

8. ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΑΣΠ

ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η παρούσα εργασία και, ειδικότερα οι προτεινόμενες οδηγίες μελέτης, αντιμετωπίζουν τον σχεδιασμό των βιομηχανικών κατασκευών με μία συνολική προσέγγιση. Συγκεκριμένα, τίθενται οι βασικές αρχές σε σχέση με τυπικό βιομηχανικό εξοπλισμό (δεξαμενές, καπνοδόχους, σωληνώσεις, αλλά και πυρσούς και κτήρια ελέγχου), επεξηγούνται, κωδικοποιούνται και ενοποιούνται αρκετές ισχύουσες διατάξεις, ενώ παράγονται αποτελέσματα και προτάσεις που ισχύουν συμπληρωματικά με υπάρχοντες κανονισμούς. Στα πλαίσια του προτεινόμενου έργου προτείνονται προσωρινές οδηγίες σχεδιασμού που θα λαμβάνουν υπόψη την ιδιαιτερότητα των βιομηχανικών εγκαταστάσεων εξασφαλίζοντας η συμβατότητα των ως άνω οδηγιών με τις ισχύοντες αντισεισμικές διατάξεις του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού και, κατ' επέκταση, του Ευρωκώδικα 8.

Η αντισεισμική συμπεριφορά βιομηχανικών κατασκευών (κυρίως της χημικής βιομηχανίας) έχει απασχολήσει κατά καιρούς την επιστημονική κοινότητα. Κατά το παρελθόν, ορισμένα στοιχεία (components) βιομηχανικού εξοπλισμού έχουν αναλυθεί σε σεισμό και γενικά σε δυναμικά φορτία. Εντούτοις, οι υπάρχουσες οδηγίες αντισεισμικού σχεδιασμού είναι περιορισμένες για ορισμένους τύπους βιομηχανικών κατασκευών. Γενικά, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις σε διυλιστήρια και χημικά εργοστάσια προδιαγράφονται και κατασκευάζονται με βάση διεθνείς κανονισμούς όπως οι κώδικες της American Society of Mechanical Engineering (ASME) ή του American Petroleum Institute (API). Η γενική φιλοσοφία των κανονισμών αυτών συνήθως δεν συμβαδίζει σε αρκετά θέματα με την αντίστοιχη του ΕΑΚ. Η μέχρι τώρα εμπειρία δείχνει πως το γενικότερο πρόβλημα του ολοκληρωμένου αντισεισμικού σχεδιασμού μίας πολύπλοκης βιομηχανικής εγκατάστασης δεν έχει αντιμετωπιστεί, με βάση την σύγχρονη τεχνογνωσία της Σεισμικής Μηχανικής και του Αντισεισμικού Σχεδιασμού.

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, API και ASTM που χρησιμοποιούνται ευρέως από τις πετροχημικές βιομηχανίες.

Με βάση την διεθνή βιβλιογραφία και ειδικές αναλύσεις της ομάδας εργασίας, οι οδηγίες αναφέρονται στις βασικές αρχές σχεδιασμό βιομηχανικών κατασκευών, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές ιδιαιτερότητες σε σχέση με τις συνήθεις κατασκευές πολιτικού μηχανικού. Οι κατασκευές που εξετάστηκαν και στις οποίες αναφέρονται οι οδηγίες είναι πρωτίστως

- Δεξαμενές και δοχεία πίεσης
- Βιομηχανικές σωληνώσεις
- Βιομηχανικές καπνοδόχοι

και δευτερευόντως

- Βιομηχανικοί πυρσοί
- Κτήρια ελέγχου

Μετά από συστηματική ανάλυση και διερεύνηση, προτείνονται οδηγίες σχεδιασμού των ανωτέρω κατασκευών, οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν την βάση για την μελλοντική δημιουργία κανονιστικών διατάξεων, εναρμονισμένες με τις γενικές διατάξεις σχεδιασμού και την σύγχρονη αντίστοιχη πρακτική όπως αυτές εκφράζονται μέσα από τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό.

Η χρησιμότητα και η σπουδαιότητα των προτεινόμενων οδηγιών φαίνεται από τα παρακάτω βασικά σημεία, που αποτελούν τα βασικά συμπεράσματα της βασικής έρευνας.

A. Δεξαμενές και δοχεία πίεσης

Οι οδηγίες σε ένα μεγάλο μέρος τους, αναφέρονται στην αντισεισμική ανάλυση και αντισεισμικό σχεδιασμό δεξαμενών και δοχείων πίεσης, με έμφαση στον υπολογισμό των σεισμικών δυνάμεων. Παρουσιάζονται οι βασικοί κανονισμοί σχεδιασμού των κατασκευών αυτών, όπως επίσης και οι ειδικές διατάξεις που έχουν κατά καιρούς προταθεί για τον αντισεισμικό σχεδιασμό τους. Επίσης, εξετάζονται οι μορφές αστοχίας των κατασκευών αυτών σε σχέση με την γεωμετρία τους και τις λοιπές ιδιαιτερότητές τους.

Έμφαση δίνεται στον υπολογισμό των σεισμικών δυνάμεων. Με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία εξετάστηκαν όλες οι μεθοδολογίες που έχουν προταθεί για τον υπολογισμό των σεισμικών δυνάμεων στις υπόψη κατασκευές. Είναι όμως φανερό πως ενώ στην περίπτωση των κατακόρυφων κυλινδρικών δεξαμενών υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία (από την πλευρά των βιομηχανικών εφαρμογών αλλά και λόγω των αεροναυπηγικών εφαρμογών), στην περίπτωση των δεξαμενών ή δοχείων πίεσης άλλης γεωμετρίας (ορθογωνικό, οριζόντιο κυλινδρικό και σφαιρικό) δεν υπάρχει η ανάλογη αντιμετώπιση. Οι οδηγίες προτείνουν μία απλή αναλυτική μεθοδολογία, με απλές εξισώσεις και διαγράμματα μέσω των οποίων ο μελετητής μηχανικό μπορεί να υπολογίσει την συνολική σεισμική δύναμη που ασκείται στην κατασκευή του, ώστε να εξετάσει την σεισμική της επάρκεια.

Βασικό στοιχείο της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι ο συνοπολογισμός του φαινομένου του κυματισμού στην συνολική απόκριση. Το ρευστό αλληλεπιδρά με την κατασκευή και οι υδροσυναμικές πιέσεις στο τοίχωμα συνεισφέρουν στην συνολική τέμνουσα βάσης. Το φαινόμενο αυτό σε επίπεδο σχεδιασμού αντιμετωπίζεται με τον διαχωρισμό της συνολικής μάζας του ρευστού σε ένα «ωστικό τμήμα» το οποίο ακολουθεί στη κίνηση της δεξαμενής και ένα «επαγωγικό τμήμα» το οποίο εκφράζει τον κυματισμό του ρευστού. Η μεθοδολογία αυτή αντιμετωπίζει το θέμα του υπολογισμού των σεισμικών δράσεων σε μία ενοποιημένη βάση, ανεξαρτήτου της γεωμετρίας του δοχείου ή της δεξαμενής.

B. Βιομηχανικές σωληνώσεις

Οι σωληνώσεις και οι στηρίξεις θα πρέπει επίσης να σχεδιάζονται με βάση τα σεισμικά φορτία, όπως αυτά προκύπτουν από μία ελαστική ανάλυση, λαμβανομένης υπόψη της πραγματικής ευκαμψίας των σωληνωτών μελών, ειδικότερα των καμπύλων τμημάτων (elbows), μέσω κατάλληλων συντελεστών ευκαμψίας. Επίσης, ο έλεγχος τάσεων θα πρέπει να συνεκτιμά την μεγάλη συγκέντρωση τάσεων στα καμπύλα τμήματα, μέσω κατάλληλων συντελεστών συγκέντρωσης τάσης. Θα πρέπει να σημειωθεί πως δεν έχει έως τώρα τεθεί θέμα ελαστοπλαστικού σχεδιασμού σε σεισμό με βάση τα πραγματικά αποθέματα πλαστιμότητας μίας σωλήνωσης, δηλαδή δεν έχουν προταθεί συντελεστές συμπεριφοράς q με τιμές μεγαλύτερες της μονάδας.

Οι συγκολλήσεις των σωληνώσεων είναι σημαντικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες όπου μπορεί να προκληθεί αστοχία λόγω ισχυρής ολιγο-κυκλικής κόπωσης και έλλειψη ικανού βαθμού δυσθραυστότητας. Οι αντίστοιχες γενικές διατάξεις θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό.

Οι κατασκευές στηρίζεως των σωληνώσεων είναι ευαίσθητες σε αστοχία, αλλά δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές από κλασικές μεταλλικές κατασκευές, οι οποίες αντιμετωπίζονται με τις συνήθεις διατάξεις του αντισεισμικού σχεδιασμού.

Γ. Βιομηχανικές καπνοδόχοι

Οι καπνοδόχοι των βιομηχανικών μονάδων αποτελούν κατασκευές που ενδέχεται να αστοχήσουν σε σεισμό. Στις οδηγίες μελέτης παρουσιάζονται οι βασικοί κανονισμοί σχεδιασμού, με ιδιαίτερη μνεία στις αντισεισμικές διατάξεις. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις κατασκευαστικές λεπτομέρειες, ειδικότερα για θέματα ψαθυρής συμπεριφοράς, ενώ αναφέρονται οι βασικοί κανόνες σχεδιασμού φλαντζωτών συνδέσεων.

Επίσης, εξετάστηκε η σπουδαιότητα της σεισμικής δύναμης σε σχέση με την δύναμη του ανέμου για δύο τυπικές βιομηχανικές καπνοδόχους. Το βασικό συμπέρασμα των αναλύσεων είναι πως η δύναμη του σεισμού είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με την δύναμη του ανέμου, και σε ορισμένες περιπτώσεις, ενδέχεται να είναι κρίσιμη.

Δ. Αποφυγή ψαθυρής θραύσης

Βασικό στοιχείο του όλου σχεδιασμού αποτελεί η αντιμετώπιση της ψαθυρής θραύσης. Σημειώνεται πως η ψαθυρή θραύση άρχισε να αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο του αντισεισμικού σχεδιασμού μεταλλικών κατασκευών από τον σεισμό του Northridge του 1994. Στην προκειμένη όμως περίπτωση οι κατασκευές βιομηχανικού εξοπλισμού καταπονούνται σημαντικά κατά την διάρκεια ζωής τους από παράγοντες οι οποίοι επιφέρουν αλλοίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών. Επομένως εκτός από την μακροσκοπική εξέταση των υλικών (δηλαδή από την πλευρά του δομοστατικού σχεδιασμού) ο μηχανικός οφείλει να εξετάσει και το σημαντικό θέμα της διερεύνησης του ρόλου των μηχανικών ιδιοτήτων των χρησιμοποιούμενων κατασκευαστικών υλικών στις αστοχίες λόγω σεισμού. Με άλλα λόγια, ιδιότητες μεγάλου ενδιαφέροντος μπορεί να είναι όχι μόνον οι συνήθεις μηχανικές ιδιότητες των υλικών (μέτρο ελαστικότητας, όριο διαρροής) και η ολκιμότητα, αλλά και η δυσθραυτότητα (fracture toughness), η αντοχή σε κόπωση (ειδικά σε ολιγοκυκλική καταπόνηση) κτλ. Οι οδηγίες παρουσιάζουν ορισμένες αρχές τις οποίες ο δομοστατικός μηχανικός - μελετητής οφείλει να έχει υπόψη του στον σχεδιασμό, ώστε αποφευχθεί η αστοχία του υλικού.

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΑΣΠ

Τα αποτελέσματα του ερευνητικού έργου, και ειδικότερα οι παρούσες οδηγίες μελέτης, είναι άμεσα εφαρμόσιμες από τον ΟΑΣΠ. 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 οδηγίες σχεδιασμού που αναφέρονται στην παρούσα Τεχνική Έκθεση αποτέλεσαν το βασικό στόχο του ερευνητικού έργου που εκπονήθηκε από την ερευνητική ομάδα. 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 διαθέτει 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, API και ASTM που χρησιμοποιούνται ευρέως από τις χημικές και πετροχημικές βιομηχανίες.

Οι οδηγίες αυτές μπορούν να αποτελέσουν την βάση για ένα μελλοντικό Παράρτημα του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ). Συγκεκριμένα, το παρόν κείμενο μπορεί να αποτελέσει το συνοδευτικό κείμενο των κανονιστικών διατάξεων οι οποίες θα συνταχθούν από την αρμόδια Επιτροπή ή την αντίστοιχη Ομάδα Εργασίας του ΕΑΚ. Σημειώνεται πως οι ιδιαιτερότητες των κατασκευών αυτών απαιτούν την συμμετοχή εκπροσώπων της χημικής και πετροχημικής βιομηχανίας, οι οποίοι έχουν εμπειρία από την πραγματική συμπεριφορά των υπόψη κατασκευών σε δυσμενείς συνθήκες συμπεριλαμβανομένου και σεισμικής καταπόνησης.