

PRORAČUN KONSTRUKCIJA NA DJELOVANJE REALNOG POŽARA

PRIMJERI IZ PRAKSE

Josip Radeljić, dipl.ing.građ. UPI-2M d.o.o.



HRVATSKA UDRUGA ZA
ZAŠTITU OD POŽARA
Savska cesta 144 a
10 000 Zagreb, HR



UNIVERZITET U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

SADRŽAJ:

Primjer 1: Proračun čelične konstrukcije trgovačkog centa u Zagrebu, na djelovanje realnog požara .

Primjer 2: Proračun čelične konstrukcije poslovne građevine na Hvaru, na djelovanje realnog požara.

Primjer 3: Proračun armiranobetnske konstrukcije metodom ekvivalentnog vremena, stambeno poslovna građevina u Zagrebu.

Primjer 4: Proračun drvenih grednika stropne konstrukcije poslovne jedinice u Splitu

ZAKONSKO UPORIŠTE, TEHNIČKI PROPISI I NORME:

-Zakon o prostornom uređenju i gradnji (NN 076/2007), članak 14.

- Zakon o zaštiti od požara (NN 092/2010), članak 25.

Jedan od uvjeta za ispunjenje bitnog zahtjeva zaštite od požara je da se u slučaju požara:

“- očuva nosivost konstrukcije tijekom određenog vremena utvrđena posebnim propisom”

... “Ispunjavanje bitnog zahtjeva zaštite od požara može se dokazivati i prema priznatim metodama proračuna i modelima”

•TEHNIČKI PROPIS ZA ČELIČNE KONSTRUKCIJE (NN 112/08)

-HRN EN 1991-1-2 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije izložene požaru

-HRN EN 1993-1-2 Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija na djelovanje požara

•TEHNIČKI PROPIS ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE (NN 139/09, NN14/10)

-HRN EN 1991-1-2 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije izložene požaru

-HRN EN 1992-1-2: Eurokod 2 - Projektiranje betonskih konstrukcija na djelovanje požara

•TEHNIČKI PROPIS ZA SPREGNUTE KONSTRUKCIJE OD ČELIKA I BETONA (NN 119/09)

-HRN EN 1991-1-2 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije izložene požaru

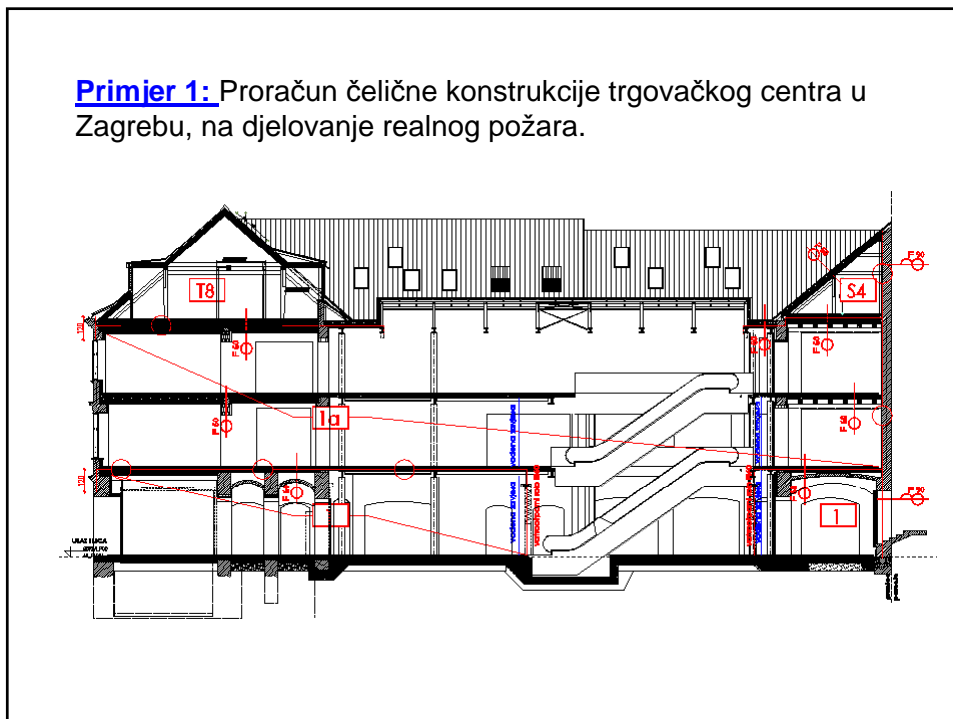
-HRN EN 1994-1-2 Eurokod 4: Projektiranje spregnutih konstrukcija od čelika i betona na djelovanje požara

•TEHNIČKI PROPIS ZA DRVENE KONSTRUKCIJE (NN 76/07)

-HRN EN 1991-1-2 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije izložene požaru

-HRN EN 1995-1-2 Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija na požarno djelovanje

Primjer 1: Proračun čelične konstrukcije trgovačkog centra u Zagrebu, na djelovanje realnog požara.



Parametri požara u sektoru oznake "1a":

-**Namjena sektora** - Trgovački prostor (trgovina odjevnim predmetima)

-**visina sektora** $h=3,55\text{m}$

-**Površina mjerodavnoga sektora** (sektor "1a") - $A_f = 546,31\text{m}^2$

-**Karakteristično požarno opterećenje** $q_{f,k}=400 [\text{MJ/m}^2]$

-**Maksimalna rata oslobađanja topline** $\text{RHR}_f=250[\text{kW/m}^2]$

-**Rata razvoja požara (brzina razvoja požara)** brzi FGR $\rightarrow t_a=150\text{s}$, za dostizanje rate oslobađanja topline od $Q=1\text{MW}$

-**Faktor opasnosti od nastanka požara za odgovarajuću tlocrtnu površinu sektora** $\delta_{q,1}$ proračunat je prema izrazu $\delta_{q,1}=0,1688\ln(A_f)+0,5752 = 1,64$

-**Faktor opasnosti od nastanka požara za odgovarajuću namjenu prostora** $\delta_{q,2}=1,0$

-Aktivne mjere zaštite od požara:

profesionalna vatrogasna postrojba, šprinkler instalacije, vanjska i unutrašnja hidrantska mreža, automatski i ručni sustav vatrodojave, aparati za početno gašenje požara.

-Faktor aktivnih mjera zaštite od požara δ_n u skladu sa faktorima za svaku pojedinu aktivnu mjeru $\delta_{n,i}$ navedenu u prethodnoj točki, a izračunati se prema izrazu **$\delta_n = \prod \delta_{n,i} = 0,3084$**

-faktor izgaranja $m=0,8$

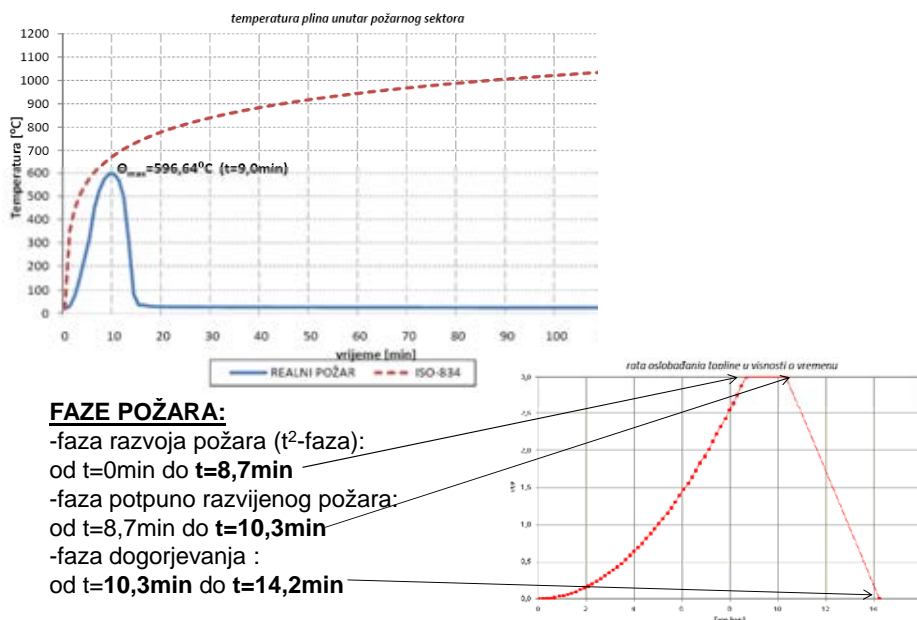
-Računsko požarno opterećenje:

$$q_{f,d} = \delta_{q,1} \cdot \delta_{q,2} \cdot \prod \delta_{n,i} \cdot m \cdot q_{f,k} = 161,8 \text{ MJ/m}^2$$

-Geometrijske karakteristike, slojevi poda, stropa (krova) i zidova, otvori i ventiliranje sektora unešeni su u program Ozone v2.2.u skladu sa Projektom Arhitekture.

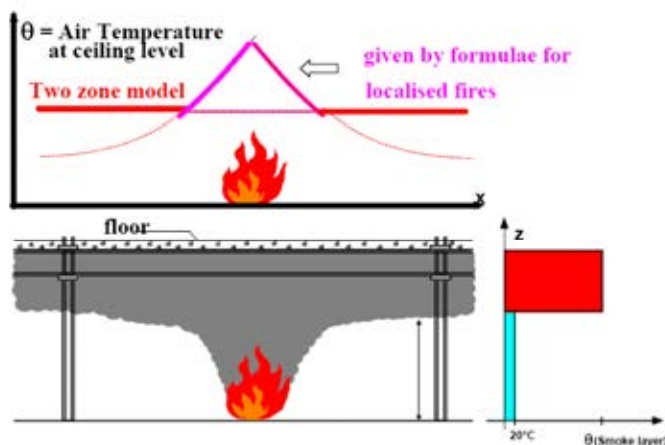
-Zahtjevano vrijeme otpornosti konstrukcije na požar **60min**

KRIVULJA REALNOG POŽARA U SEKTORU 1a



LOKALNI POŽAR – NESIGURNA PRETPOSTAVKA JEDNOLIKE TEMPERATURE ZONE

Kod požara lokalnog karaktera poput ovog, pretpostavka jednolike temperature zone koju koriste zonski modeli može biti netočna. U takvim slučajevima potrebno je provjeriti lokalne temperature neposredno iznad područja u plamenu modelima lokalnog požara (Hasemi, Heskestad).



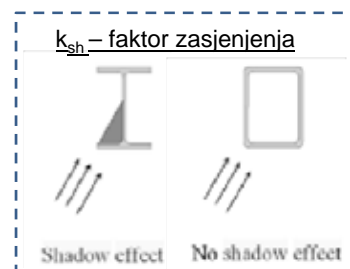
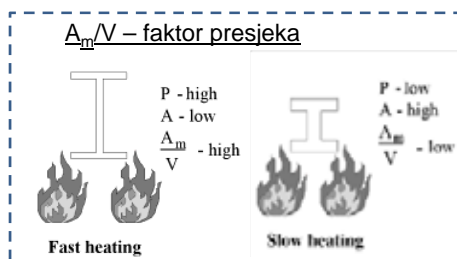
PRORAČUN TEMPERATURE ČELIČNIH ELEMENATA KONSTRUKCIJE PREMA HRN EN 1993-1-2:

Na osnov prethodno dobivene temperature krivulje plina u sektoru, proračunate su temperature čelinih elemenata.

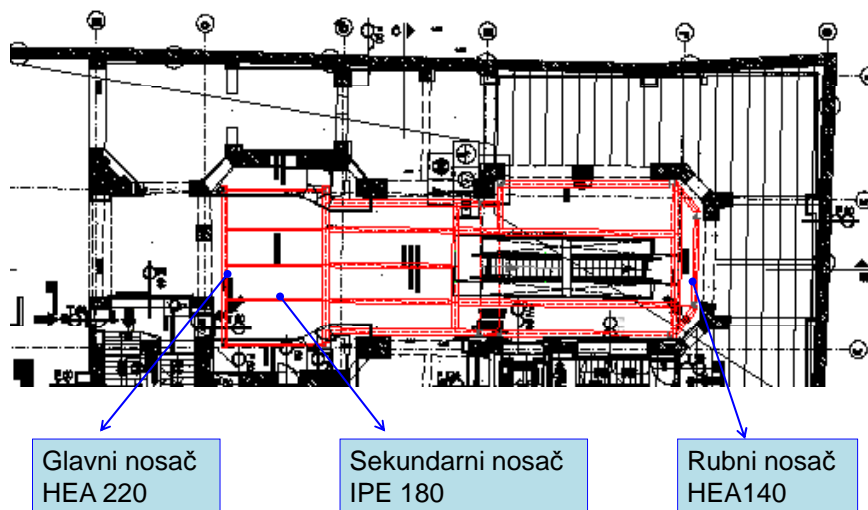
Proračun temperature, proračun reznih sila i dimenzioniranje konstrukcije provedeno je u programu "Scia Engineer". Proračun temperature elemenata proveden iterativnom metodom je prema formuli:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net,d} \Delta t \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Δt – vremenski interval $t < 5[s]$

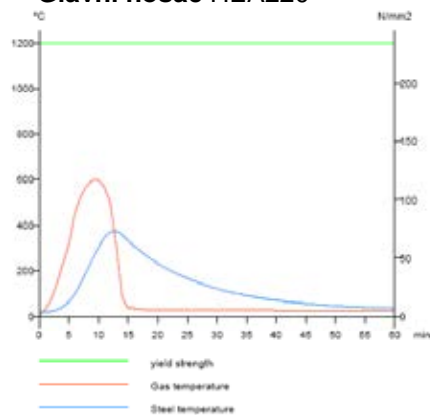


MEĐUKATNA KONSTRUKCIJA IZLOŽENA POŽARU U SEKTORU 1a



TEMPERATURA U ELEMENTIMA KONSTRUKCIJE I PROMJENA MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA MATERIJALA

Glavni nosač HEA220

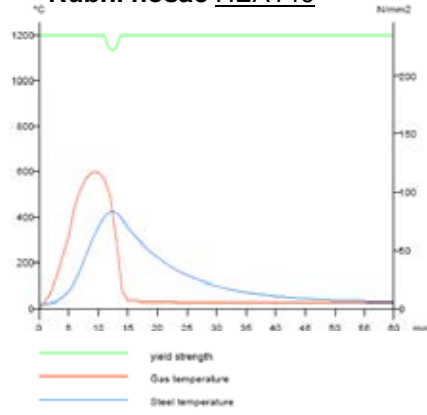


$$\theta_{\max} = 374,03^{\circ}\text{C}$$

$$k_y = 1,00$$

$$k_E = 0,73$$

Rubni nosač HEA140



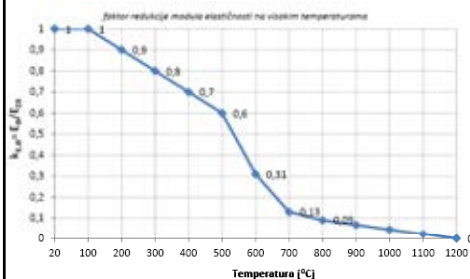
$$\theta_{\max} = 425,20^{\circ}\text{C}$$

$$k_y = 0,94$$

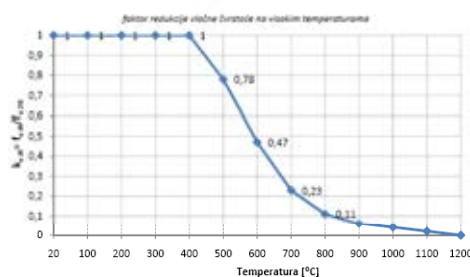
$$k_E = 0,67$$

REDUKCIJA MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA PROFILSKOG ČELIKA PREMA HRN EN 1993-1-2

Faktor redukcije modula elastičnosti



Faktor redukcije vlačne čvrstoće



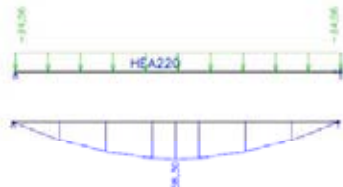
Dopušta se linearna interpolacija za međuvrijednosti.

IZVANREDNA KOMBINACIJA OPTEREĆENJA

☐ Požar je prema HRN EN 1991-1-2 svrstan u skupinu izvanrednih situacija za koje je propisana izvanredna kombinacija opterećenja. Izvanredna kombinacija propisuje **niže parcijalne faktore sigurnosti** što rezultira **smanjenim računskim opterećenjem u slučaju požara**. Za konkretni slučaj glavnog nosača HEA220:

Uobičajena temperatura

$$E_{sd} = 1,35G + 1,5Q$$

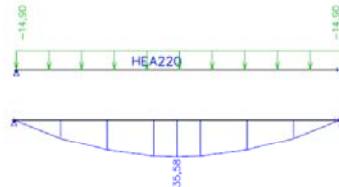


$$q_{sd} = 24,56 \text{ kN} / \text{m}'$$

$$M_{sd} = 58,30 \text{ kNm}$$

Požarna situacija

$$E_{fi,d} = 1,0G + 0,7Q$$

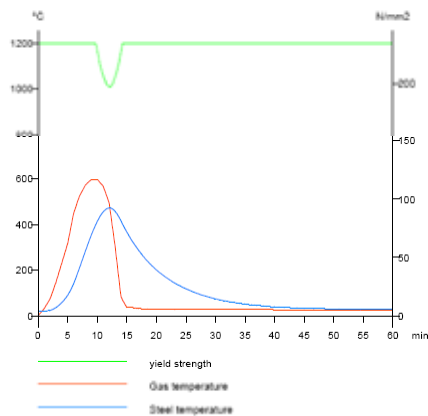


$$q_{fi,d} = 14,90 \text{ kN} / \text{m}' \quad (61\% \quad q_{sd})$$

$$M_{fi,d} = 35,58 \text{ kNm} \quad (61\% \quad M_{sd})$$

☐ U većini slučajeva elementi su **dimenzionirani na cca 80-90%** ukupne nosivosti što predstavlja dodatnu rezervu na koju možemo računati u požaru.

SEKUNDARNI NOSAČ IPE 180



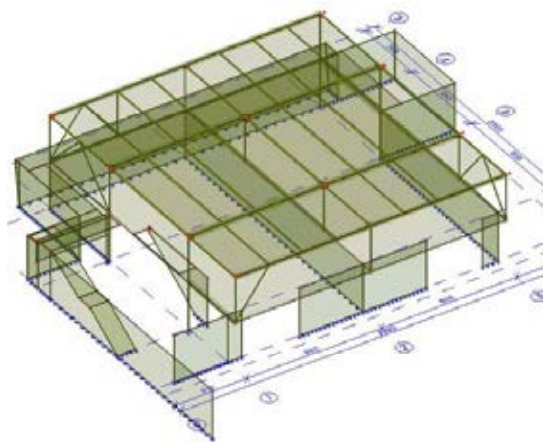
$$\theta_{\max} = 472^{\circ}\text{C}$$

$$k_y = 0,84$$

$$k_E = 0,63$$

Tankostijeni nosač IPE 160, nije imao dostatnu rezervu nosivosti te je samo za tu **poziciju propisan vatrootporni premaz**. Za ostatak konstrukcije dokazano je da posjeduje dostatnu otpornost na djelovanje realnog požara.

Primjer 2: Proračun čelične konstrukcije poslovne građevine na Hvaru, na djelovanje realnog požara



-Namjena: uredski prostor

- $A_f = 748\text{m}^2$

- $h = 3,17\text{m}$

- $q_{f,k} = 700 [\text{MJ}/\text{m}^2]$

- $\text{RHR}_f = 250 [\text{kW}/\text{m}^2]$

- $t_a = 300\text{s}$

- $\delta_{q,1} = 1,59$

- $\delta_{q,2} = 1,00$

-Aktivne mjere:

DVD, vatrogasni aparati

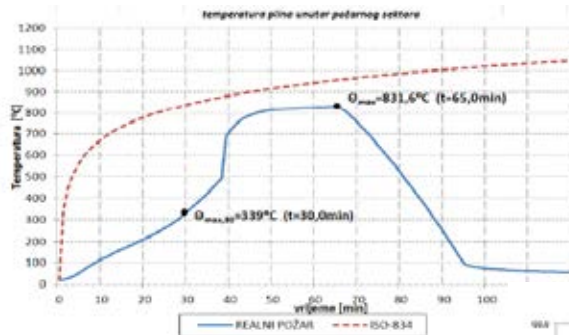
- $\delta_n = \prod \delta_{n,i} = 0,915$

-faktor izgaranja $m = 0,8$

Propisano potrebno vrijeme otpornosti konstrukcije na djelovanje požara **30min (R30)**

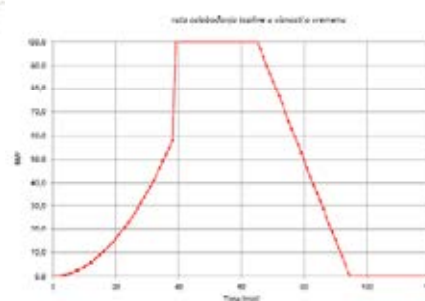
$q_{f,d} = 814,7 \text{ MJ}/\text{m}^2$

KRIVULJA REALNOG ZA MJERODAVNI SCENARIJ – POŽAR U UREDSKOM PROSTORU

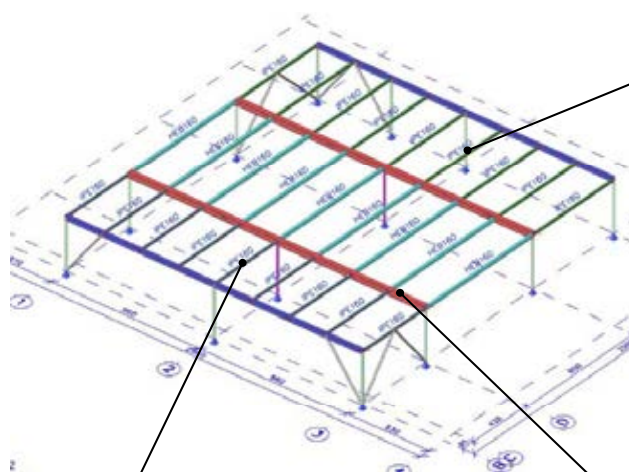


FAZE POŽARA:

- faza razvoja požara (t^2 -faza):
od $t=0\text{min}$ do $t=39,1\text{min}$
- faza potpuno razvijenog požara:
od $t=39,1\text{min}$ do $t=65,3\text{min}$
- faza dogorjevanja :
od $t=65,3\text{min}$ do $t=94,8\text{min}$



ČELIČNA KONSTRUKCIJA UREDSKIH PROSTORA:



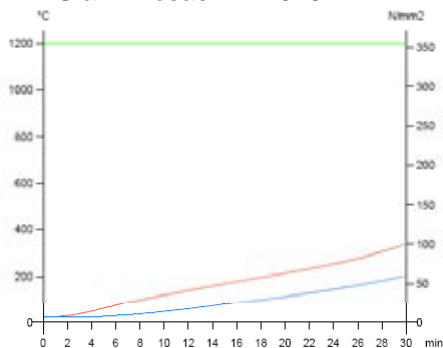
Sekundarni nosač
IPE 160
Iskorišten 95% pri
uobičajenim
temperaturama

Sekundarni nosač
IPE 160
Iskorišten 70% pri uobičajenim
temperaturama

Glavni nosač
HEB 320

TEMPERATURA U ELEMENTIMA I PROMJENA MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA MATERIJALA

Glavni nosač HEB 320

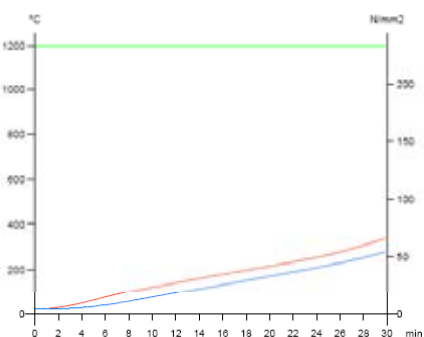


$$\theta_{\max,30\min} = 203,55^{\circ}\text{C}$$

$$k_y = 1,00$$

$$k_E = 0,90$$

Sekundarni nosač IPE 180

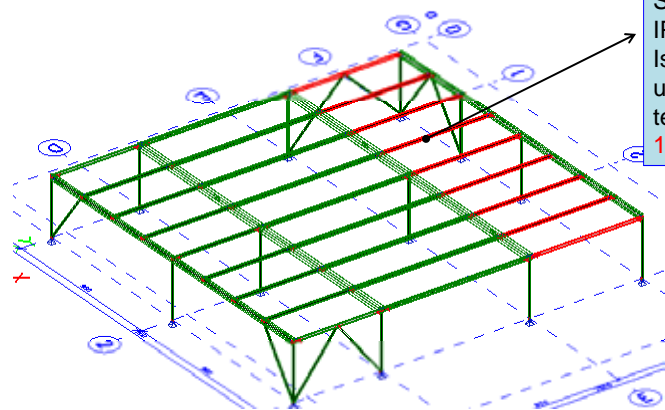


$$\theta_{\max,30\min} = 279,79^{\circ}\text{C}$$

$$k_y = 1,00$$

$$k_E = 0,82$$

OTPORNOST KONSTRUKCIJE NA DJELOVANJE REALNOG POŽARA



Sekundarni nosač IPE 160
Iskorišten 95% pri uobičajenim temperaturama, 110% u požaru

Dokazano je da svi elementi konstrukcije imaju dostatnu otpornost na djelovanje 30min realnog požara, izuzev sekundarnog nosača IPE160 na većem rasponu, za koji je propisan vatrootporni premaz.

PONAŠENJE SPOJEVA ČELIČNIH KONSTRUKCIJA U POŽARU

Proračunima i pokusima dokazano je da je temperatura u spojevima čeličnih konstrukcija **gotovo uvijek je niža** od temperature samih elementata koji se spajaju zbog:

-masivnosti: dodatne spojne pločevine i spojna sredstva smanjuju faktor presjeka A_m/V što dovodi do sporijeg zagrijavanja.

-povećanog efekta zasjenjenja: elementi koji dolaze do spoja "štite" sami spoj na način da povećavaju efekt zasjenjenja.



PONAŠENJE SPOJEVA ČELIČNIH KONSTRUKCIJA U POŽARU

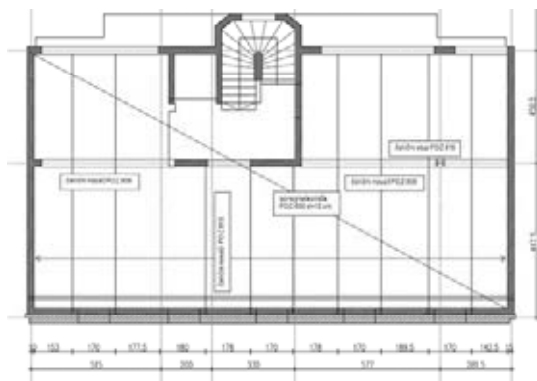
Prema HRN EN1993-1-2 spojevi čeličnih konstrukcija imaju dostatnu otpornost na požar ukoliko su ispunjeni sljedeću uvjeti:

- 1) vatrootporna zaštita spojeva je veća ili jednaka vatrootpornoj zaštiti elemenata koji se spajaju (ako su elementi nezaštićeni i spoj može biti nezaštićen)
- 2) stupanj iskorištenosti spoja pri uobičajenoj temperaturi mora biti manji ili jednak stupnju iskorištenosti najiskorištenijeg elementa u spoju.
- 3) Otpornost spoja za uobičajene temperature proračunata je prema HRN EN 1993-1-8

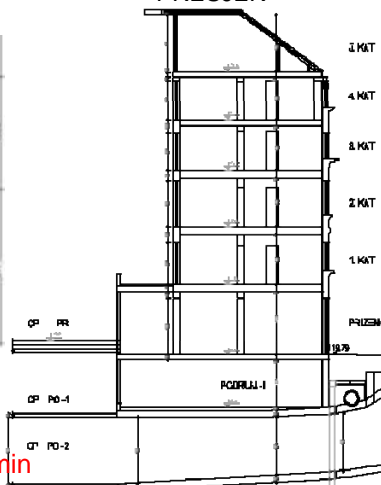
Alternativno dokaz spojeva u požaru može se provesti prema HRN EN 1993-1-2 (Annex D)

Primjer 3: Proračun betonske konstrukcije metodom ekvivalentnog vremena, stambeno poslovna građevina Zagreb.

TLOCRT



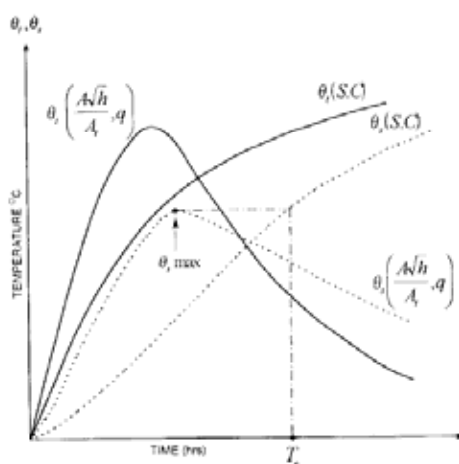
PRESJEK



Zahtjevana vatrootpornost cijele konstr. 90min

Čelična konstrukcija dokazana je za realni požar analogno prethodnim primjerima
Betonka konstrukcija dokazana je metodom ekvivalentnog vremena

EKVIVALENTNO VRIJEME PREMA HRN EN 1991-1-2 (Annex F)



$$t_{e,d} = (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_t) \cdot k_c$$

$$w_f = (6/H)^{0.3} \cdot [0,62 + 90 \cdot (0,4 - \alpha_v)^4]$$

$$\alpha_v = \frac{A_v}{A_f}$$

$$k_b = 0,07 \text{ - ako nije provedena anal. t.s.o.}$$

$$k_c = 1,0 \text{ - za beton i zaštićeni čelik}$$

$$k_c = 13,7 \cdot O \text{ - za nezaštićeni čelik}$$

$$O = \frac{A_v \sqrt{h_{eq}}}{A_t}$$

Ekvivalentno vrijeme izloženosti elementa standardnom požaru je ono vrijeme za koje će se u elementima postići isti efekt kao za cijelo vrijeme trajanja realnog požara.

PRORAČUN EKVALENTNOG VREMENA IZLOŽENOSTI AB ELEMENTA ZA POŽARNI SEKTOR "S1.3" –spremište PREMA HRN EN 1991-1-2

PARAMETRI POŽARNOG SEKTORA:

$A_f = 80$ m ²	-površina poda požarnog sektora
$H = 2,94$ m	-visina požarnog sektora
$A_v = 0,85$ m ²	-ploština vertikalnih otvora kroz koje je moguće ventiliranje tijekom požara.
$q_{f,k} = 500$ MJ/m ²	-karakteristično požarno opterećenje , (prema Elaboratu zaštite od požara)

FAKTOR PROZRAČIVANJA:

$$w_f = (6/H)^{0,3} \cdot [0,62 + 90 \cdot (0,4 - \alpha_v)^4] \quad \text{-faktor prozračivanja}$$

$$\alpha_v = A_v/A_f \quad , \text{ uz ograničenje: } 0,025 < \alpha_v < 0,25$$

$$\alpha_v = 0,025$$

$$w_f = 2,9724$$

PRORAČUNSKA VRIJEDNOST POŽARNOG OPTEREĆENJA:

$q_{f,d}$	-proračunska vrijednost požarnog opterećenja [MJ/m ²]
$q_{f,k} = 500$ MJ/m ²	-karakteristična vrijednost požarnog opterećenja
$m = 0,8$	-faktor koji uzima u obzir način izgaranja materijala,
$\delta_{q1} = 1,31$	-faktor rizika nastanka požara ovisno o veličini požarnog sektora,
$\delta_{q2} = 1,00$	-faktor rizika nastanka požara ovisno o namjeni požarnog sektora

...nastavak

$$\delta_n = \prod \delta_{ni} = 0,4858 \quad \text{-faktor aktivnih mjera zaštite od požara } \delta_n = \prod \delta_{ni}$$

δ _n funkcija aktivnih sustava zaštite od požara										
Automatsko gašenje požara				Automatsko otkrivanje požara			Priručna oprema za gašenje požara			
Sustavi za automatsko gašenje požara vodom	Neovisna opskrba vodom			Automatsko otkrivanje požara i alarm	Automatski prijenos alarma vatrogasnoj ekipi	Rukav vatrogasne opreme	Vatrogasna brigada terena	Otgarni i požarni primaci	Oprema za gašenje požara	Sustav za bucanje dima
	1	2	3							
δ _{n1}	δ _{n7}			δ _{n3}	δ _{n4}	δ _{n5}	δ _{n6}	δ _{n8}	δ _{n9}	δ _{n10}
0,61	1,0	0,87	0,7	0,87 ili 0,73	0,87	0,61 ili 0,78	0,78	0,9 ili 1,1	1,0 ili 1,5	1,0 ili 1,3

(δ_{n1} - prof. vatrogasne postrojbe, šprinkler instalacija, unutarnja i vanjska hidrantska mreža, sigurni evakuacijski putevi)

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n = 255 \quad \text{MJ/m}^2$$

EKVVALENTNO VRIJEME IZLOŽENOSTI POŽARU:

$$t_{ed} = (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_f) \cdot k_c \quad \text{gdje je:}$$

$t_{e,d}$	- ekvivalentno vrijeme izloženosti požaru
$k_b = 0,07$	- faktor pretvorbe ovisan o toplinskim svojstvima okruženja (kada nije provedena detaljna ocjena t.s.o. uzima se $k_b=0,07$)
$k_c = 1,00$	- faktor korekcije ovisan o materijalu konstrukcije

$$t_{ed} = (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_f) \cdot k_c = 53,1 \text{ min} \quad \text{USVOJENO:} \quad t_{ed} = 60 \text{ min}$$

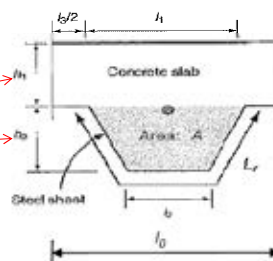
PRORAČUN AB PLOČE NA TRAPEZNOM LIMU ZA USVOJENO EKVALENTNO VRIJEME $t_{ek}=60\text{min}$

6.12. PRORAČUN AB PLOČE IZVEDENE NA TRAPEZNOM LIMU KAO IZGUBLJENOJ OPLATI

Proračun će se provesti za najveći raspon i opterećenje, te za mjerodavni slučaj zagrijavanja ploče požarom sa donje strane.

ULAZNI PODACI:

$L = 2,50$	m	-raspon
$\Delta g = 2,91$	kN/m^2	-dodatno stalno
$q = 2,00$	kN/m^2	-korisno
$h_1 = 65$	mm	
$h_2 = 55$	mm	
$l_0 = 150$	mm	
$l_1 = 100$	mm	
$l_2 = 50$	mm	
$l_3 = 50$	mm	
$\alpha = 65,59^\circ$		-kut nagiba rebra
C25/30	$f_{ck} = 25$	N/mm^2
B 500B	$f_{yk} = 50$	kN/cm^2



USVOJENO EKVALENTNO VRIJEME:

-Predhodno prikazanim proračunom ekvivalentnog vremena izloženosti požaru u svim sektorima gdje se nalazi ovakva ploča usvojeno je da realni požar u najnepovoljnijem slučaju - sektor "S 1.3" odgovara 60 minutnom požaru prema standardnoj krivulji ISO834, pa se usvaja otpornost R60 prema standardnoj krivulji, koja zadovoljava cijelo vrijeme trajanja realnog požara pa tako i 90 minutnu požarnu otpornost za realni požar zahtjevanu **Elaboratom zaštite od požara**.

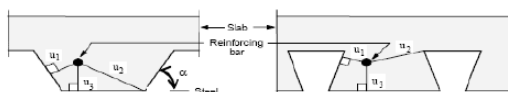
... nastavak proračun AB ploče na trapeznom limu

PRORAČUN TEMPERATURE ARMATURE DONJE ZONE (armaturne šipke u rebrima):

$$\frac{A}{L_r} = \frac{h_2 \left(\frac{l_1 + l_2}{2} \right)}{l_2 + 2 \cdot \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2}} = 24,15 \quad \text{-faktor oblika rebra}$$

za normalni beton i vatrootpornost R60 očitano:

C_0 (°C)	C_1 (°C)	C_2 (°Cmm ^{0,5})	C_3 (°Cmm ^{0,5})	C_4 (°C/°)	C_5 (°Cmm)
1191	-250	-240	-5,01	1,04	-925



Najkraća udaljenost osi armature od ruba rebra:

$$u_1 = 34,65 \text{ mm}$$

$$u_2 = 34,65 \text{ mm}$$

$$u_3 = 24,00 \text{ mm}$$

$$z = 1,839 \text{ mm}^{0,5}$$

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{u_1}} + \frac{1}{\sqrt{u_2}} + \frac{1}{\sqrt{u_3}} = 0,5439 \text{ 1/mm}^{0,5}$$

$$\theta_s = C_0 + C_1 \frac{u_3}{h} + C_2 z + C_3 \frac{A}{l} + C_4 \alpha + C_5 \frac{1}{l} = 569^\circ\text{C} \quad \text{-temperatura armaturnih šipki}$$

... nastavak proračun AB ploče na trapeznom limu

PRORAČUN VLAČNOG KAPACITETA POLJNE ARMATURE:

Obzirom da visokovalni lim nije spregnut sa AB pločom već služi samo kao izgubljena oplata nosivost lima će se zanemariti a računati će se samo sa vlačnim kapacitetom armature u rebru:
Za maksimalnu temperaturu armaturnih šipki $\theta_s = 569^\circ\text{C}$ očitana je faktor redukcije vlačne čvrstoće $k_{y,\theta} = 0,48$

$$A_{s,r} = 0,5 \text{ cm}^2 \quad \text{-površina armature u jednom rebu (1o8)}$$

vlačni kapacitet armature u polju - armature rebra :

$$N_n^{polje} = A_{s,r} \cdot k_{y,\theta} \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M,s}} = A_{s,r} \cdot k_{y,\theta} \cdot \frac{f_{y,k}}{1,00} = 12,07 \text{ kN}$$

PRORAČUN EFEKTIVNE VISINE PLOČE

$$h_{eff} = h_1 + 0,5h_2 \left(\frac{l_1 + l_2}{l_1 + l_3} \right), \text{ za } h_2 / h_1 \leq 1,5 \text{ i } h_1 > 40\text{mm}$$

$$h_{eff} = h_1 \left[1 + 0,75 \left(\frac{l_1 + l_2}{l_1 + l_3} \right) \right], \text{ za } h_2 / h_1 > 1,5 \text{ i } h_1 > 40\text{mm}$$

$$h_{eff} = 92,5 \text{ mm} \quad \text{-efektivna visina ploče}$$



... nastavak proračun AB ploče na trapeznom limu

PRORAČUN MOMENTA OTPORNOSTI U POLJU:

$$d_c^{polje} = \frac{N_n^{polje}}{\alpha \cdot I_o \cdot K_{c,\theta} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{M,s,c}}} = \frac{N_n^{polje}}{0,85 \cdot I_o \cdot K_{c,\theta} \cdot \frac{f_{ck}}{1,1}} = 4,21 \text{ mm} \quad \text{-visina tlačnog područja u polju}$$

$$x = h_{eff} - d_c / 2 = 90,40 \text{ mm} \quad \text{,za x i ekvivalentno vrijeme } t_{ekv} = 60 \text{ min} \text{ očitano:}$$

$$\theta_c = 120^\circ\text{C} \quad \text{-temperatura betona u tlačnoj zoni}$$

$$k_{c,\theta} = 0,99 \quad \text{-faktor redukcije tlačne čvrstoće betona}$$

$$M_{n,Rd+} = N_n^{polje} \cdot z_n^{polje} \quad \text{-max dozvoljeni moment polja}$$

$$z_n^{polje} = h_1 + h_2 - u_3 - \frac{d_c^{polje}}{2} = 93,9 \text{ mm} \quad \text{-krak unutarnjih sila u polju}$$

$$M_{n,Rd+} = 1,13 \text{ kNm}$$

PRORAČUN VLAČNOG KAPACITETA LEŽAJNE ARMATURE:

$$A_{s,r} = 1,88 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{-površina armature u gomjoj zoni}$$

$$u_4 = 23 \text{ mm} \quad \text{-udaljenost od osi ležajne armature do gornjeg ruba ploče}$$

$$\text{za } x = h_{eff} - u_4 = 70 \text{ mm} \quad \text{i ekvivalentno vrijeme } t_{ekv} = 60 \text{ min} \text{ očitano:}$$

$$\theta_s = 157,5^\circ\text{C} \quad \text{-temperatura ležajne armature}$$

$$k_{y,s} = 1,00 \quad \text{-faktor redukcije vlačne čvrstoće ležajne armature}$$

vlačni kapacitet ležajne armature (za širinu jednog vala):

$$N_s = A_{s,r} \cdot k_{y,s} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M,s}} = A_{s,r} \cdot k_{y,s} \cdot \frac{f_{yk}}{1,00} = 14,10 \text{ kN}$$

... nastavak proračun AB ploče na trapeznom limu

PRORAČUN TLAČNOG DIJELA PRESJEKA NA LEŽAJU PLOČE:

Tlačni dio presjeka na ležaju odrediti će se konzervativnom metodom isključivnja iz nosivosti dijela presjeka u kojem je temperatura veća od θ_{lim} ostatak presjeka je presjek sa punom tlačnom čvrstoćo

$$\Phi = \frac{\left(\sqrt{h_2 + \left(l_3 + \frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2} - \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2} \right)}{l_3} = 0,652 \quad \text{-faktor oblika rebra}$$

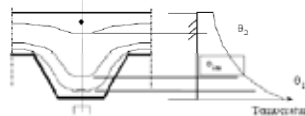
koeffijenti za određivanje limitirajuće temperature:
za **normalni beton** i vatrootpornost

d_0 (°C)	d_1 (°C).N	d_2 (°C).mm	d_3 (°C)	d_4 (°C).mm
867	-0,00019	-8,75	-123	-1378

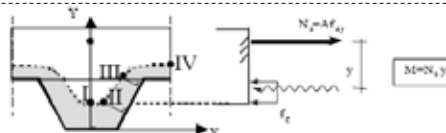
R60 očitano:

$$\theta_{lim} = d_0 + d_1 \cdot N_s + d_2 \cdot \frac{A}{L_y} + d_3 \cdot \Phi + d_4 \cdot \frac{1}{l_3} = 545 \text{ °C}$$

$$z = \frac{\theta_{lim} - c_0 - 0,75 \cdot c_1 - c_2 \cdot \frac{A}{L_y} - c_4 \cdot \alpha - \frac{c_3}{l_3}}{c_2} = 1,689$$



... nastavak proračun AB ploče na trapeznom limu



shematski prikaz izoterme $\theta = \theta_{lim}$

$$Y_I = Y_{II} = \frac{1}{\left(\frac{1}{z} - \frac{4}{\sqrt{l_1 + l_3}} \right)^2} = 14,20 \text{ mm} < 55 \text{ mm}$$

$$X_{II} = \frac{1}{2} l_2 + \frac{Y_I}{\sin \alpha} \cdot (\cos \alpha - 1) = 15,85 \text{ mm}$$

gdje je: $\alpha = \arctan \left(\frac{2h_2}{l_1 - l_2} \right) = 65,59 \text{ °C}$

PRORAČUN MOMENTA OTPORNOSTI NA LEŽAJU:

visina tlačnog područja na ležaju:

$$d_s^{min} = \frac{N_s}{\alpha \cdot 2 \cdot X_{II} \cdot \frac{f_{td}}{\gamma_{M,R,S}}} = \frac{N_s}{0,85 \cdot X_{II} \cdot \frac{f_{td}}{1,1}} = 23,02 \text{ mm}$$

$$M_{s,Rd} = N_s \cdot \left(h_1 + h_2 - u_s - Y_I - \frac{d_c}{2} \right) = 1,01 \text{ kNm}$$

... nastavak proračun AB ploče na trapeznom limu**PRORAČUN UKUPNOG KAPACITETA NOSIVOSTI PLOČE U POŽARNOJ SITUACIJI:**

Po analizi prema teoriji plastičnosti maksimalni kapacitet nosivosti kontinuirane ploče dosegnut je u trenutku formiranja plastičnih zglobova na osloncima i u sredini raspona kontinuirane ploče pa možemo reći da je ukupni kapacitet nosivosti ploče $M_{pl,Rd}$ za mjerodavno krajnje polje definiran izrazom:

$$M_{pl,Rd} = M_{pl,Rd+} + M_{pl,Rd-} = 2,14 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{w \cdot L^2}{8}, \text{ za raspon } L = 2,50 \text{ m} \quad \text{proizlazi } w = 2,737 \text{ kN/m}$$

iz čega proizlazi maksimalno dozvoljeno računsko jednoliko distribuirano površinsko opterećenje:

$$q_{pl,Rd} = \frac{w}{l_0} = 18,25 \text{ kN/m}^2$$

računsko opterećenje za požarnu situaciju:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + (\psi_{1,1} \text{ ili } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} + A_d$$

$$g = 2,41 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta g = 2,91 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{sd} = 1,0 \cdot (g + \Delta g) + 0,7 \cdot q = 6,72 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{sd} = 6,72 \text{ kN/m}^2 < q_{pl,Rd} = 18,25 \text{ kN/m}^2$$

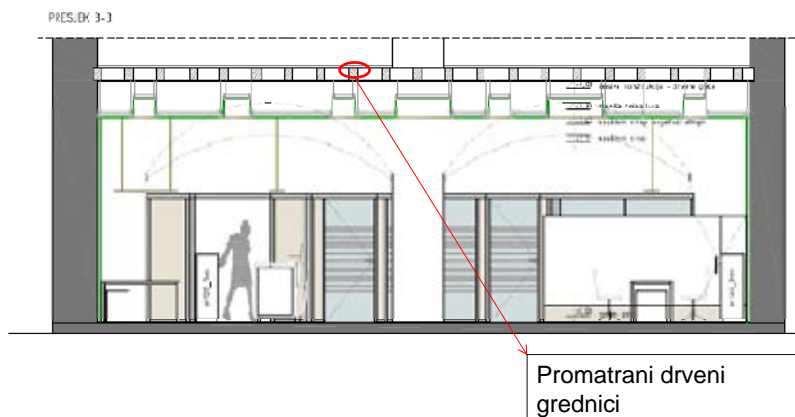
PROMATRANA PLOČA ZADOVOLJAVA BITNI ZAHTJEV MEHANIČKE OTPORNOSTI I STABILNOSTI ZA 90 MIN. TRAJANJA REALNOG POŽARA U SVIM POŽARNIM SEKTORIMA PREDMETNOG OBJEKTA TE ZA ISTU NIJE POTREBNA DODATNA VATROOTPORNA ZAŠTITA.

DOKAZ OTPORNOSTI OSTALIH AB ELEMENATA NA DJELOVANJE POŽARA ZA USVOJENO EKVIVALENTNO VRIJEME

Za usvojeno ekvivalentno vrijeme izlaganja standardnom požaru $t_{ek}=60\text{min}$ koje odgovara cjelokupnom vremenu trajanja realnog požara, dokaz nosivosti ostalih betonskih elemenata proveden je prema **HR DIN 4102/2**

Norma HRN EN 1991-1-2 (Annex F stavak1) izričekom dozvoljava korištenje tabličnih podataka baziranih na izloženosti standardnom požaru u kombinaciji sa proračunatim ekvivalentnim vremenom izlaganja standardnom požaru

Primjer 4: Proračun drvenih grednika stopne konstrukcije poslovne jedinice u Splitu

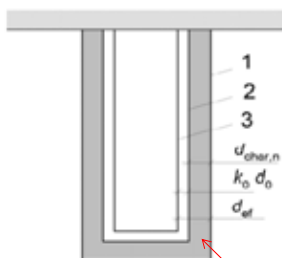


Zahtjevano vrijeme otpornosti na požar 60min (R60)

Drveni grednici dokazani su za standardni požar metodom redukcije poprečnog presjeka

PRORAČUN DRVENOG GREDNIKA METODOM REDUKCIJE POPREČNOG PRESJEKA

-poprečni presjek grednika u uobičajenoj situaciji (prije požara): 30x30cm
Proračunati će se reducirani poprečni presjek nakon 60 min standardnog požara



1. Rub početnog poprečnog presjeka
2. Rub preostalog poprečnog presjeka nakon požara
3. Rub efektivnog poprečnog presjeka nakon požara

zahtjevana vatrootpornost R60, t=60min
proračunska brzina sagorijevanja za puno crnogorično drvo $\beta_n=0,8\text{mm/min}$
za nezaštićene presjeke i t > 20 min, vrijedi $k_0 = 1,0$
 $d_0 = 7\text{ mm}$

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n} + k_0 \cdot d_0$$

$$d_{\text{ef}} = \beta_n \cdot t + k_0 \cdot d_0$$

$$d_{\text{ef}} = 0,8 \cdot 60 + 1,0 \cdot 7 = 55\text{mm}$$

$$\Delta = 0,8\text{mm/min} \times 60\text{min} + 7\text{mm} = 55\text{mm}$$

$$\text{efektivna širina presjeka } b_{\text{ef}} = b - 2d_{\text{ef}} = 300 - 2 \times 55 = 190\text{mm}$$

$$\text{efektivna visina presjeka } h_{\text{ef}} = h - d_{\text{ef}} = 300 - 55 = 245\text{mm}$$

Efektivni reducirani poprečni presjek nakon 60 min požara: **b x h = 19cm x 24,5cm**

DIMENZIONIRANJE REDUCIRANOG POPREČNOG PRESJEKA

Nakon proračuna reduciranog poprečnog presjeka grednika provedena je kontrola reduciranog poprečnog presjeka u skladu sa HRN EN 1995-1-1, za rezne sile dobivene za izvanrednu kombinaciju opterećenja.

	N	V _y	V _z	M _x	M _y	M _z
Design force	0,0[kN]	0,0[kN]	0,0[kN]	0,0[kNm]	23,3[kNm]	0,0[kNm]
Design stress	0,0[kN/cm ²]	0,0[kN/cm ²]	0,0[kN/cm ²]	0,0[kN/cm ²]	1,29[kN/cm ²]	0,0[kN/cm ²]
Limit stress	1,5[kN/cm ²]	0,2[kN/cm ²]	0,2[kN/cm ²]	0,2[kN/cm ²]	1,7[kN/cm ²]	1,7[kN/cm ²]
Unity check	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,00

Bending : 0.71 (5.1.6a)
Shear : 0.00 (5.1.7.1)

Stability check

	L0 m	k	L m	lam	sigma_krit kN/cm ²	lam_rei	beta_c	k k _{crit}	ic
Y	5.20	1.00	5.20	73.52	1.4	1.247	0.20	1.352	0.53
Z	5.20	1.00	5.20	94.80	0.8	1.608	0.20	1.903	0.34
LTBy	5.20	1.00	5.20		16.5	0.381		1.00	
LTBz	5.20	1.00	5.20		35.4	0.260		1.00	

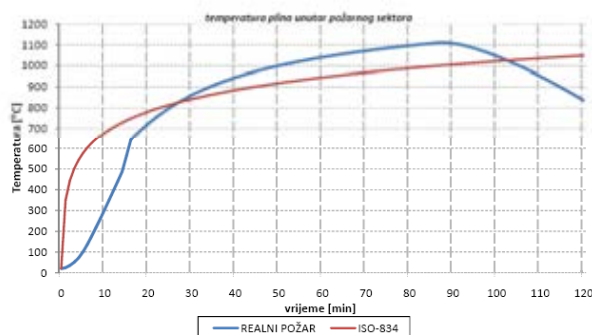
Compression (5.2.1) : 0.71 (5.2.1f)

Bending (5.2.2) : 0.71

Maximal unity check : 0.71 - satisfies.

Proračunom je utvrđeno da promatrani drveni grednici posjeduju dostatnu otpornost na djelovanje 60min standardnog požara te da nije potrebna vatrootporna zaštita istih

KRIVULJA REALNOG POŽARA SKLADIŠTE



-Namjena: skladište

-A_f = 379m²

-h=5,8m-7,45m

-q_{f,k}=941 [MJ/m²]

-RHR_f=500[kW/m²]

-t_q=150s

-δ_{q,1}=1,58

-δ_{q,2}= 1,00

-Aktivne mjere:

DVD, vatrodjjava, aparati.

-δ_n = Πδ_{n,i}=0,74

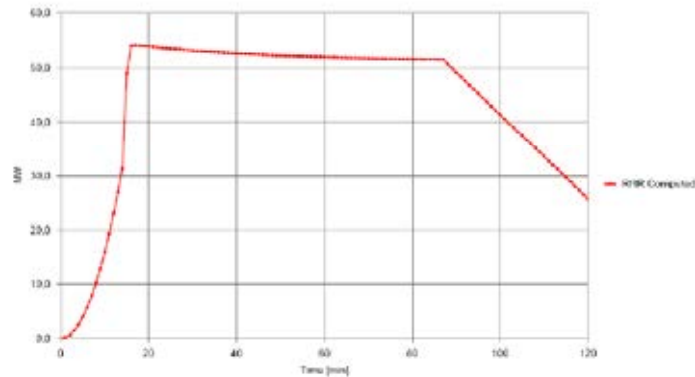
-faktor izgaranja m=0,8

q_{f,d} = 883,9 MJ/m²

zahtjevano vrijeme otpornosti 90minuta

Cijelu konstrukciju potrebno štiti vatrootpornom oblogom

POŽAR SKLADIŠTE - RATA OSLOBAĐANJA TOPLINE



FAZE POŽARA:

- faza razvoja požara (t^2 -faza):
od $t=0$ min do **$t=15$ min**
- faza potpuno razvijenog požara:
od $t=15$ min do **$t=87$ min**
- faza dogorjevanja počinje u **87. minuti**

ZAKLJUČAK:

- Proračunom otpornosti konstrukcije na djelovanje požara, razina sigurnosti konstrukcije u požaru se optimizira i ujednačava sa razinom sigurnosti u požaru iz drugih aspekata.
- Aktivne mjere zaštite od požara i iznos karakterističnog požarnog opterećenja ključni su parametri pri proračunu otpornosti konstrukcije na djelovanje realnog požara.
- Povećanjem broja i kvalitete aktivnih mjera zaštite od požara, povećava se ukupna sigurnost objekta a dio uložениh sredstava se može vratiti kroz smanjenje zaštite konstrukcije.
- Konstrukcije koje se nalaze u sektorima sa slabim aktivnim mjerama zaštite od požara i relativno visokim požarnim opterećenjem potrebno je štiti pasivnim mjerama .

KORISNA LITERATURA:

- [1] Holický M., Materna A., Sedlacek G., Schleich J.B., Arteaga A., Sanpaolesi L., Vrouwenvelder T., Kovse I., Gulvanessian H., **Implementation of Eurocodes. Handbook 5. Design of buildings for the fire situation.** Leonardo da Vinci Pilot project CZ/02/B/F/PP-134007, Luxembourg, 2005.

- [2] Franssen J-M., Vila Real P., **Fire Design of Steel Structures.** Eurocod 1: Actions on structures. Part 1-2: Actions on structures exposed to fire. Eurocod 3: Design of steel structures. Part 1-2: Structural fire design, ECCS, Ernst & Sohn, 2010/1st edition.

- [3] Lennon T., Moore D.B, Wang Y.C., Bailey C.G., **Designers' Guide to EN 1991-1-2, 1992-1-2, 1993-1-2 and 1994-1-2.** Handbook for the fire design of steel, composite and concrete structures to Eurocodes. Tomas Telford Limited, Bodmin, 2007

- [4] European Commission, 1999: European Commission. **Development of Design Rules for Steel Structures Subjected to Natural Fires in large Compartments**, EUR 18868 EN, 1999.

Zahvaljujem na pažnji!