



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 2:

Ανασκόπηση Υφιστάμενων Μεθόδων Σχεδιασμού
Λιμενικών Έργων

Παραδοτέο 2.1:

Βάση δεδομένων υφισταμένων λιμένων στην Ελλάδα – αποτίμηση
της σεισμικής τρωτότητας χαρακτηριστικών περιπτώσεων

Σύνταξη: ΑΠΘ

Ιούνιος, 2014



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

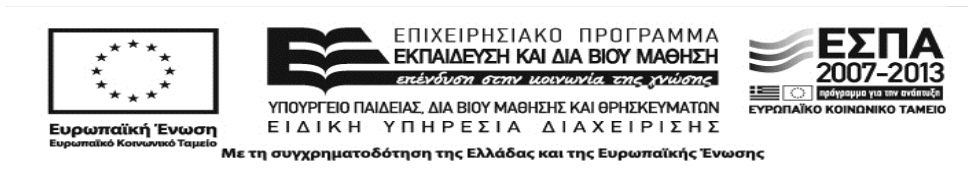
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

1	Εισαγωγή	2
2	Επισκόπηση σεισμικών βλαβών και ταξινόμηση μορφών αστοχίας λιμενικών εγκαταστάσεων και υποδομών	4
3	Επισκόπηση μεθόδων αντισεισμικού υπολογισμού – σχεδιασμού κρηπιδωμάτων	26
4	Τυπολογία παράκτιων λιμενικών έργων και λοιπών υποδομών στην Ελλάδα	43
5	Περιγραφή – βάση δεδομένων και ταξινόμηση των δικτύων και υποδομών του λιμένα Θεσσαλονίκης	55
6	Περιγραφή και ταξινόμηση υποδομών λιμένων στην Ελλάδα	69
7	Συμπεράσματα	81
	Βιβλιογραφία	



1 Εισαγωγή

Οι επιπτώσεις από την εκδήλωση σεισμικών βλαβών στις λιμενικές εγκαταστάσεις δεν σχετίζονται τόσο με την προστασία της ανθρώπινης ζωής και το κόστος αποκατάστασης των κατασκευών, όσο και με την διακοπή της λειτουργικότητας των λιμένων αμέσως μετά την εκδήλωση ενός σεισμικού γεγονότος και τις μακροπρόθεσμες συνέπειες στην οικονομία της περιοχής. Η εμπειρία από πρόσφατους μεγάλους σεισμούς (π.χ. σεισμός της Loma Prieta στις Η.Π.Α. το 1989, σεισμός του Hyogoken-Nanbu το 1995, του Tokachi-Okii το 2003 και του Tohoku το 2011 στην Ιαπωνία) έχει επιδείξει την τρωτότητα των λιμενικών εγκαταστάσεων και των συνιστωσών τους. Σοβαρές φυσικές και οικονομικές απώλειες μπορούν να προκληθούν λόγω της εδαφικής ταλάντωσης και εδαφικής αστοχίας (ρευστοποίηση εδάφους), καθώς και από την δράση θαλάσσιων σεισμικών κυμάτων (tsunami).

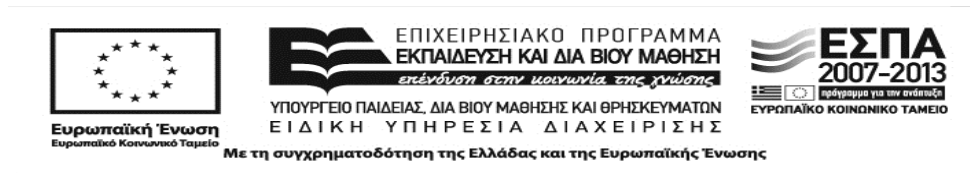
Η σεισμική απόκριση των λιμενικών εγκαταστάσεων, όπως για παράδειγμα τα παράκτια λιμενικά έργα, επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις εδαφικές μετακινήσεις και την αλληλεπίδραση εδάφους- κατασκευής, καθιστώντας πολύπλοκη την διαδικασία αποτίμησης της. Συγκεκριμένα, η σεισμική απόκριση των κατασκευών αυτών σε παλιότερους σεισμούς υποδεικνύει ότι οι παραμορφώσεις των εδαφικών σχηματισμών και των θεμελιώσεων, καθώς και οι αντίστοιχες παραμορφώσεις των δομικών στοιχείων και οι εντατικές καταστάσεις, αποτελούν τις βασικές παραμέτρους σχεδιασμού. Ορισμένα επίπεδα παραμενουσών παραμορφώσεων μπορεί να γίνονται αποδεκτά στο επίπεδο σχεδιασμού τους.

Από την άλλη, οι λιμενικές εγκαταστάσεις αποτελούν σύνθετα συστήματα, η τελική απόκριση των οποίων εξαρτάται από την συμπεριφορά των επιμέρους συνιστωσών τους. Μια ολοκληρωμένη θεώρηση για την διαχείριση της σεισμικής διακινδύνευσης κρίσιμων, αλληλεπιδρώντων δικτύων και υποδομών, όπως οι λιμενικές εγκαταστάσεις, οφείλει να λαμβάνει υπόψη τις αλληλεπιδράσεις εντός των συστημάτων και μεταξύ αυτών, καθώς και τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, την απόκρισή τους, τις μορφές αστοχίας, καθώς και το επίπεδο λειτουργίας και τους κινδύνους που προέρχονται από τις υφιστάμενες αλληλεπιδράσεις.

Στο παρόν παραδοτέο γίνεται καταρχήν επισκόπηση των σεισμικών βλαβών σε λιμενικά έργα, με ιδιαίτερη έμφαση σε σεισμούς του ευρωπαϊκού και ελληνικού χώρου. Ακολουθεί η ανασκόπηση των μεθόδων αντισεισμικού σχεδιασμού των λιμενικών εγκαταστάσεων, καθώς και των διαθέσιμων στην διεθνή βιβλιογραφία μελετών της σεισμικής τους απόκρισης. Η περιγραφή της τυπολογίας και ταξινόμησης των λιμενικών εγκαταστάσεων, συνοδεύεται από την περιγραφή και ταξινόμηση των δικτύων και υποδομών του λιμένα Θεσσαλονίκης, καθώς



και υποδομών λοιπών λιμένων στην Ελλάδα. Στα στοιχεία αυτά βασίζεται σε μεγάλο βαθμό η μελέτη της σεισμικής συμπεριφοράς και η ανάλυση της σεισμικής τρωτότητας λιμενικών εγκαταστάσεων, η ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της σεισμικής τους διακινδύνευσης, και τέλος η πρόταση ενός σχεδίου αντιμετώπισης φυσικής καταστροφής σε λιμενικό σύστημα, που αποτελούν αντικείμενα επόμενων ενοτήτων του έργου.



2 Επισκόπηση σεισμικών βλαβών και ταξινόμηση μορφών αστοχίας λιμενικών εγκαταστάσεων και υποδομών

Η εμπειρία από προηγούμενους σεισμούς κατέδειξε ότι η εκδήλωση σεισμικών απωλειών στις λιμενικές εγκαταστάσεις και τις συνιστώσες αυτών μπορεί να επιφέρει σημαντικές επιδράσεις στην λειτουργικότητα των λιμένων, με αρνητικές επιπτώσεις σε ολόκληρη την οικονομία της περιοχής. Μάλιστα, σημαντικές απώλειες είναι δυνατό να εκδηλωθούν όχι μόνο υπό την επίδραση ισχυρών σεισμικών διεγέρσεων, αλλά και υπό την επιβολή μετρίων επιπέδων σεισμικής έντασης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το λιμάνι του Oakland στον σεισμό της Loma Prieta το 1989 και το λιμάνι του Kobe στον σεισμό του Hyogo-ken Nanbu (Kobe) το 1995, όπου οι απώλειες λόγω σεισμού οδήγησαν σε εκτεταμένες οικονομικές απώλειες, αλλά και επιπτώσεις στην οικονομία σε τοπικό, εθνικό ακόμα και διεθνές επίπεδο (Werner et al. 1999). Στην διεθνή βιβλιογραφία, υπάρχει μεγάλος αριθμός αναφορών σχετικά με την εκδήλωση σεισμικών βλαβών σε λιμενικές εγκαταστάσεις, κυρίως μετά από σεισμούς στις Η.Π.Α. και την Ιαπωνία. Στην Ευρώπη, παρόμοιες παρατηρήσεις είναι σχετικά περιορισμένες, παρά το γεγονός ότι η πλειοψηφία των λιμενικών εγκαταστάσεων συναντώνται σε ζώνες μέτριας έως υψηλής διακινδύνευσης, σύμφωνα με τους εθνικούς αντισεισμικούς κανονισμούς (Borg and Lai 2007).

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται οι κυριότερες βλάβες των επιμέρους συνιστωσών των λιμενικών εγκαταστάσεων κατά τη διάρκεια σεισμικών διεγέρσεων ανά τον κόσμο, καθώς και η ταξινόμηση των πιθανών μορφών αστοχίας ανά συνιστώσα. Ξεχωριστή περιγραφή γίνεται για την απόκριση των λιμενικών εγκαταστάσεων σε σεισμούς του ελληνικού χώρου.

A. Παράκτια λιμενικά έργα

Μια από τις κύριες αιτίες εμφάνισης σεισμικών βλαβών των παράκτιων λιμενικών έργων εκτός από την εδαφική ταλάντωση, είναι και η εκδήλωση φαινομένων ρευστοποίησης, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε ιδιαίτερα σημαντικές απώλειες, τόσο στην ίδια την κατασκευή όσο και στην λειτουργία του λιμένα. Επιπλέον, η αποκατάσταση των βλαβών αποτελεί μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία (Pachakis and Kiremidjian 2004). Ως παράδειγμα, αναφέρεται το γεγονός ότι στο λιμάνι του Oakland μετά τον σεισμό της Loma Prieta, η πλήρης αποκατάσταση της λειτουργίας ενός τερματικού σταθμού διήρκεσε έξι μήνες. Η εμπειρία δείχνει ότι οι παράκτιες κατασκευές είναι συχνά επιδεκτικές στην εκδήλωση εδαφικής αστοχίας λόγω σεισμού (Σχήματα 2.1, 2.2). Οι μόνιμες εδαφικές παραμορφώσεις λόγω πλευρικής εξάπλωσης (lateral spreading) των ρευστοποιήσιμων εδαφών μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές

βλάβες στα παράκτια λιμενικά έργα, σύμφωνα με τις παρατηρήσεις από παλαιότερους σεισμούς, όπως του Hyogo-ken Nanbu (Kobe) το 1995 (Σχήματα 2.3, 2.4) και του Nisqually το 2001, ακόμα και υπό την επίδραση μέσων επιπέδων σεισμικής έντασης (Werner 1998). Η εκδήλωση ρευστοποίησης των εδαφικών υλικών του επιχώματος και της θεμελίωσης αποτέλεσε την κύρια αιτία εκδήλωσης βλάβης σε κρηπιδότοιχους βαρύτητας κατά την διάρκεια πολλών σεισμικών διεγέρσεων, όπως το 1964 στο λιμάνι της Niigata, το 1993 στο Kushiro-oki και το 1994 στο Hokkaido Toho-oki (Na et al. 2009), καθώς και στο σεισμό του Hyogo-ken Nanbu (Kobe) το 1995 (Iai and Sugano 2000, Werner and Dickenson 1996). Σημαντικές ήταν και οι βλάβες που εκδηλώθηκαν στο λιμάνι του Sendai κατά την διάρκεια του πρόσφατου σεισμού του Tohoku (Great East Japan) το 2011 (TCLEE 2012), με τις σημαντικότερες απώλειες να εκδηλώνονται σε περιοχές εκχερσώσεων λόγω εκδήλωσης φαινομένων ρευστοποίησης (Σχήματα 2.5, 2.6). Σημειώνεται ότι στο συγκεκριμένο σεισμό πολύ σημαντικές ήταν και οι επιπτώσεις λόγω του σεισμογενούς θαλάσσιου κυματισμού (tsunami), με σοβαρές βλάβες να εκδηλώνονται στις παράκτιες κατασκευές και κυρίως τους κυματοθραύστες και άλλα τεχνικά έργα, αλλά και ιδιαίτερα μεγάλες απώλειες στις λιμενικές εγκαταστάσεις και τις παράκτιες περιοχές (Kazama and Noda 2012).



Σχήμα 2.1. Βλάβες σε κρηπιδότοιχους στην ναυτική βάση του Golcück κατά τη διάρκεια του σεισμού του Izmit (Kocaeli) το 1999.



Σχήμα 2.2. Καθίζηση πίσω από κρηπιδότοιχο διατομής κιβωτίου που υπέστη πλευρική μετακίνηση στο λιμάνι Taichung κατά τη διάρκεια του σεισμού του Chi-Chi το 1999.



Σχήμα 2.3. Ιδιαίτερα εκτεταμένες καθιζήσεις του επιχώματος πίσω από κρηπιδότοιχους κατά τη διάρκεια του σεισμού του Hyogo-ken Nanbu (Kobe) το 1995.



Σχήμα 2.4. Ανατροπή και εκτεταμένη κλίση κρηπιδότοιχων κατά τη διάρκεια του σεισμού του Hyogo-ken Nanbu (Kobe) το 1995.



Σχήμα 2.5. Πλευρική εξάπλωση πίσω από τους κρηπιδότοιχους κατά μήκος της αρχικής ακτογραμμής κατά τη διάρκεια του σεισμού του Tohoku (Great East Japan) το 2011 (Percher 2014).



Σχήμα 2.6. Σημαντική κατακόρυφη καθίζηση πίσω από κρηπιδότοιχο κατά τη διάρκεια του σεισμού του Tohoku (Great East Japan) το 2011 (Percher 2014).



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



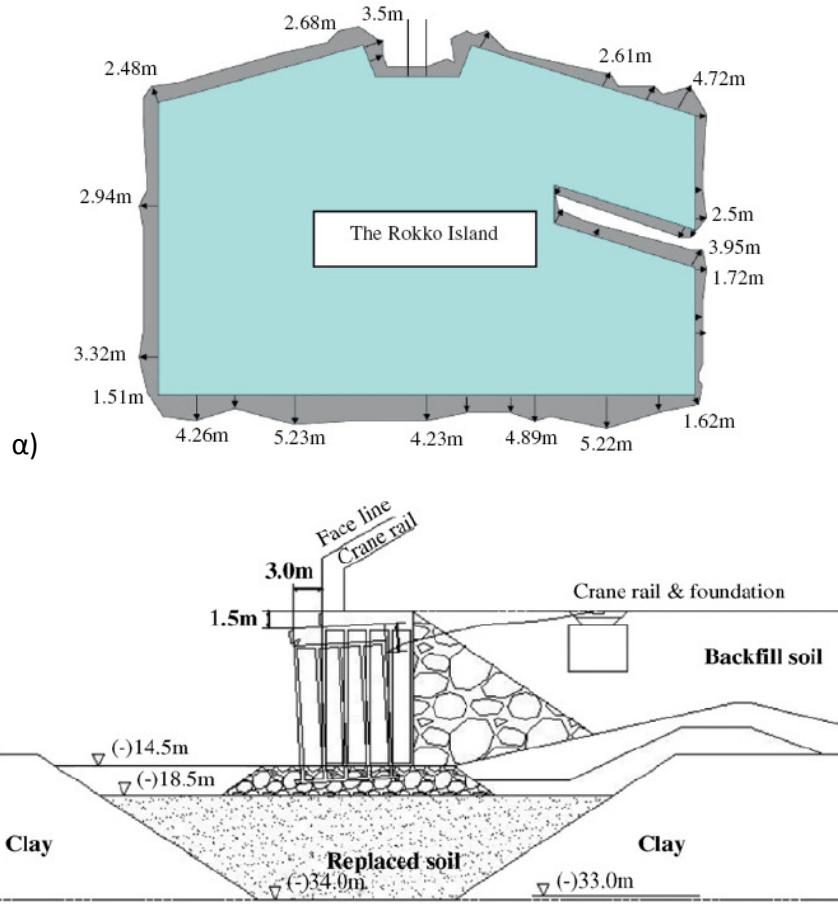
ΕΣΠΑ
2007-2013
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Σχήμα 2.7. Καθίζηση του επιχώματος στο λιμάνι της Derince κατά την διάρκεια του σεισμού του Izmit (Kocaeli) το 1999.

Σε άλλες περιπτώσεις, μέτριες έως σημαντικές βλάβες σημειώθηκαν χωρίς την εμφάνιση ενδείξεων ρευστοποίησης στην περιοχή. Ενδεικτικά αναφέρεται η περίπτωση κρηπιδότοιχου βαρύτητας στο λιμάνι του Aomori, που υπέστη ολίσθηση και καθίζηση ίση με 40cm κατά την διάρκεια του σεισμού του Tokachi-Oki το 1968 στην Ιαπωνία λόγω αυξημένων πλευρικών ωθήσεων του επιχώματος (Werner 1998), καθώς και η καθίζηση του επιχώματος σε μια θέση στο λιμάνι της Derince κατά την διάρκεια του σεισμού του Izmit (Kocaeli) το 1999 (Σχήμα 2.7).

Η σεισμική απόκριση των παράκτιων λιμενικών έργων καθορίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες. Παλαιότερα σεισμικά γεγονότα έχουν καταδείξει ότι η σεισμική συμπεριφορά των λιμενικών εγκαταστάσεων, όπως των κρηπιδότοιχων, επηρεάζεται σημαντικά από τις ιδιότητες των εδαφικών υλικών. Πράγματι, κατά την διάρκεια του σεισμού του Hyogo-ken Nanbu (Kobe) το 1995, κρηπιδότοιχοι διατομής κιβωτίου ακριβώς ίδιας διαμόρφωσης, τοποθετημένοι σε στενή εγγύτητα με παρόμοιες μέσες εδαφικές ιδιότητες, υπέστησαν σημαντικά διαφορετικά επίπεδα βλάβης. Η διακύμανση αυτή της απόκρισης των κρηπιδότοιχων γίνεται φανερή από τις τιμές των παραμενουσών οριζόντιων μετακινήσεων (residual horizontal displacements - RHD), οι οποίες καταγράφηκαν κατά την διάρκεια επιτόπου ερευνών μετά τον σεισμό του Hyogo-ken Nanbu (Kobe) (Inatomi et al. 1997) και απεικονίζονται στο Σχήμα 2.8α. Το Σχήμα 2.8β δείχνει μια τυπική διατομή κρηπιδότοιχου στο νησί Rokko Island, στο λιμάνι του Kobe. Η σχετικά ανεπαρκής συμπεριφορά πολλών λιμένων οφείλεται κυρίως στις ανεπαρκείς συνθήκες θεμελίωσης και τα ασθενή εδαφικά υλικά των επιχωμάτων που συχνά συναντώνται σε παραθαλάσσια περιβάλλοντα.



Σχήμα 2.8. (α) Επιτόπου μετρήσεις των οριζόντιων παραμενουσών μετακινήσεων των κρηπιδότοιχων στο νησί Rokko Island στο λιμάνι του Kobe, και (β) τυπική διατομή κρηπιδότοιχου που υπέστη βλάβη κατά την διάρκεια του σεισμού.

Σεισμική απόκριση παράκτιων λιμενικών έργων στην Ελλάδα

Μετά τον σεισμό της Καλαμάτας ($M=6,0$, 13/9/1986), καταγράφηκε οριζόντια μετακίνηση του κύριου κρηπιδότοιχου του λιμένα περίπου ίση με $0,15 \pm 0,05$ m, και κλίση 4-5 μοίρες. Το επίχωμα πίσω από τον τοίχο παρουσίασε καθίζηση από 0 έως 20 cm σε απόσταση ίση με 30 – 40m, λόγω της μετακίνησης του τοίχου και λόγω της συμπύκνωσης του ίδιου του επιχώματος που βρισκόταν σε αρκετά χαλαρή αρχική κατάσταση πριν τον σεισμό (Σχήμα 2.9). Ο κρηπιδότοιχος παρέμεινε σε κατάσταση λειτουργίας τόσο κατά την διάρκεια όσο και μετά τον σεισμό (Pitilakis and Moutsakis 1989).



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

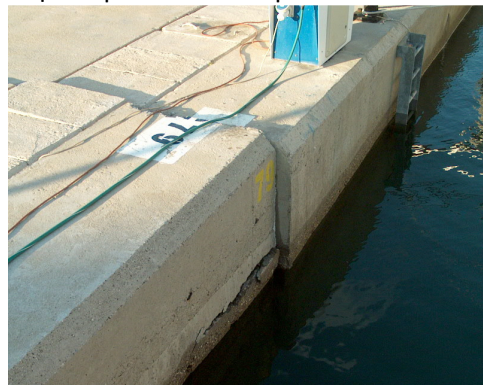


ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

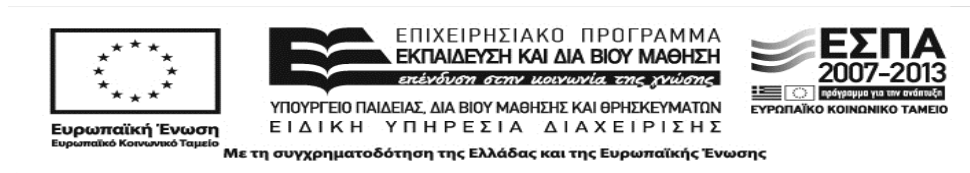
Ο σεισμός της Λευκάδας ($M=6,2$, 14/08/2003) αποτελεί ένα καλό παράδειγμα των πιθανών σεισμικών βλαβών σε παράκτιες κατασκευές, καθώς υπάρχει μεγάλος αριθμός μικρών λιμενικών εγκαταστάσεων, τυπικών για τα ελληνικά νησιά (ΙΤΣΑΚ 2003). Η μεγάλη ποικιλία του επιπέδου των άμεσων απωλειών γίνεται φανερή από τη συνολική θεώρηση της συμπεριφοράς των εγκαταστάσεων αυτών (από μικρές/ μέτριες βλάβες έως εκτεταμένες/ καθολικές) (Σχήματα 2.10, 2.17, 2.18). Η συμπεριφορά των λιμενικών έργων του νησιού (τύπος και έκταση των βλαβών, και μια πρώτη εκτίμηση της σπουδαιότητας τους με βάση το επίπεδο της λειτουργικότητας, το μέγεθος των μόνιμων εδαφικών μετακινήσεων και παραμενουσών παραμορφώσεων των τοίχων) συνοψίζεται στον Πίνακα 2.1.



Σχήμα 2.9. Βλάβες στο λιμάνι της Καλαμάτας κατά την διάρκεια του σεισμού του 1986.



Σχήμα 2.10. Βλάβες στο λιμάνι της Λευκάδας και στην περιοχή της Μαρίνας κατά την διάρκεια του σεισμού του 2003.



Στο λιμάνι της Λευκάδας, καθώς και στην περιοχή της Μαρίνας, σημειώθηκαν μικρού έως μέτριου επιπέδου βλάβες. Σε κάποιες θέσεις, η εκδήλωση φαινομένων ρευστοποίησης (σε ορισμένες περιπτώσεις μερικής) φαίνεται να αποτελεί μια από τις κύριες αιτίες πρόκλησης των βλαβών κατά την διάρκεια του σεισμού της 14/8/2003 στους κρηπιδότοιχους της πόλης της Λευκάδας (Κακδέρη κ.ά. 2006). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται σε αρκετές περιπτώσεις όπως στην περιοχή της Μαρίνας (λιμένας αναψυχής) και στην οδό Γκολέμη (εμφάνιση κρατήρων άμμου και ανάδυση λεπτόκοκκου υλικού στην επιφάνεια) (ΙΤΣΑΚ 2003, Γκαζέτας κ.ά. 2006). Βέβαια, οι παρατηρούμενες βλάβες θα πρέπει να αποδοθούν σε σημαντικό βαθμό και στις σεισμικά επιβαλλόμενες εδαφικές ωθήσεις πίσω από τους κρηπιδότοιχους (Kakderi and Pitilakis 2010). Από επιτόπου έρευνα μετά τον σεισμό, καταγράφηκαν σχετικές καθιζήσεις κατά μήκος της παραλιακής ζώνης που κυμαίνονται από 1-40 cm, καθώς και οριζόντιες μετακινήσεις των τοίχων έως 15 cm στο λιμάνι και έως 12 cm στην περιοχή της Μαρίνας. Οι τελευταίες αναφέρονται σε σχετικές μετακινήσεις μεταξύ των κρηπιδότοιχων.

Η πιο πρόσφατη περίπτωση εκδήλωσης σεισμικών βλαβών σε λιμενικές εγκαταστάσεις στον Ελλαδικό χώρο αποτελούν οι σεισμοί του Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου 2014 στο νησί της Κεφαλονιάς. Στις 26/1/2014 και 3/2/2014 δύο ισχυροί σεισμοί μεγέθους M6,1 και M6,0 διέρρηξαν το δυτικό τμήμα της Κεφαλονιάς. Εκτεταμένη ρευστοποίηση και επανα-ρευστοποίηση των εδαφικών σχηματισμών σημειώθηκε στις παράκτιες ζώνες των λιμανιών του Ληξουρίου και του Αργοστολίου (Nikolaou et al. (Eds.) 2014). Αποτέλεσμα του δεύτερου σεισμού ήταν η εκδήλωση σημαντικών βλαβών στο λιμάνι του Ληξουρίου (σημαντικές οριζόντιες μετατοπίσεις και στροφές των κρηπιδότοιχων, εκτεταμένες ρηγματώσεις των υποκείμενων επιφανειών και σημαντικές εκδηλώσεις ρευστοποίησης με ανάδυση εδαφικού υλικού και οριζόντιες εξαπλώσεις) οι οποίες παρατηρήθηκαν επανειλημμένα κατά μήκος των προβλήτων του λιμανιού συνολικού μήκους 950m (EPPO-ITSACK 2014). Χαρακτηριστικό της έντασης των βλαβών αποτελεί το μέγεθος της σχετικής μετατόπισης μεταξύ παρακείμενων κρηπιδότοιχων στο λιμάνι του Ληξουρίου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.11.

Πίνακας 2.1. Συμπεριφορά των λιμενικών εγκαταστάσεων στο νησί της Λευκάδας κατά τον σεισμό της 14/8/2003 (Κακδέρη 2011).

	Παρατηρούμενες Βλάβες	Περιοχή				
		Λιμάνι Λευκάδας	Λευκάδα-Μαρίνα	Λυγιά	Νυδρί	Βασιλική
Κρητιδίοι από μπλοκ σκυροδέματος	Ολίσθηση προς τα έξω	✓	✓	✓	✓	✓
	Κλίση	✓	✓	✓	✓	✓
	Καθίζηση	-	-	✓	✓	✓
	Ανατροπή και εκτεταμένη κλίση	-	-	✓	-	-
	Κατάρρευση	-	-	✓	-	-
	Ρηγμάτωση της ποδιάς του πεζοδρομίου	✓	✓	-	✓	✓
Ρηγμάτωση με σχετική καθίζηση του πεζοδρομίου ως προς τον τοίχο	✓	✓	-	✓	-	
Υλικά επιχώματος	Θραύση του εδάφους και ρηγμάτωση της επιφάνειας του δρόμου	✓	✓	-	✓	✓
	Ανάδυση λεπτόκοκκου υλικού από ρωγμές του εδάφους	✓	✓	-	✓	-
	Καθίζηση του επιχώματος	✓	✓	✓	✓	✓
	Διαφορική καθίζηση του εδάφους	✓	✓	✓	✓	-
	Πλευρική εδαφική μετακίνηση (lateral spreading)	-	✓	✓	✓	✓



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

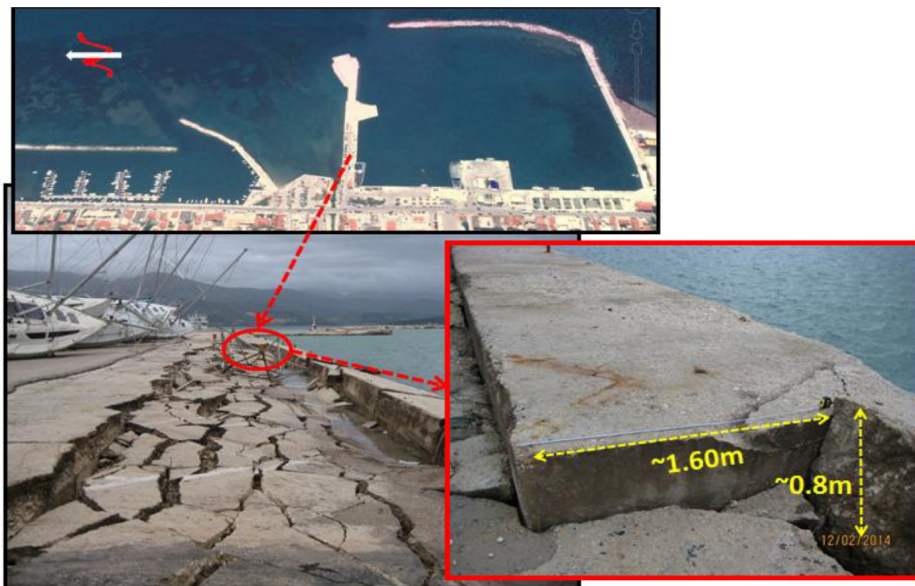
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

	Λιμάνι Λευκάδας	Λευκάδα-Μαρίνα	Λυγιά	Νυδρί	Βασιλική
Εκτιμώμενο επίπεδο βλάβης (κατά HAZUS, NIBS 2004)	Μικρές έως μέτριες βλάβες	Μικρές έως μέτριες βλάβες	Εκτεταμένες έως καθολικές βλάβες	Μικρές βλάβες	Μέτριες βλάβες
Σύντομη περιγραφή των βλαβών που παρατηρήθηκαν	Έντονες οριζόντιες μετακινήσεις (περίπου έως 15cm) και στροφές κρηπιδότοιχων για εκατοντάδες μέτρα. Καταστροφή των παρακείμενων επιστρώσεων. Σημαντικές ρηγματώσεις δρόμων και βυθίσεις σε πολλές θέσεις. Παρατηρούμενες καθιζήσεις από 1-40 cm. Μεγάλες μετακινήσεις του διαύλου Λευκάδας-Αιγίου, ρηγματώσεις του δρόμου σε μήκος μεγαλύτερο των 150m.	Μόνιμες σχετικές οριζόντιες μετακινήσεις ολόκληρου του συστήματος των κρηπιδότοιχων μέχρι και 12 cm. Παρατηρούμενες καθιζήσεις από 1-40 cm.	Κατάρρευση του κρηπιδότοιχου σε περιοχή μήκους 36 m. Οι οριζόντιες μετακινήσεις μετρήθηκαν έως και 1m (ή και περισσότερο σε ορισμένες περιπτώσεις). Προϋπάρχουσα παραμένουσα κλίση των κρηπιδότοιχων.	Εφελκυστικές ρηγματώσεις μερικά μέτρα μακριά και παράλληλα προς την γραμμή των κρηπιδότοιχων. Διαφορικές εδαφικές καθιζήσεις και στροφή των κρηπιδότοιχων σε περιορισμένη κλίμακα.	Μετακινήσεις των 20-45cm και καθιζήσεις περίπου ίσες με 15cm (κυρίως λόγω των πολύ μαλακών εδαφικών συνθηκών που είναι παρούσες στην παραλιακή ζώνη).

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των επιβαλόμενων σεισμικών βλαβών ήταν η ιδιαίτερα εκτεταμένη ανάδυση εδαφικού υλικού στην επιφάνεια λόγω ρευστοποίησης, αποτελούμενο σε ορισμένες περιπτώσεις από σχηματισμούς σημαντικού μεγέθους κόκκων άμμου (Σχήμα 2.12). Θα πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι ρευστοποίηση σημειώθηκε κυρίως μετά το δεύτερο σεισμικό γεγονός, με σημαντικά λιγότερες βλάβες αυτού του τύπου να καταγράφονται μετά τον πρώτο σεισμό (EPPO-ITSACK 2014, Nikolaou et al. (Eds.) 2014). Συνακόλουθα, παρόμοιες διαφορές ανάγονται και στη σεισμική απόκριση των παράκτιων λιμενικών έργων μετά τους δύο σεισμούς (μετατοπίσεις και καθιζήσεις του επιχώματος), ενδεικτικό της δριμύτητας του δεύτερου γεγονότος. Στο Σχήμα 2.13 απεικονίζεται ένα παράδειγμα μετατόπισης κρηπιδότοιχου στο λιμάνι του Ληξουρίου λόγω των δύο σεισμικών γεγονότων.



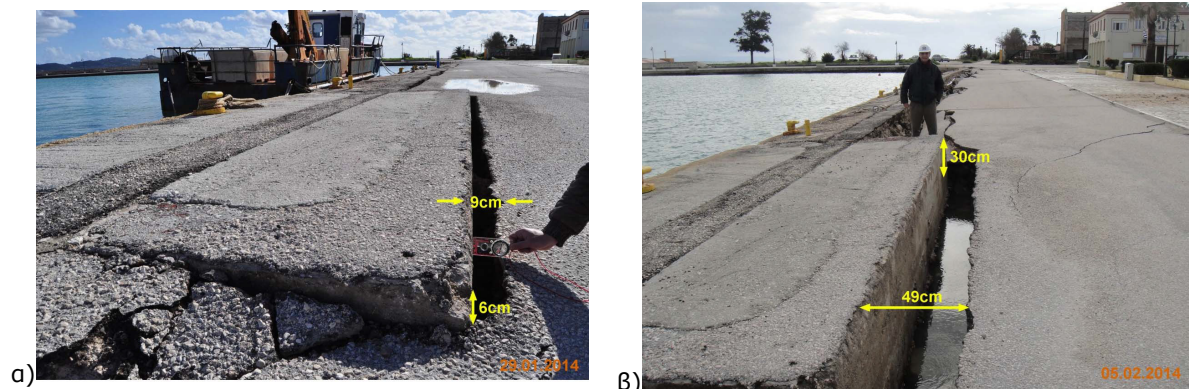
Σχήμα 2.11. Εκτεταμένη πλευρική εξάπλωση και μετατοπίσεις κρηπιδότοιχων στον κύριο προβλήτα του λιμανιού του Ληξουρίου μήκους 250m κατά τη διάρκεια του δεύτερου σεισμού της 3/2/2014 στην Κεφαλονιά (EPPO-ITSACK 2014).

Κατά τη διάρκεια της ίδιας σεισμικής ακολουθίας, βλάβες σημειώθηκαν και στο λιμάνι του Αργοστολίου, ηπιότερης όμως έντασης, ενώ και τα εκδηλωθέντα φαινόμενα ρευστοποίησης δεν ήταν τόσο έντονα. Η μέγιστη οριζόντια μετατόπιση ήταν περίπου 9cm (Nikolaou et al. (Eds.) 2014). Μια αντιπροσωπευτική περίπτωση της επίδρασης του δεύτερου σεισμού στους κρηπιδότοιχους στο λιμάνι του Αργοστολίου καταγράφηκε σε θέση κοντά στη γέφυρα De

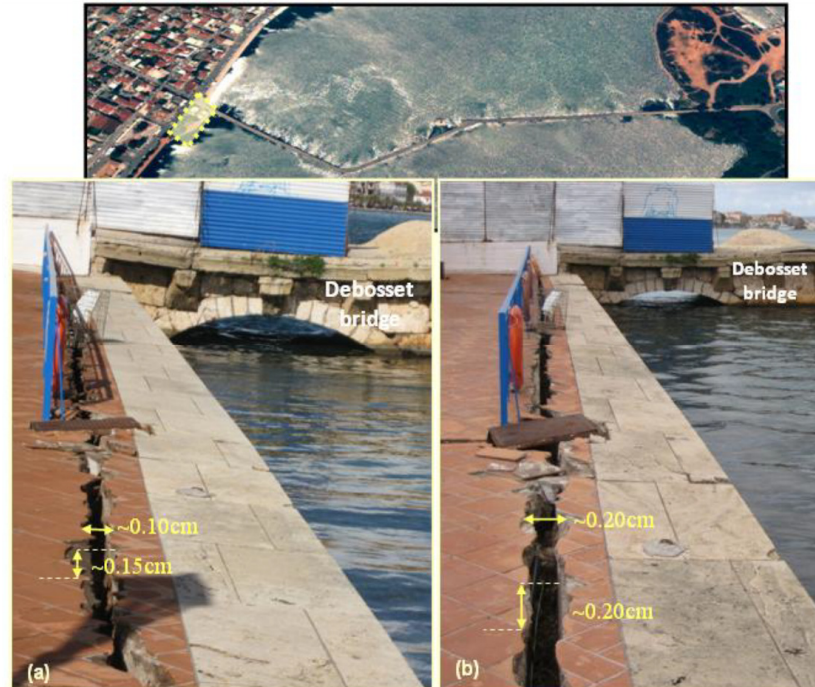
Bosset (Σχήμα 2.14). Παρατηρήθηκαν σχετικές οριζόντιες μετακινήσεις των κρηπιδότοιχων της τάξης των 10cm, ενώ καταγράφηκαν και καθιζήσεις των επιχωμάτων ίσες περίπου με 15cm λόγω του πρώτου σεισμού στις 26/1/2014. Η παρατηρηθείσα οριζόντια μετακίνηση του κρηπιδότοιχου και καθίζηση του επιχώματος αυξήθηκε περαιτέρω (σχεδόν διπλασιάστηκε σε ορισμένες περιπτώσεις) με την εκδήλωση του δεύτερου σεισμικού γεγονότος (EPPO-ITSAK 2014).



Σχήμα 2.12. Τυπικές περιπτώσεις ανάδυσης εδαφικού υλικού στο λιμάνι του Ληξουρίου (Nikolaou et al. (Eds.) 2014).



Σχήμα 2.13. Μετατοπίσεις στο λιμάνι του Ληξουρίου μετά α) τον πρώτο και β) το δεύτερο σεισμό (Nikolaou et al. (Eds.) 2014).



Σχήμα 2.14. Βλάβες σε κρηπιδότοιχους κοντά στη γέφυρα DeBosset: μόνιμη πλευρική μετατόπιση του κρηπιδότοιχου και καθίζηση του επιχώματος λόγω α) του πρώτου σεισμού στις 26/1/2014 και β) του δεύτερου σεισμού στις 3/2/2014 (ERPO-ITSAK 2014).

Μορφές αστοχίας

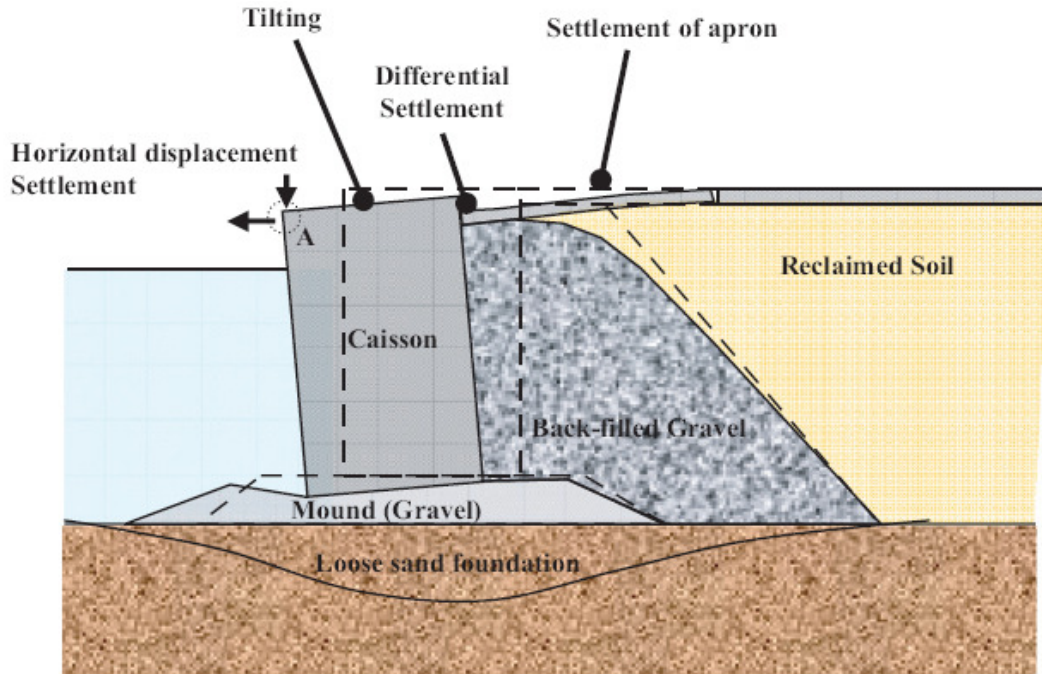
Συχνές μορφές σεισμικής αστοχίας των παράκτιων λιμενικών έργων αποτελούν η πλευρική μετακίνηση (ολίσθηση προς την θάλασσα), η παραμόρφωση και η κλίση των κρηπιδότοιχων και των διαφραγμάτων (Κακδέρη 2011). Οι παραμένουσες κλίσεις οδηγούν σε μείωση του στατικού συντελεστή ασφαλείας (Factor of Safety- FS) μετά τον σεισμό, ενώ η ολίσθηση αποτελεί περισσότερο πρόβλημα λειτουργικότητας παρά ασφάλειας της μεμονωμένης κατασκευής. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει στην περίπτωση γερανών και λοιπού εξοπλισμού εδραζόμενου σε αυτές, καθώς υπάρχει ο κίνδυνος αστοχίας λόγω διαφορικών οριζόντιων μετακινήσεων στην βάση τους. Οι κρηπιδότοιχοι από επάλληλους τεχνητούς ογκόλιθους σκυροδέματος είναι δυνατό να υποστούν σχετική ολίσθηση στην διεπιφάνεια των διαδοχικών κιβωτίων. Αυτού του είδους οι βλάβες συχνά συνοδεύονται από εκτεταμένη καθίζηση και ρηγματώση της ποδιάς των πεζοδρομίων. Η κυρίαρχη μορφή αστοχίας των διαφραγμάτων είναι η ανεπαρκής αντοχή των αγκυρώσεων, κυρίως λόγω τοποθέτησης των αγκυρών σε μικρά βάθη, όπου το επίχωμα είναι ιδιαίτερα επιδεκτικό σε απώλεια αντοχής λόγω αύξησης



της πίεσης των πόρων και την εκδήλωση φαινομένων ρευστοποίησης. Η ανεπαρκής απόσταση μεταξύ της αγκύρωσης και του σώματος του διαφράγματος μπορεί επίσης να οδηγήσει σε αστοχία. Σε περιπτώσεις παράκτιων εγκαταστάσεων θεμελιωμένων σε πασσάλους, οι πιθανές μορφές αστοχίας σχετίζονται επιπλέον και με την εμφάνιση βλαβών στο σώμα των πασσάλων. Οι αποβάθρες/ προβλήτες σε πασσάλους συνήθως έχουν καλή σεισμική απόκριση, με εξαίρεση την επίδραση εδαφικών αστοχιών, όπως μεγάλες υποβρύχιες κατολισθήσεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις, σύμφωνα με την εμπειρία από προηγούμενους σεισμούς, οι αποβάθρες είναι δυνατό να υποστούν εκτεταμένη ολίσθηση και κάμψη και λυγισμό των πασσάλων στήριξης. Έχουν παρατηρηθεί περιπτώσεις πρόκλησης βλαβών στο κατάστρωμα αποβάθρων από κεκλιμένους πασσάλους λόγω της μεγάλης πλευρικής δυσκαμψίας τους (ATC-25, 1991). Τέλος, σημειώνεται το γεγονός ότι η χρήση διαφορετικών τύπων θεμελίωσης (όπως επιφανειακή θεμελίωση σε επιχωματώσεις και θεμελίωση με πασσάλους) στα διάφορα τμήματα μιας κατασκευής αυξάνει την πιθανότητα βλάβης λόγω της δυνατότητας εκδήλωσης διαφορετικών καθιζήσεων.

Μετά τον σεισμό του Hyogo-ken Nanbu (Kobe), η επιτόπου έρευνα που διενεργήθηκε έδειξε ότι οι χαρακτηριστικές μορφές αστοχίας των κρηπιδότοιχων διατομής κιβωτίου ήταν οι μεγάλες πλευρικές μετακινήσεις, η κλίση και η καθίζηση των τοίχων, καθώς και οι εδαφικές μετακινήσεις των επιχωμάτων που εκδηλώθηκαν με την μορφή πλευρικών μεταθέσεων και καθιζήσεων της ποδιάς των πεζοδρομίων (Inatomi et al. 1997). Στην περίπτωση κρηπιδότοιχων διατομής κιβωτίου υποκείμενων σε εδαφική ταλάντωση, οι τυπικές μορφές αστοχίας ήταν η μετακίνηση προς την θάλασσα, η καθίζηση και η κλίση. Το Σχήμα 2.15 δείχνει μια σχηματική απεικόνιση των διάφορων μορφών αστοχίας ενός τυπικού κρηπιδότοιχου διατομής κιβωτίου (Na et al. 2008), οι οποίες είναι ενδεικτικές της συμπεριφοράς όλων των παράκτιων κατασκευών βαρύτητας υπό την επίδραση σεισμικών διεγέρσεων. Η καθίζηση της θεμελίωσης και η πλευρική εξάπλωση του επιχώματος σημειώνονται επίσης στο σχήμα.

Ορισμένες χαρακτηριστικές μορφές αστοχίας δίνονται στα Σχήματα 2.16-2.19.



Σχήμα 2.15. Τυπικές μορφές αστοχίας κρηπιδότοιχων βαρύτητας και παράμετροι κριτηρίων βλάβης (Na et al. 2008).

Πίνακας 2.2. Πιθανές μορφές αστοχίας κρηπιδότοιχων βαρύτητας (Κακδέρη κ.ά. 2006).

Υποστοιχείο	Πιθανές μορφές αστοχίας
Κρηπιδότοιχοι	Ολίσθηση κατάντη (προς την θάλασσα).
	Κλίση.
	Καθίζηση.
	Ανατροπή και εκτεταμένη κλίση.
	Κατάρρευση.
	Ρηγμάτωση στο σημείο ένωσης τοίχου και επιστρώσεων.
	Ρηγμάτωση με σχετική καθίζηση των επιστρώσεων ως προς τον τοίχο.
Υλικά επιχώματος	Θραύση του εδάφους και ρηγμάτωση της επιφάνειας του δρόμου.
	Ανάδυση λεπτόκοκκου υλικού από ρωγμές του εδάφους.
	Καθίζηση του επιχώματος.
	Διαφορική καθίζηση του εδάφους.
	Πλευρική εδαφική μετακίνηση (lateral spreading).



(α)



(β)

Σχήμα 2.16. (α) Παραμόρφωση του εδάφους λόγω ρευστοποίησης σε επιστροφή από άσφαλο πίσω από κρηπιδότοιχο στο λιμάνι Taichung, και (β) βλάβες στις επιστρώσεις των προκυμαίων κατά την διάρκεια του σεισμού του Chi-Chi το 1999.

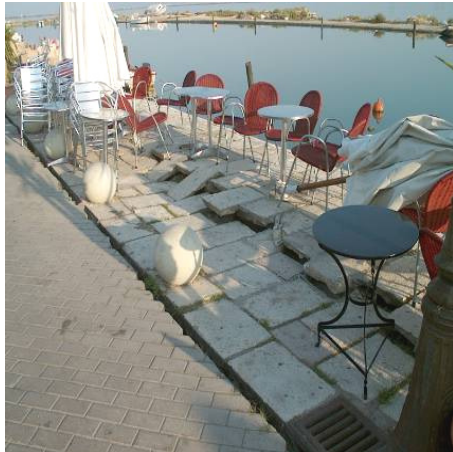


(α)



(β)

Σχήμα 2.17. (α) Μετακίνηση προς την θάλασσα και (β) κλίση κρηπιδότοιχων και εκτεταμένες καθιζήσεις επιχωμάτων κατά την διάρκεια του σεισμού του Hyogo-ken Nanbu (Kobe) το 1995.



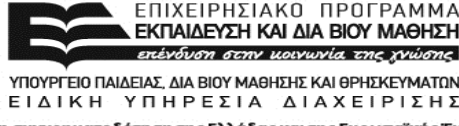
Σχήμα 2.18. Καθίζηση του επιχώματος πίσω από κρηπιδότοιχο και βλάβη της ποδιάς του πεζοδρομίου στο λιμάνι της πόλης της Λευκάδας κατά την διάρκεια του σεισμού το 2003.



Σχήμα 2.19. Καθίζηση του επιχώματος (25cm), ολίσθηση προς την θάλασσα και κλίση των κρηπιδότοιχων στην περιοχή της Μαρίνας κατά την διάρκεια του σεισμού της Λευκάδας το 2003.



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

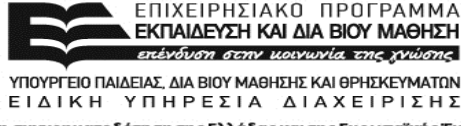
Β. Εξοπλισμός μεταφοράς, διαχείρισης και αποθήκευσης φορτίου

Η εμπειρία από προηγούμενους σεισμούς έχει δείξει ότι οι γερανοί με κατάλληλο σχεδιασμό έχουν καλή σεισμική συμπεριφορά, αν τα εδάφη θεμελίωσής τους δεν αστοχήσουν. Βλάβες σε γερανούς μετά από σεισμούς είναι δυνατό να παρουσιαστούν όχι μόνο λόγω εδαφικής ταλάντωσης, αλλά και εξαιτίας της κίνησης των σιδηροτροχιών έδρασης τους από την εκδήλωση εδαφικής αστοχίας, με αποτέλεσμα την κάμψη των μελών στήριξης (Σχήματα 2.20 και 2.21). Όταν οι γερανοί δεν βρίσκονται σε λειτουργία, συγκρατούνται ή αγκυρώνονται στις σιδηροτροχιές, έτσι ώστε να μην είναι δυνατή η σχετική ταλάντωση ή ο εκτροχιασμός τους. Στην περίπτωση αυτή, υπόκεινται στην δράση αδρανειακών δυνάμεων, όπως συμβαίνει σε όλες τις κατασκευές με άκαμπτες-σταθερές συνδέσεις στην βάση τους, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται τρωτοί στην αστοχία λόγω κάμψης και στην εδαφική ταλάντωση. Ακόμα όμως και στις περιπτώσεις όπου είναι δυνατή η σχετική ταλάντωση ή ο εκτροχιασμός των γερανών (για παράδειγμα όταν οι αγκυρώσεις έχουν αστοχήσει ή όταν οι γερανοί βρίσκονται σε λειτουργία), μπορούν να ανατραπούν λόγω ρευστοποίησης του υποκείμενου επιχώματος ή/και εκδήλωσης διαφορικών καθιζήσεων, ή να αστοχήσουν λόγω κάμψης εξαιτίας της αποκόλλησης του ενός στελέχους έδρασης από το έδαφος (PIANC 2001). Γερανοί που έχουν ανατραπεί είναι δυνατό να προκαλέσουν βλάβες σε γειτονικές κατασκευές και εγκαταστάσεις. Τέλος, είναι δυνατή η απώλεια της λειτουργικότητας των γερανών λόγω καθίζησης ή/και οριζόντιας μετακίνησης των σιδηροτροχιών τους σε περίπτωση ρευστοποίησης των υποκείμενων εδαφικών στρώσεων, όπως συνέβη για παράδειγμα στο λιμάνι του Oakland κατά την διάρκεια του σεισμού της Loma Prieta, καθώς και στο λιμάνι της Derince στο σεισμό του Kocaeli και στο λιμάνι του Kobe στο σεισμό του Hyogo-ken Nanbu (Kobe) (Σχήματα 2.22 και 2.23). Απώλεια της ευθυγράμμισης των σιδηροτροχιών μπορεί να προκαλέσει βλάβες στους τροχούς και ακινητοποίηση των γερανών (ATC-25, 1991). Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του λιμανιού του Sendai όπου κατά την διάρκεια του πρόσφατου σεισμού του Tohoku (Great East Japan) το 2011 σημειώθηκαν μετακινήσεις των σεισμικώς μονωμένων σιδηροτροχιών των γερανών (Σχήμα 2.24). Ο χρόνος διακοπής της λειτουργίας των γερανών κυμαίνεται από μερικές ημέρες (σε περιπτώσεις απλού εκτροχιασμού τους), έως και αρκετούς μήνες σε περιπτώσεις εκδήλωσης πιο σοβαρών απωλειών λόγω σεισμού.

Οι προγενέστεροι γερανοί εμπορευματοκιβωτίων αποτελούν περισσότερο ελαφριές και λιγότερο ευσταθείς κατασκευές σε σχέση με τους σύγχρονους υπερμεγέθεις γερανούς (jumbo cranes). Κατά την διάρκεια ενός σεισμού, οι προγενέστεροι γερανοί αναμένεται να ανασηκωθούν από τις σιδηροτροχιές έδρασης προτού μπορέσουν να αναπτυχθούν σημαντικές



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

αδρανειακές δυνάμεις στα δομικά μέλη του γερανού. Το συνακόλουθο φαινόμενο ανασήκωσης/ λικνισμού λειτουργεί ως ένα είδος σεισμικής μόνωσης, περιορίζοντας τις εσωτερικές δυνάμεις στον γερανό (Soderberg 2007). Οι σύγχρονοι μεγάλοι γερανοί, με αποστάσεις μεταξύ σιδηροτροχιών ίσες ή μεγαλύτερες από 100m, έχουν μεγαλύτερο βάρος, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται στους φορείς τους σημαντικά μεγαλύτερες σεισμικές δυνάμεις, κυρίως στον πλαισιακό φορέα του γερανού, πριν την ανασήκωση (Soderberg and Jordan 2007). Πρόσφατες μελέτες (Soderberg et al. 2009) δείχνουν ότι πολλοί σύγχρονοι υπερμεγέθεις γερανοί αναμένεται να υποστούν εκτεταμένες βλάβες υπό την επίδραση μέτριας έντασης σεισμικών διεγέρσεων, ενώ είναι πολύ πιθανή η εκδήλωση ιδιαίτερα σημαντικών βλαβών ή ακόμα και κατάρρευσης στην περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού. Αντίστοιχα πραγματικά στοιχεία βλαβών δεν έχουν προς το παρόν καταγραφεί.

Τέλος, κατά την διάρκεια παλιότερων σεισμικών διεγέρσεων, η απόκριση των δεξαμενών αποθήκευσης δεν ήταν γενικά επαρκής. Οι κατασκευές υποστήριξης του υπόλοιπου εξοπλισμού μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου είναι ιδιαίτερα επιδεκτικές στην εκδήλωση σεισμικής βλάβης, σύμφωνα με τις αλλαγές στην δυσκαμψία των υλικών κατασκευής τους.



Σχήμα 2.20. Η θεμελίωση σιδηροτροχιών έδρασης του γερανού υπέστη πλευρική μετακίνηση προς την θάλασσα και σημειώθηκε καθίζηση του εδάφους μεταξύ των σιδηροτροχιών [Σεισμός του Hyogo-ken Nanbu (Kobe) το 1995, Rokko Island].



Σχήμα 2.21. Πλήρης κατάρρευση γερανού. Οι υπόλοιποι γερανοί υπέστησαν διάφορα είδη αστοχιών, όπως πλαστικές αρθρώσεις και λυγισμός των μελών τους [Σεισμός του Hyogo-ken Nanbu (Kobe) το 1995, Rokko Island].



Σχήμα 2.22. Βλάβες σε γεραμούς κατά την διάρκεια του σεισμού του Hyogo-ken Nanbu (Kobe) το 1995.



Σχήμα 2.23. Σημαντικές αποθέσεις άμμου στην επιφάνεια του οδοστρώματος κοντά σε γεραμούς των εμπορευματοκιβωτίων [Σεισμός του Hyogo-ken Nanbu (Kobe) το 1995, Port Island].



Σχήμα 2.24. Μετακίνηση παράκτιων σεισμικά μονομένων σιδηροτροχιών γεραμών κατά τη διάρκεια του σεισμού του Tohoku (Great East Japan) το 2011 (Percher 2014).

Μορφές αστοχίας

Οι προγενέστεροι γερανοί μπορεί να πάρουν κλίση και να ανασηκωθούν από τις σιδηροτροχιές έδρασης τους, χωρίς να υποστούν σημαντικές βλάβες στα δομικά τους μέλη. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να μην προσγειωθούν και πάλι στις σιδηροτροχιές, με αποτέλεσμα τον εκτροχιασμό τους. Συχνά, παρά το γεγονός ότι οι τροχοί βρίσκονται εκτός των σιδηροτροχιών, το πλαίσιο του γερανού βρίσκεται ακόμα στην ελαστική περιοχή, ενώ η αποκατάσταση των τροχών στις ράγες δεν είναι γενικά δύσκολη.

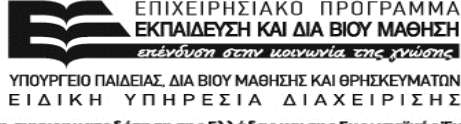
Όταν οι στηρίξεις των γερανών αστοχήσουν λόγω εδαφικής αστοχίας, είναι πιθανή η εκδήλωση σημαντικών βλαβών. Η εκδήλωση σχετικής μετακίνησης των σιδηροτροχιών του γερανού μπορεί να προκαλέσει την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων στον φορέα του γερανού και να οδηγήσει ακόμα και στην κατάρρευση για μεγάλες τιμές μετακίνησης.

Οι σύγχρονοι υπερμεγέθεις γερανοί αποτελούν πιο ογκώδεις και περισσότερο ευσταθείς κατασκευές με μεγαλύτερα ανοίγματα φορέα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεγαλύτερων πλευρικών δυνάμεων. Οι αντοχές όμως των πλαισίων των φορέων τους δεν συμβαδίζουν γενικά με τις αυξημένες απαιτήσεις αντίστασης στις πλευρικές σεισμικές φορτίσεις. Αν οι σύγχρονοι γερανοί έχουν σχεδιαστεί με βάση τα παλιότερα κριτήρια, δεν είναι δυνατή η ελαστική ανασήκωση από τις σιδηροτροχιές έδρασης τους, με αποτέλεσμα την εκδήλωση μόνιμης βλάβης. Μια γενικευμένη περιγραφή της σεισμικής απόκρισης των κατασκευών αυτών είναι η παρακάτω (Soderberg et al. 2009):

- Για τον σεισμό επιπέδου λειτουργικότητας (Operating Level Earthquake - OLE) με μέση περίοδο επαναφοράς 72 έτη, το πλαίσιο του γερανού θα υποστεί σημαντική βλάβη αποτελούμενη από τοπικό λυγισμό επιπέδου στα μέλη στήριξης (πόδια), στις συνδέσεις και πιθανώς και σε άλλες περιοχές.
- Σε ένα μεγάλο σεισμό με μέση περίοδο επαναφοράς 475 ετών, το πλαίσιο θα υποστεί εκτεταμένη βλάβη με πιθανή ακόμα και την κατάρρευση του γερανού. Η απόκριση σε αυτό το επίπεδο της σεισμικής διέγερσης εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ικανότητα των πλαστικών αρθρώσεων να διατηρήσουν επαρκή αντοχή κατά την διάρκεια των κύκλων της φόρτισης.
- Βλάβη στο πλαίσιο του γερανού μπορεί να συμβεί λόγω πλευρικής μετάθεσης στην διεύθυνση κίνησής του.



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. Συνιστώσες υποδομών

Οι συνιστώσες υποδομών των λιμένων περιλαμβάνουν δίκτυα κοινής ωφελείας και συνιστώσες μεταφορικών δικτύων, καθώς και διάφορες κτιριακές εγκαταστάσεις. Συνήθως όλα τα δίκτυα κοινής ωφελείας συναντώνται σε ένα λιμένα, ενώ οδικές και σιδηροδρομικές συνδέσεις απαιτούνται κατά κανόνα για την μεταφορά φορτίου και επιβατών. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων συνιστωσών των λιμενικών εγκαταστάσεων καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό, όχι μόνο την λειτουργία, αλλά και την σεισμική τρωτότητα των μεμονωμένων δικτύων και του σύνθετου συστήματος αυτών.

Υπάρχουν παραδείγματα τόσο επαρκούς όσο και ανεπαρκούς σεισμικής απόκρισης δικτύων κοινής ωφελείας και υποδομών σε λιμένες κατά την διάρκεια σεισμικών διεγέρσεων. Η πιο κοινή αιτία εκδήλωσης σεισμικής βλάβης σε αγωγούς, οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα είναι η μόνιμη εδαφική μετακίνηση λόγω εδαφικής αστοχίας (συνήθως ρευστοποίηση εδάφους).

Εκτός από τους συνήθεις ορισμούς των επιπέδων βλάβης, μια διαφορετική έκφραση των απωλειών για τις κτιριακές εγκαταστάσεις υποδομής μπορεί να γίνει με βάση τη λειτουργικότητα/ εξυπηρετικότητα τους (κανονική χρήση, μειωμένη χρήση ή μηδενική δυνατότητα χρήσης, δυνατότητα χρήσης χωρίς επιδιορθώσεις, με επιδιορθώσεις ή μη επιδιορθώσιμο).

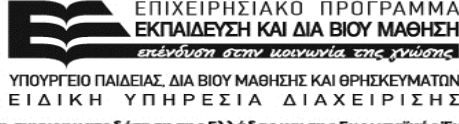
Οι κυριότερες σεισμικές απώλειες και μορφές αστοχίας των συνιστωσών υποδομής σε λιμενικές εγκαταστάσεις περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

Δίκτυα κοινής ωφελείας

Τα δίκτυα κοινής ωφελείας που βρίσκονται εντός των λιμενικών εγκαταστάσεων διαδραματίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας ενός λιμένα, όχι μόνο σε περίοδο κανονικής λειτουργίας του, αλλά και σε περιόδους κρίσης και αποκατάστασης μετά την εκδήλωση ενός σεισμικού γεγονότος, με την μεγαλύτερη βαρύτητα να δίνεται στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, ύδρευσης και τηλεπικοινωνιών. Πιθανή διακοπή της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είναι δυνατό να περιορίσει τις λειτουργίες σε μεγάλο βαθμό, καθώς οι γερανοί και τα λοιπά στοιχεία του εξοπλισμού διαχείρισης φορτίου είναι συνήθως ηλεκτροκινούμενα. Επιπλέον, σημαντικές είναι οι επιπτώσεις και στη λειτουργία των πυλών εισόδου στο λιμένα και του δικτύου πληροφοριών. Παρ' όλα αυτά σε προηγούμενες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα στον σεισμό της Loma Prieta, η παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας αποκαταστάθηκε μέσα σε 12 ώρες από την εκδήλωση του σεισμικού γεγονότος, ενώ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



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

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

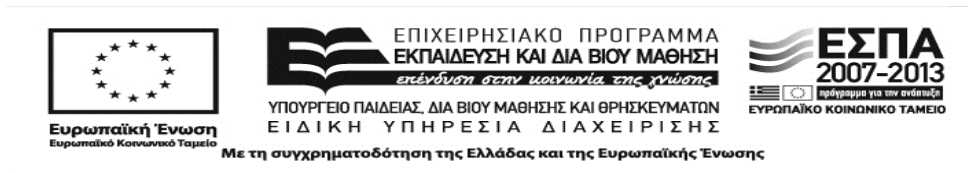
η ύπαρξη εναλλακτικών πηγών ενέργειας (π.χ. Η/Ζ) αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση του χρονικού διαστήματος που διαρκεί η διακοπή και την αποφυγή της εκτροπής των πλοίων από το λιμάνι. Οι αγωγοί του δικτύου ύδρευσης χρησιμοποιούνται εκτός των άλλων για παροχή ύδατος στα πλοία και τις κτιριακές εγκαταστάσεις, αλλά και για την πυρόσβεση. Βλάβη στο δίκτυο ύδρευσης μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ικανότητας πυρόσβεσης του λιμένα, αλλά και να συμπαρασύρει το λεπτόκοκκο υλικό της επίχωσης όπου είναι τοποθετημένοι οι αγωγοί, με συνεπακόλουθες επιπτώσεις στην κατάσταση της λειτουργικότητας των υπερκείμενων χώρων. Επίσης, έχουν σημειωθεί αστοχίες αγωγών που διέρχονται κατά μήκος παράκτιων λιμενικών εγκαταστάσεων που υπέστησαν βλάβες. Η αποκατάσταση του δικτύου ύδρευσης μπορεί να διαρκέσει από μερικές ώρες έως και αρκετές εβδομάδες, αλλά δεν είναι σε θέση να προκαλέσει άμεση διακοπή των λειτουργιών φορτο-εκφόρτωσης. Στην περίπτωση βλάβης στο δίκτυο τηλεπικοινωνιών, συνήθως ήταν δυνατή η αποκατάσταση του συστήματος μέσα σε 12 ώρες ή η χρήση ασύρματων συστημάτων για την κάλυψη των πιο σημαντικών λειτουργιών (Pachakis and Kiremidjian 2004). Τέλος, απώλειες είναι δυνατό να σημειωθούν σε δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων, με αποτέλεσμα τη διαρροή του αποθηκευόμενου υλικού στο νερό και τον κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιών. Θραύση των αγωγών σύνδεσης των δεξαμενών με τις προβλήτες συχνά προκαλείται λόγω εδαφικής αστοχίας (ATC-25, 1991).

Υποδομές μεταφοράς

Αμέσως μετά την εκδήλωση ενός σεισμικού γεγονότος υπάρχει αυξημένη χρήση του οδικού δικτύου από και προς το λιμάνι, καθώς και του σιδηροδρομικού δικτύου για την κάλυψη αναγκών πυρόσβεσης, την παροχή πρώτων βοηθειών ή την απομάκρυνση ερειπίων και την μεταφορά των απαραίτητων υλικών για τις εργασίες αποκατάστασης. Αυτή η αύξηση της ζήτησης σε συνδυασμό με την εκδήλωση σημαντικού βαθμού βλάβης στους γειτονικούς δρόμους μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ικανότητας του λιμένα για προώθηση των φορτίων προς την πλεινήσα περιοχή, και επομένως επιβράδυνση των λειτουργιών του για κάποιο χρονικό διάστημα έως ότου η λειτουργικότητα των δρόμων/σιδηροδρόμων αποκατασταθεί.

Κτιριακές εγκαταστάσεις

Οι βλάβες που είναι δυνατό να παρουσιαστούν στις κτιριακές εγκαταστάσεις (κτίρια ελέγχου της κίνησης, φάροι και σταθμοί μετάδοσης σημάτων, τερματικοί/ επιβατικοί σταθμοί, κτίρια γραφείων, κτίρια τεχνικών υπηρεσιών/συντήρησης), συμπεριλαμβανομένων και των στεγασμένων αποθηκευτικών χώρων, σχετίζονται με τις τυπικές μορφές αστοχίας (δομικές και



μη δομικές) των κτιριακών εγκαταστάσεων λόγω εδαφικής ταλάντωσης ή/και εδαφικής αστοχίας (ATC-25, 1991). Περιλαμβάνουν βλάβες σε υποστυλώματα υπό ανακυκλιζόμενη κάμψη, υπό ανακυκλιζόμενη τέμνουσα με σχετικά ισχυρή αξονική σύνθλιψη σε στύλους μικρής λυγηρότητας, από δράση τοιχοπληρώσεων, βλάβες σε τοιχώματα όπως ολίσθηση σε αρμό διακοπής εργασιών, χιαστί ρηγμάτωση, βλάβες καμπτικού τύπου, βλάβες σε δοκούς οπλισμένου σκυροδέματος, βλάβες στον οργανισμό πλήρωσης (τοιχοποιία), βλάβες φέρουσας τοιχοποιίας, βλάβες στοιχείων χάλυβα σε μεταλλικά κτίρια, βλάβες σε προκατασκευασμένα κτίρια, βλάβες στα μη φέροντα στοιχεία και στον εξοπλισμό των κτιριακών εγκαταστάσεων. Επιπλέον, σημαντικές απώλειες σε κτίρια και αποθήκες που βρίσκονται σε προκουμαίες είναι δυνατό να προκληθούν λόγω της αστοχίας των τελευταίων, όπως συνέβη για παράδειγμα στο λιμάνι του San Francisco και στο λιμάνι του Oakland κατά την διάρκεια του σεισμού της Loma Prieta, 1989 (EERI 1990).

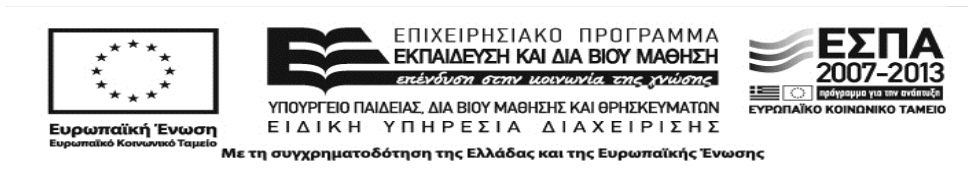
Λοιπές υποδομές

- Εγκαταστάσεις αποθήκευσης σε ανοικτό χώρο

Στους σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων χρησιμοποιούνται συνήθως υπαίθριοι χώροι για την αποθήκευση των φορτίων και του εξοπλισμού διαχείρισής τους. Συνηθισμένες μορφές αστοχίας είναι η εκδήλωση διαφορικών καθιζήσεων, κρατήρων άμμου και ρηγματώσεων σε περίπτωση κατασκευής τους σε επιχώματα επί ρευστοποιήσιμων εδαφικών σχηματισμών. Παρ' όλα αυτά, τα περισσότερα από τα στοιχεία του εξοπλισμού διαχείρισης των εμπορευματοκιβωτίων συνήθως εξακολουθούν να λειτουργούν, με αποτέλεσμα την σχετικά ομαλή λειτουργία του λιμένα.

- Εγκαταστάσεις αποθήκευσης καυσίμων

Σε περιπτώσεις αστοχίας δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμων και πιθανής διαρροής του αποθηκευόμενου υλικού, ο κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς είναι μεγάλος. Κάτι τέτοιο είναι δυνατό να επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στην λειτουργικότητα των λιμενικών εγκαταστάσεων.



3 Επισκόπηση μεθόδων αντισεισμικού υπολογισμού – σχεδιασμού κρηπιδωμάτων

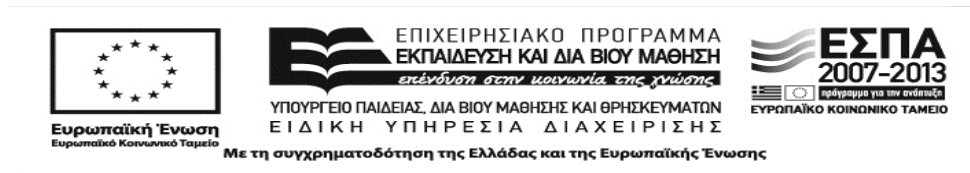
A. Παράκτια λιμενικά έργα

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι βλάβες των παράκτιων κατασκευών και των λιμενικών εγκαταστάσεων υπό την επίδραση σεισμικών διεγέρσεων σχετίζονται σε σημαντικό βαθμό με τις μόνιμες εδαφικές παραμορφώσεις. Το μέγεθος των παραμορφώσεων καθορίζει σε σημαντικό βαθμό τη λειτουργικότητα των κατασκευών αυτών μετά από έναν σεισμό. Η διερεύνηση λοιπόν της συμπεριφοράς τους για σεισμικές δονήσεις πέραν της οριακής ισορροπίας περιλαμβάνει και εκτίμηση των παραμενουσών μετατοπίσεών τους. Έτσι, ο αντισεισμικός υπολογισμός των παράκτιων λιμενικών έργων έχει αυξημένη σπουδαιότητα για την εξασφάλιση της απαιτήσης διατήρησης κάποιου επιπέδου λειτουργικότητας μετά από ένα σεισμό.

Είναι επίσης σημαντικό να τονιστεί ότι αυτό που ορίζεται ως «αστοχία» κατά κανόνα δεν αποτελεί μια ολοσχερή βλάβη (κατάρρευση). Αφορά μορφή βλάβης που η επιδιόρθωση της είναι οικονομικά μη αποδεκτή, και δεν θέτει σημαντικούς κινδύνους για την προστασία της ανθρώπινης ζωής.

Οι συντελεστές ασφάλειας και οι μέθοδοι σχεδιασμού διαδραματίζουν εκτός των άλλων έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην σεισμική απόκριση των λιμενικών εγκαταστάσεων. Για τον σχεδιασμό των παράκτιων λιμενικών έργων εφαρμόζονται κατά κανόνα οι γενικότερες διατάξεις σχεδιασμού κατασκευών αντιστήριξης. Λίγες είναι οι περιπτώσεις όπου ειδικά κριτήρια σχεδιασμού και/ή απόκρισης ορίζονται για τις λιμενικές κατασκευές. Κατά κανόνα χρησιμοποιείται η προσέγγιση του συνολικού συντελεστή ασφαλείας, ενώ μια εναλλακτική τακτική στηρίζεται στις οριακές καταστάσεις με χρήση μερικών συντελεστών ασφαλείας.

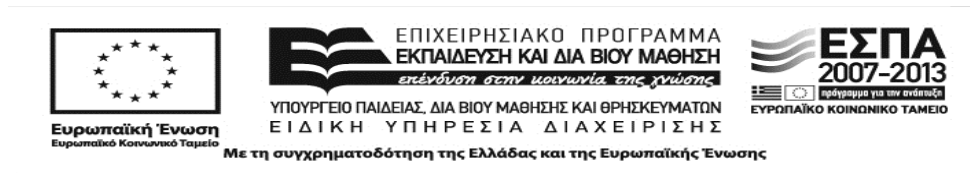
Αυτό που θα πρέπει να τονιστεί είναι το γεγονός ότι ακόμα και υπό στατικές συνθήκες, ο υπολογισμός των πραγματικών εδαφικών ωθήσεων και μόνιμων μετακινήσεων, αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής. Στην δυναμική κατάσταση, το πρόβλημα είναι ακόμα πιο περίπλοκο. Η δυναμική απόκριση ακόμα και του πιο απλού τοίχου αντιστήριξης εξαρτάται από την μάζα και την δυσκαμψία του τοίχου, το επίχωμα και το υποκείμενο έδαφος, καθώς και την αλληλεπίδραση μεταξύ των συνιστωσών αυτών και των χαρακτηριστικών της σεισμικής κίνησης. Η σεισμική φόρτιση συνυπολογίζοντας την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής δεν αντιμετωπίζεται από κανέναν κανονισμό. Επιπλέον, καμία από τις προτεινόμενες μεθόδους σχεδιασμού δεν αντιμετωπίζει το θέμα των



αβεβαιοτήτων στην εισαγόμενη σεισμική φόρτιση και τις λοιπές παραμέτρους που καθορίζουν την απόκριση των κατασκευών. Ωστόσο, σημαντικές προσπάθειες έχουν γίνει για την ανάπτυξη προηγμένων μεθόδων και οδηγιών για την ανάλυση και τον σχεδιασμό των λιμενικών εγκαταστάσεων (Elgamal et al. 1996, Werner et al. 1997, Taylor and Werner 1995, Ichii 2002, Iai and Sugano 2000, Ichii et al. 2000, Werner and Dickenson 1996, Inatomi et al. 1997). Ενδεικτικά αναφέρονται τα διαγράμματα σχεδιασμού κρηπιδότοιχων βαρύτητας και παράκτιων κατασκευών που έχουν προταθεί από τους Ichii et al. (2002) και Higashijima et al. (2006).

Στην πλειοψηφία των αντισεισμικών κανονισμών παγκοσμίως, ο σχεδιασμός των άκαμπτων τοίχων αντιστήριξης υποκειμένων σε σεισμική φόρτιση γίνεται με χρήση απλοποιημένων, ψευδοστατικών ή απλοποιημένων στατικών, μεθόδων οριακής ισορροπίας δυνάμεων ή ψευδο-δυναμικών μεθόδων (Steedman and Zeng 1990). Στις μεθόδους ισορροπίας δυνάμεων υιοθετείται γενικά η θεωρία των εδαφικών ωθήσεων του Coulomb (1776) για την εκτίμηση των ενεργών εδαφικών ωθήσεων πίσω από τον τοίχο. Οι συνθήκες ευστάθειας του τοίχου ποσοτικοποιούνται μέσω συντελεστών ασφαλείας έναντι τριών πιθανών μορφών αστοχίας: ολίσθηση, κλίση-ανατροπή ή φέρουσα ικανότητα, που υπολογίζονται με χρήση μεθόδων ισορροπίας δυνάμεων. Η επίδραση της σεισμικής φόρτισης συνήθως εισάγεται σύμφωνα με την ψευδο-στατική προσέγγιση και η γνωστή μέθοδος οριακής ισορροπίας Mononobe-Okabe (Okabe 1926, Mononobe and Matsuo 1929) υιοθετείται για την εκτίμηση του σεισμικού συντελεστή ενεργών εδαφικών ωθήσεων. Παρόμοιες λύσεις οριακής ισορροπίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση συστημάτων εδάφους-τοίχου με επιφορτίσεις σε απόσταση ή ειδικές συνοριακές συνθήκες (Motta 1993, 1994). Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οριακές μέθοδοι ανάλυσης μέσω αριθμητικών προσεγγίσεων (Chen 1975, Chen and Liu 1990) ή κλειστές και γενικές εκφράσεις (Mylonakis et al. 2007). Οι μέθοδοι ανάλυσης της σεισμικής απόκρισης των λιμενικών εγκαταστάσεων παρουσιάζονται αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο.

Σε όλες τις περιπτώσεις οι επιδράσεις της εγκάρσιας σεισμικής δράσης που ενεργεί τόσο στον τοίχο όσο και στο αντιστηριζόμενο έδαφος, χαρακτηριζόμενη από απότομες αλλαγές του μέτρου και του προσήμου (φορά), αναπαρίστανται από ένα ζεύγος οριζόντιων και κατακόρυφων «στατικών» δυνάμεων χαρακτηριστικών της συνολικής σεισμικής επίδρασης. Παρά το μεγάλο αριθμό των αδυναμιών τους, οι απλοποιημένες αυτές προσεγγίσεις γενικά προτιμούνται σε σχέση με πιο εξεζητημένες αριθμητικές μεθόδους πεπερασμένων στοιχείων ή διαφορών λόγω κυρίως (α) των αβεβαιοτήτων στην επιλογή των εδαφικών ιδιοτήτων υπό

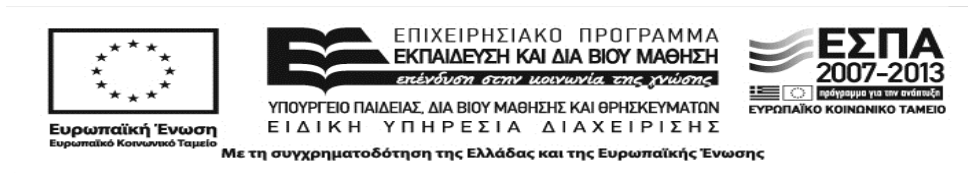


δυναμική φόρτιση και των εδαφικών κινήσεων εισαγωγής και (β) της πολυπλοκότητας που υπεισέρχεται στην προσομοίωση της αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής τόσο υπό στατικές όσο και υπό δυναμικές συνθήκες.

Ωστόσο, στοιχεία βλαβών από διάφορους μεγάλους σεισμούς (Tsuchida 1991, Tateyama et al. 1995, Inagaki et al. 1996, Prakash and Wu 1997, Iai 1998, Wu 1999) έδειξαν ότι ο σχεδιασμός με βάση τις μετακινήσεις είναι απαραίτητος αναφορικά με τους περιορισμούς που επιβάλλονται από την κλασική ψευδο-στατική προσέγγιση (Zeng and Steedman 2000, Wotring and Andersen 2001, PIANC 2001, Taylor et al. 2007).

Στο πλαίσιο του σχεδιασμού με βάση τις μετακινήσεις απαιτείται ο ορισμός μιας σεισμικής διέγερσης σχεδιασμού και ενός επιτρεπόμενου επιπέδου βλάβης, τόσο για σπάνια σεισμικά γεγονότα όσο και για δράσεις που είναι πιθανό να συμβούν κατά τη διάρκεια ζωής του έργου. Αντίθετα με την ψευδο-στατική θεώρηση, η προσέγγιση αυτή παρέχει πληροφορίες σχετικά με την απόκριση και τη λειτουργικότητα του συστήματος εδάφους-τοιχίου όταν γίνεται υπέρβαση της ισορροπίας των δυνάμεων, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται μόνιμες παραμορφώσεις. Για τοίχους αντιστήριξης βαρύτητας, τα αποδεκτά επίπεδα βλάβης γενικά εκφράζονται σε όρους μόνιμων ανεκτών μετακινήσεων και/ή στροφής του τοίχου και μόνιμων καθιζήσεων του στηριζόμενου εδάφους. Φυσικά, μέθοδοι για τον υπολογισμό των προκαλούμενων μόνιμων μετακινήσεων και/ή στροφών λόγω επιλεγμένων εδαφικών κινήσεων εισαγωγής είναι απαραίτητες.

Η εκτίμηση των σεισμικά επιβαλλόμενων μετακινήσεων μπορεί να γίνει με χρήση διαφόρων προσεγγίσεων, όπως οι απλοποιημένες δυναμικές αναλύσεις (μέθοδος ολισθαίνοντος στερεού, Newmark 1965, Sarma 1975, Ambraseys and Menu 1988, Richards and Elms 1979, Nadim and Whitman 1993). Οι μέθοδοι αυτές κυμαίνονται από αναλύσεις ολίσθησης και/ή κλίσης μονολιθικών τοίχων, σε αναλύσεις συστήματος εδάφους-τοιχίου δυο πρισμάτων, και αναλύσεις ολίσθησης πολλαπλών μπλοκ ενσωματώνοντας τη μεταφορά μάζας μεταξύ των μπλοκ. Η υπολογιζόμενη μετακίνηση του τοίχου συγκρίνεται στη συνέχεια με τα επιτρεπόμενα επίπεδα μετακίνησης. Οι Taylor et al. (2007) παρουσιάζουν την περιγραφή των διαθέσιμων μεθόδων για την ανάλυση τοίχων αντιστήριξης βαρύτητας με βάση τις μετακινήσεις και μια σύνοψη των περιορισμών, πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους. Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν προηγμένες μη γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας με χρήση αριθμητικών προσομοιωμάτων πεπερασμένων στοιχείων ή διαφορών (πλήρης δυναμική ανάλυση, Whitman 1990, Alampalli and Elgamel 1990, Pitilakis and Moutsakis 1989, Finn et al.



1992, Iai and Kameoka 1993, Al-Homoud and Whitman 1999, Green and Ebeling 2002, Psarropoulos et al. 2005, Γκαζέτας κ.ά 2006, Δρόσος κ.ά 2010).

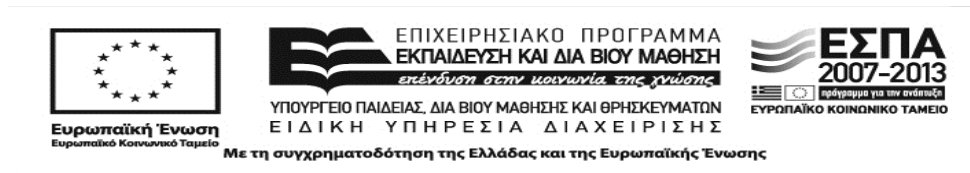
Παρά το γεγονός ότι οι ψευδο-στατικές αναλύσεις και οι αναλύσεις μετακινήσεων μπορούν να θεωρηθούν ως εναλλακτικές μέθοδοι ανάλυσης, ο σεισμικός συντελεστής που θα χρησιμοποιηθεί σε μια ψευδο-στατική ανάλυση μπορεί να συσχετιστεί με τις επιβαλλόμενες σεισμικές μετακινήσεις και επομένως με το αναμενόμενο επίπεδο σεισμικής βλάβης. Με άλλα λόγια, η επιλογή του ψευδο-στατικού συντελεστή μπορεί να σχετίζεται με τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης μετακινήσεων. Για παράδειγμα, στον Ευρωκώδικα 8 (EN 1998-1, 2003) καθώς και στον ΕΑΚ (2000), η μείωση του οριζόντιου σεισμικού συντελεστή που εισάγεται στην ψευδο-στατική ανάλυση των τοίχων αντιστήριξης στηρίζεται στην έννοια των «ανεκτών» μετακινήσεων του τοίχου. Παρόμοιες προδιαγραφές δίνονται στις οδηγίες σχεδιασμού της Federal Highway Administration (FHWA) των ΗΠΑ για τοίχους οπλισμένης γης (Elias et al. 2001). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί η απλότητα της ψευδο-στατικής προσέγγισης για την επίτευξη ενός μέτρου της σεισμικής συμπεριφοράς των τοίχων που σχετίζεται με τα αποτελέσματα μιας πιο αξιόπιστης ανάλυσης με βάση τις μετακινήσεις.

Ακολουθεί μια συνοπτική αναφορά των προδιαγραφών και μεθόδων που προτείνονται διεθνώς για τον σχεδιασμό των λιμενικών εγκαταστάσεων (παράκτιων λιμενικών έργων/ κατασκευών αντιστήριξης).

Οδηγίες και προδιαγραφές αντισεισμικού σχεδιασμού λιμενικών εγκαταστάσεων

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 μέρος 5 (EN 1998-5, 2003) οι κατασκευές αντιστήριξης θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να εκπληρώνουν τη λειτουργία τους κατά την διάρκεια και μετά από έναν σεισμό, χωρίς να υποστούν σημαντικές δομικές βλάβες. Περιορισμένες μόνιμες μετακινήσεις, με τη μορφή τόσο ολίσθησης όσο και κλίσης λόγω μόνιμων παραμορφώσεων του εδάφους θεμελίωσης, μπορούν να γίνουν αποδεκτές εφόσον είναι συμβατές με τις λειτουργικές και/ ή αισθητικές απαιτήσεις. Επίσης δηλώνεται ότι οποιαδήποτε καθιερωμένη μέθοδος βασισμένη στις μεθόδους της δυναμικής των κατασκευών και εδαφοδυναμικής, και στηριζόμενη στην εμπειρία και τις παρατηρήσεις, είναι κατ' αρχήν αποδεκτή για την αποτίμηση της ασφάλειας μιας κατασκευής αντιστήριξης. Οι παράμετροι που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι οι ακόλουθες:

- Η γενικά μη γραμμική συμπεριφορά του εδάφους στην φάση της δυναμικής αλληλεπίδρασης με την κατασκευή αντιστήριξης.



- Οι αδρανειακές δυνάμεις που σχετίζονται με τη μάζα του εδάφους, της κατασκευής, και όλων των δυνάμεων βαρύτητας που μπορεί να συμμετέχουν σε αυτή τη διαδικασία αλληλεπίδρασης.
- Οι υδροδυναμικές δυνάμεις λόγω της παρουσίας νερού στο έδαφος πίσω από τον τοίχο και/ή στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου.
- Η συμβατότητα μεταξύ των παραμορφώσεων του εδάφους, του τοίχου και των αγκυρώσεων όπου υπάρχουν.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι δεν παρέχονται από τον κανονισμό ενδείξεις για αντιπροσωπευτικές παραμέτρους καθορισμού των κριτηρίων βλάβης καθώς και περιορισμοί στις τιμές των μετακινήσεων.

Οι αρχές για το σχεδιασμό με βάση τις μετακινήσεις των λιμενικών εγκαταστάσεων συνοψίζονται στο Διεθνές Πρότυπο (ISO23469) (Iai 2005). Σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται στο πρότυπο, ο σκοπός και η λειτουργία των λιμενικών εγκαταστάσεων ορίζονται σύμφωνα με ευρείες κατηγορίες χρήσης, όπως εμπορική και δημόσια χρήση, ή χρήση επείγουσας ανάγκης. Η πλειοψηφία των λιμενικών εγκαταστάσεων σε Ευρώπη και Η.Π.Α. έχουν εμπορικές και επιβατικές χρήσεις. Άλλες χρήσεις περιλαμβάνουν στρατιωτικές λιμενικές βάσεις ή τερματικούς σταθμούς καυσίμων. Στην Ιαπωνία υπάρχει μια ειδική κατηγορία εγκαταστάσεων που προορίζονται για χρήση σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης.

Σύμφωνα με τις απαιτούμενες λειτουργίες κατά την διάρκεια και μετά από έναν σεισμό, ορίζονται τα ακόλουθα κριτήρια λειτουργικότητας για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των λιμενικών εγκαταστάσεων:

- Εξυπηρετικότητα κατά τη διάρκεια και μετά από ένα σεισμό: πολύ μικρή επίδραση στις κοινωνικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, οι λιμενικές κατασκευές μπορούν να υποστούν «αποδεκτές» μόνιμες παραμορφώσεις, η δυνατότητα λειτουργίας και οι εργασίες παραμένουν αkéραιες ή είναι οικονομικά ανακτήσιμες μετά από διακοπή.
- Ασφάλεια κατά την διάρκεια και μετά από ένα σεισμό: οι ανθρώπινες απώλειες και οι βλάβες στις κατασκευές ελαχιστοποιούνται, κρίσιμες υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που είναι απαραίτητες για την πολιτική προστασία, διατηρούνται, και οι λιμενικές κατασκευές δεν καταρρέουν.

Τα κριτήρια λειτουργικότητας αντικατοπτρίζουν επίσης και τις πιθανές επιπτώσεις των απωλειών. Για κάθε επίπεδο λειτουργικότητας, ορίζεται μια σεισμική διέγερση αναφοράς. Με βάση τα κριτήρια απόκρισης και τις σεισμικές κινήσεις αναφοράς, ορίζονται και τα αντίστοιχα



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

κριτήρια λειτουργικότητας σε όρους μηχανικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την σεισμική απόκριση και τις επιφερόμενες βλάβες στις γεωτεχνικές κατασκευές. Οι πιθανές επιπτώσεις βλάβης και ο τύπος της μεθόδου ανάλυσης λαμβάνονται υπόψη στο σχηματισμό των κριτηρίων λειτουργικότητας.

Αποδεκτά επίπεδα βλάβης για το σχεδιασμό γεωτεχνικών κατασκευών με βάση τις μετακινήσεις (Πίνακας 3.1) ορίζονται από το συνδυασμό δομικών και λειτουργικών κριτηρίων (Iai and Tobita 2010). Στο παράδειγμα αυτό, οι επιπτώσεις των αστοχιών κατηγοριοποιούνται σε δομικές και λειτουργικές. Οι επιπτώσεις λόγω δομικής βλάβης μπορούν να υπολογιστούν με βάση το κόστος και τον απαιτούμενο χρόνο για την επιδιόρθωση των κατασκευών που έχουν υποστεί βλάβη (άμεσες απώλειες). Αντίθετα, οι επιπτώσεις λόγω λειτουργικών απωλειών (έμμεσες απώλειες) απαιτούν πολύ πιο λεπτομερή ανάλυση, που περιλαμβάνει οικονομική ανάλυση και ανάλυση συστήματος, εξετάζοντας την κατασκευή ως συνιστώσα ενός μεγαλύτερου συστήματος υποδομής.

Πίνακας 3.1. Αποδεκτά επίπεδα βλάβης στον σχεδιασμό με βάση τις μετακινήσεις* (Iai and Tobita 2010).

Αποδεκτό επίπεδο βλάβης	Δομικό	Λειτουργικό
Επίπεδο I: Εξυπηρετικότητα	Μικρή ή καθόλου βλάβη	Μικρή ή καθόλου απώλεια της εξυπηρετικότητας
Επίπεδο II: Δυνατότητα επιδιορθώσεων	Ελεγχόμενη βλάβη**	Βραχυπρόθεσμη απώλεια της εξυπηρετικότητας ***
Επίπεδο III: Κοντά στην κατάρρευση	Εκτεταμένη βλάβη κοντά στην κατάρρευση	Μακροπρόθεσμη ή πλήρη απώλεια της εξυπηρετικότητας
Επίπεδο IV: Κατάρρευση****	Καθολική απώλεια της κατασκευής	Καθολική απώλεια της εξυπηρετικότητας

* Θεωρήσεις: Η προστασία της ανθρώπινης ζωής και της περιουσίας, οι λειτουργίες ως βάση επείγουσας ανάγκης για τις μεταφορές, και η προστασία από διαρροή επικίνδυνων υλικών, όπου εφαρμόζονται, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον καθορισμό των κριτηρίων βλάβης επιπρόσθετα με αυτά που δίνονται στον πίνακα.

** Με περιορισμένη ανελαστική απόκριση και/ή μόνιμη παραμόρφωση.

*** Η κατασκευή βρίσκεται εκτός λειτουργίας για επιδιορθώσεις για μικρό έως μέτριο χρονικό διάστημα.

**** Χωρίς σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Σε άλλους διεθνείς κανονισμούς, όπως για παράδειγμα στην Ιαπωνία και τις Η.Π.Α. (Port and Harbour Research Institute 1997, Ministry of Transport Japan 1999, ASCE-TCLEE Werner 1998),



ορίζονται σαφή κριτήρια βλάβης και επίπεδα εξυηρητικότητας. Στους Πίνακες 3.2 και 3.3 δίνονται τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό κατασκευών αντιστήριξης ειδικής τάξης σπουδαιότητας στην Ιαπωνία.

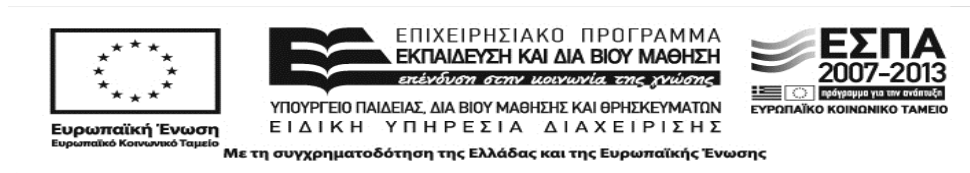
Πίνακας 3.2. Δομικά κριτήρια βλάβης στον Ιαπωνικό κανονισμό (PIANC 2001).

Τύπος κατασκευής αντιστήριξης	Βάθος νερού	
	< 7,5m	> 7,5m
Κρηπιδότοιχος βαρύτητας	Οριζόντια μετακίνηση	Οριζόντια μετακίνηση
Δεν απαιτούνται επιδιορθώσεις για την λειτουργία	0 – 0,2 m	0 – 0,3 m
Επιτρέπεται η μερική λειτουργία	0,2 – 0,5 m	0,3 – 1,0 m
Κρηπιδότοιχοι πασσαλοδιαφραγμάτων	Οριζόντια μετακίνηση	Οριζόντια μετακίνηση
Δεν απαιτούνται επιδιορθώσεις για την λειτουργία	0 – 0,2 m	0 – 0,3 m
Επιτρέπεται η μερική λειτουργία	0,2 – 0,3 m	0,3 – 0,5 m

Πίνακας 3.3. Κριτήρια εξυηρητικότητας στον Ιαπωνικό κανονισμό (PIANC 2001).

Κύριο σώμα της κατασκευής αντιστήριξης	Ανώτερο όριο καθίζησης	0,2 – 0,3m
	Ανώτερο όριο κλίσης	3 - 5°
	Ανώτερο όριο διαφορικής οριζόντιας μετακίνησης	0,2 – 0,3 m
Ποδιά	Ανώτερο όριο διαφορικής καθίζησης της ποδιάς	0,3 – 1,0 m
	Ανώτερο όριο διαφορικής καθίζησης μεταξύ ποδιάς και υποβάθρου	0,3 – 0,7 m
	Ανώτερο όριο κλίσης	3-5% προς την θάλασσα 5% προς την στεριά

Αναφέρεται εδώ ότι ο αντισεισμικός κανονισμός για το σχεδιασμό λιμενικών εγκαταστάσεων στην Ιαπωνία αναθεωρήθηκε το 2007 σύμφωνα με την αρχή του σχεδιασμού με βάση τις μετακινήσεις. Ο αναθεωρημένος κανονισμός υιοθετεί το σχήμα των μερικών συντελεστών ασφαλείας στην διαδικασία αποτίμησης της ασφάλειας. Η διερεύνηση του επιπέδου αξιοπιστίας των κρηπιδωμάτων που είναι σχεδιασμένα με βάση τον προηγούμενο κανονισμό, και ο καθορισμός των μερικών συντελεστών ασφαλείας με βάση τα νέα κριτήρια πραγματοποιήθηκε από τους (Nagao et al. 2009).

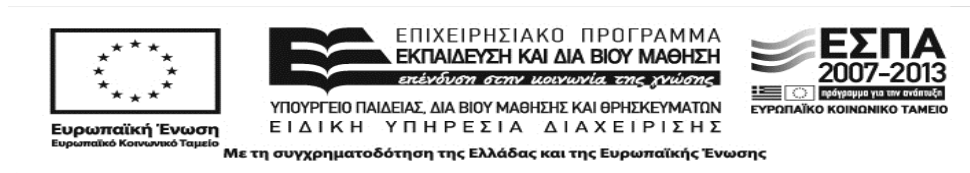


Στις Η.Π.Α. μέχρι την δεκαετία του '80, ο σχεδιασμός των προβλήτων και αποβάθρων γινόταν με βάση τις ισοδύναμες πλευρικές ωθήσεις και για ένα μόνο επίπεδο σεισμικής διέγερσης. Από τα μέσα της δεκαετίας του '80, η κοινή πρακτική στις περιοχές υψηλού σεισμικού κινδύνου περιλάμβανε τον σχεδιασμό με βάση τις μετακινήσεις και για περισσότερα επίπεδα σεισμικών διεγέρσεων, με διαφορετικά κριτήρια λειτουργικότητας για κάθε επίπεδο (Johnson and Hardy 2009). Η σύγχρονη πρακτική σχεδιασμού περιλαμβάνει μεθόδους με βάση τις μετακινήσεις και κριτήρια παραμορφώσεων με βάση τα αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών μεγάλης κλίμακας, που πραγματοποιήθηκαν την τελευταία δεκαετία. Σε αντίθεση με τους κανονισμούς για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κτιριακών εγκαταστάσεων, όπου τίθεται ως βασικό κριτήριο η διασφάλιση της ανθρώπινης ζωής, τα κριτήρια σχεδιασμού για τις λιμενικές εγκαταστάσεις τονίζουν περισσότερο την οικονομική παράμετρο. Λόγω των διαφορετικών δικαιοδοσιών στους λιμένες της χώρας, πολλά μεγάλα λιμάνια της Δυτικής Ακτής των Η.Π.Α. έχουν αναπτύξει τις δικές τους μεθοδολογίες και κριτήρια, και δεν υπάρχει μια ομοιόμορφη προσέγγιση σε όλη την χώρα. Ενδεικτικά αναφέρεται το παράδειγμα του λιμανιού του Long Beach (Port of Long Beach-POLB) που έχει αναπτύξει ειδικά κριτήρια σχεδιασμού για τις αποβάθρες (στηριζόμενες σε πασσάλους) με βάση την μέθοδο των μετακινήσεων (με ιδιαίτερη έμφαση στο θέμα της αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής) και τρία επίπεδα σεισμικών διεγέρσεων, που απευθύνονται ειδικά στις απαιτήσεις του λιμανιού σε όρους σεισμικότητας, εδαφικών υλικών θεμελίωσης, κατασκευαστικών τεχνικών και απαιτήσεων των αρχών του λιμανιού (Lai et al. 2009). Η Αμερικάνικη Ένωση Πολιτικών Μηχανικών (American Society of Civil Engineers- ASCE) έχει προβεί πρόσφατα στην σύνταξη ενός κοινού κειμένου για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των αποβάθρων και προβλήτων (Johnson et al. 2013). Το πρότυπο περιλαμβάνει τον σχεδιασμό με βάση τις μετακινήσεις, ενώ αναφέρεται στους κύριους γεωτεχνικούς παράγοντες που τείνουν να ελέγχουν τον σχεδιασμό, καθώς και σε θέματα όπως ο συνδυασμός των κινηματικών και αδρανειακών δυνάμεων. Οι νέες διατάξεις περιλαμβάνουν απλούστερα κριτήρια για τις περιοχές χαμηλής σεισμικότητας, όπου οι φορτίσεις αγκυροβολίας, και όχι οι σεισμικές δυνάμεις, ελέγχουν τον σχεδιασμό.

Σεισμικές διεγέρσεις σχεδιασμού

Σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο (ISO23469) (Lai 2005), για κάθε επίπεδο λειτουργικότητας, ορίζεται μια σεισμική διέγερση αναφοράς ως εξής:

- Για εξυπηρετικότητα κατά τη διάρκεια και μετά από ένα σεισμό: σεισμικές εδαφικές κινήσεις που έχουν μια λογική πιθανότητα εμφάνισης στη διάρκεια του χρόνου ζωής σχεδιασμού.



- Για ασφάλεια κατά τη διάρκεια και μετά από ένα σεισμό: σεισμικές εδαφικές κινήσεις που σχετίζονται με σπάνια γεγονότα που μπορεί να περιλαμβάνουν ισχυρή εδαφική ταλάντωση στην περιοχή.

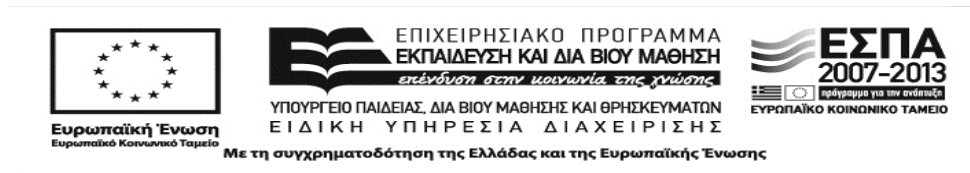
Δύο επίπεδα σεισμικών διεγέρσεων σχεδιασμού θα πρέπει να χρησιμοποιούνται γενικά στο σχεδιασμό με βάση τις μετακινήσεις, σύμφωνα με τις προτάσεις του Ιαπωνικού κανονισμού (PIANC 2001):

- Επίπεδο 1 – Το επίπεδο των σεισμικών διεγέρσεων που είναι δυνατό να συμβούν κατά τη διάρκεια ζωής της κατασκευής. Τυπικά ορίζεται ως η διέγερση με πιθανότητα υπέρβασης 50% στη διάρκεια ζωής της κατασκευής.
- Επίπεδο 2 – Το επίπεδο των σεισμικών διεγέρσεων που σχετίζονται με σπάνια γεγονότα ισχυρής σεισμικής κίνησης. Τυπικά ορίζεται ως η διέγερση με πιθανότητα υπέρβασης 10% στη διάρκεια ζωής της κατασκευής.

Γενικά η διάρκεια ζωής των λιμενικών εγκαταστάσεων θεωρείται ίση με 50 χρόνια, και επομένως οι περίοδοι επαναφοράς των επιπέδων 1 και 2 είναι 75 και 475 χρόνια, αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψη την σπουδαιότητα των λιμενικών εγκαταστάσεων, οι επιτρεπόμενες βλάβες είναι επιπέδου I (δυνατότητα χρήσης) για την πρώτη κατηγορία σεισμικών διεγέρσεων, και επιπέδου II (επιδιορθώσιμο) για σεισμικές διεγέρσεις με περίοδο επαναφοράς 475 έτη, που συμπίπτει με τις κανονιστικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο και στις κτιριακές κατασκευές. Σημειώνεται εδώ το γεγονός ότι τα αποτελέσματα από αναλύσεις αξιοπιστίας παράκτιων λιμενικών έργων (όχι όμως υπό σεισμικές συνθήκες) δηλώνουν ότι ο χρόνος ζωής των κατασκευών αυτών είναι μεγαλύτερος από την αντίστοιχη των χερσαίων κατασκευών, και είναι ίση με 50-60 χρόνια φτάνοντας γενικά έως και τα 100 έτη (Billard et al. 2007).

Οι οδηγίες για τον σεισμικό σχεδιασμό των λιμενικών εγκαταστάσεων των ASCE-TCLEE (Werner 1998) στις Η.Π.Α. ορίζουν τα παρακάτω δύο επίπεδα σεισμικών διεγέρσεων σχεδιασμού:

- Επίπεδο 1 - Σεισμός Επιπέδου Λειτουργικότητας (Operating Level Earthquake - OLE). Κριτήριο σεισμικού κινδύνου: 50% πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια (75 χρόνια περίοδος επαναφοράς). Κριτήριο λειτουργικότητας: η κατασκευή σχεδιάζεται έτσι ώστε η λειτουργία της να μην διακοπεί και οποιαδήποτε βλάβη προκύψει θα είναι επιδιορθώσιμη σε μικρό χρονικό διάστημα (πιθανώς σε λιγότερο από 6 μήνες).



- Επίπεδο 2 - Σεισμός Επιπέδου Απρόβλεπτων - Τυχηματικών Γεγονότων (Contingency Level Earthquake - CLE). Κριτήριο σεισμικού κινδύνου: 10% πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια (475 χρόνια περίοδος επαναφοράς). Κριτήριο λειτουργικότητας: η κατασκευή σχεδιάζεται έτσι ώστε να υποστεί ελεγχόμενου βαθμού βλάβες, οικονομικώς επιδιορθώσιμες, χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ανθρώπινη ζωή.

Τα ίδια επίπεδα σεισμικών διεγέρσεων προτείνονται και στον Κανονισμό Κατασκευής και Συντήρησης Ναυτικών Τερματικών Σταθμών Καυσίμων στις Η.Π.Α. (Marine Oil Terminal Engineering and Maintenance Standards - MOTEMS) (MOTEMS 2007), ο οποίος, εκτός από τους ναυτικούς τερματικούς σταθμούς καυσίμων, είναι γενικά εφαρμόσιμος σε αποβάθρες ή προβλήτες λιμένων στηριζόμενες σε πασσάλους.

Σύνοψη διεθνών κανονισμών για τον αντισεισμικό σχεδιασμό λιμενικών εγκαταστάσεων

Η Διεθνής Ένωση Ναυτιλίας (International Navigation Association, PIANC 2001) παρέχει μια σύνοψη των πρακτικών που ακολουθούνται για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των λιμενικών εγκαταστάσεων σε διεθνείς κανονισμούς, όπως της Ιαπωνίας, Νέας Ζηλανδίας, Ευρώπης (Ευρωκώδικας) και του Αμερικάνικου Ναυτικού (Πίνακας 3.4).

Από την επισκόπηση των μεθόδων αντισεισμικού σχεδιασμού των λιμενικών εγκαταστάσεων προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η μέθοδος Monopobe-Okabe (M-O) χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την εκτίμηση των σεισμικών ολικών ενεργών και παθητικών ωθήσεων, χωρίς πάντοτε να δίνεται η ανάλογη προσοχή στις παραδοχές της χρήσης της μεθόδου. Οι σεισμικοί συντελεστές που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις της μεθόδου M-O λαμβάνονται ως ποσοστό της εδαφικής επιτάχυνσης στο ελεύθερο πεδίο (τυπικά 50-70% της επιτάχυνσης βαρύτητας) και τα εδαφικά υλικά πίσω από την κατασκευή αντιστήριξης θεωρούνται ομοιόμορφα.
- Η ρευστοποίηση θεωρείται ως ο κύριος παράγοντας σχεδιασμού των λιμενικών εγκαταστάσεων.
- Δεν υπάρχει γενική και κοινή αποδοχή, κυρίως στην Ευρώπη, των μεθόδων σχεδιασμού με βάση τις μετακινήσεις, παρά το ότι οι μετακινήσεις εξαρτώνται από τη φύση των χρονοϊστοριών των σεισμικών διεγέρσεων.
- Χρησιμοποιούνται κατά κανόνα δύο επίπεδα σεισμικών διεγέρσεων σχεδιασμού, ενώ τα αποδεκτά επίπεδα βλάβης είναι μηδενικές βλάβες ή διατήρηση της

εξυπηρετικότητας για το επίπεδο 1 και επιδιορθώσιμες βλάβες ή βραχυπρόθεσμη απώλεια της εξυπηρετικότητας για το επίπεδο 2.

- Κριτήρια βλάβης για τον καθορισμό των οριακών συνθηκών, όπως όρια μετακινήσεων για τους τοίχους και απαιτήσεις πλαστιμότητας για τους πασσάλους, βρίσκονται υπό εξέλιξη.
- Υπάρχουν περιορισμένα πειραματικά δεδομένα για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των εκτιμώμενων δυνάμεων για τον σχεδιασμό των τοίχων αντιστήριξης. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται κατά κανόνα από πειράματα σε σεισμικές τράπεζες και δοκιμές φυγοκέντρισης, που στις περισσότερες περιπτώσεις αντιπροσωπεύουν ιδεατές συνθήκες.
- Η γενικά καλή σεισμική απόκριση των κατασκευών αντιστήριξης σε παλιότερους σεισμούς μπορεί να αποδοθεί σε ορισμένες περιπτώσεις στις γενικά συντηρητικές παραδοχές των μεθόδων σχεδιασμού, ακόμα και υπό στατικές συνθήκες.



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 3.4. Σύνοψη κανονισμών και οδηγιών για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των λιμενικών εγκαταστάσεων (PIANC 2001).

Κανονισμός/ Οδηγίες	Μεθοδολογία		Κριτήρια βλάβης		Αναλυτική διαδικασία		Σχόλια
	Προσέγγιση ενός ή δύο επιπέδων σεισμικών διεγέρσεων	Επίπεδο λειτουργικότητας (αποδεκτό επίπεδο βλάβης)	Μετακίνηση για κατασκευές αντιστήριξης	Όριο πλαστιμότητας/ παραμόρφωσης για αποβάθρες/ προβλήτες στηριζόμενες σε πασσάλους	Παράγοντας α για τον καθορισμό του ενεργού σεισμικού συντελεστή ως ποσοστό του a_{max}/g	Φάσματα απόκρισης	
Ιαπωνικός (1997, 1999) (Ministry of Transport Japan, 1999)	Δύο επίπεδα για κατασκευές ειδικής κατηγορίας. Ένα επίπεδο για κλάσεις A, B, C.	Για κατασκευές ειδικής κατηγορίας: καθόλου βλάβες για το επίπεδο 1, μικρές βλάβες και μικρή ή σύντομη διακοπή της εξυπηρετικότητας για το επίπεδο 2.	Πίνακες 3.1 και 3.2.	Η απλοποιημένη διαδικασία χρησιμοποιεί συντελεστές πλαστιμότητας μετακίνησης. Η ανάλυση rushover (υπερωθητική) χρησιμοποιεί όρια παραμορφώσεων.	$k_h = a_{max}/g$ ($a_{max} \leq 0,2g$) και $k_h = \frac{1}{3}(a_{max}/g)^{1/3}$ ($a_{max} > 0,2g$) Για κλάση Β οι σεισμικοί συντελεστές μειώνονται στο 60%.	Επίπεδο 1: φάσματα απόκρισης για αποβάθρες θεμελιωμένες σε πασσάλους. Επίπεδο 2: Ανάλυση ιστορίας (δεν ορίζονται φάσματα απόκρισης).	Αυτοί οι κανονισμοί και οι διατάξεις έχουν αναπτυχθεί αποκλειστικά για τον σχεδιασμό λιμενικών εγκαταστάσεων.
Ισπανικός (2000) (Puertos del Estado, Madrid, Spain, 2000)	Προσέγγιση δύο επιπέδων: η σεισμική διέγερση εισαγωγής σε κάθε επίπεδο εξαρτάται από την σπουδαιότητα και τον χρόνο ζωής της κατασκευής.	Επίπεδο 1: μικρή ή σύντομη διακοπή της εξυπηρετικότητας. Επίπεδο 2: αποφυγή κατάρρευσης.	Δεν ορίζεται.	Συντελεστές πλαστιμότητας για την κεφαλή των πασσάλων και τα εγκιβωτισμένα τμήματα. Διαφορετικοί για αποβάθρες και μώλους.	$\alpha = 0,7$	Φάσματα απόκρισης χρήσει συντελεστών με βάση τον τύπο της σεισμικότητας και τις εδαφικές συνθήκες ($\alpha_{σχεδιασμού} = 0,04-0,26g$).	



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

Κανονισμός/ Οδηγίες	Μεθοδολογία		Κριτήρια βλάβης		Αναλυτική διαδικασία		Σχόλια
	Προσέγγιση ενός ή δύο επιπέδων σεισμικών διεγέρσεων	Επίπεδο λειτουργικότητας (αποδεκτό επίπεδο βλάβης)	Μετακίνηση για κατασκευές αντιστήριξης	Όριο πλαστιμότητας/ παραμόρφωσης για αποβάθρες/ προβλήτες στηριζόμενες σε πασσάλους	Παράγοντας α για τον καθορισμό του ενεργού σεισμικού συντελεστή ως ποσοστό του a_{max}/g	Φάσματα απόκρισης	
Γερμανικός (1996) (EAU, Germany, 1996)	Προσέγγιση ενός επιπέδου. Απαιτείται πιο λεπτομερή ανάλυση αν η βλάβη μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή.	Δεν ορίζεται.	Δεν ορίζεται.	Δεν ορίζεται.	Δεν ορίζεται. Ο συντελεστής α λαμβάνεται από τον εθνικό κανονισμό.	Δεν ορίζεται.	Αυτοί οι κανονισμοί και οι διατάξεις έχουν αναπτυχθεί αποκλειστικά για τον σχεδιασμό λιμενικών εγκαταστάσεων.
Αμερικάνικο ναυτικό (Ferritto 1997 a,b)	Δύο επίπεδα. Επίπεδο 1: 75 χρόνια. Επίπεδο 2: 500 χρόνια.	Εξυπηρετικότητα για Επίπεδο 1 και δυνατότητα επιδιόρθωσης για Επίπεδο 2.	Όρια εδαφικών μετακινήσεων ορίζονται για τα επιχώματα των αποβάθρων.	Όρια πλαστιμότητας ορίζονται για τους πασσάλους.	Δεν ορίζεται.	Γραμμική ή μη-γραμμική δυναμική ανάλυση.	
Η. Π. Α. ASCE- TCLEE (1998) (Werner, 1998)	Προσέγγιση δύο επιπέδων: χρόνος έκθεσης και εδαφική κίνηση σύμφωνα με την σπουδαιότητα και τον χρόνο ζωής σχεδιασμού.	Κρίσιμες κατασκευές: εξυπηρετικότητα για Επίπεδο 1 και δυνατότητα επιδιόρθωσης για Επίπεδο 2. Άλλες κατασκευές: δυνατότητα επιδιόρθωσης για Επίπεδο 1.	Ιδιαίτερα για κάθε περιοχή με βάση την εξυπηρετικότητα και τις επιπτώσεις στις γειτονικές περιοχές.	Όρια πλαστιμότητας ορίζονται για τους πασσάλους.	$k_h = a_{max}/g$ ($a_{max} \leq 0,2g$) και $k_h = \frac{1}{3} (a_{max} / g)^{1/3}$ ($a_{max} > 0,2g$)	α) Μέθοδοι φάσματος απόκρισης β) Ανάλυση χρονοϊστορίας γ) Pushover (υπερωθητική) ανάλυση.	



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

Κανονισμός/ Οδηγίες	Μεθοδολογία		Κριτήρια βλάβης		Αναλυτική διαδικασία		Σχόλια
	Προσέγγιση ενός ή δύο επιπέδων σεισμικών διεγέρσεων	Επίπεδο λειτουργικότητας (αποδεκτό επίπεδο βλάβης)	Μετακίνηση για κατασκευές αντιστήριξης	Όριο πλαστιμότητας/ παραμόρφωσης για αποβάθρες/ προβλήτες στηριζόμενες σε πασσάλους	Παράγοντας α για τον καθορισμό του ενεργού σεισμικού συντελεστή ως ποσοστό του a_{max}/g	Φάσματα απόκρισης	
Η. Π. Α. Ναυτικοί τερματικοί σταθμοί καυσίμων στην Καλιφόρνια (2007) (California Building Standards Commission 2007)	Δύο επίπεδα. Επίπεδο 1: 75 χρόνια. Επίπεδο 2: 500 χρόνια.	Εξυπηρετικότητα για Επίπεδο 1 και δυνατότητα επιδιόρθωσης για Επίπεδο 2.	Όρια παραμορφώσεων του εδάφους για αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής.	Όρια παραμορφώσεων για πασσάλους υπό οριακές συνθήκες.	Δεν ορίζεται B) Πολύτροπη (multi-mode).	A) Μονότροπη (single mode) B) Pushover Γ) Ανελαστική.	Δυνατότητα πλήρους δυναμικής ανάλυσης
Ευρωκώδικας (1994) (CEN, 1994)	Προσέγγιση δύο επιπέδων.	Δεν γίνεται αναφορά στις λιμενικές κατασκευές.	Δεν ορίζεται.	Δεν ορίζεται. Δίνεται μια οδηγία για τον σχεδιασμό των πλαστικών αρθρώσεων.	Ορίζεται το ποσοστό της εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού για την $\alpha_{σχεδιασμού}$	Φάσματα απόκρισης χρήσει συντελεστών για την $\alpha_{σχεδιασμού}$, την φασματική ενίσχυση, την απόσβεση και τις διάφορες εδαφικές κατηγορίες.	Αυτοί οι κανονισμοί αναφέρονται σε κτίρια και άλλα έργα πολιτικού μηχανικού χωρίς ευθεία αναφορά σε λιμενικές εγκαταστάσεις.
Νέα Ζηλανδία (1992-1997) (New Zealand Standards, 1992-1997)	Μέθοδος δύο επιπέδων.	Δίνεται το μέγιστο φάσμα απόκρισης για την τελική οριακή κατάσταση.	Δεν ορίζεται.	Ορίζονται και τα δύο.	Χρησιμοποιούνται φάσματα σχεδιασμού.	Με βάση την ζώνη σεισμικότητας, τις εδαφικές συνθήκες, την περίοδο της κατασκευής και τον συντελεστή πλαστιμότητας.	

B. Εξοπλισμός μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου

Οι γερανοί σχεδιάζονται συνήθως ως άκαμπτα πλαίσια. Ειδικά κριτήρια σχεδιασμού για τους γεραμούς εμπορευματοκιβωτίων υπάρχουν και εφαρμόζονται στις Η.Π.Α. Νέα κριτήρια και πρότυπα αναφέρονται στην εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης των σύγχρονων υπερμεγέθων γεραμών (jumbo cranes) (Soderberg et al. 2009).

Προγενέστερες σεισμικές απαιτήσεις σχεδιασμού

Οι περισσότεροι τοπικοί κτιριακοί κανονισμοί είναι κατάλληλοι για τον σχεδιασμό κτιριακών εγκαταστάσεων, και όχι για κατασκευές γεραμών εμπορευματοκιβωτίων που έχουν τη δυνατότητα μετακίνησης και ανασήκωσης από το κρηπίδωμα, καθώς δεν είναι σταθερά συνδεδεμένοι με τη βάση έδρασης τους (η παραδοχή της πακτωμένης κατασκευής γίνεται συχνά κατά τον σχεδιασμό των κτιρίων). Οι γερανοί εμπορευματοκιβωτίων σχεδιάζονταν στο παρελθόν με βάση προδιαγραφές απόκρισης και λειτουργικότητας συγκεκριμένων έργων που παρέχονταν από συμβούλους ή/και κατασκευαστές.

Ο τομέας της βιομηχανίας μελέτησε από νωρίς το θέμα της σεισμικής φόρτισης αυτού του είδους των κατασκευών, ωστόσο ο σεισμός δεν αποτελεί το βασικό κριτήριο σχεδιασμού. Οι προγενέστεροι γερανοί είναι μικρού μεγέθους και μπορούν να ανασηκωθούν από τις σιδηροτροχιές έδρασης προτού προκληθεί σημαντική δομική βλάβη. Τυπικές φορτίσεις που προκύπτουν για σεισμική επιτάχυνση της τάξεως 0.2g στις διευθύνσεις των τροχιών κίνησης και της κίνησης του ικριώματος, εφαρμοζόμενες όχι παράλληλα, καθορίζονταν για την εξασφάλιση μιας «λογικής» πλευρικής αντοχής (Soderberg et al. 2009). Στις περιοχές όπου υπάρχει κίνδυνος εκδήλωσης θύελλας ή/και τυφώνα, οι φορτίσεις λόγω ανέμου ελέγχουν τον (πλευρικό) σχεδιασμό.

Κριτήρια σχεδιασμού

Λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις για τη σεισμική απόκριση των γεραμών που ορίζονται από την βιομηχανία και τους προμηθευτές, τα πρόσφατα κριτήρια σχεδιασμού των λιμενικών αρχών, καθώς και οι επερχόμενες εθνικές κανονιστικές διατάξεις στις Η.Π.Α., περιλαμβάνουν ελάχιστες απαιτήσεις σχεδιασμού για τους γεραμούς και παρόμοιες κατασκευές επί των αποβάθρων.

Τα νέα πρότυπα για τον αντισεισμικό σχεδιασμό νέων αποβάθρων και μόλων απαιτούν ότι οι βοηθητικές σε αυτούς κατασκευές, όπως οι γερανοί, θα πρέπει να σχεδιάζονται με στόχο την



αποφυγή της κατάρρευσης υπό την επίδραση του νέου Μέγιστου Σεισμού Σχεδιασμού που ορίζεται από την ASCE (Maximum Considered Earthquake - MCE), με περίοδο επαναφοράς 2.475 χρόνια (Soderberg et al. 2009). Οι κανονιστικές διατάξεις πολλών λιμένων στην Δυτική Ακτή διαθέτουν παρόμοιες, και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα πιο αυστηρές, απαιτήσεις.

Τα κριτήρια σχεδιασμού που έχουν υιοθετηθεί από το λιμάνι του Los Angeles, εκτός από την απαίτηση ότι ένας νέος γερανός δεν θα καταρρεύσει υπό τον Μέγιστο Σεισμό Σχεδιασμού, ορίζουν ότι θα πρέπει να υποστεί μόνο ελάχιστες βλάβες για τον Σεισμό Επιπέδου Λειτουργικότητας (Operating Level Earthquake - OLE). Η τελευταία απαίτηση μπορεί να είναι και καθοριστική για τον σχεδιασμό ορισμένων νέων γερανών.

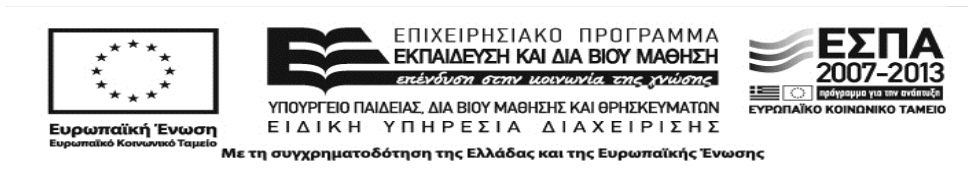
Ο Πίνακας 3.5 παρέχει μια σύνοψη των διατάξεων απαιτήσεων σχεδιασμού για τους γερανούς εμπορευματοκιβωτίων.

Πίνακας 3.5. Απαιτήσεις σχεδιασμού για τους γερανούς εμπορευματοκιβωτίων στις Η.Π.Α. (Soderberg et al. 2009).

Κανονισμός	Απαιτούμενη Σεισμική Απόκριση Γερανού	
	Μικρές βλάβες για τον σεισμό σχεδιασμού των 72 ετών	Αποφυγή κατάρρευσης για το μέγιστο σεισμό σχεδιασμού
Κανονισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού για Νέες Αποβάθρες και Προβλήτες – ASCE (2013)		X
Λιμάνι του Los Angeles (2007)	X	X
Λιμάνι του Long Beach (2009)		*
Λιμάνι του Oakland (2008)		X
Λιμάνι του Tacoma (2009)	X	

* Το λιμάνι του Long Beach δεν διαθέτει κανονιστικές διατάξεις αποκλειστικά για γερανούς αλλά απαιτεί οι γερανοί να σχεδιάζονται για την αποφυγή κατάρρευσης με βάση τις απαιτήσεις του Κτιριακού Κανονισμού της Καλιφόρνια.

Τέλος αναφέρεται ότι σε πρόσφατα έργα στις Η.Π.Α. έχουν χρησιμοποιηθεί τα νέα κριτήρια σχεδιασμού της κατασκευαστικής εταιρείας Liftech. Σύμφωνα με τα κριτήρια αυτά, ορίζονται απαιτήσεις σχεδιασμού για δύο σεισμικές διεγέρσεις σχεδιασμού (Σεισμός Επιπέδου Λειτουργικότητας και Σεισμός Επιπέδου Απρόβλεπτων - Τυχηματικών Γεγονότων) με περιόδους επαναφοράς 72 και 475 χρόνια αντίστοιχα. Οι απαιτήσεις λειτουργικότητας



προβλέπουν την αποφυγή της κατάρρευσης και την προστασία της ανθρώπινης ζωής. Τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις σχεδιασμού ακολουθούνται σύμφωνα με τα αντίστοιχα κριτήρια σχεδιασμού: α) ο γερανός σχεδιάζεται ώστε να μπορεί να ανασηκωθεί, β) η κατασκευή να συμπεριφέρεται ανελαστικά, και γ) ο γερανός να είναι σεισμικά μονωμένος από την αποβάθρα έδρασης.



4 Τυπολογία παράκτιων λιμενικών έργων και λοιπών υποδομών στην Ελλάδα

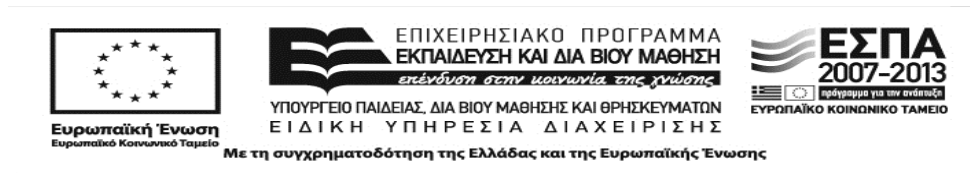
Οι λιμενικές εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν ποικίλες κατασκευές και υποδομές συνυφασμένες με την κίνηση των επιβατών, τον χειρισμό και την αποθήκευση των εμπορευμάτων, την σιδηροδρομική και οδική μεταφορά επιβατών και φορτίων, τις τηλεπικοινωνίες και λοιπά δίκτυα κοινής ωφέλειας, τη διαχείριση, πλοήγηση, συντήρηση, διοίκηση, καθώς και άλλες λειτουργίες υποστήριξης των δραστηριοτήτων εντός του λιμένα. Οι επιμέρους συνιστώσες μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Παράκτια λιμενικά έργα:
 - κατασκευές αντιστήριξης/επιχώματα (π.χ. αποβάθρες, επιχώματα, κυματοθραύστες, δίκτυο λωρίδων θαλάσσιας ναυσιπλοΐας και πλεύσιμων υδάτινων διόδων),
 - προκουμαίες κατασκευές πρόσδεσης και αγκυροβολίας πλοίων.
- Εξοπλισμός μεταφοράς, διαχείρισης και αποθήκευσης φορτίου:
 - περιοχές αποθήκευσης εμπορευματοκιβωτίων,
 - δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων,
 - εξοπλισμός μεταφοράς και διαχείρισης υλικού.
- Συνιστώσες υποδομών:
 - δίκτυα κοινής ωφελείας (δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, ύδρευσης, αποχέτευσης, φυσικού αερίου, υγρών καυσίμων, τηλεπικοινωνίας, πυρόσβεσης),
 - υποδομές μεταφοράς (οδικό δίκτυο, σιδηροδρομικό δίκτυο, γέφυρες),
 - κτίρια (υπόστεγα και αποθήκες, κτίρια γραφείων και συντήρησης, επιβατικοί σταθμοί, κτίρια ελέγχου της κίνησης, κ.τ.λ.).

Ακολουθεί η περιγραφή της τυπολογίας των εγκαταστάσεων αυτών, με έμφαση στην ελληνική και ευρωπαϊκή κατασκευαστική πρακτική.

A. Παράκτια λιμενικά έργα

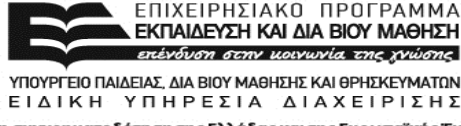
Ο βασικός ρόλος των παράκτιων λιμενικών έργων είναι η διαμόρφωση συνθηκών ασφαλούς σταθμεύσεως και φορτο-εκφόρτωσης πλοίων. Περιλαμβάνουν εύρος εδαφικών αναχωμάτων και ποικίλες προκουμαίες κατασκευές. Τα αναχώματα μπορεί να συνίστανται από ομογενείς ή πολύ-στρωματικές κατασκευές, οπλισμένες με βραχώδη ή άλλα υλικά, στην κορυφή των οποίων μπορεί να υπάρχει τοποθετημένη πλάκα σκυροδέματος. Οι προκουμαίες κατασκευές



αποτελούνται από τοίχους αντιστήριξης, αποβάθρες θεμελιωμένες σε πασσάλους, προβλήτες ή και συνδυασμό αυτών.

Με βάση το είδος τους, είναι δυνατό να διακριθούν οι παρακάτω κατηγορίες παράκτιων λιμενικών έργων (Werner 1998, PIANC 2001, Kakderi and Pitilakis 2014):

- Παράκτιες κατασκευές αντιστήριξης βαρύτητας. Περιλαμβάνουν τοίχους από ογκόλιθους (μπλοκ) σκυροδέματος, συμπαγείς τοίχους (μονολιθικές κατασκευές), τοίχους σκυροδέματος διατομής κιβωτίου (caissons), διαφραγματικές κατασκευές, «πορώδης» κατασκευές από μεταλλικά φύλλα, κυλινδρικά μεταλλικά κιβώτια και κατασκευές ανοικτού τύπου. Μπορεί να είναι θεμελιωμένες σε συνεκτικά ή μη εδάφη κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης ή σε βράχο.
- Πασσαλοδιαφράγματα με βοηθητικές κατασκευές για αγκύρωση (διαφέρουν ανάλογα με το είδος της αγκύρωσης: αγκυρώσεις σε μπλοκ από σκυρόδεμα, με κεκλιμένους πασσάλους, με μεταλλική πλάκα) ή με αποβάθρα (οριζόντια πλάκα θεμελιωμένη σε πασσάλους). Θεμελιώνονται με διάφραγμα, πασσάλους ή εδαφικό επίχωμα, και είναι συχνά μεταλλικές κατασκευές.
- Παράκτιες κατασκευές (αποβάθρες) θεμελιωμένες σε πασσάλους, συχνά μερικής εδαφικής αντιστήριξης και με βοηθητικές κατασκευές αγκυροβολίας. Οι διαφορετικοί τύποι καταστρώματος περιλαμβάνουν έγχυτες επίπεδες πλάκες σκυροδέματος, έγχυτες κατασκευές σκυροδέματος πλάκας και δοκού, σύστημα δοκών κιβωτίου σκυροδέματος μεγάλου ανοίγματος, προεντεταμένα προκατασκευασμένα πλαίσια σκυροδέματος, προκατασκευασμένα πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος, συστήματα καταστρώματος χαλικο-τσιμέντου. Επίσης, μπορεί να περιλαμβάνουν κατασκευές με στύλους και βοηθητικές κατασκευές για απορρόφηση της οριζόντιας ενέργειας (μερικές φορές μερικής εδαφικής αντιστήριξης).
- Μόλοι με διάφορες μορφές διατομής της πλάκας και με κατακόρυφους ή κεκλιμένους πασσάλους κατασκευασμένους από ξύλο, μέταλλο ή σκυρόδεμα. Οι μόλοι (συνήθως κάθετοι στην ακτογραμμή) διακρίνονται από τις κατασκευές που είναι παράλληλες στην ακτογραμμή και περιλαμβάνουν κατασκευή εδαφικής ή βραχώδους πρόσχωσης.
- Επιπλεύουσες κατασκευές αγκυροβολίας και εγκόλισης. Αποτελούν μονολιθικές κατασκευές βαρύτητας, θεμελιωμένες σε επιχώματα κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης, φυσικό έδαφος ή βράχο (μερικές φορές και σε πασσάλους), ή κατασκευές πασσάλων (επιπλεύουσες αποβάθρες).



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

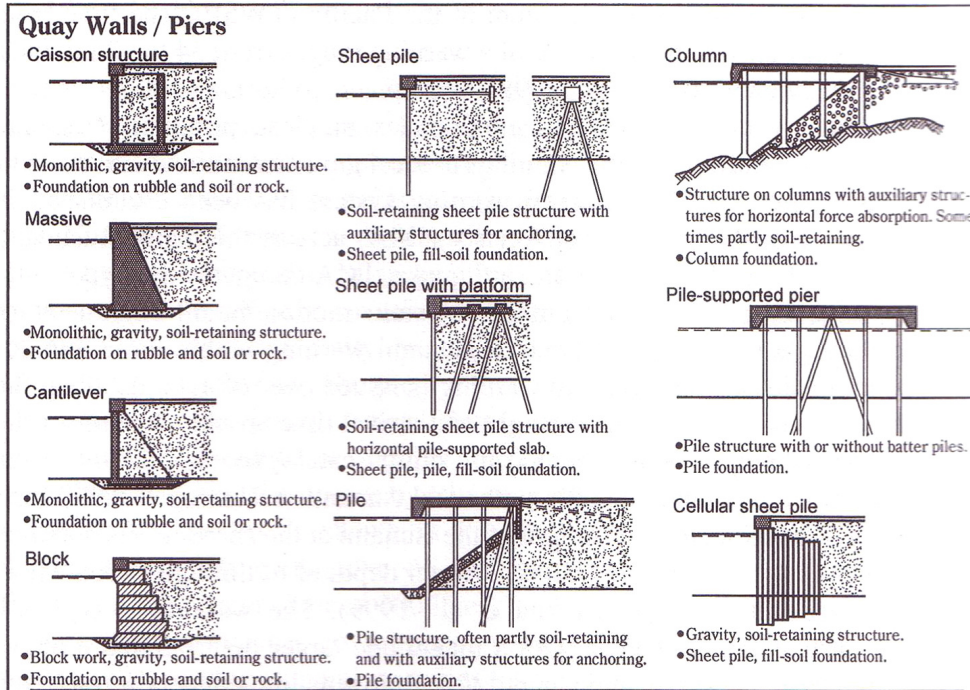
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

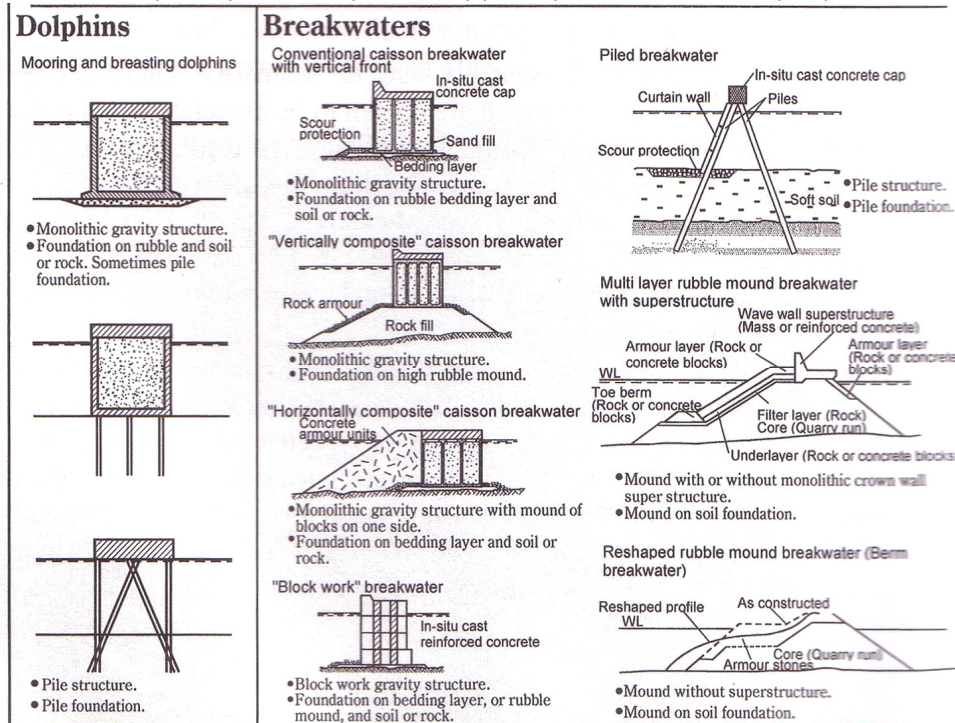
- **Αναχώματα.** Οι διαφορετικοί τύποι περιλαμβάνουν χωμάτινα αναχώματα, αμμώδεις προσχώσεις με επίχωμα, κυματοθραύστες (κατακόρυφου μετώπου ή αναχώσεις), κρηπιδώματα και τοίχους προστασίας ακτών. Οι κυματοθραύστες μπορούν να ταξινομηθούν παραπέρα σε συμβατικούς κυματοθραύστες διατομής κιβωτίου κατακόρυφου μετώπου (μονολιθικές κατασκευές, θεμελιωμένες σε επίχωμα κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης, φυσικό έδαφος ή βράχο), «κατακορύφως σύνθετοι» κυματοθραύστες διατομής κιβωτίου (μονολιθικές κατασκευές, θεμελιωμένες σε υψηλό επίχωμα κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης), «οριζοντίως σύνθετοι» κυματοθραύστες διατομής κιβωτίου (μονολιθικές κατασκευές με επίχωμα ογκολίθων από την μια πλευρά, θεμελιωμένες σε φυσικό έδαφος ή βράχο), κυματοθραύστες από ογκολίθους (κατασκευές βαρύτητας από μπλοκ, θεμελιωμένες σε επίχωμα κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης, φυσικό έδαφος ή βράχο), κυματοθραύστες με πασσάλους, πολυστρωματικά αναχώματα με επιφανειακή κατασκευή (ανάχωμα με ή χωρίς μονολιθικό τοίχωμα στέψης στην ανωδομή, θεμελιωμένο σε επίχωμα κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης ή φυσικό έδαφος), Berg κυματοθραύστες (ανάχωμα χωρίς επιφανειακή κατασκευή, επιχωμένο σε φυσικό έδαφος).
- **Πάσσαλοι.** Οι διαφορετικοί τύποι πασσάλων περιλαμβάνουν προεντεταμένους πασσάλους από σκυρόδεμα, προεντεταμένους κυλινδρικούς πασσάλους από σκυρόδεμα μεγάλης διαμέτρου, έγχυτους πασσάλους σκυροδέματος, μεταλλικούς πασσάλους διατομής Η, μεταλλικούς πασσάλους κοίλης διατομής, μεταλλικούς πασσάλους κοίλης διατομής μεγάλης διαμέτρου, ξύλινους πασσάλους, κατακόρυφα συστήματα πασσάλων, κεκλιμένα συστήματα πασσάλων).

Στα Σχήματα 4.1 και 4.2. δίνονται οι τυπικές κατηγορίες παράκτιων λιμενικών έργων.

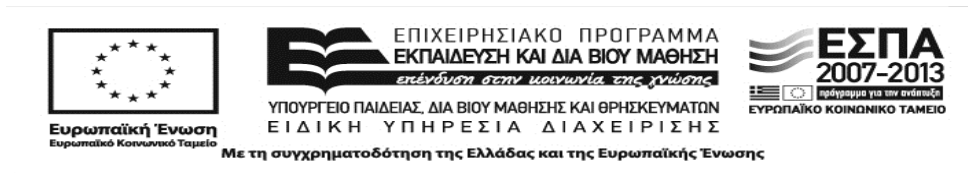
Από την πλευρά της μηχανικής των κατασκευών, τα παράκτια λιμενικά έργα αποτελούν συστήματα εδάφους-κατασκευής αποτελούμενα από διαφορετικούς συνδυασμούς τύπου κατασκευής και θεμελίωσης. Η περιγραφή της τυπολογίας τους μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο λεπτομερής. Επιπλέον, μερικές παράκτιες κατασκευές αποτελούν σύνθετα στοιχεία και δεν μπορούν να χαρακτηριστούν πλήρως από ένα μοναδικό δομικό τύπο ή τύπο θεμελίωσης.



Σχήμα 4.1. Τυπολογία παράκτιων λιμενικών έργων (κρηπιδότοιχοι / αποβάθρες) (PIANC 2001).



Σχήμα 4.2. Τυπολογία παράκτιων λιμενικών έργων (επιπέουσες κατασκευές / κυματοθραύστες) (PIANC 2001).



Κριτήρια ταξινόμησης λιμενικών έργων

Αρχικά, τα στοιχεία των λιμενικών έργων και των έργων προστασίας και διευθέτησης των ακτών χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα εγκάρσια και τα παράλληλα έργα (Κουτίτας 1994). Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται οι βραχίονες, οι μόλοι, οι γέφυρες και οι υποβρύχιοι αγωγοί ενώ τα παράλληλα τεχνικά έργα αποτελούν οι κυματοθραύστες και οι τοίχοι (κρηπιδότοιχοι και τοίχοι προστασίας ακτών).

Επιπλέον, τέτοιου είδους έργα χαρακτηρίζονται από διάφορες παραμέτρους, οι βασικότερες από τις οποίες σχετίζονται με την γεωμετρία τους, το είδος της διατομής τους, το υλικό κατασκευής τους, τον τύπο θεμελίωσης τους, την ύπαρξη και το είδος των αγκυρώσεων που διαθέτουν (PIANC 2001).

Τα υλικά κατασκευής τους είναι δυνατό να διαφέρουν ανάλογα με τις φυσικές και τις οικονομικές συνθήκες του χώρου κατασκευής. Τα τελευταία ποικίλουν από φυσικούς λίθους κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης και βάρους, άσπλο ή σπλισμένο σκυρόδεμα με επί τόπου έγχυση ή προκατασκευασμένα «μπλοκ», ή και μεταλλικές πασσαλοσανίδες. Γεωφάσματα και γεωμεμβράνες είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση των εδαφών θεμελίωσης και την προστασία των πρανών από τη δράση των κυματισμών και τέλος, διογκωμένη πολυστερίνη, GRP, και άλλα πλαστικά υλικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πλωτών στοιχείων λιμενικών έργων. Οι βραχίονες είναι δυνατό να είναι κατασκευασμένοι από λουκάνικα πολυαιθυλενίου γεμάτα με άμμο, λιθορριπές χωρίς πλατιά στέψη ή και πασσαλοφράγματα ξύλινα ή μεταλλικά. Τέλος, οι γέφυρες είναι ελαφρές κατασκευές από σπλισμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα.

Ένας σημαντικός παράγοντας καθορισμού της τυπολογίας των παράκτιων λιμενικών έργων αποτελεί το είδος της θεμελίωσης τους. Οι κατασκευές αυτού του είδους υποστηρίζονται σε πολλές περιπτώσεις από ξύλινους και χαλύβδινους πασσάλους, ή πασσάλους κατασκευασμένους από σκυρόδεμα. Αρκετές φορές διαθέτουν και κεκλιμένους πασσάλους, προκειμένου να μπορούν να παραλάβουν και να αντισταθούν στα φορτία από την δράση των κυματισμών, ή τα πιθανά χτυπήματα από τις άγκυρες των πλοίων. Κρηπιδότοιχοι και τοίχοι προστασίας ακτών διαθέτουν συχνά επιφανειακές θεμελιώσεις.

Το είδος της διατομής τέτοιου είδους έργων αποτελεί μια ακόμα κρίσιμη παράμετρο καθορισμού της τυπολογίας τους. Οι μόλοι είναι δυνατό να κατασκευαστούν με κατακόρυφα μέτωπα, με κεκλιμένα πρηνή ή με μικτές κατά βάθος και πλάτος διατομές, ανάλογα με την

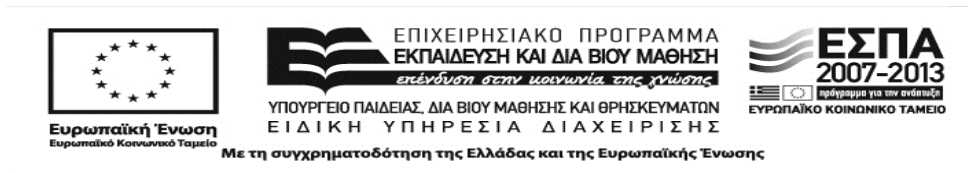


ποιότητα του εδάφους θεμελίωσης, τα βάθη του νερού και την απαίτηση ή όχι εξυπηρέτησης σκαφών στο εσωτερικό μέτωπο τους. Τα κατακόρυφα μέτωπα διαμορφώνονται από συμπαγείς ή κυψελωτούς ογκόλιθους, άοπλου σκυροδέματος ή από κιβώτια οπλισμένου σκυροδέματος, και τα κεκλιμένα πρηνή διαμορφώνονται από λιθορριπές με συνεχώς αυξανόμενη διάμετρο (και βάρη) λίθων, από τον πυρήνα προς την επιφάνεια. Οι βραχίονες κατασκευάζονται με λιγότερο πλατιές διατομές σε σχέση με τους μόλους. Οι κυματοθραύστες, ανάλογα με το αν είναι επιθυμητό να διέρχεται ένα μέρος της κυματικής ενέργειας, κατασκευάζονται βυθισμένοι, υδραυλικά διαπερατοί ή κατά τμήματα, ενώ οι γέφυρες είναι κατασκευές σε πασσάλους ή πυλώνες, που φέρουν οριζόντια πλάκα κυκλοφορίας πεζών και οχημάτων. Τέλος, οι κρηπιδότοιχοι αποτελούν στην ουσία κατασκευές αντιστήριξης με κατάλληλου υλικού επιχώματα, ενώ παρουσιάζονται σε διάφορες μορφές (βαρύτητας, μπλοκ από σκυρόδεμα, μορφής κιβωτίου κ.τ.λ.).

Κρηπιδότοιχοι

Ειδικότερα, οι κρηπιδότοιχοι είναι κατασκευές παράλληλες στην ακτή που επιτρέπουν την πλαγιοδέτηση ή πρυμνοδέτηση και φορτο-εκφόρτωση πλοίων, καθώς δημιουργούν κατακόρυφα μέτωπα που εκτείνονται σε βάθος επαρκές για την προσέγγιση πλοίων. Στην ουσία πρόκειται για τοίχους αντιστήριξης που δέχονται διάφορα είδη φορτίων (ενεργές και παθητικές ωθήσεις του εδάφους επίχωσης, ελκτικές δυνάμεις των πλοίων, καθώς και υδροστατικά και υδροδυναμικά φορτία). Οι διαφορετικοί τύποι κρηπιδότοιχων διακρίνονται ανάλογα με την γεωμετρία τους, το είδος της διατομής τους, το υλικό κατασκευής τους, τον τύπο θεμελίωσης τους, την ύπαρξη και το είδος των αγκυρώσεων (PIANC 2001). Το είδος του επιχώματος και του υλικού της θεμελίωσης, όπως επίσης και η ύπαρξη ή όχι στρώσης εξυγίανσης αποτελούν βασικούς παράγοντες καθορισμού της σεισμικής τους απόκρισης (Ichii 2003).

Ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους θεμελίωσης, τα οριζόντια φορτία επάνω τους και τα διαθέσιμα υλικά κατασκευής, χωρίζονται σε κλειστού και ανοικτού τύπου. Οι κρηπιδότοιχοι κατακόρυφου τύπου διακρίνονται ανάλογα με το είδος της λειτουργίας τους σε τοίχους βαρύτητας και διαφράγματα. Κατασκευάζονται από ογκόλιθους άοπλου σκυροδέματος, κιβώτια οπλισμένου σκυροδέματος ή πασσαλοσανίδες (μεταλλικές ή από οπλισμένο σκυρόδεμα), με δοκό στέψης η οποία αγκυρώνεται στις γαιώδεις μάζες πίσω από τον τοίχο. Οι τοίχοι βαρύτητας διακρίνονται με βάση το είδος της διατομής τους, ενώ τα διαφράγματα με την ύπαρξη και το είδος των αγκυρώσεων που διαθέτουν. Οι τοίχοι βαρύτητας από κιβώτια



σκυροδέματος χρησιμοποιούνται συνήθως σε κρηπιδότοιχους μεγάλης κλίμακας με βάθη μεγαλύτερα από 7,5 m. Μερικοί τύποι κατασκευής κρηπιδότοιχων είναι οι εξής :

Κατακόρυφου τύπου

- Ογκόλιθοι από σκυρόδεμα.
- Κιβώτια.
- Πασσαλοφράγματα.
- Πασσαλοσανίδες.
- Πασσαλοσανίδες με ανακουφιστική πλάκα.

Ανοικτού τύπου

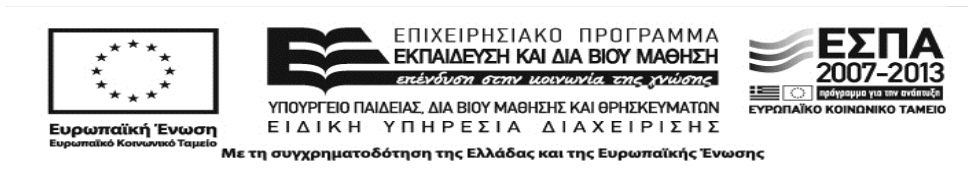
- Ανοικτού τύπου επί πασσάλων.
- Επί πασσάλων με ανακουφιστική πλάκα.

B. Εξοπλισμός μεταφοράς, διαχείρισης και αποθήκευσης φορτίου

Οι γερανοί και γενικότερα ο εξοπλισμός και τα διάφορα συστήματα χειρισμού φορτίου, μπορούν να θεωρηθούν ως στοιχεία εξοπλισμού μεγάλων διαστάσεων, τα οποία και χρησιμοποιούνται με σκοπό τη φόρτωση και εκφόρτωση του μεταφερόμενου φορτίου από και προς τα σκάφη, καθώς και τα διάφορα μέσα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αυτών, την προσωρινή απόθεση ή και αποθήκευση τους. Τα συστήματα και ο εξοπλισμός μεταφοράς, χειρισμού και αποθήκευσης φορτίου που συναντώνται γενικότερα στους λιμένες μπορεί να είναι (Werner 1998, Kakderi and Pitilakis 2014):

- Συστήματα γερανών (γερανοί, γερανογέφυρες, θεμελιώσεις γερανών, συστήματα παροχής ενέργειας).
- Συστήματα δεξαμενών (δεξαμενές, θεμελιώσεις δεξαμενών).
- Διάφορα άλλα συστήματα χειρισμού και αποθήκευσης φορτίου (εξοπλισμός και συστήματα χειρισμού υλικών και φορτίων, σήραγγες και αγωγοί, στοιχεία προσωρινής αποθήκευσης).

Οι γερανοί, οι οποίοι και παρουσιάζουν ιδιαίτερη σημασία καθώς χαρακτηρίζονται ως η βασικότερη κατηγορία των συστημάτων χειρισμού φορτίου που απαντώνται κατά κανόνα σε όλες τις εγκαταστάσεις των λιμένων ανά τον κόσμο, αποτελούνται συνήθως από μεταλλική κατασκευή, διαστάσεων και όγκου ανάλογων της ικανότητας αναλαβής φορτίου που διαθέτουν. Οι γερανοί και οι γερανογέφυρες διακρίνονται σε κινητούς και σταθερούς. Οι τελευταίοι κατηγοριοποιούνται επιπλέον ως εξής:



- Κινούμενοι σε ράγες.
- Τροχοφόροι.
- Ερπυστριοφόροι.

Επιπλέον, οι γερανοί είναι δυνατό να κινούνται με βάση την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ή με τη χρήση κατάλληλης καύσιμης ύλης. Έτσι, διακρίνονται σε ηλεκτροκίνητους ή βενζινοκίνητους αντίστοιχα. Οι κινητοί γερανοί χρησιμοποιούν συνήθως μηχανές εσωτερικής καύσης. Αντίθετα, οι γερανοί κινούμενοι σε ράγες είναι δυνατό να τροφοδοτούνται είτε με ηλεκτρική ενέργεια είτε να χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης.

Η θεμελίωση των συστημάτων αυτών αποτελείται από μια δοκό σκυροδέματος, τοποθετημένη απευθείας στην επιφάνεια του υποστρώματος ή στηριζόμενη σε πασσάλους.

Το είδος του φορτίου που διαχειρίζονται αποτελεί ένα ακόμα χαρακτηριστικό της τυπολογίας τους. Διακρίνονται σε γεραμούς συμβατικού φορτίου και σε γεραμούς συμβατικού φορτίου-εμπορευματοκιβωτίων.

Τέλος, ανάλογα με την θέση τους στις εγκαταστάσεις του λιμένα, είναι δυνατό να χαρακτηρίζονται ως συστήματα γερανών τοποθετημένα παράπλευρα στις προκουμαίες ή εντός του αύλιου χώρου του λιμένα.

Οι βασικότερες παράμετροι καθορισμού της τυπολογίας των δεξαμενών είναι η ύπαρξη ή απουσία αγκυρώσεων, καθώς και το είδος τους. Έτσι διακρίνονται σε:

- Αγκυρωμένες και μη αγκυρωμένες.
- Υπέργειες, υπόγειες ή μερικώς θαμμένες.

Στα παρακάτω σχήματα δίνονται κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα συστημάτων γερανών από το λιμάνι της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 4.3. Ηλεκτροκίνητοι γερανοί κινούμενοι σε ράγες.



Σχήμα 4.4. Σύστημα έδρασης γερανού σε ράγες.



Σχήμα 4.5. Γερανογέφυρες.

Γ. Συνιστώσες υποδομών

Δίκτυα κοινής ωφελείας

Τα δίκτυα κοινής ωφελείας εντός των λιμενικών εγκαταστάσεων περιλαμβάνουν δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, ύδρευσης, αποχέτευσης, φυσικού αερίου, υγρών καυσίμων, τηλεπικοινωνίας και πυρόσβεσης.

Στον Πίνακα 4.1 δίνονται οι βασικές χρήσεις των δικτύων αυτών για την λειτουργία των λιμενικών εγκαταστάσεων.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Πίνακας 4.1. Βασικές χρήσεις των δικτύων κοινής ωφελείας για την λειτουργία των λιμενικών εγκαταστάσεων.

Δίκτυο	Χρήση
Δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας	Λειτουργία των γερανών και των αντλιών, φωτισμός των χώρων, λειτουργία του εξοπλισμού και των κτιριακών εγκαταστάσεων, καθώς και ως βοηθητική παροχή για την λειτουργία του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού στα πλοία. Εφεδρικές πηγές ενέργειας απαιτούνται στην περίπτωση απώλειας της παροχής από το αστικό δίκτυο.
Δίκτυο ύδρευσης	Πόση, προετοιμασία του φαγητού, υγιεινή και βοηθητική παροχή στα πλοία. Παροχή ύδατος (το οποίο μπορεί να μην είναι πόσιμο) χρειάζεται επιπλέον για τα συστήματα ψύξης.
Δίκτυο αποχέτευσης	Υγιεινή των λιμενικών εγκαταστάσεων και των πλοίων. Ο αύλιος χώρος των λιμένων θα πρέπει να διαθέτει επαρκή αποχέτευση των ομβρίων για την απρόσκοπτη λειτουργία των εργασιών.
Δίκτυο φυσικού αερίου	Θέρμανση και προετοιμασία του φαγητού.
Δίκτυο υγρών καυσίμων	Λειτουργία των κινητήρων εσωτερικής καύσης του σταθερού και κινούμενου εξοπλισμού, λειτουργία των εφεδρικών γεννητριών, παροχή καυσίμων στα πλοία.
Δίκτυο τηλεπικοινωνιών	Λειτουργίες ενσύρματης και ασύρματης επικοινωνίας στις εγκαταστάσεις του λιμένα και με τα πλοία, σε κανονικές συνθήκες και σε περιόδους κρίσης και αποκατάστασης.
Δίκτυο πυρόσβεσης	Λειτουργίες πυρόσβεσης στα κρηπιδώματα, τις αποθήκες και στα πλοία.

Η τυπολογία των δικτύων κοινής ωφελείας, με βάση τα ελληνικά και ευρωπαϊκά κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά, περιγράφεται από τους Pitilakis et al. (2014).

Υποδομές μεταφοράς

Οι υποδομές μεταφοράς εντός των λιμενικών εγκαταστάσεων περιλαμβάνουν οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα, καθώς και γέφυρες. Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά φορτίου και επιβατών, από και προς χερσαίες περιοχές προέλευσης και προορισμού. Επιπλέον, οι παράκτιες λιμενικές εγκαταστάσεις, καθώς και πολλά εγκάρσια λιμενικά έργα, απαιτούν πρόσβαση μέσω γεφυρών που πολλές φορές διασχίζουν υδάτινες μάζες (π.χ κοίτες ποταμών, λιμνοθάλασσες).



Η τυπολογία των υποδομών μεταφοράς, με βάση τα ελληνικά και ευρωπαϊκά κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά, περιγράφεται από τους Pitilakis et al. (2014)

Κτιριακές εγκαταστάσεις

Οι κτιριακές κατασκευές των λιμενικών εγκαταστάσεων μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες (Werner 1998):

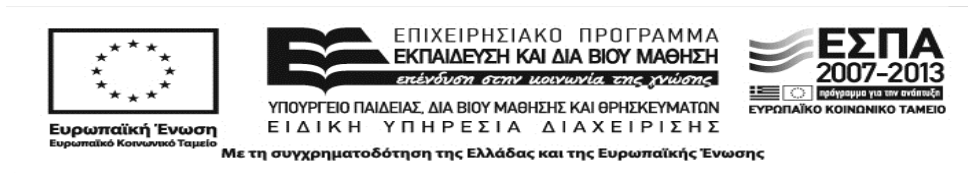
- Κτίρια ελέγχου της κίνησης.
- Επιβατικοί/ τερματικοί σταθμοί.
- Κτίρια γραφείων.
- Κτίρια συντήρησης.
- Υπόστεγα και αποθήκες.

Στεγάζουν διάφορες λειτουργίες, όπως:

- Διοίκηση.
- Ασφάλεια.
- Συντήρηση.
- Μηχανικές εργασίες.
- Αποθήκευση.
- Επιβίβαση/αποβίβαση.
- Άλλες λειτουργίες.

Τα υπόστεγα και οι αποθήκες αποτελούν κτιριακές εγκαταστάσεις για την αποθήκευση των αγαθών (φορτίων) πριν από τη χρήση, διανομή ή πώλησή τους. Μπορεί να βρίσκονται τοποθετημένα μακριά από την ακτογραμμή ή πάνω στις ίδιες τις παράκτιες κατασκευές. Περιλαμβάνουν πληθώρα φορτίων, από ακατέργαστα υλικά μέχρι βιομηχανικά αγαθά. Αποτελούν ανοικτές μεγάλες πλαισιωτές κατασκευές, με συστήματα οροφής μεγάλων ανοιγμάτων, στηριζόμενα συνήθως σε μια ή δυο διευθύνσεις. Σε κάποιες κατασκευές τοποθετούνται κεντρικοί στύλοι για την μείωση τους μήκους ανοίγματος της οροφής. Οι περιμετρικοί και διαχωριστικοί τοίχοι συνήθως κατασκευάζονται από προκατασκευασμένες πλάκες σκυροδέματος, τοιχοποιία ή μεταλλικές επιστρώσεις.

Τα κτίρια γραφείων αποτελούν μονόροφες ή πολυρόφες κατασκευές σκυροδέματος ή τοιχοποιίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι κατασκευασμένες από μέταλλο ή ξύλο. Στεγάζουν κρίσιμες λειτουργίες όπως συστήματα πληροφορικής, παρακολούθησης και ελέγχου, κέντρα αποφάσεων/ εντολών, λειτουργίες διαχείρισης και διοίκησης, μηχανικές



εργασίες και λειτουργίες ασφάλεια. Επίσης, στεγάζουν συνήθως εγκαταστάσεις για την παροχή βοήθειας, αντιμετώπιση της κρίσης και εργασίες αποκατάστασης μετά την εκδήλωση ενός σεισμικού γεγονότος.

Τα κτίρια συντήρησης των λιμένων χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση/επισκευή των συστημάτων εξοπλισμού ή για την φύλαξη/συντήρηση τους σε κατάλληλες συνθήκες. Συνήθως οι εγκαταστάσεις αυτές δεν είναι κρίσιμες για τη λειτουργικότητα του συστήματος, καθώς οι λειτουργίες συντήρησης μπορούν να καθυστερήσουν χρονικά ή να πραγματοποιηθούν κάπου αλλού. Σε γενικές γραμμές, αποτελούν κατασκευές παρόμοιες με τα υπόστεγα και τις αποθήκες, αλλά με σημαντικά μεγαλύτερη πυκνότητα προσωπικού, εγκαταστάσεων και μηχανολογικού εξοπλισμού. Επίσης μπορεί να στεγάζουν δεξαμενές αποθήκευσης επικίνδυνων χημικών υλικών και φυσικού αερίου, συστήματα καυσίμων και αναρτημένα συστήματα εξοπλισμού.

Οι επιβατικοί/ τερματικοί σταθμοί από την φύση τους αποτελούν πολυσύχναστες εγκαταστάσεις, γεγονός που απαιτεί αυστηρότερα κριτήρια σχεδιασμού και ειδικότερα μέτρα για την ασφαλή συγκέντρωση του κοινού. Τα υλικά κατασκευής τους μπορεί να είναι σκυρόδεμα, φέρουσα τοιχοποιία, μέταλλο ή ξύλο.

Ειδική κατηγορία κατασκευών αποτελούν τα κτίρια ελέγχου της κίνησης, καθώς αποτελούν συνήθως ψηλές πυργοειδής κατασκευές. Το ύψος των κατασκευών αυτών μπορεί να υπερβεί και τα 30m. Στο ανώτερο τμήμα τους περιλαμβάνουν γραφεία ελέγχου/ παρακολούθησης, των οποίων ο ρόλος είναι ιδιαίτερα κρίσιμος για τις λειτουργίες διάπλευσης, επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων.

Τέλος, στις λιμενικές εγκαταστάσεις συναντώνται συχνά κατασκευές άοπλης τοιχοποιίας και πλαισιωτές κατασκευές σκυροδέματος χαμηλής πλαστιμότητας, κατασκευασμένες με παλιότερους ή ακόμα και χωρίς αντισεισμικούς κανονισμούς. Οι χρήσεις τους περιλαμβάνουν συνήθως αποθήκες, γραφεία, εγκαταστάσεις συντήρησης και τερματικούς σταθμούς.



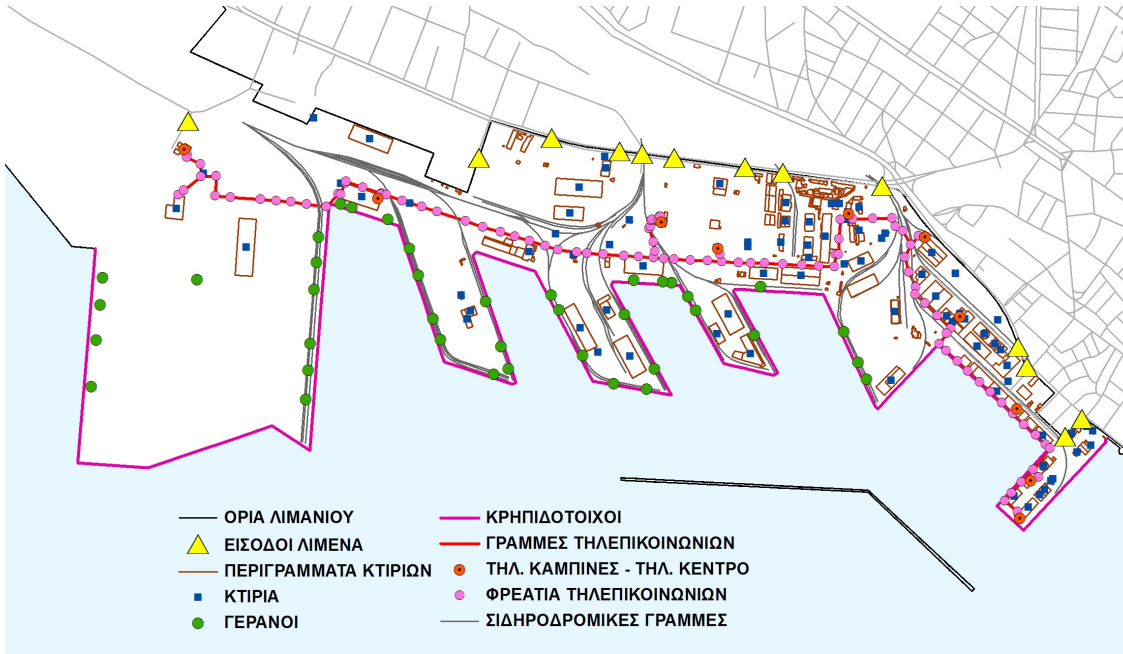
5 Περιγραφή – βάση δεδομένων και ταξινόμηση των δικτύων και υποδομών του λιμένα Θεσσαλονίκης

Το λιμάνι της Θεσσαλονίκης καλύπτει έκταση 1.550.000 m² και εξυπηρετεί ετησίως περίπου 16.000.000 τόνους εμπορευμάτων (από τους οποίους 7.000.000 τόνοι είναι ξηρό φορτίο και 9.000.000 υγρά καύσιμα), 370.000 TEUs εμπορευματοκιβώτια, 3.000 πλοία και 220.000 επιβάτες. Διαθέτει 6 προβλήτες με συνολικό μήκος κρηπιδωμάτων 6.500m και ωφέλιμο βάθος μέχρι 12 μέτρα, καθώς και 600.000 m² (στεγασμένους και υπαίθριους) αποθηκευτικούς χώρους. Η εμπορευματική ζώνη του λιμανιού είναι χωρισμένη σε δύο τμήματα: την συμβατική ζώνη και την «Ελεύθερη» ζώνη, όπου βρίσκεται εγκατεστημένη μια πληθώρα υποδομών και στοιχείων εξοπλισμού, όπως εξοπλισμός χειρισμού και φορτο-εκφόρτωσης εμπορευμάτων, σιδηροδρομικές υποδομές, καθώς και υποδομές διακίνησης και αποθήκευσης φορτίου. Η επιβατική ζώνη του λιμένα βρίσκεται σε διαρκή ανάπτυξη συνδέοντας την Θεσσαλονίκη με τα νησιά του Αιγαίου. Επιπλέον ο λιμένας περιλαμβάνει χώρους πολλαπλών χρήσεων, εκδηλώσεων και πολιτιστικών δραστηριοτήτων.

Υπάρχει διαθέσιμη βάση δεδομένων σε περιβάλλον GIS για το σύνολο των υποδομών και δικτύων εντός του λιμένα (Κακδέρη 2011). Η επικαιροποίηση των κατασκευαστικών, λειτουργικών και τυπολογικών χαρακτηριστικών των στοιχείων πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με τον Οργανισμό Λιμένος Θεσσαλονίκης (Ο.Λ.Θ.). Στα Σχήματα 5.1 και 5.2 δίνεται το σύνολο των στοιχείων και υποδομών του λιμένα Θεσσαλονίκης.

Ο κατάλογος απογραφής των συνιστωσών του λιμένα της Θεσσαλονίκης περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Παράκτια λιμενικά έργα / κρηπιδότοιχοι.
- Εξοπλισμός μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου.
- Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (γραμμές μεταφοράς και διανομής, υποσταθμοί).
- Δίκτυο ύδρευσης και αποχέτευσης (αγωγοί, αντλιοστάσια).
- Δίκτυο τηλεπικοινωνιών (γραμμές και σταθμοί).
- Σιδηροδρομικό (γραμμές) και οδικό (δρόμοι και γέφυρα) δίκτυο.
- Κτίρια και κρίσιμες υποδομές.



Σχήμα 5.1. Παράκτια λιμενικά έργα, εξοπλισμός φορτο-εκφόρτωσης, δίκτυο τηλεπικοινωνιών, σιδηροδρομικό δίκτυο και κτιριακές εγκαταστάσεις λιμένα Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 5.2. Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, δίκτυο υγρών καυσίμων, δίκτυο ύδρευσης, δίκτυο πυρόσβεσης και δίκτυο αποχέτευσης λιμένα Θεσσαλονίκης.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

A. Παράκτια λιμενικά έργα - Κρηπιδότοιχοι

Ο κατάλογος απογραφής για τα παράκτια λιμενικά έργα/ κρηπιδότοιχους δίνεται στον Πίνακα 5.1. Η ψηφιακή βάση δεδομένων περιλαμβάνει τα κρηπιδώματα του λιμένα Θεσσαλονίκης συνολικού μήκους 6,5 Km. Το τμήμα της 6^{ης} προβλήτας βρίσκεται ακόμα υπό κατασκευή, ενώ στην βάση εντάχθηκε μόνο το τμήμα εκείνο που έχει ολοκληρωθεί και βρίσκεται σε χρήση.

Τυπολογία παράκτιων λιμενικών έργων/ κρηπιδότοιχων

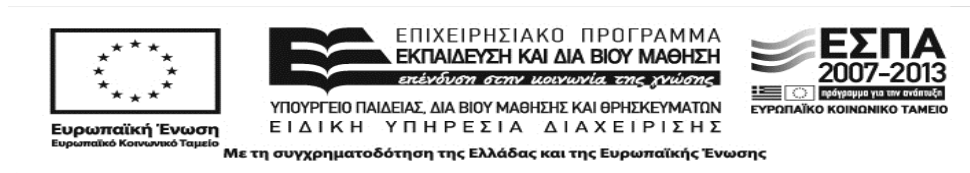
Τα κρηπιδώματα του λιμένα Θεσσαλονίκης, παρά το γεγονός ότι είναι κατασκευασμένα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους (από το 1904 τα παλαιότερα τμήματα έως το 1982 τα νεότερα) παρουσιάζουν μια σχετική ομοιομορφία ως προς τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Πρόκειται στο σύνολό τους για κρηπιδότοιχους βαρύτητας, 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. Σημειώνεται το γεγονός ότι το τμήμα της 6^{ης} προβλήτας που πρόκειται να κατασκευαστεί θα αποτελείται από κρηπιδότοιχους βαρύτητας, διατομής κιβωτίου από οπλισμένο σκυρόδεμα.

B. Εξοπλισμός μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου

Ο κατάλογος απογραφής για τον εξοπλισμό μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου δίνεται στον Πίνακα 5.1. Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει 34 ηλεκτροκίνητους γερανούς, ανυψωτικής ικανότητας από 3 έως και 40 t, 4 γερανογέφυρες ανυψωτικής ικανότητας από 40 έως και 50 t και μια γερανογέφυρα εμπορευματοκιβωτίων επί σιδηροτροχιών (transtainer) ανυψωτικής ικανότητας 50 t.

Τυπολογία εξοπλισμού μεταφοράς και διαχείρισης φορτίου

Οι ηλεκτροκίνητοι γερανοί και οι γερανογέφυρες του λιμένα Θεσσαλονίκης αποτελούν στο σύνολο τους, μη σταθερά στοιχεία εξοπλισμού χωρίς αγκυρωμένα εξαρτήματα, ενώ κινούνται με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς την ύπαρξη εναλλακτικής πηγής τροφοδοσίας ενέργειας. Οι γερανογέφυρες και το transtainer χρησιμοποιούνται για τον χειρισμό εμπορευματοκιβωτίων, ενώ οι ηλεκτροκίνητοι γερανοί είναι συμβατικού φορτίου. Αναφορικά με την θέση τους στις εγκαταστάσεις του λιμένα, πρόκειται στο σύνολο τους για συστήματα γερανών τοποθετημένα παράπλευρα στις προκυμαίες, με εξαίρεση μια γερανογέφυρα που



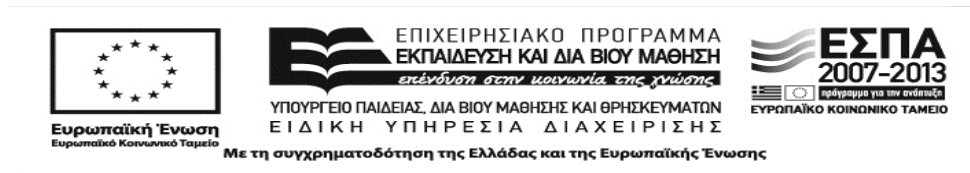
βρίσκεται τοποθετημένη στον 6^ο προβλήτα. Τέλος, σημειώνεται το γεγονός ότι τα στοιχεία του εξοπλισμού φορτο-εκφόρτωσης που βρίσκονται τοποθετημένα κατά μήκος των κρηπιδωμάτων και των έξι προβλήτων, έχουν την δυνατότητα απεγκατάστασης ή/και επανεγκατάστασης τους σε κάποιο άλλο σημείο, εφοδιασμένο με κατάλληλα συστήματα έδρασης, κατά περίπτωση και ανάλογα με τις ανάγκες που παρουσιάζονται κάθε φορά, εφόσον κάτι τέτοιο κριθεί τεχνικά και οικονομικά σκόπιμο και συμφέρον.

Γ. Δίκτυα και υποδομές

Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

Τα στοιχεία του δικτύου περιλαμβάνουν τους υποσταθμούς και τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας εντός των εγκαταστάσεων του λιμένα καθώς και τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη-εφεδρικές πηγές ενέργειας. Ο κατάλογος απογραφής που αναπτύχθηκε δίνεται στον Πίνακα 5.1.

Η βάση δεδομένων του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας του λιμένα Θεσσαλονίκης περιλαμβάνει συνολικά 17 υποσταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκονται εντός των εγκαταστάσεων του λιμένα. Από αυτούς, οι 14 υποσταθμοί ανήκουν στην δικαιοδοσία του Ο.Λ.Θ. και χρησιμοποιούνται για την κάλυψη σε ηλεκτροδότηση των αναγκών των κτιριακών και λοιπών εγκαταστάσεων. Επιπλέον, στην βάση δεδομένων υπάρχουν και 3 υποσταθμοί που ανήκουν στην δικαιοδοσία της ΔΕΗ και βρίσκονται εντός του χώρου του λιμανιού. Για τους υποσταθμούς είναι διαθέσιμα στοιχεία για τον τύπο και τον αριθμό των μετασχηματιστών καθώς και για το είδος της παροχής. Για την περίπτωση των στεγασμένων υποσταθμών, τα απαραίτητα για την αποτίμηση της τρωτότητας τους τυπολογικά χαρακτηριστικά των κτιρίων που τους στεγάζουν εντάχθηκαν στην βάση δεδομένων των κτιριακών εγκαταστάσεων του λιμανιού. Επιπρόσθετα, η βάση δεδομένων του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει επτά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη που χρησιμοποιούνται για την εφεδρική κάλυψη κρίσιμων λειτουργιών. Επικουρικά είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και 3 φορητές γεννήτριες 3x4KWA, οι οποίες λόγω της φύσης τους δεν καταχωρήθηκαν στο αντίστοιχο πεδίο της βάσης δεδομένων. Εγκαταστάσεις για την τοποθέτηση των γεννητριών αυτών έχουν γίνει στο κτίριο του κεντρικού λιμεναρχείου, καθώς και σε όλες τις πύλες. Τέλος, από το σύνολο των γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας εντός των εγκαταστάσεων του λιμένα ψηφιοποιήθηκαν περίπου 14Km αγωγών, στους οποίους εντάσσονται οι αγωγοί του 6^{ου} προβλήτα, οι αγωγοί τροφοδοσίας των γερανών και καθώς και οι γραμμές τροφοδοσίας των υποσταθμών και σύνδεσης με το δίκτυο



της πόλης. Σημειώνεται ότι η χωροθέτηση των γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας έγινε κατά προσέγγιση.

Τυπολογία συνιστωσών δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

Αναφορικά με την τυπολογία τους, το σύνολο σχεδόν των υποσταθμών ηλεκτρικής ενέργειας έχει τάση λειτουργίας ίση με 20.000V, ενώ δεν διαθέτει αγκυρωμένα εξαρτήματα. Εξαιρεση αποτελεί ο υποσταθμός της ΔΕΗ 2 που είναι χαμηλής τάσης (400V). Οι υποσταθμοί διαφέρουν ως προς τον τύπο τους – από το σύνολο των 17 υποσταθμών ηλεκτρικής ενέργειας οι 12 είναι κλειστού τύπου και οι 5 ανοικτοί. Οι γραμμές είναι στο σύνολο τους υπόγειες, χωρίς αγκυρωμένα εξαρτήματα.

Τέλος, αναφορικά με τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη που χρησιμοποιούνται για την εφεδρική κάλυψη κρίσιμων λειτουργιών, το σύνολο των στοιχείων διαθέτουν αγκυρωμένα εξαρτήματα.

Δίκτυο τηλεπικοινωνιών

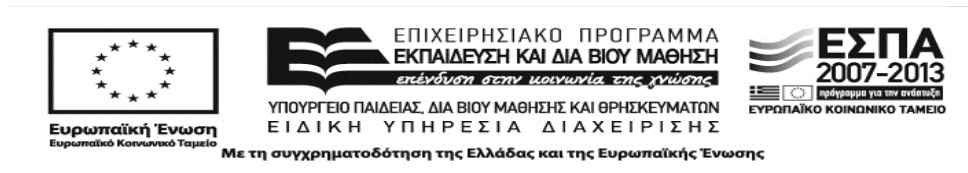
Το δίκτυο τηλεπικοινωνιών περιλαμβάνει τα τηλεφωνικά κέντρα, τις γραμμές τηλεπικοινωνιών και τα φρεάτια κατά μήκος των γραμμών αυτών. Ο κατάλογος απογραφής που αναπτύχθηκε δίνεται στον Πίνακα 5.1.

Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει εννέα θέσεις τηλεφωνικών καμπινών και ένα τηλεφωνικό κέντρο, καθώς και γραμμές συνολικού μήκους 3,5 Km. Οι γραμμές αποτελούνται από δίκτυο οπτικών ινών που χρησιμοποιείται τόσο για δεδομένα όσο και για επικοινωνίες. Παράλληλα ψηφιοποιήθηκαν και οι θέσεις 97 φρεατίων κατά μήκος των γραμμών των οπτικών ινών του δικτύου.

Τυπολογία συνιστωσών δικτύου τηλεπικοινωνιών

Το τηλεφωνικό κέντρο αποτελεί ανεξάρτητο κτίσμα και δεν διαθέτει αγκυρωμένα εξαρτήματα. Αναφορικά με την τυπολογία του κτιρίου πρόκειται για μονόροφη κατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος με αμιγή πλαισιακό φέροντα οργανισμό και με χαμηλό επίπεδο αντισεισμικού κανονισμού (κατασκευασμένο το 1960). Επιπλέον υπάρχουν εννέα θέσεις τηλεφωνικών καμπινών.

Το εσωτερικό δίκτυο του λιμένα αποτελείται από οπτικές ίνες τοποθετημένες σε πλαστική σωλήνωση, διαμέτρου 12,5-16,0cm και βάθους περίπου ίσο με 0,5m. Το συνολικό μήκος των γραμμών είναι ίσο με 3,5 Km.



Δίκτυο ύδρευσης

Υπάρχουν διαθέσιμα τα βασικά τυπολογικά χαρακτηριστικά για τους αγωγούς ύδρευσης και τις δεξαμενές εντός των εγκαταστάσεων του λιμένα, καθώς και τα φρεάτια κατά μήκος των αγωγών. Αντλιοστάσια ύδρευσης δεν υπάρχουν (με εξαίρεση την ύπαρξη μιας γεώτρησης στο 2^ο προβλήτα η οποία βρίσκει ελάχιστη ως μηδενική χρήση σήμερα). Ο κατάλογος απογραφής που αναπτύχθηκε δίνεται στον Πίνακα 5.1.

Οι αγωγοί ύδρευσης αποτελούν ένα πλήρως κυκλικό δίκτυο, μετά την πρόβλεψη και τοποθέτηση σε κατάλληλες θέσεις βανών και δικλείδων απομόνωσης, το οποίο τροφοδοτείται από το εξωτερικό δίκτυο από τέσσερις ανεξάρτητες θέσεις. Παράλληλα ψηφιοποιήθηκαν οι θέσεις 104 φρεατίων κατά μήκος των αγωγών του δικτύου και 3 δεξαμενών ύδρευσης. Τέλος, σε ξεχωριστό επίπεδο δίνονται τα σημεία σύνδεσης με το δίκτυο της πόλης.

Τυπολογία συνιστωσών δικτύου ύδρευσης

Το συνολικό μήκος του δικτύου είναι 19,3Km. Οι αγωγοί είναι κατασκευασμένοι στην πλειοψηφία τους από πλαστικό. Επίσης υπάρχουν χαλυβδοσωλήνες και γαλβανισμένοι σιδηροσωλήνες. Οι διάμετροι τους κυμαίνονται από 13-600mm. Οι δεξαμενές που βρίσκονται εντός του λιμένα είναι ορθογωνικές, χωρητικότητας 150-250 m³. Αντλιοστάσια ύδρευσης δεν υπάρχουν (με εξαίρεση την ύπαρξη μιας γεώτρησης στο 2^ο προβλήτα η οποία βρίσκει ελάχιστη ως μηδενική χρήση σήμερα).

Δίκτυο πυρόσβεσης

Ο λιμένας Θεσσαλονίκης δεν διαθέτει ανεξάρτητο δίκτυο πυρόσβεσης, οι αγωγοί ύδρευσης χρησιμοποιούνται για την κάλυψη και των αναγκών πυρόσβεσης. Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει τη θέση των σημείων πυρόσβεσης (κρουνοί) εντός των εγκαταστάσεων του λιμένα (126 κρουνοί), το μεγαλύτερο ποσοστό των οποίων βρίσκονται τοποθετημένοι κατά μήκος των αγωγών ύδρευσης περιμετρικά των κρηπιδωμάτων.

Δίκτυο αποχέτευσης

Το δίκτυο αποχέτευσης περιλαμβάνει τους αποχετευτικούς αγωγούς και τα αντλιοστάσια λυμάτων. Ο κατάλογος απογραφής που αναπτύχθηκε δίνεται στον Πίνακα 5.1.



Η βάση δεδομένων του αποχετευτικού δικτύου περιλαμβάνει αγωγούς συνολικού μήκους 15,2 Km, καθώς και τρία αντλιοστάσια λυμάτων. Τα στοιχεία για τα αντλιοστάσια δεν είναι γνωστά, ενώ το 13% των αγωγών του δικτύου είναι αγνώστου υλικού κατασκευής.

Τυπολογία συνιστωσών δικτύου αποχέτευσης

Για τα αντλιοστάσια του δικτύου αποχέτευσης, δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία αναφορικά με το μέγεθος τους και την ύπαρξη αγκυρώσεων. Το συνολικό μήκος των αγωγών του δικτύου είναι 15,2 Km. Οι αγωγοί είναι κατασκευασμένοι από χαλκό, τσιμέντο, σκυρόδεμα, χυτοσίδηρος, και πλαστικό, ενώ οι διάμετροι τους κυμαίνονται από 30 -1200 mm.

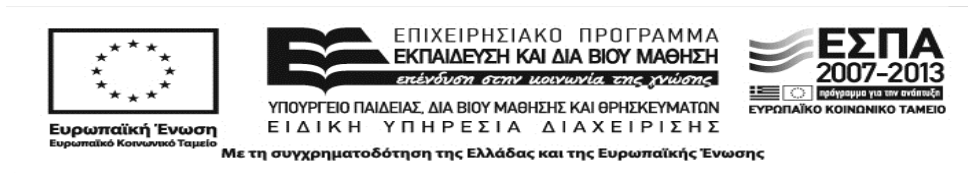
Εγκαταστάσεις καυσίμων

Εντός του λιμένα Θεσσαλονίκης βρίσκονται τοποθετημένες διάφορες εγκαταστάσεις καυσίμων, οι οποίες περιλαμβάνουν δεξαμενές αποθήκευσης και τα αντίστοιχα αντλιοστάσια. Τα στοιχεία αυτά θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικά σε περιόδους κρίσης όπως μετά την εκδήλωση ενός σεισμικού γεγονότος, λόγω της μεγάλης επικινδυνότητας των αποθηκευόμενων υλικών αλλά και την γειννίαση τους με άλλες κρίσιμες υποδομές του λιμένα. Τα τυπολογικά χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων αυτών περιγράφονται σε ξεχωριστή βάση δεδομένων (Πίνακας 5.1).

Στη βάση δεδομένων περιλήφθηκαν έξι δεξαμενές καυσίμων κίνησης και θέρμανσης για την εξυπηρέτηση των αναγκών του λιμένα, καθώς και μια δεξαμενή των Ελληνικών Πετρελαίων που βρίσκεται τοποθετημένη στον χώρο του λιμανιού. Για τις δεξαμενές υπάρχουν περιορισμένα διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με την ύπαρξη αγκυρώσεων και το επίπεδο του αντισεισμικού σχεδιασμού. Επιπλέον καταχωρήθηκαν η θέση και τα τυπολογικά χαρακτηριστικά έξι αντλιών καυσίμων, οι οποίες βρίσκονται τοποθετημένες στις αντίστοιχες δεξαμενές.

Τυπολογία εγκαταστάσεων καυσίμων

Οι δεξαμενές καυσίμων είναι στο σύνολο τους μεταλλικές, κυλινδρικές (με εξαίρεση μια ορθογωνική), με επιφανειακή θεμελίωση, και η χωρητικότητά τους κυμαίνεται από 4-2.800m³. Στοιχεία για την ύπαρξη αγκυρώσεων και το έτος κατασκευής δεν είναι γνωστά εκτός από μία περίπτωση. Οι αντλίες καυσίμων δεν διαθέτουν αγκυρωμένα εξαρτήματα όπως επίσης και εναλλακτικές πηγές τροφοδοσίας με ηλεκτρική ενέργεια.



Οδικό δίκτυο

Το οδικό δίκτυο του λιμένα Θεσσαλονίκης περιλαμβάνει τις οδούς πρόσβασης σε αυτό καθώς και την γέφυρα σύνδεσης του 6^{ου} προβλήτα με την περιφερειακή οδό. Στην βάση δεδομένων του λιμένα δίνονται τα σημεία σύνδεσης του με το οδικό δίκτυο της πόλης, δηλαδή οι πύλες του λιμένα με τα ονόματά τους.

Σιδηροδρομικό δίκτυο

Εντός των εγκαταστάσεων του λιμένα αναπτύσσεται ένα δίκτυο σιδηροδρομικών γραμμών, συνολικού μήκους 18,8 Km. Η περιγραφή της βάσης δεδομένων δίνεται στον Πίνακα 5.1.

Τυπολογία σιδηροδρομικών γραμμών

Πρόκειται στο σύνολο τους για μονές γραμμές χωρίς ηλεκτροκίνηση. Με βάση τη σημασία της γραμμής διακρίνονται σε κύριες, δευτερεύουσες ή εκτός χρήσης, ενώ με βάση την συχνότητα χρήσης τους χαρακτηρίζονται ως γραμμές με πολύ συχνή χρήση, με κανονική χρήση και γραμμές εκτός χρήσης. Οι τελευταίες αποτελούν και το παλαιότερο κομμάτι του δικτύου. Τέλος, ένα τμήμα των γραμμών που είναι εκτός χρήσης μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί με σχετικά πιο εύκολη αποκατάσταση λόγω του γεγονότος ότι είναι σε αχρηστία για μικρότερο χρονικό διάστημα.

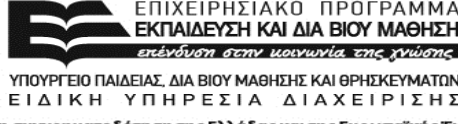
Δ. Κτιριακές εγκαταστάσεις

Οι κτιριακές εγκαταστάσεις ενός λιμένα περιλαμβάνουν μια πληθώρα στοιχείων, για την στέγαση λειτουργιών διοίκησης, ελέγχου της κίνησης επιβατών και πλοίων, ασφάλειας, συντήρησης, αποθήκευσης φορτίων, και άλλες υπηρεσίες κρίσιμες για την ομαλή λειτουργία του. Παράλληλα, στην παραπάνω κατηγορία εντάσσονται και τα κτίρια συνοδείας των δικτύων κοινής ωφελείας και υποδομών που υπάρχουν εντός των εγκαταστάσεων του λιμένα (π.χ. αντλιοστάσια, μηχανοστάσια, υποσταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας κ.τ.λ.). Ο κατάλογος απογραφής περιλαμβάνει στοιχεία αναφορικά με την ταυτότητα του κτιρίου, την χρήση του, την παροχή ενέργειας, τις εγκαταστάσεις εντός του κτιρίου, τα τεχνικά στοιχεία του, τις αλληλεπιδράσεις με δίκτυα κοινής ωφελείας και κάποια άλλα στοιχεία. Αναλυτικά δίνεται στον Πίνακα 5.1.

Τα στοιχεία της βάσης δεδομένων των κτιριακών εγκαταστάσεων του λιμένα περιλαμβάνουν 88 κτίρια. Γενικά για τα κτίρια υπάρχουν πολύ λίγα διαθέσιμα στοιχεία αναφορικά με τις ώρες λειτουργίας και τον αριθμό των προσώπων που συναθροίζονται στο κτίριο, καθώς και



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

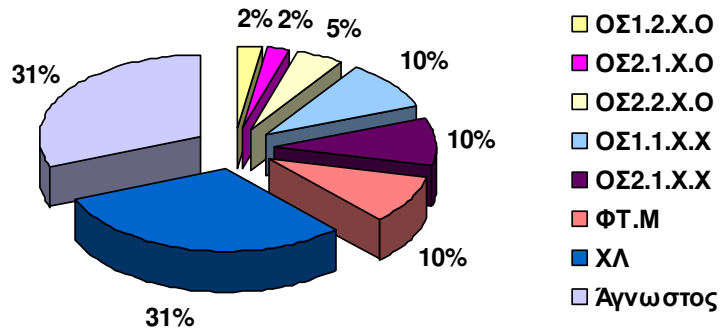
περιορισμένες πληροφορίες για τον κρίσιμο εξοπλισμό εντός των κτιρίων. Δεν υπάρχουν καθόλου πληροφορίες σχετικά με την σπουδαιότητα των κτιρίων, το ιστορικό σεισμικών βλαβών, τυχόν επισκευές/ ενισχύσεις και τις συνδέσεις τους με τα δίκτυα κοινής ωφελείας.

Επιπλέον, μια ξεχωριστή βάση δημιουργήθηκε για την περίπτωση των δεξαμενών του λιμανιού. Χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος κατάλογος απογραφής με τις δεξαμενές καυσίμων, ενώ στην βάση δεδομένων εντάχθηκαν δύο δεξαμενές μελάσσας. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για την ύπαρξη επικίνδυνων υλικών, το επίπεδο του αντισεισμικού σχεδιασμού και έτος κατασκευής.

Τυπολογία κτιριακών εγκαταστάσεων

Η ταξινόμηση της τυπολογίας των κτιριακών εγκαταστάσεων του λιμένα έγινε με βάση τις τυπολογικές κατηγορίες που προτείνονται από τους Karros et al. (2006). Αυτές περιλαμβάνουν χαμηλά (1-3 ορόφους) κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος με αμιγή πλαισιακό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και ύπαρξη pilotis στο ισόγειο κατασκευασμένα απουσία αντισεισμικού κανονισμού (πριν το 1959) (ΟΣ1.2.Χ.Ο), χαμηλά (1-3 ορόφους) κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος με μικτό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και ύπαρξη τοιχοποιίας πλήρωσης στο ισόγειο κατασκευασμένα απουσία αντισεισμικού κανονισμού (πριν το 1959) (ΟΣ2.1.Χ.Ο), χαμηλά (1-3 ορόφους) κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος με μικτό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και ύπαρξη pilotis στο ισόγειο κατασκευασμένα απουσία αντισεισμικού κανονισμού (πριν το 1959) (ΟΣ2.2.Χ.Ο), χαμηλά (1-3 ορόφους) κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος με αμιγή πλαισιακό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, ύπαρξη τοιχοποιίας πλήρωσης στο ισόγειο, και με χαμηλό επίπεδο αντισεισμικού κανονισμού (κατασκευασμένα μεταξύ 1959-1984) (ΟΣ1.1.Χ.Χ), χαμηλά (1-3 ορόφους) κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος με μικτό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, ύπαρξη τοιχοποιίας πλήρωσης στο ισόγειο, και με χαμηλό επίπεδο αντισεισμικού κανονισμού (κατασκευασμένα μεταξύ 1959-1984) (ΟΣ2.1.Χ.Χ), κτίρια άοπλης φέρουσας τοιχοποιίας μέσου ύψους (3 και άνω ορόφους) (ΦΤ.Μ) και χαλύβδινα κτίρια ως χωρικά πλαίσια ή/και με κατακόρυφους μεταλλικούς συνδέσμους (ΧΛ). Η ποσοστιαία κατανομή των τυπολογικών κατηγοριών φαίνονται στο Σχήμα 5.3, για τον καθορισμό της οποίας λήφθηκε υπόψη ένας ορισμένος αριθμός (39 κτίρια) από το σύνολο των 88 κτιρίων της βάσης δεδομένων. Βασικό κριτήριο για την επιλογή των πλέον κρίσιμων κτιριακών υποδομών υπήρξε η χρήση τους. Επιλέχθηκαν κτίρια διοίκησης, συνάθροισης

κοινού, ελέγχου της κίνησης πλοίων, επιβατών και φορτίων, κτίρια ασφάλειας, υποστήριξης δικτύων κοινής ωφελείας, συντήρησης και αποθήκευσης στοιχείων εξοπλισμού κ.τ.λ.



Σχήμα 5.3. Ποσοστιαία κατανομή των τυπολογικών κατηγοριών των κρίσιμων κτιριακών εγκαταστάσεων του λιμένα Θεσσαλονίκης.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



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

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Πίνακας 5.1. Περιγραφή βάσης δεδομένων λιμένα Θεσσαλονίκης (Κακδέρη 2011).

Δίκτυο	Στοιχείο	Περιγραφή Πεδίων
ΥΔΡΕΥΣΗ	Σύνδεση με ΕΥΑΘ	
	Φρεάτιο	
	Αγωγοί	Μήκος (m) Υλικό Διάμετρος (mm) Βάθος τοποθέτησης σε m Τρόπος έδρασης (στο έδαφος ή σε στοά)
	Δεξαμενές	Όνομα (επίσημη ονομασία χρήσης) Μορφή δεξαμενής Χωρητικότητα ύδατος (m ³) Μήκος ορθογωνικών δεξαμενών (m) Πλάτος ορθογωνικών δεξαμενών (m) Ύψος της δεξαμενής (m) Ύπαρξη συστήματος SCADA Είδος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας Ύπαρξη αγκύρωσης Είδος δεξαμενής Εξωτερική διάμετρος (m) για κυκλικές δεξαμενές Παρατηρήσεις
ΠΥΡΟΣΒΕΣΗ	Κρουνοί	
ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗ	Αντλιοστάσιο	Περιγραφή
	Αγωγοί	Μήκος (m) Υλικό Διάμετρος (mm)
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	Υποσταθμός	Όνομασία Αριθμός & Ισχύς μετασχηματιστών (KVA) Τάση (V) Ηλεκτροδοτούμενη περιοχή Αγκυρωμένα εξαρτήματα Σύνδεση σε βρόγχο Έλεγχος λειτουργίας από άλλο Υ/Σ Τύπος Αριθμός μετασχηματιστών Είδος Είδος Παροχής Παρατηρήσεις



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

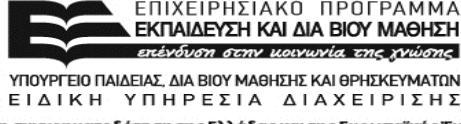


ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Δίκτυο	Στοιχείο	Περιγραφή Πεδίων
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	H/Z	Τοποθεσία Χρήση Ισχύς (KVA) Αγκυρωμένα εξαρτήματα (ναι, όχι) Τύπος (κλειστός, υπαίθριος)
	Γραμμές	Μήκος (m) Τάση (V) Τύπος (υπόγεια ή εναέρια) Βάθος τοποθέτησης σε m Ηλικία Υλικό κατασκευής Μέγεθος Τύπος έδρασης
ΤΗΛΕΠΙ- ΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	Θέση καμπινών- Κέντρο	Είδος Τοποθεσία Παρατηρήσεις
	Φρεάτια	
	Γραμμές ΟΤΕ	Τύπος (ενσύρματο, οπτική ίνα) Παρατηρήσεις Μήκος (m)
ΚΑΥΣΙΜΑ	Δεξαμενές καυσίμων	Είδος/περιγραφή διατιθέμενου εξοπλισμού Αριθμός Τοποθεσία Αγκυρωμένα εξαρτήματα Θέση δεξαμενών (υπόγεια, υπέργεια, ημιυπόγεια) Υλικό κατασκευής δεξαμενών Χωρητικότητα δεξαμενής (m ³) Μορφή/σχήμα δεξαμενής Είδος Θεμελίωσης Συστηματική συντήρηση εξοπλισμού Επικίνδυνα υλικά στην περιοχή Αντισεισμικός σχεδιασμός Έτος κατασκευής
	Αντλίες καυσίμων	Είδος/περιγραφή διατιθέμενου εξοπλισμού Αριθμός Τοποθεσία Αγκυρωμένα εξαρτήματα Εναλλακτική μορφή ενέργειας Επικίνδυνα υλικά στην περιοχή



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



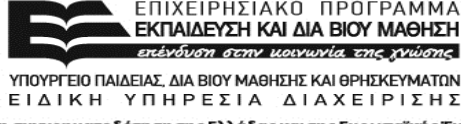
ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Δίκτυο	Στοιχείο	Περιγραφή Πεδίων
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟ-ΜΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	Γραμμές	Μήκος (m) Σημασία γραμμής Συχνότητα χρήσης – λειτουργικότητα Δυνατότητα χρήσης
	Δεξαμενές	Είδος/περιγραφή διατιθέμενου εξοπλισμού Αριθμός Τοποθεσία Αγκυρωμένα εξαρτήματα Θέση δεξαμενών (υπόγεια, υπέργεια, ημιυπόγεια) Υλικό κατασκευής δεξαμενών Χωρητικότητα δεξαμενής (m ³) Μορφή/σχήμα δεξαμενής Είδος Θεμελίωσης Συστηματική συντήρηση εξοπλισμού Επικίνδυνα υλικά στην περιοχή Αντισεισμικός σχεδιασμός Έτος κατασκευής Παρατηρήσεις Φωτογραφία δεξαμενών
ΛΙΜΑΝΙ	Εξοπλισμός Φορτο-εκφόρτωσης - Γερανοί	Όνομα Είδος Ανυψωτική ικανότητα (t) Έτος παραλαβής Χώρα προέλευσης Αποβάθρα Προβλήτας Αγκυρωμένα εξαρτήματα Είδος φορτίου Χρήση Μορφή ενέργειας Ύπαρξη Εναλλακτικής πηγής Ενέργειας Συντήρηση Βλάβες από προηγούμενους σεισμούς Μέγιστη επιτρεπόμενη οριζόντια διαφορική καθίζηση (cm) Μέγιστη επιτρεπόμενη κατακόρυφη διαφορική καθίζηση (cm) Υπάρχουσα διαφορική καθίζηση (cm)
	Είσοδοι	Ονομασία
	Περιγράμματα κτιρίων	Μήκος (m)
	Όρια λιμανιού	Μήκος (m)



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

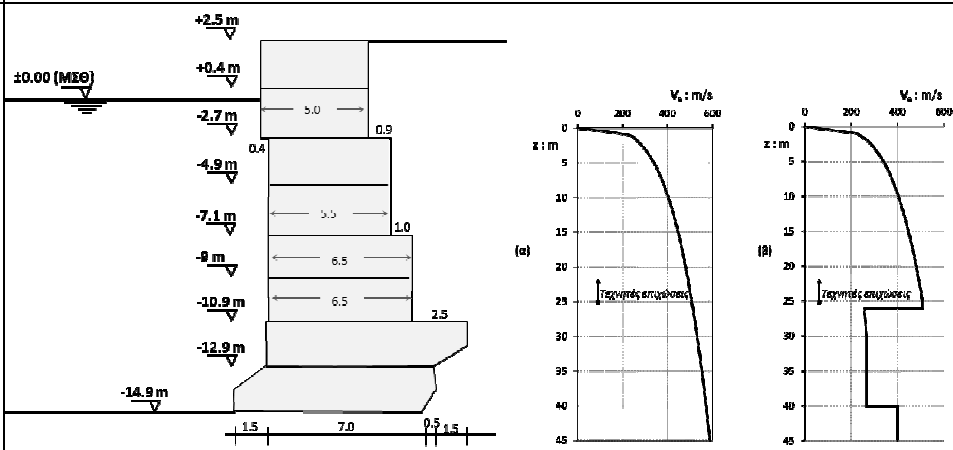
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Δίκτυο	Στοιχείο	Περιγραφή Πεδίων
ΛΙΜΑΝΙ	Κρηπιδότοιχοι	<p>Ονομασία Αριθμός αποβάθρας Λειτουργικό Βύθισμα (m) Προβλήτας Έτος κατασκευής Εξοπλισμός Υλικό κατασκευής Είδος Είδος θεμελίωσης Συντήρηση Βλάβες από προηγούμενους σεισμούς Μήκος (m)</p>
	Κτίρια	<p>Δήμος όπου βρίσκεται το κτίριο Οδός όπου βρίσκεται το κτίριο Αριθμός επί της οδού Περιγραφή χρήσης κτιρίου Ωράριο λειτουργίας κτιρίου Μέσος αριθμός ανθρώπων στο κτίριο Πιθανά σχόλια επί των παραπάνω στοιχείων Εναλλακτικές μορφές παροχής ενέργειας Κρίσιμος εξοπλισμός για την διαχείριση σεισμικού κίνδυνου Έτος κατασκευής κτιρίου Αριθμός ορόφων κτιρίου πάνω από την στάθμη του εδάφους Εμβαδά ορόφων κτιρίου Ύψος ορόφων κτιρίου Αριθμός υπογείων κτιρίου Υλικό/ά κατασκευής κτιρίου Δομικός τύπος κτιρίου Ύπαρξη ή όχι pilotis στο κτίριο Σπουδαιότητα κτιρίου σύμφωνα με τον κανονισμό μελέτης Σεισμικό ιστορικό του κτιρίου, πιθανές σεισμικές βλάβες Επισκευές-ενισχύσεις που πιθανόν έχουν γίνει στο κτίριο Πιθανά σχόλια επί των παραπάνω στοιχείων Είδος και θέση σύνδεσης με δίκτυο της ΔΕΗ Είδος και θέση σύνδεσης με δίκτυο του ΟΤΕ Είδος και θέση σύνδεσης με δίκτυο του φυσικού αεριού Είδος και θέση σύνδεσης με δίκτυο ύδρευσης Είδος και θέση σύνδεσης με δίκτυο αποχέτευσης Όνομα αρχείου επισυναπτόμενης φωτογραφίας</p>

6 Περιγραφή και ταξινόμηση υποδομών λιμένων στην Ελλάδα

Παρακάτω παρουσιάζονται στοιχεία τυπολογίας από υποδομές σε λιμάνια της Ελλάδας (Πειραιά, Ικονίου, Θεσσαλονίκης, Καλαμάτας, Λευκάδας).

Λιμένας:	Πειραιά
Στοιχείο:	Κρηπιδότοιχος
Θέση:	Τυπική διατομή υφιστάμενου Δυτικού κρηπιδότοιχου Προβλήτα II
Τυπολογία:	Τοίχος βαρύτητας από συμπαγείς τεχνητούς ογκόλιθους σκυροδέματος (σπονδυλωτός)
Έτος κατασκευής:	-
Σεισμικός συντελεστής σχεδιασμού:	-
Γεωμετρία:	Συνολικό ύψος: 19,7m, Ελεύθερο ύψος: +2,5m, Πλάτος: 7,0–9,5m (βλ. σχήμα)
Βάθος πυθμένα:	-17,2m
Έδαφος θεμελίωσης:	βλ. σχήμα
Έδαφος επιχώματος:	βλ. σχήμα
Παρατηρήσεις:	Τυπικά φορτία σχεδιασμού υπό σεισμικές συνθήκες: Έλξη δέστρας (Δ): 25 kN/m Κινητό φορτίο (q) πίσω από τον κρηπιδότοιχο: 20 kN/m ² Γερανός σιδηροτροχιάς 20 m : 170 kN/m (άνα πόδι)
Σχέδιο/Φωτογραφία:	<p>• Τα ανώτερα 20-25m καταλαμβάνονται από την Τεχνητή Επίχωση (χάλικες 55%, αμμος 34%, και λεπτόκοκκα 11%) : $N=23-100$, $\phi=35^\circ$, $c=0$ kPa, $\gamma=18$ kN/m, $E=50$MPa, $PI=2,6$.</p> <p>• Σε ορισμένες μόνον γεωτρήσεις (σε βάθη 20-35 m) ευρέθη στρώμα Ιλυώδους Άμμου το οποίο χαρακτηρίζεται από $N=12-57$, $\phi=30^\circ$, $c=0$ kPa, $\gamma=18$ kN/m, $E=50$MPa, $PI=9,5$.</p> <p>• Πέραν των 30m εμφανίζεται σχετικός μαλακός αργιλικός σχηματισμός μικρού πάχους (8 m) με : $c_u=80$ kPa, $c=5$ kPa, $\phi=28^\circ$, $E=7$MPa, $PI=21,7$.</p> <p>• Τα μεγαλύτερα βάθη (> 45 m) καλύπτονται από αποσαθρωμένη Μάργα με: $c_u=120$ kPa, $c=25$ kPa, $\phi=23^\circ$, $E=20$ MPa, $PI=13$.</p> <p>• Τυπικά εδαφικά προφίλ: (α) ευμενές και (β) συντηρητικό σενάριο.</p>
Πηγή:	ΕΜΠ/ΟΛΠ

Λιμένας:	Πειραιά
Στοιχείο:	Κρητιδότοιχος
Θέση:	Τυπική διατομή υφιστάμενου Ανατολικού κρητιδότοιχου Προβλήτα II
Τυπολογία:	Τοίχος βαρύτητας από συμπαγείς τεχνητούς ογκόλιθους σκυροδέματος (σπονδυλωτός)
Έτος κατασκευής:	-
Σεισμικός συντελεστής σχεδιασμού:	-
Γεωμετρία:	Συνολικό ύψος: 17,8m, Ελεύθερο ύψος: +2,5m, Πλάτος: 5,0 – 9,0m (βλ. σχήμα)
Βάθος πυθμένα:	-14,9m
Έδαφος θεμελίωσης:	βλ. σχήμα
Έδαφος επιχώματος:	βλ. σχήμα
Παρατηρήσεις:	Τυπικά φορτία σχεδιασμού υπό σεισμικές συνθήκες: Έλξη δέστρας (Δ): 25 kN/m Κινητό φορτίο (q) πίσω από τον κρητιδότοιχο: 20 kN/m ² Γερανός σιδηροτροχιάς 20 m : 170 kN/m (άνα πόδι)
Σχέδιο/ Φωτογραφία:	 <ul style="list-style-type: none"> • Τα ανώτερα 20-25m καταλαμβάνονται από την Τεχνητή Επίχωση (χάλικες 55%, αμμος 34%, και λεπτόκοκκα 11%) : $N=23-100$, $\phi=35^\circ$, $c=0$ kPa, $\gamma=18$ kN/m, $E=50$MPa, $PI=2,6$. • Σε ορισμένες μόνον γεωτρήσεις (σε βάθη 20-35 m) ευρέθη στρώμα Ιλυώδους Άμμου το οποίο χαρακτηρίζεται από $N=12-57$, $\phi=30^\circ$, $c=0$ kPa, $\gamma=18$ kN/m, $E=50$MPa, $PI=9,5$. • Πέραν των 30m εμφανίζεται σχετικός μαλακός αργλικός σχηματισμός μικρού πάχους (8 m) με : $c_u=80$ kPa, $c=5$ kPa, $\phi=28^\circ$, $E=7$MPa, $PI=21,7$. • Τα μεγαλύτερα βάθη (> 45 m) καλύπτονται από αποσαθρωμένη Μάργα με: $c_u=120$ kPa, $c=25$ kPa, $\phi=23^\circ$, $E=20$ MPa, $PI=13$. • Τυπικά εδαφικά προφίλ: (α) ευμενές και (β) συντηρητικό σενάριο.
Πηγή:	ΕΜΠ/ΟΛΠ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



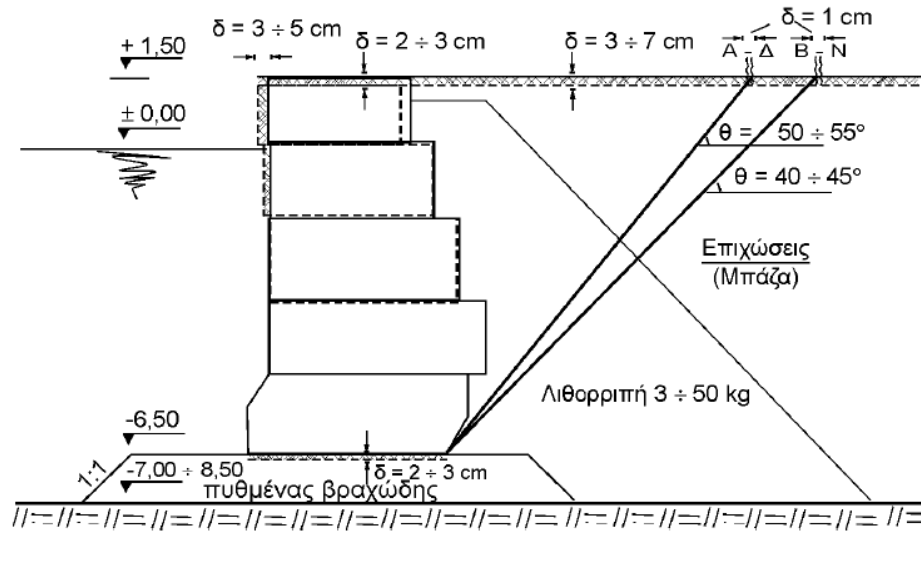
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

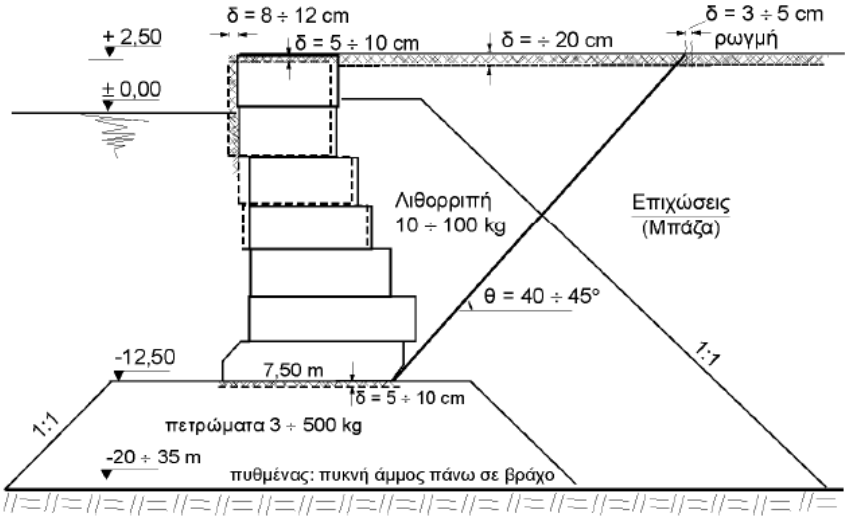


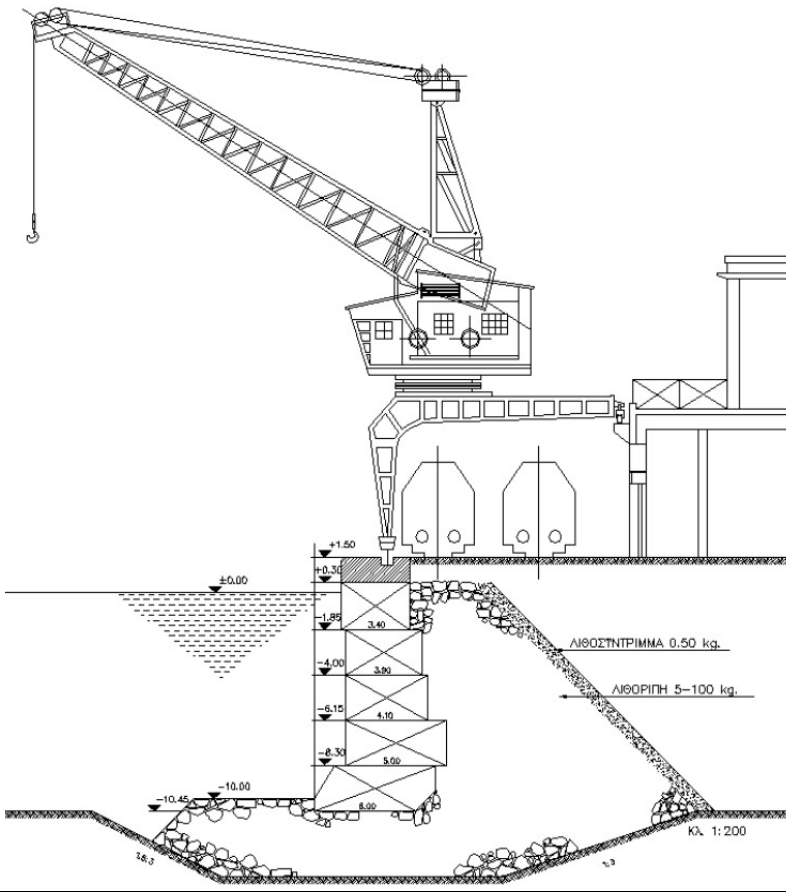
ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

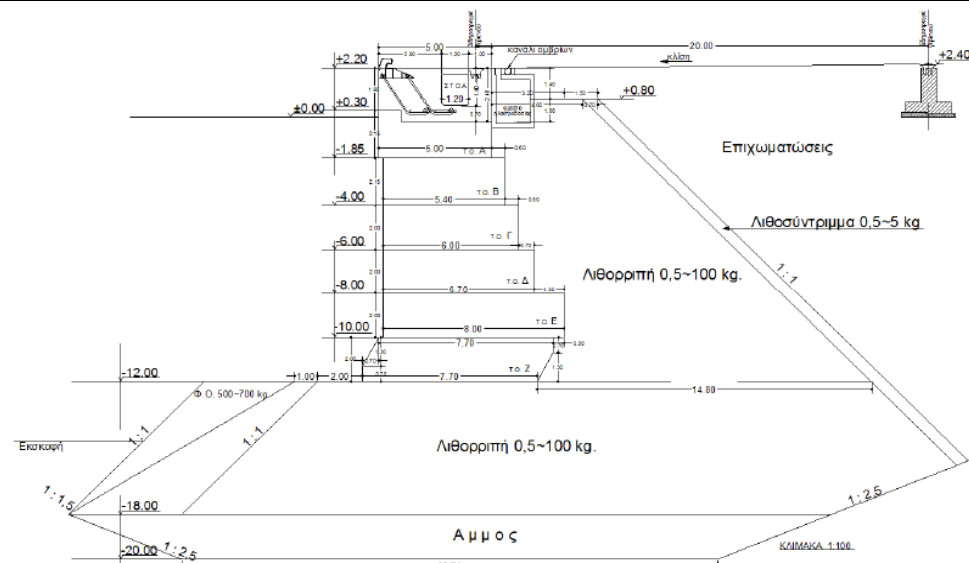
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Λιμένας:	Πειραιά
Στοιχείο:	Κρηπιδότοιχος
Θέση:	Τυπική διατομή Νέου Προβλήτα
Τυπολογία:	Τοίχος βαρύτητας διατομής κιβωτίου (caisson)
Έτος κατασκευής:	-
Σεισμικός συντελεστής σχεδιασμού:	-
Γεωμετρία:	Συνολικό ύψος: 21,5m, Ελεύθερο ύψος: +2,5m, Πλάτος: 11m (βλ. σχήμα)
Βάθος πυθμένα:	-19,0m
Έδαφος θεμελίωσης:	βλ. σχήμα
Έδαφος επιχώματος:	βλ. σχήμα
Παρατηρήσεις:	Τυπικά φορτία σχεδιασμού υπό σεισμικές συνθήκες: Έλξη δέστρας (Δ): 30 kN/m Κινητό φορτίο (q) πίσω από τον κρηπιδότοιχο: 20 kN/m ² Γερανός σιδηροτροχιάς 30.5m: 320 kN/m (ανά πόδι)
Σχέδιο/Φωτογραφία:	<ul style="list-style-type: none"> • Τα ανώτερα 20-25m καταλαμβάνονται από την Τεχνητή Επίχωση (χάλικες 55%, αμμος 34%, και λεπτόκοκκα 11%): $N=23-100$, $\phi=35^\circ$, $c=0$ kPa, $\gamma=18$ kN/m, $E=50$MPa, $PI=2,6$. • Σε ορισμένες μόνον γεωτρήσεις (σε βάθη 20-35 m) ευρέθη στρώμα Ιλυώδους Άμμου το οποίο χαρακτηρίζεται από $N=12-57$, $\phi=30^\circ$, $c=0$ kPa, $\gamma=18$ kN/m, $E=50$MPa, $PI=9,5$. • Πέραν των 30m εμφανίζεται σχετικός μαλακός αργιλικός σχηματισμός μικρού πάχους (8 m) με : $c_u=80$ kPa, $c=5$ kPa, $\phi=28^\circ$, $E=7$MPa, $PI=21,7$. • Τα μεγαλύτερα βάθη (> 45 m) καλύπτονται από αποσαθρωμένη Μάργα με: $c_u=120$ kPa, $c=25$ kPa, $\phi=23^\circ$, $E=20$ MPa, $PI=13$. • Τυπικά εδαφικά προφίλ: (α) ευμενές και (β) συντηρητικό σενάριο.
Πηγή:	ΕΜΠ/ΟΛΠ

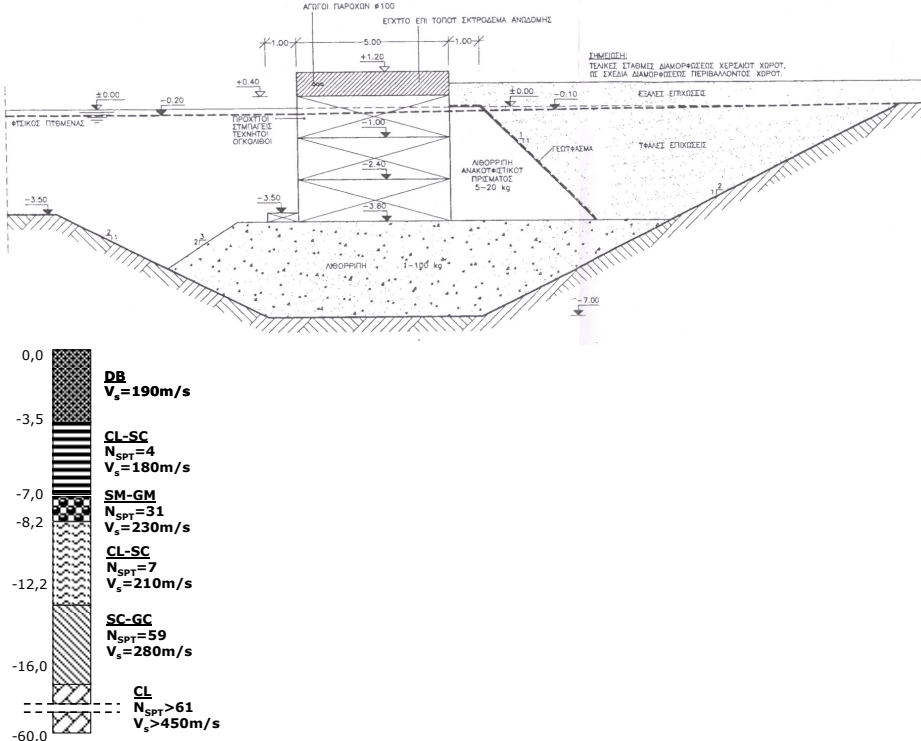
Λιμένας:	Πειραιά
Στοιχείο:	Κρηπιδότοιχος
Θέση:	Τυπική διατομή Προβλήτα Νο1 & Νο2 (Τσελέπη)
Τυπολογία:	Τοίχος βαρύτητας από συμπαγείς τεχνητούς ογκόλιθους σκυροδέματος (σπονδυλωτός)
Έτος κατασκευής:	-
Σεισμικός συντελεστής σχεδιασμού:	-
Γεωμετρία:	Συνολικό ύψος: 7,5m, Ελεύθερο ύψος: +1,5m
Βάθος πυθμένα:	-6,5m
Έδαφος θεμελίωσης:	βλ. σχήμα
Έδαφος επιχώματος:	βλ. σχήμα
Παρατηρήσεις:	Στο σχήμα απεικονίζονται βλάβες από τους σεισμούς Αλκυονίδων (24/2/1981, M=6,7)
Σχέδιο/Φωτογραφία:	
Πηγή:	Δασκαλάκης (2004)

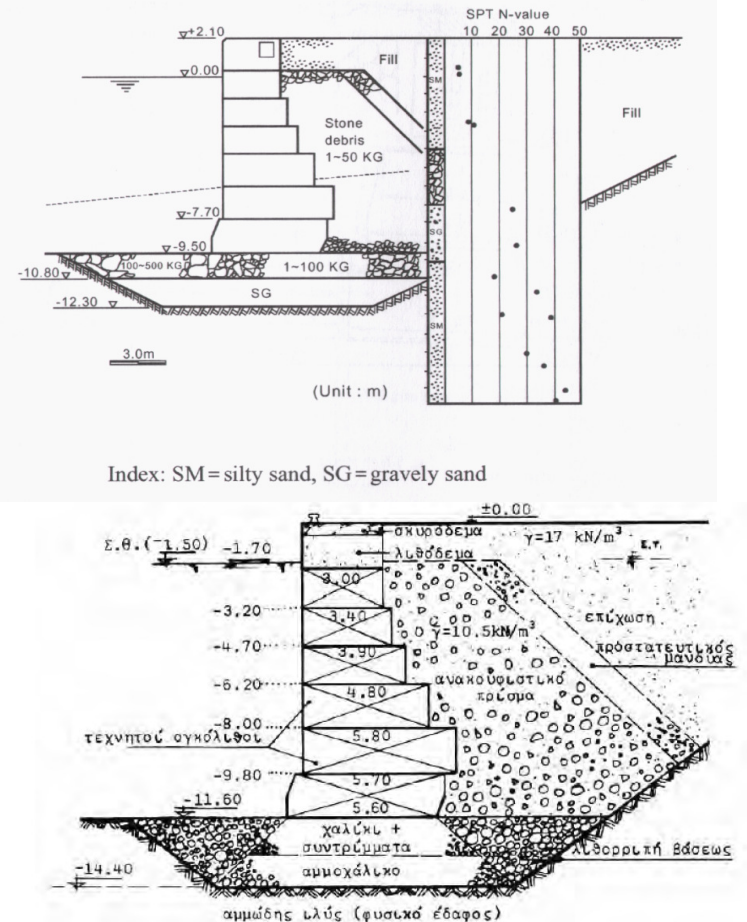
Λιμένας:	Ν. Ικονίου
Στοιχείο:	Κρηπιδότοιχος
Θέση:	Τυπική διατομή Προβλήτα Πετρελαιοειδών
Τυπολογία:	Τοίχος βαρύτητας από συμπαγείς τεχνητούς ογκόλιθους σκυροδέματος (σπονδυλωτός)
Έτος κατασκευής:	-
Σεισμικός συντελεστής σχεδιασμού:	-
Γεωμετρία:	Συνολικό ύψος: 14,5m, Ελεύθερο ύψος: +2,5m, Πλάτος: βλ. σχήμα
Βάθος πυθμένα:	-12,5m
Έδαφος θεμελίωσης:	βλ. σχήμα
Έδαφος επιχώματος:	βλ. σχήμα
Παρατηρήσεις:	Στο σχήμα απεικονίζονται βλάβες από τους σεισμούς Αλκυονίδων (24/2/1981, M=6.7)
Σχέδιο/ Φωτογραφία:	
Πηγή:	Δασκαλάκης (2004)

Λιμένας:	Θεσσαλονίκης
Στοιχείο:	Κρηπιδότοιχος
Θέση:	Κρηπιδώματα 11- 16
Τυπολογία:	Τοίχος βαρύτητας από συμπαγείς τεχνητούς ογκόλιθους σκυροδέματος (σπονδυλωτός)
Έτος κατασκευής:	-
Σεισμικός συντελεστής σχεδιασμού:	-
Γεωμετρία:	Συνολικό ύψος: 11,95m, Ελεύθερο ύψος: +1,50m, Πλάτος: βλ. σχήμα
Βάθος πυθμένα:	-10,00m
Έδαφος θεμελίωσης:	βλ. σχήμα
Έδαφος επιχώματος:	βλ. σχήμα
Παρατηρήσεις:	
Σχέδιο/Φωτογραφία:	
Πηγή:	Ο.Λ.Θ.

Λιμένας:	Θεσσαλονίκης
Στοιχείο:	Κρηπιδότοιχος
Θέση:	Κρηπιδώμα 26
Τυπολογία:	Τοίχος βαρύτητας από συμπαγείς τεχνητούς ογκόλιθους σκυροδέματος (σπονδυλωτός)
Έτος κατασκευής:	-
Σεισμικός συντελεστής σχεδιασμού:	-
Γεωμετρία:	Συνολικό ύψος: 14,20m, Ελεύθερο ύψος: +2,20m, Πλάτος: βλ. σχήμα
Βάθος πυθμένα:	-12,00m
Έδαφος θεμελίωσης:	βλ. σχήμα
Έδαφος επιχώματος:	βλ. σχήμα
Παρατηρήσεις:	
Σχέδιο/Φωτογραφία:	
Πηγή:	Ο.Λ.Θ.

Λιμένας:	Θεσσαλονίκης
Στοιχείο:	Κρητιδότοιχος
Θέση:	Τυπική διατομή Προβλήτα 25 (Νέου Εμπορευματικού Λιμένα)
Τυπολογία:	Τοίχος βαρύτητας διατομής κιβωτίου (caisson) από οπλισμένο σκυρόδεμα μερικώς πληρωμένο με νερό
Έτος κατασκευής:	Υπό κατασκευή ?
Σεισμικός συντελεστής σχεδιασμού:	-
Γεωμετρία:	Συνολικό ύψος: 19,5m, Ελεύθερο ύψος: +3,5m
Βάθος πυθμένα:	-16,0m
Έδαφος θεμελίωσης:	βλ. σχήμα
Έδαφος επιχώματος:	βλ. σχήμα
Παρατηρήσεις:	Τυπικά φορτία σχεδιασμού υπό σεισμικές συνθήκες: Φορτίο Δέστρας: 27,5 kN/m Φορτίο τροχιάς γερανού εδραζόμενης επί της ανωδομής: 385 kN/m Φορτίο τροχιάς εδραζόμενης επί του επιχώματος: 320 kN/m Κινητό φορτίο πίσω από τον κρητιδότοιχο: 25 kPa
Σχέδιο/ Φωτογραφία:	<p>(α) Τυπικό εδαφικό προφίλ (β) κατανομή με το βάθος της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων V_s</p>
Πηγή:	ΕΜΠ/ΟΛΘ

Λιμένας:	Μαρίνα Λευκάδας
Στοιχείο:	Κρηπιδότοιχος
Θέση:	
Τυπολογία:	Τοίχος βαρύτητας από συμπαγείς τεχνητούς ογκόλιθους σκυροδέματος
Έτος κατασκευής:	1999 (μελέτης)
Σεισμικός συντελεστής σχεδιασμού:	0,36g (ΕΑΚ-2000)
Γεωμετρία:	Συνολικό ύψος: 5,0m, Ελεύθερο ύψος: +1.2m, Πλάτος: 5,0m (βλ. σχήμα)
Βάθος πυθμένα:	-3,5m
Έδαφος θεμελίωσης:	βλ. σχήμα
Έδαφος επιχώματος:	βλ. σχήμα
Παρατηρήσεις:	Βλάβες κατά το σεισμό της 14/8/2003 (M=6,2, PGA=0,3-0,5g) Οριζόντια μετακίνηση: 1-12cm (σχετική), Κατακόρυφη μετακίνηση (σχετική): 1-40 cm
Σχέδιο/Φωτογραφία:	
Πηγή:	Κακδέρη (2011)

Λιμένας:	Καλαμάτας
Στοιχείο:	Κρηπιδότοιχος
Θέση:	-
Τυπολογία:	Τοίχος βαρύτητας από συμπαγείς τεχνητούς ογκόλιθους σκυροδέματος (σπονδυλωτός)
Έτος κατασκευής:	-
Σεισμικός συντελεστής σχεδιασμού:	-
Γεωμετρία:	Συνολικό ύψος: 11,6m, Ελεύθερο ύψος: +2,1m, Πλάτος: 3,0-5,8m (βλ. σχήμα)
Βάθος πυθμένα:	-9,5m
Έδαφος θεμελίωσης:	βλ. σχήμα
Έδαφος επιχώματος:	βλ. σχήμα
Παρατηρήσεις:	Βλάβες κατά το σεισμό της 13/9/1986 (Ms=6.2m,PGA: 0,2-0,3g, PGV: 0,4m/s) Οριζόντια μετακίνηση: 0,15 +/- 0,05m. Κλίση: 4 -5 μοίρες
Σχέδιο/Φωτογραφία:	 <p>Index: SM = silty sand, SG = gravelly sand</p>
Πηγή:	Pitilakis and Moutsakis (1989) Παταργιά και Μέμος (2008)



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

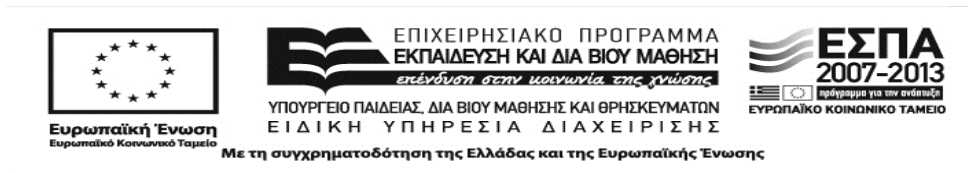
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Λιμένας:	Θεσσαλονίκης
Στοιχείο:	Ηλεκτροκίνητος γερανός
Θέση:	Προβλήτας 24/ Κρηπίδωμα βαρύτητας από πρόχυτους τεχνητούς ογκόλιθους σκυροδέματος με λειτουργικό βύθισμα 12m
Τυπολογία:	Μη σταθερός (κινούμενος σε ράγες) χωρίς αγκυρώσεις και χωρίς εφεδρική πηγή ενέργειας
Είδος φορτίου:	Συμβατικό και container
Ανυψωτική ικανότητα:	40 tn
Ακτίνα εργασίας:	-
Έτος κατασκευής:	1995
Παρατηρήσεις:	-
Σχέδιο/Φωτογραφία:	
Πηγή:	Ο.Λ.Θ., Κακδέρη (2011)

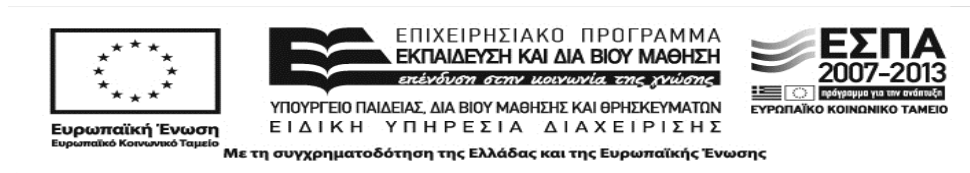


7 Συμπεράσματα

Οι λιμενικές εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν ποικίλες κατασκευές και υποδομές συνυφασμένες με την κίνηση των επιβατών, τον χειρισμό και την αποθήκευση των εμπορευμάτων, την σιδηροδρομική και οδική μεταφορά επιβατών και φορτίων, τις τηλεπικοινωνίες και λοιπά δίκτυα κοινής ωφέλειας, την διαχείριση, πλοήγηση, συντήρηση, διοίκηση, καθώς και άλλες λειτουργίες υποστήριξης. Ο καθορισμός της τυπολογίας των λιμενικών εγκαταστάσεων, με έμφαση στην ελληνική και ευρωπαϊκή κατασκευαστική πρακτική, είναι απαραίτητος για τον προσδιορισμό της σεισμικής τους απόκρισης. Επιπλέον, για την κατανόηση της σεισμικής συμπεριφοράς λιμενικών έργων, απαιτείται η περιγραφή των κυριότερων σεισμικών βλαβών των επιμέρους συνιστωσών των λιμενικών εγκαταστάσεων, δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα σε στοιχεία βλαβών από σεισμούς του ελληνικού και ευρωπαϊκού χώρου, καθώς και η ταξινόμηση των πιθανών μορφών αστοχίας ανά συνιστώσα.

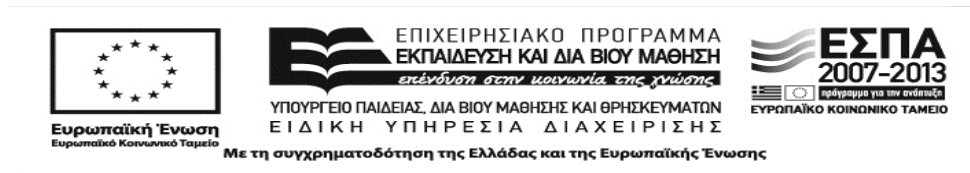
Η σεισμική απόκριση των λιμενικών εγκαταστάσεων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις εδαφικές μετακινήσεις, την τυπολογία του έργου, και την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής, καθιστώντας πολύπλοκη τη διαδικασία αποτίμησης της. Οι παραμορφώσεις των εδαφικών σχηματισμών και των θεμελιώσεων, καθώς και οι αντίστοιχες παραμορφώσεις των δομικών στοιχείων και οι εντατικές καταστάσεις, αποτελούν τις βασικές παραμέτρους σχεδιασμού. Αντίθετα με τις συμβατικές μεθόδους οριακής ισορροπίας, ορισμένα επίπεδα παραμενουσών παραμορφώσεων μπορεί να γίνονται αποδεκτά στο επίπεδο σχεδιασμού τους.

Η ανάλυση της σεισμικής τρωτότητας των λιμενικών εγκαταστάσεων, η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της σεισμικής τους διακινδύνευσης και ενός σχεδίου αντιμετώπισης φυσικής καταστροφής σε λιμενικό σύστημα, βασίζονται σε πρώτο στάδιο στη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων και την ταξινόμηση της τυπολογίας των στοιχείων δικτύων και υποδομών που βρίσκονται εντός των λιμένων. Μια λεπτομερής βάση δεδομένων έχει αναπτυχθεί για τον λιμένα Θεσσαλονίκης. Επίσης, δίνεται η περιγραφή και ταξινόμηση υποδομών, κυρίως παράκτιων λιμενικών έργων, σε άλλους λιμένες του Ελλαδικού χώρου.

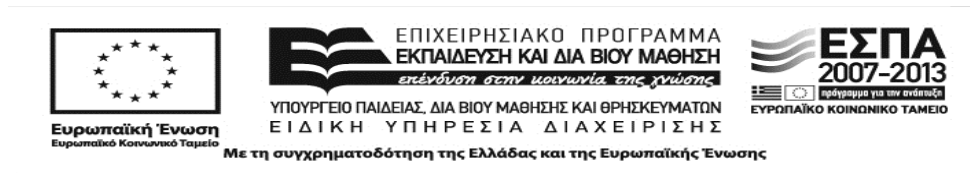


Βιβλιογραφία:

- Alampalli, S. and A.W. Elgamel (1990). "Dynamic response of retaining walls including supported soil backfill- A computational model", Proceedings of the 4th U.S National Conference on Earthquake Engineering, EERI, Palm Springs, California, Vol. 3, pp. 623-632.
- Al-Homoud, A.S. and R.V. Whitman (1999). "Seismic analysis and design of rigid bridge abutments considering rotation and sliding incorporating nonlinear soil behaviour", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 18, No. 4, pp. 247-277.
- Ambraseys, N.N. and J.M. Menu (1988). "Earthquake-induced ground displacements", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 16, No. 7, pp. 985-1006.
- 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.
- Billard, Y., O. Bernard, M. Lasne, B. Capra and J. Boéro (2007). "Risk analysis and reliability of repaired concrete quays", Proceedings of the 10th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP10), Tokyo, Japan.
- Borg, R.C. and C.G. Lai (2007). "Seismic performance, analysis and design of wharf structures: a comparison of worldwide typologies", Proceedings of the 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Thessaloniki, Greece, Paper No. 1760.
- California Building Standards Commission (2007). "California Code of Regulations, Part 2, California Building Code, Chapter 31F - Marine Oil Terminals".
- CEN (European Committee for Standardization) (1994). "Eurocode 8: Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures. Part 1-1: General Rules – Seismic Actions and General Requirements for Structures (ENV-1998-1-1); Part 5: Foundations, Retaining Structures and Geotechnical Aspects (ENV-1998-5)".
- Chen, W.F. (1975). "Limit analysis and soil plasticity", Elsevier, Amsterdam.
- Chen, W.F. and X.L. Liu (1990). "Limit analysis in soil mechanics", Elsevier, Amsterdam.
- Coulomb, C.A. (1776). "Essai sur une application des règles de maximis et minimis a quelques problèmes de statique relatifs a l'architecture", Memoirs Academie Royal Pres. Division Sav. 7, France (in French).
- Earthquake Engineering Research Institute (EERI) (1990). "Loma Prieta earthquake reconnaissance report", Earthquake Spectra, Supplement to Vol.6, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA.
- Earthquake Planning and Protection Organization - Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering (Eppo-ITSAK) (2014). "Strong ground motion of the February 3, 2014



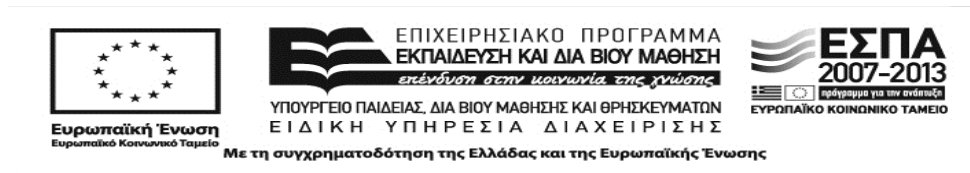
- (M6.0) Cephalonia earthquake: Effects on soil and built environment in combination with the January 26, 2014 (M6.1) event”, Reconnaissance Report.
- EAU (1996). “Recommendations of the Committee for Waterfront Structures, Harbours and Waterways”, 7th English Edition (English Translation of the 9th German Edition), Ernst & Sohn, Berlin, 599 p.
- Elgamal, A.W., M. Zeghal and E. Parra (1996). “Liquefaction of reclaimed Island in Kobe, Japan”, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 122, No. 1, pp. 39–49.
- Elias, V., B.R. Christopher and R.R. Berg (2001). “Mechanically stabilized earth walls and reinforce soil slopes design and construction guide. FHW-NHI-00-043”, Federal Highways Administrations A, U.S. Dept. Transportation, Washington D.C.
- EN 1998-1 (2003). “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance”, CEN European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- EN 1998-5 (2003). “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects”, CEN European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Ferritto, J.M. (1997a). “Design criteria for earthquake hazard mitigation of navy piers and wharves”, Technical Report TR-2069-SHR, Naval Facilities Engineering Service Center, Port Hueneme, 180 p.
- Ferritto, J.M. (1997b). “Seismic design criteria for soil liquefaction”, Technical Report TR-2077-SHR, Naval Facilities Engineering Service Center, Port Hueneme, 58 p.
- Finn, W.D.L., G. Wu and N. Yoshida (1992). “Seismic response of sheet pile walls”, Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Vol. 3, pp. 1689-1694.
- Ghalandarzadeh, A., T. Orita, I. Towahata and F. Yun (1998). “Shaking table tests on seismic deformation of gravity quaywalls”, Soils and Foundations, Special issue on geotechnical aspects of the January 17, 1995 Hyogoken-Nambu earthquake, No. 2, pp. 115–132.
- Green, R.A. and R.M. Ebeling (2002). “Seismic analysis of cantilever retaining walls, Phase I”, ERDC/ITL TR-02-3, Information technology laboratory, US army corps of engineers, Engineer research and development center, Vicksburg, MS.
- Higashijima, M., I. Fujita, K. Ichii, S. Iai, T. Sugano and M. Kitamura (2006). "Development of a simple seismic performance evaluation technique for coastal structures", Ocean Development Symposium, Japan Society of Civil Engineering.
- Iai, S. (1998). “Rigid and flexible retaining walls during Kobe earthquake”, Proceedings of the 4th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, St. Louis, MO, CD-Rom, SOA-4, pp. 108-127.



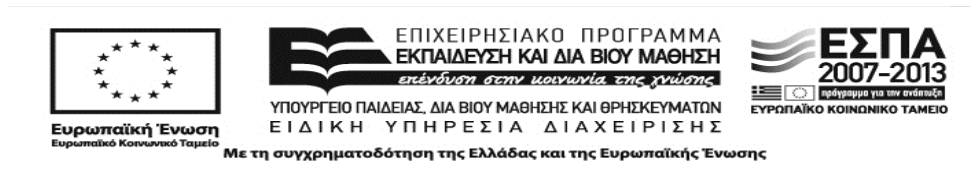
- Iai, S. (2005). "International standard (ISO) on seismic actions for designing geotechnical works – An overview", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 25, No. 7-10, pp. 605-615.
- Iai, S. and T. Kameoka (1993). "Finite element analysis of earthquake induced damage to anchored sheet pile quay walls", *Soils and Foundations*, Vol. 33, No. 1, pp. 71-91.
- Iai, S. and T. Sugano (2000). "Shake table testing on seismic performance of gravity quay walls", *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering (WCCE)*, Auckland, New Zealand.
- Iai, S. and T. Tobita (2010). "Performance-based design of geotechnical structures: recent advances", *Proceedings of the Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor I.M. Idriss*, San Diego, California.
- Ichii, K. (2002). "A seismic risk assessment procedure for gravity type quay walls", *Journal of Structural Mechanics and Earthquake Engineering, JSCE*, Vol. 19, No. 2, pp. 131-140.
- Ichii, K. (2003). "Application of Performance-Based Seismic Design Concept for Caisson-Type Quay Walls", PhD Dissertation, Kyoto University.
- Ichii, K., S. Iai and T. Morita (2000). "Performance of the quay wall with high seismic resistance", *Journal of Structural Mechanics and Earthquake Engineering, JSCE*, Vol. 17, No. 2, pp. 163–74.
- Ichii, K., S. Iai, Y. Sato and H. Liu (2002). "Seismic performance evaluation charts for gravity type quay walls", *Journal of Structural Mechanics and Earthquake Engineering, JSCE*, Vol. 19, No. 1, pp. 21–31.
- Inagaki, H., S. Iai, T. Sugano, H. Ymazaki and T. Inatomi (1996). "Performance of caisson type quay wall at Kobe Port", *Soils and Foundations, Special Issue on Geotechnical aspects of the January 17, 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake*, Vol. 1, pp. 119-136.
- Inatomi, T., K. Zen, S. Toyama, T. Uwabe, S. Iai, T. Sugano, K. Terauchi, H. Yokota, K. Fujimoto, S. Tanaka, H. Yamazaki, T. Koizumi, T. Nagao, A. Nozu, M. Miyata, K. Ihii, T. Morita, K. Minami, K. Oikawa, Y. Matsunaga, M. Ashii, M. Sugiyama, N. Takasaki, N. Kobayashi and K. Okashita (1997). "Damage to port and port-related facilities by the 1995 Hyogoken-Nambu earthquake", *Technical Note of the Port and Harbour Research Institute*, No. 857 (in Japanese).
- Johnson, G., R. Harn, C. Lai and O. Jaradat (2013.) "The New ASCE Standard for Seismic Design of Piers and Wharves", *Ports 2013*: pp. 1345-1354, doi: 10.1061/9780784413067.138
- Johnson, G.S. and S.P. Hardy (2009). "History of Seismic Design Codes for Piers and Wharves", *TCLEE 2009: Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment*, *Proceedings of*



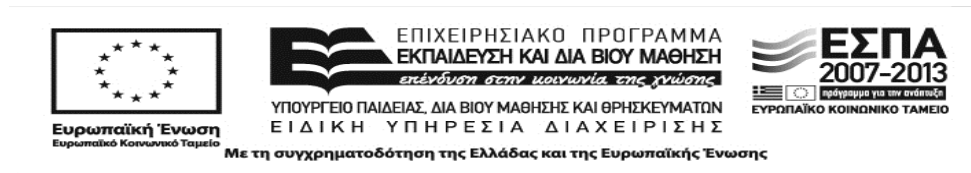
- the 2009 ASCE TCLEE Conference, Oakland, CA, by Alex K.K. Tang, P.E., (editor) and Stu Werner, P.E., (editor), pp. 1-9, doi 10.1061/41050(357)85.
- Kakderi, K. and K. Pitilakis (2010). "Seismic analysis and fragility curves of gravity waterfront structures", Proceedings of the Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honour of Professor I. M. Idriss, San Diego, CA, Paper No. 6.04a.
- Kakderi, K. and K. Pitilakis (2014). "Chapter 11: Fragility Functions of Harbor Elements", K. Pitilakis, H. Crowley, A. Kaynia (Eds.) "SYNER-G: Typology Definition and Fragility Functions for Physical Elements at Seismic Risk", Springer Publ.
- Kappos, A., G. Panagopoulos, Ch. Panagiotopoulos and Gr. Penelis (2006). "A hybrid method for the vulnerability assessment of R/C and URM buildings", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 4(4), pp. 391-413.
- Kazama, M. and T. Noda (2012). "Damage statistics (Summary of the 2012 off the Pacific Coast of Tohoku-Oki Earthquake damage)", Soils and Foundations, Vol. 52(5), pp. 780-792.
- Lai, C., O.A. Jaradat, M. Weismair and A.K. Arulmoli (2009). "Seismic Design Criteria for Pile-Supported Wharves at the Port of Long Beach", TCLEE 2009: Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment, Proceedings of the 2009 ASCE TCLEE Conference, Oakland, CA, by Alex K.K. Tang, P.E., (editor) and Stu Werner, P.E., (editor), pp. 1-10, doi 10.1061/41050(357)86.
- Ministry of Transport, Japan (ed.) (1999). "Design Standard for Port and Harbour Facilities and Commentaries", Japan Port and Harbour Association, 1181 p. (in Japanese).
- Mononobe, N., and H. Matsuo (1929). "On the determination of earth pressure during earthquakes", Proceedings of the World Engineering Conference, Tokyo, Vol. 9, pp. 177-185.
- MOTEMS, (2007). "Marine Oil Terminal Engineering and Maintenance Standards", Title 24, Part 2, California Building Code, Chapter 31F "Marine Oil Terminals".
- Motta, E. (1993). "Sulla valutazione della spinta attiva in terrapieni di altezza finite", Rivista Italiana di Geotecnica, Vol. 27, No. 3, pp. 235-245 (in Italian).
- Motta, E. (1994). "Generalized Coulomb active-earth pressure for distanced surcharge", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 120, No. 6, pp. 1072-1079.
- Mylonakis, G., P. Kloukinas and C. Papantonopoulos (2007). "An alternative to the Mononobe-Okabe equations for the seismic earth-pressure", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 27, No. 10, pp. 957-969.



- Na, U.J., S.R. Chaudhuri and M. Shinozuka (2008). "Probabilistic assessment for seismic performance of port structures", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 28, No. 2, pp. 147–158
- Na, U.J., S.R. Chaudhuri and M. Shinozuka (2009). "Effects of spatial variation of soil properties on seismic performance of port structures", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 29, No. 3, pp. 537– 545.
- Nadim, F. and R.V. Whitman (1993). "Seismic analysis and design of retaining walls", Norwegian Geotechnical Institute Publication, No. 190, 26 p.
- Nagao, T., Y. Sakai, M. Fujita, M. Suzuki, T. Sanuki and Y. Yoshinami (2009). "Partial factors for the earthquake resistant design on pile-supported wharves against the serviceability limit state", *Proceedings of the 10th International Conference on Structural Safety and Reliability, ICOSSAR, Osaka, Japan.*
- New Zealand Standards (1992-1997). NZS 4203 (1992), "General Structural Design Loadings for Buildings"; NZS 3101 Part 1 (1995), "The Design of Concrete Structures"; NZS 3403 Part 1 (1997), "Steel Structures Standard"; NZS 3403 Part 2 (1997), "Commentary to the Steel Structures Standard", Transit New Zealand (TNZ), "Bridge Design Manual".
- Newmark, M.N. (1965). "Effects of earthquakes on dams and embankments", *Geotechnique*, Vol. 15, No. 2, pp. 139-160.
- Nikolaou, S., D. Zekkos, D. Assimaki, and R. Gilsanz (Eds) (2014). "GEER/EERI/ATC Earthquake Reconnaissance January 26th/February 2nd 2014 Cephalonia, Greece events. Version 1: June 6, 2014".
- Okabe, S. (1926). "General theory of Earth Pressure", *Journal of Japanese Society of Civil Engineering*, Tokyo, Vol. 12, No. 1, pp. 311.
- Pachakis D. and A.S. Kiremidjian (2004). "Estimation of Downtime-Related Revenue Losses in Seaports Following Scenario Earthquakes", *Earthquake Spectra*, Vol. 20, No. 2, pp. 427-449.
- Percher M. (Ed.) (2014). "Japan earthquake and tsunami of 2011: Survey of port and harbor structures, Northern region", ASCE-COPRI Port and Harbor Facilities Survey Team, American Society of Civil Engineers.
- PIANC (2001). "Seismic Design Guidelines for Port Structures", International Navigation Association, Balkema, 474 p.
- Pitilakis, K., H. Crowley and A. Kaynia (Eds.) (2014). "SYNER-G: Typology Definition and Fragility Functions for Physical Elements at Seismic Risk", Springer Publ., 420 p.
- Pitilakis K. and A. Moutsakis (1989). "Seismic analysis and behaviour of gravity retaining walls - The case of Kalamata harbour quay wall", *Soils and Foundations*, Vol. 29, No.1, pp.1-17.



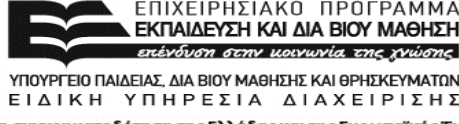
- Port and Harbour Research Institute, Japan (1997). "Handbook on Liquefaction Remediation of Reclaimed Land", Translation by US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Balkema, 312 p.
- Prakash, S. and Y. Wu (1997). "Retaining structures under earthquake loading", Proceedings of the 16th Central PA Geotechnical Seminar "Excellent in geotechnical Engineering", Harrisburg, PA.
- Psarropoulos, P.N., G. Klonaris and G. Gazetas (2005). "Seismic earth pressures on rigid and flexible retaining walls", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 25, No. 7-10, pp. 795-809.
- Puertos del Estado, Madrid (Spain) (2000). "ROM 0.6, Acciones y Efectos Sísmicos en las Obras Marítimas y Portuarias".
- Richards, R.J. and D.G. Elms (1979). "Seismic Behavior of Gravity Retaining Walls", Journal of Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 105, No. 4, pp. 449-464.
- Sarma, S.K. (1975). "Seismic stability of earth dams and embankments", Geotechnique, Vol. 25, No. 4, pp. 743-761.
- Soderberg, E., J. Hsieh and A. Dix (2009). "Seismic Guidelines for Container Cranes", Proceedings of 2009 TCLEE Conference, Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment, Oakland, CA.
- Soderberg, E.G. (2007). "Seismic Response of Jumbo Cranes and Design Recommendations to Limit Damage and Prevent Collapse", in W. Watson (ed.), ASCE Ports 2007, Proceedings of the 11th Triennial International Conference, San Diego, California.
- Soderberg, E.G. and M. Jordan (2007). "Dockside ship-to-shore cranes; Seismic risk and recommended criteria", <http://www.liftech.net/LiftechDesignNotebook/designcriteria.pdf>
- Steedman, R.S., and X. Zeng (1990). "The influence of phase on the calculation of pseudo-static earth pressure on a retaining wall", Geotechnique, Vol. 40, No. 1, pp. 103-112.
- Tateyama, M., F. Tatsuoka, J. Koseki and K. Horii (1995). "Damage to soil retaining walls for railway embankments during the Great Hanshin-Awaji earthquake", Proceedings of the 1st International Conference of Geotechnical Earthquake Engineering, Tokyo.
- Taylor, C.E. and S.D. Werner (1995). "Final Report, Proposed POLA 2020 Acceptable Seismic Risk Procedures with Demonstration Application to Pier 300 Wharf, Port of Los Angeles, San Pedro, CA", Dames & Moore, Inc.



- Taylor, M., S. Kontoe and S. Sarma (2007). "A review of performance based design procedures for gravity retaining structures under seismic loading", Proceedings of the 4th International Conference of Geotechnical Earthquake Engineering, Thessaloniki, Greece, Paper No. 1520.
- TCLEE (2012). "Report of the 11 March 2011 Mw 9.0 Tohoku, Japan earthquake and tsunami", Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering.
- Tsuchida, H. (1991). "Disaster caused by earthquakes in coastal areas and countermeasures", Proceedings of the International Conference on Geotechnical Engineering for Coastal Development, Port Harbor Research Institute, Yokohama, Japan, Vol. 2, pp. 918-926.
- Werner, S.D. (ed.) (1998). "Seismic Guidelines for Ports", Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, Monograph No. 12, ASCE, 366 p.
- Werner, S.D. and S.E. Dickenson (1996). "Hyogoken-Nanbu earthquake of January 17, 1995: a post-earthquake reconnaissance of port facilities", Ports committee of technical council on lifeline earthquake engineering, New York, ASCE.
- Werner, S.D., C.E. Taylor and J.M. Ferritto (1999). "Seismic risk reduction planning for ports lifelines", Proceedings of the 5th U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering-Optimizing Post-Earthquake Lifeline System Reliability, W. M. Elliot and P. McDonough, eds., TCLEE, Monograph No. 16, ASCE, pp. 503-512.
- Werner, S.D., S.E. Dickenson and C.E. Taylor (1997). "Seismic risk reduction at ports: Case studies and acceptable risk evaluation", Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol. 123, No. 6, pp. 337-346.
- Whitman, R.V. (1990). "Seismic design and behavior of gravity retaining walls", Proceedings of the Special Conference on Design and Construction of Earth Retaining Structures, ASCE, New York, pp. 817-842.
- Wotring, D. and G.C. Andersen (2001). "Displacement-based design criteria for gravity retaining walls in light on recent earthquakes", Proceedings of the 4th International Conference in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego, CA, Paper No. 7.33.
- Wu, Y. (1999). "Displacement-based analysis and design of rigid retaining walls during earthquakes", PhD Dissertation, University of Missouri, Rolla.
- Zeng, X. and R.S. Steedman (2000). "Rotating block method for seismic displacement of gravity walls", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 126, No. 8, pp. 709-717.
- Γκαζέτας, Γ., Π. Ντάκουλας και Ι. Αναστασόπουλος (2006). «Αστοχία Λιμενικών Κρηπιδοτοίχων στον Σεισμό της Λευκάδας 14-8-2003», 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Ξάνθη.



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

- Δασκαλάκης, Ε.Κ. (2004). «Αντισεισμικός υπολογισμός κρηπιδοτοίχων βαρύτητας μέθοδος δέλτα», Τεχνικά Χρονικά, Επιστ. εκδ. ΤΕΕ, Ι, τεύχ. 2-3.
- Δρόσος, Β., Φ. Γελαγώτη, Ρ. Κουρκούλης, Ι. Αναστασόπουλος και Γ. Γκαζέτας (2010). «Νέος Εμπορευματικός Λιμένας Θεσσαλονίκης: Μή γραμμική Δυναμική Ανάλυση του Κρηπιδοτοίχου», 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Βόλος.
- ΕΑΚ (2000). «Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός».
- ΙΤΣΑΚ, (2003). «Ο σεισμός της Λευκάδος (M=6.4), 14 Αυγούστου 2003. Προκαταρκτική έκθεση των συνεπειών του σεισμού στο δομημένο και μη περιβάλλον».
- 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.
- Κακδέρη, Κ., Δ. Ραπτάκης, Σ. Αργυρούδης, Μ. Αλεξούδη και Κ. Πιτιλάκης (2006). «Σεισμική απόκριση και τρωτότητα κρηπιδοτοίχων. Το παράδειγμα της Λευκάδας», 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Ελληνική Επιστημονική Εταιρεία Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων, Ξάνθη, Αρ. 4.22.
- Κουτίτας, Χ. (1994). «Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα», Θεσσαλονίκη.
- Παταργιά, Α. και Μέμος (2008). «Διερεύνηση μετατοπίσεων σπονδυλωτού κρηπιδοτοίχου με δυναμική ανάλυση», 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 1946.