

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ & ΕΙΔΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ EC8

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- I. Γενικά – Θεωρητικές υπενθυμίσεις
- II. Τα στατικά συστήματα παραλαβής των οριζοντίων ωθήσεων (ανέμου, σεισμού κτλ) στις κατασκευές από χάλυβα.
- III. Γενικό πλαίσιο & συναφείς διατάξεις του EC8 για τις χαλύβδινες κατασκευές.
- IV. Αμιγή πλάστιμα καμπτικά πλαίσια (MRFs)
- V. Αμιγείς πλάστιμοι σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα (CBFs)
- VI. Αμιγείς πλάστιμοι σύνδεσμοι με εκκεντρότητα (EBFs)
- VII. Κατασκευές αντεστραμμένου εκκρεμούς
- VIII. Διάφορες παρατηρήσεις

Συνιστώμενη ειδική βιβλιογραφία : Βλέπε CD.

I. ΓΕΝΙΚΑ – ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΕΙΣ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Μορφή ελαφράς προκατασκευής

Ταχύτητα κατασκευής και ανέγερσης (τυποποίηση).

Μικρά ίδια βάρη φορέα

(μέχρι και 60% μείωση σε σχέση με το ΟΣ σε πολυόροφο κτίριο).

Η οικονομικότητα επιδιώκεται με:

- Μικρές διατομές ράβδων
- Απλές και ασφαλείς συνδέσεις.
- Τυποποίηση (κόστος εργατικών 45-55% του συνολικού).

Ιδιαίτερα στατικά συστήματα.

- Φορείς ισοστατικοί είτε με σχετικά μικρό βαθμό στατικής αοριστίας.
- Δικτυωτές δοκοί και ζυγώματα.
- Κατακόρυφοι δικτυωτοί σύνδεσμοι αντί τοιχείων.
- Απαιτήση εξασφάλισης διαφραγματικής λειτουργίας.

Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας – ΟΚΑ (ultimate limit states-ULS)

Απαιτείται μέριμνα για την αποφυγή απώλειας της ευστάθειας (stability)

- Σε επίπεδο διατομής – κύρτωση (local buckling).
- Σε επίπεδο ράβδου – λυγισμός, στρέβλωση, καμπτικός και καμπτοστρεπτικός λυγισμός (buckling, lateral buckling, lateral-torsional buckling).
- Σε επίπεδο φορέα (P-Δ, Θεωρίες II. Τάξης).

Ο. Κ. Λειτουργικότητας – ΟΚΛ (serviceability limit states-SLS)

Συχνά είναι καθοριστικές (απαιτείται κυρίως δυσκαμψία και όχι αντοχή).

Έλεγχοι :

- βέλους δοκών
- σχετικής και ολικής μετάθεσης (drift) ορόφων.

ΠΛΑΣΤΙΜΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (DUCTILE DESIGN)

πλαστιμότητα (ductility) : ικανότητα ανελαστικής παραμόρφωσης.

Χάλυβας ως υλικό:	πλάστιμο
Χαλύβδινες κατασκευές:	Ίσως μη-πλάστιμες

EC-3

Επιτρέπει υπό όρους τον **πλαστικό υπολογισμό της έντασης** του φορέα (plastic global analysis) υπό μονότονη καταπόνηση.

Κατηγοροποίηση των διατομών σε κλάσεις: οριοθέτηση του κίνδυνου κύρτωσης της διατομής κατά την πορεία εξάντλησης των περιθωρίων αντοχής της:

Μέθοδος σχεδιασμού	Υπολογισμός Έντασης φορέα	Απόκριση διατομής	Επιτρεπόμενες κλάσεις
P-P	Πλαστικός - P	Πλαστική - P	1
E-P	Ελαστικός - E	Πλαστική - P	1,2
E-E	Ελαστικός - E	Ελαστική - E	1,2,3
E-E.red	Ελαστικός - E	Ελ.μειωμένη - E.red	1,2,3,4
NL- E.red	Nonlinear (NL)	Ελ.μειωμένη - E.red	Λεπτότοιχες διατομές (στραντζαριστά)

Σημερινό τυπικό status: η μέθοδος E-P.

EC-8

Έμμεσος ανελαστικός σχεδιασμός με ιδιαίτερα αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας υπό ανακυκλιζόμενη καταπόνηση. Οι απαιτήσεις πλαστιμότητας υπερβαίνουν εκείνες του EC-3.

Χωρισμός του φορέα σε:

- ζώνες απορρόφησης ενέργειας (πλάστιμες περιοχές).
- ζώνες που πρέπει να μείνουν ελαστικές (ικανοτικός σχεδιασμός).

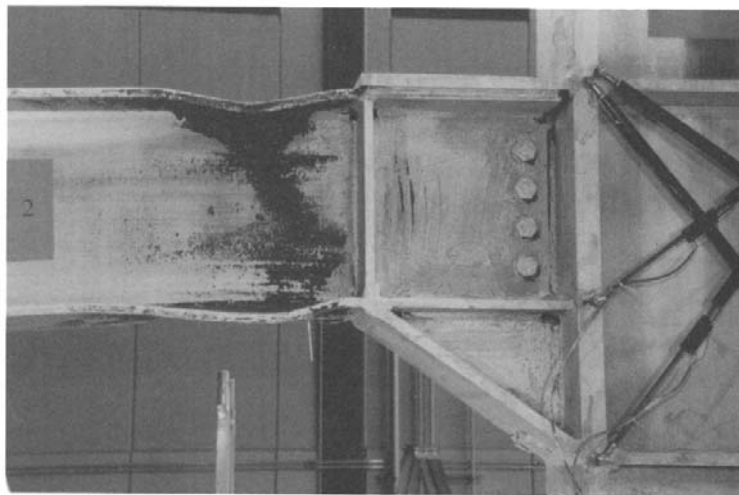
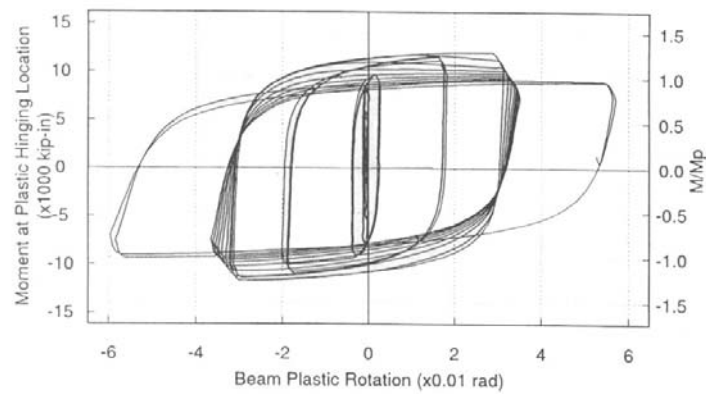
Αποφυγή μη πλάστιμων αστοχιών (ρηγματώσεις, λυγισμοί)

- οι ρηγματώσεις αναμένονται στις περιοχές των συνδέσεων.
- Η απώλεια ευστάθειας αφορά τις διατομές / λεπίδες σύνδεσης (κύρτωση) αλλά και τις ράβδους και τον όλο φορέα.

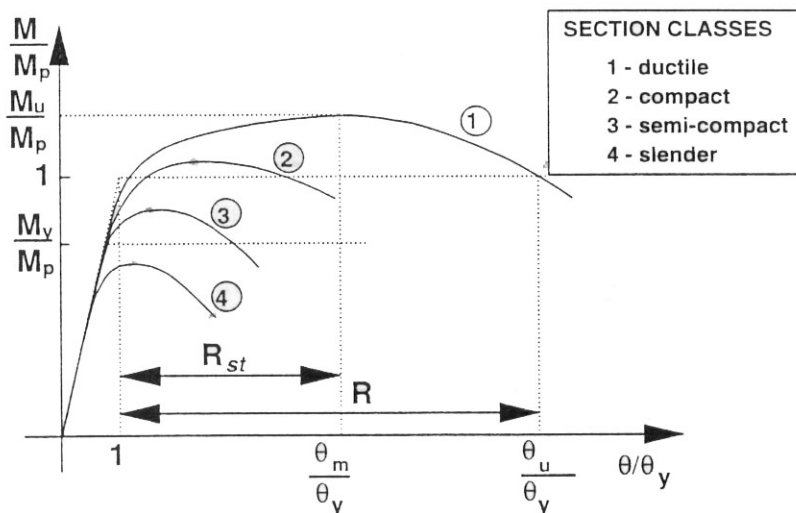
Απαιτείται εξισορρόπηση μεταξύ	Πλαστιμότητας (ductility) Ευστάθειας (stability)
---	---

Κύρτωση (τοπικός λυγισμός) και πλαστιμότητα διατομών

Πείραμα ανακυκλιζόμενης φόρτισης προβόλου (η κύρτωση είναι πάντα αναπόφευκτη κατά την εξέλιξη της ανελαστικής παραμόρφωσης):

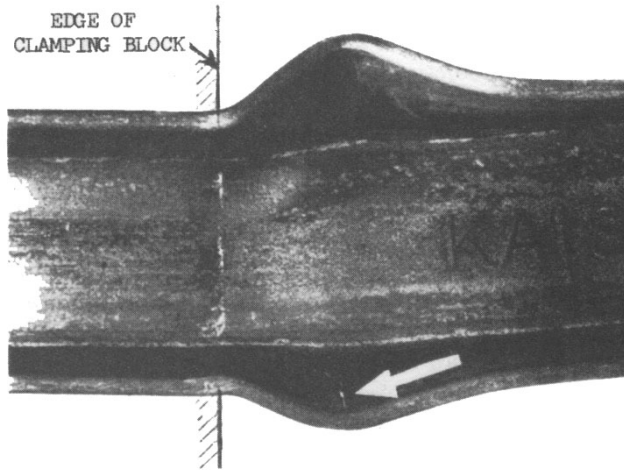


Μονοτονική απόκριση σε ροπή των διαφόρων κλάσεων διατομών :

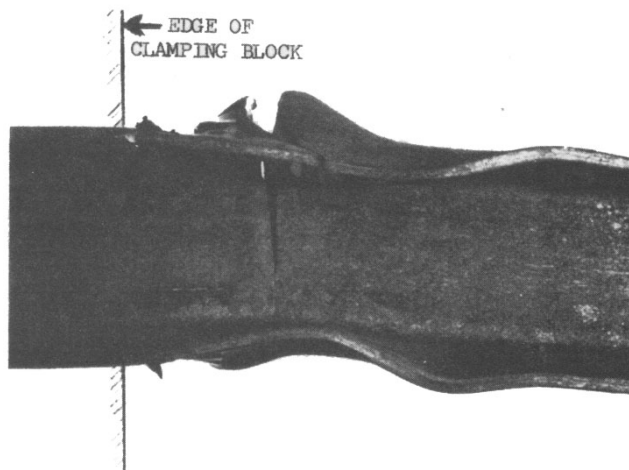


Η ρηγμάτωση έπεται της κύρτωσης :

Έναρξη ρηγμάτωσης (θέση βέλους).



(c)



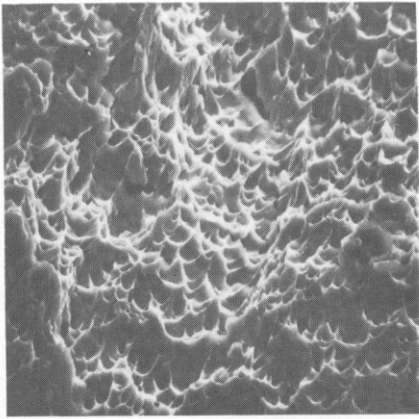
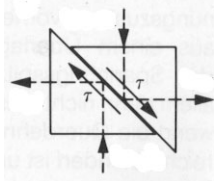
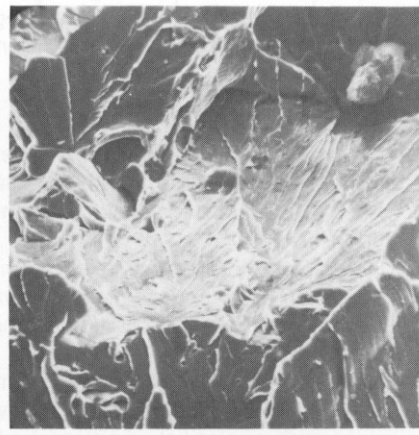
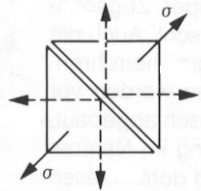
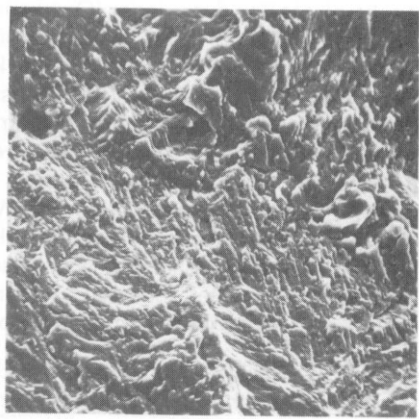
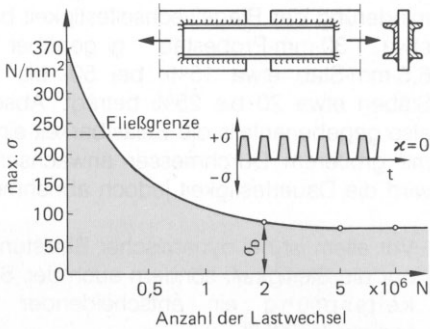
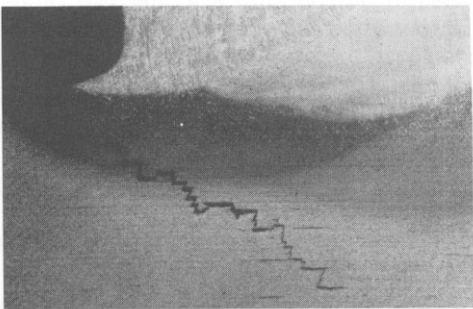
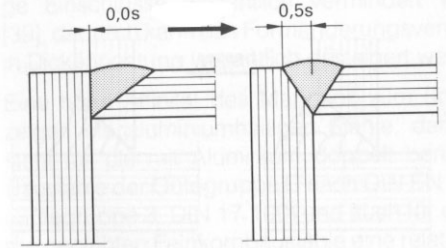
(d)

Πλήρης ρηγμάτωση τόσο στα πέλματα όσο και στον κορμό.

Ολιγοκυκλική κόπωση και αστοχία διατομών

- Διαφορά με την (συνήθη) πολυκυκλική κόπωση: υψηλή καταπόνηση και μικρός αριθμός κύκλων (πείραμα του συνδετήρα).
- Σήμερα αποδίδονται μια σειρά αστοχιών συγκολλήσεων στον σεισμό του Northridge στην ολιγοκυκλική κόπωση των περιοχών των συγκολλήσεων σε συνδυασμό με τοπικές αιχμές τάσεων.

Μορφές θραύσης του μητρικού υλικού

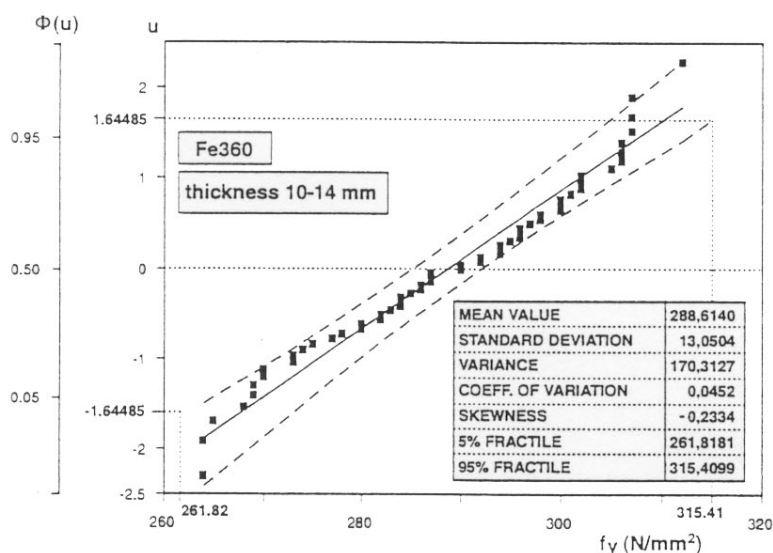
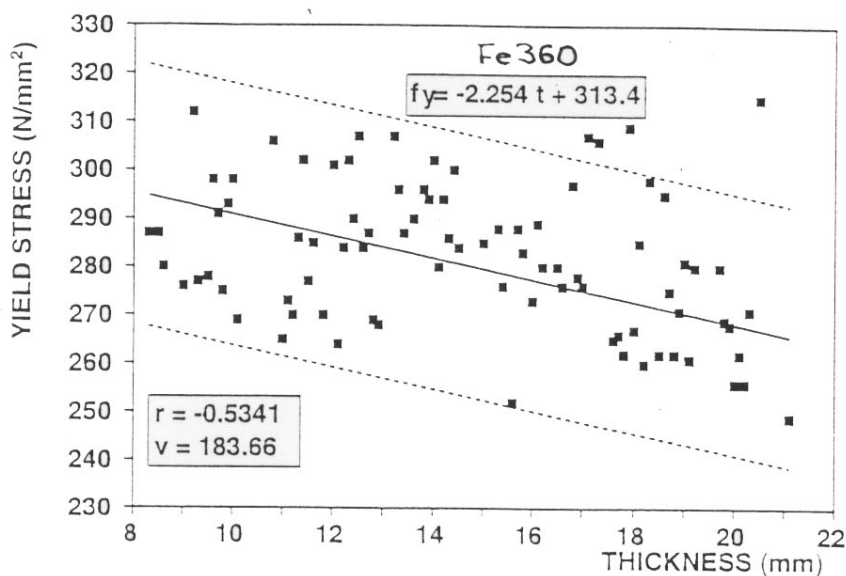
	<p style="text-align: center;">Όλκιμη θραύση (μετά από διαρροή von Mises)</p>  <p style="text-align: center;">Χαρακτηρίζεται από την f_y (Fe360: $f_{yk} = 235 \text{ MPA}$)</p>
	<p style="text-align: center;">Ψαθυρή θραύση (περιοχές σπών – πολυαξονικός εφελκυσμός)</p>  <p style="text-align: center;">Χαρακτηρίζεται από την f_u (Fe360: $f_{uk} = 360 \text{ MPA}$)</p>
	<p style="text-align: center;">Θραύση από κόπωση</p>  <p style="text-align: center;">Anzahl der Lastwechsel</p>
	<p style="text-align: center;">Θραύση από λεπιδοειδή απόσχιση (σε συγκολλητούς κόμβους μορφής Γ ή T)</p>  <p style="text-align: center;">Αιτία : η ανισοτροπία λόγω έλασης Απαιτεί επιμελημένη εκτέλεση της συγκόλλησης</p>

Ποιότητα (τάση διαρροής) του χάλυβα ως υλικού και υπεραντοχή

Συνήθως υλικό ανώτερης ποιότητας, (ελάχιστης εγγυημένης τάσης διαρροής) που εξασφαλίζει όμως μόνον το κάτω όριο της τάσης διαρροής.

Τα πιστοποιητικά δεν αναφέρουν γενικά άνω όριο. Στις ΗΠΑ η Bethlehem Steel παραδίδει πλέον χάλυβες με εγγυημένη άνω τιμή του ορίου διαρροής. Η τάση αυτή δεν έχει γενικευθεί στην Ευρώπη (ακριβότεροι χάλυβες).

Από στατιστική επεξεργασία στο Πανεπιστήμιο της Napoli για τον χάλυβα Fe360 με $f_{yk} = 235 \text{ MPA}$:



ΤΥΠΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΜΕΣΩΝ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

Χαρακτήρας αστοχιών

Κοχλιώσεις	Σύνθλιψη άντυγας	πλάστιμη
	Ψαλλιδισμός κορμού (διατμητ. αντίσταση)	ψαθυρή
Συγκολλήσεις		ψαθυρή

Ολίσθηση (slippage):

Πρόσθετο πρόβλημα των κοχλιώσεων χωρίς ελεγχόμενη προένταση:
(επηρεάζει δυσμενώς τους υστερητικούς βρόχους).

Γενική απαίτηση πλαστιμότητας :

Να προηγείται η αστοχία σε σύνθλιψη άντυγας : $F_{v.Rd} > F_{b.Rd}$

$F_{b.Rd}$: Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας

$F_{v.Rd}$: Αντοχή σε ψαλλιδισμό κορμού

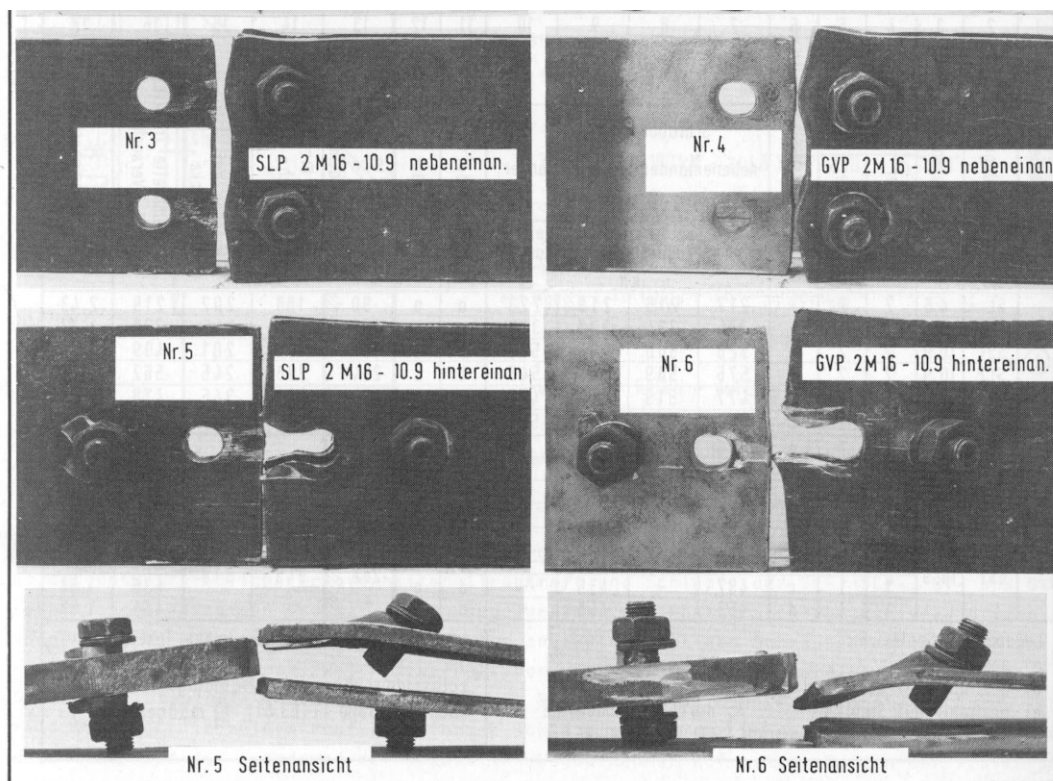
Συνήθως απαιτούνται δίτμητοι κοχλίες για να ικανοποιηθεί η ανωτέρω απαίτηση.

Κομβοελάσματα συνδέσεων (gusset plates): Ιδιαίτερο πρόβλημα ο κίνδυνος κύρτωσης (local buckling).

Στις συγκολλήσεις πρέπει να εξασφαλίζεται η ομαλή ροή των δυνάμεων **χωρίς αιχμές τάσεων (peak stresses)** – κίνδυνος έναρξης ρηγμάτωσης λόγω τοπικής ολιγοκυκλικής κόπωσης (σεισμός Northridge).

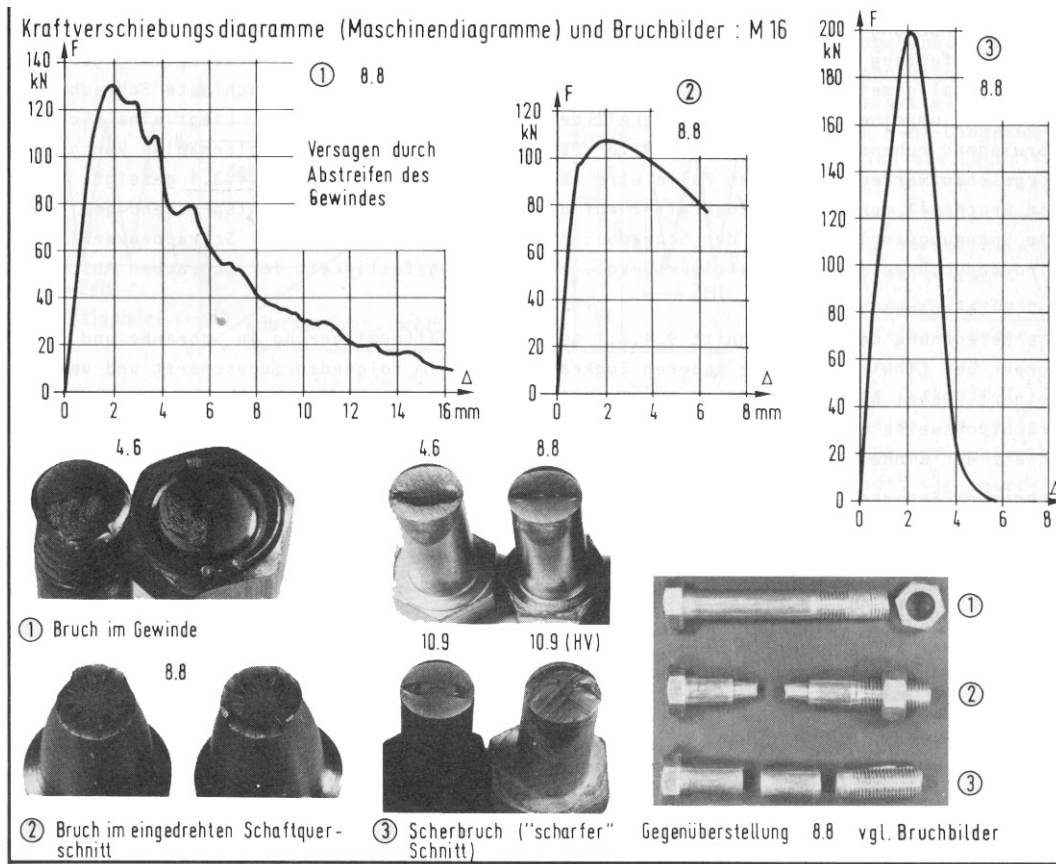
Εικόνες πλάστιμης και ψαθυρής αστοχία κοχλιώσεων

Σύνθλιψη άντυνας : όλκιμη αστοχία

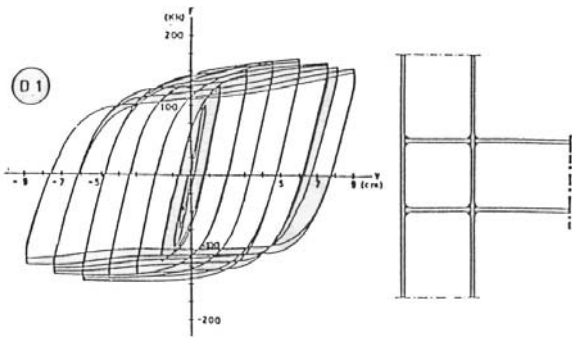
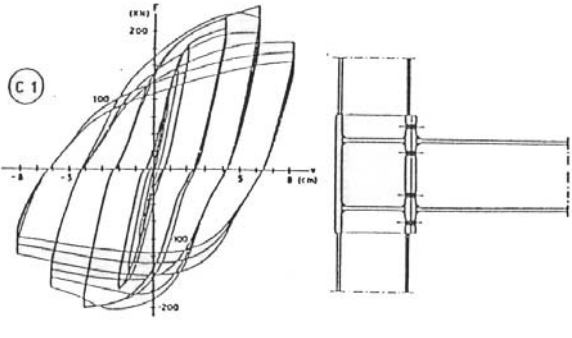
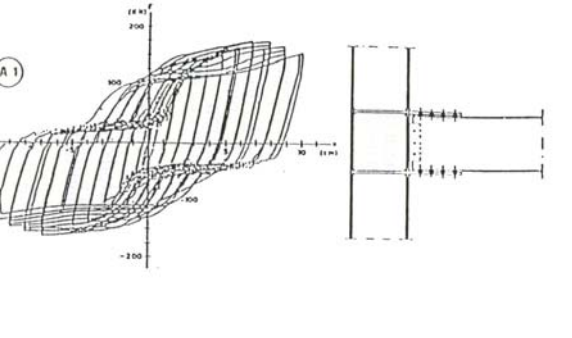
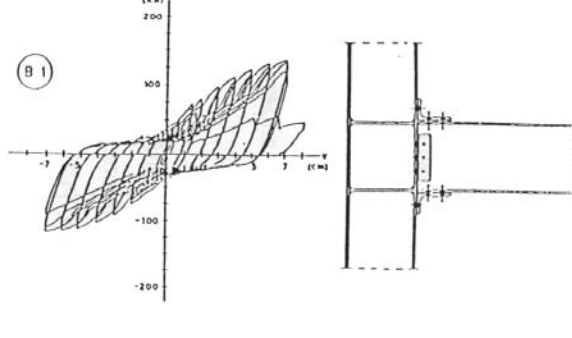


Ψαλλιδισμός κορμού (διατμητική αντίσταση)

: ψαθυρή αστοχία

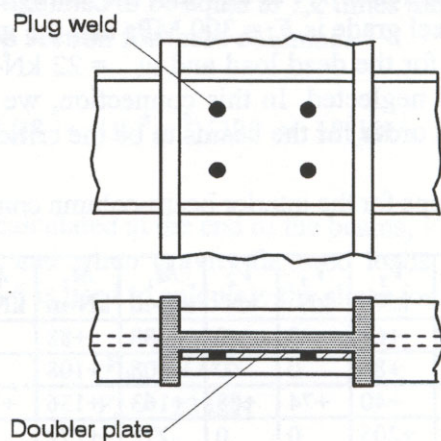


Συμπεριφορά συνδέσεων καμπτικών πλαισίων

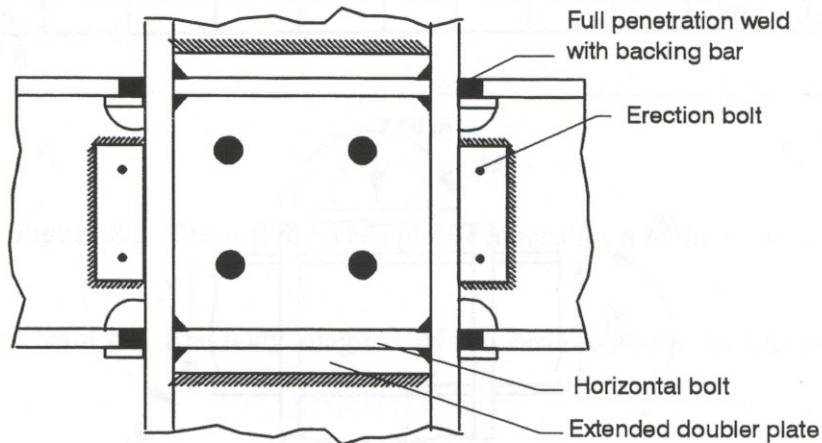
	<p>Συγκολλητή σύνδεση με νεύρα επέκτασης των πελμάτων.</p> <p>Άριστη. Απόκριση περίπου σαν το μητρικό υλικό.</p>
	<p>Μετωπική πλάκα με προεντεταμένους κοχλίες, νεύρα επέκτασης και ενίσχυση του κορμού του στύλου.</p> <p>Ιδιαίτερα Καλή. Οι ποιότητα των βρόχων επηρεάζεται καθοριστικά από τον εφελκυσμό του κορμού των κοχλιών και την κάμψη της μετωπικής πλάκας (καθώς και του πέλματος του στύλου).</p>
	<p>Κοχλιώση προς λεπίδες συγκολλητές στον στύλο.</p> <p>Λιγότερο καλή. Η αναπόφευκτη σημαντική ολίσθηση στις κοχλιώσεις των πελμάτων μειώνει την αντοχή και την δυσκαμψία της σύνδεσης.</p>
	<p>Κοχλιωτά γωνιακά σύνδεσης των πελμάτων και κοχλιωτό έλασμα σύνδεσης του κορμού.</p> <p>Κακή. Η ολίσθηση στις κοχλιώσεις συνδυαζόμενη τώρα με την κάμψη των γωνιακών σύνδεσης οδηγεί σε κακή υστερητική συμπεριφορά.</p>

Πρότυπη σύνδεση δοκού-στύλου κατά τον Καναδικό κανονισμό

Παρόμοια ισχύει στις ΗΠΑ, σήμερα υπό αναθεώρηση μετά τον σεισμό του Northridge.



Doubler plate for the panel zone.

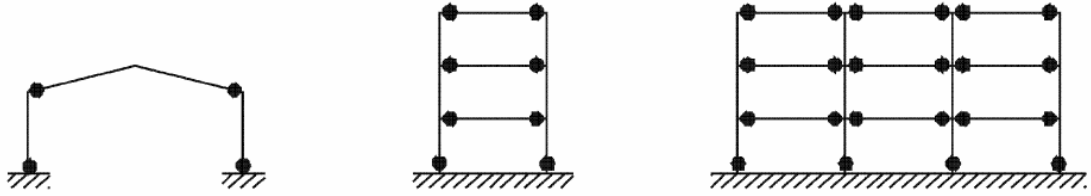
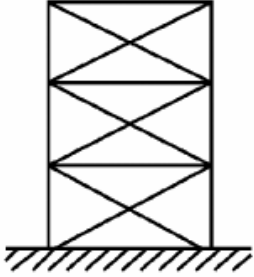
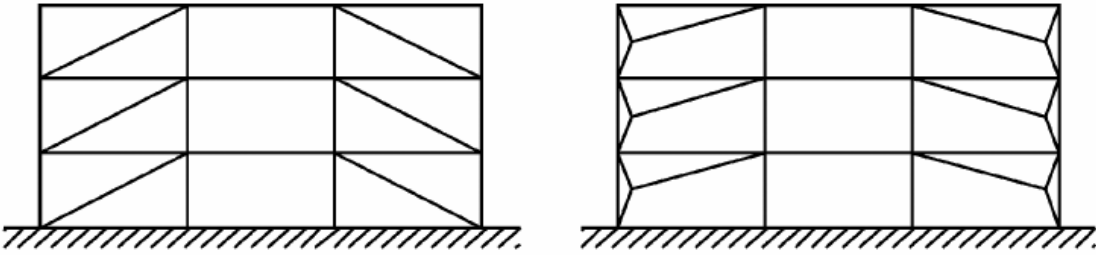
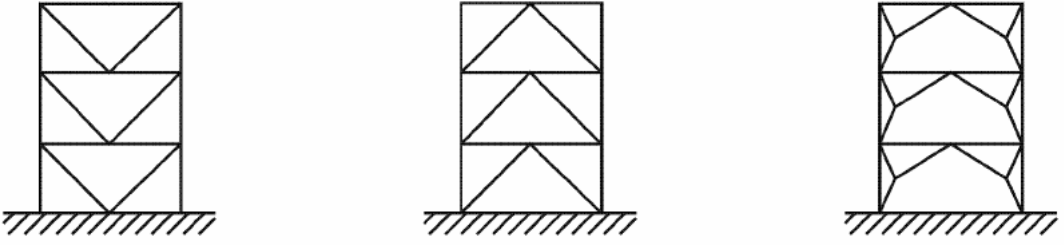


Beam-column connection recommended by the Canadian code.

Η διατήρηση των λεπίδων συγκράτησης του υλικού συγκόλλησης (backing bars) οδήγησε σε αιχμές τάσεων και ρηγματώση ιδιαίτερα στα κάτω πέλματα κατά τον σεισμό του Northridge. Σήμερα απαιτείται να απομακρύνονται μετά την εκτέλεση της συγκόλλησης.

II. ΤΑ ΣΤΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΩΘΗΣΕΩΝ

1) Αμυγή συστήματα

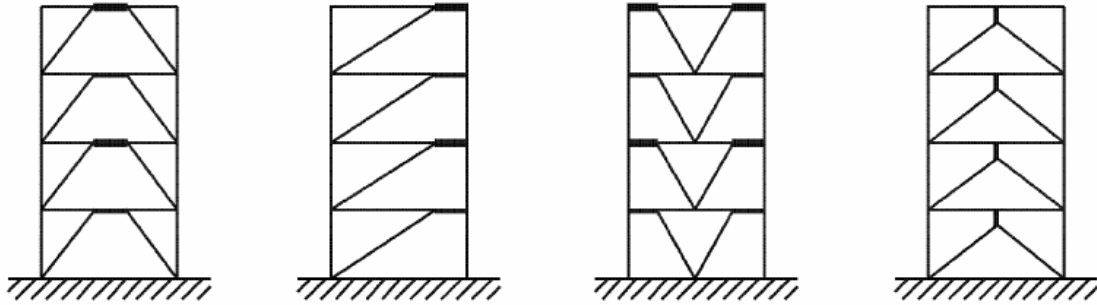
1.	<p>ΚΑΜΠΤΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ <i>(Moment Resisting frames – MRFs).</i> Ζώνες απόσβεσης στις δοκούς & στη βάση των στύλων</p> 
2.	<p>ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ <i>(Centrically Braced Frames – CBFs)</i> Τυπικά δικτυώματα - Ζώνες απόσβεσης στις διαγωνίους.</p>
2.α	<p>X-σύνδεσμοι (X-bracings) Ζώνες απόσβεσης μόνον στις εφελκόμενες διαγωνίους. Οι θλιβόμενες δεν επιτρέπεται να ληφθούν υπόψη ούτε καν στην δυσκαμψία (υπολογισμός έντασης και παραμόρφωσης), όσον αφορά τον αντισεισμικό υπολογισμό.</p> 
2.β.	<p>D-σύνδεσμοι (D-bracings) Ζώνες απόσβεσης όπως στους X-συνδέσμους.</p> 
2.γ.	<p>Λ-σύνδεσμοι (Chevron or V-bracings) Ζώνες απόσβεσης σε εφελκόμενες και σε θλιβόμενες διαγωνίους.</p> 

Αμιγή συστήματα (συνέχεια)

3.

ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΜΕ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ **(Eccentrically Braced Frames – EBFs)**

Ζώνες απόσβεσης στις δοκούς (οριζόντιες είτε κατακόρυφες).

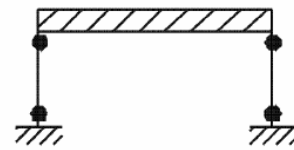


4.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟΥ ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ **(Inverted Pendulum Structures)**

Ζώνες απόσβεσης στη βάση των στύλων.

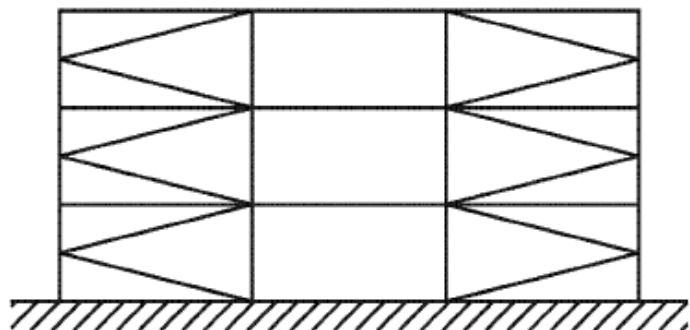
Τυπικές μονόροφες βιομηχανικές αίθουσες.



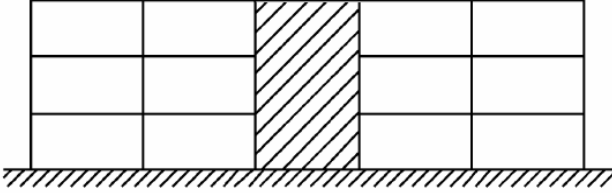
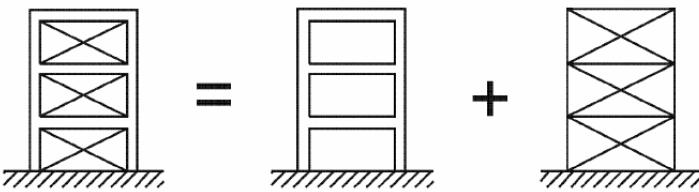
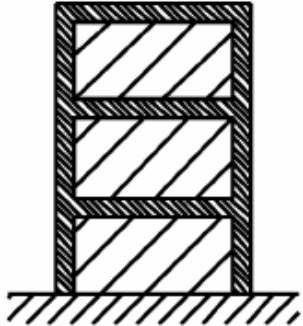
Μη-επιτρεπόμενα συστήματα: ($q = 1$).

Κ-σύνδεσμοι

Οδηγεί σε διαρροή των
στύλων.



2) Δυϊκά (μεικτά) συστήματα

<p>5.</p>	<p>ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΠΥΡΗΝΕΣ / ΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ Ο.Σ.</p> <p>Μεγάλη διαφορά δυσκαμψίας Ο σεισμός παραλαμβάνεται μόνον από τα στοιχεία Ο.Σ.</p> 
<p>6.</p>	<p>MRFs ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ CBFs</p> <p>Ζώνες απόσβεσης στις δοκούς και τις εφελκόμενες διαγώνιες</p> 
<p>7.</p>	<p>MRFs ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ</p> <p>A. Αν οι τοιχοπληρώσεις είναι μονωμένες, θεωρούνται αμιγή MRFs. B. Αν προβλέπεται ειδική σύνδεση θεωρούνται σύμμικτες κατασκευές. Γ. Ιδιαίτερη κατηγορία συνεπώς μόνον για την ειδική περίπτωση που οι τοιχοπληρώσεις είναι σε απλή επαφή με το MRF.</p> 

3) Σύμμικτα συστήματα (composite steel-concrete structures)

Βασικά στοιχεία της φιλοσοφίας των EBFs

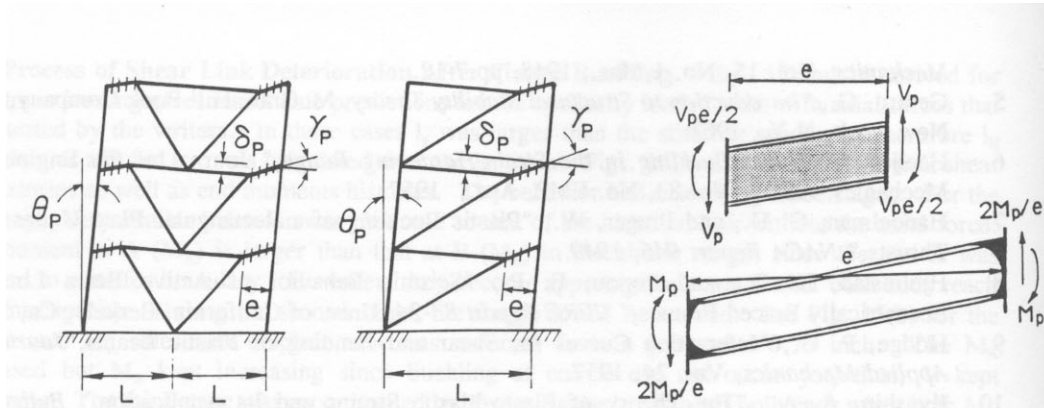


Fig. 1 : EBF Energy Dissipation Mechanisms under Strong Earthquake.

Fig. 2 : Yield Capacity of Shear Links and Moment Links.

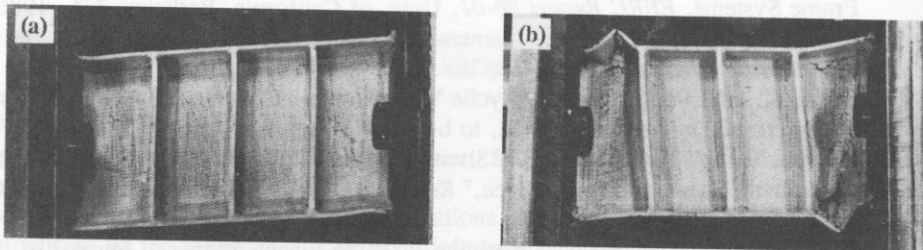


Fig. 3 : Shear Links (a) Without Axial Force, and (b) With Axial Force at the Same Displacement.

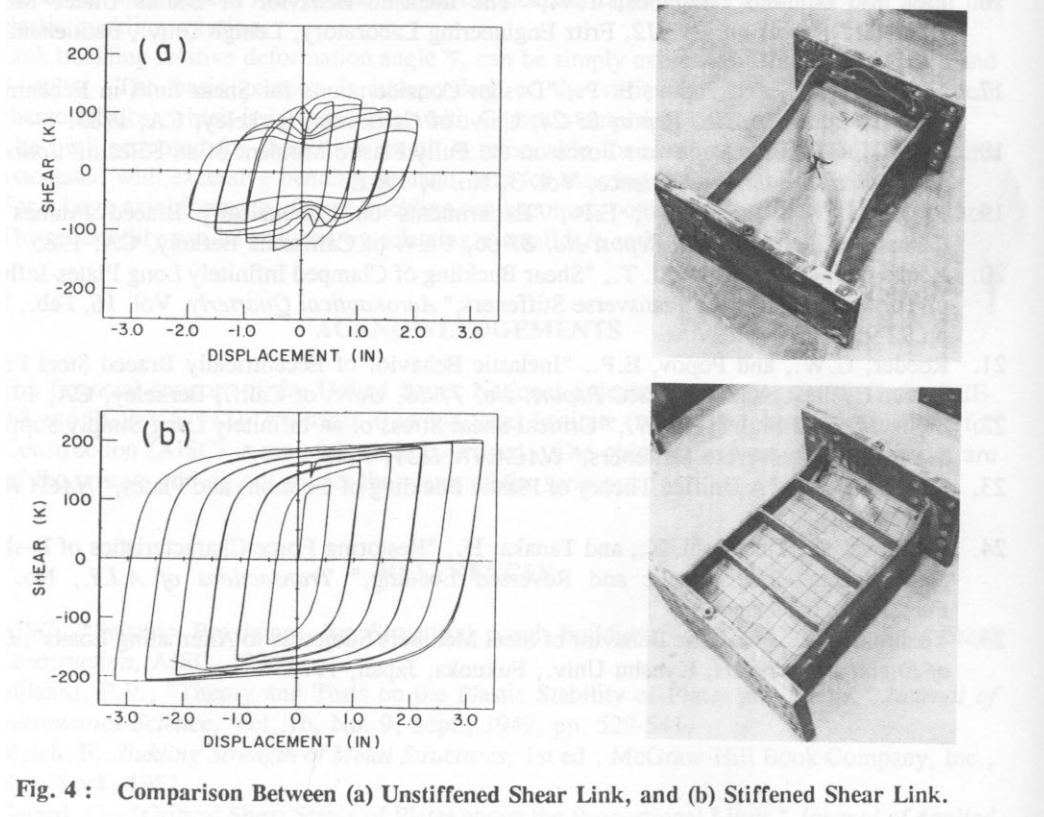


Fig. 4 : Comparison Between (a) Unstiffened Shear Link, and (b) Stiffened Shear Link.

Παραδείγματα υλοποίησης συνδέσμων με εκκεντρότητα



a. D-braced frames



b. Split-K-braced frames

Παράδειγμα τοπικής διαμόρφωσης



III. ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ & ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ EC8 ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Πλαίσια σύλληψης του φέροντος οργανισμού (Design Concepts)

- Φορείς πρακτικά **χωρίς απόσβεση** (Ductility Class Low - **DCL**)
- Φορείς **με σημαντική απόσβεση (dissipative structures)**
 - μέση στάθμη απόσβεσης (Ductility Class Medium - **DCM**)
 - υψηλή στάθμη απόσβεσης (Ductility Class High - **DCH**)

Ο υπολογισμός της έντασης (**global analysis**) προβλέπεται να είναι είτε:

- Γραμμικός (στατικός είτε ιδιομορφικός).
- Μη-γραμμικός (γενικά αφορά στις DCH).
 - Στατική υπερωθητική ανάλυση (pushover).
 - Βηματική δυναμική ανάλυση (dynamic time history analysis).

Ο υπολογισμός των φορέων DCH γενικά αντιστοιχεί στην μέθοδο P – P του EC3 και απαιτεί γενικά διατομές κλάσεως 1.

Οι συνδέσεις επιτρέπεται καταρχήν να είναι:

- μερικής αντοχής (partial strength)
- ημιάκαμπτες (semi-rigid)

Οι συνδέσεις αυτού του είδους απαιτούν ήδη στον EC3 ειδική αντιμετώπιση και συχνά σχοινοτενείς υπολογισμούς και ελέγχους.

Οι **ζώνες απόσβεσης** πρέπει να προβλέπονται είτε:

- σε **ράβδους**, οπότε οι συνδέσεις σχεδιάζονται με υπεραντοχή. Είναι η τυπική επιλογή για τον μελετητή της πράξης..
- Σε **συνδέσεις** οπότε οι ράβδοι σχεδιάζονται με υπεραντοχή. Πρόκειται για καταρχήν πρόβλεψη: οι συνδέσεις τότε καθίστανται μερικής αντοχής και ημιάκαμπτες και απαιτείται ειδικός μη γραμμικός υπολογισμός μέσω π.χ. υπερωθητικής ανάλυσης.. Επιπλέον απαιτείται τότε και πειραματική τεκμηρίωση.

Σημερινό status για την καθημερινή πρακτική :

- γενικά φορείς DCL είτε DCM.
- Γραμμικός υπολογισμός της έντασης.
- Ζώνες απόσβεσης στα μέλη.

Η περαιτέρω παρουσίαση περιορίζεται καταρχήν σε αυτό το πλαίσιο.

Πλαστιμότητα και τιμές αναφοράς του συντελεστή συμπεριφοράς q για κτίρια κανονικά κατά το ύψος

Σύστημα	Συντελεστής q	Επιτρ. Κλάσεις διατομής
DCL	$q \leq 1.5 - 2$	Αν $q > 1.5$ μόνον κλάσεις 1,2,3
DCM	$1.5 < q \leq 2$	1, 2, 3
	$2 < q \leq 4$	1, 2
DCH	$4 < q$	1 (βλ. και κατωτέρω).

	Στατικό σύστημα	DCM	DCH	
		Τιμή q	Τιμή q	Συνιστ. α_u / α_1
1	MRFs			
1a	MRFs χωρίς ειδικό έλεγχο συνδέσεων	$q \leq 2$		-
1b	MRFs + simple infills	$q \leq 2$		-
1c	MRFs με ειδικό έλεγχο συνδέσεων	$2 < q \leq 4$	$5 \alpha_u / \alpha_1$	1.1 : 1-storey /1-bay 1.2 1-bay 1.3 general
2	CBFs			
2a	X-bracings	4	4	-
2b	D-bracings	4	4	-
2c	V-bracings	2	2.5	-
3	EBFs	4	$5 \alpha_u / \alpha_1$	1.2
4	Inverted Pendulum	2	$2 \alpha_u / \alpha_1$	1.0 one column 1.1 more columns
5	MRFs + X-bracing +έλεγχο συνδέσεων	4	$4 \alpha_u / \alpha_1$	1.2

Υπολογισμός q για DCH:

<p>Ανάλυση pushover</p> <ul style="list-style-type: none"> - α_u (κατάρρευση) - α_1 (πρώτη πλαστικοποίηση) <p>Χωρίς ανάλυση pushover ισχύουν οι ανωτέρω συνιστώμενες τιμές. Πάντοτε: $\max [\alpha_u / \alpha_1] \leq 1.6$</p>	
---	--

Απαιτήσεις υλικού - Υπεραντοχή

Συντελεστής υπεραντοχής υλικού = γ_{ov}

Αν δεν υπάρχει ειδική πιστοποίηση του χρησιμοποιούμενου χάλυβα (όπως π.χ. συμβαίνει στις ΗΠΑ)

συνιστάται: $\gamma_{ov} = 1.25$

για την επιδίωξη της συνθήκης $f_{y,max} \leq 1.1 \gamma_{ov} f_y$
Η $f_{y,max}$ θα αναγράφεται στα σχέδια. Η πραγματική τάση διαρροής του υλικού που χρησιμοποιείται στο έργο δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει την αναγραφόμενη τιμή $f_{y,max}$ περισσότερο από 10%.

Απαιτούνται κοχλίες ποιότητας 8.8 είτε 10.9 σε όλες τις κοχλιωτές συνδέσεις των στατικών συστημάτων παραλαβής των οριζοντίων ωθήσεων.

Απαιτήσεις για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών

Ιδιαίτερη μέριμνα για τα διαφράγματα ορόφων.

- Υπεραντοχή
- Στις συνήθεις στέγες απαραίτητη η διάταξη συνδέσμων στέγης και κατά την διαμήκη διεύθυνση του κτιρίου (τελάρωμα στέγης).

Θλιβόμενες διαγώνιοι στα X- και D – bracings

Δεν επιτρέπεται να συμπεριλαμβάνονται στο στατικό προσομοίωμα (γενικά απαιτούνται περισσότερες επιλύσεις του φορέα).

Υπολογισμός πλαστίμων εφελκυσμένων στοιχείων

Ισχύει η απαίτηση:

$$N_{pl,Rd} \leq N_{u,Rd}$$

Ειδικά για γωνιακά L είτε 2L που συνδέονται με το ένα μόνον σκέλος προς κομβοελάσματα αυτό είναι αδύνατο (βλ. EC3) εκτός εάν:

- Οι διατομές ενισχυθούν στην περιοχή των οπών
- Συνδεθούν και τα δύο σκέλη με βοηθητικά γωνιακά
- Λίγο πριν τα κομβοελάσματα προβλεφθεί απομείωση των διατομών (ώστε να μειωθεί η $N_{pl,Rd}$).

Γενικές διατάξεις για τις συνδέσεις πλαστίμων μελών

Εσωραφές πλήρους εισχώρησης

Θεωρείται πως ικανοποιούν τις απαιτήσεις υπεραντοχής

Ικανοτικός σχεδιασμών κοχλιώσεων και εσωραφών μερικής εισχώρησης.

Απαιτείται	$S_d = 1.1 \gamma_{ov} R_{fy} \leq R_d$
------------	---

Πρόσθετες απαιτήσεις κοχλιώσεων

- Ελεγχόμενη προένταση (κατηγορίες κοχλιώσεων B και C είτε E κατά τον EC3) με ποιότητα επιφανειών τριβής A ($\mu = 0.5$) είτε B ($\mu = 0.4$), δηλαδή επιμελημένη προεπεξεργασία π.χ. με αμμοβολή.
- Στις κατηγορίες συνδέσεων B και C κρίσιμη πρέπει να είναι η σύνθλιψη άντυγας και μάλιστα:

Αυξημένη προστασία έναντι ψαθυρής αστοχίας	$1.2 F_b.R_d \leq F_v.R_d$
---	----------------------------

IV. ΠΛΑΣΤΙΜΑ ΑΜΙΓΗ MRFs

Βασική εισαγωγική παρατήρηση για τον μελετητή της πράξης

Για $q > 2$ ο έλεγχος πλαστικών στροφών απαιτεί ειδικό έλεγχο των συνδέσεων (και της ικανότητας πλαστικών στροφών των δοκών) με πειραματική επιβεβαίωση.

Το FEMA 350 προδιαγράφει τύπους συνδέσεων και αντίστοιχες διαδικασίες υπολογισμού ώστε να μη χρειάζεται η πειραματική επιβεβαίωση (prequalified connections).

Σε κάθε περίπτωση τα MRFs είναι ιδιαίτερα εύκαμπτα με αποτέλεσμα να είναι καθοριστικοί οι έλεγχοι ΟΚΛ (περιορισμού βλαβών στην περίπτωση του αντισεισμικού σχεδιασμού) για την επιλογή διατομών.

Συνέπεια : DCM με $q = 2$

Στην συνέχεια υποτίθεται πως:

- Οι ζώνες απόσβεσης δεν διατάσσονται σε συνδέσεις
- Οι συνδέσεις δοκών-στύλων είναι πλήρους αντοχής και δυσκαμψίας.

Θεμελιώδης απαίτηση για τα MRFs κατά τον EC8

Οι ζώνες απόσβεσης (πλαστικές αρθρώσεις) βρίσκονται στις δοκούς και όχι στους στύλους με εξαίρεση:

- Την βάση του πλαισίου
- Την κορυφή του τελευταίου ορόφου πολυορόφων πλαισίων
- Τα μονόροφα πλαίσια.

Απαιτήσεις για τα πλαστικά μέλη (δοκούς) των MRFs

1. Έλεγχος στρέβλωσης / στρεπτοκαμπτικού λυγισμού

Απαιτείται να γίνεται με την υπόθεση πως στο πλέον καταπονούμενο άκρο της δοκού έχει σχηματιστεί πλαστική άρθρωση (αναγωγή διαγράμματος M στο ομοιόμορφο για την κρίσιμη ροπή στρέβλωσης).

2. Έλεγχος αντοχής διατομής:

Επαυξημένη τέμνουσα			
	V_{Sd}	=	$V_{ed.G} + V_{ed.M}$
	$V_{ed.M}$	=	$(M_{Rd.A} + M_{Rd.B}) / L$
Έλεγχος V:	$v \leq 0.5$		Χαμηλή. (Αποφυγή αλληλεπίδρασης M-V κατά EC3)
	$v = V_{Sd} / V_{Rd}$		
Έλεγχος N:	$n \leq 0.15$		Χαμηλή. (Αποφυγή αλληλεπίδρασης M-N κατά EC3)
	$n = N_{Ed} / N_{Rd}$		
Έλεγχος M:	$m \leq 1.0$		Εξάντληση Φέρουσας Ικανότητας σε ροπή
	$m = M_{Ed} / M_{Rd}$		

Επιτρέπονται τιμές $0.15 < n \leq 1.0$ αν ληφθεί υπόψη κατά EC3 η αλληλεπίδραση M-N.

Οι αντοχές σχεδιασμού V_{Rd} , N_{Rd} , M_{Rd} προσδιορίζονται ανάλογα με την κλάση της διατομής.

Απαιτήσεις για τα μη-πλαστικά μέλη (στύλους) των MRFs

1. Έλεγχοι υπό θλίψη με ικανοτική επαύξηση:

$$\begin{aligned} N_{Sd} &= N_{ed.G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega N_{ed.E} \\ M_{Sd} &= M_{ed.G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega M_{ed.E} \\ V_{Sd} &= V_{ed.G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega V_{ed.E} \end{aligned}$$

όπου $\Omega = \min \Omega_i$ $\Omega_i = 1 / m_i$ (στα πλαστικά μέλη)
 $m_i = M_{ed.i} / M_{pl.Rd.i}$

Αν σχηματίζεται πλαστική άρθρωση σε στύλο, η δρώσα ροπή θα λαμβάνεται ίση προς την $M_{pl.Rd}$ του στύλου.

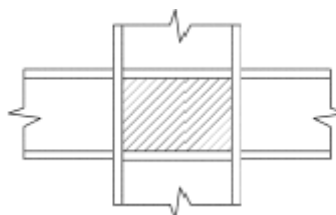
2. Έλεγχος τέμνουσας χωρίς ικανοτική επαύξηση

Έλεγχος V: $v \leq 0.5$ Αποφυγή αλληλεπίδρασης
 $v = V_{Ed} / V_{Rd}$

3. Έλεγχοι φατνωμάτων κορμού

Προβλέπονται έλεγχοι

- σε διατμητική αντοχή
- σε διατμητικό λυγισμό.



Απαιτήσεις για τις συνδέσεις των MRFs

Ικανοτικός υπολογισμός δρώσας έντασης

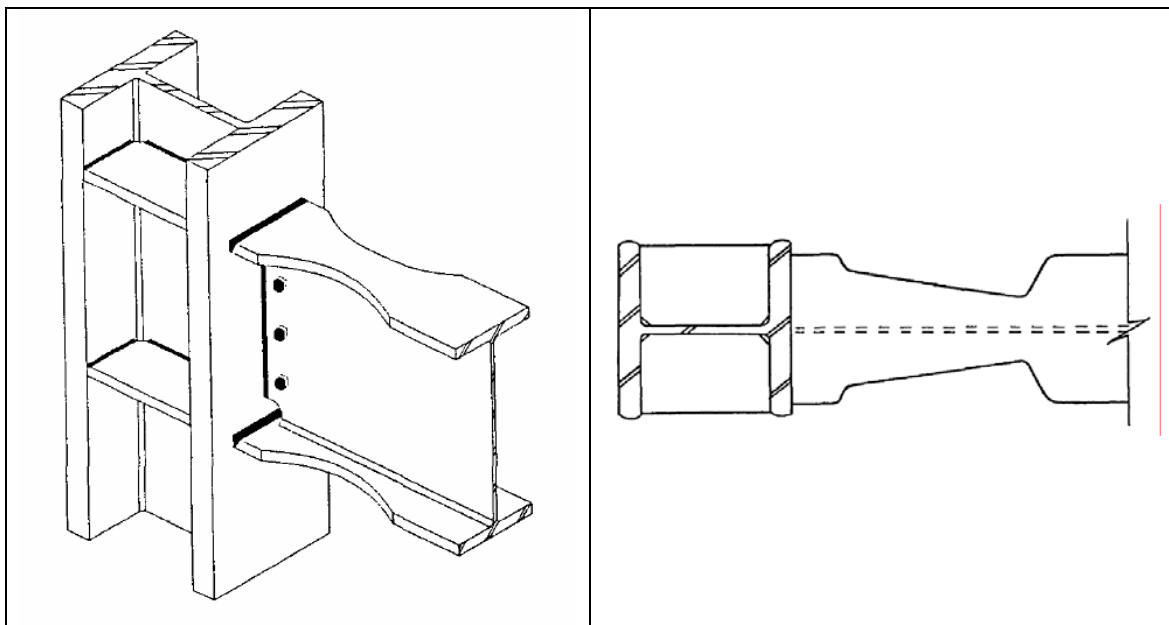
Η ικανοτικά αυξημένη ένταση R_{fy} προκύπτει από τα ακόλουθα μεγέθη του συνδεόμενου πλαστικού μέλους (δοκού) :

$$\begin{aligned} \text{και} \quad \mathbf{MSd} &= \mathbf{M_{pl.Rd}} \\ \text{όπου} \quad \mathbf{VSd} &= \mathbf{V_{ed.G}} + \mathbf{V_{ed.M}} \\ \mathbf{V_{ed.M}} &= \mathbf{(M_{pl.Rd.A} + M_{pl.Rd.B}) / L} \end{aligned}$$

Έλεγχος της σύνδεσης : $R_{fy} \leq 1.1 \gamma_{ov} R_{fy}$

Παρατήρηση : Οι αμερικανικοί κανονισμοί προβλέπουν και την χρήση απομειωμένων διατομών (*dogbone, reduced beam sections*) στις δοκούς ώστε να εξασφαλίζεται ο σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων εκτός των συνδέσεων.

Παραδείγματα απομειωμένων διατομών:



V. ΠΛΑΣΤΙΜΑ ΑΜΙΓΗ CBFs

Θεμελιώδεις απαιτήσεις:

- 1) Η διαρροή των διαγωνίων υπό εφελκυσμό πρέπει να προηγείται της αστοχίας των συνδέσεων και της διαρροής / λυγισμού των δοκών και στύλων.
- 2) Ομοιογένεια δυσκαμψίας κάθε όροφου υπό αναστροφή φορτίου

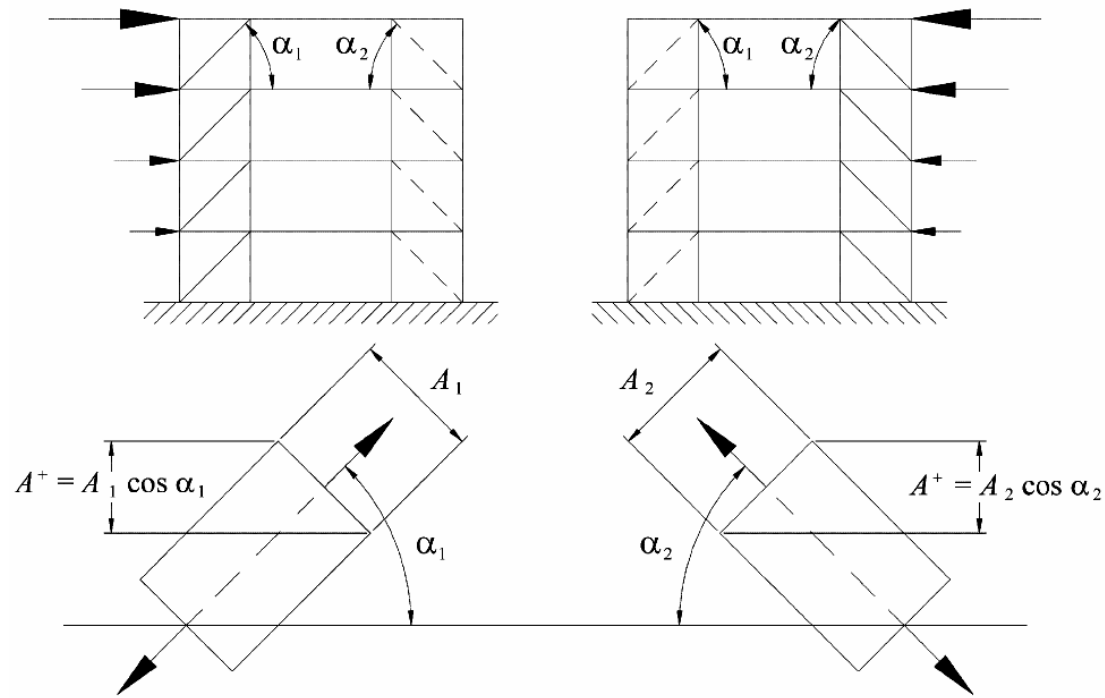
X- είτε V-bracings Ικανοποιείται αυτόματα σε συμμετρικές διατάξεις

D-bracings:

$$\text{Απαιτείται: } |A^+ - A^-| \leq 0.05 |A^+ + A^-|$$

(+) direction

(-) direction



Απαιτήσεις για τα πλάστιμα μέλη, δηλαδή τις διαγώνιες ράβδους

Σύστημα	q (DCM)	Όρια $\bar{\lambda}$ (τουλ. 3 όροφοι)	Θλιβόμενες Διαγώνιοι	
			Δυσκαμψία	Αντοχή
D-bracings	4	$1.3 \leq \bar{\lambda} \leq 2.0$	Αγνοείται	Δεν ελέγχεται
X-bracings	4	$\bar{\lambda} \leq 2.0$	Αγνοείται	Δεν ελέγχεται
V-bracings	2	$\bar{\lambda} \leq 2.0$	Δεν αγνοείται	Ελέγχεται

Ομοιογενής αποσβεστική συμπεριφορά:

$$n_i = NEd / N_{pl,Rd,i} \quad (\text{ποσοστό εξάντλησης})$$

$$\Omega_i = 1 / n_i$$

$$\Omega = \min \Omega_i$$

$$\text{Απαίτηση: } \boxed{\text{Max } \Omega_i \leq 1.25 \Omega}$$

Απαιτήσεις για τα μη-πλάστιμα μέλη (δοκούς και στύλους) των CBFs

Ικανοτικός σχεδιασμός για την λειτουργία δικτυώματος
(αυξάνονται ικανοτικά μόνον οι αξονικές)

$$\begin{aligned} \mathbf{N}_{Sd} &= \mathbf{N}_{ed.G} + 1.1 \gamma_{ov} \mathbf{\Omega} \mathbf{N}_{ed.E} \\ \mathbf{M}_{Sd} &= \mathbf{M}_{ed.G} + \mathbf{M}_{ed.E} \end{aligned}$$

Παρατήρηση: Αν οι στύλοι δεν μορφώνονται αρθρωτοί από όροφο σε όροφο (αλλά π.χ. συνεχείς ανά 3 ορόφους), τότε η σχετική μετατόπιση των διαφραγμάτων των ορόφων παράγει ροπές και στους στύλους, μολονότι πρωτογενώς οι CBFs είναι δικτυώματα.

Ειδικές πρόσθετες απαιτήσεις για τις δοκούς των V-bracings

1. Πρέπει να φέρουν τον συνδυασμό της βαρύτητας (1.35G + 1.50P) χωρίς να χρειάζονται την ενδιάμεση στήριξη.
2. Πρέπει να ελέγχονται σε ένα πρόσθετο ικανοτικό σεισμικό συνδυασμό, ο οποίος περιλαμβάνει το σύνηθες μη-σεισμικό μέρος και μια ειδική σεισμική δράση η οποία αντιστοιχεί στο μη-εξισσοροπούμενο κατακόρυφο σεισμικό φορτίο που προκαλείται στην δοκό όταν αστοχήσει σε λυγισμό η θλιβόμενη διαγώνιος. Έτσι η ροπή στο μέσο σε αυτό τον συνδυασμό θα είναι:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_{Sd} &= \mathbf{M}_{ed.G} + \mathbf{M}_{ed.Qb} \\ \mathbf{M}_{ed.Qb} &= \mathbf{Q}_b \mathbf{L} / 4 \\ \mathbf{Q}_b &= (1 - \gamma_{pb}) \mathbf{N}_{pl.Rd} \sin \varphi \\ \mathbf{N}_{pl.Rd} &= \text{Εφελκ. Αντοχή διαγωνίου} \\ \gamma_{pb} \mathbf{N}_{pl.Rd} &= \text{Εκτιμώμενη Θλιπτ. Αντοχή διαγωνίου} \\ \varphi &= \text{Κλίση διαγωνίου ως προς την δοκό} \end{aligned}$$

Συνιστάται $\gamma_{pb} = 0.3$

Παρατήρηση: Η τελευταία απαίτηση μπορεί εύκολα να καταστεί κρίσιμη. Στις ΗΠΑ τοποθετούν συχνά V-σύνδεσμους όροφο παρά όροφο και στους ενδιάμεσους ορόφους αντεστραμμένους V-συνδέσμους, οπότε η δοκός ανακουφίζεται κατά πολύ.

Παρατηρήσεις σχετικά με τους X-συνδέσμους

1. Κατά την μονότονη καταπόνηση η εφελκύμενη διαγώνιος ασκεί μια επιρροή επαναφοράς στην θλιβόμενη, η οποία απουσιάζει κατά την ανακυκλιζόμενη καταπόνηση (για πλάστιμη συμπεριφορά). Συνεπώς κατά τον αντισεισμικό υπολογισμό το μήκος λυγισμού εκτός επιπέδου πρέπει να λαμβάνεται ολόκληρο και όχι το μισό γεωμετρικό μήκος.
2. Στο μέσον της διακοπόμενης διαγωνίου απαιτείται πλήρης αποκατάσταση. Η σύνδεση πρέπει να αποκαθιστά την $M_p I$ (είτε με μεγάλων διαστάσεων κομβοέλασμα είτε με διπλά κομβοελάσματα) ώστε να μη σχηματίζεται ασθενής διατομή, δηλ. άρθρωση και υποστατικό σύστημα υπό θλίψη και να έχουν νόημα οι απαιτήσεις λυγηρότητας.
3. Παραλλαγή: ο διασπασμένος X-σύνδεσμος (split X- bracing) που εκτείνεται σε δύο φατνώματα και έχει μικρότερα μήκη για τον λυγισμό εκτός επιπέδου των ράβδων των διαγωνίων. Ο σύνδεσμος αυτός επιτρέπει την διάταξη διαμήκους στοιχείου στο μέσον του ύψους του στύλου, που μειώνει τα εκτός επιπέδου μήκη λυγισμού των στύλων.

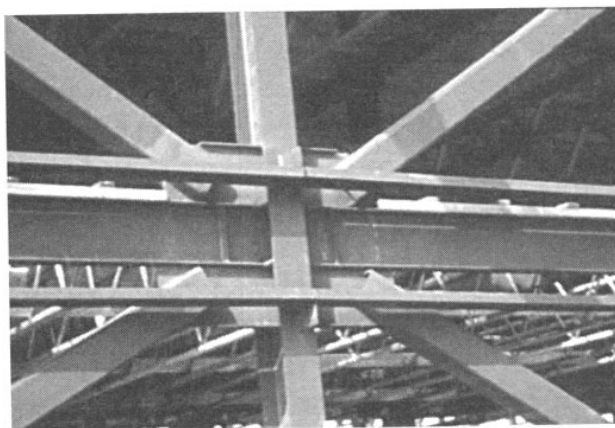
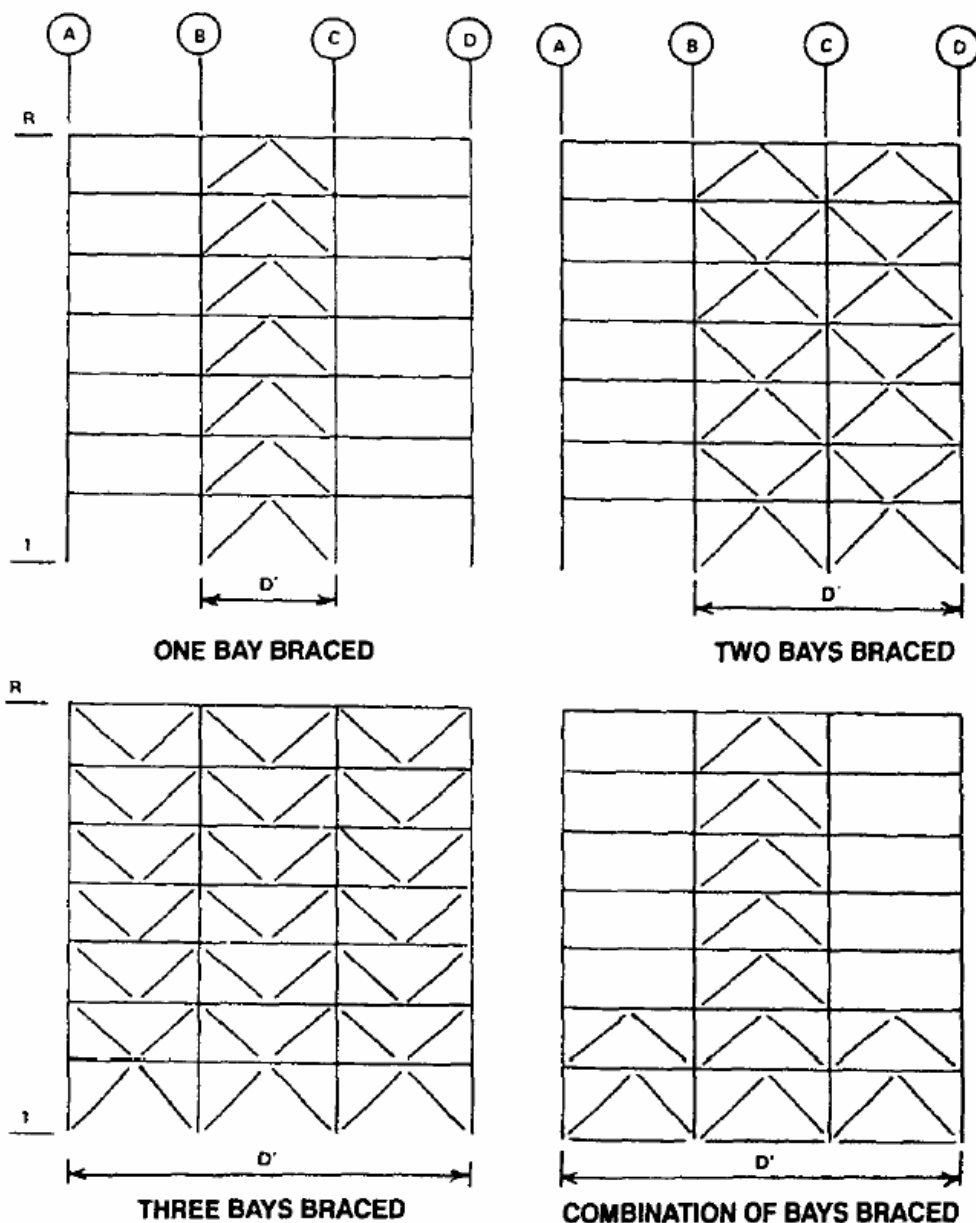


Figure 7.13 Concentrically braced frame building in California. (Courtesy of Degenkolb Engineers, Inc, San Francisco, California.)

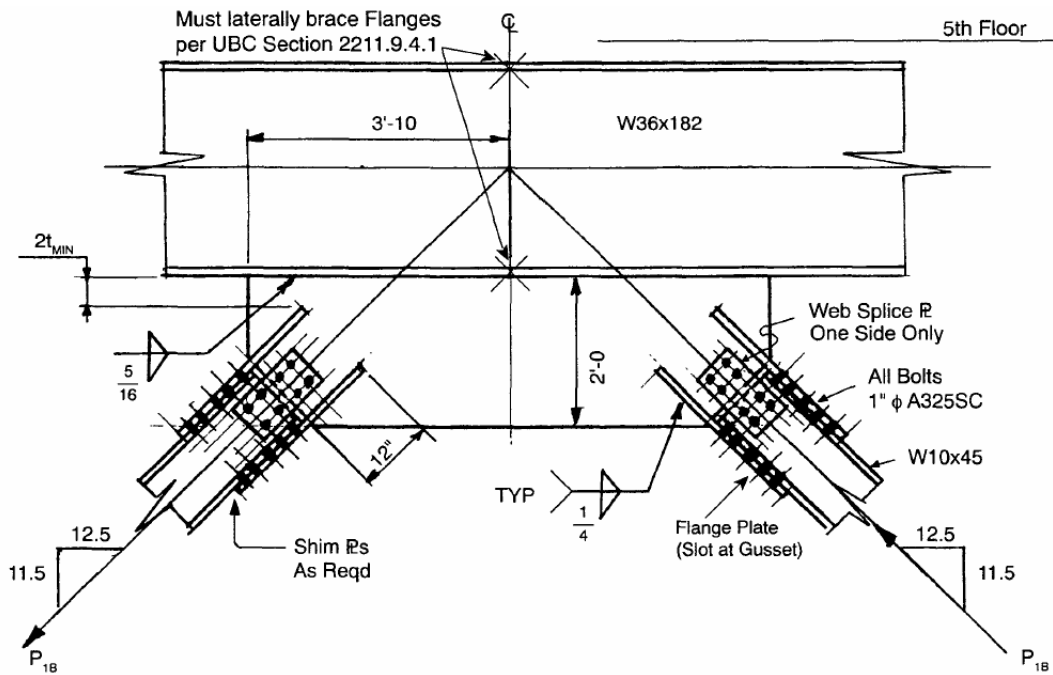
Παράδειγματα μόρφωσης V-συνδέσμων κατά το ύψος



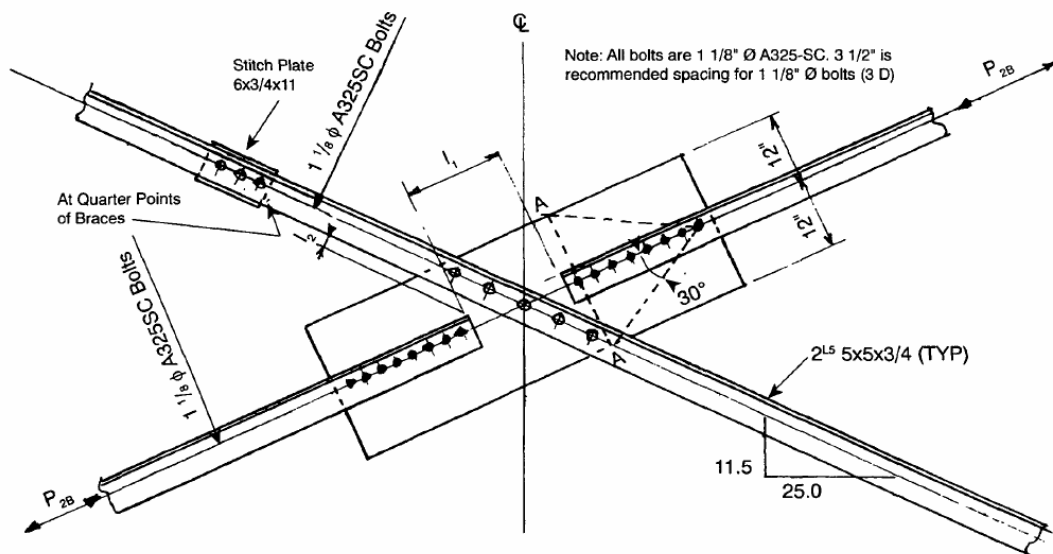
- Ο συνδυασμός Λ - και V-διατάξεων σε διαδοχικούς ορόφους (ώστε να σχηματίζεται μια διόροφη X-διάταξη) αποσκοπεί στην κάλυψη του ειδικού ικανοτικού ελέγχου των οριζοντίων δοκών των V-bracings.
- Η διάταξη στο τελευταίο σχήμα με V-bracings σε περισσότερα φανώματα στους δύο κατώτερους ορόφους αποσκοπεί στην επίτευξη ομοιόμορφης πλαστικής συμπεριφοράς (δείκτες Ω_i).

Παραδείγματα μόρφωσης μεσαίων κόμβων CBFs (από AISC)

1. V-bracing

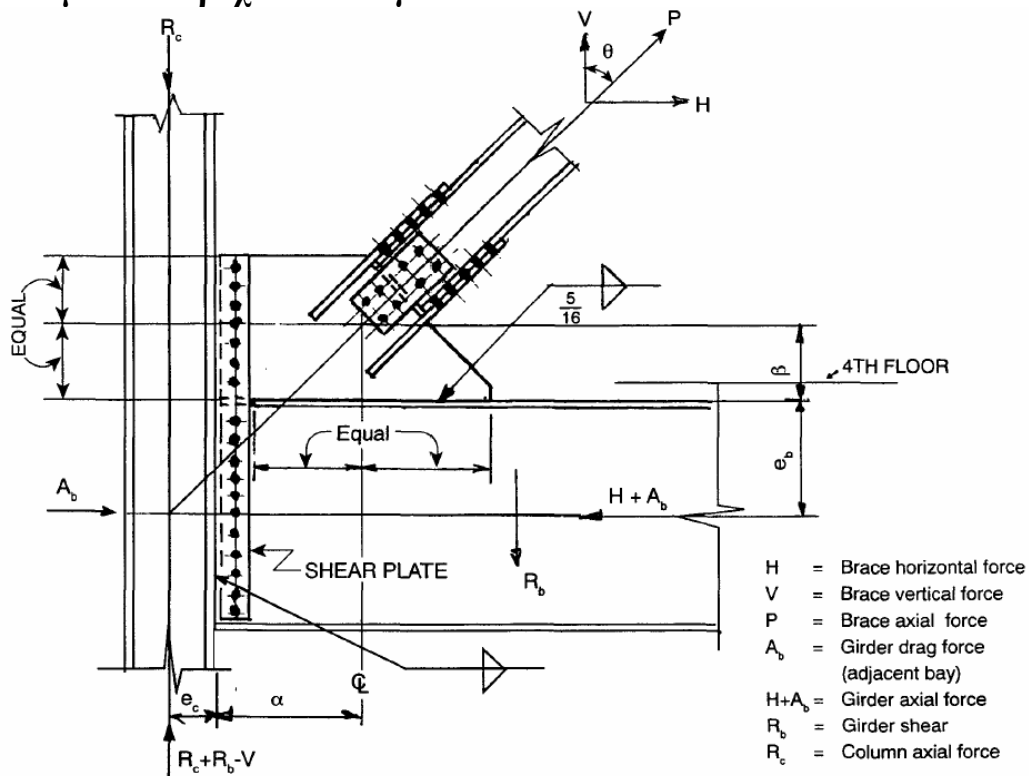


2. X-bracing

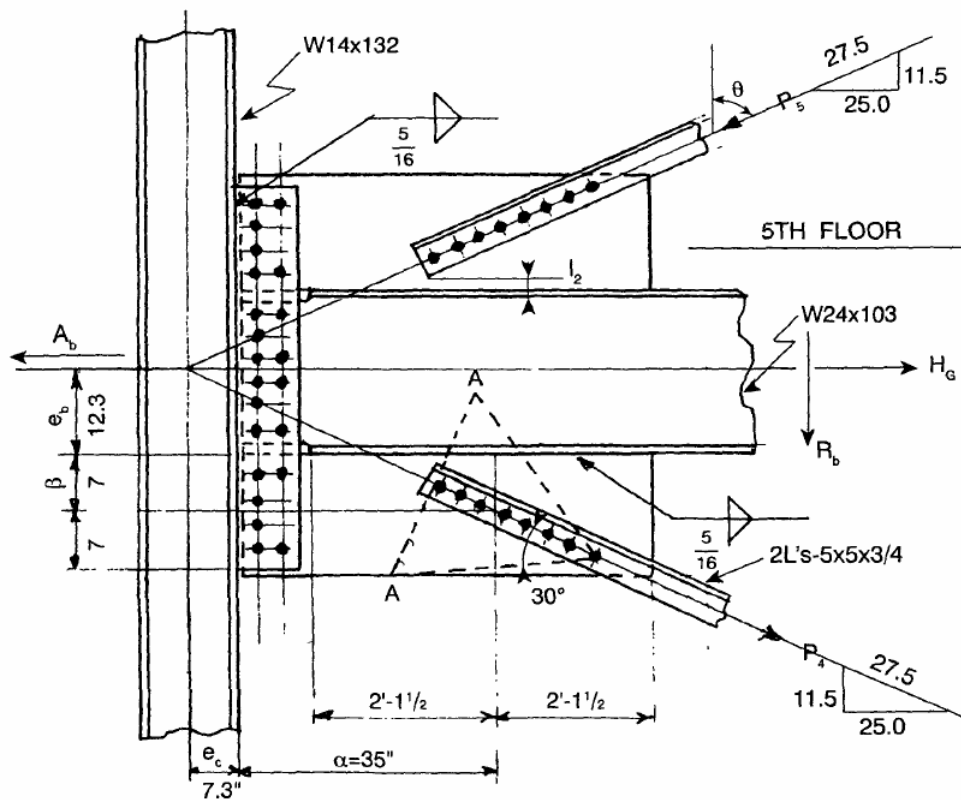


Παραδείγματα μόρφωσης ακραίων κόμβων CBFs (από AISC)

1. Με μία συντρέχουσα διαγώνιο



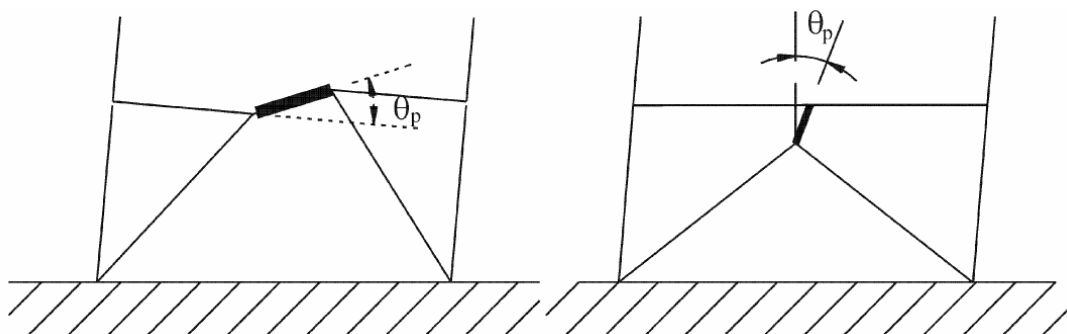
2. Με δύο συντρέχουσες διαγώνιες



VI. ΠΛΑΣΤΙΜΑ ΑΜΙΓΗ EBFs

Θεμελιώδεις απαιτήσεις:

- 1) Η απόσβεση ενέργειας να συμβαίνει σε ειδικά στοιχεία (ράβδους είτε τμήματα ράβδων) – τις σεισμικές ζεύξεις (seismic links) - μέσω διατμητικών είτε/και καμπτικών μηχανισμών πλαστικοποίησης.
- 2) Πρέπει να εξασφαλίζεται ομοιογενής πλαστική συμπεριφορά του συνόλου των σεισμικών ζεύξεων.
- 3) Οι σεισμικές ζεύξεις είναι οριζόντιες είτε κατακόρυφες ράβδοι.



Η παρουσίαση περιορίζεται μόνον σε οριζόντιες ράβδους.

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΖΕΥΞΕΩΝ

Συνήθως δοκοί διατομής I μήκους e
Κορμοί χωρίς ενισχύσεις, οπές είτε διακοπές .

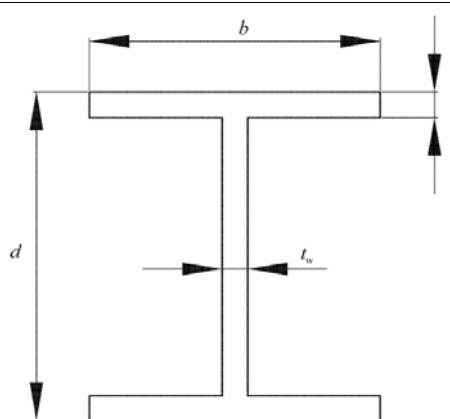
$$M_{p.link} = f_y b t_f (d - t_f)$$

$$V_{p.link} = f_y t_w (d - t_f) / \sqrt{3}$$

$$M_{p.link} / V_{p.link} = \sqrt{3} b (t_f / t_w)$$

$$e_s = 1.6 M_{p.link} / V_{p.link}$$

$$e_L = 3.0 M_{p.link} / V_{p.link}$$



Για $t_f / t_w = 1.5$ προκύπτει, $e_s = 4.15b$ και $e_L = 7.80 b$.

Κοντές / μακρές (οριζόντιες) σεισμικές ζεύξεις.

Ζεύξεις	Συνθήκη	Τύπος διαρροής	θ_{pR} ($\theta_p \square \theta_{pR}$)
Κοντές	$e < e_s$	Διατμητικός	0.08 radians
Μακρές	$e > e_L$	Καμπτικός	0.02 radians
Ενδιάμεσες	$e_s < e < e_L$	Ενδιάμεσος	Με γραμμική παρεμβολή

Απαίτηση ομοιογενούς πλαστικής συμπεριφοράς των EBFs:

1. Ομοιογένεια τύπου σεισμικών ζεύξεων:

Συνιστάται ο φορέας να έχει

- είτε μόνον κοντές ζεύξεις
- είτε μόνον ενδιάμεσες / μακρές ζεύξεις

2. Απαίτηση σχετικά ομοιόμορφης τιμής του ποσοστού εξάντλησης:

Γενική απαίτηση: $\text{Max } \Omega_i \leq 1.25 \Omega$, $\Omega = \min \Omega_i$

Κοντές ζεύξεις $\Omega_i = 1.5 / v_i$ (διάτμηση) $v_i = V_{ed.i} / V_{p.link}$

Μακρές και ενδιάμεσες ζεύξεις $\Omega_i = 1.5 / m_i$ (κάμψη) $m_i = M_{ed.i} / M_{p.link}$

Απαιτήσεις για τις σεισμικές ζεύξεις (πλάστιμα μέλη)

Απαιτήσεις ελέγχων διατομής για τις σεισμικές ζεύξεις:

1) $\text{Av } n_i \leq 0.15$ ($n_i = N_{ed.i} / N_{pl.Rd.i}$) (Επιδιωκόμενο)
Απαιτείται: $v_i \leq 1.0$ $m_i \leq 1.0$

2) $\text{Av } n_i > 0.15$ Ισχύουν τροποποιημένοι τύποι.

Πλαστικές στροφές σεισμικών ζεύξεων:

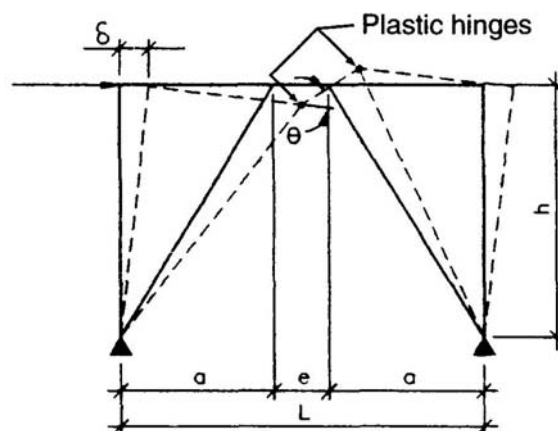
Δ_{EL} : ελαστικό drift ορόφου

$$\delta = q \Delta_{EL}$$

$$\theta_p = (\delta / h) [1 + 2(a / e)]$$

(Απλή κινηματική ανάλυση για συμμετρική διάταξη)

Έλεγχος: $\theta_p \leq \theta_{pR}$



Εξασφάλιση σεισμικών ζεύξεων σε στρέβλωση (lateral buckling)

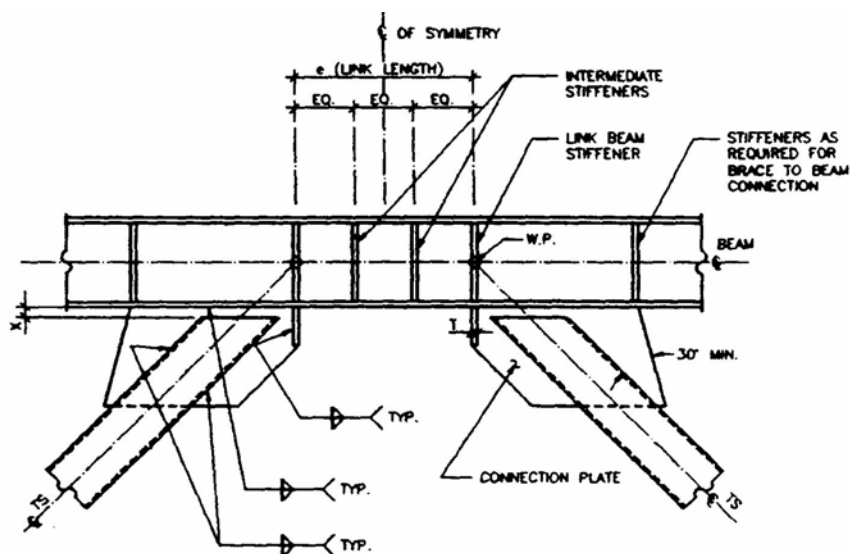
- Απαιτούνται διατάξεις συγκράτησης (lateral supports) και στα δύο άκρα και για τα δύο πέλματα.
- Προβλέπεται ικανοτικός σχεδιασμός των σχετικών στοιχείων (ράβδων) συγκράτησης.

Εξασφάλιση σε διατμητική κύρτωση (shear local buckling) των σεισμικών ζεύξεων - Νεύρα ακαμψίας (stiffeners)

Νεύρα	Απαιτούνται	Χαρακτηριστικά	
Ακραία	Πάντοτε	Πλήρους ύψους. Πάντοτε αμφίπλευρα.	
Ενδιάμεσα	Υπό όρους	Πλήρους ύψους. Υπό όρους μονόπλευρα.	
		Ζεύξη	Πλήθος νεύρων
		Κοντή	εξαρτάται από την θ_p .
		Μακρά	2 στα άκρα

Δίνονται λεπτομερείς οδηγίες που αφορούν και στον ικανοτικού τύπου σχεδιασμό των συγκολλήσεων των νεύρων.

Παράδειγμα διαμόρφωσης κατά AISC:



Συνδέσεις των ζεύξεων – Μέλη που περιέχουν τις ζεύξεις

Απαιτείται ικανοτικός σχεδιασμός των συνδέσεων λαμβάνοντας υπόψη :

- Τον συντελεστή υπεραντοχής γ_{ov} του υλικού
- Τον συντελεστή απόκρισης Ω του φορέα

Απαιτείται έλεγχος σε διατμητικό λυγισμό (shear buckling) των κορμών των οριζοντίων δοκών που περιέχουν τις σεισμικές ζεύξεις (υψηλή διατμητική καταπόνηση χωρίς παρουσία νεύρων).

Απαιτήσεις για τα μέλη που δεν περιέχουν σεισμικές ζεύξεις, δηλαδή τα μη-πλάστιμα μέλη (δοκούς και διαγώνιες) των EBFs

Ικανοτικός σχεδιασμός για την λειτουργία δικτυώματος
(αυξάνονται ικανοτικά μόνον οι αξονικές)

$$\begin{aligned} N_{Sd} &= N_{ed.G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega N_{ed.E} \\ M_{Sd} &= M_{ed.G} + M_{ed.E} \end{aligned}$$

VII. ANTESTRAMMENA EKKREMH

$$\text{DCM : } q = 2$$

Απαιτήσεις για τους στύλους:

Ανηγμένη λυγηρότητα :	$\bar{\lambda} \leq 1.5$
Συντελεστής πλευρικής ευαισθησίας :	$\theta \leq 0.20$
Έλεγχοι με ικανοτική επαύξηση:	
	$\begin{aligned} \mathbf{NSd} &= \mathbf{Ned.G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega \mathbf{Ned.E} \\ \mathbf{MSd} &= \mathbf{Med.G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega \mathbf{Med.E} \\ \mathbf{VSd} &= \mathbf{Ved.G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega \mathbf{Ved.E} \end{aligned}$
όπου	$\begin{aligned} \Omega &= \min \Omega_i & \Omega_i &= 1 / m_i \\ & & m_i &= \mathbf{Med.i} / \mathbf{Mpl.Rd.i} \end{aligned}$

VIII. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ

Απαιτήσεις λυγηρότητας

Γεωμετρική απαίτηση για ελάχιστες διατομές (1^η επιλογή διατομών)

ΟΚΛ – έλεγχος περιορισμού βλαβών (Εύκαμπτες κατασκευές)

2^η επιλογή διατομών.

Απαίτηση ομοιόμορφης πλαστικής συμπεριφοράς (δείκτες Ω_i)

3^η επιλογή διατομών.

.....

ΓΙΑΤΙ ΟΧΙ DCL ;

Ιδιαίτερα

- Στις μονόροφες αίθουσες.
- Στα MRFs με $q = 2$.
- Στα αντεστραμμένα εκκρεμή.