

#### European Commission Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel

## INNOSEIS

## Valorization of innovative anti-seismic devices

## WORK PACAKGE 3 – DELIVERABLE 3.3 Translation of the pre-normative design guidelines into 7 languages

Coordinator: National Technical University of Athens - NTUA, Greece

**Beneficiaries:** 

Universitatea Politehnica Timisoara - UPT, Romania

Politecnico di Milano - POLIMI, Italy

Universita Degli Studi di Napoli Federico II - UNINA, Italy

Universita di Pisa - UNIPI, Italy

Rheinisch-Westfaelische Technische Hochschule Aachen - RWTH, Germany

Instituto Superior Tecnico - IST, Portugal

Universitet po Architektura Stroitelstvo i Geodezija - UACEG, Bulgaria

Universiteit Hasselt - UHasselt, Belgium

Maurer Sohne Engineering GmbH & CO KG - MSE, Germany

Convention Europeenne de la Construction Metallique ASBL - ECCS, Belgium

Grant Agreement Number: 709434

20/07/2017

#### Disclaimer

This document provides recommended criteria for the design of innovative steel lateral-load-resisting systems to resist the effects of earthquakes. These recommendations were developed by practicing and research engineers, based on professional judgment and experience, and by a program of laboratory, field and analytical research. Still, this is not a consensus document nor does it necessarily reflect the views and policies of the Research Fund for Coal and Steel, or the European Commission. It is primarily intended as a resource document for the development of future design standards and building code provisions. No warranty is offered, with regard to the recommendations contained herein. No legal liability or responsibility is assumed for the accuracy, completeness, or usefulness of any of the information, products or processes included in this publication. Users of information contained in this report assume all liability arising from its use.

## ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

Η μετάφραση του τόμου από την αγγλική έκδοση στην ελληνική πραγματοποιήθηκε από τους υποψήφιους διδάκτορες του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών Ε.Μ.Π., Παναγιώτη Τσαρπαλή, Δημήτρη Τσαρπαλή, Κωνσταντίνο Βλαχάκη, Ακριβή Χατζηδάκη, Ζώη Μπέζα και Δημήτρη Μπιλιώνη.

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ) Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών 15780 Αθήνα, Ελλάδα Κεφάλαια 1, 4 Συγγραφείς: Ιωάννης Βάγιας, Παύλος Θανόπουλος, Παναγιώτης Τσαρπαλής, Δανάη Δημακογιάννη

HASSELT UNIVERSITY Construction Engineering Research Group Campus Diepenbeek, Agoralaan building H, BE3590 Diepenbeek Κεφάλαιο 2 Συγγραφείς:: Jose Henriques, Herve Degee

RHEINISCH-WESTFAELISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN (RWTH) Institute of Steel Construction 52074 Aachen, Germany Κεφάλαιο 3 Συγγραφείς:: Benno Hoffmeister, Marius Pinkawa

POLITECNICO DI MILANO (POLIMI) Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering Piazza Leonardo da Vinci, 32, 20133 Milan, Italy Κεφάλαιο 5 Συγγραφείς:: Carlo Andrea Castiglioni, Amin Alavi, Giovanni Brambilla

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO (IST) Department of Civil Engineering, Architecture and Georesources Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisbon, Portugal Κεφάλαιο 6 Συγγραφείς:: Luís Calado, Jorge M. Proença, João Sio

### POLITEHNICA UNIVERSITY OF TIMISOARA (UPT) Department of Steel Structures and Structural Mechanics Ioan Curea Street, no.1, Timisoara, Romania Κεφάλαια 7, 8 Συγγραφείς Κεφαλαίου 7: Adriana Chesoan, Aurel Stratan, Dan Dubina Συγγραφείς Κεφαλαίου 8: Calin Neagu, Florea Dinu, Dan Dubina

UNIVERSITET PO ARCHITEKTURA STROITELSTVO I GEODEZIJA (UACEG)

Department of Steel and Timber Structures

1 Hr. Smirnenski blvd. 1046 Sofia, Bulgaria

Κεφάλαιο 9

Συγγραφείς:: Tzvetan Georgiev, Nikolaj Rangelov, Lora Raycheva, Stanislav Raykov

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σ	ΥΓΓΡ	ΑΦΕΙΣ	I
П	EPIE	XOMENA	. 111
1	ΕΙΣ		1
2	ΣY	ΝΛΕΣΕΙΣ ΙΝΕRD ΜΕ ΠΕΙΡΟ	1
-			
	2.1	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	1
	2.2	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΓΙΑΡ. 6.3.2, ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	1
	2.3	ΠΡΟΖΘΗΚΕΖ ΣΤΗΝ 6.5.5, KANONEZ ZXEΔΙΑΖΜΟΤΤΙΑΤΙΛΑΖΤΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΖΕ ΑΛΙΨΗ Ή ΚΔΜΨΗ	2
	24	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ 6.5.5 ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΛΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΣΥΝΛΕΣΕΙΣ ΣΕ ΖΟΝΕΣ	2
	2.7	ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	2
	2.5	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.7 ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	
		ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ	2
z	۶v	ΝΛΕΣΕΙΣ ΙΝΕΡΟ ΜΕ ΕΛΔΣΜΔΤΔ ΣΥΗΜΔΤΟΣ ΙΙ	8
J	21		
	3.1	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	8
	3.2	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.2, ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	9
	3.3	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝΤΙΑΡ. 6.12 (ΝΕΑ) ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ	0
			9
4	ΔC	ΟΚΟΙ ΣΥΖΕΥΞΗΣ FUSEIS	13
	4.1	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	. 13
	4.2	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.2, ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	. 14
	4.3	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.5.3, ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΠΛΑΣΤΙΜΑ	
		ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕ ΘΛΙΨΗ Ή ΚΑΜΨΗ	. 14
	4.4	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.12 (ΝΕΟΙ) ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ	
		ΛΕΙ ΙΙ ΙΙ ΟΜΕΡΕΙΩΝ Ι ΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΔΟΚΟΥΣ ΣΥΖΕΥΞΗΣ FUSEIS	. 15
5	ΣΥ	ΣΤΗΜΑ ΠΕΙΡΩΝ ΣΥΖΕΥΞΗΣ FUSEIS	20
	5.1	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	. 20
	5.2	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.3.2, ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ	
		ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	.21
	5.3	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.5.3, ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΠΛΑΣΤΙΜΑ	
		ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕ ΘΛΙΨΗ Ή ΚΑΜΨΗ	.21
	5.4	ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.12 (ΝΕΑ) ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ	
		ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΛΕΙ ΠΟΜΕΡΕΙΩΝ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΙΡΩΝ	22
			. 22
6	KC	ΟΧΛΙΩΤΕΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΟΚΩΝ FUSEIS	29
	6.1	ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΣΥΝΠΕΡΙΛΗΦΘΟΥΝ ΣΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	
		TOY EN1998-1-1	29

6.2	2 ΑΡΧΕΣ: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΝΣΩΜΑΤΩΘΕΙ ΣΤΟ ΕΝ1998-1-1	33
7	ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΕΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΟΚΩΝ FUSEIS	. 36
7.1	1 ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΣΥΜΠΕΡΙΛΗΦΘΟΥΝ ΣΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΤΟΥ εΝ1998-1-1	36
7.2	2 ΑΡΧΕΣ: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΕΡΙΕΧΟΝΤΑΙ ΣΤΟΝ ΕΝ1998-1-1	38
8	ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΙΜΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ	. 41
8.1 8.2 8.3 8.4	<ol> <li>ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ</li> <li>ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.3.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ</li> <li>ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.8.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ</li> <li>ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.8.4 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ</li> <li>ΣΥΝΔΕΣΜΟΝ</li> </ol>	41 41 41 42
8.6 8.6	<ul> <li>ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.10.2 ΠΛΑΙΣΙΑ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΡΟΠΩΝ ΣΕ</li> <li>ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ</li> <li>ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΕΙΔΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΚΤΗΡΙΑ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ</li> </ul>	42 43 44
9	ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ	. 49
9.1 9.1 9.3 9.4	<ol> <li>ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ</li> <li>ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.2, ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ</li> <li>ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.10, ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΦΟΡΕΙΣ ΑΠΌ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ ΠΥΡΗΝΕΣ ΑΠΌ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ Η ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΑΠΌ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΡΟΠΩΝ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ Ή ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ</li> <li>ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΕΙΔΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΚΤΗΡΙΑ ΑΠΌ ΧΑΛΥΒΑ</li> </ol>	49 50 50 51
<b>10</b>	ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ (CBF-MB)	. 49
10 10 10	<ul> <li>1.1 ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ</li> <li>1.2 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.2, ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ</li> <li>1.3 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.12 (ΝΕΑ) ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ</li> <li>ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ</li> <li>ΚΕΝΤΡΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ (CBF-MB)</li> </ul>	58 59 59

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο συγκεκριμένος τόμος παρουσιάζει σχετικούς οδηγούς σχεδιασμού για 9 καινοτόμα αντισεισμικά συστήματα. Οι οδηγοί σχεδιασμού αποτελούν προσθήκες στον ΕΝ 1998-1, στην πιο πρόσφατη έκδοσή του, Μάιος 2004. Οι αναφορές που γίνονται αφορούν παραγράφους της συγκεκριμένης έκδοσης και οι αριθμήσεις εικόνων, πινάκων και εξισώσεων γίνονται με βάση αυτή. Τα συστήματα είναι πλάστιμες συνδέσεις, πλάστιμοι σύνδεσμοι, πλάστιμες αποκαταστάσεις δοκών, αντικαταστάσιμοι σεισμικοί σύνδεσμοι και διατμητικές πλάκες και τροποποιημένοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας.

## 2 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ INERD ΜΕ ΠΕΙΡΟ

#### 2.1 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

(1) Πλαίσια με συνδέσμους δυσκαμψίας χωρίς εκκεντρότητα και πλάστιμες συνδέσεις είναι εκείνα στα οποία οι συνδέσεις των συνδέσμων δυσκαμψίας με τα γειτονικά μέλη είναι πλάστιμες και με μειωμένη αντοχή σε σύγκριση με το σύνδεσμο, έτσι ώστε η ενέργεια να μπορεί να απορροφηθεί στις συνδέσεις, ενώ οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας και τα άλλα μέλη προστατεύονται από λυγισμό και διαρροή. Το μέσο σύνδεσης είναι ένας πείρος που διέρχεται από δύο εξωτερικά ελάσματα που συνδέονται με τα υποστυλώματα/δοκούς του πλαισίου και από ένα ή δύο εσωτερικά ελάσματα που συνδέσεις πείρου μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα ή και στα δύο άκρα των διαγωνίων.





#### 2.2 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.2, ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Πίνακας 6.2: Ανώτερες οριακές τιμές αναφοράς των συντελεστών συμπεριφοράς για συστήματα κανονικά σε όψη

ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	Κατηγορία Πλαστιμότητας		
	КПМ	KΠY	
Συνδέσεις INERD με πείρο			
και στα δύο άκρα της διαγωνίου	3.0	4.0	
στο ένα άκρο της διαγωνίου	2.0	3.0	

#### 2.3 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ 6.5.3, ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΠΛΑΣΤΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕ ΘΛΙΨΗ Ή ΚΑΜΨΗ

(3) Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι πλάστιμοι πείροι θα καταπονηθούν κυρίως σε κάμψη, το μήκος τους πρέπει να είναι τέτοιο ώστε

$$a \ge h$$
 E§. (6.1)

όπου *h* το ύψος του πείρου *a* η καθαρή απόσταση μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών ελασμάτων

#### 2.4 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ 6.5.5, ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΣΕ ΖΩΝΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

(8) Η αντοχή *R*<sub>d</sub> των συγκολλήσεων ή των κοχλιών της πλάστιμης σύνδεσης πρέπει να ικανοποιεί το κριτήριο:

 $R_d \ge 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot P_{u,Rd}$ 

Eξ. (6.2)

όπου *P<sub>u,Rd</sub>* είναι η οριακή αντοχή της υπό εξέταση σύνδεσης με πείρο
 γ<sub>ov</sub> = 1.25 είναι ο συνιστώμενος συντελεστής υπεραντοχής

Για κοχλιωτές συνδέσεις, πρέπει να χρησιμοποιούνται Προεντεταμένοι Κοχλίες Υψηλής Αντοχής (Κατηγορίες Β, C ή Ε σύμφωνα με το ΕΝ1993-1-8).

#### 2.5 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.7 ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ

#### 6.7.1 Κριτήρια σχεδιασμού

(4)Ρ Τα πλαίσια με συνδέσμους δυσκαμψίας χωρίς εκκεντρότητα και πλάστιμες συνδέσεις με πείρο πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε η διαρροή των πείρων σε κάμψη να πραγματοποιείται πριν το λυγισμό των συνδέσμων ή τη διαρροή των γειτονικών μελών και τμημάτων.

#### 6.7.2 Ανάλυση

(2) Ρ – σε πλαίσια με πλάστιμες συνδέσεις με πείρο πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο οι εφελκυόμενες όσο και οι θλιβόμενες διαγώνιοι. Η σύνδεση με πείρο μπορεί να προσομοιωθεί ως ένα αξονικό ελατήριο με σταθερά ελατηρίου:

Για ένα εσωτερικό έλασμα:

$$K_{pin} = \frac{32 \cdot EI}{\ell^3}$$
 Eξ. (6.3)

• Για δύο εσωτερικά ελάσματα:

$$K_{pin} = \frac{8 \cdot EI}{a \cdot \ell^2 \cdot \alpha \cdot (3 - 4 \cdot \alpha)}$$
 Eξ. (6.4)





#### 6.7.3 Διαγώνια μέλη

(10) Οι πλάστιμοι πείροι έχουν σχεδιαστεί για τις υψηλότερες δυνάμεις στους συνδέσμους δυσκαμψίας που προκύπτουν από τον αντισεισμικό σχεδιασμό σύμφωνα με:

$$P_{Ed} \le P_{u,Rd}$$
 E§. (6.5)

## όπου *P<sub>Ed</sub>* η αξονική δύναμη σχεδιασμού του συνδέσμου και της σύνδεσης *P<sub>u,Rd</sub>* η οριακή αντοχή της σύνδεσης

Η αντοχή της σύνδεσης σε κάμψη και διάτμηση του πείρου ορίζεται στις εξ. (6.6α) και (6.6β) αντίστοιχα. Ο συντελεστής  $\beta_{III}$  ορίζει το ποσοστό του πείρου που έχει υποστεί σημαντική πλαστική παραμόρφωση σε κάθε πλευρά, με 0  $\leq \beta_{III} \leq$  0.5. Η

οριακή αντοχή της σύνδεσης υπολογίζεται μέσω επαναληπτικής διαδικασίας μεταβάλλοντας το συντελεστή β<sub>III</sub>, έτσι ώστε οι δύο τιμές των εξισώσεων (6.6α) και (6.6β) να γίνουν ίσες.

όπου 
$$\begin{split} M_{\rm u} &= W_{{\rm u},{\rm pl}} \cdot f_{\rm mid} ~~ \eta ~~ \text{οριακή πλαστική αντοχή του πείρου} \\ f_{\rm mid} &= f_{\rm y} + \left(f_{\rm u} - f_{\rm y}\right) \cdot \lambda_{\rm f} \left/2 ~~ \eta ~~ \mu έγιστη ~~ \text{ορθή τάση του πείρου} \\ \lambda_{\rm f} &= \left(\frac{a-h}{2\cdot h}\right)^2 ~~ ένας συντελεστής για την επιρροή της διάτμησης 0 ≤ λ_{\rm f} ≤ 1 \\ W_{\rm u,pl} &= b \cdot h^2 \cdot \left[\beta_{\rm III} - \beta_{\rm III}^2 + \chi \cdot \left(0.5 - \beta_{\rm III}\right)^2\right] ~~ \eta ~~ πλαστική ~~ \text{ροπή αντίστασης} \\ \text{του πείρου, λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση λόγω διατμητικών τάσεων.} \\ \chi &= \sqrt{1 - \left(f_{\rm y} / f_{\rm mid}\right)^2} \end{split}$$

#### (11) Η υπεραντοχή ενός πείρου *i* ορίζεται από τη σχέση:

$$\Omega_i = \frac{P_{u,Rd,i}}{P_{Ed,i}}$$
E§. (6.7)

Η επιλογή των διαστάσεων του πείρου πρέπει να είναι τέτοια ώστε η τιμή του Ω<sub>i</sub> να είναι κοντά στη μονάδα.

Προκειμένου να επιτευχθεί μια ομογενής καθολική ικανότητα απορρόφησης ενέργειας στην κατασκευή, θα πρέπει να ελεγχθεί ότι ο μέγιστος λόγος υπεραντοχής Ω<sub>max</sub> σε ολόκληρη την κατασκευή δε διαφέρει από την ελάχιστη τιμή Ω<sub>min</sub> περισσότερο από 25%:

$$\frac{\Omega_{max}}{\Omega_{min}} \leq 1.25$$
 E§. (6.8)

(12) Τα διαγώνια μέλη πρέπει να ελέγχονται σε διαρροή και λυγισμό υποθέτοντας την εξάντληση της αντοχής των πείρων στα άκρα τους:

$$N_{Ed} = \Omega_{\max} \cdot P_{u,Rd}$$
 Eξ. (6.9)

όπου Ω<sub>max</sub> είναι η μέγιστη τιμή από όλες τις συνδέσεις με πείρο των διαγωνίων.

#### 6.7.4 Δοκοί και υποστυλώματα

Οι δοκοί και τα υποστυλώματα που συνδέονται με συνδέσμους δυσκαμψίας που έχουν εύκαμπτες συνδέσεις INERD πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες ελάχιστες απαιτήσεις σε αντοχή:

$$N_{pl,Rd}(M_{Ed}) \ge N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$
 Eξ. (6.10)

όπου N<sub>pl,Rd</sub> (M<sub>Ed</sub>) είναι η αξονική αντοχή σχεδιασμού της δοκού ή του υποστυλώματος σύμφωνα με το EN1993, η οποία λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση με τη ροπή κάμψης M<sub>Ed</sub>, τη ροπή σχεδιασμού στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού,
 N<sub>Ed,G</sub> είναι η αξονική δύναμη στην δοκό ή το υποστύλωμα που οφείλεται σε μη-σεισμικές δράσεις οι οποίες συμπεριλαμβάνονται στο συνδυασμό των δράσεων για τη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού,
 N<sub>Ed,E</sub> είναι η αξονική δύναμη στη δοκό ή το υποστύλωμα που οφείλεται στη σεισμικές δράσεις οι οποίες συμπεριλαμβάνονται στο συνδυασμό των δράσεων για τη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού,
 N<sub>Ed,E</sub> είναι η αξονική δύναμη στη δοκό ή το υποστύλωμα που οφείλεται στη σεισμική δράση σχεδιασμού,
 Ω<sub>min</sub> είναι η ελάχιστη τιμή από όλες τις συνδέσεις με πείρο των διαγωνίων.

Η απαίτηση αυτή μπορεί να εκφραστεί με τον ακόλουθο περιορισμό:

(4) Οι δοκοί και τα υποστυλώματα που συνδέονται με συνδέσμους δυσκαμψίας που έχουν πλάστιμες συνδέσεις με πείρο μπορούν να ελέγχονται σύμφωνα με το 6.7.4 (1), όπου Ω είναι η ελάχιστη τιμή από όλες τις συνδέσεις με πείρο των διαγωνίων.

Ο συνολικός συντελεστής μεγέθυνσης (1.1·γ<sub>ον</sub>·Ω) δεν μπορεί να υπερβεί την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς *q* που χρησιμοποιείται στην ανάλυση.

Η πραγματική μέγιστη τάση διαρροής του χαλύβδινου πείρου πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερη στην ονομαστική της τιμή προκειμένου να επιτευχθεί ένας οικονομικός σχεδιασμός. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί εάν ο χάλυβας του πείρου συμμορφώνεται με τη συνθήκη 6.2 (3)α ή 6.2 (3)γ.

#### 6.7.5 Προσομοίωση των πείρων για μη γραμμικές στατικές αναλύσεις (pushover)

Η πλάστιμη σύνδεση με πείρο μπορεί να προσομοιωθεί από ένα μη γραμμικό αξονικό ελατήριο στο άκρο της διαγωνίου με ιδιότητες που απεικονίζονται στο Σχήμα 3. Χαρακτηριστικά σημεία που καθορίζουν τις ιδιότητες των αξονικών ελατηρίων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Σχ. 6.3: Μη γραμμικές ιδιότητες του ελατηρίου που προσομοιώνει την πλάστιμη σύνδεση με πείρο και τα επίπεδα επιτελεστικότητας

#### 6.7.6 Προσομοίωση των πείρων για μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις

(1) Ο στατικός μη γραμμικός νόμος των πλάστιμων πείρων που περιγράφεται στο 6.7.5 μπορεί να επεκταθεί προκειμένου να επιδείξει επαρκή υστερητική συμπεριφορά. Ένας τυπικός υστερητικός νόμος παρουσιάζεται στο Σχ. 6.4, όπου μπορεί να φανεί ότι χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για να προσομοιωθεί το φαινόμενο της μείωσης της πληρότητας των βρόχων που παρατηρείται κατά τη διάρκεια ανακυκλιζόμενης φόρτισης.



Σχ. 6.4: Υστερητική συμπεριφορά του μη γραμμικού ελατηρίου που προσομοιώνει την πλάστιμη σύνδεση με πείρο

(2) Κατά την εκτέλεση μη γραμμικής δυναμικής ανάλυσης, πρέπει να εξεταστούν οι βλάβες στους πείρους λόγω ολιγοκυκλικής κόπωσης. Για τους πλάστιμους πείρους πρέπει να ληφθεί υπόψη η ακόλουθη καμπύλη κόπωσης:

 $\log N = 6 - 3 \cdot \log S$ 

Εξ. (6.11)

Ο δείκτης βλάβης μπορεί να προσδιοριστεί από την χρονοϊστορία των τάσεων της σύνδεσης με πείρο σύμφωνα με το Παράρτημα Α του ΕΝ1993-1-9.

### 3 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ INERD ΜΕ ΕΛΑΣΜΑΤΑ ΣΧΗΜΑΤΟΣ U

#### 3.1 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

- (2) Η σύνδεση σχήματος U είναι μια κατάλληλη λύση για πλαίσια με συνδέσμους δυσκαμψίας χωρίς εκκεντρότητα (Σχ. 3.1). Η σύνδεση σχήματος U αποτελείται από ένα ή δύο παχιά ελάσματα σχήματος U (Σχ. 3.2) και συνδέει το σύνδεσμο δυσκαμψίας με το γειτονικό μέλος. Η σύνδεση του συνδέσμου με το Σύστημα-U μπορεί να είναι παράλληλη ή κάθετη (Σχ. 3.3).
- (3) Η σύνδεση σχήματος U σχεδιάζεται ως πλάστιμη σύνδεση.
- (4) Η σύνδεση σχήματος U είναι κατάλληλη για κατασκευές που δεν είναι πολύ ευαίσθητες σε μεγάλες μετατοπίσεις. Στην περίπτωση των πολυώροφων κτηρίων, θα πρέπει να εφαρμόζονται το πολύ σε εξαώροφα.



Σχ. 3.1: Τύπος πλαισίου για την υλοποίηση την σύνδεσης σχήματος U: πλαίσια με συνδέσμους δυσκαμψίας χωρίς εκκεντρότητα



Σχ. 3.2: Σύστημα-U

Τόμος με οδηγούς σχεδιασμού 9 καινοτόμων αντισεισμικών συστημάτων, στα ελληνικά | 9 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΙΝΕRD ΜΕ ΕΛΑΣΜΑΤΑ ΣΧΗΜΑΤΟΣ U



α) Φορτίο παράλληλο στη σύνδεση-U
 β) Φορτίο κάθετο στη σύνδεση-U
 Σχ. 3.3: Τυπολογία σύνδεσης συνδέσμου δυσκαμψίας με το Σύστημα-U

#### 3.2 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.2, ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Πίνακας 6.2: Ανώτερες οριακές τιμές αναφοράς των συντελεστών συμπεριφοράς για συστήματα κανονικά σε όψη

Σύνδεση σχήματος U	3.0
--------------------	-----

#### 3.3 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.12 (ΝΕΑ) ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ U

#### 6.12.1 Ανάλυση

Οι συνδέσεις σχήματος U μπορούν να προσομοιωθούν ως εξής:

- Μέσω στοιχείων δοκού. Ο αριθμός των στοιχείων πρέπει να είναι επαρκής για να αποδοθεί η καμπυλότητα του συστήματος. Η σύνδεση μεταξύ των στοιχείων της σύνδεσης σχήματος U και των δομικών στοιχείων (υποστυλώματα και σύνδεσμοι δυσκαμψίας) είναι άκαμπτη (συνεχής).
- Μέσω ισοδύναμου ελατηρίου. Στο δομικό προσομοίωμα η σύνδεση μεταξύ των μελών (υποστυλώματα και σύνδεσμοι δυσκαμψίας) υλοποιείται με τη χρήση ενός στοιχείου ελατηρίου. Η συμπεριφορά του στοιχείου ελατηρίου προσεγγίζει τη συμπεριφορά της σύνδεσης σχήματος U.

Οι συνδέσεις δοκών-υποστυλωμάτων και οι βάσεις των υποστυλωμάτων προσομοιώνονται ως αρθρωτές.

#### 6.12.2 Συνδέσεις σχήματος U

Οι συνδέσεις σχήματος U πρέπει να ελέγχονται σύμφωνα με την αξονική δύναμη σχεδιασμού στους συνδέσμους δυσκαμψίας:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{U,Rd}} \le 1$$
 E§. (3.1)

όπου:

N<sub>Ed</sub> είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού στο σύνδεσμο N<sub>U,Rd</sub> είναι η αντοχή σχεδιασμού της σύνδεσης σχήματος U

Η υπεραντοχή μιας σύνδεσης σχήματος U ορίζεται από την έκφραση:

$$\Omega = \frac{N_{pl,U,Rd}}{N_{Ed}}$$
 Eξ. (3.2)

Η επιλογή των διαστάσεων της σύνδεσης σχήματος U πρέπει να είναι τέτοια ώστε η τιμή του Ω να είναι κοντά στη μονάδα.

Προκειμένου να επιτευχθεί μια καθολική ικανότητα απορρόφησης ενέργειας στο πλαίσιο, θα πρέπει να ελεγχθεί ότι ο μέγιστος λόγος υπεραντοχής Ω σε ολόκληρη την κατασκευή δε διαφέρει από την ελάχιστη τιμή Ω περισσότερο από 25%:

$$\frac{max\Omega}{min\Omega} \le 1.25$$

# 6.12.3 Υποστυλώματα και σύνδεσμοι δυσκαμψίας σε πλαίσια με συνδέσεις σχήματος U

Τα υποστυλώματα και οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας που ενώνονται μέσω των συνδέσεων σχήματος U θα πρέπει να ελέγχονται με βάση τα ικανοτικά μεγέθη όπως υπολογίζονται στις παρακάτω εξισώσεις:

$$N_{Col,Ed} = N_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{Ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$
 E§. (3.4)

$$N_{Brac,Ed} = 1, 1 \cdot \gamma_{Ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$
 E§. (3.5)

#### όπου:

N<sub>Ed,G</sub> είναι οι αξονικές δυνάμεις που οφείλονται σε μη-σεισμικές δράσεις οι οποίες συμπεριλαμβάνονται στο συνδυασμό των δράσεων για τη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού,

N<sub>Ed,E</sub> είναι οι αξονικές δυνάμεις που οφείλονται στις σεισμικές δράσεις,

$$\Omega = \min\Omega_i = \min\left\{\frac{M_{pl,pin,Rd,i}}{M_{Ed,i}}\right\} \qquad \Omega = \min\Omega_i = \min\left\{\frac{N_{U,Rd,i}}{N_{Ed,i}}\right\} \qquad \text{eival} \qquad \text{o} \qquad \text{elaxiotoc}$$

συντελεστής υπεραντοχής για όλες τις συνδέσεις σχήματος U στο κτήριο, βλέπε Εξ. (1.2), και γ<sub>ov</sub> =1.25 είναι ο συντελεστής υπεραντοχής του υλικού.

Ο συνολικός συντελεστής μεγέθυνσης δεν μπορεί να υπερβεί την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q που χρησιμοποιείται στην ανάλυση. Η πραγματική μέγιστη τάση διαρροής του χάλυβα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερη στην ονομαστική της τιμή προκειμένου να επιτευχθεί ένας οικονομικός σχεδιασμός.

## 6.12.4 Προσομοίωση της σύνδεσης σχήματος U για μη γραμμική στατική ανάλυση (pushover)

Το δομικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για μη γραμμική στατική ανάλυση (pushover) πρέπει να περιλαμβάνει την απόκριση των δομικών στοιχείων και των συνδέσεων πέρα από την ελαστική κατάσταση. Ανάλογα με τον τρόπο προσομοίωσης της σύνδεσης σχήματος U, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα ακόλουθα:

- Στοιχείο δοκού: η συμπεριφορά του υλικού θα πρέπει να προσομοιωθεί από έναν ελαστικό-τέλεια-πλαστικό ή ελαστο-πλαστικό καταστατικό νόμο με κράτυνση.
- Στοιχείο ελατηρίου: το στοιχείο ελατηρίου πρέπει να είναι μη γραμμικό και η συμπεριφορά του θα πρέπει να αποδίδει τη μετελαστική συμπεριφορά του συστήματος. Μια προσέγγιση της πραγματικής συμπεριφοράς μπορεί να γίνει μέσω ενός πολυγραμμικού νόμου.

### 6.12.5 Προσομοίωση της σύνδεσης σχήματος U για μη γραμμική δυναμική ανάλυση

Το δομικό προσομοίωμα που χρησιμοποιείται για μια μη γραμμική δυναμική ανάλυση πρέπει να περιλαμβάνει την απόκριση των δομικών στοιχείων και των συνδέσεων πέρα από την ελαστική κατάσταση και για ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Ανάλογα με τον τρόπο προσομοίωσης της σύνδεσης σχήματος U, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα ακόλουθα:

- Στοιχείο δοκού: η συμπεριφορά του υλικού θα πρέπει να προσομοιωθεί από έναν νόμο για ανακυκλιζόμενη φόρτιση (με κινηματική κράτυνση),
- Στοιχείο ελατηρίου: το στοιχείο ελατηρίου πρέπει να είναι μη γραμμικό και η συμπεριφορά του θα πρέπει να αποδίδει την υστερητική συμπεριφορά του συστήματος.

### 4 ΔΟΚΟΙ ΣΥΖΕΥΞΗΣ FUSEIS

#### 4.1 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

η) Τα συστήματα δοκών σύζευξης FUSEIS αποτελούνται από δύο ισχυρά υποστυλώματα σε μικρή απόσταση, που συνδέονται άκαμπτα με πολλαπλές οριζόντιες δοκούς. Οι δοκοί εκτείνονται από υποστύλωμα σε υποστύλωμα και μπορούν να έχουν διαφορετικό τύπο διατομής, για παράδειγμα RHS, SHS, CHS, ή διατομή διπλού ταυ (I-shaped). Το σύστημα δοκών σύζευξης FUSEIS αναλαμβάνει τα πλευρικά φορτία (lateral loads) ως μια κατακόρυφη δοκός Vierendeel και λειτουργεί ως το σύστημα παραλαβής των σεισμικών φορτίων σε ένα πλαίσιο (Σχ. 4.1)

(6) Οι οριζόντιες δοκοί στο σύστημα δοκών σύζευξης FUSEIS αποτελούν τις πλάστιμες ζώνες (dissipative zones), όπου κυρίως παρουσιάζεται η δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας. Δοκοί απομειωμένης διατομής (RBS) συστήνονται για τον σαφή προσδιορισμό των πλάστιμων ζωνών (Σχ. 4.2). Οι δοκοί απομειωμένης διατομής πρέπει να σχεδιάζονται με βάση το πρότυπο ΕΝ 1998-3. Οι συνδέσεις μεταξύ των δοκών των ορόφων και των υποστυλωμάτων μπορεί να είναι αρθρωτές (pinned) ή ημιάκαμπτες (semi-rigid). Οι ημιάκαμπτες συνδέσεις προτιμούνται έτσι ώστε να παρέχεται ένα σύστημα με δυνατότητα επαναφοράς αφήνοντας το κττίριο πρακτικά μηδενικές παραμένουσες παραμορφώσεις. Τα υποστυλώματα μπορεί να είναι είτε πακτωμένα είτε αρθρωτά.



Σχ. 4.1: Σύστημα δοκών σύζευξης FUSEIS (αριστερά) και μερικά συστήματα τοποθετημένα σε ένα κτίριο (δεξιά)



Σχ. 4.2: Πλάστιμες ζώνες σε δοκούς σύζευξης FUSEIS με χρήση δοκών απομειωμένης διατομής (RBS)

#### 4.2 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.2, ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Πίνακας 6.2: Ανώτερες οριακές τιμές αναφοράς των συντελεστών συμπεριφοράς για συστήματα κανονικά σε όψη

ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	Κατηγορία Πλαστιμότητας		
	КПМ	КПҮ	
η) Δοκοί σύζευξι FUSEIS	ς 3	5	

#### 4.3 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.5.3, ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΠΛΑΣΤΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕ ΘΛΙΨΗ Ή ΚΑΜΨΗ

(3) Για την αποφυγή σημαντικής αλληλεπίδρασης μεταξύ διατμητικών και καμπτικών επιδράσεων, στις περιπτώσεις των συστημάτων δοκών σύζευξης FUSEIS, θα πρέπει να ικανοποιείται η ακόλουθη εξίσωση:

$$l_{RBS} > \frac{2 \cdot M_{pl,RBS,Rd}}{V_{b,pl,Rd}} = \frac{4 \cdot W_{pl,RBS}}{A_v / \sqrt{3}}$$
 E§. (6.1)

Όπου:

l<sub>RBS</sub> = αξονική απόσταση μεταξύ των δοκών απομειωμένης διατομής (RBS)

 $M_{pl,RBS,Rd} = W_{pl,RBS} \cdot f_y$  είναι η ροπή αντοχής σχεδιασμού της δοκού απομειωμένης διατομής, ενώ  $W_{pl,RBS}$  η αντίστοιχη πλαστική ροπή της διατομής και  $f_y$  το όριο διαρροής

V<sub>b,pl,Rd</sub> = διατμητική αντοχή σχεδιασμού της διατομής της δοκού

 $A_v = επιφάνεια διάτμησης της διατομής της δοκού$ 

#### 4.4 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.12 (ΝΕΟΙ) ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΠΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΔΟΚΟΥΣ ΣΥΖΕΥΞΗΣ FUSEIS

#### 6.12.1 Ανάλυση



Σχ. 4.3: Προσομοίωση δοκού σύζευξης FUSEIS

Τα συστήματα δοκών σύζευξης FUSEIS θα πρέπει να προσομοιώνονται με κατάλληλα πεπερασμένα στοιχεία δοκού. Το καθαρό (net) μήκος δοκού θα πρέπει να υποδιαιρείται σε 5 τμήματα όπως φαίνεται στο Σχ. 4.3. Τα τμήματα αυτά θα πρέπει να αναπαριστούν τις πλήρεις διατομές και τις απομειωμένες διατομές (RBS) της δοκού. Οι συνδέσεις δοκού-υποστυλώματος, όπως και οι βάσεις των υποστυλωμάτων, θα πρέπει να προσομοιώνονται ως άκαμπτες, ημιάκαμπτες ή αρθρωτές σύμφωνα με την λεπτομέρεια της σύνδεσης. Οι άκαμπτες ζώνες θα πρέπει να παρέχονται από τα κέντρα των υποστυλωμάτων μέχρι τις παρειές (column faces) έτσι ώστε να αποκλείονται μη υπάρχουσες ευκαμψίες (flexibilities).

#### 6.12.2 Έλεγχος πλάστιμων μελών

Για τα πλάστιμα μέλη του συστήματος π.χ. δοκοί σύζευξης, θα πρέπει να γίνεται έλεγχος αντοχής στα εντατικά μεγέθη (δυνάμεις και ροπές), όπως αυτά προσδιορίζονται από τη στατική ανάλυση. Οι δοκοί σύζευξης θα πρέπει να ελέγχονται θεωρώντας τον σχηματισμό πλαστικής άρθρωσης στην απομειωμένη διατομή της δοκού (RBS). (1) Ο έλεγχος σε ροπή κάμψης της απομειωμένης διατομής της δοκού (RBS) θα πρέπει να ελέγχεται ως εξής:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,RBS,Rd}} \le 1.0$$
 E§. (6.2)

Όπου:

*M<sub>Ed</sub>* = ροπή κάμψης σχεδιασμού

M<sub>pl,RBS,Rd</sub> = πλαστική ροπή αντοχής σχεδιασμού της απομειωμένης διατομής (RBS)

(2) Η διατμητική αντοχή θα πρέπει να ελέγχεται ως εξής:

$$\frac{V_{CD,Ed}}{V_{b,pl,Rd}} \le 1.0$$
 E§. (6.3)

Όπου:

$$V_{CD,Ed} = \frac{2 \cdot M_{pl,RBS,Rd}}{l_{RBS}}$$
 E§. (6.4)

*V<sub>CD,Ed</sub>* = ικανοτική τέμνουσα σχεδιασμού

*V<sub>b,pl,Rd</sub>* = διατμητική αντοχή σχεδιασμού της διατομής

Εάν η 6.5.3 (3) ικανοποιείται, τότε η Εξ. 6.3 επίσης ικανοποιείται αυτόματα.

(3) Η αντοχή σε ροπή του άκρου θα πρέπει να ελέγχεται ως εξής:

$$\frac{M_{CD,Ed}}{M_{b,pl,Rd}} \le 1.0$$
 E§. (6.5)

Όπου:

 $M_{CD,Ed} = \frac{l_b}{l_{RBS}} \cdot M_{pl,RBS,Rd} =$ ροπή κάμψης σχεδιασμού, όπου:

l<sub>b</sub> = καθαρό μήκος δοκού

l<sub>RBS</sub> = αξονική απόσταση των απομειωμένων διατομών (RBS)

M<sub>b,pl,Rd</sub> = πλαστική ροπή σχεδιασμού της απομειωμένης διατομής (RBS)

(4) Έλεγχοι σε πλευρικό στρεπτικό λυγισμό (lateral torsional buckling) των δοκών σύζευξης FUSEIS δεν είναι εν γένει απαραίτητοι λόγω του μικρού μήκους τους.

#### 6.12.3 Έλεγχος ισχυρών υποστυλωμάτων (strong columns) συστήματος δοκών σύζευξης FUSEIS

(1) Για τα υποστυλώματα FUSEIS θα πρέπει να ελέγχεται η αντοχή τους στις δράσεις σχεδιασμού ως εξής:

$$N_{CD,ED} = N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$
 E§. (6.6)

$$M_{CD,ED} = M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}$$
 E§. (6.7)

$$V_{CD,ED} = V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}$$
 E§. (6.8)

Όπου:

N<sub>Ed,G</sub>, V<sub>Ed,G</sub>, M<sub>Ed,G</sub> = αξονικές δυνάμεις, διατμητικές δυνάμεις και καμπτικές ροπές, αντίστοιχα, σε υποστυλώματα λόγω μη σεισμικών δράσεων, που συμπεριλαμβάνονται στο συνδυασμό δράσεων για τον σεισμό σχεδιασμού

 $N_{Ed,E}, V_{Ed,E}, M_{Ed,E}$  = αξονικές δυνάμεις, διατμητικές δυνάμεις και καμπτικές ροπές, αντίστοιχα, σε υποστυλώματα λόγω του σεισμού σχεδιασμού

 $\Omega = \min \Omega_i = \min \{ M_{pl,RBS,Rd,i} / M_{Ed,i} \} = ελάχιστη τιμή των σχετικών λόγων (συντελεστών υπεραντοχής) για όλες τις δοκούς σύζευξης FUSEIS σε μία διεύθυνση του κτιρίου$ 

#### 6.12.4 Έλεγχοι συνδέσεων

Οι συνδέσεις μεταξύ δοκών σύζευξης FUSEIS και υποστυλωμάτων θα πρέπει να ελέγχονται με βάση τις παρακάτω δράσεις σχεδιασμού:

(1) Εάν χρησιμοποιούνται δοκοί απομειωμένης διατομής, η ικανοτική καμπτική ροπή (capacity bending moment) θα πρέπει να προκύπτει ως εξής:

 $M_{CD,con,Ed} = max\{M_1, M_2\}$  E§. (6.9)

Όπου:

$$M_1 = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{l_b}{l_{RBS}} \cdot M_{pl,RBS,Rd}$$
 Eξ. (6.10)

$$M_2 = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot M_{u,b}$$
 E§. (6.11)

Όπου:

$$M_{u,b} = W_{pl,b} \cdot f_u \tag{6.12}$$

 $\gamma_{ov} = f_{y,act}/f_y$  εάν το πραγματικό όριο διαρροής της δοκού είναι γνωστό, αλλιώς  $\gamma_{ov} = 1.25$ 

l<sub>b</sub> = καθαρό μήκος δοκού

l<sub>RBS</sub> = αξονική απόσταση των απομειωμένων διατομών (RBS)

f<sub>y,act</sub> = πραγματικό όριο διαρροής της δοκού

 $f_u$  = όριο θραύσης της δοκού

W<sub>pl,b</sub> = πλαστική ροπή σχεδιασμού στο άκρο της δοκού

Η διάτμηση σχεδιασμού της σύνδεσης μπορεί να υπολογιστεί από:

$$V_{CD,con,Ed} = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,RBS,Rd}}{l_{RBS}}$$
 Eξ. (6.13)

(2) Σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιούνται δοκοί απομειωμένης διατομής (RBS) και εναλλακτικά η περιοχή σύνδεσης ενισχύεται μέσω επιπλέον πλακών (Σχ. 4.4), η ενισχυμένη επιφάνεια και η σύνδεση θα πρέπει να έχουν ικανοτική καμπτική ροπή (capacity bending moment) ίση με:

$$M_{CD,Con,Ed} = \frac{l_b}{l_{net}} \cdot M_{u,b}$$
 Eξ. (6.14)

Όπου:

 $l_b$  = καθαρό μήκος δοκού

 $l_{net}$  = καθαρό μη ενισχυμένο μήκος δοκού

 $M_{u,b} = W_{pl,b} \cdot f_u$ 

Η διάτμηση σχεδιασμού της σύνδεσης μπορεί να υπολογιστεί από:

$$V_{con,CD} = \frac{2 \cdot M_{CD,con,Ed}}{l_b}$$
 E§. (6.15)



Σχ. 4.4: Δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων με δοκούς απομειωμένης διατομής (RBS) και ενίσχυση των άκρων της δοκού

## 6.12.5 Προσομοίωση πλαστικής άρθρωσης για μη γραμμικές στατικές (pushover) αναλύσεις

Για τα πλάστιμα μέλη, τα οποία αποτελούν οι δοκοί απομειωμένης διατομής (RBS) του συστήματος δοκών σύζευξης FUSEIS, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι μη γραμμικές ιδιότητες πλαστικής άρθρωσης του Σχ. 4.5 σύμφωνα με το πολυγραμμικό πλαστικό μοντέλο.

ΙΔΙΙΟΤΗΤΕΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΡΘΡΩΣΗΣ (α <sub>ρι</sub> =συντ. σχήματος)							A <sub>pl</sub>	t	•
	IF	PE	SI	IS	C	HS	1/1		С
Σημείο	M/M <sub>pl</sub>	$\Phi/\Phi_{pl}$	M/M <sub>pl</sub>	$\Phi/\Phi_{pl}$	M/M <sub>pl</sub>	$\Phi/\Phi_{pl}$		В	
Α	0	0	0	0	0	0			•••
±Β	±1	0	±0.6	0	±1	0			DE
±C	$\pm \alpha_{\text{pl}}$	±40	$\pm \alpha_{\text{pl}}$	±25	$\pm \alpha_{\text{pl}}$	±25		Δ	
±D	±0.6	±40	±0.4	±25	±0.2	±25		1	
±Ε	±0.6	±45	±0.4	±30	±0.2	±30			$\theta/\theta_{\rm pl}$

Σχ 4.5: Μη γραμμικές παράμετροι πλαστικής άρθρωσης για διατομές IPE, SHS και CHS που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολυγραμμικό μοντέλο.

Κατά τη διάρκεια των μη γραμμικών προσομοιώσεων, η επιτελεστικότητα μπορεί να εκτιμηθεί με τον έλεγχο των κριτηρίων αποδοχής που φαίνονται στο Σχ. 4.6. Διαμορφώνονται τρία διαφορετικά επίπεδα επιτελεστικότητας: Περιοσμός Βλαβών (Damage Limitation – DL), Σημαντικές Βλάβες (Significant Damage – SD) και Οιονεί Κατάρρευση (Near Collapse state – NC). Τα επίπεδα επιτελεστικότητας καθορίζονται από τους λόγους περιστροφής για διατομές IPE, SHS και CHS.

K	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ (Φ/Φ <sub>pl</sub> )				
	IPE SHS CHS				
DL	15	5	6		
SD	25	12	10		
NC	35	18	16		



 $\theta/\theta_{\rm pl}$ 

Σχ. 4.6: Καθορισμός οριακών καταστάσεων για πλαστικές αρθρώσεις σε δοκούς σύζευξης FUSEIS

## 5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΙΡΩΝ ΣΥΖΕΥΞΗΣ FUSEIS

#### 5.1 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

- (5) Πλαίσια με συστήματα πείρων σύζευξης FUSEIS ονομάζονται αυτά στα οποία η παραλαβή οριζόντιων φορτίων γίνεται μέσω συνδέσμων, οι οποίοι συνδέονται άκαμπτα σε ισχυρά υποστυλώματα. (Σχ. 5.1). Κάθε σύνδεσμος αποτελείται από δύο δοκούς υποδοχείς η σύνδεση των οποίων γίνεται μέσω ενός μεταλλικού πείρου (Σχ. 5.2α). Εναλλακτικά, οι δοκοί υποδοχείς μπορούν να αφαιρεθούν, και οι πείροι να κοχλιωθούν απευθείας σε μετωπικές πλάκες πάνω στα πέλματα των υποστυλωμάτων, μέσω σπειρωμάτων αντίθετης φοράς στα άκρα τους (Σχ. 2β). Οι συνδέσεις δοκών υποστυλωμάτων του πλαισίου μπορεί να μορφωθούν είτε ως αρθρωτές είτε ως ημιάκαμπτες.
- (6) Σε πλαίσια με σύστημα πείρων σύζευξης FUSEIS, οι περιοχές απορρόφησης ενέργειας είναι το μεσαίο τμήμα των πείρων όπου η διάμετρός τους μειώνεται, προκειμένου η ενέργεια να απορροφηθεί μέσω κάμψης των πείρων. Τα κριτήρια σχεδιασμού που αναφέρονται στην παράγραφο 6.5.2 για ζώνες απορρόφησης ενέργειας ισχύουν και για τους πείρους.



Σύστημα πείρων σύζευξης FUSEIS

Σχ. 5.1: Σύστημα πείρων σύζευξης FUSEIS σε ένα κτίριο



Σχ. 5.2: Σύστημα πείρων σύζευξης α) με δοκούς υποδοχείς, β) χωρίς δοκούς υποδοχείς

#### 5.2 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.3.2, ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Πίνακας 6.2: Ανώτερες οριακές τιμές αναφοράς των συντελεστών συμπεριφοράς για συστήματα κανονικά σε όψη

ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	Κατηγορία Πλαστιμότητας		
	КПМ	КПҮ	
Σύστημα πείρων σύζευξης	2.5	3.0	
Συνθήκη	$I_{pin,w} < 6 \cdot M_{pl,pin} / V_{pl,pin}$	$I_{pin,w} \ge 6 \cdot M_{pl,pin} / V_{pl,pin}$	

όπου:

*I*<sub>pin,w</sub> is το μήκος του απομειωμένου τμήματος του πείρου

$$M_{pl,pin} = W_{pl,pin} \cdot f_y$$

*M<sub>pl,pin</sub>* η πλαστική ροπή αντοχής της απομειωμένης διατομής του πείρου *W<sub>pl,pin</sub>* η πλαστική ροπή αντίστασης της απομειωμένης διατομής του πείρου *f<sub>y</sub>* η τάση διαρροής του χάλυβα

$$V_{pl,pin} = \frac{A_{v} \cdot f_{y}}{\sqrt{3}}$$

*V<sub>pl,pin</sub>* η πλαστική διατμητική αντοχή της απομειωμένης διατομής του πείρου *A<sub>v</sub>* η επιφάνεια διάτμησης της απομειωμένης διατομής του πείρου

#### 5.3 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.5.3, ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΠΛΑΣΤΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕ ΘΛΙΨΗ Ή ΚΑΜΨΗ

(3) Το μήκος του απομειωμένου τμήματος του πείρου θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να ισχύει:  $I_{\text{pin},w} \ge 4 \cdot M_{\text{pl},\text{pin}} / V_{\text{pl},\text{pin}}$ 

Εξ. (5.1)

Προκειμένου να έχουμε καμπτικό μηχανισμό αστοχίας του πείρου.

#### 5.4 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.12 (ΝΕΑ) ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΙΡΩΝ ΣΥΖΕΥΞΗΣ FUSEIS

#### 6.12.1 Ανάλυση

Οι πείροι σύζευξης FUSEIS μπορούν να προσομοιωθούν μέσω στοιχείων δοκού, τα οποία θα χωριστούν σε τρία τμήματα με διαφορετικές διατομές, όπως εξηγείται παρακάτω:

• Σύστημα πείρων σύζευξης με δοκούς υποδοχείς:

Στα ακραία τμήματα θα χρησιμοποιηθεί η διατομή των δοκών υποδοχέων, ενώ στο μεσαίο η διατομή του απομειωμένου τμήματος του πείρου.

Σύστημα πείρων σύζευξης χωρίς δοκούς υποδοχείς
 Στα ακραία τμήματα θα χρησιμοποιηθεί η πλήρης διατομή του πείρου, ενώ στο μεσαίο η διατομή του απομειωμένου τμήματος.

Η σύνδεση μεταξύ των δοκών υποδοχέων και των υποστυλωμάτων του συστήματος προσομοιώνεται ως σύνδεση ροπής. Άκαμπτα στοιχεία (Rigid zones) θα πρέπει να εισαχθούν από το κέντρο βάρους των υποστυλωμάτων μέχρι τα πέλματά τους προκειμένου να ληφθεί υπόψη στην ανάλυση το καθαρό μήκος και η πραγματική δυσκαμψία των δοκών.

Οι συνδέσεις μεταξύ των κύριων δοκών και των υποστυλωμάτων του συστήματος μορφώνονται ως αρθρωτές. Παρ' όλα αυτά, σε σύμμικτα κτίρια λειτουργεί ως ημιάκαμπτη σύνδεση, εξαιτίας της ύπαρξης του χάλυβα οπλισμού. Οι βάσεις των υποστυλωμάτων μπορούν να είναι είτε αρθρωτές είτε άκαμπτες.

#### 6.12.2 Πείροι σύζευξης

Οι πείροι του συστήματος θα πρέπει να ελέγχονται θεωρώντας πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα της απομειωμένης διατομής. Τα πιο δυσμενή εντατικά μεγέθη από τον σεισμικό συνδυασμό θα πρέπει να ελέγχονται σύμφωνα με τα παρακάτω:

 $M_{Ed} \leq 1$ M<sub>pl pin Rd</sub>

Eξ. (5.2)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,pin,Rd}} \leq 1$$

Eξ. (5.3)

όπου:

*M<sub>Ed</sub>* είναι η καμπτική ροπή σχεδιασμού *N<sub>Ed</sub>* είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού

*M*<sub>pl,pin,Rd</sub> είναι η πλαστική ροπή αντοχής της απομειωμένης διατομής του πείρου *N*<sub>pl,pin,Rd</sub> είναι η πλαστική αξονική δύναμη αντοχής της απομειωμένης διατομής του πείρου.

Οι στροφές των πείρων θα πρέπει να περιορίζονται σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\theta_{\text{pin}} \leq \theta_{\text{pin lim}} = 0.14 \text{ radians}$$





Ο λόγος υπεραντοχής του πείρου ορίζεται ως:

$$\Omega = \frac{M_{pl,pin,Rd}}{M_{Ed}}$$
E§. (5.5)

Η επιλογή των διαστάσεων των πείρων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε ο λόγος Ω να είναι κοντά στην μονάδα.

Εξ. (5**.**4)

Προκειμένου να επιτευχθεί ομοιογενής ικανότητα απορρόφησης ενέργειας στην κατασκευή, πρέπει οι λόγοι των μέγιστων προς τις ελάχιστες τιμές υπεραντοχής Ω των πείρων σε όλη την κατασκευή να μη διαφέρουν περισσότερο από 25%.

$$\frac{max\Omega}{min\Omega} \le 1.25$$

## 6.12.3 Έλεγχος υποστυλωμάτων συστήματος, δοκών υποδοχέων και συνδέσεών τους

Τα υποστυλώματα του συστήματος και οι δοκοί υποδοχείς θα πρέπει να σχεδιάζονται υπό τα ικανοτικά μεγέθη, ως εξής:

$$\begin{split} N_{CD,Ed} &= N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \alpha \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} \\ M_{CD,Ed} &= M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \alpha \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E} \\ V_{CD,Ed} &= V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \alpha \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E} \\ \end{split}$$

$$E\xi. (5.8)$$

$$E\xi. (5.9)$$

όπου:

N<sub>Ed,G</sub> (V<sub>Ed,G</sub>, M<sub>Ed,G</sub>) η αξονική δύναμη (αντίστοιχα η ροπή κάμψης και η τέμνουσα) των υποστυλωμάτων και των δοκών-υποδοχέων λόγω μη σεισμικών δράσεων που συμπεριλαμβάνονται στο σεισμικό συνδυασμό,

N<sub>Ed,E</sub> (V<sub>Ed,E</sub>, M<sub>Ed,E</sub>) αξονική δύναμη (αντίστοιχα η ροπή κάμψης και η τέμνουσα) των υποστυλωμάτων και των δοκών-υποδοχέων λόγω του σεισμού σχεδιασμού,

 $\Omega = min\Omega_i = min\left\{\frac{M_{pl,pin,Rd,i}}{M_{Ed,i}}\right\}$ ελάχιστος συντελεστής υπεραντοχής όλων των πείρων

του κτιρίου, βλ. εξίσωση (5.5),

γον =1.25 συντελεστής υπεραντοχής του υλικού,

α=1.5 ένας πρόσθετος συντελεστής υπεραντοχής

Ο συντελεστής επαύξησης του σεισμικού φορτίου που προκύπτει από τα παραπάνω δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να υπερβαίνει το συντελεστή συμπεριφοράς της ανάλυσης. Για ένα οικονομικό σχεδιασμό πρέπει το πραγματικό όριο διαρροής του χάλυβα να μην απέχει σημαντικά της ονομαστικής τιμής του.

#### 6.12.4 Πλήρης διατομή πείρων

Η αντοχή σε κάμψη της πλήρους διατομής του πείρου στο άκρο πρέπει να ελέγχεται στις θέσεις επαφής του με τις μετωπικές πλάκες των δοκών-υποδοχέων με την παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{M_{CD,Ed}}{M_{pl,Rd}} \le 1$$
 E§. (5.10)

όπου:

$$M_{Cd,Ed} = \frac{I_{pin}}{I_{pin,w}} \cdot M_{pl,pin,Rd}$$
 Eξ. (5.11)

Ι<sub>pin</sub> το μήκος του πείρου μεταξύ των μετωπικών πλακών των δοκών-υποδοχέων Ι<sub>pin,w</sub> το μήκος του απομειωμένου τμήματος του πείρου και *M*<sub>pl,Rd</sub> αντοχή σχεδιασμού της πλήρους διατομής του πείρου σε κάμψη.

#### 6.12.5 Συνδέσεις των δοκών υποδοχέων με τα υποστυλώματα

Οι κοχλιωτές συνδέσεις των δοκών-υποδοχέων με τα υποστυλώματα του συστήματος μορφώνονται ως συνδέσεις τριβής κατηγορίας Β ή C με κοχλίες 8.8 ή 10.9 και θα πρέπει κατά κανόνα να έχουν επαρκή υπεραντοχή, ώστε να μη διαρρέουν πριν από την πλαστικοποίηση όλων των πείρων. Η ικανοτική ροπή κάμψης και η ικανοτική τέμνουσα σχεδιασμού της σύνδεσης υπολογίζεται βάσει της απομειωμένης διατομής του πείρου σύμφωνα με τις εξισώσεις (12) και (13):

$$M_{Cd,con,Ed} = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{I_{pin}}{I_{pin,w}} \cdot M_{pl,pin,Rd}$$
 E§. (5.12)

$$V_{Cd,con,Ed} = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,pin,Rd}}{I_{pin,w}}$$
 E§. (5.13)

#### 6.12.6 Μεθοδολογία σχεδιασμού με στατική υπερωθητική ανάλυση (Pushover Analysis)

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο στατικό μοντέλο που κατασκευάστηκε για την ελαστική ανάλυση με την εισαγωγή επιπλέον παραμέτρων ώστε να είναι δυνατή η αποτύπωση της συμπεριφοράς των στοιχείων του πέρα από την ελαστική περιοχή και η εκτίμηση των πλαστικών μηχανισμών αστοχίας και της κατανομής της βλάβης. Εφόσον τα πλάστιμα μέλη είναι οι πείροι του συστήματος, πιθανές θέσεις πλαστικών αρθρώσεων ορίζονται στα άκρα του απομειωμένου τμήματός τους. Οι πλαστικές αυτές αρθρώσεις είναι καμπτικού τύπου (Σχήμα 5.4) και οι παράμετροί τους δίνονται στον Πίνακα 5.1, όπου Μ είναι οι ροπές και θ είναι οι στροφή χορδής των πείρων.

0)



Σχ. 5.2: Μη γραμμική πλαστική άρθρωση των πείρων

Σημείο	<b>M/M</b> pl,pin	<b>θ/θ</b> pl,pin
А	0	0
В	1	0
С	2	100
D	0,5	100
E	0,5	150

Πίνακας 5.1: Παράμετροι των πλαστικών αρθρώσεων των πείρων

Ο Πίνακας 5.2 δίνει τις τιμές των πλαστικών στροφών των πείρων σε τρεις στάθμες επιτελεστικότητας όπως δίνονται στο Σχήμα 5.5.



Σχ. 5.3: Στάθμες επιτελεστικότητας των πείρων

Στάθμη	DL (περιορισμός	SD (σημαντικές	ΝC (Οιονεί
επιτελεστικότητας	βλαβών)	βλάβες)	κατάρρευση)
θ/θ <sub>pl,pin</sub>	30	45	60

#### 6.12.7 Μεθοδολογία σχεδιασμού με ανελαστική δυναμική ανάλυση

#### • Προσομοίωση

Η προσομοίωση της μη γραμμικής απόκρισης των πείρων γίνεται ως εξής: στα άκρα του απομειωμένου τμήματος του πείρου εισάγονται δύο μη γραμμικά ελατήρια (multi-linear plastic link elements). Η συμπεριφορά του μη γραμμικού ελατηρίου ορίζεται μόνο για τον στροφικό βαθμό ελευθερίας κατά τον κύριο άξονα, ενώ οι υπόλοιποι βαθμοί ελευθερίας προσομοιώνονται γραμμικά. Το Σχήμα 5.6 περιλαμβάνει τις ιδιότητες του μη γραμμικού ελατηρίου. Πρόκειται για μια καμπύλη ροπής - στροφής οι τιμές της οποίας προκύπτουν συναρτήσει της πλαστικής ροπής αντίστασης και της αρχικής δυσκαμψίας του απομειωμένου τμήματος του πείρου (Πίνακας 5.3) ενώ η υστερητική συμπεριφορά ορίζεται σύμφωνα με το κινηματικό μοντέλο υστέρησης.

Point	Moment	Rotation
1	-2 Mpl,pin	-100 $\theta_{\text{pl,pin}}$
2	-1 Mpl,pin	-20 $\theta_{\text{pl,pin}}$
3	0	0
4	1 M <sub>pl,pin</sub>	$20  \theta_{\text{pl,pin}}$
5	2 M <sub>pl,pin</sub>	100 θ <sub>pl,pin</sub>

#### Πίνακας 5.3: Ιδιότητες μη γραμμικού ελατηρίου



## Σχ. 5.4: Προτεινόμενες ιδιότητες μη γραμμικού ελατηρίου για μη γραμμική δυναμική ανάλυση

Το υπόλοιπο τμήμα προσομοιώνεται ως εξής:

- Σύστημα με δοκούς υποδοχείς
   Το μεσαίο τμήμα του πείρου και οι δοκοί υποδοχείς προσομοιώνονται μέσω στοιχείων δοκού με τις αντίστοιχες διατομές (Σχήμα 7α).
- Σύστημα χωρίς δοκούς υποδοχείς

Το μεσαίο τμήμα των πείρων προσομοιώνεται μέσω ενός στοιχείου δοκού με την απομειωμένη διατομή, ενώ τα ακραία τμήματα μέσω στοιχείων δοκού με την πλήρη διατομή του πείρου. (Σχήμα 7β).



Σχ. 5.5: Προσομοίωση του συστήματος πείρων FUSEIS α) με β) χωρίς δοκούς υποδοχείς

#### • Έλεγχος σε ολιγοκυκλική κόπωση

Όταν εφαρμόζεται μη γραμμική ανάλυση με ανακυκλιζόμενη φόρτιση, θα πρέπει να ελέγχονται οι πείροι σε ολιγοκυκλική κόπωση. Η ακόλουθη καμπύλη κόπωσης εφαρμόζεται:

όπου:

Δθ είναι το εύρος της γωνίας στροφής χορδής του πείρου και

Ν είναι ο αντίστοιχος αριθμός κύκλων φόρτισης των πείρων μέχρι την αστοχία Ο βαθμός βλάβης μπορεί να καθοριστεί με χρήση του κριτηρίου Palmgren – Miner:

$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} \le 1$$
 Eξ. (5.15)

όπου:

n; ο αριθμός των κύκλων φόρτισης με δεδομένη στροφή σταθερού εύρους S<sub>i</sub>, N<sub>fi</sub> ο αντίστοιχος αριθμός των κύκλων σταθερού εύρους έως την αστοχία και *i* είναι ο συνολικός αριθμός κύκλων ίδιου εύρους.

Το ιστόγραμμα του εύρους στροφών μπορεί να καθοριστεί με χρήση της μεθόδου reservoir.

### 6 ΚΟΧΛΙΩΤΕΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΟΚΩΝ FUSEIS

#### 6.1 ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΣΥΝΠΕΡΙΛΗΦΘΟΥΝ ΣΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΤΟΥ ΕΝ1998-1-1

#### <u>7.1 Γενικά</u>

#### 7.1.2 Αρχές σχεδιασμού

(5) Ρ στο τέλος της πρότασης, να προστεθεί το εξής: «Για σύμμικτα πλαίσια παραλαβής ροπών με αποκαταστάσεις συνέχειας δοκών με πλάστιμα ελάσματα βλ. 7.8.5».

#### 7.3 Τύποι στατικών συστημάτων και συντελεστές συμπεριφοράς

#### 7.3.1 Τύποι στατικών συστημάτων

ζ) Σύμμικτα πλαίσια παραλαβής ροπών (composite moment resisting frames) με αποκαταστάσεις συνέχειας δοκών με πλάστιμα ελάσματα: δομικά συστήματα με ίδιο ορισμό και περιορισμούς όπως υποδεικνύονται στο 7.3.1(1)α, αλλά με στοιχεία απόδοσης ενέργειας τα πλάστιμα ελάσματα (dissipative connections). Στην πλάστιμη αποκατάσταση συνέχειας δοκού, οι διακοπτόμενες σύμμεικτες δοκοί αποκαθίστανται με χαλύβδινα ελάσματα που συνδέουν τον κορμό και το κάτω πέλμα των δοκών. Τα χαλύβδινα ελάσματα μπορεί να είναι είτε κοχλιωμένα είτε συγκολλημένα στη δοκό. Το τμήμα της δοκού κοντά στην διακοπή ενισχύεται με επιπρόσθετα χαλύβδινα ελάσματα συγκολλημένα τόσο στον κορμό όσο και στο πέλμα, όπως επίσης και το υποστύλωμα ενισχύεται σε αντιστοιχία με τη δοκό στο σημείο σύνδεσης (κόμβο). Το διάκενο στην πλάκα σκυροδέματος ακριβώς πάνω από τα αντικαταστάσιμα ελάσματα αποκατάστασης συνέχειας (ανταλλακτικά-fuse) αποσκοπεί στην αποφυγή κύριας βλάβης του σκυροδέματος, επιτρέποντας στο ανταλλακτικό να αναπτύξει σημαντικές στροφές, αποφεύγοντας τόσο την σύνθλιψη του σκυροδέματος όσο και φθορές στα τελειώματα του πατώματος. Η διαμόρφωση του συστήματος σε μια τυπική σύνδεση δοκού-υποστυλώματος παρουσιάζεται παρακάτω.


Σχ. 7.1: Αποκατάσταση δοκών FUSEIS με α) κοχλιώτές πλάκες κάλυψης, β) συγκολλητές πλάκες κάλυψης

#### 7.3.2 Συντελεστές Συμπεριφοράς

Πίνακας 7.2: Ανώτερα όρια των τιμών αναφοράς των συντελεστών συμπεριφοράς για		
συστήματα κανονικά σε όψη		

ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	Κατηγορία Πλαστιμότητας	
	КПМ	КПҮ
ζ) Σύμμικτα πλαίσια ροπής με πλάστιμες αποκαταστάσεις δοκών	3.0	4.0

# 7.8 Κανόνες σχεδιασμού και διαμόρφωσης λεπτομερειών για σύμμικτα πλαίσια ροπής με πλάστιμες αποκαταστάσεις δοκών

#### 7.8.1 Ειδικά κριτήρια

(1) Το P 6.6.1(1)P εφαρμόζεται, αλλά οι πλαστικές αρθρώσεις αναπτύσσονται στις αποκαταστάσεις της δοκού. Η συγκέντρωση της ανελαστικής συμπεριφοράς στην αποκατάσταση των πλάστιμων δοκών θα πρέπει να αποτρέπει την μετάδοση της βλάβης στις δοκούς και τα υποστυλώματα. Για να εξασφαλιστεί ότι αναντικατάστατα τμήματα παραμένουν χωρίς βλάβη, θα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να παραμένουν στην ελαστική περιοχή όταν η αποκατάσταση της δοκού φθάνει στην ικανοτική αντοχή (resistant capacity).

(2) Εφαρμόζεται το Ρ 7.7.1(2) Ρ.

(3) Αναφορικά με τη θέση των πλάστιμων ζωνών (dissipative zones), εφαρμόζεται το 7.5.2(5)P.

(4) Η απαιτούμενη διαμόρφωση για τον σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων θα πρέπει να παρέχεται ακολουθώντας τους κανόνες που παρουσιάζονται στα 4.4.2.3, 7.8.3, 7.8.4, 7.8.5.

#### 7.8.2 Ανάλυσ**η**

(1) Εφαρμόζεται το Ρ 7.7.2(1)Ρ.

- (2) Εφαρμόζεται το 7.7.2(2).
- (3) Εφαρμόζεται το 7.7.2(4).

# 7.8.3 Κανόνες για δοκούς, υποστυλώματα, αποκαταστάσεις δοκών και ενίσχυση χάλυβα

(1) Εφαρμόζεται το 7.7.3(2)Ρ.

(2) Εφαρμόζεται το 6.6.2(2) αντικαθιστώντας τα μεγέθη  $M_{pl,Rd}$ ,  $N_{pl,Rd}$  και  $V_{pl,Rd}$  με  $M_{FUSE,pl,Rd}$ ,  $N_{FUSE,pl,Rd}$  και  $V_{FUSE,pl,Rd}$  που αντιστοιχούν στην πλαστική ροπή, αξονική και διατμητική δύναμη αντοχής της αποκατάστασης δοκού, αντίστοιχα.

(4) Οι ενισχυμένες διατομές της δοκού και τα απαιτούμενα μήκη τους σχεδιάζονται έτσι ώστε η τρέχουσα σύνθετη ζώνη της δοκού, αμέσως μετά τη διακοπή της ενίσχυσης, και ο κόμβος δοκού-ελάσματος να παραμένουν στην ελαστική περιοχή. Υπό αυτήν την άποψη, εφαρμόζεται το 6.6.3(1)Ρ για την ποσοτικοποίηση των δυνάμεων που δρουν. Αναφορικά με τον έλεγχο ασφάλειας των συγκεκριμένων διατομών, πρέπει να θεωρείται ελαστική αντοχή.

(5) Για την αποφυγή ψαθυρών (brittle) αστοχιών των συγκολλήσεων ή των κοχλιώσεων που συνδέουν τα πλάστιμα ελάσματα με τη δοκό, αυτές θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι οι μέγιστες τάσεις που αναπτύσσονται από το πλάστιμο έλασμα μπορούν να μεταφερθούν με ασφάλεια στη δοκό.

(6) Εφαρμόζονται τα 7.7.3(6) έως (9).

(7) Για να επιτευχθεί ομοιογενής ικανότητα απορρόφησης ενέργειας στην κατασκευή, θα πρέπει να ελέγχεται ότι οι μέγιστοι λόγοι Ω σε ολόκληρη την κατασκευή δεν διαφέρουν από την ελάχιστη τιμή Ω περισσότερο από 25%.

 $\frac{max\Omega}{min\Omega} \le 1.25$ 

Εξ. (7.1)

#### 7.8.4 Δοκοί και υποστυλώματα

(1) Εφαρμόζεται το 6.6.4 θεωρώντας τις αποκαταστάσεις δοκού (beam splices) ως κόμβο.

### 7.8.5 Συνθήκη που διέπει τη μη λήψη υπόψη του σύμμικτου χαρακτήρα δοκών με πλάκα

(1) Από την στιγμή που οι αποκαταστάσεις πλάστιμων δοκών συνθέτονται αποκλειστικά με χαλύβδινα πλάστιμα στοιχεία (η διακοπή της πλάκας από σκυρόδεμα και του συνεχούς οπλισμού σχεδιάζεται ως μη πλάστιμη (non-dissipative)), η αρχή (γ) μπορεί να θεωρηθεί για το 7.5.2(2)P.

(2) Υπό αυτήν την άποψη, για να επαληθευθεί η υπόθεση που έγινε στο 7.8.5(1) ο οπλισμός θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να παραμένει στην ελαστική περιοχή.

# 7.8.6 Προσομοίωση αποκατάστασης δοκού για μη γραμμικές στατικές και δυναμικές αναλύσεις

(1) Το πολυγραμμικό πλαστικό μοντέλο σύνδεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μοντέλο αναφοράς για την ελαστοπλαστική συμπεριφορά των πλάστιμων συνδέσεων. Η συμπεριφορά της μη γραμμικής σύνδεσης ορίζεται μόνο για τον βαθμό ελευθερίας που αντιστοιχεί σε στροφή κατά τον κύρια άξονα αδράνειας, ενώ οι υπόλοιποι βαθμοί ελευθερίας προσομοιώνονται ως γραμμικοί. Η υστερητική συμπεριφορά παρέχεται από το πολυγραμμικό πλαστικό μοντέλο με νόμο υστέρησης pivot (Dowell, Seible and Wilson, 1998).



Σχ. 7.2: Πολυγραμμικό πλαστικό μοντέλο με νόμο υστέρησης pivot

(2) Η σχέση ροπής-στροφής της αποκατάστασης της δοκού που υιοθετείται στις μη γραμμικές αναλύσεις θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ασυμμετρία της συμπεριφοράς υπό θετικές και αρνητικές ροπές, όπως επίσης και την έναρξη μηχανισμών αστοχίας σε λυγισμό. Μία σχηματική συμπεριφορά της πλάστιμης σύνδεσης παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ. 7.3: Ενδεικτική πολυγραμμική προσομοίωση

<u>Σημείωση: Οι παράγραφοι 7.8, 7.9, 7.10, 7.11 και 7.12</u> του ΕΝ 1998-1:2004 θα πρέπει να θεωρούνται ως παράγραφοι 7.9, 7.10, 7.11, 7.12 και 7.13, αντίστοιχα.

#### 6.2 ΑΡΧΕΣ: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΝΣΩΜΑΤΩΘΕΙ ΣΤΟ ΕΝ1998-1-1

1) Αποσκοπώντας στην αποφυγή υπερβολικής υπεραντοχής (excessive overstrength), το υλικό του χάλυβα στα πλάστιμα ελάσματα αποκατάστασης συνέχειας (fuses) θα πρέπει να έχει ελεγχόμενες ιδιότητες. Σύμφωνα με το *EN1998-1-1*, οι αντοχές διαρροής πρέπει να έχουν μέγιστη τιμή:

$$f_{\gamma,\max} \leq 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot f_{v}$$

Εξ. (2.1)

Όπου:  $\gamma_{ov} = 1.25$  είναι ο συντελεστής υπεραντοχής και  $f_y$  είναι η ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής.

2) Το διάκενο στην πλάκα ακριβώς πάνω από το πλάστιμο έλασμα αποκατάστασης συνέχειας (ανταλλακτικό fuse) αποσκοπεί στην αποφυγή σημαντικής βλάβης στο σκυρόδεμα, επιτρέποντας στο ανταλλακτικό να αναπτύξει μεγαλύτερες στροφές, χωρίς επαφή σκυροδέματος-σκυροδέματος. Το πλάτος του κενού στο τμήμα του οπλισμένου σκυροδέματος μπορεί να είναι διαφορετικό από εκείνο των μεταλλικών μερών του ανταλλακτικού. Οι προτεινόμενες τιμές για το πλάτος του κενού στο σπλισμένο σκυρόδεμα (πλάκα) και στα μεταλλικά μέρη είναι, αντίστοιχα, 10% του ύψους της πλάκας και 10% του συνολικού ύψους της σύνθετης διατομής.

3) Ο σχεδιασμός της αποκατάστασης της δοκού και του οπλισμού πρέπει να είναι τέτοιος ώστε ο οπλισμός να παραμένει στην ελαστική περιοχή. Συνιστάται η επιφάνεια της ανώτατης ράβδου οπλισμού να είναι διπλάσια της επιφάνειας του πέλματος του πλάστιμου ελάσματος αποκατάστασης συνέχειας.

4) Η αντοχή των ενισχυμένων πλακών στη ζώνη αποκατάστασης της δοκού, όπως και το ελάχιστο άνοιγμα από τον κόμβο δοκού-υποστυλώματος πρέπει να είναι



τέτοια ώστε η διατομή του κόμβου δοκού-υποστυλώματος και η τρέχουσα σύνθετη διατομή της δοκού να παραμένουν στην ελαστική περιοχή (Σχ. 2.1).

Σχ. 2.1: Σχηματική απεικόνιση κοχλιωτών αποκαταστάσεων δοκών FUSEIS

5) Οι κοχλιωτές ή συγκολλητές αποκαταστάσεις δοκών FUSEIS πρέπει να ικανοποιούν τους παρακάτω ελέγχους αντοχής:

Πρώτα, θα πρέπει να ελέγχεται ότι η πλήρης πλαστική ροπή αντοχής και οι διατμητικές δυνάμεις δεν μειώνονται λόγω θλιπτικών δυνάμεων.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,fuse,Rd}} \le 0.15$$
 E§. (2.2)

Η διατμητική αντοχή θα πρέπει να ελέγχεται με κριτήρια ικανοτικού σχεδιασμού, θεωρώντας ότι πλαστικές αρθρώσεις αναπτύσσονται ταυτόχρονα και στα δύο άκρα των δοκών του πλασίου παραλαβής ροπών. Η διατμητική αντοχή της αποκατάστασης της δοκού θεωρείται ότι κατανέμεται αποκλειστικά από τις πλάκες κορμού.

$$\frac{V_{CD,Ed}}{V_{pl,fuse,Rd}} \le 1.0$$
 Eξ. (2.3)

Όπου:  $V_{CD,Ed} = 2M_{max,fuse}/L_{fuses,ij}$  είναι η διατμητική δύναμη ικανοτικού σχεδιασμού,  $M_{max,fuse}$  είναι η μέγιστη ροπή που αναπτύσσεται από τα ανταλλακτικά,  $L_{fuses,ij}$  είναι η απόσταση μεταξύ των ανταλλακτικών της ίδιας δοκού και  $V_{pl,fuse,Rd}$  η αντίσταση που κατανέμεται στις πλάκες κορμού.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\max,fuse}} \le \frac{1}{\Omega} \le 1.0$$
 Eξ. (2.4)

όπου *M<sub>Ed</sub>* είναι η ροπή σχεδιασμού, *M<sub>max,fuse</sub>* είναι η μέγιστη ροπή στο ανταλλακτικό και Ω είναι ο συντελεστής υπεραντοχής.

6) Για να εξασφαλιστεί μια καθολική συμπεριφορά απορρόφησης στην κατασκευή, θα πρέπει να ελέγχεται ότι οι μέγιστοι λόγοι Ω σε ολόκληρη την κατασκευή δεν διαφέρουν από την ελάχιστη τιμή Ω περισσότερο από 25%.

$$\frac{\max\Omega}{\min\Omega} \le 1.25$$
 E{ (2.5)

7) Τα μη πλάστιμα μέλη του συστήματος (υποστυλώματα, σύνθετες δοκοί) θα πρέπει να είναι ικανοτικά σχεδιασμένα για αυξημένες τιμές εσωτερικών δυνάμεων σε σχέση με αυτές που προκύπτουν από τις αναλύσεις για δυσμενέστερο συνδυασμό σεισμικών δράσεων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι η αστοχία των ανταλλακτικών εμφανίζεται πρώτη. Σε όλα τα στοιχεία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες ικανοτικές δράσεις σχεδιασμού:

$$N_{CD,Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$
 Eξ. (2.6)

$$M_{CD,Ed} = M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}$$
 E§. (2.7)

$$V_{CD,Ed} = V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}$$
 Eξ. (2.8)

όπου N<sub>Ed,G</sub>, M<sub>Ed,G</sub> και V<sub>Ed,G</sub> είναι αντίστοιχα οι αξονικές δυνάμεις, διατμητικές και καμπτικές ροπές, λόγω μη σεισμικών δυνάμεις δράσεων, που συμπεριλαμβάνονται στο συνδυασμό δράσεων για τον σεισμό σχεδιασμού. N<sub>Ed.E</sub>, M<sub>Ed,E</sub> και V<sub>Ed,E</sub> είναι αντίστοιχα αξονικές δυνάμεις, διατμητικές δυνάμεις και καμπτικές ροπές σχεδιασμού. λόγω του σεισμού  $\Omega = \min \Omega_i =$  $\min\{M_{max,fuse,i}/M_{Ed,i}\}$  είναι ο ελάχιστος συντελεστής υπεραντοχής για όλες τις πλάστιμες συνδέσεις του κτιρίου, βλ. Εξ. (2.4). γ<sub>ον</sub> = 1.25 είναι ο συντελεστής υπεραντοχής του υλικού, βλ. Εξ (2.1).

### 7 ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΕΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΟΚΩΝ FUSEIS

#### 7.1 ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΣΥΜΠΕΡΙΛΗΦΘΟΥΝ ΣΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΤΟΥ ΕΝ1998-1-1

#### <u>7.1 Γενικά</u>

#### 7.1.2 Αρχές σχεδιασμού

(5)Ρ στο τέλος της πρότασης να προστεθεί το εξής: "για σύμμικτα πλαίσια παραλαβής ροπών με αποκαταστάσεις συνέχειας δοκών με πλάστιμα ελάσματα βλέπε 7.8.5".

7.2 καμία αλλαγή.

#### 7.3 Τύποι στατικών συστημάτων και συντελεστές συμπεριφοράς

#### 7.3.1 Τύποι στατικών συστημάτων

ζ) Τα σύμμικτα πλαίσια παραλαβής ροπών με αποκαταστάσεις συνέχειας δοκών με πλάστιμα ελάσματα, είναι δομικά συστήματα με ίδιο ορισμό και περιορισμούς όπως στην παράγραφο 7.3.1(1)α, αλλά με στοιχείο απόδοσης ενέργειας του συστήματος τα πλάστιμα ελάσματα.

#### 7.3.2 Συντελεστές συμπεριφοράς

Μέγιστος συντελεστής συμπεριφοράς για το ζ): 3 για ΚΠΜ και 4 για ΚΠΥ.

7.4 καμία αλλαγή.

7.5 καμία αλλαγή.

7.6 καμία αλλαγή.

7.7 καμία αλλαγή.

# 7.8 Κανόνες σχεδιασμού και διαμόρφωσης λεπτομερειών για πλαίσια παραλαβής ροπών με πλάστιμες αποκαταστάσεις συνέχειας δοκών

#### 7.8.1 Ειδικά κριτήρια

(1) P 6.6.1(1) P εφαρμόζεται με σχηματισμό των πλαστικών αρθρώσεων στις αποκαταστάσεις συνέχειας των δοκών.

(2) Ρ 7.7.1(2) Ρ εφαρμόζεται.

(3) Σχετικά με την θέση των ζωνών απόδοσης ενέργειας (πλάστιμες ζώνες), εφαρμόζονται οι παράγραφοι 7.5.2(4) ή 7.5.2(5).

(4) Η απαιτούμενη διαμόρφωση για τον σχηματισμό των πλαστικών αρθρώσεων θα πρέπει να ληφθεί σύμφωνα με τους κανόνες που παρουσιάζονται στις παραγράφους 4.4.2.3, 7.8.3, 7.8.4, 7.8.5.

#### 7.8.2 Ανάλυση

(1) P 7.7.2(1) Ρ εφαρμόζεται.

(2) 7.7.2(2) εφαρμόζεται.

(3) 7.7.2(4) εφαρμόζεται.

7.8.3 Κανόνες για δοκούς, υποστυλώματα, αποκαταστάσεις συνέχειας δοκών και χαλύβδινων ενισχύσεων

(1) 7.7.3(2)Ρ εφαρμόζεται.

(2) 6.6.2(2) εφαρμόζεται αντικαθιστώντας τα μεγέθη των  $M_{pl,Rd}$ ,  $N_{pl,Rd}$  και  $V_{pl,Rd}$  με τα  $M_{FUSE,pl,Rd}$ ,  $N_{FUSE,pl,Rd}$  και  $V_{FUSE,pl,Rd}$ , τα οποία είναι η πλαστική ροπή αντίστασης, η αξονική αντοχή και η διατμητική αντοχή της αποκατάστασης συνέχειας της δοκού, αντίστοιχα.

(3) 6.6.3(1)Ρ εφαρμόζεται για τα υποστυλώματα, λαμβάνοντας ως συντελεστή υπεραντοχής την ελάχιστη τιμή των λόγων  $\Omega = M_{FUSE,pl,Rd,i}/M_{Ed,i}$ , όπου  $M_{FUSE,pl,Rd,i}$  είναι η πλαστική ροπή αντίστασης της αποκατάστασης συνέχειας της δοκού, για την δοκό *i*.

(4) Οι ενισχυμένες διατομές των δοκών και το απαιτούμενο μήκος αυτών σχεδιάζονται έτσι ώστε η σύμμικτη ζώνη της δοκού, αμέσως μετά την διακοπή της ενίσχυσης, καθώς και η σύνδεση της δοκού στο υποστύλωμα να παραμένουν στην ελαστική περιοχή. Επομένως, για τον υπολογισμό των δρώσων δυνάμεων εφαρμόζεται η παράγραφος 6.6.3(1)P, ενώ η αντοχή διαρροής θα πρέπει να θεωρείται προς την μεριά της ασφάλειας αυτή των αναφερόμενων διατομών.

(5) 7.7.3(6) έως (9) εφαρμόζονται.

(6) Για να επιτευχθεί ομοιογενής ικανότητα απορρόφησης ενέργειας, θα πρέπει να ελέγχεται ότι οι μέγιστοι λόγοι Ω σε ολόκληρη την κατασκευή δεν πρέπει να διαφέρουν από τους ελάχιστους λόγους Ω περισσότερο από 25%.

 $\frac{\max\Omega}{\min\Omega} \le 1.25$ 

Εξ. (1.1)

#### 7.8.4 Συνδέσεις δοκών σε υποστύλωμα

(1) 6.6.4 εφαρμόζεται θεωρώντας τις αποκαταστάσεις συνέχειας των δοκών ως αρθρώσεις.

#### 7.8.5 Συνθήκη αγνόησης της σύνθετης φύσης των δοκών με πλάκα

(1) Επειδή οι πλάστιμες αποκαταστάσεις συνέχειας δοκών αποτελούνται αποκλειστικά και μόνο από χαλύβδινα πλάστιμα στοιχεία (διακοπή της πλάκας σκυροδέματος και συνεχής οπλισμός που έχει σχεδιαστεί ως μη πλάστιμο στοιχείο), η αρχή γ) μπορεί να λαμβάνεται υπόψιν για την παράγραφο 7.5.2(2)P.

(2) Υπό αυτήν την έννοια, για να διασφαλισθεί η υπόθεση που έγινε στην παράγραφο 7.8.5(1), ο οπλισμός της πλάκας θα σχεδιάζεται ώστε να παραμένει στην ελαστική περιοχή.

Τα υφιστάμενα κεφάλαια 7.8, 7.9, 7.10, 7.11 and 7.12 θα ληφθούν υπόψιν ως κεφάλαια 7.9, 7.10, 7.11, 7.12 και 7.13, αντίστοιχα.

#### 7.2 ΑΡΧΕΣ: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΕΡΙΕΧΟΝΤΑΙ ΣΤΟΝ ΕΝ1998-1-1

1) Με στόχο την αποφυγή ανάπτυξης υπερβολικής υπεραντοχής, ο χάλυβας που χρησιμοποιείται για τα ελάσματα αποκατάστασης συνέχειας (ανταλλακτικά) που αποδίδουν την ενέργεια του συστήματος, θα πρέπει να έχει ελεγχόμενες ιδιότητες. Σύμφωνα με τον *EN1998-1-1*, το όριο διαρροής του δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή:

 $f_{\gamma,max} \leq 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot f_{\gamma}$ 

Εξ. (2.1)

όπου  $\gamma_{ov} = 1.25$  είναι ο συντελεστής υπεραντοχής και  $f_y$  η ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής.

2) Η ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής των ανταλλακτικών του πέλματος θα είναι χαμηλή και προτείνεται να μην υπερβαίνει την τιμή 235 MPa.

3) Το διάκενο της πλάκας σκυροδέματος ακριβώς πάνω από τα αντικαταστάσιμα ελάσματα αποκατάστασης συνέχειας (ανταλλακτικά – fuse) αποσκοπεί στην αποφυγή κύριας βλάβης στο σκυρόδεμα, επιτρέποντας στο ανταλλακτικό να αναπτύξει σημαντικές στροφές, χωρίς ωστόσο να υπάρχει επαφή σκυροδέματος με σκυρόδεμα. Το πλάτος του διακένου στο τμήμα του οπλισμένου σκυροδέματος του ανταλλακτικού μπορεί να είναι διαφορετικό από το αντίστοιχο των χαλύβδινων τμημάτων. Οι συνιστώμενες τιμές για το πλάτος του διακένου είναι: το 10% του ύψους της πλάκας στο τμήμα του οπλισμένου σκυροδέματος και το 10% του συνολικού ύψους της σύμμικτης διατομής στο χαλύβδινον τμήμα.

4) Ο σχεδιασμός της αποκατάστασης συνέχειας της δοκού και του οπλισμού γίνεται έτσι ώστε ο οπλισμός να παραμένει στην ελαστική περιοχή. Συνίσταται το εμβαδόν της ανώτατης στρώσης οπλισμού να είναι διπλάσιο από το εμβαδόν του ελάσματος (ανταλλακτικό) του κάτω πέλματος της χαλύβδινης δοκού.

5) Η αντοχή των πλακών ενίσχυσης στις ζώνες αποκατάστασης των δοκών, καθώς και η ελάχιστη απόσταση από την άρθρωση, θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η σύνδεση της δοκού στο υποστύλωμα και η σύμμικτη διατομή στην θέση αυτή να παραμένουν στην ελαστική περιοχή (Σχ. 2.1).



Σχ. 2.1: Σχηματική αναπαράσταση συγκολλητών αποκαταστάσεων δοκών FUSEIS

6) Οι συγκολλητές αποκαταστάσεις δοκών FUSEIS πρέπει να ικανοποιούν τους ακόλουθους ελέγχους αντοχής:

Αρχικά, θα πρέπει να επαληθευτεί ότι η συνολική πλαστική ροπή αντίστασης και οι διατμητικές δυνάμεις δεν μειώνονται λόγω των θλιπτικών δυνάμεων.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,fuse,Rd}} \le 0.15$$
 E§. (2.2)

Η διατμητική αντοχή θα πρέπει να ικανοποιεί τα κριτήρια του ικανοτικού σχεδιασμού, λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι πλαστικές αρθρώσεις αναπτύσσονται ταυτόχρονα και στα δύο άκρα των δοκών των πλαισίων παραλαβής ροπών. Η διατμητική αντοχή των συγκολλητών αποκαταστάσεων δοκών FUSEIS θεωρείται ότι παρέχεται αποκλειστικά και μόνο από τις πλάκες ενίσχυσης του κορμού.

$$\frac{V_{CD,Ed}}{V_{pl.fuse,Rd}} \le 1.0$$

Εξ. (2.3)

όπου  $V_{CD,Ed} = 2M_{max,fuse}/L_{fuses,ij}$  είναι η ικανοτική τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού,  $M_{max,fuse}$  είναι η μέγιστη αναπτυσσόμενη ροπή των ανταλλακτικών,  $L_{fuses,ij}$  είναι η απόσταση ανάμεσα στα ανταλλακτικά της ίδιας δοκού και  $V_{pl,fuse,Rd}$  είναι η διατμητική αντοχή που παρέχεται από τις πλάκες ενίσχυσης του κορμού.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{max,fuse}} \le \frac{1}{\Omega} \le 1.0$$
 Eξ. (2.4)

όπου *M<sub>Ed</sub>* είναι η ροπή σχεδιασμού, *M<sub>max,fuse</sub>* είναι η μέγιστη ροπή του ανταλλακτικού και Ω είναι ο συντελεστής υπεραντοχής.

7) Για να επιτευχθεί ομοιογενής ικανότητα απορρόφησης ενέργειας, θα πρέπει να ελέγχεται ότι οι μέγιστοι λόγοι Ω σε ολόκληρη την κατασκευή δεν πρέπει να διαφέρουν από τους ελάχιστους λόγους Ω περισσότερο από 25%.

$$\frac{max\Omega}{min\Omega} \le 1.25$$
 E§. (2.5)

#### 8) Στροφές ανταλλακτικού

9) Τα μη πλάστιμα μέλη (υποστυλώματα, ενισχυμένες και μη σύμμικτες δοκοί) θα πρέπει να σχεδιάζονται για αυξημένες τιμές εσωτερικών δυνάμεων σε σχέση με αυτές που προκύπτουν από τις αναλύσεις για τον πλέον δυσμενή σεισμικό συνδυασμό, για να εξασφαλισθεί ότι η αστοχία θα επέλθει αρχικά στα συγκολλητά FUSEIS. Όλα τα στοιχεία θα σχεδιάζονται για τις ακόλουθες δράσεις:

$$N_{CD,Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$
 E§. (2.6)

$$M_{CD,Ed} = M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}$$
 E§. (2.7)

$$V_{CD,Ed} = V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}$$
 Eξ. (2.8)

όπου  $N_{Ed,G}$ ,  $M_{Ed,G}$  and  $V_{Ed,G}$  είναι οι αξονικές δυνάμεις, καμπτικές ροπές και διατμητικές δυνάμεις σχεδιασμού αντίστοιχα, των μόνιμων δράσεων που συμπεριλαμβάνονται στον σεισμικό φορτιστικό συνδυασμό.  $N_{Ed,E}$ ,  $M_{Ed,E}$  and  $V_{Ed,E}$ είναι οι αξονικές δυνάμεις, καμπτικές ροπές και διατμητικές δυνάμεις σχεδιασμού αντίστοιχα λόγω των σεισμικών δράσεων για τον στον σεισμικό φορτιστικό συνδυασμό.  $\Omega = \min \Omega_i = \min\{M_{max,fuse,i}/M_{Ed,i}\}$  είναι ο ελάχιστος συντελεστής υπεραντοχής για όλα τα συγκολλητά FUSEIS της κατασκευής, βλέπε Εξ. (2.4).  $\gamma_{ov} = 1.25$  είναι ο συντελεστής υπεραντοχής του υλικού, βλέπε Εξ. (2.1).

## 8 ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΙΜΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ

#### 8.1 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

(6) η) Τα Συστήματα αντικαταστάσιμου σεισμικού συνδέσμου είναι συζευγμένα πλαίσια που δημιουργούνται συνδυάζοντας πλαίσια παραλαβής ροπών με πλαίσια με έκκεντρους συνδέσμους (διαγώνια μέλη) και αντικαταστάσιμους σεισμικούς συνδέσμους. Οι σεισμικοί σύνδεσμοι κοχλιώνονται με σκοπό να παρέχουν ικανότητα απορρόφησης ενέργειας μέσω ανακυκλιζόμενης διάτμησης και είναι αντικαταστάσιμοι, ενώ τα εύκαμπτα πλαίσια παραλαβής ροπών παραμένουν ελαστικά ώστε να παρέχεται η απαιτούμενη δύναμη για την επαναφορά της κατασκευής κατά την αφαίρεση των βλαφθέντων σεισμικών συνδέσμων.



Σχ. 6.10: Πιθανή διαμόρφωση των αντικαταστάσιμων σεισμικών συνδέσμων

#### 8.2 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.3.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

## Πίν. 6.2: Ανώτερες οριακές τιμές αναφοράς των συντελεστών συμπεριφοράς για συστήματα κανονικά σε όψη

ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	Κατηγορία πλαστιμότητας	
	КПМ	KΠY
η) Συστήματα αντικαταστάσιμου σεισμικού συνδέσμου	2.5	4

#### 8.3 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.8.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

(4)Ρ Τα πλαίσια με έκκεντρους συνδέσμους (διαγώνια μέλη) και αντικαταστάσιμους σεισμικούς συνδέσμους θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε οι σεισμικοί σύνδεσμοι ή τμήματα αυτών, να έχουν δυνατότητα αφαίρεσης (κοχλιωτοί) και να αποσβένουν ενέργεια μέσω του σχηματισμού πλαστικών μηχανισμών τέμνουσας (σύνδεσμοι μικρού μήκους).

#### 8.4 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.8.4 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

(4) Εάν οι σεισμικοί σύνδεσμοι σχεδιάζονται να είναι αφαιρούμενοι και αντικαταστάσιμοι, τότε θα πρέπει να είναι κοχλιωτοί. Οι διεπιφάνειες αυτών πρέπει να είναι κατηγορίας Β (καθαρισμένες με αμμοβολή και ψευδαργυρική επίστρωση), με συντελεστή τριβής τουλάχιστον ίσο με 0.4 και οι κοχλίες προεντεταμένοι.

(5) Μπορεί να υλοποιηθεί σύνδεση με μετωπικές πλάκες για την ένωση του σεισμικού συνδέσμου στην δοκό, η οποία θα πρέπει να παραμένει ελαστική. Επομένως, ο σύνδεσμος θα πρέπει να σχεδιάζεται για τέμνουσα δύναμη *V*<sub>j,Ed</sub> και ροπή κάμψης *M*<sub>j,Ed</sub> και να συμπεριφέρεται ως στοιχείο που έχει διαρρεύσει πλήρως και έχει εμφανίσει παραμόρφωση κράτυνσης:

$$V_{j,Ed} = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov} \cdot V_{p,link}$$
 E§. (6.32)

$$M_{j,Ed} = \frac{V_{j,Ed}e}{2}$$
 Eξ. (6.33)

όπου

γ<sub>sh</sub> είναι ο συντελεστής παραμόρφωσης κράτυνσης του χάλυβα.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 Η συνιστώμενη τιμή είναι γ<sub>sh</sub> = 1.8 για ΚΠΥ και γ<sub>sh</sub> = 1.5 για ΚΠΜ.

(5) Για να επιτευχθεί η υπεραντοχή της σύνδεσης, ενδέχεται να χρειαστεί να χρησιμοποιηθούν πολύ μικρού μήκους σύνδεσμοι απορρόφησης ενέργειας (με μήκος συνδέσμου *e* μικρότερο από 0.8*M*<sub>p,link</sub>/*V*<sub>p,link</sub>).

(6) Η δυσκαμψία/ευκαμψία της κοχλιωτής σύνδεσης του σεισμικού συνδέσμου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν στην καθολική ανάλυση του φορέα.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 Εάν χρησιμοποιηθεί σύνδεση με μετωπικές πλάκες και προεντεταμένους κοχλίες, τότε θα πρέπει να θεωρηθεί απείρως άκαμπτη. (7) Η εκτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς της κοχλιωτής σύνδεσης των σεισμικών συνδέσμων με την δοκό, υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση, θα πρέπει να υποστηρίζεται από πειραματικά στοιχεία.

(8) Τα πειραματικά στοιχεία μπορούν να βασίζονται σε υπάρχοντα δεδομένα.
Διαφορετικά, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν δοκιμές.

#### 8.5 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 6.10.2 ΠΛΑΙΣΙΑ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΡΟΠΩΝ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ

(7) Στα συζευγμένα πλαίσια που δημιουργούνται συνδυάζοντας πλαίσια παραλαβής ροπών με πλαίσια με συνδέσμους (διαγώνια μέλη), το ασθενέστερο και πιο εύκαμπτο υποσύστημα (πλαίσιο παραλαβής ροπών) θα πρέπει να παρέχει μια ελάχιστη αντοχή στην κατασκευή. Επομένως, η συζευγμένη λειτουργία της κατασκευής θα πρέπει να ελεγχθεί, επιβεβαιώνοντας ότι τα πλαίσια παραλαβής ροπών είναι ικανά να παραλάβουν τουλάχιστον το 25% της συνολικής σεισμικής δύναμης:

$$F_{y}^{MRF} \ge 0.25 \cdot (F_{y}^{MRF} + F_{y}^{BF})$$
 Eξ. (6.34)

$$F_{y} \frac{MRF}{H} = \frac{\frac{4M_{plb}}{H}}{H}$$
Eξ. (6.35)

όπου

*F*<sup>MRF</sup> είναι το όριο διαρροής των πλαισίων παραλαβής ροπών,

- *F*<sub>y</sub><sup>BF</sup> είναι το όριο διαρροής των πλαισίων με συνδέσμους (διαγώνια μέλη),
- L είναι το μήκος του πλαισίου (βλέπε Σχ. 6.15),
- Η είναι το ύψος ορόφου του πλαισίου (βλέπε Σχ. 6.15),
- *M*<sub>pl,b</sub> είναι η τιμή σχεδιασμού της πλαστικής ροπής αντοχής στα άκρα της δοκού των πλαισίων παραλαβής ροπής, σύμφωνα με τον EN 1993.
- (8) Το όριο διαρροής των πλαισίων με έκκεντρους συνδέσμους (διαγώνια μέλη) πρέπει να υπολογίζεται ως εξής:

$$F_{y}^{EBF} = \frac{L}{H} \cdot V_{p,link}$$

Eξ. (6.36)

όπου

V<sub>p,link</sub> είναι η τιμή σχεδιασμού της διατμητικής αντοχής του σεισμικού συνδέσμου (βλέπε 6.8.2).





Σχ. 6.15: a)Τυπικό μονώροφο πλαίσιο με έκκεντρους συνδέσμους (διαγώνια μέλη) και b) πλαίσιο παραλαβής ροπών.

#### 8.6 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΕΙΔΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΚΤΗΡΙΑ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

6.12 Κριτήρια σχεδιασμού και κανόνες διαμόρφωσης λεπτομερειών για πλαίσια με χαλύβδινες διατμητικές πλάκες - βλέπε κεφ. 8

#### 6.13 Ικανότητα επαναφοράς συζευγμένων πλαισίων χάλυβα

(1) Η ικανότητα επαναφοράς των συζευγμένων πλαισίων θα πρέπει να επιτυγχάνεται με την παρεμπόδιση της διαρροής των πλαισίων παραλαβής ροπών, μέχρι την επίτευξη της οριακής παραμόρφωσης των πλαισίων απόδοσης ενέργειας (πλαίσιο με συνδέσμους). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί διατηρώντας την οριακή μετακίνηση των πλαισίων απόδοσης ενέργειας (οριακή κατάσταση αστοχίας) μικρότερη από την μετακίνηση διαρροής των ελαστικά αποκρινόμενων πλαισίων (πλαίσια παραλαβής ροπών):

$$\delta_u^{DIS} < \delta_y^{MRF}$$

Eξ. (6.37)

όπου

- δ<sub>u<sup>DIS</sup></sub> είναι η οριακή μετακίνηση των πλαισίων απόδοσης ενέργειας στην οριακή κατάσταση αστοχίας,
- *δ*<sup>yMRF</sup> είναι η μετακίνηση των πλαισίων παραλαβής ροπών στη διαρροή.

#### 6.13.1 Ικανότητα επαναφοράς των συστημάτων αντικαταστάσιμων σεισμικών συνδέσμων

6.13.1.1 Αναλυτικός έλεγχος

(1) Τα πλαίσια απόδοσης ενέργειας στα συστήματα με αντικαταστάσιμους σεισμικούς συνδέσμους είναι τα πλαίσια με τις έκκεντρες διαγωνίους. Η οριακή τους μετακίνηση αντιστοιχεί στην μέγιστη πλαστική παραμόρφωση των συνδέσμων και υπολογίζεται ως εξής:

$$\delta_{u}^{\ EBF} = \delta_{y}^{\ EBF} + \delta_{pl}^{\ EBF} = \frac{F_{y}^{\ EBF}}{\kappa^{EBF}} + \frac{e}{L \cdot e} \quad H \cdot \gamma_{pl\mu} < \delta_{y}^{\ MRF} = \frac{F_{y}^{\ MRF}}{\kappa^{MRF}} \quad E\xi. \ (6.38)$$

$$\kappa^{EBF} = \frac{\kappa_{link}^{EBF} \cdot \kappa_{br}^{EBF}}{\kappa_{link}^{EBF} + \kappa_{br}^{EBF}}$$
 E§. (6.39)

 $Klink^{EBF} = \frac{L}{H^2} \cdot (L \cdot e) \cdot \frac{G \cdot A_s}{e}$  Eξ. (6.40)

$$\mathcal{K}^{MRF} = \frac{4}{H^2 \cdot \left(\frac{L}{6 \cdot E \cdot I_b} + \frac{H}{12 \cdot E \cdot I_c}\right)}$$
 Eξ. (6.42)

όπου

$\delta_{u^{EBF}}$	είναι η οριακή μετακίνηση των πλαισίων με έκκεντρους συνδέσμους				
	(διαγώνια μέλη) κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας,				
$oldsymbol{\delta}_{y}^{EBF}$	είναι η μετακίνηση διαρροής των πλαισίων με έκκεντρους				
	συνδέσμους (διαγώνια μέλη),				
$oldsymbol{\delta}_{pl}^{EBF}$	είναι η πλαστική μετακίνηση των πλαισίων με έκκεντρους				
	συνδέσμους (διαγώνια μέλη),				
$K^{\sf EBF}$	είναι η δυσκαμψία των πλαισίων με έκκεντρους συνδέσμους,				
е	είναι το μήκος του σεισμικού συνδέσμου (βλέπε Σχ. 6.15),				
<b>γ</b> pl,u	είναι η μέγιστη δυνατή πλαστική παραμόρφωση του συνδέσμου,				
K <sup>MRF</sup>	είναι η δυσκαμψία των πλαισίων παραλαβής ροπών,				
$K_{link}^{EBF}$	είναι η δυσκαμψία του συνδέσμου,				
$K_{\rm br}^{\sf EBF}$	είναι η δυσκαμψία των διαγωνίων μελών του πλαισίου,				
G	είναι το μέτρο διάτμησης,				
As	είναι η επιφάνεια διάτμησης του συνδέσμου,				
E	είναι το μέτρο ελαστικότητας,				
A	είναι το εμβαδόν της διατομής των διαγωνίων συνδέσμων,				
<i>l</i> br	είναι το μήκος των διαγώνιων συνδέσμων,				
α	είναι η γωνία των διαγωνίων συνδέσμων,				
<i>I</i> b	είναι η ροπή αδράνειας της δοκού,				
lc	είναι η ροπή αδράνειας του υποστυλώματος.				

(2) Ο αναλυτικός υπολογισμός θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την προκαταρκτική μελέτη της ικανότητας επαναφοράς του συστήματος.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για έλεγχο ικανότητας επαναφοράς κατασκευών μικρού ύψους, όπου η πλευρική παραμόρφωση της κατασκευής είναι κυρίως διατμητικού τύπου.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2 Για τον έλεγχο της ικανότητας επαναφοράς κτιρίων μεσαίου ή μεγάλου ύψους (όπου μια καθολική καμπτική παραμόρφωση μπορεί να αναπτυχθεί καθ' ύψος του κτιρίου), συνίσταται να χρησιμοποιούνται επιπλέον μη γραμμικές στατικές και/ή δυναμικές αναλύσεις.

(3) Δεδομένου ότι η χρήση των παραπάνω σχέσεων είναι μια προσεγγιστική και απλοποιημένη διαδικασία, συνίσταται για όλες τις κατασκευές να

πραγματοποιούνται μη γραμμικές στατικές και/ή δυναμικές αναλύσεις για τον έλεγχο της ικανότητας επαναφοράς.

6.13.1.2 Προσομοίωση σεισμικών συνδέσμων για μη γραμμική στατική ανάλυση

(1) Η μη γραμμική διατμητική συμπεριφορά των μικρού μήκους κοχλιωτών συνδέσμων θα πρέπει να περιγράφεται από την ακόλουθη καμπύλη αντίστασης:



Διατμητική παραμόρφωση συνδέσμου [rad]

Σχ. 6.16: Μη γραμμική συμπεριφορά διατμητικών συνδέσμων.

όπου

*K*<sub>1</sub> είναι η αρχική δυσκαμψία του συνδέσμου,

Vy είναι η διατμητική αντίσταση του συνδέσμου (V<sub>p,link</sub>),

Vu είναι η οριακή αντίσταση του συνδέσμου,

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 Συνίσταται να λαμβάνεται 1.8 V<sub>y</sub> για ΚΠΥ και 1.5 V<sub>y</sub> για ΚΠΜ.

γ<sub>u</sub> είναι η οριακή διατμητική στροφή του συνδέσμου

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 Συνίσταται να λαμβάνεται 0.15 rad για ΚΠΥ και 0.1 rad για ΚΠΜ.

γ<sub>f</sub> είναι η διατμητική στροφή αστοχίας του συνδέσμου,

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 Συνίσταται να λαμβάνεται 0.17 για ΚΠΥ και 0.11 rad για ΚΠΜ.

6.13.1.3 Προσομοίωση σεισμικών συνδέσμων για μη γραμμική δυναμική ανάλυση

(1) Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν η υστερητική συμπεριφορά των διατμητικών κοχλιωτών συνδέσμων. Οι βρόχοι υστέρησης θα πρέπει να διέπονται από κανόνες για την δυσκαμψία και την πτώση της αντοχής, καθώς και το φαινόμενο μείωσης πληρότητας του βρόχου υστέρησης (pinching). Παράμετροι για τους κανόνες των υστερητικών βρόχων παρουσιάζονται στον Πιν. 6.4.

Ειδική παράμετρος	Τιμή
Παράμετρος μείωσης δυσκαμψίας	20
Παράμετρος μείωσης αντοχής με βάση την πλαστιμότητα	0.001
Παράμετρος μείωσης αντοχής με βάση την υστερητική ενέργεια	0.001
Παράμετρος ομαλής μετάβασης από την ελαστική περιοχή στην	10
ανελαστική	
Παράμετρος για την μορφής της αποφόρτισης	0.5
Παράμετρος μήκους ολίσθησης	0
Παράμετρος τραχύτητας ολίσθησης	100
Παράμετρος μέσης ροπής ολίσθησης	0
Δείκτης ελατηρίου για κλείσιμο ρωγμής	10
Παράμετρος καμπύλης για κλείσιμο ρωγμής	1000
Συντελεστής δυσκαμψίας για κλείσιμο ρωγμής	1

#### Πιν. 6.4: Παράμετροι υστερητικής συμπεριφοράς των κοχλιωτών διατμητικών συνδέσμων

### 9 ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ

### 9.1 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

(9) Τα πλαίσια με αντικαταστάσιμες λεπτότοιχες χαλύβδινες διατμητικές πλάκες είναι εκείνα στα οποία οι οριζόντιες δυνάμεις παραλαμβάνονται κυρίως από μέλη που υπόκεινται σε διάτμηση.

Πλαίσια παραλαβής ροπών σε συνδυασμό με αντικαταστάσιμες λεπτότοιχες χαλύβδινες διατμητικές πλάκες.

(6) Στα πλαίσια με αντικαταστάσιμες διατμητικές πλάκες, οι ζώνες απόδοσης ενέργειας θα πρέπει να βρίσκονται κυρίως μέσα στις διατμητικές πλάκες.



Σχήμα 6.10: Πλαίσια με αντικαταστάσιμες λεπτότοιχες χαλύβδινες διατμητικές πλάκες (ζώνες απόδοσης ενέργειας μόνο στις αντικαταστάσιμες διατμητικές πλάκες). Καταχρηστικές τιμές για α₀/α₁ (βλέπε 6.3.2(3) και Πίνακα 6.2).



Σχήμα 6.11: Πλαίσια παραλαβής ροπών σε συνδυασμό με χαλύβδινες διατμητικές πλάκες (ζώνες απόδοσης ενέργειας στο πλαίσιο και στις διατμητικές πλάκες). Καταχρηστικές τιμές για α<sub>υ</sub>/α<sub>1</sub> (βλέπε 6.3.2(3) και Πίνακα 6.2).

#### 9.2 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.2, ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

#### Πίνακας 6.2: Ανώτερες οριακές τιμές αναφοράς των συντελεστών συμπεριφοράς για συστήματα κανονικά σε όψη

	Κατηγορία πλαστιμότητας		
	КПМ	КПҮ	
η) Πλαίσια με χαλύβδινες διατμητικές πλάκες	4	5 α <sub>u</sub> ∕ α₁	
<ul> <li>θ) Πλαίσια παραλαβής</li> <li>ροπών με χαλύβδινες</li> <li>διατμητικές πλάκες</li> </ul>	4	5 α <sub>u</sub> / α <sub>1</sub>	

#### 9.3 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.10, ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΦΟΡΕΙΣ ΑΠΌ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ ΠΥΡΗΝΕΣ ΑΠΌ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ Η ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΑΠΌ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΡΟΠΩΝ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ Ή ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ

#### 6.10.4 Πλαίσια παραλαβής ροπών σε συνδυασμό με αντικαταστάσιμες λεπτότοιχες χαλύβδινες διατμητικές πλάκες.

(1) Συζευγμένοι φορείς με πλαίσια παραλαβής ροπών και πλαίσια με συνδέσμους τα οποία δρουν κατά την ίδια κατεύθυνση, θα πρέπει να σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας έναν μόνο συντελεστή *q*. Οι οριζόντιες δυνάμεις θα πρέπει να κατανέμονται ανάμεσα στα διαφορετικά πλαίσια σύμφωνα με την ελαστική δυσκαμψία τους.

(2) Τα πλαίσια παραλαβής ροπών και τα πλαίσια με συνδέσμους πρέπει να συμμορφώνονται με τα 6.6 και 6.12.

(3)P Η συζευγμένη λειτουργία της κατασκευής πρέπει να ελέγχεται εξασφαλίζοντας ότι τα πλαίσια παραλαβής ροπών είναι ικανά να παραλάβουν τουλάχιστον το 25% της συνολικής σεισμικής δύναμης:

$$F_{y}^{MRF} \ge 0.25 \cdot (F_{y}^{MRF} + F_{y}^{SPSW})$$
 E§. (6.34)

όπου *F*<sup>MRF</sup> είναι η δύναμη διαρροής των πλαισίων παραλαβής ροπών *F*<sub>y</sub><sup>SPSW</sup>είναι η δύναμη διαρροής του πλαισίου με αντικαταστάσιμες λεπτότοιχες χαλύβδινες διατμητικές πλάκες.

#### 9.4 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΕΙΔΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΚΤΗΡΙΑ ΑΠΌ ΧΑΛΥΒΑ

#### 6.12 Κανόνες σχεδιασμού και διαμόρφωση λεπτομερειών για πλαίσια με αντικαταστάσιμες διατμητικές πλάκες

#### 6.12.1 Κριτήρια σχεδιασμού

(1)Ρ Τα πλαίσια με διατμητικές πλάκες πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε η διαρροή των χαλύβδινων διατμητικών πλακών σε διάτμηση να πραγματοποιείται πριν την αστοχία των συνδέσεων και πριν την διαρροή ή το λυγισμό των δοκών ή των υποστυλωμάτων.

(2) Ρ Το δομικό σύστημα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να πραγματοποιείται μια ομοιογενής πλάστιμη συμπεριφορά του συνόλου των χαλύβδινων διατμητικών πλακών.

(3) Η εφαρμογή των χαλύβδινων διατμητικών πλακών πρέπει να περιορίζεται σε πλάκες με αναλογία διαστάσεων 0.8 < L/h < 2.5.</p>

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Η συμπεριφορά διατμητικών πλακών με άλλη αναλογία διαστάσεων πρέπει να ελέγχεται πειραματικά.

#### 6.12.2 Ανάλυση

(1)Ρ Τα φορτία βαρύτητας θα παραλαμβάνονται μόνο από τις δοκούς και τα υποστυλώματα, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι χαλύβδινες διατμητικές πλάκες.

(2) Για τον προκαταρτικό σχεδιασμό, το μέγεθος των χαλύβδινων διατμητικών πλακών και των περιμετρικών μελών (δοκοί και υποστυλώματα) μπορεί να προσδιοριστεί μέσω προσέγγισης των χαλύβδινων διατμητικών πλακών με διαγώνια, μόνο εφελκυόμενα, μέλη (Σχ. 6.12).



Σχήμα 6.12: Προσέγγιση των χαλύβδινων διατμητικών πλακών με εφελκυόμενα διαγώνια μέλη.

(3)Ρ Το πλαίσιο με τις εφελκυόμενες μόνο διαγωνίους πρέπει να σχεδιάζεται σύμφωνα με τα κριτήρια και τους κανόνες που δίνονται στο 6.7 για πλαίσια με συνδέσμους χωρίς εκκεντρότητα.

#### 6.12.3 Οριζόντια και κατακόρυφα περιμετρικά μέλη

(1)Ρ Τα οριζόντια και κατακόρυφα περιμετρικά μέλη πρέπει να σχεδιάζονται να μπορούν να παραλάβουν τις μέγιστες δυνάμεις που αναπτύσσονται λόγω του πεδίου τάσεων που δημιουργείται στις πλάκες που έχουν διαρρεύσει πλήρως.

(2) Ρ Τα κατακόρυφα περιμετρικά μέλη πρέπει να έχουν ροπή αδράνειας ως προς τον άξονα κάθετα στο επίπεδο του κορμού, *l*<sub>c</sub>, μεγαλύτερη από:

$$I_{c} \ge \frac{0.00307 \cdot t_{W} \cdot h^{4}}{L}$$
 E§. (6.32)

όπου

tw είναι το πάχος της χαλύβδινης διατμητικής πλάκας

h είναι το ύψος της χαλύβδινης διατμητικής πλάκας, μεταξύ των κέντρων των διατομών των οριζόντιων περιμετρικών μελών

L είναι το πλάτος της χαλύβδινης διατμητικής πλάκας, μεταξύ των κέντρων των διατομών των κατακόρυφων περιμετρικών μελών

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Εάν χρησιμοποιούνται διαφορετικές διατομές για τα κατακόρυφα περιμετρικά μέλη, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι μέσες τιμές της ροπής αδρανείας στους υπολογισμούς.

(3) Ρ Τα οριζόντια περιμετρικά μέλη πρέπει να έχουν ροπή αδράνειας ως προς άξονα κάθετο στο επίπεδο του κορμού, *I*<sub>b</sub>, μεγαλύτερη από:

$$I_b \ge 0.0031 \cdot \frac{\Delta t_w \cdot L^4}{L} h$$
 Eξ. (6.33)

όπου

Δt<sub>w</sub> είναι η διαφορά στο πάχος των χαλύβδινων διατμητικών πλακών πάνω και κάτω από το οριζόντιο μέλος

### 6.12.4 Χαλύβδινες διατμητικές πλάκες

(1) Το πάχος της χαλύβδινης διατμητικής πλάκας, μπορεί να υπολογιστεί μέσω του εμβαδού της εφελκυόμενης διαγωνίου (βλέπε **6.12.2**) με την ακόλουθη σχέση:

$$t_{w} = \frac{2 \cdot A_{brace} \cdot \Omega \cdot \sin \theta}{L \cdot \sin 2\alpha}$$
 E§. (6.34)

όπου

Abrace είναι το εμβαδόν της εφελκυόμενης διαγωνίου

Ω είναι ο συντελεστής υπεραντοχής, που προσδιορίζεται στο 6.7.4 (1)

θ είναι η γωνία μεταξύ της κατακορύφου και του άξονα της εφελκυόμενης διαγωνίου

α είναι η γωνία κλίσης του πεδίου εφελκυστικών τάσεων της πλάκας, μετρούμενη από την κατακόρυφο, η οποία μπορεί να λαμβάνεται ως 40°, ή μπορεί να υπολογίζεται με την σχέση (6.35):

$$\tan^{4} \alpha = \frac{1 + \frac{t_{w} \cdot L}{2 \cdot A_{c}}}{1 + t_{w} \cdot h \cdot \left(\frac{1}{A_{b}} + \frac{h^{3}}{360 \cdot I_{c} \cdot L}\right)}$$
 Eξ. (6.35)

όπου

*t*<sub>w</sub> είναι το πάχος της χαλύβδινης διατμητικής πλάκας

*Α*<sub>c</sub> είναι το εμβαδόν των υποστυλωμάτων

Α<sub>b</sub> είναι το εμβαδόν των δοκών

*l*c είναι η ροπή αδρανείας των κατακόρυφων περιμετρικών μελών, η οποία μπορεί να λαμβάνεται ως η μέση τιμή μεταξύ των δύο κατακόρυφων περιμετρικών μελών.

(2) Η πλαστική αντοχή σε διάτμηση μιας χαλύβδινης διατμητικής πλάκας μπορεί να υπολογιστεί με τη σχέση (6.34), η οποία βασίζεται στην παραδοχή ότι κάθε πλάκα μπορεί να προσομοιωθεί με μία σειρά κεκλιμένων αμφιαρθρωτών λωρίδων (βλέπε 6.12.6):

$$V_n = 0.42 F_y t_w L_{cf} \sin 2\alpha$$

όπου

L<sub>cf</sub> είναι η καθαρή απόσταση μεταξύ των πελμάτων των κατακόρυφων περιμετρικών μελών

*F*<sub>y</sub> είναι η δύναμη διαρροής της χαλύβδινης διατμητικής πλάκας

#### 6.12.5 Σύνδεση οριζόντιων και κατακόρυφων περιμετρικών μελών

(1)Ρ Για τα πλαίσια με χαλύβδινες διατμητικές πλάκες, η πλαστική δύναμη αντοχής του συνδεόμενου πλάστιμου μέλους, Rd, υπολογίζεται σύμφωνα με το **6.5.5**, και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η τέμνουσα που αντιστοιχεί στη διαρροή του εφελκυστικού πεδίου τάσεων της πλάκας.

### 6.12.6 Σύνδεση διατμητικών πλακών με τα περιμετρικά μέλη

(1)P Η απαιτούμενη αντοχή της σύνδεσης της χαλύβδινης διατμητικής πλάκας με τα μέλη που την περιβάλλουν πρέπει να είναι ίση με την αναμενόμενη αντοχή διαρροής, σε εφελκυσμό, της πλάκας.

(2) Μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο τυπικές λεπτομέρειες συνδέσεων της χαλύβδινης διατμητικής πλάκας με τις περιμετρικές δοκούς και υποστυλώματα, βλέπε 6.13.



Σχήμα 6.13: Σύνδεση διατμητικής πλάκας με περιμετρικά μέλη

(3)P Η συγκολλητή σύνδεση πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε τα ελάσματα σύνδεσης και οι συγκολλήσεις να αναπτύσσουν την αντοχή σε διάτμηση της πλάκας.

(4) Εάν απαιτείται η ικανότητα επαναφοράς, συνιστώνται οι κοχλιωτές συνδέσεις. Οι κοχλίες πρέπει να είναι ανθεκτικοί σε ολίσθηση και ικανοί να αναπτύξουν την αντοχή σε διάτμηση των πλακών. (5) Αναμένεται ότι κατά τη διάρκεια της ανακυκλιζόμενης φόρτισης των χαλύβδινων διατμητικών πλακών, οι κοχλίες ολισθαίνουν πριν την διαρροή της πλάκας εντός του εφελκυστικού πεδίου που αναπτύσσεται. Επομένως, πρέπει να ελέγχεται επίσης η αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση και σύνθλιψη άντυγας, σύμφωνα με τον ΕΝ 1993-1-8.

(6) Στην περίπτωση πολύ λεπτών χαλύβδινων διατμητικών πλακών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συγκολλητά ενισχυτικά ελάσματα προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας.

### 6.13 Ικανότητα επαναφοράς των συζευγμένων πλαισίων από χάλυβα

(1)P Η ικανότητα επαναφοράς των συζευγμένων συστημάτων πρέπει να ελέγχεται έτσι ώστε να αποφεύγεται η διαρροή στα πλαίσια παραλαβής ροπών μέχρι την επίτευξη της μέγιστης ικανότητας παραμόρφωσης στα πλαίσια απορρόφησης ενέργειας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί κρατώντας την μέγιστη μετατόπιση στα πλαίσια απορρόφησης ενέργειας (σε οριακή κατάσταση αστοχίας) μικρότερη από τη μετατόπιση διαρροής στα ελαστικά πλαίσια (πλαίσια παραλαβής ροπών):

$$\delta^{DIS} < \delta^{MRF}$$
 E§. (6.35)

όπου

δ<sup>ΔDIS</sup> είναι η μέγιστη μετατόπιση των πλαισίων απορρόφησης ενέργειας σε οριακή κατάσταση αστοχίας

δ<sub>y<sup>MRF</sup> είναι η μετατόπιση διαρροής των πλαισίων παραλαβής ροπών</sub>

#### 6.13.2 Ικανότητα επαναφοράς των συζευγμένων πλαισίων από χάλυβα με αντικαταστάσιμες διατμητικές πλάκες

(1) Συνιστώνται μη γραμμικές στατικές και/ή δυναμικές αναλύσεις για όλες τις κατασκευές προκειμένου να ελεγχθεί η ικανότητα επαναφοράς.

6.13.1.1 Προσομοίωση διατμητικής πλάκας για μη γραμμικές στατικές (pushover) αναλύσεις

(1) Οι διατμητικές πλάκες μπορούν να προσομοιωθούν από 10 κατ' ελάχιστον κεκλιμένα αμφιαρθρωτά εφελκυόμενα μέλη (λωρίδες) με γωνία α ως προς την κατακόρυφο, και προσανατολισμένα στην διεύθυνση των κύριων εφελκυστικών

τάσεων στην πλάκα (προσομοίωμα λωρίδων), βλέπε σχήμα 6.15. Τα χαρακτηριστικά σημεία που ορίζουν τις ιδιότητες των λωρίδων δίνονται στον Πίνακα 6.4 και 6.5.



Σχ. 6.15: Προσομοίωμα λωρίδων για μη γραμμική στατική ανάλυση

Σημείο	А	В	С	D	E
P/Py	0	0.8	1.4	1.4	1.2
$\Delta/\Delta_y$	0	0	14	20	27

Πίνακας 6.4: Μη γραμμικές ιδιότητες των εφελκυόμενων λωρίδων



Σχ. 6.16: Μη γραμμικές ιδιότητες των εφελκυόμενων λωρίδων

Πίνακας 6.5: Κριτήρια αποδοχής

Κοιτήρια	DL (περιορισμός	SD (σημαντικές	ΝС (Οιονεί
κριτηρια	βλαβών)	βλάβες)	κατάρρευση)
$\Delta / \Delta_y$	0.5	13	19

(2) Το εμβαδόν των λωρίδων μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση της σχέσης 6.32:

$$A_{\rm s} = (L \cdot \sin \alpha + h \cdot \cos \alpha) / n$$

όπου η είναι ο αριθμός των λωρίδων ανά πλάκα Eξ. (6.32)

6.13.1.1 Προσομοίωση διατμητικής πλάκας για μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις

(1) Η πλάκα μπορεί να προσομοιωθεί από 10 κατ' ελάχιστον λωρίδες προσανατολισμένες και στις δύο διευθύνσεις (προσομοίωμα διπλών λωρίδων), με τις ιδιότητες που περιγράφονται στην παρ. **6.13.1.1**, βλέπε σχήμα 6.17.



Σχ. 6.17: Προσομοίωμα λωρίδων για μη γραμμική δυναμική ανάλυση

(2) Ο νόμος υστέρησης για τις πλάστιμες πλάκες φαίνεται στο Σχ. 6.18. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται για την προσομοίωση του φαινομένου της μείωσης του βρόχου υστέρησης (pinching) που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της ανακυκλιζόμενης φόρτισης.



Σχ. 6.18: Νόμος υστέρησης Takeda

## 10 ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ (CBF-MB)

#### 10.1 ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

(10) <u>Τα πλαίσια με τροποποιημένους κεντρικούς συνδέσμους δυσκαμψίας (CBF-MB)</u> είναι εκείνα που ικανοποιούν τις ακόλουθες απαιτήσεις:

Τα διαγώνια μέλη διασταυρώνονται με μία δοκό διάζευξης (Σχ. 1.1);

Κάθε διαγώνιος αποτελείται από μία μεταβλητή συγκολλητή διατομή σχήματος «Η» (Σχ. 1.2);

- Οι διαγώνιοι σύνδεσμοι συνδέονται αρθρωτά με τα υποστυλώματα, ενώ οι συνδέσεις της δοκού διάζευξης με τα υποστυλώματα είναι άκαμπτες,

 Οι κόμβοι της δοκού με τα υποστυλώματα μπορεί να είναι είτε αρθρωτοί είτε ημιάκαμπτοι.







Σχ. 10.2: Επισκόπηση του τροποποιημένου συνδέσμου δυσκαμψίας

(3) Σε πλαίσια με τροποποιημένους κεντρικούς συνδέσμους δυσκαμψίας CBF-MB, οι ζώνες απόδοσης ενέργειας θα πρέπει κυρίως να βρίσκονται στις διαγωνίους. Το CBF-MB ανήκουν στην ακόλουθη κατηγορία:

- ενεργοί εφελκυόμενοι διαγώνιοι σύνδεσμοι, στους οποίους οι οριζόντιες δυνάμεις μπορούν να παραληφθούν από τις εφελκυόμενες διαγώνιους μόνο, αμελώντας τις διαγώνιους σε θλίψη. Το σημείο τομής του άξονα των διαγώνιων συνδέσμων βρίσκεται στη δοκό διάζευξης, η οποία πρέπει να είναι συνεχής.

(7) Στα CBF-MB οι ζώνες απόδοσης ενέργειας βρίσκονται στις διαγωνίους. Πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να διαχωρίζονται οι ζώνες που διαρρέουν σε εφελκυσμό από εκείνες στις οποίες αναπτύσσονται θλιπτικές παραμορφώσεις μετά το λυγισμό. Τα κριτήρια σχεδιασμού της Παραγράφου 6.5.2 για τις ζώνες απόδοσης ενέργειας εφαρμόζονται και για τους τροποποιημένους συνδέσμους δυσκαμψίας.

#### 10.2 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.3.2, ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Πιν. 6.2: Ανώτερες οριακές τιμές αναφοράς των συντελεστών συμπεριφοράς για συστήματα κανονικά σε όψη

ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	Κατηγορία Πλαστιμότητας		
	КПМ	КПҮ	
CBF-MB	4.0	5.0	
Συνθήκη 6.12.4	<i>ρ</i> =1.00	<i>ρ</i> =1.15	

#### 10.3 ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡ. 6.12 (ΝΕΑ) ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ (CBF-MB)

#### 6.12.1 Ανάλυση

Θα πραγματοποιείται ελαστική ιδιομορφική ανάλυση σύμφωνα με τις 6.7.2 (1) και (2), λαμβάνοντας υπόψη τις ακόλουθες απαιτήσεις.

Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας προσομοιώνονται με σταθερή διατομή μορφής «Η» με τα χαρακτηριστικά της απομειωμένης διατομής (RS) και συνδέονται στο πλαίσιο με απλές αρθρωτές συνδέσεις. Τα υποστυλώματα λαμβάνονται ως συνεχή σε όλο το ύψος του κτηρίου. Οι κόμβοι των υποστυλωμάτων και της δοκού στη στάθμη του ορόφου καθώς και οι βάσεις των υποστυλωμάτων προσομοιώνονται ως αρθρωτοί ή ημιάκαμπτοι. Το προσομοίωμα του CBF-MB φαίνεται στο Σχ. 1.3.



α)

β)

Σχ. 1.3: α) Κεντροβαρικοί άξονες προσομοιώματος ελαστικής ανάλυσης, β) Προσομοίωμα με άκαμπτα στοιχεία στα άκρα των μελών.

#### 6.12.2 Σχεδιασμός τροποποιημένων συνδέσμων

• Μήκος των MS, RS και TS (Σχ. 1.2)

Το μήκος του τροποποιημένου συνδέσμου δυσκαμψίας *l*<sub>d</sub> πρέπει να ισούται με (0,375-0,4)/ όπου / είναι το μήκος της διαγωνίου.

Το μήκος της τροποποιημένης διατομής *I*<sub>MS</sub> προσδιορίζεται σύμφωνα με την Εξ. 1.1. Το μήκος της απομειωμένης διατομής (RS) *I*<sub>RS</sub> πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερο, αλλά κατάλληλο ώστε να διατίθεται το απαιτούμενο μήκος για την ομαλή μετάβαση από την απομειωμένη (RS) στην ισχυρή διατομή (SS). Μία προκαταρτική εκτίμηση του μήκους μπορεί να γίνει από την Εξ. 1.2.

$$I_{MS} = (0.067 \div 0.085) \cdot I_d$$
 E§. 1.1  
 $I_{RS} \approx (0.3) \cdot I_d$  E§. 1.2

• Λόγος εμβαδών

Το εμβαδόν της RS πρέπει να ικανοποιεί την 6.7.3 (5). Επιπλέον, πρέπει να ικανοποιείται και η ακόλουθη συνθήκη:

$$A_{\rm MS}/A_{\rm RS} \ge 1.4$$
 E§. 1.3

όπου:

*A<sub>MS</sub>* είναι το εμβαδόν της τροποποιημένης διατομής,

*A<sub>RS</sub>* είναι το εμβαδόν της απομειωμένης διατομής.

Οι διαστάσεις και το εμβαδόν της ισχυρής διατομής (SS) πρέπει να επιλεγούν κατάλληλα ώστε η απόκριση της καθαρής διατομής στην περιοχή της αρθρωτής σύνδεσης να είναι πλήρως ελαστική. Επιπλέον πρέπει να ικανοποιούνται οι έλεγχοι αντοχής των κοχλιών.

• Λόγος ροπών αντίστασης

Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η τροποποιημένη διατομή έχει μικρότερη καμπτική αντοχή από την απομειωμένη διατομή ακόμα και στο στάδιο των μεγάλων πλαστικών παραμορφώσεων και της κράτυνσης, πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη της Εξ. 1.4:

$$W_{pl,RS}/W_{pl,MS} \ge 2.0$$
 E§. 1.4

όπου:

*W*<sub>pl,RS</sub> είναι η πλαστική ροπή αντίστασης της απομειωμένης διατομής, *W*<sub>pl,MS</sub> είναι η πλαστική ροπή αντίστασης της τροποποιημένης διατομής.

Μήκος λυγισμού του τροποποιημένου συνδέσμου δυσκαμψίας

Εφόσον υπάρχει τροποποιημένη διατομή τοποθετημένη στο μέσο του μήκους του συνδέσμου, το ισοδύναμο μήκος λυγισμού *l*<sub>cr</sub> = μ.*l*<sub>d</sub> είναι μεγαλύτερο από το *l*<sub>d</sub>. Το ισοδύναμο μήκος λυγισμού *l*<sub>cr</sub> υπολογίζεται είτε από ελαστική ανάλυση λυγισμού με χρήση πεπερασμένων στοιχείων ή από την Εξ. 1.5,

$$\mu = I_{cr} / I_d = 0.88 \cdot K_{l}^{(0.033)} \cdot K_{l}^{(0.1 \ln(K_L) - 0.36)}$$
 E§. 1.5

όπου:

*K*<sub>L</sub>=*I*<sub>RS</sub> / *I*<sub>MS</sub> είναι ο λόγος των μηκών, *I*<sub>MS</sub> είναι το μήκος της τροποποιημένης διατομής, *I*<sub>RS</sub> είναι το μήκος της απομειωμένης διατομής, *K*<sub>I</sub>=*I*<sub>MS</sub> / *I*<sub>RS</sub> είναι ο λόγος των ροπών αδράνειας, *I*<sub>MS</sub> είναι η ροπή αδράνειας της τροποποιημένης διατομής, *I*<sub>RS</sub> είναι η ροπή αδράνειας της απομειωμένης διατομής, *μ* συντελεστής για το μήκος λυγισμού.

#### • Περιορισμός λυγηρότητας

Η αδιάστατη λυγηρότητα του τροποποιημένου συνδέσμου υπολογίζεται σύμφωνα με την 6.7.3 (1) λαμβάνοντας υπόψη το μήκος λυγισμού.

#### Αντοχή διαρροής του τροποποιημένου συνδέσμου

Η αντοχή διαρροής της συνολικής διατομής των τροποποιημένων διαγώνιων συνδέσμων υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξ. 1.6 και θα πρέπει να ικανοποιείται η σχέση της 6.7.3 (5).

$$N_{pl,Rd} = A_{RS} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$
 Eξ. 1.6

• Συνδέσεις τροποποιημένων συνδέσμων δυσκαμψίας

Οι συνδέσεις των τροποποιημένων συνδέσμων δυσκαμψίας με τις δοκούς στις στάθμες των ορόφων και τη δοκό διάζευξης θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της 6.5.5 (3).

#### 6.12.3 Σχεδιασμός δοκού διάζευξης

Δύο τύποι πλαστικού μηχανισμού ορόφου μπορεί να σχηματιστούν στους τροποποιημένους κεντρικούς συνδέσμους δυσκαμψίας, ένας ευμενής ή ένας δυσμενής (Σχ. 1.4). Ο ευμενής μηχανισμός εμφανίζεται όταν και οι δύο θλιβόμενες διαγώνιοι λυγίζουν και οι πλαστικές επιμηκύνσεις εντοπίζονται στο ζεύγος των εφελκυόμενων διαγωνίων. Ο δυσμενής μηχανισμός εμφανίζεται όταν λυγίζει μόνο μία από τις θλιβόμενες διαγωνίους και επιπλέον εμφανίζονται πλαστικές αρθρώσεις στη δοκό διάζευξης ή ακόμα και στα υποστυλώματα (Σχ. 1.4 β), γ)). Οι δυσμενείς μηχανισμοί μπορούν να αποφευχθούν με κατάλληλο σχεδιασμό της δοκού διάζευξης, εξασφαλίζοντας επαρκή αντοχή και καμπτική δυσκαμψία.



Σχ. 1.4: Πλαστικοί μηχανισμοί: α) Ευμενής, β) Ασθενής δοκός διάζευξης, γ) Ασθενή υποστυλώματα

To CBF-MB σχεδιάζεται ώστε η δοκός διάζευξης να είναι μονολιθικά συνδεδεμένη με τα υποστυλώματα σχηματίζοντας έτσι ένα πλαίσιο σχήματος «Η». Η δοκός διάζευξης και τα υποστυλώματα είναι μη πλάστιμα στοιχεία και πρέπει να παραμένουν ελαστικά μέχρι την επίτευξη της ΟΚΑ (σημαντικές βλάβες).

• Μεταβατικό στάδιο

Η οριακή κατάσταση όπου το πλαίσιο σχήματος «Η» παρέχει επαρκή ελαστική δυσκαμψία και εξαναγκάζει τη διαγώνιο που δεν έχει λυγίσει τελικά να λυγίσει, φαίνεται στο Σχ. 1.5. Το στάδιο αυτό ονομάζεται μεταβατικό στάδιο («στάδιο ακριβώς πριν το λυγισμό») και εμφανίζονται μη ισόρροπες κατακόρυφες και οριζόντιες δυνάμεις, που υπολογίζονται από τις Εξ. 1.7 και 1.8, όπου *N*<sub>b,Rd</sub> (Εξ. 1.9) είναι η αντοχή σε λυγισμό του συνδέσμου δυσκαμψίας σύμφωνα με τον ΕΝ 1993-1-1.



Σχ. 1.5: α) Στάδιο ακριβώς πριν το λυγισμό, β) Μη ισορροπία δυνάμεων, γ) Εσωτερικές ροπές (Μ<sub>υΝΒ</sub>) που δημιουργούνται από τις μη ισόρροπες δυνάμεις (περίπτωση φόρτισης UNB)

$V_{UNB} = N_{b,Rd} \cdot sin\alpha$	Εξ. 1.7	
$H_{UNB} = N_{b Bd} \cdot \cos \alpha$	Eξ. 1.8	

$$N_{hBd} = \chi \cdot A_{RS} \cdot f_{V} / \gamma_{M1}$$
 E5. 1.9

Στο μεταβατικό στάδιο αναπτύσσονται πρόσθετες καμπτικές ροπές και αξονικές δυνάμεις (περίπτωση φόρτισης UNB) στο πλαίσιο σχήματος «Η» - Σχ. 1.5 γ), και η κατάσταση αυτή θα λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό. Εφαρμόζεται με την εισαγωγή στο προσομοίωμα για την ελαστική ανάλυση είτε των μη ισόρροπων δυνάμεων ξεχωριστά σε κάθε όροφο, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.5 γ), είτε συνολικά σε όλους τους ορόφους ταυτόχρονα. • Πρόσθετες απαιτήσεις δοκού διάζευξης

Η δοκός διάζευξης πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα πλευρικού – στρεπτικού λυγισμού, και πρέπει να ικανοποιείται η Εξ. 1.10.

$$\overline{\lambda}_{LT} \leq 0.40$$
 E§. 1.10

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της 4.4.2.3 (4), οι διατομές της δοκού διάζευξης πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να ικανοποιείται η Εξ. 1.11.

$$2.M_{Rc} \ge 1.3 \cdot M_{Rb}$$
 E§. 1.11

όπου:

*M*<sub>Rc</sub> είναι η καμπτική ροπή αντοχής του υποστυλώματος που συνδέεται με τη δοκό διάζευξης (*M*<sub>y,Rd</sub> ή *M*<sub>z,Rd</sub>),

*Μ*<sub>Rb</sub>είναι η καμπτική ροπή αντοχής της δοκού διάζευξης.

### 6.12.4 Σχεδιασμός μη πλάστιμων στοιχείων

Τα μη πλάστιμα στοιχεία του CBF-MB's είναι τα υποστυλώματα, οι δοκοί στις στάθμες των ορόφων και οι δοκοί διάζευξης. Πρέπει να σχεδιάζονται λαμβάνοντας υπόψη τις εσωτερικές δυνάμεις που αναπτύσσονται από τα φορτία βαρύτητας του σεισμικού συνδυασμού και τις εσωτερικές δυνάμεις που προκαλούν τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως *M<sub>E</sub>*, *V<sub>E</sub>* και *N<sub>E</sub>* στην περίπτωση της σεισμικής φόρτισης. Αυτά υπολογίζονται από ελαστική ανάλυση του φορέα λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις εφελκυόμενες διαγωνίους και πρέπει να πολλαπλασιάζονται με το συντελεστή υπεραντοχής 1,1.*γ*<sub>ov</sub>.Ω<sub>MIN</sub>.ρ.

όπου:

γ<sub>ον</sub> είναι ο συντελεστής υπεραντοχής που χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό, σύμφωνα με την 6.2 (3),

 $\Omega_{_{MIN}} = min \left\{ \frac{N_{_{pl,Rd,i}}}{N_{_{Ed,i}}} \right\}$  είναι η ελάχιστη τιμή των λόγων  $\Omega_i$  των τροποποιημένων

διαγώνιων συνδέσμων δυσκαμψίας του κτηρίου, και

ρ είναι παράμετρος που λαμβάνει υπόψιν τη διαθέσιμη υπεραντοχή του συστήματος και την πιθανή μεγαλύτερη πραγματική αντοχή σε λυγισμό του συνδέσμου δυσκαμψίας. Η τιμή του ρ εξαρτάται από την κατηγορία πλαστιμότητας (Πίν. 6.2).

Ο σχεδιασμός των μη πλάστιμων στοιχείων θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις πρόσθετες εσωτερικές δυνάμεις *ΜUNB*, *VUNB* και *NUNB* που αναπτύσσονται λόγω των μη ισόρροπων δυνάμεων του μεταβατικού σταδίου (6.12.3).

#### Υποστυλώματα

Τα υποστυλώματα πρέπει να σχεδιάζονται για τις εσωτερικές δυνάμεις που υπολογίζονται από τις Εξ. 1.12 έως και 1.14 και πρέπει να ικανοποιούν την Εξ. 1.11.

$$N_{col,Ed} = N_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (N_E + N_{UNB})$$
 E§. 1.12

$$M_{col,Ed} = M_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{min} \cdot \rho \cdot (M_E + M_{UNB})$$
 Eξ. 1.13

$$V_{col,Ed} = V_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (V_E + V_{UNB})$$
 E§. 1.14

#### • Δοκοί διάζευξης

Οι δοκοί διάζευξης θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των Εξ. 1.10 και 1.11 και να ελέγχονται για τις δυνάμεις που υπολογίζονται από τις Εξ. 1.15 έως και 1.17:

$$N_{sb,Ed} = N_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (N_E + N_{UNB})$$
 E§. 1.15

$$M_{sb,Ed} = M_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (M_E + M_{UNB})$$
 E§. 1.16

$$V_{sb,Ed} = V_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot \leq (V_E + V_{UNB})$$
 E§. 1.17

#### • Δοκοί στις στάθμες των ορόφων

Οι δυνάμεις σχεδιασμού για τις δοκούς στις στάθμες των ορόφων υπολογίζονται σύμφωνα με τις Εξ. 1.18 έως και 1.20:

$$N_{b,Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (N_E + N_{UNB})$$
 E§. 1.18

$$M_{b,Ed} = M_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (M_E + M_{UNB})$$
 Eξ. 1.19

$$V_{b,Ed} = V_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (V_E + V_{UNB})$$
 E§. 1.20

# 6.12.5 Προσομοίωση τροποποιημένων συνδέσμων δυσκαμψίας για μη γραμμική στατική ανάλυση

Για την ανάλυση θα χρησιμοποιείται το προσομοίωμα με τα άκαμπτα στοιχεία στα άκρα των μελών, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.3. Η καθ' ύψος κατανομή των οριζόντιων φορτίων πρέπει να βρίσκεται σε συμμόρφωση με τις απαιτήσεις της 4.3.3.4.2.2. Οι πλαστικές αρθρώσεις τοποθετούνται στο μέσο των τροποποιημένων συνδέσμων. Η σπονδυλική καμπύλη της πλαστικής άρθρωσης
του συνδέσμου δυσκαμψίας φαίνεται στο Σχ. 1.6 και οι τιμές των παραμέτρων δίνονται στον Πίν. 1.1.



axial displacement, d/dy; d/dc

## Σχ. 1.6: Σπονδυλική καμπύλη τροποποιημένου συνδέσμου δυσκαμψίας που χρησιμοποιείται στη μη γραμμική ανάλυση

Σημείο	Εφελκυσμός		Σημείο	Θλίψη	
	Δύναμη	Μετατόπιση		Δύναμη	Μετατόπιση
А	0	0	А	0	0
В	$F_y = A_{RS} f_y$	δy	В	N <sub>b,Rd</sub>	$\delta c$
С	F <sub>SH</sub>	16.5 <i>∂y</i>	С	$0,5N_{b,Rd}$	Збс
D	0,8 <i>F</i> y	19 <i>δy</i>	D	$0,3N_{b,Rd}$	8 <i>бс</i>
E	0,8 <i>F</i> y	20 <i>δy</i>	E	$0,2N_{b,Rd}$	20бу

Πίν. 1.1: Χαρακτηριστικά σημεία σπονδυλικής καμπύλης

Οι ακόλουθες Εξ. 1.21 έως και 1.25 χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών σημείων της καμπύλης. *Ν*<sub>b,Rd</sub> είναι η αντοχή σε λυγισμό του συνδέσμου δυσκαμψίας και χ είναι ο μειωτικός συντελεστής λυγισμού, σύμφωνα με τον ΕΝ 1993-1-1.

$\delta_y = f_y \cdot I/E$	Εξ. 1.21
$F_{V} = A_{RS} \cdot f_{V}$	E٤. 1.22

$$F_{SH} = F_y + \left(F_y / \delta_y \, 0.005\right) \cdot \left(16.5 \cdot \delta_y\right)$$
E§. 1.23

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A_{RS} \cdot f_{v}$$
 E§. 1.24

$$\delta_{C} = N_{b,Rd} \cdot \delta_{y} / F_{y}$$
 E§. 1.25

Στον Πίν. 1.2 φαίνεται η μέγιστη επιτρεπτή αξονική παραμόρφωση των τροποποιημένων συνδέσμων δυσκαμψίας σε εφελκυσμό και θλίψη για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας του Σχ. 1.7.

Πιν. 1.2: Μέγιστη επιτρεπτή αξονική παραμόρφωση τροποποιημένων συνδέσμων δυσκαμψίας σε εφελκυσμό και θλίψη

EN 1998-1 στάθμες	ΟΚΛ	OKA	
επιτελεστικότητας			
Στάθμη επιτελεστικότητας	DL (περιορισμός	SD (σημαντικές	ΝC (οιονεί
	βλαβών)	βλάβες)	κατάρρευση)
δ / δ <sub>ν</sub> (Εφελκυσμός)	+2.5	+9.5	+16
δ / δ <sub>c</sub> (Θλίψη)	-2.5 <i>б</i> у	-9.5δy	-16 <i>δy</i>



axial displacement,  $\delta/\delta_y$ ;  $\delta/\delta_c$ 



## 6.12.6 Προσομοίωση τροποποιημένων συνδέσμων δυσκαμψίας για μη γραμμική δυναμική ανάλυση

Για τη μη γραμμική δυναμική ανάλυση το MB προσομοιώνονται με χρήση μη γραμμικών ελατηρίων με νόμο υστέρησης Pivot. Τα ελατήρια αυτά τοποθετούνται στο μέσο των τροποποιημένων διαγώνιων συνδέσμων, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.8 α). Οι παράμετροι *α*<sub>1</sub>, *α*<sub>2</sub>, *β*<sub>1</sub> και *β*<sub>2</sub> που ορίζουν την καμπύλη υστέρησης Pivot παρουσιάζονται στον Πίν. 1.3 και στο Σχ. 1.8 β). Η παράμετρος *α*<sub>1</sub> καθορίζει το σημείο αποφόρτισης από θετική σε μηδενική δύναμη, η παράμετρος *α*<sub>2</sub> το σημείο

αποφόρτισης από αρνητική σε μηδενική δύναμη, η β<sub>1</sub> το σημείο επαναφόρτισης από μηδενική σε θετική δύναμη και η β<sub>2</sub> το σημείο επαναφόρτισης από μηδενική σε αρνητική δύναμη. Αυτή η συμπεριφορά ορίζεται μόνο για το βαθμό ελευθερίας που αντιστοιχεί στη αξονική επιμήκυνση/βράχυνση του ελατηρίου ενώ οι υπόλοιποι βαθμοί ελευθερίας έχουν γραμμική συμπεριφορά.

Παράμετροι σημείων Pivot	$\alpha_{l}$	$\alpha_{2}$	$\beta_1$	$\beta_2$	η
Τιμή	100	0.1	0.02	0.4	0.0

Πιν. 1.3: Ορισμός καμπύλης υστέρησης Pivot

Για τον σωστό ορισμό της υστερητικής συμπεριφοράς, πρέπει να προσδιορίζεται η σπονδυλική καμπύλη του μη γραμμικού ελατηρίου. Στον Πίν. 1.4 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της σημεία και στο Σχ. 1.8 β) φαίνεται η σπονδυλική καμπύλη για μείωση της αντοχής σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση ίση με 15%.

Σημείο	Εφελκυσμός		Σημείο	Θλίψη	
	Δύναμη	Μετατόπιση		Δύναμη	Μετατόπιση
A	0	0	A	0	0
В	Fy=A <sub>RS</sub> .fy	δy	В	N <sub>b,Rd</sub>	$\delta c$
С	0,85 <i>F</i> y	Збу	С	$0,5N_{b,Rd}$	З <i>б</i> с
D	0,85 <i>F</i> y	<b>16.5</b> δy	D	$0,3N_{b,Rd}$	8 <i>δ</i> c
			E	$0,2N_{b,Rd}$	16.5 <i>∂y</i>

Πιν. 1.4: Χαρακτηριστικά σημεία σπονδυλικής καμπύλης

Οι αξονικές δυνάμεις και μετατοπίσεις του παραπάνω πίνακα υπολογίζονται σύμφωνα με τις Εξ. 1.21 έως και 1.25. *Ν*<sub>b,Rd</sub> είναι η αντοχή σε λυγισμό του συνδέσμου δυσκαμψίας που υπολογίζεται σύμφωνα με τον ΕΝ 1993-1-1.



Σχ. 1.8: Προσομοίωμα CBF-MB για τη μη γραμμική δυναμική ανάλυση: α) Επισκόπηση προσομοιώματος, β) Σπονδυλική καμπύλη

## 6.12.7 Έλεγχοι ολιγοκυκλικής κόπωσης

Όταν πραγματοποιείται μη γραμμική ανάλυση με ανακυκλιζόμενη φόρτιση πρέπει να ελέγχεται η συσσώρευση βλαβών στους τροποποιημένους συνδέσμους δυσκαμψίας λόγω ολιγοκυκλικής κόπωσης. Η Εξ. 1.26 δίνει το εύρος της αξονικής παραμόρφωσης του ΜΒ, δ, συναρτήσει του απαιτούμενου αριθμού κύκλων *N* για την αστοχία.

$$\delta$$
 (N) = 110 - 52 · log(N) E§. 10.26

Ο δείκτης βλαβών D υπολογίζεται από τον κανόνα Palmgren – Miner, σύμφωνα με την Εξ. 1.27:

$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} \le 1$$
 E§. 10.27

όπου:

*n*<sub>i</sub> είναι ο αριθμός κύκλων φόρτισης με δεδομένη αξονική παραμόρφωση σταθερού εύρους δ<sub>i</sub>,

*Ni* είναι ο αντίστοιχος αριθμός των κύκλων σταθερού εύρους έως την αστοχία και *i* είναι ο συνολικός αριθμός κύκλων ίδιου εύρους.