

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΣΕ
ΜΕΛΕΤΗ ΦΟΡΕΑ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΥΨΗΛΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Γιάννης Ευθυμίου

Πολιτικός Μηχανικός MSc
Computer Control Systems AE
Αθήνα, Ελλάδα
e-mail: gefthi@ccs.gr

Άννα Μαρινοπούλου

Δρ Πολιτικός Μηχανικός
Computer Control Systems AE
Αθήνα, Ελλάδα
e-mail: annamar@ccs.gr

Στέλιος Πετρίδης

Πολιτικός Μηχανικός MSc
Computer Control Systems AE
Αθήνα, Ελλάδα
e-mail: spetridis@ccs.gr

Χρήστος Σαουρίδης

Δρ Πολιτικός Μηχανικός
Computer Control Systems AE
Αθήνα, Ελλάδα
e-mail: chrisa@ccs.gr

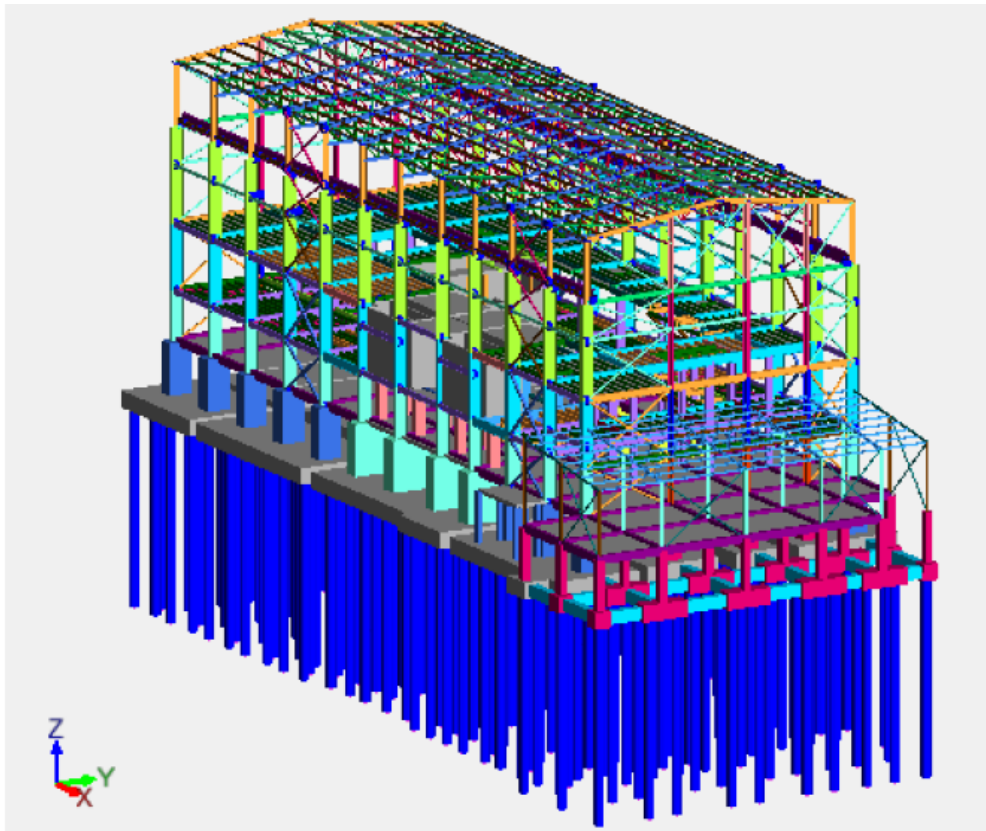
1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι βασικές τεχνικές δυσκολίες που ανέκυψαν κατά τη μελέτη μεταλλικού κτιρίου που εντάσσεται σε βιομηχανική εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και οι σχετικές λύσεις που προτάθηκαν. Η όλη εγκατάσταση κατασκευάζεται σε αναπτυσσόμενη χώρα με έντονη σεισμική δραστηριότητα. Για τη μελέτη έγινε εφαρμογή των διατάξεων των αμερικανικών κωδίκων. Οι δυσκολίες ανέκυψαν λόγω της υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής, αλλά και εξαιτίας παραγόντων όπως η μη διαθεσιμότητα υλικών υψηλής αντοχής, τα περιορισμένα πάχη διαθέσιμων ελασμάτων και η περιορισμένη γκάμα διαθέσιμων διατομών στην χώρα. Την πολυπλοκότητα της κατασκευής μεγιστοποιεί και ο δαιδαλώδης μηχανολογικός εξοπλισμός εντός του κτιρίου καθώς και μια σειρά δευτερευουσών κατασκευών/ικριωμάτων εντός του βασικού κτιρίου. Ταυτόχρονα, η ελλιπής διαφραγματική λειτουργία είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργείται σημαντική ένταση στον ασθενή άξονα μελών και συνδέσεων. Τέλος, οι αντισεισμικές διατάξεις οδήγησαν σε μη

τυπικές διαμορφώσεις ορισμένων συνδέσεων, οι οποίες αναλύθηκαν με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μεταλλικό κτίριο είναι ορθογωνικής κάτοψης. Η δυσκαμψία του στην εγκάρσια διεύθυνση στηρίζεται στην πλαισιακή λειτουργία ενώ στην διαμήκη στην ύπαρξη συνδέσμων ακαμψίας. Η θεμελίωσή γίνεται με πασσάλους, ενώ στο χαμηλότερο επίπεδο υπάρχουν και κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Σε διάφορα επίπεδα διατάσσονται δευτερεύουσες μεταλλικές κατασκευές εδραζόμενες επί των δαπέδων, η μη κανονικότητα των οποίων ως προς την κάτοψη τους δεν επιτρέπει την θεώρηση διαφραγματικής λειτουργίας στις εκάστοτε στάθμες. Στην στάθμη +27,0 m βρίσκεται γερανογέφυρα ικανότητας 90 t και η οροφή του διαμορφώνεται με δικτυωτές δοκούς. Η μελέτη των μεταλλικών στοιχείων έγινε λόγω μη ύπαρξης εναλλακτικής από τον κατασκευαστή με χάλυβα S235 και ελάσματα μέγιστου πάχους 80 mm. Παρά το ότι οι υποθέσεις για το φάσμα σεισμικών επιταχύνσεων αναφέρονται στον UBC 1997[1], μετά από απόφαση του κυρίου του έργου, χρησιμοποιήθηκαν οι διατάξεις που αναφέρονται στον AISC 341-10 [2] λαμβάνοντας υπόψιν τα εγκάρσια πλαίσια ως κατηγορίας OMF (συνήθη πλαίσια παραλαβής ροπών - ordinary moment frames) και τα διαμήκη πλαίσια ως κατηγορίας OCBF (συνήθη δεσμευμένα πλαίσια - ordinary concentrically braces frames). Επίσης, ειδικές διατάξεις προβλέφθηκαν για τα πέλματα του δικτυώματος οροφής καθώς αυτό συνδέεται με τα υποστυλώματα με τέτοιο τρόπο ώστε να συμμετέχει στην πλαισιακή λειτουργία.



Φωτ. 1 Τρισδιάστατο πλήρες μοντέλο κατασκευής

2. Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΤΟΥ AISC 341-10

Σύμφωνα με τις διατάξεις του AISC 341-10 οι κατασκευές κατηγοριοποιούνται σε 5 τύπους όπως προδιαγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

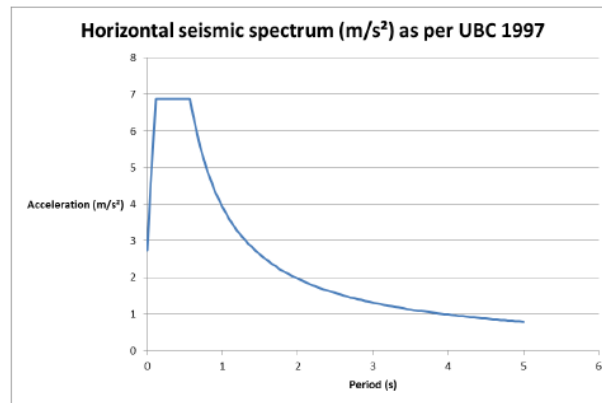
Σεισμική Κατηγορία	Τι σημαίνει?
A	Πολύ χαμηλή σεισμική ευπάθεια
B	Χαμηλή προς μέτρια σεισμική ευπάθεια
C	Μέτρια σεισμική ευπάθεια
D	Υψηλή σεισμική ευπάθεια
E & F	Πολύ υψηλή σεισμική ευπάθεια και εγγύτητα σε κρίσιμο σεισμικό ρήγμα

Τα κριτήρια κατηγοριοποίησης της κατασκευής είναι κυρίως ο τύπος χρήσης (κατηγορία λειτουργίας) και τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά. Τα δεδομένα για το κτίριο είναι τα παρακάτω:

- Κατηγορία λειτουργίας **IV**: Υψηλής σπουδαιότητας ως εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Τύπος εδάφους **S_D**: Ως αποτέλεσμα γεωτεχνικής μελέτης
- Σεισμική επιτάχυνση **S_{DS}** στο οριζόντιο πλατό του φάσματος απόκρισης: 0.70g

Για τα παραπάνω δεδομένα ο αντίστοιχος πίνακας του κανονισμού κατατάσσει την κατασκευή σε σεισμική κατηγορία D (υψηλή σεισμική ευπάθεια).

Zone	2B
Z	0.20
Soil profile type	S _D
Seismic coefficient C _v [%g*s]	0.40
Seismic coefficient C _a [%g]	0.28
T ₀ [s]	0.114
T _s [s]	0.57



Φωτ. 2 Φάσμα επιταχύνσεων

TABLE 11.6-1 SEISMIC DESIGN CATEGORY BASED ON SHORT PERIOD RESPONSE ACCELERATION PARAMETER

Value of S _{DS}	Occupancy Category		
	I or II	III	IV
S _{DS} < 0.167	A	A	A
0.167 ≤ S _{DS} < 0.33	B	B	C
0.33 ≤ S _{DS} < 0.50	C	C	D
0.50 ≤ S _{DS}	D	D	D

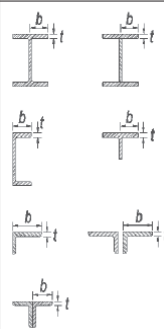
Φωτ. 3 Πίνακας κατηγοριοποίησης σεισμικής κατηγορίας για έδαφος τύπου D

Ο AISC 341-10 επιτρέπει την αποφυγή ειδικών αντισεισμικών ελέγχων (ικανοτικός σχεδιασμός) σε μέλη και συνδέσεις μόνο στην περίπτωση που υιοθετηθεί σεισμικός συντελεστής συμπεριφοράς R μικρότερος ή ίσος του 3 και με την προϋπόθεση ότι η

σεισμική κατηγορία της κατασκευής είναι A,B ή C. Συνεπώς, για τη σεισμική κατηγορία D που ανήκει η κατασκευή, η εφαρμογή των διατάξεων του AISC 341-10 ήταν αναπόφευκτη.

3.ΟΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ AISC 341-10 ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

Για τις συνδέσεις δοκού-υποστυλώματος των πλαισίων παραλαβής ροπών (OMF frames) τα μέλη προτείνεται να κατηγοριοποιηθούν ως «μετρίως πλαστικά», κάνοντας χρήση του αντίστοιχου πίνακα κατηγοριοποίησης διατομών που βρίσκεται στο σώμα του κανονισμού. Η κατάταξη των διατομών γίνεται βάση γεωμετρικών κριτηρίων. Για τις δοκούς δεν απαιτούνται αντηρίδες εγκάρσιας δέσμευσης των πελμάτων, ενώ δεν απαιτείται έλεγχος λόγου αντοχής υποστυλώματος/δοκού. Τα υποστυλώματα ελέγχονται επιπλέον υπό αξονική δύναμη ευρισκόμενη από τους σεισμικούς συνδυασμούς και πολλαπλασιασμένη με τον συντελεστή υπεραντοχής Ω_o . Για τα δεσμευμένα πλαίσια (OCBF frames) του διαμήκη άξονα είναι απαραίτητο να γίνει ο έλεγχος λυγηρότητας των συνδέσεων ακαμψίας χωρίς να υπάρχει κάποιος άλλος περιορισμός. Τέλος για τα πλαίσια στα οποία το ρόλο της δοκού τον αναλαμβάνει το γραμμικό δικτύωμα, καθώς είναι ανεπιθύμητη η ύπαρξη της πλαστικής άρθρωσης εντός του δικτύωματος, τα πέλαμα του καλούνται να αναλάβουν αξονικές δυνάμεις ίσες με αυτές που θα δημιουργούσαν μια ροπή στο υποστύλωμα ίση με την καμπτική του ικανότητα. Η πλαστική άρθρωση μεταφέρεται έτσι στη βάση του δικτύωματος, στο σημείο του υποστυλώματος, το οποίο δεσμεύεται πλήρως πλευρικά.

Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Example
		λ_{hd} Highly Ductile Members	λ_{md} Moderately Ductile Members	
Flanges of rolled or built-up I-shaped sections, channels and tees; legs of single angles or double angle members with separators; outstanding legs of pairs of angles in continuous contact	b/t	$0.30\sqrt{E/F_y}$	$0.38\sqrt{E/F_y}$	

Πιν. 1 Απόσπασμα πίνακα κατηγοριοποίησης διατομών AISC 341-10

4. ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ – OMF FRAMES

Οι συνδέσεις ροπής, αφού έχουν εξεταστεί οι διατομές τους και έχουν ορθώς κατηγοριοποιηθεί βάσει των απαιτήσεων του AISC 341-10, θα πρέπει να είναι σε θέση να παραλάβουν ροπή σύμφωνα με την εξ. (1) και τέμνουσα σύμφωνα με την εξ. (2) όπου το R_y ισούται με 1,5 για χάλυβα S235.

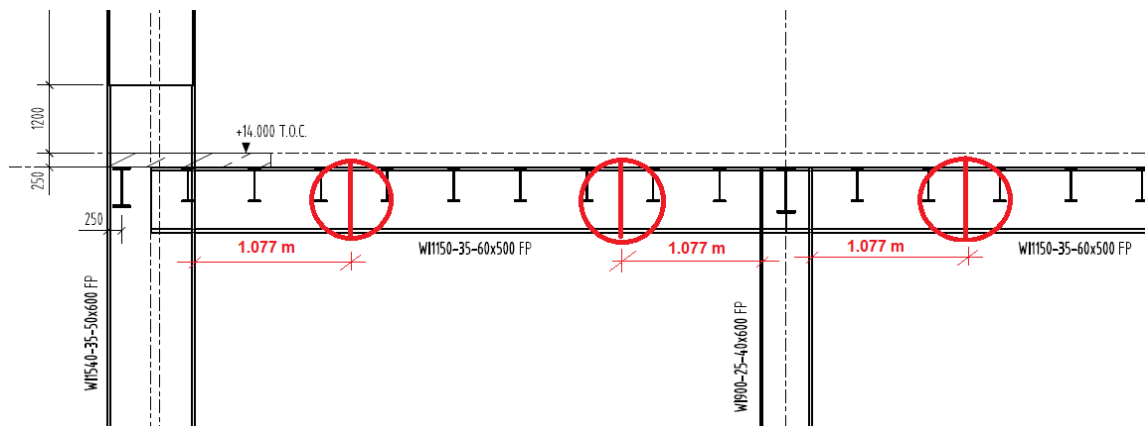
$$M = 1,1 * R_y * M_{plastic} \quad (1)$$

$$V = 2 * [1,1 * R_Y * M_{plastic}] / L_{cf} \quad (2)$$

Αυτομάτως λοιπόν οι συνδέσεις καλούνται να παραλάβουν τη ροπή αντοχής της δοκού αυξημένης κατά 65% και μια αντίστοιχα δυσμενή τέμνουσα. Αυτό σε συνδυασμό με την τυποποιημένη μορφή των επιτρεπόμενων συνδέσεων (prequalified connections) και με τη χαμηλή αντοχή του διαθέσιμου χάλυβα οδηγούσε σε μεγάλους λόγους αστοχίας. Η χρησιμοποίηση haunch –η οποία δεν προτείνεται από τους κανονισμούς σε περιοχές μεγάλης σεισμικότητας- δεν έλυσε το πρόβλημα και ο κύριος του έργου είχε αποκλείσει την λύση των RBS (reduced beam sections/Dog bone). Έτσι, η λύση που επιλέχθηκε ήταν η χρήση συγκολλητών συνδέσεων πλήρους διείδυσης δοκού-υποστυλώματος σε συνδυασμό με κοχλιωτή σύνδεση αποκατάσταση συνέχειας.

Η παράγραφος E.6b του AISC 341-10 [2], αναφέρει ότι οι συνδέσεις των OMF πλαισίων μπορούν να μην διαστασιολογηθούν με τη ροπή υπεραντοχής της εξ. (1) αρκεί τα πέλματα της δοκού να συγκολλούνται στο υποστυλώμα με συγκολλήσεις πλήρους διείδυσης, να εξασφαλίζεται η συνέχεια τους με χρήση λεπίδων ενίσχυσης και ο κορμός του υποστυλώματος να εξασφαλίζεται έναντι τέμνουσας η οποία θα προκύπτει από τις μέγιστες προκύπτουσες από τους συνδυασμούς δράσεων ροπές στα άκρα της δοκού, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η ροπή υπεραντοχής.

Καθώς οι συνδέσεις αυτές δεν ενδείκνυνται να κατασκευάζονται στο εργοτάξιο, έπρεπε να προβλεφθούν εργοταξιακοί κόμβοι (ματίσεις) για τη δοκό. Για να αποφευχθεί η ύπαρξη μάτισης σε περιοχή ενδεχόμενης δημιουργίας πλαστικής άρθρωσης, πράγμα που θα οδηγούσε σε μειωμένη ικανότητα παραλαβής ενέργειας, προσδιορίστηκε επακριβώς η θέση της κάθε πλαστικής άρθρωσης και υπολογίστηκε η μέγιστη δρώσα ροπή στη μάτιση, όπως στο παράδειγμα που ακολουθεί.



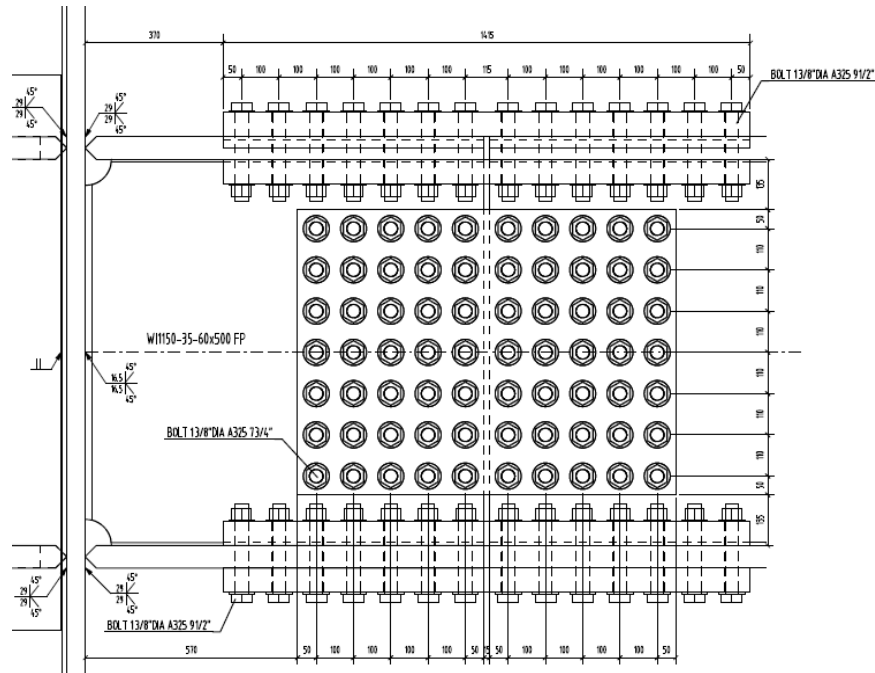
Φωτ. 4 Θέση ματίσεων πλαισιακού συστήματος OMF

Η απόσταση της πλαστικής άρθρωσης από την παρειά του υποστυλώματος προσδιορίζεται από την εξ (3) [3] όπου d_b το ύψος της δοκού και b_{fb} το πλάτος του πέλματος.

$$L_p = \min [d_b / 2; 3 * b_{fb}] \quad (3)$$

Ακολουθώς, προσδιορίζεται η τέμνουσα δράσης, ίση με το διπλάσιο της ροπής της εξ (1) διαιρεμένη με το μήκος μεταξύ πλαστικών αρθρώσεων. Τέλος, βάσει της απόστασης του σημείου της πλαστικής άρθρωσης με το κέντρο της μάτισης, υπολογίζεται η δρώσα ροπή

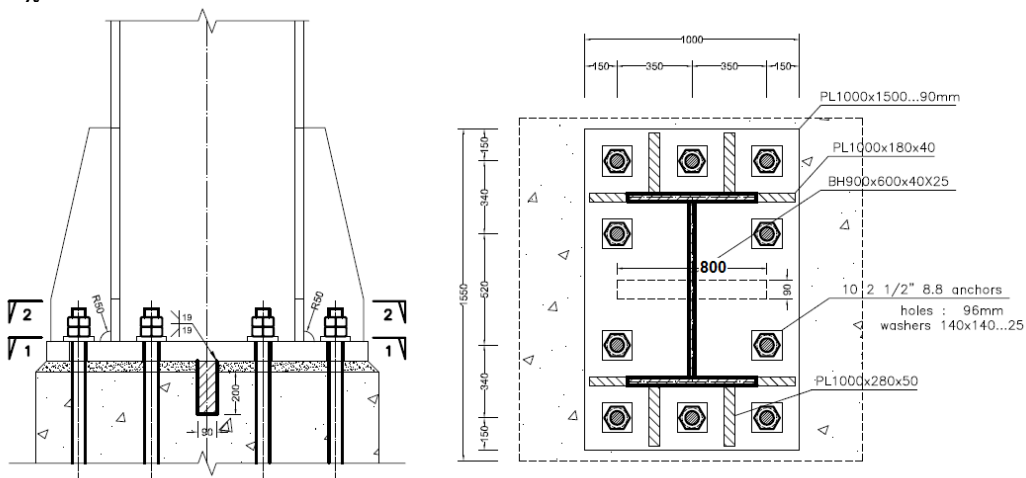
στη μάτιση, ως ένα ποσοστό της ροπής υπεραντοχής. Μια τυπική λεπτομέρεια του κόμβου όπως προκύπτει φαίνεται στην φωτ. 4.



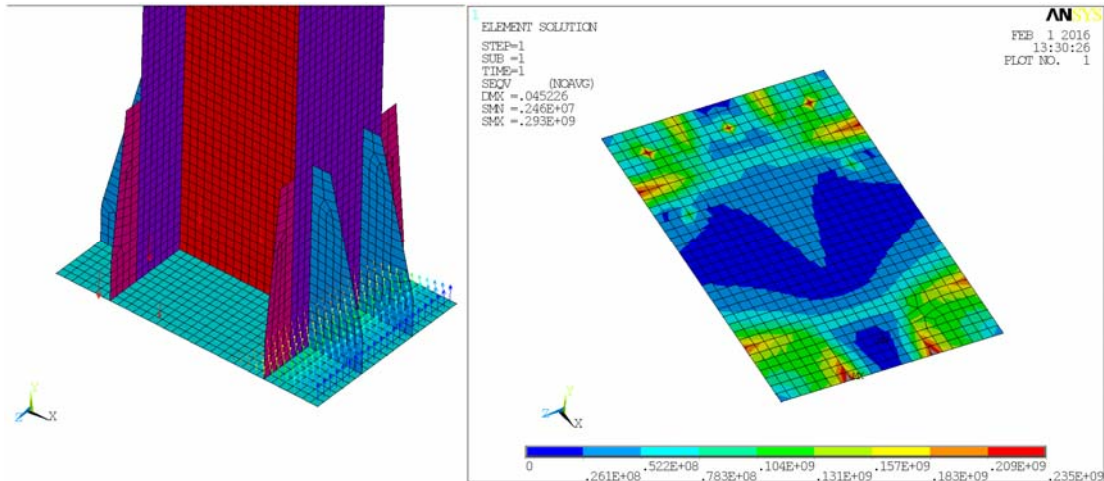
Φωτ. 5 Τυπική λεπτομέρεια κόμβου πλαισίου OMF

5. ΕΔΡΑΣΕΙΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Σύμφωνα με τον AISC 341-10 η μέγιστη αξονική δύναμη και η μέγιστη ροπή που θα πρέπει να δύναται να παραλάβει η έδραση θα πρέπει να μην είναι μικρότερη από τα αντίστοιχα εντατικά μεγέθη του υποστυλώματος που προκύπτουν από τους συνδυασμούς δράσεων λαμβανομένου υπόψιν του σεισμικού συντελεστή επαύξησης, ενώ η μέγιστη τέμνουσα θα είναι ίση με το λόγο της πλαστικής αντοχής του υποστυλώματος προς το ύψος του ορόφου. Τα προκύπτοντα εντατικά μεγέθη είναι σημαντικά και έχουν ως αποτέλεσμα τη μελέτη της κάθε έδρασης με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων.



Φωτ. 6 Διαμόρφωση έδρασης



Φωτ. 7 Μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων – τάσεις von Mises στην πλάκα έδρασης

6. ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στο σύνολο του φορέα βρίσκονται σε διάφορες στάθμες δευτερεύουσες κατασκευές για την υποστήριξη των σωληνώσεων. Τα μεγέθη τους ποικίλλουν από μικρά ικριώματα μέχρι και διαστάσεις μικρών κτιρίων. Για την αντιμετώπιση αυτών των κατασκευών αποφασίστηκε η απεμπλοκή τους από το κυρίως μοντέλο για την αποφυγή εμφάνισης παρασιτικών μαζών που θα οδηγούσε σε σφάλματα στην ιδιομορφική ανάλυση και η επίλυση τους ξεχωριστά. Στον κυρίως φορέα εισήχθησαν σαν σημειακά φορτία οι αντιδράσεις από τα μόνιμα και τα ωφέλιμα φορτία, ενώ κατά την επίλυση των δευτερευουσών κατασκευών υπό σεισμικές δράσεις θεωρήθηκε δυσμενώς η σεισμική επιτάχυνση στο πλατώ του φάσματος απόκρισης. Στην πραγματικότητα η όποια ευκαμψία του κύριου φορέα λειτουργεί σαν σεισμικός αποσβεστήρας για τις κατασκευές αυτές οδηγώντας σε μικρότερη τιμή σεισμικής τέμνουσας.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την εφαρμογή των αμερικανικών αντισεισμικών κανονισμών προέκυψαν μερικά πολύ χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά στις μελέτες κτιριακών έργων σε περιοχές υψηλής σεισμικότητας. Αρχικά, πρέπει να αποφεύγονται οι χάλυβες χαμηλής αντοχής καθώς πέραν του προφανούς των χαμηλών αντοχών υπό μεμονωμένα εντατικά μεγέθη οδηγούν και σε αύξηση του συντελεστή υπεραντοχής. Η προσέγγιση των αμερικανικών κανονισμών με τους τυποποιημένους τύπους συνδέσεων ανάλογα με την σεισμικότητα συχνά διευκολύνει τον μελετητή, αλλά εάν αυτός αποφασίσει να ακολουθήσει τις διατάξεις του AISC 341-10 συχνά περιορίζει τις επιλογές του. Η λύση των συγκολλητών συνδέσεων με ταυτόχρονη χρήση ματίσεων, διευκολύνει αρκετά τον μελετητή, αλλά οδηγεί συχνά σε κατασκευαστικά προβλήματα ειδικά όταν πρόκειται για δοκούς σύμμικτων δαπέδων. Η λύση της απομειωμένης διατομής (reduced beam section) με στοχευμένη μεταφορά της πλαστικής άρθρωσης σε συγκεκριμένο σημείο συχνά αποτελεί λύση σε αυτά τα ζητήματα εφόσον υπάρχει η τεχνογνωσία κατασκευής και μελέτης της. Τέλος, η χρήση πεπερασμένων στοιχείων κατά τη μελέτη των εδράσεων ενώ απαιτεί

αρκετό υπολογιστικό χρόνο, συχνά οδηγεί σε οικονομικότερες λύσεις ειδικά όσον αφορά στα προκύπτοντα πάχη των ελασμάτων.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Uniform Building Code 1997

[2] American Institute of Steel Construction “ANSI-AISC 341-10: Seismic provisions for structural steel buildings”

[3] American Institute of Steel Construction “AISC Steel Design Guide 4, Extended End-Plate Moment Connections, Seismic and Wind Applications”

APPLICATION OF THE AISC AND UBC ASEISMIC CODES IN THE STUDY OF AN ELECTICITY POWER STATION IN A HIGH SEISMIC RISK REGION

Ioannis Efthymiou

Structural Engineer, MSc
Computer Control Systems S.A.
Athens, Greece
e-mail: gefthi@ccs.gr

Anna Marinopoulou

Phd. Structural Engineer, MSc
Computer Control Systems S.A.
Athens, Greece
e-mail: annamar@ccs.gr

Stelios Petridis

Structural Engineer, MSc
Computer Control Systems S.A.
Athens, Greece
e-mail: spetridis@ccs.gr

Christos Saouridis

Phd. Structural Engineer, MSc
Computer Control Systems S.A.
Athens, Greece
e-mail: chrisa@ccs.gr

SUMMARY

This paper presents the basic technical difficulties encountered in the design of a steel building which was part of an industrial power plant and the related solutions proposed. The facility is being built in a developing country where intense seismic activity occurs. For the case study, the provisions of the American codes were applied. The difficulties were arisen due to the high seismic hazard of the area, but also due to factors such as the unavailability of high strength materials, the limited thicknesses of available plates and the limited range of available cross sections in the country. Complexity of the construction is maximized by the large network of mechanical equipment inside the building as well as by a great number of secondary structures / scaffolding within the main building. At the same time, the floors were not capable of working as full-diaphragms which resulted in significant tension in the weak members and connectors axis. Finally, seismic provisions led to non-standard configurations of some connections, which were analyzed by finite element method.

