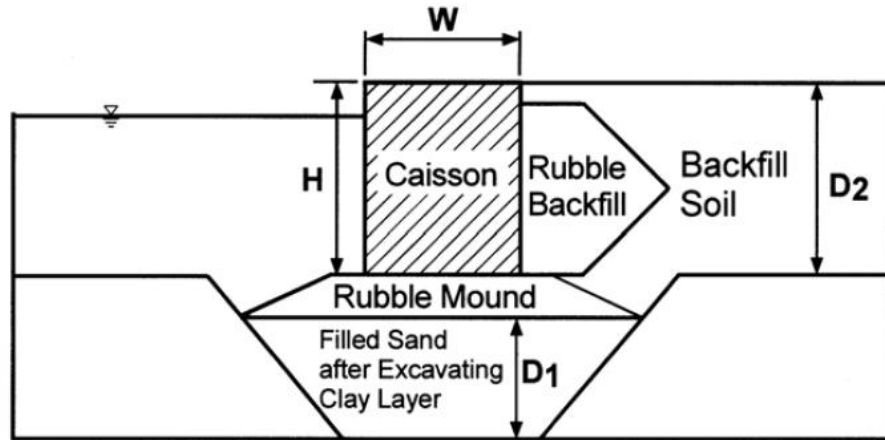
Τέλος, οι νέες καμπύλες τρωτότητας για γερανούς (Παραδοτέο 8.2) συγκρίνονται με αυτές που προτείνονται στη μεθοδολογία HAZUS (NIBS, 2004) για την περίπτωση εδαφικής ταλάντωσης (PGA).

2 Σύγκριση των νέων καμπυλών τρωτότητας για κρηπιδότοιχο με αντίστοιχες από βιβλιογραφία

Οι υπολογιζόμενες καμπύλες τρωτότητας για κρηπιδότοιχο βαρύτητας συγκρίνονται με αυτές που προτείνονται από την Κακδέρη (2011), τους Calabrese and Lai (2013) καθώς και τον Ichii (2003, 2004).

Στη μεθοδολογία HAZUS (NIBS, 2004) προτείνονται καμπύλες τρωτότητας, οι οποίες συνδέουν την τιμή της μόνιμης εδαφικής μετακίνησης (PGD) με την πιθανότητα υπέρβασης ορισμένων σταθμών βλάβης. Οι συγκεκριμένες καμπύλες τρωτότητας ισχύουν για όλους τους τύπους των παράκτιων κατασκευών (αποβάθρες, κρηπιδώματα, προβλήτες), επομένως πρόκειται για γενικευμένες σχέσεις αποτίμησης της τρωτότητας λόγω εδαφικής αστοχίας, οπότε δεν συγκρίνονται με τις νέες αναλυτικές καμπύλες.

Ο Ichii (2003, 2004) προτείνει αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας για την αποτίμηση των σεισμικών βλαβών κρηπιδότοιχων βαρύτητας ως συνάρτηση της κορυφαίας εδαφικής επιτάχυνσης, με χρήση απλοποιημένων δυναμικών αναλύσεων πεπερασμένων στοιχείων, λαμβάνοντας υπόψη και την εκδήλωση ρευστοποίησης. Για την επιλογή της κατάλληλης σχέσης τρωτότητας λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω παράμετροι (Σχήμα 1): i) Ο λόγος των δύο διαστάσεων του τοίχου (πλάτος προς ύψος W/H). ii) Το ανηγμένο ως προς το ύψος του τοίχου βάθος του αμμώδους στρώματος κάτω του τοίχου ($D1/H$). iii) Οι αποθέσεις που μεσολαβούν μέχρι το στιφρό έδαφος μπορεί να είναι είτε φυσικές είτε τεχνητές. iv) Η τιμή του ισοδύναμου αριθμού κύττων N_{SPT} (N_{65}) των αμμωδών στρωμάτων κάτω και πίσω από τον τοίχο (η διορθωμένη τιμή για ενεργό κατακόρυφη τάση ίση με 65 kPa αναφορικά με την τιμή μιας ισοδύναμης σχετικής πυκνότητας).



Σχήμα 1 Επεξήγηση των παραμέτρων των καμπυλών τρωτότητας Ichii (2003, 2004).

Ορίζονται τέσσερις στάθμες βλάβης, ενώ ο δείκτης βλάβης (damage index – DI) που χρησιμοποιείται για τον ορισμό τους είναι η ανηγμένη προς το ύψος του τοίχου μετακίνηση/ολίσθηση του προς τη θάλασσα και το κόστος αποκατάστασης, ως εξής:

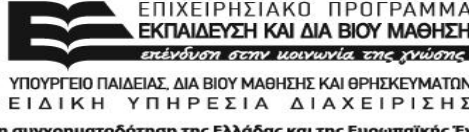
- Μικρές βλάβες: $DI=1.5 - 5.0 \%$.
- Μέτριες βλάβες: $DI=5.0 - 10.0 \%$.
- Εκτενείς βλάβες: $DI=10.0 - 15.0 \%$.
- Καθολικές βλάβες: $DI>15.0 \%$.

Παρατηρείται ότι τα όρια των δεικτών βλάβης ανά στάθμη βλάβης είναι μεγαλύτερα από αυτά που υιοθετήθηκαν για τον υπολογισμό των νέων καμπυλών τρωτότητας για κρηπιδότοιχο (βλ. Παραδοτέο 8.2).

Από τις καμπύλες του Ichii (2003, 2004) επιλέγονται ως οι πιο κοντινές στην περίπτωση των κρηπιδότοιχων του λιμανιού Θεσσαλονίκης οι παρακάτω: Πλάτος προς ύψος κρηπιδότοιχου $W/H = 0,65$. Το ανηγμένο ως προς το ύψος του τοίχου βάθος του αμμώδους στρώματος κάτω του τοίχου $D1/H = 1$. Ο ισοδύναμος αριθμός κύππων N_{SPT} των αμμωδών στρωμάτων κάτω και πίσω από τον τοίχο $N_{SPT} = 15$.



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



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η Κακδέρη (2011) προτείνει καμπύλες τρωτότητας για παράκτιες κατασκευές για την περίπτωση εδαφικής ταλάντωσης, χωρίς την παρουσία ρευστοποίησης, χρησιμοποιώντας αριθμητικές αναλύσεις χαρακτηριστικών περιπτώσεων σεισμικών σεναρίων. Η αξιοπιστία των αριθμητικών αποτελεσμάτων των αναλύσεων ελέγχεται με βάση διαθέσιμα στοιχεία από βλάβες προηγούμενων σεισμών τόσο στην Ευρώπη όσο και παγκοσμίως. Μελετώνται χαρακτηριστικές παράκτιες κατασκευές με διαφορετική γεωμετρία, έδαφος θεμελίωσης και διάφορα σεισμικά σενάρια. Η σεισμική απόκριση του συστήματος κρηπιδότοιχου-εδάφους ερευνάται μέσω δυναμικών μη γραμμικών αναλύσεων σε αριθμητικό προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων με τον κώδικα Plaxis (Plaxis, 2007).

Οι στάθμες βλάβης ορίζονται με βάση το δείκτη βλάβης (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). Χρησιμοποιούνται τέσσερις στάθμες βλάβης σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Ναυτιλίας (PIANC, 2001), δηλαδή καθόλου/μικρές, μέτριες, εκτενείς και πλήρεις βλάβες, ως εξής:

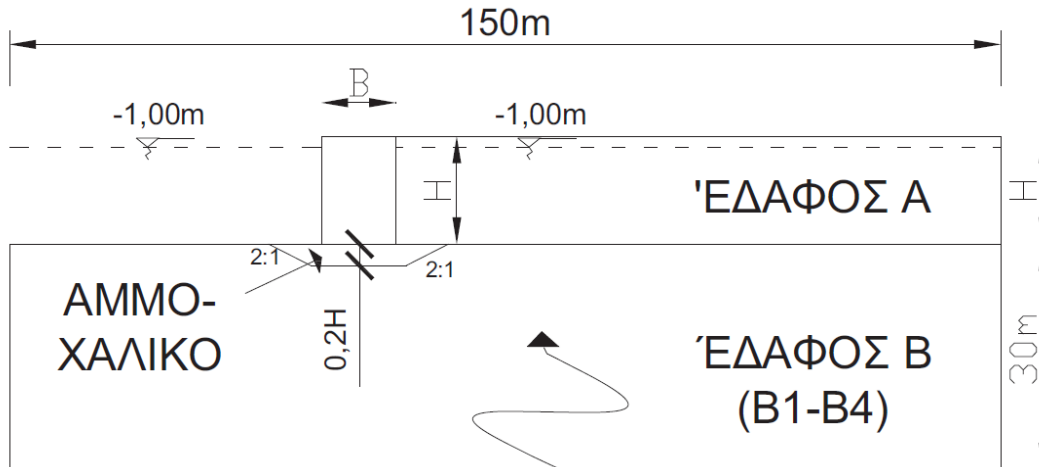
- Μικρές βλάβες: $DI < 1.5\%$.
- Μέτριες βλάβες: $DI = 1.5 - 5.0\%$.
- Εκτενείς βλάβες: $DI = 5.0 - 10.0\%$.
- Καθολικές βλάβες: $DI > 10.0\%$.

Σημειώνεται ότι οι τιμές των δεικτών βλάβης που υιοθετήθηκαν στις νέες σχέσεις τρωτότητας (βλ. Παραδοτέο 8.2) είναι ίδιες.

Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη τυχόν αβεβαιότητες, η Κακδέρη (2011) προτείνει καμπύλες τρωτότητας για διαφορετικούς τύπους παράκτιων κατασκευών και για διαφορετικά σε κάθε περίπτωση εδάφη θεμελίωσης. Παράλληλα, συγκρίνονται με αντίστοιχες εμπειρικές καμπύλες, των οποίων η αξιοπιστία έχει ελεγχθεί βάσει πραγματικών σεισμικών βλαβών. Οι προτεινόμενες καμπύλες ορίζονται από δύο παραμέτρους, τη διάμεσο και την τυπική απόκλιση, ενώ η σεισμική ένταση εκφράζεται μέσω της κορυφαίας εδαφικής επιτάχυνσης (PGA), σε συνθήκες 'οιονεί' βραχώδους υποβάθρου.

Συνολικά λαμβάνονται τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες, βασιζόμενες στα εξής χαρακτηριστικά: το ύψος του τοίχου H ($>$ και $\leq 10.0m$). και τα χαρακτηριστικά του εδάφους θεμελίωσης (τιμές Vs) (τύποι εδαφών B,C βάσει EC8 (CEN, 2004)). Ένα τυπικό απλοποιημένο εδαφικό προφίλ απεικονίζεται στο Σχήμα 2. Εξετάστηκαν μονολιθικές κατασκευές βαρύτητας

με διαφορετικά ύψη ($H=8.0\text{m}$, 10.0m , 12.0m και 16.0m) και λόγους ύψους προς πλάτος (W/H) ίσους με 0.7 και 0.9 . Σε όλες τις αναλύσεις έγινε η παραδοχή συνθηκών επίπεδης παραμόρφωσης και η χρήση κατάλληλων συνοριακών συνθηκών. Οι κρηπιδότοιχοι προσομοιώνονται ως μονολιθικά στοιχεία σκυροδέματος.

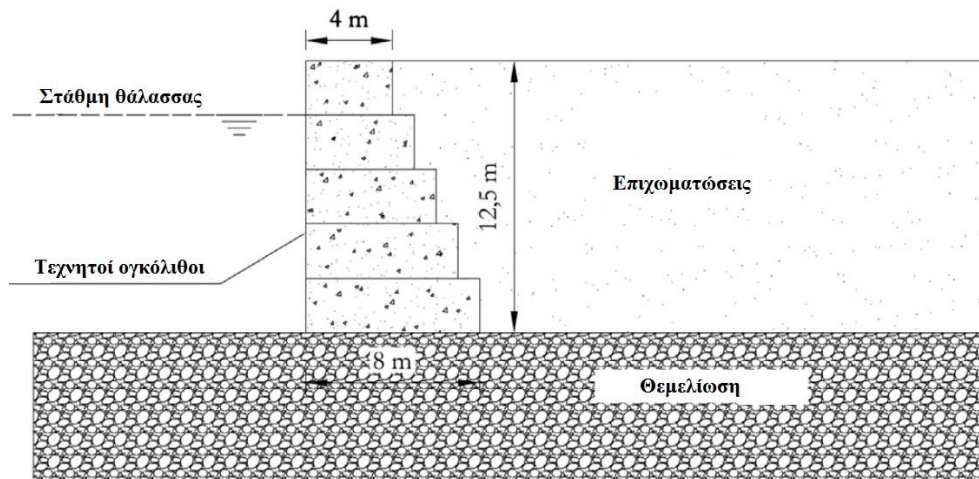


Σχήμα 2 Τυπική διαμόρφωση προσομοιώματος τοίχου-εδάφους (Κακδέρη, 2011).

Από τις καμπύλες τρωτότητας της Κακδέρη (2011) επιλέγονται για τις συγκρίσεις αυτές του προσομοιώματος με $V_s=250\text{m/sec}$ και ύψος του τοίχου $H > 10.0\text{m}$. Επιπλέον, πραγματοποιούνται αντίστοιχες συγκρίσεις ξεχωριστά για κάθε μεθοδολογία, δηλαδή για τη μέθοδο διαγράμματος εξέλιξης βλάβης και τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας.

Τέλος, οι Calabrese and Lai (2013) πρότειναν αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας για κρηπιδότοιχους με χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων, λαμβάνοντας ή όχι υπόψη και την εκδήλωση ρευστοποίησης. Θεωρούν τρία διαφορετικά προσομοιώματα του τοίχου για τις αναλύσεις. Οι τοίχοι αυτοί έχουν το ίδιο ύψος ($H=12.5\text{m}$), αλλά διαφορετικά πλάτη βάσης (8.0m , 11.0m και 14.0m) ώστε οι λόγοι πλάτος προς ύψος τοίχου να διαμορφώνονται ως εξής: 0.64 , 0.88 και 1.12 .

Το πρώτο τυπικό προσομοίωμα τοίχου εμφανίζεται στο Σχήμα 3. Ο τοίχος αυτός αποτελείται από πέντε τεχνητούς ογκόλιθους ύψους 2.5m ο καθένας, συνολικού ύψους 12.5m και πλάτους τεχνητών ογκολίθων από 8.0 έως 4.0m από κάτω προς τα πάνω (απομείωση 1.0m σε κάθε επίπεδο). Τα αριθμητικά προσομοιώματα βαθμονομήθηκαν με διάφορους τρόπους ώστε να είναι αξιόπιστα. Οι ιδιότητες της στρωματογραφίας του εδάφους επιλέγονται με βάση το διαθέσιμο χαρακτηρισμό των εδαφών της περιοχής του λιμανιού που εξετάζεται. Από τις καμπύλες τρωτότητας των Calabrese and Lai (2013) επιλέγονται για τις συγκρίσεις αυτές που αντιστοιχούν σε λόγο πλάτος προς ύψος τοίχου $W/H=0.64$ και δε γίνεται θεώρηση ρευστοποίησης. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, για τον ορισμό των σταθμών βλάβης εισάγεται ένας δείκτης βλάβης που περιγράφει το λόγο της παραμένουσας οριζόντιας μετακίνησης στην κορυφή του τοίχου προς το ύψος του κρηπιδότοιχου. Έτσι, ορίζονται οι τέσσερις στάθμες βλάβης σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Ναυτιλίας (PIANC, 2001).



Σχήμα 3 Προσομοίωμα τοίχου-εδάφους, $W/H=0.64$ (Calabrese and Lai, 2013).

0



Πίνακας 1 συγκεντρώνει τις παραμέτρους των καμπυλών τρωτότητας για κρηπιδότοιχους όπως υπολογίστηκαν με τις διαφορετικές μεθοδολογίες. Οι συγκρίσεις των καμπυλών πραγματοποιούνται μέσω των διαγραμμάτων στα σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 4 έως και Σχήμα 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 1 Παράμετροι καμπυλών τρωτότητας για κρηπιδότοιχους με διαφορετικές μεθοδολογίες.

Βλάβες	Μικρές	Μέτριες	Εκτενείς	Πλήρεις
Νέες καμπύλες - Μέθοδος διαγράμματος εξέλιξης βλάβης				
Διάμεσος τιμή (g)	0.48	0.84	1.08	-
β	0.63	0.63	0.63	-
Κακδέρη (2011) (Μέθοδος διαγράμματος εξέλιξης βλάβης)				
Διάμεσος τιμή (g)	0.14	0.44	0.96	-
β	0.49	0.49	0.49	-
Νέες καμπύλες - Μέθοδος μέγιστης πιθανοφάνειας				
Διάμεσος τιμή (g)	0.46	0.86	1.55	2.92
β	0.41	0.41	0.41	0.41
Κακδέρη (2011) (Μέθοδος μέγιστης πιθανοφάνειας)				
Διάμεσος τιμή (g)	0.17	0.66	1.30	-
β	0.30	0.30	0.30	-
Ichii (2003, 2004)				
Διάμεσος τιμή (g)	0.21	0.39	0.49	0.58
β	0.74	0.41	0.31	0.26
Calabrese and Lai (2013)				
Διάμεσος τιμή (m/s ²)	0.06	0.13	0.30	0.48
β	1.20	0.87	0.43	0.44

Στο Σχήμα 4 συγκρίνονται οι νέες καμπύλες τρωτότητας για κρηπιδότοιχο με αυτές της Κακδέρη (2011) για την περίπτωση κρηπιδότοιχου ύψους $H > 10.0\text{m}$ και εδάφους με $V_s = 250\text{m/s}$. Και οι δύο ομάδες καμπυλών έχουν προκύψει με τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης βλάβης. Παρατηρείται ότι στην περίπτωση των εκτενών βλαβών οι δύο καμπύλες εμφανίζουν αρκετά καλή σύγκλιση. Ακόμη, η νέα καμπύλη τρωτότητας που αντιστοιχεί στις μικρές βλάβες συμπίπτει σε μεγάλο βαθμό με την καμπύλη της Κακδέρη (2011) που αντιστοιχεί στις μέτριες βλάβες. Αντίστοιχα το Σχήμα 5 παρουσιάζει τη σύγκριση των νέων καμπυλών τρωτότητας για κρηπιδότοιχο με τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας με αυτές της Κακδέρη (2011) επίσης με τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας για την περίπτωση κρηπιδότοιχου ύψους $H > 10.0\text{m}$ και εδάφους με $V_s = 250\text{m/s}$. Οι καμπύλες της Κακδέρη (2011) προκύπτουν ελαφρώς πιο συντηρητικές σε σχέση με τις νέες καμπύλες τρωτότητας.

Γενικά, παρατηρείται ότι η μελέτη της Κακδέρη (2011) δίνει ιδιαίτερα συντηρητικές τιμές για την περίπτωση των μικρών και μέτριων βλαβών σε σχέση με τις υπολογιζόμενες νέες. Οι



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

αποκλίσεις που παρατηρούνται οφείλονται κυρίως στη διαφοροποίηση των εδαφικών συνθηκών, καθώς και στην διαφορετική τυπολογία του τοίχου. Επιπλέον στη μελέτη της Κακδέρη (2011) ο τοίχος προσομοιώνεται ως μονολιθικό στοιχείο σκυροδέματος και δε λαμβάνονται υπόψη τυχόν ολίσθηση/ λικνισμός μεταξύ των διεπιφανειών των λίθων σκυροδέματος του τοίχου. Αντίθετα, στην παρούσα μελέτη (Παραδοτέο 8.2) έχει προσομοιωθεί η ακριβής γεωμετρία των τεχνητών ογκολίθων του κρηπιδοτοίχου. Επιπλέον, με χρήση κατάλληλων στοιχείων διεπιφάνειας προσομοιώθηκε η δυνατότητα ολίσθησης τόσο μεταξύ των τεχνητών ογκολίθων, όσο και του κρηπιδότοιχου επί της εξυγιαντικής στρώσης. Συνεπώς, λαμβάνεται υπόψη τυχόν απόσβεση της σεισμικής ενέργειας μεταξύ των ογκολίθων και συνεπώς, όπως αναμένεται, προκύπτουν μικρότερες μετακινήσεις και ο εξεταζόμενος κρηπιδότοιχος του λιμανιού Θεσσαλονίκης εμφανίζεται λιγότερο τρωτός.

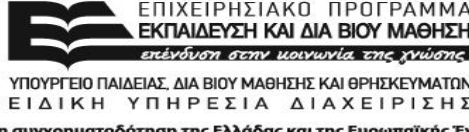
Το Σχήμα 6 και το Σχήμα 7 παρουσιάζουν αντίστοιχα τη σύγκριση των νέων καμπυλών τρωτότητας για κρηπιδότοιχο με βάση τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης βλάβης και με βάση τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας με αυτές του Ichii (2003, 2004) για την περίπτωση κρηπιδότοιχου με λόγο πλάτος προς ύψος, $W/H = 0,65$, βάθος του αμμώδους στρώματος κάτω του τοίχου ανηγμένο ως προς το ύψος του τοίχου, $D1/H = 1$ και ισοδύναμο αριθμό κτύπων N_{SPT} των αμμωδών στρωμάτων κάτω και πίσω από τον τοίχο $NSPT = 15$.

Καθώς οι καμπύλες τρωτότητας του Ichii (2003, 2004) λαμβάνουν υπόψη τους και τη ρευστοποίηση, η σύγκριση που γίνεται είναι περισσότερο ποιοτική προκειμένου να επισημανθεί η συμβολή της ρευστοποίησης στη συμπεριφορά του κρηπιδότοιχου. Έτσι, όπως ήταν αναμενόμενο ο εξεταζόμενος κρηπιδότοιχος του λιμανιού Θεσσαλονίκης προκύπτει λιγότερο επιδεκτικός σε βλάβες, καθώς παρατηρείται ότι οι καμπύλες τρωτότητας του Ichii (2003, 2004) καταλήγουν σε μεγαλύτερες πιθανότητες εμφάνισης βλάβης για το ίδιο επίπεδο σεισμικής έντασης.

Τέλος, από τη σύγκριση των νέων καμπυλών τρωτότητας για κρηπιδότοιχο με βάση τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης βλάβης και με βάση τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας (Σχήμα 10 και Σχήμα 11 αντίστοιχα) με αυτές των Calabrese and Lai (2013) παρατηρούνται έντονες διαφορές. Και σε αυτή την περίπτωση ο εξεταζόμενος κρηπιδότοιχος προκύπτει λιγότερο τρωτός για όλες τις στάθμες βλαβών. Καθώς η γεωμετρία του τοίχου στις δύο μελέτες είναι παρόμοια, συμπεραίνεται ότι οι εδαφικές συνθήκες μπορεί να διαφοροποιήσουν έντονα την απόκριση του τοίχου.



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



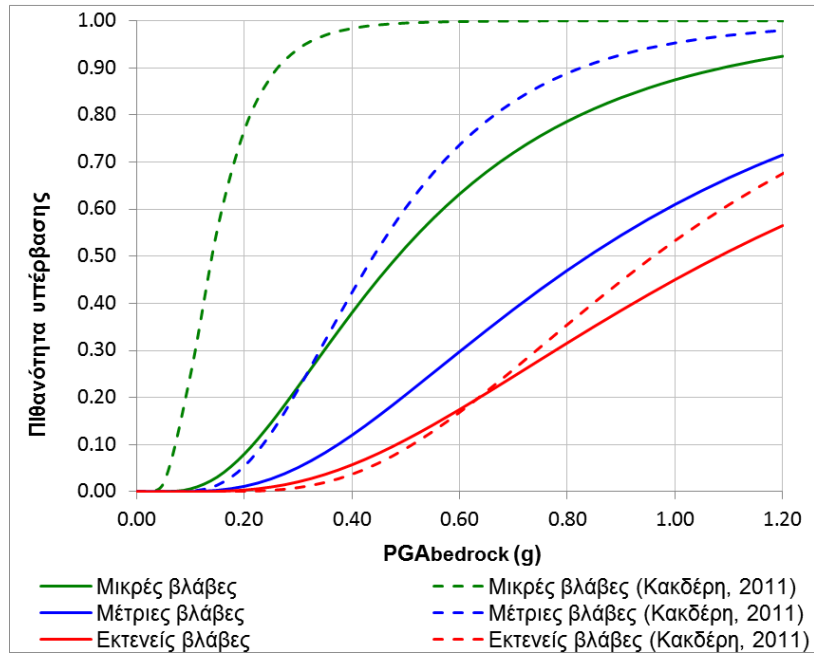
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

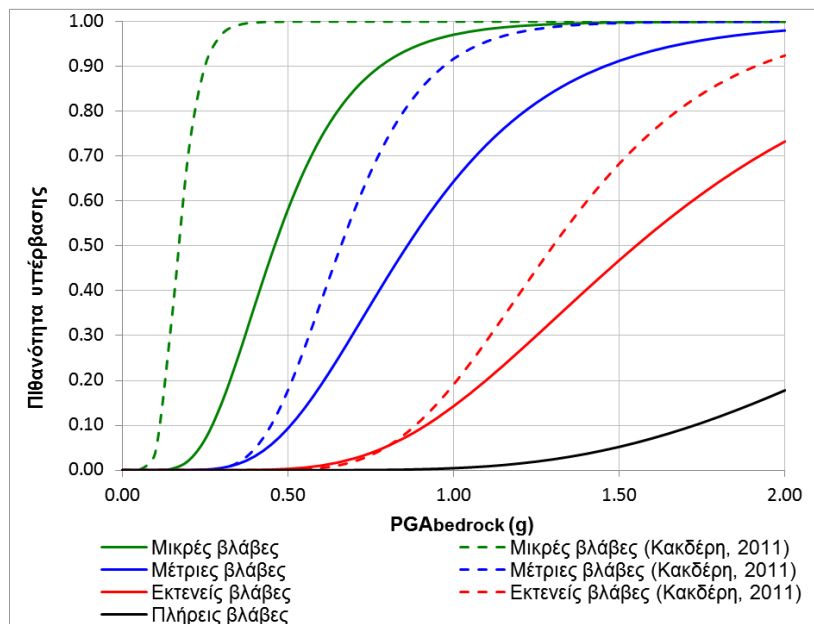
Οι παραπάνω συγκρίσεις είναι ποιοτικού χαρακτήρα, και δεν αναμένεται σύγκλιση μεταξύ των διαφορετικών μεθόδων, καθώς οι παράμετροι και παραδοχές της κάθε προσέγγισης είναι διαφορετικές. Ειδικά οι ιδιότητες του εδάφους μπορεί να παίξουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της σεισμικής απόκρισης, καθώς και στην αποτίμηση της τρωτότητας του εξεταζόμενου στοιχείου.

Από τις συγκρίσεις προκύπτει γενικά ότι ο κρηπιδότοιχος του λιμανιού Θεσσαλονίκης παρουσιάζει καλύτερη σεισμική συμπεριφορά και επομένως μικρότερη τρωτότητα σε σχέση με άλλες περιπτώσεις της βιβλιογραφίας. Αναφέρεται στο σημείο αυτό ότι η σεισμική του απόκριση είναι σε αποδεκτά όρια, καθώς σύμφωνα με ανάλυση ευαισθησίας για τοίχους αντιστήριξης που παρουσιάζεται στη μελέτη των Anderson et al. (2008) οι περισσότεροι τοίχοι αντιστήριξης ακόμη κι αν έχουν σχεδιαστεί να ικανοποιούν μόνο τις βασικές απαιτήσεις για στατική φόρτιση, διαθέτουν επαρκή ικανότητα (αντίστασης) ώστε να ανταπεξέλθουν στις μετακινήσεις και παραμορφώσεις που θα προκαλέσουν σεισμικές δράσεις αισθητής σεισμικής έντασης. Συγκεκριμένα υποστηρίζουν, με βάση συντηρητικές παραδοχές ανάλυσης, ότι αν ένας τοίχος αντιστήριξης έχει σχεδιαστεί να ικανοποιεί τις βασικές απαιτήσεις για στατική φόρτιση θα διαθέτει ικανότητα αντίστασης υπό ψευδο-στατική φόρτιση που αντιστοιχεί σε επιτάχυνση ίση με 0.12g. Σημειώνεται ότι η διάμεσος τιμή της PGA για μικρές βλάβες (τιμή κατωφλίου) είναι αρκετά μεγαλύτερη τόσο για τις νέες καμπύλες τρωτότητας όσο και για τις λοιπές, εκτός από των Calabrese and Lai (2013) όπου για τις μικρές βλάβες η διάμεσος τιμή προκύπτει ίση με 0.06g, δηλαδή αρκετά μικρότερη από 0.12g.

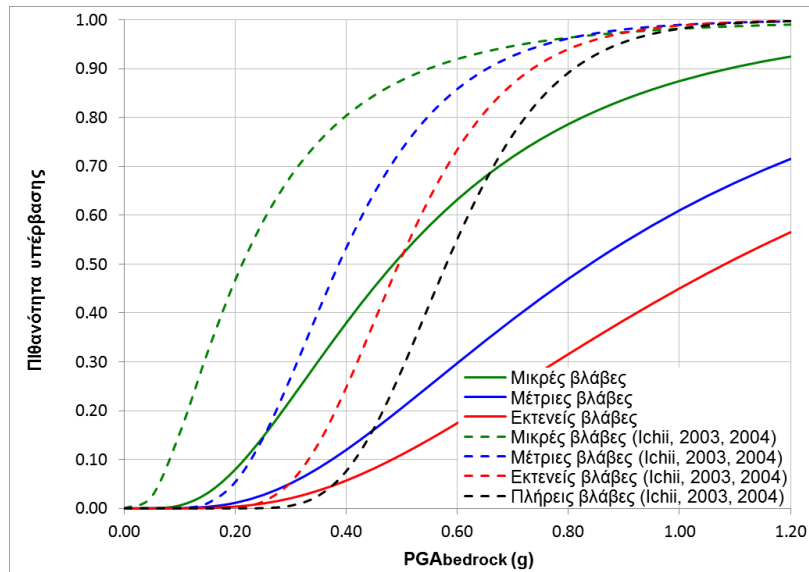
Σύμφωνα με τους ίδιους συγγραφείς (Anderson et al., 2008), και πάλι για αναλύσεις κατασκευών αντιστήριξης χωρίς την παρουσία νερού στο επίχωμα, με μια λιγότερη συντηρητική προσέγγιση, η ικανότητα αντίστασης είναι πιθανό να είναι πολύ μεγαλύτερη, φτάνοντας σε τιμές της κορυφαίας εδαφικής επιτάχυνσης στην επιφάνεια ίσες με 0.68g. Ειδικά για περιοχές χαμηλής σεισμικότητας και αναμενόμενων σεισμικών διεγέρσεων μακράς περιόδου, ο τοίχος αντιστήριξης μπορεί να αντισταθεί σε κορυφαία εδαφική επιτάχυνση ανά περίπτωση ίση με 0.24g. Δεδομένου του ότι οι τιμές αυτές (που αναφέρονται σε μη-συντηρητικές παραδοχές) κυμαίνονται γύρω από τις διάμεσες τιμές της PGA που υπολογίστηκαν για τις καμπύλες τρωτότητας των μικρών έως μέτριων σταθμών βλάβης και με τις δύο μεθόδους (διαγράμματος εξέλιξης βλάβης και μέγιστης πιθανοφάνειας), χωρίς να πλησιάζουν τις αντίστοιχες τιμές των εκτενών βλαβών, φαίνεται ο μάλλον συντηρητικός χαρακτήρας των παραγόμενων συναρτήσεων τρωτότητας για γενικές αναλύσεις τρωτότητας.



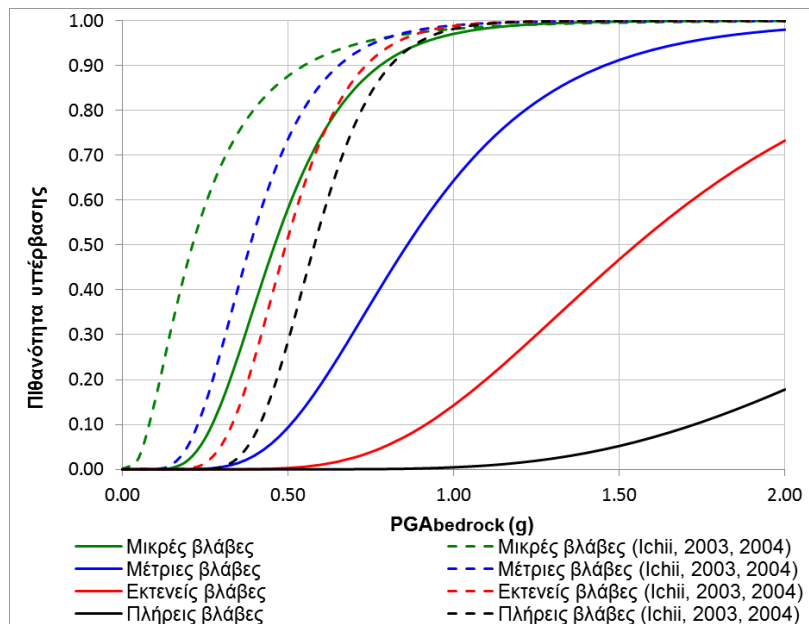
Σχήμα 4 Σύγκριση νέων καμπυλών τρωτότητας που προέκυψαν με τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης βλάβης με τις αντίστοιχες της Κακδέρη (2011) για κρηπιδότοιχους.



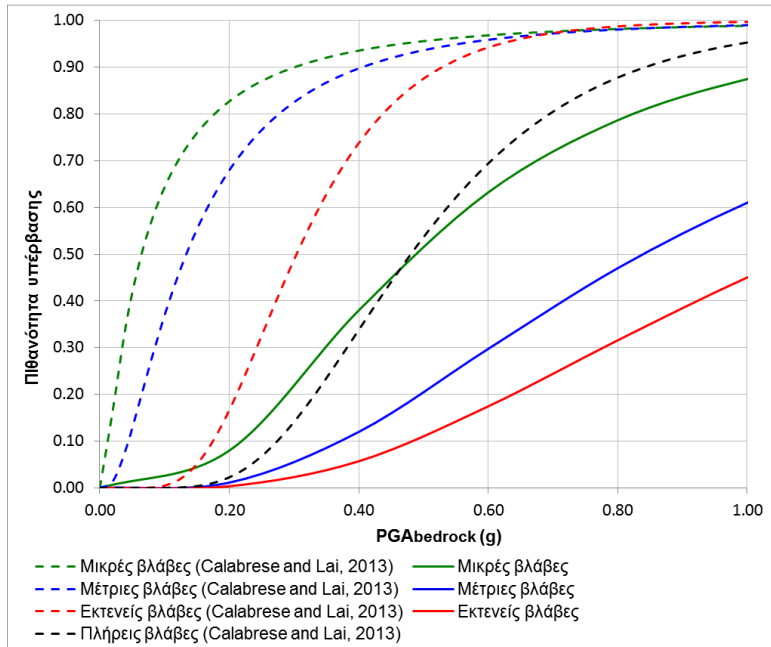
Σχήμα 5 Σύγκριση νέων καμπυλών τρωτότητας που προέκυψαν με τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας με τις αντίστοιχες της Κακδέρη (2011) για κρηπιδότοιχους.



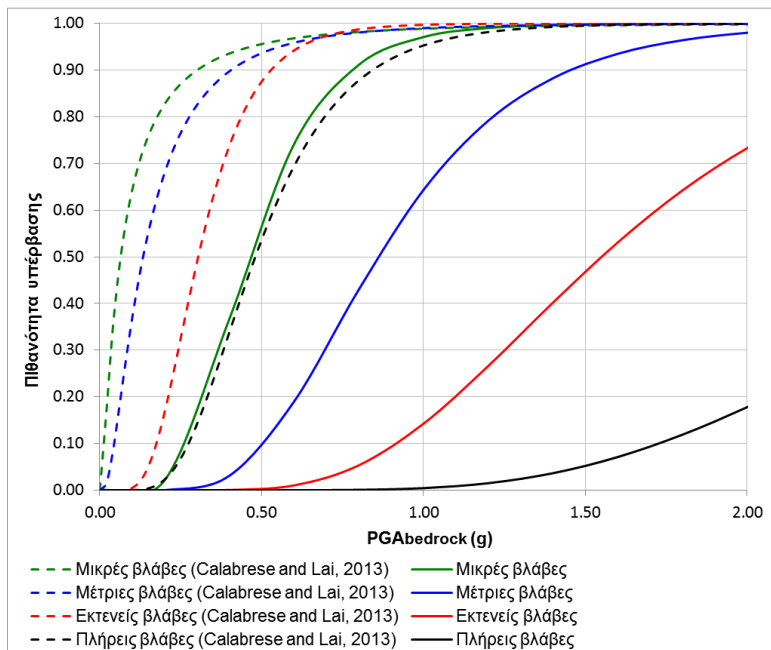
Σχήμα 6 Σύγκριση νέων καμπυλών τρωτότητας που προέκυψαν με τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης βλάβης με τις αντίστοιχες του Ichii (2003, 2004) για κρηπιδοτόιχους.



Σχήμα 7 Σύγκριση νέων καμπυλών τρωτότητας που προέκυψαν με τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας με τις αντίστοιχες του Ichii (2003, 2004) για κρηπιδοτόιχους.



Σχήμα 8 Σύγκριση νέων καμπυλών τρωτότητας που προέκυψαν με τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης βλάβης με τις αντίστοιχες των Calabrese and Lai (2013) για κρηπιδότοιχους, χωρίς θεώρηση ρευστοποίησης.



Σχήμα 9 Σύγκριση νέων καμπυλών τρωτότητας που προέκυψαν με τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας με τις αντίστοιχες των Calabrese and Lai (2013) για κρηπιδότοιχους, χωρίς θεώρηση ρευστοποίησης.



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 Σύγκριση των νέων καμπυλών τρωτότητας για γερανό με αντίστοιχες από βιβλιογραφία

Οι νέες καμπύλες τρωτότητας για γερανό συγκρίνονται με αυτές που προτείνονται από το HAZUS (NIBS, 2004), που 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 κορυφαίας εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) και μόνιμης εδαφικής μετακίνησης (PGD). Γίνεται διάκριση μεταξύ σταθερών γερανών (ή/και εξοπλισμού φορτοεκφόρτωσης) (αγκυρωμένος εξοπλισμός) και εξοπλισμού κινούμενου σε ράγες (εξοπλισμός χωρίς αγκύρωση). Σημειώνεται ότι η ύπαρξη αγκύρωσης (συγκράτησης και περιορισμού των μετακινήσεων σε περίπτωση εκδήλωσης μιας σεισμικής διέγερσης) σημαίνει εξοπλισμό με κάποιου είδους σεισμικό σχεδιασμό, ενώ αντίθετα η απουσία αγκυρώσεων σημαίνει γενικά εξοπλισμό σχεδιασμένο χωρίς απαιτήσεις αντισεισμικότητας. Οι στάθμες βλάβης, όπως ορίζονται από τη μεθοδολογία HAZUS, είναι τρεις και αντιστοιχούν σε μικρές, μέτριες και εκτενείς/καθολικές βλάβες. Ως μέτρο σεισμικής έντασης λαμβάνεται τόσο η κορυφαία εδαφική επιτάχυνση (PGA), όσο και η μόνιμη εδαφική μετακίνηση (PGD) στην επιφάνεια.

Οι νέες καμπύλες (Παραδοτέο 8.2) όπως προέκυψαν με τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης βλάβης (Σχήμα 10), καθώς και αυτές που προέκυψαν με τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας (Σχήμα 11) συγκρίνονται με αυτές του HAZUS. Όλες οι καμπύλες τρωτότητας έχουν ως μέτρο σεισμικής έντασης την κορυφαία εδαφική επιτάχυνση (PGA) στην επιφάνεια. Ο



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 2 συγκεντρώνει τις παραμέτρους των καμπυλών τρωτότητας για γερανούς με τις διαφορετικές μεθοδολογίες.

Για μικρές και μέτριες βλάβες παρατηρείται σύγκλιση των δύο προσεγγίσεων . Αντίθετα για την περίπτωση των εκτενών βλαβών, ο εξεταζόμενος γερανός του λιμανιού Θεσσαλονίκης προκύπτει αρκετά πιο τρωτός. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι οι νέες καμπύλες είναι συντηρητικές για εκτενείς βλάβες. Οι διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων καμπυλών είναι αναμενόμενες, καθώς η διαφοροποίηση ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες δε λαμβάνεται υπόψη στη μεθοδολογία του HAZUS.



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

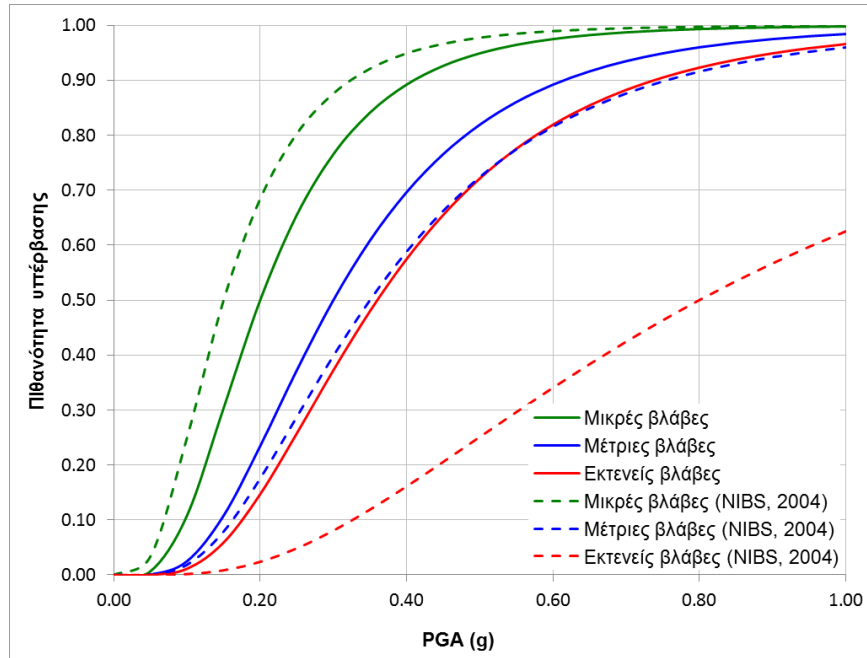
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



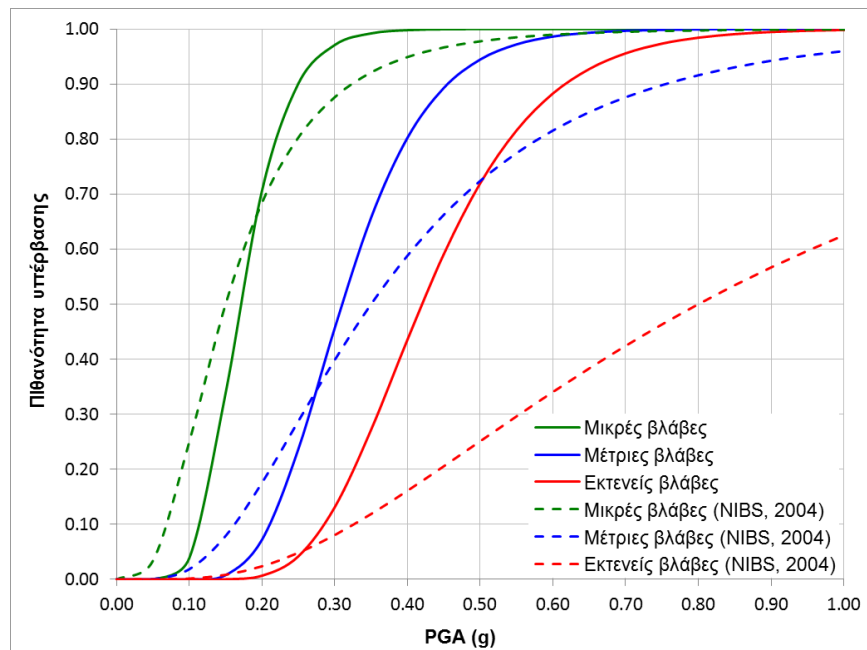
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 2 Παράμετροι καμπυλών τρωτότητας για γεραμούς με διαφορετικές μεθοδολογίες.

Βλάβες	Μικρές	Μέτριες	Εκτενείς
Παραδοτέο 8.2 (Μέθοδος διαγράμματος εξέλιξης βλάβης)			
Διάμεσος τιμή (g)	0.20	0.30	0.36
β	0.56	0.56	0.56
Παραδοτέο 8.2 (Μέθοδος μέγιστης πιθανοφάνειας)			
Διάμεσος τιμή (g)	0.17	0.31	0.42
β	0.30	0.30	0.30
HAZUS (NIBS, 2004)			
Διάμεσος τιμή (g)	0.15	0.35	0.80
β	0.60	0.60	0.70



Σχήμα 10 Σύγκριση νέων καμπυλών τρωτότητας που προέκυψαν με τη μέθοδο του διαγράμματος εξέλιξης βλάβης με τις αντίστοιχες του HAZUS (NIBS, 2004) για γερανούς.



Σχήμα 11 Σύγκριση νέων καμπυλών τρωτότητας που προέκυψαν με τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας με τις αντίστοιχες του HAZUS (NIBS, 2004) για γερανούς.



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

Τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι αποτίμησης της τρωτότητας και διακινδύνευσης λιμενικών εγκαταστάσεων. Στο παρόν παραδοτέο οι νέες καμπύλες τρωτότητας για κρηπιδότοιχους και γεραμούς του λιμανιού Θεσσαλονίκης συγκρίνονται με υπάρχουσες εμπειρικές και αριθμητικές, με στόχο την αξιολόγηση των νέων σχέσεων τρωτότητας και αντίστοιχων σταθμών βλάβης, με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους.

Συμπερασματικά προέκυψε ότι ο κρηπιδότοιχος του λιμανιού Θεσσαλονίκης προκύπτει λιγότερο τρωτός για όλες τις στάθμες βλαβών σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις της βιβλιογραφίας, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με τη μελέτη των Anderson et al. (2008) που καταλήγουν ότι οι περισσότεροι τοίχοι αντιστήριξης ακόμη κι αν έχουν σχεδιαστεί να ικανοποιούν τις βασικές απαιτήσεις στατικής φόρτισης, διαθέτουν επαρκή ικανότητα αντίστασης έναντι αξιόλογης σεισμικής έντασης. Στην παρούσα μελέτη (Παραδοτέο 8.2) έχει προσομοιωθεί η ακριβής γεωμετρία των τεχνητών ογκολίθων του κρηπιδοδοιχίου καθώς και η δυνατότητα ολίσθησης τόσο μεταξύ των τεχνητών ογκολίθων, όσο και του κρηπιδότοιχου επί της εξυγιαντικής στρώσης, με χρήση κατάλληλων στοιχείων διεπιφάνειας. Συνεπώς, λαμβάνεται υπόψη τυχόν απόσβεση της σεισμικής ενέργειας μεταξύ των ογκολίθων και όπως αναμένεται ο εξεταζόμενος κρηπιδότοιχος του λιμανιού Θεσσαλονίκης εμφανίζεται λιγότερο τρωτός σε σχέση με τη θεώρηση ενός μονολιθικού κρηπιδοδοιχίου. Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψη η πραγματική στρωματογραφία του εδάφους. Για την περίπτωση του γεραμού του λιμανιού Θεσσαλονίκης, προκύπτει ότι για μικρές και μέτριες βλάβες παρατηρείται σύγκλιση των δύο προσεγγίσεων, ενώ αντίθετα για την περίπτωση των εκτενών βλαβών ο εξεταζόμενος γεραμός εμφανίζεται ιδιαίτερα τρωτός.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω συγκρίσεις είναι ποιοτικού χαρακτήρα, και η σύγκλιση μεταξύ των διαφορετικών μεθόδων δεν είναι αναμενόμενη, καθώς οι παράμετροι και παραδοχές της κάθε προσέγγισης είναι διαφορετικές. Επιπλέον, ένα βασικό συμπέρασμα είναι η έντονη επιρροή των εδαφικών συνθηκών στη διαμόρφωση της σεισμικής απόκρισης καθώς και στην αποτίμηση της τρωτότητας των εξεταζόμενων στοιχείων. Συνεπώς κατά το σχεδιασμό τέτοιων ιδιαίτερα σημαντικών για την εύρυθμη λειτουργία του λιμανιού κατασκευών είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη τα ιδιαίτερα τυπολογικά και εδαφικά χαρακτηριστικά της περιοχής όπου βρίσκονται τα υπό μελέτη στοιχεία, με στόχο μια πιο ακριβή εκτίμηση της αναμενόμενης σεισμικής απόκρισης των κατασκευών αυτών για συνήθεις ισχυρές σεισμικές



διεγέρσεις, καθώς και την ενίσχυση της σεισμικής αξιοπιστίας και ασφάλειας των λιμενικών εγκαταστάσεων.

Βιβλιογραφία

- Anderson D.G., Martin G.R., Lam I. and Wang J.N. (2008). Seismic Analysis and Design of Retaining Walls, Buried Structures, Slopes, and Embankments. National Cooperative Highway Research Program, NCHRP Report 611 Transportation Research Board, Washington, D.C. 137 pp
- Calabrese A. and Lai C.G. (2013). Fragility functions of blockwork wharves using artificial neural networks. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 52, 88-102.
- CEN (European Committee for Standardization) (2004). "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings". EN 1998-1:2004. Brussels, Belgium.
- 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.
- National Institute of Building Sciences (NIBS) (2004). "Earthquake loss estimation methodology", HAZUS Technical manuals, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- PIANC (2001). "Seismic Design Guidelines for Port Structures", International Navigation Association, Balkema, 474 p.
- Plaxis (2007). "Plaxis finite element code for soil and rock analyses. User's Manual, Version 8.6 Dynamic". The Netherlands.
- 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.
- 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 & 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 9:

Πρόταση Σχεδίου Αντιμετώπισης φυσικής καταστροφής
σε λιμενικό σύστημα

Παραδοτέο 9.2:

Επιβεβαίωση Αποτελεσμάτων

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	Τοπολογία και χαρακτηριστικά του συστήματος εφαρμογής	3
3	Σεισμική επικινδυνότητα.....	5
4	Δεδομένα εισαγωγής	11
5	Αποτελέσματα	13
6	Συμπεράσματα	20
	Βιβλιογραφία	21



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

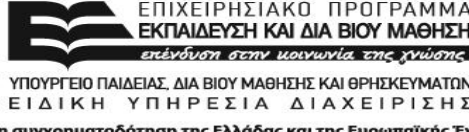
1 Εισαγωγή

Στο παρόν παραδοτέο γίνεται εφαρμογή στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης της μεθοδολογίας που περιγράφεται στο παραδοτέο 8.1 για την αποτίμηση της σεισμικής τρωτότητας και διακινδύνευσης, καθώς και της λειτουργικότητας λιμενικών εγκαταστάσεων σε επίπεδο συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συνιστωσών. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιούνται οι καμπύλες τρωτότητας έναντι εδαφικής ταλάντωσης που προέκυψαν στο πλαίσιο του παραδοτέου 8.2 για τους κρηπιδότοιχους και γερανούς του ίδιου λιμένα. Η γενική περιγραφή του λιμένα Θεσσαλονίκης, η διαθέσιμη βάση δεδομένων, καθώς και τα τυπολογικά χαρακτηριστικά των δικτύων και υποδομών εντός του λιμανιού έχουν δοθεί στο παραδοτέο της Δράσης 2 «Βάση δεδομένων υφισταμένων λιμένων στην Ελλάδα – αποτίμηση της σεισμικής τρωτότητας χαρακτηριστικών περιπτώσεων». Με τον τρόπο αυτό επιβεβαιώνεται μέσω μιας συγκεκριμένης μελέτης περίπτωσης η δυνατότητα εφαρμογής των προτεινόμενων μεθόδων και αποτελεσμάτων.

Ακολουθεί η περιγραφή της τοπολογίας και των χαρακτηριστικών του συστήματος της μελέτης περίπτωσης, καθώς και των σεισμικών πηγών και των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών της περιοχής, όπως αυτά ενσωματώθηκαν στον αλγόριθμο της παρούσας εφαρμογής. Λαμβάνονται υπόψη τόσο η εδαφική ταλάντωση όσο και η εδαφική αστοχία λόγω ρευστοποίησης. Στη συνέχεια δίνονται οι παράμετροι και τα δεδομένα της ανάλυσης, και τέλος τα αποτελέσματα αυτής. Από τα αποτελέσματα, εκτός από τη καμπύλη διακινδύνευσης, είναι δυνατό να καθοριστούν οι συνιστώσες που παρουσιάζουν την υψηλότερη συσχέτιση με την απόδοση του λιμένα, δηλαδή οι συνιστώσες που είναι πιο κρίσιμες ως προς τη σεισμική διακινδύνευση του συστήματος.



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 Τοπολογία και χαρακτηριστικά του συστήματος εφαρμογής

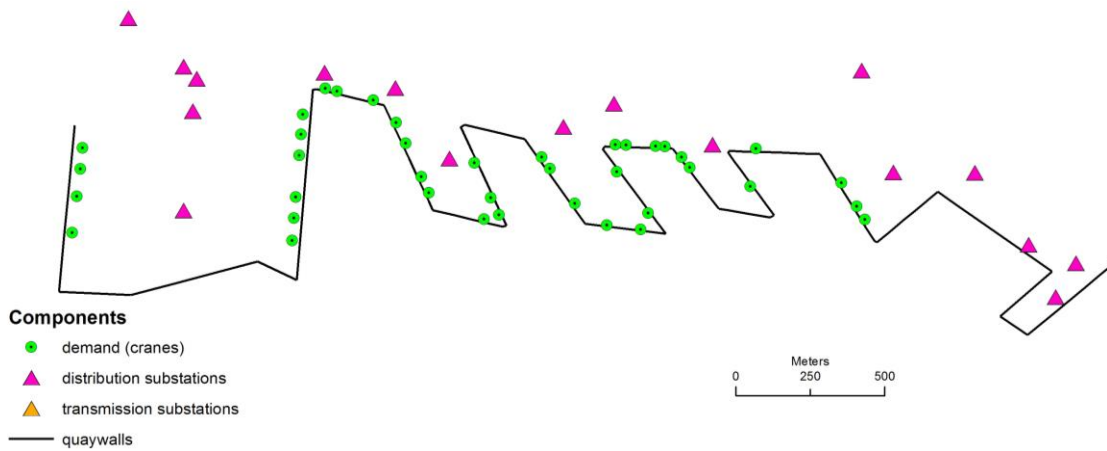
Τα στοιχεία που εξετάζονται στην παρούσα εφαρμογή είναι οι κρηπιδότοιχοι, ο εξοπλισμός μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου (γερανοί/ γερανογέφυρες) και το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα κρηπιδώματα του λιμένα Θεσσαλονίκης, συνολικού μήκους 6,5 Km, περιλαμβάνουν κρηπιδότοιχους βαρύτητας, από οπλισμένο σκυρόδεμα, κατασκευασμένους από πρόχυτους τεχνητούς ογκόλιθους. Επιπλέον διαθέτουν επιφανειακή θεμελίωση και δεν έχουν αγκυρώσεις. Το επίχωμα αποτελείται από θραυστά υλικά κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης, όπως επίσης και η στρώση εξυγίανσης (λιθορριπή έδρασης) στην βάση τους. Τα κρηπιδώματα ορίζονται από 17 συνδέσμους (sides) και 24 κόμβους (pier-nodes).

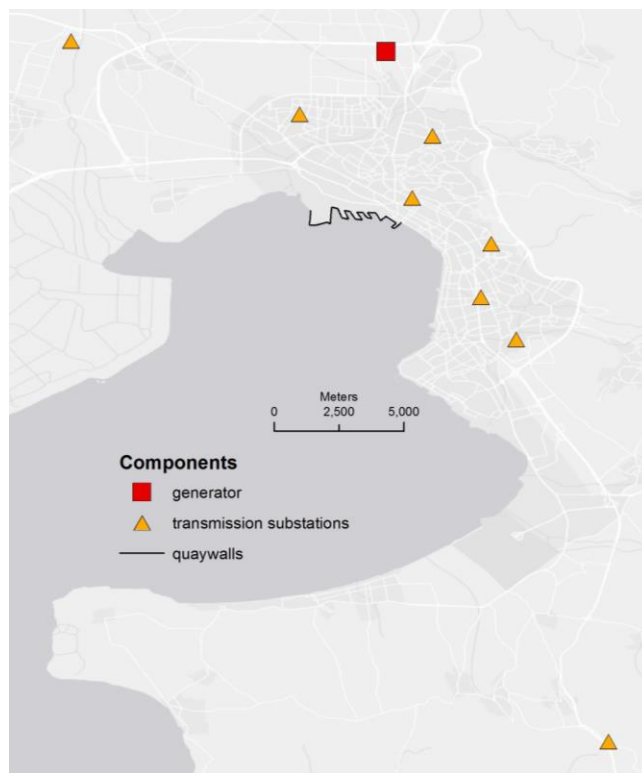
Ο εξοπλισμός μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου περιλαμβάνει ηλεκτροκίνητους γεραμούς και γερανογέφυρες, με μη σταθερά στοιχεία εξοπλισμού χωρίς αγκυρωμένα εξαρτήματα, ενώ κινούνται με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς την ύπαρξη εναλλακτικής πηγής τροφοδοσίας ενέργειας. Στην ανάλυση θεωρήθηκαν 39 στοιχεία-κόμβοι (crane-nodes).

Για την ανάλυση του συστήματος θεωρήθηκαν δύο τερματικοί σταθμοί: ένας σταθμός εμπορευματοκιβωτίων, που περιλαμβάνει το κρηπιδώμα 26 στον 6^ο προβλήτα, και ένας σταθμός χύδην φορτίου, που περιλαμβάνει όλα τα υπόλοιπα κρηπιδώματα των προβλητών 2 έως 6.

Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους γεραμούς θεωρείται ότι γίνεται από κόμβους ζήτησης (demand nodes) μέσω γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κόμβοι ζήτησης είναι οι θμοί διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εντός του λιμένα. Ταξινομούνται ως υποσταθμοί χαμηλής τάσης με μη αγκυρωμένα εξαρτήματα. Η λειτουργικότητα τους καθορίζεται από την ανάλυση συνδετικότητας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας του πολεοδομικού συγκροτήματος (Pitilakis et al., 2014). Στην ανάλυση λαμβάνονται υπόψη το ΚΥΤ (Κέντρο Υπερψηλής Τάσης), 8 υποσταθμοί μεταφοράς, 17 υποσταθμοί διανομής και 65 γραμμές μεταφοράς ενέργειας. Οι τελευταίες θεωρούνται ως μη-τρωτές. Η γεωγραφική απεικόνιση των κρηπιδότοιχων, των γερανών και του δικτύου παροχής ηλεκτρικής δίνεται στο Σχήμα 1.



α)



β)

Σχήμα 1 α) Συνιστώσες εντός λιμανιού (κρηπιδότοχοι, γερανοί, υποσταθμοί διανομής) και β) εξωτερικού δικτύου ηλ. ενέργειας (υποσταθμοί μεταφοράς και Κέντρο Υπερυψηλής Τάσης).



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 Σεισμική επικινδυνότητα

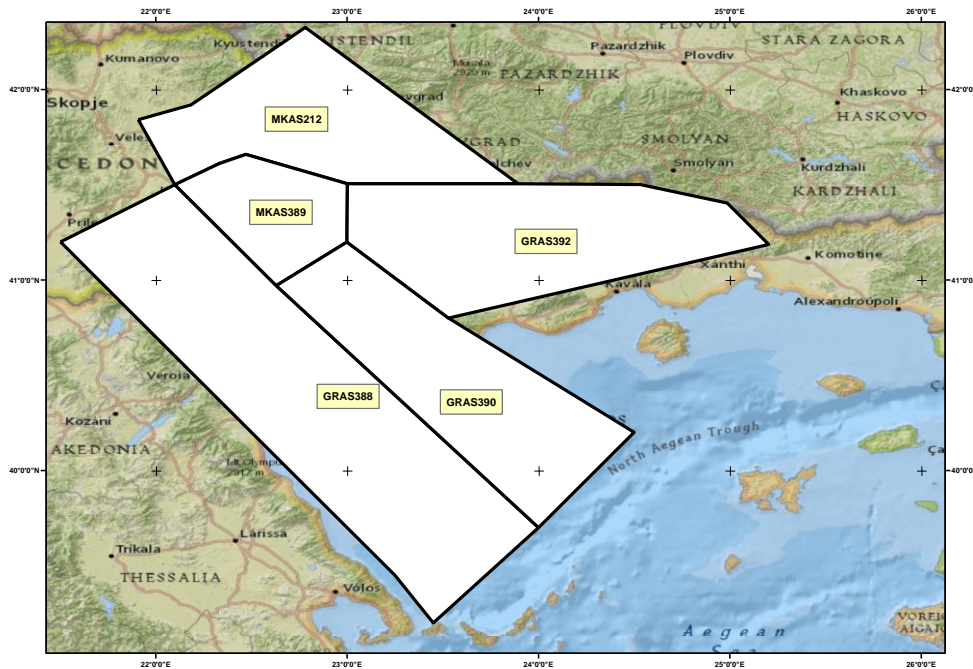
Μοντέλο σεισμικών πηγών

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμική δραστηριότητα, με ιστορικούς σεισμούς μεγέθους μεγαλύτερου του $M=6,0$ (Parazachos and Parazachou, 1997). Ο πιο πρόσφατος καταστροφικός σεισμός σημειώθηκε στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης κατά την ενεργοποίηση του σεισμικού ρήγματος Γερακαρού – Νικομιδηνού – Στίβου – Περιστερώνια στις 20 Ιουνίου 1978, με επίκεντρο το Στίβο, εστιακό βάθος 8-10km και μέγεθος $M=6,5$. Από τον κύριο σεισμό σημειώθηκαν εκτεταμένες ζημιές στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης και στις γύρω περιοχές, με συνολικά 49 νεκρούς και 220 τραυματίες. Το λιμάνι δεν υπέστη σημαντικές βλάβες.

Για την ανάλυση επιλέχθηκαν πέντε σεισμικές ζώνες (Σχήμα 2), όπως αυτές προτάθηκαν στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος SHARE (Giardini et al. 2013, www.share-eu.org). Ο Πίνακας 1 δίνει τις παραμέτρους των σεισμικών ζωνών. Με χρήση της μεθόδου Monte Carlo πραγματοποιήθηκαν 10.000 προσομοιώσεις, με τυχαία δειγματοληψία σεισμικών γεγονότων από τις ζώνες αυτές.

Πίνακας 1 Παράμετροι των πέντε σεισμικών ζωνών που λήφθηκαν υπόψη στην ανάλυση (SHARE, Arvidsson et al., 2010).

Ζώνη	a	b	Mmin	Mmax
GRAS388	4,10	1,00	5,0	7,5
GRAS390	3,75	0,90	5,0	7,5
MKAS389	3,90	0,90	5,0	7,5
MKAS212	4,60	1,00	5,0	7,5
GRAS392	3,95	1,00	5,0	7,5



Σχήμα 2 Σεισμικές ζώνες που λήφθηκαν υπόψη στην ανάλυση (SHARE, Arvidsson et al., 2010).

Γεωτεχνικός χάρτης και ρευστοποίηση

Για την περιοχή της Θεσσαλονίκης έχει πραγματοποιηθεί λεπτομερής γεωτεχνική μελέτη, που περιλαμβάνει την επιφανειακή γεωλογία και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των εδαφικών σχηματισμών. Ο γεωτεχνικός χάρτης της περιοχής (Anastasiadis et al., 2001) δημιουργήθηκε βάσει πολυάριθμων δεδομένων από γεωτεχνικές έρευνες, γεωφυσικές διασκοπήσεις, μετρήσεις μικροθορύβου, κλασσικές γεωτεχνικές και ειδικές δυναμικές δοκιμές εδαφών (Pitilakis et al., 1992; Pitilakis and Anastasiadis, 1998; Raptakis et al., 1994a; Raptakis et al., 1994b; Ραπτάκης, 1995; Apostolidis et al., 2004). Οι δυναμικές ιδιότητες των κύριων εδαφικών σχηματισμών καθορίστηκαν από τη σύνθεση εργαστηριακών δοκιμών στήλης συντονισμού και δοκιμών κυκλικής τριαξονικής φόρτισης (Pitilakis et al., 1992; Pitilakis and Anastasiadis, 1998; Αναστασιάδης, 1994).

Στην παρούσα εφαρμογή, γίνεται χρήση του απλοποιημένου χάρτη που φαίνεται στο Σχήμα 3 για τη Μητροπολιτική περιοχή της Θεσσαλονίκης, όπου οι εδαφικοί σχηματισμοί ταξινομούνται βάσει του EC8 (CEN, 2004). Όπως φαίνεται στο λιμάνι επικρατούν εδάφη κατηγορίας C.

Για τον προσδιορισμό της επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση των εδαφικών σχηματισμών χρησιμοποιείται η μέθοδος των Youd and Perkins (1978) που προτείνεται στη μεθοδολογία HAZUS (NIBS, 2004). Η ταξινόμηση των εδαφών γίνεται με βάση τον τύπο και ηλικία του εδαφικού σχηματισμού, και την κατανομή των χαλαρών μη-συνεκτικών ιζημάτων. Η



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

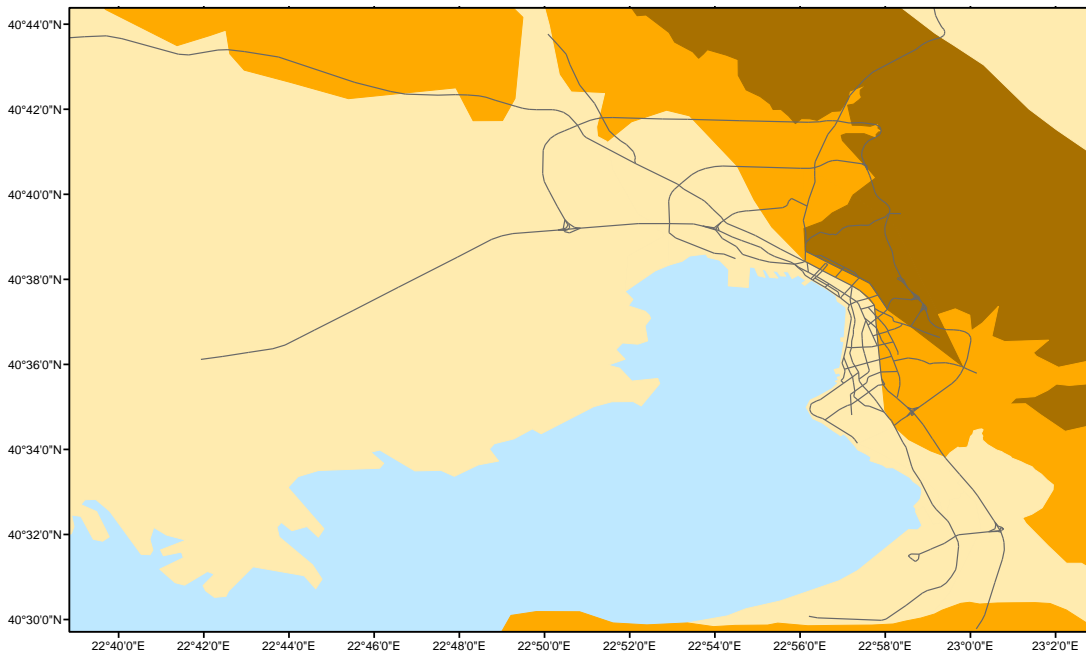


ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση των εδαφικών σχηματισμών στη μητροπολιτική περιοχή της Θεσσαλονίκης δίνεται στο Σχήμα 4 (ερευνητικό πρόγραμμα SRMLIFE, 2003-2007).

Ειδικότερα, στην περιοχή του λιμανιού, οι εδαφικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλή επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση, κυρίως λόγω των χαλαρών, κορεσμένων, ιλυωδών-αμμωδών εδαφών που επικρατούν στην περιοχή. Σε προηγούμενες μελέτες (SRMLIFE, 2003-2007), ο υπολογισμός της οριζόντιας και κατακόρυφης μόνιμης εδαφικής μετατόπισης λόγω ρευστοποίησης (εδαφική εξάπλωση και καθίζηση), πραγματοποιήθηκε για τρία σεισμικά σενάρια με μέση περίοδο επαναφοράς $T_m = 100, 475$ και 1.000 χρόνια (λεπτομερής μικροζωνική μελέτη), μέσω εμπειρικών και αναλυτικών μεθόδων (Seed et al., 2003; Youd et al., 2001; EC8; Ishihara and Yoshimine, 1992; Elgamal et al., 2001). Το Σχήμα 5 και το Σχήμα 6 απεικονίζουν την χωρική κατανομή της μόνιμης εδαφικής καθίζησης και της πλευρικής εξάπλωσης λόγω ρευστοποίησης για το σενάριο των 475 χρόνων. Στην περιοχή του λιμένα, οι τιμές των μετακινήσεων κυμαίνονται μεταξύ 0-30cm για τις καθιζήσεις και 0-6cm για τις οριζόντιες μετατοπίσεις (σεισμικό σενάριο με μέση περίοδο επαναφοράς $T_m = 475$ χρόνια).

Ο κίνδυνος κατολίσθησης δεν λήφθηκε υπόψη στην παρούσα ανάλυση, καθώς η επιδεκτικότητα στην περιοχή είναι μηδαμινή.



Σχήμα 3 Γεωτεχνική ταξινόμηση των εδαφικών σχηματισμών στη μητροπολιτική περιοχή της Θεσσαλονίκης σύμφωνα με τον EC8.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



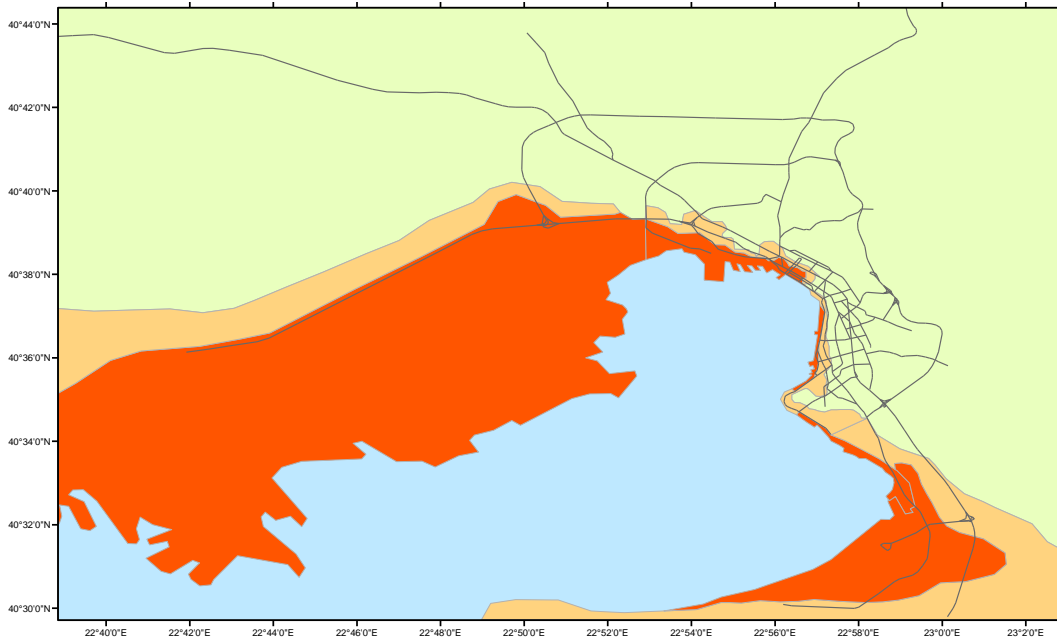
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

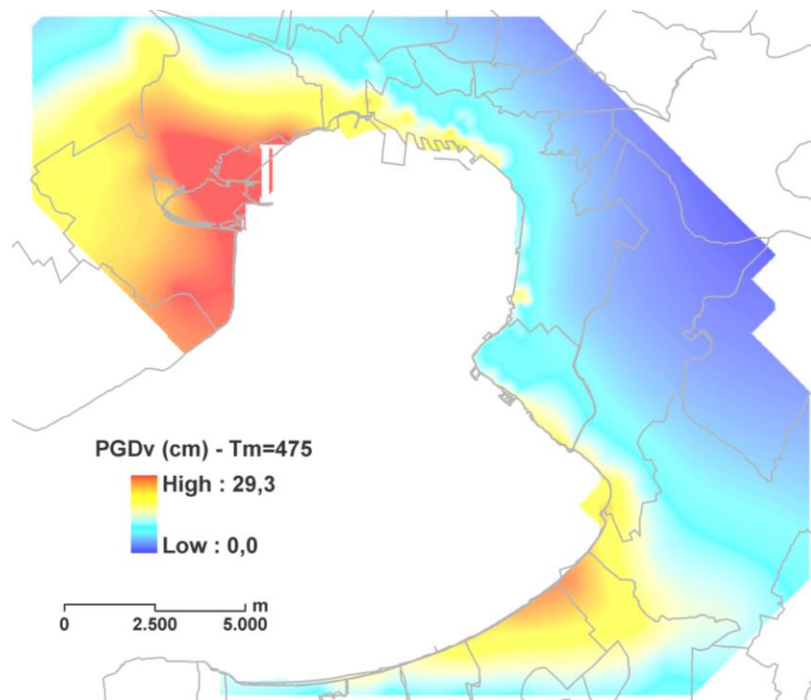
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



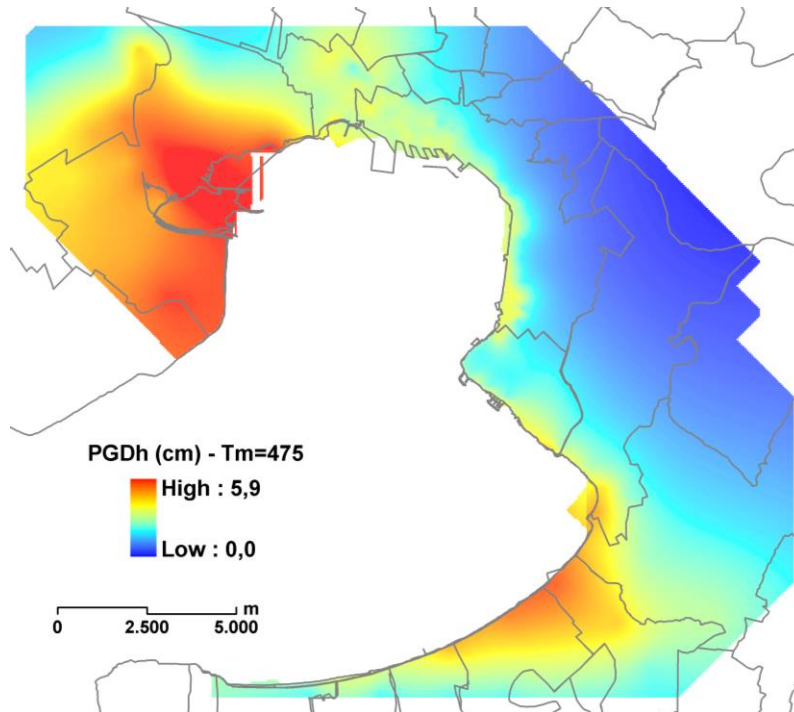
ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Σχήμα 4 Επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση των εδαφικών σχηματισμών στη μητροπολιτική περιοχή της Θεσσαλονίκης σύμφωνα με την ταξινόμηση που προτείνεται στο HAZUS (NIBS, 2004).



Σχήμα 5 Κατανομή των μέσων τιμών κορυφαίας μόνιμης εδαφικής καθίζησης Δν(cm) λόγω ρευστοποίησης, για το σεισμικό σενάριο με μέση περίοδο επαναφοράς $T_m=475$ χρόνια (SRMLIFE, 2003-2007).

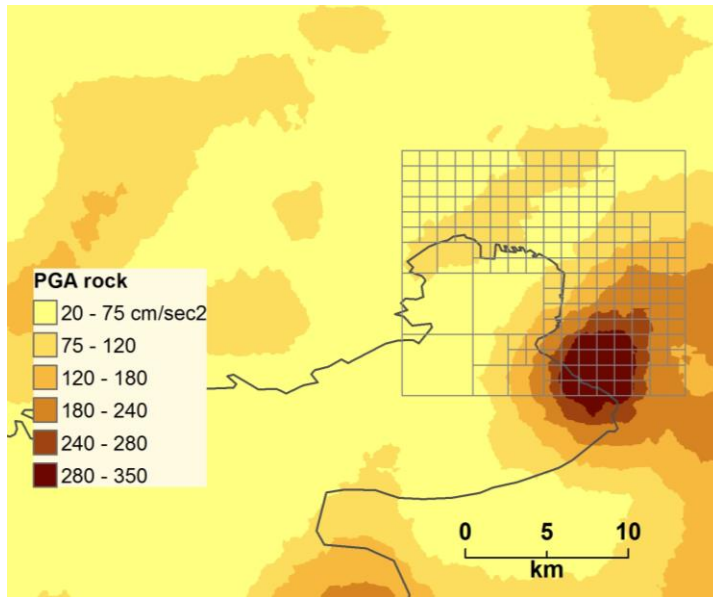


Σχήμα 6 Κατανομή των μέσων τιμών εδαφικής εξάπλωσης Δh (cm) λόγω ρευστοποίησης, για το σεισμικό σενάριο με μέση περίοδο επαναφοράς $T_m=475$ χρόνια (SRMLIFE, 2003-2007).

Σεισμική εδαφική κίνηση

Για την εκτίμηση των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης στο βραχώδες υπόβαθρο, γίνεται χρήση της σχέσης απόσβεσης (Ground Motion Prediction Equation, GMPE) των Akkar and Bommer (2010), ενώ για την προσομοίωση της χωρικής μεταβλητότητας της εδαφικής κίνησης χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο των Jayaram and Baker (2009). Σε κάθε θέση που κανάβου που χρησιμοποιείται, υπολογίζεται για κάθε σεισμικό γεγονός, η μέση τιμή της κύριας παραμέτρου σεισμικής έντασης (primary IM) από τη συγκεκριμένη σχέση εξασθένισης. Για τον υπολογισμό του υπολοίπου (residual) γίνεται δειγματοληψία από ένα τυχαματικό πεδίο χωρικών κανονικά κατανομημένων παραμέτρων σύμφωνα με το μοντέλο χωρικής μεταβλητότητας της εδαφικής κίνησης. Στη συνέχεια υπολογίζεται η κύρια παράμετρος σεισμικής έντασης (π.χ. PGA) στις θέσεις των συνιστωσών που θεωρούνται ως επιδεκτικές σε βλάβη μέσω χωρικής παρεμβολής. Τέλος, οι δευτερεύουσες παράμετροι σεισμικής έντασης (π.χ. PGV, PSA) υπολογίζονται σε κάθε θέση ενδιαφέροντος με βάση την κύρια παράμετρο (βλ. Παραδοτέο 8.1).

Στο Σχήμα 7 δίνεται ένα παράδειγμα πεδίου σεισμικής έντασης (“shakefield”) σε όρους του PGA στο βραχώδες υπόβαθρο (κύρια παράμετρος σεισμικής έντασης), για ένα σεισμό με μέγεθος 6.5 και επίκεντρο 40km A-BA από το λιμάνι Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 7 Παράδειγμα πεδίου σεισμικής έντασης σε όρους PGA (cm/s²) στο βραχώδες υπόβαθρο.

Για τον υπολογισμό της επιρροής των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην σεισμική κίνηση έγινε χρήση των συντελεστών ενίσχυσης που προτείνονται στον Ευρωκώδικα (Πίνακας 2).

Πίνακας 2 Τρέχοντες και βελτιωμένοι συντελεστές ενίσχυσης S για τους τύπους εδαφικών σχηματισμών που προτείνονται στον EC8 (Pitilakis et al., 2012).

EC8 Τύπος εδάφους	Τύπος 2 ($M_s \leq 5.5$)		Τύπος 1 ($M_s > 5.5$)	
	EC8	Προτεινόμενος (Pitilakis et al., 2012)	EC8	Προτεινόμενος (Pitilakis et al., 2012)
B	1,35	1,40	1,20	1,30
C	1,50	2,10	1,15	1,70
D	1,80	1,80	1,35	1,35
E	1,60	1,60	1,40	1,40



4 Δεδομένα εισαγωγής

Λιμενικές εγκαταστάσεις

Οι συνιστώσες των λιμενικών εγκαταστάσεων αποτελούνται από 63 κόμβους (nodes) και 17 συνδέσμους (sides). Οι κόμβοι διακρίνονται στα άκρα των κρηπιδωμάτων (pier-edges) (μη-τρωτά στοιχεία) και τους γεραμούς (τρωτά στοιχεία). Οι σύνδεσμοι περιλαμβάνουν μόνο τους κρηπιδότοιχους. Οι καμπύλες τρωτότητας που χρησιμοποιήθηκαν για τους γεραμούς και τα κρηπιδώματα δίνονται παρακάτω.

Τα στοιχεία που παρέχονται για κάθε συνιστώσα περιλαμβάνουν τη θέση τους, τα τυπολογικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά, καθώς και τα χαρακτηριστικά του εδάφους θεμελίωσης. Επίσης παρέχονται στοιχεία αναφορικά με την τρωτότητα τους (π.χ. παράμετρος σεισμικής έντασης της αντίστοιχης καμπύλης τρωτότητας). Ειδικά για τους γεραμούς παρέχονται πληροφορίες για το είδος του φορτίου που εξυπηρετούν και την ικανότητα τους (ανυψώσεις/ώρα για τους γεραμούς εμπορευματοκιβωτίων και τόνους/ώρα για τους γεραμούς που εξυπηρετούν χύδην φορτίο), την ύπαρξη ή όχι εφεδρικής πηγής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και τον τερματικό σταθμό και τον προβλήτα που εξυπηρετούν. Η αλληλεπίδραση των γερανών με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζεται μέσω συνδέσμων με τους κόμβους του δικτύου.

Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

Στην ανάλυση λαμβάνονται υπόψη συνολικά το ΚΥΤ (Κέντρο Υπερυψηλής Τάσης), 8 υποσταθμοί μεταφοράς, 17 υποσταθμοί διανομής και 65 μη-τρωτές γραμμές μεταφοράς ενέργειας. Για τους υποσταθμούς παρέχονται επίσης στοιχεία που καθορίζουν την τρωτότητα τους, σύμφωνα με τις επιλεγμένες καμπύλες τρωτότητας (τύπος – ανοικτός/ κλειστός με ή χωρίς αγκυρωμένα εξαρτήματα). Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους γεραμούς θεωρείται ότι γίνεται από έναν κόμβο ζήτησης (demand node) μέσω μη-τρωτών γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας.

Αποτίμηση της τρωτότητας

Οι καμπύλες τρωτότητας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή δίνονται παρακάτω (Πίνακας 3). Ακολουθούν λογαριθμοκανονική κατανομή (σχέση 1.2), και ορίζονται από δύο παραμέτρους (διάμεσος τιμή, και τυπική απόκλιση) (Πίνακας 4). Η τρωτότητα (βαθμός βλάβης) όλων των συνιστωσών υπολογίζεται έναντι εδαφικής ταλάντωσης, ενώ για κρηπιδότοιχους και γεραμούς/εξοπλισμό διαχείρισης φορτίου, υπολογίζεται επιπλέον έναντι εδαφικής αστοχίας λόγω ρευστοποίησης. Κατά την ανάλυση λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη βλάβη από τις δύο περιπτώσεις (εδαφική ταλάντωση και εδαφική αστοχία). Επίσης, σχετικά με την αποτίμηση της λειτουργικότητας των επιμέρους συνιστωσών, θεωρείται ότι είναι λειτουργικές όταν παρουσιάζουν βλάβες: μικρότερες από μέτριες για τους κρηπιδότοιχους και

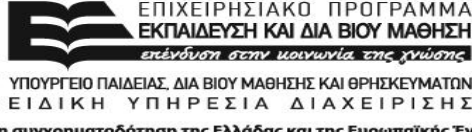
τους γερανούς (εφόσον υπάρχει παροχή ηλεκτρικής ενέργειας) και μικρότερες από εκτεταμένες για τους υποσταθμούς.

Πίνακας 3 Καμπύλες τρωτότητας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή.

Συνιστώσα	Παράμετρος σεισμικής έντασης	Καμπύλη τρωτότητας
Κρητιδότοιχοι	PGD	HAZUS (NIBS, 2004)
	PGA	Παραδοτέο 8.2
Γερανοί/ εξοπλισμός διαχείρισης φορτίου	PGA	Παραδοτέο 8.2
	PGD	HAZUS (NIBS, 2004)
Υποσταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας (διανομής)	PGA	HAZUS (NIBS, 2004)
Υποσταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας (μεταφοράς)	PGA	SRM-LIFE (2003-2007)

Πίνακας 4 Παράμετροι καμπυλών τρωτότητας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή.

Συνιστώσα	Διάμεσος τιμή (και τυπική απόκλιση) σε κάθε στάθμη βλάβης			
	Μικρές	Μέτριες	Εκτεταμένες	Πλήρεις
	Εδαφική ταλάντωση (PGA σε g)			
Κρητιδότοιχοι	0.29 (0.28)	0.42 (0.28)	0.58 (0.28)	0.86 (0.28)
Γερανοί/ εξοπλισμός διαχείρισης φορτίου	0.17 (0.30)	0.31 (0.30)	0.42 (0.30)	-
Υποσταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας ανοιχτού τύπου (διανομής)	0.13 (0.65)	0.26 (0.50)	0.34 (0.40)	0.74 (0.40)
Υποσταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας κλειστού τύπου (διανομής)	0.18 (0.50)	0.19 (0.55)	0.26 (0.55)	0.60 (0.50)
Υποσταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας (μεταφοράς)	0.18 (0.55)	0.32 (0.50)	0.43 (0.50)	0.65 (0.50)
	Εδαφική αστοχία λόγω ρευστοποίησης (PGD σε m)			
Κρητιδότοιχοι	0.13 (0.50)	0.30 (0.50)	0.43 (0.50)	1.09 (0.50)
Γερανοί/ εξοπλισμός διαχείρισης φορτίου	0.05 (0.60)	0.10 (0.60)	0.25 (0.70)	-



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

Δείκτες λειτουργικότητας

Χρησιμοποιούνται οι δείκτες λειτουργικότητας του λιμενικού συστήματος όπως ορίζονται στο Παραδοτέο 8.1 για τον σταθμό εμπορευματοκιβωτίων και σταθμό χύδην φορτίου.

Σταθμός εμπορευματοκιβωτίων

α) Τερματικός σταθμός (διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων): “ $TCoH$ = συνολικός αριθμός εμπορευματοκιβωτίων που διακινούνται (φορτώνονται και εκφορτώνονται) ανά ημέρα, σε ισοδύναμα 20 ποδών (Twenty-foot Equivalent Units, TEU)”.

β) Πύλη (παράδοση εμπορευματοκιβωτίων): “ $TCoM$ = συνολικός αριθμός κινήσεων εμπορευματοκιβωτίων ανά ημέρα, σε ισοδύναμα 20 ποδών (Twenty-foot Equivalent Units, TEU) για ολόκληρη τη λιμενική εγκατάσταση”.

Σταθμός χύδην φορτίου

α) Τερματικός σταθμός (διακίνηση χύδην φορτίου): “ $TCaH$ = συνολικό φορτίο που διακινείται (φορτώνεται και εκφορτώνεται) ανά ημέρα, σε τόνους”.

β) Πύλη (παράδοση χύδην φορτίου): “ $TCaM$ = συνολικός αριθμός κινήσεων φορτίου ανά ημέρα (σε τόνους) για ολόκληρη τη λιμενική εγκατάσταση”.

5 Αποτελέσματα

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν μέσω της ανάλυσης τύπου Monte Carlo, για 10,000 προσομοιώσεις που αντιστοιχούν σε διαφορετικά σεισμικά γεγονότα (M, R) και πεδία σεισμικής έντασης. Το επιλεγμένο πλήθος αναλύσεων κρίνεται επαρκές καθώς οδηγεί σε σταθερή εκτίμηση των δεικτών λειτουργικότητας του συστήματος.

Οι δείκτες λειτουργικότητας κανονικοποιούνται στην τιμή που αναφέρεται σε κανονικές (πριν το σεισμό) συνθήκες λειτουργίας. Για τον σταθμό εμπορευματοκιβωτίων η τιμή αυτή είναι ίση με $PI_{\max}=504$ TEUs ανά ημέρα, ενώ για τον σταθμό χύδην φορτίου $PI_{\max}=84,096$ tones ανά ημέρα. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν στην μέγιστη απόδοση του λιμένα, υποθέτοντας ότι όλοι οι γερανοί βρίσκονται σε πλήρη λειτουργία 24 ώρες την ημέρα.

Το Σχήμα 8 δείχνει τις καμπύλες των κυλιόμενων μέσων (μ), καθώς και τις καμπύλες για $\mu+\sigma$ και $\mu-\sigma$, για τους δείκτες $TCoH$ και $TCaH$ για τις 10,000 αναλύσεις τύπου Monte Carlo. Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι οι αναμενόμενες απώλειες είναι ελαφρώς μεγαλύτερες για τον δείκτη $TCoH$ απ’ ότι για τον $TCaH$.

Η μέση ετήσια συχνότητα υπέρβασης (mean annual frequency of exceedance) των δεικτών λειτουργικότητας δίνεται σε όρους κανονικοποιημένης απώλειας της λειτουργικότητας ($1-PI/PI_{\max}$), στο Σχήμα 9, όπου απεικονίζεται η καμπύλη διακινδύνευσης για τους δείκτες $TCaH$



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

και TCoH. Για τιμές της απώλειας λειτουργικότητας κάτω από 20% σε όρους TCaH, προκύπτουν μεγαλύτερες τιμές της συχνότητας υπέρβασης, ενώ για τιμές της απώλειας λειτουργικότητας πάνω από 20% σε όρους TCoH προκύπτουν μεγαλύτερες τιμές της συχνότητας υπέρβασης.

Ο βαθμός συσχέτισης (χαμηλός, μέσος, υψηλός) μεταξύ των δεικτών TCoH και TCaH με τη μη λειτουργικότητα των υποσταθμών διανομής και μεταφοράς ηλ. ενέργειας και των γερανών απεικονίζεται στα Σχήματα 10, 11 και 12 αντίστοιχα, με βάση τη συχνότητα βλάβης των συγκεκριμένων συνιστωσών για το σύνολο των αναλύσεων. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατό να προσδιορισθούν οι πιο κρίσιμες συνιστώσες του συστήματος σε σχέση με την συμβολή τους στην απώλεια λειτουργικότητας του λιμένα. Παρατηρείται ότι, όπως αναμένεται, οι περισσότεροι γερανοί της 6^{ης} προβλήτας έχουν υψηλό βαθμό συσχέτισης ως προς το δείκτη TCoH (διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων) καθώς στη συγκεκριμένη προβλήτα βρίσκεται ο σταθμός εμπορευματοκιβωτίων. Επίσης οι περισσότεροι γερανοί παρουσιάζουν μέσο προς υψηλό βαθμό συσχέτισης ως προς τους δείκτες TCoH και TCaH, υποδηλώνοντας την μεγάλη σπουδαιότητα τους στη λειτουργία του συστήματος. Ορισμένοι υποσταθμοί διανομής ηλ. ενέργειας παρουσιάζουν υψηλό βαθμό συσχέτισης (>70%), και επομένως είναι ιδιαίτερα κρίσιμοι στη λειτουργία του συστήματος, ενώ οι υποσταθμοί μεταφοράς παρουσιάζουν γενικά μέσο προς μικρό βαθμό συσχέτισης (<46%).



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



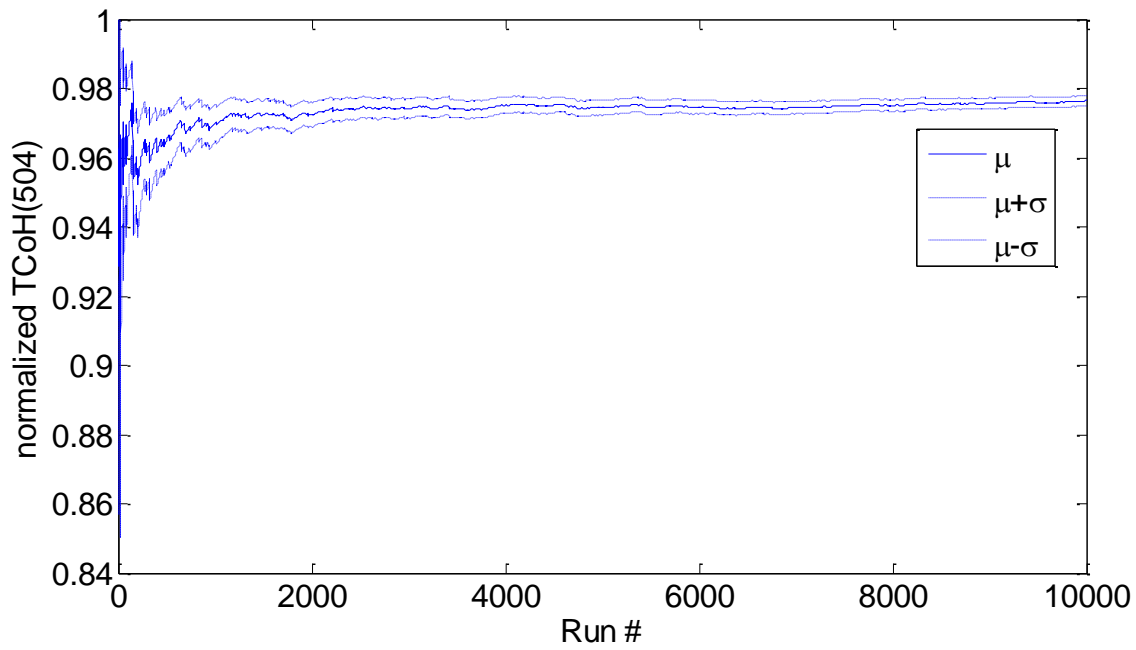
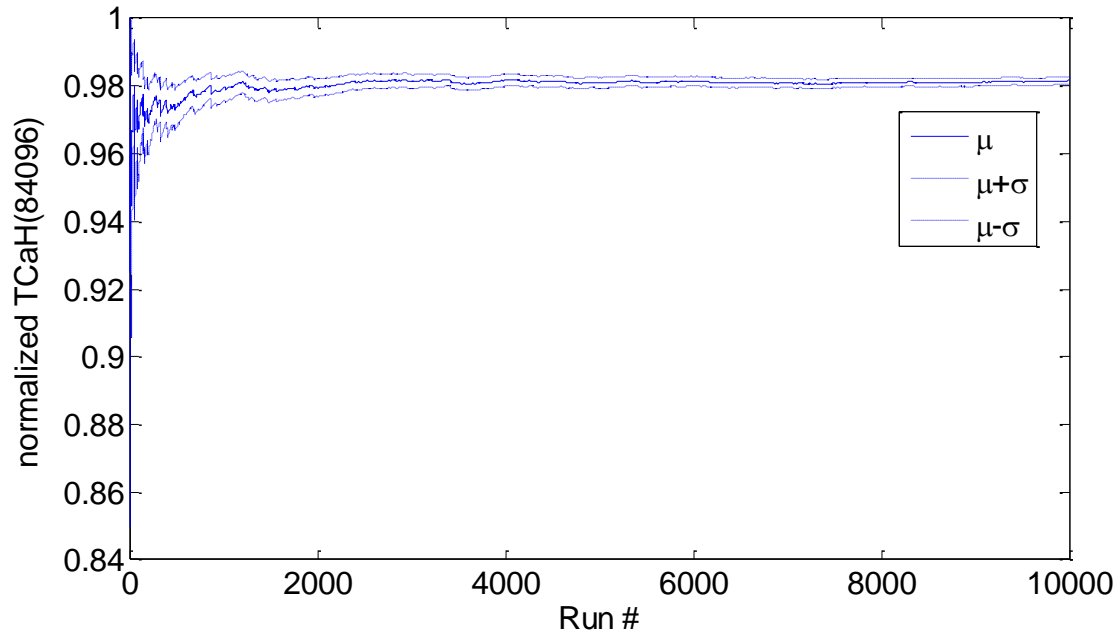
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

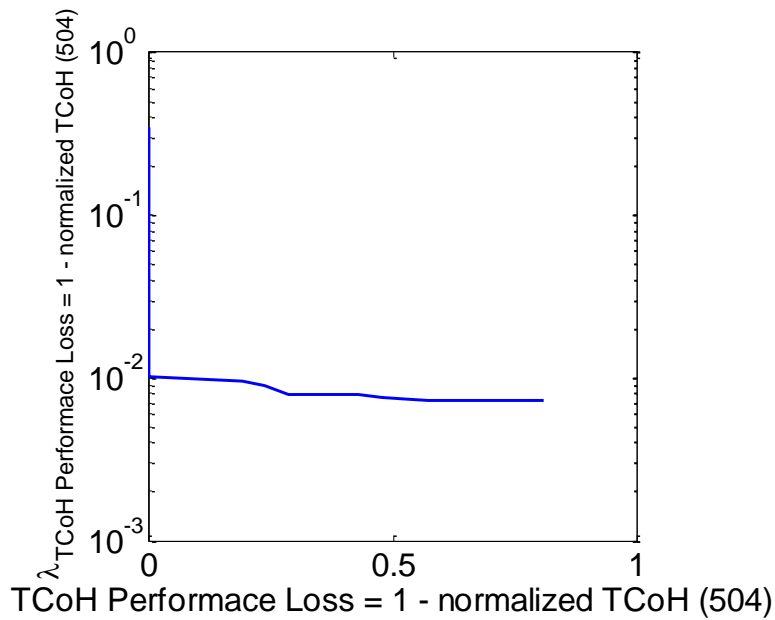
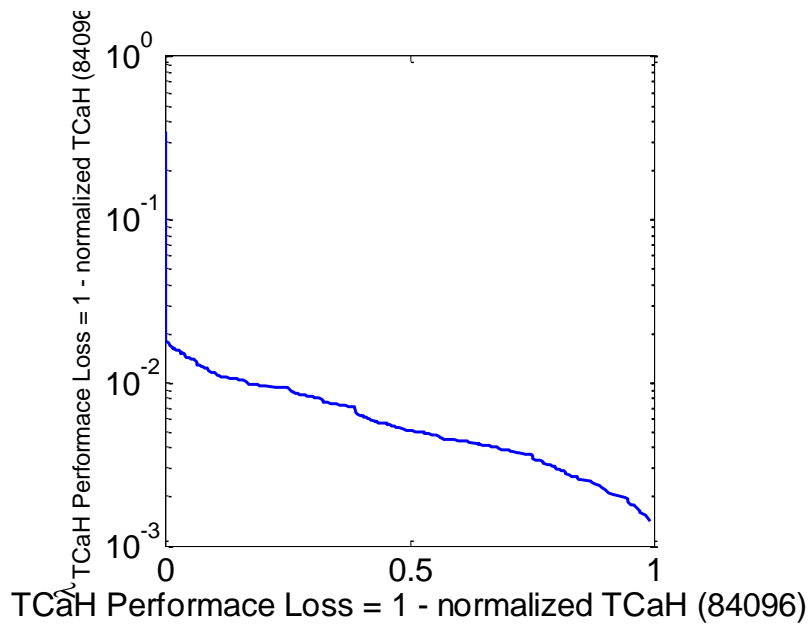
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Σχήμα 8 Καμπύλες του κυλιόμενου μέσου μ , $\mu+\sigma$, $\mu-\sigma$ για τους κανονικοποιημένους δείκτες λειτουργικότητας TCaH (α) και TCoH (β).



Σχήμα 9 Καμπύλες διακινδύνευσης (μέση ετήσια συχνότητα υπέρβασης) των δεικτών λειτουργικότητας TCaH και TCoH.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



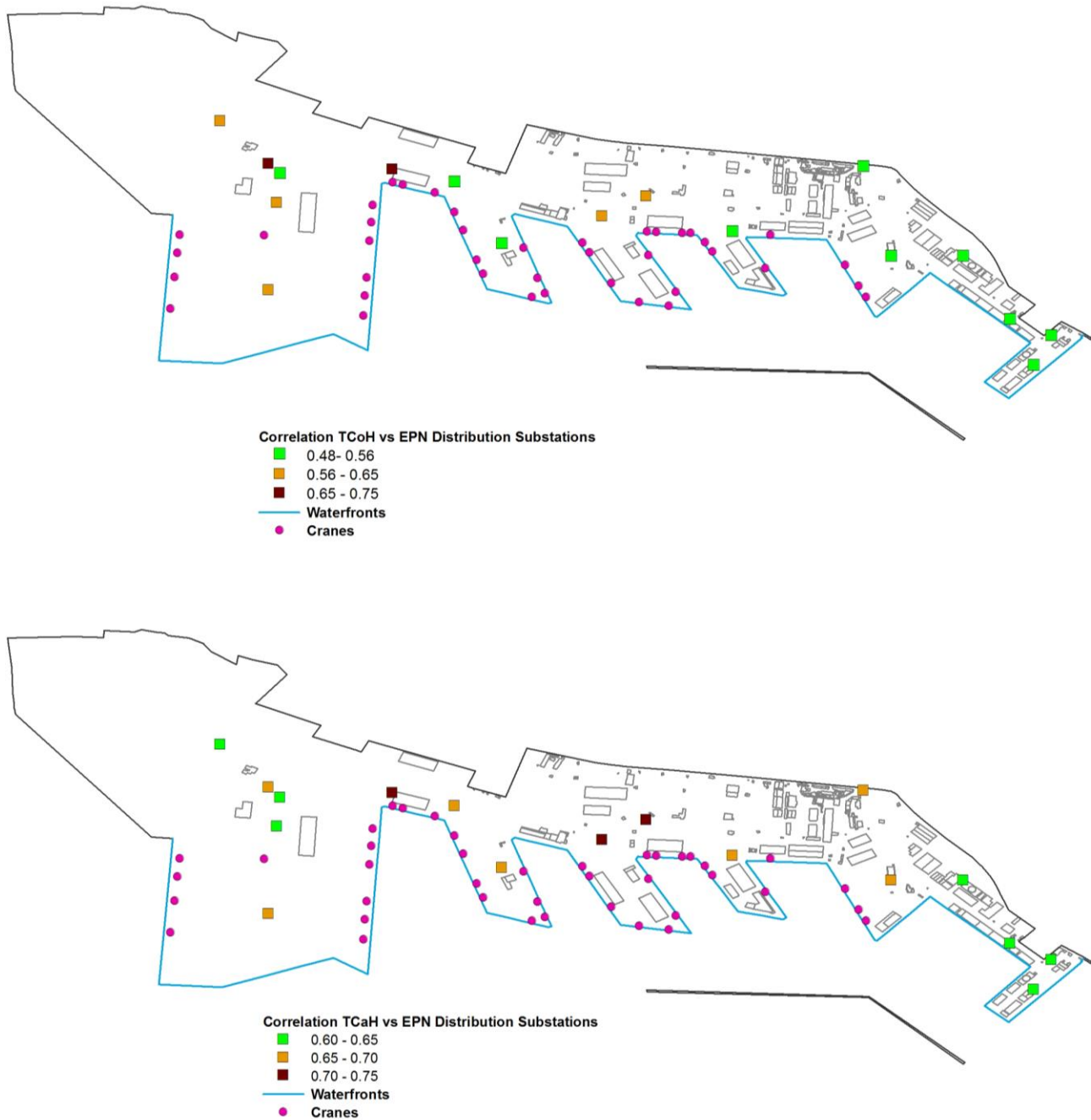
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

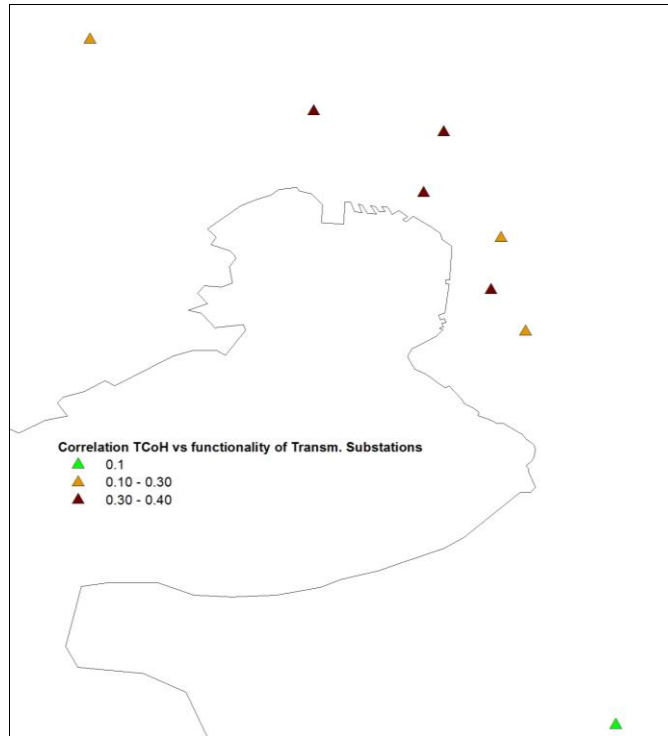
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



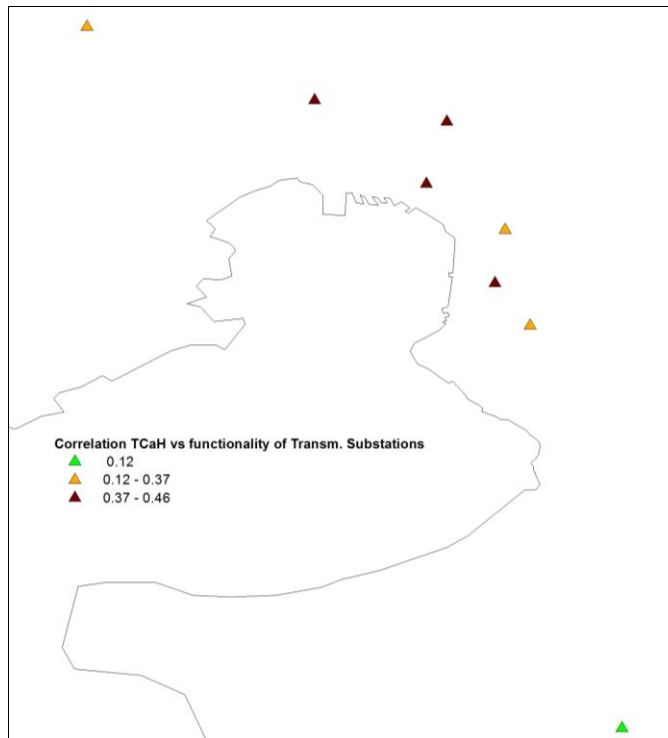
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Σχήμα 10 Βαθμός συσχέτισης λειτουργικότητας υποσταθμών διανομής με την απόδοση του λιμένα σε όρους TCoH και TCaH.



α)



β)

Σχήμα 11 Βαθμός συσχέτισης λειτουργικότητας υποσταθμών μεταφοράς με την απόδοση του λιμένα σε όρους TCoH και TCaH.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



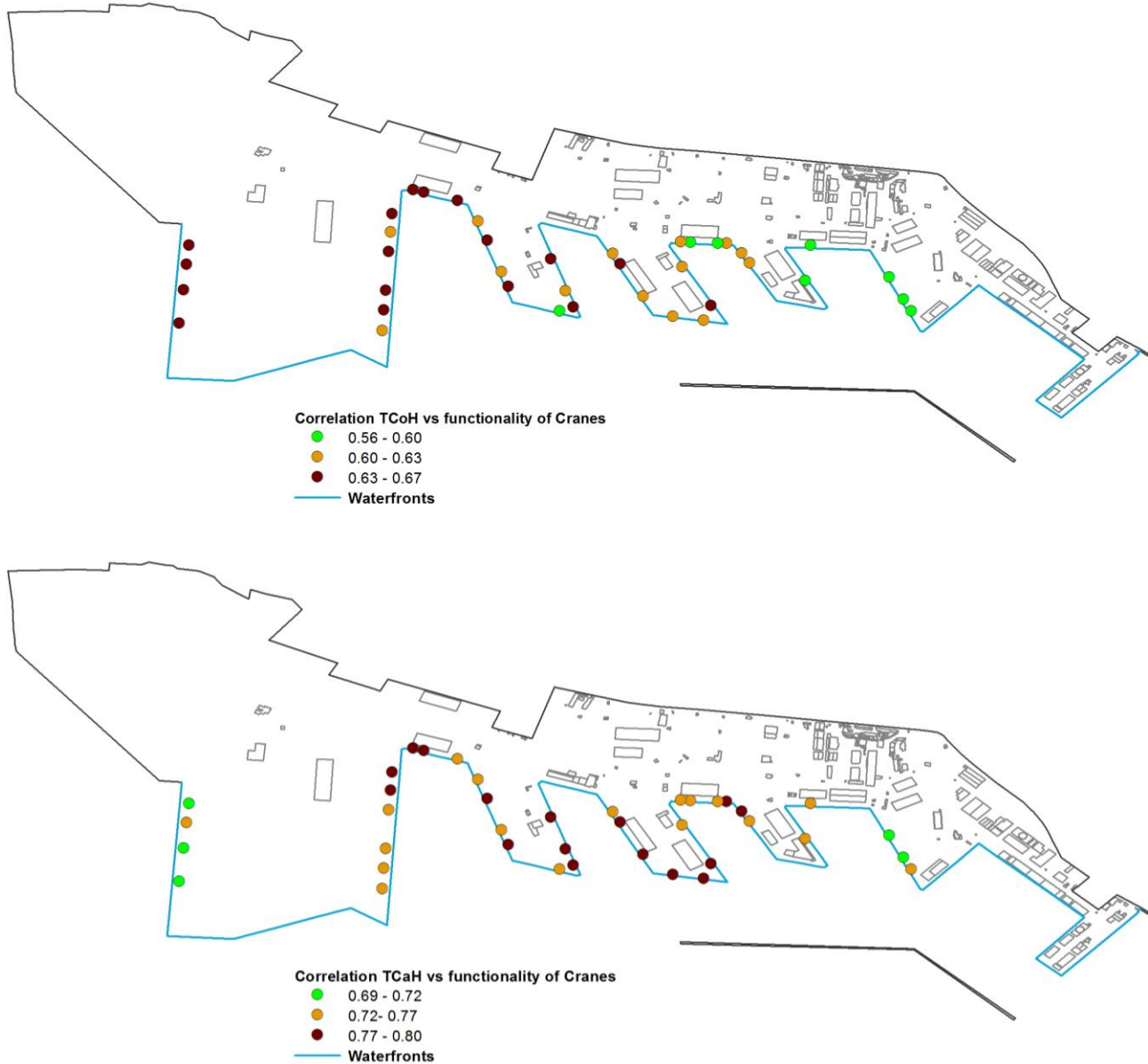
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

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



Σχήμα 12 Βαθμός συσχέτισης λειτουργικότητας γερανών με την απόδοση του λιμένα σε όρους TCoH και TCaH.



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

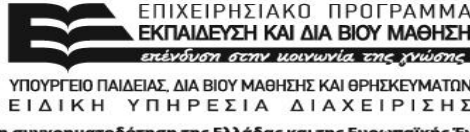
6 Συμπεράσματα

Η σεισμική διακινδύνευση ενός λιμένα εξαρτάται από την σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής, συμπεριλαμβανομένων και των τοπικών εδαφικών συνθηκών, την τρωτότητα των επιμέρους υποδομών, καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ δικτύων και υποδομών εντός και εκτός λιμένα. Στο παρόν παραδοτέο έγινε εφαρμογή στο λιμάνι Θεσσαλονίκης της μεθοδολογίας που περιγράφεται στο Παραδοτέο 8.1 για την ανάλυση της σεισμικής διακινδύνευσης σε επίπεδο συστήματος. Κατά την εφαρμογή έγινε χρήση των καμπυλών τρωτότητας που αναπτύχθηκαν μέσω αριθμητικών αναλύσεων στο Παραδοτέο 8.2, για αντιπροσωπευτική τυπολογία κρηπιδότοιχου και γερανού του λιμένα Θεσσαλονίκης που υπόκεινται σε εδαφική ταλάντωση, λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές εδαφικές συνθήκες. Στην ανάλυση του συστήματος συμπεριλήφθηκαν εκτός από τους κρηπιδότοιχους και τους γεραμούς που αποτελούν τις βασικές συνιστώσες του λιμένα, οι υποσταθμοί μεταφοράς ηλ. ενέργειας στο πολεοδομικό συγκρότημα, καθώς και οι υποσταθμοί διανομής ηλ. ενέργειας εντός του λιμένα, προκειμένου να εξετασθεί η διακινδύνευση του λιμένα λόγω διακοπής παροχής ηλ. ενέργειας στους γεραμούς. Η ανάλυση γίνεται μέσω μιας πιθανοτικής προσέγγισης λαμβάνοντας υπόψη τη σεισμικότητα της περιοχής και την επιδεκτικότητα του εδάφους σε ρευστοποίηση στις θέσεις μελέτης. Η απόκριση του συστήματος μετριέται μέσω συγκεκριμένων δεικτών λειτουργικότητας που περιγράφουν την μείωση της απόδοσης του λιμένα στην διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων και χύδην φορτίων λόγω σεισμικών βλαβών σε κρηπιδότοιχους, γεραμούς και υποσταθμούς ηλ. ενέργειας.

Μεταξύ των αποτελεσμάτων δίνονται οι καμπύλες διακινδύνευσης του λιμένα που περιγράφουν τη μέση ετήσια συχνότητα υπέρβασης σε όρους απώλειας της λειτουργικότητας, καθώς και ο βαθμός συσχέτισης των επιμέρους συνιστωσών με την απώλεια λειτουργικότητας του συστήματος. Τόσο η ρευστοποίηση του εδάφους όσο και η εδαφική ταλάντωση προκαλούν βλάβες στους κρηπιδότοιχους και γεραμούς που εδράζονται σε αυτούς. Επίσης η αλληλεπίδραση με το δίκτυο παροχής ηλ. ενέργειας είναι σημαντική για τη λειτουργία του λιμένα, καθώς σεισμικές βλάβες σε υποσταθμούς, κυρίως διανομής, προκαλούν διακοπή της παροχής ενέργειας σε γεραμούς. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατό να προσδιορισθούν οι πλέον κρίσιμες συνιστώσες για τη λειτουργία του λιμένα υπό σεισμικές συνθήκες, και να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα προσεισμικής ενίσχυσης, καθώς και ετοιμότητας για επέμβαση και αποκατάσταση μετά από ένα σεισμό (βλ. Παραδοτέο 9.3). Η ανάλυση του συστήματος μπορεί να επεκταθεί, λαμβάνοντας υπόψη επιπλέον συνιστώσες του λιμένα (π.χ. κτίρια, δεξαμενές, υποδομές οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου κτλ). Επίσης, μέσω πιο σύνθετων αναλύσεων ροής φορτίων του δικτύου ηλ. ενέργειας, καθώς στην παρούσα εφαρμογή η λειτουργικότητα καθορίζεται από ανάλυση συνδετικότητας μεταξύ των υποσταθμών και των σημείων ζήτησης (γερανών).



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

Βιβλιογραφία

- Akkar, S., and J.J. Bommer (2010). "Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region and the Middle East". *Seismological Research Letters*, Vol. 81, No. 2, pp. 195 – 206.
- Anastasiadis, A., D. Raptakis and K. Pitilakis (2001). "Thessaloniki's Detailed Microzoning: Subsurface Structure as basis for Site Response Analysis", *Pure and Applied Geophysics – PAGEOPH*, Vol. 158, No. 12, pp. 2597-2633.
- Apostolidis, P., D.Raptakis, Z. Roumelioti and K. Pitilakis (2004). "Determination of S-wave velocity structure using microtremor and SPAC method applied in Thessaloniki (Greece)", *Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 24, pp. 49-67.
- Arvidsson, R., G. Grünthal and the SHARE Working Group on the Seismic Source Zone Model, (2010). "Deliverable 3.1 of SHARE project - Compilation of existing regional and national seismic source zones".
- CEN (European Committee for Standardization) (2004). "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings". EN 1998-1:2004. Brussels, Belgium.
- Elgamal, A., Z. Yang, E. Parra and A. Ragheb (2001). "CYCLIC 1D". UCSD.
- Giardini D, Woessner J, Danciu L, Crowley H, Cotton F, Grünthal G, Pinho R, Valensise G, Akkar S, Arvidsson R, Basili R, Cameelbeeck T, Campos-Costa A, Douglas J, Demircioglu MB, Erdik M, Fonseca J, Glavatovic B, Lindholm C, Makropoulos K, Meletti C, Musson R, Pitilakis K, Sesetyan K, Stromeyer D, Stucchi M, Rovida A (2013) Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE). Online Data Resource, doi: 10.12686/SED-00000001-SHARE.
- Ishihara, K. and M. Yoshimine (1992). "Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes". *Soils and Foundations*, Vol. 32, No. 1, pp. 173-188.
- Jayaram, N. and J. Baker (2009). "Correlation model of spatially distributed ground motion intensities". *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 38, pp. 1687 – 1708.
- National Institute of Building Sciences (NIBS) (2004). "Earthquake loss estimation methodology", HAZUS Technical manuals, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Papazachos, B.C. and C. Papazachou (1997). "The Earthquakes of Greece", Ziti Publications, Thessaloniki.
- Pitilakis, K., A. Anastasiadis and D. Raptakis (1992). "Field and Laboratory Determination of Dynamic Properties of Natural Soil Deposit". In 10th World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 5, pp. 1275-1280.
- Pitilakis, K. and A. Anastasiadis (1998). "Soil and site characterization for seismic response analysis". In XI ECEE, Paris 6-11 Sept. 1998, Inv. Lecture, 65-90.
- Pitilakis, K., E. Riga and A. Anastasiadis (2012). "Design spectra and amplification factors for Eurocode 8". *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 10, pp. 1377-1400. doi: 10.1007/s10518-012-9367-6.



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

- 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.
- Raptakis, D.G., A.J. Anastasiadis, K.D. Pitilakis and K.S. Lontzetidis (1994a). "Shear wave velocities and damping of Greek natural soils". In 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, Austria, Vol. 1, pp. 477-482.
- Raptakis, D.G., E. Karaolani, K. Pitilakis and N. Theodulidis (1994b). "Horizontal to vertical spectral ratio and site effects: The case of a down-hole array in Thessaloniki (Greece)". In XXIV General Assembly, ESC, Athens, Vol. III, pp. 1570-1578.
- Seed, R.B., K.O. Cetin, R.E.S. Moss, A.M. Kammerer, J. Wu and J.M. Pestana (2003). "Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering: A Unified and Consistent Frame work". In 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar, Keynote Presentation, H.M.S. Queen Mary, Long Beach, California.
- Youd, T.L. and D.M. Perkins (1978). "Mapping of Liquefaction Induced Ground Failure Potential". Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 104, No. 4, pp. 433-446.
- Youd, T.L., I.M. Idriss, R.D. Andrus, I. Arango, G. Castro, J.T. Christian, R. Dobry, W.D. Liam Finn, L.F. Harder Jr., M.E. Hynes, K. Ishihara, J.P. Koester, S.S.C. Liao, W.F. Marcuson, G.R. Martin, J.K. Mitchell, Y. Moriwaki, M.S. Power, P.K. Robertson, R.B. Seed and K.H. Stokoe (2001). "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, No. 10, pp. 817-833.
- Αναστασιάδης, Α. (1994). "Δυναμικά χαρακτηριστικά τυπικών ελληνικών εδαφών", Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ.
- Ραπτάκης Δ. (1995), "Συμβολή στον προσδιορισμό της γεωμετρίας και των δυναμικών ιδιοτήτων των εδαφικών σχηματισμών και στη σεισμική απόκρισή τους". Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ.
- 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).



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 9:

Πρόταση Σχεδίου Αντιμετώπισης φυσικής καταστροφής
σε λιμενικό σύστημα

Παραδοτέο 9.3:

Σχέδιο Εκτακτης Ανάγκης

Τεχνική Εκθεση

Σύνταξη:

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

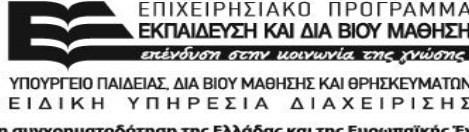
Σεπτέμβριος, 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή	1
2	Γενική περιγραφή – δομή σχεδίου έκτακτης ανάγκης	2
3	Σπουδαιότητα συνιστωσών σε διαφορετικές περιόδους λειτουργίας	7
4	Προτεραιότητες αποκατάστασης βλαβών στο λιμενικό σύστημα	9
5	Καμπύλες αποκατάστασης συνιστωσών	12
6	Πιλοτική εφαρμογή στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης.....	16
7	Συμπεράσματα	42
	Βιβλιογραφία	43



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

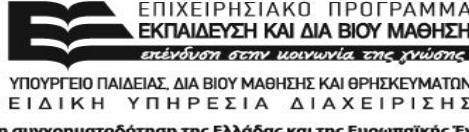
Η διαχείριση κρίσεων είναι καθοριστικής σημασίας για σημαντικές υποδομές όπως τα λιμάνια, και περιλαμβάνει την κατανόηση και αποτίμηση των κινδύνων, τον στρατηγικό σχεδιασμό, τις επεμβάσεις πριν και μετά την κρίση και την αποτελεσματική αντιμετώπιση των επιπτώσεων της. Η ορθολογική διαχείριση του σεισμικού κινδύνου συνίσταται στην κατάρτιση ενός επιχειρησιακού σχεδίου για κάθε φάση λειτουργίας μιας υποδομής που βασίζεται σε μια συστηματική και πολυεπίπεδη προσέγγιση. Μολονότι ο στόχος των σχεδίων έκτακτης ανάγκης που υπάρχουν ανά τον κόσμο είναι κοινός, η υλοποίηση τους διαφέρει. Ο περιορισμός της έκτασης της καταστροφής, η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων που προκαλούνται στον άνθρωπο, στο περιβάλλον και στα αγαθά είναι κοινοί στόχοι, ωστόσο ο σχεδιασμός και η εφαρμογή των αναγκαίων μέτρων προστασίας των στοιχείων που εκτίθενται σε κίνδυνο διαφοροποιούνται ανάλογα με την προσέγγιση που ακολουθείται, ενώ εξαρτάται από τις δομές, την οργάνωση και τα χαρακτηριστικά της κάθε υποδομής.

Ένα σύγχρονο και ολοκληρωμένο σχέδιο διαχείρισης εκτάκτων αναγκών αξιοποιεί την αποκτηθείσα εμπειρία άλλων χωρών και συστημάτων, εντοπίζει τις αδυναμίες εφαρμογής του και τις ιδιαίτερες συνθήκες της χώρας στην οποία εφαρμόζεται και τελικά προτείνει σύγχρονες μεθόδους διαχείρισης για την περίοδο κρίσης και αποκατάστασης. Η χρήση νέων τεχνολογιών (καταγραφές σε πραγματικό χρόνο, τεχνολογία GIS, δίκτυα παρακολούθησης, κ.τ.λ), σε συνδυασμό με την επιτελική οργάνωση των φορέων, συμβάλλει σε ένα ολοκληρωμένο και βέλτιστο σχεδιασμό των άμεσων δράσεων μετά το σεισμό, με αποτέλεσμα τη μείωση των κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων σε αποδεκτά επίπεδα.

Οι απαραίτητες δέσμες μέτρων περιλαμβάνουν ολοκληρωμένες μελέτες αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης στις οποίες στηρίζονται οι επεμβάσεις μετά από ένα καταστροφικό σεισμό. Για τη λήψη αποφάσεων επέμβασης λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες των επιμέρους εκτιθέμενων σε σεισμικό κίνδυνο στοιχείων και του περιβάλλοντός τους, συνεκτιμάται ο ρόλος και η σπουδαιότητα του κάθε στοιχείου, σε συνδυασμό με την τρωτότητα τους, καθώς και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστημάτων και του αστικού ιστού.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



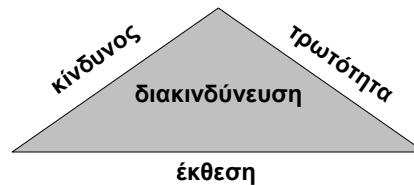
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

2 Γενική περιγραφή – δομή σχεδίου έκτακτης ανάγκης

Οι φυσικές καταστροφές, μεταξύ των οποίων και η εκδήλωση ισχυρών σεισμών, έχουν ως αποτέλεσμα την πρόκληση ανθρώπινων, οικονομικών και περιβαλλοντικών απωλειών με αντίκτυπο στην κοινωνία και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η διακινδύνευση (risk) εξαρτάται από τρεις συνιστώσες, όπως απεικονίζεται και στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 1): την επικινδυνότητα (hazard), την έκθεση (exposure) και την τρωτότητα (vulnerability). Η σεισμική διακινδύνευση αναφέρεται στις αναμενόμενες απώλειες ενός δεδομένου στοιχείου εκτιθέμενου σε σεισμικό κίνδυνο εντός μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (UNDR0, 1979).



Σχήμα 1. Το τρίγωνο της διακινδύνευσης (Crichton, 1999).

Οι απώλειες μπορούν να διακριθούν σε άμεσες και έμμεσες. Οι πρώτες αφορούν τις άμεσες φυσικές βλάβες των στοιχείων ενός συστήματος, ενώ οι έμμεσες σχετίζονται με την απώλεια λειτουργικότητας του συστήματος λόγω βλάβης των συνιστωσών του. Παρά το γεγονός ότι οι έμμεσες απώλειες συχνά συνεισφέρουν σε μεγαλύτερο βαθμό στις συνολικές απώλειες, η αποτίμησή τους γίνεται συνήθως με προσεγγιστικές μεθόδους. Μια πιο ακριβής εκτίμηση των επιπτώσεων λόγω της απώλειας λειτουργικότητας απαιτεί τη μελέτη της απόκρισης του συστήματος συνολικά, αλλά και των αλληλεπιδράσεων με άλλα συστήματα και υποδομές. Η πλειοψηφία των διαθέσιμων μελετών υπολογίζει τις άμεσες οικονομικές απώλειες των υπό διακινδύνευση στοιχείων, παρέχοντας μια προκαταρκτική εκτίμηση των συνολικών απωλειών. Προκειμένου να αποτιμηθούν οι έμμεσες απώλειες, που σχετίζονται για παράδειγμα με τη διακοπή επιχειρηματικών δραστηριοτήτων, τη μείωση της παραγωγικότητας λόγω αυξημένων χρόνων διακίνησης στα μεταφορικά δίκτυα που έχουν υποστεί βλάβες, τη διακοπή των λιμενικών δραστηριοτήτων, κτλ, απαιτείται μια πιο σύνθετη ανάλυση, όπου οι (οικονομικές) δραστηριότητες της κοινωνίας και των υποδομών που την υποστηρίζουν θα προσομοιώνονται ως ένα σύστημα αλληλεπιδρώντων στοιχείων.

Το εκτιθέμενο σε κίνδυνο στοιχείο μπορεί να είναι ένα κτίριο ή ένα σύνολο κτιρίων, μια συνιστώσα ενός δικτύου ή ολόκληρο το δίκτυο, καθώς επίσης και ο πληθυσμός μιας



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



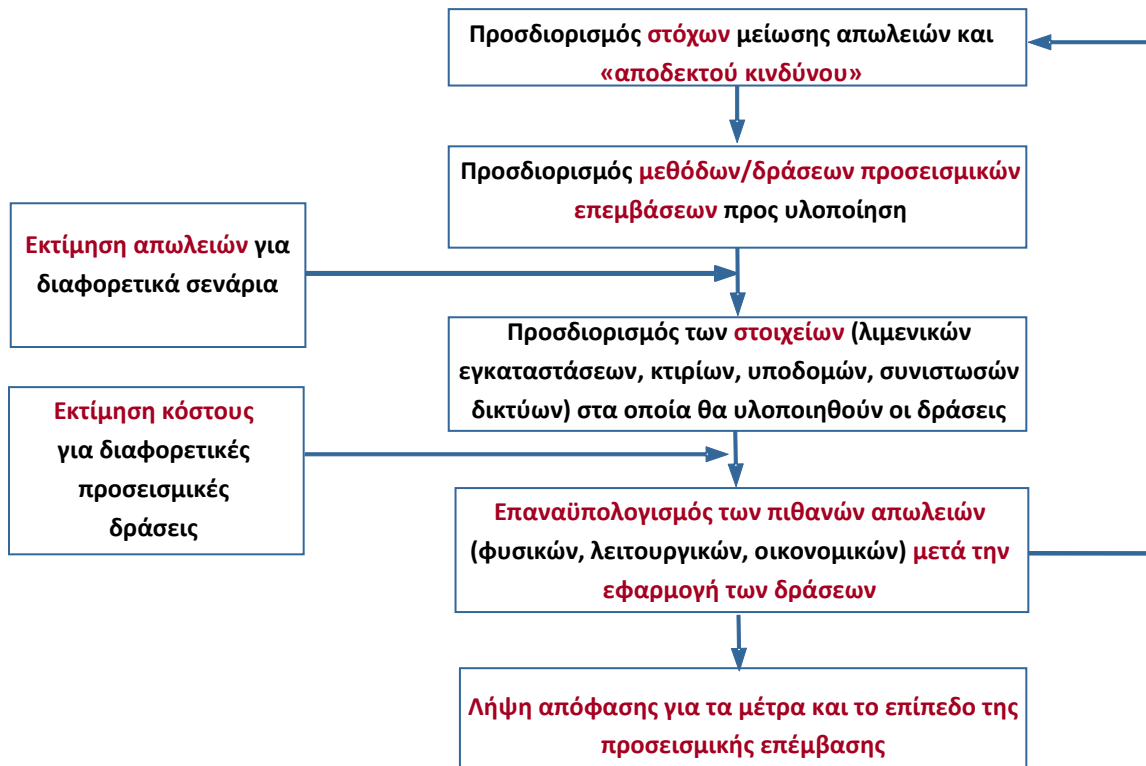
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

συγκεκριμένης περιοχής ή οι οικονομικές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή. Μια λιμενική εγκατάσταση για παράδειγμα συνδυάζει σε περιορισμένη έκταση το σύνολο των προαναφερόμενων στοιχείων/συνιστωσών που μπορεί να εκτεθούν σε διάφορα επίπεδα σεισμικής έντασης.

Η μείωση της σεισμικής διακινδύνευσης αποτελεί επιτακτική ανάγκη, ωστόσο η απόφαση για το επίπεδο επένδυσης και την υλοποίηση αυτού του στόχου εξαρτάται κυρίως από τον τρόπο που ο κάθε φορέας (στη συγκεκριμένη περίπτωση ο λιμενικός οργανισμός) ή το κράτος ορίζει το αποδεκτό επίπεδο διακινδύνευσης. Αν και κανένα επίπεδο διακινδύνευσης δεν είναι εξαρχής αποδεκτό, μπορεί να θεωρηθεί ως τέτοιο όταν συνυπάρχουν οφέλη, καθώς η ασφάλεια έναντι σεισμού δεν απαιτεί την πλήρη εξάλειψη της διακινδύνευσης, αλλά την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ κόστους, διακινδύνευσης και οφελών. Η πολιτική μείωσης του σεισμικού κινδύνου εξαρτάται από την οργάνωση, το διαθέσιμο υλικοτεχνικό και ανθρώπινο δυναμικό και κυρίως τους διαθέσιμους οικονομικούς πόρους.

Η εκτίμηση της τρωτότητας και της σεισμικής επικινδυνότητας με χρήση κατάλληλων μεθόδων είναι υψίστης σημασίας για την αποτίμηση και εν συνεχεία τη μείωση της διακινδύνευσης στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης. Η μείωση της διακινδύνευσης θα επιτευχθεί μέσω της λήψης κατάλληλων μέτρων για την προσεισμική ενίσχυση του δομημένου περιβάλλοντος (κτιρίων, δικτύων κοινής ωφέλειας και υποδομών), αλλά και την αποτελεσματικότερη οργάνωση για την ουσιαστική διαχείριση της κρίσης (εκτέλεση ασκήσεων ετοιμότητας, κατάλληλη εκπαίδευση, τροποποίηση αντισεισμικών κανονισμών) και την αποκατάσταση των βλαβών μετά το σεισμό.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται ένα γενικότερο πλαίσιο της μεθοδολογίας επιλογής των μέτρων προσεισμικής επέμβασης για την ενίσχυση των εκτιθέμενων σε κίνδυνο στοιχείων (λιμενικές εγκαταστάσεις, κτίρια, υποδομές, δίκτυα). Αρχικά οριοθετούνται οι στόχοι των δράσεων για τη μείωση της σεισμικής διακινδύνευσης, καθώς και το αποδεκτό επίπεδο της τελευταίας, που εξαρτώνται από τη φύση και σπουδαιότητα των εκτιθέμενων σε κίνδυνο στοιχείων, αλλά και από οικονομικά και άλλα κριτήρια. Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι μέθοδοι των προσεισμικών επεμβάσεων, τόσο από τεχνικής όσο και από οικονομικής πλευράς. Για παράδειγμα στην περίπτωση των κρηπιδωμάτων, μια μέθοδος επέμβασης περιλαμβάνει την έγχυση ύφαλου σκυροδέματος και τη δημιουργία «ποδός» μπροστά από το κρηπίδωμα, ενώ μια άλλη μέθοδος περιλαμβάνει εκτός της παραπάνω προσθήκης και την ενίσχυση ολόκληρης της θεμελίωσης του κρηπιδώματος. Ωστόσο, το κόστος και οι απαιτούμενες προϋποθέσεις (υλικοτεχνικές κτλ) διαφοροποιούνται σε κάθε περίπτωση.



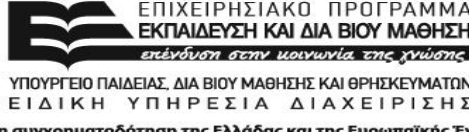
Σχήμα 2. Διαδικασία αξιολόγησης και επιλογής προσεισμικών μέτρων επέμβασης για τη μείωση των απωλειών

Σημαντικό στάδιο της όλης διαδικασίας αποτελεί ο προσδιορισμός των εκτιθέμενων στοιχείων για τα οποία θα υλοποιηθούν οι επεμβάσεις. Τα στοιχεία αυτά είναι όχι μόνο τα περισσότερο τρωτά έναντι σεισμού, δηλαδή αυτά που παρουσιάζουν υψηλή επιδεκτικότητα σε βλάβες σύμφωνα με τα αποτελέσματα αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης της υφιστάμενης (χωρίς ενίσχυση) κατάσταση, αλλά και όσα επιπλέον χαρακτηρίζονται ως πρωταρχικής σπουδαιότητας με βάση λειτουργικά και άλλα κριτήρια (βλ. Κεφάλαιο 3). Θα πρέπει επομένως να προηγηθεί μια συνδυασμένη θεώρηση των κριτηρίων τρωτότητας και σπουδαιότητας προκειμένου να ιεραρχηθούν οι προτεραιότητες επέμβασης (βλ. Κεφάλαιο 4).

Ακολούθως, γίνεται επαναυπολογισμός των αναμενόμενων απωλειών, δηλαδή των άμεσων και έμμεσων απωλειών που αναμένεται να προκύψουν ύστερα από την εφαρμογή των μέτρων προσεισμικής επέμβασης. Στο σημείο αυτό τονίζεται η αναγκαιότητα για ανάπτυξη μοντέλων αποτίμησης τρωτότητας (π.χ. καμπυλών τρωτότητας) για τις ενισχυμένες συνιστώσες και κατασκευές (βλ. ΠΕ 8).



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

Παράλληλα θα πρέπει να γίνεται εκτίμηση και του κόστους επέμβασης για τις εναλλακτικές σε έκταση και μορφή δράσεις, ώστε να υπολογισθεί το συνολικό κόστος (επέμβασης και απωλειών). Η συγκριτική αποτίμηση αυτού του κόστους και του κόστους απωλειών πριν την επέμβαση αποτελεί ένα πρώτο κριτήριο λήψης αποφάσεων. Επιπλέον η όλη διαδικασία οφείλει να εκτελεσθεί για διαφορετικά σεισμικά σενάρια, ώστε να αναδειχθούν οι διαφοροποιήσεις και τα σχετικά οφέλη. Στην τελική απόφαση συμβάλλουν και άλλα κριτήρια, όπως το μακροπρόθεσμο κόστος από την απαξίωση και μη χρήση υποδομών σε περίπτωση που υποστούν βλάβες ή από τις δευτερογενώς προκαλούμενες απώλειες λόγω μη λειτουργικότητας κάποιων υποδομών. Ως παράδειγμα αναφέρεται το λιμάνι του Kobe το οποίο υπέστη σοβαρές βλάβες κατά τον σεισμό του 1995 και παρά τη σχετικά γρήγορη επαναφορά σε λειτουργία οι απώλειες συνεχίστηκαν για πολλά χρόνια μετά, καθώς κάποιες πλοιοκλήτριες εταιρείες κατέφυγαν σε κοντινά λιμάνια για την εξυπηρέτηση των εμπορικών δραστηριοτήτων τους και παρέμειναν σε αυτά (Chang, 2000).

Η ιεράρχηση της σπουδαιότητας των εκτιθέμενων σε κίνδυνο στοιχείων σε πρωταρχική, σημαντική και δευτερεύουσα σε διαφορετικές περιόδους λειτουργίας (κανονική, κρίση, αποκατάσταση) σε συνδυασμό με τη στάθμη των αναμενόμενων βλαβών παρέχει μια αντίστοιχη ταξινόμηση των προτεραιοτήτων επέμβασης και επομένως διαχείρισης της σεισμικής διακινδύνευσης. Έτσι, για την περίπτωση των λιμενικών εγκαταστάσεων η παραπάνω ιεράρχηση σε κανονική περίοδο, πραγματοποιείται με βάση τη σπουδαιότητα των λειτουργιών, την οικονομική ή/και κοινωνική σημασία ή την καθημερινή απαίτηση για παροχή υπηρεσιών. Αντίστοιχα, η ταξινόμηση της σπουδαιότητας για την περίοδο της κρίσης υποστηρίζει την οργάνωση αποτελεσματικών δράσεων, τόσο πριν το σεισμό με την ενίσχυση των πλέον κρίσιμων συνιστωσών, όσο και μετά το σεισμό με την ιεράρχηση των εργασιών αποκατάστασης.

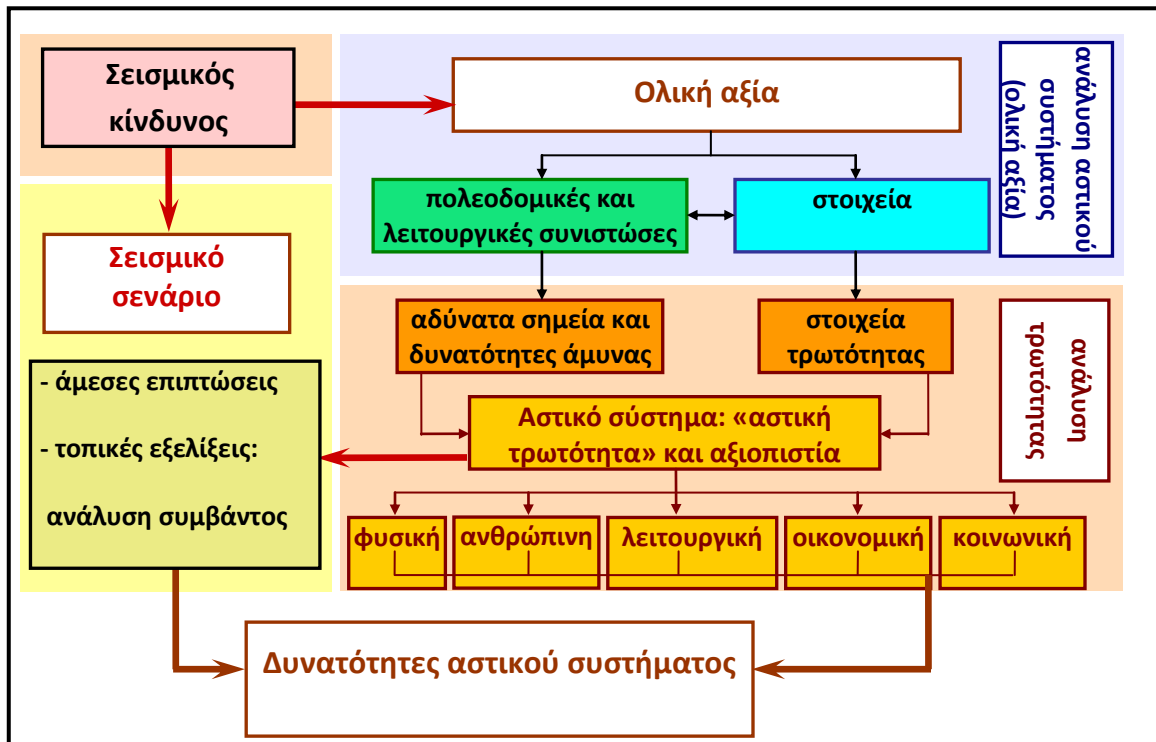
Γενικά ο σεισμικός κίνδυνος μεταφράζεται σε οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις, τις οποίες ο φορέας διαχείρισης θα πρέπει να γνωρίζει ώστε να λάβει κατάλληλα προσεισμικά και μετασεισμικά μέτρα. Ο βασικός στόχος της στρατηγικής διαχείρισης του σεισμικού κινδύνου, ειδικότερα για τα δίκτυα κοινής ωφέλειας και τις υποδομές όπως αποτελεί ένας λιμένας, είναι η διατήρηση της ασφάλειας, η μείωση των άμεσων απωλειών, και η αποφυγή κοινωνικών και οικονομικών διαταραχών. Οι αποφάσεις λήψης μέτρων στηρίζονται στην επιλογή του αποδεκτού επιπέδου διακινδύνευσης για το κάθε σεισμικό σενάριο. Η επιλογή του δυσμενέστερου σεναρίου για όλα τα στοιχεία που εκτίθενται σε κίνδυνο είναι η πιο δαπανηρή και συνήθως το κόστος δεν μπορεί να καλυφθεί. Αντίθετα, θα πρέπει να βασίζεται στη



θεώρηση διαφόρων σεναρίων μέσω μια πιθανοτικής προσέγγισης που συνδυάζει λεπτομερείς αναλύσεις σεισμικής επικινδυνότητας και εδαφικής απόκρισης, καθώς και αναλύσεις της συμπεριφοράς του δικτύου ή υποδομής συνολικά, λαμβάνοντας υπόψη τις αβεβαιότητες που υπεισέρχονται στα επιμέρους στάδια ανάλυσης. Σε κάθε περίπτωση η οργάνωση στρατηγικών διαχείρισης του κινδύνου επηρεάζεται κυρίως από πολιτικά και οικονομικά κριτήρια (π.χ. διαθέσιμα κονδύλια, μακροπρόθεσμα οφέλη κτλ).

3 Σπουδαιότητα συνιστώσων σε διαφορετικές περιόδους λειτουργίας

Η ανάλυση της σεισμικής τρωτότητας των υπό διακινδύνευση στοιχείων προσδιορίζει τις πιο ευάλωτες συνιστώσες ενός αστικού συγκροτήματος ή μιας κρίσιμης υποδομής (Σχήμα 3). Η ανάλυση της σεισμικής διακινδύνευσης προχωράει σε μία διεξοδικότερη ταξινόμηση της «αστικής τρωτότητας» και των στοιχείων ανάλυσής της. Παράλληλα, συνυπολογίζονται οικονομικά, κοινωνικά και λειτουργικά κριτήρια που περιγράφουν τα εκτιθέμενα σε σεισμικό κίνδυνο στοιχεία. Με τον τρόπο αυτό, η διαχείριση της σεισμικής διακινδύνευσης βασίζεται σε μια πολυεπίπεδη προσέγγιση για τη θωράκιση των αστικών συγκροτημάτων και υποδομών.

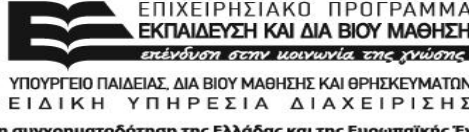


Σχήμα 3. Ανάλυση σεισμικής διακινδύνευσης μέσω του συστήματος ολικής αξίας

Στόχος της ανάλυσης ολικής αξίας αποτελεί ο καθορισμός των κύριων στοιχείων κάθε δικτύου μέσω της βαθμολόγησης της σπουδαιότητας των εκτιθέμενων σε κίνδυνο στοιχείων. Η ολική αξία εξαρτάται όχι μόνο από τη συγκεκριμένη οικονομική αξία ή το περιεχόμενό τους (φυσικό και έμφυχο), αλλά επίσης και από τη χρησιμότητα και το σχετικό ρόλο τους σε όλο το αστικό δίκτυο (δηλαδή την έμμεση-άυλη αξία σχετική με τη λειτουργία του αστικού συστήματος). Διαφοροποιείται ανάλογα με τη χρονική περίοδο που προηγείται ή έπεται ενός ισχυρού σεισμού, και διακρίνεται σε περίοδο κανονική, κρίσης και αποκατάστασης. Οι κύριες



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

συνιστώσες του αστικού συστήματος, που λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση, είναι ο πληθυσμός, το φυσικό και δομημένο περιβάλλον, οι αστικές δραστηριότητες και υπηρεσίες (οικονομικές, βιομηχανικές, τουριστικές, κοινωνικές, πολιτιστικές κτλ), οι κρατικές και διοικητικές δραστηριότητες, καθώς και η ταυτότητα, οι εξωτερικές σχέσεις και ακτινοβολία της πόλης. Με τον ορισμό κατάλληλων ποιοτικών και ποσοτικών δεικτών για κάθε περίοδο είναι δυνατό να προσδιορισθούν οι πρωταρχικές, σημαντικές και δευτερεύουσες σημασίας συνιστώσες, καθώς και τα «αδύναμα» στοιχεία κάθε συστήματος. Η κατανομή με τον τρόπο αυτό της ολικής αξίας των στοιχείων στις τρεις διαφορετικές περιόδους αποτελεί τη βάση για την ποσοτικοποίηση της συνολικής σπουδαιότητας διαφορετικών σύνθετων και αλληλεπιδρώντων συστημάτων, αλλά και για τον καθορισμό των προτεραιοτήτων για προσεισμικές επεμβάσεις, στρατηγικών μείωσης της σεισμικής διακινδύνευσης και ενεργειών αντιμετώπισης της κρίσης και αποκατάστασης των βλαβών. Η προτεινόμενη μεθοδολογία βασίζεται εν μέρει στα αποτελέσματα του ερευνητικού προγράμματος SRM-LIFE (2003-2007), ενώ πιλοτικές εφαρμογές για το λιμένα Θεσσαλονίκης έχουν παρουσιασθεί από τους Κακδέρη 2011, Κακδέρη και συν. 2008, Kakderi and Pitilakis 2011, Pitilakis et al. 2007, Pitilakis et al. 2010 και Pitilakis and Kakderi 2011a,b.

Τα επιμέρους βήματα της ανάλυσης ολικής αξίας, για τη γενικότερη περίπτωση ενός πολεοδομικού συγκροτήματος ή μιας κρίσιμης υποδομής, περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

Διαχωρισμός των στοιχείων τρωτότητας. Προσδιορίζονται τα στοιχεία τρωτότητας του αστικού δικτύου, δηλαδή τα στοιχεία που είναι ευάλωτα έναντι των επιπτώσεων ενός σεισμού, αλλά ταυτόχρονα είναι σημαντικά για την οργάνωση της πόλης ή κρίσιμης υποδομής και των δραστηριοτήτων της. Διακρίνονται σε περιοχές και ομάδες στοιχείων, σε γραμμικά και σημειακά στοιχεία.

Ορισμός δεικτών αξιολόγησης του κάθε στοιχείου τρωτότητας. Η ανάλυση των εκτιθέμενων σε κίνδυνο στοιχείων βασίζεται στην αξιολόγηση των συνιστωσών του αστικού συστήματος ή κρίσιμης υποδομής, των οποίων η συμμετοχή διαφοροποιείται ανάλογα με την περίοδο λειτουργίας (π.χ. πληθυσμός, υπηρεσίες, δραστηριότητες). Κάθε συνιστώσα χαρακτηρίζεται από ένα δείκτη. Εκτός από πολεοδομικές παραμέτρους, στην ανάλυση υπεισέρχονται και παράμετροι που σχετίζονται με τις συνθήκες λειτουργίας, την εξυπηρετικότητα, τη ζώνη ή σημεία εξυπηρέτησης κ.τ.λ.

Προσδιορισμός μονάδων μέτρησης για κάθε δείκτη αξιολόγησης. Για την αποτίμηση του κάθε δείκτη ορίζεται μια μονάδα μέτρησης, βάσει ποσοτικών ή ποιοτικών κριτηρίων. Τα κριτήρια



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

αυτά εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης συνιστώσας, αλλά και από τα διαθέσιμα δεδομένα.

Βαθμονόμηση και σχετική αξία των δεικτών αξιολόγησης. Η εκτίμηση της βαρύτητας των δεικτών αξιολόγησης γίνεται μέσω της σχετικής αξίας ή του βαθμού σχετικής σπουδαιότητας. Η βαθμονόμηση γίνεται είτε ποιοτικά είτε ποσοτικά, χρησιμοποιώντας συνήθως διαφορετικές στάθμες σπουδαιότητας που περιγράφονται με τιμές από 0 έως 1.

Προσδιορισμός της ολικής αξίας και ιεράρχηση της σπουδαιότητας των στοιχείων τρωτότητας. Η συνολική αξία του κάθε στοιχείου τρωτότητας προσδιορίζεται με συνεκτίμηση (άθροιση) όλων των σχετικών αξιών που αντιστοιχούν στους δείκτες που προτείνονται ανά περίοδο λειτουργίας. Στην παρούσα μεθοδολογία θεωρείται ότι οι προτεινόμενοι δείκτες έχουν την ίδια σημασία. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η ιεράρχηση της σπουδαιότητας των στοιχείων με βάση την κλιμάκωση της τιμής της ολικής αξίας. Διακρίνονται τρεις κατηγορίες: α) πρωταρχικά, θεμελιώδη στοιχεία, ζωτικής ή στρατηγικής σημασίας, των οποίων η απώλεια θα είχε σημαντικό αντίκτυπο στη λειτουργία μιας κρίσιμης υποδομής, β) σημαντικά στοιχεία για τη λειτουργία μιας κρίσιμης υποδομής, χωρίς ωστόσο η απώλεια τους να έθετε σε κίνδυνο τη συνολική λειτουργία της, και γ) δευτερεύοντα, των οποίων η απώλεια είναι λιγότερο σημαντική για τη λειτουργία της υποδομής.

Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Στο τελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας, τα αποτελέσματα ιεράρχησης της σπουδαιότητας αξιολογούνται με τη συμβολή αρμόδιων φορέων, όπως τεχνικές υπηρεσίες, φορείς πολιτικής προστασίας, σχετικοί οργανισμοί και διαχειριστές υποδομών.

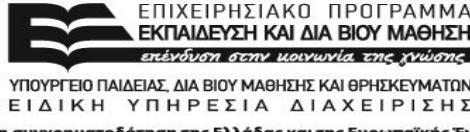
Η προαναφερόμενη μεθοδολογία μπορεί να εξειδικευτεί για την περίπτωση ενός μικρότερου συστήματος, με συνάθροιση ποικίλων λειτουργιών και στοιχείων, όπως είναι μια λιμενική εγκατάσταση. Στόχος μιας τέτοιας μεθοδολογίας είναι η ολιστική προσέγγιση της σεισμικής διακινδύνευσης και ο προσδιορισμός των ευαίσθητων σημείων των δικτύων και υποδομών. Ένα παράδειγμα εφαρμογής για το λιμάνι της Θεσσαλονίκης δίνεται στο Κεφάλαιο 6.

4 Προτεραιότητες αποκατάστασης βλαβών στο λιμενικό σύστημα

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία των σχεδίων διαχείρισης κρίσεων είναι ο καθορισμός των προτεραιοτήτων με βάση τις οποίες θα γίνει η αποκατάσταση των βλαβών έτσι ώστε η λειτουργία του εκάστοτε δικτύου/υποδομής να επανέλθει σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας στο βέλτιστο δυνατό χρόνο. Επιπλέον οι προτεραιότητες θα πρέπει να είναι



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

τέτοιες ώστε κατά την σταδιακή αποκατάσταση των βλαβών να παρέχεται το βέλτιστο επίπεδο εξυπηρετικότητας, αλλά και οι οικονομικές απώλειες να είναι οι μικρότερες δυνατές.

Η ιεράρχηση της σπουδαιότητας των στοιχείων των δικτύων/υποδομών σε πρωταρχική, σημαντική και δευτερεύουσα βασίζεται στην ολική (υλική και άυλη) τους αξία (βλ. Κεφ. 3). Παράλληλα, η αποτίμηση της τρωτότητας των υπό μελέτη στοιχείων στοχεύει στην αποτίμηση της αναμενόμενης στάθμης βλάβης για διαφορετικά σεισμικά σενάρια (βλ. Παραδοτέα 8.1-8.3). Συνδυάζοντας τη σπουδαιότητα με την τρωτότητα είναι δυνατό να εκτιμηθεί η σειρά προτεραιότητας αποκατάστασης των βλαβών ενός συστήματος για ένα δεδομένο σεισμικό σενάριο. Ωστόσο, η συμβολή του φορέα διαχείρισης του κάθε συστήματος στον προσδιορισμό της σειράς προτεραιότητας είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς υπεισέρχονται παράγοντες (π.χ. οικονομικές δυνατότητες, διαθέσιμα υλικοτεχνικά μέσα και υποδομές, πολιτική και δομή του κάθε φορέα) που διαφοροποιούνται ανά περίπτωση και εντάσσονται στις αρμοδιότητες του εκάστοτε φορέα.

Παρακάτω παρουσιάζεται το γενικότερο πλαίσιο καθορισμού των προτεραιοτήτων αποκατάστασης με βάση την ιεράρχηση της σπουδαιότητας και την αναμενόμενη στάθμη βλάβης κάθε στοιχείου (Πίνακας 1). Χρησιμοποιούνται πίνακες διπλής εισόδου, όπου ανάλογα με την πιθανή στάθμη βλάβης του εκτιθέμενου σε κίνδυνο στοιχείου για το κάθε σεισμικό σενάριο (μικρές, μέτριες, Εκτενείς ή καθολικές βλάβες) και τη σπουδαιότητά του σε περίοδο κρίσης (πρωταρχική, σημαντική ή δευτερεύουσα), καθορίζεται και η αντίστοιχη προτεραιότητα αποκατάστασης ($1^n - v^n$ προτεραιότητα). Για διαφορετικό αριθμό σταθμών βλάβης γίνονται κατάλληλες τροποποιήσεις (Πίνακας 2).

Πίνακας 1. Προσδιορισμός των προτεραιοτήτων αποκατάστασης βλαβών

Στάθμη βλάβης	Σπουδαιότητα		
	Πρωταρχική	Σημαντική	Δευτερεύουσα
Καθολικές	A.1.1	A.1.2	A.1.3
Εκτενείς	A.2.1	A.2.2	A.2.3
Μέτριες	A.3.1	A.3.2	A.3.3
Μικρές	A.4.1	A.4.2	A.4.3



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

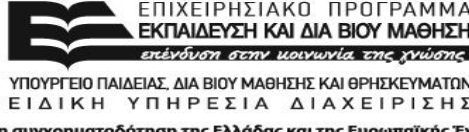
Πίνακας 2. Προτεραιότητες για την αποτίμηση της αποκατάστασης των βλαβών με το χρόνο

Στάθμη βλάβης	Σπουδαιότητα		
	Πρωταρχική	Σημαντική	Δευτερεύουσα
Καθολικές	1 ^η προτεραιότητα	1 ^η προτεραιότητα	2 ^η προτεραιότητα
Εκτενείς	1 ^η προτεραιότητα	2 ^η προτεραιότητα	3 ^η προτεραιότητα
Μέτριες	1 ^η προτεραιότητα	2 ^η προτεραιότητα	4 ^η προτεραιότητα
Μικρές	2 ^η προτεραιότητα	3 ^η προτεραιότητα	4 ^η προτεραιότητα

Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να θεωρηθούν εκ των προτέρων αποτελεσματικές στρατηγικές αποκατάστασης των σεισμικών βλαβών, λαμβάνοντας υπόψη καθορισμένα επίπεδα προτεραιότητας και δυνατότητες αποκατάστασης.



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

5 Καμπύλες αποκατάστασης συνιστώσων

Το ζήτημα της αποκατάστασης των σεισμικών βλαβών δικτύων και υποδομών είναι πολυσύνθετο θέμα, καθώς υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες, συχνά απρόβλεπτοι, που είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν και να ληφθούν υπόψη σε μια τέτοια προσέγγιση. Επιπλέον ο ρυθμός αποκατάστασης συνδέεται με την οργάνωση, τη δυνατότητα και αμεσότητα λήψης αποφάσεων, το επίπεδο επιχειρησιακής ετοιμότητας και την υλικοτεχνική υποδομή της Πολιτείας, των αρμόδιων υπηρεσιών και των οργανισμών διαχείρισης των δικτύων για παράδειγμα του Οργανισμού Λιμένος Θεσσαλονίκης, της ΔΕΗ και των φορέων διαχείρισης των μεταφορικών δικτύων (ΥΠΕΧΩΔΕ, κλπ).

Το είδος και η έκταση της βλάβης που έχει υποστεί η κάθε συνιστώσα αποτελεί πρωταρχικό στοιχείο για τον καθορισμό του απαιτούμενου χρόνου αποκατάστασης. Ειδικά για τα γραμμικά στοιχεία (δρόμοι, αγωγοί, κτλ), το μήκος που έχει υποστεί βλάβη είναι καθοριστικής σημασίας, οπότε είναι απαραίτητος ο ορισμός ενός μήκους αναφοράς. Στην περίπτωση αγωγών συχνά θεωρείται ως μήκος αναφοράς το 1.0 km. Άλλοι παράγοντες ιδιαίτερης σημασίας είναι το πλήθος των βλαβών (ιδιαίτερα σε δίκτυα με μεγάλη χωρική κατανομή), ο διαθέσιμος αριθμός συνεργείων, η οικονομική δυνατότητα του φορέα να προσλάβει άμεσα προσωρινό προσωπικό, καθώς και ο εξοπλισμός και τα υλικά που υπάρχουν αποθηκευμένα από τον φορέα διαχείρισης του δικτύου.

Οι καμπύλες αποκατάστασης για κάθε στοιχείο εκτιθέμενο σε σεισμικό κίνδυνο εκτιμούνται ως συνάρτηση της λειτουργικότητας και του χρόνου αποκατάστασης για τις διάφορες στάθμες βλαβών. Για την εξαγωγή καμπυλών αποκατάστασης ως συνάρτηση του χρόνου είναι απαραίτητο να γίνουν καταρχήν ορισμένες παραδοχές:

Ο χρόνος κατά κανόνα μετράται από την στιγμή που θα αρχίσουν οι εργασίες αποκατάστασης. Ο χρόνος που απαιτείται για την καταγραφή των βλαβών, την εκπόνηση μελετών, δημοπρατήσεις, αναθέσεις κτλ (κυρίως στα μεγάλα τεχνικά έργα και τις κτιριακές εγκαταστάσεις) δε λαμβάνεται υπόψη διότι υπόκειται σε πολλές μεταβλητές. Επίσης θεωρείται ότι υπάρχουν πάντοτε διαθέσιμα τα απαραίτητα κονδύλια, καθώς και το εργατικό δυναμικό για την εκτέλεση των εργασιών. Ενδεχόμενες καθυστερήσεις στην έναρξη των εργασιών λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ δικτύων δε λαμβάνονται υπόψη (για παράδειγμα οι δυσκολίες πρόσβασης των συνεργείων λόγω βλάβης στο οδικό δίκτυο).



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

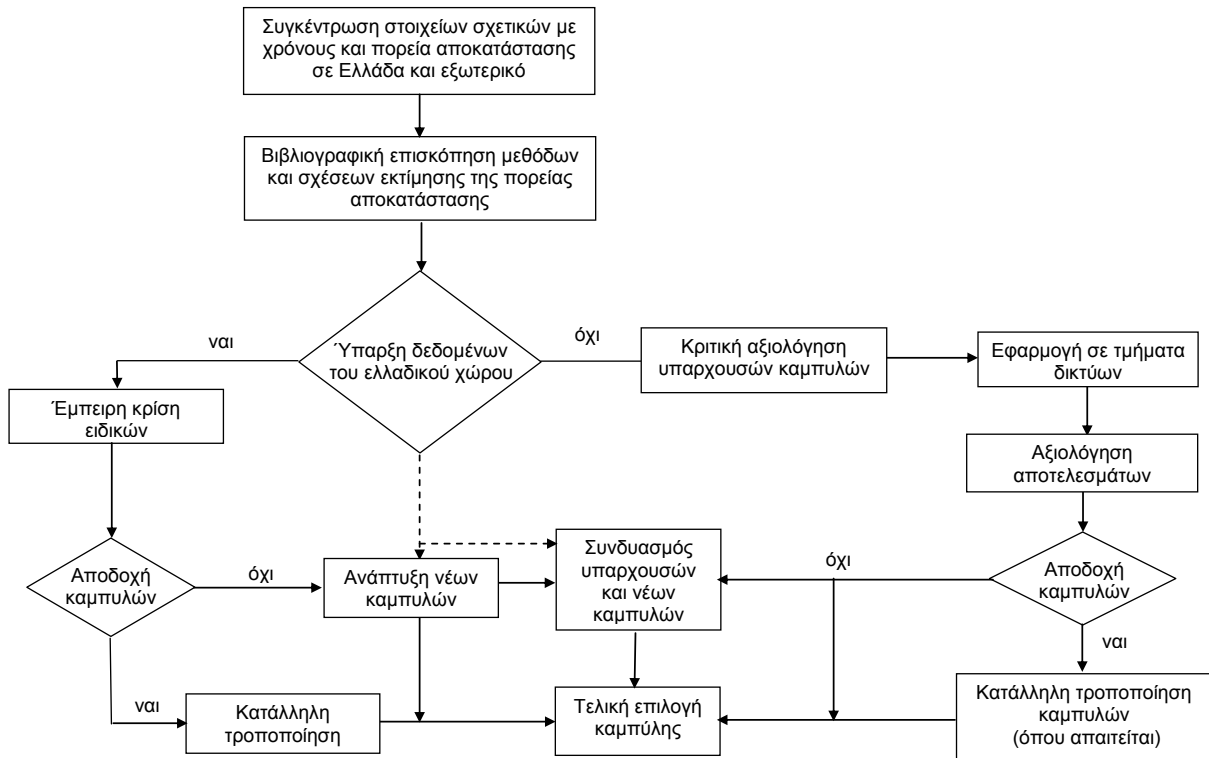


ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Επιπλέον ως αποκατάσταση θεωρείται η επαναφορά του εξεταζόμενου στοιχείου στην αρχική, πριν το σεισμό, κατάσταση (λειτουργικότητα 100%) με την υλοποίηση των οριστικών μέτρων επέμβασης. Ωστόσο, ο χρόνος που χρειάζεται για την αποκατάσταση ενός στοιχείου που έχει υποστεί καθολικές βλάβες μπορεί να είναι μεγαλύτερος από αυτόν που απαιτείται για την ανακατασκευή του.

Για την εξαγωγή καμπυλών αποκατάστασης συνήθως ακολουθούνται τα βήματα που συνοψίζονται στο Σχήμα 4.

- Σε πρώτο στάδιο γίνεται βιβλιογραφική επισκόπηση και αξιολόγηση υπαρχουσών μεθοδολογιών και καμπυλών αποκατάστασης. Γενικά χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις. Η πρώτη βασίζεται στη στατιστική επεξεργασία καμπυλών αποκατάστασης με βάση δεδομένα προηγούμενων σεισμών (ATC-25, 1991, ATC-13, 1985, NIBS, 2004, Chang et al., 1999, Nojima et al., 2001). Η δεύτερη λαμβάνει υπόψη το διαθέσιμο προσωπικό (NIBS, 2004, Chang et al., 2000, 2002), ενώ στην τρίτη προσέγγιση, το αστικό περιβάλλον θεωρείται ότι αποτελείται από πολλά υποσυστήματα που ανταγωνίζονται μεταξύ τους για τους χρόνους αποκατάστασης, με δεδομένο το περιορισμένο προσωπικό αποκατάστασης ανά δίκτυο (Αλεξούδη, 2005). Παράλληλα συλλέγονται στοιχεία για χρόνους αποκατάστασης σεισμικών βλαβών σε δίκτυα κοινής ωφέλειας. Ωστόσο, στον ευρωπαϊκό και ελληνικό χώρο η ύπαρξη τέτοιων στοιχείων είναι ιδιαίτερα περιορισμένη.
- Στη συνέχεια γίνεται αξιολόγηση των διαθέσιμων καμπυλών αποκατάστασης με τη συμβολή ειδικών (π.χ. φορείς διαχείρισης μιας υποδομής κτλ), και όταν είναι απαραίτητο γίνεται προσαρμογή αυτών ή πρόταση νέων καμπυλών σύμφωνα με τις επικρατούσες πρακτικές και τα διαθέσιμα μέσα.



Σχήμα 4. Πορεία εργασιών για την επιλογή καμπυλών αποκατάστασης

Οι εξαγόμενες καμπύλες δίνουν το ποσοστό λειτουργικότητας του υπό μελέτη στοιχείου σε συνάρτηση με το χρόνο (αριθμός ημερών από την έναρξη των εργασιών) για μία δεδομένη στάθμη βλάβης. Συνήθως εκφράζονται ως συνεχείς συναρτήσεις κανονικής αθροιστικής κατανομής με τη βοήθεια δύο παραμέτρων (διάμεσος τιμή και τυπική απόκλιση) για κάθε στάθμη βλάβης. Θεωρώντας για παράδειγμα μια καμπύλη αποκατάστασης ενός γερανού, αυτή εκφράζεται για μία συγκεκριμένη στάθμη βλάβης από τον τύπο:

$$P[d_s | S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{d_s}} \left(\frac{t_d}{\bar{t}_{d,d_s}} \right) \right] \quad (1)$$

όπου: \bar{t}_{d,d_s} , η διάμεσος τιμή του χρόνου αποκατάστασης για τη στάθμη βλάβης, d_s ,

β_{d_s} , η τυπική απόκλιση του χρόνου αποκατάστασης για τη στάθμη βλάβης, d_s , και

Φ η αθροιστική συνάρτηση της τυπικής κανονικής κατανομής.

Για έναν γερανό για τον οποίο η διάμεσος τιμή του χρόνου αποκατάστασης (ποσοστό λειτουργικότητας 50%) είναι ($\bar{t}_{d,E}$) ίση με 75 ημέρες και ο ρυθμός αποκατάστασης του δίνεται από μια κανονική κατανομή με τυπική απόκλιση (β_E) ίση με 42 ημέρες, η καμπύλη αποκατάστασης για τις Εκτενείς βλάβες δίνεται στο Σχήμα 5, όπου:

\bar{t} , η διάμεσος τιμή του χρόνου αποκατάστασης (75 ημέρες).

t_+ , η διάμεσος τιμή +1 κανονική τυπική απόκλιση ($\tau_+ = \bar{t} + \beta = 117$ ημέρες).

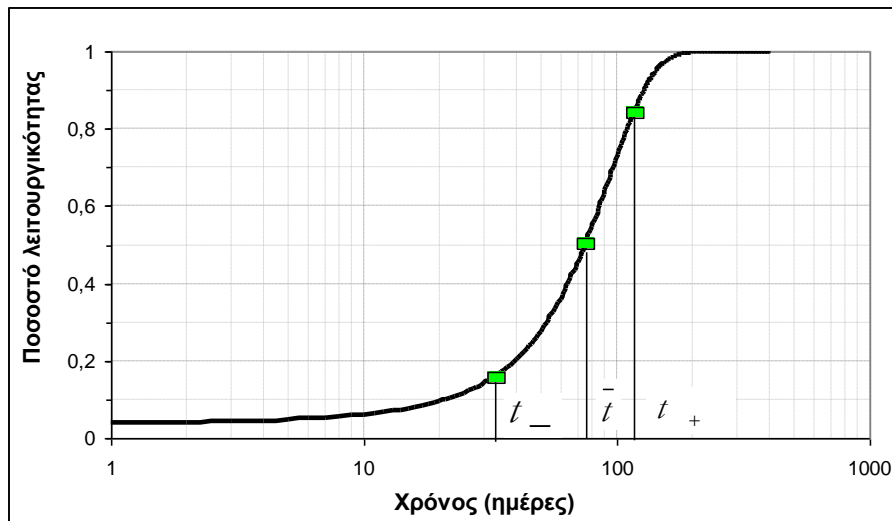
t_- , η διάμεσος τιμή -1 κανονική τυπική απόκλιση ($\tau_- = \bar{t} - \beta = 33$ ημέρες).

Τα αντίστοιχα ποσοστά λειτουργικότητας για τη στάθμη των εκτεταμένων βλαβών είναι:

$$P[\text{Εκταμένες} \cdot \text{Βλάβες} / t_d = t_- = 33 \text{ημέρες}] = 0,16$$

$$P[\text{Εκταμένες} \cdot \text{Βλάβες} / t_d = \bar{t} = 75 \text{ημέρες}] = 0,50$$

$$P[\text{Εκταμένες} \cdot \text{Βλάβες} / t_d = t_+ = 117 \text{ημέρες}] = 0,84$$

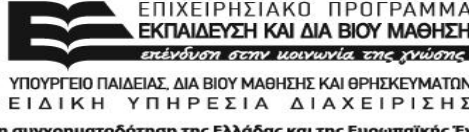


Σχήμα 5. Παράδειγμα καμπύλης αποκατάστασης για γερανό (διάμεσος τιμή: 75 ημέρες, τυπική απόκλιση: 42 ημέρες)

Οι καμπύλες αποκατάστασης που προτείνονται ειδικά για τον λιμένα Θεσσαλονίκης παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 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

6 Πιλοτική εφαρμογή στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης

Με βάση τις πολύ γενικές αρχές που παρουσιάστηκαν παρουσιάζεται στη συνέχεια μια πιλοτική εφαρμογή στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης, για την ιεράρχηση της σπουδαιότητας των επιμέρους υποδομών, την ιεράρχηση των προτεραιοτήτων επέμβασης, την εκτίμηση του χρόνου αποκατάστασης βλαβών και του σχεδιασμού επεμβάσεων. Το συγκεκριμένο παράδειγμα επικεντρώνεται στις πιο σημαντικές υποδομές του λιμένα, που είναι οι κρηπιδότοιχοι και οι γερανοί/εξοπλισμός διαχείρισης φορτίων.

6.1 Ιεράρχηση της σπουδαιότητας των υποδομών

Ο προσδιορισμός της σπουδαιότητας μέσω της αποτίμησης της «ολικής αξίας» πραγματοποιήθηκε για τις κρίσιμες υποδομές εντός του λιμένα Θεσσαλονίκης και για τις τρεις περιόδους λειτουργίας: κανονική, κρίσης και αποκατάστασης. Οι αντίστοιχοι δείκτες καθορίστηκαν σε συνεργασία με τον Οργανισμό Λιμένος Θεσσαλονίκης (ΟΛΘ) και αντικατοπτρίζουν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των επιμέρους συνιστωσών για το λιμάνι της Θεσσαλονίκης και σε σημαντικό βαθμό για τις λιμενικές εγκαταστάσεις της χώρας (Κακδέρη, 2011). Κεντρικός στόχος είναι η ολιστική προσέγγιση της σεισμικής διακινδύνευσης με βάση και τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου ερευνητικού προγράμματος (π.χ. νέες καμπύλες τρωτότητας κρηπιδοτοίχων) και ο προσδιορισμός των ευαίσθητων σημείων των δικτύων και υποδομών. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής απεικονίζονται σε θεματικούς χάρτες GIS με την ιεράρχηση της σπουδαιότητας κάθε συνιστώσας ανά περίοδο.

Παράκτια λιμενικά έργα

Ο βασικός ρόλος των παράκτιων λιμενικών έργων είναι η διαμόρφωση συνθηκών ασφαλούς πρόσδεσης, παραμονής και φορτο-εκφόρτωσης πλοίων. Για τον προσδιορισμό και την ιεράρχηση της σπουδαιότητας καθορίστηκαν οι παρακάτω δείκτες:

- *Λειτουργικό βύθισμα.* Καθορίζεται από το μέγιστο βύθισμα πλοίου που είναι δυνατό να προσδέσει.
- *Εναλλακτική χρήση.* Καθορίζεται με βάση τη δυνατότητα κάλυψης της δραστηριότητας της υπό εξέταση συνιστώσας από γειτονικά στοιχεία.
- *Ακτίνα επιρροής.* Σχετίζεται με τη σημαντικότητα των φορτίων ή/και της κίνησης που εξυπηρετείται.



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 Πίνακας 3 και ο Πίνακας 4 δίνουν τους δείκτες μέτρησης της σπουδαιότητας, καθώς και τις κλίμακες και τις τιμές της σχετικής αξίας των επιμέρους δεικτών για τους κρηπιδότοιχους.

Πίνακας 3. Δείκτες σπουδαιότητας για τα παράκτια λιμενικά έργα/ κρηπιδότοιχους

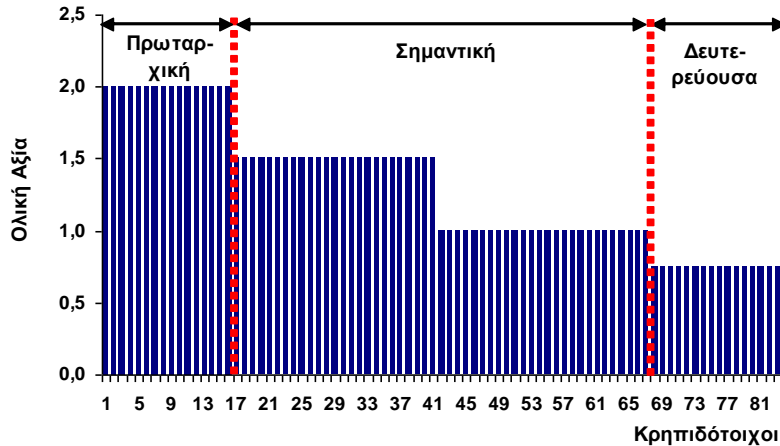
Παράκτια λιμενικά έργα/ κρηπιδότοιχοι			Περίοδος		
Συνιστώσες	Δείκτες	Περιγραφή	Κανονική	Κρίσης	Αποκατάσταση
Λειτουργία	1. Λειτουργικό βύθισμα	Μέγιστο βύθισμα πλοίου που είναι δυνατό να προσδέσει.	•	•	•
Λειτουργία	2. Εναλλακτική χρήση (περίσσεια)	Δυνατότητα κάλυψης δραστηριότητας από γειτονικά στοιχεία.	-	•	•
Αστικές δραστηριότητες & αλληλεπιδράσεις	3. Ακτίνα επιρροής	Ακτίνα επιρροής. Είδος φορτίων/ κίνησης που εξυπηρετείται.	•	•	•
<ul style="list-style-type: none"> • συμμετοχή της συνιστώσας στην περίοδο που εξετάζεται - μη συμμετοχή της συνιστώσας στην περίοδο που εξετάζεται 					

Πίνακας 4. Κλίμακες και τιμές σχετικής αξίας των δεικτών σπουδαιότητας για τα παράκτια λιμενικά έργα/κρηπιδότοιχους

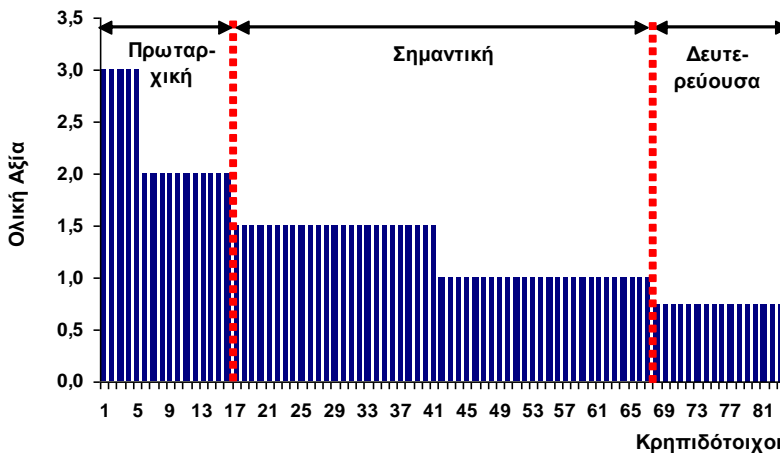
Παράκτια λιμενικά έργα/ κρηπιδότοιχοι			
Συνιστώσες	Δείκτες	Περιγραφή	Σχ. Τιμή
Λειτουργία	1. Λειτουργικό βύθισμα	≥12m	1,00
		≥10m	0,50
		<10m	0,25
Λειτουργία	2. Εναλλακτική χρήση (περίσσεια)	Όχι (Σταθμός εμπορευματοκιβωτίων)	1,00
		Ναι (Τα υπόλοιπα)	0,00
Αστικές δραστηριότητες & αλληλεπιδράσεις	3. Ακτίνα επιρροής	Σταθμός εμπορευματοκιβωτίων - Συμβατικό λιμάνι	1,00
		Επιβατικός σταθμός	0,50

Με βάση τους παραπάνω δείκτες υπολογίζονται για κάθε κρηπίδωμα στις έξι προβλήτες του λιμένα η σχετική (ανά δείκτη) και η ολική αξία στις τρεις περιόδους (κανονικής λειτουργίας, κρίσης και αποκατάστασης). Ακολουθεί ο προσδιορισμός των «πρωταρχικών», «σημαντικών» και «δευτερεύοντων» συνιστωσών ανά περίοδο μέσω της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών της ολικής αξίας όλων των στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα τα όρια αντιστοιχούν στη διαφορά και το άθροισμα της διαμέσου τιμής και τυπικής απόκλισης των παραπάνω τιμών (Σχήμα 6 και

Σχήμα 7). Η υπολογιζόμενη τιμή της ολικής αξίας είναι η ίδια για την περίοδο κρίσης και την περίοδο της αποκατάστασης, ενώ διαφοροποιείται για την κανονική περίοδο (βλ. Πίνακας 3).



Σχήμα 6. Κατανομή της ολικής αξίας για τους κρητιδοτόιχους του λιμένα Θεσσαλονίκης και προσδιορισμός του επιπέδου σπουδαιότητας για την κανονική περίοδο λειτουργίας



Σχήμα 7. Κατανομή της ολικής αξίας για τους κρητιδοτόιχους του λιμένα Θεσσαλονίκης και προσδιορισμός του επιπέδου σπουδαιότητας για την περίοδο κρίσης και αποκατάστασης



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



Σπουδαιότητα: — Πρωταρχική — Σημαντική — Δευτερεύουσα

Σχήμα 8. Σπουδαιότητα κρηπιδότοιχων λιμένα Θεσσαλονίκης σε περιόδους α) κανονικής λειτουργίας, β) κρίσης και αποκατάστασης



Εξοπλισμός μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου

Για τον προσδιορισμό και την ιεράρχηση της σπουδαιότητας του εξοπλισμού μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου καθορίστηκαν οι παρακάτω δείκτες:

- *Ανυψωτική ικανότητα.* Εξαρτάται από την ανυψωτική ικανότητα του γερανού/γερανογέφυρας σε t.
- *Θέση.* Η σημαντικότητα του εξεταζόμενου στοιχείου σχετίζεται με τη θέση και συγκεκριμένα με το κρηπίδωμα στο οποίο βρίσκεται.
- *Δυνατότητα φορτίου.* Σχετίζεται με το είδος του φορτίου που είναι δυνατό να εξυπηρετηθεί και συγκεκριμένα με τη δυνατότητα ή μη εξυπηρέτησης εμπορευματοκιβωτίων.
- *Εναλλακτική χρήση.* Καθορίζεται με βάση την δυνατότητα κάλυψης της δραστηριότητας της υπό εξέτασης συνιστώσας από γειτονικά στοιχεία.

Ο Πίνακας 5 και ο Πίνακας 6 δίνουν τους δείκτες σπουδαιότητας, καθώς και τις κλίμακες και τις τιμές της σχετικής αξίας των επιμέρους δεικτών για τους γερανούς/συστήματα μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου.

Πίνακας 5. Δείκτες σπουδαιότητας για τον εξοπλισμό μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου

Εξοπλισμός μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου			Περίοδος		
Συνιστώσες	Δείκτες	Περιγραφή	Κανονική	Κρίσης	Αποκατάστασης
Λειτουργία	1. Ανυψωτική ικανότητα	Ανυψωτική ικανότητα γερανού/γερανογέφυρας σε t.	•	•	•
Λειτουργία	2. Θέση	Θέση / κρηπίδωμα που βρίσκεται.	•	•	•
Λειτουργία	3. Δυνατότητα φορτίου	Είδος φορτίου που μπορεί να σηκώσει.	•	•	•
Λειτουργία	4. Εναλλακτική χρήση (Redundancy – περίσσεια)	Δυνατότητα κάλυψης δραστηριότητας από γειτονικά στοιχεία.	-	•	•
<ul style="list-style-type: none"> • συμμετοχή της συνιστώσας στην περίοδο που εξετάζεται - μη συμμετοχή της συνιστώσας στην περίοδο που εξετάζεται 					



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

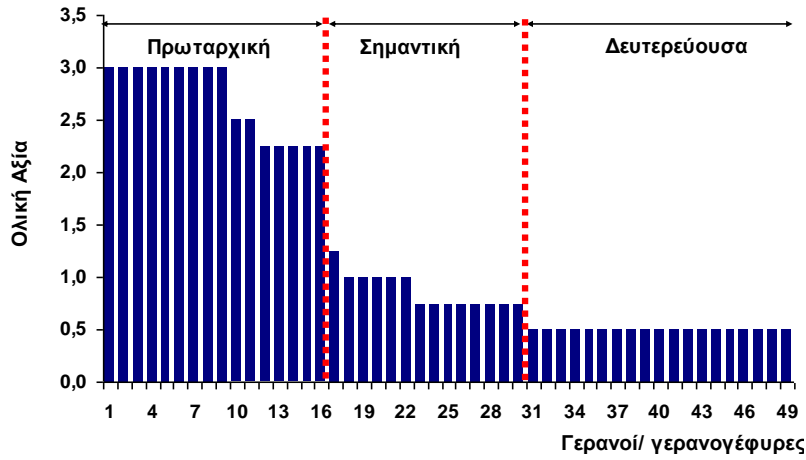


ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

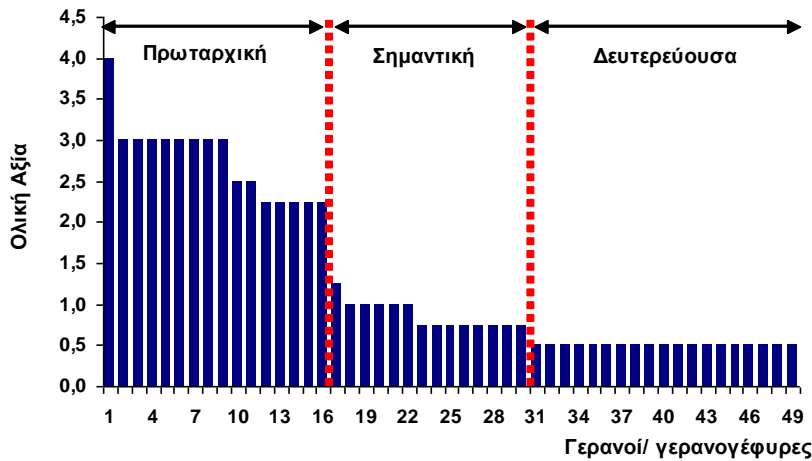
Πίνακας 6. Κλίμακες και τιμές σχετικής αξίας των δεικτών σπουδαιότητας για τον εξοπλισμό μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου

Εξοπλισμός μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου			
Συνιστώσες	Δείκτες	Περιγραφή	Σχ. Τιμή
Λειτουργία	1. Ανυψωτική ικανότητα	≥40t	1,00
		≥15t	0,50
		<15t	0,25
Λειτουργία	2. Θέση	Κρηπιδώματα 24, 26	1,00
		Κρηπιδώματα 20 - 22	0,75
		Κρηπιδώματα 15 - 18	0,50
		Κρηπιδώματα 9 - 14	0,25
Λειτουργία	3. Δυνατότητα φορτίου	Εμπορευματοκιβώτια – Ναι (γερανογέφυρες και γερανοί με ανυψωτική ικανότητα ≥25t)	1,00
		Εμπορευματοκιβώτια – Όχι (γερανοί με ανυψωτική ικανότητα <25t)	0,00
Λειτουργία	4. Εναλλακτική χρήση (περίσσεια)	Όχι	1,00
		Ναι	0,00

Με βάση τους παραπάνω δείκτες υπολογίζονται για κάθε συνιστώσα (49 στοιχεία) η σχετική (ανά δείκτη) και η ολική αξία στις τρεις περιόδους (κανονικής λειτουργίας, κρίσης και αποκατάστασης). Ακολουθεί ο προσδιορισμός των «πρωταρχικών», «σημαντικών» και «δευτερευόντων» συνιστωσών ανά περίοδο μέσω της στατιστικής επεξεργασίας των τιμών της ολικής αξίας όλων των στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα τα όρια αντιστοιχούν στη διαφορά και το άθροισμα της διαμέσου τιμής και τυπικής απόκλισης των παραπάνω τιμών (Σχήμα 9 και Σχήμα 10). Η υπολογιζόμενη τιμή της ολικής αξίας είναι η ίδια για την περίοδο κρίσης και την περίοδο της αποκατάστασης, ενώ διαφοροποιείται για την κανονική περίοδο (βλ. Πίνακας 5).



Σχήμα 9. Κατανομή της ολικής αξίας για τους γερανούς/συστήματα μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου και προσδιορισμός του επιπέδου σπουδαιότητας για την κανονική περίοδο λειτουργίας



Σχήμα 10. Κατανομή της ολικής αξίας για τους γερανούς/συστήματα μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου και προσδιορισμός του επιπέδου σπουδαιότητας για την περίοδο κρίσης και αποκατάστασης



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



Σπουδαιότητα: ● Πρωταρχική ● Σημαντική ● Δευτερεύουσα

Σχήμα 11. Σπουδαιότητα γερανών/εξοπλισμού μεταφορά και διαχείρισης φορτίου στο λιμένα Θεσσαλονίκης σε περιόδους α) κανονικής λειτουργίας, β) κρίσης και αποκατάστασης

Λοιπές υποδομές

Στην συνέχεια δίνονται οι δείκτες σπουδαιότητας και οι αντίστοιχες κλίμακες και τιμές των δεικτών για επιμέρους συνιστώσες εντός του λιμένα (δίκτυο ηλ. ενέργειας, δίκτυο ύδρευσης, κτιριακές εγκαταστάσεις) για τις τρεις περιόδους (κανονική, κρίσης, αποκατάστασης). Η



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

βαθμονόμηση των δεικτών σε ορισμένες περιπτώσεις έγινε με βάση τα τυπολογικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των δικτύων του λιμένα Θεσσαλονίκης.

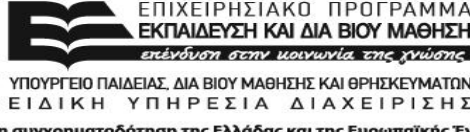
Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

Ορίζονται οι ακόλουθοι δείκτες, οι οποίοι συμμετέχουν εξίσου και στις τρεις περιόδους:

- *Τύπος υποσταθμού.* Καθορίζεται με βάση τον αριθμό των μετασχηματιστών που διαθέτει ο υποσταθμός, με τις εξής κατηγορίες:
 - α) 3 μετασχηματιστές.
 - β) 2 μετασχηματιστές.
 - γ) 1 μετασχηματιστής.
- *Τάση.* Καθορίζεται από την τάση λειτουργίας (αριθμός Volts). Οι υποσταθμοί του λιμένα διακρίνονται σε:
 - α) Μέσης τάσης στα 20000 Volt (20kV).
 - β) Χαμηλής τάσης στα 400 Volt (0,4kV).
- *Είδος υποσταθμού.* Διακρίνονται σε κύριους και βοηθητικούς.
- *Σύστημα αυτόματου ελέγχου.* Καθορίζεται από την ύπαρξη ή μη συστήματος αυτόματου ελέγχου (SCADA) στον υποσταθμό.
- *Ποσοστό κατανάλωσης (%)/τομέας εξυπηρέτησης.* Καθορίζεται από το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει ο κάθε υποσταθμός,. Διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:
 - α) $\geq 50\%$.
 - β) $\geq 5\%$.
 - γ) $< 5\%$.
- *Ακτίνα επιρροής.* Σχετίζεται με την σημαντικότητα των φορτίων που εξυπηρετούνται. Διακρίνεται 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
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

α) Μεγάλη (παροχή ενέργειας στον σταθμό εμπορευματοκιβωτίων και στο συμβατικό λιμάνι).

β) Μικρή (παροχή ενέργειας στον επιβατικό σταθμό).

Για τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι δείκτες, οι οποίοι συμμετέχουν εξίσου και στις τρεις περιόδους:

- *Τάση.* Καθορίζεται από την τάση λειτουργίας (αριθμός Volts). Οι γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας του λιμένα διακρίνονται σε:

α) Μέσης τάσης στα 15.000-20.000 Volt (15-20kV).

β) Χαμηλής τάσης στα 400 Volt (0,4kV).

- *Εναλλακτικός τρόπος σύνδεσης.* Η σημαντικότητα της γραμμής διαφοροποιείται με βάση τον αριθμό των εναλλακτικών διαδρομών που υπάρχουν στο δίκτυο. Διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:

α) Καμία εναλλακτική διαδρομή.

β) 1 εναλλακτική διαδρομή.

γ) ≥ 2 εναλλακτικές διαδρομές.

- *Σύνδεση με κρίσιμες υποδομές.* Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στις γραμμές που εξυπηρετούν κρίσιμες υποδομές για την διαχείριση της κρίσης. Η σημαντικότητα διαφοροποιείται με βάση το είδος της σύνδεσης και του κτιρίου (Πίνακας 7).

- *Σύστημα αυτόματου ελέγχου.* Καθορίζεται από την ύπαρξη ή μη συστήματος αυτόματου ελέγχου (SCADA).

- *Ακτίνα επιρροής.* Σχετίζεται με την σημαντικότητα των φορτίων που εξυπηρετούνται. Διακρίνεται σε:

α) Μεγάλη (παροχή στον σταθμό εμπορευματοκιβωτίων και στο συμβατικό λιμάνι).

β) Μικρή (παροχή ενέργειας στον επιβατικό σταθμό).

Πίνακας 7. Κλίμακες σχετικής αξίας του δείκτη «σύνδεση με κρίσιμες υποδομές» των δικτύων του λιμένα Θεσσαλονίκης

Σπουδαιότητα γραμμής	Πρόσβαση σε χρήση	Είδος σύνδεσης
Πρωταρχική	Διοικητικές υπηρεσίες Τεχνικές υπηρεσίες Υπηρεσίες ασφαλείας Εμπορευματικοί σταθμοί Αποθήκες εξοπλισμού/ συνεργεία Κτίρια δικτύων	Άμεση
Σημαντική	Διοικητικές υπηρεσίες Τεχνικές υπηρεσίες Υπηρεσίες ασφαλείας Εμπορευματικοί σταθμοί Αποθήκες εξοπλισμού/ συνεργεία Κτίρια δικτύων	Έμμεση
Καμία	Επιβατικοί σταθμοί Υπηρεσίες υποστήριξης Αποθήκες/ υπόστεγα/ σιλό Χώροι πολιτιστικών εκδηλώσεων Τελωνεία	Δεν παρέχει πρόσβαση σε κάποια κρίσιμη χρήση

Δίκτυο ύδρευσης

Για τις δεξαμενές ύδρευσης χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι δείκτες, οι οποίοι συμμετέχουν εξίσου στις περιόδους κρίσης και αποκατάστασης. Στην περίοδο κανονικής λειτουργίας οι εναλλακτικοί τρόποι εξυπηρέτησης δε λαμβάνονται υπόψη:

- *Χωρητικότητα.* Χρησιμοποιούνται οι εξής κατηγορίες:

α) $>200 \text{ m}^3$.

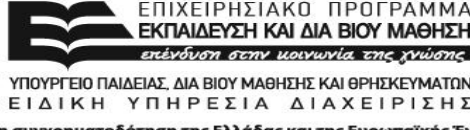
β) $200 \text{ m}^3 \geq x > 150 \text{ m}^3$.

γ) $\leq 150 \text{ m}^3$.

- *Σύστημα αυτόματου ελέγχου.* Καθορίζεται από την ύπαρξη ή μη συστήματος αυτόματου ελέγχου (SCADA) στην πηγή υδροληψίας.



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

- *Εναλλακτικοί τρόποι εξυπηρέτησης.* Καθορίζεται από την ύπαρξη ή μη εναλλακτικών τρόπων εξυπηρέτησης των καταναλωτών από άλλες δεξαμενές. Χρησιμοποιούνται οι εξής κατηγορίες:

α) Ναι.

β) Όχι.

- *Σύνδεση με κρίσιμες υποδομές/ κτίρια στρατηγικής σημασίας.* Χρησιμοποιούνται οι εξής κατηγορίες:

α) Άμεση.

β) Έμμεση.

γ) Καμία.

- *Ακτινοβολία.* Σχετίζεται με τη σημαντικότητα των περιοχών που εξυπηρετεί, και διακρίνεται σε:

α) Μεγάλη (σταθμός εμπορευματοκιβωτίων – συμβατικό λιμάνι).

β) Μικρή (επιβατικός σταθμός).

Η σπουδαιότητα των αγωγών ύδρευσης διαφοροποιείται στην περίοδο κανονικής λειτουργίας και στις περιόδους κρίσης και αποκατάστασης. Οι δείκτες ιεράρχησης που χρησιμοποιήθηκαν για τους αγωγούς ύδρευσης είναι οι ακόλουθοι (η σύνδεση με το δίκτυο πυρόσβεσης και οι εναλλακτικοί τρόποι υδροληψίας δε λαμβάνονται υπόψη στην περίοδο κανονικής λειτουργίας):

- *Παροχή.* Καθορίζεται από τη διάμετρο του αγωγού. Χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες κατηγορίες:

α) Διάμετρος ≥ 600 mm.

β) $600 > \text{Διάμετρος} \geq 100$ mm.

γ) Διάμετρος < 100 mm.

- *Σύστημα αυτόματου ελέγχου.* Καθορίζεται από την ύπαρξη ή μη συστήματος αυτόματου ελέγχου (SCADA) στο δίκτυο.



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

- *Σύνδεση με το δίκτυο πυρόσβεσης.* Χρησιμοποιούνται οι εξής κατηγορίες:
 - α) Άμεση σύνδεση με κρουνοί.
 - β) Έμμεση σύνδεση με κρουνοί.
 - γ) Καμία.
- *Σύνδεση με κρίσιμες υποδομές.* Η κατηγοριοποίηση γίνεται με βάση το είδος σύνδεσης (άμεση, έμμεση, καμία) καθώς και το είδος της χρήσης (Πίνακας 7). Χρησιμοποιούνται οι εξής κατηγορίες:
 - α) Πρωταρχική.
 - β) Σημαντική.
 - γ) Καμία.
- *Ακτινοβολία.* Σχετίζεται με την σημαντικότητα των περιοχών που εξυπηρετεί. Διακρίνεται σε:
 - α) Μεγάλη (σταθμός εμπορευματοκιβωτίων – συμβατικό λιμάνι).
 - β) Μικρή (επιβατικός σταθμός).
- *Εναλλακτικοί τρόποι υδροληψίας.* Καθορίζεται από την ύπαρξη ή μη εναλλακτικών τρόπων υδροληψίας και το πλήθος αυτών. Χρησιμοποιούνται οι εξής κατηγορίες:
 - α) Πολλοί (>4).
 - β) Μερικοί (1-3).
 - γ) Κανένας.

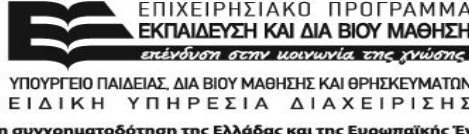
Κτιριακές εγκαταστάσεις

Επιλέχθηκαν οι ακόλουθοι δείκτες ιεράρχησης της σπουδαιότητας των κτιριακών εγκαταστάσεων ανά περίοδο λειτουργίας (κανονική, κρίσης και αποκατάστασης):

- *Είδος χρήσης.* Η σημαντικότητα του κτιρίου διαφοροποιείται με βάση το είδος της χρήσης που στεγάζει. Διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες:



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) Διοικητικές υπηρεσίες, τεχνικές υπηρεσίες, υπηρεσίες ασφαλείας, εμπορευματικός σταθμός, κτίρια δικτύων, συνεργεία.

β) Αποθήκες ελεύθερης ζώνης, χώροι πολιτιστικών εκδηλώσεων, επιβατικός σταθμός.

γ) Αποθήκες/ υπόστεγα/ σιλό, υπηρεσίες υποστήριξης, ειδικές χρήσεις.

- *Χρήση σε κατάσταση επείγουσας ανάγκης.* Η διάκριση της σπουδαιότητας πραγματοποιείται με βάση τη στέγαση ή μη κρίσιμων υποδομών (υγειονομικής περίθαλψης, πυροσβεστικοί σταθμοί, κρίσιμες λειτουργίες στην περίοδο της κρίσης, κ.τ.λ.). Χρησιμοποιούνται δύο κατηγορίες κτιριακών εγκαταστάσεων:

α) Κτίρια που στεγάζουν κρίσιμες υποδομές (διοικητικές υπηρεσίες, τεχνικές υπηρεσίες, υπηρεσίες ασφαλείας, εμπορευματικοί σταθμοί, αποθήκες εξοπλισμού/ συνεργεία, κτίρια δικτύων).

β) Κτίρια που δε στεγάζουν κρίσιμες υποδομές (επιβατικοί σταθμοί, υπηρεσίες υποστήριξης, αποθήκες/ υπόστεγα/ σιλό, χώροι πολιτιστικών εκδηλώσεων, τελωνεία).

- *Ακτινοβολία.* Σχετίζεται με την ιδιαίτερη αξία του κτιρίου για το λιμάνι (συμβολική αξία, απήχηση, κ.τ.λ.). Διακρίνεται σε:

α) Μεγάλη (επιβατικός σταθμός, αποθήκες 1^{ου} προβλήτα).

β) Μεσαία (κεντρικά γραφεία ΟΛΘ, γραφεία ελευθέρως ζώνης, εκκλησία, σιλό).

γ) Μικρή (λοιπά κτίρια).

Ο Πίνακας 8 δίνει τους δείκτες μέτρησης της ολικής αξίας καθώς και τις κλίμακες και τις τιμές σχετικής αξίας τους για τις κτιριακές εγκαταστάσεις του λιμένα Θεσσαλονίκης. Οι αντίστοιχοι δείκτες καθορίστηκαν σε συνεργασία με τον ΟΛΘ και αντικατοπτρίζουν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των παραπάνω συνιστωσών για το λιμάνι της Θεσσαλονίκης, και σε σημαντικό βαθμό για τις λιμενικές εγκαταστάσεις της χώρας.



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 8. Δείκτες ιεράρχησης της σπουδαιότητας για τις κτιριακές εγκαταστάσεις του λιμένα Θεσσαλονίκης

Κτιριακές εγκαταστάσεις			Περίοδος		
Συνιστώσες	Δείκτες	Περιγραφή	Κανονική	Κρίσης	Αποκατάστασης
Λειτουργία	1. Είδος χρήσης	Χρήση που στεγάζεται (διοικητικές υπηρεσίες, τεχνικές υπηρεσίες, υπηρεσίες υποστήριξης, υπηρεσίες ασφαλείας, αποθήκες)	•	•	•
Αστικές δραστηριότητες και αλληλεπιδράσεις	2. Χρήση σε κατάσταση επείγουσας ανάγκης	Στέγαση ή μη κρίσιμων λειτουργιών (υγειονομικής περίθαλψης, πυροσβεστικοί σταθμοί, κρίσιμες λειτουργίες στην περίοδο της κρίσης, κ.τ.λ.).	-	•	•
Αστικές δραστηριότητες και αλληλεπιδράσεις	3. Ακτινοβολία/ αναγνωρισιμότητα	Ιδιαίτερη αξία για το λιμάνι (συμβολική αξία, απήχηση, κ.τ.λ.)	•	-	•
<ul style="list-style-type: none"> • συμμετοχή της συνιστώσας στην περίοδο που εξετάζεται - μη συμμετοχή της συνιστώσας στην περίοδο που εξετάζεται 					

6.2. Καθορισμός προτεραιοτήτων αποκατάστασης

Ο καθορισμός των προτεραιοτήτων επέμβασης εξαρτάται από το πλήθος των προκαθορισμένων σταθμών βλάβης (δύο, τρία ή τέσσερα), καθώς και την κατηγοριοποίηση της σπουδαιότητας των υπό μελέτη στοιχείων κατά την περίοδο κρίσης. Στους Πίνακες 9 – 11 παρουσιάζεται ένα γενικευμένο πλαίσιο καθορισμού των προτεραιοτήτων αποκατάστασης ως συνδυασμός των παραπάνω. Στην πραγματικότητα υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες που εξαρτώνται από ειδικές ανάγκες και συνθήκες, οι οποίες διαφοροποιούνται σε κάθε υποδομή ή δίκτυο.

Πίνακας 9. Προτεραιότητες αποκατάστασης για στοιχεία με τρεις στάθμες βλάβης

Στάθμη βλάβης	Σπουδαιότητα		
	Πρωταρχική	Σημαντική	Δευτερεύουσα
Καθολικές/ Εκτενείς βλάβες	1 ^η προτεραιότητα	1 ^η προτεραιότητα	2 ^η προτεραιότητα
Μέτριες βλάβες	1 ^η προτεραιότητα	2 ^η προτεραιότητα	3 ^η προτεραιότητα
Μικρές βλάβες	1 ^η προτεραιότητα	2 ^η προτεραιότητα	4 ^η προτεραιότητα



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 10. Προτεραιότητες αποκατάστασης για στοιχεία με τέσσερις στάθμες βλάβης

Στάθμη βλάβης	Σπουδαιότητα		
	Πρωταρχική	Σημαντική	Δευτερεύουσα
Καθολικές βλάβες	1 ^η προτεραιότητα	1 ^η προτεραιότητα	2 ^η προτεραιότητα
Εκτενείς βλάβες	1 ^η προτεραιότητα	2 ^η προτεραιότητα	3 ^η προτεραιότητα
Μέτριες βλάβες	1 ^η προτεραιότητα	2 ^η προτεραιότητα	4 ^η προτεραιότητα
Μικρές βλάβες	2 ^η προτεραιότητα	3 ^η προτεραιότητα	4 ^η προτεραιότητα

Πίνακας 11. Προτεραιότητες αποκατάστασης για στοιχεία με δύο στάθμες βλάβης (π.χ. αγωγοί).

Στάθμη βλάβης	Σπουδαιότητα		
	Πρωταρχική	Σημαντική	Δευτερεύουσα
Θραύση	1 ^η προτεραιότητα	1 ^η προτεραιότητα	2 ^η προτεραιότητα
Διαρροή	2 ^η προτεραιότητα	3 ^η προτεραιότητα	4 ^η προτεραιότητα

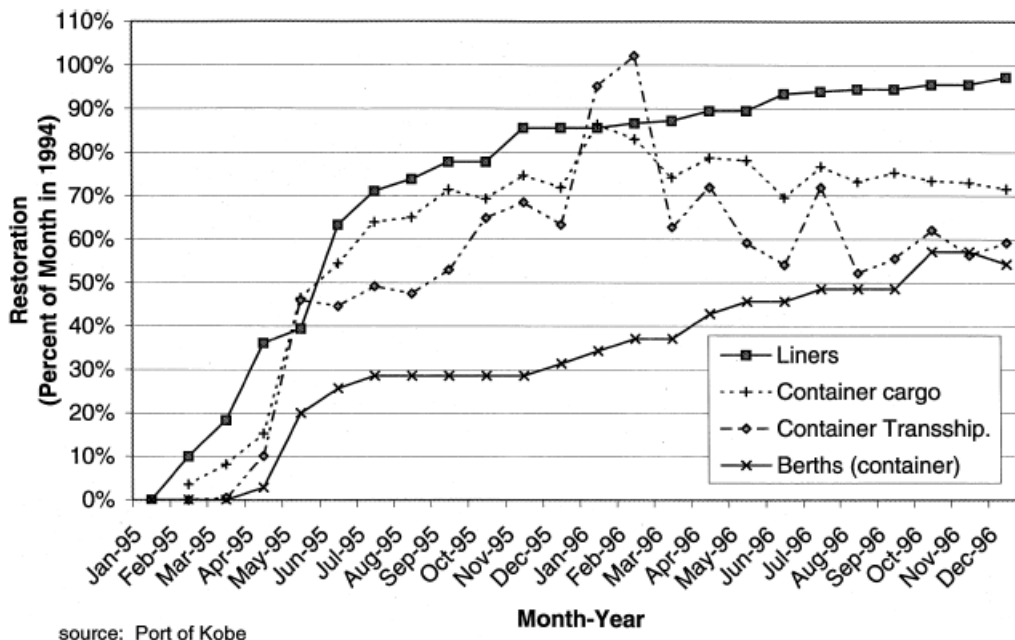
6.3. Εκτίμηση του χρόνου αποκατάστασης

Η αποκατάσταση της λειτουργικότητας ενός λιμένα μετά την εκδήλωση μιας ισχυρής σεισμικής διέγερσης εξαρτάται από το βαθμό και την έκταση της βλάβης που έχει υποστεί, αλλά και τη σωστή διαχείριση των περιορισμένων διαθέσιμων πόρων με στόχο τη βαθμιαία αποκατάσταση των κρίσιμων τομέων (Werner, 1998). Ενδεικτικά αναφέρεται το γεγονός ότι οι μικρές βλάβες που εκδηλώθηκαν στο λιμάνι του Richmond κατά την διάρκεια του σεισμού της Loma Prieta (17/10/1989, Ms=7,1) αποκαταστάθηκαν πλήρως σε 48 ώρες και το λιμάνι λειτουργούσε κανονικά (EERI, 1990, Ferritto, 1997), ενώ οι μέτριες στάθμης βλάβες που σημειώθηκαν στο λιμάνι του Los Angeles κατά τη διάρκεια του σεισμού του Northridge (17/1/1994, M=6,7), κυρίως λόγω εκδήλωσης φαινομένων ρευστοποίησης (EERI, 1995), αποκαταστάθηκαν σε ικανοποιητικό βαθμό στις πρώτες πέντε ημέρες μετά το σεισμό με στόχο την προσωρινή επαναλειτουργία του λιμένα.

Αντίθετα, στο σεισμό του Hyogo-ken Nanbu (Kobe) (17/1/1995, Mw=7,2) σημειώθηκαν σημαντικές βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες άμεσες και έμμεσες απώλειες (Chang, 2000). Η έκταση των βλαβών στο λιμάνι του Kobe ήταν τόσο μεγάλη, ώστε ακόμη και δυο χρόνια μετά το σεισμό, οι επιδιορθώσεις δεν είχαν ολοκληρωθεί. Στο διάστημα αυτό, η ναυτιλιακή κίνηση οδηγούνταν σε άλλα λιμάνια. Το κόστος για την αποκατάσταση της λειτουργικότητας του λιμανιού, δηλαδή της αποκατάστασης των δομικών αστοχιών, εκτιμάται σε 560 δισεκ. γερ (Kitagawa and Hiraishi, 2004). Στο Σχήμα 12 απεικονίζεται η πορεία αποκατάστασης στο λιμάνι

του Kobe (η αποκατάσταση εκφράζεται σε όρους των εγκαταστάσεων που βρίσκονται σε λειτουργία ως ποσοστό των εγκαταστάσεων πριν τον σεισμό, ή κίνησης ως ποσοστό της αντίστοιχης κίνησης του μήνα που έγινε ο σεισμός). Όπως φαίνεται από το Σχήμα 12, οι υπηρεσίες που σχετίζονται με την ναυτιλιακή κίνηση (κανονικά προγραμματισμένα δρομολόγια πλοίων) αποκαταστάθηκαν πιο γρήγορα σε σχέση με τις λοιπές εγκαταστάσεις. Το γεγονός αυτό αποδίδεται εν μέρει στην εγκατάσταση 24ώρων υπηρεσιών και εν μέρει στην αυξημένη δυναμικότητα του λιμανιού πριν το σεισμό.

Για την αποτίμηση του χρόνου αποκατάστασης των λιμενικών εγκαταστάσεων μετά από έναν σεισμό ο ATC-13 (1985) είχε αρχικά προτείνει χρόνους αποκατάστασης που αντιστοιχούν στην επίτευξη του 30, 60 και 100% της λειτουργικότητας της κάθε συνιστώσας, για τις διάφορες στάθμες βλάβης, μέσω ερωτηματολογίων προς ειδικούς εμπειρογνώμονες για την περιοχή της Καλιφόρνια στις Η.Π.Α. Στη συνέχεια ο ATC-25 (1991) βελτίωσε αυτά τα στοιχεία ώστε να είναι εφαρμόσιμα στο σύνολο των Η.Π.Α. Πιο πρόσφατα, τα παραπάνω στοιχεία ενσωματώθηκαν και προσαρμόστηκαν κατάλληλα, υπό τη μορφή καμπυλών αποκατάστασης, στο λογισμικό HAZUS (NIBS, 2004).

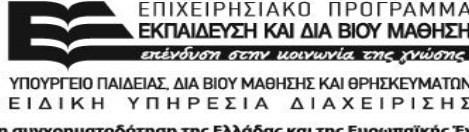


Σχήμα 12. Πορεία αποκατάστασης στο λιμάνι του Kobe μετά τον σεισμό του 1995 (Chang, 2000)

Οι καμπύλες αποκατάστασης για το λιμένα Θεσσαλονίκης καθορίστηκαν σε συνεργασία με τον ΟΛΘ, και ύστερα από την σχετική αξιολόγηση και προσαρμογή των χρόνων αποκατάστασης



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

που προτείνονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Όπου ήταν εφικτό λήφθηκαν υπόψη η οργάνωση, το επίπεδο επιχειρησιακής ετοιμότητας και η υλικοτεχνική υποδομή, οι διαθέσιμες τεχνικές και η τοπική εμπειρία.

Με τον όρο αποκατάσταση θεωρείται η επαναφορά του εξεταζόμενου στοιχείου στην αρχική, πριν το σεισμό, κατάσταση (ποσοστό λειτουργίας 100%) με την υλοποίηση των οριστικών μέτρων επέμβασης. Κατά κανόνα, ο χρόνος που χρειάζεται για την αποκατάσταση ενός στοιχείου που έχει υποστεί καθολικές βλάβες είναι μεγαλύτερος από αυτόν που απαιτείται για την ανακατασκευή του. Για την εξαγωγή των καμπυλών αποκατάστασης έγιναν οι εξής παραδοχές:

- Ο χρόνος μετράται από την στιγμή που θα αρχίσουν οι εργασίες αποκατάστασης.
- Ο χρόνος που απαιτείται για την καταγραφή των βλαβών, την εκπόνηση μελετών, δημοπρατήσεις και αναθέσεις έργων δε λαμβάνεται υπόψη (πρόκειται για πολύ ευμετάβλητη παράμετρο).
- Θεωρείται ότι υπάρχουν πάντοτε διαθέσιμα τα απαραίτητα κονδύλια, καθώς και το εργατικό δυναμικό για την εκτέλεση των εργασιών.
- Ενδεχόμενες καθυστερήσεις στην έναρξη των εργασιών λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ δικτύων δε λαμβάνεται υπόψη (για παράδειγμα οι δυσκολίες πρόσβασης των συνεργείων λόγω βλάβης στο οδικό δίκτυο).

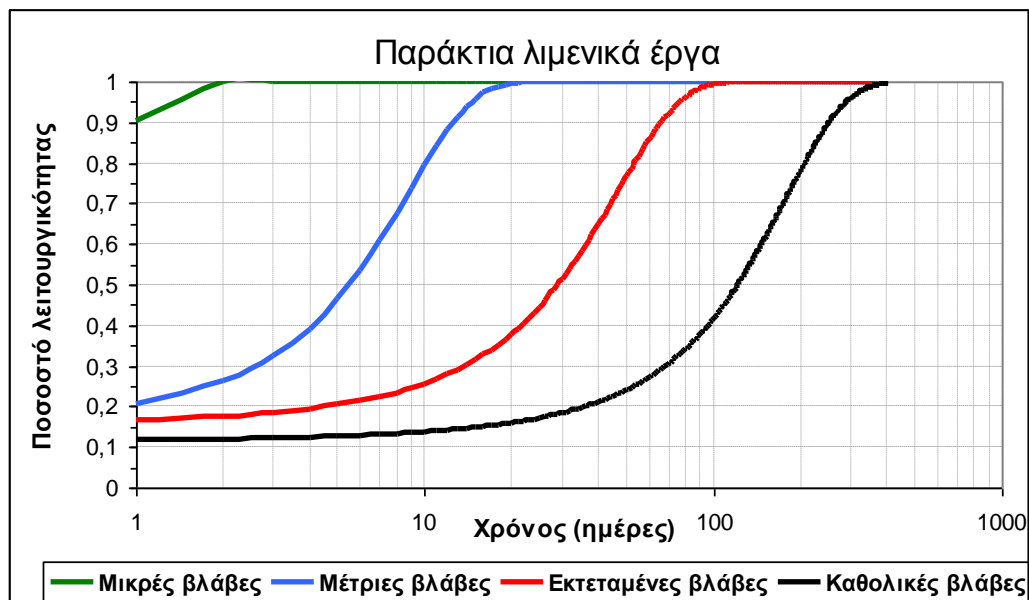
Με την εφαρμογή των καμπυλών αποκατάστασης, σε συνδυασμό με τις προκαθορισμένες προτεραιότητες επέμβασης για τις υποδομές του λιμένα Θεσσαλονίκης, προσδιορίζονται τα ποσοστά αποκατάστασης σε καθορισμένες χρονικές περιόδους από την έναρξη των εργασιών, περιγράφοντας έτσι το ρυθμό επαναφοράς της λειτουργικότητάς τους.

Παράκτια λιμενικά έργα

Οι καμπύλες αποκατάστασης για τα παράκτια λιμενικά έργα/ κρηπιδότοιχους εκφράζονται ως συνεχείς συναρτήσεις κανονικής σωρευτικής κατανομής με τη βοήθεια δύο παραμέτρων (διάμεσος τιμή και τυπική απόκλιση) για κάθε στάθμη βλάβης. Οι μέσοι χρόνοι αποκατάστασης για κάθε στάθμη βλάβης ορίστηκαν σε συνεργασία με τον ΟΛΘ. Ο Πίνακας 12 δίνει τις τιμές των παραμέτρων, ενώ στο Σχήμα 13 δίνονται υπό τη μορφή γραφήματος, όπου ο άξονας του χρόνου είναι σε λογαριθμική κλίμακα.

Πίνακας 12. Παράμετροι καμπυλών αποκατάστασης για παράκτια λιμενικά έργα

Παράκτια λιμενικά έργα	Κανονική κατανομή		Ποσοστό λειτουργικότητας %				
	Διάμεσος τιμή (ημέρες)	σ	1 ημέρα	3 ημέρες	7 ημέρες	30 ημέρες	90 ημέρες
Καθολικές βλάβες	122,00	102,00	12	12	13	18	38
Εκτενείς βλάβες	29,00	29,00	17	19	22	51	98
Μέτριες βλάβες	5,50	5,50	21	33	61	100	100
Μικρές βλάβες	0,70	0,23	90	100	100	100	100



Σχήμα 13. Καμπύλες αποκατάστασης για παράκτια λιμενικά έργα του ΟΛΘ (κρηπιδότοιχοι)

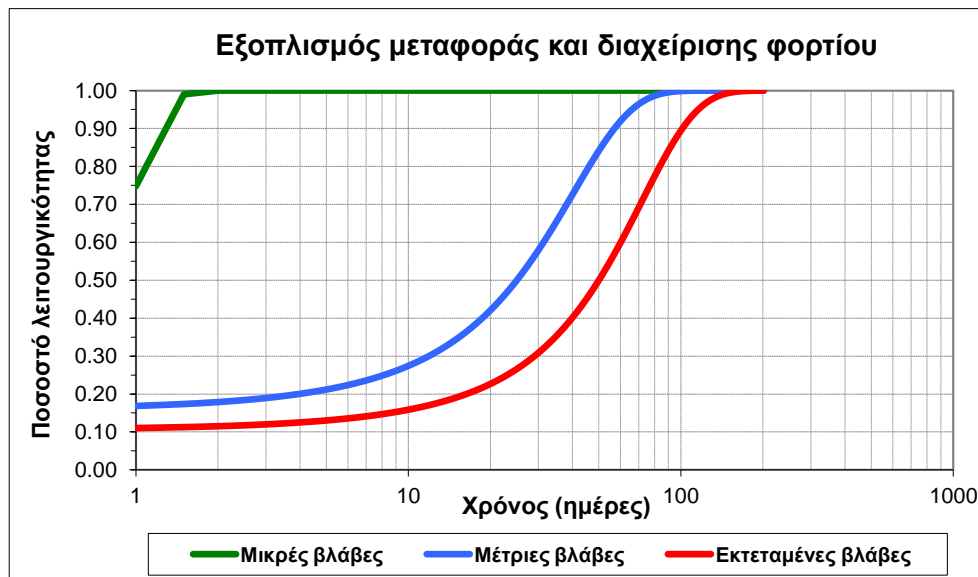
Για την εκτίμηση του ρυθμού αποκατάστασης των βλαβών των παράκτιων λιμενικών έργων θεωρήθηκε ότι σε κάθε χρονική στιγμή εργάζεται ένα συνεργείο σε τμήμα αποβάθρας μήκους περίπου 200 m. Η αποκατάσταση των βλαβών ξεκινά από τα στοιχεία 1^{ης} προτεραιότητας και συνεχίζεται στα στοιχεία 2^{ης} προτεραιότητας, λαμβάνοντας υπόψη και τη χωρική τους κατανομή, ώστε η αποκατάσταση να έχει μία χωρική συνέχεια. Με την ίδια λογική συνεχίζεται η πορεία αποκατάστασης και των στοιχείων 3^{ης} και 4^{ης} προτεραιότητας.

Εξοπλισμός μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου

Ο Πίνακας 13 δίνει τις τιμές των παραμέτρων, ενώ στο Σχήμα 14 δίνονται υπό τη μορφή γραφήματος, όπου ο άξονας του χρόνου είναι σε λογαριθμική κλίμακα. Ειδικά για την περίπτωση των καθολικών βλαβών, η εμπειρία έχει δείξει ότι βλάβες αυτού του τύπου και έκτασης οδηγούν σε ανάγκη αντικατάστασης του εξοπλισμού, λόγω του ιδιαίτερα μεγάλου κόστους που απαιτείται για την επισκευή του.

Πίνακας 13 Παράμετροι καμπυλών αποκατάστασης για τον εξοπλισμό μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου

Εξοπλισμός μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου	Κανονική κατανομή		Ποσοστό λειτουργικότητας %					
	Στάθμη βλάβης	Διάμεσος τιμή (ημέρες)	σ	1 ημέρα	3 ημέρες	7 ημέρες	30 ημέρες	90 ημέρες
Εκτενείς βλάβες		50,0	40,0	11	12	14	31	84
Μέτριες βλάβες		25,0	25,0	17	19	24	58	100
Μικρές βλάβες		0,80	0,3	75	100	100	100	100



Σχήμα 14. Καμπύλες αποκατάστασης για τον εξοπλισμό μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου



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 εκτίμηση του ρυθμού αποκατάστασης των βλαβών του εξοπλισμού διαχείρισης φορτίου θεωρήθηκε ότι σε κάθε χρονική στιγμή υπάρχει η δυνατότητα να εργάζονται ταυτόχρονα δύο συνεργεία. Η αποκατάσταση ξεκινά από τα στοιχεία 1^{ης} προτεραιότητας με τη μικρότερη στάθμη βλάβης, και ακολουθεί η αποκατάσταση των βλαβών των στοιχείων με την αμέσως μεγαλύτερη στάθμη βλάβης. Σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα του ενός στοιχεία ίδιας προτεραιότητας και ίδιας στάθμης βλάβης εξετάζεται και η ολική τους αξία, ώστε να δοθεί προτεραιότητα στο στοιχείο με τη μεγαλύτερη ολική αξία. Όταν κάποιο συνεργείο ολοκληρώσει την αποκατάσταση ενός στοιχείου 1^{ης} προτεραιότητας και δεν υπάρχει πλέον κάποιο άλλο στοιχείο 1^{ης} προτεραιότητας προς επισκευή, προχωρά στην αποκατάσταση του στοιχείου 2^{ης} προτεραιότητας με τη μικρότερη στάθμη βλάβης και τη μεγαλύτερη ολική αξία, ακόμα και αν δεν έχει ολοκληρωθεί η αποκατάσταση όλων των στοιχείων 1^{ης} προτεραιότητας. Με την ίδια λογική γίνεται και η αποκατάσταση των στοιχείων 3^{ης} και 4^{ης} προτεραιότητας.

6.4. Σχεδιασμός αποκατάστασης βλαβών

Δίνονται δύο παραδείγματα για το σχεδιασμό της αποκατάστασης των βλαβών στους κρηπιδότοιχους (Σχήμα 15) και γερανούς/εξοπλισμό διαχείρισης φορτίου (Σχήμα 16) στο λιμένα Θεσσαλονίκης. Τα συγκεκριμένα παραδείγματα αναφέρονται σε ένα σεισμικό σενάριο με περίοδο επαναφοράς 475 χρόνων, όπως έχει εκτιμηθεί στο πλαίσιο της Μικροζωνικής μελέτης της Θεσσαλονίκης (SRM-LIFE (2003-2007), Πιτλάκης και συν. 2008) και αναπροσαρμόσθηκε μερικώς στο πλαίσιο του παρόντος ερευνητικού προγράμματος. Οι αναμενόμενες βλάβες έχουν υπολογισθεί μέσω καμπυλών τρωτότητας που συσχετίζουν τη σεισμική ένταση (π.χ. σε όρους μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης ή μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης από ρευστοποίηση) με την πιθανότητα εμφάνισης μικρών, μέτριων ή εκτεταμένων βλαβών (βλ. Παραδοτέα 8.1-8.2). Ανάλογα μπορούν να προσαρμοσθούν και σε άλλα σεισμικά σενάρια. Οι επιμέρους συνιστώσες ταξινομούνται σε κατηγορίες σπουδαιότητας σύμφωνα με τους δείκτες σπουδαιότητας που περιγράφονται στο υποκεφάλαιο 6.1 του παρόντος κεφαλαίου. Οι προτεραιότητες αποκατάστασης προκύπτουν από το συνδυασμό του βαθμού βλάβης και της κατηγορίας σπουδαιότητας κατά την περίοδο κρίσης (βλ. 6.2). Ο χρόνος και ο ρυθμός των εργασιών αποκατάστασης προκύπτουν μέσω των καμπυλών αποκατάστασης και των υποθέσεων (διαθέσιμα συνεργεία, σειρά αποκατάστασης κτλ.) που περιγράφονται στο υποκεφάλαιο 6.3.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



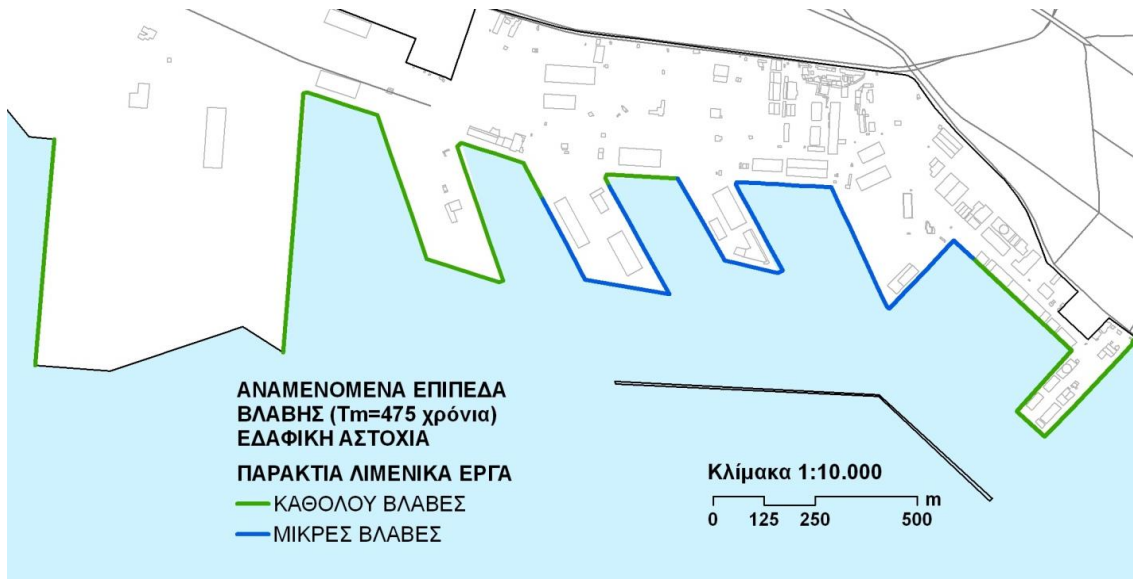
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

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)



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



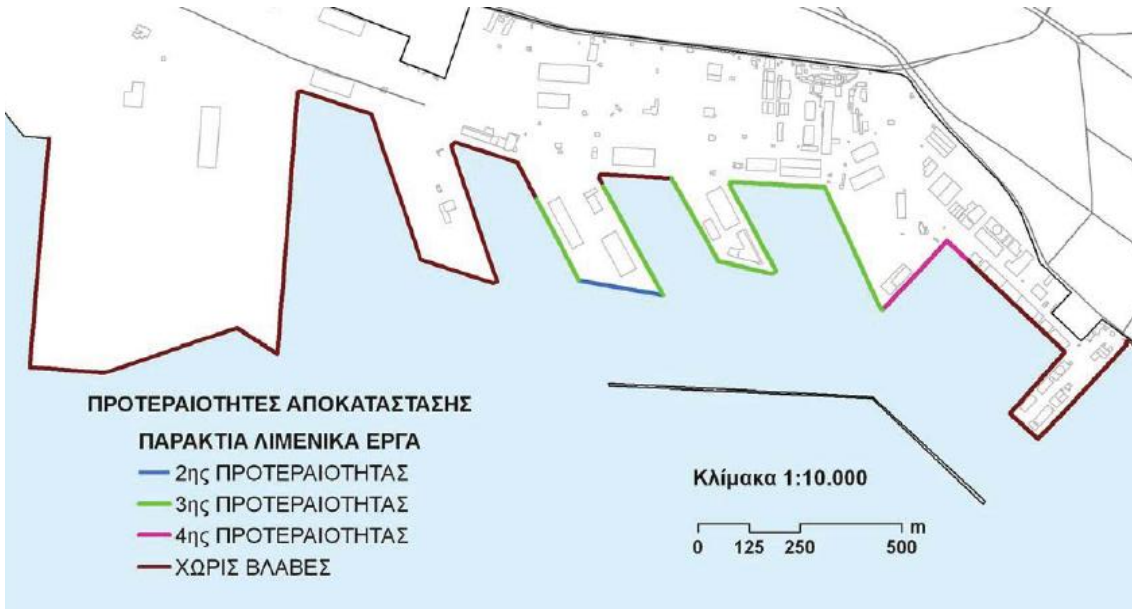
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

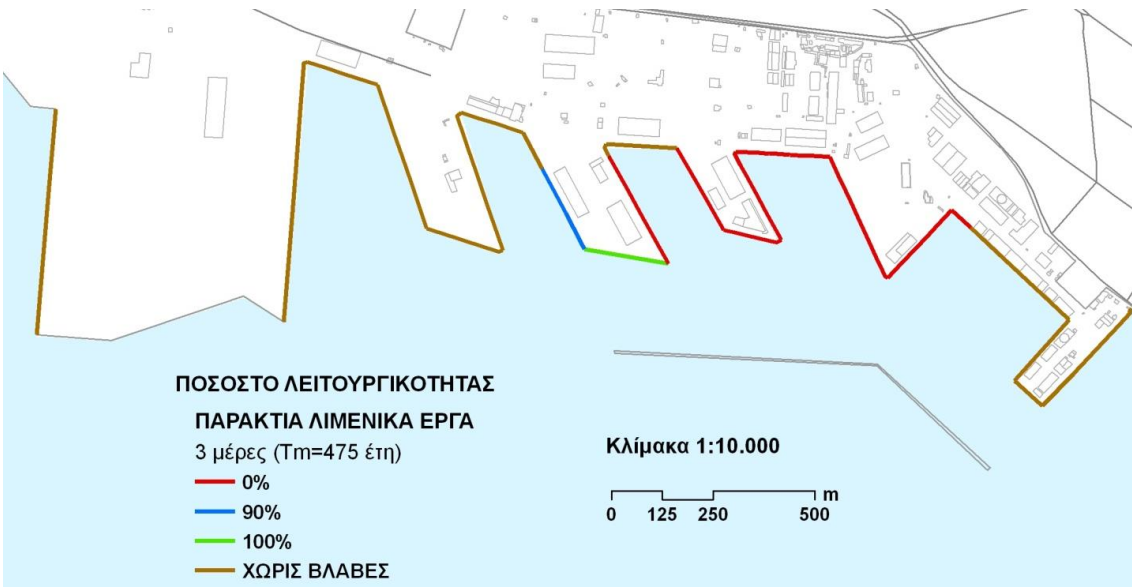
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



γ)



δ)



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



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

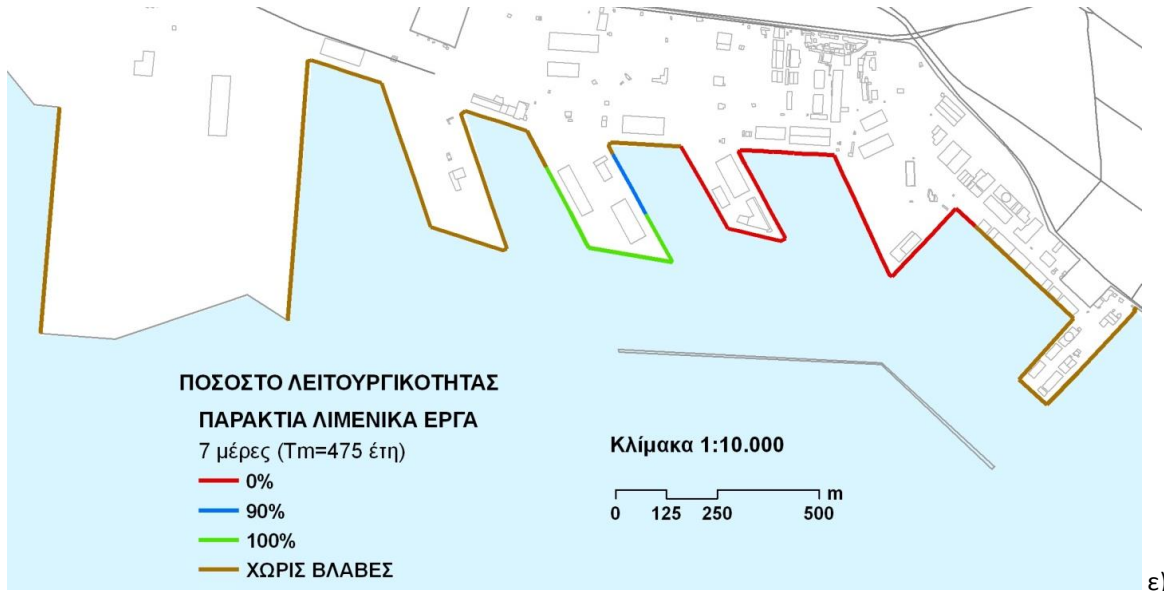
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



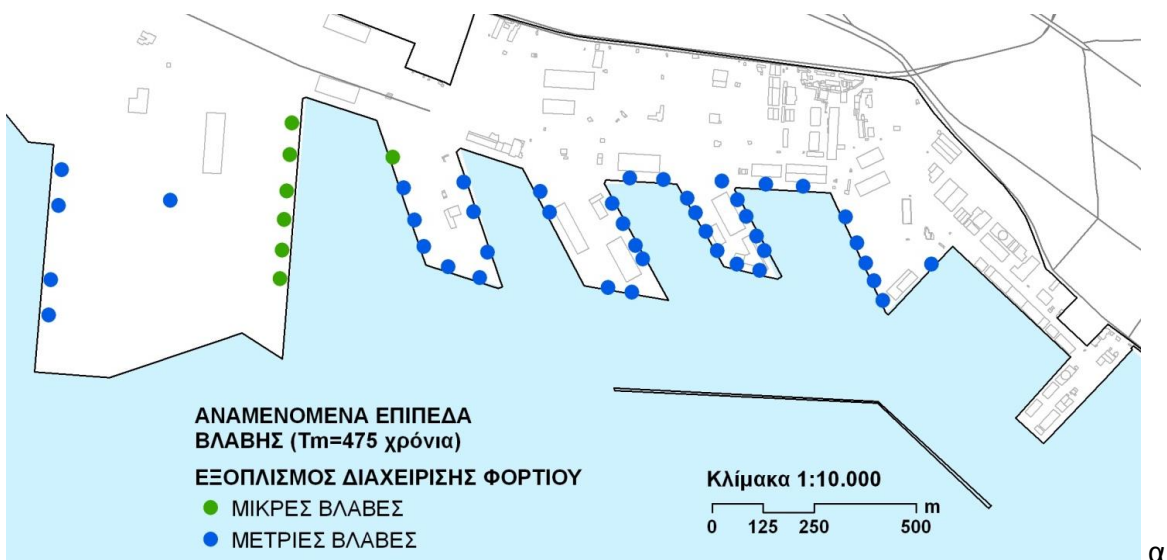
ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη

ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ε)

Σχήμα 15. Παράδειγμα σχεδιασμού της αποκατάστασης βλαβών στους κρηπιδότοιχους λιμένα Θεσσαλονίκης. α) Αναμενόμενες βλάβες λόγω εδαφικής αστοχίας (ρευστοποίηση) για ένα σεισμικό σενάριο με περίοδο επαναφοράς 475 έτη. β) Ιεράρχηση της σπουδαιότητας. γ) Προτεραιότητες αποκατάστασης. δ-ε) Πορεία αποκατάστασης βλαβών σε 3 και 7 ημέρες μετά το σεισμό. Η αποκατάσταση των βλαβών ολοκληρώνεται σε 24 ημέρες



α)



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)



γ)



δ)



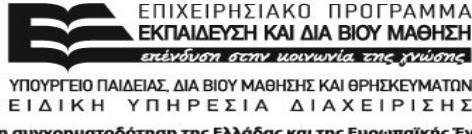
ε)

Σχήμα 16. Παράδειγμα σχεδιασμού της αποκατάστασης βλαβών στον εξοπλισμό μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου λιμένα Θεσσαλονίκης. α) Αναμενόμενες βλάβες λόγω εδαφικής ταλάντωσης και εδαφικής αστοχίας (ρευστοποίηση) για ένα σεισμικό σενάριο με περίοδο επαναφοράς 475 έτη. β) Ιεράρχηση της σπουδαιότητας. γ) Προτεραιότητες αποκατάστασης. δ-ε) Πορεία αποκατάστασης βλαβών σε 3 και 18 μήνες μετά το σεισμό

7 Συμπεράσματα

Στο παρόν Παραδοτέο περιγράφηκε ένα ολοκληρωμένο σχέδιο διαχείρισης εκτάκτων αναγκών σε λιμενικό σύστημα και παρουσιάστηκε μια πιλοτική εφαρμογή για την περίπτωση του λιμένα της Θεσσαλονίκης. Προς τούτο χρησιμοποιήθηκε τεχνογνωσία προηγούμενων ερευνητικών προγραμμάτων του Εραγστηρίου η οποία προσαρμόσθηκε στα νέα δεδομένα του παρόντος ερευνητικού προγράμματος.

Αρχικά παρουσιάστηκε το γενικότερο πλαίσιο της μεθοδολογίας επιλογής των μέτρων προσεισμικής επέμβασης για την ενίσχυση των εκτιθέμενων σε κίνδυνο στοιχείων (λιμενικές εγκαταστάσεις, κτίρια, υποδομές, δίκτυα). Στη συνέχεια καθορίστηκαν οι κύριες συνιστώσες κάθε δικτύου μέσω της βαθμολόγησης της σπουδαιότητας των εκτιθέμενων σε κίνδυνο στοιχείων και εκτιμήθηκαν οι καμπύλες αποκατάστασης για κάθε στοιχείο ως συνάρτηση της λειτουργικότητας και του χρόνου αποκατάστασης για τις διάφορες στάθμες βλαβών. Τέλος, παρουσιάστηκε μια εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή αυτή περιλάμβανε την ιεράρχηση της σπουδαιότητας των επιμέρους υποδομών, την ιεράρχηση των προτεραιοτήτων επέμβασης, την εκτίμηση του χρόνου αποκατάστασης βλαβών και το σχεδιασμό επεμβάσεων. Το συγκεκριμένο παράδειγμα επικεντρώθηκε στις πιο σημαντικές υποδομές του λιμένα, που είναι οι κρηπιδότοιχοι και οι γερανοί/εξοπλισμός διαχείρισης φορτίων και αφορούσε σε ένα σεισμικό σενάριο με περίοδο επαναφοράς 475 έτη.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Βιβλιογραφία

- Applied Technology Council (ATC) (1985). "Earthquake damage evaluation data for California", Report No: ATC-13, Redwood City, CA.
- Applied Technology Council (ATC) (1991). "Seismic vulnerability and impact of disruption of lifelines in the conterminous United States", Report No: ATC-25, Redwood City, CA.
- Chang S.E. (2000), "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.
- Chang S.E., Rose A, Shinozuka M., Svekla W., Tierney K.J. (2000). "Modeling Earthquake Impact on Urban Lifeline Systems: Advances and Integration", Research Progress and Accomplishments 1999-2000, MCEER.
- Chang S.E., Shinozuka M., Svekla W. (1999) "Modeling post – disaster urban lifeline restoration", in W.M. Elliott and P. McDonough, eds. Optimizing Post Earthquake Lifeline System Reliability: Proceedings of the 5th U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering, ASCE Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering Monograph (16), 602-611.
- Chang S.E., Svelka W.D., Shinozuka M. (2002). "Linking infrastructure and urban economy: simulation of water-disruption impacts in earthquakes", Environment and Planning B: Planning and Design 2002, 29, 281-301.
- Crichton D. (1999). "The Risk Triangle", in J. Ingleton, Ed., Natural Disaster Management, London: Tudor Rose, pp. 102-103.
- Earthquake Engineering Research Institute (EERI) (1990). "Loma Prieta earthquake reconnaissance report", Earthquake Spectra, Supplement to Vol.6, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA.
- Earthquake Engineering Research Institute (EERI) (1995). "Northridge earthquake of January 17, 1994 Reconnaissance Report", Earthquake Spectra, Supplement C to Volume 11, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA.
- Ferritto, J.M. (1997). "Seismic design criteria for lifelines", Naval Facilities Engineering Service Center, Technical Report.
- Kakderi, K. and K. Pitilakis (2011). "Seismic performance and reliability of port facilities – The case of Thessaloniki (Greece)", Proceedings of 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Santiago, Chile.



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

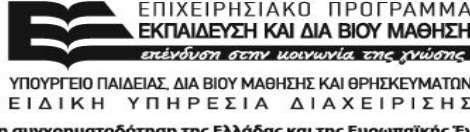


ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

- Kitagawa, Y. and H. Hiraishi (2004). “Overview of the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake and proposals for earthquake mitigation measures”, Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, Vol. 4, Special Issue No. 3, pp. 184-194.
- National Institute of Building Sciences (NIBS) (2004). “Earthquake loss estimation methodology”, HAZUS Technical manuals, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Nojima N., Ishikawa Y., Okumura T., Sugito M. (2001). “Empirical estimation of lifeline outage time in seismic disaster”, Proceedings of U.S.-Japan Joint Workshop and Third Grantee Meeting, U.S.-Japan Cooperative Research on Urban Earthquake Disaster Mitigation, 516-517, Seattle, WA.
- Pitilakis, K. and K. Kakderi (2011a). “Seismic risk assessment and management of lifelines, utilities and infrastructures”, Proceedings of 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Santiago, Chile.
- Pitilakis, K. and K. Kakderi (2011b). “Seismic risk assessment and management of lifelines, utilities and infrastructures”, Proceedings of 4th Japan – Greece Workshop on Seismic Design of Foundations, Innovations in Seismic Design, and Protection of Cultural Heritage, Kobe, Japan.
- Pitilakis, K., A. Anastasiadis, K. Kakderi, M. Alexoudi and S. Argyroudis (2010). “The role of soil and site conditions in the vulnerability and risk assessment of lifelines and infrastructures. The case of Thessaloniki (Greece)”, Proceedings of Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honour of Professor I. M. Idriss, San Diego, CA, paper No. SPL.13
- Pitilakis, K., A. Anastasiadis, K. Kakderi, S. Argyroudis and M. Alexoudi (2007). “Vulnerability assessment and risk management of lifelines, infrastructures and critical facilities. The case of Thessaloniki’ s Metropolitan area”, Proceedings of 4th International Conference on Geotechnical Earthquake Engineering, Thessaloniki, Greece, paper No. 1774.
- SRM-LIFE, (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).
- UNDRO (United Nations Disaster Relief Coordinator) (1979). “Natural Disasters and Vulnerability Analysis: Report of Expert Group Meeting”, Office of United Nations Disaster Relief Organization (UNDRO), Palais des Nations, CH-1211 Geneva 10, Switzerland.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

- Werner, S.D. (ed.) (1998). "Seismic Guidelines for Ports", Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Monograph No. 12, ASCE, 366 p.
- Αλεξούδη Μ. (2005). «Συμβολή στην ανάλυση της σεισμικής τρωτότητας δικτύων κοινής ωφέλειας σε αστικό περιβάλλον. Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας διαχείρισης της σεισμικής διακινδύνευσης» Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- 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.
- Κακδέρη Κ, Αργυρούδης Σ, Αλεξούδη Μ, Αναστασιάδης Α και Πιτιλάκης Κ (2008). «Σενάρια Σεισμικής Διακινδύνευσης και Στρατηγικές Διαχειρίσεις της Κρίσης για τον Λιμένα Θεσσαλονίκης», 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Αθήνα, άρθρο 1938.
- Πιτιλάκης Κ, Αναστασιάδης Α, Αργυρούδης Σ, Κακδέρη Κ και Αλεξούδη Μ (2008). «Αποτίμηση Τρωτότητας και Διαχείριση Σεισμικής Διακινδύνευσης Δικτύων Κοινής Ωφέλειας, Υποδομών και Κρίσιμων Υπηρεσιών. Εφαρμογή στην Μητροπολιτική Θεσσαλονίκη.», 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Αθήνα, άρθρο 1939.