

Проектиране на стоманени, комбинирани и дървени конструкции за пожарни въздействия

Резюме и анализ на представените презентации
от работна среща проведена през ноември 2012,
Брюксел

доц. д-р инж. Вътю Танев
инж. Станислав Иванов

Резюме от работна среща 11.2012,
Брюксел

III. Проектиране на стоманени конструкции срещу въздействие от пожар

- **Общи положения според EN 1993-1-2**
- **Процедури за проектиране на строителни конструкции срещу пожарно въздействие**
- **Опростен метод - чрез определяне на критична температура на стоманения елемент**
- **Опростен метод - чрез определяне на носимоспособността на стоманения елемент**
- **Общи изисквания съгласно Наредба Из-1971**
- **Взаимовръзка и сравнение между EN 1993-1-2 и Наредба Из-1971**
- **Работни примери**

Общи положения според EN 1993-1-2

Само носимоспособността **R** на стоманени конструкции се проверява при въздействие от пожар съгласно EN 1993

Приема се, че критерият **R** е удовлетворен, когато носимоспособността се запазва в продължение на изискваното време на излагане на пожарно въздействие **t**

$$E_{fi,d,t} \leq R_{fi,d,t}$$

E_{fi,d,t} : изчислителна стойност на въздействието
R_{fi,d,t} : съответна изчислителна носимоспособност при пожарна ситуация в момент **t**

Общи положения според EN 1993-1-2

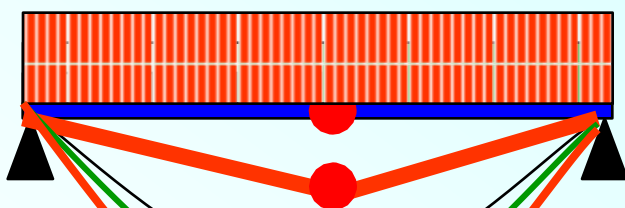
Област на приложение

- Нисковъглеродна стомана:
 - ⌋ Всички видове конструктивни елементи
 - ⌋ Класове S235, S275, S355, S420 & S460
- Студеноогънати стоманени елементи:
 - ⌋ Елементи съгласно EN 1993-1-3
- Неръждаеми стомани:
 - ⌋ 5 основни класа прилагане в сградостроителството
 - ⌋ Без специфични оразмерителни проверки
- Вътрешни и външни стоманени конструкции

Общи положения според EN 1993-1-2

Носимоспособността **R** при пожар и нормална температура

Постоянна стайна температура (20 °C)



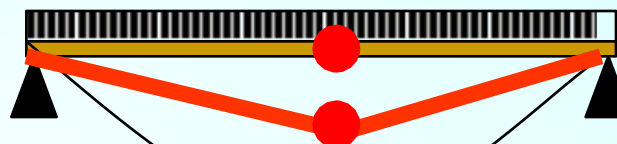
Увеличаваме товара

$M_r(20^\circ\text{C})$ — — — — —

Студено оразмеряване

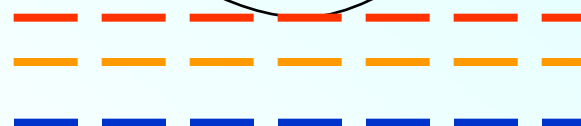
Пожарно оразмеряване

Постоянен товар



Температурата се повишава до разрушение в момент **t**

$M_r(\theta_{crit})$



$M_r(\theta)$

$M_r(20^\circ\text{C})$

Общи положения според EN 1993-1-2

Еврокод позволява
пожароустойчивостта да се
определи по 3 “начина”:

Време:

$$t_{fi,d} > t_{fi,requ}$$

Носимоспособност:

$$R_{fi,d,t} > E_{fi,d,t}$$

Температура:

$$\theta_{cr,d} > \theta_d$$

Само директно .
Осъществим чрез
усложнени модели.

- Осъществим чрез
прости изчисления.
Изчислява се намалена
носимоспособност за
изчислителна
температура
- Най-използван
опростен метод в ЕС3.
Изчислява се критична
температура за дадено
натоварване, сравнява
се с изчислителна
температура.

$t_{fi,d}$: изчислително време на пожароустойчивост

$t_{fi,requ}$: нужно време на пожароустойчивост

Въздействия върху конструкции по време на пожар

- Температурни
- Механични
- Степен на натоварване



Eurocodes 0 and 1

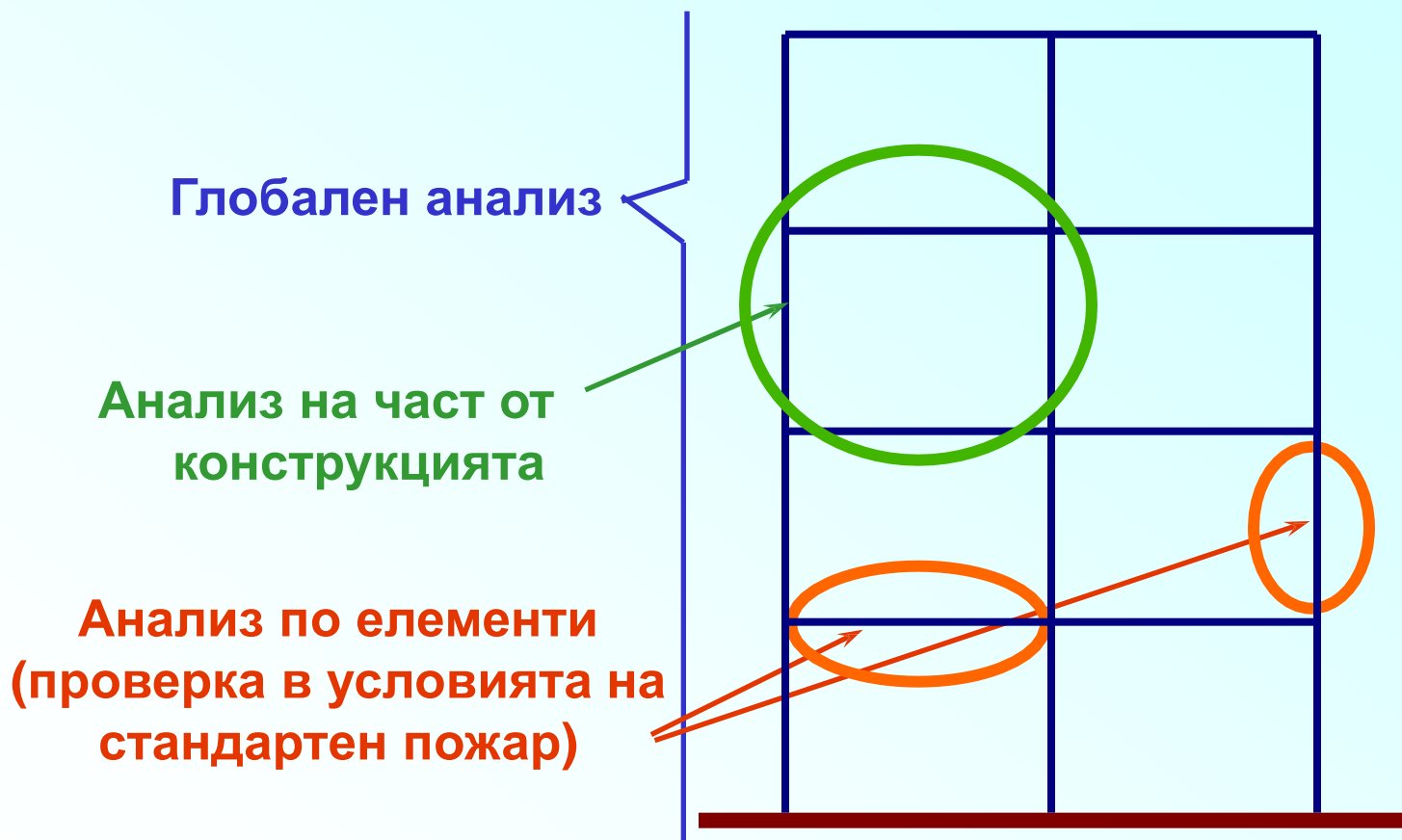
Методи за оразмеряване

- Изчисляване по елементи
- Изчисляване на част от конструкцията
- Цялостен конструктивен анализ

Механични характеристики при повишени температури

- Топлинни характеристики
- Якостни и деформационни характеристики → редукионни характеристики за зависимостта напрежение-деформации
- Частни коефициенти за пожарно оразмеряване

Различни подходи за механичен анализ на конструкция



Два метода за определяне носимоспособността на конструкция по време на пожар

❑ Опростени методи за изчисление

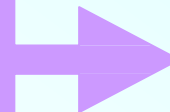
- критична температура
- метод с определяне на носимоспособност



**Нормално
оразмеряване
за пожар**

❑ Усъвършенствани методи

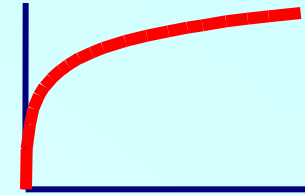
- **всички конструкции**
- **модели базирани на:**
 - **Метод на крайните елементи**
 - **Метод на крайните разлики**



**Усъвършенствано
оразмеряване за
пожар**

Приложение на различните подходи за механичен анализ на конструкцията в пожарна ситуация

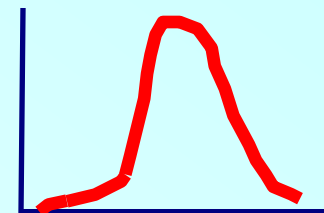
Температурно натоварване дефинирано чрез стандартен пожар



| Тип анализ | Опростени методи за изчисление | Критична температура | Усъвършенствани методи |
|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------|
| Анализ по елементи | Да | Да | Да |
| Анализ на част от конструкцията | Не приложимо | Не приложимо | Да |
| Глобален анализ | Не приложимо | Не приложимо | Да |

Приложение на различните подходи за механичен анализ на конструкцията в пожарна ситуация

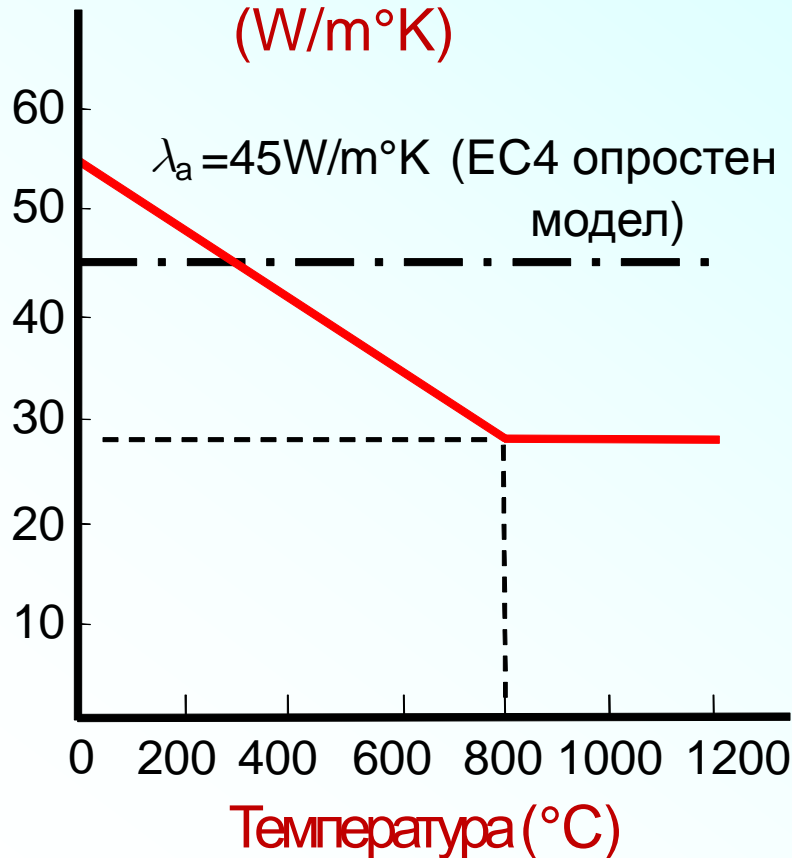
Температурно натоварване дефинирано чрез параметричен пожар



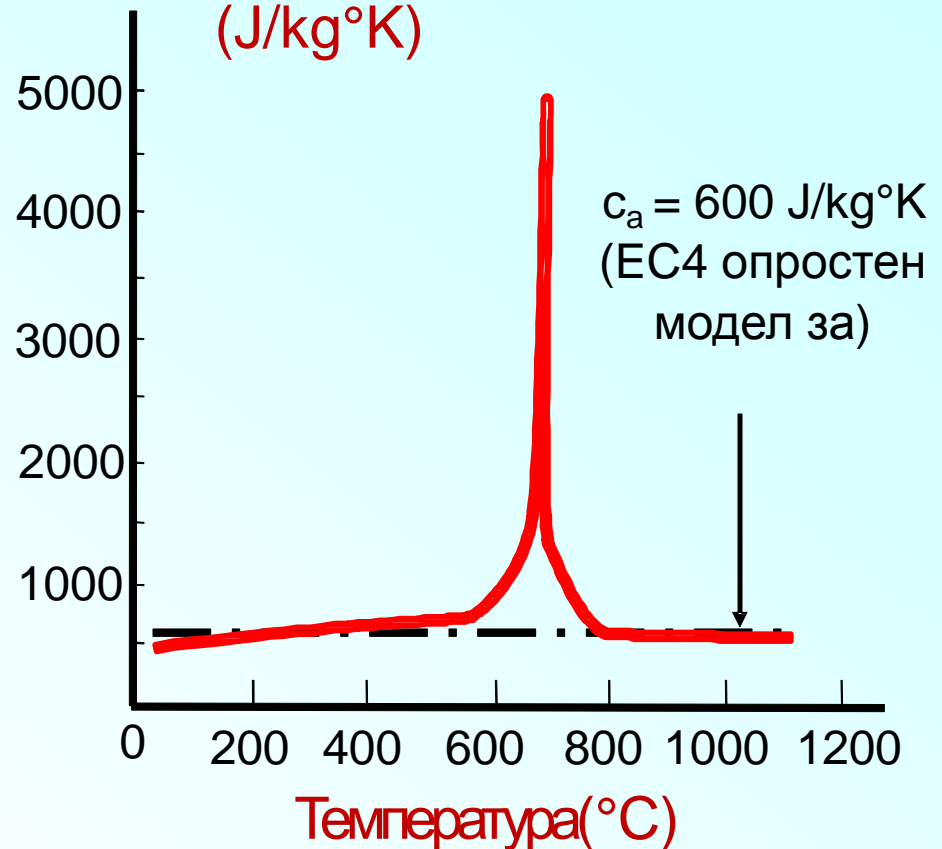
| Тип анализ | Опростени методи за изчисление | Критична температура | Усъвършенствани методи |
|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------|
| Анализ по елементи | Да | Да | Да |
| Анализ на част от конструкцията | Не приложимо | Не приложимо | Да |
| Глобален анализ | Не приложимо | Не приложимо | Да |

Топлинни характеристики на стомана при повишени температури

Топлопроводност (W/m^{°K})



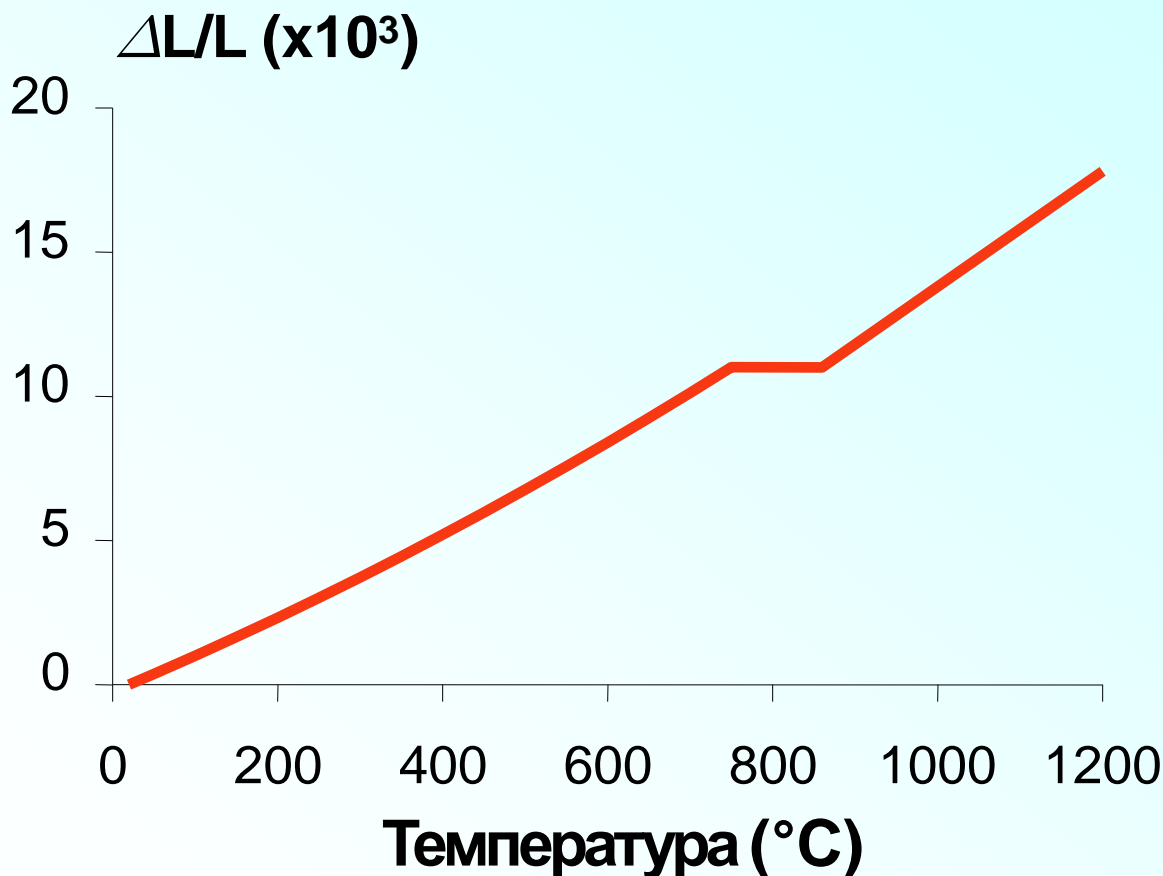
Специфична топлина (J/kg^{°K})



Обемно тегло стомана: 7850 kg/m³

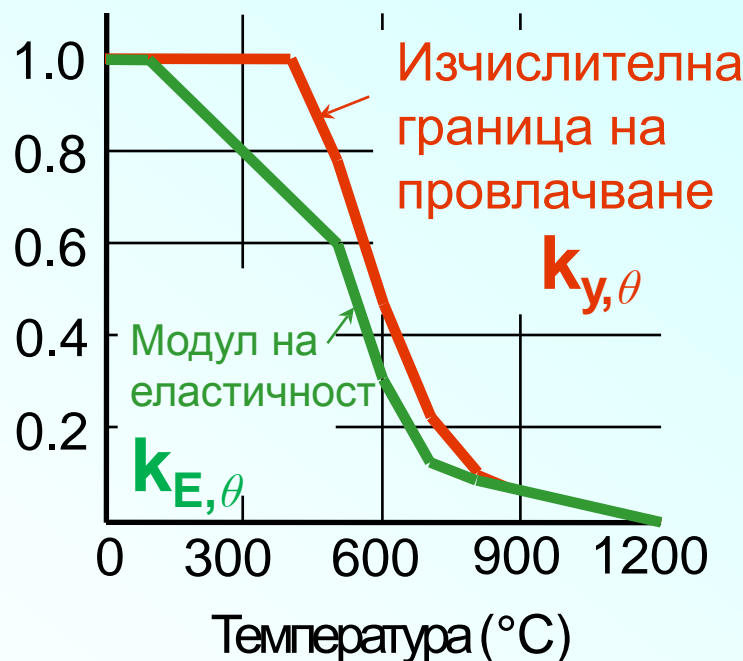
Топлинни характеристики на стомана при повишени температури

Температурно разширение на стомана



Механични характеристики на стомана при повишени температури

Редукционни коефициенти



⌚ **Модулът на еластичност при 600°C намаля около 70%**

⌚ **Якост на провлачване при 600°C намаля над 50%**

Частни коефициенти за стомана при повишени температури

| Тип елементи | Оразмеряване нормална темп. | Оразмеряване пожар |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Сечения | $\gamma_{M0} = 1.05$ | $\gamma_{M,fi} = 1.0$ |
| Елементи | $\gamma_{M1} = 1.05$ | $\gamma_{M,fi} = 1.0$ |
| Опънати елементи до скъсване | $\gamma_{M2} = 1.25$ | $\gamma_{M,fi} = 1.0$ |
| Възли | $\gamma_{M2} = 1.25$ | $\gamma_{M,fi} = 1.0$ |

ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТ

Въздействие в пожарна
ситуация $E_{fi,d,t}$

ТЕМПЕРАТУРА НА СТОМАНАТА

Сграда
категория

$t_{fi,requ}$

Опростен метод - чрез определяне на критичната температура на стоманения елемент

Определяне на натоварване по време на пожар

Начин 1:
$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Препоръки за частните коефициенти се дават в Националните приложения

Редукционен коефициент

Начин 2:

$$E_{fi,d,t} = \eta_{fi} E_d$$

Отношение от натоварване за нормална температура

степен на натоварване

$$\eta_{fi,t} = \frac{E_{fi,d,t}}{R_d}$$

Отношение от носимоспособност за нормална температура

Редукционни коефициенти за натоварване по време на пожар

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} G_k + \psi_{2.1} Q_{k.1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q.1} Q_{k.1}}$$

Оразмеряване за нормална температура

$\gamma_G = 1.35$ Постоянни товари;
 $\gamma_{Q.1} = 1.50$ Експлоатационни товари

Оразмеряване за пожар

$\gamma_{GA} = 1.0$ Постоянни товари; извънредни ситуации
 $\psi_{2.1} = 0.3$ Коефициент за комбинация;

| $Q_{k,1}/G_k$ | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------|------|------|------|------|
| η_{fi} | 0.53 | 0.46 | 0.43 | 0.41 |

ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТ

Въздействие в пожарна
ситуация $E_{fi,d,t}$



Определяне клас на сечението

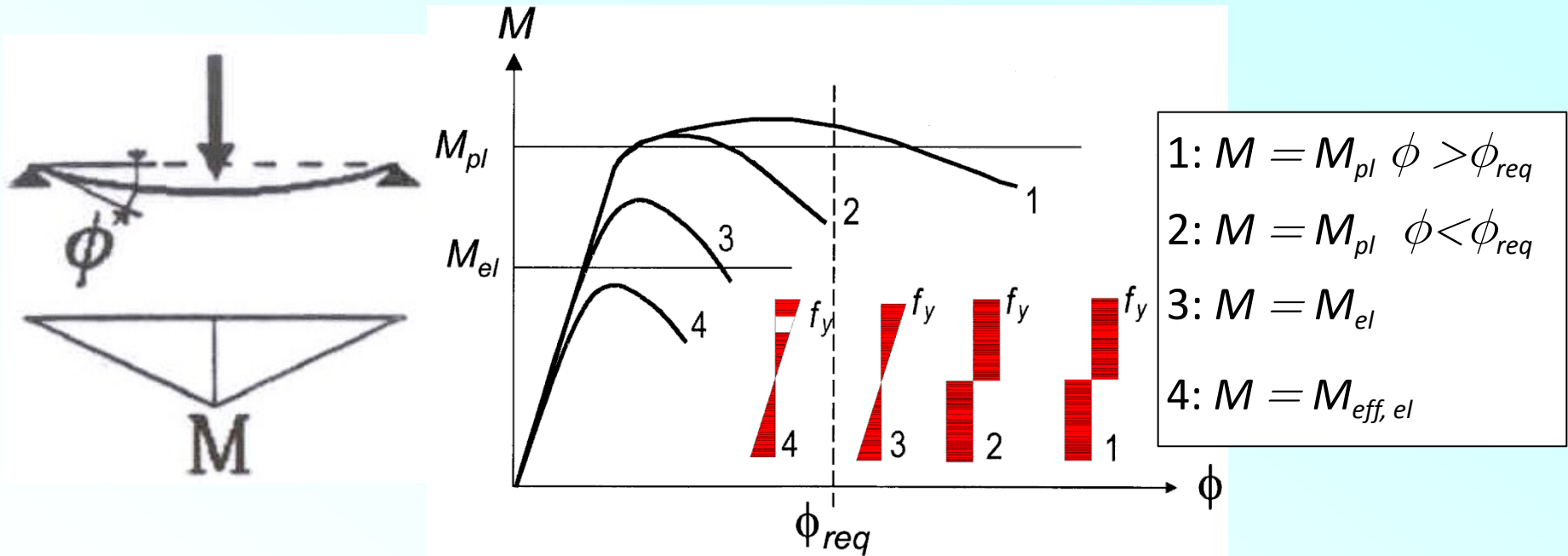
ТЕМПЕРАТУРА НА СТОМАНАТА

Сграда
категория

$t_{fi,requ}$

Опростен метод - чрез определяне на критичната температура на стоманения елемент

Определяне клас на сечението



- Класифициране при нормална температура
- Различна стойност на ε с отчитане на температурното влияние

$$\varepsilon = 0,85 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТ

Въздействие в пожарна
ситуация $E_{fi.d.t}$

Определяне клас на сечението

Носимоспособност при 20°C
по пожарни правила $R_{fi.d.20}$

Степен на
използваемост μ_0

ТЕМПЕРАТУРА НА СТОМАНАТА

Сграда
категория

$t_{fi.requ}$

Опростен метод - чрез определяне на критичната температура на стоманения елемент

“Степен на използваемост”

... е отношение на изчислителния товар върху елемент по време на пожар към изчислителната носимоспособност при нормална температура ($t = 0$), но с частните коефициенти за пожарна ситуация.

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}}$$

Опростено изчисление Степента на използваемост

$$\mu_0 = \eta_{fi,t} \frac{\gamma_{M,fi}}{\gamma_{M1}}$$

- ∅ Може да се използва когато няма риск от огъвно-усуквателна загуба на устойчивост.
- ∅ В полза на сигурността $\eta_{fi,t}$ се изчислява за част от **изчислителния товар** при нормална температура

ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТ

Въздействие в пожарна
ситуация $E_{fi.d.t}$

Определяне клас на сечението

Носимоспособност при 20°C
по пожарни правила $R_{fi.d.20}$

Степен на
използваемост μ_0

Критична
температура θ_{cr}

ТЕМПЕРАТУРА НА СТОМАНАТА

Сграда
категория

$t_{fi.requ}$

Критична температура за стоманени елементи

- Базирана на тестове със стандартен пожар. Само прости елементи.
- Елементи без загуба на устойчивост (клас 1, 2, 3) се третират еднакво.
- Сечения клас 4 се третират консервативно (350°C) или [Анекс Е](#) за по [детайлни](#) [образмерителни](#) [процедури](#)

Критична температура (°C)



Опростен метод - чрез определяне на критичната температура на стоманения елемент

Критичната температура на стоманени елементи, подложени на загуба на устойчивост, може да се определи чрез специални табулирани данни

- Условна стройност на елемента $\overline{\lambda}_{fi,0}$
- Степен на натоварване $\mu_{pl,fi} = N_{fi,d,t} / N_{pl,fi}$

| $\overline{\lambda}_{fi,0}$ | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 |
|-----------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\mu_{pl,fi}$ | 1000 | 977 | 949 | 913 | 880 | 839 | 787 | 742 | 696 | 678 | 659 |
| 0.04 | 900 | 885 | 866 | 837 | 795 | 756 | 700 | 679 | 656 | 630 | 602 |
| 0.06 | 860 | 839 | 811 | 785 | 749 | 697 | 674 | 647 | 616 | 588 | 564 |
| 0.08 | 820 | 797 | 780 | 752 | 703 | 677 | 648 | 614 | 585 | 557 | 527 |
| 0.10 | 792 | 777 | 755 | 719 | 685 | 656 | 622 | 588 | 559 | 526 | 474 |
| 0.12 | 775 | 757 | 730 | 694 | 668 | 636 | 597 | 567 | 533 | 487 | 373 |
| 0.14 | 758 | 737 | 705 | 681 | 652 | 615 | 580 | 546 | 507 | 408 | |
| 0.16 | 742 | 717 | 691 | 668 | 636 | 596 | 563 | 524 | 453 | | |
| 0.18 | 725 | 698 | 680 | 655 | 619 | 582 | 545 | 503 | 384 | | |
| 0.20 | 708 | 689 | 669 | 641 | 603 | 568 | 528 | 457 | | | |
| 0.22 | 696 | 679 | 658 | 628 | 591 | 554 | 511 | 406 | | | |
| 0.24 | 688 | 670 | 647 | 615 | 579 | 540 | 485 | | | | |
| 0.26 | 679 | 660 | 636 | 602 | 568 | 526 | 446 | | | | |
| 0.28 | | | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | | |
| ... | | | | | | | | | | | |

ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТ

Въздействие в пожарна
ситуация $E_{fi,d,t}$

Определяне клас на сечението

Носимоспособност при 20°C
по пожарни правила $R_{fi,d,20}$

Степен на
използваемост μ_0

Критична
температура θ_{cr}

ТЕМПЕРАТУРА СТОМАНА (НЕЗАЩИТЕНА)

Фактор на масивност

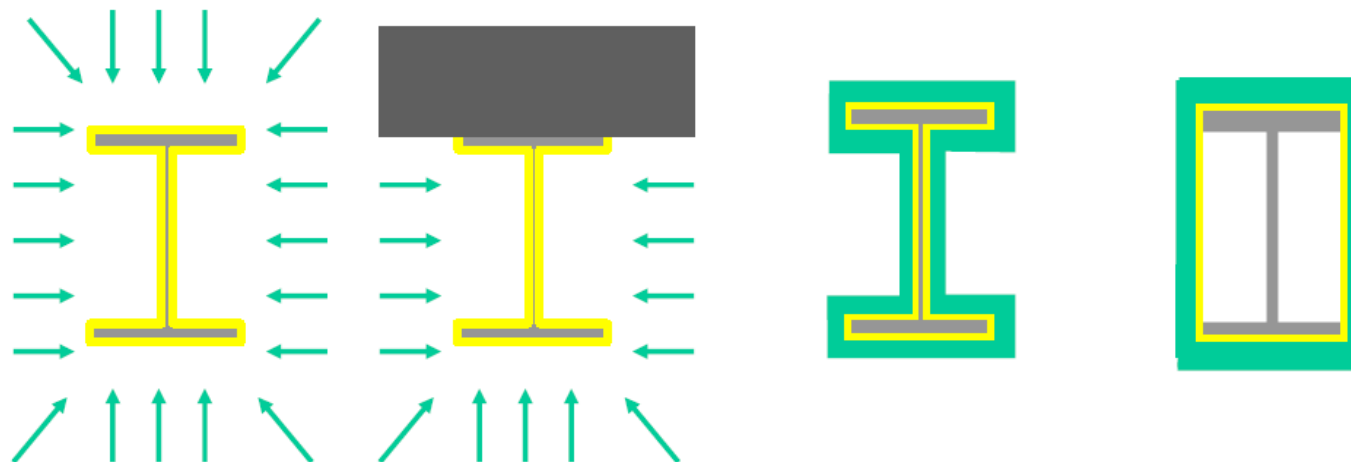
$$A_m/V \text{ и } k_{sh}$$

Сграда
категория

$t_{fi,requ}$

Опростен метод - чрез определяне на критичната температура на стоманения елемент

Фактор на масивност:



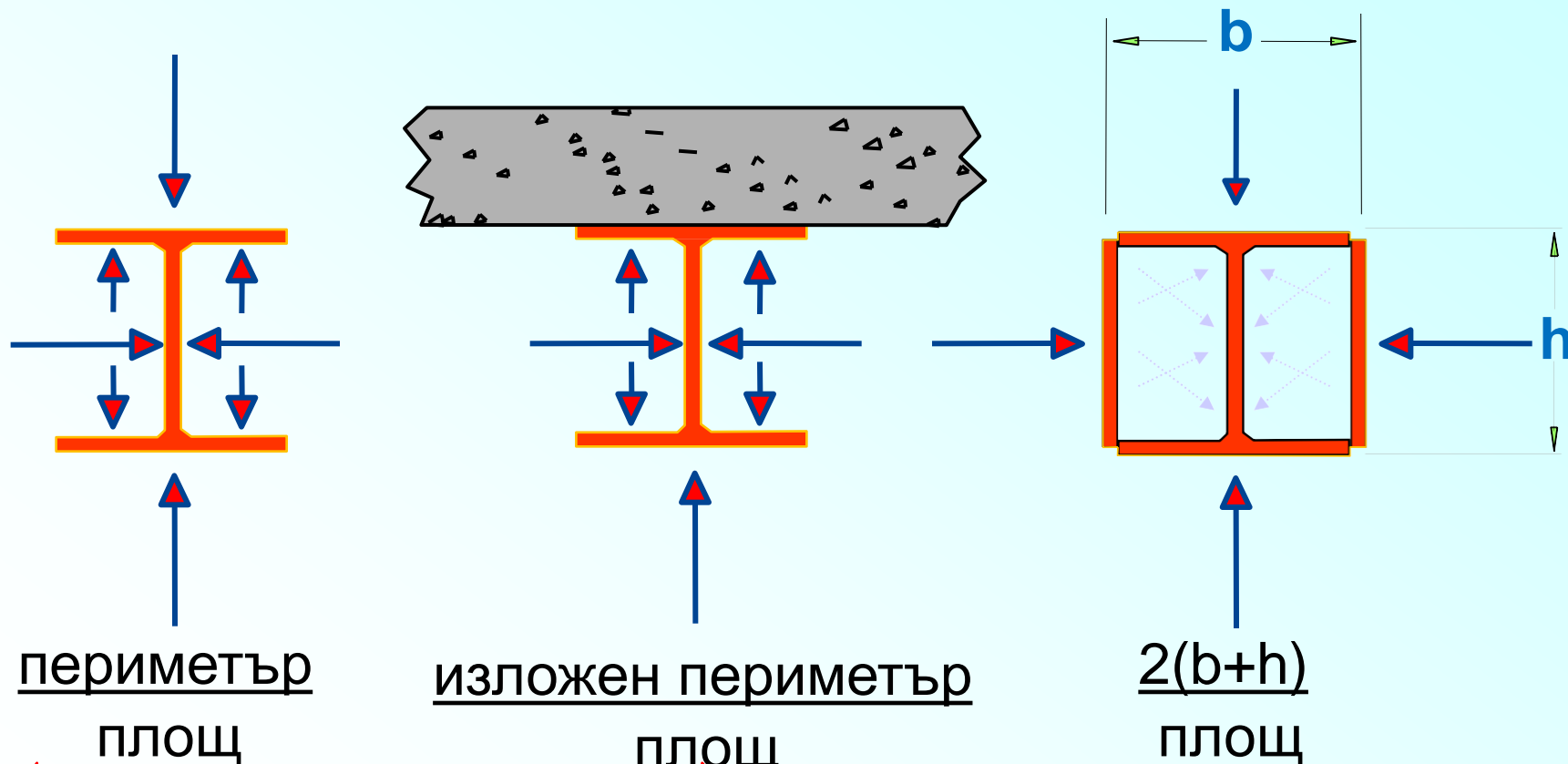
Незащитени стоманени елементи

Изолирани стоманени елементи

Отношението между „периметъра през който стоманата се нагрива“ към „обема на стоманата“

Опростен метод - чрез определяне на критичната температура на стоманения елемент

Фактор на масивност A_m/V – незащитени елементи



Опростен метод - чрез определяне на критичната температура на стоманения елемент

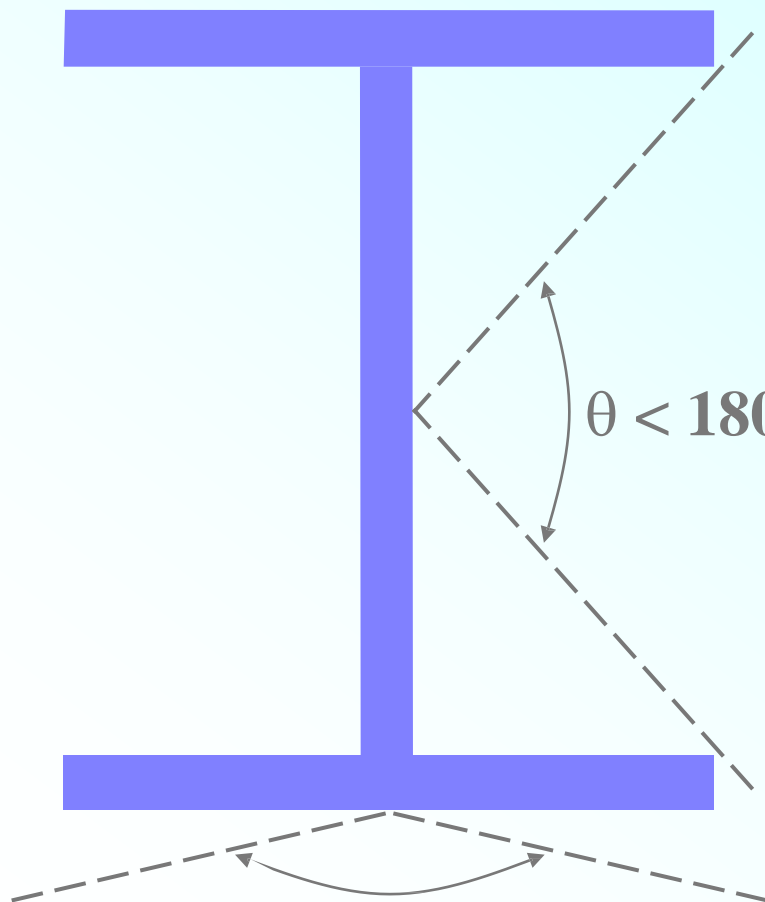
k_{sh} : ефект на засенчването

- Отчита се.
- Не се отчита.

— при изолирани елементи **не се отчита:**

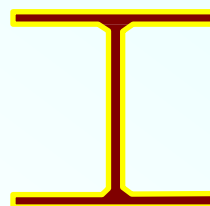
$\theta < 180^\circ$ (Намалена радиация)

$$k_{sh} = 0.9 \left(\frac{A_m}{V} \right)_b / \frac{A_m}{V}$$

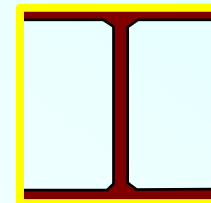


$\theta = 180^\circ$

Пълна радиация



$$\frac{A_m}{V}$$



$$\left(\frac{A_m}{V} \right)_b$$

ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТ

Въздействие в пожарна ситуация $E_{fi,d,t}$

Определяне клас на сечението

Носимоспособност при 20°C по пожарни правила $R_{fi,d,20}$

Степен на използваемост μ_0

Критична температура θ_{cr}

ТЕМПЕРАТУРА СТОМАНА (НЕЗАЩИТЕНА)

Фактор на масивност A_m/V и k_{sh}

Итерационно изчисление докато $\theta_{fi,d} = \theta_{cr}$
При време $t_{fi,d}$

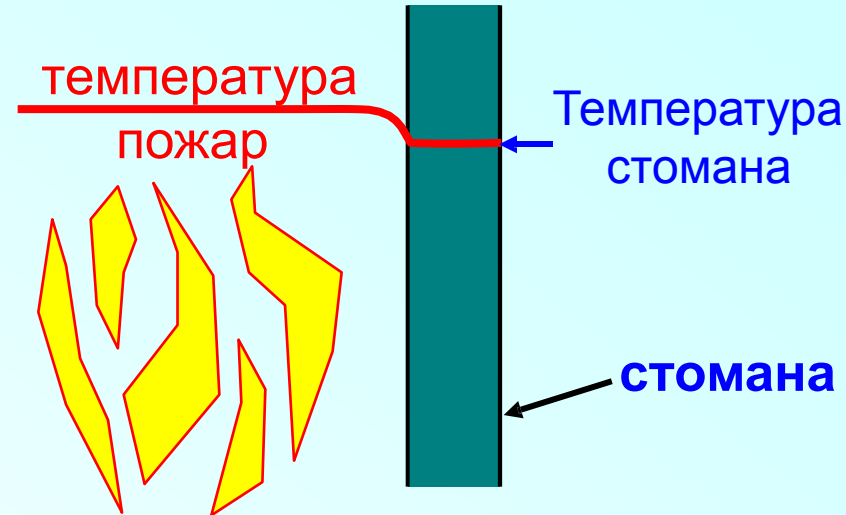
Сграда категория $t_{fi,requ}$

Опростен метод - чрез определяне на критичната температура на стоманения елемент

Температурно нарастване на незащитени стоманени елементи

Нарастване във времева стъпка Δt (≤ 5 секунди) :

$$\Delta\theta_{a.t} = \frac{k_{sh}}{c_a \rho_a} \frac{A_m}{V} h_{net.d} \Delta t$$



Топлинния поток $h_{net.d}$

има 2 части:

радиация:

$$h_{net,r} = 5.67 \times 10^{-8} \Phi \varepsilon_{res} \left((\theta_g + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right)$$

конвекция:

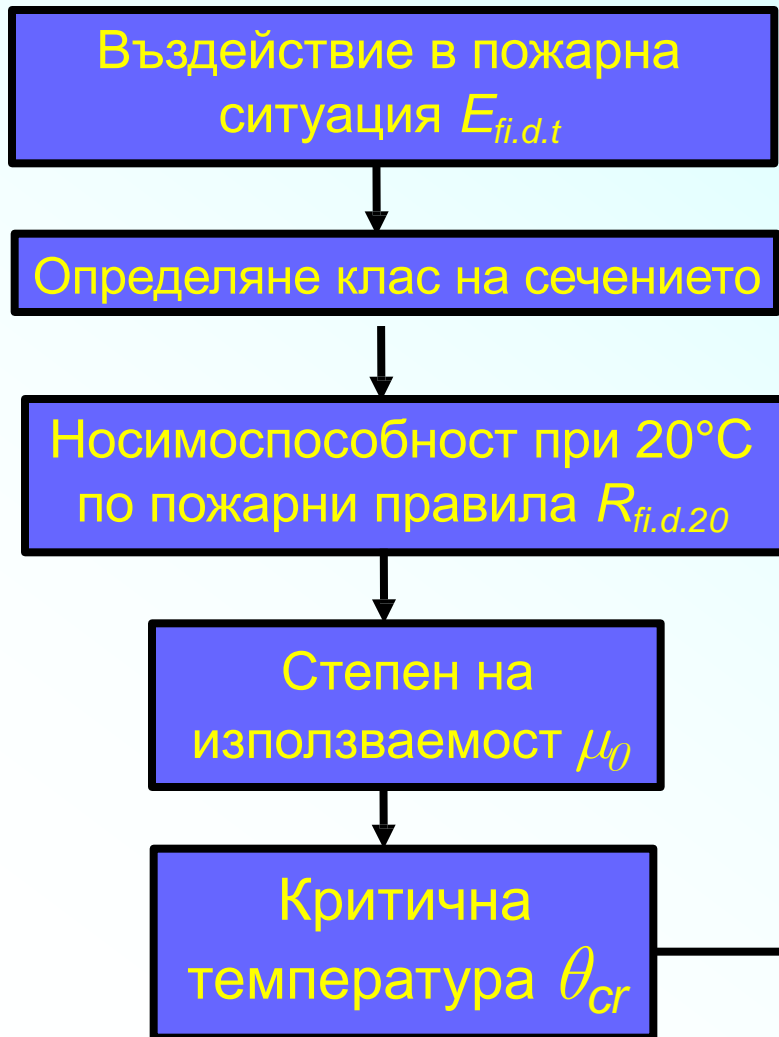
$$h_{net,c} = \alpha_c (\theta_g - \theta_m)$$

При номинални пожари

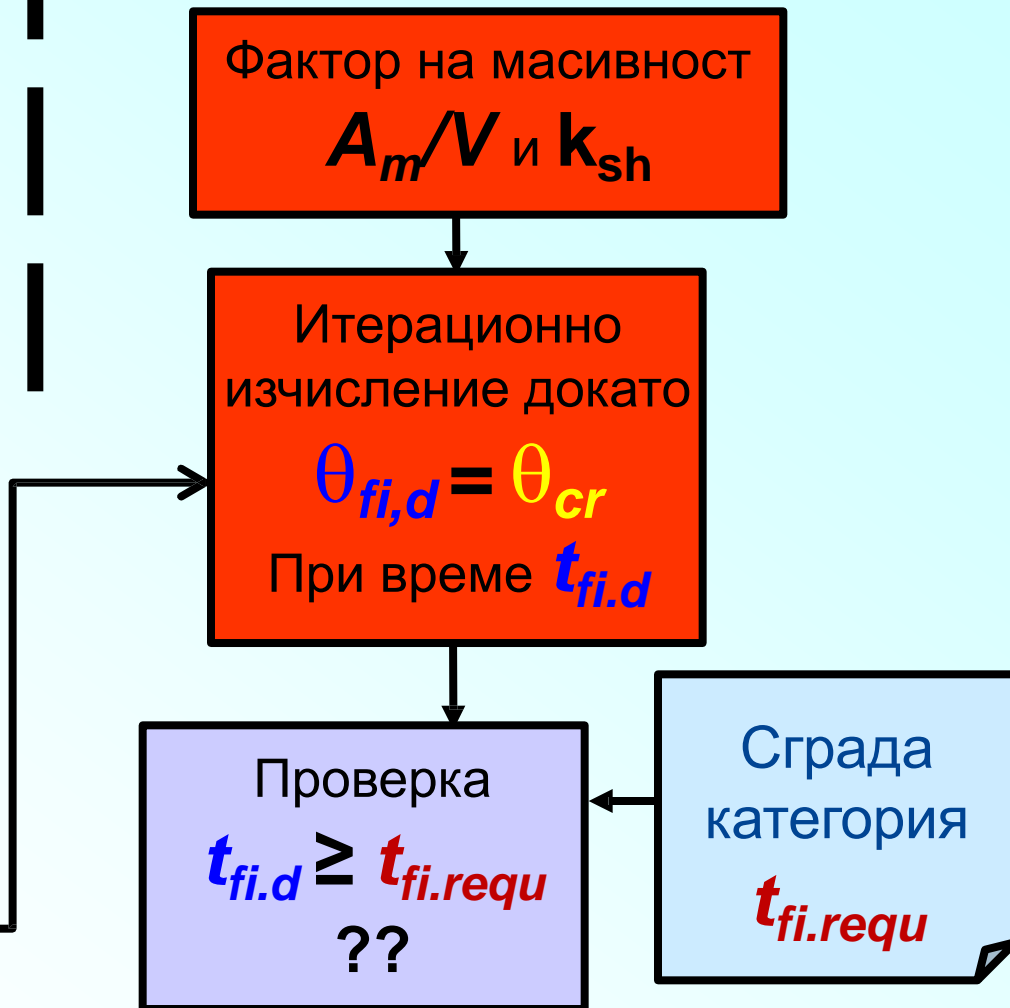
$$\varepsilon_{res} = 0.7 \text{ and } \phi = 1.0$$

$$\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТ



ТЕМПЕРАТУРА СТОМАНА (НЕЗАЩИТЕНА)



ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТ

Въздействие в пожарна
ситуация $E_{fi.d.t}$

Определяне клас на сечението

Носимоспособност при 20°C
по пожарни правила $R_{fi.d.20}$

Степен на
използваемост μ_0

Критична
температура θ_{cr}

ТЕМПЕРАТУРА СТОМАНА (ЗАЩИТЕНА)

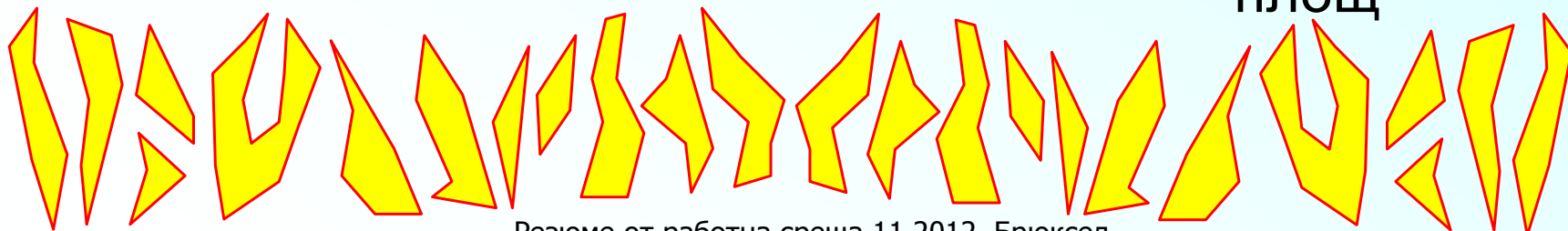
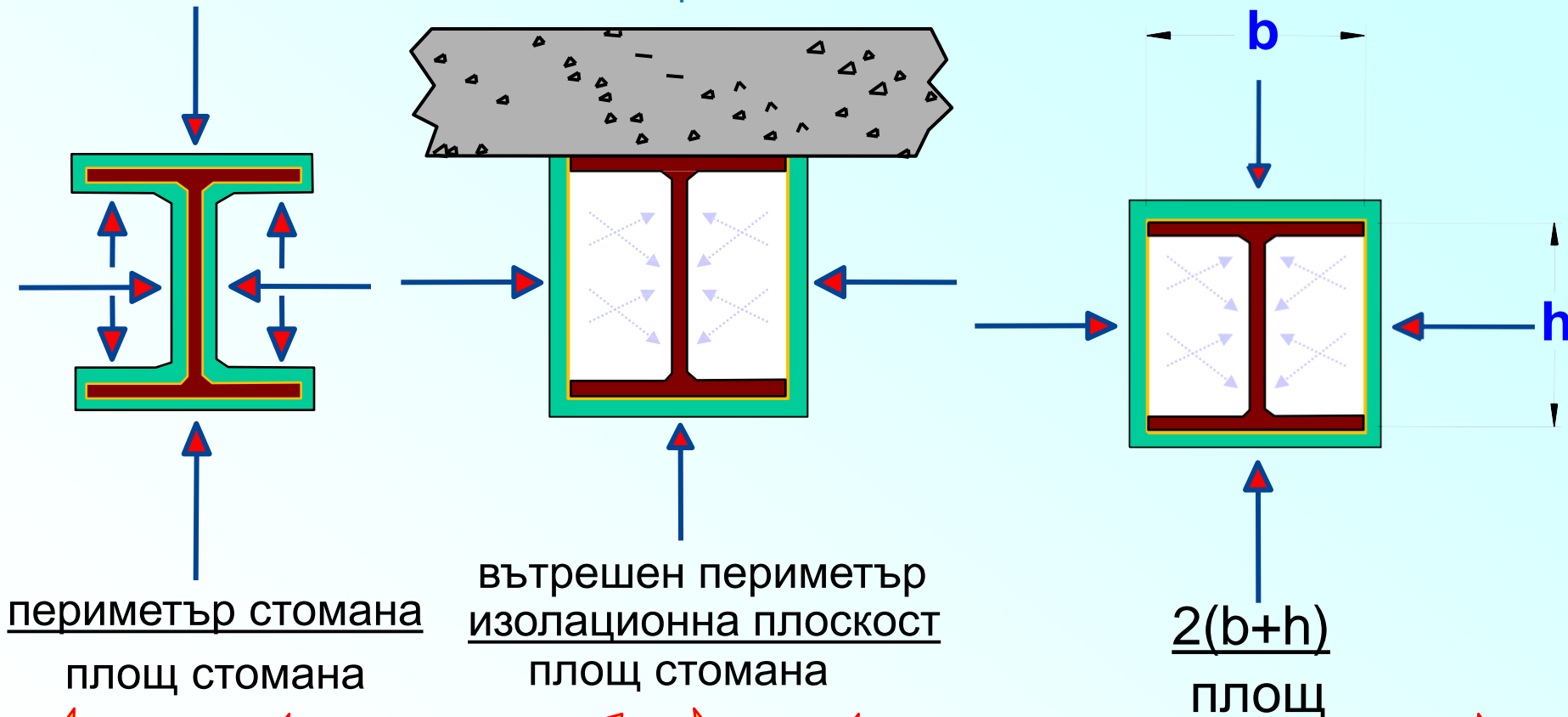
Фактор на масивност
 A_p/V

Сграда
категория

$t_{fi.requ}$

Опростен метод - чрез определяне на критичната температура на стоманения елемент

Фактор на масивност A_p/V – защитени елементи



ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТ

Въздействие в пожарна ситуация $E_{fi,d,t}$

Определяне клас на сечението

Носимоспособност при 20°C по пожарни правила $R_{fi,d,20}$

Степен на използваемост μ_0

Критична температура θ_{cr}

ТЕМПЕРАТУРА СТОМАНА (ЗАЩИТЕНА)

Фактор на масивност
 A_p/V

Итерационно изчисление докато
 $\theta_{fi,d} = \theta_{cr}$
При време $t_{fi,d}$

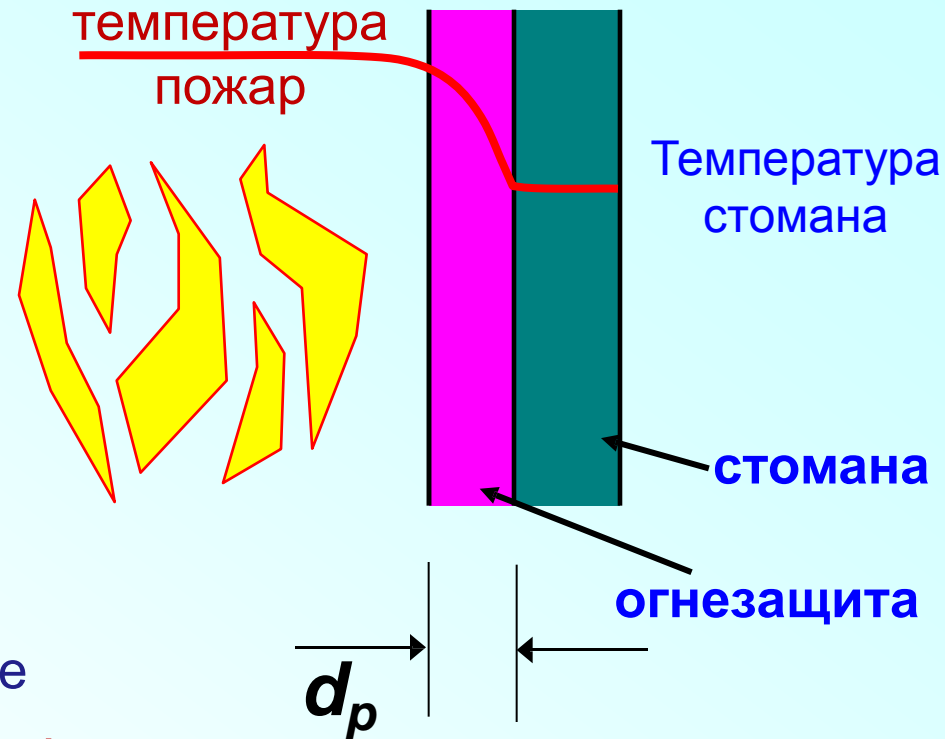
Сграда категория
 $t_{fi,requ}$

Опростен метод - чрез определяне на критичната температура на стоманения елемент

Температурно нарастване на незащитени стоманени елементи

- Топлина се задържа в огнезащитния слой
- Задържана топлина в огнезащитния слой към тази в стоманения елемент

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p \frac{A_p}{V}$$

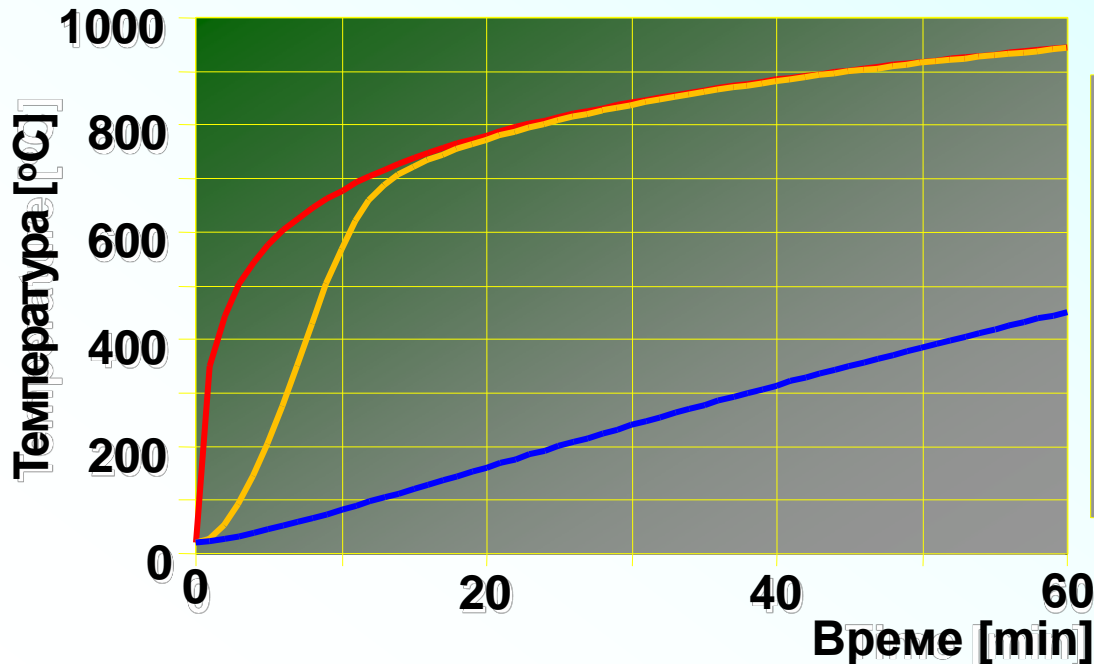


- Времени интервал за нарастване на температура Δt (≤ 30 секунди)

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p / d_p}{c_a \rho_a} \frac{A_p}{V} \left(\frac{1}{1 + \phi / 3} \right) (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \Delta t - (e^{\phi / 10} - 1) \Delta\theta_{g,t}$$

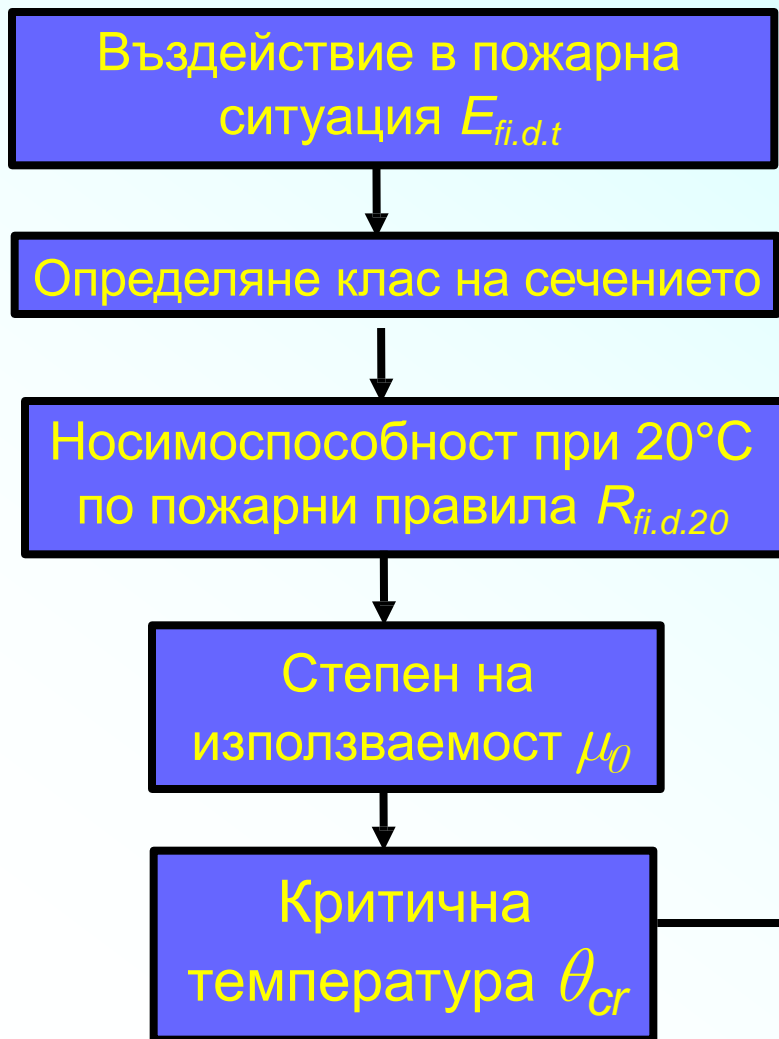
Опростен метод - чрез определяне на критичната температура на стоманения елемент

Примери на защитени елементи

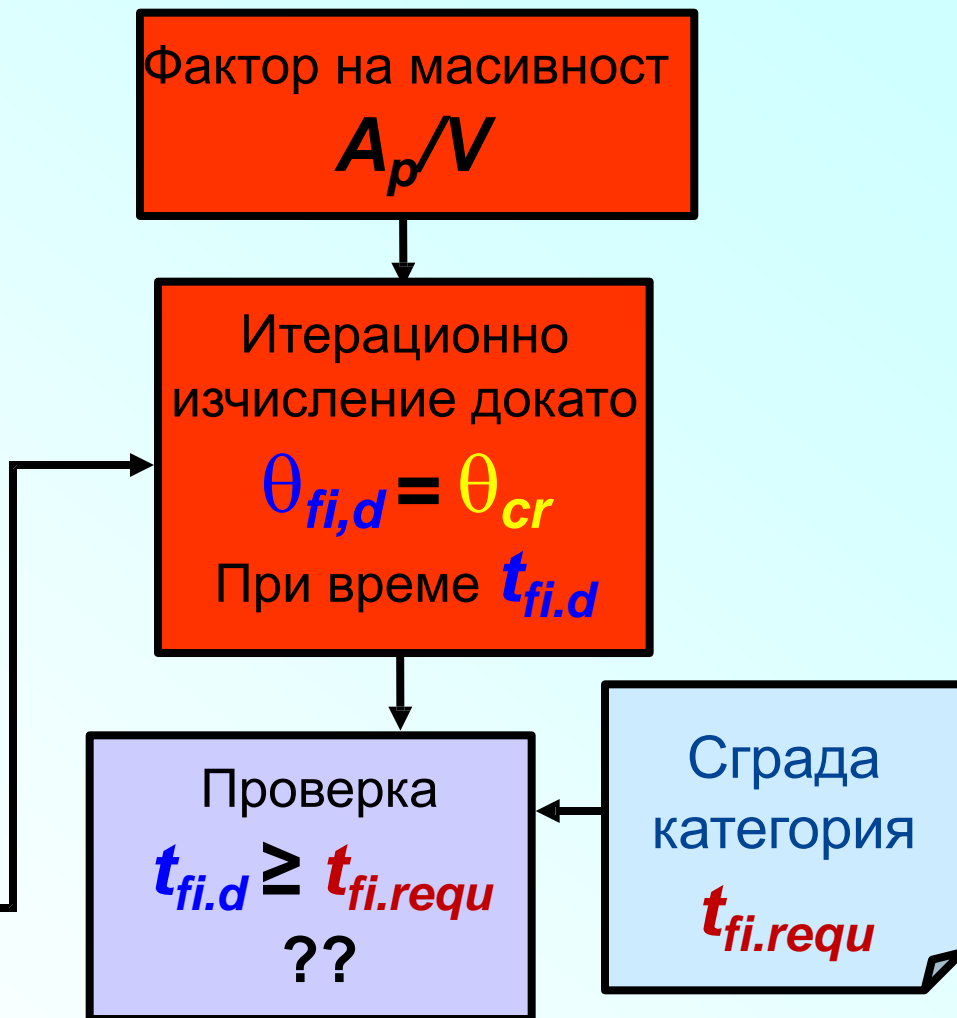


- Стандартна крива
- $A_m / V = 100$ [m⁻¹]
- $A_p / V = 100$ [m⁻¹]
+ изолация

ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТ



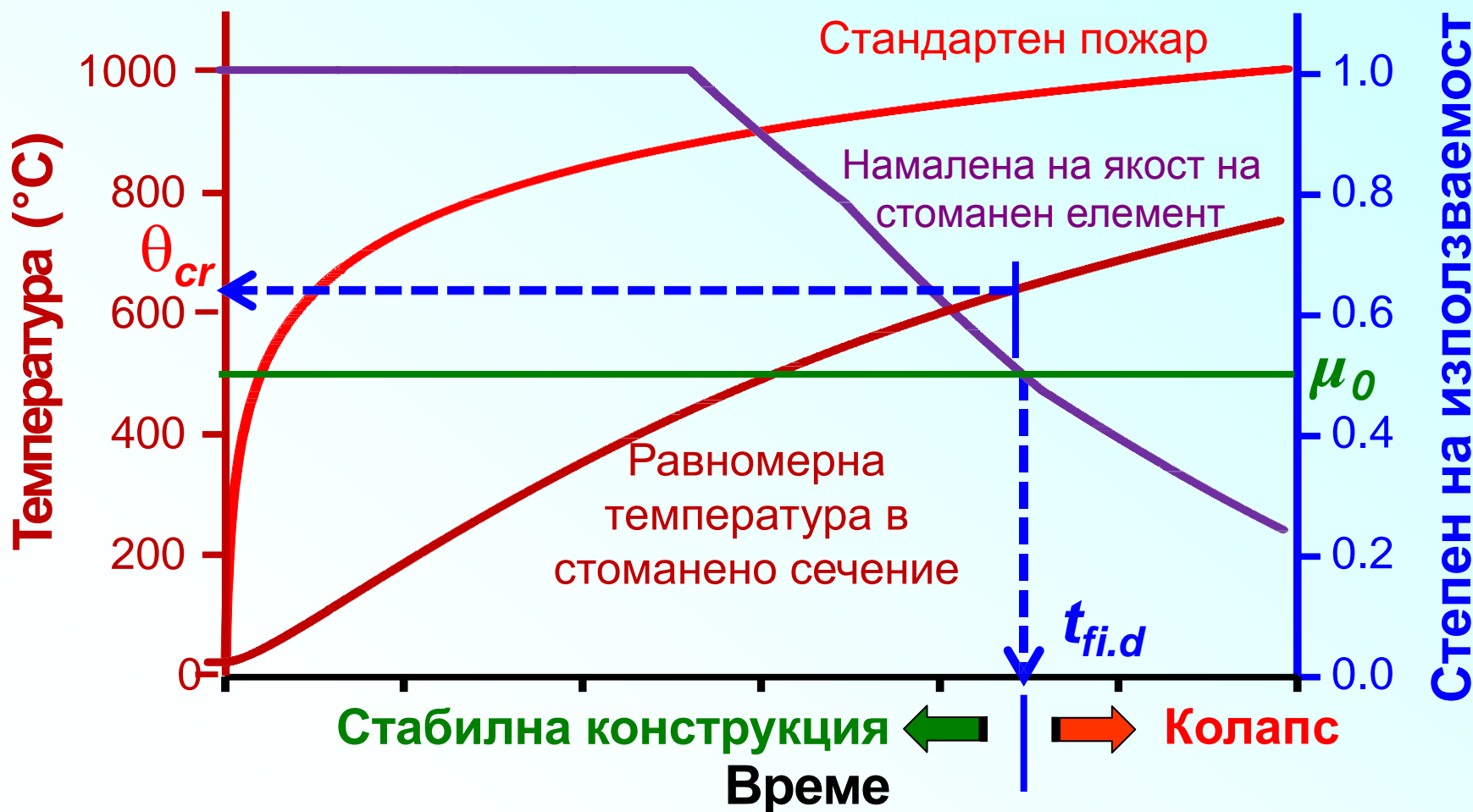
ТЕМПЕРАТУРА СТОМАНА (ЗАЩИТЕНА)



Опростен метод - чрез определяне на критичната температура на стоманения елемент

Критична температура за стоманени елементи

- Предпоставки: равномерна температура на стоманен елемент

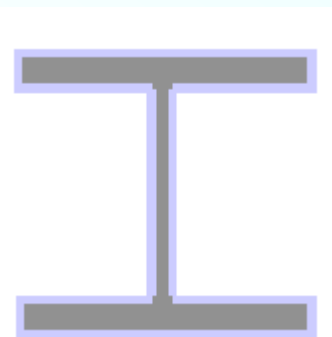


Опростен метод - чрез определяне на носимоспособността на стоманения елемент

Опън, чисто огъване и натиск без загуба на устойчивост (клас 1 до 3)

клас
1 и 2

клас 3

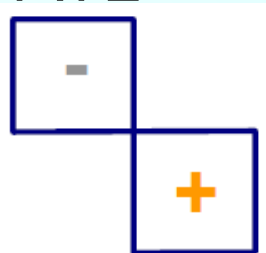


A_t

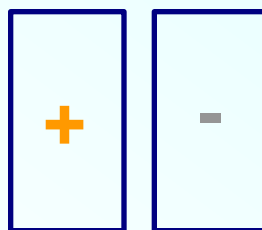
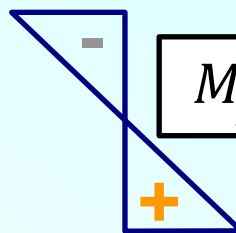
Площ
сечение



Температурно
разпределение



$f_{y,\theta}$



напрежение

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,\vartheta} M_{Rd} [\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}]$$

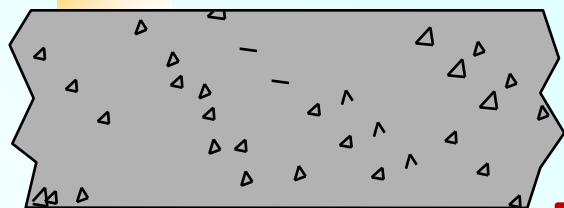
Чисто огъване

$$N_{fi,t,Rd} = k_{y,\vartheta} N_{Rd} [\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}]$$

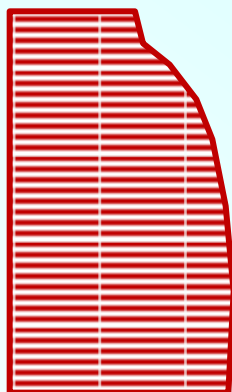
Опън или натиск

носимоспособност

Опростен модел чрез определяне на носимоспособността на стоманения елемент



Коефициенти на адаптация отчитат неравномерното разпределение на температура в сечението.



Темп.

Носимоспособност огъване:

$$M_{fi,t,Rd} = M_{Rd} k_{y,\theta} \left(\frac{\gamma_{M,1}}{\gamma_{M,fi}} \right) \frac{1}{k_1 k_2}$$

Носимоспособност срязване:

$$V_{fi,t,Rd} = V_{Rd} k_{y,\theta} \max \left\{ \frac{\gamma_{M,1}}{\gamma_{M,fi}} \right\}$$

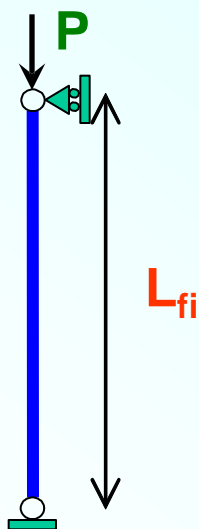
$k_1 = 1.0$ за равномерно разпределени на температура;
0.7 или 0.85 при плоча над горен пояс

$k_2 = 0.85$ при опори на непрекъснатата греда;

1.0 за всички останали случаи (разпределение по дължина на гредата).

Опростен метод - чрез определяне на носимоспособността на стоманения елемент

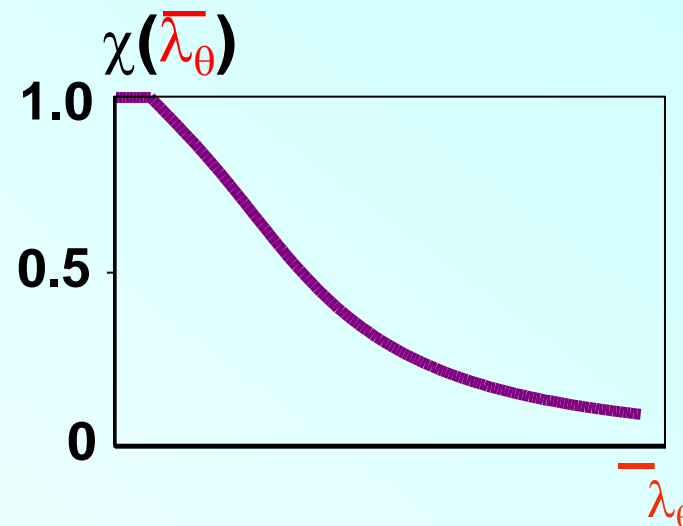
Огънати и/или натиснати елементи с отчитане загуба на устойчивост (клас 1 до 3)



L_{fi}



Сечение и температура



Специална крива

Носимоспособност:

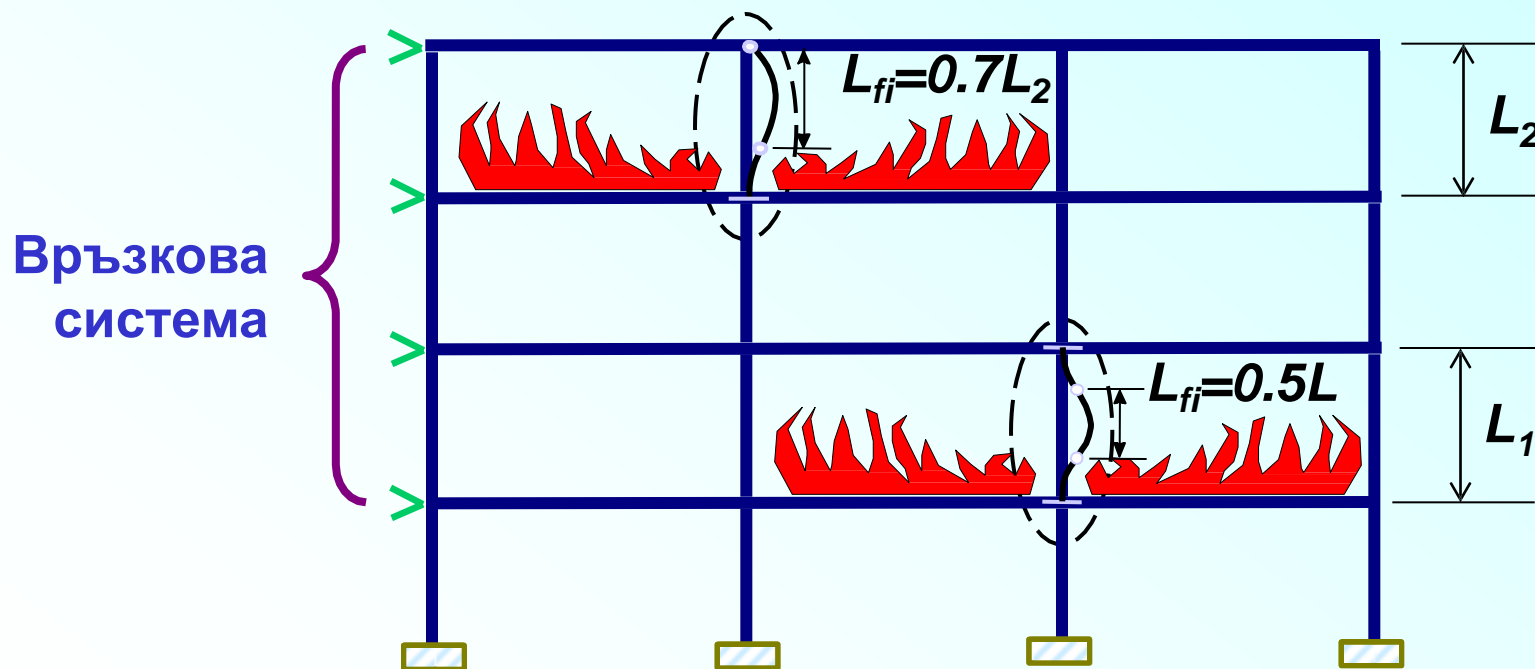
$$N_{fi,t,Rd} = \chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}$$

$\chi(\lambda_\theta) \Leftarrow$ носимоспособност и стройност на сечение + изкълчвателна дължина L_{fi}

Опростен метод - чрез определяне на носимоспособността на стоманения елемент

Изкълчвателна дължина на колони в пожарна ситуация

- връзкови конструкции
- непрекъснати колони
- еднаква носимоспособност на пожар (R) между колона и плоча



Общи изисквания съгласно Наредба Из-1971

За строително-технически правила и норми за
осигуряване на безопасност при пожар

Глава трета

ОГНЕУСТОЙЧИВОСТ. ИЗИСКВАНИЯ КЪМ СТРОИТЕЛНИТЕ КОНСТРУКЦИИ И ЕЛЕМЕНТИ

Общи изисквания съгласно Наредба Из-1971

Чл. 9. (1) Строителните конструкции и елементи се проектират с огнеустойчивост, която да удовлетворява основните критерии за Носимоспособност (R) , непроницаемост (E) и изолиращата (I) способност.

Чл. 10. (2) Огнеустойчивостта на строителните конструкции и елементи може да се определя и въз основа на резултатите от:

1. изпитвания;
2. изчисления;
3. сравнения (при използването на таблици).

(3) Проектната огнеустойчивост на строителните конструкции може да се определя въз основа на нормите и методите за проектиране и изчисляване от системата стандарти "Конструктивни еврокодове", въведени като БДС EN 1990 и национално определените към тях параметри.

(4) Класификацията по огнеустойчивост на строителните конструкции и елементи въз основа на сравнителни резултати е дадена в приложение № 5.

Общи изисквания съгласно Наредба Из-1971

- Чл. 12.** (1) Сградите или части от тях се подразделят на степени на огнеустойчивост в зависимост от огнеустойчивостта на основните строителни конструкции и елементи и класа по реакция на огън на строителните продукти, от които те са изработени, съгласно табл. 3.
- (2) За осигуряване на огнеустойчивостта на строителните конструкции и елементи се използват строителни продукти за покрития (огнезащитни бои, състави, облицовки и др. под.) и технически решения в зависимост от сечението, броя на нагряваните страни и фактора на масивност на профилите.
- (3) Огнеустойчивостта на носещите стоманени строителни елементи се определя чрез носимоспособността им (R) при огнево натоварване. При проектиране критичната температура на стоманените елементи може да се определя в съответствие с чл. 10, ал. 2 или 3 или се приема, както следва:**

Общи изисквания съгласно Наредба Из-1971

1. критична температура, равна или по-малка от **550 °C** – при огнезащита на четиристранно нагривани стоманени елементи с I, 2Т и други видове отворени сечения;
2. критична температура, равна или по-малка от **520 °C** – при огнезащита на четиристранно нагривани стоманени елементи с правоъгълно кухо кутиеобразно сечение на профилите;
3. критична температура, равна или по-малка от **550 °C** – при огнезащита на стоманени елементи с кръгло кухо сечение на профилите;
4. критична температура, равна или по-малка от **590 °C** – при огнезащита на тристранно нагривани стоманени елементи с правоъгълно кухо кутиеобразно сечение на профилите;
5. критична температура, равна или по-малка от **620 °C** – при огнезащита на тристранно нагривани стоманени елементи с I, 2Т и други видове отворени сечения на профилите.

Общи изисквания съгласно Наредба Из-1971

Минимална огнеустойчивост на конструктивни елементи на сгради Таблица 3

| Степен на огнеустойчивост на сградите | Минимална огнеустойчивост, в минути на конструктивни елементи на сгради | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---|---------------------|-----------------------|-----------------------|--|--|-------------------|--------------------------|-------------------------------|--|---|---|
| | Колони и рамки | Външни носещи стени | Вътрешни носещи стени | Външни неносещи стени | Вътрешни неносещи стени и стени по пътя за евакуация | Междуетажни прегорadni конструкции (плочи и греди) | Стени на стълбища | Стени на пожарни сектори | Площадки и рамена на стълбища | Покривна конструкция над междуетажна конструкция | Покривна конструкция без защита с междуетажна конструкция | Самоносещи се покривни покрития (панели и с-ми) |
| Критерии | R | R,E | R,E,I | E | E,I | R,E,I | R,E,I | R,E,I | R | R | R | R,E,I |
| I | 180 | 120 | 120 | 30 | 60 | 120 | 120 | 120 | 90 | 15 | 60 | 30 |
| II | 120 | 120 | 120 | 15 | 60 | 90 | 120 | 60 | 60 | 15 | 60 | 30 |
| III | 60 | 60 | 60 | 15 | 30 | 60 | 60 | 60 | 60 | не се нормира | 30 | 15 |
| IV | 30 | 30 | 30 | 15 | 15 | 30 | 30 | 30 | 15 | не се нормира | 15 | 15 |
| V | Не нормира се | | | | | | | | | | | |

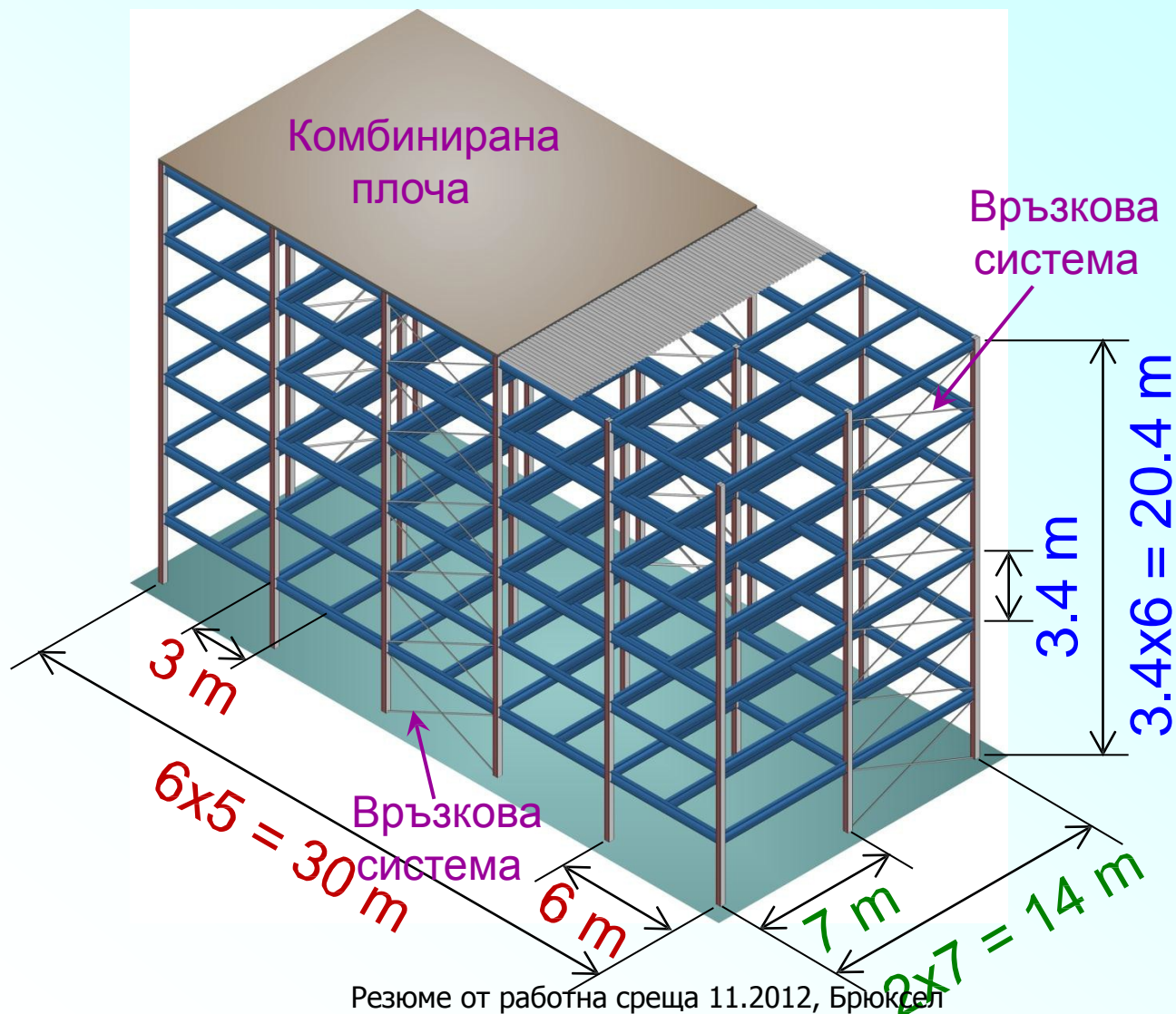
- Настоящата „Наредба Из-1971 за строително-технически правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар“ позволява използването на системата конструктивни Еврокодове за изчисляване на огнеустойчивостта на носещите стоманени строителни елементи.
- Във наредбата е дадено изискваното време на излагане на пожарно въздействие t , в което конструкцията запазва носеща способност спрямо категорията на сградата по огнеустойчивост.
- Критичните температури на различни видове стоманени елементи дадени в Наредба Из-1971 са консервативни (доказано в приложените работни примери) – като това води до преразход на материали за огнезащита.

Пожароустойчивост на стоманени конструкции

- Работни примери
- Според EN1993-1-2

Сграда със стоманена конструкция

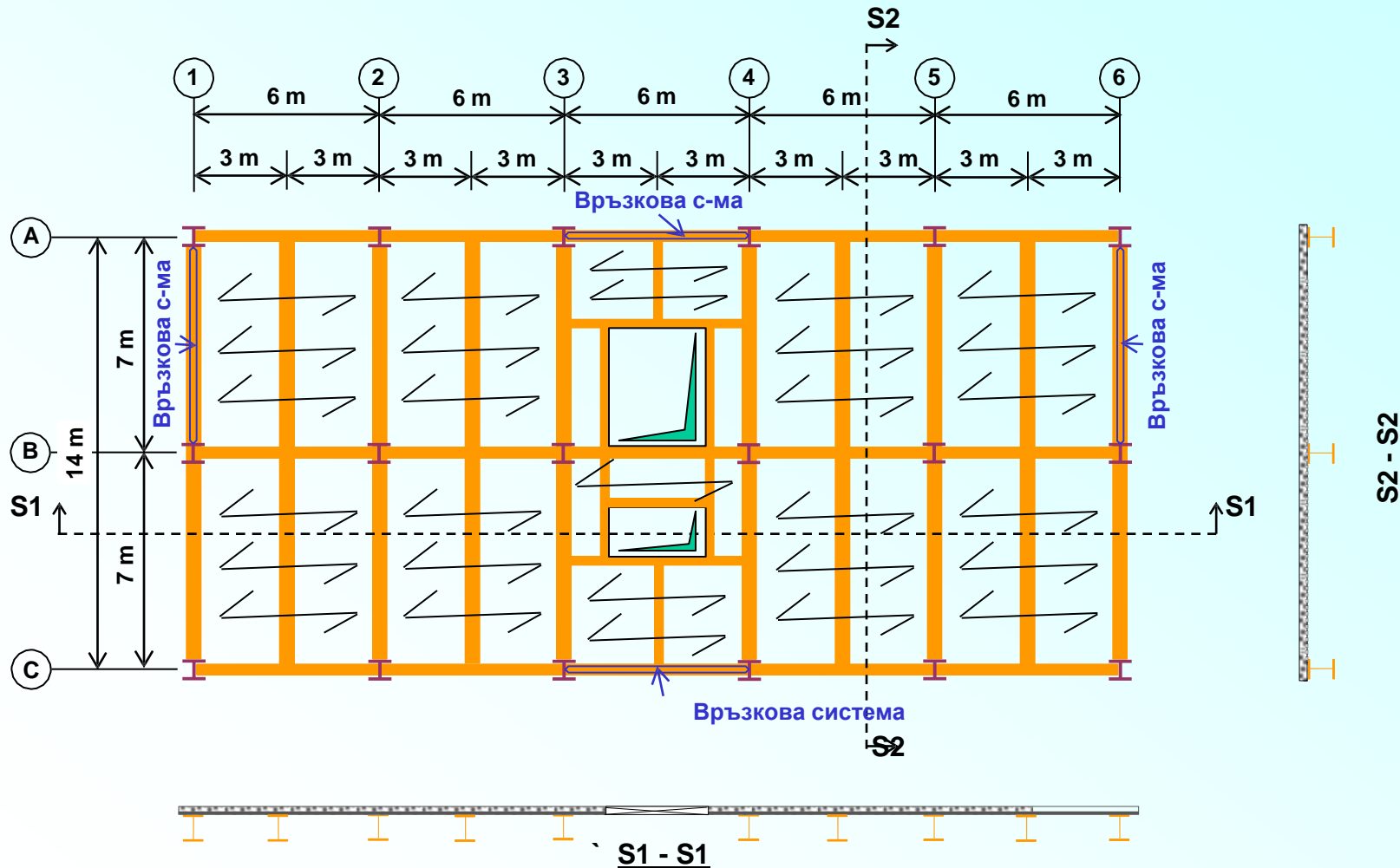
3D изглед на стоманената конструкция



Композиция на сградата

План на стоманената конструкция

- Комбинирана плоча на два отвора



Данни за проектиране

Елементи на конструкцията

- Комбинирана плоча:
 - ⌋ Обща дебелина: 12 cm
 - ⌋ Профилирана ламарина: COFRAPLUS60
 - ⌋ Дебелина на ламарината: 0.75 mm
 - ⌋ Непрекъснатата плоча на 2 отбора
- Основни второстепенни греди:
 - ⌋ IPE360 от стомана клас S275
- Вътрешни главни греди:
 - ⌋ HEA360 от стомана клас S275
- Колони на наземно ниво:
 - ⌋ Ъглови колони (наземно ниво): HEA300 от стомана клас S275
 - ⌋ Вътрешни колони (наземно ниво): HEB300 от стомана клас S275

Въздействия върху конструкцията

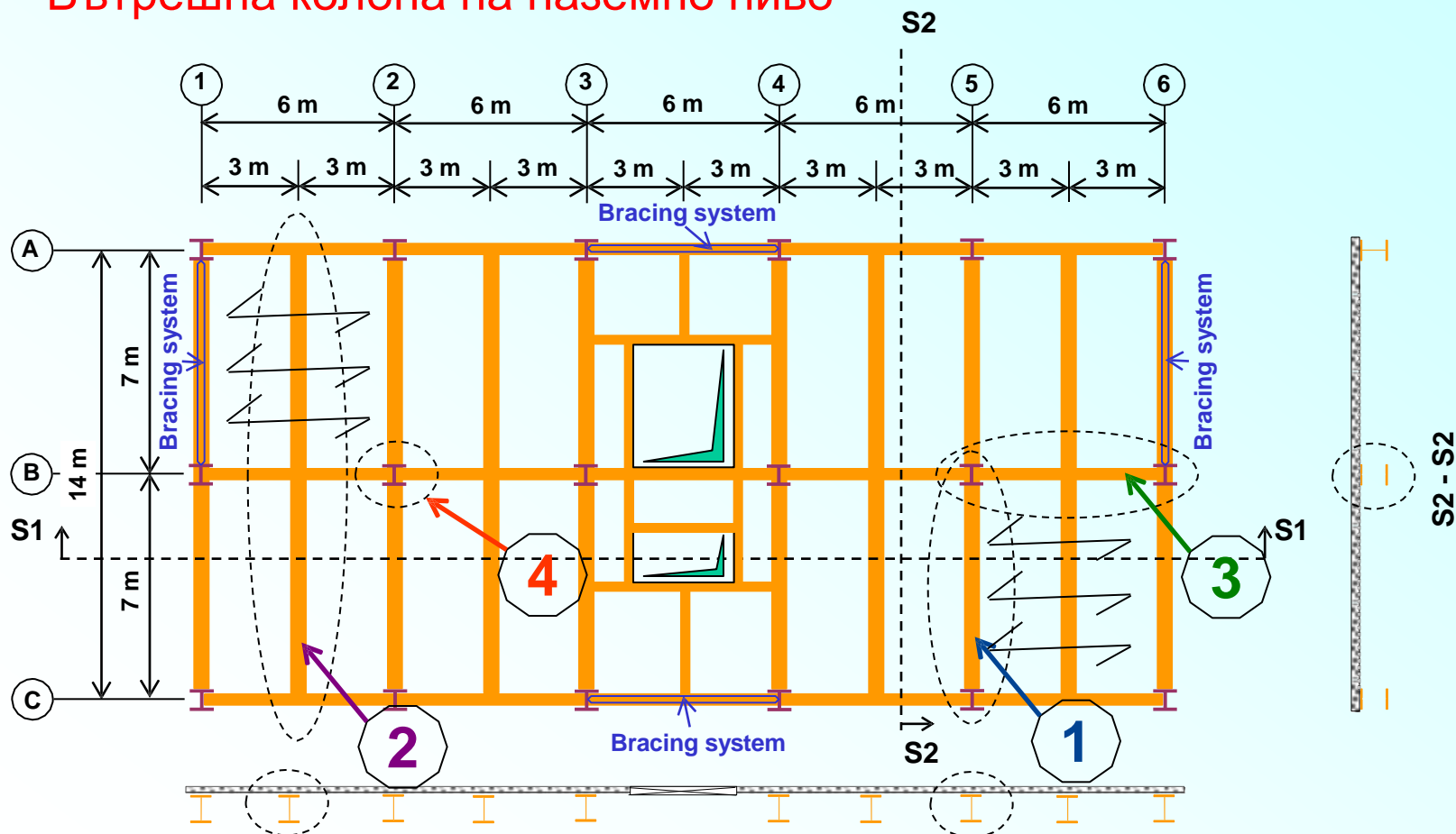
Въздействия (за всички плочи)

- Собствено тегло G1:
 - ↳ Комбинирана плоча: 2.12 kN/m²
 - ↳ Стоманени конструктивни елементи: според техните размери
- Постоянни тегла G2:
 - ↳ замазки, инсталации, преградни стени: 1.50 kN/m²
- Постоянно тегло G3:
 - ↳ Окачена фасада: 2.00 kN/m
- Характеристични стойности на експлоатационно натоварване и ψ коефициенти на комбинация

| Туре | q_k | ψ_1 | ψ_2 |
|--------------------------|-----------------------|----------|----------|
| Върху плочи | 4.0 kN/m ² | 0.7 | 0.6 |
| Сняг върху покрив | 1.7 kN/m ² | 0.2 | 0.0 |

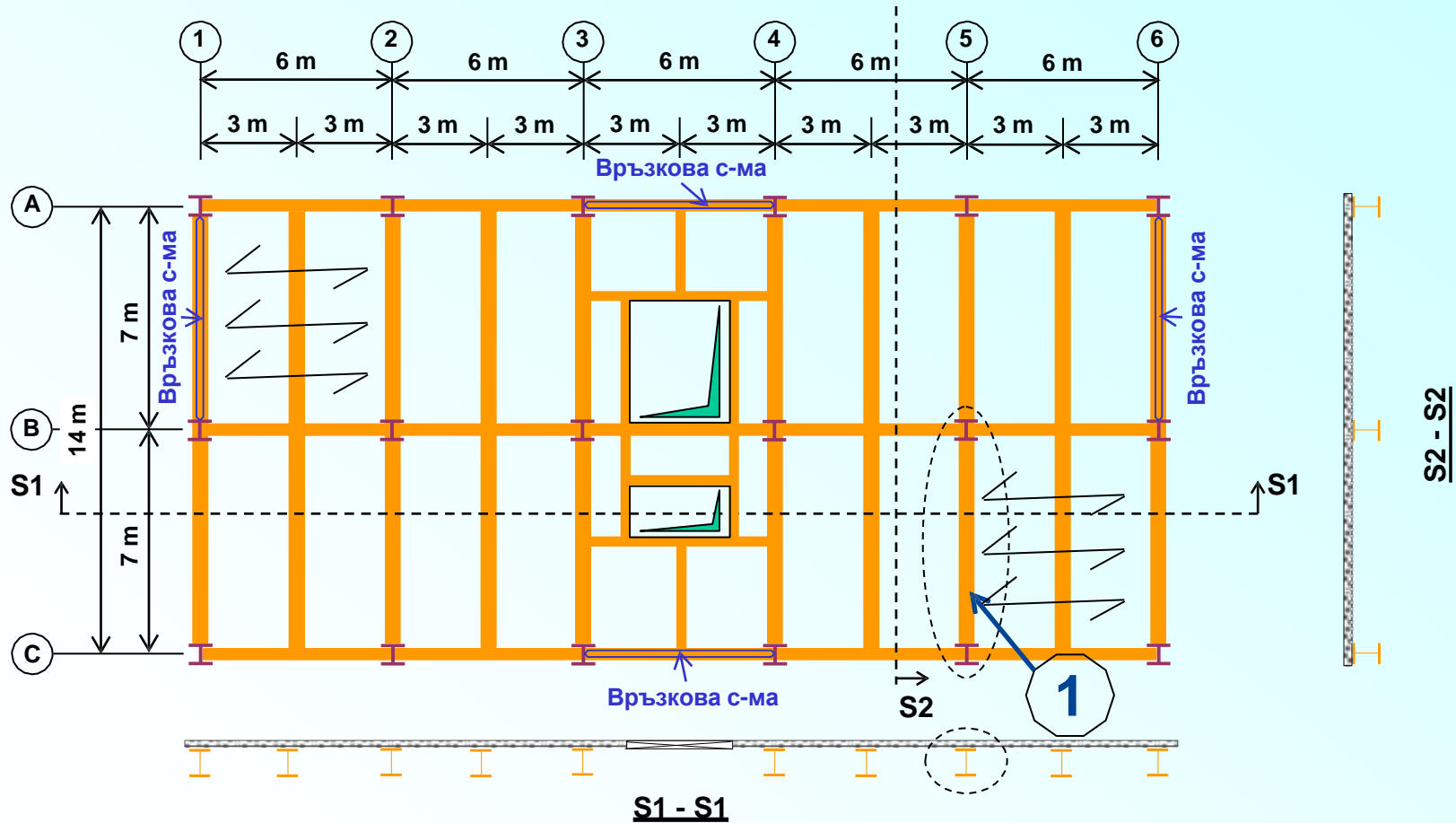
Избрани работни примери

1. Второстепенна греда под крайна опора на непр. плоча
2. Второстепенна греда под централна опора на непр. плоча
3. Просто опряна вътрешна главна греда
4. Вътрешна колона на наземно ниво



Работен пример 1

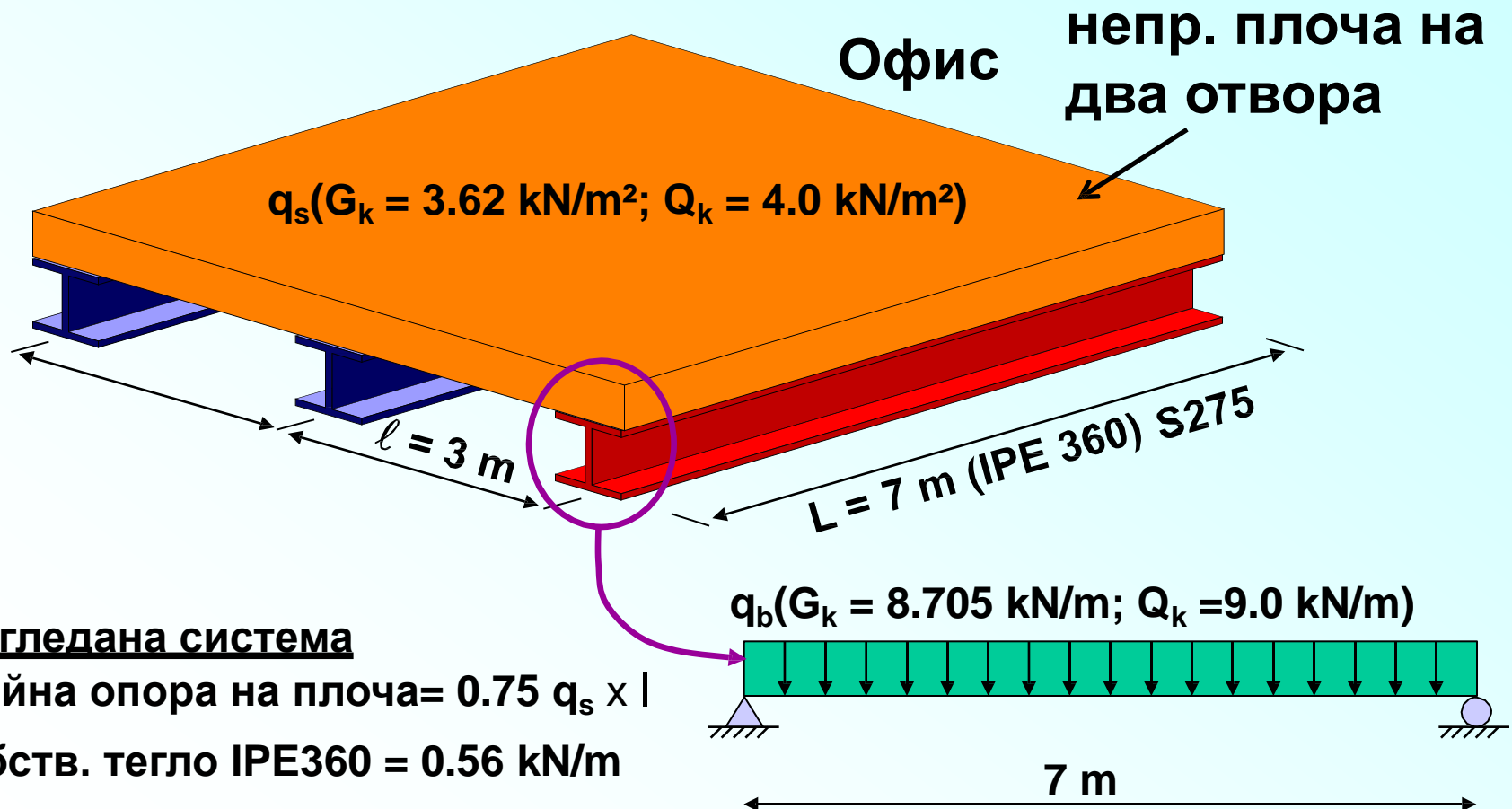
Второстепенна гредка под крайна опора на непрекъснатата плоча



1. Второстепенна греда под крайна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 1: Въздействия в пожарна ситуация

- Входни данни



Разгледана система

Крайна опора на плоча = $0.75 q_s \times l$

Собств. тегло IPE360 = 0.56 kN/m

1. Второстепенна греда под крайна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 1: Въздействия в пожарна ситуация

- Изчислителна комбинация за пожарна ситуация

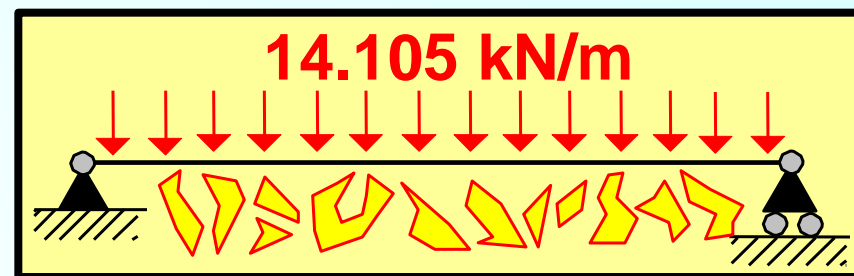
$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$$q_{fi,d,t} = G_b + 0.75 \times (G_{k,1} + \Psi_{2,1} Q_{k,1}) \times I \approx 14.105 \text{ kN/m}$$

Крайна опора на двуетворна плоча \rightarrow 0.6 (заседателна зала)

$$M_{fi,d,t} = \frac{q_{fi,d,t} L^2}{8} = 86.4 \text{ kNm}$$

$$V_{fi,d,t} = \frac{q_{fi,d,t} L}{2} = 49.4 \text{ kN}$$



1. Второстепенна греда под крайна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 2: Определяне клас на сечението

- Елемент подложен на огъване (**IPE360**)

Уравнение 4.2 от EN1993-1-2

$$\varepsilon = 0.85 \sqrt{235/f_y} = 0.786$$

↘ S275

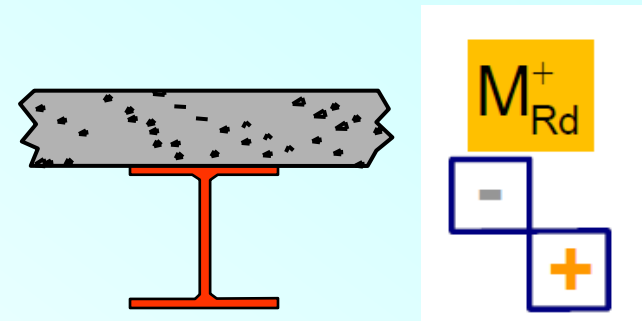
Табл. 5.2 от EN1993-1-2

$$c/t_w \leq 72\varepsilon \rightarrow \text{Стебло кл. 1}$$

↘ = 37.3 ↘ = 56.6

$$c/t_f \leq 9\varepsilon \rightarrow \text{Пояс клас 1}$$

↘ = 4.96 ↘ = 7.07



Чисто огъване

Сечение клас 1

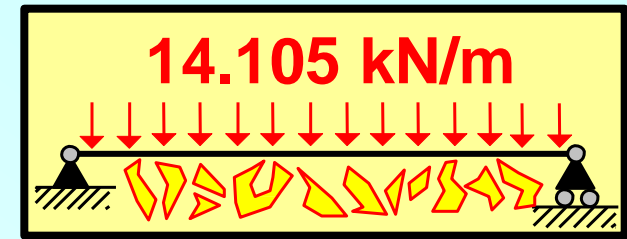
1. Второстепенна греда под крайна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 3: Оразмеряване за нормална температура

- Оразмеряване за нормална температура
съгласно §6.2.5 и §6.2.6 на EN1993-1-1

➤ Носимоспособност на огъване (уравнение 6.13)

$$M_{Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M,fi}} = 280.3 \text{ kNm}$$



| IPE360 | |
|----------------------------------|---------|
| $W_{pl,y}$ (cm ³) | 1019.15 |
| A_v (cm ²) | 35.14 |

➤ Носимоспособност на срязване (уравнение 6.18)

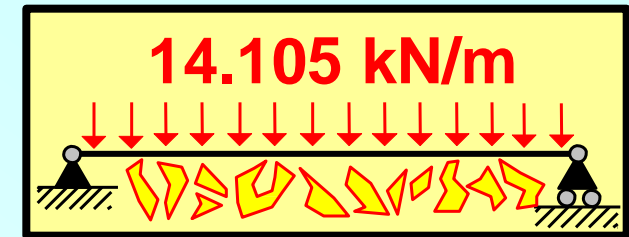
$$V_{Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M,fi}} = 557.9 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1$$

1. Второстепенна греда под крайна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 4: Степен на използваемост

- С отчита на двете носимоспособности
- Без отчитане на коефициенти за адаптиране κ_1 и κ_2



➤ Прямо носимоспособност на огъване (y-e 4.24)

$$\mu_{0,M} = \eta_{fi,M} \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{M_{fi,d,t}}{M_{Rd}} \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} = 0.308$$

➤ Прямо носимоспособност на срязване (y-e 4.24)

$$\mu_{0,V} = \eta_{fi,V} \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{V_{fi,d,t}}{V_{Rd}} \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} = 0.088$$

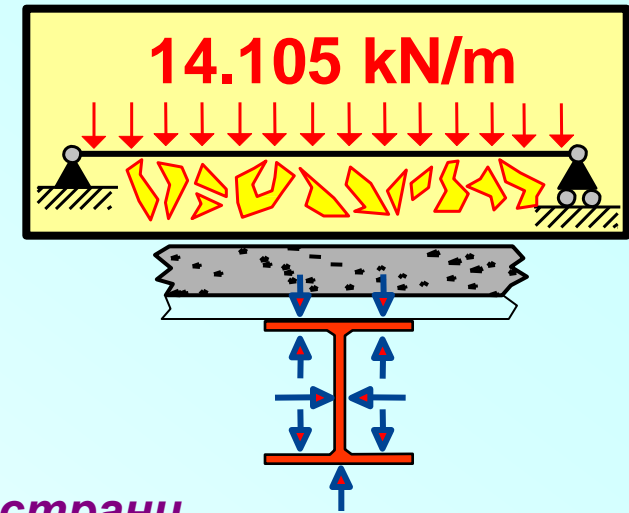
$$\gamma_{M1} = \gamma_{M,fi} = 1$$

1. Второстепенна греда под крайна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 4а: Степен на използваемост (незащитена греда)

- С отчитане на коефициенти на адаптация κ_1 и κ_2 за незащитени греди

➤ Въз основа уравнение 4.10



Сечение изложено от всички страни
(виж 4.1(16) of EN1994-1-2)

$$\left. \begin{array}{l} \kappa_1 = 1.0 \\ \kappa_2 = 1.0 \end{array} \right\} \Rightarrow \mu_{0,M,\kappa} = \mu_{0,M} \times (\kappa_1 \kappa_2) = 0.308$$

$$\mu_{0,V,\kappa} = \mu_{0,V} = 0.088$$

Няма коефициенти на адаптация за срязване

➤ Изчислителна стойност на степента на използваемост

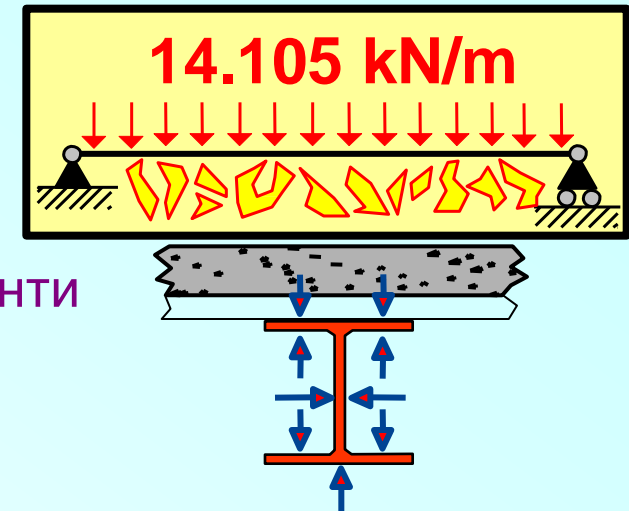
$$\mu_0 = \max(\mu_{0,M,\kappa}, \mu_{0,V,\kappa}) = 0.308$$

1. Второстепенна греда под крайна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 5а: Критична температура (незащитена греда)

- Чрез опростен метод
- Чрез таблица за редуционни коефициенти

➤ Опростен метод (уравнение 4.22)



$$\theta_{cr} = 39.19 \ln \left[\frac{1}{0.9674 \mu_0^{3.833}} - 1 \right] + 482 \approx 660 \text{ } ^\circ\text{C}$$

➤ Линейна интерполация за редуционен коефициент $k_{y,\theta}$ (табл.3.1)

$$600 \text{ } ^\circ\text{C}: k_{y,\theta} = 0.47$$

$$700 \text{ } ^\circ\text{C}: k_{y,\theta} = 0.23$$

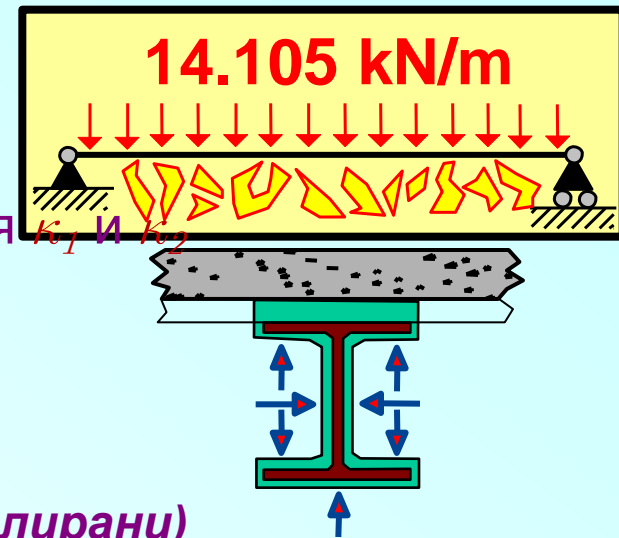


$$\theta_{cr} \approx 667 \text{ } ^\circ\text{C}$$

1. Второстепенна греда под крайна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 4b: Степен на използваемост (изолирана греда)

- С отчитане на коефициенти на адаптация κ_1 и κ_2 за изолирани греди



➤ Въз основа уравнение 4.10

Изложени три страни (изолирани)

$$\left. \begin{array}{l} \kappa_1 = 0.85 \\ \kappa_2 = 1.0 \end{array} \right\} \Rightarrow \mu_{0,M,\kappa} = \mu_{0,M} \times (\kappa_1 \kappa_2) = 0.262$$

$$\mu_{0,V,\kappa} = \mu_{0,V} = 0.088$$

Няма коефициенти на адаптация за срязване

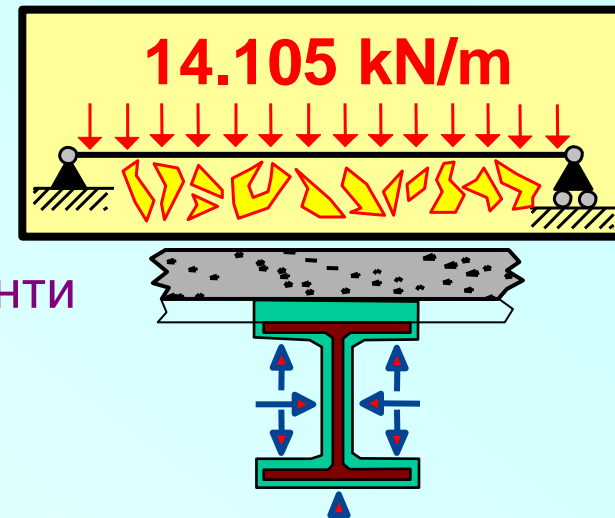
➤ Изчислителна стойност на степента на използваемост

$$\mu_0 = \max(\mu_{0,M,\kappa}, \mu_{0,V,\kappa}) = 0.262$$

1. Второстепенна греда под крайна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 5b: Критична температура (изолирана греда)

- Чрез опростен метод
- Чрез таблица за редуционни коефициенти



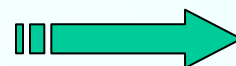
➤ Опростен метод (уравнение 4.22)

$$\theta_{cr} = 39.19 \ln \left[\frac{1}{0.9674 \mu_0^{3.833}} - 1 \right] + 482 \approx 684 \text{ } ^\circ\text{C}$$

➤ Линейна интерполация за редуционен коефициент $k_{y,\theta}$ (табл.3.1)

$$600 \text{ } ^\circ\text{C}: k_{y,\theta} = 0.47$$

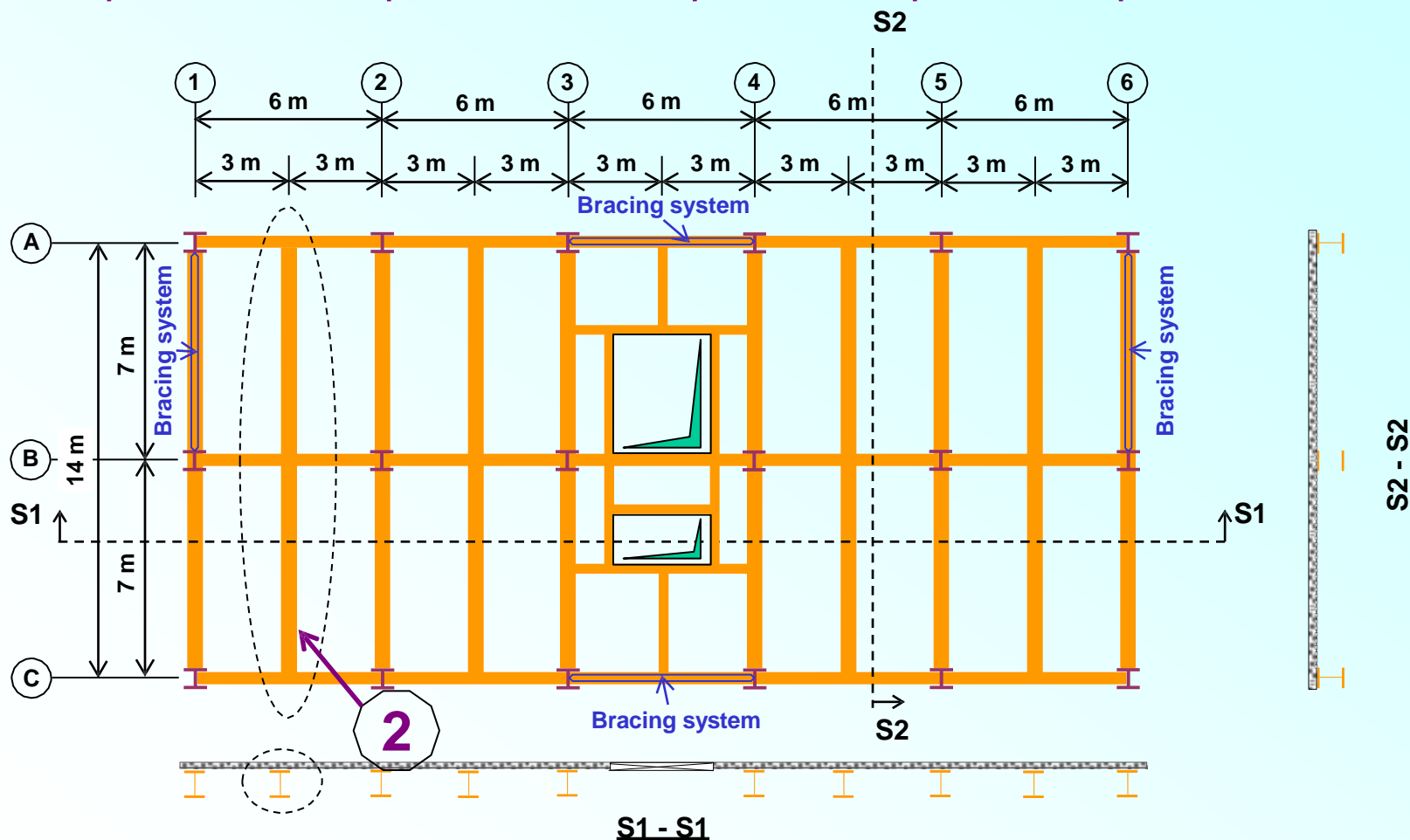
$$700 \text{ } ^\circ\text{C}: k_{y,\theta} = 0.23$$



$$\theta_{cr} \approx 687 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Работен пример 2

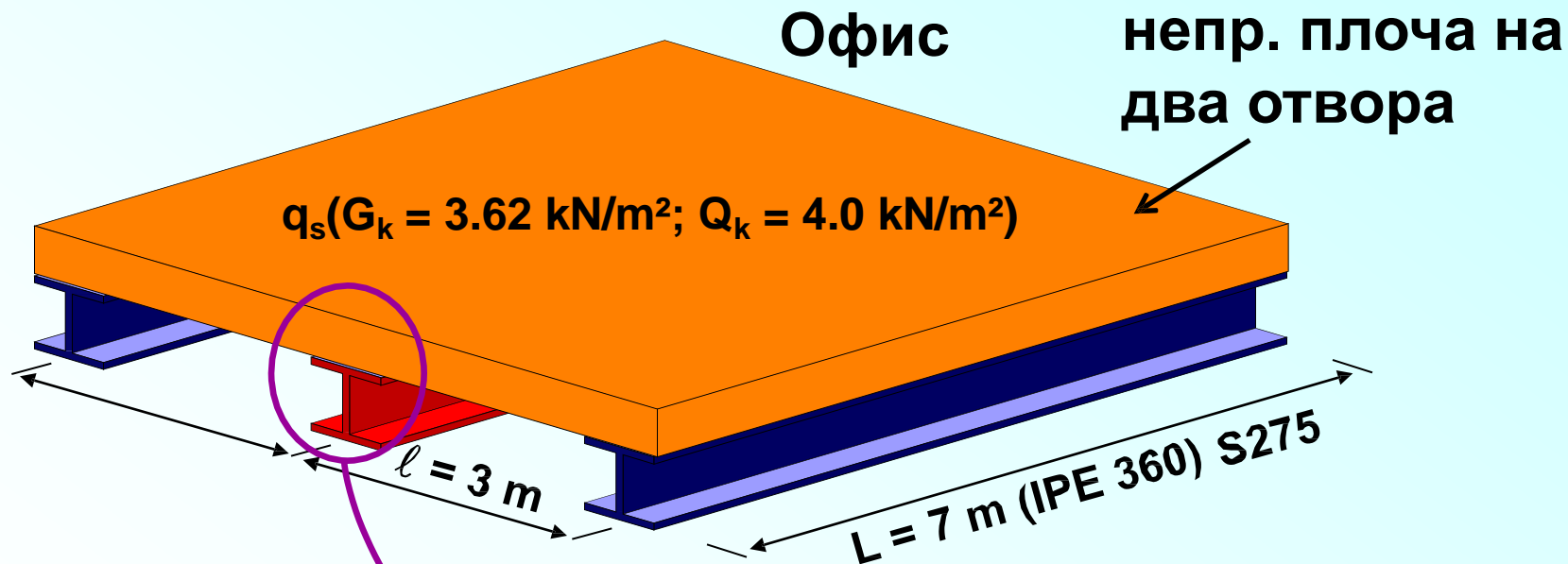
Второстепенна гредка под централна опора на непр. плоча



2. Второстепенна гредка под централна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 1: Въздействия в пожарна ситуация

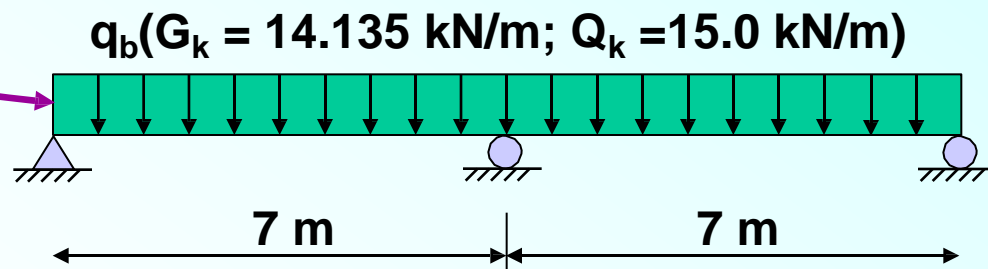
- Входни данни



Разгледана система

Крайна опора на плоча = $1,25 q_s \times l$

Собств. тегло IPE360 = 0.56 kN/m



2. Второстепенна греда под централна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 1: Въздействия в пожарна ситуация

- Изчислителна комбинация за пожарна ситуация

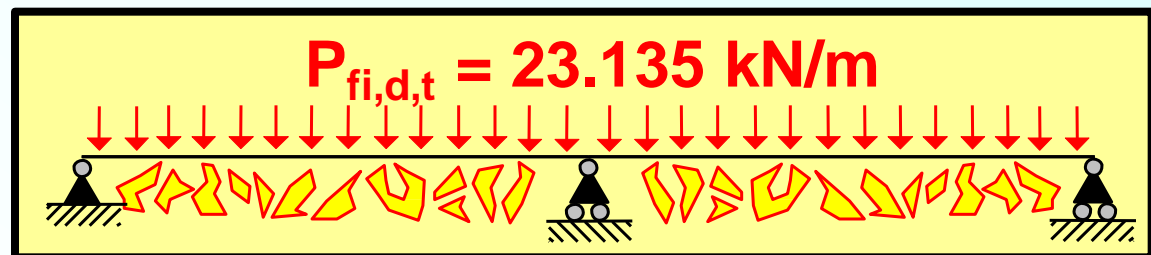
$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$$q_{fi,d,t} = 1.25 \times (G_{k,1} + \psi_{2,1} Q_{k,1}) \times 1 = 23.135 \text{ kN/m}$$

централна опора
на двутворна
плоча

0.6 (заседателна зала)

Двутотворна
непрекъснатата греда



2. Второстепенна греда под централна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 2: Определяне клас на сечението

- Елемент подложен на огъване (IPE360)

Уравнение 4.2 от EN1993-1-2

$$\varepsilon = 0.85 \sqrt{235/f_y} = 0.786$$

↘ S275

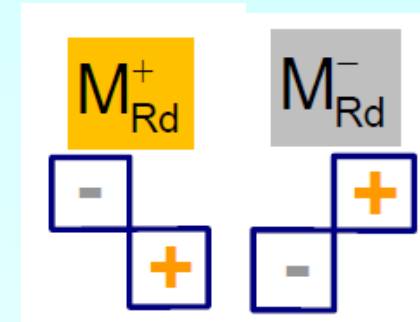
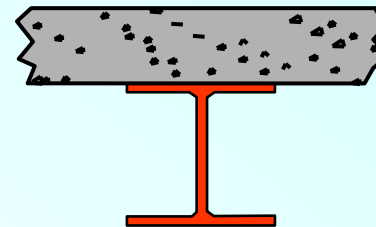
Табл. 5.2 от EN1993-1-2

$$c/t_w \leq 72\varepsilon \rightarrow \text{Стебло кл. 1}$$

↘ = 37.3 ↘ = 56.6

$$c/t_f \leq 9\varepsilon \rightarrow \text{Пояс клас 1}$$

↘ = 4.96 ↘ = 7.07



Чисто огъване

Сечение клас 1

2. Второстепенна греда под централна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 3: Оразмеряване за нормална температура

- Непрекъснатата греда на два равни оттора

→ Носимоспособност в пластичен стадий

- Отношение носимоспособности

$$n = \left| M_{fi,0,Rd}^- / M_{fi,0,Rd}^+ \right|$$

- Място пластична става

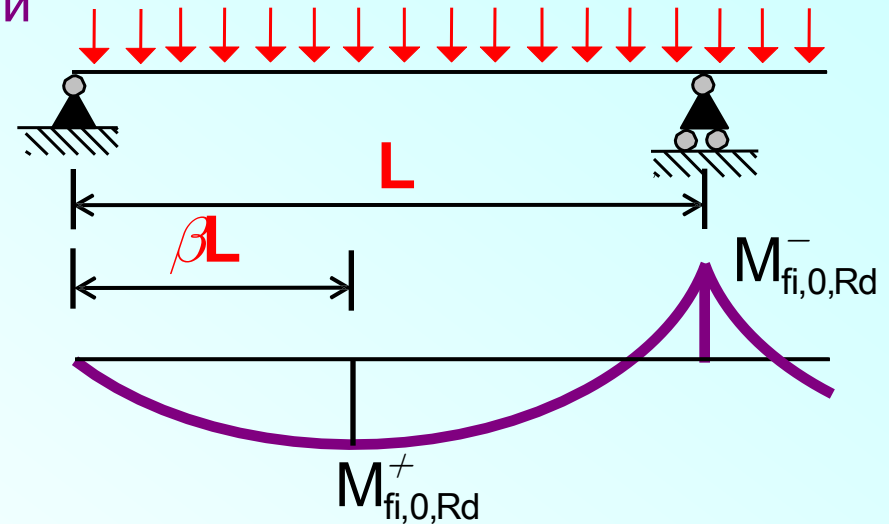
$$\beta = \sqrt{1 + n} - 1/n$$

- товароспособност

$$q_{fi,0,Rd} = 2M_{fi,0,Rd}^+ / (\beta L)^2$$

- Нужна вертикална срязваща сила при централна опора

$$V_{fi,0,Rd}^{(n)} = q_{fi,0,Rd} L/2 + M_{fi,0,Rd}^+ / L$$



2. Второстепенна греда под централна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 3: Оразмеряване за нормална температура

- Оразмеряване за нормална температура съгласно EN 1993-1-1

➤ Носимоспособност на огъване (у-е 6.13)

$$M_{Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M,fi}} = 280.3 \text{ kNm}$$

| IPE360 | |
|----------------------------------|---------|
| $W_{pl,y}$ (cm ³) | 1019.15 |
| A_v (cm ²) | 35.14 |

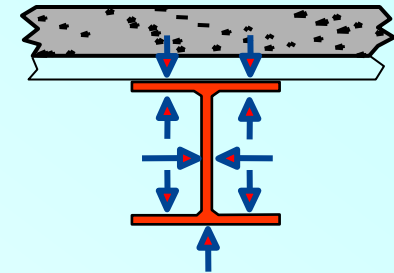
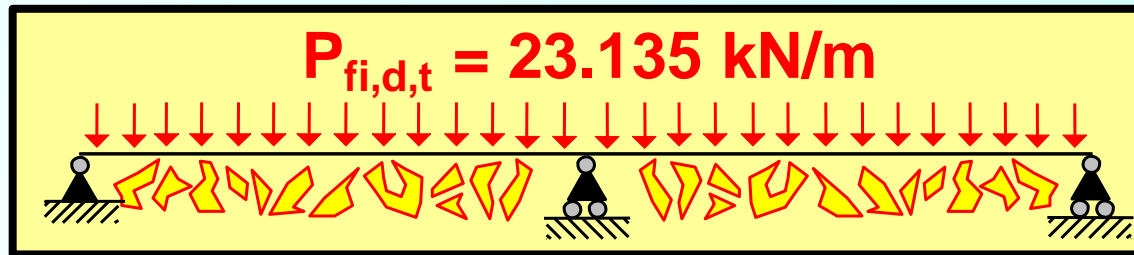
➤ Носимоспособност на срязване (у-е 6.18)

$$V_{Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(f_y / \sqrt{3} \right)}{\gamma_{M,fi}} = 557.9 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1$$

2. Второстепенна греда под централна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 3а: Оразмеряване за нормална температура
(незащитена греда и изложени четири страни)



➤ **Промяна носимосп. долни нишки при 20°C (у-е 4.10)**

• съгласно Стъпка 3 за M_{Rd}

$$\left. \begin{array}{l} \kappa_1 = 1.0 \\ \kappa_2^+ = 1.0 \end{array} \right\} \Rightarrow M_{fi,0,Rd}^+ = \frac{M_{Rd}}{\kappa_1 \kappa_2^+} \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} = 280.3 \text{ kNm}$$

➤ **Промяна носимосп. горни нишки при 20°C (у-е 4.10)**

$$\left. \begin{array}{l} \kappa_1 = 1.0 \\ \kappa_2^- = 0.85 \end{array} \right\} \Rightarrow M_{fi,0,Rd}^- = \frac{M_{Rd}}{\kappa_1 \kappa_2^-} \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} = 329.7 \text{ kNm}$$

2. Второстепенна греда под централна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 3а: Оразмеряване за нормална температура
(незащитена греда)

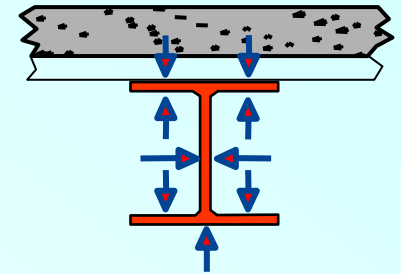
- Непрекъснатата греда на два равни отвора изложена от четири страни

➤ Носимоспособност в пластичен стадий

$$n = \left| M_{Rd}^- / M_{Rd}^+ \right| = \kappa_2^+ / \kappa_2^- = 1.176$$

$$\beta = \sqrt{1 + n} - 1/n = 0.404$$

$$q_{fi,0,Rd} = 2M_{Rd}^+ / (\beta L)^2 = 70.1 \text{ kN/m}$$



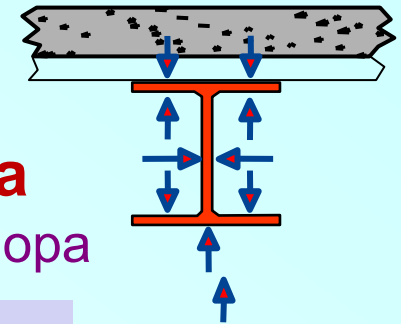
Стъпка 4а: Степен на използваемост (незащитена греда)

$$\mu_0 = q_{fi,d,t} / q_{fi,0,Rd} = 0.330$$

2. Второстепенна греда под централна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 4а: Степен на използваемост (незащитена греда)

- Непрекъснатата греда на два равни отвора изложена от четири страни



- **Проверка срязване при централна опора**
- Нужна вертикална срязваща сила при централна опора

$$V_{fi,0,Rd}^{(n)} = q_{fi,0,Rd} L/2 + M_{fi,0,Rd}^+ / L = 292.4 \text{ kN}$$

- Носимоспособност на срязване при централна опора

$$V_{fi,0,Rd} = V_{Rd} \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} = 557.9 \text{ kN} > V_{fi,0,Rd}^{(n)}$$

↪ Няма адаптационни коеф. за срязване

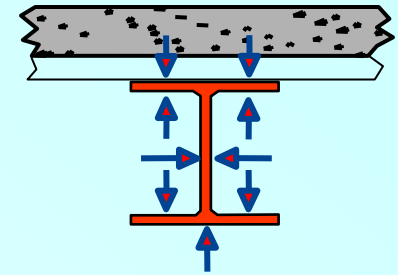
- $V_{fi,0,Rd} > V_{fi,0,Rd}^{(n)}$ **Не са нужни допълнителни изчисления**

за степента на използваемост

2. Второстепенна греда под централна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 5а: Критична температура (незащитена греда)

- Чрез опростен метод
- Чрез таблица за редукионни коефициенти

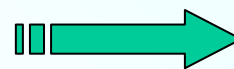


➤ Опростен метод (уравнение 4.22)

$$\theta_{cr} = 39.19 \ln \left[\frac{1}{0.9674 \mu_0^{3.833}} - 1 \right] + 482 = 649 \text{ } ^\circ\text{C}$$

➤ Линейна интерполация за редукионен коефициент $k_{y,\theta}$ (табл.3.1)

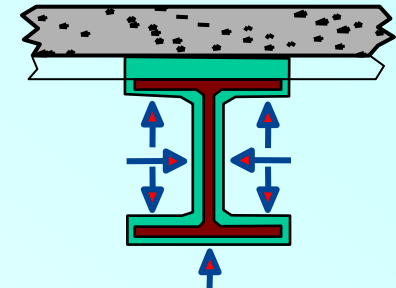
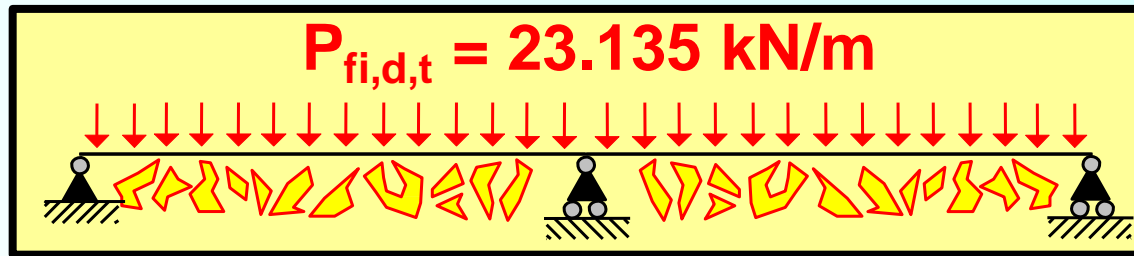
$$\left. \begin{array}{l} 600 \text{ } ^\circ\text{C}: k_{y,\theta} = 0.47 \\ 700 \text{ } ^\circ\text{C}: k_{y,\theta} = 0.23 \end{array} \right\}$$



$$\theta_{cr} = 658 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Второстепенна греда под централна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 3b: Оразмеряване за нормална температура
(изолирана греда – 3 изложени страни)



➤ Промяна носимосп. долни нишки при темп. 20°C (у-е 4.10)

• Съгласно Стъпка 3 за M_{Rd}

$$\left. \begin{array}{l} \kappa_1 = 0.85 \\ \kappa_2^+ = 1.0 \end{array} \right\} \Rightarrow M_{fi,0,Rd}^+ = \frac{M_{Rd}}{\kappa_1^+ \kappa_2^+} \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} = 329.7 \text{ kNm}$$

➤ Промяна носимосп. горни нишки при 20°C (у-е 4.10)

$$\left. \begin{array}{l} \kappa_1 = 0.85 \\ \kappa_2^- = 0.85 \end{array} \right\} \Rightarrow M_{fi,0,Rd}^- = \frac{M_{Rd}}{\kappa_1^- \kappa_2^-} \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} = 387.9 \text{ kNm}$$

2. Второстепенна греда под централна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 3б: Оразмеряване за нормална температура
(изолирана греда – изложени три страни)

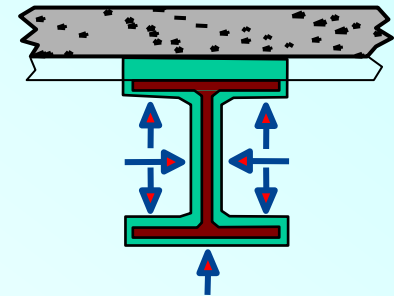
- Непрекъснатата греда на два равни отвора

➤ Носимоспособност в пластичен стадий

$$n = \left| M_{Rd}^- / M_{Rd}^+ \right| = \kappa_2^+ / \kappa_2^- = 1.176$$

$$\beta = \sqrt{1 + n} - 1/n = 0.404$$

$$q_{fi,0,Rd} = 2M_{Rd}^+ / (\beta L)^2 = 82,5 \text{ kN/m}$$



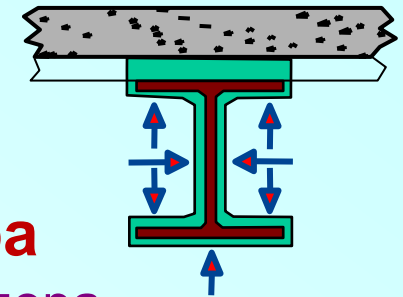
Стъпка 4б: Степен на използваемост (изолирана греда)

$$\mu_0 = q_{fi,d,t} / q_{fi,0,Rd} = 0,281$$

2. Второстепенна греда под централна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 4b: Степен на използваемост (изолирана греда изложени три страни)

- Непрекъснатата греда на два равни отвора
- **Проверка срязване при централна опора**
- Нужна вертикална срязваща сила при централна опора



$$V_{fi,0,Rd}^{(n)} = q_{fi,0,Rd} L/2 + M_{fi,0,Rd}^+ / L = 344.0 \text{ kN}$$

- Носимоспособност на срязване при централна опора

$$V_{fi,0,Rd} = V_{Rd} \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} = 557.9 \text{ kN} > V_{fi,0,Rd}^{(n)}$$

↪ Няма адаптационни коеф. за срязване

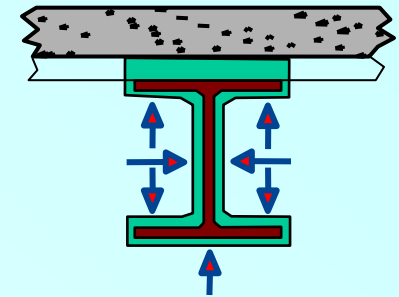
- $V_{fi,0,Rd} > V_{fi,0,Rd}^{(n)}$ **Не са нужни допълнителни изчисления**

за степента на използваемост

2. Второстепенна греда под централна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 5b: Критична температура (защитена греда)

- Чрез опростен метод
- Чрез таблица за редукиционни коефициенти



➤ Опростен метод (уравнение 4.22)

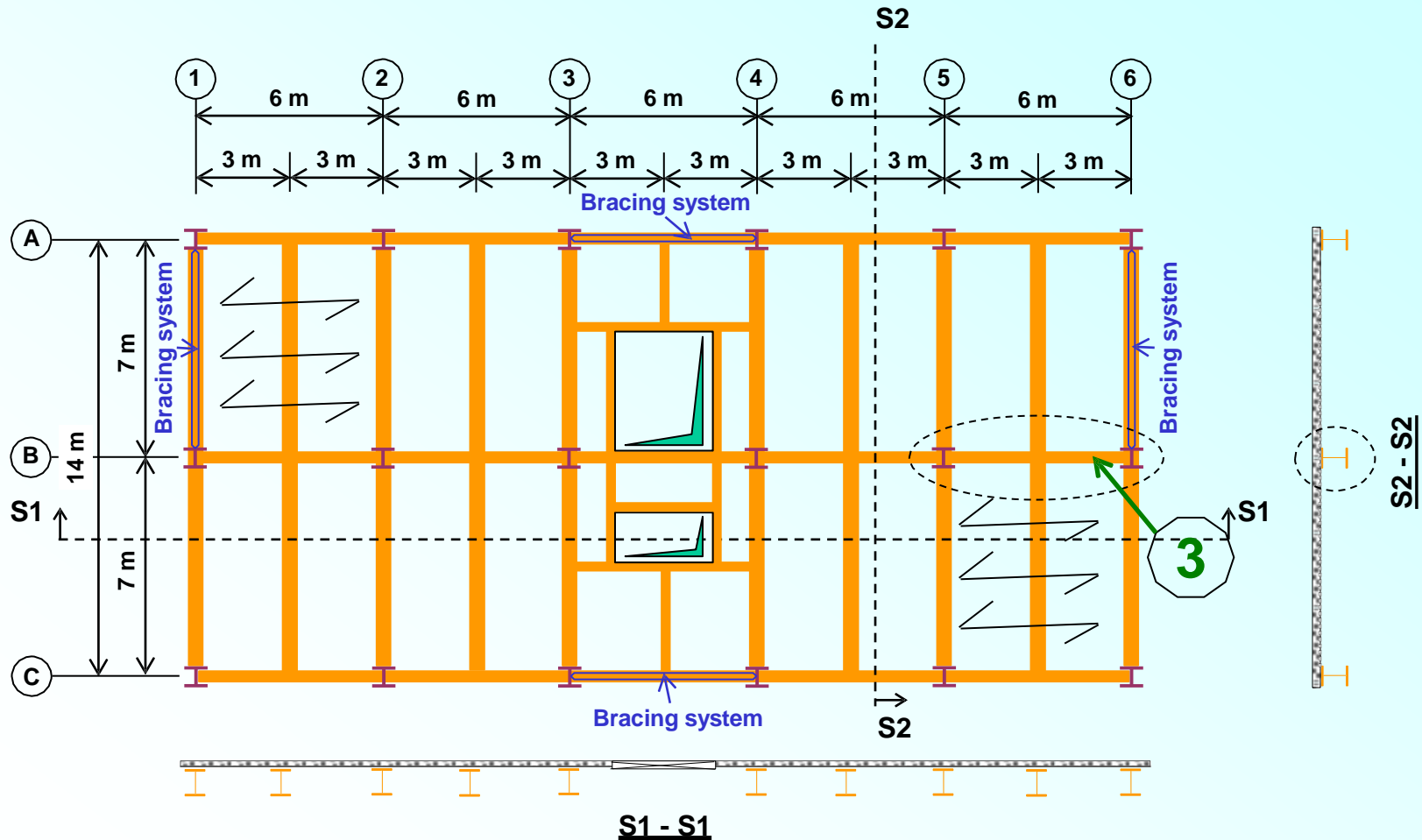
$$\theta_{cr} = 39.19 \ln \left[\frac{1}{0.9674 \mu_0^{3.833}} - 1 \right] + 482 = 674 \text{ } ^\circ\text{C}$$

➤ Линейна интерполация за редукиционен коефициент $k_{y,\theta}$ (табл.3.1)

$$\left. \begin{array}{l} 600 \text{ } ^\circ\text{C}: k_{y,\theta} = 0.47 \\ 700 \text{ } ^\circ\text{C}: k_{y,\theta} = 0.23 \end{array} \right\} \Rightarrow \theta_{cr} = 679 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Работен пример 3

Просто опряна вътрешна главна греда

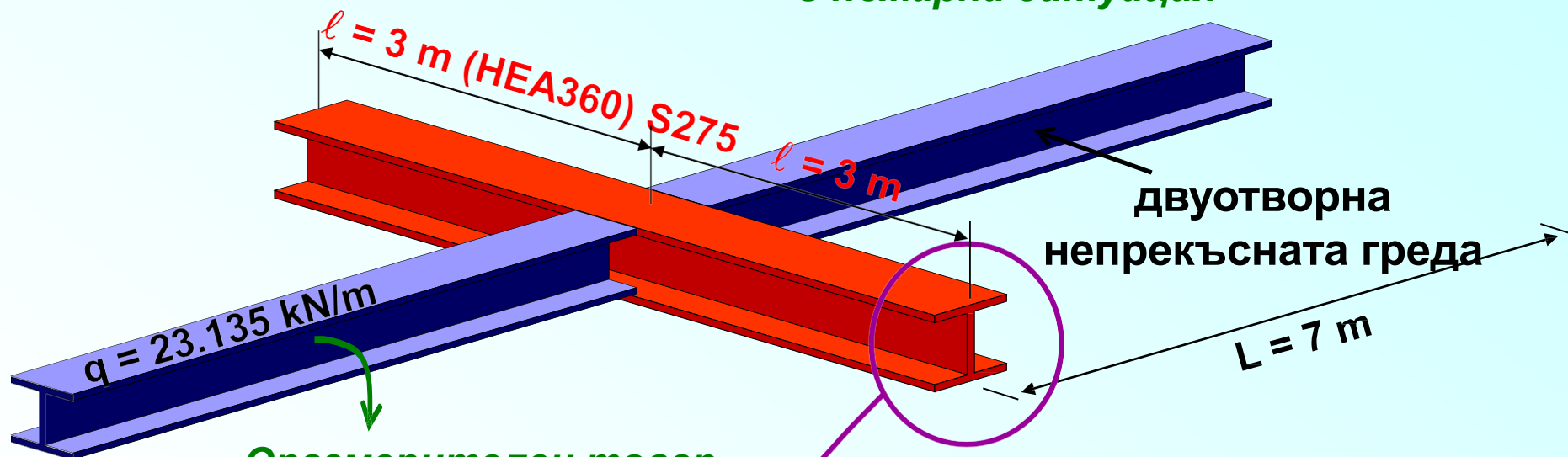


3. Просто опряна вътрешна централна греда

Стъпка 1: Въздействия в пожарна ситуация

- Входни данни

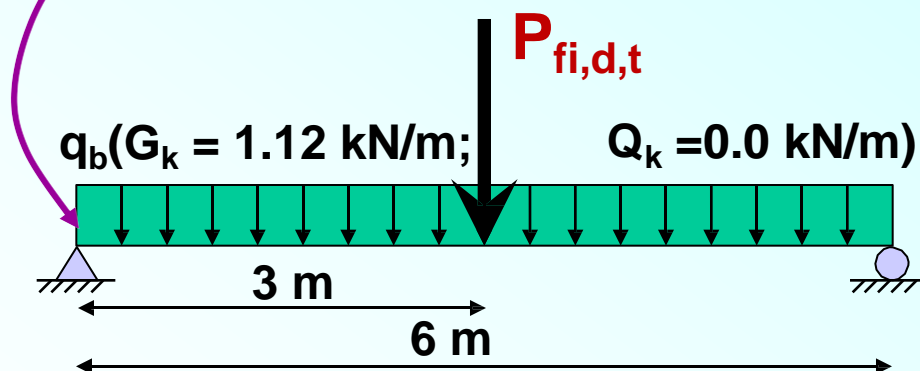
Оразмерителен товар
в пожарна ситуация



Оразмерителен товар
в пожарна ситуация

Разгледана система

Централна опора на
второстепенна греда = $1.25 q \times L$
собств. тегло HEA360 = 1.12 kN/m



3. Просто опряна вътрешна централна греда

Стъпка 1: Въздействия в пожарна ситуация

- Изчислителна комбинация за пожарна ситуация

$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

➤ Равномерно разпределен товар

$$q_{fi,d,t} = G_{k,1} + \Psi_{2,1} Q_{k,1} = 1.12 \text{ kN/m}$$

↙ с. т. ↘ 0.6

➤ Концентриран товар от непрекъснатата второстепенна греда

$$P_{fi,d,t} = 1.25 \times (G_{k,1} + \Psi_{2,1} Q_{k,1}) \times L$$

$$= 1.25 \times 23.135 \times 7 = 202.4 \text{ kN/m}$$

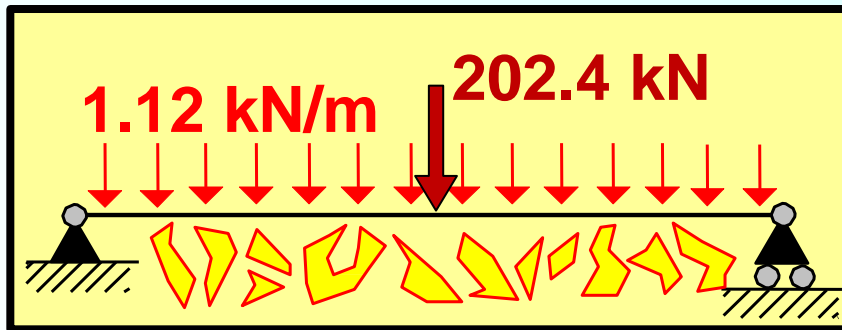
↙ Оразмерителен товар върху второстепенна
греда в пожарна ситуация

3. Просто опряна вътрешна централна греда

Стъпка 1: Въздействия в пожарна ситуация

- Разпределен и концентриран товар

➤ Натоварване в пожарна ситуация



➤ Огъващи моменти и срязващи сили

$$M_{fi,d,t} = \frac{q_{fi,d,t} l^2}{2} + \frac{P_{fi,d,t} l}{2} = 308.6 \text{ kNm}$$

$$V_{fi,d,t} = q_{fi,d,t} l + \frac{P_{fi,d,t}}{2} = 104.5 \text{ kN}$$

$$l = 3 \text{ m}$$

3. Просто опряна вътрешна централна гредка

Стъпка 2: Определяне клас на сечението

- Елемент подложен на огъване (**HEA360**)

Уравнение 4.2 на EN 1993-1-2

$$\varepsilon = 0.85 \sqrt{235/f_y} = 0.786$$

↘ S275

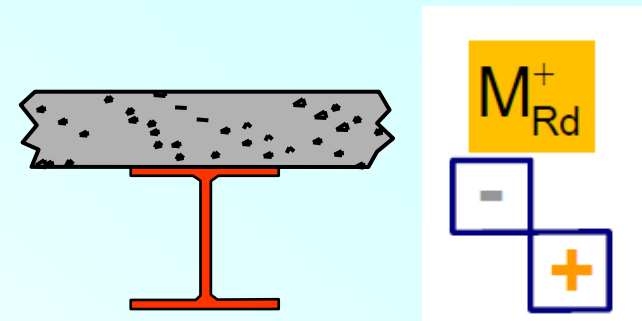
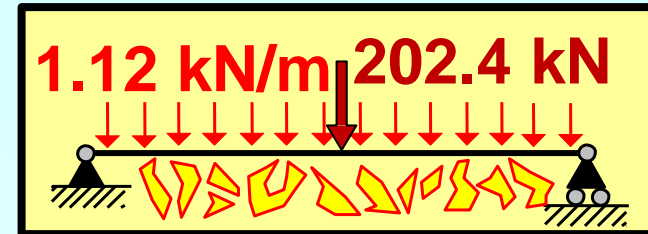
Таблица 5.2 на EN 1993-1-1

$$c/t_w \leq 72\varepsilon \quad \longrightarrow \quad \text{Стебло кл. 1}$$

↘ = 26.1 ↘ = 56.6

$$c/t_f \leq 9\varepsilon \quad \longrightarrow \quad \text{Пояси клас 1}$$

↘ = 6.74 ↘ = 7.07



Чисто огъване

Сечение
клас 1

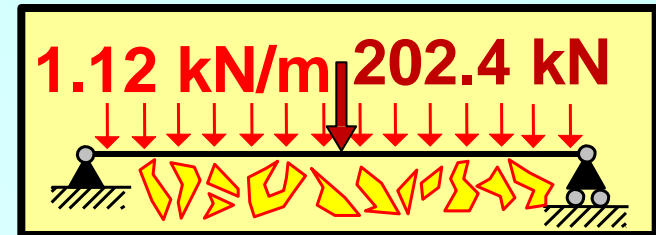
3. Просто опряна вътрешна централна греда

Стъпка 3: Оразмеряване за
нормална температура

- Оразмеряване за нормална температура
съгласно EN 1993-1-1

➤ Носимоспособност на огъване

$$M_{Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M,fi}} = 574.3 \text{ kNm}$$



| HEA360 | |
|----------------------------------|---------|
| $W_{pl,y}$ (cm ³) | 2088.47 |
| A (cm ²) | 48.96 |

➤ Носимоспособност на срязване

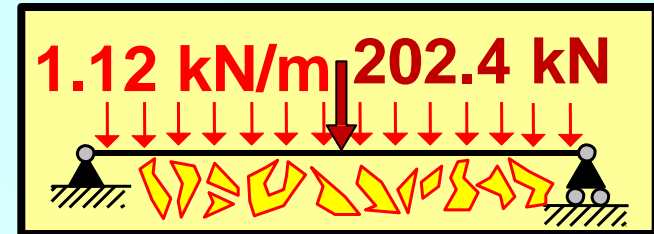
$$V_{Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M,fi}} = 777.3 \text{ kN}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1$$

3. Просто опряна вътрешна централна греда

Стъпка 4: Степен на използваемост

- С отчита на двете носимоспособности
- Без отчитане на коефициенти за адаптиране κ_1 и κ_2



➤ Прямо носимоспособност на огъване (y-е 4.24)

$$\mu_{0,M} = \eta_{fi,M} \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{M_{fi,d,t}}{M_{Rd}} \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} = 0.537$$

➤ Прямо носимоспособност на срязване (y-е 4.24)

$$\mu_{0,V} = \eta_{fi,V} \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{V_{fi,d,t}}{V_{Rd}} \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M,fi}} = 0.134$$

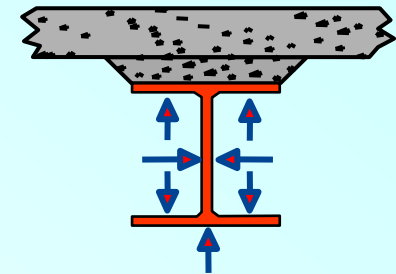
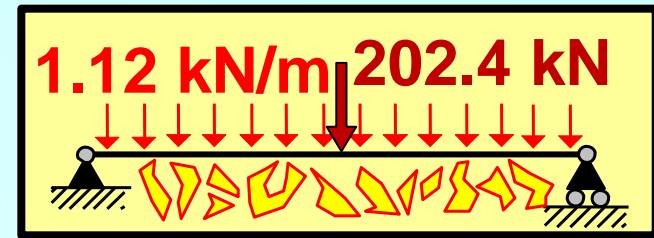
$$\gamma_{M1} = \gamma_{M,fi} = 1$$

3. Просто опряна вътрешна централна греда

Стъпка 4а: Степен на използваемост (незащитена греда)

- С отчитане на коефициенти на адаптация κ_1 и κ_2 за незащитени греди

➤ Въз основа уравнение 4.10



Изложени три страни
(незащитени)

$$\left. \begin{array}{l} \kappa_1 = 0.70 \\ \kappa_2 = 1.0 \end{array} \right\} \Rightarrow \mu_{0,M,\kappa} = \mu_{0,M} \times (\kappa_1 \kappa_2) = 0.376$$

$$\mu_{0,V,\kappa} = \mu_{0,V} = 0.134$$

↪ Без адаптационни коеф. за срязване

➤ Изчислителна стойност на степента на използваемост

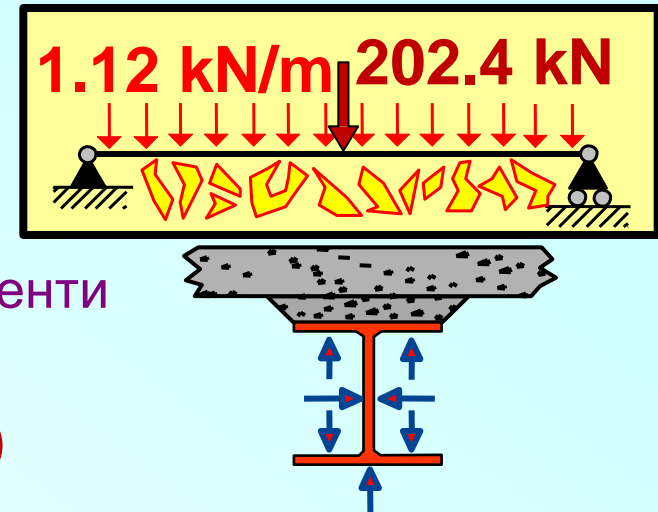
$$\mu_0 = \max(\mu_{0,M,\kappa}, \mu_{0,V,\kappa}) = 0.376$$

3. Просто опряна вътрешна централна греда

Стъпка 5а: Критична температура (незащитена греда)

- Чрез опростен метод
- Чрез таблица за редукионни коефициенти

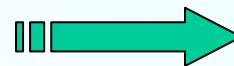
➤ Опростен метод (уравнение 4.22)



$$\theta_{cr} = 39.19 \ln \left[\frac{1}{0.9674 \mu_0^{3.833}} - 1 \right] + 482 \approx 629 \text{ } ^\circ\text{C}$$

➤ Линейна интерполация за редукионен коефициент $k_{y,\theta}$ (табл.3.1)

$$\left. \begin{array}{l} 600 \text{ } ^\circ\text{C}: k_{y,\theta} = 0.47 \\ 700 \text{ } ^\circ\text{C}: k_{y,\theta} = 0.23 \end{array} \right\}$$



$$\theta_{cr} \approx 639 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3. Просто опряна вътрешна централна греда

Стъпка 4b: Степен на използваемост (изолирана греда)

- С отчитане на коефициенти на адаптация κ_1 и κ_2 за изолирани греди

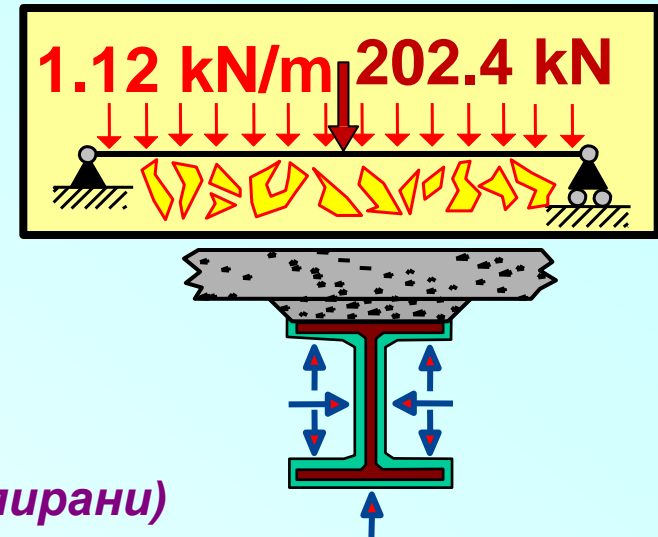
➤ **Въз основа уравнение 4.10**

Изложени три страни (изолирани)

$$\left. \begin{array}{l} \kappa_1 = 0.85 \\ \kappa_2 = 1.0 \end{array} \right\} \Rightarrow \mu_{0,M,\kappa} = \mu_{0,M} \times (\kappa_1 \kappa_2) = 0.457$$

$$\mu_{0,V,\kappa} = \mu_{0,V} = 0.134$$

Без адаптационни коеф. за срязване



➤ **Изчислителна стойност на степента на използваемост**

$$\mu_0 = \max(\mu_{0,M,\kappa}, \mu_{0,V,\kappa}) = 0.457$$

3. Просто опряна вътрешна централна греда

Стъпка 5b: Критична температура (незащитена греда)

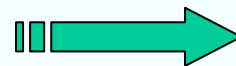
- Чрез опростен метод
- Чрез таблица за редуционни коефициенти

➤ Опростен метод (уравнение 4.22)

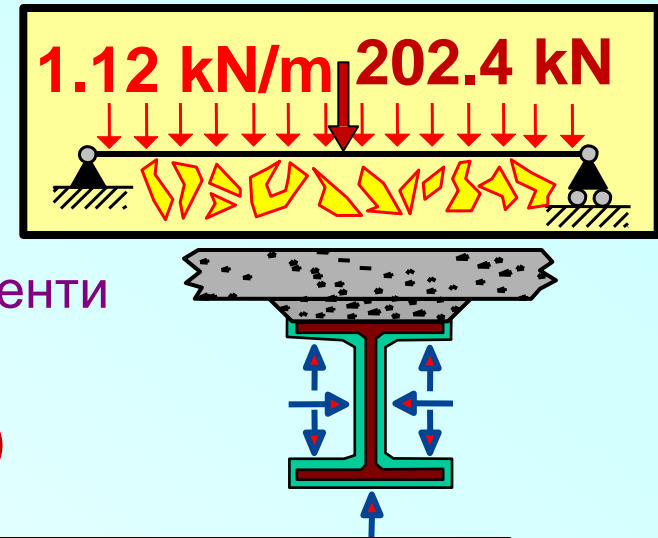
$$\theta_{cr} = 39.19 \ln \left[\frac{1}{0.9674 \mu_0^{3.833}} - 1 \right] + 482 \approx 599 \text{ } ^\circ\text{C}$$

➤ Линейна интерполация за редуционен коефициент $k_{y,\theta}$ (табл.3.1)

$$\left. \begin{array}{l} 600 \text{ } ^\circ\text{C}: k_{y,\theta} = 0.47 \\ 700 \text{ } ^\circ\text{C}: k_{y,\theta} = 0.23 \end{array} \right\}$$

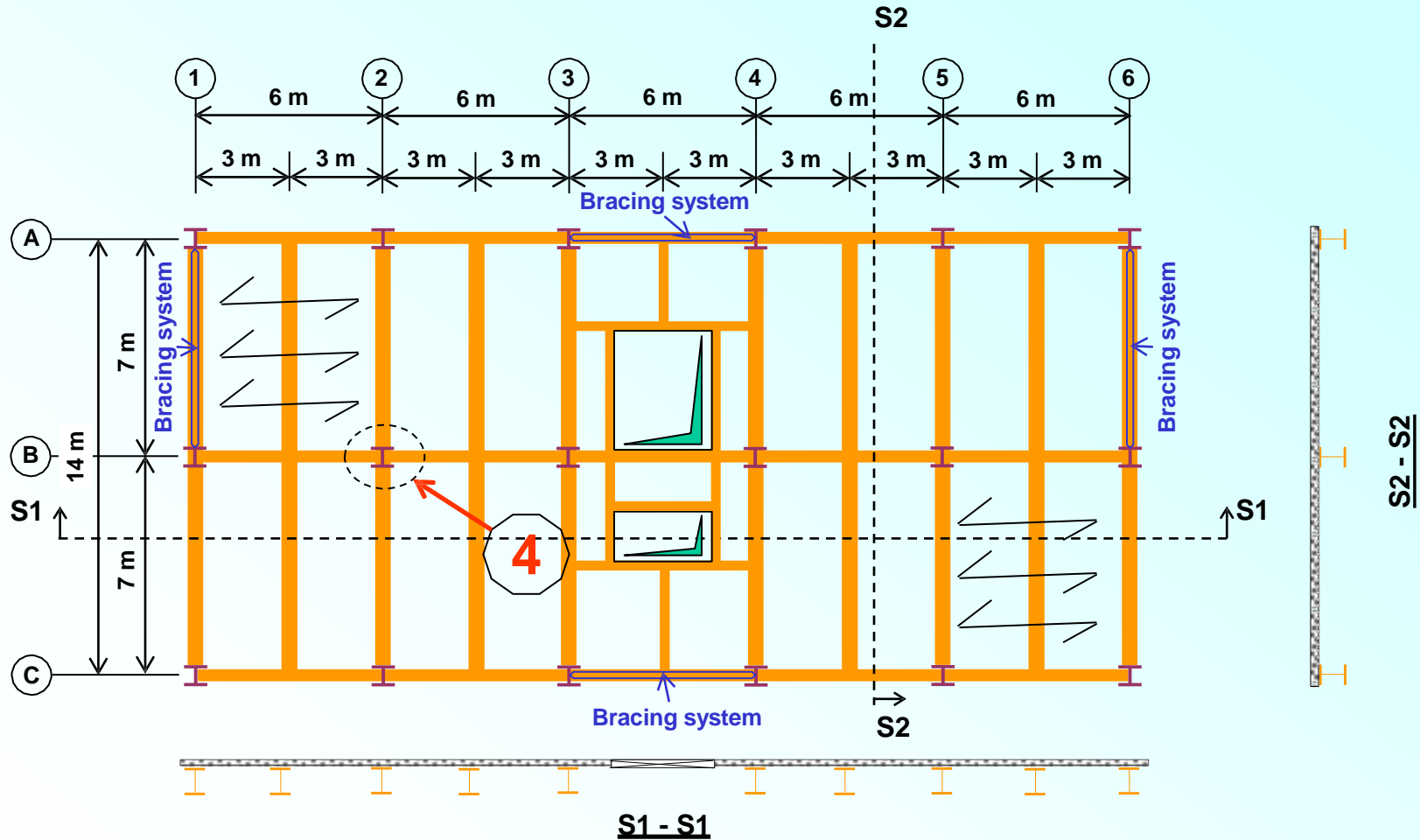


$$\theta_{cr} \approx 606 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Работен пример 4

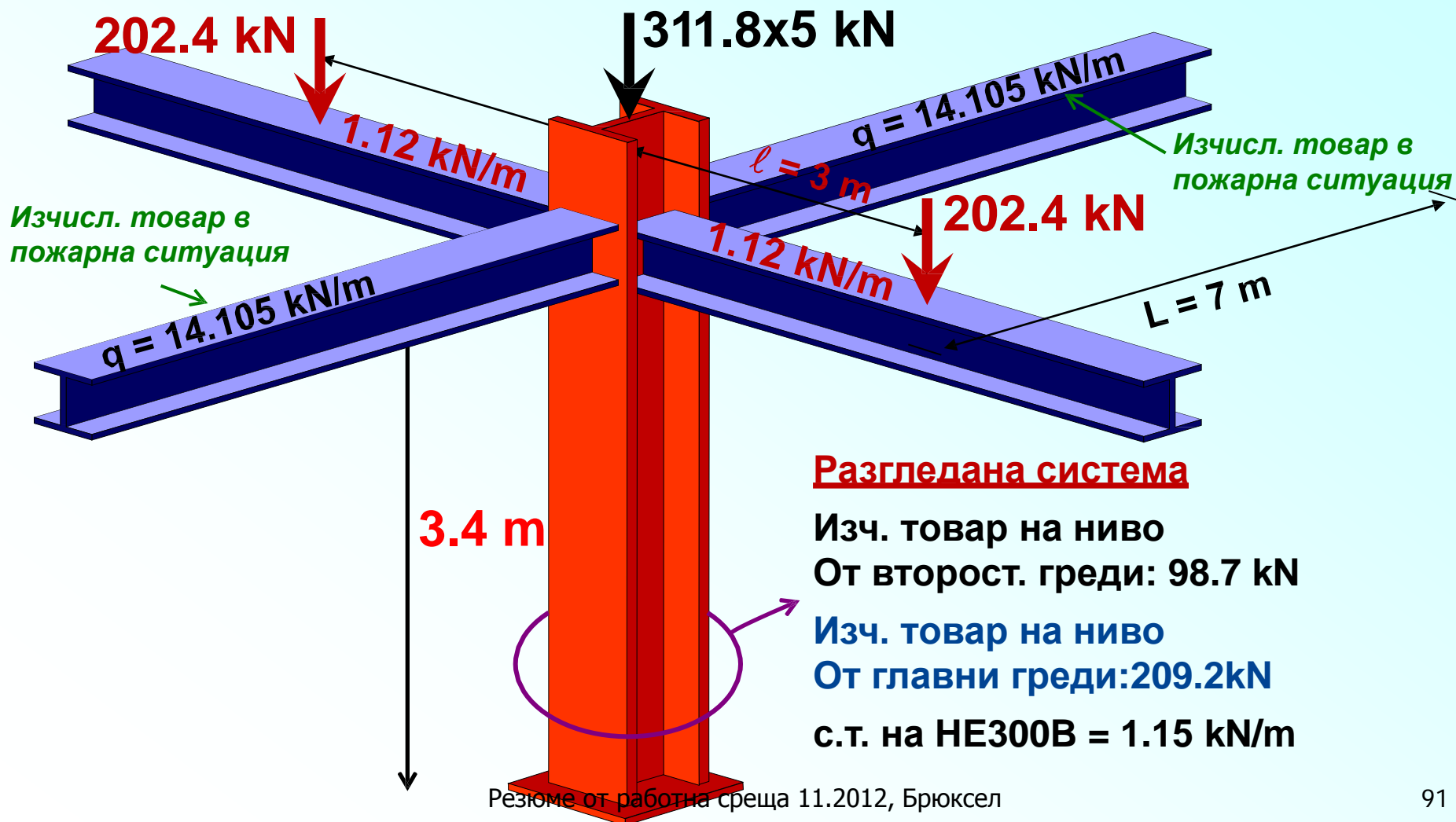
Вътрешна колона на наземно ниво



4. Вътрешна колона на наземно ниво

Стъпка 1: Въздействия в пожарна ситуация

- Входни данни



4. Вътрешна колона на наземно ниво

Стъпка 1: Въздействия в пожарна ситуация

- Изчислителна комбинация за пожарна ситуация

$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

➤ Собствено тегло колона

$$q_{fi,d,t} = 1.148 \times 3.4 \approx 3.9 \text{ kN/m}$$

➤ Обща концентрирана осова сила от гредите

$$P_{fi,d,t} = \sum (G_{k,1} + \Psi_{2,1} Q_{k,1})$$

$$= 14.105 \times 7 + 202.4 + 1.12 \times 6 \approx 307.9 \text{ kN}$$

↙ Второст. греди
↙ Главни греди

4. Вътрешна колона на наземно ниво

Стъпка 1: Въздействия в пожарна ситуация

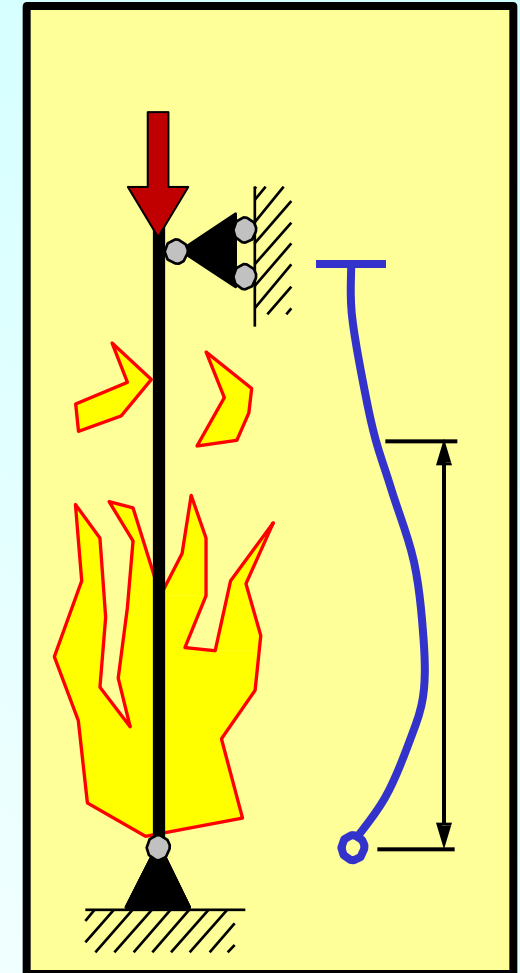
➤ Общ товар в пожарна ситуация

$$N_{fi,d,t} = (307.9 + 3.9) \times 6 = 1870.8 \text{ kN}$$

➤ Изкълчвателна дължина в пожарна ситуация

- Ставна база на колоната

$$L_{fi} = 0.7L = 0.7 \times 3.4 = 2.38 \text{ m}$$



4. Вътрешна колона на наземно ниво

Стъпка 2: Определяне клас на сечението

- Елемент подложен на натиск (**HEB30**)

Уравнение 4.2 на EN 1993-1-2

$$\varepsilon = 0.85 \sqrt{235/f_y} = 0.786$$

↘ S275

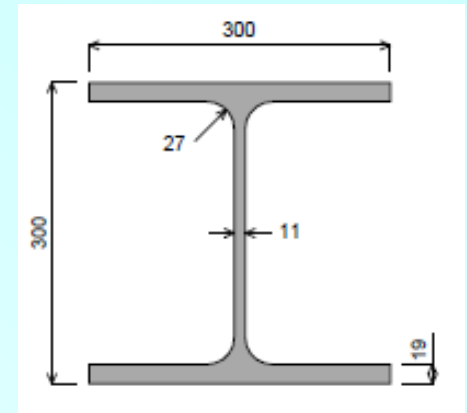
Таблица 5.2 на EN 1993-1-1

$$c/t_w \leq 33\varepsilon \rightarrow \text{Стебло кл. 1}$$

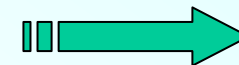
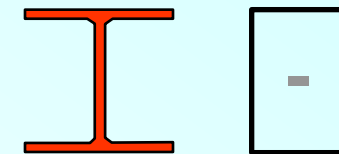
↘ = 18.9 ↘ = 25.9

$$c/t_f \leq 9\varepsilon \rightarrow \text{Пояси клас 1}$$

↘ = 6.2 ↘ = 7.07



HEB300



Сечение клас 1

4. Вътрешна колона на наземно ниво

Стъпка 3: Оразмеряване в момент 0 (нормална температура)

- Оразмеряване в момент 0 (нормална температура) според En 1993-1-2

➤ Носимоспособност

$$N_{Rd} = A \times f_y = 4099.7 \text{ kNm}$$

➤ Условна стройност

$$\bar{\lambda}_{fi,0} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{fi}}{i_z} \frac{1}{93.9\varepsilon} = 0.362$$

| HEB300 | |
|-------------------------|--------|
| A (cm ²) | 149.08 |
| i _z (cm) | 7.58 |

4. Вътрешна колона на наземно ниво

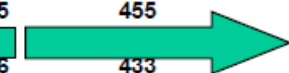
Стъпка 4: Степен на използваемост

$$\mu_{pl,fi} = \frac{N_{fi,d,t}}{N_{pl,fi}} = 0.456$$

Стъпка 5: Критична температура

- При $\bar{\lambda}_{fi,0} = 0.362$ и **линейна интерполация от таблицата**

| $\bar{\lambda}_{fi,0}$ | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 |
|------------------------|-----|------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\mu_{pl,fi}$ | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 0.40 | 629 | 603 | 578 | 544 | 499 | | | | | | |
| 0.42 | 621 | 595 | 569 | 535 | 477 | | | | | | |
| 0.44 | 613 | 588 | 561 | 525 | 455 | | | | | | |
| 0.46 | 604 | 581 | 553 | 516 | 433 | | | | | | |
| 0.48 | 597 | 573 | 545 | 506 | 411 | | | | | | |
| 0.50 | 590 | 566 | 536 | 494 | 367 | | | | | | |
| 0.52 | 584 | 559 | 528 | 477 | | | | | | | |



$\theta_{cr} \approx 560 \text{ } ^\circ\text{C}$

Обобщение на критичните температури

Критични температури на всички изчислени елементи

- Незащитени и изолирани

| Стоманен елемент | | Критична температура (°C) | |
|------------------|--|---------------------------|----------|
| | | незащитен | изолиран |
| 1 | Второстепенна греда под крайна опора на непрекъсната плоча | 667 | 687 |
| 2 | Второстепенна греда под централна опора на непр. плоча | 658 | 679 |
| 3 | Просто опряна вътрешна главна греда | 639 | 606 |
| 4 | Вътрешна колона на наземно НИВО | 560 | 560 |

1. Второстепенна греда под крайна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 6: Нагряване на незащитен стоманен елемент под въздействие на стандартен пожар

Промяна на температура за време Δt (точка 4.2.5.1 от EN1993-1-2):

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} / (c_a \rho_a) A_m/V h_{net,d} \Delta t$$

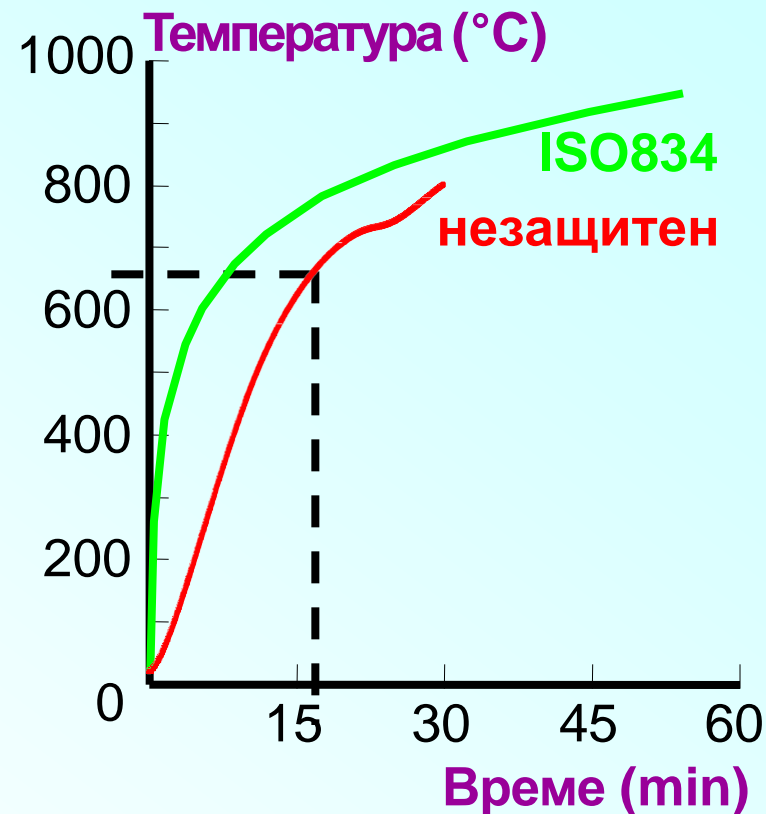
Изложени четири страни:

- $\theta_{cr} = 667 \text{ }^\circ\text{C}$
- $A_m/V = 186 \text{ m}^{-1}$ (IPE360)
- $k_{sh} = 0.9 \times 146/186 = 0.706$ (у-е 4.26а)

Топлинен поток за повърхност $h_{net,d}$ за ISO834 стандартен пожар (EN1991-1-2):

- $\epsilon_f = 1.0$ и $\epsilon_m = 0.7$ (точка 3.1)
- $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (точка 3.2.1)

Изчисление с Excel таблица при $\Delta t = 5$ секунди (4.2.5.1(5) от EN1993-1-2)



Време за достигане критична темп. на неизолиран елемент = 17 min 00 sec

2. Второстепенна греда под централна опора на непрекъснатата плоча

Стъпка 6: Нагряване на незащитен стоманен елемент под въздействие на стандартен пожар

Промяна на температура за време Δt (точка 4.2.5.1 от EN1993-1-2):

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} / (c_a \rho_a) A_m/V h_{net,d} \Delta t$$

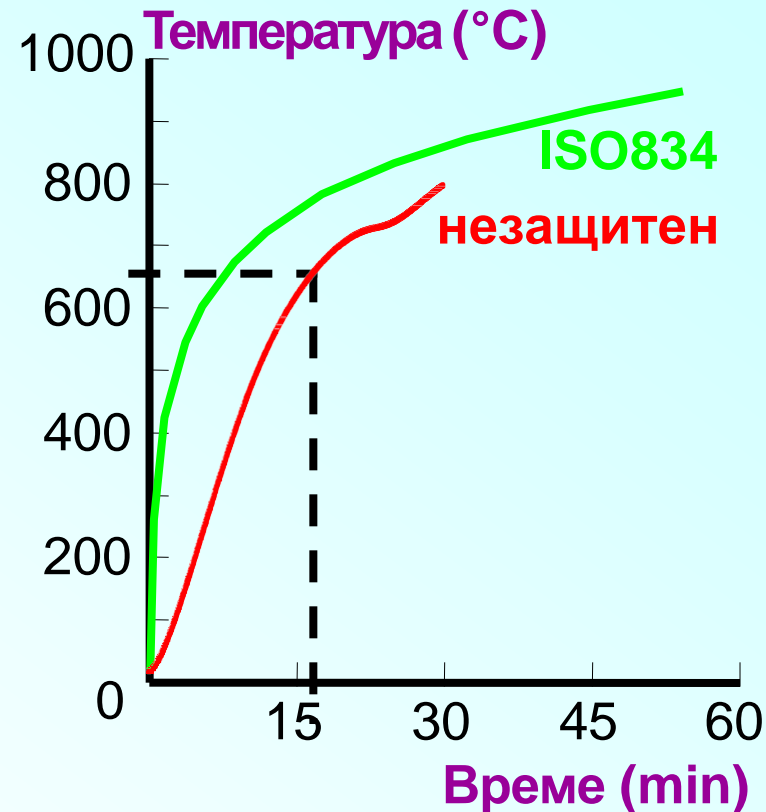
Изложени четири страни:

- $\theta_{cr} = 658 \text{ }^\circ\text{C}$
- $A_m/V = 186 \text{ m}^{-1}$ (IPE360)
- $k_{sh} = 0.9 \times 146/186 = 0.706$ (у-е 4.26а)

Топлинен поток за повърхност $h_{net,d}$ за ISO834 стандартен пожар (EN1991-1-2):

- $\epsilon_f = 1.0$ и $\epsilon_m = 0.7$ (точка 3.1)
- $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (точка 3.2.1)

Изчисление с Excel таблица при $\Delta t = 5$ секунди (4.2.5.1(5) от EN1993-1-2)



Време за достигане критична темп. на неизолиран елемент = 16 min 30 sec

3. Просто опряна вътрешна централна греда

Стъпка 6: Нагряване на незащитен стоманен елемент под въздействие на стандартен пожар

Промяна на температура за време Δt (точка 4.2.5.1 от EN1993-1-2):

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} / (c_a \rho_a) A_m/V h_{net,d} \Delta t$$

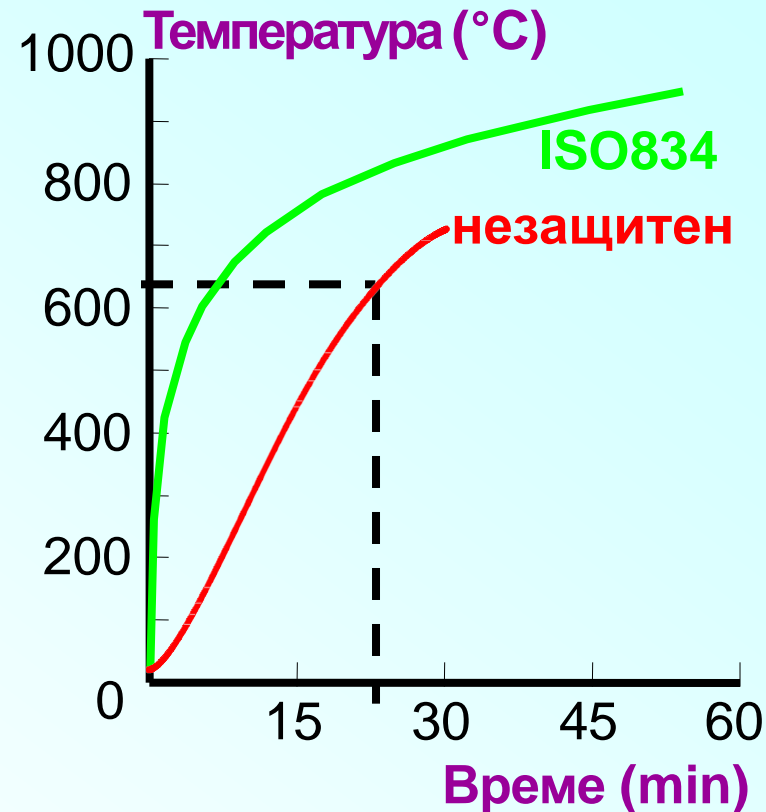
Изложени четири страни:

- $\theta_{cr} = 639 \text{ }^\circ\text{C}$
- $A_m/V = 107 \text{ m}^{-1}$ (HEA360)
- $k_{sh} = 0.9 \times 70/107 = 0.589$ (у-е 4.26а)

Топлинен поток за повърхност $h_{net,d}$ за ISO834 стандартен пожар (EN1991-1-2):

- $\epsilon_f = 1.0$ и $\epsilon_m = 0.7$ (точка 3.1)
- $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (точка 3.2.1)

Изчисление с Excel таблица при $\Delta t = 5$ секунди (4.2.5.1(5) от EN1993-1-2)



Време за достигане критична темп. на неизолиран елемент = 23 min 10 sec

4. Вътрешна колона на наземно ниво

Стъпка 6: Нагряване на незащитен стоманен елемент под въздействие на стандартен пожар

Промяна на температура за време Δt (точка 4.2.5.1 от EN1993-1-2):

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} / (c_a \rho_a) A_m/V h_{net,d} \Delta t$$

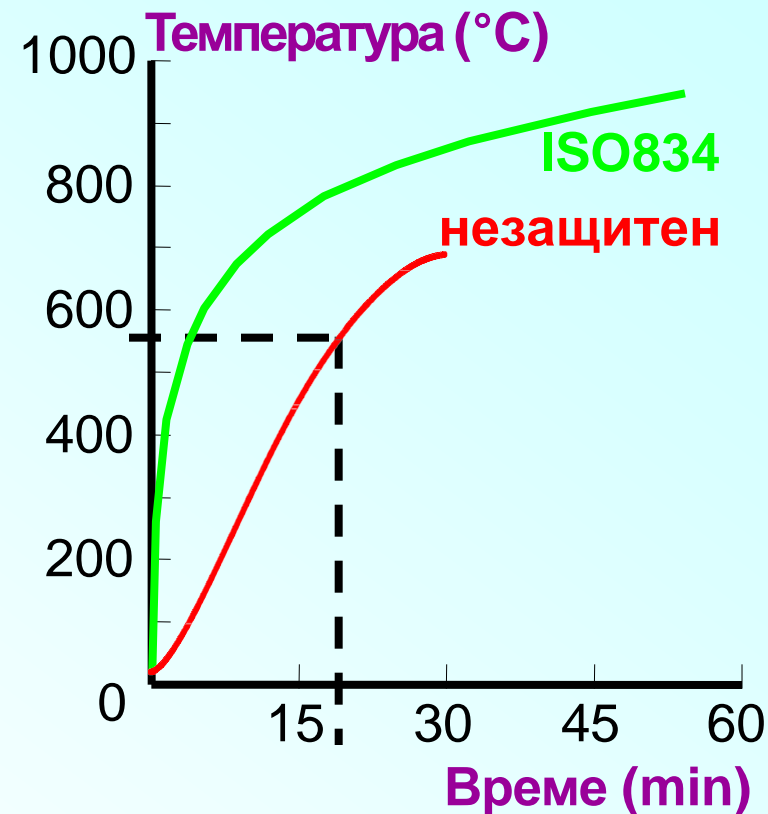
Изложени четири страни:

- $\theta_{cr} = 560 \text{ }^\circ\text{C}$
- $A_m/V = 116 \text{ m}^{-1}$ (HEB300)
- $k_{sh} = 0.9 \times 80/116 = 0.621$ (у-е 4.26а)

Топлинен поток за повърхност $h_{net,d}$ за ISO834 стандартен пожар (EN1991-1-2):

- $\varepsilon_f = 1.0$ и $\varepsilon_m = 0.7$ (точка 3.1)
- $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (точка 3.2.1)

Изчисление с Excel таблица при $\Delta t = 5$ секунди (4.2.5.1(5) от EN1993-1-2)



Време за достигане критична темп. на неизолиран елемент = 17 min 50 sec

| Стоманен елемент | θ_{cr} (°C) | $k_{sh}A_m/V$ (m ⁻¹) | Носимо способност R |
|--|-----------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Второстепенна греда под крайна опора на непрекъснатата плоча | 667 | 131 | 17 min 00 sec |
| Второстепенна греда под централна опора на непр. плоча | 658 | 131 | 16 min 30 sec |
| Просто опряна вътрешна главна греда | 639 | 63 | 23 min 10 sec |
| Вътрешна колона на наземно ниво | 560 | 72 | 17 min 50 sec |

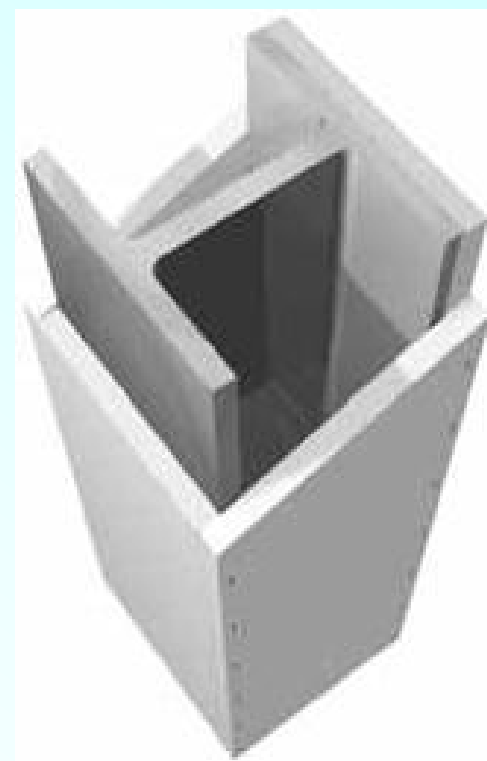
Носимоспособността на незащитени стоманени елементи зависи от критичната температура, фактора на масивност и ефекта на засенчването

- Пожароустойчивост R15
- **Нужна е пожарозащита за пожароустойчивост R60**

Пожарозащита за стоманени елементи

Различни решения за отделните елементи

- Греди: пръскана мазилка – 10 mm
- Колони: един слой гипсофазерни плоскости – 12.5 mm



1 и 2: Второстепенни греди

Стъпка 7: Нагряване на изолирани елементи

- Изискана носимоспособност: R60 (60 min)

Нарастване на температурата Δt (Точка 4.2.5.2 на EN1993-1-2):

$$\Delta\theta_{a,t} = \lambda_p / (d_p c_a \rho_a) A_p / V [1 / (1 + \phi / 3)] (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t}$$

Защита с 10 mm пръскана мазилка:

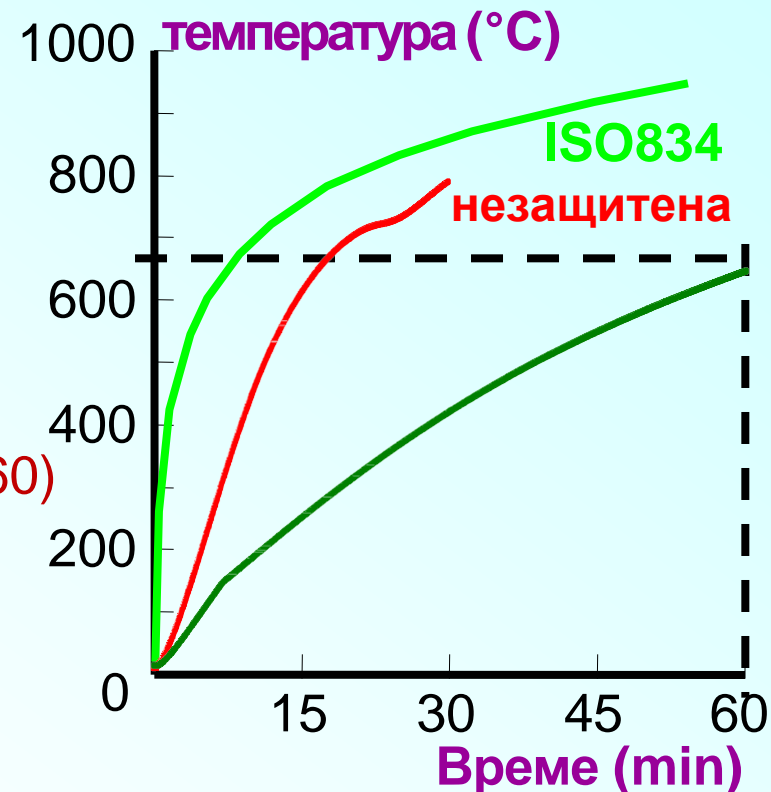
| | | |
|--------------------|-------------|----------------------------|
| Обемна маса | ρ_p | = 350 kg/m ³ |
| Специфична топлина | c_p | = 1200 J/kg ^o K |
| Топлопроводност | λ_p | = 0.12 W/m ^o K |

Тристранно изложени:

- $\theta_{cr} = 687$ °C и 679 °C
- Фактор масивност: $A_p / V = 163$ m⁻¹ (IPE360)

$$\phi = (c_p \rho_p d_p / c_a \rho_a) A_p / V = 0.941$$

След 60min темп. стомана $\theta_a = 641$ °C
($< \theta_{cr} = 687$ °C and 679 °C)



3. Просто опряна вътрешна централна греда

Стъпка 7: Нагряване на изолирани елементи

- Изискана носимоспособност: R60 (60 min)

Нарастване на температурата Δt (Точка 4.2.5.2 на EN1993-1-2):

$$\Delta\theta_{a,t} = \lambda_p / (d_p c_a \rho_a) A_p / V [1 / (1 + \phi / 3)] (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \Delta t - (e^{\phi / 10} - 1) \Delta\theta_{g,t}$$

Защита с 10 mm пръскана мазилка:

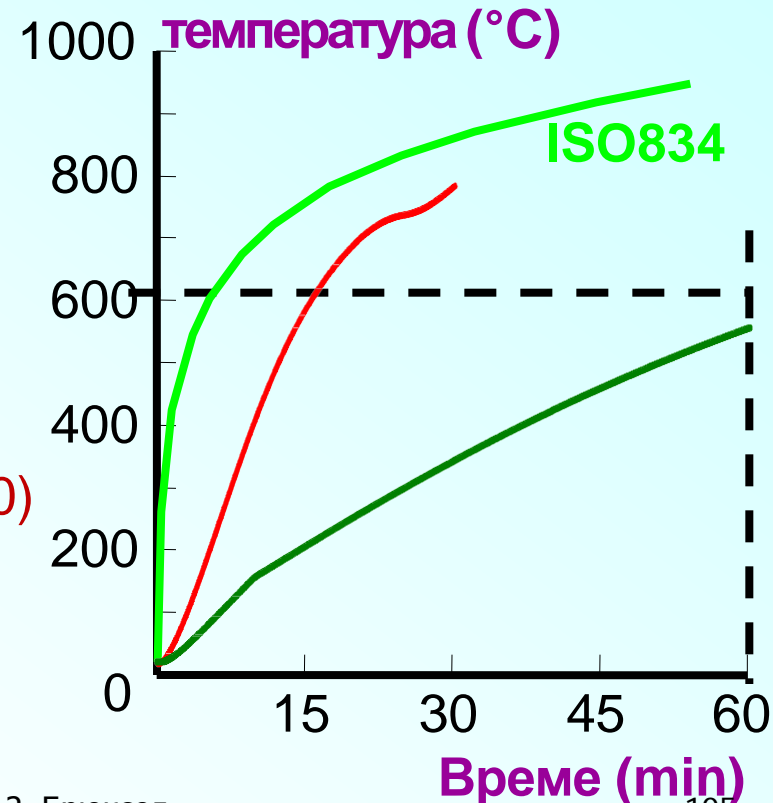
| | | |
|--------------------|-------------|----------------------------|
| Обемна маса | ρ_p | = 350 kg/m ³ |
| Специфична топлина | c_p | = 1200 J/kg ^o K |
| Топлопроводност | λ_p | = 0.12 W/m ^o K |

Тристранно изложени:

- $\theta_{cr} = 606$ °C
- Фактор масивност: $A_p / V = 107$ m⁻¹ (HEA360)

$$\phi = (c_p \rho_p d_p / c_a \rho_a) A_p / V = 0.218$$

След 60min темп. стомана $\theta_a = 542$ °C
(< $\theta_{cr} = 606$ °C)



4. Вътрешна колона на наземно ниво

Стъпка 7: Нагряване на изолирани елементи

- Изискана носимоспособност: R60 (60 min)

Нарастване на температурата Δt (Точка 4.2.5.2 на EN1993-1-2):

$$\Delta\theta_{a,t} = \lambda_p / (d_p c_a \rho_a) A_p / V [1 / (1 + \phi / 3)] (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \Delta t - (e^{\phi / 10} - 1) \Delta\theta_{g,t}$$

Защита с 12.5 mm гипсофазер:

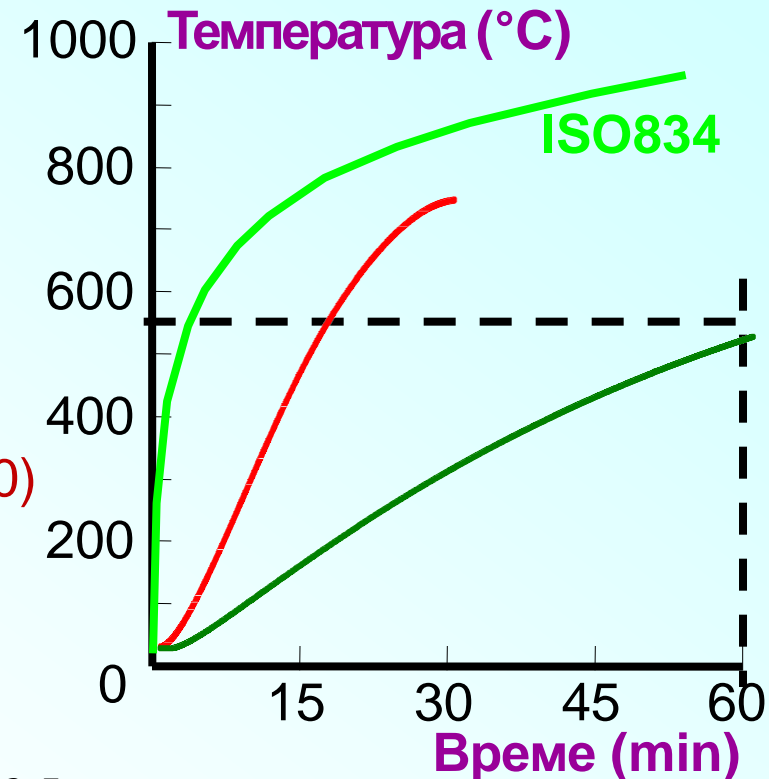
| | | |
|-----------------|-------------|----------------------------|
| Обемна маса | ρ_p | = 800 kg/m ³ |
| Спец. топлина | c_p | = 1700 J/kg ^o K |
| Топлопроводност | λ_p | = 0.20 W/m ^o K |

Четиристранно изложени:

- $\theta_{cr} = 560$ °C
- Фактор масивност: $A_p / V = 80$ m⁻¹ (HEB300)

$$\phi = (c_p \rho_p d_p / c_a \rho_a) A_p / V = 0.289$$

След 60min темп. стомана $\theta_a = 503$ °C
($< \theta_{cr} = 560$ °C)



Обобщение на пасивни пожарозащитни материали

| Стоманен елемент | θ_{cr} (°C) | Вид защита | Дебелина (mm) |
|--|-----------------------|------------------------|------------------|
| Второстепенна греда под крайна опора на непрекъснатата плоча | 687 | Пръскана мазилка | 10 |
| Второстепенна греда под централна опора на непр. плоча | 679 | Пръскана мазилка | 10 |
| Просто опряна вътрешна главна греда | 606 | Пръскана мазилка | 10 |
| Вътрешна колона на наземно ниво | 560 | Гипсофазерни плоскости | 12.5 |

Благодаря за вниманието!