

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ****Κ. Τάτσης<sup>1</sup>, Ν. Παπαδόπουλος<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Πολιτικός Μηχανικός, <sup>2</sup>Τεχνολόγος Μηχανικός Πληροφορικής  
CCS A.E.  
ΑΘΗΝΑE-mail : <sup>1</sup> [tatsisko@ccs.gr](mailto:tatsisko@ccs.gr) , <sup>2</sup> [nickpap@ccs.gr](mailto:nickpap@ccs.gr)**Ι. Βάγιας**

Καθηγητής

ΕΜΠ, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
ΑΘΗΝΑE-mail: [vastahl@central.ntua.gr](mailto:vastahl@central.ntua.gr)**1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των δομικών έργων καθοδηγούνται από την ανάγκη ανάπτυξης ποιοτικών, γρήγορων και οικονομικών κατασκευών με γνώμονα τις απαιτήσεις ασφάλειας, λειτουργικότητας και χρηστικότητας. Ως αποτέλεσμα προέκυψε η χρήση λεπτότοιχων δομικών στοιχείων από διατομές ψυχρής διαμόρφωσης σε μεταλλικά συστήματα ραφιών αποθήκευσης.

Τα μεταλλικά συστήματα αποθήκευσης είναι πολύ ιδιαίτερες κατασκευές. Τα συστήματα αυτά είναι κατασκευές από λεπτότοιχες διατομές, οι οποίες μπορούν να υπόκεινται σε ωφέλιμα φορτία πολύ μεγαλύτερα από το ίδιο βάρος τους. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την σχεδίαση των συνήθων έργων όπου 'βαριές' κατασκευές δημιουργούνται για να αντέξουν φορτία αρκετά μικρότερα από τις ίδιες. Τέτοια ελαφρά μεταλλικά συστήματα είναι στις σημερινές συνθήκες πολύ συνήθη, εξαιτίας της ολοένα και μεγαλύτερης ανάγκης για αποθηκευτικούς χώρους με ιδιαίτερες απαιτήσεις πρόσβασης και διαμόρφωσης.

**2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

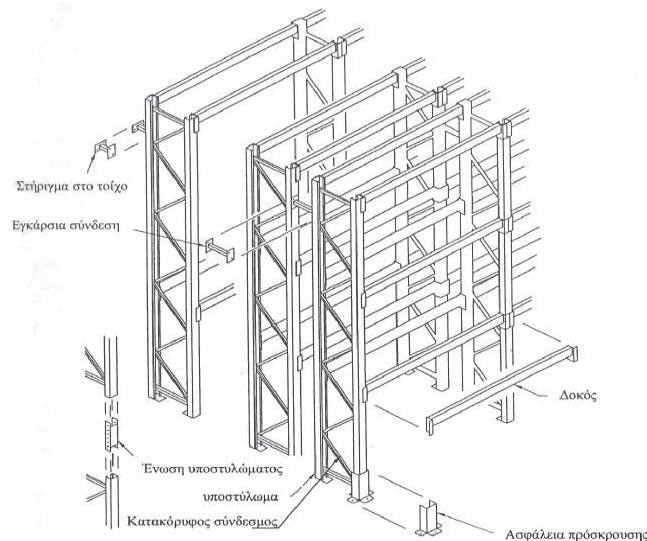
Η πρόβλεψη της συμπεριφοράς συστημάτων αποθήκευσης από λεπτότοιχες διατομές είναι συχνά δύσκολη. Η αυξημένη ευαισθησία τους σε φαινόμενα αστάθειας έχει ως αποτέλεσμα η μελέτη και ο έλεγχος να διέπονται από ειδικές πρόσθετες διατάξεις οι οποίες αποτελούν αντικείμενο ιδιαίτερων κανονισμών και προδιαγραφών. Πολλές φορές τα φαινόμενα είναι τόσο σύνθετα, ώστε ο σχεδιασμός να απαιτεί εφαρμογή συνδυασμού πειραματικών και αναλυτικών μεθόδων. Η σχεδίαση γίνεται ακόμα πιο πολύπλοκη όταν

τέτοια μεταλλικά συστήματα αποθήκευσης κατασκευάζονται σε σεισμικές περιοχές, όπου υπόκεινται σε οριζόντιες δυναμικές φορτίσεις.

Τα αποτελέσματα της συμπεριφοράς αυτών των κατασκευών σε σεισμικές δυνάμεις παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία. Προς τούτο αναπτύχθηκε από τη CCS σε συνεργασία με το ΕΜΠ και άλλους φορείς ειδικό λογισμικό με την ονομασία AutoRack, το οποίο επιτρέπει την ανάλυση και διαστασιολόγηση μεταλλικών συστημάτων ραφιών από διατομές ψυχρής ελάσεως χρησιμοποιώντας τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς FEM 10.2.02 και FEM 10.2.08.

### 3. ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Μια γενική παρουσίαση των μεταλλικών συστημάτων ραφιών αποθήκευσης δίνεται στο Σχήμα 3.1. Τα βασικά δομικά στοιχεία των συστημάτων ραφιών αποθήκευσης είναι τα υποστυλώματα, οι δοκοί στήριξης και οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας.



Σχήμα 3.1 – Δομικά στοιχεία μεταλλικών συστημάτων ραφιών αποθήκευσης

Οι διατομές των υποστυλωμάτων είναι λεπτότοιχες ψυχρής διαμόρφωσης. Για τη σύνδεση των δοκών προβλέπονται οπές διαφόρων μορφών στα υποστυλώματα. Η αντοχή των υποστυλωμάτων επηρεάζεται από φαινόμενα τοπικού λυγισμού, με ή χωρίς στρέβλωση της διατομής και καθολικού καμπτικού ή στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.

Οι δοκοί στήριξης αποτελούνται κύρια από ανοικτές ή κλειστές λεπτότοιχες διατομές ψυχρής διαμόρφωσης. Για μικρά ωφέλιμα φορτία χρησιμοποιούνται συνήθως ανοικτές διατομές μορφής I. Η πλεονεκτικότερη και συνηθέστερη διατομή είναι το ορθογώνιο κιβώτιο, το οποίο αποτελείται από δύο διατομές U ψυχρής έλασης οι οποίες κουμπώνουν μεταξύ τους. Παρά το ότι οι επιμέρους διατομές είναι ανοικτές και μη συμμετρικές ως προς τον κατακόρυφο άξονα z, η συνολική διατομή έχει λόγω του κουμπώματός της ιδιότητες κιβωτοειδούς διατομής με αυξημένη δυστρεψία. Η αστοχία αυτής της διατομής οφείλεται κατά κανόνα σε διαρροή και τοπικό λυγισμό του θλιβόμενου πέλματος. Στρεπτοκαμπτικός λυγισμός δεν παρουσιάζεται λόγω μεγάλης δυστρεψίας. Ο κίνδυνος τοπικού λυγισμού μειώνεται λόγω παρουσίας των εγκάρσιων συγκεντρωμένων φορτίων.

Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις κατακόρυφες ράβδους δυσκαμψίας οι οποίες συνδέονται με τα υποστυλώματα κατά την εγκάρσια διεύθυνση. Αποτελούνται κατά κανόνα από διατομές C με ακραίες νευρώσεις. Η γωνία κλίσης των ράβδων κυμαίνεται μεταξύ 20° και 70°. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τους κατακόρυφους και οριζόντιους χιαστί συνδέσμους συδκαμψίας. Αυτοί οι σύνδεσμοι λειτουργούν ως στοιχεία τα οποία παραλαμβάνουν μόνο εφελκυστικές δυνάμεις που προέρχονται κυρίως από σεισμικές δράσεις.

#### 4. ΒΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Οι συστάσεις του FEM σε ότι αφορά τη διαστασιολόγηση και την ανάλυση λεπτότοιχων διατομών ψυχρής διαμόρφωσης βασίζονται κυρίως στους ευρωπαϊκούς κανονισμούς και κυρίως στον Ευρωκώδικα 3, Μέρος 1.3 και στον Ευρωκώδικα 8.

Τα φορτία διακρίνονται σε μόνιμα τύπου G, μεταβλητά (ωφέλιμα) τύπου Q και σεισμικά τύπου E. Τα μόνιμα φορτία (G) αποτελούνται από τα ίδια βάρη της φέρουσας κατασκευής. Τα ωφέλιμα φορτία (Q) αποτελούνται από το άθροισμα του ίδιου βάρους της παλέτας και του αντίστοιχου φορτίου της. Κατά τη στατική επίλυση του φορέα θεωρούνται ομοιόμορφα κατανομημένα στη δοκό. Τέλος, η συμπεριφορά των παραπάνω κατασκευών έναντι σεισμού εξαρτάται από το σύστημα παραλαβής των οριζόντιων φορτίων (πλαίσια, σύνδεσμοι ακαμψίας) και τη συμπεριφορά των κόμβων υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Για τον αντισεισμικό έλεγχο προτείνεται να μην λαμβάνονται υπόψη ανελαστικές παραμορφώσεις, πράγμα που οδηγεί σε ελαστικό σχεδιασμό με συντελεστή συμπεριφοράς από 1 έως 1.5. Ο FEM 10.2.08, ανάλογα με τη μόρφωση του φορέα, δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί  $q > 1.5$ , αν ικανοποιηθούν πρόσθετες διατάξεις.

Η σεισμική συμπεριφορά μπορεί να είναι ιδιαίτερα διαφορετική μεταξύ της εγκάρσιας και διαμήκουσ διεύθυνση της κατασκευής. Επιπλέον, η συμπεριφορά της κατασκευής υπό σεισμικές δράσεις επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος και την κατανομή των μαζών καθ' ύψος του φορέα.

#### 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Το παρόν άρθρο αναφέρεται στην ανάλυση και διαστασιολόγηση των μεταλλικών συστημάτων ραφιών αποθήκευσης όταν αυτά υπόκεινται σε σεισμικές δράσεις. Η χρήση των λεπτότοιχων διατομών ψυχρής διαμόρφωσης έχει ως αποτέλεσμα να εφαρμόζεται ελαστική μέθοδος ανάλυσης και ελέγχου. Η ανάλυση γίνεται στο τρισδιάστατο φορέα. Οι ράβδοι εισέρχονται στους υπολογισμούς με τις ιδιότητες της πλήρους διατομής (κεντροβαρικοί άξονες, εμβαδά, ροπές αδράνειας κλπ). Η συμπεριφορά των συνδέσεων (κόμβων δοκών – υποστυλωμάτων, βάσεων υποστυλωμάτων) λαμβάνεται υπόψη με εισαγωγή κατάλληλων ελατηρίων. Η δυσκαμψία των βάσεων υποστυλωμάτων εξαρτάται από την αξονική δύναμη του υποστυλώματος. Οι γεωμετρικές ατέλειες του συνολικού φορέα (αρχική κλίση) δεν λαμβάνονται υπόψη υπό τις προϋποθέσεις του Ευρωκώδικα 3 (τέμνουσα βάση > 15% του συνολικού βάρους). Οι τοπικές ατέλειες μελών (αρχική καμπυλότητα) επίσης δεν λαμβάνονται υπόψη, πράγμα που οδηγεί στην απαίτηση ελέγχου λυγισμού μελών.

Η ανάλυση γίνεται με τη θεωρία 1<sup>ης</sup> ή 2<sup>ης</sup> τάξης ανάλογα με τη δυσκαμψία του συστήματος (Πίνακας 5.1).

Ιδιότητες συστήματος	$\alpha_{cr} \leq 0,1$	$0,1 \leq \alpha_{cr} \leq 0,3$	$\alpha_{cr} \geq 0,3$
Περιγραφή φορέα	Δύσκαμπτος	Εύκαμπτος	Πολύ εύκαμπτος
Ανάλυση με	Θεωρία 1ης τάξης	Απλοποιημένη θεωρία 2ης τάξης	Θεωρία 2ης τάξης

Πίνακας 5.1 – Μέθοδοι ανάλυσης για φορείς μεταλλικών συστημάτων αποθήκευσης

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι η περιγραφή του φορέα ως δύσκαμπτου ή εύκαμπτου μπορεί να είναι διαφορετική στις δύο κύριες διευθύνσεις, οπότε η σεισμική δράση εξετάζεται ως προς τις δύο κύριες διευθύνσεις. Ο έλεγχος  $\alpha_{cr}$  εφαρμόζεται για κάθε επίπεδο όπου τρέχουν ράφια και δίνεται από την εξ. (3):

$$\alpha_{cr} = \left( \frac{P_{tot} \times d_r}{V_{tot} \times h} \right) \leq 0,10 \tag{3}$$

όπου:

$\alpha_{cr}$ : δείκτης ευστάθειας

$P_{tot}$ : συνολική αξονική δύναμη του ορόφου υπό το σεισμικό συνδυασμό

$D_r$ : ελαστική σχετική μετακίνηση των επιπέδων των ραφιών, πολλαπλασιασμένη με τον αντίστοιχο συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  για κάθε διεύθυνση

$V_{tot}$ : συνολική τέμνουσα δύναμη του ορόφου υπό το σεισμικό συνδυασμό

Οι συντελεστές ασφαλείας των αντιστάσεων για την οριακή κατάσταση αστοχίας έχουν τις παρακάτω τιμές:

- Καθολικός λυγισμός ή κύρτωση διατομών κατηγορίας 4:  $\gamma_{M1} = 1,1$

Οι δράσεις για το σεισμικό συνδυασμό δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 5.2.

	Διαμήκης διεύθυνση	Εγκάρσια διεύθυνση
Σεισμικός συνδυασμός	Μόνιμα $G$ Κινητά $E_{D2} \times Q_1$ Σεισμός $E_{D1} \times E_x$	Μόνιμα $G$ Κινητά $E_{D2} \times Q_1$ Σεισμός $E_{D1} \times E_y$

Πίνακας 5.2 – Εξεταζόμενες δράσεις

Όπου:

$E_{D1}$ : συντελεστής φάσματος σχεδιασμού

$E_{D2}$ : συντελεστής μάζας από κινητά φορτία

Η ανάλυση επαναλαμβάνεται τόσες φορές όσες και ο αριθμός των επιπέδων όπου τρέχουν οι δοκοί του φορέα. Με αυτό τον τρόπο προσομοιώνονται διαφορετικές περιπτώσεις φόρτισης των επιπέδων των ραφιών όπως αυτές επιβάλλονται από τον FEM 10.2.08.

Η πιθανή ολίσθηση των παλετών σε σχέση με τις δοκούς που εδράζονται ελέγχεται σε κάθε στάθμη δοκών με βάση τη σχέση (4):

$$\frac{a_{g,i}}{g} \geq \gamma_{ms} \cdot \mu_s \tag{4}$$

όπου:

$a_{g,i} / g$  είναι ο σεισμικός συντελεστής του ορόφου

$\gamma_{ms} = 1$  συντελεστής ασφαλείας και

$\mu_s$  συντελεστής τριβής παλέτας – δοκού

Ο έλεγχος γίνεται στις οριακές καταστάσεις αστοχίας (ΟΚΑ) και λειτουργικότητας (ΟΚΛ). Στην ΟΚΑ είναι μεγαλύτερος ο συντελεστής  $a_{g,i} / g$ , αλλά λαμβάνεται μια ανώτερη τιμή του  $\mu_s$  ενώ στην ΟΚΛ είναι μικρότερος ο συντελεστής  $a_{g,i} / g$ , αλλά λαμβάνεται μια κατώτερη τιμή του  $\mu_s$ .

Ο έλεγχος αντοχής διατομών γίνεται για ναδειχθεί ότι τα μεγέθη αντοχής είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα μεγέθη των δράσεων. Οι κύριοι έλεγχοι των μελών που λαμβάνουν χώρα στη διαμήκη και στην εγκάρσια διεύθυνση υπό σεισμικές δράσεις φαίνονται στον Πίνακα 5.3.

Στοιχεία	Διαμήκη διεύθυνση	Εγκάρσια διεύθυνση
Υποστυλώματα	Με συνδέσμους ακαμψίας: α) θλίψη και λυγισμός β) εφελκυσμός και λυγισμός Χωρίς συνδέσμους ακαμψίας: α) θλίψη και κάμψη β) εφελκυσμός και θλίψη	α) θλίψη και κάμψη β) εφελκυσμός και κάμψη
Σύνδεσμοι ακαμψίας υποστυλωμάτων	α) θλίψη και εφελκυσμός β) εφελκυσμός	α) εφελκυσμός και θλίψη β) εφελκυσμός
Δοκοί	Με συνδέσμους ακαμψίας: α) εφελκυσμός και θλίψη Χωρίς συνδέσμους ακαμψίας: α) κάμψη στο κατακόρυφο επίπεδο	α) κάμψη και διάτμηση
Κατακόρυφοι χιαστοί σύνδεσμοι ακαμψίας	α) εφελκυσμός	-
Οριζόντιοι χιαστοί σύνδεσμοι ακαμψίας	α) εφελκυσμός	-
Συνδέσεις δοκού – υποστυλώματος	α) διάτμηση και θλίψη	-

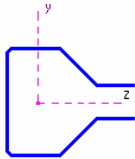
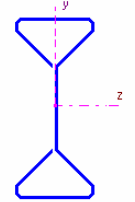
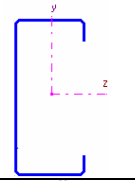

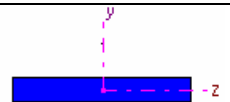
Πίνακας 5.3 – Έλεγχοι μελών υπό σεισμική δράση

## 6. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

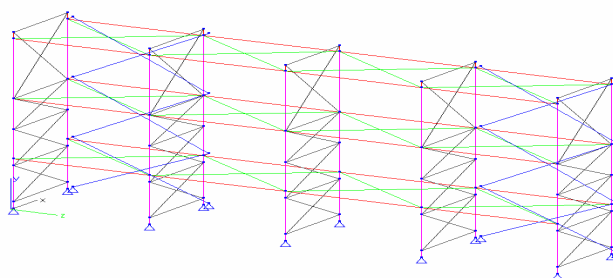
### 6.1 Περιγραφή μοντέλου

Ακολουθεί παράδειγμα εφαρμογής μεταλλικών συστημάτων ραφιών αποθήκευσης χρησιμοποιώντας το λογισμικό AutoRack. Το μοντέλο (βλ. Σχήμα 6.1) αποτελείται από τέσσερις στήλες χώρων αποθήκευσης συνολικού μήκους έξι μέτρων. Οι στάθμες των ραφιών βρίσκονται στα 830mm, στα 1830mm και στα 2830mm. Το συνολικό ύψος της κατασκευής είναι ίσο με 2930mm. Τα δοκάρια των ραφιών έχουν μήκος 1500mm και το

αντίστοιχο τους πλάτος είναι ίσο με 1037mm. Οι κατακόρυφοι χιαστοί σύνδεσμοι τοποθετούνται ανά στάθμη στην πρώτη και τέταρτη στήλη, ενώ οι οριζόντιοι σύνδεσμοι τοποθετούνται σε κάθε ράφι. Οι διατομές που χρησιμοποιήθηκαν είναι λεπτότοιχες ψυχρής διαμόρφωσης τύπου DEXION και περιγράφονται στον παρακάτω Πίνακα 6.1.

Στοιχεία	Διατομές	Σχήμα
Υποστυλώματα	P100/25	
Δοκοί	Silver-IT125/19	
Σύνδεσμοι ακαμψίας υποστυλωμάτων	R	
Κατακόρυφοι χιαστοί σύνδεσμοι ακαμψίας	Λεπίδες 50x4	
Οριζόντιοι χιαστοί σύνδεσμοι ακαμψίας	Λεπίδες 40x3	

Πίνακας 6.1 – Διατομές στοιχείων μοντέλου



Σχήμα 6.1 – Περιγραφή μοντέλου εφαρμογής

Το συνολικό φορτίο κάθε στήλης είναι ίσο με 1800kg, το οποίο μοιράζεται εξίσου στις τρεις στάθμες του μοντέλου. Η σεισμική επιτάχυνση του εδάφους είναι ίση με 0,16g, ενώ ο συντελεστής σπουδαιότητας κατά FEM 10.2.08 είναι ίσος με IV. Η κατηγορία εδάφους είναι σεισμικής επικινδυνότητας A και οι αντίστοιχες τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς  $\eta$  είναι ίσος με 1,5 και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις. Οι συντελεστές  $E_{D1}$  και  $E_{D2}$  είναι ίσοι με 0,80 και 0,65 αντίστοιχα. Ο αντισεισμικός υπολογισμός παρουσιάζεται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. Οι μάζες του σεισμικού συνδυασμού προέρχονται από τα μόνιμα

φορτία και τα οιονεί μόνιμα τμήματα των ωφέλιμων φορτίων και εν προκειμένω από τους συνδυασμούς που περιγράφονται στον Πίνακα 5.2. Η συνολική ταλαντώμενη μάζα είναι 4,68 τόνοι και ο υπολογισμός γίνεται με τη φασματική μέθοδο. Διαπιστώνεται από την ανάλυση ότι με τις πρώτες 11 ιδιομορφές προσεγγίζεται η συμμετοχή 97,45% της συνολικής μάζας κατά την εγκάρσια διεύθυνση και αντίστοιχα 99,02% της συνολικής μάζας κατά τη διαμήκη διεύθυνση.

### 6.2 Αποτελέσματα

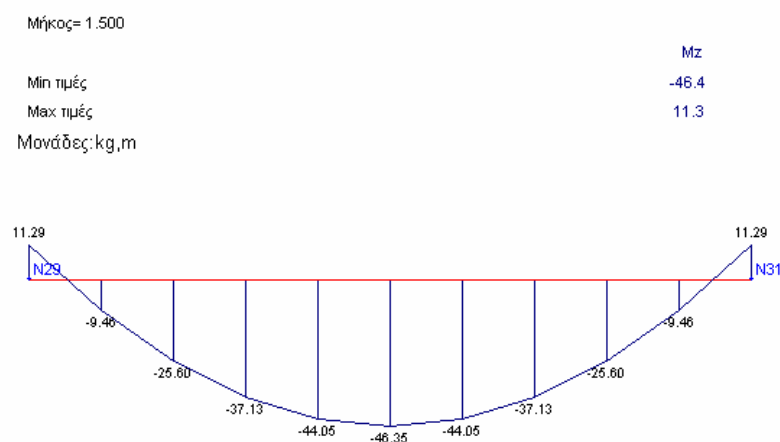
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης επιτρέπουν την εφαρμογή θεωρίας 1<sup>ης</sup> τάξεως όπως φαίνεται από τον Πίνακα 6.2. Η εξέταση γίνεται για όλους τους σεισμικούς συνδυασμούς υπολογίζοντας τους αντίστοιχους λόγους μεταθετότητας και για τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις.

Μάζες από επίπεδο ν και άνω	επίπεδο	διεύθυνση	$\alpha_{cr}$	χαρακτηρισμός
2	1	Z (διαμήκης)	0.0999	αμετάθετο
2	2	Z (διαμήκης)	0.0193	αμετάθετο
3	3	Z (διαμήκης)	0.0125	αμετάθετο
2	2	X (εγκάρσια)	0.0167	αμετάθετο
2	2	X (εγκάρσια)	0.0072	αμετάθετο
3	3	X (εγκάρσια)	0.002	αμετάθετο

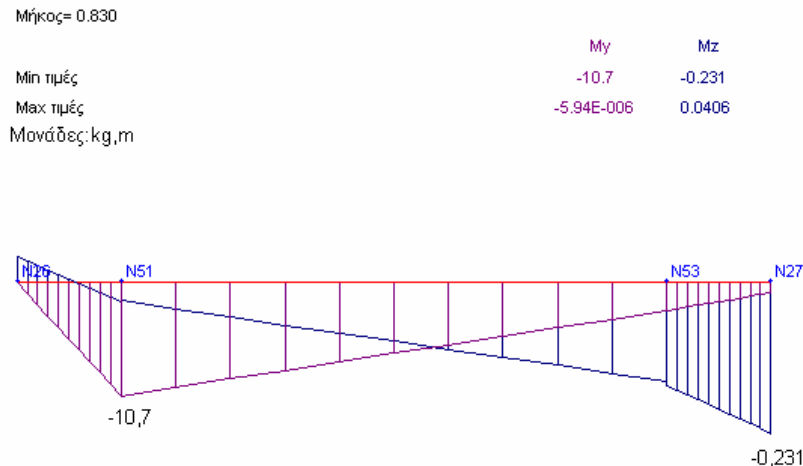
Πίνακας 6.2 – Έλεγχος μεταθετότητας

Η μέγιστη πλευρική μετατόπιση  $\delta = 1,037\text{mm}$  κατά τη διαμήκη διεύθυνση z βρέθηκε για τον φορέα που έχει φορτία σε όλα τα επίπεδα.

Ενδεικτικά δίνονται στα Σχήματα 6.2 και 6.3 τα διαγράμματα ροπών για σεισμικό συνδυασμό για μια δοκό και ένα υποστύλωμα για το μοντέλο 1.



Σχήμα 6.2 – Διάγραμμα ροπών δοκού για σεισμική φόρτιση



Σχήμα 6.3 – Διάγραμμα ροπών υποστυλώματος για σεισμική φόρτιση

### 6.3 Έλεγχοι

Οι έλεγχοι κάθε μέλους έγιναν σύμφωνα με τον Πίνακα 5.3. Οι αναλύσεις έγιναν με θεωρία 1<sup>ης</sup> τάξης, χωρίς να εξετασθούν ατέλειες μελών. Οι έλεγχοι γίνονται έναντι όλων των σεισμικών συνδυασμών. Για τον έλεγχο μελών των υποστυλωμάτων τα μήκη λυγισμού διαφέρουν στα δύο επίπεδα. Το μήκος λυγισμού στη διαμήκη διεύθυνση είναι ίσο με την απόσταση μεταξύ των δοκών καθ' ύψος. Στην εγκάρσια διεύθυνση, όπου διατάσσονται σύνδεσμοι, το μήκος λυγισμού εξαρτάται από την απόσταση που τέμνουν το υποστύλωμα οι ράβδοι του συνδέσμου ακαμψίας. Αυτή είναι και η απόσταση της πλευρικής στήριξης για έλεγχο έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού. Για τα υπόλοιπα μέλη της μεταλλικής κατασκευής τα μήκη λυγισμού είναι ίσα με τα πραγματικά μήκη των στοιχείων και για τις δύο διευθύνσεις.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι το σημαντικότερο κριτήριο είναι η μέθοδος ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθεί ανάλογα με την περιγραφή του φορέα έχοντας ως κριτήριο το συντελεστή ευστάθειας  $\alpha_{cr}$ . Οι κατασκευές, που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση σημαντικών φορτίων σε κάθε επίπεδο ραφιών και μάλιστα συχνά φτάνοντας σε σημαντικό ύψος (σύνηθες 9 – 12 μ), είναι ιδιαίτερα ευαλισθητές έναντι πλευρικής αστάθειας όταν υπόκεινται σε οριζόντιες φορτίσεις και εν προκειμένω σε σεισμικές δράσεις. Προς αποφυγή αυτής της συμπεριφοράς συνίσταται να προσδίδεται μεγαλύτερη ακαμψία στην κατασκευή με τη χρήση κατακόρυφων χιαστί συνδέσμων κατάλληλης μορφής και τύπου. Τα μέχρι στιγμής αποτελέσματα δείχνουν ότι κρίσιμα θεωρούνται τα μοντέλα εκείνα που έχουν μόνο το τελευταίο τους επίπεδο φορτωμένο. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ενδείκνυται τα φορτία να είναι ομοιόμορφα μοιρασμένα στα διάφορα επίπεδα της κατασκευής.



## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΒΑΓΙΑΣ Ι.Κ, DUBINA D, ‘ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ από λεπτότοιχες διατομές ψυχρής διαμόρφωσης’,2004, 483 – 518
- [2] FEM 10.2.02: The design of Steel Static Pallet Racking and Shelving, 2000
- [3] PrFEM 10.2.08, ‘Recommendations for the design of static steel pallet racks under seismic conditions’,2005, 19 – 50
- [4] CASTIGLIONI C. and al, ‘Storage racks in seismic areas (Seisracks), Research program of the European Commission RFS-CR-04045,2<sup>nd</sup> to 4<sup>th</sup> Intermediate reports (2005-2007)
- [5] CCS A.E ‘Λυμένα παραδείγματα παραμετρικών μελετών συστημάτων ραφιών από λεπτότοιχες διατομές ψυχρής διαμόρφωσης’,2007
- [6] EN 1993-1-3 (2006), Design of Steel Structures, Part 1.3: General Rules, Supplementary Rules for Cold-Formed Thin-Gauge Members and Sheeting, CEN/TC 250/SC3 – European Committee for Standardization, Brussels. (2006)
- [7] EN 1998-1 (2006) Eurocode 8, Earthquake resistant design of Structures, Part 1 – 1, General rules and rules for buildings, CEN

## ANALYSIS AND DESIGN OF STEEL RACKING STRUCTURES ACCORDING TO EUROPEAN REGULATIONS

**K. Tatsis<sup>1</sup>, N. Papadopoulos<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Civil Engineer, <sup>2</sup>Software Engineer

CCS A.E.

ATHENS

E-mail :<sup>1</sup> [tatsisko@ccs.gr](mailto:tatsisko@ccs.gr) , <sup>2</sup> [nickpap@ccs.gr](mailto:nickpap@ccs.gr)

**I. Vayas**

Professor

NTUA, School of Civil Engineering

ATHENS

e-mail: [vastahl@central.ntua.gr](mailto:vastahl@central.ntua.gr)

### 1. SUMMARY

Racking systems are not ‘buildings’ but very peculiar steel structures. They are different from buildings for the use, for the loads to be supported, for the geometrical dimensions and for the steel components, mainly made of thin gauge perforated profiles, which only can ensure the typical functionality, adaptability and flexibility needed for the huge variability of requirements in storing goods.

In fact, many specific physical phenomena affect the structural behavior of a racking system during an earthquake, such as the energy dissipation in the stored goods, or the sliding effect that can occur between pallets and beams when the seismic forces exceed certain limits, depending on the intensity of the accelerations but also on the actual friction between the contact surfaces. Furthermore, it is to be considered that the variable loads, can result in more than 95% of the total mass, differently from buildings where dead weight and permanent loads sum generally in a significant percentage. Therefore their presence and distribution on racking systems affect very much the response of the structure under seismic actions.

The decision of theory which the analysis takes place is of great importance. Second order effects in such structures are very common that is why the designer needs to know whether second order analysis is needed for a specific structure. In addition, the seismic response as the analysis shown could be significantly different in down – aisle direction and in cross – aisle direction, and could be considerably affected by the size and the distribution of the masses along the height. Reliable statistical evaluation is necessary to find the most probable mass distribution when the earthquake arises, depending on the racking system topology and dimensions.