

#### Европейска Комисия Изследователски фонд за въглища и стомана (RFCS)

### INNOSEIS

# Валоризация на иновативни противоземетръсни системи

### РАБОТЕН ПАКЕТ 3 – ДОКУМЕНТ 3.3

### Издание на български език с предварителни Нормативни указания за проектиране на иновативни противоземетръсни системи

Координатор:

National Technical University of Athens - NTUA, Greece

Партньори:

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

Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия - УАСГ, България

Universiteit Hasselt - UHasselt, Belgium

Maurer Sohne Engineering GmbH & CO KG - MSE, Germany

Convention Europeenne de la Construction Metallique ASBL - ECCS, Belgium

Договор за субсидиране: 709434

17/02/2017

#### 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.

### АВТОРИ

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS (NTUA) Institute of Steel Structures EL-15780 Атина, Гърция Глави 2 и 5 Автори: Ioannis Vayas, Pavlos Thanopoulos, Panagiotis Tsarpalis, Danai

Dimakogianni

HASSELT UNIVERSITY Construction Engineering Research Group Campus Diepenbeek, Agoralaan building H, BE3590 Diepenbeek, Хаселт, Белгия Глава 3 Автори: Jose Henriques, Herve Degee

RHEINISCH-WESTFAELISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN (RWTH) Institute of Steel Construction 52074 Аахен, Германия

Глава 4

Автори: Benno Hoffmeister, Marius Pinkawa

#### POLITECNICO DI MILANO (POLIMI)

Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering Piazza Leonardo da Vinci, 32, 20133 Милано, Италия

#### Глава 6

Автори: Carlo Andrea Castiglioni, Amin Alavi, Giovanni Brambilla

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO (IST) Department of Civil Engineering, Architecture and Georesources Av. Rovisco Pais, 1049-001 Лисабон, Португалия Глава 7 Автори: Luís Calado, Jorge M. Proença, João Sio

POLITEHNICA UNIVERSITY OF TIMISOARA (UPT) Steel Structures and Structural Mechanics department Ioan Curea Street, no.1, Тимишоара, Румъния

#### **Глави 8** и **9**

Автори на глава 8: Adriana Chesoan, Aurel Stratan, Dan Dubina Автори на глава 9: Calin Neagu, Florea Dinu, Dan Dubina

#### УНИВЕРСИТЕТ ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ (УАСГ)

Катедра "Метални, дървени и пластмасови конструкции"

бул. Христо Смирненски 1, 1046 София, България

#### Глава 10

Автори: Цветан Георгиев, Лора Райчева, Станислав Райков, Николай Рангелов

Издание на български език с предварителни нормативни указания за проектиране на иновативни противоземетръсни системи | IV СЪДЪРЖАНИЕ

### СЪДЪРЖАНИЕ

АВТОРИ	11
СЪДЪРЖАНИЕ	V
1 ВЪВЕДЕНИЕ	1
2 INERD БОЛТОВИ СТАВИ	1
<ul> <li>2.1 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.1 ВИДОВЕ КОНСТРУКЦИИ</li></ul>	1 1 2 2 2
3 INERD U-СЪЕДИНЕНИЯ	8
<ul> <li>3.1 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.1 ВИДОВЕ КОНСТРУКЦИИ</li></ul>	8 9 9
4 FUSEIS ГРЕДОВИ СЕИЗМИЧНИ СВЪРЗВАЩИ ЕЛЕМЕНТИ 12	2
<ul> <li>4.1 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.1 ВИДОВЕ КОНСТРУКЦИИ</li></ul>	2 3 3 4
5 FUSEIS ЦИЛИНДРИЧНИ СЕИЗМИЧНИ СВЪРЗВАЩИ ЕЛЕМЕНТИ1	9
<ul> <li>5.1 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.1: ВИДОВЕ КОНСТРУКЦИИ</li></ul>	9 :0 :1
6 FUSEIS БОЛТОВИ И ЗАВАРЕНИ СЪЕДИНЕНИЯ НА ГРЕДИ 29	9
6.1 ПРАВИЛА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ, КОИТО ДА БЪДАТ ВКЛЮЧЕНИ В ГЛАВА 7 НА EN1998-1	29

Издание на български език с предварителни нормативни указания за проектиране на иновативни противоземетръсни системи | V СЪДЪРЖАНИЕ

	6.2	ПРИНЦИПИ И ПРОЦЕДУРА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ ЗА ВКЛЮЧВАНЕ В EN 1998-1 3	33
7	DU. СЪ	AREM ЗАМЕНЯЕМ СЕИЗМИЧЕН СВЪРЗВАЩ ЕЛЕМЕНТ С БОЛТОВ ЕДИНЕНИЯ3	И 6
	7.1	ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.1: ВИДОВЕ КОНСТРУКЦИИ	36
	7.2	ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.2 КОЕФИЦИЕНТИ НА ПОВЕДЕНИЕ	6
	7.3	ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.8.1 КРИТЕРИИ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ	6
	7.4	ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.8.4 СЪЕДИНЕНИЯ НА СЕИЗМИЧНИТЕ СВЪРЗВАЩИ	~-
	7 5		<i>\$1</i>
	7.5		2 2
	7.6	ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ ГЛАВА 6 СПЕЦИФИЧНИ ПРАВИЛА ЗА СТОМАНЕНИ	0
		КОНСТРУКЦИИ НА СГРАДИ	39
8	3AI	ИЕНЯЕМИ ТЪНКОСТЕННИ ДИАФРАГМИ4	3
;	8.1	ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.1 ВИДОВЕ КОНСТРУКЦИИ	3
;	8.2	ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.2, ТАБЛИЦА 6.2 КОЕФИЦИЕНТИ НА ПОВЕДЕНИЕ 4	4
1	8.3	ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.10: ПРАВИЛА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА РАМКИ,	
		КОМБИНИРАНИ С ЦЕНТРИЧНО ВКЛЮЧЕНИ ВРЪЗКИ ИЛИ ПЪЛНЕЖНИ	
		СТЕНИ	4
1	8.4	ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ ГЛАВА 6 СПЕЦИФИЧНИ ПРАВИЛА ЗА СТОМАНЕНИ	
		КОНСТРУКЦИИ НА СГРАДИ	•5
9	PAI	ИКИ С ЦЕНТРИЧНО ВКЛЮЧЕНИ МОДИФИЦИРАНИ ДИАГОНАЛИ (СВГ-	
	MB	)	2
		,	2
1	9.1	допълнения към § 6.3.1 видове конструкции	52
1	9.2	ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.2, ТАБЛИЦА 6.2 КОЕФИЦИЕНТИ НА ПОВЕДЕНИЕ 5	53
1	9.3	ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ ТОЧКА 6.12 (НОВА) ПРАВИЛА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ И	
		ДЕТАИЛИРАНЕ НА РАМКИ С ЦЕНТРИЧНО ВКЛЮЧЕНИ МОДИФИЦИРАНИ	
		ДИАГОНАЛИ (СВЕ-МВ)	53

### 1 ВЪВЕДЕНИЕ

Това издание представя указания за проектиране на девет иновативни противоземетръсни устройства, които включват допълнителни клаузи към текущата версия на EN 1998-1: 2004. Когато се реферират параграфи и клаузи без допълнително уточнение, те са от тази версия на стандарта. Номерацията на фигури, таблици и изрази е индикативна. Разглежданите системи са дисипативни съединения, дисипативни сеизмични свързващи елементи, дисипативни съединения за греди, заменяеми сеизмични свързващи елементи и тънкостенни диафрагми и модифицирани диагонали.

### 2 INERD БОЛТОВИ СТАВИ

#### 2.1 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.1 ВИДОВЕ КОНСТРУКЦИИ

(1) Рамки с центрично включени диагонали с дисипативни болтови стави са тези, при които съединенията на диагоналите към съседните елементи са дисипативни и неравноякостни по отношение на диагонала, така че да е възможна дисипация на енергия в съединенията, докато диагоналите и останалите части са предпазени от загуба на устойчивост и провлачане. Съединителното средство е щифт, преминаващ през две външни плочи, свързани към колоните/гредите на рамката, и една или две вътрешни плочи, свързани към диагонала (Фиг. 6.1). Болтовите стави могат да бъдат разположени в единия или в двата края на диагоналите.



Фиг. 6.1: Възможни конфигурации на дисипативни болтови стави

#### 2.2 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.2, ТАБЛИЦА 6.2 КОЕФИЦИЕНТИ НА ПОВЕДЕНИЕ

Таблица 6.2: Горна граница на референтната стойност на коефициентите на поведение за регулярни по височина системи

Вид конструкция	Клас на дуктилност	
	DCM	DCH
Рамки с центрично включени		
диагонали с INERD болтови		
стави		
В двата края на диагонала	3.0	4.0
В единия край на диагонала	2.0	3.0

#### 2.3 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.5.3 ПРАВИЛА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА ДИСИПАТИВНИ ЕЛЕМЕНТИ, ПОДЛОЖЕНИ НА НАТИСК ИЛИ ОГЪВАНЕ

(3) За да се осигури дисипативните щифтове да бъдат натоварени предимно на огъване, тяхната дължина следва да бъде такава, че

a≥h

Eq. (6.1)

където *h* е височината на напречното сечение на щифта *a* е светлото разстояние между вътрешните и външните плочи

#### 2.4 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.5.5 ПРАВИЛА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА СЪЕДИНЕНИЯ В ДИСИПАТИВНИ ЗОНИ

(8) Носимоспособността *R<sub>d</sub>* на заварените и болтовите съединения на дисипативните болтови стави трябва да удовлетворява критерия:

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

Eq. (6.2)

където *P<sub>u,Rd</sub>* е изчислителната носимоспособност на разглежданата болтова става; γ<sub>ov</sub> = 1,25 е препоръчителният коефициент на завишена носимоспособност.

За болтовите съединения следва да се използват предварително напрегнати високоякостни болтове (болтови съединения от категории В, С или Е съгласно EN1993-1-8).

#### 2.5 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ §6.7 ПРАВИЛА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ И ДЕТАЙЛИРАНЕ НА РАМКИ С ЦЕНТРИЧНО ВКЛЮЧЕНИ ДИАГОНАЛИ

#### 6.7.1 Критерии за проектиране

(4)Р Рамките с центрично включени диагонали с дисипативни болтови стави следва да се проектират така, че провлачането на щифтовете при огъване да настъпи преди загубата на устойчивост на диагоналите или провлачането на прилежащите елементи и части.

#### 6.7.2 Анализ

(2)Р При рамките с дисипативни болтови стави трябва да се отчитат и опънните, и натисковите диагонали. Ставното съединение може да се моделира като осова пружина с пружинна константа:

• При една вътрешна плоча:

$$K_{pin} = \frac{32 \cdot EI}{1^3}$$
 Eq. (6.3)

• При две вътрешни плочи:

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

където *EI* е коравината на огъване на щифта;

е осовото разстояние между външните плочи;

$$\alpha = a/\ell.$$

ł



Фиг. 6.2: Геометрични характеристики на дисипативни болтови стави

#### 6.7.3 Диагонални елементи

(10) Дисипативните щифтове се проектират за най-големите по стойност сили в диагоналите при сеизмична изчислителна ситуация съгласно:

(6.5)

$$P_{Ed} \leq P_{u,Rd}$$
 Eq.

### където *P<sub>Ed</sub>* е изчислителната осова сила в диагонала и съединението *P<sub>u.Rd</sub>* е изчислителната носимоспособност на съединението

Носимоспособностите на съединението при работа на щифта на огъване и срязване са дефинирани съответно с уравнения (6.6а) и (6.6b). Коефициентът  $\beta_{III}$  дефинира в каква част от горната и долната половина на напречното сечение на щифта са развити значителни пластични деформации, като 0 ≤  $\beta_{III}$  ≤ 0.5. Изчислителната носимоспособност на съединението се намира по итерационен път чрез промяна на стойността на

коефициента  $\beta_{III}$ , докато двете стойности, получени от уравнения (6.6а) и (6.6b), станат равни.

$$P_{u,M,Rd} = k_{pin} \cdot \frac{4 \cdot M_u}{a_{red,III} \cdot \gamma_{pu}}$$
 Eq. (6.6a)

$$P_{u,V,Rd} = k_{pin} \cdot \frac{2 \cdot b \cdot (1 - 2 \cdot \beta_{III}) \cdot h \cdot f_{y}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{pu}}$$
Eq. (6.6b)

където  $M_u = W_{u, pl} f_{mid}$  е граничната пластична носимоспособност на огъване на щифта;

$$\begin{split} f_{\text{mid}} &= f_{y} + \left(f_{u} - f_{y}\right) \cdot \lambda_{f} \big/ 2 \text{ е максималното нормално напрежение в щифта;} \\ \lambda_{f} &= \left(\frac{a-h}{2\cdot h}\right)^{2} \text{ е коефициент, отчитащ срязването, } 0 \leq \lambda_{f} \leq 1; \\ W_{u,\text{pl}} &= b \cdot h^{2} \cdot \left[\beta_{\text{III}} - \beta_{\text{III}}^{2} + \chi \cdot \left(0.5 - \beta_{\text{III}}\right)^{2}\right] \text{е пластичният съпротивителен} \\ \text{момент на щифта с отчитане на редукцията, дължаща се на срязващите напрежения;} \\ \chi &= \sqrt{1 - \left(f_{y} / f_{\text{mid}}\right)^{2}}; \end{split}$$

$$\chi = \sqrt{1 - (r_y/r_{mid})}$$
  
 $a_{red, III} = a - h^{-1}$ .

(11) Коефициентът на запас на носимоспособност на щифт *i* се дефинира с израза:

$$\Omega_{i} = \frac{P_{u,Rd,i}}{P_{Ed,i}}$$
Eq. (6.7)

Изборът на размери на щифта трябва да бъде такъв, че стойността на Ω<sub>i</sub> да бъде близка до 1.

За да се осигури хомогенно дисипативно поведение на конструкцията, трябва да се провери дали максималният коефициент  $\Omega_{max}$  за цялата конструкция не се различава от минималната стойност  $\Omega_{min}$  с повече от 25%:

$$\frac{\Omega_{max}}{\Omega_{min}} \le 1.25$$
 Eq. (6.8)

(12) Диагоналните елементи следва да се проверяват на опън и натиск при предпоставката за изчерпване на носимоспособността на щифтовете в краищата им за усилието:

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Добавено при превода (бел.прев.)

6.7.4 Греди и колони

Гредите и колоните, свързани към диагонали с INERD болтови стави, следва да удовлетворяват следното изискване за минимална носимоспособност:

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

където N<sub>pl,Rd</sub> (M<sub>Ed</sub>) е носимоспособността на натиск на елемента на рамката съгласно EN1993, определена при отчитане на взаимодействието с огъващия момент M<sub>Ed</sub>;
 N<sub>Ed,G</sub> е осовата сила в елемента на рамката, дължаща се на несеизмичните въздействия от сеизмичната комбинация;
 N<sub>Ed,E</sub> е осовата сила в елемента на рамката, дължаща се на сеизмичното въздействие;
 Ω<sub>min</sub> е минималната стойност за всички болтови стави на диагоналите.

Това изискване може да се изрази чрез следната клауза:

(4) Гредите и колоните, свързани към диагонали с дисипативни болтови стави, може да се проверят съгласно 6.7.4 (1), където Ω е минималната стойност за всички болтови стави на диагоналите.

Общият завишаващ коефициент (1,1·γ<sub>ov</sub>·Ω) не трябва да надвишава стойността на коефициента на поведение *q*, използвана в анализа.

Стойността на действителната граница на провлачане на стоманата на щифтовете следва да бъде възможно най-близка до номиналната стойност с оглед постигането на икономично проектиране. Това може да се постигне ако стоманата за щифтовете удовлетворява условията на 6.2 (3)а или 6.2 (3)с.

## 6.7.5 Моделиране на дисипативната болтова става при нелинеен статичен (pushover) анализ

Дисипативните болтови стави могат да се представят чрез нелинейна осова пружина в края на диагонала, с работна зависимост, илюстрирана на Фиг. 3. В Табл. 1 са дадени характерни точки, дефиниращи работната зависимост на пружината.

Eq. (6.9)

Eq. (6.10)

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Обръщаме внимание, че съгласно логиката на капацитивното проектиране изразът би следвало да е *N*<sub>Ed</sub> = 1,1 γ<sub>ov</sub> *P*<sub>u,Rd</sub>, но авторите са предложили друг израз (*бел. прев.*)

Издание на български език с предварителни нормативни указания за проектиране на иновативни противоземетръсни системи | 6 INERD БОЛТОВИ СТАВИ

#### Таблица 1

Точка	Р	$oldsymbol{\delta}_{ m pl}$	
А	0	0	
В	P <sub>yd</sub>	0	
С	P <sub>ud</sub>	0.5·h	
D	P <sub>ud</sub>	а	
E	0.5·P <sub>ud</sub>	а	
F	$0.5 \cdot P_{ud}$	1.5·a	
Критерии за дефиниране на съответните гранични състояния, изразени чрез б-			
IO <sup>3</sup>	0,25· <i>h</i>		
LS	0,6· <i>h</i>		
CP	0,8· <i>a</i>		



Фиг. 6.3: Нелинейна работна зависимост на пружина, представяща дисипативна болтова става и дефинирани гранични състояния

#### 6.7.6 Моделиране на щифта при нелинеен динамичен анализ

(1) Описаната в § 6.7.5 нелинейна работна зависимост (скелетна крива), представяща дисипативна болтова става, може да се приложи и за адекватно представяне на хистерезисното поведение. На фиг. 6.4 е показана типична хистерезисна зависимост. Вижда се, че трябва да се обърне специално внимание при моделирането на прищипването на хистерезисните примки, което се наблюдава при циклично натоварване.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> IO – Immediate Occupancy (незабавно ползване), LS – Life Safety (запазване на живота на обитателите) и CP – Collapse Prevention (недопускане на разрушаване), *бел. прев.* 



Фиг. 6.4: Хистерезисно поведение на дисипативна болтова става

(2) При прилагането на нелинеен динамичен анализ трябва да се оценят повредите на болтовите стави вследствие на нискоциклична умора. За дисипативни щифтове следва да се използва следната *S-N* крива за умора:

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

Eq. (6.11)

Индексът на повредите може да се определи от историята на напреженията в болтовата става по Приложение А на EN1993-1-9.

### 3 INERD U-СЪЕДИНЕНИЯ

#### 3.1 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.1 ВИДОВЕ КОНСТРУКЦИИ

- (2) <u>U-съединението</u> е подходящо решение за рамки с центрично включени диагонали (Фиг.6.09). U-съединенето се състои от една или две огънати дебели плочи с U-образна форма (Фиг.6.12), които свързват диагонала към прилежащия елемент. Присъединяването на диагонала към Uустройството може да бъде успоредно или перпендикулярно (Фиг.6.11).
- (3) U-съединенето се проектира като дисипативно съединение.
- (4) U-съединенето е подходящо за конструкции, които не са прекалено чувствителни към големи премествания. В случая на многоетажни сгради се прилага за сгради до 6 етажа.



Фиг. 6.09: Вид рамка, подходящ за прилагане на U-съединение: рамка с центрично включени диагонали



Фиг.6.12: U-устройство

Издание на български език с предварителни нормативни указания за проектиране на иновативни противоземетръсни системи | 9 INERD U-СЪЕДИНЕНИЯ





а) Товар, успореден на U-устройството

 b) Товар, перпендикулярен на U-устройството

Фиг.6.11: Видове присъединяване на диагонал към U-устройство

#### 3.2 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.2, ТАБЛИЦА 6.2 КОЕФИЦИЕНТИ НА ПОВЕДЕНИЕ

Таблица 6.2: Горна граница на референтната стойност на коефициентите на поведение за регулярни по височина системи

Рамки с центрично включени диагонали с U-съединения	3.0
---	-----

#### 3.3 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.12 (*НОВА*) ПРАВИЛА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ И ДЕТАЙЛИРАНЕ ЗА РАМКИ С U-СЪЕДИНЕНИЯ

#### 6.12.1 Анализ

U-съединенията могат да бъдат отчетени в анализа по следните начини:

- Чрез гредови крайни елементи. Броят на елементите трябва де е достатъчен, за да се възпроизведе кривината на устройството. Съединението между елементите на U-съединението и конструктивните елементи (колони и диагонали) се приема кораво (непрекъснато).
- Чрез еквивалентна пружина. В модела на конструкцията съединението между елементите (колони и диагонали) се моделира чрез пружина. Поведението на пружината апроксимира поведението на Uсъединението.

Възлите между гредите и колоните и базите на колоните се моделират като ставни.

#### 6.12.2 U-съединения

U-съединенията следва да се проверяват за осовата сила в диагоналите:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{U,Rd}} \le 1$$
 Eq. (6.32)

където:

*N<sub>Ed</sub>* е изчислителната осова сила в диагонала *N<sub>U,Rd</sub>* е изчислителната носимоспособност на U-съединението.

Запасът от носимоспособност на U-съединението се дефинира с израза:

$$\Omega = \frac{N_{pl,U,Rd}}{N_{Ed}} \quad \mathbf{Eq.} \tag{6.33}$$

Изборът на размери на U-съединението следва да бъде такъв, че стойността на Ω да бъде близка до 1.

За да се осигури хомогенно дисипативно поведение на рамката, трябва да се осигури максималният коефициент  $\Omega_{max}$  за цялата рамка да не се различава от минималната стойност  $\Omega_{min}$  с повече от 25%:

$$\frac{max\Omega}{min\Omega} \le 1.25$$
 Eq. (6.34)

#### 6.12.3 Колони и диагонали в укрепени рамки с U-съединения

Колоните и диагоналите, свързани с U-съединението, трябва да се проверят за определените по принципите на капацитивното проектиране изчислителни усилия както следва:

$$N_{Col,Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$
 Eq. (6.35)

$$N_{Brac,Ed} = 1, 1 \cdot \gamma_{Ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$
 Eq. (6.36)

where:

*N<sub>Ed,G</sub>* са нормалните усилия дължащи се на несеизмичните въздействия от сеизмичната комбинация;

<sup>4</sup> В този документ не е пояснено каква е разликата между *N*<sub>U,Rd</sub> и *N*<sub>pl,U,Rd</sub>. (*бел. прев.*).

 $N_{Ed,E}$  са нормалните усилия от сеизмичното въздействие;  $\Omega = min\Omega_i = min\left\{\frac{N_{U,Rd,i}}{N_{Ed,i}}\right\}$  е минималният коефициент на запас на носимоспособност за всички U-съединения в сградата по израз (1.2);  $\gamma_{ov} = 1,25$  е коефициент за завишена носимоспособност на материала.

Общият завишаващ коефициент 1,1·γ<sub>ov</sub>·Ω не трябва да надвишава стойността на коефициента на поведение *q*, използвана в анализа.

Стойността на действителната граница на провлачане на стоманата следва да бъде възможно най-близка до номиналната стойност с оглед постигането на икономично проектиране.

## 6.12.4 Моделиране на U-съединението при нелинеен статичен (pushover) анализ

Моделът на конструкцията, използван за нелинеен статичен анализ, следва да отчита реагирането на конструктивните елементи и съединения след провлачане. Използват се следните подходи на моделиране на Uсъединението:

- Чрез гредови елементи: използва се материален модел с еластичноидеално пластична работна диаграма или еласто-пластична работна диаграма с уякчаване.
- Чрез пружина: пружината следва да бъде нелинейна и да възпроизвежда нееластичното поведение на устройството. Апроксимация на действителното поведение може да се извърши чрез използването на мулти-линейна зависимост.

#### 6.12.5 Моделиране на U-съединението при нелинеен динамичен анализ

Моделът на конструкцията, използван за нелинеен динамичен анализ следва да отчита реагирането на конструктивните елементи и съединения след провлачане и при циклично натоварване. Използват се следните подходи на моделиране на U-съединението :

- Чрез гредови елементи: моделът на материала е във вид на зависимост "напрежения-деформации" при циклично натоварване (с кинематично уякчаване);
- Чрез пружина: пружината следва да е нелинейна и да възпроизвежда хистерезисното поведение на устройството.

### 4 FUSEIS ГРЕДОВИ СЕИЗМИЧНИ СВЪРЗВАЩИ ЕЛЕМЕНТИ

#### 4.1 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.1 ВИДОВЕ КОНСТРУКЦИИ

h) <u>Системата FUSEIS с гредови сеизмични свързващи елементи</u> е съставена от две близо разположени "силни" колони, кораво свързани помежду си с многобройни греди. Гредите преминават от колона до колона и могат да са с различно напречно сечение, например RHS, SHS, CHS или I- сечение. Под действие на хоризонталните товари системата FUSEIS с гредови свързващи елементи работи като вертикална виренделова греда и действа като система за поемане на сеизмичните въздействия в сградата (Фиг. 6.09).

(6) Хоризонталните елементи (гредите) на системата FUSEIS с гредови свързващи елементи са основните дисипативни зони, в които е съсредоточена способността на конструкцията да дисипира енергия. С оглед по-ясно дефиниране на дисипативните зони се препоръчва използването на отслабени сечения на гредите (ОСГ) (Фиг. 6.10). Отслабените сечения на гредите (ОСГ) се проектират съгласно EN 1998-3. Възлите между подовите греди и колоните могат да се ставни или частично корави. Предпочитат се частично корави възли с оглед получавенето на самоцентрираща се система с по-малки остатъчни премествания. Колоните могат да са със ставни или запънати бази.



Фиг.6.09: Система FUSEIS с гредови сеизмични свързващи елементи (отляво) и няколко такива системи в сграда (отдясно)

Издание на български език с предварителни нормативни указания за проектиране на иновативни противоземетръсни системи | 13

FUSEIS ГРЕДОВИ СЕИЗМИЧНИ СВЪРЗВАЩИ ЕЛЕМЕНТИ



Фиг.6.10: Дисипативни зони във FUSEIS гредови свързващи елементи с използване на отслабени сечения на гредите (ОСГ)

#### 4.2 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.2, ТАБЛИЦА 6.2 КОЕФИЦИЕНТИ НА ПОВЕДЕНИЕ

Таблица 6.2: Горна граница на референтната стойност на коефициентите на поведение за регулярни по височина системи

Вид конструкция	Клас на дуктилност	
	DCM	DCH
h) Системи FUSEIS с гредови	3.0	5.0
сеизмични свързващи елементи	5.0	5.0

#### 4.3 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.5.3: ПРАВИЛА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА ДИСИПАТИВНИ ЕЛЕМЕНТИ, ПОДЛОЖЕНИ НА НАТИСК ИЛИ ОГЪВАНЕ

(3) При система FUSEIS с гредови свързващи елементи, за да се избегне значително взаимодействие между огъващия момент и срязващата сила, трябва да бъде удовлетворено условието:

$$l_{\rm RBS} > \frac{2 \cdot M_{\rm pl,RBS,Rd}}{V_{\rm b,pl,Rd}} = \frac{4 \cdot W_{\rm pl,RBS}}{A_{\rm v}/\sqrt{3}},$$
 Eq. (6.1)

където:

*l*<sub>RBS</sub> е осовото разстояние между отслабените сечения на гредите (ОСГ);

- $M_{\rm pl,RBS,Rd} = W_{\rm pl,RBS} \cdot f_{\rm y}$  е изчислителната носимоспособност на огъване на отслабеното сечение на гредата (ОСГ), като  $W_{\rm pl,RBS}$  е съответният пластичен съпротивителен момент, а  $f_{\rm y}$  е границата на провлачане;
- V<sub>b,pl,Rd</sub> е изчислителната носимоспособност на срязване на сечението на гредата, а *A*<sub>v</sub> е площта на срязване на сечението на гредата.

#### FUSEIS ГРЕДОВИ СЕИЗМИЧНИ СВЪРЗВАЩИ ЕЛЕМЕНТИ

#### 4.4 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.12 (*НОВА*) ПРАВИЛА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ И ДЕТАЙЛИРАНЕ НА РАМКИ С FUSEIS ГРЕДОВИ СВЪРЗВАЩИ ЕЛЕМЕНТИ

#### 6.12.1 Анализ





Системите с FUSEIS гредови свързващи елементи следва да се моделират с подходящи гредови крайни лементи. Светлата дължина на гредата следва да се раздели на 5 зони, както е показано на Фиг. 6.15. Тези зони възпроизвеждат участъците без отслабвания и тези с отслабвания на напречното сечение на гредата (ОСГ). Възлите "греда-колона", както и базите на колоните следва да се моделират като корави, частично корави или ставни в зависимост от детайлирането на съединенията. Следва да се предвидят корави участъци от осите на колоните до техните чела, за да се елиминира несъществуващата деформируемост на гредите в тези участъци.

#### 6.12.2 Проверка на дисипативните елементи

Дисипативните елементи на системата – гредовите свързващи елементи, следва да се проверят за поемане на разрезните усилия, определени от анализа на конструкцията. Гредовите свързващи елементи трябва да се проверят при предпоставката за образуване на пластични стави в отслабените им сечения.

(1) Проверката на носимоспособността на огъване в отслабеното сечение на гредата (ОСГ) се извършва както следва:

$$rac{M_{Ed}}{M_{pl,RBS,Rd}} \le 1.0$$
 , Eq. (6.32)

където:

*M<sub>Ed</sub>* е изчислителният огъващ момент;

*M*<sub>*pl*,*RBS*,*Rd*</sub> е изчислителната носимоспособност на огъване в пластичен стадий на отслабеното сечение на гредата (ОСГ).

(2) Носимоспособността на срязване се проверява в съответствие с:

$$\frac{V_{CD,Ed}}{V_{b,pl,Rd}} \le 1.0$$
 , Eq. (6.33)

където:

$$V_{CD,Ed} = \frac{2 \cdot M_{pl,RBS,Rd}}{l_{RBS}}$$
 Eq. (6.34)

*V*<sub>CD,Ed</sub> е капацитивната изчислителна срязваща сила;

*V<sub>b,pl,Rd</sub>* е изчислителната носимоспособност на срязване на напречното сечение на гредата.

Ако условието от § 6.5.3 (3) (израз (6.1)) е изпълнено, отпада необходимостта от отчитане на влиянието на срязващото усилие върху носимоспособността на огъване и автоматично се оказва удовлетворено и условие (6.34).

(3) Носимоспособността на огъване в краищата на гредата се проверява в съответствие с:

$$\frac{M_{CD,Ed}}{M_{b,pl,Rd}} \le 1.0$$
 Eq. (6.35)

където:

 $M_{CD,Ed} = \frac{l_b}{l_{RBS}} \cdot M_{pl,RBS,Rd}$  е капацитивният изчислителен огъващ момент, като:

*l*<sub>b</sub> е светлата дължина на гредата;

*l<sub>RBS</sub>* е осовото разстоянието между отслабените сечения на гредата;

*M*<sub>*b*,*pl*,*Rd*</sub> е изчислителната носимоспособност на огъване на отслабеното сечение на гредата (ОСГ).

(4) Обикновено проверка на измятане на FUSEIS свързващите греди не е необходима поради малката им дължина.

## 6.12.3 Проверки на колоните на системата FUSEIS като недисипативни елементи ("силни колони – слаби FUSEIS греди")

(1) Колоните на системата FUSEIS трябва да се проверяват за поемане на капацитивните изчислителни ефекти от въздействията, както следва:

$N_{CD,ED} = N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$	Eq. (6.36)
$M_{CD,ED} = M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}$	Eq. (6.37)

$$V_{CD,ED} = V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}$$
 Eq. (6.38)

където:

*N<sub>Ed,G</sub>*, *V<sub>Ed,G</sub>*, *M<sub>Ed,G</sub>* са осовите сили, срязващите сили и огъващите моменти в колоната, дължащи се на несеизмичните въздействия, участващи в сеизмичната изчислителна ситуация;

*N<sub>Ed,E</sub>*, *V<sub>Ed,E</sub>*, *M<sub>Ed,E</sub>* са осовите сили, срязващите сили и огъващите моменти в колоната, дължащи се на изчислителното сеизмично въздействие;

 $\Omega = \min \Omega_i = \min \{ M_{pl,RBS,Rd,i} / M_{Ed,i} \}$  е минималната стойност на съответните отношения за всички FUSEIS гредови сеизмични свързващи елементи в едното направление на сградата.

#### 6.12.4 Проверка на съединенията

Съединенията между FUSEIS гредовите свързващи елементи и колоните се проверяват за следните капацитивни изчислителни усилия:

(1) Ако се използват отслабвания на напречните сечения на гредите, капацитивният огъващ момент се определя като:

$$M_{CD,con,Ed} = max\{M_1, M_2\},$$
 Eq. (6.39)

където:

$$M_1 = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{l_b}{l_{RBS}} \cdot M_{pl,RBS,Rd}$$
 Eq. (6.40)

$$M_2 = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot M_{u,b}$$
 Eq. (6.41)

И

$$M_{u,b} = W_{pl,b} \cdot f_u$$
 Eq. (6.42)

 $\gamma_{ov} = f_{y,act}/f_y$  ако е известна действителната граница на провлачане на стоманата на гредата, ако не  $\gamma_{ov} = 1.25$ ;

*l*<sub>b</sub> е светлата дължина на гредата;

*l<sub>RBS</sub>* е осовото разстоянието между отслабените сечения на гредата;

*f<sub>y,act</sub>* е действителната граница на провлачане на стоманата на гредата;

*f*<sub>u</sub> е якостта на опън на стоманата на гредата

*W*<sub>*pl,b*</sub> е пластичният съпротивителен момент на гредата в края ѝ.

Изчислителната срязваща сила за съединението може да се определи от:

$$V_{CD,con,Ed} = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,RBS,Rd}}{l_{RBS}}$$
 Eq. (6.43)

(2) Ако не се използват отслабени сечения на гредите (ОСГ) и като алтернатива зоната на съединението е усилена с допълнителни плочи (Фиг. 6.16), усиленото сечение при челото на колоната и съединението се проверяват за капацитивен изчислителен момент, равен на:

$$M_{CD,con,Ed} = \frac{l_b}{l_{net}} \cdot M_{u,b}$$
 Eq. (6.44)

където:

*l*<sub>b</sub> е светлата дължина на гредата между челата на колоните;

*l<sub>net</sub>* е светлата дължина на неусилената част от гредата;

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

Изчислителната срязваща сила за съединението може да се изчисли от:



Фиг. 6.16: Пластични стави в местата на отслабените сечения на гредите (ОСГ) и усилване на гредата в нейните краища

## 6.12.5 Моделиране на пластичните стави за нелинеен статичен (pushover) анализ

За дисипативните зони, които са дефинирани чрез прилагане на отслабени сечения на гредите (ОСГ) на системата FUSEIS с гредови свързващи елементи могат да се използват характеристиките на пластичната става от Фиг. 6.17, отговарящи на мулти-линейна зависимост с уякчаване.

Издание на български език с предварителни нормативни указания за проектиране на иновативни противоземетръсни системи | 18

FUSEIS ГРЕДОВИ СЕИЗМИЧНИ СВЪРЗВАЩИ ЕЛЕМЕНТИ





При нелинейния анализ поведението на конструкцията може да се оцени чрез проверка на критериите за настъпване на гранично състояние, представени на Фиг.6.18. Дефинирани са три гранични състояния: "ограничаване на повредите" (Damage Limitation, DL), "значителни повреди" (Significant Damage, SD) и "близо до разрушаване" (Near Collapse, NC). Граничните състояния са дефинирани чрез относителна пластична ротация и се отнасят за IPE, SHS и CHS сечения.

КРИТЕРИИ ЗА НАСТЪПВАНЕ НА ГРАНИЧНО СЪСТОЯНИЕ (Φ/Φ <sub>ρ</sub> ι)			
	IPE	SHS	CHS
DL	15	5	6
SD	25	12	10
NC	35	18	16



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

Фиг 6.18: Дефиниция на гранични състояния за пластична става във FUSEIS гредов сеизмичен свързващ елемент

<sup>5</sup> Стойности за този коефициент не са представени в документа, (бел. прев.).

### 5 FUSEIS ЦИЛИНДРИЧНИ СЕИЗМИЧНИ СВЪРЗВАЩИ ЕЛЕМЕНТИ

#### 5.1 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.1: ВИДОВЕ КОНСТРУКЦИИ

- (5) Рамки с FUSEIS цилиндрични сеизмични свързващи елементи са тези, при които хоризонталните сили се поемат преимуществено от определен брой цилиндрични свързващи елементи, кораво свързани към "силни" колони. (Фиг.6.0). Всеки цилиндричен свързващ елемент е съставен от две приемни греди, свързани с къс елемент от обла стомана (Фиг. 6.11а). Като алтернатива приемните греди могат да се избегнат и цилиндричните елементи, снабдени с резби в различни направления (права и обратна), да се свържат директно чрез фланцеви плочи към поясите на колоните (Фиг. 6.11b). Възлите между подовите греди и колоните могат да са ставни или частично корави.
- (6) В рамките с FUSEIS цилиндрични сеизмични свързващи елементи дисипативните зони са разположени в средната част на свързващите елементи, където сечението на цилиндричния елемент е редуцирано, така че дисипацията на енергия се извършва чрез циклично огъване на свързващия елемент. Критериите за проектиране на дисипативни зони, дадени в т. 6.5.2 се прилагат и за цилиндричните сеизмични свързващи елементи.



Система FUSEIS с цилиндрични сеизмични свързващи елементи

Фиг. 6.10: Система FUSEIS с цилиндрични сеизмични свързващи елементи в сграда

Издание на български език с предварителни нормативни указания за проектиране на иновативни противоземетръсни системи | 20

FUSEIS ЦИЛИНДРИЧНИ СЕИЗМИЧНИ СВЪРЗВАЩИ ЕЛЕМЕНТИ



Фиг. 6.11: FUSEIS цилиндричен свързващ елемент: а) с приемни греди; b) без приемни греди

#### 5.2 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.2, ТАБЛИЦА 6.2 КОЕФИЦИЕНТИ НА ПОВЕДЕНИЕ

Условия	$I_{\text{pin,w}} < 6 \cdot M_{\text{pl,pin}} / V_{\text{pl,pin}}$	$I_{pin,w} \ge 6 \cdot M_{pl,pin} / V_{pl,pin}$
---------	--	---

### КЪДЕТО: Таблица 6.2: Горна граница на референтната стойност на коефициентите на поведение за регулярни по височина системи

ВИД КОНСТРУКЦИЯ	Клас на дуктилност	
	DCM	DCH
Система FUSEIS с		
цилиндрични сеизмични	2.5	3.0
свързващи елементи		

 $I_{pin,w}$  е дължината на отслабената част на цилиндричния свързващ елемент;  $M_{pl,pin} = W_{pl,pin} \cdot f_y$ ;

*М*<sub>*pl,pin*</sub> е пластичната носимоспособност на огъване на отслабеното сечение на цилиндричния свързващ елемент;

*W*<sub>*pl,pin*</sub> е пластичният съпротивителен момент на отслабеното сечение на цилиндричния свързващ елемент;

*f<sub>y</sub>* е границата на провлачане на стоманата на цилиндричния свързващ елемент;

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

*А<sub>v</sub>* е площта на срязване на отслабеното сечение на цилиндричния свързващ елемент;

*V*<sub>*pl,pin*</sub> е пластичната носимоспособност на срязване на отслабеното сечение на цилиндричния свързващ елемент.

#### 5.3 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.5.3: ПРАВИЛА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА ДИСИПАТИВНИ ЕЛЕМЕНТИ, ПОДЛОЖЕНИ НА НАТИСК ИЛИ ОГЪВАНЕ

(3) Дължината на отслабената част на цилиндричния сеизмичен свързващ елемент следва да бъде такава, че:

 $I_{\text{pinw}} \geq 4 \cdot M_{\text{pl.pin}} / V_{\text{pl.pin}}$ 

Eq. (6.1)

с оглед гарантиране на пластичен механизъм при работа на огъване на цилиндричния елемент.

#### 5.4 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ §6.12 (*НОВА*): ПРАВИЛА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ И ДЕТАЙЛИРАНЕ НА РАМКИ С FUSEIS ЦИЛИНДРИЧНИ СЕИЗМИЧНИ СВЪРЗВАЩИ ЕЛЕМЕНТИ

#### 6.12.1 Анализ

Цилиндричните свързващи елементи могат да се моделират с гредови крайни елементи, като цилиндричният свързващ елемент се разделя на три участъка с различни напречни сечения, както следва:

- Цилиндрични свързващи елементи с приемни греди:
- В крайните участъци се използват сеченията на приемните греди, а в средния участък – отслабеното сечение на цилиндричния свързващ елемент.
- Цилиндрични свързващи елементи без приемни греди:

В крайните участъци се използва пълното сечение на цилиндричния свързващ елемент, а в средния участък – отслабеното му сечение.

Възлите между приемните греди и колоните на системата се моделират като корави. Следва да се предвидят корави участъци от осите на колоните до челата им, за да се елиминира несъществуващата деформируемост на цилиндричните свързващи елементи в тези участъци.

Съединенията между подовите греди и колоните на системата се детайлират и съответно моделират като ставни. При комбинирани конструкции поради наличието на армировка в подовата плоча те се реализират като частично корави. Базите на колоните могат да бъдат ставни или запънати.

#### 6.12.2 Цилиндрични сеизмични свързващи елементи

Цилиндричните свързващи елементи се проверяват при предпоставката за формиране на пластични стави в двата края на участъка с отслабено напречно сечение. За сеизмична изчислителна ситуация по-натовареният край се проверява както следва:

$$rac{M_{Ed}}{M_{pl,pin,Rd}} \leq 1$$
 Eq. (6.32)  
 $rac{N_{Ed}}{N_{pl,pin,Rd}} \leq 1$  Eq. (6.33)

където:

*М<sub>Е</sub>* е изчислителният огъващ момент;

*N<sub>Ed</sub>* е изчислителната осова сила;

*М*<sub>*pl,pin,Rd*</sub> е изчислителната пластична носимоспособност на отслабеното сечение на цилиндричния свързващ елемент;

*N*<sub>pl.pin.Rd</sub> е изчислителната носимоспособност за осова сила на отслабеното сечение на цилиндричния свързващ елемент.

Ротациите на хордата на цилиндричния свързващ елемент в рамките на отслабената дължина трябва да се ограничат съгласно условието:

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

 $\theta_{\rm pin}$  $\theta_{\text{gl}}$ 

#### Фиг. 6.15: Ротации на хордата на цилиндричен сеизмичен свързващ елемент

Запасът от носимоспособност на цилиндричен свързващ елемент се дефинира с израза:

$$\Omega = \frac{M_{pl,pin,Rd}}{M_{Ed}}$$
 Eq. (6.35)

Eq. (6.34)

Изборът на размери на цилиндричния свързващ елемент следва да бъде такъв, че стойността на Ω да бъде максимално близка до 1.

За да се осигури хомогенно дисипативно поведение на рамката, трябва да се осигури максималният коефициент  $\Omega_{max}$  за цялата рамка да не се различава от минималната стойност  $\Omega_{min}$  с повече от 25%:

 $\frac{max\Omega}{min\Omega} \le 1.25$  Eq. (6.36)

#### 6.12.3 Колони на системата и приемни греди

Колоните на системата, свързани към цилиндричните сеизмични свързващи елементи, както и приемните греди трябва да се проверят за изчислителните капацитивни усилия, както следва:

$$\begin{split} N_{CD,Ed} &= N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \alpha \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} & \text{Eq. (6.37)} \\ M_{CD,Ed} &= M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \alpha \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E} & \text{Eq. (6.38)} \\ V_{CD,Ed} &= V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \alpha \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E} & \text{Eq. (6.39)} \end{split}$$

където:

*N<sub>Ed,G</sub>*, *V<sub>Ed,G</sub>*, *M<sub>Ed,G</sub>* са осовите сили, срязващите сили и огъващите моменти, дължащи се на несеизмичните въздействия, участващи в сеизмичната изчислителна ситуация;

*N<sub>Ed,E</sub>*, *V<sub>Ed,E</sub>*, *M<sub>Ed,E</sub>* са осовите сили, срязващите сили и огъващите моменти, дължащи се на изчислителното сеизмично въздействие;

$$\Omega = min\Omega_i = min\left\{\frac{M_{pl,pin,Rd,i}}{M_{Ed,i}}\right\}$$
 е минималният коефициент на запас от носеща

способност за всички цилиндрични свързващи елементи в сградата, виж (5); γ<sub>ov</sub> = 1.25 е коефициентът на завишена носимоспособност;

α = 1.5 е допълнителен коефициент на завишена носимоспособност за системата.

Общият завишаващ коефициент за усилията, дължащи се на сеизмичното въздействие (1,1·α·γ<sub>ov</sub>·Ω), не трябва да надвишава стойността на коефициента на поведение *q*, използвана в анализа.

Стойността на действителната граница на провлачане на стоманата на цилиндричните сеизмични свързващи елементи следва да бъде възможно най-близка до номиналната стойност с оглед постигането на икономично проектиране.

#### 6.12.4 Пълно сечение на цилиндричните свързващи елементи

Носимоспособността на огъване на пълното (неотслабено) сечение на цилиндричните сеизмични свързващи елементи се проверява за сеченията при челните плочи на приемните греди (при наличие на такива) или за сеченията при фланцевата плоча (при липса на приемни греди) както следва:

$$\frac{M_{CD,Ed}}{M_{pl,Rd}} \le 1$$
 Eq. (6.2)

където:

$$M_{Cd,Ed} = \frac{I_{pin}}{I_{pin,w}} \cdot M_{pl,pin,Rd}$$
Eq. (6.3)

*I*<sub>pin</sub> е дължината на цилиндричния свързващ елемент между челните плочи на приемните греди или между фланцевите плочи;

*I*<sub>*pin,w*</sub> е дължината на участъка с отслабено сечение на цилиндричния сеизмичен свързващ елемент;

*M*<sub>*pl,Rd*</sub> е изчислителната пластична носимоспособност на огъване на пълното сечение на цилиндричния свързващ елемент.

#### 6.12.5 Съединения на цилиндричните сеизмични свързващи елементи

Болтовите съединения между колоните и фланцевите плочи на цилиндричните сеизмични свързващи елементи трябва да бъдат категории В или С с високоякостни болтове клас 8.8 или 10.9. Съединенията трябва да имат достатъчен запас на носимоспособност, за да се избегне тяхното разрушаване при образуването на пластични стави в цилиндричните свързващи елементи. Те трябва да се проектират за капацитивния изчислителен момент и срязваща сила, определени от:

$$M_{Cd,con,Ed} = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{I_{pin}}{I_{pin,w}} \cdot M_{pl,pin,Rd}$$
Eq. (6.4)  
$$V_{Cd,con,Ed} = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \frac{2 \cdot M_{pl,pin,Rd}}{I_{pin,w}}$$
Eq. (6.5)

## 6.12.6 Моделиране на пластична става в цилиндричен сеизмичен свързващ елемент при нелинеен статичен (pushover) анализ

Моделът на конструкцията, използван за нелинеен статичен анализ, трябва да отчита поведението на конструктивните елементи след провлачане и да

служи за оценка на очаквания пластичен механизъм на разрушаване и разпределението на повредите. В цилиндричните свързващи елементи се предвиждат пластични стави в краищата на участъците с отслабени сечения, като работната зависимост на пластичната става е илюстрирана на Фиг. 6.16, а параметрите, описващи характерните точки на зависимостта са дадени в Табл. 6.4, където *M* е огъващият момент, а *θ* е ротацията на хордата.



Фиг. 6.16: Работна зависимост на пластичн	а става в цилиндричен	свързващ елемент
---	-----------------------	------------------

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

Табл.6.4: Характерни точки от работната зависимост на пластичната става в цилиндричен сеизмичен свързващ елемент

В Табл.6.5 са дадени пластичните ротационни капацитети на цилиндричните свързващи елементи за трите гранични състояния, маркирани на Фиг. 6.17: "ограничаване на повредите" (Damage Limitation, DL), "значителни повреди" (Significant Damage, SD) и "близо до разрушаване" (Near Collapse, NC).



Фиг. 6.17: Гранични състояния за цилиндрични сеизмични свързващи елементи

Гранично	DL (ограничаване	SD (значителни	NC (близо до
състояние	на повредите)	повреди)	разрушаване)
θ/θ <sub>pl,pin</sub>	30	45	60

#### Табл.6.5: Ротационни капацитети на цилиндрични сеизмични свързващи елементи

## 6.12.7 Моделиране на цилиндричните свързващи елементи при нелинен динамичен анализ

#### • Моделиране

При нелинейния динамичен анализ нееластичното поведение на цилиндричните свързващи елементи се моделира с мулти-линейни пластични крайни елементи (от типа link), разположени в краищата на участъка с отслабено сечение. Нееластичното поведение на такъв елемент се дефинира само за ротационната степен на свобода, свързана с огъването в равнината на рамката, докато за останалите степени на свобода се задава еластично поведение. За нееластичната степен на свобода е необходимо да се зададе зависимост "момент-ротация" с носимоспособности на огъване при положителен и отрицателен момент, равни на пластичната носимоспособност на огъване, и начални коравини при положителен и отрицателен момент (Табл. 6.6). Хистерезисното поведение трябва да бъде описано с мулти-линеен пластичен модел с кинематично уякчаване. (Фиг. 6.18).

Точка	Момент	Ротация
1	-2 M <sub>pl,pin</sub>	-100 θ <sub>pl,pin</sub>
2	-1 M <sub>pl,pin</sub>	-20 θ <sub>pl,pin</sub>
3	0	0
4	1 M <sub>pl,pin</sub>	$20 \theta_{pl,pin}$
5	2 M <sub>pl,pin</sub>	100 θ <sub>pl,pin</sub>

Габл.6.6:	Мулти-линейна	зависимост	"момент-	ротация"
				P • · •



Фиг. 6.18: Мулти-линеен хистерезисен модел с кинематично уякчаване

Останалата част от цилиндричния свързващ елемент, работеща еластично, се моделира както следва:

- Цилиндрични сеизмични свързващи елементи с приемни греди: Средният участък на цилиндричния свързващ елемент и приемните греди се въвеждат като гредови крайни елементи със съответното напречно сечение (Фиг. 6.19а).
- Цилиндрични сеизмични свързващи елементи без приемни греди Средният участък на цилиндричния свързващ елемент се моделира с гредови краен елемент с отслабеното сечение, а крайните участъци - с гредови крайни елемени с пълното напречно сечение на цилиндричния свързващ елемент (Фиг. 6.19b).



Фиг. 6.19: Моделиране на цилиндрични сеизмични свързващи елементи: а) с приемни греди; b) без приемни греди

• Проверка за нискоциклична умора

При провеждането на нелинеен динамичен анализ следва да се направи и оценка на повредите на цилиндричните сеизмични свързващи елементи в резултат на нискоциклична умора. За цилиндрични свързващи елементи се използва следната крива на повредите:

$$logN = -0.90 - 3 \cdot log\Delta\theta$$

Eq. (6.6)

където:

Δθ е диапазонът на ротацията на хордата на цилиндричния свързващ елемент;

*N* е съответният брой цикли до достигане на разрушаване.

Индексът на повредите D може да се оцени чрез правилото на Palmgren – Miner за натрупване на повредите както следва:

$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} \le 1$$
 Eq. (6.7)

където:

 $n_i$  е броят цикли с един и същ диапазон на ротациите  $\Delta \theta_i$ ;

*N*<sub>fi</sub> е броят цикли, при които настъпва разрушение при константна амплитуда *i* е общият брой цикли с константна амплитуда.

Спектърът на диапазоните на ротациите на хордата *Дθ* може да се определи по метода на резервоара.

### 6 FUSEIS БОЛТОВИ И ЗАВАРЕНИ СЪЕДИНЕНИЯ НА ГРЕДИ

#### 6.1 ПРАВИЛА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ, КОИТО ДА БЪДАТ ВКЛЮЧЕНИ В ГЛАВА 7 НА EN1998-1

#### <u>7.1 Общи положения</u>

#### 7.1.2 Концепции за проектиране

(5)Р в края на изречението да се добави следното: "За рамки с корави възли с комбинирани подови конструкции, при които се прилагат дисипативни съединения на гредите, гледай § 7.8.5".

#### 7.3 Видове конструкции и коефициент на поведение

#### 7.3.1 Видове конструкции

 g) Рамки с корави възли с комбинирани подови конструкции (за краткост понататък наричани "комбинирани рамки"), при които се прилагат дисипативни съединения на гредите: конструкции със същата дефиниция и ограничения, както е описано в § 7.3.1 (1) а, но със снаждания на гредите, работещи като дисипативни съединения. При дисипативните съединения за греди прекъснатите комбинирани стомано-стоманобетонни греди се снаждат със стоманени накладки към стеблото и долния им пояс. Стоманените накладки могат да бъдат свързани към гредата със заварени или болтови съединения. Частта от гредата в близост до съединението е усилена с допълнителни стоманени плочи, заварени към стеблото и долния пояс на гредата, подходящо е усилена и колоната при възела "греда-колона". Фугата в стоманобетонната плоча непосредствено над дисипативното съединение цели избягване на значителни повреди в бетона, като се допуска съединението на гредата да развите значителни пластични ротации без смачкване на бетона и повреди на подовите настилки. По-долу е показана схема на дисипативно съединение на греда.



Фиг. 7.3: FUSEIS съединения с а) надкладки с болтови съединения; b) заварени накладки

#### 7.3.2 Коефициент на поведение

### Table 7.2: Горни граници на коефициентите на поведение за регулярни по височина системи

ВИД КОНСТРУКЦИЯ	Клас на дуктилност		
	DCM	DCH	
<ul> <li>g) Комбинирани рамки с дисипативни</li> <li>съединения на гредите</li> </ul>	3.0	4.0	

### <u>7.8 Правила за проектиране и детайлиране за рамки с дисипативни съединения на гредите</u>

#### 7.8.1 Специфични критерии

(1)Р Прилага се 6.6.1(1)P, HO пластичните стави се формират в съединенията на гредите. Концентрацията на нееластичното поведение в съединения дисипативните на гредите трябва да предотврати разпространенито на повредите в гредите и колоните. За да се предотвратят повредите на елементите от конструкцията, които не подлежат на подмяна, тези елементи трябва да останат еластични, когато дисипативните съединения на гредите достигнат носимоспособността си.

2)Р Прилага се 7.7.1(2)Р.

(3) По отношение на местоположението на дисипативните зони се прилага 7.5.2(5) Р.

(4) Необходимата конфигурация на формиране на пластичните стави следва да се получи при следване на правилата, представени в 4.4.2.3, 7.8.3, 7.8.4, 7.8.5.

#### 7.8.2 Анализ

(1) Прилага се Р 7.7.2(1)Р.

- (2) Прилага се 7.7.2(2).
- (3) Прилага се 7.7.2(4).

#### 7.8.3 Правила за греди, колони, съединения на греди и армировка

(1) Прилага се 7.7.3(2)Р.

(2) Прилага се 6.6.2(2) като  $M_{pl,Rd}$ ,  $N_{pl,Rd}$  и  $V_{pl,Rd}$  се заместват съответно с  $M_{FUSE,pl,Rd}$ ,  $N_{FUSE,pl,Rd}$  и  $V_{FUSE,pl,Rd}$ , които са пластичните носимоспособности на огъване, опън/натиск и срязване на съединението на гредата.

(3) За колоните се прилага 6.6.3(1)Р, като коефициентът на запас от носимоспособност е минималната стойност на отношенията  $\Omega = M_{FUSE,pl,Rd,i}/M_{Ed,i}$ , в които  $M_{FUSE,pl,Rd,i}$  е пластичната носимоспособност на огъване на дисипативното съединение на греда *i*.

(4) Усилените сечения на гредата и необходимата дължина на зоната с усилване се проектират така, че участъкът от комбинираната греда непосредствено след прекъсване на усилването и сечението при челото на колоната да останат еластични. За определяне на действащите усилия се използва 6.6.3(1)Р. При проверката на на съответните напречни сечения се използва еластичната им носимоспособност.

(5) За да се избегне крехко разрушаване на заварените и болтовите съединения, свързващи дисипативните накладки към гредата, те трябва да се проектират така, че да са в състояние надеждно да предадат на гредата максималните усилия, които могат да се развият в накладките.

(6) Прилагат се 7.7.3 (6) до (9).

(7) За да се осигури глобално дисипативно поведение на конструкцията, трябва да се провери максималното отношение maxΩ за цялата конструкция да не се различава от минималната стойност minΩ с повече от 25%:

 $\frac{max\Omega}{min\Omega} \le 1.25$  Eq. (7.16)

#### 7.8.4 Възел "греда-колона"

(1) Прилага се 6.6.4 като съединенията на гредите се разглеждат като дисипативни съединения.

## 7.8.5 Условие за пренебрегване на комбинираното действие на стоманената греда и стоманобетонната плоча

(1) След като дисипативните съединения на греди са съставени само от стоманени дисипативни елементи (бетонната плоча е прекъсната и непрекъснатата армировка е проектирана като недисипативна), за прилагането на 7.5.2(2)Р може да се приеме концепция с) от 7.1.2.

(2) В този смисъл, за да се потвърди предпоставката, направена в 7.8.5(1), армировката следва да се проектира така, че да работи еластично.

## 7.8.6 Моделиране на дисипативните съединения на греди при нелинеен статичен и нелинеен динамичен анализ

(1) Еластопластичното поведение на дисипативните съединения може да се моделира с помощта на мулти-линейна пружина. Нелинейно поведение на пружината се задава само за ротационната степен на свобода, имаща отношение към завъртането в равнината на рамката, а останалите степени на свобода се моделират като линейни. Хистерезисното поведение на съединението се описва с мулти-линеен хистерезисен модел тип "пивот". (Dowell, Seible and Wilson, 1998).



Фиг. 7.8: Мулти-линеен хистерезисен модел тип "пивот".

(2) Зависимостта "момент-ротация" на дисипативното съединение на греда следва да отчита по подходящ начин асиметрията на поведението при положителен и отрицателен момент, както и появата на форми на разрушаване вследствие на местна загуба на устойчивост. Схематична зависимост "момент-ротация" на дисипативно съединение на греда е представена на следващата фигура.



Фиг. 7.9: Схематична мулти-линейна зависимост "момент-ротация"

Забележка: Текущите раздели 7.8, 7.9, 7.10, 7.11 и 7.12 от EN 1998-1:2004 да се променят съответно на 7.9, 7.10, 7.11, 7.12 и 7.13.

## 6.2 ПРИНЦИПИ И ПРОЦЕДУРА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ ЗА ВКЛЮЧВАНЕ В EN 1998-1

1) За да се избегне прекалено голям запас от носимоспособност, стоманата, от която са изработени накладките на дисипативното съединение трябва да бъде с контролирани якостни характеристики. Съгласно EN1998-1 границата ѝ на провлачане се ограничава до:

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

Eq. (6.1)

където  $\gamma_{ov} = 1.25$  е коефициентът на завишена носимоспособност, а  $f_y$  е номиналната стойност на границата на провлачане.

 Фугата в подовата плоча непосредствено над дисипативното съединение е необходима за избягването на значителни повреди в бетона, като се допусне дисипативното съединение да развива значителни ротации без контакт "бетон-бетон". Ширината стоманобетонната на фугата част В на съединението може да бъде различна от тази, използвана за стоманените му Препоръчителните части. стойности на ширината фугата на в стоманобетонната част (подовата плоча) и в стоманената част са съответно 10% от височината на подовата плоча и 10% от общата височина на комбинираното напречно сечение.

3) Проектирането на съединението на гредата и армировката трябва да гарантира еластичната работа на армировъчните пръти. Препоръчително е площта на армировката от горния ред да бъде два пъти площта на поясната накладка.

4) Носимоспособността на усилващите плочи в зоната на съединението на гредата, както и тяхната минимална дължина, измервана от възела "греда-колона", трябва да бъдат такива, че възелът "греда-колона" и комбинираното сечение на гредата да останат еластични (Фиг. 6.1).



Фиг. 6.1: Схема на заварени FUSEIS съединения на греди

5) Болтовите или заварените FUSEIS съединения на греди следва да удовлетворяват дадените по-долу проверки на носимоспособност.

Първо трябва да се докаже, че не се налага редукция на пластичните носимоспособности на огъване и срязване поради наличието на нормална сила, съгласно условието:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,fuse,Rd}} \le 0.15$$
 Eq. (6.2)

Носимоспособността на срязване трябва да се докаже с капацитивен критерий за проектиране, като се отчете едновременното формиране на пластични стави в съединенията в двата края на гредите на рамката. При определянето на носимоспособността на срязване на съединението се отчитат само стеблените накладки.

$$\frac{V_{CD,Ed}}{V_{pl,fuse,Rd}} \le 1.0$$
 Eq. (6.3)

където  $V_{CD,Ed} = 2M_{max,fuse}/L_{fuses,ij}$  е капацитивната изчислителна срязваща сила,  $M_{max,fuse}$  е максималният момент, който може да се развие в дисипативното съединение,  $L_{fuses,ij}$  е разстоянието между съединенията на една и съща греда и  $V_{pl,fuse,Rd}$  е носимоспособността на срязване с отчитане само на стеблените накладки.

Носимоспособността на огъване се проверява чрез условието:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\max fuse}} \le \frac{1}{\Omega} \le 1.0$$
 Eq. (6.4)

където  $M_{Ed}$  е изчислителият огъващ момент,  $M_{max,fuse}$  е максималният момент, който може да се развие в съединението и  $\Omega$  е коефициентът на запас от носимоспособност.

6) За да се осигури глобално дисипативно поведение на конструкцията, трябва да се провери максималното отношение maxΩ за цялата конструкция да не се различава от минималната стойност minΩ с повече от 25%:

$$\frac{max\Omega}{min\Omega} \le 1.25$$
 Eq. (6.5)

7) Недисипативните елементи (колони и комбинирани греди) трябва да се проектират капацитивно за завишени стойности на разрезните усилия в сравнение със стойностите, получени от сеизмичната комбинация, за да се гарантира, че пластифицирането на болтовото или заварено FUSEIS съединение ще настъпи първо. Всички недисипативни елементи се проектират за следните капацитивни изчислителни усилия:

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

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

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

където  $N_{Ed,G}$ ,  $M_{Ed,G}$  и  $V_{Ed,G}$  са съответно осовите сили, срязващите сили и огъващите моменти вследствие на несеизмичните въздействия, участващи в сеизмичната изчислителна ситуация, а  $N_{Ed,E}$ ,  $M_{Ed,E}$  и  $V_{Ed,E}$  са съответно осовите сили, срязващите сили и огъващите моменти, дължащи се на сеизмичното въздействие.  $\Omega = \min \Omega_i = \min \{M_{max,fuse,i}/M_{Ed,i}\}$  е минималният коефициент на запас от носимоспособност за всички дисипативни FUSEIS съединения на греди в сградата, виж Eq. (2.4).  $\gamma_{ov} = 1.25$  е коефициент, отчитащ възможно по-високата граница на провлачане на материала, виж Eq. (6.1).

### 7 DUAREM ЗАМЕНЯЕМ СЕИЗМИЧЕН СВЪРЗВАЩ ЕЛЕМЕНТ С БОЛТОВИ СЪЕДИНЕНИЯ

#### 7.1 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.1: ВИДОВЕ КОНСТРУКЦИИ

(6) <u>h) Системите със заменяеми сеизмични свързващи елементи с болтови съединения</u> са дуални (смесени) системи, получени чрез комбиниране на рамки с корави възли и рамки с нецентрично включени диагонали със заменяеми свързващи елементи с болтови съединения. Сеизмичните свързващи елементи имат предназначението да осигурят дисипацията на енергия чрез работа на срязване при циклично натоварване, след което подлежат на подмяна. По-гъвкавите рамки с корави възли остават еластични и осигуряват възвръщаща сила, необходима за самоцентрирането на конструкцията с оглед подмяна на повредените свързващи елементи.



Фиг. 6.10: Възможна конфигурация на система със заменяеми сеизмични свързващи елементи с болтови съединения

#### 7.2 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.2 КОЕФИЦИЕНТИ НА ПОВЕДЕНИЕ

Таблица 6.2: Горни граници на референтните стойности на коефициентите на поведение за регулярни по височина системи

Вид конструкция	Клас на дуктилност		
	DCM	DCH	
h) Системи със заменяеми сеизмични			
свързващи елементи с болтови	2.5	4.0	
съединения			

#### 7.3 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.8.1 КРИТЕРИИ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ

(4)Р Рамките с нецентрично включени диагонали и заменяеми сеизимични свързващи елементи с болтови съединения следва да се проектират така, че определени елементи или части от елементи, наречени сеизмични свързващи елементи, да бъдат подменяни (по тази причина са свързани с болтови съединения) и способни да дисипират енергия чрез пластични механизми, доминирани от работа на срязване (къси свързващи елементи).

#### 7.4 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.8.4 СЪЕДИНЕНИЯ НА СЕИЗМИЧНИТЕ СВЪРЗВАЩИ ЕЛЕМЕНТИ

(4) Ако сеизмичните свързващи елементи са проектирани да бъдат отстранявани и заменяни, те трябва да са свързани с болтови съединения. Контактните повърхности трябва да бъдат с клас на повърхност В (подложени на дробеструйна обработка и покрити с боя на цинкова основа), осигурявайки коефициент на триене най-малко 0,40, а болтовете трябва да бъдат предварително напрегнати.

(5) Съединенията между гредите и сеизмичните свързващи елементи могат да бъдат изпълнявани като фланцеви съединения с изравнена фланцева плоча и трябва да останат еластични. Затова съединението трябва да се проектира за изчислителна срязваща сила V<sub>j,Ed</sub> и огъващ момент *M*<sub>j,Ed</sub>, съответстващи на напълно пластифициран свързващ елемент, с отчитане че част от материала е навлязъл в стадия на уякчаване:

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

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

където γ<sub>sh</sub> е коефициент на уякчаване.

ЗАБЕЛЕЖКА 1: Препоръчителните стойности са  $\gamma_{sh}$  = 1.8 за DCH и  $\gamma_{sh}$  = 1.5 за DCM.

(5) За да се осигури запас от носимоспособност на съединението, може да се наложи да се използват много къси дисипативни сеизмични свързващи елементи (с дължина от порядъка на 0.8 *M*<sub>p,link</sub>/*V*<sub>p,link</sub>).

(6) Подаваемостта на болтовите съединения на свързващия елемент трябва да се отчита в цялостния анализ.

ЗАБЕЛЕЖКА 1: Ако се използват фланцеви съединения с изравнена фланцева плоча и предварително напрегнати болтове, те могат да се приемат безкрайно корави.

(7) Оценката на сеизмичното реагиране на болтовите съединения между гредата и свързващия елемент при циклично натоварване следва да бъде обоснована с експериментални данни.

(8) Експерименталните данни може да се вземат от налични експерименти. В противен случай трябва да се проведат допълнителни изпитвания.

## 7.5 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.10.2 РАМКИ, КОМБИНИРАНИ С ЦЕНТРИЧНО ВКЛЮЧЕНИ ВРЪЗКИ

(7) В дуални системи, съставени от рамки с корави възли и рамки с диагонали (връзки), по-слабата и по-гъвкава подсистема (рамките) трябва да притежава определена минимална носимоспособност. За целта трябва да се провери "дуалността" на конструкцията като се докаже, че рамките могат да поемат най-малко 25% от общата сеизмична сила:

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

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

където

*F*<sub>y</sub><sup>MRF</sup> е силата на провлачане на рамките с корави възли;

*F*<sub>y</sub><sup>BF</sup> е силата на провлачане на рамките с диагонали;

L е отворът на рамката (виж Фиг. 6.15);

Н е височината на етажа (виж Фиг. 6.15);

*M*<sub>pl,b</sub> е изчислителната стойност на пластичната носимоспособност на огъване в края на греда от рамките с корави възли съгласно EN 1993.

(8) Силата на провлачане на рамките с нецентрично включени диагонали се определя като:

$$F_{y} \stackrel{EBF}{=} \frac{L}{H} \cdot V_{p,link}$$
 Eq. (6.36)

където

V<sub>p,link</sub> е изчислителната носимоспособност на срязване на сеизмичния свързващ елемент (виж 6.8.2).





Фиг. 6.15: Базова едноетажна рамка с нецентрично включени диагонали и рамка с корави възли.

#### 7.6 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ ГЛАВА 6 СПЕЦИФИЧНИ ПРАВИЛА ЗА СТОМАНЕНИ КОНСТРУКЦИИ НА СГРАДИ

#### 6.13 Способност за самоцентриране на стоманени дуални системи

(1) Способността за самоцентриране на дуални системи трябва да се осигури чрез предотвратяване на провлачането в рамките с корави възли до достигане на граничния деформационен капацитет на дисипативните рамки. Това може да се постигне като се осигури граничното преместване на дисипативните рамки (в крайно гранично състояние) да бъде по-малко от преместването при провлачане на еластичните рамки с корави възли:

$$\delta_u^{DIS} < \delta_y^{MRF}$$
 Eq. (6.37)

където

- *δ<sub>u</sub><sup>DIS</sup>* е граничното преместване на дисипативните рамки в крайно гранично състояние;
- *б*<sup>*MRF*</sup> е преместването при провлачане на рамките с корави възли.

## 6.13.1 Способност за самоцентриране на системи със заменяеми сеизмични свързващи елементи с болтови съединения

#### 6.13.1.1 Аналитична проверка

(1) Дисипативните рамки в системите със заменяеми сеизмични свързващи елементи с болтови съединения са рамките с нецентрично включени диагонали. Тяхното гранично преместване съответства на достигането на деформационния капацитет в пластичен стадий на свързващите елементи и се определя по описания начин:

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

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

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

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

където

- δ<sub>u</sub><sup>EBF</sup> е граничното преместване на рамките с нецентрично включени диагонали в крайно гранично състояние;
- *δ*<sub>y</sub><sup>EBF</sup> е преместването при провлачане на рамките с нецентрично включени диагонали;
- δ<sub>pl</sub><sup>EBF</sup> е пластичното преместване на рамките с нецентрично включени диагонали;

*К*<sup>EBF</sup> е коравината на рамките с нецентрично включени диагонали;

е е дължината на свързващия елемент (виж фиг. 6.15);

*у*<sub>pl,u</sub> е пластичният деформационен капацитет на свързващия елемент;

*К*<sup>MRF</sup> е коравината на рамките с корави възли;

К<sub>ink</sub> ЕВF е коравината на свързващия елемент;

К<sub>br</sub><sup>EBF</sup> е коравината на диагонала;

G е модулът на срязване;

*A*<sub>s</sub> е площта на срязване;

- *E* е модулът на еластичност;
- *А* е площта на напречното сечение на диагонала;
- *I*<sub>br</sub> е дължината на диагонала;
- α е ъгълът на наклона на диагонала;
- *I*<sub>b</sub> е инерционният момент на гредата;
- *I*<sub>c</sub> е инерционният момент на колоната.

(2) Аналитичната процедура следва да се използва за предварителна проверка на способността за самоцентриране.

ЗАБЕЛЕЖКА 1: Процедурата може да се ползва само за проверка на способността за самоцентриране на нискоетажни конструкции, при които хоризонталните премествания на конструкцията се дължат основно на работа на конструкцията като цяло на срязване (global shear-type response).

ЗАБЕЛЕЖКА 2: За доказване на способността за самоцентриране на сгради със средна и висока етажност (където по височина може да се прояви реагиране на огъване на конструкцията като цяло) е силно препоръчително използването на нелинеен статичен и/или динамичен анализ.

(3) Тъй като използването на готови формули е приблизителен и опростен подход, за доказването на способността за самоцентриране на всякакви конструкции се препоръчва използването на нелинеен статичен и/или динамичен анализ.

6.13.1.2 Моделиране на свързващия елемент при нелинеен статичен анализ

(1) Нееластичното реагиране на къси сеизмични свързващи елементи, работещи на срязване и прикрепени с болтови съединения, се описва със следната скелетна крива:



Link shear deformation [rad]

Фиг. 6.16: Нелинейно (нееластично) поведение на къс сеизмичен свързващ елемемент, работещ на срязване

Означения:

- К<sub>1</sub> е началната коравина на свързващия елемент;
- *V*<sub>y</sub> е носимоспособността на свързващия елемент на срязване (*V*<sub>p,link</sub>);
- V<sub>u</sub> е граничната носимоспособност на свързващия елемент;
   ЗАБЕЛЕЖКА 1: Препоръчва се да се приема 1.8 V<sub>v</sub> при DCH и1.5 V<sub>v</sub> при DCM.

- γ<sub>u</sub> е граничната ротация вследствие срязването на свързващия елемент;
   ЗАБЕЛЕЖКА 1: Препоръчва се да се према 0.15 гад за DCH и 0.10 гад за DCM.
- у<sub>f</sub> е ротацията на свързващия елемент при разрушение;
   ЗАБЕЛЕЖКА 1: Препоръчва се да се према 0.17 гад за DCH и 0.11 гад за DCM.

6.13.1.3 Моделиране на свързващия елемент при нелинеен динамичен анализ

(1) Трябва да се отчита хистерезисното поведение на прикрепените с болтове свързващи елементи, работещи на срязване. Хистерезисният модел трябва да се формулира със зависимости, отчитащи деградацията на коравина и носимоспособност, както и прищипването на хистерезисните примки. За целта могат да се използват параметрите на хистерезисната зависимост, дадени в таблица 6.4.

Specific parameter / Параметър	Стоиност
Stiffness degrading parameter	20
Ductility-based strength decay parameter	0.001
Hysteretic energy-based strength decay parameter	0.001
Smoothness parameter for elastic-yield transition	10
Parameter for shape of unloading	0.5
Slip length parameter	0
Slip sharpness parameter	100
Parameter for mean moment level of slip	0
Exponent of gap closing spring	10
Gap closing curvature parameter	1000
Gap closing stiffness coefficient	1

Таблица 6.4: Параметри за описването на хистерезисното поведение на прикрепени с болтове свързващи елементи, работещи на срязване <sup>6</sup>

<sup>6</sup> Така представените параметри съответстват на програмния продукт *Seismostruct* и умишлено не са преведени за по-лесно въвеждане при евентуално прилагане (*бел. прев.*).

### 8 ЗАМЕНЯЕМИ ТЪНКОСТЕННИ ДИАФРАГМИ

#### 8.1 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.1 ВИДОВЕ КОНСТРУКЦИИ

(1) <u>Рамки със заменяеми тънкостенни стоманени диафрагми</u> са такива, при които хоризонталните сили се поемат предимно от елементи, подложени на срязване (диафрагми).

<u>Рамки с корави възли, комбинирани със заменяеми тънкостенни</u> <u>стоманени диафрагми</u> (липсва текст, но очевидно става дума за вариант като дуална система (фиг. 6.11), *бел. прев.*)

(6) В рамките със заменяеми тънкостенни диафрагми дисипативните зони са разположени предимно в диафрагмите.



Fig. 6.10: Рамки със заменяеми тънкостенни стоманени диафрагми (дисипативни зони само в диафрагмите). Стойностите на α<sub>u</sub>/α<sub>1</sub> по подразбиране гледай в 6.3.2(3) и в таблица 6.2.



Фиг. 6.11: Рамки с корави възли, комбинирани с тънкостенни стоманени диафрагми (дисипативни зони в рамката и в диафрагмите). Стойностите на α<sub>u</sub>/α<sub>1</sub> по подразбиране гледай в 6.3.2(3) и в таблица 6.2.

#### 8.2 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.2, ТАБЛИЦА 6.2 КОЕФИЦИЕНТИ НА ПОВЕДЕНИЕ

Таблица 6.2: Горни граници на референтните стойности на коефициентите на поведение за регулярни по височина системи

	Клас на дуктилност		
вид конструкция	DCM	DCH	
h) Рамки със стоманени тънкостенни диафрагми	4	5 α <sub>u</sub> / α <sub>1</sub>	
Рамки с корави възли, комбинирани със стоманени тънкостенни диафрагми	4	5 α <sub>ι</sub> ∕ α₁	

#### 8.3 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.10: ПРАВИЛА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА РАМКИ, КОМБИНИРАНИ С ЦЕНТРИЧНО ВКЛЮЧЕНИ ВРЪЗКИ ИЛИ ПЪЛНЕЖНИ СТЕНИ

## 6.10.4 Рамки, комбинирани със заменяеми тънкостенни стоманени диафрагми.

(1) Дуални системи от рамки с корави възли и рамки с тънкостенни стоманени диафрагми, работещи съвместно в едно направление, трябва да се проектират с използването на еднаква стойнст на коефициента на поведение *q*. Хоризонталните сили се разпределят между двете системи в съответствие с тяхната еластична коравина.

(2) Рамките с корави възли и рамките с тънкостенни стоманени диафрагми трябва да отговарят на 6.6 и 6.12.

(3) Р Трябва да се провери дуалността на конструкцията като се докаже, че рамките са в състояние да поемат най-малко 25% от общата сеизмична сила:

$$F_y^{MRF} \ge 0.25 \cdot (F_y^{MRF} + F_y^{SPSW})$$

Eq. (6.34)

където

*F*<sub>y</sub><sup>MRF</sup> е силата на провлачане на рамките с корави възли;

*F*<sub>y</sub><sup>SPSW</sup> е силата на провлачане на рамките със заменяеми тънкостенни стоманени диафрагми.

#### 8.4 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ ГЛАВА 6 СПЕЦИФИЧНИ ПРАВИЛА ЗА СТОМАНЕНИ КОНСТРУКЦИИ НА СГРАДИ

6.12 Правила за проектиране и детайлиране на рамки със заменяеми стоманени тънкостенни диафрагми

#### 6.12.1 Критерии за проектиране

(1) Р Рамките със стоманени диафрагми се проектират така, че провлачането на стоманените диафрагми под действие на срязващите сили да настъпи преди разрушението на съединенията и преди провлачането или загубата на устойчивост на гредите или колоните.

(2)Р Конструктивната система трябва да бъде проектирана така, че да се реализира хомогенно дисипативно поведение на всички диафрагми.

(3) Приложението на стоманени диафрагми се ограничава до полета с отношение на размерите 0.8 < L/h < 2.5.

ЗАБЕЛЕЖКА: Поведението на диафрагми с друго отношение на размерите трябва да се потвърди експериментално.

#### 6.12.2 Анализ

(1)Р За поемане на гравитационните товари следва да се отчитат само гредите и колоните, без да се включват стоманените диафрагми.

(2) При предварителното проектиране размерите на стоманените диафрагми и обрамчващите ги елементи (греди и колони) могат да се определят чрез апроксимация на стоманените диафрагми с диагонали, работещи само на опън (Фиг. 6.15).



Фигура 6.15: Апроксимация на стоманени диафрагми с диагонали, работещи само на опън

(3) Р Рамката с диагонали, работещи само на опън, трябва да се проектира в съответствие с критериите и правилата, дадени в § 6.7 за рамки с центрично включени диагонали.

#### 6.12.3 Хоризонтални и вертикални обрамчващи елементи

(1) Р Хоризонталните и вертикалните обрамчващи елементи трябва да се проектират за поемането на максималните сили, възникващи при действието на опънните полета на напълно пластифицираните диафрагми.

(2)Р Вертикалните обрамчващи елементи трябва да имат инерционни моменти за ос, перпендикулярна на равнината на диафрагмата, *I*<sub>c</sub>, не помалки от:

$$I_c \ge \frac{0.00307 \cdot t_w \cdot h^4}{L}$$
, Eq. (6.32)

където

*t*<sub>w</sub> е дебелината на стоманената диафрагма;

*h* е височината на стоманената диафрагма, измервана между осите на хоризонталните обрамчващи елементи;

L е ширината на стоманената диафрагма, измервана между осите на вертикалните обрамчващи елементи.

ЗАБЕЛЕЖКА: Ако за вертикални обрамчващи елементи се използват различни сечения, в изчисленията може да се използва средната стойност на инерционните моменти.

(3)Р Хоризонталните обрамчващи елементи трябва да имат инерционни моменти за ос, перпендикулярна на диафрагмата, *I*<sub>b</sub>, не по-малки от:

където Δ*t*<sub>w</sub> е разликата в дебелините на стоманените диафрагми под и над хоризонталния обрамчващ елемент.

#### 6.12.4 Стоманени диафрагми

(1) Дебелината на стоманената диафрагма може да се изчисли чрез площта на условния диагонал, работещ само на опън (виж **6.12.2**) по израза:

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

където:

А<sub>brace</sub> е площта на диагонала, работещ само на опън;

Ω е коефициент на запас от носимоспособност, както е дефиниран в **6.7.4 (1)**; *θ* е ъгълът между вертикалата и надлъжната ос на диагонала;

α е ъгълът на наклона на опънното поле на диафрагмата, измерван спрямо вертикалата, който може да се приеме 40°, или да се изчисли с израза (6.35):

$$\tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{t_w \cdot L}{2 \cdot A_c}}{1 + t_w \cdot h \cdot \left(\frac{1}{A_b} + \frac{h^3}{360 \cdot I_c \cdot L}\right)}$$

Eq. (6.35)

където:

*t*<sub>w</sub> е дебелината на стоманената диафрагма;

Асе площта на колоните;

А<sub>b</sub> е площта на гредите;

*I*<sub>c</sub> е инерционният момент на вертикалния обрамчващ елемент (колона), който може да се приеме като осреднен от инерционните моменти на двата вертикални обрамчващи елемента.

(2) Пластичната носимоспособност на срязване на стоманените диафрагми може да се изчисли по израз (6.36) на основа на предпоставката, че всяка диафрагма може да се моделира като поредица от наклонени ивици със стави в двата си края (виж **6.12.6**):

където

L<sub>cf</sub> е светлото разстояние между поясите на вертикалните обрамчващи елементи;

*F*<sub>у</sub> е границата на провлачане на материала на стоманената диафрагма.

## 6.12.5 Съединения между хоризонталните и вертикалните обрамчващи елементи

(1)Р За рамките с корави възли комбинирани със стоманени диафрагми, пластичната носимоспособност на съединението на дисипативния елемент (ригела), Rd, определена според 6.5.5, трябва да вземе под внимание и срязващата сила породена в резултат на провлачането на опънното поле на самата диафрагма.

#### 6.12.6 Съединения между диафрагмите и обрамчващите елементи

(1)Р Необходимата носимоспособност на съединенията на стоманената диафрагма към обрамчващите елементи трябва да съответства на очакваната граница на провлачане при работата на опън на диафрагмата.

(2) Могат да се използват два типови детайла на съединения между стоманената диафрагма и обрамчващите я греди и колони, виж фиг. 6.16.



Фигура 6.16: Съединение на диафрагма към обрамчващ елемент

(3) Р Заварените съединения следва да се проектират така, че припокриващите плочи и заваръчните шевове да имат носимоспособност, достатъчна да гарантира реализиране на носимоспособността на срязване на диафрагмата (чрез пластична работа на опън в опънните полета).

(4) Ако е необходима и способност за самоцентриране, препоръчват се болтови съединения. Те трябва да са проектирани така, че да не се реализира приплъзване и да имат носимоспособност, достатъчна да гарантира реализиране на носимоспособността на срязване на диафрагмата (чрез пластична работа на опън в опънните полета).

(5) При цикличното натоварване на стоманените диафрагми се очаква приплъзване на болтовите съединения да се реализира преди провлачането на опънното поле. По тази причина трябва да се проверят и изчислителните носимоспособности на срязване и смачкване съгласно EN 1993-1-8.

(6) В случай на много тънки стоманени диафрагми за увеличаване на носимоспособността на смачкване могат да се използват заварени усилващи плочи.

#### 6.13 Способност за самоцентриране на дуални системи

(1)Р Способността за самоцентриране на дуални системи трябва да се осигури чрез предотвратяване на провлачането в рамките до достигане на граничния деформационен капацитет на дисипативните системи. Това може да се постигне като се осигури граничното преместване на дисипативните рамки (в крайно гранично състояние) да бъде по-малко от преместването при провлачане на еластичните рамки с корави възли:

$$\delta^{DIS} < \delta^{MRF}$$

Eq. (6.37)

където

*δ<sub>u</sub><sup>DIS</sup>* е граничното преместване на дисипативните рамки в крайно гранично състояние;

*δ<sub>y</sub><sup>MRF</sup>* е преместването при провлачане на рамките с корави възли;

## 6.13.2 Способност за самоцентриране на стоманени дуални конструкции със заменяеми стоманени диафрагми

(1) За проверка на способността за самоцентриране при всички видове конструкции се препоръчва нелинеен статичен и/или нелинеен динамичен анализ.

6.13.1.1 Моделиране на стоманена диафрагма при нелинеен статичен (pushover) анализ

(1) Диафрагмите могат да се представят с минимум 10 наклонени, работещи само на опън, ставно свързани в двата си края ивични елемента под ъгъл α спрямо вертикалата, ориентирани по направление на главните опънни напрежения в диафрагмата (модел с ивици), виж фигура 6.17. В таблици 6.4 и 6.5 са дадени характерни точки, дефиниращи работната зависимост "силапреместване" на ивиците.



Фиг. 6.17: Модел на диафрагма с ивици за нелинеен статичен анализ

раоблещи само на блън					
Точка	А	В	С	D	E
$P/P_y$	0	0.8	1.4	1.4	1.2
$\Delta / \Delta_{\rm v}$	0	0	14	20	27

Таблица 6.4: Характерни точки от нелинейната работна зависимост на ивици, работещи само на опън



Фиг. 6.18: Нелинейна работна зависимост "сила-преместване" на ивици, работещи само на опън

Таблица 6.5: Критерии за гранични състояния<sup>7</sup>

Критерий	Ю	LS	СР
$\Delta / \Delta_y$	0.5	13	19

(2) Площта на ивицата може да се изчисли чрез израз (6.32):

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

Eq. (6.38)

където *п* е броят на приетите ивици за една диафрагма.

6.13.1.1 Моделиране на диафрагмите при нелинеен динамичен анализ

(1) Диафрагмата може да се замени с минимум по 10 ивици в двете направления (двоен модел с ивици), притежаващи нелинейна зависимост "сила-преместване", както е описано в точка **6.13.1.1**, виж фигура 6.17.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> IO – Immediate Occupancy (незабавно ползване), LS – Life Safety (запазване на живота на обитателите) и CP – Collapse Prevention (недопускане на разрушаване), *бел. прев.* 



Фиг. 6.19: Модел с ивици за нелинеен динамичен анализ

(2) Хистерезисният модел на дисипативните диафрагми е показан на фиг. 6.20. Специално внимание трябва да се обърне на моделирането на прищипването на хистерезисните примки при циклично натоварване. <sup>8</sup>



Фиг. 6.20: Хистерезисен модел на Takeda

<sup>8</sup> В документа не са дадени повече указания (*бел. прев.*).

### 9 РАМКИ С ЦЕНТРИЧНО ВКЛЮЧЕНИ МОДИФИЦИРАНИ ДИАГОНАЛИ (CBF-MB)

#### 9.1 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.1 ВИДОВЕ КОНСТРУКЦИИ

- (9) <u>Рамки с центрично включени модифицирани диагонали (CBF-MB)</u> са конструкции, удовлетворяващи следните изисквания:
  - Диагоналите са разделени с междинна греда (Фиг. 6.10);
  - Всеки диагонал е със съставено Н-сечение, променливо по дължината на диагонала (Фиг. 6.11);
  - Възлите, свързващи диагоналите към колоните са ставни, а възлите между междинната греда и колоната са корави;
  - Възлите между етажната греда и колоните могат да бъдат ставни или частично корави.



Фиг. 6.10: Система CBF-MB



Фиг. 6.11: Описание на модифициран диагонален елемент

(3) В СВF-MB дисипативните зони са разположени в диагоналите. Системата CBF-MB се отнася към следната категория:

 връзки с активни опънни диагонали, при които хоризонталните сили се поемат основно от тях при пренебрегване на натисковите диагонали.
 Пресечната точка на диагоналите е върху хоризонтален елемент (междинна греда), който трябва да бъде непрекъснат.

(7) В СВЕ-МВ дисипативните зони са разположени в диагоналите. Те трябва да бъдат проектирани така, че да се разделят зоните, провлачащи при опън и зоните, в които възникват пластични деформации след изкълчване на диагонала. Критериите за проектиране на дисипативни зони, дадени в § 6.5.2, са приложими и за модифицирани диагонали.

#### 9.2 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ § 6.3.2, ТАБЛИЦА 6.2 КОЕФИЦИЕНТИ НА ПОВЕДЕНИЕ

Таблица 6.2: Горни граници на референтните стойности на коефициентите на поведение за регулярни по височина системи

	Клас на дуктилност		
вид конструкция	DCM	DCH	
CBF-MB	4,0	5,0	
Условие съгласно 6.12.4	<i>ρ</i> = 1,00	<i>ρ</i> = 1,15	

#### 9.3 ДОПЪЛНЕНИЯ КЪМ ТОЧКА 6.12 (*НОВА*) ПРАВИЛА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ И ДЕТАЙЛИРАНЕ НА РАМКИ С ЦЕНТРИЧНО ВКЛЮЧЕНИ МОДИФИЦИРАНИ ДИАГОНАЛИ (CBF-MB)

#### 6.12.1 Анализ

Може да се използва спектрален метод с разделяне на реагирането по собствени форми на трептене въз основа на 6.7.2 (1) и (2) при следните специфични изисквания:

Модифицираните диагонали трябва да се дефинират с константно Hнапречно сечение с характеристиките на отслабеното сечение RS и присъединени към рамката със ставни възли. Колоните трябва да са непрекъснати във всички етажи. Възлите между колоните и подовите греди и базите на колоните могат да се моделират като ставни или частично корави. Интерпретация на тези изисквания е дадена на фиг. 6.15. Издание на български език с предварителни нормативни указания за проектиране на иновативни противоземетръсни системи | 54 РАМКИ С ЦЕНТРИЧНО ВКЛЮЧЕНИ МОДИФИЦИРАНИ ДИАГОНАЛИ (СВF-МВ)



a)

Фиг. 6.15: а) Системно-осов модел за еластичен анализ; b) Модел с изнесени възли.

b)

#### 6.12.2 Проектиране на модифицираните диагонали

• Дължини на MS, RS и TS (фиг. 10.2)

Дължината *I<sub>d</sub>* на модифицирания диагонал следва да бъде (0,375...0,4)*I*, където *I* е системната дължина на диагонала.

Дължината на участъка с модифицирано сечение *I*<sub>MS</sub> се определя съгласно израз (6.32). Дължината на участъка с отслабено сечение (RS) *I*<sub>RS</sub> трябва да се проектира възможно най-голяма, при осигуряване на необходимата дължина на участъка с плавен преход (TS) от RS до усиленото сечение (SS). Предварително приемане може да се направи по израз (6.33).

$$I_{MS} = (0.067 \div 0.085) \cdot I_d$$
 Eq. (6.32)

$$I_{RS} \approx (0.3) \cdot I_d$$
 Eq. (6.33)

Площта на RS трябва да удовлетворява 6.7.3 (5). Допълнително трябва да са изпълнени следните изисквания:

$$A_{MS}/A_{RS} \ge 1.4$$
, Eq. (6.34)

където:

*A<sub>MS</sub>* е площта на модифицираното сечение; *A<sub>RS</sub>* е площта на отслабеното сечение. Размерите и площта на усиленото сечение (SS) трябва да бъдат избрани така, че да се осигури напълно еластично поведение на нетното сечение в зоната на ставното съединение, както и удовлетворяване на проверката на смачване на болтовите съединения.

#### • Отношение на съпротивителните моменти

За да се гарантира, че модифицираното сечение ще има по-малка носимоспособност на огъване от редуцираното сечение, включително в стадия на големи пластични деформации и уякчаване след провлачане, следва да бъде изпълнено условието:

$$W_{pl,RS}/W_{pl,MS} \ge 2.0,$$
 Eq. (6.35)

където:

*W*<sub>*pl,RS*</sub> е пластичният съпротивителен момент на отслабеното сечение; *W*<sub>*pl,MS*</sub> е пластичният съпротивителен момент на модифицираното сечение.

• Изкълчвателна дължина на модифицирания диагонал

Тъй като в средата на диагонала е въведено модифицирано сечение, действителната изкълчвателна дължина  $I_{cr} = \mu . I_d$  ще бъде по-голяма от  $I_d$ . Изкълчвателната дължина  $I_{cr}$  може да се получи с линеен анализ за загуба на устойчивост чрез метода на крайните елементи или по израз (6.36):

$$\mu = I_{cr} / I_d = 0.88 \cdot K_L^{(0.033)} \cdot K_I^{(0.1\ln(K_L) - 0.36)}, \qquad \text{Eq. (6.36)}$$

където:

*K*<sub>L</sub>=*I*<sub>RS</sub> / *I*<sub>MS</sub> е отношението на дължините на участъците;
 *I*<sub>MS</sub> е дължината на участъка с модифицирано сечение;
 *I*<sub>RS</sub> е дължината на участъка с редуцирано сечение;
 *K*<sub>I</sub>=*I*<sub>MS</sub> / *I*<sub>RS</sub> е отношението на инерционните моменти;
 *I*<sub>MS</sub> е инерционният момент на модифицираното сечение;
 *I*<sub>RS</sub> е инерционният момент на редуцираното сечение;
 *μ* е коефициент за изкълчвателна дължина.

• Ограничение на стройността

Условната стройност на модифицирания диагонал се изчислява въз основа на изкълчвателната дължина и трябва да бъде в съответствие с 6.7.3 (1).

• Носимоспособност на опън на модифициран диагонал в пластичен стадий

Носимоспособността на опън *N*<sub>pl,Rd</sub> на модифицирания диагонал в пластичен стадий следва от 6.7.3 (5) и се определя по израз (1.6).

$$N_{pl,Rd} = A_{RS} \cdot f_{\gamma} / \gamma_{M0}$$

Eq. (6.37)

• Съединения на модифицирания диагонал

Съединенията на модифицираните диагонали към подовите и междинните греди трябва да удовлетворяват правилата за проектиране от 6.5.5 (3).

#### 6.12.3 Проектиране на междинната греда

При CBF-MB е възможно формирането на два типа етажни пластични механизми, наречени благоприятен и неблагоприятен (фиг. 6.16). При благоприятния механизъм и двата натиснати диагонала от един тандем<sup>9</sup> се изкълчват, а пластичните удължения са в тандема опънати диагонали. При неблагоприятния механизъм се изкълчва само един от натиснатите диагонали в тандема, като се образуват допълнителни пластични стави в междинната греда или дори в колоните (фиг. 6.16 b, c). Неблагоприятните механизми следва да се избягват с подходящо проектиране на междинната греда, чрез осигуряване на достътъчна носимоспособност и коравина.



Фиг. 6.16: Пластични механизми: а) Благоприятен; b) Слаба междинна греда; c) Слаби колони

CBF-MB трябва да се проектират с междинна греда, запъната към колоните, формирайки по този начин Н-образна рамка. Междинната греда и колоните са недисипативни елементи и трябва да останат еластични до достигането на крайно гранично състояние (значителни повреди, ULS).

<sup>9</sup> Под тандем се разбира двойка диагонали с един и същ наклон.

#### • Преходен стадий

Стадият, при който H-образната рамка притежава значителна еластична коравина и устойчивият диагонал е принуден да се изкълчи, е наречен преходен ("непосредствено преди изкълчване") и е илюстриран на фиг. 6.17. В този стадий възникват неуравновесена хоризонтална и вертикална сили. Те могат да се определят чрез изрази (6.38) и (6.39), където *N*<sub>b,Rd</sub> в израз (6.40) е носимоспособността на изкълчване на диагонала съгласно EN 1993-1-1.



Фиг. 6.16: а) Преходен стадий; b) Неуравновесени сили; c) Огъващи моменти (*М*<sub>UNB</sub>), причинени от неуравновесените сили (товарно състояние UNB)

$V_{UNB} = N_{b,Rd} \cdot sin \alpha$	Eq. (6.38)
$H_{UNB} = N_{b,Rd} \cdot \cos \alpha$	Eq. (6.39)
$N_{b,Rd} = \chi \cdot A_{RS} \cdot f_y / \gamma_{M1}$	Eq. (6.40)

Преходният стадий се характеризира с допълнителни огъващи моменти и осови сили (товарно състояние UNB), възникващи в елементите на етажната Н-образна рамка (фиг. 6.17 с). Този ефект трябва да се отчита при проектирането. Той може да се отчете в модела за еластичен анализ чрез въвеждането на неуравновесените сили отделно за всяко етажно ниво, както е показано на фиг. 6.17 с, или за всички етажи едновременно

• Допълнителни изисквания към междинната греда

Междинната греда трябва да се проектира така, че да се изключи измятането чрез удовлетворяване на условие (6.41):

$$\overline{\lambda}_{LT} \leq 0.40$$
 Eq. (6.41)

Напречното сечение на междинната греда трябва да се подбере така, че да се удовлетворява условието (6.42) в съответствие с 4.4.2.3 (4).

 $2.M_{Rc} \geq 1.3 \cdot M_{Rb},$ 

Eq. (6.42)

#### където:

*M<sub>Rc</sub>* е изчислителна носимосопособност на огъване на колоната, *M<sub>y,Rd</sub>* или *M<sub>z,Rd</sub>*, съответстваща на ориентацията на колоната към междинната греда; *M<sub>Rb</sub>* е изчислителната носимосопособност на огъване на междинната греда.

#### 6.12.4 Проектиране на недисипативните елементи

Недисипативните елементи в системата CBF-MB са колоните, подовите греди и междинните греди.

Те следва да се проектират с отчитане на усилията от вертикални товари, участващи в сеизмичната изчислителна ситуация и усилията, определени с ефектите от втори ред  $M_E$ ,  $V_E$  и  $N_E$  от изчислително сеизмично въздействие. Последните могат да се получат с еластичен анализ при отчитане само на опънните диагонали, като се коригират със завишаващ коефициент 1,1. $\gamma_{ov}$ . $\Omega_{MIN}$ . $\rho$ ,

където:

γ<sub>ov</sub> е коефициентът на завишена носимоспособност на материала съгласно 6.2 (3);

$$\Omega_{_{MIN}} = min \left\{ \frac{N_{_{pl,Rd,i}}}{N_{_{Ed,i}}} \right\}$$
 е минималният коефициент на запас на носимоспособност

за модифицираните диагонали по височина на сградата и

ρ е коефициент, отчитащ наличния запас на носимоспособност на системата като цяло и възможно по-голямата действителна носимоспособност на натиск на диагонала. Стойността на ρ зависи от приетия клас на дуктилност (табл. 6.2).

При проектирането на недисипативните елементи трябва да се отчитат и допълнителните усилия *М*<sub>UNB</sub>, *V*<sub>UNB</sub> и *N*<sub>UNB</sub>, причинени от неуравновесените сили, възникващи в преходния етап (6.12.3).

• Колони

Колоните трябва да удовлетворяват условие (6.42) и да бъдат оразмерени с изчислителните разрезни усилия, получени по изрази (6.43) до (6.45):

$$N_{col,Ed} = N_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (N_E + N_{UNB})$$
 Eq. (6.43)

$$M_{col,Ed} = M_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (M_E + M_{UNB})$$
 Eq. (6.44)

$$V_{col,Ed} = V_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (V_E + V_{UNB})$$
 Eq. (6.45)

#### • Междинни греди

Междинните греди трябва да удовлетворяват условия (6.41) и (6.42) и да са в състояние да поемат изчислителните усилия по изрази (6.46) до (6.48):

$$N_{sb,Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (N_E + N_{UNB})$$
 Eq. (6.46)

$$M_{sb,Ed} = M_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (M_E + M_{UNB})$$
 Eq. (6.47)

$$V_{sb,Ed} = V_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot \leq (V_E + V_{UNB})$$
 Eq. (6.48)

#### • Подови греди

Подовите греди трябва да се проверяват за поемане на изчислителните усилия, получени по изрази (6.49) до (6.51):

$$N_{b,Ed} = N_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (N_E + N_{UNB})$$
 Eq. (6.49)

$$M_{b,Ed} = M_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (M_E + M_{UNB})$$
 Eq. (6.50)

$$V_{b,Ed} = V_{Ed,G} + 1, 1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{\min} \cdot \rho \cdot (V_E + V_{UNB})$$
 Eq. (6.51)

## 6.12.5 Моделиране на модифицираните диагонали при статичен нелинеен (pushover) анализ

Трябва да се използва модела на конструкцията с изнесени възли съгласно фиг. 6.15. Разпределението на хоризонталните сили по височина следва да съответства на 4.3.3.4.2.2. В средата на всеки модифициран диагонал се задава пластична става, характеризираща поведението на диагонала. Съответната скелетна крива е илюстрирана на фиг. 6.18, а стойностите на характерните параметри са дадени в табл. 6.4. Издание на български език с предварителни нормативни указания за проектиране на иновативни противоземетръсни системи | 60





axial displacement, d/dy; d/dc

Фиг. 6.18: Скелетна крива на модифициран диагонал за статичен нелинеен анализ

Точка	Опън		Точка	H	атиск
	Сила	Преместване		Сила	Преместване
A	0	0	A	0	0
В	$F_y = A_{RS} f_y$	δγ	В	N <sub>b,Rd</sub>	δc
С	F <sub>SH</sub>	16.5δy	С	$0,5N_{b,Rd}$	Збс
D	0,8 <i>F</i> <sub>y</sub>	19δ <i>y</i>	D	0,3 <i>N<sub>b,Rd</sub></i>	8бс
E	0,8 <i>F</i> <sub>y</sub>	20бу	E	$0,2N_{b,Rd}$	20бу

Table 6.4: Характерни	точки на	скелетната	крива
-----------------------	----------	------------	-------

За дефиниране на характерните точки от скелетната крива се използват уравнения (6.52) до (6.56), в които  $N_{b,Rd}$  е носимоспособността на натиск на диагонала, а  $\chi$  е коефициентът на изкълчване съгласно EN 1993-1-1.

$\delta_{y} = f_{y} \cdot I/E$	Eq. (6.52)
$F_{y} = A_{RS} \cdot f_{y}$	Eq. (6.53)
$F_{SH} = F_{y} + \left(F_{y} / \delta_{y}  0.005\right) \cdot \left(16.5 \cdot \delta_{y}\right)$	Eq. (6.54)
$N_{b,Rd} = \chi \cdot A_{RS} \cdot f_{y}$	Eq. (6.55)
$\delta_{\rm C} = N_{\rm b,Rd} \cdot \delta_{\rm y} / F_{\rm y}$	Eq. (6.56)

В таблица 6.5 са дадени осовите деформационни капацитети на модифицираните диагонали при натиск и опън за трите разглеждани гранични състояния, маркирани на фиг. 6.19.

РАМКИ С ЦЕНТРИЧНО ВКЛЮЧЕНИ МОДИФИЦИРАНИ ДИАГОНАЛИ (СВF-МВ)

Таблица 6.5: Осови деформационни капацитети на модифицирани диагонали при
натиск и опън

Гранични състояния на EN	SLS	ULS	
1998-1			
Гранично състояние	DL	SD	NC
	(Ограничаване	(Значителни	(Близо до
	на повредите)	повреди)	разрушение)
δ / δ <sub>у</sub> (опън)	+2.5	+9.5	+16
δ / δ <sub>с</sub> (натиск)	-2.5 δ <sub>y</sub>	-9.5 δ <sub>y</sub>	-16 δ <sub>y</sub>



Fig. 6.19: Гранични състояния за модифицирани диагонали

## 6.12.6 Моделиране на модифицираните диагонали при динамичен нелинеен анализ

При динамичен нелинеен анализ (ДНА) модифицираният диагонал трябва да се моделира чрез мулти-линейна пластична пружина с хистерезис тип "пивот". Пружината трябва да бъде свързана към изнесените от колоната възли на диагонала (фиг. 6.20 а). Конститутивната зависимост на пластичната пружина се определя от пивотните (полюсни) точки, които се дефинират чрез параметрите  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , дадени в табл. 6.6 и илюстрирани на фиг. 6.20 b. Стойността на  $\alpha_1$  идентифицира пивотната точка за

РАМКИ С ЦЕНТРИЧНО ВКЛЮЧЕНИ МОДИФИЦИРАНИ ДИАГОНАЛИ (СВГ-МВ)

разтоварване от положителна до нулева стойност на силата,  $\alpha_2$  установява пивотната точка за разтоварване от отрицателна до нулева стойност на силата,  $\beta_1$  определя пивотната точка за обратно натоварване от нулева към положителна стойност на силата, а  $\beta_2$  установява пивотната точка за обратно натоварване от нулева към отрицателна стойност на силата. Нелинейно поведение на пружината се дефинира само за осовата степен на свобода (удължаване / скъсяване), докато по отношение на останалите степени на свобода пружината се моделира като еластична.

#### Таблица 6.6: Дефиниране на пивотните (полюсни) точки

Параметър на пивотната точка	$\alpha_{I}$	$\alpha_{_2}$	$eta_1$	$\beta_2$	η
Стойност	100	0.1	0.02	0.4	0.0

За правилно описване на хистерезисното поведение на мулти-линейната пластична пружина се изисква дефиниция на скелетна крива. Таблица 6.7 обобщава нейните характерни точк. Фиг. 6.20 b илюстрира скелетната крива с приета 15% деградация на носимосопособността на опън при циклично натоварване.

Точка	Опън		Точка	Натиск		
	Сила	Преместване		Сила	Преместване	
A	0	0	А	0	0	
В	$F_y = A_{RS} f_y$	δγ	В	N <sub>b,Rd</sub>	δς	
С	0,85 <i>F</i> y	Збу	С	$0,5N_{b,Rd}$	3бс	
D	0,85 <i>F</i> y	16.5 <i>бу</i>	D	$0,3N_{b,Rd}$	8ōc	
			E	$0,2N_{b,Rd}$	16.5 <i>δy</i>	

Таблица 6.7: Характерни точки на скелетната крива

Репрезентативните осови сили и премествания са дефинирани с уравнения (6.52) до (6.56).

Издание на български език с предварителни нормативни указания за проектиране на иновативни противоземетръсни системи | 63





Фиг. 6.20: a) Модел на CBF-MB с изнесени възли при ДНА; b) Скелетна крива

#### 6.12.7 Проверка на нискоциклична умора

При прилагане на динамичен нелинеен анализ трябва да се изследва натрупването на повреди в модифицираните диагонали в резултат на нискоциклична умора на материала. Зависимостта между амплитудата на осовото преместване на модифицирания диагонал δ и броя цикли до разрушаване *N* се представя с уравнение (6.57):

$$\delta$$
 (N) = 110 - 52 · log(N). Eq. (6.57)

Индексът на повредите може да се определи по правилото на Palmgren-Miner за линейно натрупване на повредите както следва:

$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} \le 1,$$
 Eq. (6.58)

където:

 $n_i$  е броят цикли при една и съща амплитуда на осовото преместване  $\delta_i$ ;

*N<sub>i</sub>* е броят цикли, при които възниква разрушаване при константна амплитуда на преместването *δ<sub>i</sub>*;

і е общият брой цикли с константна амплитуда.