

Οδηγίες για τον Αντισεισμικό Σχεδιασμό Κατασκευών Βιομηχανικού Εξοπλισμού

ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΟΥΜΕΝΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
ΑΠΟ ΤΟΝ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (ΟΑΣΠ)



Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος

και

Τεχνικό Γραφείο Αντώνιος Σ. Καραμάνος

σε συνεργασία με την

Βιομηχανία Φωσφορικών Λιπασμάτων Α.Ε.

Επιστημονικός Υπεύθυνος

Σπύρος Καραμάνος, *Πολιτικός Μηχανικός, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Ομάδα εργασίας:

Δημήτρης Βαλουγεώργης, *Μηχανολόγος Μηχανικός, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Αντώνιος Καραμάνος, *Πολιτικός Μηχανικός, Μελετητής*

Σπύρος Καραμάνος, *Πολιτικός Μηχανικός, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Γρηγόρης Χαϊδεμενόπουλος, *Μηχανολόγος Μηχανικός, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Χρήστος Τουλόπουλος, *Μηχανολόγος Μηχανικός, Βιομ. Φωσφορικών Λιπασμάτων Α.Ε.*

Σπύρος Παπασπύρου, *Μηχανολόγος Μηχανικός, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Σπύρος Σαμαράς, *Χημικός Μηχανικός, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

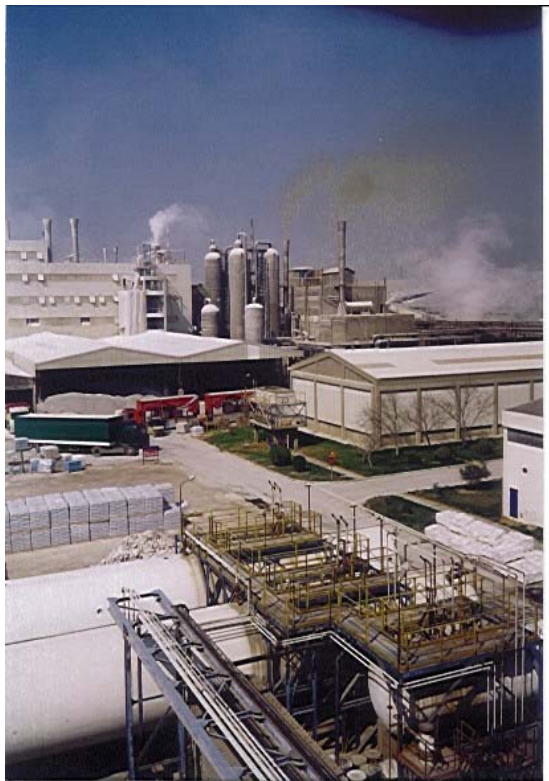
Δεκέμβριος 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

0. Εισαγωγή – Σεισμική απόκριση σε βιομηχανικές κατασκευές
Σεισμική απόκριση κατασκευών βιομηχανικού εξοπλισμού
Ιδιαιτερότητες κατασκευών βιομηχανικού εξοπλισμού
Ομάδα εργασίας
Βασικοί κώδικες σχεδιασμού κατασκευών βιομηχανικού εξοπλισμού
1. Δεξαμενές και δοχεία πίεσης
Εισαγωγή
Κανονιστικές διατάξεις
Μορφές αστοχίας
Υπολογισμός των σεισμικών δυνάμεων
2. Βιομηχανικές σωληνώσεις
Επιλογή υλικών, συγκολλήσεις και επιθεώρηση
Ανάλυση τάσεων σωληνώσεως
Έλεγχος τάσεων για την ειδική περίπτωση σεισμικής φόρτισης
Αστοχία σωληνώσεων υπό σεισμική διέγερση
Συστήματα στήριξης σωληνώσεων
3. Βιομηχανικές καπνοδόχοι
Εισαγωγή
Αντισεισμικός σχεδιασμός και Κανονισμοί
Ειδικότερες Διατάξεις του Αντισεισμικού Σχεδιασμού Β.Κ.
Κατασκευαστικές οδηγίες
Σεισμικά φορτία έναντι φορτίων ανέμου
4. Βιομηχανικοί Πυρσοί
5. Κτήρια Ελέγχου
6. Αποφυγή ψαθυρής θραύσης – διάβρωση - συγκολλήσεις
Εισαγωγή
Μέτρηση δυσθραυστότητας
Περιγραφή αστοχιών
Επιλογή υλικού με βάση την δυσθραυστότητα
Συγκολλήσεις
Μέθοδοι ελέγχου επιθεώρησης κατασκευαστικών στοιχείων
7. Βιβλιογραφία
8. Χρησιμότητα των οδηγιών και προτάσεις για μελλοντική αξιοποίησή τους από τον ΟΑΣΠ

0. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος του παρόντος κειμένου είναι η παρουσίαση βασικών προσωρινών οδηγιών μελέτης για την αντισεισμική θωράκιση κατασκευών βιομηχανικού εξοπλισμού και η τεκμηρίωση τους με βάση την υπάρχουσα επιστημονική γνώση και τις σύγχρονες αντισεισμικές αντιλήψεις για την συμπεριφορά των κατασκευών αυτών. Οι οδηγίες είναι προσωρινές, υπό την έννοια ότι με βάση την παρούσα έρευνα ο ΟΑΣΠ και οι συναρμόδιοι φορείς θα μπορέσουν στο μέλλον να εκπονήσουν κανονιστικές διατάξεις για τον αντισεισμικό σχεδιασμό και θωράκιση των κατασκευών αυτών.



Εικόνα 0.1: Μονάδες χημικών βιομηχανιών.

Στην παρούσα έρευνα εξετάζονται τρία κυρίως είδη κατασκευών βιομηχανικού εξοπλισμού:

- Δεξαμενές και δοχεία πίεσης
- Βιομηχανικές σωληνώσεις
- Βιομηχανικές καπνοδόχοι

και παραθέτονται οι βασικοί κώδικες σχεδιασμού τους, επισημαίνοντας και τις ισχύουσες διατάξεις για αντισεισμικό σχεδιασμό, ενώ συνοπτική αναφορά γίνεται στους βιομηχανικούς πυρσούς και στα κτήρια ελέγχου.

Βασικό στοιχείο των οδηγιών αποτελούν ο καθορισμός των σεισμικών δυνάμεων στις υπόψη κατασκευές. Η μεθοδολογία υπολογισμού των σεισμικών δυνάμεων στις κατασκευές είναι ιδιαίτερα απαιτητικός στις κατασκευές δεξαμενών ή δοχείων πίεσης λόγω της αλληλεπίδρασης του ρευστού με την κατασκευή. Οι οδηγίες παρουσιάζουν μία «ενοποιημένη» μεθοδολογία για τον υπολογισμό των δυνάμεων σε δεξαμενές διαφόρων σχημάτων, οι οποίες υπόκεινται σε σεισμική διέγερση. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στα δοχεία πίεσης μορφής οριζοντίου κυλίνδρου και σφαίρας, τα οποία είναι άμεσου ενδιαφέροντος για τις χημικές και πετροχημικές βιομηχανίες, αλλά υπάρχουν έως τώρα λίγα σχεδιαστικά βοηθήματα.

Εξετάζονται επίσης οι σωληνώσεις βιομηχανικών μονάδων, σε σχέση με τις ιδιαιτερότητές τους, και ιδιαίτερα τα καμπύλα τμήματά τους (pipe elbows), ώστε να επιτευχθεί μία αξιόπιστη ανάλυση τάσεων.

Επιπλέον, οι οδηγίες αναφέρονται στην αντισεισμική μελέτη των βιομηχανικών καπνοδόχων, και εστιάζει σε βασικά κατασκευαστικά θέματα. Επίσης διερευνάται η κρισιμότητα της φόρτισης του ανέμου σε βιομηχανικές καπνοδόχους σε σχέση με την σεισμική φόρτιση σχεδιασμού.

Τέλος, δίνονται οδηγίες για την αποφυγή ψαθυρής θραύσης του χάλυβα και των συγκολλήσεων, δεδομένου των ιδιοτεροτήτων των ανωτέρω κατασκευών (μεγάλες μεταβολές πίεσης και θερμοκρασιακές μεταβολές, διάβρωση, ειδικοί χάλυβες και συγκολλήσεις), με βάση της δυσθραυστότητα (fracture toughness) των υλικών. Η παρούσα εργασία παραθέτει ορισμένες βασικές αρχές τις οποίες ο κάθε μελετητής μηχανικός πρέπει να λαμβάνει υπόψη ώστε να αποφευχθεί η αστοχία του υλικού και των συγκολλήσεων σε ισχυρή ολιγο-κυκλική σεισμική φόρτιση.



Εικόνα 0.2: Σύστημα βιομηχανικών σωληνώσεων.

Οι οδηγίες αποσκοπούν στην κάλυψη μίας σημαντικής ανάγκης της Ελληνικής Βιομηχανίας, και συγχρόνως

- είναι συμβατές με τις ισχύουσες προδιαγραφές και κανονισμούς μελέτης βιομηχανικών κατασκευών σε συνδυασμό με τις σύγχρονες αντιλήψεις αντισεισμικού σχεδιασμού όπως αυτές εκφράζονται στον ΕΑΚ και τον Ευρωκώδικα 8.
- λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαιτερότητες των βιομηχανικών κατασκευών, με έμφαση στην αποφυγή των καταστροφικών συνεπειών μιας αστοχίας
- μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον ΟΑΣΠ ως βάση για την σύνταξη διατάξεων αντισεισμικού κανονισμού για τις ως άνω κατασκευές.

ΓΕΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΑΝΤΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Η αντισεισμική θωράκιση βιομηχανικών εγκαταστάσεων είναι ζωτικής σημασίας για την αποφυγή ανεπιθύμητων και πολλές φορές απρόβλεπτων επιπτώσεων στον πληθυσμό, στο περιβάλλον και στην οικονομία. Σε ορισμένες περιπτώσεις αποτελούν σημαντικότερο θέμα από την θωράκιση των απλών κατασκευών, διότι μία πιθανή αστοχία ενδέχεται να συνεπάγεται αλυσιδωτές καταστροφές, λόγω επικίνδυνων χημικών ουσιών (κόστος σε ανθρώπινες ζωές, στην οικονομία και στο περιβάλλον) αλλά και να καθιστά απαγορευτική την λειτουργία του βιομηχανικού συγκροτήματος στην άμεσα μετασεισμική περίοδο.

Οι παρούσες οδηγίες αφορούν στην αντισεισμικότητα των βιομηχανικών εγκαταστάσεων και πιο συγκεκριμένα εγκαταστάσεων χημικής βιομηχανίας. Ως χαρακτηριστικά παραδείγματα αναφέρονται βιομηχανικά συγκροτήματα παραγωγής και αποθήκευσης χημικών προϊόντων σε βιομηχανίες (π.χ. αμμωνία, VCM, NLG, προπυλένιο κτλ.) και οι εγκαταστάσεις διυλιστηρίων (πετροχημική βιομηχανία). Το θέμα των πυρηνικών αντιδραστήρων δεν εξετάζεται διότι δεν αφορά τον Ελλαδικό χώρο.

Ως παράδειγμα καταστροφικής επίπτωσης ενός ισχυρού σεισμού αναφέρεται η σχετικά πρόσφατη εμπειρία στον σεισμό της Νικομήδειας (Τουρκία, Αύγουστος 1999), όπου συνέβησαν εκτεταμένες

καταστροφές σε εγκαταστάσεις διυλιστηρίου σε μεγάλες συνέπειες. Σε πρώτη φάση, η αστοχία μίας χημικής βιομηχανικής εγκατάστασης υψηλού κινδύνου μπορεί να συνοδευτεί με αλυσιδωτές εκρήξεις και πυρκαγιά που θέτει σε κίνδυνο το σύνολο των εγκαταστάσεων αλλά και την ευρύτερη περιοχή. Ο κίνδυνος για ανθρώπινες ζωές είναι μεγάλος λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης ατόμων στην βιομηχανική περιοχή, ενώ η διαρροή μίας τοξικής ουσίας, που συνοδεύεται συνήθως από την παρουσία τοξικού νέφους ενδέχεται να έχει σημαντικές επιπτώσεις στον πληθυσμό και στο περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής.

Η σπουδαιότητα των βιομηχανικών εγκαταστάσεων απαιτεί την θωράκισή τους έναντι σεισμού με βάση τις σύγχρονες αντιλήψεις αντισεισμικού σχεδιασμού οι οποίες εξασφαλίζουν την απαιτούμενη από την πολιτεία αξιοπιστία. Με δεδομένο ότι μέχρι τώρα οι αντίστοιχες μελέτες βιομηχανικών κατασκευών βασίζονται σε παλαιές φιλοσοφίες σχεδιασμού, εξετάζεται η επάρκεια των κατασκευών αυτών στις σύγχρονες αντιλήψεις και η συμβατότητά τους με τους νέους αντισεισμικούς κανονισμούς.

ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Οι βιομηχανικές κατασκευές παρουσιάζουν σημαντικές ιδιαιτερότητες σε σχέση με τις προδιαγραφές κατασκευών Πολιτικού Μηχανικού και αυτές θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην εκπόνηση των οδηγιών μελέτης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή των νέων αντισεισμικών αντιλήψεων αναφέρεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στις κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού και συγκεκριμένα σε κτίρια, γέφυρες ή γεωτεχνικές κατασκευές (πρανή, ειδικές θεμελιώσεις, τοίχοι αντιστήριξης, υπόγεια έργα). Η μελέτη κατασκευών βιομηχανικού εξοπλισμού σε σεισμό οφείλει να είναι εναρμονισμένη με τις γενικότερες απαιτήσεις καλής και ασφαλούς λειτουργίας ενός βιομηχανικού συγκροτήματος, οι οποίες όμως είναι σημαντικά διαφορετικές από αυτές των κτηρίων και των γεφυρών. Οι κατασκευές μιας βιομηχανικής εγκατάστασης θα πρέπει να θωρακιστούν σε βαθμό που εξαρτάται από την κρισιμότητα του εξοπλισμού σε περίπτωση αστοχίας και θα πρέπει να εξασφαλίζουν αφενός την ασφαλή διακοπή του εργοστασίου, την ασφαλή αναζήτηση ζημιών ή αστοχιών και αφετέρου την επαναλειτουργία της βιομηχανίας σε εύλογο χρονικό διάστημα. Η λειτουργικότητα θα πρέπει να εξασφαλίζεται κυρίως στα πρώτα μετασεισμικά στάδια, όπου συνήθως η καλή λειτουργία μίας βιομηχανικής εγκατάστασης είναι επιβεβλημένη.

Εκτός των προφανών διαφορών των κατασκευών βιομηχανικού εξοπλισμού με τις συνήθεις κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού (π.χ. γεωμετρία και βαθμός σπουδαιότητας σχετικά με τις επιπτώσεις μίας πιθανής αστοχίας), αναφέρονται επίσης ενδεικτικά τα ακόλουθα:

- Η αλληλεπίδραση ρευστού – κατασκευής (μεταβολή των ιδιοπεριόδων που επηρεάζουν την σεισμική ένταση)
- Η παρουσία υψηλών πιέσεων (κίνδυνος θραύσης και επακόλουθης έκρηξης)
- Η χρησιμοποίηση πολύ λεπτών μεταλλικών ελασμάτων (κίνδυνος ήβωσης)
- Οι μεγάλες αυξομειώσεις στην θερμοκρασία (μείωση του απομένοντα χρόνου ζωής λόγω ανάπτυξης ανακυκλιζόμενων θερμικών τάσεων)
- Ο κίνδυνος ψαθυρής αστοχίας λόγω της χρήσης χαλύβων υψηλής αντοχής και λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας
- Η αλλοίωση των ιδιοτήτων του υλικού και η μείωση του συνολικού πάχους των ελασμάτων λόγω διάβρωσης

Σε σχέση με τις ως άνω ιδιαιτερότητες, οι οδηγίες αναφέρονται κατ' αρχήν στην στατική επάρκεια των κατασκευών. Εκτός όμως από την μακροσκοπική εξέτασή τους (δηλαδή από την πλευρά του δομοστατικού σχεδιασμού) εστιάζουν παράλληλα και στο σημαντικό θέμα της διερεύνησης του ρόλου των μηχανικών ιδιοτήτων των χρησιμοποιούμενων κατασκευαστικών υλικών στις αστοχίες λόγω σεισμού. Οι ιδιότητες μεγάλου ενδιαφέροντος μπορεί να είναι οι συνήθεις μηχανικές ιδιότητες των υλικών (μέτρο ελαστικότητας, όριο διαρροής) αλλά και η ολκιμότητα, η δυσθραυστότητα (fracture toughness), η αντοχή σε κόπωση (ειδικά σε ολιγοκυκλική καταπόνηση) κτλ., ιδιότητες οι οποίες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον αντισεισμικό σχεδιασμό των υπόψη κατασκευών.



Εικόνα 0.3: Μονάδα πετροχημικής βιομηχανίας.

ΣΤΟΧΟΣ ΤΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το παρόν κείμενο πρέπει να θεωρηθεί ως σύνολο κατευθυντήριων οδηγιών μελέτης κατασκευών βιομηχανικού εξοπλισμού για την περίπτωση σεισμικής φόρτισης. Οι οδηγίες μπορούν να χαρακτηριστούν προσωρινές, υπό την έννοια ότι ενδέχεται να ενσωματωθούν στο μέλλον σε ειδικές αντισεισμικές κανονιστικές διατάξεις για το είδος των κατασκευών αυτών.

Οι βασικές αρχές σχεδιασμού του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ) υιοθετούνται και στις παρούσες οδηγίες. Συγκεκριμένα, εξετάζονται και ορίζονται μεταξύ άλλων οι παράμετροι σχεδιασμού, ο τρόπος υπολογισμού των σεισμικών δράσεων σε συγκεκριμένα σημεία πολύπλοκων κατασκευών, οι οριακές συνθήκες αστοχίας και λειτουργικότητας για τα είδη των κατασκευών που εξετάζονται στο παρόν έργο. Για την παρούσα μελέτη χρησιμοποιούνται, όπου αυτό είναι δυνατόν, στοιχεία κατάλληλα προσαρμοσμένα από σχετικές οδηγίες και δημοσιεύματα άλλων χωρών, όπως των ΗΠΑ, ή της Νέας Ζηλανδίας, χώρες με παράδοση σε θέματα αντισεισμικού σχεδιασμού βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Θα πρέπει να σημειωθεί πως σημαντική προσπάθεια στην παρούσα εργασία θα πρέπει να καταβληθεί για την συμβατότητα των ως άνω διατάξεων με τους ισχύοντες κανονισμούς για βιομηχανικές κατασκευές, οι οποίοι είναι κανονισμοί Μηχανολόγου Μηχανικού και βασίζονται κατά σημαντικό μέρος τους σε διαφορετικές αρχές και φιλοσοφίες σχεδιασμού. Με τις οδηγίες αυτές αντιμετωπίζεται με μία “συνολική προσέγγιση” (integrated approach) η αντισεισμική θωράκιση χημικών βιομηχανικών συγκροτημάτων, η ασφάλεια των οποίων κρίνεται αναγκαία για την αποφυγή αστοχίας με σημαντικότερο κόστος σε ανθρώπινες ζωές, στο περιβάλλον και στην οικονομία.

Οι παραδοτέες οδηγίες σχεδιασμού αποτελούν το βασικό στόχο του προτεινόμενου έργου (βασικό παραδοτέο). Οι οδηγίες είναι διατυπωμένες κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να αποτελέσουν την βάση για την μελλοντική αλλά άμεση σύνταξη ενός αντισεισμικού κανονισμού βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Με την περαίωση του παρόντος έργου, ο ΟΑΣΠ έχει στην κατοχή του ένα βασικό κείμενο με αναλύσεις και προκαταρκτικές αντισεισμικές διατάξεις που είναι εναρμονισμένες με την γενική μεθοδολογία του ΕΑΚ, και είναι συμβατές με τις ισχύουσες προδιαγραφές μελέτης και κανονισμούς βιομηχανικών εγκαταστάσεων, όπως κανονισμοί ASME και ASTM που χρησιμοποιούνται ευρέως από τις πετροχημικές βιομηχανίες.

ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η ομάδα εργασίας αποτελείται από Πολιτικούς Μηχανικούς με εμπειρία σε αντισεισμικές κατασκευές και σχεδιασμό και από Μηχανολόγους και Χημικούς Μηχανικούς με εμπειρία και ειδικευση σε

βιομηχανικό σχεδιασμό και συμπεριφορά βιομηχανικών υλικών. Η ομάδα μελέτης συνδυάζει εμπειρία σε ανάλυση και μελέτη βιομηχανικών εγκαταστάσεων, επίβλεψη κατασκευής και συντήρηση υλικών και κατασκευών.

Η συνεργασία του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με το Τεχνικό Γραφείο Α.Σ. Καραμάνος εξασφάλισε την πρόσβαση σε μελέτες, σχέδια και προδιαγραφές βιομηχανικών κατασκευών. Επίσης, η συνεργαζόμενη Βιομηχανία Φωσφορικών Λιπασμάτων Α.Ε. (ΒΦΛ Α.Ε.) ως άμεσα ενδιαφερόμενος φορέας παρείχε πληροφορίες και as-built σχέδια πραγματικών κατασκευών, καθώς και στοιχεία από μελλοντικές κατασκευές. Ο Μηχανολόγος Μηχανικός της ΒΦΛ Α.Ε. παρακολούθησε τις εργασίες της ερευνητικής ομάδας και συμμετείχε στην εκπόνηση του τελικού κειμένου των οδηγιών αντισεισμικής μελέτης.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΚΩΔΙΚΕΣ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

α. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΔΟΧΕΙΑ ΠΙΕΣΗΣ

Ο σχεδιασμός, η κατασκευή, η εγκατάσταση, η επιθεώρηση και ο έλεγχος των συγκολλήσεων ατμοσφαιρικών δεξαμενών αποθήκευσης υγρών καυσίμων πάνω από την επιφάνεια του εδάφους βασίζονται στον κώδικα API Standard 650 (Welded Steel Tanks for Oil Storage). Άλλοι κώδικες στους οποίους παραπέμπει ο κώδικας API 650 ή εφαρμόζονται συμπληρωματικά του API 650 είναι οι κώδικες ASME, Section VIII (Pressure Vessels, Division I) και Section IX (Welding and Brazing Qualifications) και οι κώδικες ASTM Standards, A370 (Mechanical Testing of Steel Products) και E23 (Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials).

Ο βασικές απαιτήσεις σχεδιασμού, κατασκευής και επιθεώρησης μεταλλικών δοχείων πίεσης εμπεριέχονται στους κώδικες ASME, Section I (Power Boilers) και Section VIII (Pressure Vessels, Division I & II). Οι δύο αυτοί κώδικες αποτελούν τον κύριο οδηγό σχεδιασμού δοχείων πίεσης για πολλές δεκαετίες σε διυλιστήρια και στη πετροχημική βιομηχανία διεθνώς. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν εθνικοί κώδικες όπως το British Standard 5500 και πιο πρόσφατα οι αντίστοιχοι Ευρωκώδικες. Συμπληρωματικά του κώδικα ASME εφαρμόζονται οι κώδικες ASME/ANSI Standard B16.5 (Pipe Flanges and Flanged Fittings), API Standards 601 & 605 (Metallic Gaskets for Raised-Face Pipe Flanges and Flanged Connections) και ASTM Standards A193, A194, A320 & A453 (Bolting Materials). Επίσης ο τελικός ιδιοκτήτης και χρήστης του εξοπλισμού (δεξαμενές και δοχεία πίεσης) δύναται να ζητήσει και να επιβάλλει συμπληρωματικές εξειδικευμένες προδιαγραφές και απαιτήσεις σύμφωνα με τις ανάγκες και την επικινδυνότητα των εγκαταστάσεων.

Ειδικότερα, όσον αφορά τον αντισεισμικό σχεδιασμό των δεξαμενών και των δοχείων πίεσης, υπάρχουν οδηγίες αντισεισμικού σχεδιασμού όπως έχουν διατυπωθεί σε διάφορους κανονισμούς (EC 8, API 650) και άλλα επίσημα δημοσιεύματα διεθνώς αναγνωρισμένων οργανισμών όπως η Αμερικανική Ένωση Πολιτικών Μηχανικών (ASCE-1984) και η Νέο-Ζηλανδική Ένωση Αντισεισμικής Μηχανικής NZ-1986). Μία συνοπτική παρουσίαση αυτών των οδηγιών για αντισεισμικό σχεδιασμό αναφέρεται παρακάτω.

Ευρωπαϊκός Κώδικας Αντισεισμικού Σχεδιασμού (Eurocode 8, part 4)

Ο Ευρωπαϊκός Αντισεισμικός Κανονισμός Eurocode 8, part 4 αναφέρεται σε silos, δεξαμενές και αγωγούς (pipelines). Το κεφάλαιο 4.1 περιλαμβάνει γενικές διατάξεις σχεδιασμού, ενώ το 4.3 αναφέρεται σε δεξαμενές. Το παράρτημα Α αναφέρεται σε ειδικά θέματα, κυρίως στο υπολογισμό των υδροδυναμικών δυνάμεων, αλλά και στην αντοχή του τοιχώματος της δεξαμενής.

Οι οδηγίες λαμβάνουν υπόψη την αλληλοεπίδραση του εδάφους με την κατασκευή, την ελαστικότητα των τοιχωμάτων της δεξαμενής, την κατακόρυφη διέγερση και την επίδραση της ανύψωσης της βάσης της δεξαμενής, στην κατανομή των αξονικών τάσεων στο τοίχωμα της.

Όσον αφορά ειδικότερα το φαινόμενο του κυματισμού, αρχικά αναλύει την περίπτωση του απαραμόρφωτου τοιχώματος υπολογίζοντας τις μάζες ώσης και κυματισμού, τις πιέσεις ώσης και κυματισμού, την ολική διατμητική δύναμη βάσης και την ροπή ανατροπής. Στην συνέχεια λαμβάνει υπόψη την κίνηση των τοιχωμάτων της δεξαμενής ως ανεξάρτητη συνιστώσα θεωρώντας την κίνηση ώσης και κυματισμού γνωστές από την προηγούμενη ανάλυση. Στον κείμενο του κανονισμού αυτού έχει

στηριχθεί σε μεγάλο βαθμό η παρούσα ερευνητική εργασία για την σύνταξη οδηγιών αντισεισμικού σχεδιασμού κατασκευών βιομηχανικού εξοπλισμού.

Αμερικανικό Ινστιτούτο Πετρελαίου (API 650 και API 620)

Το Αμερικανικό Ινστιτούτο Πετρελαίου έχει αναπτύξει μία συστηματική προσέγγιση για τον αντισεισμικό σχεδιασμό, η οποία βασίζεται στην δημοσίευση των Wozniak και Mitchell (1978). Η προτεινόμενη μεθοδολογία παρουσιάζεται στο Παράρτημα Ε του API 650 και το Παράρτημα L του API 620. Αυτή η προσέγγιση του αντισεισμικού σχεδιασμού παρουσιάζει με σαφή τρόπο τον υπολογισμό της μέγιστης εφαρμοζόμενης αξονικής τάσης για δεξαμενές με στηρίξεις και χωρίς στηρίξεις. Της παρουσιάζει της ελάχιστες απαιτήσεις για δεξαμενές με στηρίξεις. Όσον αφορά την σεισμική διέγερση λαμβάνει υπόψη μόνο την οριζόντια συνιστώσα ενώ η επίδραση της κατακόρυφης συνιστώσας δεν λαμβάνεται υπόψη. Τέλος η ανάλυση του φαινομένου του κυματισμού γίνεται με την θεώρηση των τοιχωμάτων της δεξαμενής ως απαραμόρφωτα.

Αμερικανική Ένωση Πολιτικών Μηχανικών (ASCE – 1984)

Η Αμερικανική Ένωση Πολιτικών Μηχανικών (ASCE 1984) έχει συντάξει αντίστοιχες οδηγίες αντισεισμικού σχεδιασμού. Οι οδηγίες αυτές λαμβάνουν υπόψη της την παραμορφωσιμότητα των τοιχωμάτων της δεξαμενής, την αλληλεπίδραση του εδάφους με την κατασκευή και την κατακόρυφη διέγερση. Ωστόσο δεν λαμβάνεται υπόψη η ανακατανομή και αλλαγή των αξονικών και περιμετρικών τάσεων λόγω ανύψωσης της βάσης της δεξαμενής. Όσον αφορά το φαινόμενο του κυματισμού προτείνει την απευθείας επαλληλία των αποτελεσμάτων λόγω ώσης και κυματισμού. Επιπλέον, δεν λαμβάνει υπόψη την ύπαρξη δύο οριζόντιων συνιστωσών σεισμικής διέγερσης. Τέλος, προτείνει ένα κανόνα για την πρόσθεση της κατακόρυφης και οριζόντιας υδροδυναμικής πίεσης χρησιμοποιώντας την μέθοδο της τετραγωνικής ρίζας του αθροίσματος των τετραγώνων (SRSS). Αποτελεί ένα σύγχρονο κείμενο σχεδιασμού δεξαμενών, αλλά αναφέρεται ειδικότερα στην περίπτωση των δεξαμενών σχήματος κατακόρυφου κυλίνδρου.

Οδηγίες σχεδιασμού της Νέο-Ζηλανδικής Ένωσης Αντισεισμικής Μηχανικής

Οι οδηγίες αυτές αποτελούν μία σημαντική προσπάθεια για την αντιμετώπιση του προβλήματος αντισεισμικού σχεδιασμού δεξαμενών, με βάση την τότε υπάρχουσα γνώση και πρακτική. Με ορισμένα τμήματά του το κείμενο των Νέο-Ζηλανδικών οδηγιών είναι εναρμονισμένο με τις προδιαγραφές της ASCE – 1984. Αρχικά παρουσιάζονται οι βασικές αρχές σχεδιασμού, και προτείνεται μία μεθοδολογία υπολογισμού των σεισμικών δυνάμεων. Η μεθοδολογία βασίζεται στην διάκριση «ωστικής» και «επαγωγικής» μάζας, αλλά αναφέρεται κυρίως σε δεξαμενές κατακόρυφου κυλίνδρου. Στην συνέχεια παρατίθενται βασικές οδηγίες για τον υπολογισμό των τάσεων του τοιχώματος, καθώς και οι βασικοί έλεγχοι τάσεων. Τέλος, εξετάζεται η αντοχή και ο σχεδιασμός της θεμελίωσης της δεξαμενής, και κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Σημειώνεται πως σημαντικά τμήματα των οδηγιών αυτών βρίσκονται ενσωματωμένα στο κείμενο του Ευρωκώδικα 8 – μέρος 4.

β. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ

Για τον σχεδιασμό των σωληνώσεων σε χημικές και πετροχημικές βιομηχανίες χρησιμοποιείται γενικά ο κώδικας ASME B31.3, *Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping*. Ο κανονισμός αυτός καθορίζει τις επιτρεπόμενες τάσεις του κάθε υλικού για κάθε στοιχείο (component) της σωλήνωσης, και δίνει σαφείς οδηγίες για τον υπολογισμό της πραγματικής ευκαμψίας του σωλήνα, καθώς και τον συντελεστή συγκέντρωσης τάσεων. Εντούτοις, δεν περιέχει συγκεκριμένη διάταξη για σχεδιασμό έναντι σεισμικών φορτίων.

Ο κώδικας ASME *Boiler and Pressure Vessel Code*, Section III, που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό κυρίως σωληνώσεων σε πυρηνικούς αντιδραστήρες (nuclear pipes), περιέχει ορισμένες διατάξεις για αντισεισμικό σχεδιασμό, υπό την έννοια ότι καθορίζει το μέγιστο επιτρεπόμενο επίπεδο τάσης όταν λαμβάνεται υπόψη το σεισμικό φορτίο, το ποίο είναι σαφώς αυξημένο σε σχέση με το αντίστοιχο επίπεδο των συνθηκών λειτουργίας.

γ. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΙ

Ο στατικός και δυναμικός σχεδιασμός μιας καπνοδόχου ανάλογα με το υλικό κατασκευής διέπεται από σημαντικό αριθμό κανονισμών, τόσο εθνικών όσο και διεθνών. Π.χ. για τον σχεδιασμό βιομηχανικών καπνοδόχων από οπλισμένο σκυρόδεμα έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στη χώρα τους ο Γερμανικός κανονισμός DIN. Άλλοι γνωστοί εθνικοί κανονισμοί είναι ο Γερμανικός DIN 4133 και ο Αγγλικός BS 4076 για τον σχεδιασμό καπνοδόχων από χάλυβα. Η Διεθνής Επιτροπή Βιομηχανικών Καπνοδόχων (CICIND) έχει εκδώσει Πρότυπα Κωδίκων (Model Codes) για τον σχεδιασμό καπνοδόχων από οπλισμένο σκυρόδεμα και δομικό χάλυβα. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η Τεχνική Επιτροπή TC297 τους CEN έχει συντάξει πρότυπο για τον σχεδιασμό βιομηχανικών καπνοδόχων.

Τέλος, σε επίπεδο Ευρωκωδίκων, υπάρχει το μέρος 3.2 του Ευρωκώδικα 3 (ENV 1993-3.2 : 1997) το οποίο αναφέρεται στον σχεδιασμό των καπνοδόχων από χάλυβα. Το πρότυπο αυτό ευρίσκεται ήδη υπό καθεστώς μετατροπής του σε EN, που σημαίνει ότι όταν περάσει όλα τα προβλεπόμενα στάδια της διαδικασίας τους, θα αποτελεί πρότυπο υποχρεωτικής εφαρμογής τους χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η περαιτέρω αναφορά σε όλους τους σχετικούς κανονισμούς στατικού και δυναμικού σχεδιασμού βιομηχανικών καπνοδόχων είναι έξω από τον σκοπό της παρούσας εργασίας, που είναι ο αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών αυτών. Στην Ελλάδα ισχύει ο Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000, του οποίου οι μεν γενικές αρχές ισχύουν για όλους τους τύπους των δομικών κατασκευών, ενώ οι ειδικότερες διατάξεις και οι κανόνες εφαρμογής αναφέρονται κυρίως σε οικοδομικά έργα. Επομένως ο ΕΑΚ 2000 εφαρμόζεται εν γένει και στον αντισεισμικό σχεδιασμό των βιομηχανικών καπνοδόχων (Β.Κ.).