



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΕΡΓΟ: «ΘΑΛΗΣ-ΕΜΠ-ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ»

MIS 379422

(κωδ. ΕΛΚΕ: 68/1125)

1^η Ετήσια Έκθεση Προόδου του Έργου

2012

Αθήνα



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

1^η Ετήσια Έκθεση Προόδου του Έργου «ΘΑΛΗΣΣ-ΕΜΠ-Ανάλυση τρωτότητας και εκτίμηση σεισμικού κινδύνου για την αντισεισμική προστασία βιομηχανικών εγκαταστάσεων»

Σύντομη Περιγραφή φυσικού αντικειμένου

Το έργο αφορά στην αντισεισμική προστασία κατασκευών βιομηχανικών εγκαταστάσεων και στην ανάπτυξη υπολογιστικών μεθόδων για την αποτίμηση της σεισμικής τους διακινδύνευσης μέσα από ένα πλαίσιο αντισεισμικού σχεδιασμού με βάση την επιτελεσματικότητα. Η σεισμική συμπεριφορά και ο αντισεισμικός σχεδιασμός τους παρουσιάζει ιδιαιτερότητες και διαφέρει σημαντικά από τις συνήθεις κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού. Οι ιδιαιτερότητες πηγάζουν από το σχήμα και την γεωμετρία τους, την επιρροή των ρευστών που περιέχουν καθώς και από την ευαισθησία τους σε γεωμετρικές ατέλειες. Το έργο βασίζεται σε μία συνολική προσέγγιση με τελικό στόχο την ανάπτυξη πρακτικών μεθόδων υπολογισμού της σεισμικής διακινδύνευσης για χαρακτηριστικές σεισμικές διεγέρσεις του Ελληνικού χώρου. Προτεραιότητα του έργου είναι η διατύπωση βασικών αρχών αντισεισμικού σχεδιασμού κατασκευών βιομηχανικών εγκαταστάσεων με βάση την επιτελεσματικότητα (performance-based design) προκειμένου ο σχεδιασμός τους, που σήμερα ακολουθεί την μέθοδο των επιτρεπόμενων τάσεων, να εναρμονιστεί με τις σύγχρονες αντιλήψεις αντισεισμικού σχεδιασμού.

Στο πλαίσιο του έργου υλοποιούνται οι κάτωθι δράσεις:

- 1 Συντονισμός-παρακολούθηση φυσικού και οικονομικού αντικειμένου
- 2 Προσομοίωση και σύνθεση σεισμικών εδαφικών κινήσεων
- 3 Προσομοίωση της σεισμικής απόκρισης κατασκευών βιομηχανικών εγκαταστάσεων
- 4 Διατύπωση πλαισίου για τον αντισεισμικό σχεδιασμό βιομηχανικών εγκαταστάσεων με βάση την επιτελεσματικότητα
- 5 Ανάλυση Αξιοπιστίας και υπολογισμός καμπυλών τρωτότητας
- 6 Εκτίμηση Σεισμικής διακινδύνευσης βιομηχανικών εγκαταστάσεων
- 7 Διάχυση αποτελεσμάτων
- 8 Αξιολόγηση

Τα πεπραγμένα του ερευνητικού έργου κατά τη χρονική περίοδο από **01-02-2012 έως 1-02-2013** αναλύονται σύμφωνα με το υποβληθέν χρονοδιάγραμμα και με αναφορά στις επιμέρους Δράσεις και παραδοτέα του Έργου ως εξής:

Δράση 1: Συντονισμός πρότασης



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

1.1: Συντονισμός - Παρακολούθηση Φυσικού και Οικονομικού Αντικειμένου

Παραδοτέα

1.1 Ετήσια έκθεση προόδου (παρούσα έκθεση).

Δράση 2: Προσομοίωση και σύνθεση σεισμικών εδαφικών κινήσεων

2.1: Ενσωμάτωση των από διάθλαση στη λεκάνη παραγόμενων επιφανειακών κυμάτων στη στοχαστική προσομοίωση σεισμικών εδαφικών κινήσεων

Είναι γενικώς αποδεκτό ότι η πρόσπτωση σεισμικών κυμάτων κορμού σε γεωλογικούς σχηματισμούς με την μορφή λεκάνης ιζημάτων, έχει ως αποτέλεσμα την γέννηση κυμάτων επιφανείας (RAYLEIGH ή/και LOVE) τα οποία έχουν, με την σειρά τους, ως συνέπεια την σημαντική αύξηση της διάρκειας του σεισμικού κραδασμού και την παράλληλη αύξηση των φασματικών πλατών των μεγάλων περιόδων ($T > 1 \text{ sec}$).

Στόχος της παρούσας έρευνας είναι η ενσωμάτωση των ανωτέρω επιφανειακών κυμάτων, των παραγομένων σε λεκάνες ιζημάτων, στην υπάρχουσα *στοχαστική προσομοίωση* εδαφικών κινήσεων.

Μετά από ενδελεχή διερεύνηση της βιβλιογραφίας επιλέξαμε να προσεγγίσουμε το ανωτέρω πρόβλημα και να επιτύχουμε τον ανωτέρω στόχο κάνοντας χρήση του *'group delay spectrum'*. Προς τούτο έχουμε ήδη επιλέξει εννέα (9) λεκάνες ιζημάτων στις οποίες έχουν καταγραφεί σεισμικοί κραδασμοί απο συστοιχία επιταχυνσιογράφων. Η επιλογή των λεκανών έγινε με τα ακόλουθα κριτήρια: (1) οφθαλμοφανή ύπαρξη κυμάτων επιφανείας, (2) όσο το δυνατόν καλύτερα γνώση της δομής της λεκάνης (π.χ., γεωμετρία, βάθος ιζημάτων, σεισμικές ταχύτητες των ιζημάτων) απο την δημοσιευμένη βιβλιογραφία, (3) όσο το δυνατόν μεγαλύτερο αριθμό καταγεγραμμένων σεισμικών γεγονότων στην ίδια λεκάνη, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η μελέτη της επίδρασης της σχετικής θέσης της σεισμικής πηγής ως προς την λεκάνη, καθώς και η επίδραση του μεγέθους και εστιακού βάθους της σεισμικής πηγής, (4) αξιοπιστία καταγραφών όπως αυτή εκτιμάται με τον λόγο σήματος-προσθόρυβο. Με το τρόπο αυτό δημιουργούμε μία βάση δεδομένων προς ανάλυση.

Η ανάλυση των ανωτέρω δεδομένων αποβλέπει στα εξής: (1) *ταυτοποίηση* των κυμάτων επιφανείας (RAYLEIGH ή/και LOVE), (2) *κατεύθυνση* μετάδοσής τους, (3) εκτίμηση ενίσχυσης του σεισμικού κραδασμού στις μεγάλες περιόδους (παρενθετικά σημειώνεται ότι στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει δημοσιευμένο υλικό για την εκτίμηση της ενίσχυσης των μεγάλων περιόδων από λεκάνες ιζημάτων), και (4) υπολογισμό του *'group delay spectrum'* κάθε καταγραφής. Διερευνάται το κατά πόσον το *'group delay spectrum'* σε ένα σημείο της λεκάνης είναι προβλέψιμο (έστω και κατά προσέγγιση) απο τα χαρακτηριστικά διασποράς κυμάτων των ιζημάτων και της γεωμετρίας της λεκάνης, καθώς επίσης το πόσο επιρρεάζει η σχετική θέση λεκάνης - σεισμικής πηγής. Εστω και μία



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

χονδροειδώς προσεγγιστική περιγραφή του '*group delay spectrum*' θα ήταν ικανοποιητική για τις ανάγκες του παρόντος προγράμματος.

Γνωρίζοντας (ή έχοντας την δυνατότητα πρόβλεψης) (1) το '*group delay spectrum*' και (2) την ενίσχυση των φασματικών πλατών του σεισμικού κραδασμού στις μεγάλες περιόδους ($T > 1 \text{ sec}$), είναι δυνατόν να προχωρήσουμε με μεγάλη ευκολία στην ενσωμάτωση επιφανειακών κυμάτων στην προσομοίωση του σεισμικού κραδασμού. Το ανωτέρω επιτυγχάνεται σε δύο στάδια: (1) προσομοίωση χρονοϊστορίας σεισμικού κραδασμού για τα εγκάρσια κύματα κορμού (S-waves), (2) διόρθωση της φάσης (= phase) της ανωτέρω χρονοϊστορίας κάνοντας χρήση του '*group delay spectrum*', καθώς και των φασματικών πλατών της κάνοντας χρήση του φάσματος ενίσχυσης του κραδασμού.

Εκτός απο τον ανωτέρω τρόπο προσομοίωσης του ισχυρού σεισμικού κραδασμού είμαστε σε θέση να προτινουμε και έναν άλλον τρόπο ο οποίος όμως βασίζεται σε υπάρχουσες καταγραφές μικρών σεισμών στην λεκάνη ενδιαφέροντος. [Παρενθετικά σημειώνουμε ότι δεν είναι σπάνιο για projects σημαντικού ενδιαφέροντος και κόστους (όπως π.χ., εργοστάσια παραγωγής πυρηνικής ενέργειας, μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα) να προηγούνται ενόργανες μετρήσεις της σεισμικότητας της περιοχής τους με την εγκατάσταση συστοιχίας σειсмоγράφων/επιταχυνσιογράφων.] Είναι δυνατόν, αυτές οι καταγραφές (σχετικά) μικρών σεισμών να κλιμακωθούν πρὸς τα ἄνω και να δώσουν καταγραφές που αντιστοιχούν σε μεγάλους σεισμούς. Συγκεκριμένα, αυτό επιτυγχάνεται με την συνέλιξη (= *convolution*) της χρονοϊστορίας του 'μικρού' σεισμού με κατάλληλο 'φίλτρο θορύβου', και με παράλληλη ενίσχυση των φασματικών πλατών με τον λόγο των φασμάτων πηγής των αντίστοιχων μεγεθών. Η διαδικασία/υπολογισμός είναι εξαιρετικά απλή αρκεί να είναι δεδομένα: (1) η καταγραφή του 'μικρού' σεισμού, και (2) ο νόμος κλιμάκωσης του φάσματος της σεισμικής πηγής (θα κάνουμε χρήση του '*Ειδικού Προσομοιώματος Κλείθρων*', βλέπε κατωτέρω)

2.2: Προσομοίωση χωρικά συσχετισμένων εδαφικών κινήσεων

Προσομοίωση χωρικά συσχετισμένων εδαφικών κινήσεων είναι δυνατόν να επιτευχθεί συνδιάζοντας την ανωτέρω τεχνική ενσωμάτωσης των επιφανειακών κυμάτων με την τεχνική που προτάθηκε από τον DEODATIS (1996).

2.3: Προσδιορισμός του νόμου κλιμάκωσης του φάσματος εστίας με βάση δεδομένα από τον Ελλαδικό χώρο

Επειδή τα δεδομένα/καταγραφές ισχυρού σεισμικού κραδασμού του Ελλαδικού χώρου δεν είναι διαθέσιμα προς γενική χρήση θα προσφύγουμε στην εξής στρατηγική: Θα χρησιμοποιήσουμε το 'Ειδικό Προσομοίωμα Κλείθρων' (Specific Barrier Model) και τον νόμο κλιμάκωσής του, όπως αυτό έχει βαθμονομηθεί από τους HALLDORSSON & PAPAGEORGIOU (2005) για σεισμούς τεκτονικών περιοχών που χαρακτηρίζονται απο επέκταση (extensional tectonic regions). Οι περισσότερες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδος χαρακτηρίζονται απο τέτοιου είδους σεισμούς. Ως επιπλέον επιβεβαίωση, θα συγκρίνουμε τα φάσματα πηγής του 'Specific



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

Barrier Model' με τα φάσματα (στηριγμένα αποκλειστικά σε σεισμούς του Ελλαδικού χώρου) των MARGARIS & HATZIDIMITRIΟΥ (2002).

Παραδοτέα

2.1 Τεχνική αναφορά, μία (κατ' ελάχιστο) δημοσίευση σε διεθνές περιοδικό με κριτές και μία (κατ' ελάχιστο) δημοσίευση σε διεθνές συνέδριο για την επιρροή των παραγόμενων από ανάκλαση επιφανειακών κυμάτων καθώς και για την χωρική μεταβλητότητα στην στοχαστική προσομοίωση σεισμικών εδαφικών κινήσεων (η τεχνική αναφορά και η δημοσίευση είναι υπό εξελιξη).

2.2 Τεχνική αναφορά, μία (κατ' ελάχιστο) δημοσίευση σε διεθνές περιοδικό με κριτές και μία (κατ' ελάχιστο) δημοσίευση σε διεθνές συνέδριο για τον νόμο κλιμάκωσης του φάσματος πηγής για σεισμικές εστίες στον Ελληνικό χώρο (η τεχνική αναφορά και οι δημοσιεύσεις είναι υπό εξελιξη).

2.3 Λογισμικό για την παραγωγή συνθετικών εδαφικών κινήσεων και την δημιουργία ομάδας συνθετικών σεισμικών καταγραφών (Υπό εκπόνηση).

Δράση 3: Προσομοίωση της σεισμικής απόκρισης κατασκευών βιομηχανικών εγκαταστάσεων

Οι κατασκευές βιομηχανικών εγκαταστάσεων αφορούν την υποδομή αποθήκευσης και μεταφοράς/διανομής ρευστών και συγκεκριμένα ατμοσφαιρικές δεξαμενές, δοχεία πίεσης και σωληνώσεις. Η σεισμική συμπεριφορά και ο αντισεισμικός σχεδιασμός τους παρουσιάζει ιδιαιτερότητες, οι οποίες πηγάζουν από το ιδιαίτερο σχήμα και την γεωμετρία τους, την επιρροή των ρευστών που περιέχουν καθώς και από την ευαισθησία τους σε γεωμετρικές ατέλειες. Επιπλέον, σημαντικός παράγοντας είναι η υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών τους, λόγω κυκλικών φορτίσεων κατά τη λειτουργία, παράγοντες που οδηγούν σε σημαντικές μειώσεις της φέρουσας ικανότητάς τους. Γι' αυτό το λόγο, στον σχεδιασμό κατασκευών βιομηχανικών εγκαταστάσεων, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι βασικές αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού.

3.1: Προσομοίωση ατμοσφαιρικών δεξαμενών αποθήκευσης υγρών

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η εξέταση της δομικής συμπεριφοράς ατμοσφαιρικών δεξαμενών αποθήκευσης υγρών, με έμφαση σε θέματα σεισμικής φόρτισης. Οι δεξαμενές αποθήκευσης υγρών είναι τρωτές σε σεισμική εδαφική διέγερση ιδιαίτερα όταν είναι πλήρεις. Η επίδραση ενός σεισμού σε μια δεξαμενή γεμάτη με υγρό μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές, τόσο στη ίδια την κατασκευή, όσο και στην εγκατάσταση που την περιβάλλει, καθώς και σε παρακείμενες αστικές περιοχές. Κατά τη διάρκεια της διέγερσης αναπτύσσονται μεγάλες



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

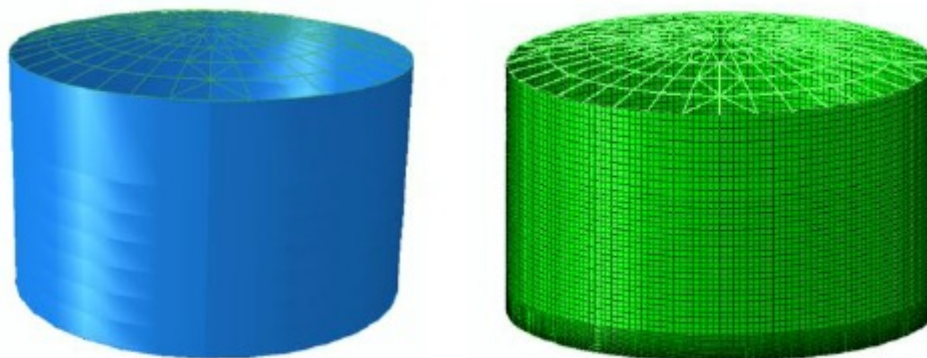


ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

εσωτερικές δυνάμεις στην δεξαμενή εξαιτίας της κίνησης του υγρού. Αναλυτικότερα, η εμφάνιση μεγάλων αξονικών (θλιπτικών και εφελκυστικών) τάσεων, που προκαλούνται από τις αναπτυσσόμενες ροπές ανατροπής λόγω του σεισμού, μπορεί να προκαλέσει λυγισμό (buckling) καθ' ύψος στο τοίχωμα της δεξαμενής ή και τοπικό λυγισμό κοντά στη βάση της (elephant's foot). Οι αστοχίες στις αγκυρωμένες δεξαμενές περιλαμβάνουν αστοχίες στη θεμελίωση, στις στηρίξεις και στα κελύφη λόγω θλίψης. Σε αντίθεση με τις αγκυρωμένες δεξαμενές οι οποίες δεν επιτρέπουν το ανασήκωμα τους, οι δεξαμενές που δεν φέρουν αγκυρώσεις είναι πιθανό να ανασηκωθούν λόγω της κατακόρυφης κίνησης που δημιουργούν στο τοίχωμα οι υδροδυναμικές πιέσεις που προκαλεί ο σεισμός. Γι' αυτό το λόγο, στον σχεδιασμό δεξαμενών, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι βασικές αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την αντιμετώπιση των παραπάνω ζητημάτων με βάση κυρίως τις αριθμητικές προσομοιώσεις. Για την προσομοίωση της δομικής συμπεριφοράς της δεξαμενής, το εμπορικό πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS χρησιμοποιείται, ενώ για να εξετάσει τα υδροδυναμικά αποτελέσματα, μία αριθμητική τεχνική αναπτύσσεται. Τα αποτελέσματα αποσκοπούν στην καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς ατμοσφαιρικών δεξαμενών αποθήκευσης υγρών υπό σεισμικό φορτίο, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ των δύο μεγάλων σχεδιαστικών προτύπων (EN 1998-4 και API 650 Παράρτημα Ε).

Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης, μία τυπική δεξαμενή αποθήκευσης υγρού (αγκυρωμένη και μη-αγκυρωμένη) μοντελοποιείται με χρήση πεπερασμένων στοιχείων. Η δεξαμενή έχει διάμετρο 27,8 m και συνολικό ύψος 16,5 m. Το ύψος πλήρωσης της δεξαμενής είναι ίσο με 15,7 m, το οποίο αντιστοιχεί σε λόγο ύψους προς ακτίνα $\gamma = H/R$ ίσο με 1,131. Το πάχος του μεταλλικού τοιχώματος της δεξαμενής δεν είναι ενιαίο, αλλά αλλάζει βαθμιαία κατά το ύψος της δεξαμενής. Το πάχος του μεταλλικού τοιχώματος ξεκινάει από 6,4 mm στο πάνω μέρος της δεξαμενής και φτάνει στα 17,7 mm στο κάτω μέρος της. Η πλάκα πυθμένα έχει πάχος 6,4 mm με δακτυλιοειδή περιμετρική πλάκα πάχους 8 mm. Το υλικό της δεξαμενής θεωρείται συνήθης χάλυβας κατασκευών S235 με όριο διαρροής $\sigma_y = 235$ MPa και η πυκνότητα του αποθηκευμένου υγρού είναι $\rho = 1000$ kg/m³. Η γεωμετρία της δεξαμενής απεικονίζεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Δεξαμενή διαμέτρου 27.8 m και ύψους 16.5 m.

Στόχος του προγράμματος είναι η ανάπτυξη λεπτομερών μεθόδων προσομοίωσης, για την κατανόηση των γενικών χαρακτηριστικών της απόκρισης δεξαμενών υπό σεισμικές εδαφικές κινήσεις. Το εμπορικό πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της δομικής συμπεριφοράς της δεξαμενής. Στην περίπτωση της μη-αγκυρωμένης δεξαμενής, το κέλυφος της δεξαμενής και η πλάκα πυθμένα μοντελοποιούνται με πεπερασμένα στοιχεία κελύφους, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στη δακτυλιοειδή πλάκα στη βάση της δεξαμενής. Ειδικότερα, η δεξαμενή και η πλάκα πυθμένα μοντελοποιούνται με τετρακομβικά στοιχεία κελύφους μειωμένης ολοκλήρωσης (S4R). Σε αυτή τη περίπτωση, οι επιπτώσεις του ανασηκώματος της μη-αγκυρωμένης δεξαμενής προσομοιώνονται με τη χρήση κατάλληλων συνθηκών επαφής μεταξύ της πλάκας πυθμένα της δεξαμενής και του εδάφους. Η προσομοίωση του εδάφους γίνεται με χρήση συμπαγών (solid) οκτακομβικών στοιχείων μειωμένης ολοκλήρωσης (C3D8R). Ο συντελεστής τριβής μεταξύ της πλάκας βάσης της δεξαμενής και του εδάφους θεωρείται ότι είναι 0,3. Η οροφή δεξαμενής έχει μοντελοποιηθεί με δικομβικά πεπερασμένα στοιχεία (γραμμικά) τύπου δοκού (B31).

Το υλικό της δεξαμενής περιγράφεται μέσω του κριτήριου διαρροής vonMises, με ιστροπική σκλήρυνση. Το όριο διαρροής του υλικού S235 είναι ίσο με 235 MPa, με μέτρο ελαστικότητας $E=210.000$ MPa και συντελεστή σκλήρυνσης $ET=210$ MPa που αντιστοιχεί στο 1/1000 του μέτρου ελαστικότητας.

Μια μη-γραμμική στατική ανάλυση διεξάγεται σε τρία βήματα. Στο πρώτο στάδιο εφαρμόζεται η βαρύτητα της δεξαμενής, ενώ στο δεύτερο στάδιο, η δεξαμενή φορτίζεται λόγω υδροστατικής πίεσεως του υγρού. Τέλος, στο τρίτο βήμα, επενεργεί μια οριζόντια υδροδυναμική φόρτιση μέσω μιας ανελαστικής στατικής ανάλυσης, γνωστή και ως pushover. Γενικά, η υδροδυναμική πίεση του υγρού σε μία δεξαμενή που φορτίζεται οριζόντια αναλύεται σε δύο συνιστώσες. Η μια συνιστώσα που καλείται ωστική (impulsive) μεταβάλλεται σε συγχρονισμό με την επιτάχυνση της δεξαμενής και προκαλείται από το μέρος εκείνο του υγρού (impulsive mass) που ακολουθεί την κίνηση της δεξαμενής ως στερεό. Η δεύτερη συνιστώσα που είναι γνωστή ως επαγωγική (convective) συνιστώσα, η οποία οφείλεται στην κίνηση του κυματισμού. Η κατανομή των υδροδυναμικών πιέσεων στον τοίχο της δεξαμενής ακολουθεί την αντίστοιχη λύση του υδροδυναμικού προβλήματος, (άθροισμα ωστικής πίεσης και επαγωγικής πίεσης).

Αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα της συμπεριφοράς της δεξαμενής παρουσιάζονται στη συνέχεια. Πρώτον, τα αριθμητικά αποτελέσματα για την μη-αγκυρωμένη δεξαμενή εξετάζονται και στη συνέχεια συγκρίνονται με τα αποτελέσματα από την αγκυρωμένη δεξαμενή. Η γενική διαμόρφωση της παραμορφωμένης δεξαμενής παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 2 .



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

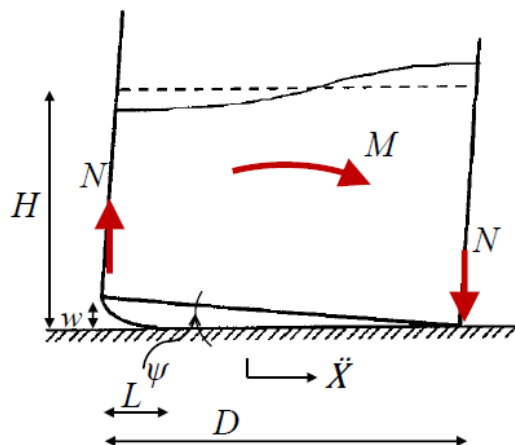


ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

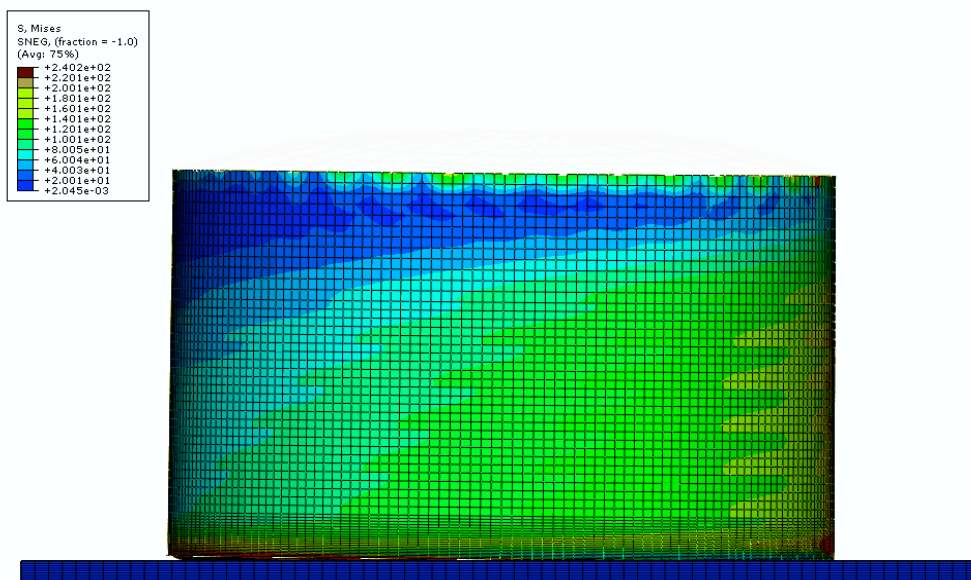
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



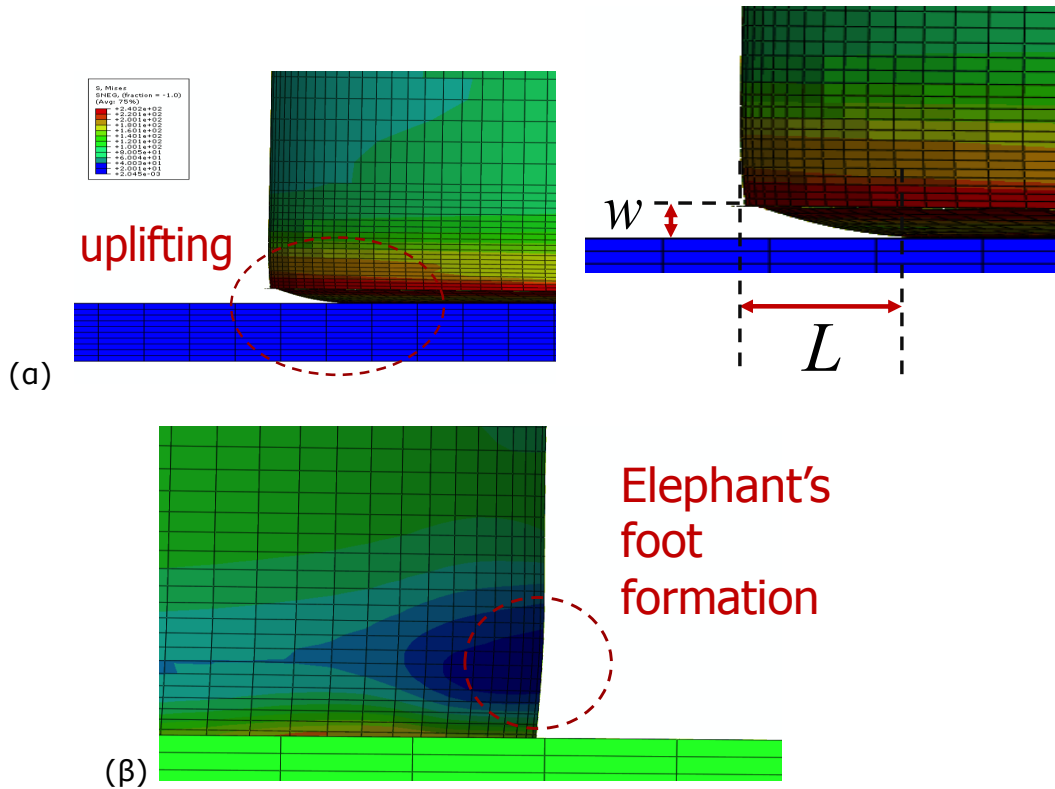
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



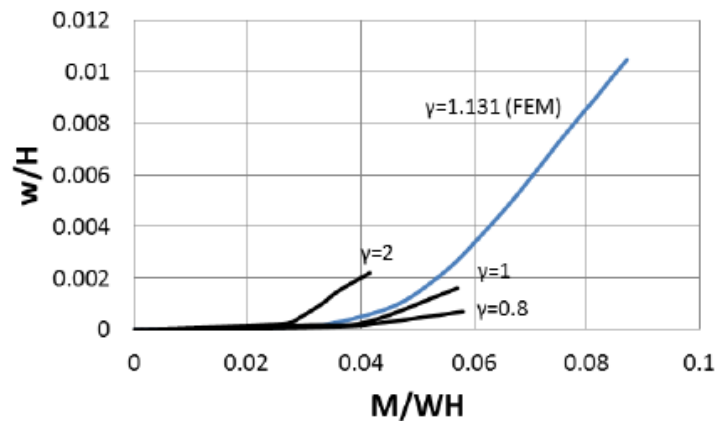
Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση μη-αγκυρωμένης δεξαμενής αποθήκευσης υγρού.



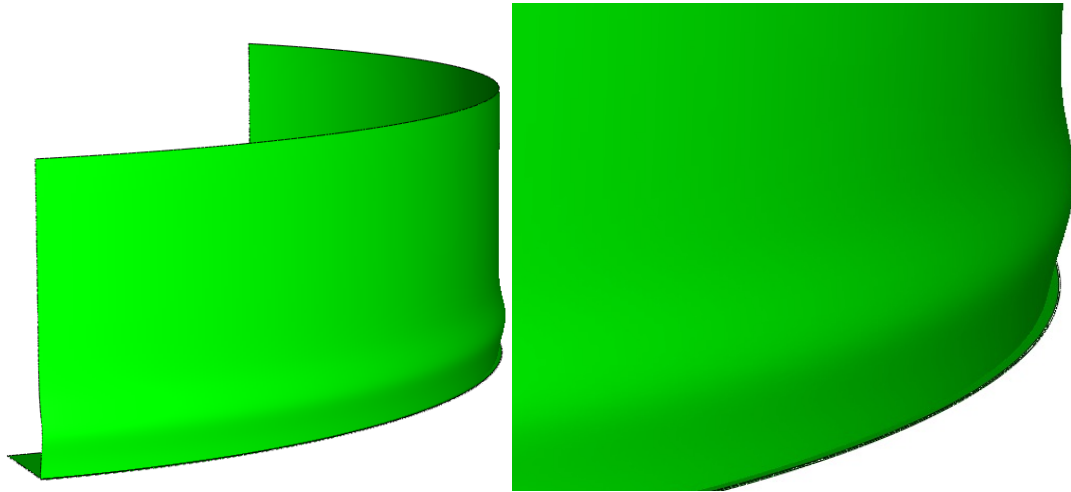
Εικόνα 3: Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων μη-αγκυρωμένης δεξαμενής αποθήκευσης υγρού υπό οριζόντια φόρτιση.



Εικόνα 4: Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων μη-αγκυρωμένης δεξαμενής αποθήκευσης υγρού υπό οριζόντια φόρτιση, (α) ανύψωση της πλάκας βάσης, (β) τοπικός λυγισμός κοντά στη βάση της δεξαμενής (elephant'sfoot).



Εικόνα 5: Η μέγιστη κατακόρυφη ανύψωση της δεξαμενής w έναντι της ροπής ανατροπής M , σε σύγκριση με το EN 1998-4



Εικόνα 6: Τοπικός λυγισμός κοντά στη βάση της δεξαμενής (elephant'sfoot), όπως λαμβάνεται με την προσομοίωση πεπερασμένων στοιχείων.

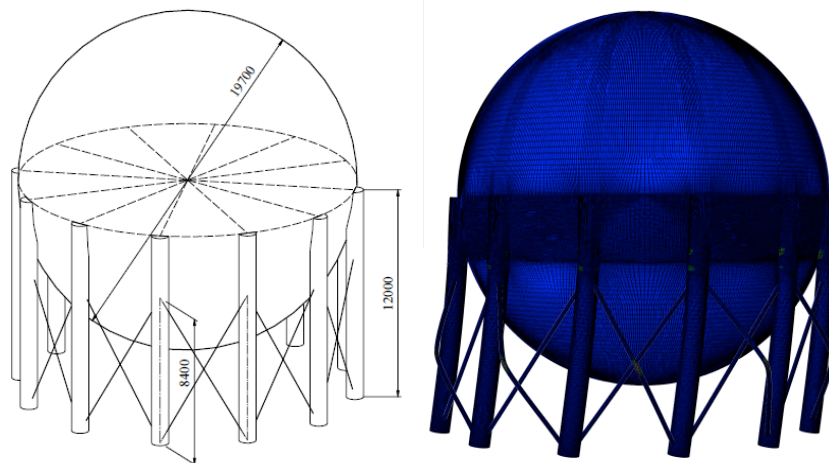
Στην παρούσα μελέτη, η δομική συμπεριφορά της δεξαμενής αποθήκευσης υγρών εξετάστηκε χρησιμοποιώντας τόσο στατικές και δυναμικές μη γραμμικές αναλύσεις. Επιπλέον, η συμπεριφορά συζητήθηκε σε σχέση με τα κύρια πρότυπα σεισμικού σχεδιασμού API 650 - παράρτημα E, καθώς και τις σχετικές διατάξεις του προτύπου EN 1998-4 παράρτημα A. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο προδιαγραφές, τα οποία οφείλονται στο γεγονός ότι υπάρχουν αρκετά αμφιλεγόμενα ζητήματα σχετικά με την σεισμική απόκριση των δεξαμενών.

3.2: Προσομοίωση βιομηχανικών δοχείων πίεσης

Τα δοχεία πίεσης συνήθως χρησιμοποιούνται στην πετρελαιοχημική βιομηχανία για να αποθηκεύουν υγρά. Η σεισμική συμπεριφορά τέτοιων κατασκευών είναι μεγάλης σπουδαιότητας και τα περιεχόμενα υγρά είναι συνήθως επικίνδυνα χημικά ή εύφλεκτα καύσιμα, όπου μια πιθανή διαρροή μπορεί να προκαλέσει μεγάλες καταστροφές. Στην εργασία αυτή μελετάται η σεισμική απόκριση ενός σφαιρικού μεταλλικού δοχείου πίεσης. Η σεισμική απόκριση σφαιρικών δεξαμενών, με πλήρωση υγρού, είναι ένα σύνθετο φαινόμενο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το υγρό υπακούει σε νόμους συμπεριφοράς, η διατύπωση των οποίων διαφέρει από εκείνη που εκφράζει την συμπεριφορά του σφαιρικού κελύφους. Για το σκοπό αυτό, αρχικά αναπτύσσεται ένα λεπτομερές μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων στο ABAQUS το οποίο χρησιμοποιείται στην μελέτη της σεισμικής συμπεριφοράς του σφαιρικού δοχείου πίεσης.

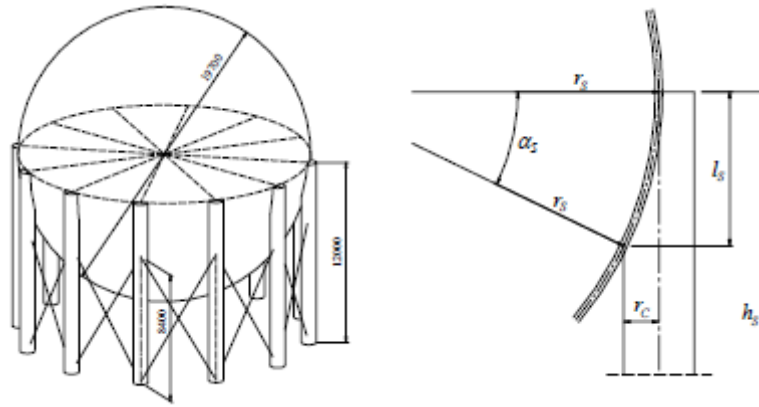
Το σφαιρικό κέλυφος μιας τέτοιας δεξαμενής στηρίζεται σε 12 υποστυλώματα, ίσο-κατανεμημένων στην περίμετρο του ισημερινού της σφαίρας. Οι οριζόντιες δυνάμεις που δέχεται η κατασκευή παραλαμβάνεται από διαγώνιους μεταλλικούς συνδέσμους (χιαστί διάταξη), όπως φαίνεται στην Εικόνα 7. Η μέση διάμετρο της σφαίρας είναι ίση με $d_s = 19700$ mm, με σταθερό πάχος κελύφους $t_s = 74,5$ mm. Τύπος του ισημερινού της σφαίρας είναι $h_s = 12000$ mm. Τα υποστυλώματα έχουν σχήμα κυλινδρικό

με εξωτερική διάμετρο $d_{c,e}=1016$ mm και πάχος $t_c=18$ mm. Οι διαγώνιοι σύνδεσμοι είναι μεταλλικά ελάσματα κυλινδρικής διατομής με εξωτερική διάμετρο $d_{b,e} = 200$ mm και πάχος $t_b = 10$ mm. Μεταξύ δυο διαδοχικών υποστυλωμάτων υπάρχουν δυο χιαστοί σύνδεσμοι, που ενώνεται σε ύψος $l_{c,1} = 8405$ mm, από την βάση. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά φαίνονται στην Εικόνα 8.



Εικόνα 7: Σφαιρικό δοχείο πίεσης που υποστηρίζονται με υποστυλώματα ενισχυμένα από διαγώνιους μεταλλικούς συνδέσμους.

Το υλικό για την κατασκευή είναι χάλυβας P355 GH με τάση διαρροής $ReH = 315$ MPa και αντοχή $Rm = 490$ MPa για τη σφαίρα, $ReH = 345$ MPa, $Rm = 510$ MPa για τα υποστυλώματα, και για τους διαγώνιους συνδέσμους $ReH = 355$ MPa, $Rm = 510$ MPa αντίστοιχα, χωρίς μειώσεις λόγω της θερμοκρασίας λειτουργίας. Τα φορτία που λαμβάνονται στην ανάλυση είναι το μόνιμο φορτίο της κατασκευής (πυκνότητα χάλυβα $\rho_{st} = 7,85$ t / m³), το φορτίο πλήρωσης (επίπεδο πλήρωσης $k_f = 90\%$, με πυκνότητα ρευστού $\rho_f = 0.522$ t / m³) και η εσωτερική πίεση λειτουργίας ($p_i = 24$ bar). Τα κατακόρυφα φορτία της κατασκευής (ίδιο και ωφέλιμο βάρος) αναλαμβάνονται πλήρως από τα υποστυλώματα. Για οριζόντια σεισμικά φορτία έχουν τοποθετηθεί διαγώνιοι σύνδεσμοι με σκοπό να αυξήσουν την οριζόντια δυσκαμψία της κατασκευής.



Εικόνα 8: Σχηματική απεικόνιση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του σφαιρικού δοχείου πίεσης.

Το τυπικό σφαιρικό δοχείο πίεσης μοντελοποιείται με χρήση πεπερασμένων στοιχείων (ABAQUS). Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για όλη την κατασκευή είναι τετρακομβικά μειωμένης ολοκλήρωσης (S4R) και τα πλεονεκτήματα των συνθηκών συμμετρίας λαμβάνονται υπόψη.

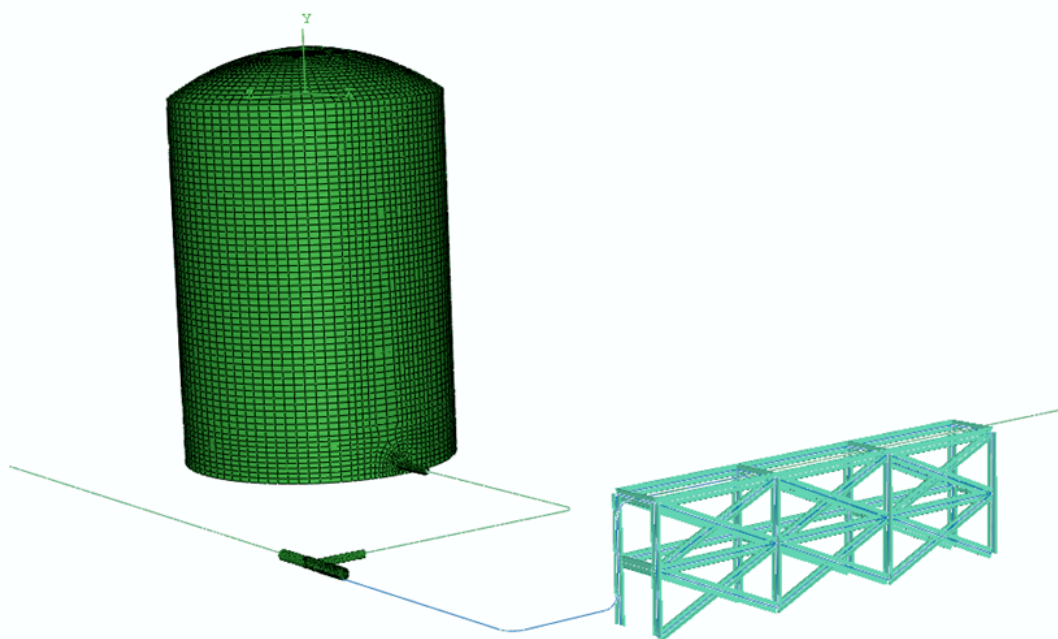
3.3: Προσομοίωση σωληνώσεων και των κατασκευών στήριξής τους

Οι κατασκευές βιομηχανικών εγκαταστάσεων αφορούν επίσης και την υποδομή μεταφοράς/διανομής ρευστών (σωληνώσεις). Τα συστήματα σωληνώσεων περιλαμβάνουν μερικά πολύ ευπαθή στοιχεία (components) που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. Τα στοιχεία αυτά είναι (α) τα καμπύλα τμήματα (Elbows), τα οποία είναι απαραίτητα για την υποδοχή των παραμορφώσεων που οφείλονται στις διακυμάνσεις της πίεσης και της θερμοκρασίας, (β) οι διακλαδώσεις – κόμβοι (Tee-junctions), (γ) οι κοχλιωτές συνδέσεις (Flanged/bolted connections) οι οποίες εισάγουν ασυνέχειες, που οδηγούν στην συγκέντρωση τάσεων στο σημείο αυτό, και τέλος (δ) τα ακροφύσια (nozzles), όπου ο σωλήνας συνδέεται με τις δεξαμενές ή τα δοχεία πίεσης. Αυτές είναι θέσεις όπου εμφανίζεται σημαντική ασυνέχεια και δυνητικά μπορεί να οδηγήσει σε θραύση των στοιχείων αυτών υπό ισχυρή κυκλική φόρτιση. Επίσης τα συστήματα σωληνώσεων συχνά στηρίζονται σε ειδικές κατασκευές από χάλυβα (pipe racks) όπου η σεισμική συμπεριφορά και ο αντισεισμικός σχεδιασμός τους παρουσιάζει ιδιαιτερότητες καθώς υπάρχει μία αλληλεπίδραση των pipe racks με τις σωληνώσεις που πρέπει να ληφθεί υπόψη.

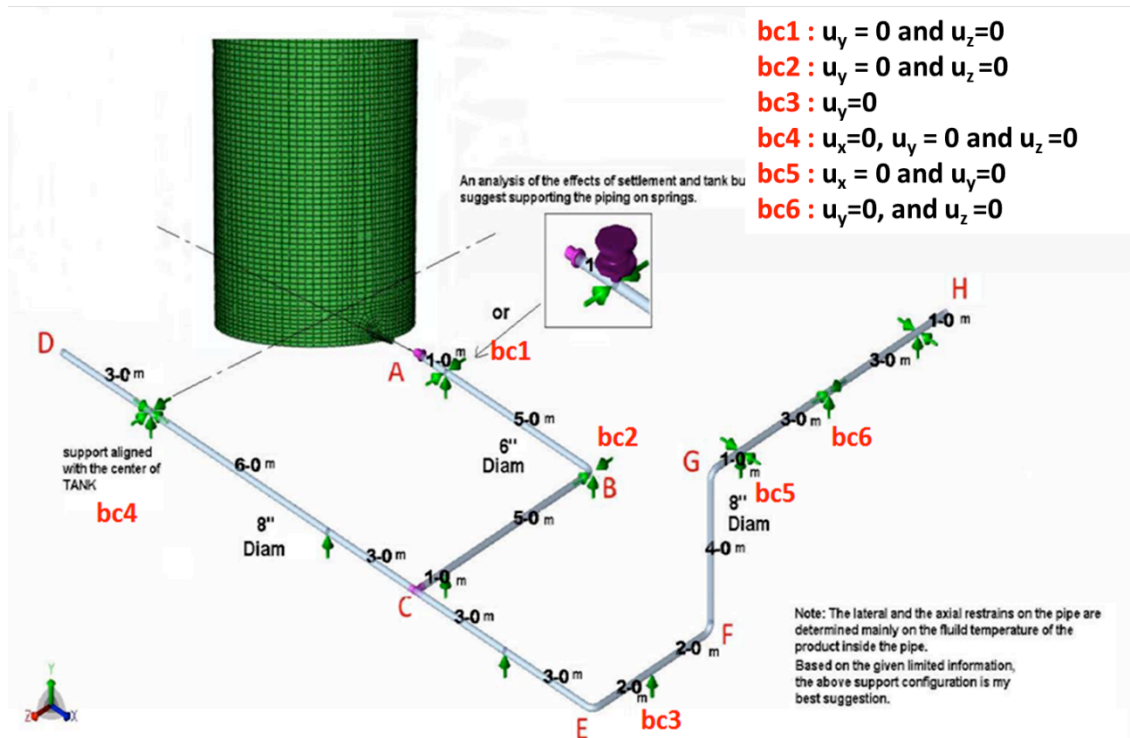
Ως εκ τούτου, τα συστήματα σωληνώσεων αποτελούν βασικές δομές που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. Δυστυχώς, λίγες συνεισφορές στη βιβλιογραφία είναι διαθέσιμες, προκειμένου να διευκρινιστούν οι σεισμικές απαιτήσεις για τα συστήματα σωληνώσεων. Επιπλέον, τα σημερινά αμερικανικά και τα ευρωπαϊκά πρότυπα δεν περιέχουν αρκετούς κανόνες και λεπτομέρειες για τη σωστή σεισμική ανάλυση και το σχεδιασμό των συστημάτων σωληνώσεων.

Σε αυτή την ενότητα εξετάζεται ένα τυπικό σύστημα σωληνώσεων (Εικόνα 9), το οποίο αποτελείται από (α) μία δεξαμενή, (β) το σύστημα σωληνώσεων, και (γ) μια πλαισιακή κατασκευή (pipe rack) πάνω στην οποία στηρίζεται ένα μέρος του συστήματος σωληνώσεων. Η δεξαμενή έχει

διάμετρο 30 m και συνολικό ύψος 26,2 m. Το πάχος του μεταλλικού τοιχώματος της δεξαμενής είναι ενιαίο και ίσο με 20 mm. Το σύστημα σωληνώσεων έχει δύο κλάδους, ο ένας κλάδος είναι ένα σύστημα σωληνώσεων διαμέτρου 168,3 mm και πάχους 7,1 mm (6-inch SCH40), που συνδέεται με την δεξαμενή με ένα ακροφύσιο του οποίου τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά φαίνονται στην **Error! Unknown switch argument.** Ο δεύτερος κλάδος είναι ένα σύστημα σωληνώσεων διαμέτρου 219,1mm και πάχους 8,2 mm (8-inch SCH40), το οποίο συνδέεται με το πρώτο κλάδο με ένα κόμβο-διακλάδωση (Tee-junction). Δύο τύποι σύνδεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν, σύνδεση-κόμβος με fitting (Εικόνα12) ή με συγκολλημένη πλάκα ενίσχυσης (Εικόνα13). Και οι δύο κλάδοι έχουν καμπύλα τμήματα (Elbows) των οποίων τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά φαίνονται στον Πίνακα 1. Ένα μέρος του δεύτερου κλάδου στηρίζεται σε μία πλαισιακή κατασκευή με ύψος 4 m. Λεπτομέρειες της κατασκευής αυτής φαίνονται στην Εικόνα 14. Η σεισμική συμπεριφορά και ο αντισεισμικός σχεδιασμός της πλαισιακής κατασκευής παρουσιάζει ιδιαιτερότητες, οι οποίες πηγάζουν από την αλληλεπίδραση της κατασκευής αυτής (piperaek) με τις σωληνώσεις.

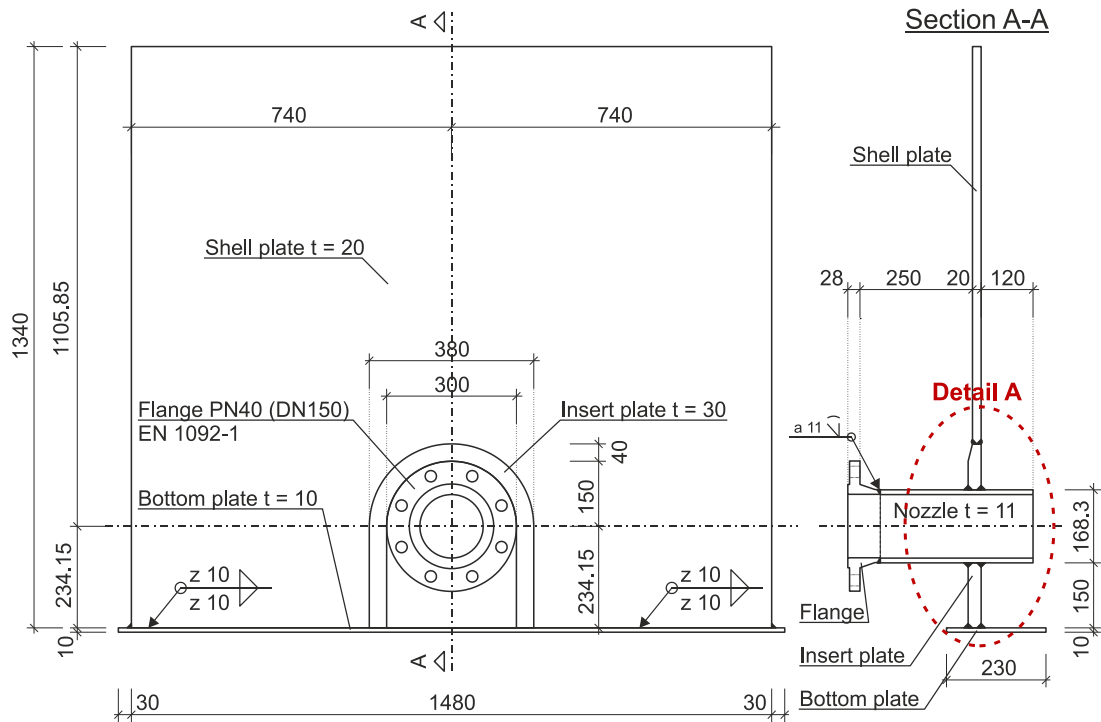


Εικόνα 9: Σύστημα σωληνώσεων



Εικόνα 10: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του συστήματος σωληνώσεων

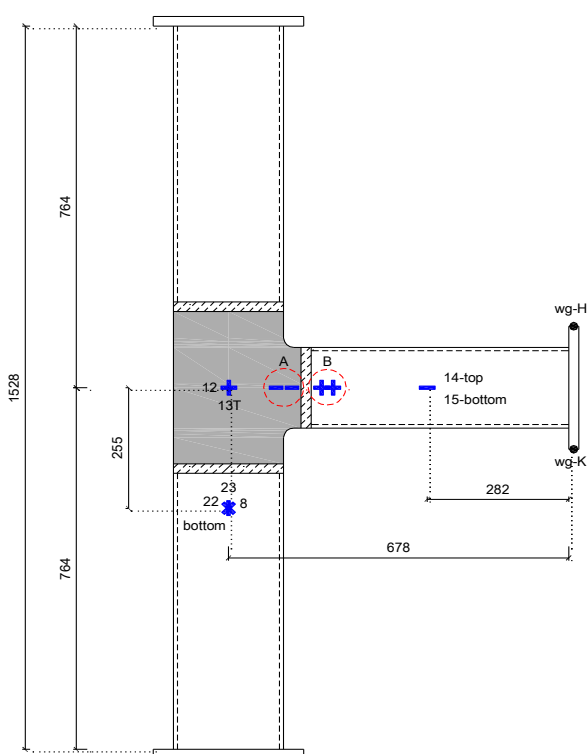
Το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της δομικής συμπεριφοράς του συστήματος. Η δεξαμενή μοντελοποιείται με πεπερασμένα στοιχεία κελύφους, δίνοντας προσοχή στην περιοχή κοντά στο ακροφύσιο. Ειδικότερα, η δεξαμενή μοντελοποιείται με τετρακομβικά στοιχεία κελύφους μειωμένης ολοκλήρωσης (S4R), και ένα πυκνό πλέγμα έχει χρησιμοποιηθεί στην περιοχή κοντά στο ακροφύσιο. Επίσης για τα ευπαθή στοιχεία, ακροφύσιο και κόμβο-διακλάδωση (Tee-junction), χρησιμοποιούνται τα ίδια τετρακομβικά στοιχεία κελύφους (S4R) έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη η ακριβής τοπική παραμόρφωση. Το σύστημα σωληνώσεων μακριά από τα ευπαθή στοιχεία μπορεί να μοντελοποιηθεί με ειδικού τύπου πεπερασμένα στοιχεία "elbow". Αυτά τα στοιχεία συνδυάζουν διαμήκεις παραμορφώσεις τύπου δοκού με παραμορφώσεις της διατομής (ovalization), οι οποίες εμφανίζονται στην περίπτωση των σωλήνων και των καμπύλων τμημάτων. Τα στοιχεία "elbow" συνδέονται με τα στοιχεία κελύφους, μέσω της εφαρμογής των κατάλληλων κινηματικών περιορισμών (που αναφέρεται ως "kinematiccoupling"). Τέλος για την πλαισιακή κατασκευή χρησιμοποιούνται στοιχεία δοκού "beam". Σε όλα τα στοιχεία, το υλικό είναι χάλυβας S355 (όριο διαρροής ίσο με 355 MPa). Οι στηρίξεις του συστήματος φαίνονται στην Εικόνα 10.



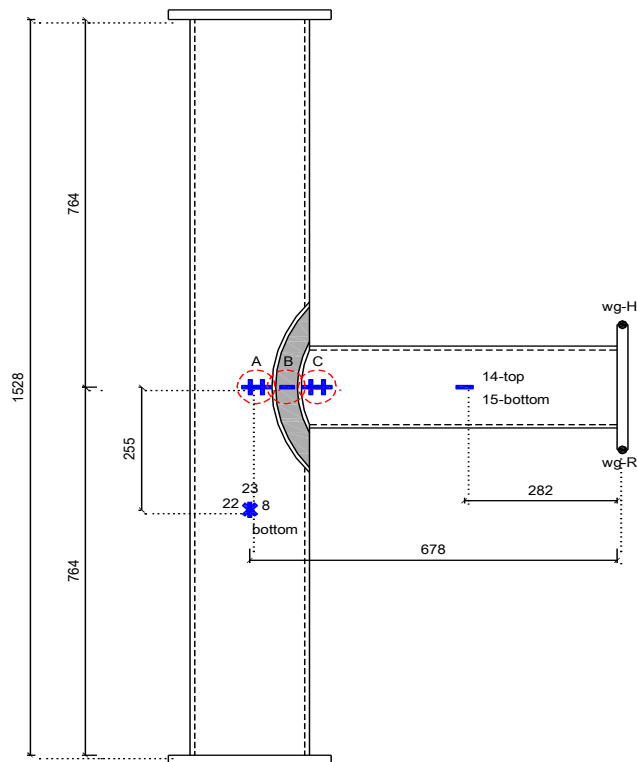
Εικόνα11: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ακροφυσίου [mm].

Πίνακας 1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των καμπύλων τμημάτων (elbows)

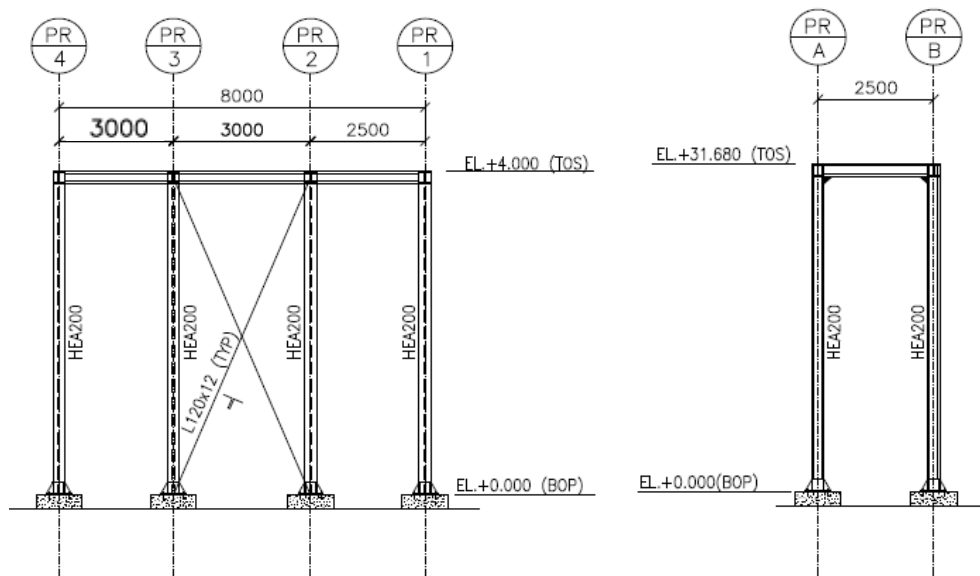
Γεωμετρικά χαρακτηριστικά	Διάμετρος D (mm)	Πάχος ^l (mm)	Ακτίνα καμπυλότητας R (mm)	R/D
8-inch SCH40 Long radius	219.1	8.2	304.8	1.391
6-inch SCH40 Long radius	168.3	7.1	228.6	1.358



Εικόνα12: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κόμβου fitting (Tee-junction with a fitting).



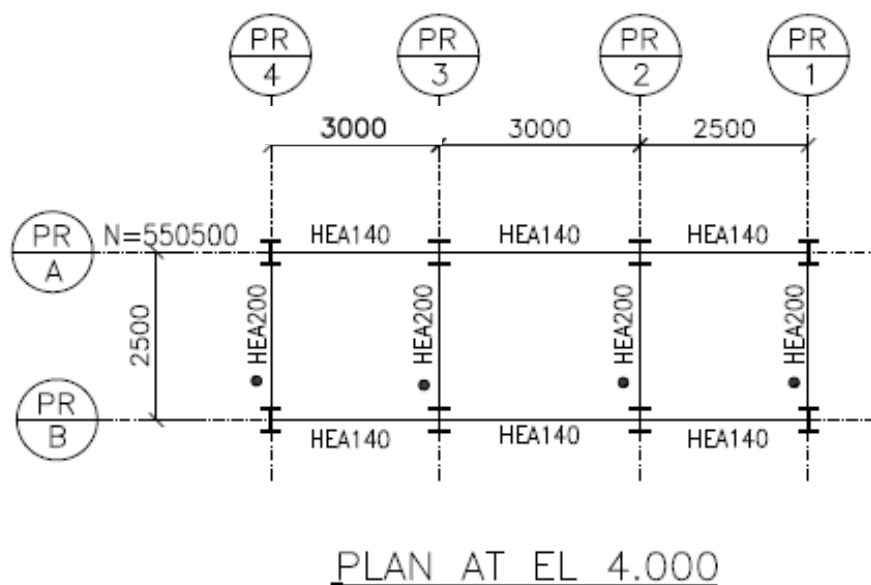
Εικόνα13: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συγκολλητού κόμβου σωληνώσεων (Tee junction with a welded reinforcement plate)



ELEV. ON ALIG. PR/A & PR/B

ELEV. ON ALIG. PR/4 (TYP)





Εικόνα 14: Σχέδια της πλαισιακής κατασκευής (piperack)

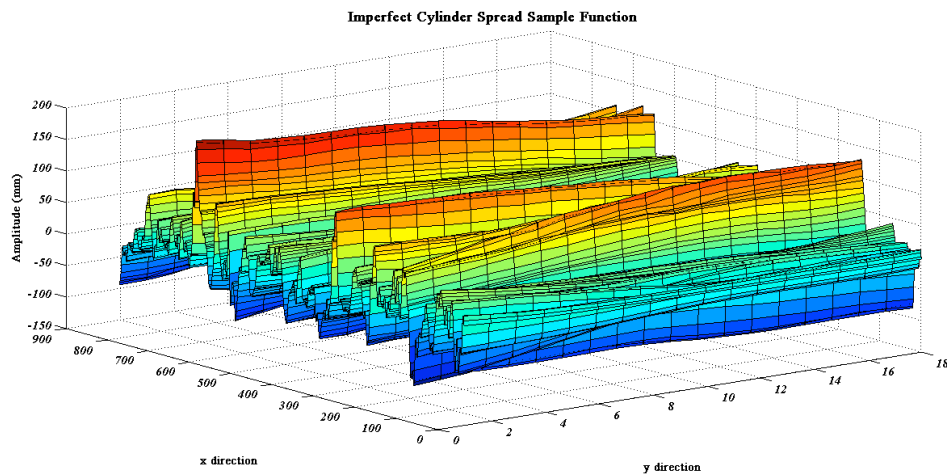
3.4: Προσομοίωση των γεωμετρικών αβεβαιοτήτων σε βιομηχανικές κατασκευές

Μία από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους προσομοίωσης στοχαστικών πεδίων είναι η μέθοδος φασματικής απεικόνισης. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία για την παραγωγή διδιάστατων δειγματοσυναρτήσεων στο επίπεδο, που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση των αναπτυγμάτων γεωμετρικά ατελών δεξαμενών υγρών καυσίμων. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι, ύστερα από κατάλληλη στατιστική επεξεργασία μετρήσεων των γεωμετρικών ατελειών υφισταμένων δεξαμενών, η τυχατική γέννηση δειγματοσυναρτήσεων, τέτοιων που να επιβεβαιώνουν το είδος και τη μορφή των υφιστάμενων ατελειών που παρατηρούνται στις πραγματικές δεξαμενές. Με απλά λόγια επιχειρείται, χάριν μιας επερχόμενης πιστότερης αριθμητικής ανάλυσης, η παραγωγή πιο ρεαλιστικών γεωμετρικών μοντέλων ανάλυσης δεξαμενών υγρών καυσίμων.

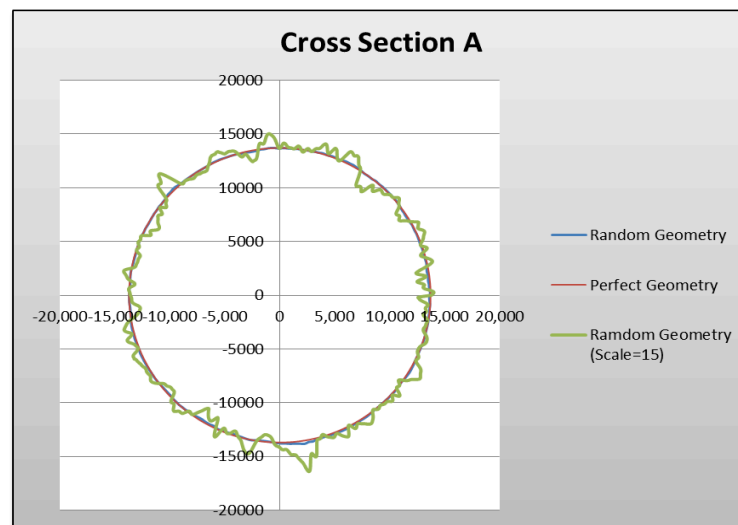
Στο σημείο αυτό, και στο βαθμό που στη μέθοδο της φασματικής απεικόνισης κρίσιμη μαθηματική ποσότητα συνιστά η συνάρτηση της δυνάμεως της φασματικής πυκνότητας του στοχαστικού πεδίου, χρησιμοποιείται η μέθοδος του διαχωρισμού. Η μέθοδος του διαχωρισμού εν προκειμένω, όπως προτάθηκε από τους D. Schillinger and V. Paradopoulos (2010), επεκτείνεται και διατυπώνεται η πρακτική της εφαρμογή σε πεδίο δύο διαστάσεων. Συγκεκριμένα η μέθοδος αυτή οδηγεί στην ασφαλή αποτίμηση του φάσματος του πεδίου που περιέχει τις πληροφορίες για το είδος και τη μορφή του στοχαστικού πεδίου που καλείται να προσομοιώσει τις γεωμετρικές ατέλειες.

Ακολουθώντας την παρήχθησαν τα παρακάτω γεωμετρικά μοντέλα δεξαμενών καυσίμων:

Ακολουθώντας λοιπόν την παραπάνω διαδικασία για την παραγωγή των δειγματοσυναρτήσεων της τυχαίας ακτίνας της δεξαμενής παρήχθη τυχηματικά το παρακάτω γεωμετρικό αναπτύγμα κυλινδρικής δεξαμενής υγρών καυσίμων:



Εικόνα 15 Τυχαία αναπαράσταση γεωμετρικού αναπτύγματος δεξαμενής



Εικόνα 16 Επίθεση τομής μεγεθυμένου και πραγματικού ατελούς φορέα σε τομή τέλει φορέα

Παραδοτέα

- 3.1 Τεχνική αναφορά με την περιγραφή των αριθμητικών εύρωστων προσομοιωμάτων, και την παράθεση σημαντικών αριθμητικών αποτελεσμάτων που δείχνουν την σεισμική απόκριση των βιομηχανικών δεξαμενών, δοχείων και σωληνώσεων (η τεχνική αναφορά είναι υπό εξέλιξη).
- 3.2 Μία (1) τουλάχιστον δημοσίευση σε διεθνές περιοδικό αναφορικά με τα θέματα αριθμητικής προσομοίωσης και σύγκρισης των αποτελεσμάτων με διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα, με έμφαση στην προσομοίωση των βασικών αστοχιών των εν λόγω κατασκευών και 1 δημοσίευση σε διεθνές συνέδριο (έχει δημοσιευθεί 1 εργασία σε πρακτικά διεθνούς συνεδρίου (PVP2013), ενώ έχει γίνει και παρουσίαση 1 εργασίας σε ένα ακόμη συνέδριο (COMPDYN). Η συγγραφή της εργασίας στο περιοδικό είναι υπό εξέλιξη).
- 3.3 Μία (1) τουλάχιστον δημοσίευση σε διεθνές περιοδικό και (1) δημοσίευση σε διεθνές συνέδριο για την περιγραφή των αβεβαιοτήτων (υλικού και γεωμετρίας), την αριθμητική προσομοίωσή τους στα μοντέλα των πεπερασμένων στοιχείων, και βασικά αποτελέσματα που δείχνουν την επιρροή των αβεβαιοτήτων στην σεισμική απόκριση των κατασκευών βιομηχανικού εξοπλισμού (έχει γίνει παρουσίαση 1 εργασίας σε ένα συνέδριο (COMPDYN). Η συγγραφή της εργασίας στο περιοδικό είναι υπό εξέλιξη).

Δράση 4: Διατύπωση πλαισίου για τον αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών βιομηχανικών εγκαταστάσεων με βάση την επιτελεσματικότητα

4.1: Διατύπωση επίπεδων επιτελεσματικότητας και αξιολόγησή τους με βάση τις σύγχρονες αντιλήψεις

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών βιομηχανικών εγκαταστάσεων με επίπεδα επιτελεσματικότητας (Performance-Based Design) βασίζεται στην αρχή του καθορισμού αποδεκτού επιπέδου ζημιών (επίπεδα επιτελεσματικότητας) ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισης της σεισμικής δόνησης σχεδιασμού, δηλαδή στον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου σεισμικής ικανότητας. Με άλλα λόγια, η μέθοδος εξετάζει τον πραγματικό τρόπο που θα συμπεριφερθεί η κατασκευή σε διάφορα επίπεδα ισχύος της σεισμικής φόρτισης σχεδιασμού και το αντίστοιχο αναμενόμενο επίπεδο ζημιών. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ένας βέλτιστος συνδυασμός ασφάλειας και οικονομίας.

Οι στόχοι της σεισμικής ικανότητας μιας κατασκευής αποτελούν συνδυασμούς ενός επιπέδου επιτελεσματικότητας (δηλαδή του αποδεκτού επιπέδου βλαβών) και ενός επιπέδου της σεισμικής δράσης, που συνήθως



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

καθορίζεται από την ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης στη διάρκεια ζωής της κατασκευής ή την ισοδύναμη περίοδο επανάληψης. Δηλαδή, κάθε στόχος σεισμικής ικανότητας καθορίζει μία ανεκτή οριακή κατάσταση βλαβών για συγκεκριμένη ισχύ της σεισμικής δόνησης. Αφού καθοριστεί ο επιθυμητός στόχος σεισμικής ικανότητας, μπορεί στη συνέχεια να γίνει η αποτίμηση μιας υφιστάμενης κατασκευής ή ο ανασχεδιασμός της (ενίσχυσή της) ή ο σχεδιασμός μιας νέας κατασκευής.

Τα επίπεδα επιτελεσματικότητας και αξιολόγησή τους θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των αναλύσεων που θα γίνουν στο παρόν έργο (Δράση 3) σε συνδυασμό με στοιχεία από τη διεθνή εμπειρία.

Δράση 4.2: Μορφές Αστοχίας, Μέτρα βλάβης και συσχέτισή τους

Η ιδιαιτερότητα της συμπεριφοράς μεταλλικών δεξαμενών υπό σεισμική διέγερση έγκειται στην αλληλεπίδραση μεταξύ τοιχώματος και περιεχόμενου υγρού και οδηγεί σε ένα μεγάλο εύρος πιθανών μορφών αστοχίας. Συνήθεις μορφές αστοχίας μεταλλικών δεξαμενών που έχουν καταπονηθεί από σεισμό είναι οι εξής:

- i. Αστοχία τύπου «elephant's foot», η οποία προκαλείται από τις θλιπτικές τάσεις λόγω σημαντικής ροπής ανατροπής. Ο λυγισμός τύπου «elephant's foot» είναι ένα προεξέχον κύρτωμα λίγο πιο πάνω από τη βάση της δεξαμενής ο οποίος συνήθως λαμβάνει χώρα σε δεξαμενές με μεγάλο λόγο H/R (ψηλές δεξαμενές). Την αστοχία στο τοίχωμα της δεξαμενής την προκαλεί η ροπή ανατροπής (overturning moment) που δημιουργείται από τις υδροδυναμικές πιέσεις, και προκαλεί ορθές τάσεις. Η οριζόντια δύναμη που επίσης δημιουργούν οι υδροδυναμικές πιέσεις, προκαλεί διατμητικές τάσεις. Όμως, αν και η οριζόντια δύναμη είναι μεγάλη, οι διατμητικές αυτές τάσεις δεν είναι επικίνδυνες για την κατασκευή. Η Εικόνα 17 δείχνει ένα τέτοιο λυγισμό μιας δεξαμενής μετά από ένα σεισμό.



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

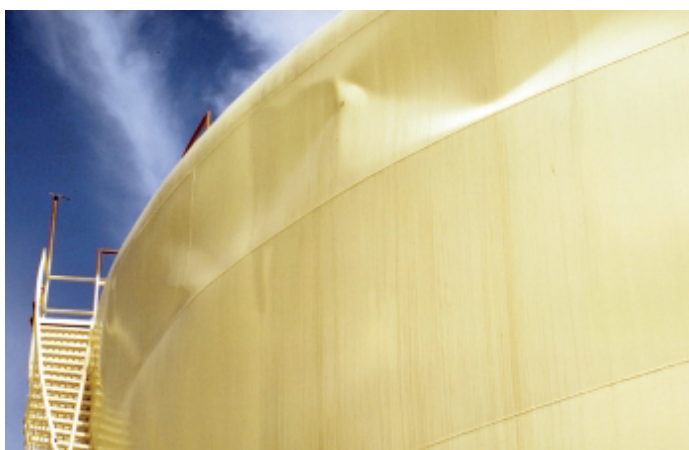


ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Εικόνα 17: Λυγισμός μορφής «Elephant's-foot»

- ii. Αστοχία λόγω κυματισμού του υγρού στο άνω τμήμα του κελύφους της δεξαμενής (Εικόνα 18). Είναι γνωστό ότι η κίνηση του ρευστού, λόγω του σεισμού, μέσα στη δεξαμενή χωρίζεται σε ωστική συνιστώσα (rigid impulsive) και σε επαγωγική συνιστώσα (convective) αντίστοιχα. Το ωστικό κομμάτι της κίνησης ακολουθεί την κίνηση του τοιχώματος και του πυθμένα της δεξαμενής, ενώ το επαγωγικό κομμάτι είναι αυτό που σχετίζεται με τον κυματισμό της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού.



Εικόνα 15: Αστοχία λόγω κυματισμού του υγρού στο άνω τμήμα του κελύφους της δεξαμενής.

- iii. Αστοχία σε ακροφύσιο και συνδεδεμένο δίκτυο σωληνώσεων λόγω λυγισμού μορφής elephant's foot (Εικόνα 19).



Εικόνα 19: Αστοχία σε ακροφύσιο.

- iv. Αστοχία αγκύρωσης (Εικόνα 20).



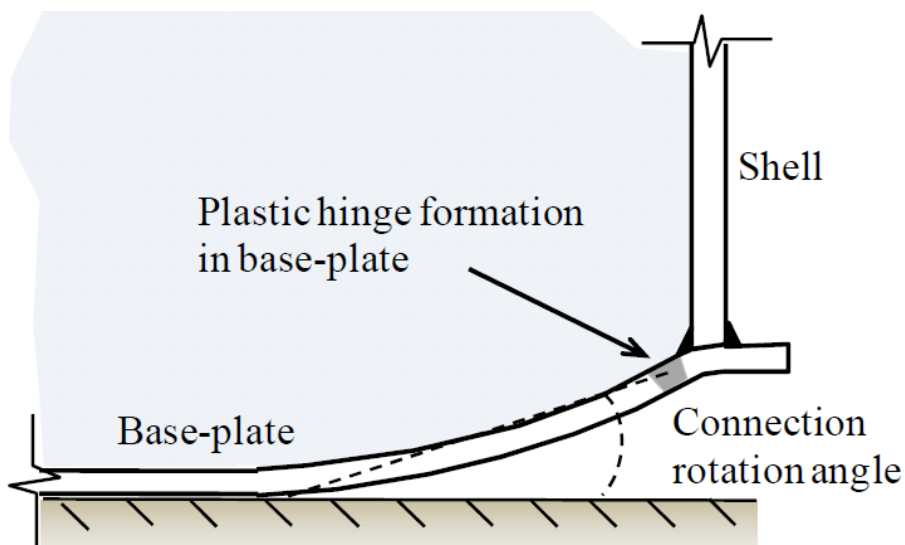
Εικόνα 16: Αστοχία στην αγκύρωση της δεξαμενής.

- v. Αστοχία Πλωτής Οροφής (Εικόνα 21). Σε πολλές δεξαμενές με πλωτές οροφές, μπορεί να προκληθεί πυρκαγιά με αποτέλεσμα πλήρης αστοχία της δεξαμενής λόγω των θερμικών παραμορφώσεων.



Εικόνα 21: Αστοχία Πλωτής Οροφής.

- vi. Αστοχία πλάκας έδρασης. Η σύνδεση πλάκας έδρασης με το κέλυφος (Εικόνα) είναι ένα πολύ ευαίσθητο σημείο της δεξαμενής και μπορεί να αστοχήσει από ολιγοκυκλική κόπωση.



Εικόνα 22 Σύνδεση πλάκας έδρασης με το κέλυφος.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται οι μορφές αστοχίας του σφαιρικούμεταλλικού δοχείου πίεσης. Το σφαιρικό κέλυφος της σφαιρικής δεξαμενής που εξετάζεται, στηρίζεται από έναν αριθμό υποστυλωμάτων, ίσο-κατανομημένων στον ισημερινό της σφαίρας. Οι οριζόντιες δυνάμεις που δέχεται η κατασκευή παραλαμβάνεται από τους διαγώνιους χιαστούς μεταλλικούς συνδέσμους οι οποίοι στηρίζονται στις κολόνες της δεξαμενής. Αποτελέσματα ανάλυσης της σεισμικής συμπεριφοράς της σφαιρικής δεξαμενής, δείχνουν ότι οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στους

χιαστούς συνδέσμους της δεξαμενής συχνά ξεπερνούν το όριο αντοχής τους και διαρρέουν. Η αστοχία αυτή, που συμβαίνει στο τμήμα της δεξαμενής το οποίο αναλαμβάνει σχεδόν εξ' ολοκλήρου τα οριζόντια σεισμικά φορτία, μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία των υποστυλωμάτων και κατ' επέκταση του συνόλου της κατασκευής. Επίσης, μία άλλη συνήθης μορφή αστοχίας είναι η κατάρρευση της κατασκευής λόγω της αστοχίας της σύνδεσης κελύφους-υποστυλώματος (Εικόνα 23).



Εικόνα 17: Κατάρρευση της κατασκευής λόγω της αστοχίας της σύνδεσης κελύφους-υποστυλώματος.

Οι μορφές αστοχίας και η συσχέτιση τους με συγκεκριμένα μέτρα βλάβης θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των αναλύσεων που θα γίνουν στο παρόν έργο (Δράση 3) σε συνδυασμό με στοιχεία από τη διεθνή εμπειρία. Η διεθνής βιβλιογραφική ανασκόπηση που έγινε για τις ανάγκες του παρόντος έργου εστιάσθηκε σε πρώτη φάση στην εμπειρία των ΗΠΑ, καθόσον στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται κατά κανόνα Αμερικανικοί κανονισμοί σε περιπτώσεις που δεν υπήρχαν εθνικά κανονιστικά κείμενα για βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Όσον αφορά τις δεξαμενές, ο ποιοτικός ορισμός των σταθμών βλάβης στη μεθοδολογία του HAZUS (FEMA-NIBS, 2010) για δεξαμενές αποθήκευσης νερού και καυσίμων συνοψίζεται στον Πίνακα 2 και οι παράμετροι των αντίστοιχων καμπυλών τρωτότητας στον Πίνακα 3. Εστιάζοντας στις μεταλλικές δεξαμενές διαπιστώνεται ότι οι στάθμες βλάβης ορίζονται διαφορετικά για δεξαμενές νερού και δεξαμενές καυσίμων. Συγκεκριμένα, στην πρώτη περίπτωση οι στάθμες βλάβης ορίζονται με τον ίδιο τρόπο για δεξαμενές με και χωρίς αγκύρωση στη βάση τους, ενώ στην δεύτερη οι αντίστοιχοι ορισμοί είναι διαφορετικοί (Πίνακας 2). Εξαιτίας αυτού του γεγονότος,

αναμένεται αντίστοιχη διαφοροποίηση των αντίστοιχων παραμέτρων των καμπυλών τρωτότητας, κάτι το οποίο, ωστόσο, δεν παρατηρείται. Αντίθετα, τόσο οι τιμές κατωφλίου της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης όσο και η συνολική λογαριθμοκανονική τυπική απόκλιση είναι ακριβώς οι ίδιες και στις δύο περιπτώσεις δεξαμενών (αποθήκευσης νερού και καυσίμων, Πίνακας 3).

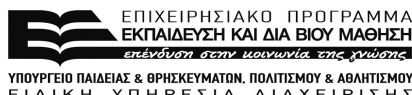
Πίνακας 2: Ποιοτικός ορισμός σταθμών βλάβης κατά HAZUS (FEMA-NIBS, 2010) για δεξαμενές νερού και καυσίμων.

Damage State	Water Storage Tanks	Fuel Storage Tanks (Anchored-Steel)	Fuel Storage Tanks (Unanchored-Steel)	Fuel Storage Tanks (Buried-Concrete)
DS2: Slight/Minor Damage	The tank suffers minor damage without loss of its contents or functionality. Minor damage to the tank roof due to water sloshing, minor cracks in concrete tanks, or localized wrinkles in steel tanks.	Minor damage to anchor of tanks.	Elephant foot buckling of tanks with no leakage or loss of contents.	Minor uplift (few inches) of the buried tanks or minor cracking of concrete walls.
DS3: Moderate Damage	The tank is considerably damaged, but only minor loss of content. Elephant foot buckling for steel tanks without loss of content or moderate cracking of concrete tanks with minor loss of content.	Elephant foot buckling of tanks with no leakage or loss of contents.	Elephant foot buckling of tanks with partial loss of contents.	Damage to roof supporting columns, and considerable cracking of walls.
DS4: Extensive Damage	The tank is severely damaged and goes out of service. Elephant foot buckling for steel tanks with loss of content, stretching of bars for wood tanks, or shearing of wall for concrete tanks.	Elephant foot buckling of tanks with loss of contents.	Weld failure at base of tank with loss of contents.	Considerable uplift (more than a foot) of the tanks and rupture of the attached piping.
DS5: Complete Damage	The tank collapses and loses all of its content.	Weld failure at base of tank with loss of contents.	Tearing of tank wall or implosion of tank (with total loss of content).	Same as DS4.

Επιπλέον, στις δεξαμενές αποθήκευσης νερού οι στάθμες βλάβης ορίζονται με βάση μόνο την εξέλιξη του φαινομένου του τοπικού λυγισμού του τοιχώματος στη βάση του (αρχικά τοπική μικρορυτίδωση του τοιχώματος και στη συνέχεια με τη αύξηση του θλιπτικού φορτίου τοπικός λυγισμός χωρίς ή με απώλεια του περιεχομένου). Το γεγονός αυτό αν και φαντάζει ως μειονέκτημα προσδίδει τελικά στους εν λόγω ορισμούς το σημαντικό πλεονέκτημα της αντιστοιχίας μεταξύ του βαθμού βλάβης με τον βαθμό των απωλειών (κόστος επισκευής της βλάβης προς κόστος



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



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

ανακατασκευής της δεξαμενής) και τη δυνατότητα λειτουργίας της δεξαμενής αμέσως μετά το σεισμό. Αντίθετα, στην περίπτωση των δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμων, όπου συνεκτιμώνται και άλλου τύπου βλάβες (εμφάνιση μικρών βλαβών στις αγκυρώσεις της δεξαμενής και αστοχία των συγκολλήσεων στη βάση της δεξαμενής μεταξύ τοιχώματος και πυθμένα) δεν υπάρχει πλέον σαφής αντιστοιχία μεταξύ βαθμού βλάβης, βαθμού απωλειών και δυνατότητας λειτουργίας αμέσως μετά το σεισμό. Επί παραδείγματι, η αποκατάσταση των συγκολλήσεων μεταξύ τοιχώματος και πυθμένα της δεξαμενής έχει σαφώς μικρότερο κόστος από την αποκατάσταση του τμήματος της βάσης του τοιχώματος που έχει υποστεί τοπικό λυγισμό χωρίς απώλεια του περιεχομένου. Ωστόσο, στην πρώτη περίπτωση η δεξαμενή δεν μπορεί να λειτουργήσει αμέσως μετά το σεισμό, ενώ στην δεύτερη μπορεί. Αναπόφευκτα λοιπόν, η αντιστοίχιση των διαφόρων τύπων βλαβών στις στάθμες βλάβης γίνεται με βάση ένα από τα δύο ανωτέρω κριτήρια. Συνεπώς, δεδομένου ότι η θραύση των συγκολλήσεων μεταξύ τοιχώματος και πυθμένα αντιστοιχεί στις ανώτερες στάθμες βλάβης (στην ΣΒ4: Αστοχία για δεξαμενές με αγκύρωση στη βάση τους και στην ΣΒ3: Εκτενείς βλάβες για δεξαμενές χωρίς αγκύρωση στη βάση τους) φαίνεται ότι ως κριτήριο χρησιμοποιήθηκε η δυνατότητα λειτουργίας της δεξαμενής αμέσως μετά το σεισμό.

Πίνακας 3: Παράμετροι καμπυλών τρωτότητας κατά HAZUS (FEMA-NIBS, 2010) για δεξαμενές νερού και καυσίμων

WATER STORAGE TANKS				FUEL STORAGE TANKS					
Peak Ground Acceleration				Peak Ground Acceleration					
Classification	Damage State	Median [g]	β	Classification	Damage State	Median [g]	β		
On-Ground Anchored Concrete Tank (PST1)	Slight/minor	0.25	0.55	Anchored Steel Tank	Slight/minor	0.30	0.60		
	Moderate	0.52	0.70		Moderate	0.70	0.60		
	Extensive	0.95	0.60		Extensive	1.25	0.65		
	Complete	1.64	0.70		Complete	1.60	0.60		
On-Ground Unanchored Concrete Tank (PST2)	Slight/minor	0.18	0.60		Unanchored Steel Tank	Slight/minor	0.15	0.70	
	Moderate	0.42	0.70			Moderate	0.35	0.75	
	Extensive	0.70	0.55			Extensive	0.68	0.75	
	Complete	1.04	0.60			Complete	0.95	0.70	
On-Ground Anchored Steel Tank (PST3)	Slight/minor	0.30	0.60			Above-Ground Steel Tank (PST5)	Slight/minor	0.18	0.50
	Moderate	0.70	0.60				Moderate	0.55	0.50
	Extensive	1.25	0.65	Extensive			1.15	0.60	
	Complete	1.60	0.60	Complete			1.50	0.60	

On-Ground Wood Tank (PST6)	Slight/minor	0.15	0.60
	Moderate	0.40	0.60
	Extensive	0.70	0.70
	Complete	0.90	0.70
Peak Ground Deformation			
Classification	Damage State	Median [in]	β
Buried Concrete Tank (PST7)	Slight/minor	2	0.50
	Moderate	4	0.50
	Extensive	8	0.50
	Complete	12	0.50

Ακριβώς το ίδιο πρόβλημα αντιμετωπίστηκε σε μια προσπάθεια βελτίωσης των ορισμών των σταθμών βλάβης στην περίπτωση των δεξαμενών αποθήκευσης νερού στην μεθοδολογία της American Lifelines Alliance (ALA, 2001a), όπου συνεκτιμήθηκαν και άλλοι τύποι βλαβών, όπως λυγισμός στο ανώτερο τμήμα του τοιχώματος της δεξαμενής, αστοχία της οροφής, θραύση του αγωγού υπερχειλίσης ή/και του αγωγού τροφοδοσίας (ALA, 2001b). Στην περίπτωση αυτή ως κριτήριο χρησιμοποιήθηκε ο βαθμός απωλειών και παράλληλα παρατίθενται οι αντίστοιχες παράμετροι των λογαριθμοκανονικά εξιδανικευμένων καμπυλών τρωτότητας για καθέναν από τους τύπους βλάβης. Ως παράμετρος σεισμικής έντασης χρησιμοποιείται η φασματική επιτάχυνση στην ιδιοπερίοδο της κυρίαρχης ωστικής ή επαγωγικής ιδιομορφής. Με βάση τις παραμέτρους αυτές υπολογίζεται η πιθανότητα εμφάνισης των τύπων βλάβης που αντιστοιχούν σε κάθε στάθμη βλάβης, οπότε ακολούθως υπολογίζεται η πιθανότητα υπέρβασης της εκάστοτε στάθμης βλάβης, θεωρώντας ότι η έναρξή της σηματοδοτείται με την εμφάνιση τουλάχιστον ενός τύπου βλάβης από το σύνολο αυτών που αντιστοιχούν σε αυτήν.

Βιβλιογραφία:

- ALA (2001a), "Seismic Fragility Formulations for Water Systems: Part 1 - Guideline", American Lifelines Alliance (FEMA-ASCE Public-Private Partnership), Washington, D.C.
- ALA (2001b), "Seismic Fragility Formulations for Water Systems: Part 2 - Appendices", American Lifelines Alliance (FEMA-ASCE Public-Private Partnership), Washington, D.C.
- FEMA-NIBS (2010), "Multi-hazard Loss Estimation Methodology - HAZUS-MH MR5: Earthquake Model Technical Manual", Federal Emergency Management Agency (under a contract with the National Institute of Building Sciences), Washington, D.C.
- Schillinger D, Papadopoulos V, Bischoff M, Papadrakakis M (2010) Buckling analysis of imperfect I-section beam-columns with stochastic shell finite elements, Comput Mech.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Schillinger D, Papadopoulos V (2009) Accurate estimation of evolutionary power spectra for strongly narrow-band random fields. Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.

Δράση 4.3: Συσχέτιση των βαθμών επιτελεστικότητας με τις μορφές αστοχίας

Η συσχέτιση των βαθμών επιτελεστικότητας με τις μορφές αστοχίας βρίσκεται σε αρχικό στάδιο και θα ολοκληρωθεί εφόσον πρώτα καθοριστούν τα επίπεδα επιτελεστικότητας, δηλαδή η επιθυμητή συμπεριφορά της κατασκευής για την αντίστοιχη σεισμική δράση σχεδιασμού.

Δράση 4.4: Ανάπτυξη αδρομερών προσομοιώματων

Η σεισμική συμπεριφορά και ο αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών βιομηχανικών εγκαταστάσεων παρουσιάζει ιδιαιτερότητες, οι οποίες πηγάζουν από το ιδιαίτερο σχήμα και την γεωμετρία τους, την επιρροή των ρευστών που περιέχουν καθώς και από την ευαισθησία τους σε γεωμετρικές ατέλειες. Για την μελέτη της επιρροής των χαρακτηριστικών αυτών στις κατασκευές αναπτύσσονται απλοποιητικά («αδρομερή») προσομοιώματα.

Σκοπός της εργασίας είναι η δημιουργία απλοποιημένων μοντέλων που να προσεγγίζει ικανοποιητικά την δυναμική συμπεριφορά του λεπτομερούς μοντέλου με απώτερο στόχο την προσομοίωση των μεταβλητών που επηρεάζουν την σεισμική απόκριση των κατασκευών. Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, η κίνηση της δεξαμενής συμπαρασύρει προφανώς και το υγρό που αυτή περιέχει. Η συνολική μάζα του ρευστού μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο μέρη, την ωστική μάζα (impulsive mass) και την επαγωγική μάζα (convective mass). Το ποσοστό μάζας που αντιστοιχεί στο επαγωγικό και το ωστικό κομμάτι, εξαρτάται από τη στάθμη πλήρωσης της δεξαμενής σε υγρό και από τη γεωμετρία της δεξαμενής. Γενικά σε μια ψηλή δεξαμενή (λόγος διαμέτρου προς ύψος D/H μικρότερου της μονάδας), η επαγωγική μάζα θα είναι ένα μικρό ποσοστό της συνολικής μάζας του ρευστού, ενώ σε μια χθαμαλή δεξαμενή (λόγος διαμέτρου προς ύψος D/H μεγαλύτερου του δύο), η επαγωγική μάζα θα είναι ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής μάζας του ρευστού. Συγκεκριμένα, η ωστική μάζα παρακολουθεί την κίνηση της δεξαμενής και καταλαμβάνει το χαμηλό τμήμα της δεξαμενής. Αντιθέτως, η επαγωγική μάζα είναι το μέρος του υγρού στο οποίο εμφανίζεται ο κυματισμός και, συνεπώς, βρίσκεται στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού, η κίνηση δε της οποίας είναι πολύ διαφορετική από την κίνηση που επιβάλλει ο σεισμός στο δοχείο.

Γενικά, το πρόβλημα επίλυσης του συστήματος δεξαμενή-υγρό, είναι συζευγμένο, διότι το ρευστό έχει συνοριακές συνθήκες οι οποίες εξαρτώνται από την κίνηση της δεξαμενής. Και η κίνηση της δεξαμενής



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



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

όμως, εξαρτάται με τη σειρά της από τα φορτία (υδροδυναμικές πιέσεις) που δέχεται από το υγρό. Προκειμένου να επιλυθεί το πρόβλημα του συστήματος ρευστό-δεξαμενή, γίνεται η θεώρηση ότι η δεξαμενή είναι απαραμόρφωτη. Για μικρές παραμορφώσεις της δεξαμενής γενικά, η συμπεριφορά του ρευστού δεν αλλάζει σημαντικά. Είναι γνωστό ότι το πρόβλημα ρευστού-δεξαμενής είναι μεν συζευγμένο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά με τη θεώρηση του απαραμόρφωτου τοιχώματος της δεξαμενής δεν υπάρχει πλέον σύζευξη. Δηλαδή, αν επιλυθεί το πρόβλημα του κυματισμού σε ένα απαραμόρφωτο δοχείο, και, στη συνέχεια επιλυθεί το ίδιο πρόβλημα για παραμορφώσιμο δοχείο, λαμβάνοντας υπόψη ότι η συνοριακή συνθήκη είναι τέτοια ώστε το τοίχωμα να παραμορφώνεται ανάλογα με την κίνηση του ρευστού, η διαφορά δεν είναι μεγάλη. Αυτό συμβαίνει επειδή η ταλάντωση του κελύφους της δεξαμενής είναι υψίσυχνη, ενώ αντιθέτως το υγρό ταλαντώνεται με χαμηλή συχνότητα. Εφόσον λοιπόν αυτές οι δυο συχνότητες ταλάντωσης απέχουν πολύ μεταξύ τους, μπορεί να θεωρηθεί ότι η επαγωγική κίνηση του ρευστού και η κίνηση του κελύφους είναι ασύζευκτες. Συνεπώς, το υδροδυναμικό πρόβλημα λύνεται για απαραμόρφωτη δεξαμενή, ενώ είναι γνωστό ότι η λύση ισχύει επίσης και για παραμορφώσιμη δεξαμενή.

Ένα απλοποιητικό («αδρομερή») προσομοίωμα που προσεγγίζει την δυναμική συμπεριφορά του λεπτομερούς μοντέλου της μεταλλικής δεξαμενής αναπτύσσεται. Το σύστημα δεξαμενής-υγρού προσομοιώνεται με ένα απλοποιημένο μοντέλο που λαμβάνει υπόψη τη γεωμετρία της κατακόρυφης κυλινδρικής δεξαμενής αποθήκευσης υγρού ακτίνας R και με ύψος πλήρωσης H και την υδροδυναμική απόκριση του υγρού.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η υδροδυναμική πίεση του υγρού σε μία άκαμπτη δεξαμενή μπορεί να αναλυθεί σε δύο ασύζευκτες συνιστώσες, την ωστική (impulsive) που μεταβάλλεται σε συγχρονισμό με την επιτάχυνση της δεξαμενής και προκαλείται από το μέρος εκείνο του υγρού (impulsive mass) που ακολουθεί την κίνηση της δεξαμενής ως στερεό και την επαγωγική (convective) συνιστώσα, η οποία οφείλεται στην κίνηση του κυματισμού. Η ωστική και επαγωγική συνιστώσα της υδροδυναμικής επίδρασης του υγρού στην απόκριση της δεξαμενής μπορεί να μοντελοποιηθεί με ένα σύστημα διακριτών μαζών και ελατήριων σε κατάλληλη διάταξη. Σε περίπτωση ύπαρξης σημαντικής ιξώδους απόσβεσης, στην διάταξη περιλαμβάνονται και αποσβεστήρες. Οι αρχές σύμφωνα με τις οποίες δομείται ένα τέτοιο μηχανικό μοντέλο είναι οι εξής:

- Τα αδρανειακά χαρακτηριστικά του υγρού πρέπει να διατηρούνται στο μοντέλο των διακριτών μαζών.
- Για μικρό κυματισμό το κέντρο βάρους να παραμένει το ίδιο με αυτό του πραγματικού συστήματος.



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

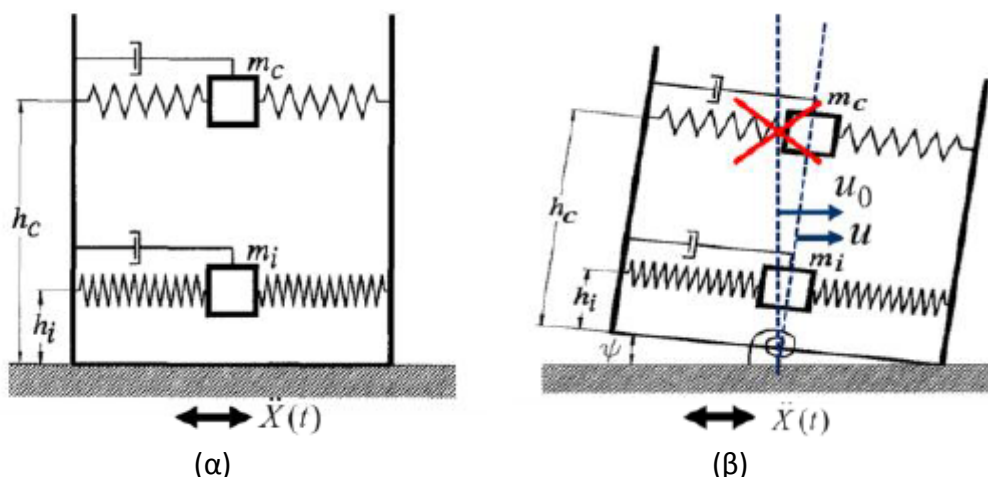


ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

- Το μοντέλο πρέπει να παράγει ιδιομορφές με την ίδια ιδιοσυχνότητα και ποσοστό συμμετοχής μάζας με αυτές του πραγματικού συστήματος.
- Οι δυνάμεις που παράγονται από την απόκριση του μοντέλου διακριτών μαζών πρέπει να είναι ίσες με αυτές του πραγματικού συστήματος.

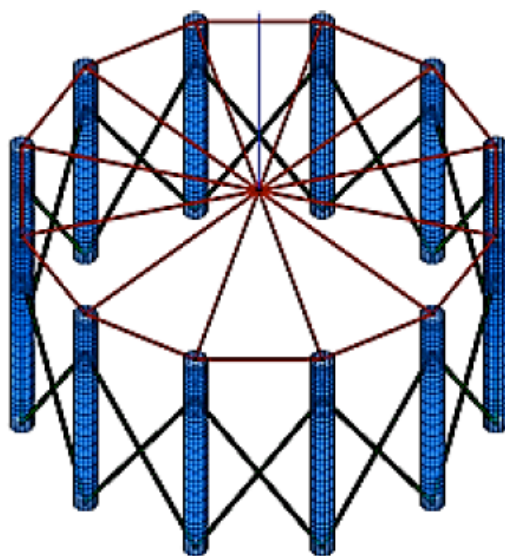
Στην Εικόνα 24α παρουσιάζεται ένα μοντέλο διακριτών μαζών που προσομοιώνει τη συμπεριφορά του υγρού σε μια κυλινδρική κατακόρυφη αγκυρωμένη δεξαμενή. Η ωστική συνιστώσα της υδροδυναμικής επίδρασης του υγρού προσομοιώνεται από την ωστική μάζα m_i , που συνδέεται με τα τοιχώματα της δεξαμενής σε συγκεκριμένο ύψος h_i . Από την άλλη, η επαγωγική υδροδυναμική συμπεριφορά του υγρού προσομοιώνεται από την επαγωγική κυκλοφορούσες μάζα m_c , που συνδέεται με τα τοιχώματα της δεξαμενής σε ύψος h_c . Οι μάζες αυτές είναι συνδεδεμένες με το άκαμπτο τοίχωμα μέσω κατάλληλων οριζόντιων ελατήριων και αποσβεστήρων ώστε να κινούνται με την συχνότητα της ιδιομορφής που εκπροσωπούν. Η ωστική μάζα και η επαγωγική μάζα είναι διαφορετικές για κάθε στάθμη πλήρωσης της δεξαμενής. Το ίδιο ισχύει και για τα αντίστοιχα ύψη στα οποία διατάσσονται οι μάζες αυτές. Το άθροισμα των μαζών παραμένει σταθερό και ίσο με την συνολική μάζα του υγρού που αντιστοιχεί σε κάθε ποσοστό πλήρωσης.

Στην περίπτωση ισχυρής σεισμικής διέγερσης μιας μη-αγκυρωμένης δεξαμενής, μπορεί να έχουμε ανασήκωμα της βάσης της δεξαμενής. Η κύρια διαφορά μεταξύ αγκυρωμένης και μη-αγκυρωμένης δεξαμενής είναι αυτό το ανασήκωμα της δεξαμενής και μπορεί να μοντελοποιηθεί με την προσθήκη ενός μη γραμμικού ελατηρίου στο προηγούμενο απλοποιημένο μοντέλο (Εικόνα 24β). Για την ακριβή μοντελοποίηση, η σχέση $M-\psi$ από το λεπτομερές μοντέλο θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί.



Εικόνα 24: Απλοποιημένα μοντέλα για (α) αγκυρωμένη δεξαμενή, (β) μη-αγκυρωμένη δεξαμενή.

Στη συνέχεια, αναπτύσσεται ένα απλοποιημένο μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων που προσεγγίζει την δυναμική συμπεριφορά του λεπτομερούς μοντέλου του σφαιρικού δοχείου πίεσης. Στο λεπτομερές μοντέλο που παρουσιάστηκε στην ενότητα 3.2, κάνοντας κάποιες γενικές παραδοχές προκύπτει ένα απλό μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων της κατασκευής. Στο απλοποιημένο μοντέλο η σφαίρα είχε αντικατασταθεί από ένα άκαμπτο πλαίσιο, δεδομένου ότι η ανελαστική στατική ανάλυση του λεπτομερούς μοντέλου δεν έδειξε ευκαμψία της σφαίρα, η οποία είναι πολύ δύσκαμπτη σε σχέση με την δομή υποστήριξης της. Συνεπώς το κέλυφος προσομοιώνεται με την μορφή συγκεντρωμένης μάζας. Τα υποστυλώματα και οι διαγώνιοι σύνδεσμοι προσομοιώνονται με μη γραμμικά στοιχεία ώστε να λαμβάνουν υπόψη τον λυγισμό. Στην Εικόνα 18 παρουσιάζεται το απλοποιημένο μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων της σφαιρικής δεξαμενής. Για την προσομοίωση και την επίλυση του απλοποιημένου μοντέλου χρησιμοποιείται το γενικό πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS.



Εικόνα 18: Απλοποιημένο μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων της σφαιρικής δεξαμενής.

Παραδοτέα

- 4.1 Τεχνική αναφορά με την περιγραφή των επιπέδων επιτελεστικότητας, τις μορφές αστοχίας και τα μέτρα βλάβης.
- 4.2 Μία (1) τουλάχιστον δημοσίευση σε διεθνές περιοδικό αναφορικά με τα θέματα εφαρμογής του σχεδιασμού με βάση την επιτελεστικότητα σε βιομηχανικές κατασκευές και (1) δημοσίευση σε διεθνές συνέδριο.

- 4.3 Μία (1) τουλάχιστον δημοσίευση σε διεθνές περιοδικό αναφορικά με την ανάπτυξη αδρομερών προσομοιωμάτων για τον αντισεισμικό σχεδιασμό βιομηχανικών κατασκευών και (1) δημοσίευση σε διεθνές συνέδριο.

Η εκπόνηση των παραπάνω παραδοτέων βρίσκεται σε εξέλιξη.

Δράση 5: Ανάλυση αξιοπιστίας και υπολογισμός καμπύλων τρωτότητας

Οι μέθοδοι που αφορούν στην Δράση 5 βασίζονται στα αποτελέσματα των δράσεων 3 και 4. Σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα του προγράμματος, η υλοποίηση αυτής της δράσης θα ξεκινήσει 14 μήνες μετά την έναρξη του προγράμματος και κατά συνέπεια στην παρούσα πρώτη έκθεση προόδου δεν παρουσιάζονται σχετικά αποτελέσματα.

Δράση 5.1: Μέθοδοι που βασίζονται στην Προσαυξητική Δυναμική Ανάλυση

Δεν έχει ξεκινήσει

Δράση 5.2 Μέθοδοι που βασίζονται στην Ανελαστική Στατική μέθοδο ανάλυσης

Δεν έχει ξεκινήσει

Δράση 5.3: Ταχείες-προσεγγιστικές μέθοδοι υπολογισμού

Δεν έχει ξεκινήσει

Παραδοτέα

- 5.1 Λογισμικό για τον υπολογισμό καμπύλων τρωτότητας.
- 5.2 Τεχνική αναφορά, μία (1) δημοσίευση σε διεθνές περιοδικό και (1) δημοσίευση σε διεθνές συνέδριο για τον υπολογισμό καμπύλων τρωτότητας σε χαρακτηριστικές βιομηχανικές κατασκευές.
- 5.3 Τεχνική αναφορά, μία (1) τουλάχιστον δημοσίευση σε διεθνές περιοδικό και (1) δημοσίευση σε διεθνές συνέδριο για την παραγωγή καμπύλων τρωτότητας με ταχείες προσεγγιστικές μεθόδους.

Η εκπόνηση των παραπάνω παραδοτέων δεν έχει ξεκινήσει.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Δράση 6: Εκτίμηση σεισμικής διακινδύνευσης κατασκευών βιομηχανικών εγκαταστάσεων

Οι μέθοδοι που αφορούν στην Δράση 6 βασίζονται στα αποτελέσματα των δράσεων 3 και 4. Σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα του προγράμματος, η υλοποίηση αυτής της δράσης θα ξεκινήσει 18 μήνες μετά την έναρξη του προγράμματος και κατά συνέπεια στην παρούσα πρώτη έκθεση προόδου δεν παρουσιάζονται σχετικά αποτελέσματα.

6.1: Χρήση των καμπυλών τρωτότητας

Η εκπόνηση δεν έχει ξεκινήσει.

6.2: Απλοποιημένες-κλειστές λύσεις

Η εκπόνηση δεν έχει ξεκινήσει.

6.3: Άμεσος υπολογισμός της σεισμικής διακινδύνευσης με μεθόδους προσομοίωσης

Η εκπόνηση δεν έχει ξεκινήσει.

Παραδοτέα

- 6.1 Τεχνική αναφορά και λογισμικό για τον υπολογισμό της σεισμικής διακινδύνευσης με χρήση καμπυλών τρωτότητας.
- 6.2 Τεχνική αναφορά, μία (1) τουλάχιστον δημοσίευση σε διεθνές περιοδικό και (1) δημοσίευση σε διεθνές συνέδριο για την παραγωγή καμπύλων τρωτότητας με απλοποιημένες κλειστές λύσεις.
- 6.3 Τεχνική αναφορά και λογισμικό για τον υπολογισμό της σεισμικής διακινδύνευσης με μεθόδους προσομοίωσης για μία πιλοτική εφαρμογή.

Η εκπόνηση των παραπάνω παραδοτέων δεν έχει ξεκινήσει.

Δράση 7: Διάχυση αποτελεσμάτων

Η δράση αυτή δεν έχει ξεκινήσει.

7.1: Γενικές αρχές και κατευθύνσεις για την αντισεισμική προστασία βιομηχανικών κατασκευών με βάση την επιτελεσματικότητα

Η δράση αυτή δεν έχει ξεκινήσει.

7.2: Πιλοτική εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε χαρακτηριστικές βιομηχανικές κατασκευές

Η δράση αυτή δεν έχει ξεκινήσει.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



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

7.3: Διοργάνωση ημερίδας παρουσία ενδιαφερομένων εταιριών, οργανισμών και μηχανικών της πράξης

Η δράση αυτή δεν έχει ξεκινήσει.

7.4: Ηλεκτρονική σελίδα με τα αποτελέσματα του έργου

Η δράση αυτή δεν έχει ξεκινήσει.

Παραδοτέα

- 7.1 Τεχνική αναφορά με γενικές κατευθύνσεις για την αντισεισμική προστασία βιομηχανικών εγκαταστάσεων,
- 7.2 Τεχνική αναφορά με την πιλοτική εφαρμογή της μεθοδολογίας σε βιομηχανικές κατασκευές,
- 7.3 Διοργάνωση ημερίδας, Πρακτικά της ημερίδας,
- 7.4 Ηλεκτρονική σελίδα.

Η εκπόνηση των παραπάνω παραδοτέων δεν έχει ξεκινήσει.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης