

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОВЕДЕНИЕТО НА ЕДНОЕТАЖНИ СТОМАНЕНИ РАМКИ  
ПРИ СЕИЗМИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ, СЪГЛАСНО НАРЕДБА № РД-02-20-2  
И БДС EN 1998-1**

Любомир Здравков<sup>1</sup>

*Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия*

**STUDY OF BEHAVIOUR OF SINGLE STOREY STEEL FRAMES IN SEISMIC  
IMPACT, ACCORDING TO ORDINANCE № РД-02-20-2 AND БДС EN 1998-1**

Lyubomir A. Zdravkov

*University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy*

***Abstract:** At present time in Bulgaria two codes are simultaneously in use - our national standards and European standards, which are valid everywhere in the European Union. The package European standards called Eurocodes, meets the latest achievements of science in the field of structural engineering, but for various reasons was not allowed to cancel completely our obsolete national standards. Through several examples in the article bellow I will try to show what is the real consequences of unnecessary delay of the validity of Eurocodes for all building structures.*

***Key words:** standards, steel frames, earthquake, behaviour, pushover analysis*

Към настоящия момент в България са в сила едновременно 2-а пакета нормативни документи за проектиране на строителни конструкции - нашите национални стандарти и европейските норми, които са валидни за целия Европейски съюз. Пакетът европейски норми, т.нар. Еврокод, отговаря на последните достижения на науката в областта на строителното инженерство, но поради ред причини не беше допуснато той да отмени напълно морално остарелите наши национални стандарти. Чрез няколко примера в статията по - долу ще се опитам да покажа какви са реалните последствия от ненужното забавяне на валидността на Еврокод за всички строителни съоръжения.

### **1. Изследване**

За целта на настоящото изследване са анализирани две едноетажни стоманени рамки, които са реално проектирани. Тяхното поведение при сеизмично въздействие е анализирано съгласно националния документ Наредба № РД-02-20-2 [2] и европейския стандарт БДС EN 1998-1 [1].

Изследването на избраните рамки е извършено чрез програмен продукт SAP 2000 v.14.2 [3].

#### **1.1. Сграда с едноотворни и едноетажни рамки, намираща се в гр. Белово**

Сградата, от която напречната рамка е част, е подложена на въздействието на :

- сняг в района на изграждане -  $s_t = 1,5 \text{ kN/m}^2$ ;
- постоянни товари по покрива и фасадите -  $g_n = 0,412 \text{ kN/m}^2$ ;
- натоварването при сеизмично въздействие е посочено в Таблица 1:

**Таблица 1. Особенности на натоварването при земетръс**

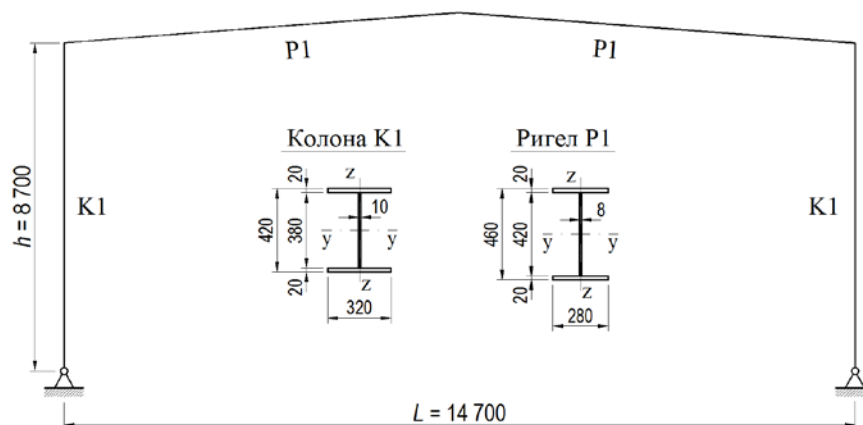
|                     |                      |                 |
|---------------------|----------------------|-----------------|
| Нормативен документ | Наредба № РД-02-20-2 | БДС EN 1998 - 1 |
|---------------------|----------------------|-----------------|

---

<sup>1</sup> Любомир Здравков, доц. д-р инж., УАСГ, София 1046, бул. „Христо Смирненски” №1, корпус «Б», ет. 7, каб. 733, e-mail: [zdravkov\\_fce@uacg.bg](mailto:zdravkov_fce@uacg.bg)

|                               |      |                  |
|-------------------------------|------|------------------|
| коэф. на сеизмичност - $k_c$  | 0,27 | 0,23             |
| коэф. на поведение - $q$      | 4,0  | $\leq 4$ при DCM |
| коэф. на съчетание - $\psi_2$ | 0,5  | 0,3              |

Рамката е изградена от пълностенни съставени профили, с геометрия, показана на Фиг. 1. Използвана е стомана S235. Почвата под сградата е категория „С”.



**Фиг. 1.** Геометрия и статическа схема на типова стоманената рамка, част от сграда в гр. Белово

а) изследване чрез спектрален метод за анализ, съгласно Наредба № РД-02-20-2 [2]

Когато отношението на височината на рамковата колона  $h$  към височината на сечението  $b$  надвишава 15, това налага намаляване на първоначално приетия коефициент на поведение  $q = 4$

$$(1.1) \quad \frac{h}{b} = \frac{8700}{420} = 20,7 > 15 \rightarrow \text{коефициентът на поведение } q \text{ трябва да се намали,}$$

където:

$h = 8700$  mm е височината на колоната, виж Фиг. 1;

$b = 420$  mm - височината на сечението на колоната.

Промененият коефициент на поведение ще има стойност:

$$(1.2) \quad q_m = \frac{q}{k} = \frac{4}{1,286} = 3,11$$

Елементите на рамката, чието сечение и размери са посочени на Фиг. 1 удовлетворяват всички проверки в крайно гранично състояние.

Полученото от изчислителния модел еластично хоризонтално преместване от земетръс е със стойност  $\Delta_E = 4,29$  cm  $< h/200 = 4,35$  cm.

Натиснатите елементи от рамката, каквито са колоните, трябва да бъдат проверени за чувствителност за  $p - \Delta$  ефекти, по формулата:

$$(1.3) \quad \theta = \frac{Q \cdot \Delta_E}{F \cdot h \cdot R} = \frac{182,756 \cdot 4,29}{24,8 \cdot 870 \cdot 0,3214} = 0,115 > 0,1,$$

където:

$Q = 182,756$  kN е сумарната вертикална натискова сила в колоните;

$F = 24,8$  kN - сумарната срязваща сила в колоните;

$R = 1/q_m = 0,3214$  - модифицираният коефициент на реагиране.

Очевидно, при оразмеряване на рамката съгласно Наредба № РД-02-20-2, р-Δ ефектите следва да бъдат отчитани.

б) изследване чрез спектрален метод за анализ, съгласно БДС EN 1998 - 1 [1]

Приет коефициент на поведение при земетръс  $q = 1,5$ .

Елементите на рамката удовлетворяват проверките в крайно гранично състояние.

Полученото от изчислителния модел еластично хоризонтално преместване от земетръс е със стойност  $\Delta_E = 8,87$  cm.

Отчитайки приетия коефициент на поведение, хоризонталното пластично преместване  $d_r$  ще бъде:

$$(1.4) \quad d_r = \Delta_E \cdot q = 8,87 \cdot 1,5 = 13,3 \text{ cm}$$

Хоризонталното преместване на рамката от земетръс е ограничено до :

$$(1.5) \quad d_r \cdot v \leq 0,0075 \cdot h \rightarrow \begin{cases} d_r \cdot v = 13,305 \cdot 0,4 = 5,3 \text{ cm} \\ 0,0075 \cdot h = 0,0075 \cdot 870 = 6,525 \text{ cm} \end{cases} \rightarrow \text{условието е изпълнено.}$$

Необходимост от отчитане на р - Δ ефектите:

$$(1.6) \quad \theta = \frac{Q \cdot d_r}{F \cdot h} = \frac{180,97 \cdot 13,305}{52,23 \cdot 870} = 0,053 < 0,1,$$

където:

$Q = 180,97$  kN е сумарната вертикална натискава сила в колоните;

$F = 52,23$  kN - сумарната срязваща сила в колоните.

При анализ на рамката по БДС EN 1998 - 1 не е необходимо р-Δ ефектите да бъдат отчитани.

в) изследване чрез статичен нелинеен метод за анализ (pushover analysis)

При използване на статичния нелинеен метод за анализ, стоманената рамка е решена два пъти - с условията на натоварване, съгласно Наредба № РД-02-20-2 и стандарт БДС EN 1998 - 1. В Таблица 2 са посочени получените резултати.

**Таблица 2. Условия на натоварване и резултати от проведения pushover analysis**

| Нормативен документ, описващ условията на натоварване                          | Наредба № РД-02-20-2 | БДС EN 1998 - 1 |
|--|----------------------|-----------------|
| коэф. на поведение - $q$   | 1                    | 1               |
| еластично преместване - $\Delta_E$   | 12,7 cm              | 13,3 cm         |
| - пластична става при достигане на $\Delta_E$                                  | няма                 | няма            |
| - срязваща сила при достигане на $\Delta_E$                                    | 76,72 kN             | 80,57 kN        |
| Хоризонтално преместване за образуване на 1-та пластична става - $\Delta_{pl}$ | 22,74 cm             | 22,78 cm        |
| - срязваща сила при достигане на $\Delta_{pl}$                                 | 137,06 kN            | 137,98 kN       |

Очевидно, за да се получи пластична става в рамката трябва да се реализира хоризонтално преместване  $\Delta_{pl}$ , което да бъде многократно по-голямо от преместването  $\Delta_E$  при  $q = 1$ . С други думи, при земетръс в рамката няма да се образуват пластични стави, т.е. тя ще „работи” в еластичен стадий.

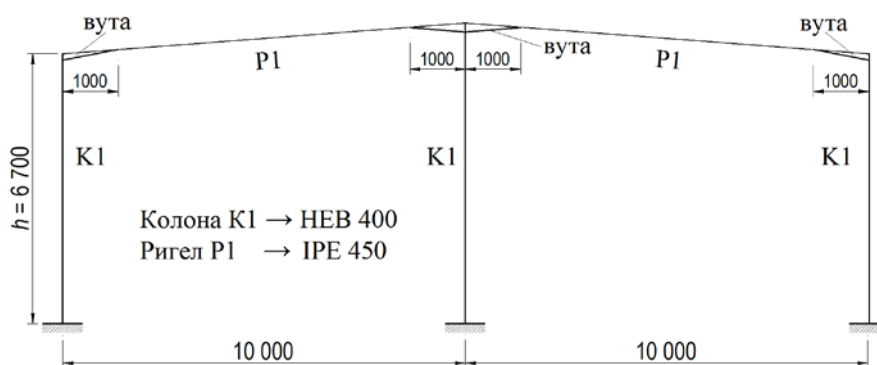
### 1.2. Сграда с двуотворни едноетажни рамки, намираща се в гр. Каварна

Сградата, от която напречната рамка е част, е подложена на въздействието на :

- сняг в района на изграждане -  $s_t = 0,88 \text{ kN/m}^2$ ;
- постоянни товари по покрива -  $g_n = 5,193 \text{ kN/m}^2$ ;
- натоварването при сеизмично въздействие е посочено в Таблица 3:

**Таблица 3.** Особенности на натоварването при земетръс

| Нормативен документ           | Наредба № РД-02-20-2 | БДС EN 1998 - 1  |
|-------------------------------|----------------------|------------------|
| коэф. на сеизмичност - $k_c$  | 0,27                 | 0,32             |
| коэф. на поведение - $q$      | 4,0                  | $\leq 4$ при DCM |
| коэф. на съчетание - $\psi_2$ | 0,5                  | 0,3              |



**Фиг. 2.** Геометрия и статическа схема на типова стоманената рамка, част от сграда в гр. Каварна

За тази сграда е характерно, че покривът е „зелен”. Върху него са насипани 60 cm почва, на която е засадена трева.

Рамката е изградена от пълностенни профили, с геометрия, показана на Фиг. 2. Използвана е стомана S235. Почвата под сградата е категория „С”.

а) изследване чрез спектрален метод за анализ, съгласно Наредба № РД-02-20-2 [2]

Тук отново отношението на височината на рамковата колона  $h$  към височината на сечението  $b$  надвишава 15.

$$(1.7) \quad \frac{h}{b} = \frac{6700}{400} = 16,75 > 15 \rightarrow \text{коэффициентът на поведение } q \text{ трябва да се намали.}$$

Промененият коефициент на поведение ще има стойност:

$$(1.8) \quad q_m = \frac{q}{k} = \frac{4}{1,088} = 3,676$$

Елементите на рамката, чието сечение и размери са посочени на Фиг. 2 удовлетворяват всички проверки в крайно гранично състояние.

Полученото от изчислителния модел еластично хоризонтално преместване от земетръс е със стойност  $\Delta_E = 1,43 \text{ cm} < h/200 = 3,35 \text{ cm}$ .

Натиснатите елементи от рамката, каквито са колоните, трябва да бъдат проверени за чувствителност за  $p - \Delta$  ефекти, по формулата:

$$(1.9) \quad \theta = \frac{Q \cdot \Delta_E}{F \cdot h \cdot R} = \frac{570,09 \cdot 1,43}{112,42 \cdot 670 \cdot 0,272} = 0,0398 < 0,1,$$

При анализ на рамката по Наредба № РД-02-20-2, р-Δ ефектите не следва да бъдат отчитани.

б) изследване чрез спектрален метод за анализ, съгласно БДС EN 1998 - 1 [1]

Приет коефициент на поведение при земетръс  $q = 1,5$ .

Нито един от елементите на рамката не удовлетворява проверките в крайно гранично състояние.

Полученото от изчислителния модел еластично хоризонтално преместване от земетръс е със стойност  $\Delta_E = 4,63$  cm.

Отчитайки приетия коефициент на поведение, хоризонталното пластично преместване  $d_r$  ще бъде:

$$(1.10) \quad d_r = \Delta_E \cdot q = 4,63 \cdot 1,5 = 6,94 \text{ cm}$$

Хоризонталното преместване на рамката от земетръс е ограничено до:

$$(1.11) \quad d_r \cdot v \leq 0,0075 \cdot h \rightarrow \begin{cases} d_r \cdot v = 6,94 \cdot 0,4 = 2,78 \text{ cm} \\ 0,0075 \cdot h = 0,075 \cdot 670 = 5,02 \text{ cm} \end{cases} \rightarrow \text{условието е изпълнено.}$$

Необходимост от отчитане на р - Δ ефектите:

$$(1.12) \quad \theta = \frac{Q \cdot d_r}{F \cdot h} = \frac{556,01 \cdot 6,94}{367,18 \cdot 670} = 0,015 < 0,1,$$

При анализ на рамката по БДС EN 1998 - 1 не е необходимо р-Δ ефектите да бъдат отчитани.

в) изследване чрез статичен нелинеен метод за анализ (pushover analysis)

При използване на статичния нелинеен метод за анализ, стоманената рамка е решена два пъти - с условията на натоварване, съгласно Наредба № РД-02-20-2 и БДС EN 1998 - 1. В Таблица 4 са посочени получените резултати.

**Таблица 4. Условия на натоварване и резултати от проведения pushover analysis**

| Нормативен документ, описващ условията на натоварване                          | Наредба № РД-02-20-2 | БДС EN 1998 - 1 |
|--|----------------------|-----------------|
| коэф. на поведение - $q$   | 1                    | 1               |
| еластично преместване - $\Delta_E$   | 5,21 cm              | 6,93 cm         |
| - пластична става при достигане на $\Delta_E$                                  | няма                 | да, в колоните  |
| - срязваща сила при достигане на $\Delta_E$                                    | 413,54 kN            | 570,89 kN       |
| Хоризонтално преместване за образуване на 1-та пластична става - $\Delta_{pl}$ | 6,58 cm              | 6,58 cm         |
| - срязваща сила при достигане на $\Delta_{pl}$                                 | 555,55 kN            | 556,2 kN        |

За да се получи пластична става в рамката, натоварена по Наредба № РД-02-20-2, трябва да се реализира хоризонтално преместване  $\Delta_{pl}$ , което да е по-голямо от преместването  $\Delta_E$  при  $q = 1$ .

При коефициент на поведение  $q = 1,5$  и условия на натоварване по БДС EN 1998 - 1, преместването на върха на рамката  $\Delta_E = 4,63$  cm. За да се получи 1-та пластична става, коефициентът на поведение трябва да бъде  $q \leq 1,08$ .

### **Изводи**

От 2-та примера по - горе ясно се вижда, че реалният коефициент на поведение  $q$ , при който „работят” пълностенните едноетажни рамки при земетръс, е много по - нисък от предписания в нормативните документи Наредба № РД-02-20-2 [2] и БДС EN 1998-1:2005 [1]. И докато вторият стандарт допуска намаляване на стойностите на коефициента  $q$ , то в 1-ия стойността е „закована” на  $q = 4$ .

Необосновано големите стойности на  $q$  в Наредба № РД-02-20-2 водят до следното:

- резултатните разрезните усилия в елементите на рамката от земетръс са невярно ниски;
- хоризонталните срязващи усилия в анкерните болтове, респективно във фундаментите, се получават неколkokратно по - ниски от реалните.

Авторът би препоръчал при анализ на едноетажни стоманени рамки за сеизмично въздействие, стойността на коефициента на поведение да се ограничи до  $q \leq 2$ , колкото е при система „обърнато махало”, виж БДС EN 1998-1:2005 [1].

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] БДС EN 1998-1:2005, Проектиране на конструкции за сеизмични въздействия. Общи правила, сеизмични въздействия и правила за сгради.
- [2] Наредба № РД-02-20-2 за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони, ДВ, бр. 13 от 2012 г.
- [3] SAP 2000 v.14.2. Structural analysis program. Computers and Structures, Inc., USA.