

# Požarna analiza nosive čelične konstrukcije montažne dvorane primjenom HRN EN 1993-1-2

---

Vukadin, Jozo

Master's thesis / Diplomski rad

2015

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:238728>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-26**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Jozo Vukadin**

**Split, srpanj 2015.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Jozo Vukadin**

**POŽARNA ANALIZA NOSIVE ČELIČNE KONSTRUKCIJE MONTAŽNE  
DVORANE PRIMJENOM HRN EN 1993-1-2**

**Diplomski rad**

**Split, 2015**

*Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Neni Toriću na strpljenju, pomoći i vodstvu pri izradi ovog diplomskog rada.*

*Srdačno zahvaljujem prijateljima koji su uvijek bili tu kad je trebalo.  
Iskreno hvala mojoj cijeloj obitelji, posebno roditeljima koji su uvijek bili podrška.  
I najvažnije hvala dragom Bogu!*

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**  
KANDIDAT: JOZO VUKADIN  
BROJ INDEKSA: 453  
KATEDRA: **Katedra za metalne i drvene konstrukcije**  
PREDMET: Metalne konstrukcije II

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: Požarna analiza nosive čelične konstrukcije montažne dvorane primjenom HRN EN1993-1-2

Opis zadatka: Na temelju projektnog zadatka i zadanih arhitektonskih podloga potrebno je izraditi projekt konstrukcije montažne dvorane za dramske izvedbe u Splitu te provesti požarnu analizu korištenjem pravila projektiranja iz norme HRN EN 1993-1-2:2008.

Projekt konstrukcije i požarna analiza treba sadržavati:

- tehnički opis,
- proračune nosivih elemenata i priključaka,
- proračun utjecaja požara primjenom standardne krivulje, parametarske krivulje te lokaliziranog požara,
- građevinske nacрте.

U Splitu, 13.03.2015.

Voditelj Diplomskog rada:

Doc.dr.sc. Neno Torić

Predsjednik Povjerenstva  
za završne i diplomske ispite:  
Prof.dr.sc. Ivica Boko

# **POŽARNA ANALIZA NOSIVE ČELIČNE KONSTRUKCIJE MONTAŽNE DVORANE PRIMJENOM HRN EN 1993-1-2**

## ***Sažetak:***

Zadatak diplomskog rada je požarna analiza nosive čelične konstrukcije montažne dvorane prema HRN EN 1993-1-2. Prvo je napravljena statička analiza i dimenzioniranje elemenata po linearnoj teoriji elastičnosti prvog reda u programskom paketu Tower 6 i Aspalathos Calculator prema normama EN 1993-1-1 za normalne temperature. Analiza požara je napravljena primjenom standardne krivulje, parametarske krivulje i lokaliziranog požara te je napravljena usporedba istih.

## ***Ključne riječi:***

Požarna analiza, standardna krivulja, parametarska krivulja, lokalizirani požar, čelik, požar

# **STRUCTURAL FIRE ANALYSIS OF A PREFABRICATED STEEL HALL ACCORDING TO EN 1993-1-2**

## ***Abstract:***

The topic of the thesis concerns structural fire analysis of a prefabricated steel hall according to HRN EN1993-1-2 rules. Static analysis and member design was conducted by using the principles of the first order linear elastic theory within the structural analysis programme Tower 6 and Aspalathos Calculator. Design rules from EN1993-1-1 were applied in the normal temperature member design. Fire analysis was conducted by applying the standard fire curve, parametric fire and localised fire model. Furthermore, a comparison of results obtained for each of the fire curves is given in the thesis.

## ***Keywords:***

Fire analysis, standard fire curve, parametric fire, localised fire model, steel, fire

# SADRŽAJ

|  |           |
|--|-----------|
| UVOD .....   | 1         |
| <b>1. TEHNIČKI OPIS .....</b>                                | <b>2</b>  |
| 1.1 OPIS KONSTRUKCIJE .....                                  | 2         |
| 1.2 O PRORAČUNU KONSTRUKCIJE .....                           | 2         |
| 1.3 POŽARNA ANALIZA.....                                     | 3         |
| 1.4 MATERIJAL ZA IZRADU KONSTRUKCIJE .....                   | 3         |
| 1.5 OPIS MONTAŽE KONSTRUKCIJE.....                           | 3         |
| 1.6 PRIMJENJENI PROPISI .....                                | 4         |
| 1.7 ANTIKOROZIVNA ZAŠTITA.....                               | 4         |
| 1.8 PROTUPOŽARNA ZAŠTITA .....                               | 5         |
| <b>2. ANALIZA OPTEREĆENJA.....</b>                           | <b>6</b>  |
| 2.1 STALNO OPTEREĆENJE.....                                  | 6         |
| 2.2 SNIJEG .....   | 6         |
| 2.3 VJETAR .....   | 7         |
| 2.3.1 <i>Vjetar na krov</i> .....                            | 9         |
| 2.3.2 <i>Vjetar na zidove</i> .....                          | 11        |
| 2.3.3 <i>Opterećenje vjetrom trenjem po krovu</i> .....      | 12        |
| 2.4 KORISNO OPTEREĆENJE.....                                 | 12        |
| 2.5 POTRES.....  | 13        |
| <b>3. PRORAČUN KONSTRUKCIJE .....</b>                        | <b>14</b> |
| 3.1 PRIKAZ PRORAČUNSKOG MODELA .....                         | 14        |
| 3.2 KOMBINACIJE DJELOVANJA .....                             | 16        |
| 3.2.1 <i>Kombinacije za KGS</i> .....                        | 16        |
| 3.2.2 <i>Kombinacije za GSU</i> .....                        | 16        |
| 3.3 REZULTATI PRORAČUNA (REZNE SILE) .....                   | 17        |
| 3.4 GRAFIČKI PRIKAZ REZULTATA ZA KARAKTERISTIČNI OKVIR ..... | 17        |
| <b>4. DIMENZIONIRANJE KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA.....</b>     | <b>19</b> |
| 4.1 DIMENZIONIRANJE STUPA OKVIRA .....                       | 19        |
| 4.2 DIMENZIONIRANJE STUPA GALERIJE .....                     | 21        |
| 4.3 DIMENZIONIRANJE GREDE GALERIJE .....                     | 23        |
| 4.4 DIMENZIONIRANJE GREDE GALERIJE .....                     | 24        |
| 4.5 DIMENZIONIRANJE GORNJEG POJASA REŠETKE.....              | 26        |
| 4.5.1 <i>Gornji pojas opterećen tlakom</i> .....             | 26        |
| 4.5.2 <i>Gornji pojas opterećen vlakom</i> .....             | 28        |
| 4.6 DIMENZIONIRANJE DONJEG POJASA REŠETKE.....               | 29        |
| 4.6.1 <i>Donji pojas opterećen tlakom</i> .....              | 29        |
| 4.6.2 <i>Donji pojas opterećen vlakom</i> .....              | 30        |
| 4.7 DIMENZIONIRANJE ISPUNE REŠETKE.....                      | 31        |
| 4.7.1 <i>Ispuna opterećena tlakom</i> .....                  | 31        |
| 4.7.2 <i>Ispuna opterećena vlakom</i> .....                  | 32        |
| 4.8 DIMENZIONIRANJE ZABATA.....                              | 33        |
| 4.9 DIMENZIONIRANJE PODROŽNICE.....                          | 35        |
| 4.10 DIMENZIONIRANJE SPREGOVA .....                          | 37        |
| <b>5. PRORAČUN PRIKLJUČAKA KARAKTERISTIČNOG OKVIRA.....</b>  | <b>38</b> |
| 5.1 PRIKLJUČAK STUP-TEMELJ .....                             | 38        |
| 5.2 MONTAŽNI NASTAVAK GORNJEG POJASA REŠETKE.....            | 42        |
| 5.3 MONTAŽNI NASTAVAK DONJEG POJASA REŠETKE.....             | 44        |
| 5.4 MONTAŽNI NASTAVAK ISPUNE REŠETKE .....                   | 46        |
| 5.5 PRIKLJUČAK DONJEG POJASA I ISPUNE SA STUPOM .....        | 48        |
| 5.6 PRIKLJUČAK GORNJEG POJASA SA STUPOM.....                 | 50        |
| 5.7 PRIKLJUČAK ISPUNA - STUP .....                           | 52        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>6. PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI.....</b>  | <b>55</b>  |
| 6.1 PRIRAST TEMPERATURE U ELEMENTIMA.....   | 56         |
| 6.2 KRIVULJA STANDARDNOG POŽARA .....   | 58         |
| <b>6.2.1 Proračun nosivosti za nezaštićene elemente</b> .....   | <b>59</b>  |
| 6.2.1.1 Slučajevi opterećenja konstrukcije zahvaćene požarom .....  | 59         |
| 6.2.1.2 Temperature nezaštićenih elemenata dobivene analizom požara primjenom standardne krivulje i pripadajući koeficijenti redukcije .....  | 62         |
| 6.2.1.3 Rezne sile nezaštićenih elemenata za kombinaciju djelovanja 1,0G+0,7K+1,0P .....  | 62         |
| 6.2.1.4 Dokaz dostatne nosivosti konstrukcije uslijed djelovanja požara .....   | 63         |
| 6.2.1.5 Rezultati provjere nosivosti elemenata uslijed djelovanja požara na nezaštićene elemente.....   | 65         |
| <b>6.2.2 Proračun nosivosti za zaštićene elemente</b> .....   | <b>65</b>  |
| 6.2.2.1 Temperature zaštićenih elemenata dobivenih analizom požara primjenom standardne krivulje i pripadajući koeficijenti redukcije .....   | 65         |
| 6.2.2.2 Rezne sile zaštićenih elemenata za kombinaciju djelovanja 1,0G+0,7K+1,0P .....  | 66         |
| 6.2.2.3 Rezultati provjere nosivosti elemenata uslijed djelovanja požara na zaštićene elemente .....  | 66         |
| <b>6.2.3 Usporedbe temperatura standardne krivulje požara nezaštićenih i zaštićenih elemenata</b> .....   | <b>67</b>  |
| 6.3 LOKALIZIRANI POŽAR.....   | 72         |
| <b>6.3.1 Proračun nosivosti za nezaštićene elemente</b> .....   | <b>74</b>  |
| 6.3.1.1 Slučajevi opterećenja konstrukcije lokaliziranim požarom.....   | 74         |
| 6.3.1.2 Temperature požara, elemenata i koeficijenti redukcije .....  | 78         |
| 6.3.1.3 Rezne sile nezaštićenih elemenata za lokalizirani požar za kombinaciju djelovanja 1,0G+0,7K+1,0P .....  | 79         |
| 6.3.1.4 Rezultati provjere nosivosti elemenata na lokalizirani požar.....   | 79         |
| <b>6.3.2 Usporedbe temperatura standardne krivulje požara (zaštićenih i nezaštićenih elemenata) sa temperaturama lokaliziranog požara</b> .....   | <b>80</b>  |
| <b>6.3.3 Provjera lokaliziranog požara sa manje vjerojatnim scenarijima</b> .....   | <b>83</b>  |
| 6.3.3.1 Provjera lokaliziranog požara sa većim D .....  | 83         |
| 6.3.3.2 Provjera lokaliziranog požara sa većim D i većim Q.....   | 84         |
| <b>6.3.4 Usporedbe temperatura nezaštićenih elemenata dobivenih analizom "realnog" lokaliziranog požara sa temperaturama dobivenih analizom "manje realnih" lokaliziranih požara</b> .....  | <b>84</b>  |
| <b>6.3.5 Usporedbe temperatura nezaštićenih elemenata dobivenih analizom lokaliziranog požara sa većim Q sa temperaturama dobivenih analizom požara primjenom standardne krivulje</b> ..... | <b>88</b>  |
| 6.4 PARAMETARSKA KRIVULJA .....   | 91         |
| <b>6.4.1 Proračun parametarske krivulje za predmetnu konstrukciju</b> .....   | <b>93</b>  |
| <b>6.4.2 Proračun nosivosti za nezaštićene elemente</b> .....   | <b>94</b>  |
| 6.4.2.1 Prikaz opterećenja konstrukcije požarom parametarske krivulje .....   | 94         |
| 6.4.2.2 Temperature nezaštićenih elemenata dobivenih analizom požara primjenom parametarske krivulje i pripadajući koeficijenti redukcije .....   | 95         |
| 6.4.2.3 Rezne sile nezaštićenih elemenata za kombinaciju djelovanja 1,0G+0,7K+1,0P .....  | 95         |
| 6.4.2.4 Rezultati provjere nosivosti nezaštićenih elemenata za požar parametarske krivulje .....  | 95         |
| <b>6.4.3 Proračun nosivosti za zaštićene elemente</b> .....   | <b>96</b>  |
| 6.4.3.1 Temperature zaštićenih elemenata dobivenih analizom požara primjenom parametarske krivulje i pripadajući koeficijenti redukcije .....   | 96         |
| 6.4.3.2 Rezne sile zaštićenih elemenata za kombinaciju 1,0G+0,7K+1,0P .....   | 96         |
| 6.4.3.3 Rezultati provjere nosivosti zaštićenih elemenata za požar parametarske krivulje.....   | 97         |
| <b>6.4.4 Usporedbe temperatura elemenata dobivenih analizom požara primjenom parametarske krivulje za nezaštićene i zaštićene elemente</b> .....  | <b>97</b>  |
| <b>6.4.5 Usporedba temperatura elemenata dobivenih analizom požara primjenom standardne krivulju, lokaliziranog požara i parametarske krivulje</b> .....                                    | <b>100</b> |
| 6.4.5.1 Usporedba standardne krivulje i parametarske krivulje .....   | 100        |
| 6.4.5.2 Usporedba temperatura za nezaštićene elemente .....   | 101        |
| <b>7. ZAKLJUČAK.....</b>  | <b>104</b> |
| <b>8. PRILOZI.....</b>  | <b>105</b> |
| <b>10. TABLICE.....</b>   | <b>107</b> |
| <b>11. LITERATURA .....</b>   | <b>108</b> |



## UVOD

Požarom se smatra svako nekontrolirano gorenje uslijed kojeg može doći do ozljede ljudi i uništenja imovine. Posljednjih godina u svijetu zbog mnogobrojnih havarija (mora se istaknuti napad na WTC) koje su imale izuzetno negativne posljedice za ljude i za nosive konstrukcije počelo se više pažnje pridavati požaru u konstrukcijama koji se kao takav u suvremenom inženjerstvu smatra ekstremnim djelovanjem na konstrukciju. Koliko je to postala aktualna tema govori i ta činjenica da je se razvila nova grana u inženjerstvu koja se bavi požarom (Požarno inženjerstvo).

Ideja rada predstavlja usporedbu različitih pristupa požarnoj analizi otpornosti nosive čelične konstrukcije montažne dvorane u Splitu uzimajući u obzir pojavu požara u manjoj skali u obliku lokaliziranog požara te u većoj skali u obliku parametarske krivulje požara. Također, dana je usporedba proračuna otpornosti nosive čelične konstrukcije uz primjenu standardne krivulje požara.

Požar u predmetnoj konstrukciji je provjeravan na šest lokacija gdje se prva dva slučaja nalaze ispod galerije, treći slučaj na galeriji a ostali slučajevi su nasumično postavljeni po dvorani.

Proračun utjecaja visokih temperatura na elemente nosive konstrukcije izvršen je primjenom modela proračuna topline iz HRN EN 1993-1-2:2008 za zaštićene i nezaštićene elemente. Podaci koji su dobiveni proračunom požara primjenom standardne krivulje, parametarske krivulje i lokaliziranog požara preko programskog paketa HEAT i Excel uspoređeni su jedni sa drugima gdje se vidi razlika u primjeni pojedinih pristupa u određivanju požarnih temperatura za zaštićene i nezaštićene elemente.

## 1. Tehnički opis

### 1.1 Opis konstrukcije

Predmet ovog projekta je čelična montažna konstrukcija smještena na području Splita u blizini HNK Split. Parcela predviđena za izgradnju konstrukcije nalazi se u gradu na ravnom terenu. Dio slobodne neizgrađene površine služiti će za pješačku komunikaciju.

Objekat je planiran kao montažna dvorana za dramske izvedbe koja sadrži: dvoranu u kojoj je smještena scena i gledalište, garderobu, caffe bar i mjesto za ton i rasvjetu.

Glavnu konstrukciju objekta čini 8 ukliještenih okvira raspona 21,60 m, visine 9,40 m međusobnog razmaka od 5,1 m sastavljen od stupova HE 300 B, rešetke sa pojasevima 180/80/4, ispunama 100/80/4. Na taj okvir se zglobnom vezom spaja okvir galerije raspona 6,30 m i visine 3,30 m sa profilom HE 240 B. Sekundarna krovna konstrukcija je raspona 5,10 m na razmaku od približno 2,20 m te je sastavljena od pravokutnih profila 120/80/7. Zabatni nosači su od profila HE 220 B na razmaku od 4,30 m, visine približno 9,20 m koji se oslanjaju na AB podlogu te na krovnu konstrukciju. Predviđena su i 2 polja spregova sa profilima  $\Phi 26$  i  $\Phi 34$  koji se postavljaju u ravninu sekundarne konstrukcije. Zbog pojave tlačnih sila u donjem pojasu rešetke predviđaju se bočna pridržanja donjeg pojasa rešetke na razmacima od 4,30 i 6,50 m (profil 80/80/4). Na galeriji je predviđena međukatna konstrukcija u obliku armirano betonske ploče debljine 15 cm koja će sa gredama galerije biti povezana tako što će se na gredni nosač zavariti L profil na koji će se AB ploča nasloniti, na način da će gornja ploha AB ploče i gornja pojasnica profila biti u istoj ravnini u svrhu ostvarenja bolje protupožarne zaštite.

Montažni nastavak rešetke predviđa se u trećini raspona rešetke (približno 6,00 m) sa montažnom dijagonalom.

### 1.2 O proračunu konstrukcije

Proračun konstrukcije izveden je uz korištenje programskog paketa Tower 6.

Dimenzioniranje konstruktivnih elemenata, provedeno je korištenjem programa Aspalathos Calculator i Excel-u, dok je za grafički dio projekta korišten program AutoCAD 2007.

Proračun reznih sila izvršen je po linearnoj teoriji elastičnosti prvog reda. Proračunom su obuhvaćena sva djelovanja na konstrukciju, a to su vlastita težina, dodatno stalno opterećenje, korisno opterećenje, opterećenje vjetrom, opterećenje snijegom i potresno opterećenje prema normama EN 1991 i EN 1998.

S obzirom na lokaciju objekta napravljena je analiza opterećenja koja obuhvaća djelovanje snijega i vjetra. Objekt se nalazi na području Splita, što spada u III zonu opterećenja snijegom, ili područje C, što daje karakterističnu vrijednost opterećenja snijegom na tlu. U obzir je uzeta i nadmorska visina na kojoj se nalazi objekat. Za opterećenje vjetrom uzeta je zona III, kategorija zemljišta IV, te regija P9 koja obuhvaća južnojadransko priobalje, te je u obzir uzeta visina objekta i njegova zaštićenost.

Za svaki element konstrukcije određena je mjerodavna kombinacija opterećenja za provjeru krajnjeg graničnog stanja i graničnog stanja uporabljivosti.

Za svaku granično stanje napravljene su posebne kombinacije uz poštivanje parcijalnih faktora sigurnosti prema EN 1991.

Rezultati prikazani u grafičkom dijelu i u tablicama ovog projekta uključuju rezne sile. Rezne sile su dane u jedinicama kN za poprečne i uzdužne sile te kNm za momente.

Svi elementi konstrukcije su modelirani u programu Tower 6. Konstrukcija je prikazana prostornim modelom.

Spoj stupova s temeljima su tretirani kao upeti a spoj galerije sa okvirom tretiran je kao zglobni.

Uzete su sve mjerodavne kombinacije opterećenja u obzir, te je svaki element dimezioniran sukladno njegovim reznim silama.

### **1.3 Požarna analiza**

Prema uputama koje su dane u EN 1993-1-2 napravljena je požarna analiza otpornosti čelične nosive konstrukcije primjenom standardne krivulje, parametarske krivulje i lokaliziranog požara, što je detaljno obrađeno u poglavlju 6.

### **1.4 Materijal za izradu konstrukcije**

Materijal za izradu konstrukcije je čelik S 235.

Konstruktivni elementi će međusobno biti vezani vijčanim spojevima. Vijci korišteni za izvedbu ove konstrukcije su M 16, M 22 i M 24, različitih kvaliteta .

Temelji su armirano betonski, klasa betona C 25/30, armatura je B 500 B.

### **1.5 Opis montaže konstrukcije**

Izvedba konstrukcije je montažna. Svi elementi konstrukcije predgotovljeni stižu na gradilište te se međusobno vežu vijcima. Sama krovna konstrukcija je izvedena od 2 vrste ravninskih segmenata. Prvi segment je prosječne visine 1,35 m i duljine cca 6,00 m. Drugi segment je visine 2,14 m i duljine cca 15,30 m .

Međusobnim spajanjem segmenata montirati će se nosiva konstrukcija.

Nulta faza montaže, nakon izvedenih svih prethodno potrebnih radova, je montaža stupova.

Kada se stup postavi na ankere koji su postavljeni u temelje, stup se pridržaje dizalicom dok se ne postigne vertikalnost pomoću dvostrukih vijaka. Nakon provjere vertikalnosti, vrši se ispunjenje prostora ispod spojne ploče i temelja ekspanzirajućim mortom.

Nakon izvedene montaže stupova ide se na montažu krovne konstrukcije.

Montaža počinje nad stupovima, a zatim slijedi montaža ostalih segmenata konstrukcije.

## 1.6 Primjenjeni propisi

Proračun i dimenzioniranje svih elemenata čelične konstrukcije provedeni su u skladu sa EN 1993, a analiza djelovanja na konstrukciju napravljena je u skladu sa EN 1991. Proračun zavarenih spojeva proveden je prema EN 1993, dio 1-8.

Proračun i dimenzioniranje na požar proveden je prema EN 1993-1-2.

## 1.7 Antikorozivna zaštita

Kod čelika pod korozijom se podrazumijeva oksidacija željeza pri djelovanju vlage i raznih nečistoća. Agensi koji ubrzavaju hrđanje su zagađena atmosfera, industrijsko područje zagađeno sumporom, sol itd.

Zaštita čeličnih konstrukcija od hrđanja vrši se:

- premazima
- zaštita cinkom
- metalizacijom
- uporabom specijalnih čelika
- katodnom zaštitom

Zaštita premazima obavlja se u svrhu spriječavanja da kisik i vlaga dođu u dodir s čelikom.

Premazivanje se obično vrši bojanjem u dva sloja: osnovni premaz i zaštitni premaz. Osnovni premaz neposredno štiti čelik, a potrebno je da bude izrađen od tvari koje nisu štetne po ljudsko zdravlje. Zaštitni sloj služi za zaštitu osnovnog premaza.

Prerano propadanje konstrukcije najčešće nastaje usljed loših detalja u konstrukciji (nepristupačna mjesta za bojenje, mjesta gdje se zadržava voda, oštri bridovi gdje se nemože nanijeti zahtjevana debljina premaza i sl.) koje treba nastojati izbjegavati.

Sistem zaštite bojenjem sastoji se iz:

- Priprema površine – trajnost premaza ovisi o prionjivosti boje za metalnu površinu, što ovisi o čistoći površine prije bojanja. Čišćenje se vrši četkama, pijeskarenjem, plamenikom ili kemijskim sredstvima.
- Nanošenje boje – bojenje se vrši četkom, valjkom ili prskanjem. Treba paziti na ograničenja za pojedine boje. Broj slojeva premaza obično se sastoji od dva a specifično od četiri ili više slojeva. Novi premaz može se vršiti tek kad je prethodni potpuno suh. Debljini premaza potrebno je posvetiti posebnu pažnju. Općenito, deblji premaz povećava trajnost zaštite. Ukupna debljina suhih premaza treba se kretati između 0,1-0,4 mm.

Dobro izvedeni premazi traju:

- do 30 godina u zatvorenoj prostoriji
- do 20 godina kod konstrukcija zaštićenih od kiše
- do 10 godina u prirodi
- 2-3 godine u zagađenom okolišu

Zaštita pocinčavanjem podrazumijeva vrste zaštite koje se ostvaruju nanošenjem prevlake cinka i po toplom postupku. Mase i debljine prevlaka cinka za pojedine elemente određene su prema Pravilniku o tehničkim mjerama i uvjetima za zaštitu čeličnih konstrukcija od korozije i ne mogu biti manje od 500g/m<sup>2</sup> elementa debljine 5 mm. Sve čelične konstrukcije prethodno treba odmastiti, očistiti razblaženom otopinom klorovodične kiseline te isprati hladnom

vodom. Neposredno prije pocinčavanja čelična konstrukcija se stavlja u taljevinu ili otopinu za flusiranje.

Toplo pocinčavanje se izvodi stavljanjem tekućine u rastopljeni cink. Cink mora biti kvaliteta Zn 97,5 do Zn 99,5 prema HRN EN ISO 14713:2001. Prevlaka cinka dobivena toplim postupkom mora biti homogena i mora prekrivati osnovicu. Prevlaka cinka mora čvrsto prijanjati za čeličnu površinu i ne smije se ljuštiti niti pucati pri uporabi. Prije montaže potrebno je izvršiti kontrolu prevlake cinka prema HRN C.A1. 558, odnosno mase prevlake cinka prema HRN A6.021.

Odabrana zaštita za predmetnu konstrukciju je zaštita premazima debljine 3 mm.

## 1.8 Protupožarna zaštita

Pri izvedbi osigurat će se provedba svih propisa o zaštiti od požara. Pristup i intervencija vatrogasnog vozila će se omogućiti projektiranjem pristupnog puta. Zahtijevana vatrootpornost elemenata čelične konstrukcije R30. Osiguranje vatrootpornosti osiguravamo protupožarnim premazom na bazi umjetne smole, koja kad se zagrije na temperaturu ekspandiranja premaza  $T_{exp}$  prelazi u pjenu i naglo povećava svoj obujam i do 50 puta. Povećavanje obujma dovodi do smanjenja gustoće rezultirajuće pjene koja se može smanjiti do 100 puta. Kao posljedica dvaju navedenih fenomena pojavljuje se promjenjiva debljina protupožarnog premaza (pjene) u ovisnosti o temperaturi. Osnovni parametri koji su poznati za modeliranje protupožarnog premaza i njezina utjecaja na smanjeno zagrijavanje elementa navedeni su u slijedećoj tablici.

| $T_{exp}$<br>[°C] | $C_p$<br>[J/kgK] | $\lambda_p$<br>[W/mK] | $d_{p,max}$<br>[cm] | $\rho_p$<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | $\rho_{premaza}$<br>[kg/m <sup>3</sup> ] |
|-------------------|------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------------|--|
| 300               | 1000             | 0,25-0,5              | 4                   | 20                               | 1200                                     |

Tablica 1. Parametri protupožarne zaštite

## 2. Analiza opterećenja

### 2.1 Stalno opterećenje

a) okvir

- paneli  $0,25 \left[ \text{kN} / \text{m}^2 \right]$
  - oprema  $1,00 \left[ \text{kN} / \text{m}^2 \right]$
  - vlastita težina konstrukcije – biti će dodana u sklopu računalnog programa
- $$\sum g = 1,25 \left[ \text{kN} / \text{m}^2 \right]$$

$L = 5,05 \text{ (m)}$ , razmak okvira

$$\Rightarrow G = 1,25 \cdot 5,05 = 6,31 \text{ (kN / m')}$$

b) galerija

- završni sloj  $0,50 \left[ \text{kN} / \text{m}^2 \right]$
  - AB estrih (5cm)  $1,20 \left[ \text{kN} / \text{m}^2 \right]$
  - betonska ploča (15cm)  $3,75 \left[ \text{kN} / \text{m}^2 \right]$
  - žbuka  $0,20 \left[ \text{kN} / \text{m}^2 \right]$
  - vlastita težina konstrukcije – biti će dodana u sklopu računalnog programa
- $$\sum g = 5,65 \left[ \text{kN} / \text{m}^2 \right]$$

### 2.2 Snijeg

Opterećenje snijegom na krovu

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

-  $\mu_1$  - koef. oblika za opterećenje snijegom

krov nagiba  $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ \Rightarrow \mu_1 = 0,8$

-  $s_k$  - karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u  $\left[ \text{kN} / \text{m}^2 \right]$

zona Split, područje C (zona II), nadmorska visina do 100 m  $\Rightarrow s_k = 0,45 \left[ \text{kN} / \text{m}^2 \right]$

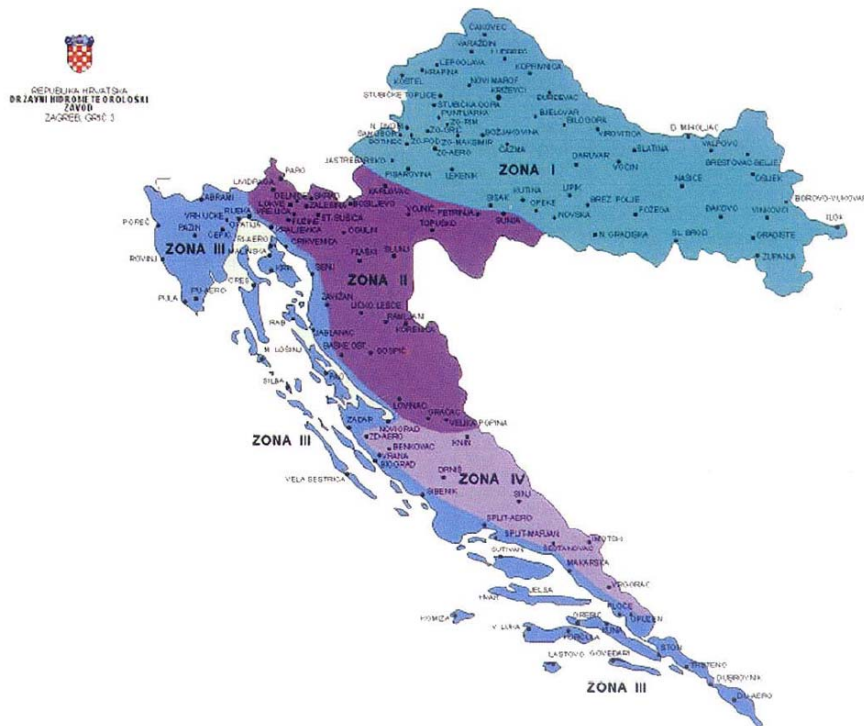
-  $C_e$  - koef. izloženosti  $\Rightarrow C_e = 1,0$

-  $C_t$  - toplinski koef.  $\Rightarrow C_t = 1,0$

$$\Rightarrow s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,45 = 0,36 \left[ \text{kN} / \text{m}^2 \right]$$

$L = 5,05 \text{ (m)}$ , razmak okvira

$$\Rightarrow S = 0,36 \cdot 5,05 = 1,82 \text{ (kN / m')}$$



Slika 1. Karta područja za opterećenje snijegom

### 2.3 Vjetar

$w_e = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe} - (kN/m^2)$  - pritisak vjetra na vanjske površine

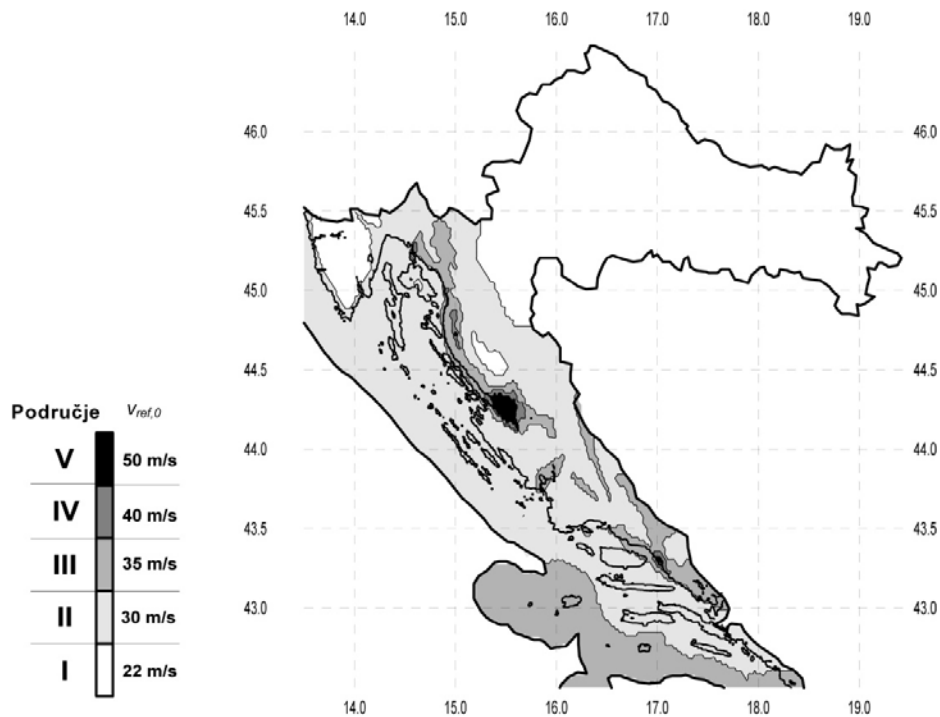
$w_i = q_{ref} \cdot c_e(z_i) \cdot c_{pi} - (kN/m^2)$  - pritisak vjetra na unutarnje površine

$q_{ref}$  - poredbeni tlak pri srednjoj brzini vjetra

$c_e(z_e), c_e(z_i)$  - koef. izloženosti koji uzimaju u obzir neravnine terena

$z_e, z_i$  - poredbene visine za lokalni ili unutarnji tlak

$c_{pe}, c_{pi}$  - koef. vanjskog i unutarnjeg tlaka



Slika 2. Zemljovid područja opterećenja vjetrom

$$- q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2$$

-  $\rho$  - gustoća zraka

-  $v_{ref} = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot v_{ref,0}$  - poredbena brzina vjetra

$v_{ref,0} = 30 [m/s]$  - osnovna poredbena brzina vjetra

$c_{DIR} = 1,0$  - koef. smjera vjetra

$c_{TEM} = 1,0$  - koef. ovisan o godišnjem dobu

$c_{ALT} = 1 + 0,001 \cdot a_s = 1 + 0,001 \cdot 100 = 1,1$  - koef. nadmorske visine,  $a_s$  - nadmorska visina

$$\Rightarrow v_{ref} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 30 = 33 [m/s]$$

zona Split; III. kategorija zemljišta; regija P9 – južnojadransko priobalje

visina objekta  $h = 9,40(m)$ ;  $v_{ref} = 33 [m/s]$ ;  $\rho = 1,25 [kg/m^3]$

$$\Rightarrow q_{ref} = \frac{1,25}{2} \cdot 33^2 = 680,63 (N/m^2) = 0,681 (kN/m^2)$$

$$\Rightarrow c_e(z_e) = c_e(z_i) = 2,0$$

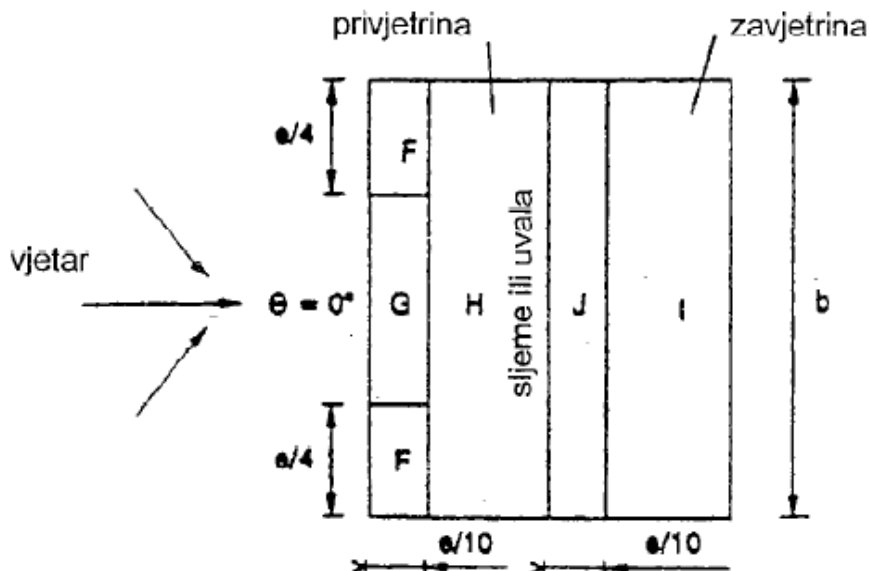


### 2.3.1 Vjetar na krov

- koef. vanjskog tlaka za vjetar na dužu stranicu,  $\theta = 0^\circ$ ,  $\alpha_1 = \alpha_2 = 6^\circ$

| PODRUČJE    | F     | G     | H     | I     | J     |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $c_{pe,10}$ | -1,62 | -1,16 | -0,57 | -0,31 | -0,37 |

Tablica 2. Koeficijenti vanjskog tlaka za ravni krov (+) usmjeren prema dolje, (-) usmjeren prema gore



Slika 3. Zone djelovanja tlaka za  $\Theta=0^\circ$

- koef. unutarnjeg tlaka za zgrade bez unutarnjih pregrada funkcija je omjera otvora  $\mu$

$$\mu = \frac{\sum \text{ploha otvora u zavjetrini i na stranama usporednim sa smjerom vjetra}}{\sum \text{ploha otvora u privjetrenoj strani, na strani u zavjetrini i stranama usporednim sa smjerom vjetra}}$$

Za koef. unutarnjeg tlaka uzimamo  $c_{pi,10} = \pm 0,3$

Područje F zanemarujemo jer nam ne upada na 2 okvira.

| REZULTIRAJUĆE DJELOVANJE VJETRA |                          |          |             |             |                      |                      |                         |
|---------------------------------|--------------------------|----------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| PODRUČJE                        | $q_{ref}(\text{kN/m}^2)$ | $c_e(z)$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pi,10}$ | $w_e(\text{kN/m}^2)$ | $w_i(\text{kN/m}^2)$ | $w_{uk}(\text{kN/m}^2)$ |
| F                               | 0,681                    | 2        | -1,62       | -0,3        | -2,206               | -0,409               | -2,615                  |
| G                               | 0,681                    | 2        | -1,16       | -0,3        | -1,580               | -0,409               | -1,989                  |
| H                               | 0,681                    | 2        | -0,57       | -0,3        | -0,776               | -0,409               | -1,185                  |
| I                               | 0,681                    | 2        | -0,31       | -0,3        | -0,422               | -0,409               | -0,831                  |
| J                               | 0,681                    | 2        | -0,37       | -0,3        | -0,504               | -0,409               | -0,913                  |

Tablica 3. Unutarnji tlak na konstrukciju za  $\Theta=0^\circ$

$L = 5,05$  (m), razmak okvira

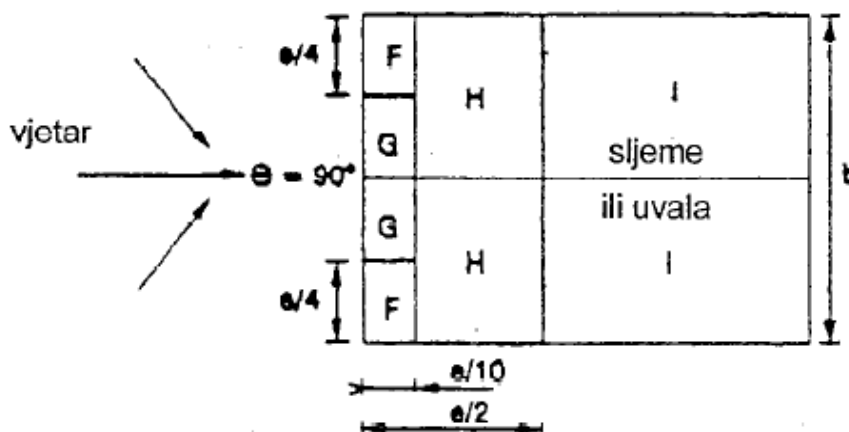
| DJELOVANJE VJETRA PO m' |                               |                 |          |
|-------------------------|-------------------------------|-----------------|----------|
| PODRUČJE                | $w_{uk}$ (kN/m <sup>2</sup> ) | RAZMAK OKV. (m) | W(kN/m') |
| F                       | -2,615                        | 5,05            | -13,206  |
| G                       | -1,989                        | 5,05            | -10,044  |
| H                       | -1,185                        | 5,05            | -5,984   |
| I                       | -0,831                        | 5,05            | -4,197   |
| J                       | -0,913                        | 5,05            | -4,610   |

Tablica 4. Djelovanje vjetra za  $\Theta=0^\circ$

- koef. vanjskog tlaka za vjetar na kraću stranicu,  $\theta = 90^\circ$ ,  $\alpha_1 = \alpha_2 = 6^\circ$

| PODRUČJE    | F     | G     | H     | I     |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| $c_{pe,10}$ | -1,57 | -1,30 | -0,69 | -0,50 |

Tablica 5. Koeficijenti vanjskog tlaka za ravni krov (+) usmjeren prema dolje, (-) usmjeren prema gore



Slika 4. Zone djelovanja tlaka za  $\Theta=90^\circ$

- koef. unutarnjeg tlaka za zgrade bez unutarnjih pregrada funkcija je omjera otvora  $\mu$

$$\mu = \frac{\sum \text{ploha otvora u zavjetrini i na stranama usporednim sa smjerom vjetra}}{\sum \text{ploha otvora u privjetrenoj strani, na strani u zavjetrini i stranama usporednim sa smjerom vjetra}}$$

Za koef. unutarnjeg tlaka uzimamo  $c_{pi,10} = \pm 0,3$

| REZULTIRAJUĆE DJELOVANJE VJETRA |                                |          |             |             |                            |                            |                               |
|---------------------------------|--------------------------------|----------|-------------|-------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| PODRUČJE                        | $q_{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $c_e(z)$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pi,10}$ | $w_e$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $w_i$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $w_{uk}$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
| F                               | 0,681                          | 2        | -1,57       | -0,3        | -2,138                     | -0,409                     | -2,547                        |
| G                               | 0,681                          | 2        | -1,30       | -0,3        | -1,771                     | -0,409                     | -2,180                        |
| H                               | 0,681                          | 2        | -0,69       | -0,3        | -0,940                     | -0,409                     | -1,349                        |
| I                               | 0,681                          | 2        | -0,50       | -0,3        | -0,681                     | -0,409                     | -1,090                        |

Tablica 6. Unutarnji tlak na konstrukciju za  $\Theta=90^\circ$

$L = 5,05$  (m), razmak okvira

| DJELOVANJE VJETRA PO m' |                  |                 |            |
|-------------------------|------------------|-----------------|------------|
| PODRUČJE                | $w_{uk}(kN/m^2)$ | RAZMAK OKV. (m) | $W(kN/m')$ |
| F                       | -2,547           | 5,05            | -12,862    |
| G                       | -2,180           | 5,05            | -11,009    |
| H                       | -1,349           | 5,05            | -6,812     |
| I                       | -1,090           | 5,05            | -5,505     |

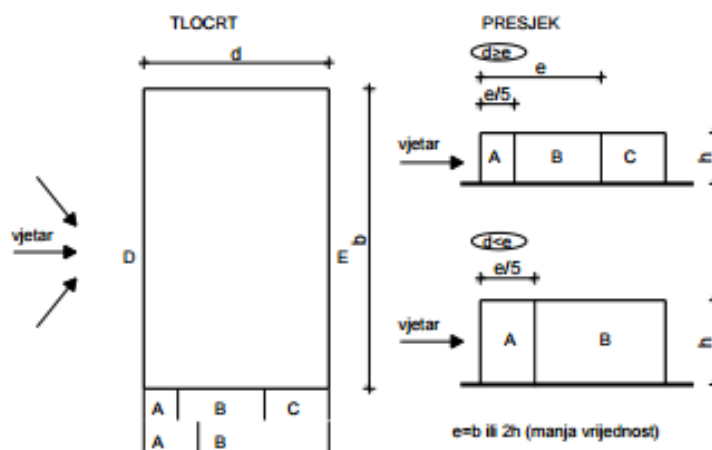
Tablica 7. Djelovanje vjetra za  $\Theta=90^\circ$

### 2.3.2 Vjetar na zidove

- koef. vanjskog tlaka za vjetar na dužu stranicu

| PODRUČJE    | A    | B    | C    | D    | E     |
|-------------|------|------|------|------|-------|
| $c_{pe,10}$ | -1,2 | -0,8 | -0,5 | 0,73 | -0,35 |

Tablica 8. Koeficijent vanjskog tlaka na zidove (+) djeluje na zid, (-) djeluje od zida



Slika 5. Zone djelovanja vjetra na zidove

Za koef. unutarnjeg tlaka uzimamo  $c_{pi,10} = \pm 0,3$

| REZULTIRAJUĆE DJELOVANJE VJETRA |                   |          |             |             |               |               |                  |
|---------------------------------|-------------------|----------|-------------|-------------|---------------|---------------|------------------|
| PODRUČJE                        | $q_{ref}(kN/m^2)$ | $c_e(z)$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pi,10}$ | $w_e(kN/m^2)$ | $w_i(kN/m^2)$ | $w_{uk}(kN/m^2)$ |
| A                               | 0,681             | 2        | -1,2        | -0,3        | -1,634        | -0,409        | -2,043           |
| B                               | 0,681             | 2        | -0,8        | -0,3        | -1,090        | -0,409        | -1,499           |
| C                               | 0,681             | 2        | -0,5        | -0,3        | -0,681        | -0,409        | -1,090           |
| D                               | 0,681             | 2        | 0,73        | -0,3        | 0,994         | 0,409         | 1,403            |
| E                               | 0,681             | 2        | -0,35       | -0,3        | -0,477        | -0,409        | -0,879           |

Tablica 9. Unutarnji tlak na konstrukciju za  $\Theta=0^\circ$

$L = 5,05$  (m), razmak okvira

| DJELOVANJE VJETRA PO m' |                  |                 |          |
|-------------------------|------------------|-----------------|----------|
| PODRUČJE                | $w_{uk}(kN/m^2)$ | RAZMAK OKV. (m) | W(kN/m') |
| A                       | -2,043           | 5,05            | -10,317  |
| B                       | -1,499           | 5,05            | -7,570   |
| C                       | -1,090           | 5,05            | -5,505   |
| D                       | 1,403            | 5,05            | 7,085    |
| E                       | -0,879           | 5,05            | -4,439   |

Tablica 10. Djelovanje vjetra za  $\Theta=0^\circ$

### 2.3.3 Opterećenje vjetrom trenjem po krovu

$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z) \cdot A_{fr}$  - sila trenja

$c_{fr} = 0,01$  - koef. trenja za narebreni lim (vjerojatni pokrov)

$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_{ref}$  - tlak "vršne" (referentne) brzine

$c_e(z) = 2,0$  - koef. izloženosti

$q_{ref}$  - poredbeni tlak pri srednjoj brzini vjetra

$A_{fr}$  - površina usporedno sa smjerom vjetra

Referentna površina:

$$A_{fr} = b \cdot \frac{d}{2} = 35,35 \cdot \frac{21,60}{2} m = 381,78 m^2$$

$$F_{fr} = 0,01 \cdot 2 \cdot 0,681 \cdot 381,78 = 5,20 kN$$

### 2.4 Korisno opterećenje

- za garderobe

$$3,50 [kN / m^2]$$

$$\sum q = 3,50 [kN / m^2]$$

$L = 5,05(m)$ , razmak okvira

$$\Rightarrow Q = 3,50 \cdot 5,05 = 17,70(kN / m')$$

## 2.5 Potres

Potresne sile proračunate su postupkom spektralne analize prema EC-8. Građevina je smještena u VIII potresnoj zoni prema važećoj seizmičkoj karti, na kategoriji tla A. Računsko projektno ubrzanje tla je  $a = 0.20 \text{ g}$ .

Proračun je izvršen za faktor ponašanja  $q=1.5$ .

Koeficijenti za proračun ordinata spektra odgovora:

Faktor važnosti  $\psi=1.2$

Faktor ponašanja  $q=1.5$

Tlo klase "A":  $S=1.0$ ,  $T_B=0.1 \text{ s}$ ,  $T_C=0.4 \text{ s}$ ,  $T_D=3.0 \text{ s}$

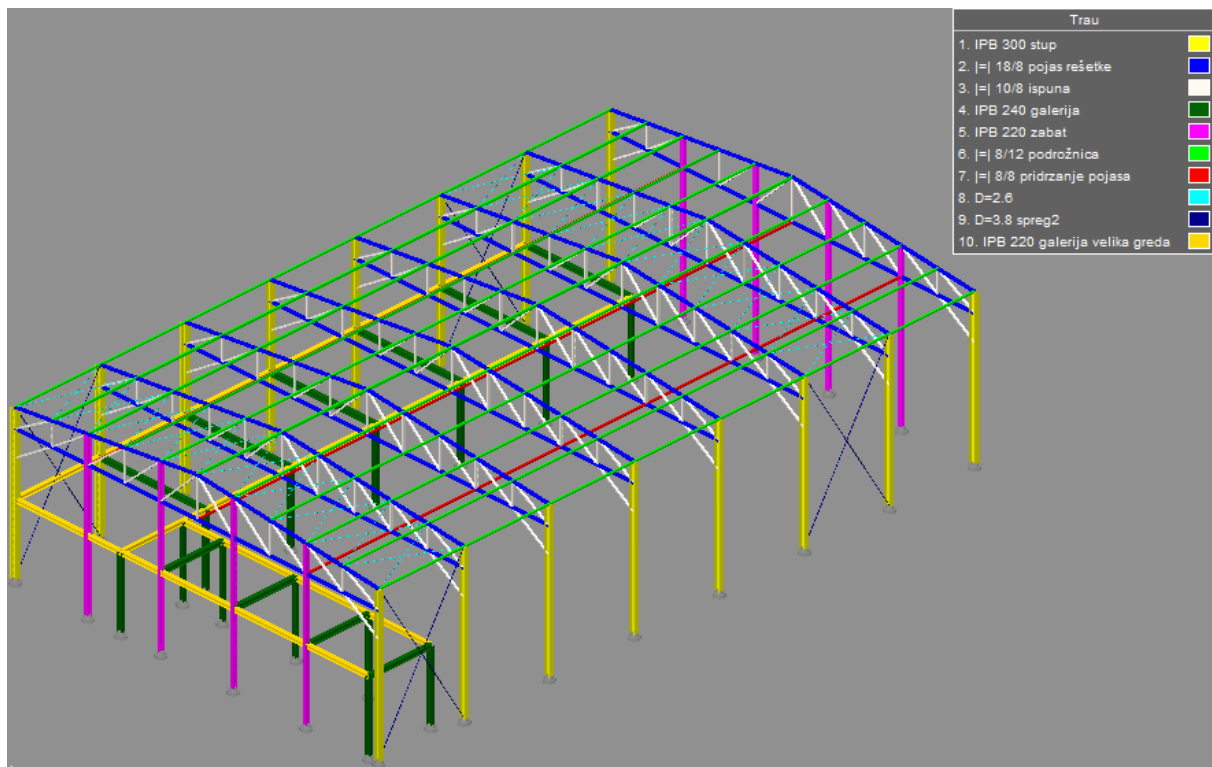
Računsko ubrzanje tla  $a = 0.20 \text{ g}$  (VIII seizmička zona)

Proračun na potres je napravljen u programskom paketu Tower 6 i rezultati su dodani u kombinacijama djelovanja sa odgovarajućim koeficijentima.

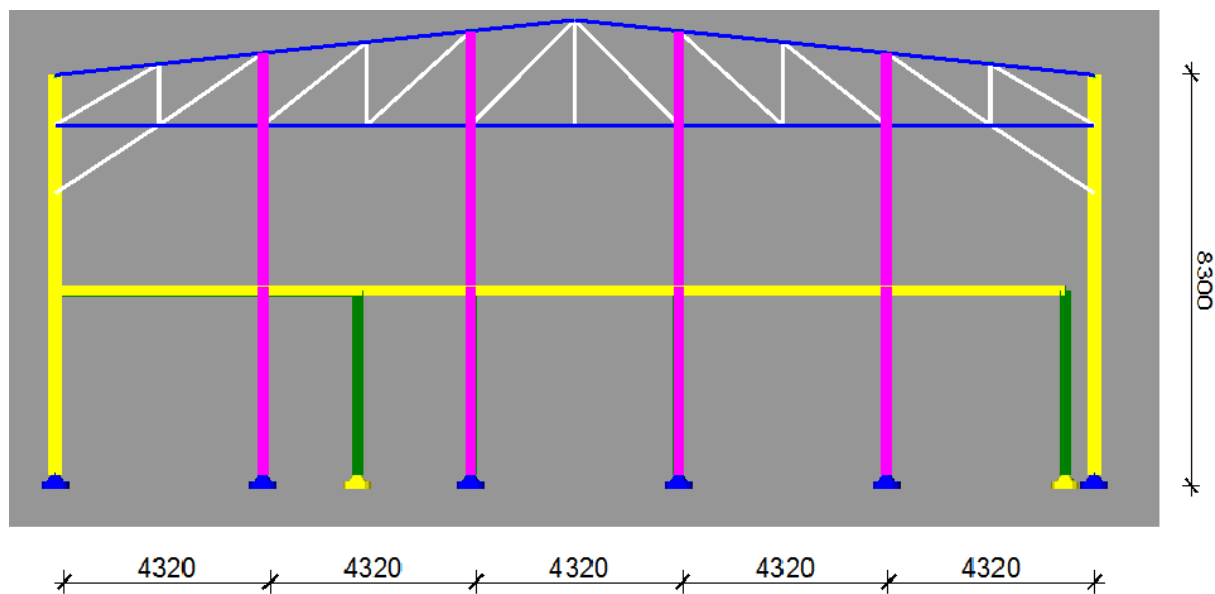
### 3. Proračun konstrukcije

Proračun konstrukcije izvršen je u programskom paketu Tower 6 sa prostornim modelom konstrukcije.

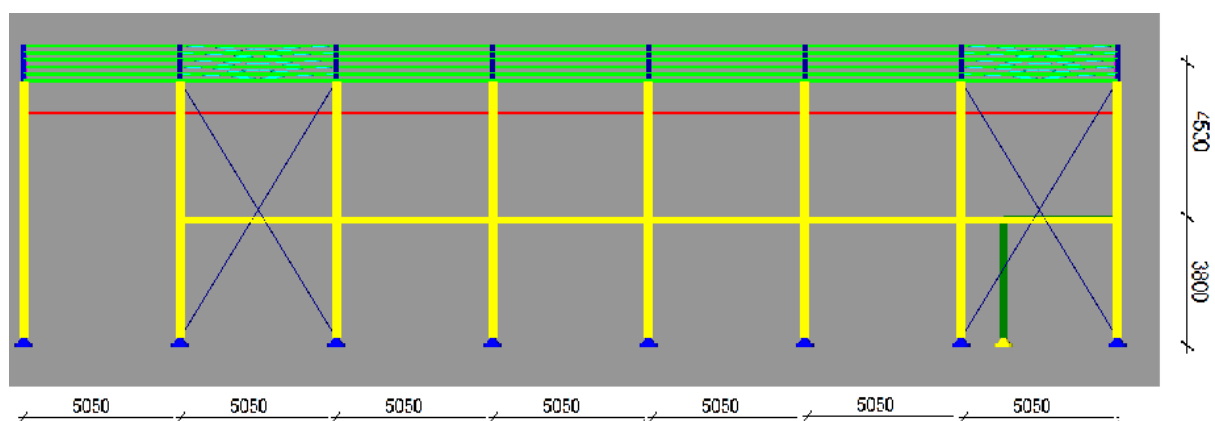
#### 3.1 Prikaz proračunskog modela



Slika 6. Izometrijski pogled na proračunski model



Slika 7. Pogled srijeda na proračunski model



Slika 8. Pogled s lijeva na proračunski model

### 3.2 Kombinacije djelovanja

Kombinacije djelovanja izrađene su za krajnje granično stanje i granično stanje uporabljivosti. Obradene kombinacije nisu sve moguće, izostavljene su one za koje je očigledno da ne daju kritične rezne sile.

#### 3.2.1 Kombinacije za KGS

|    |  |
|----|--|
| 1  | 1.35xI+1.5xII                          |
| 2  | 1.35xI+1.5xIII                         |
| 3  | 1.35xI+1.5xIV                          |
| 4  | 1.35xI+1.5xV                           |
| 5  | 1.35xI+1.5xVI                          |
| 6  | 1.35xI+1.5xII+1.35xIII                 |
| 7  | 1.35xI+1.5xII+1.35xIV                  |
| 8  | 1.35xI+1.5xII+1.35xV                   |
| 9  | 1.35xI+1.5xII+1.35xVI                  |
| 10 | 1.35xI+1.5xII+1.35xIII+1.35xV          |
| 11 | 1.35xI+1.5xII+1.35xIII+1.35xIV         |
| 12 | 1.35xI+1.5xII+1.35xIII+1.35xIV+1.35xVI |
| 13 | I+1.5xIII                              |
| 14 | I+1.5xIV                               |
| 15 | I+1.5xV                                |
| 16 | I+1.5xVI                               |
| 17 | I+1.5xIII+0.9xIV                       |
| 18 | I+1.5xIII+0.9xV                        |
| 19 | I+1.5xIII+0.9xVI                       |
| 20 | I+0.9xIII+1.5xIV                       |
| 21 | I+0.9xIII+1.5xV                        |
| 22 | I+0.9xIII+1.5xVI                       |
| 23 | I+0.9xIII+1.5xIV+0.9xVI                |
| 24 | I+1.5xII+1.35xIII                      |
| 25 | I+1.5xII+1.35xIV                       |
| 26 | I+1.5xII+1.35xV                        |
| 27 | I+1.5xII+1.35xVI                       |
| 28 | I+1.5xII+1.35xIII+0.9xIV               |
| 29 | I+1.5xII+1.35xIII+0.9xV                |
| 30 | I+1.5xII+1.35xIII+0.9xVI               |
| 31 | I+1.5xII+1.35xIII+0.9xIV+0.9xVI        |
| 32 | I+0.5xII+VIII                          |
| 33 | I+0.5xII+IX                            |

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1 | stalno i dodatno stalno (g) |
| 2 | korisno opterećenje         |
| 3 | snijeg                      |
| 4 | vjetar kraca stranica       |
| 5 | vjetar duza stranica        |
| 6 | vjetar trenje               |
| 8 | potres x                    |
| 9 | potres y                    |

#### 3.2.2 Kombinacije za GSU

Kombinacije za GSU si iste kao za KGS, stim da su primjenjeni adekvatni koeficijenti za kombinacije djelovanja prema EN 1991.



### 3.3 Rezultati proračuna (rezne sile)

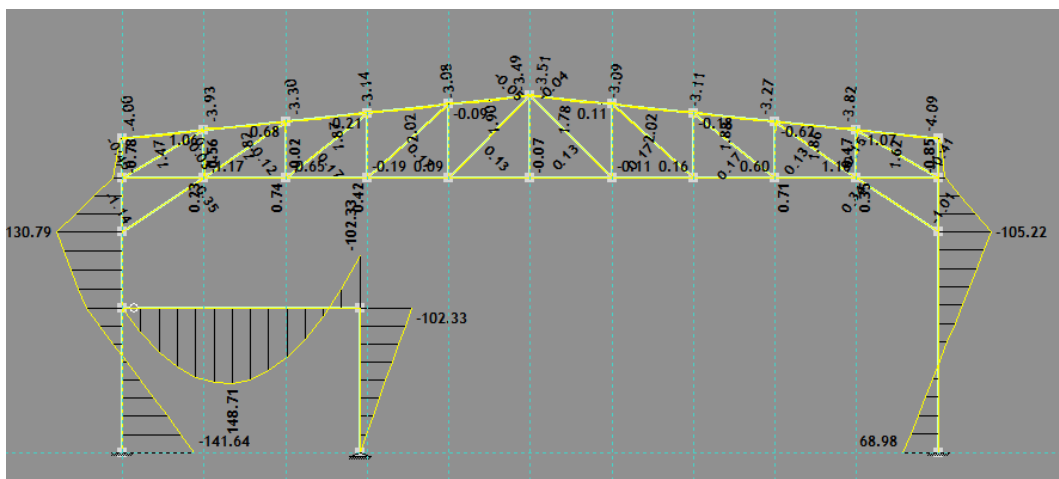
U slijedećoj tablici prikazani su rezultati statičkog proračuna koji je napravljen u programskom paketu Tower 6 sa brojem kombinacije za krajnje granično stanje koja je kritična za element.

| REZNE SILE     |          |             |          |         |         |
|----------------|----------|-------------|----------|---------|---------|
| Element        | Presjek  | Kombinacija | Med(kNm) | Ved(kN) | Ned(kN) |
| Stup okvira    | HEB300   | 6           | 162,58   | 92,78   | -346,27 |
| Stup galerije  | HEB240   | 8           | 125,61   | 32,88   | -244,66 |
| Greda galerije | HEB240   | 6           | 150      | 141,39  | -25,93  |
| Greda galerije | HEB220   | 10          | 47,15    | 94,83   | -1,79   |
| Gornji pojas   | 180/80/4 | 2           | 3,99     | 24,35   | -273,43 |
|                |          | 14          | 4,24     | 22,59   | 213,27  |
| Donji pojas    | 180/80/4 | 14          | /        | /       | -153,19 |
|                |          | 2           | /        | /       | 224,4   |
| Ispuna         | 100/80/4 | 2           | /        | /       | -161,05 |
|                |          | 14          | /        | /       | 132,39  |
| Zabat          | HEB220   | 33          | 101,29   | 44,9    | -69,32  |
| Podrožnica     | 80/120/7 | 2           | 15,99    | 26,03   | -19,88  |

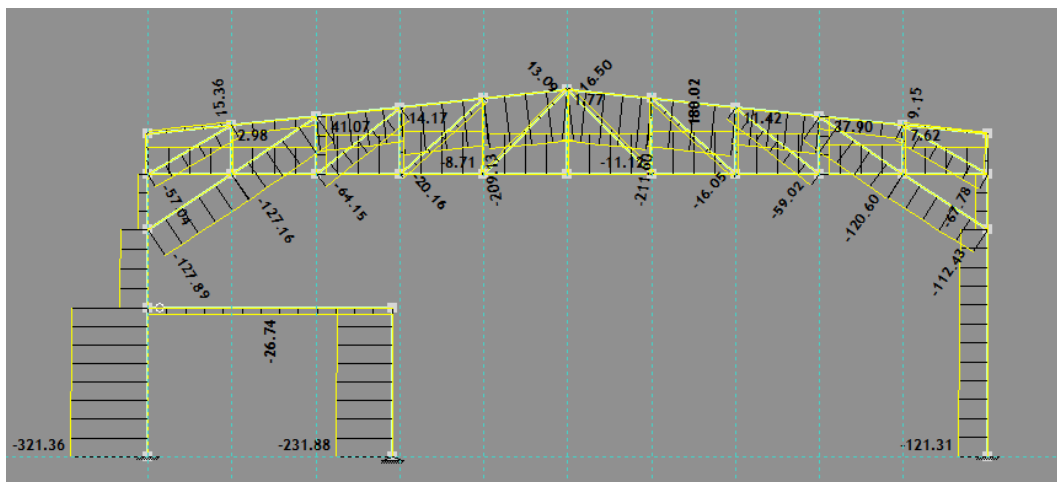
Tablica 11. Rezne sile za KGS

### 3.4 Grafički prikaz rezultata za karakteristični okvir

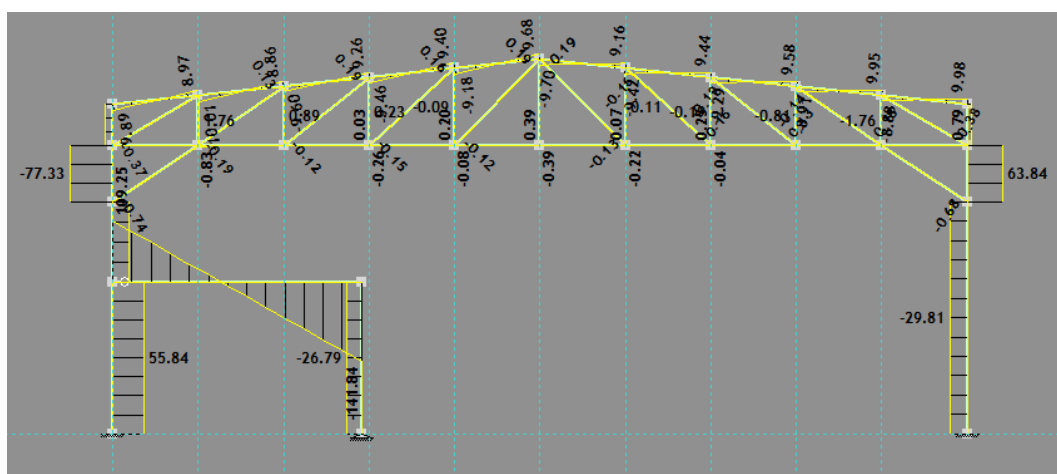
Na slijedeće tri slike vidljivi su rezultati statičkog proračuna iz programskog paketa Tower 6 za jedan karakteristični okvir predmetne konstrukcije.



Slika 9. Prikaz rezultata za karakteristični okvir (okvir 5, kombinacija za KGS 9) - moment (kNm)



Slika 10. Prikaz rezultata za karakteristični okvir (okvir 5, kombinacija za KGS 9) – uzdužna sila (kN)



Slika 11. Prikaz rezultata za karakteristični okvir (okvir 5, kombinacija za KGS 9) – poprečna sila (kN)

## 4. Dimenzioniranje konstrukcijskih elemenata

Dimenzioniranje konstrukcijskih elemenata je provedena softverom Asphaltos calculator.

### 4.1 Dimenzioniranje stupa okvira

#### MATERIJAL

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$   
 $\varepsilon = 1.000$   
 $E = 210000 \text{ N/mm}^2$   
 $G = 80777 \text{ N/mm}^2$   
 $\nu = 0.3$

#### REZNE SILE

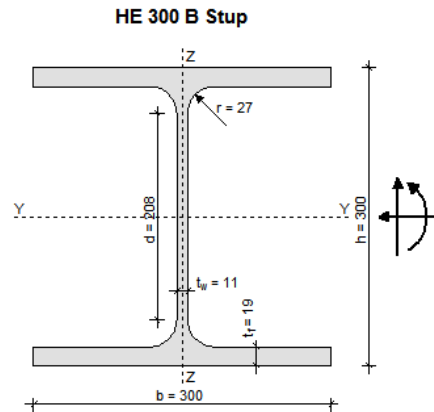
$N_{Sd} = -346.27 \text{ kN}$   
 $V_{z,Sd} = 92.78 \text{ kN}$   
 $M_{y,Sd} = 162.58 \text{ kNm}$

#### PARC. FAKTORI SIG.

$\gamma_{M0} = 1.1$   
 $\gamma_{M1} = 1.1$   
 $\gamma_{M2} = 1.25$

#### PARAMETRI

$A = 149.100 \text{ cm}^2$   
 $A_y = 118.200 \text{ cm}^2$   
 $A_z = 47.400 \text{ cm}^2$   
 $I_y = 25170.000 \text{ cm}^4$   
 $W_y = 1677.700 \text{ cm}^3$   
 $W_{ply} = 1868.700 \text{ cm}^3$   
 $i_y = 13.000 \text{ cm}$   
 $I_z = 8562.800 \text{ cm}^4$   
 $W_z = 570.900 \text{ cm}^3$   
 $W_{plz} = 870.100 \text{ cm}^3$   
 $i_z = 7.600 \text{ cm}$   
 $I_t = 185.000 \text{ cm}^4$   
 $I_{\omega} = 1687791.400 \text{ cm}^6$



#### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

##### HRBAT

$$\frac{d}{t_w} = 18.91 \leq \frac{396}{13 \cdot \alpha - 1} \cdot \varepsilon = 39.19, \alpha = 0.85 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

##### POJASNICA

$$\frac{c}{t_f} = 7.89 \leq 10 \cdot \varepsilon = 10.00 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U **KLASU 1**

#### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

##### UZDUŽNA SILA $N_{Sd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 3185.32 \text{ kN} \geq N_{Sd} = 346.27 \text{ kN}$$

##### MOMENT SAVIJANJA $M_{y,Sd}$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 399.22 \text{ kNm} \geq M_{y,Sd} = 162.58 \text{ kNm}$$

##### POPREČNA SILA $V_{z,Sd}$

$$\frac{d}{t_w} = 18.91 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69.00$$

$\Rightarrow$  provjera izbočavanja hrpta nije potrebna

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 584.65 \text{ kN} \geq V_{z,Sd} = 92.78 \text{ kN}$$

##### INTERAKCIJA M - N - V

$$\frac{M_{n,v,y,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1.0 \Rightarrow M_{n,v,y,Rd} = 399.22 \text{ kNm}$$

$$M_{n,v,y,Rd} = 399.22 \text{ kNm} \geq M_{y,Sd} = 162.58 \text{ kNm}$$

**OTPORNOST ELEMENTA****UZDUŽNA TLAČNA OTPORNOST**

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.91, \beta_A = 1.00$$

OS Y-Y

$$I_{yy} = 1860 \text{ cm}^4$$

$$\lambda_y = \frac{l_{yy}}{I_{yy}} = 143.08$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 1.524$$

$$h/b = 1.00 \leq 1.2$$

$$t_f = 19 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}$$

LINIJA IZVIJANJA b

$$\chi_y = 0.3337$$

OS Z-Z

$$I_{zz} = 930 \text{ cm}^4$$

$$\lambda_z = \frac{l_{zz}}{I_{zz}} = 122.37$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 1.303$$

LINIJA IZVIJANJA c

$$\chi_z = 0.3876$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot N_{c,Rd} = 1063.03 \text{ kN} \geq N_{Sd} = 346.27 \text{ kN}$$

**OTPORNOST NA BOČNO IZVIJANJE**

$$g = 0 \text{ cm}, L = 382 \text{ cm}$$

$$k = 1.0, k_w = 1.0, C_1 = 1.132, C_2 = 0.459$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left( C_2 \cdot g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \cdot \frac{I_{\omega}}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot g)^2} \right)$$

$$M_{cr} = 2462.68 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \cdot W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0.422 > 0.4$$

$$\text{MJERODANVA LINIJA IZVIJANJA a} \Rightarrow \chi_{LT} = 0.9468$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{\beta_w \cdot W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 377.99 \text{ kNm} \geq M_{y,Sd} = 162.58 \text{ kNm}$$

**INTERAKCIJA M - N BEZ BOČNOG IZVIJANJA**

$$\beta_{M,y} = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi}) = 1.512$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{My} - 4) + \left( \frac{W_{ply} - W_y}{W_y} \right) = -1.373 \leq 0.9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} = 1.407 \leq 1.5$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} = 0.899 \leq 1$$

**INTERAKCIJA M - N S BOČNIM IZVIJANJEM**

$$\beta_{M,LT} = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi}) = 1.512$$

$$\mu_{LT} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot (2 \cdot \beta_{MLT} - 4) + \left( \frac{W_{p,LT} - W_{LT}}{W_{LT}} \right) = 0.146 \leq 0.9$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{Sd}}{\chi_{LT} \cdot A \cdot f_y} = 0.963 \leq 1.0$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \cdot \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} = 0.695 \leq 1$$

## 4.2 Dimenzioniranje stupa galerije

### MATERIJAL

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$   
 $\varepsilon = 1.000$   
 $E = 210000 \text{ N/mm}^2$   
 $G = 80777 \text{ N/mm}^2$   
 $\nu = 0.3$

### REZNE SILE

$N_{Sd} = -244.66 \text{ kN}$   
 $V_{z,Sd} = 32.88 \text{ kN}$   
 $M_{y,Sd} = 125.61 \text{ kNm}$

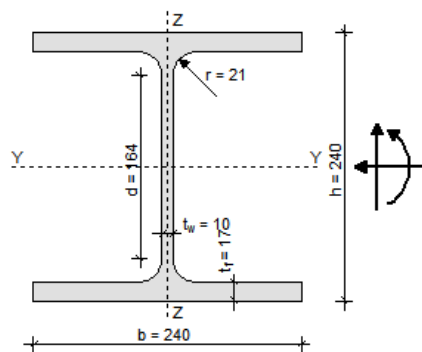
### PARC. FAKTORI SIG.

$\gamma_{M0} = 1.1$   
 $\gamma_{M1} = 1.1$   
 $\gamma_{M2} = 1.25$

### PARAMETRI

$A = 106.000 \text{ cm}^2$   
 $A_y = 84.700 \text{ cm}^2$   
 $A_z = 33.200 \text{ cm}^2$   
 $I_y = 11260.000 \text{ cm}^4$   
 $W_y = 938.300 \text{ cm}^3$   
 $W_{ply} = 1053.100 \text{ cm}^3$   
 $i_y = 10.300 \text{ cm}$   
 $I_z = 3922.700 \text{ cm}^4$   
 $W_z = 326.900 \text{ cm}^3$   
 $W_{plz} = 498.400 \text{ cm}^3$   
 $i_z = 6.100 \text{ cm}$   
 $I_t = 102.700 \text{ cm}^4$   
 $I_\omega = 486946.400 \text{ cm}^6$

### HE 240 B Stup galerije



### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

#### HRBAT

$$\frac{d}{t_w} = 16.40 \leq \frac{396}{13 \cdot \alpha - 1} \cdot \varepsilon = 39.45, \quad \alpha = 0.85 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

#### POJASNICA

$$\frac{c}{t_f} = 7.06 \leq 10 \cdot \varepsilon = 10.00 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U **KLASU 1**

### OTPORNOST ELEMENTA

#### UZDUŽNA TLAČNA OTPORNOST

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.91, \quad \beta_A = 1.00$$

OS Y-Y

$$l_{iy} = 955 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = 92.72$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.987$$

$$h/b = 1.00 \leq 1.2$$

$$t_f = 17 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}$$

LINIJA IZVIJANJA **b**

$$\chi_y = 0.6051$$

OS Z-Z

$$l_{iz} = 382 \text{ cm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = 62.62$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.667$$

LINIJA IZVIJANJA **c**

$$\chi_z = 0.7451$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot N_{c,Rd} = \mathbf{1370.31 \text{ kN}} \geq N_{Sd} = 244.66 \text{ kN}$$

#### OTPORNOST NA BOČNO IZVIJANJE

$$g = -12 \text{ cm}, \quad L = 382 \text{ cm}$$

$$k = 1.0, \quad k_w = 1.0, \quad C_1 = 1.132, \quad C_2 = 0.459$$

**OTPORNOST ELEMENTA****UZDUŽNA TLAČNA OTPORNOST**

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.91, \beta_A = 1.00$$

OS Y-Y

$$I_y = 955 \text{ cm}^4$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = 92.72$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.987$$

$$h/b = 1.00 \leq 1.2$$

$$t_f = 17 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}$$

LINIJA IZVIJANJA b

$$\chi_y = 0.6051$$

OS Z-Z

$$I_z = 382 \text{ cm}^4$$

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = 62.62$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.667$$

LINIJA IZVIJANJA c

$$\chi_z = 0.7451$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot N_{c,Rd} = \mathbf{1370.31 \text{ kN}} \geq N_{Sd} = 244.66 \text{ kN}$$

**OTPORNOST NA BOČNO IZVIJANJE**

$$g = -12 \text{ cm}, L = 382 \text{ cm}$$

$$k = 1.0, k_w = 1.0, C_1 = 1.132, C_2 = 0.459$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left( C_2 \cdot g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \cdot \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot g)^2} \right)$$

$$M_{cr} = \mathbf{751.11 \text{ kNm}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \cdot W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0.574 > 0.4$$

$$\text{MJERODANVA LINIJA IZVIJANJA a} \Rightarrow \chi_{LT} = 0.8996$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{\beta_w \cdot W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \mathbf{202.39 \text{ kNm}} \geq M_{y,Sd} = 125.61 \text{ kNm}$$

**INTERAKCIJA M - N BEZ BOČNOG IZVIJANJA**

$$\beta_{M,y} = 1.8 - 0.7 \cdot \psi = 1.800$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{M,y} - 4) + \left( \frac{W_{ply} - W_y}{W_y} \right) = -0.273 \leq 0.9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} = 1.044 \leq 1.5$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} = \mathbf{0.762} \leq 1$$

**INTERAKCIJA M - N S BOČNIM IZVIJANJEM**

$$\beta_{M,LT} = 1.8 - 0.7 \cdot \psi = 1.800$$

$$\mu_{LT} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot (2 \cdot \beta_{M,LT} - 4) + \left( \frac{W_{p,LT} - W_{LT}}{W_{LT}} \right) = 0.030 \leq 0.9$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{Sd}}{\chi_{LT} \cdot A \cdot f_y} = 0.996 \leq 1.0$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \cdot \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} = \mathbf{0.763} \leq 1$$

### 4.3 Dimenzioniranje grede galerije

#### MATERIJAL

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$   
 $\varepsilon = 1.000$   
 $E = 210000 \text{ N/mm}^2$   
 $G = 80777 \text{ N/mm}^2$   
 $\nu = 0.3$

#### REZNE SILE

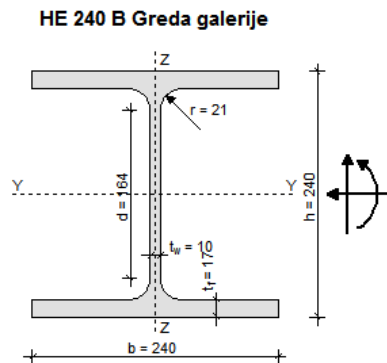
$N_{Sd} = -25.93 \text{ kN}$   
 $V_{z,Sd} = 141.39 \text{ kN}$   
 $M_{y,Sd} = 150 \text{ kNm}$

#### PARC. FAKTORI SIG.

$\gamma_{M0} = 1.1$   
 $\gamma_{M1} = 1.1$   
 $\gamma_{M2} = 1.25$

#### PARAMETRI

$A = 106.000 \text{ cm}^2$   
 $A_y = 84.700 \text{ cm}^2$   
 $A_z = 33.200 \text{ cm}^2$   
 $I_y = 11260.000 \text{ cm}^4$   
 $W_y = 938.300 \text{ cm}^3$   
 $W_{ply} = 1053.100 \text{ cm}^3$   
 $i_y = 10.300 \text{ cm}$   
 $I_z = 3922.700 \text{ cm}^4$   
 $W_z = 326.900 \text{ cm}^3$   
 $W_{plz} = 498.400 \text{ cm}^3$   
 $i_z = 6.100 \text{ cm}$   
 $I_t = 102.700 \text{ cm}^4$   
 $I_{\omega} = 486946.400 \text{ cm}^6$



#### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

##### HRBAT

$$\frac{d}{t_w} = 16.40 \leq \frac{396}{13 \cdot \alpha - 1} \cdot \varepsilon = 66.21, \alpha = 0.54 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

##### POJASNICA

$$\frac{c}{t_f} = 7.06 \leq 10 \cdot \varepsilon = 10.00 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U **KLASU 1**

#### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

##### UZDUŽNA SILA $N_{Sd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 2264.55 \text{ kN} \geq N_{Sd} = 25.93 \text{ kN}$$

##### MOMENT SAVIJANJA $M_{y,Sd}$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 224.98 \text{ kNm} \geq M_{y,Sd} = 150 \text{ kNm}$$

##### POPREČNA SILA $V_{z,Sd}$

$$\frac{d}{t_w} = 16.40 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69.00$$

$\Rightarrow$  provjera izbočavanja hrpta nije potrebna

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 409.5 \text{ kN} \geq V_{z,Sd} = 141.39 \text{ kN}$$

##### INTERAKCIJA M - N - V

$$\frac{M_{n,v,y,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1.0 \Rightarrow M_{n,v,y,Rd} = 224.98 \text{ kNm}$$

$$M_{n,v,y,Rd} = 224.98 \text{ kNm} \geq M_{y,Sd} = 150 \text{ kNm}$$

## 4.4 Dimenzioniranje grede galerije

### MATERIJAL

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$   
 $\varepsilon = 1.000$   
 $E = 210000 \text{ N/mm}^2$   
 $G = 80777 \text{ N/mm}^2$   
 $\nu = 0.3$

### REZNE SILE

$N_{Sd} = -1.79 \text{ kN}$   
 $V_{z,Sd} = 94.83 \text{ kN}$   
 $M_{y,Sd} = 47.15 \text{ kNm}$

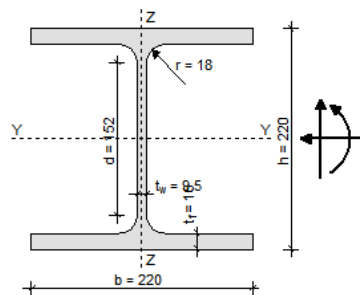
### PARC. FAKTORI SIG.

$\gamma_{M0} = 1.1$   
 $\gamma_{M1} = 1.1$   
 $\gamma_{M2} = 1.25$

### PARAMETRI

$A = 91.000 \text{ cm}^2$   
 $A_y = 73.000 \text{ cm}^2$   
 $A_z = 27.900 \text{ cm}^2$   
 $I_y = 8091.000 \text{ cm}^4$   
 $W_y = 735.500 \text{ cm}^3$   
 $W_{ply} = 827.000 \text{ cm}^3$   
 $i_y = 9.400 \text{ cm}$   
 $I_z = 2843.300 \text{ cm}^4$   
 $W_z = 258.500 \text{ cm}^3$   
 $W_{plz} = 393.900 \text{ cm}^3$   
 $i_z = 5.600 \text{ cm}$   
 $I_t = 76.600 \text{ cm}^4$   
 $I_\omega = 295418.100 \text{ cm}^6$

### HE 220 B Greda galerije



### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

#### HRBAT

$$\frac{d}{t_w} = 16.00 \leq \frac{396}{13 \cdot \alpha - 1} \cdot \varepsilon = 71.51, \alpha = 0.50 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

#### POJASNICA

$$\frac{c}{t_f} = 6.87 \leq 10 \cdot \varepsilon = 10.00 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U **KLASU 1**

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

#### UZDUŽNA SILA $N_{Sd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 1944.09 \text{ kN} \geq N_{Sd} = 1.79 \text{ kN}$$

#### MOMENT SAVIJANJA $M_{y,Sd}$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 176.68 \text{ kNm} \geq M_{y,Sd} = 47.15 \text{ kNm}$$

#### POPREČNA SILA $V_{z,Sd}$

$$\frac{d}{t_w} = 16.00 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69.00$$

$\Rightarrow$  provjera izbočavanja hrpta nije potrebna

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 344.13 \text{ kN} \geq V_{z,Sd} = 94.83 \text{ kN}$$

#### INTERAKCIJA M - N - V

$$\frac{M_{n,v,y,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1.0 \Rightarrow M_{n,v,y,Rd} = 176.68 \text{ kNm}$$

$$M_{n,v,y,Rd} = 176.68 \text{ kNm} \geq M_{y,Sd} = 47.15 \text{ kNm}$$



**OTPORNOST ELEMENTA****UZDUŽNA TLAČNA OTPORNOST**

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.91, \beta_A = 1.00$$

OS Y-Y

$$I_{yy} = 505 \text{ cm}^4$$

$$\lambda_y = \frac{l_{yy}}{I_{yy}} = 53.72$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.572$$

$$h/b = 1.00 \leq 1.2$$

$$t_f = 16 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}$$

LINIJA IZVIJANJA b

$$\chi_y = 0.8508$$

OS Z-Z

$$I_{zz} = 505 \text{ cm}^4$$

$$\lambda_z = \frac{l_{zz}}{I_{zz}} = 90.18$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.960$$

LINIJA IZVIJANJA c

$$\chi_z = 0.5633$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot N_{c,Rd} = \mathbf{1095.17 \text{ kN}} \geq N_{Sd} = 1.79 \text{ kN}$$

**OTPORNOST NA BOČNO IZVIJANJE**

$$g = -11 \text{ cm}, L = 505 \text{ cm}$$

$$k = 1.0, k_w = 1.0, C_1 = 1.132, C_2 = 0.459$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left( C_2 \cdot g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \cdot \frac{I_{\omega}}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot g)^2} \right)$$

$$M_{cr} = \mathbf{389.21 \text{ kNm}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \cdot W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0.707 > 0.4$$

$$\text{MJERODANVA LINIJA IZVIJANJA a} \Rightarrow \chi_{LT} = 0.8446$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{\beta_w \cdot W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \mathbf{149.22 \text{ kNm}} \geq M_{y,Sd} = 47.15 \text{ kNm}$$

**INTERAKCIJA M - N BEZ BOČNOG IZVIJANJA**

$$\beta_{M,y} = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi}) = 1.307$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{My} - 4) + \left( \frac{W_{ply} - W_y}{W_y} \right) = -0.668 \leq 0.9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} = 1.001 \leq 1.5$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} = \mathbf{0.268} \leq 1$$

**INTERAKCIJA M - N S BOČNIM IZVIJANJEM**

$$\beta_{M,LT} = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi}) = 1.307$$

$$\mu_{LT} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot (2 \cdot \beta_{MLT} - 4) + \left( \frac{W_{p,LT} - W_{LT}}{W_{LT}} \right) = 0.038 \leq 0.9$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{Sd}}{\chi_{LT} \cdot A \cdot f_y} = 1.000 \leq 1.0$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \cdot \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} = \mathbf{0.318} \leq 1$$

## 4.5 Dimenzioniranje gornjeg pojasa rešetke

### 4.5.1 Gornji pojas opterećen tlakom

#### MATERIJAL

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$   
 $\varepsilon = 1.000$   
 $E = 210000 \text{ N/mm}^2$   
 $G = 80777 \text{ N/mm}^2$   
 $\nu = 0.3$

#### REZNE SILE

$N_{Sd} = -273.43 \text{ kN}$   
 $V_{z,Sd} = 24.35 \text{ kN}$   
 $M_{y,Sd} = 3.99 \text{ kNm}$

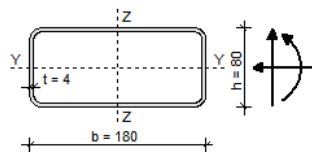
#### PARC. FAKTORI SIG.

$\gamma_{M0} = 1.1$   
 $\gamma_{M1} = 1.1$   
 $\gamma_{M2} = 1.25$

#### PARAMETRI

$A = 36.293 \text{ cm}^2$   
 $A_y = 21.120 \text{ cm}^2$   
 $A_z = 5.120 \text{ cm}^2$   
 $I_y = 382.429 \text{ cm}^4$   
 $W_y = 95.607 \text{ cm}^3$   
 $W_{ply} = 109.184 \text{ cm}^3$   
 $i_y = 3.246 \text{ cm}$   
 $I_z = 1330.713 \text{ cm}^4$   
 $W_z = 147.857 \text{ cm}^3$   
 $W_{plz} = 193.049 \text{ cm}^3$   
 $i_z = 6.055 \text{ cm}$   
 $I_t = 1595.077 \text{ cm}^4$   
 $I_{\omega} = 0.000 \text{ cm}^6$

#### Gornji pojas rešetke tlak



#### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

##### HRBAT

$$\frac{h - 3 \cdot t_f}{t_w} = 17.00 \leq \frac{42}{0.67 + 0.33 \cdot \psi} \cdot \varepsilon = 53.25, \psi = 0.36 \Rightarrow \text{KLASA 3}$$

##### POJASNICA

$$\frac{b - 3 \cdot t_w}{t_f} = 42.00 \leq 42 \cdot \varepsilon = 42.00 \Rightarrow \text{KLASA 3}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U **KLASU 3**

#### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

##### UZDUŽNA SILA $N_{Sd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 775.35 \text{ kN} \geq N_{Sd} = 273.43 \text{ kN}$$

##### MOMENT SAVIJANJA $M_{y,Sd}$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 20.43 \text{ kNm} \geq M_{y,Sd} = 3.99 \text{ kNm}$$

##### POPREČNA SILA $V_{z,Sd}$

$$\frac{h - 3 \cdot t_f}{t_w} = 17.00 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69.00$$

$\Rightarrow$  provjera izbočavanja hrpta nije potrebna

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 63.15 \text{ kN} \geq V_{z,Sd} = 24.35 \text{ kN}$$

##### INTERAKCIJA M - N - V

$$n = \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = 0.353$$

$$\frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} = 0.195 \leq 1 - n = 0.647$$

**OTPORNOST ELEMENTA****UZDUŽNA TLAČNA OTPORNOST**

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.91, \beta_A = 1.00$$

OS Y-Y

OS Z-Z

$$l_y = 216 \text{ cm}$$

$$l_z = 216 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = 66.54$$

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = 35.67$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.709$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.380$$

LINIJA IZVIJANJA **b**LINIJA IZVIJANJA **b**

$$\chi_y = 0.7789$$

$$\chi_z = 0.9340$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot N_{c,Rd} = \mathbf{603.89 \text{ kN}} \geq N_{Sd} = 273.43 \text{ kN}$$

**INTERAKCIJA M - N BEZ BOČNOG IZVIJANJA**

$$\beta_{M,y} = \beta_{M,v} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,v}) = 1.298$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{My} - 4) = -0.995 \leq 0.9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} = 1.410 \leq 1.5$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{\frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} = \mathbf{0.728} \leq 1$$

## 4.5.2 Gornji pojas opterećen vlakom

### MATERIJAL

$$\begin{aligned} f_y &= 235 \text{ N/mm}^2 \\ f_u &= 360 \text{ N/mm}^2 \\ \varepsilon &= 1.000 \\ E &= 210000 \text{ N/mm}^2 \\ G &= 80777 \text{ N/mm}^2 \\ \nu &= 0.3 \end{aligned}$$

### REZNE SILE

$$\begin{aligned} N_{Sd} &= 213.27 \text{ kN} \\ V_{z,Sd} &= 22.59 \text{ kN} \\ M_{y,Sd} &= 4.24 \text{ kNm} \end{aligned}$$

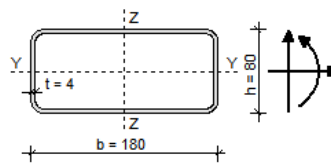
### PARC. FAKTORI SIG.

$$\begin{aligned} \gamma_{M0} &= 1.1 \\ \gamma_{M1} &= 1.1 \\ \gamma_{M2} &= 1.25 \end{aligned}$$

### PARAMETRI

$$\begin{aligned} A &= 19.473 \text{ cm}^2 \\ A_y &= 12.480 \text{ cm}^2 \\ A_z &= 4.480 \text{ cm}^2 \\ I_y &= 223.117 \text{ cm}^4 \\ W_y &= 55.779 \text{ cm}^3 \\ W_{ply} &= 62.355 \text{ cm}^3 \\ i_y &= 3.385 \text{ cm} \\ I_z &= 780.534 \text{ cm}^4 \\ W_z &= 86.726 \text{ cm}^3 \\ W_{plz} &= 109.321 \text{ cm}^3 \\ i_z &= 6.331 \text{ cm} \\ I_t &= 1595.077 \text{ cm}^4 \\ I_\omega &= 0.000 \text{ cm}^6 \end{aligned}$$

### Gornji pojas rešetke vlak



### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

#### HRBAT

$$\frac{h - 3 \cdot t_f}{t_w} = 17.00 \leq \frac{42}{0.67 + 0.33 \cdot \psi} \cdot \varepsilon = 55.62, \psi = 0.26 \Rightarrow \text{KLASA 3}$$

#### POJASNICA

$$\frac{b - 3 \cdot t_w}{t_f} = 42.00 \leq 42 \cdot \varepsilon = 42.00 \Rightarrow \text{KLASA 3}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U **KLASU 3**

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

#### UZDUŽNA SILA $N_{Sd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 416.02 \text{ kN} \geq N_{Sd} = 213.27 \text{ kN}$$

#### MOMENT SAVIJANJA $M_{y,Sd}$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 11.92 \text{ kNm} \geq M_{y,Sd} = 4.24 \text{ kNm}$$

#### POPREČNA SILA $V_{z,Sd}$

$$\frac{h - 3 \cdot t_f}{t_w} = 17.00 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69.00$$

$\Rightarrow$  provjera izbočavanja hrpta nije potrebna

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 55.26 \text{ kN} \geq V_{z,Sd} = 22.59 \text{ kN}$$

#### INTERAKCIJA M - N - V

$$n = \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = 0.513$$

$$\frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} = 0.356 \leq 1 - n = 0.487$$

### OTPORNOST ELEMENTA

#### INTERAKCIJA M - N

$$M_{eff,Sd} = M_{y,Sd} - 0.8 \cdot N_{Sd} \cdot \frac{W_y}{A} = -0.65 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 0 \text{ kNm}$$

## 4.6 Dimenzioniranje donjeg pojasa rešetke

### 4.6.1 Donji pojas opterećen tlakom

#### MATERIJAL

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$   
 $\varepsilon = 1.000$   
 $E = 210000 \text{ N/mm}^2$   
 $G = 80777 \text{ N/mm}^2$   
 $\nu = 0.3$

#### REZNE SILE

$N_{Sd} = -153.19 \text{ kN}$

#### PARC. FAKTORI SIG.

$\gamma_{M0} = 1.1$

$\gamma_{M1} = 1.1$

$\gamma_{M2} = 1.25$

#### PARAMETRI

$A = 19.473 \text{ cm}^2$

$A_y = 12.480 \text{ cm}^2$

$A_z = 4.480 \text{ cm}^2$

$I_y = 223.117 \text{ cm}^4$

$W_y = 55.779 \text{ cm}^3$

$W_{ply} = 62.355 \text{ cm}^3$

$i_y = 3.385 \text{ cm}$

$I_z = 780.534 \text{ cm}^4$

$W_z = 86.726 \text{ cm}^3$

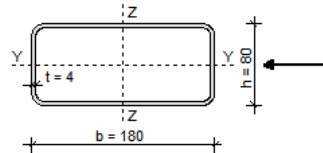
$W_{plz} = 109.321 \text{ cm}^3$

$i_z = 6.331 \text{ cm}$

$I_t = 1595.077 \text{ cm}^4$

$I_{\omega} = 0.000 \text{ cm}^6$

#### Donji pojas rešetke tlak



#### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

##### HRBAT

$$\frac{h - 3 \cdot t_f}{t_w} = 17.00 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33.00 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

##### POJASNICA

$$\frac{b - 3 \cdot t_w}{t_f} = 42.00 \leq 42 \cdot \varepsilon = 42.00 \Rightarrow \text{KLASA 3}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U **KLASU 3**

#### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

##### UZDUŽNA SILA $N_{Sd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 416.02 \text{ kN} \geq N_{Sd} = 153.19 \text{ kN}$$

#### OTPORNOST ELEMENTA

##### UZDUŽNA TLAČNA OTPORNOST

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.91, \beta_A = 1.00$$

##### OS Y-Y

$$l_{y1} = 216 \text{ cm}$$

$$\lambda_{y1} = \frac{l_{y1}}{i_y} = 63.81$$

$$\bar{\lambda}_{y1} = \frac{\lambda_{y1}}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.679$$

##### LINIJA IZVIJANJA a

$$\chi_{y1} = 0.8572$$

##### OS Z-Z

$$l_{z1} = 216 \text{ cm}$$

$$\lambda_{z1} = \frac{l_{z1}}{i_z} = 34.12$$

$$\bar{\lambda}_{z1} = \frac{\lambda_{z1}}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.363$$

##### LINIJA IZVIJANJA a

$$\chi_{z1} = 0.9622$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot N_{c,Rd} = 356.6 \text{ kN} \geq N_{Sd} = 153.19 \text{ kN}$$

## 4.6.2 Donji pojas opterećen vlakom

### MATERIJAL

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$   
 $\varepsilon = 1.000$   
 $E = 210000 \text{ N/mm}^2$   
 $G = 80777 \text{ N/mm}^2$   
 $\nu = 0.3$

### REZNE SILE

$N_{Sd} = 224.4 \text{ kN}$

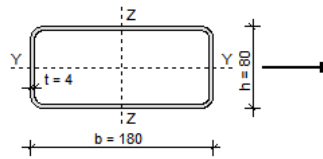
### PARC. FAKTORI SIG.

$\gamma_{M0} = 1.1$   
 $\gamma_{M1} = 1.1$   
 $\gamma_{M2} = 1.25$

### PARAMETRI

$A = 19.473 \text{ cm}^2$   
 $A_y = 12.480 \text{ cm}^2$   
 $A_z = 4.480 \text{ cm}^2$   
 $I_y = 223.117 \text{ cm}^4$   
 $W_y = 55.779 \text{ cm}^3$   
 $W_{ply} = 62.355 \text{ cm}^3$   
 $i_y = 3.385 \text{ cm}$   
 $I_z = 780.534 \text{ cm}^4$   
 $W_z = 86.726 \text{ cm}^3$   
 $W_{plz} = 109.321 \text{ cm}^3$   
 $i_z = 6.331 \text{ cm}$   
 $I_t = 1595.077 \text{ cm}^4$   
 $I_\omega = 0.000 \text{ cm}^6$

### Donji pojas rešetke vlak



### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

#### HRBAT

$$\frac{h - 3 \cdot t_f}{t_w} = 17.00 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33.00 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

#### POJASNICA

$$\frac{b - 3 \cdot t_w}{t_f} = 42.00 \leq 42 \cdot \varepsilon = 42.00 \Rightarrow \text{KLASA 3}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U **KLASU 3**

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

#### UZDUŽNA SILA $N_{Sd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 416.02 \text{ kN} \geq N_{Sd} = 224.4 \text{ kN}$$

## 4.7 Dimenzioniranje ispunne rešetke

### 4.7.1 Ispuna opterećena tlakom

#### MATERIJAL

$$\begin{aligned} f_y &= 235 \text{ N/mm}^2 \\ f_u &= 360 \text{ N/mm}^2 \\ \varepsilon &= 1.000 \\ E &= 210000 \text{ N/mm}^2 \\ G &= 80777 \text{ N/mm}^2 \\ \nu &= 0.3 \end{aligned}$$

#### REZNE SILE

$$N_{Sd} = -161.05 \text{ kN}$$

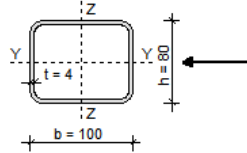
#### PARC. FAKTORI SIG.

$$\begin{aligned} \gamma_{M0} &= 1.1 \\ \gamma_{M1} &= 1.1 \\ \gamma_{M2} &= 1.25 \end{aligned}$$

#### PARAMETRI

$$\begin{aligned} A &= 13.073 \text{ cm}^2 \\ A_y &= 6.080 \text{ cm}^2 \\ A_z &= 4.480 \text{ cm}^2 \\ I_y &= 130.616 \text{ cm}^4 \\ W_y &= 32.654 \text{ cm}^3 \\ W_{ply} &= 38.035 \text{ cm}^3 \\ i_y &= 3.161 \text{ cm} \\ I_z &= 183.406 \text{ cm}^4 \\ W_z &= 36.681 \text{ cm}^3 \\ W_{plz} &= 44.228 \text{ cm}^3 \\ i_z &= 3.746 \text{ cm} \\ I_t &= 711.111 \text{ cm}^4 \\ I_{\omega} &= 0.000 \text{ cm}^6 \end{aligned}$$

#### Ispuna tlak



#### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

##### HRBAT

$$\frac{h - 3 \cdot t_f}{t_w} = 17.00 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33.00 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

##### POJASNICA

$$\frac{b - 3 \cdot t_w}{t_f} = 22.00 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33.00 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U **KLASU 1**

#### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

##### UZDUŽNA SILA $N_{Sd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 279.29 \text{ kN} \geq N_{Sd} = 161.05 \text{ kN}$$

#### OTPORNOST ELEMENTA

##### UZDUŽNA TLAČNA OTPORNOST

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.91, \beta_A = 1.00$$

##### OS Y-Y

$$l_{y1} = 260 \text{ cm}$$

$$\lambda_{y1} = \frac{l_{y1}}{i_y} = 82.26$$

$$\bar{\lambda}_{y1} = \frac{\lambda_{y1}}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.876$$

##### LINIJA IZVIJANJA a

$$\chi_{y1} = 0.7496$$

##### OS Z-Z

$$l_{z1} = 260 \text{ cm}$$

$$\lambda_{z1} = \frac{l_{z1}}{i_z} = 69.42$$

$$\bar{\lambda}_{z1} = \frac{\lambda_{z1}}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.739$$

##### LINIJA IZVIJANJA a

$$\chi_{z1} = 0.8286$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot N_{c,Rd} = 209.36 \text{ kN} \geq N_{Sd} = 161.05 \text{ kN}$$

## 4.7.2 Ispuna opterećena vlakom

### MATERIJAL

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$   
 $\varepsilon = 1.000$   
 $E = 210000 \text{ N/mm}^2$   
 $G = 80777 \text{ N/mm}^2$   
 $\nu = 0.3$

### REZNE SILE

$N_{Sd} = 132.39 \text{ kN}$

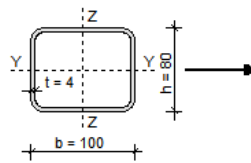
### PARC. FAKTORI SIG.

$\gamma_{M0} = 1.1$   
 $\gamma_{M1} = 1.1$   
 $\gamma_{M2} = 1.25$

### PARAMETRI

$A = 13.073 \text{ cm}^2$   
 $A_y = 6.080 \text{ cm}^2$   
 $A_z = 4.480 \text{ cm}^2$   
 $I_y = 130.616 \text{ cm}^4$   
 $W_y = 32.654 \text{ cm}^3$   
 $W_{ply} = 38.035 \text{ cm}^3$   
 $i_y = 3.161 \text{ cm}$   
 $I_z = 183.406 \text{ cm}^4$   
 $W_z = 36.681 \text{ cm}^3$   
 $W_{plz} = 44.228 \text{ cm}^3$   
 $i_z = 3.746 \text{ cm}$   
 $I_t = 711.111 \text{ cm}^4$   
 $I_{\omega} = 0.000 \text{ cm}^6$

### Ispuna vlak



### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

#### HRBAT

$$\frac{h - 3 \cdot t_f}{t_w} = 17.00 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33.00 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

#### POJASNICA

$$\frac{b - 3 \cdot t_w}{t_f} = 22.00 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33.00 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U **KLASU 1**

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

#### UZDUŽNA SILA $N_{Sd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \mathbf{279.29 \text{ kN}} \geq N_{Sd} = 132.39 \text{ kN}$$



## 4.8 Dimenzioniranje zabata

### MATERIJAL

$$\begin{aligned} f_y &= 235 \text{ N/mm}^2 \\ f_u &= 360 \text{ N/mm}^2 \\ \varepsilon &= 1.000 \\ E &= 210000 \text{ N/mm}^2 \\ G &= 80777 \text{ N/mm}^2 \\ \nu &= 0.3 \end{aligned}$$

### REZNE SILE

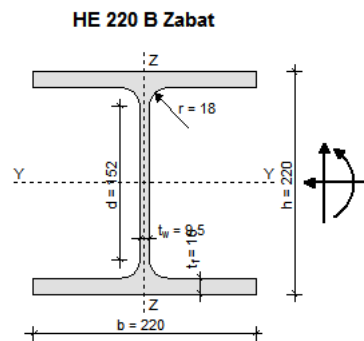
$$\begin{aligned} N_{Sd} &= -69.32 \text{ kN} \\ V_{z,Sd} &= 44.9 \text{ kN} \\ M_{y,Sd} &= 101.29 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### PARC. FAKTORI SIG.

$$\begin{aligned} \gamma_{M0} &= 1.1 \\ \gamma_{M1} &= 1.1 \\ \gamma_{M2} &= 1.25 \end{aligned}$$

### PARAMETRI

$$\begin{aligned} A &= 91.000 \text{ cm}^2 \\ A_y &= 73.000 \text{ cm}^2 \\ A_z &= 27.900 \text{ cm}^2 \\ I_y &= 8091.000 \text{ cm}^4 \\ W_y &= 735.500 \text{ cm}^3 \\ W_{ply} &= 827.000 \text{ cm}^3 \\ i_y &= 9.400 \text{ cm} \\ I_z &= 2843.300 \text{ cm}^4 \\ W_z &= 258.500 \text{ cm}^3 \\ W_{plz} &= 393.900 \text{ cm}^3 \\ i_z &= 5.600 \text{ cm} \\ I_t &= 76.600 \text{ cm}^4 \\ I_\omega &= 295418.100 \text{ cm}^6 \end{aligned}$$



### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

#### HRBAT

$$\frac{d}{t_w} = 16.00 \leq \frac{396}{13 \cdot \alpha - 1} \cdot \varepsilon = 56.89, \alpha = 0.61 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

#### POJASNICA

$$\frac{c}{t_f} = 6.87 \leq 10 \cdot \varepsilon = 10.00 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U **KLASU 1**

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

#### UZDUŽNA SILA $N_{Sd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \mathbf{1944.09 \text{ kN}} \geq N_{Sd} = 69.32 \text{ kN}$$

#### MOMENT SAVIJANJA $M_{y,Sd}$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \mathbf{176.68 \text{ kNm}} \geq M_{y,Sd} = 101.29 \text{ kNm}$$

#### POPREČNA SILA $V_{z,Sd}$

$$\frac{d}{t_w} = 16.00 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69.00$$

$\Rightarrow$  provjera izbočavanja hrpta nije potrebna

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \mathbf{344.13 \text{ kN}} \geq V_{z,Sd} = 44.9 \text{ kN}$$

#### INTERAKCIJA M - N - V

$$\frac{M_{n,v,y,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1.0 \Rightarrow M_{n,v,y,Rd} = 176.68 \text{ kNm}$$

$$M_{n,v,y,Rd} = \mathbf{176.68 \text{ kNm}} \geq M_{y,Sd} = 101.29 \text{ kNm}$$

**OTPORNOST ELEMENTA****UZDUŽNA TLAČNA OTPORNOST**

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.91, \beta_A = 1.00$$

OS Y-Y

$$I_{yy} = 920 \text{ cm}^4$$

$$\lambda_y = \frac{l_{yy}}{I_{yy}} = 97.87$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 1.042$$

$$h/b = 1.00 \leq 1.2$$

$$t_f = 16 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm}$$

LINIJA IZVIJANJA b

$$\chi_y = 0.5705$$

OS Z-Z

$$I_{zz} = 328 \text{ cm}^4$$

$$\lambda_z = \frac{l_{zz}}{I_{zz}} = 58.57$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.624$$

LINIJA IZVIJANJA c

$$\chi_z = 0.7713$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot N_{c,Rd} = \mathbf{1109.14 \text{ kN}} \geq N_{Sd} = 69.32 \text{ kN}$$

**OTPORNOST NA BOČNO IZVIJANJE**

$$g = 0 \text{ cm}, L = 328 \text{ cm}$$

$$k = 1.0, k_w = 1.0, C_1 = 1.132, C_2 = 0.459$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left( C_2 \cdot g + \sqrt{\frac{k^2}{k_w^2} \cdot \frac{I_{\omega}}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot g)^2} \right)$$

$$M_{cr} = \mathbf{913.1 \text{ kNm}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \cdot W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0.461 > 0.4$$

$$\text{MJERODANVA LINIJA IZVIJANJA a} \Rightarrow \chi_{LT} = 0.9359$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{\beta_w \cdot W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \mathbf{165.35 \text{ kNm}} \geq M_{y,Sd} = 101.29 \text{ kNm}$$

**INTERAKCIJA M - N BEZ BOČNOG IZVIJANJA**

$$\beta_{M,y} = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi}) = 1.669$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{My} - 4) + \left( \frac{W_{ply} - W_y}{W_y} \right) = -0.566 \leq 0.9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} = 1.032 \leq 1.5$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} = \mathbf{0.654} \leq 1$$

**INTERAKCIJA M - N S BOČNIM IZVIJANJEM**

$$\beta_{M,LT} = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi}) = 1.669$$

$$\mu_{LT} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot (2 \cdot \beta_{MLT} - 4) + \left( \frac{W_{pLLT} - W_{LT}}{W_{LT}} \right) = 0.006 \leq 0.9$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{Sd}}{\chi_{LT} \cdot A \cdot f_y} = 1.000 \leq 1.0$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \cdot \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} = \mathbf{0.659} \leq 1$$

## 4.9 Dimenzioniranje podrožnice

### MATERIJAL

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$   
 $\varepsilon = 1.000$   
 $E = 210000 \text{ N/mm}^2$   
 $G = 80777 \text{ N/mm}^2$   
 $\nu = 0.3$

### REZNE SILE

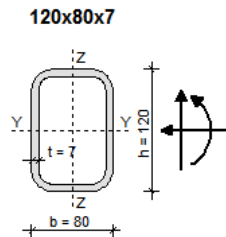
$N_{Sd} = -19.88 \text{ kN}$   
 $V_{z,Sd} = 26.03 \text{ kN}$   
 $M_{y,Sd} = 11.06 \text{ kNm}$

### PARC. FAKTORI SIG.

$\gamma_{M0} = 1.1$   
 $\gamma_{M1} = 1.1$   
 $\gamma_{M2} = 1.25$

### PARAMETRI

$A = 23.937 \text{ cm}^2$   
 $A_y = 5.320 \text{ cm}^2$   
 $A_z = 10.920 \text{ cm}^2$   
 $I_y = 431.345 \text{ cm}^4$   
 $W_y = 71.891 \text{ cm}^3$   
 $W_{ply} = 90.059 \text{ cm}^3$   
 $i_y = 4.245 \text{ cm}$   
 $I_z = 234.223 \text{ cm}^4$   
 $W_z = 58.556 \text{ cm}^3$   
 $W_{plz} = 68.225 \text{ cm}^3$   
 $i_z = 3.128 \text{ cm}$   
 $I_t = 921.600 \text{ cm}^4$   
 $I_\omega = 0.000 \text{ cm}^6$



### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

#### HRBAT

$$\frac{h - 3 \cdot t_f}{t_w} = 14.14 \leq \frac{42}{0.67 + 0.33 \cdot \psi} \cdot \varepsilon = 110.37, \psi = -0.88 \Rightarrow \text{KLASA 3}$$

#### POJASNICA

$$\frac{b - 3 \cdot t_w}{t_f} = 8.43 \leq 33 \cdot \varepsilon = 33.00 \Rightarrow \text{KLASA 1}$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U **KLASU 3**

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

#### UZDUŽNA SILA $N_{Sd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \mathbf{511.38 \text{ kN}} \geq N_{Sd} = 19.88 \text{ kN}$$

#### MOMENT SAVIJANJA $M_{y,Sd}$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \mathbf{15.36 \text{ kNm}} \geq M_{y,Sd} = 11.06 \text{ kNm}$$

#### POPREČNA SILA $V_{z,Sd}$

$$\frac{h - 3 \cdot t_f}{t_w} = 14.14 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69.00$$

$\Rightarrow$  provjera izbočavanja hrpta nije potrebna

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \mathbf{134.69 \text{ kN}} \geq V_{z,Sd} = 26.03 \text{ kN}$$

#### INTERAKCIJA M - N - V

$$n = \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = 0.039$$

$$\frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} = 0.720 \leq 1 - n = 0.961$$

**OTPORNOST ELEMENTA****UZDUŽNA TLAČNA OTPORNOST**

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.91, \beta_A = 1.00$$

OS Y-Y

OS Z-Z

$$l_y = 505 \text{ cm}$$

$$l_z = 505 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = 118.96$$

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = 161.44$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 1.267$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 1.719$$

LINIJA IZVIJANJA a

LINIJA IZVIJANJA a

$$\chi_y = 0.4894$$

$$\chi_z = 0.2935$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{\min} \cdot N_{c,Rd} = \mathbf{150.11 \text{ kN}} \geq N_{Sd} = 19.88 \text{ kN}$$

**INTERAKCIJA M - N BEZ BOČNOG IZVIJANJA**

$$\beta_{M,y} = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi}) = 1.296$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{My} - 4) = -1.784 \leq 0.9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} = 1.129 \leq 1.5$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{\frac{W_{y,Sd} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} = \mathbf{0.892} \leq 1$$

## 4.10 Dimenzioniranje spregova

### MATERIJAL

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$   
 $\varepsilon = 1.000$   
 $E = 210000 \text{ N/mm}^2$   
 $G = 80777 \text{ N/mm}^2$   
 $\nu = 0.3$

### REZNE SILE

$N_{Sd} = 24.17 \text{ kN}$

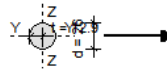
### PARC. FAKTORI SIG.

$\gamma_{M0} = 1.1$   
 $\gamma_{M1} = 1.1$   
 $\gamma_{M2} = 1.25$

### PARAMETRI

$A = 5.309 \text{ cm}^2$   
 $A_y = 0.000 \text{ cm}^2$   
 $A_z = 0.000 \text{ cm}^2$   
 $I_y = 2.243 \text{ cm}^4$   
 $W_y = 1.726 \text{ cm}^3$   
 $W_{ply} = 2.929 \text{ cm}^3$   
 $i_y = 0.650 \text{ cm}$   
 $I_z = 2.243 \text{ cm}^4$   
 $W_z = 1.726 \text{ cm}^3$   
 $W_{plz} = 2.929 \text{ cm}^3$   
 $i_z = 0.650 \text{ cm}$   
 $I_t = 4.486 \text{ cm}^4$   
 $I_\omega = 0.000 \text{ cm}^6$

### Spreg gore



### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$\frac{d}{t} = 2.02 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50.00$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U **KLASU 1**

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

UZDUŽNA SILA  $N_{Sd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 113.42 \text{ kN} \geq N_{Sd} = 24.17 \text{ kN}$$

### MATERIJAL

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$   
 $\varepsilon = 1.000$   
 $E = 210000 \text{ N/mm}^2$   
 $G = 80777 \text{ N/mm}^2$   
 $\nu = 0.3$

### REZNE SILE

$N_{Sd} = 77.78 \text{ kN}$

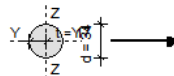
### PARC. FAKTORI SIG.

$\gamma_{M0} = 1.1$   
 $\gamma_{M1} = 1.1$   
 $\gamma_{M2} = 1.25$

### PARAMETRI

$A = 9.079 \text{ cm}^2$   
 $A_y = 0.000 \text{ cm}^2$   
 $A_z = 0.000 \text{ cm}^2$   
 $I_y = 6.560 \text{ cm}^4$   
 $W_y = 3.859 \text{ cm}^3$   
 $W_{ply} = 6.551 \text{ cm}^3$   
 $i_y = 0.850 \text{ cm}$   
 $I_z = 6.560 \text{ cm}^4$   
 $W_z = 3.859 \text{ cm}^3$   
 $W_{plz} = 6.551 \text{ cm}^3$   
 $i_z = 0.850 \text{ cm}$   
 $I_t = 13.119 \text{ cm}^4$   
 $I_\omega = 0.000 \text{ cm}^6$

### Spreg dolje



### KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA

$$\frac{d}{t} = 2.00 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50.00$$

POPREČNI PRESJEK JE SVRSTAN U **KLASU 1**

### OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA

UZDUŽNA SILA  $N_{Sd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 193.96 \text{ kN} \geq N_{Sd} = 77.78 \text{ kN}$$

## 5. Proračun priključaka karakterističnog okvira

### 5.1 Priključak stup-temelj

$N=346.73$  (kN) (tlak)

Materijal:

$h=300$  (mm)

$M=163.51$  (kNm)

-osnovni materijal Fe 360 (S235)

$b=300$  (mm)

$V=64.34$  (kN)

-vijci k.v.10.9

$t_f=19$  (mm)

$t_w=11$  (mm)

$A=149.1$  (cm<sup>2</sup>)

1) Izračun vara

Vlačna sila u pojasu uslijed momenta:

$$N_p^M = \frac{M_{Ed}}{(h-t_f)} = \frac{163.51}{(0.3-0.019)} = 581.89 \text{ (kN)}$$

Tlačna sila u pojasu od uzdužne sile:

$$N_p^N = \frac{A_p}{A} \cdot N_{Ed} = \frac{30 \cdot 1.9}{149.1} \cdot 346.73 = 132.55 \text{ (kN)}$$

Ukupna sila u vlačnoj pojasnici:

$$N_p = N_p^M + N_p^N = 581.89 + 132.55 = 714.44 \text{ (kN)}$$

Kontrola vara na pojasnicama i hrptu

- dužina vara pojasnice:

$$l_p = 2 \cdot b = 2 \cdot 300 = 600 \text{ (mm)}$$

- duljina vara hrpta

$$l_h = 2 \cdot d = 2 \cdot 300 = 600 \text{ (mm)}$$

- max debljina vara s obzirom na debljinu hrpta i pojaseva nosača

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min}$$

$$t_{\min} = t_w = 11 \text{ (mm)}$$

$$\Rightarrow a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 11 = 7.7 \text{ (mm)}$$

$$a_{\text{odabrano}} = 7 \text{ (mm)}$$

$$\Rightarrow F_{w,Rk} = 181.9 \text{ (kN)}$$

Za pretpostavljeni var  $a=7$  (mm):

$$\text{- uzdužna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{181.9}{1.25} \cdot \frac{600}{100} = 873.12 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti:

$$N_p = F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$714.44 \text{ (kN)} \leq 873.12 \text{ (kN)}$$

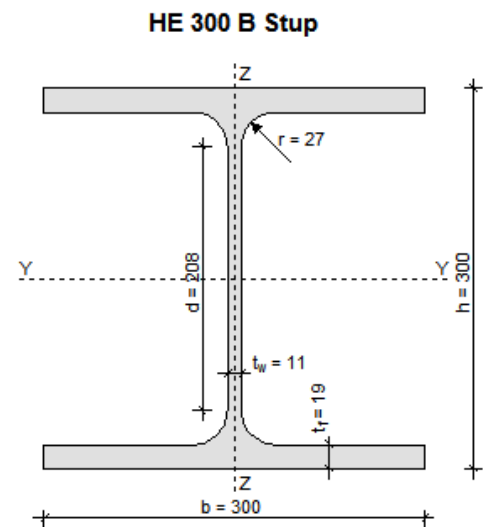
$$\text{- poprečna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{181.9}{1.25} \cdot \frac{600}{100} = 873.12 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti:

$$N_p = F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$64.34 \text{ (kN)} \leq 873.12 \text{ (kN)}$$

Var  $a=7$ mm zadovoljava.



## 2) Proračun vijaka

Pretpostavljeni vijci: M 24, k.v.10.9

- udaljenost  $c_{\min}$  vijaka od ruba pojasnice:

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 24 + 7 \cdot \sqrt{2} = 57.9 \text{ (mm)}$$

Usvojeno  $c = 60 \text{ mm}$ .

- ekscentricitet uzdužne sile

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{163.51}{346.73} = 0.472 \text{ (m)}$$

$$x_1 = h - t_f / 2 = 300 - 19 / 2 = 290.5 \text{ (mm)} = 0.2905 \text{ (m)}$$

$$x_2 = e - h / 2 + t_f / 2 = 472 - 300 / 2 + 19 / 2 = 331.5 \text{ (mm)} = 0.3315 \text{ (m)}$$

$$N_{Ed} \cdot x_2 = F_{t,Ed} \cdot x_1$$

$$\Rightarrow F_{t,Ed} = N_{Ed} \cdot \frac{x_2}{x_1} = 346.73 \cdot \frac{331.5}{290.5} = 395.67 \text{ (kN)}$$

- otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{317.7}{1.25} = 254.16 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti

$$F_{t,Rd} > F_{t,Ed} / 2$$

$$254.16 \text{ kN} > 395.67 / 2 = 197.84 \text{ (kN)}$$

- otpornost vijaka na posmik:

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{176.5}{1.25} = 141.2 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti

$$F_{v,Rd} > F_{v,Sd}$$

$$141.2 \text{ kN} > F_{v,Ed} = V_{Ed} / 4 = 64.34 / 4 = 16.09 \text{ (kN)}$$

- interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{16.09}{141.2} + \frac{197.84}{1.4 \cdot 254.16} = 0.67 \leq 1$$

→ Vijci zadovoljavaju.

## 3) Proračun ploče

- proračun dimenzija ploče:

$$a_{pl,\min} = h + 2 \cdot (c + e_1)$$

$$e_1 = 60 \text{ (mm)}$$

$$\Rightarrow a_{pl,\min} = 300 + 2 \cdot (60 + 60) = 540 \text{ (mm)}$$

$$b_{pl,\min} = b + 2 \cdot a \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 300 + 2 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} + 20 = 339.80 \text{ (mm)}$$

ili

$$b_{pl,min} = 3 \cdot p_2 + 2 \cdot e_2$$

$$p_1; p_2 = 80 \text{ (mm)}$$

$$e_2 = 50 \text{ (mm)}$$

$$\Rightarrow b_{pl,min} = 3 \cdot 80 + 2 \cdot 50 = 340 \text{ (mm)}$$

Odabrane dimenzije ploče: 540x350 mm

- pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala:

$$F_{V,Sd} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{64.34}{4} = 16.09 \text{ (kN)} \equiv F_{b,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = \frac{166.2}{1,25} \cdot \frac{t_{pl}}{10} = F_{b,Ed} = 16.09 \text{ (kN)}$$

$$\Rightarrow t_{pl}^{min} = \frac{16.09 \cdot 1.25 \cdot 10}{166.2} = 1.21 \text{ (mm)}$$

- savijanje ploče od odgovora betonske podloge:

$$s = \left( a_{pl} - h + t_f^{min} \right) / 2 = (540 - 300 + 19) / 2 = 129.5 \text{ (mm)} = 12.95 \text{ (cm)}$$

$$R = F_{t,Ed} - N_{Ed} = 395.67 + 346.73 = 742.40 \text{ (kN)}$$

- naprezanje u betonu:

$$f_{B,Sd} = \frac{R}{\frac{3 \cdot s \cdot b_{pl}}{2}} = \frac{742.40}{\frac{3 \cdot 12.95 \cdot 35}{2}} = 1.09 \text{ (kN / cm}^2\text{)}$$

uvjet nosivosti

$$f_{B,Sd} < f_{ck} / 1,5$$

$$1.09 \text{ kN / cm}^2 < 3.0 / 1,5 = 2 \text{ (kN / cm}^2\text{)}$$

- savijanje ploče:

$$M_{Ed} = F_1 \cdot \frac{s}{2} + F_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot s = \frac{2}{3} \cdot f_{B,Sd} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{s}{2} + \frac{1}{3} \cdot f_{B,Sd} \cdot s \cdot b_{pl} \cdot \frac{2}{3} \cdot s$$

$$\Rightarrow M_{Ed} = \frac{2}{3} \cdot 10900 \cdot 0.1295 \cdot 0.35 \cdot \frac{0.1295}{2} + \frac{1}{3} \cdot 10900 \cdot 0.1295 \cdot 0.35 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.1295 = 28.44 \text{ (kNm)}$$

- savijanje ploče oko vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = \frac{F_{t,Ed}}{2} \cdot \left( c + \frac{t_f}{2} \right) = \frac{395.67}{2} \cdot \left( 0.06 + \frac{0.0019}{2} \right) = 12.06 \text{ (kNm)}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \Rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{min}}{6}$$

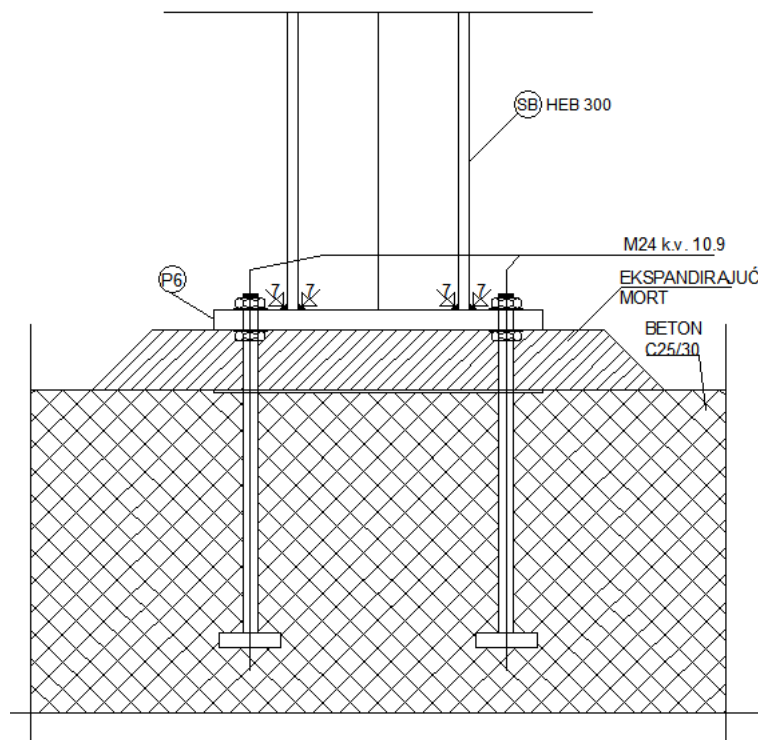


$$t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 12.06 \cdot 100 \cdot 6}{35 \cdot 23.5}} = 3.11 \text{ (cm)}$$

$$t_{pl} \geq 3.11 \text{ (cm)} \rightarrow t_{pl, \text{odabrano}} = 32 \text{ (mm)}$$

Usvojene dimenzije ploče: 540x350x32 mm

Prikaz priključka stup-temelj:



Slika 12. Poprečni presjek kroz priključak stup - temelj

## 5.2 Montažni nastavak gornjeg pojasa rešetke

$N=147.56$  (kN) (vlak)

1) Osnovni materijal:

Čelik S235

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

2) Kontrola vara

- dužina vara pojasnice:

$$l_p = 2 \cdot a + 2 \cdot b = 2 \cdot 180 + 2 \cdot 80 = 520 \text{ (mm)}$$

- max debljina vara s obzirom na debljinu stijenke nosača

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min}$$

$$t_{\min} = 4 \text{ (mm)}$$

$$\Rightarrow a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 4 = 2.8 \text{ (mm)}$$

$$a_{\text{odabrano}} = 3 \text{ (mm)}$$

Za pretpostavljeni var  $a=3$  (mm):

$$\text{- uzdužna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{77,9}{1.25} \cdot \frac{520}{100} = 324.06 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti:

$$N = F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$147,56 \text{ (kN)} < 324,06 \text{ (kN)}$$

Var  $a=3$  mm zadovoljava

3) Proračun vijaka

Pretpostavljeni vijci: M 22, k.v.10.9,  $n=4$  vijka

- udaljenost  $c_{\min}$  vijaka od ruba pojasnice:

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 22 + 3 \cdot \sqrt{2} = 48,24 \text{ (mm)}$$

Usvojeno  $c = 50$  mm.

- otpornost vijaka na vlak:

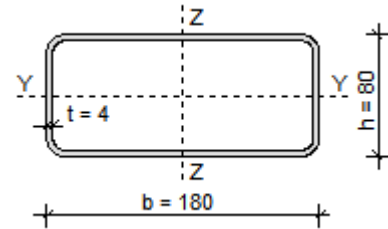
$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{272,7}{1.25} = 218,16 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti

$$F_{t,Rd} > F_{t,Ed} / 4$$

$$218,16 \text{ kN} > 147,56 / 4 = 36,89 \text{ (kN)}$$

→ Vijci zadovoljavaju.



## 4) Proračun ploče

- proračun dimenzija ploče:

$$a_{pl,\min} = 180 + 2 \cdot (c + e_1)$$

$$\Rightarrow a_{pl,\min} = 180 + 2 \cdot (50 + 55) = 390 \text{ (mm)}$$

$$b_{pl,\min} = b + 2 \cdot a \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 80 + 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} + 20 = 108,49 \text{ (mm)}$$

Odabrane dimenzije ploče: 400 x 175 mm

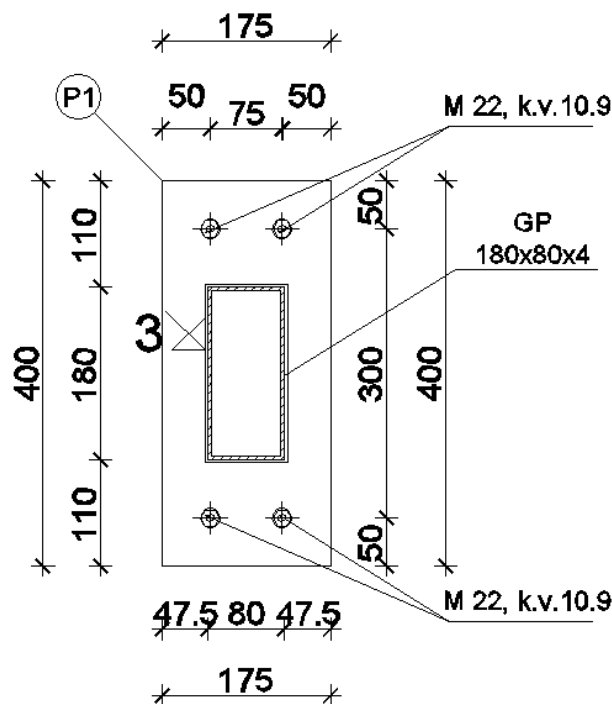
Proračun debljine ploče:

- savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 147,56 \cdot 50 = 14,76 \text{ (kNm)}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1,1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{\min}}{6}$$

$$t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 14,76 \cdot 100 \cdot 6}{40 \cdot 23,5}} = 3,22 \text{ (cm)}$$

Usvojene dimenzije ploče: **400 x 175 x 33 mm**

Slika 13. Ploča i položaj vijaka kod montažnog nastavka gornjeg pojasa rešetke

### 5.3 Montažni nastavak donjeg pojasa rešetke

$N=204.11$  (kN) (vlak)

1) Osnovni materijal:

Čelik S235

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

2) Kontrola vara

- dužina vara pojasnice:

$$l_p = 2 \cdot a + 2 \cdot b = 2 \cdot 80 + 2 \cdot 180 = 520 \text{ (mm)}$$

- max debljina vara s obzirom na debljinu stijenke nosača

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min}$$

$$t_{\min} = 4 \text{ (mm)}$$

$$\Rightarrow a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 4 = 2.8 \text{ (mm)}$$

$$a_{\text{odabrano}} = 3 \text{ (mm)}$$

Za pretpostavljeni var  $a=3$  (mm):

$$\text{- uzdužna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{77.9}{1.25} \cdot \frac{520}{100} = 324.06 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti:

$$N = F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$204,11 \text{ (kN)} < 324,06 \text{ (kN)}$$

Var  $a=3$  mm zadovoljava

3) Proračun vijaka

Pretpostavljeni vijci: M 22, k.v.10.9,  $n=4$  vijka

- udaljenost  $c_{\min}$  vijaka od ruba pojasnice:

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 22 + 3 \cdot \sqrt{2} = 48,24 \text{ (mm)}$$

Usvojeno  $c = 50$  mm.

- otpornost vijaka na vlak:

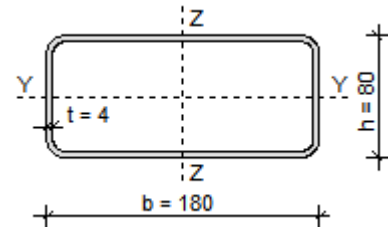
$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{272,7}{1.25} = 218,16 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti

$$F_{t,Rd} > F_{t,Sd} / 4$$

$$218,16 \text{ kN} > 204,11 / 4 = 51,03 \text{ (kN)}$$

→ Vijci zadovoljavaju.



## 4) Proračun ploče

- proračun dimenzija ploče:

$$a_{pl,\min} = h + 2 \cdot (c + e_1)$$

$$\Rightarrow a_{pl,\min} = 180 + 2 \cdot (50 + 55) = 390 \text{ (mm)}$$

$$b_{pl,\min} = b + 2 \cdot a \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 80 + 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} + 20 = 108,49 \text{ (mm)}$$

Odabrane dimenzije ploče: 400 x 175 mm

Proračun debljine ploče:

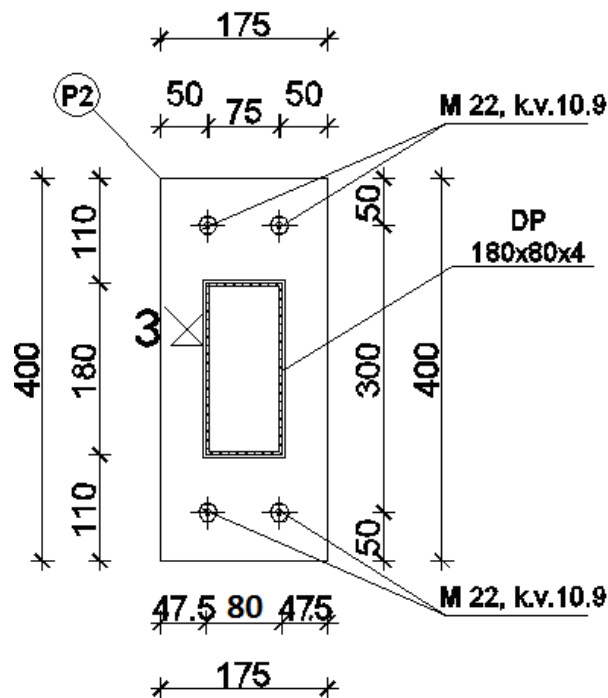
- savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot e = 2 \cdot 204,11 \cdot 50 = 20,41 \text{ (kNm)}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1,1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{\min}}{6}$$

$$t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 20,41 \cdot 100 \cdot 6}{40 \cdot 23,5}} = 3,79 \text{ (cm)}$$

Usvojene dimenzije ploče: 400 x 175 x 38 mm



Slika 14. Ploča i položaj vijaka kod montažnog nastavka donjeg pojasa rešetke

### 5.4 Montažni nastavak ispune rešetke

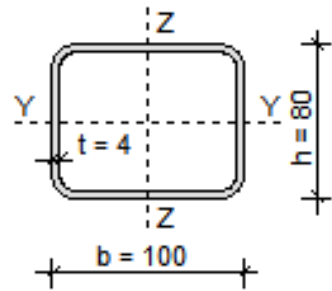
$N=59.63$  (kN) (vlak)

1) Osnovni materijal:

Čelik S235

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$



2) Kontrola vara

- dužina vara :

$$l_p = 2 \cdot a + 2 \cdot b = 2 \cdot 100 + 2 \cdot 80 = 360 \text{ (mm)}$$

- max debljina vara s obzirom na debljinu stijenke nosača

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min}$$

$$t_{\min} = 4 \text{ (mm)}$$

$$\Rightarrow a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 4 = 2,8 \text{ (mm)}$$

$$a_{\text{odabrano}} = 3 \text{ (mm)}$$

Za pretpostavljeni var  $a=3$  (mm):

$$\text{- uzdužna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{77.9}{1.25} \cdot \frac{360}{100} = 224.35 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti:

$$N = F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$56,93 \text{ (kN)} < 224,35 \text{ (kN)}$$

Var  $a=3$  mm zadovoljava

3) Proračun vijaka

Pretpostavljeni vijci: M 16, k.v.10.9,  $n=4$  vijka

- udaljenost  $c_{\min}$  vijaka od ruba pojasnice:

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 3 \cdot \sqrt{2} = 36,24 \text{ (mm)}$$

Usvojeno  $c=40$  mm.

- otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{141,3}{1.25} = 113,04 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti

$$F_{t,Rd} > F_{t,Ed} / 4$$

$$113,04 \text{ kN} > 56,93 / 4 = 14,23 \text{ (kN)}$$

→ Vijci zadovoljavaju.

## 4) Proračun ploče

$$a_{pl,\min} = h + 2 \cdot (c + e_1)$$

$$\Rightarrow a_{pl,\min} = 80 + 2 \cdot (40 + 40) = 240 \text{ (mm)}$$

$$b_{pl,\min} = b + 2 \cdot a \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 100 + 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} + 20 = 128,49 \text{ (mm)}$$

Odabrane dimenzije ploče: 250x130 mm

Proračun debljine ploče:

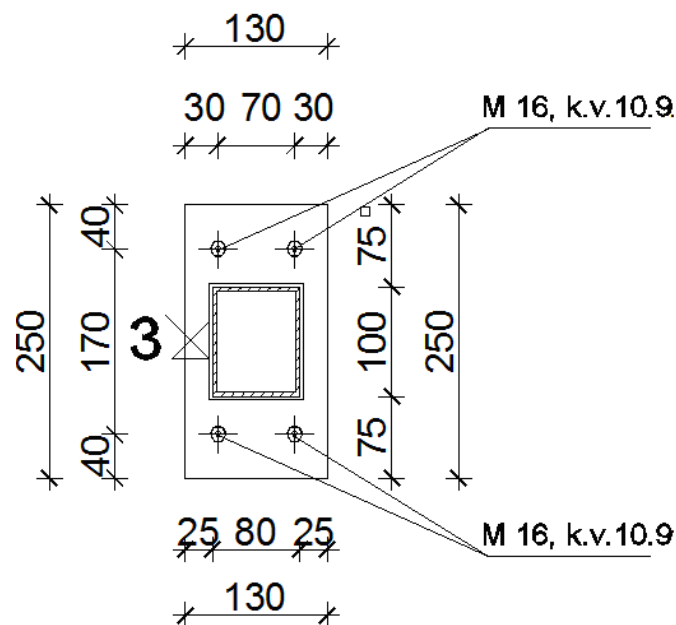
- savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot c = 56,93 \cdot 2 \cdot 40 = 4,55 \text{ (kNm)}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1,1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{\min}}{6}$$

$$t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 4,55 \cdot 100 \cdot 6}{25 \cdot 23,5}} = 2,26 \text{ (cm)}$$

Usvojene dimenzije ploče: 250x130x23 mm



Slika 15. Ploča i položaj vijaka kod montažnog nastavka ispune rešetke

## 5.5 Priključak donjeg pojasa i ispune sa stupom

$N=80.47$  (kN) (vlak)

1) Osnovni materijal:

Čelik S235

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

2) Kontrola vara

- dužina vara :

$$l_p = a + 2 \cdot b + a + 2 \cdot b = 100 + 2 \cdot 80 + 180 + 2 \cdot 80 + 180 - 100 = 680 \text{ (mm)}$$

- max debljina vara s obzirom na debljinu stijenke nosača

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min}$$

$$t_{\min} = 4 \text{ (mm)}$$

$$\Rightarrow a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 4 = 2,8 \text{ (mm)}$$

$$a_{\text{odabrano}} = 3 \text{ (mm)}$$

Za pretpostavljeni var  $a=3$  (mm):

$$\text{- uzdužna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{77.9}{1.25} \cdot \frac{680}{100} = 423,78 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti:

$$N = F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$80,47 \text{ (kN)} < 423,78 \text{ (kN)}$$

Var  $a=3$  mm zadovoljava

3) Proračun vijaka

Pretpostavljeni vijci: M 16, k.v.10.9,  $n=4$  vijka

- udaljenost  $c_{\min}$  vijaka od ruba pojasnice:

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 3 \cdot \sqrt{2} = 36,24 \text{ (mm)}$$

Usvojeno  $c=40$  mm.

- otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{141,3}{1.25} = 113,04 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti

$$F_{t,Rd} > F_{t,Ed} / 4$$

$$113,04 \text{ kN} > 80,43 / 4 = 20,11 \text{ (kN)}$$

→ Vijci zadovoljavaju.



## 4) Proračun ploče

$$a_{pl,\min} = h + 2 \cdot (c + e_1)$$

$$\Rightarrow a_{pl,\min} = 160 + 2 \cdot (40 + 40) = 320 \text{ (mm)}$$

$$b_{pl,\min} = b + 2 \cdot a \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 180 + 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} + 20 = 208,48 \text{ (mm)}$$

Odabrane dimenzije ploče: 320x210 mm

Proračun debljine ploče:

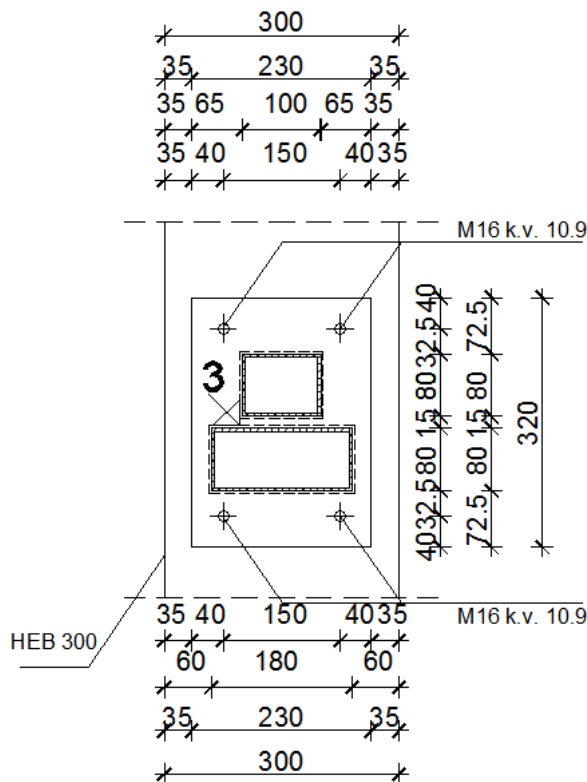
- savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot c = 80,43 \cdot 2 \cdot 40 = 6,43 \text{ (kNm)}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1,1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{\min}}{6}$$

$$t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 6,43 \cdot 100 \cdot 6}{21 \cdot 23,5}} = 2,93 \text{ (cm)}$$

Usvojene dimenzije ploče: 320x210x30 mm



Slika 16. Ploča i položaj vijaka kod priljučka stup-donji pojas-ispuna

## 5.6 Priključak gornjeg pojasa sa stupom

$N=18,76$  (kN) (vlak)

$V=12,97$  (kN)

1) Osnovni materijal:

Čelik S235

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

2) Kontrola vara

- dužina vara :

$$l_p = 2 \cdot a + 2 \cdot b = 2 \cdot 180 + 2 \cdot 80 = 520 \text{ (mm)}$$

- max debljina vara s obzirom na debljinu stijenke nosača

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min}$$

$$t_{\min} = 4 \text{ (mm)}$$

$$\Rightarrow a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 4 = 2,8 \text{ (mm)}$$

$$a_{\text{odabrano}} = 3 \text{ (mm)}$$

Za pretpostavljeni var  $a=3$  (mm):

$$\text{- uzdužna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{77.9}{1.25} \cdot \frac{520}{100} = 324,06 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti:

$$N = F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$80,47 \text{ (kN)} < 423,78 \text{ (kN)}$$

$$\text{- poprečna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{77.9}{1.25} \cdot \frac{520}{100} = 324,06 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti:

$$N_p = F_{w,Sd} \leq F_{w,Rd}$$

$$12,47 \text{ (kN)} \leq 324,06 \text{ (kN)}$$

Var  $a=3$  mm zadovoljava

3) Proračun vijaka

Pretpostavljeni vijci: M 16, k.v.10.9, n=4 vijka

- udaljenost  $c_{\min}$  vijaka od ruba pojasnice:

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 3 \cdot \sqrt{2} = 36,24 \text{ (mm)}$$

Usvojeno  $c=40$  mm.

- otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{141,3}{1.25} = 113,04 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti

$$F_{t,Rd} > F_{t,Ed} / 4$$

$$113,04 \text{ kN} > 18,46 / 4 = 4,62 \text{ (kN)}$$

- otpornost vijaka na posmik:

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{78,5}{1,25} = 62,8 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti

$$F_{v,Rd} > F_{v,Ed}$$

$$62,8 \text{ kN} > F_{v,Ed} = V_{Ed} / 4 = 12,97 / 4 = 3,24 \text{ (kN)}$$

- interakcija uzdužne i odrezne sile na vijak:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{3,24}{62,8} + \frac{4,63}{1,4 \cdot 113,04} = 0,08 \leq 1$$

→ Vijci zadovoljavaju.

4) Proračun ploče

$$a_{pl,min} = h + 2 \cdot (c + e_1)$$

$$\Rightarrow a_{pl,min} = 80 + 2 \cdot (40 + 40) = 240 \text{ (mm)}$$

$$b_{pl,min} = b + 2 \cdot a \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 180 + 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} + 20 = 208,48 \text{ (mm)}$$

Odabrane dimenzije ploče: 240x210 mm

Proračun debljine ploče:

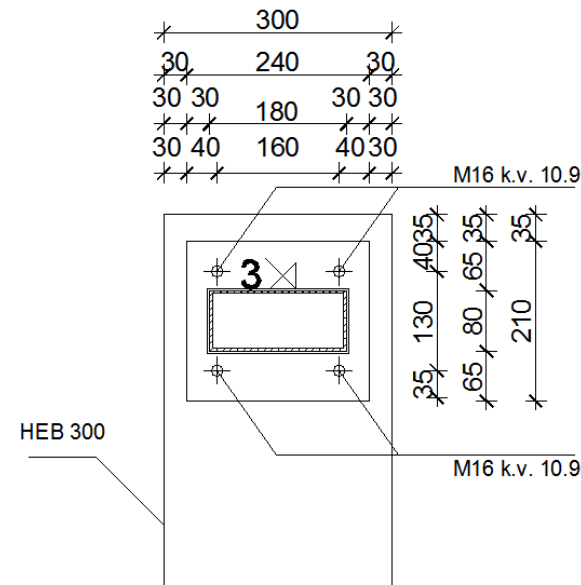
- savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot c = 18,76 \cdot 2 \cdot 40 = 1,50 \text{ (kNm)}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \Rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^2 \cdot \min}{6}$$

$$t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 1,5 \cdot 100 \cdot 6}{21 \cdot 23,5}} = 2,01 \text{ (cm)}$$

Usvojene dimenzije ploče: 240x210x22 mm



Slika 17. Ploča i položaj vijaka kod priključka stup-gornji pojas

### 5.7 Priključak ispuna - stup

$N=133.99$  (kN) (vlak)

1) Osnovni materijal:

Čelik S235

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

2) Kontrola vara

- dužina vara :

$$l_p = 2 \cdot a + 2 \cdot b = 2 \cdot 100 + 2 \cdot 80 = 360 \text{ (mm)}$$

- max debljina vara s obzirom na debljinu stijenke nosača

$$a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min}$$

$$t_{\min} = 4 \text{ (mm)}$$

$$\Rightarrow a_{\max} = 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 4 = 2,8 \text{ (mm)}$$

$$a_{\text{odabrano}} = 3 \text{ (mm)}$$

Za pretpostavljeni var  $a=3$  (mm):

$$\text{- uzdužna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{77.9}{1.25} \cdot \frac{360}{100} = 224.35 \text{ (kN)}$$

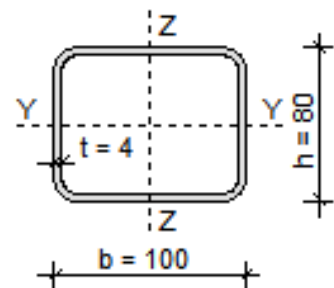
uvjet nosivosti:

$$N = F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$133,99 \text{ (kN)} < 224,35 \text{ (kN)}$$

Var  $a=3$  mm zadovoljava

3) Proračun vijaka



Pretpostavljeni vijci: M 16, k.v.10.9, n=4 vijka

- udaljenost  $c_{\min}$  vijaka od ruba pojasnice:

$$c_{\min} = 2 \cdot d + a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 16 + 3 \cdot \sqrt{2} = 36,24 \text{ (mm)}$$

Usvojeno  $c=40$  mm.

- otpornost vijaka na vlak:

$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{141,3}{1,25} = 113,04 \text{ (kN)}$$

uvjet nosivosti

$$F_{t,Rd} > F_{t,Ed} / 4$$

$$113,04 \text{ kN} > 133,99 / 4 = 33,50 \text{ (kN)}$$

→ Vijci zadovoljavaju.

4) Proračun ploče

$$a_{pl,\min} = h + 2 \cdot (c + e_1)$$

$$\Rightarrow a_{pl,\min} = 80 + 2 \cdot (40 + 40) = 240 \text{ (mm)}$$

$$b_{pl,\min} = b + 2 \cdot a \cdot \sqrt{2} + 20 \text{ mm} = 100 + 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{2} + 20 = 128,49 \text{ (mm)}$$

Odabrane dimenzije ploče: 250x160 mm

Proračun debljine ploče:

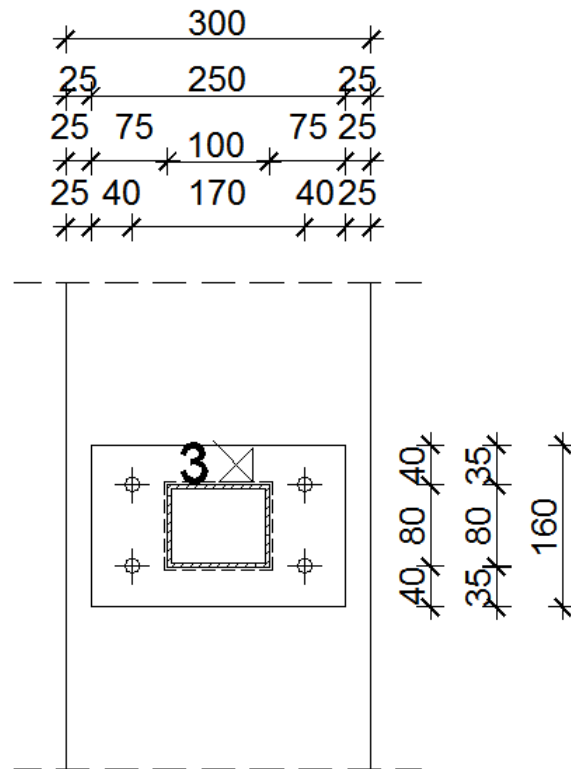
- savijanje ploče od vlačnih vijaka:

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \cdot c = 133,99 \cdot 2 \cdot 40 = 10,72 \text{ (kNm)}$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{\min} \cdot f_y}{1,1} \Rightarrow W_{\min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{\min}}{6}$$

$$t_{pl}^{\min} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot M_{Ed} \cdot 6}{b_{pl} \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{1,1 \cdot 10,72 \cdot 100 \cdot 6}{25 \cdot 23,5}} = 3,47 \text{ (cm)}$$

Usvojene dimenzije ploče: 250x160x35 mm



Slika 18. Ploča i položaj vijaka priključka stup - ispuna

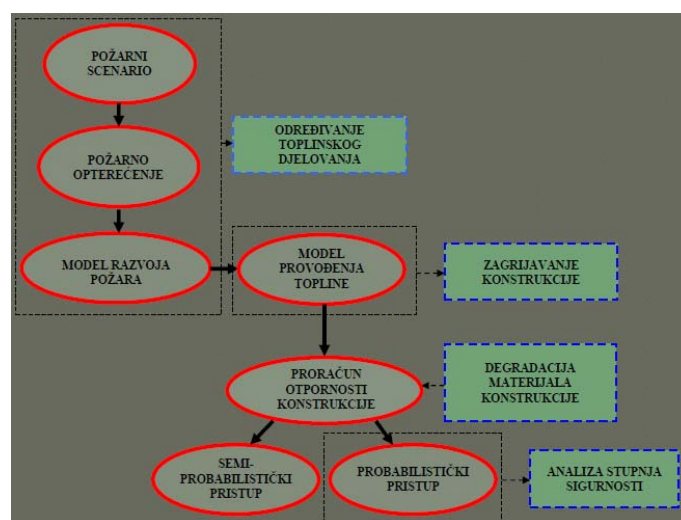
## 6. Proračun požarne otpornosti

Požarom se smatra svako nekontrolirano gorenje uslijed kojeg može doći do ozljede ljudi i uništenja imovine. Požari u zatvorenim prostorima predstavljaju veliku opasnost za nosivu konstrukciju građevine zbog razvijanja velikih temperatura pa se uzima kao ekstremno djelovanje na konstrukciju.

Požar na čelične elemente djeluje tako što porastom temperature opadaju mehanička svojstva elementa, kao granica popuštanja i modul elastičnosti što će biti vidljivo u proračunima.

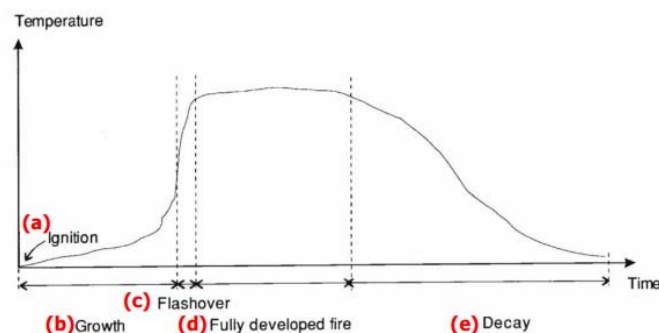
Pošto požar ima negativan utjecaj na konstrukcije općenito, Eurocode daje poseban osvrt na to djelovanje, a dio Eurocode-a na kojem je baziran proračun požarne otpornosti čeličnih konstrukcija je HRN EN 1993-1-2:2008.

Globalni koncept sigurnosti konstrukcija u požaru prema EC vidljiv je na slijedećoj slici.



Slika 19. Globalni koncept sigurnosti konstrukcija u požaru

Požarni scenario realnog požara u zatvorenim prostorima je definiran fazama: zapaljenje, razvoj požara, potpuno razvijeni požar, faza dogorijevanja koje su prikazane na slijedećoj slici. Odabir požarnog scenarija ovisi o: karakteristikama objekta, požarnom opterećenju te o mjerama i smjernicama za zaštitu ljudi i imovine.



Slika 20. Faze razvoja požara

U ovom radu proračun toplinskih djelovanja provodit će se na slijedeće načine: krivuljom standardnog požara, lokaliziranim požarom i parametarskom krivuljom za ukupno trajanje požara od 30 minuta i na više pozicija unutar konstrukcije.

## 6.1 Prirast temperature u elementima

Rezultirajući toplinski tok  $\dot{h}_{net,d}$  na površini elementa sastoji se od dva toka prijenosa topline: konvektivni tok  $\dot{h}_{net,c}$  i radijacijski tok  $\dot{h}_{net,r}$ :

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \quad [W/m^2]$$

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c \cdot (\theta_g - \theta_m)$$

$$\dot{h}_{net,r} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot (\theta_r^4 - \theta_m^4)$$

Gdje je:

$\alpha_c$  - koeficijent konvekcije [W/m<sup>2</sup>K]

$\theta_g$  - temperatura plina u blizini elementa [°C]

$\theta_m$  - temperatura površine elementa [°C]

$\Phi$  - faktor konfiguracije

$\varepsilon_m$  - faktor emisije površine elementa

$\varepsilon_f$  - faktor emisije požara

$\sigma$  - Stephan Boltzmann-ova konstanta (=5.67·10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>);

$\theta_r$  - efektivna temperatura radijacije okoline (~temperatura plamena) [°C].

Za nezaštićeni čelični presjek povećanje temperature  $\Delta\theta_{a,t}$  u vremenskom intervalu  $\Delta t$  ( $\leq 5s$ ) je definirano iznosom neto toplinskog toka koji profil primi kroz to vrijeme:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \cdot \frac{1}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \frac{A_m}{V} \cdot \dot{h}_{net,d} \cdot \Delta t$$

$c_a$  - specifična toplina čelika [kJ/kgK]

$\rho_a$  - gustoća čelika [kg/m<sup>3</sup>]

$A_m/V$  - faktor oblika poprečnog presjeka [m<sup>-1</sup>]

$A_m$  - površina poprečnog presjeka elementa [m<sup>2</sup>/m]

$V$  - volumen elementa po jedinici duljine [m<sup>3</sup>/m]

$\dot{h}_{net,d}$  – toplinski tok po jedinici površine [W/m<sup>2</sup>]

$\Delta t$  – vremenski interval [s]

$k_{sh}$  - koeficijent sjene [=1]

Proračun prirasta temperature  $\Delta\theta_{a,t}$  čelika vremenskom intervalu  $\Delta t$  ( $\leq 5s$ ) kod zaštićenih čeličnih elemenata vrši se prema izrazu:

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

$$(\Delta\theta_{a,t} \geq 0 \text{ za } \Delta\theta_{g,t} > 0)$$

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

$$\theta_{a,t+1} = \theta_{a,t-1} + \Delta\theta_{a,t}$$



Gdje je:

$\rho_p$  - gustoća vatrootpornog materijala [ $\text{kg/m}^3$ ]

$\theta_{a,t}$  - temperatura čeličnog elementa u trenutku  $t$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\theta_{g,t}$  - temperatura okolnog zraka u trenutku  $t$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\Delta\theta_{g,t}$  - povećanje temperature okolnog zraka u intervalu  $\Delta t$  [K]

$A_p/V$  - faktor oblika poprečnog presjeka zaštićenog elementa [ $\text{m}^{-1}$ ]

$A_p$  - površina vatrootpornog materijala po jedinici dužine elementa [ $\text{m}^2/\text{m}$ ]

$V$  - volumen elementa po jedinici dužine [ $\text{m}^3/\text{m}$ ]

$c_p$  - specifični toplinski kapacitet vatrootpornog materijala [J/kgK]

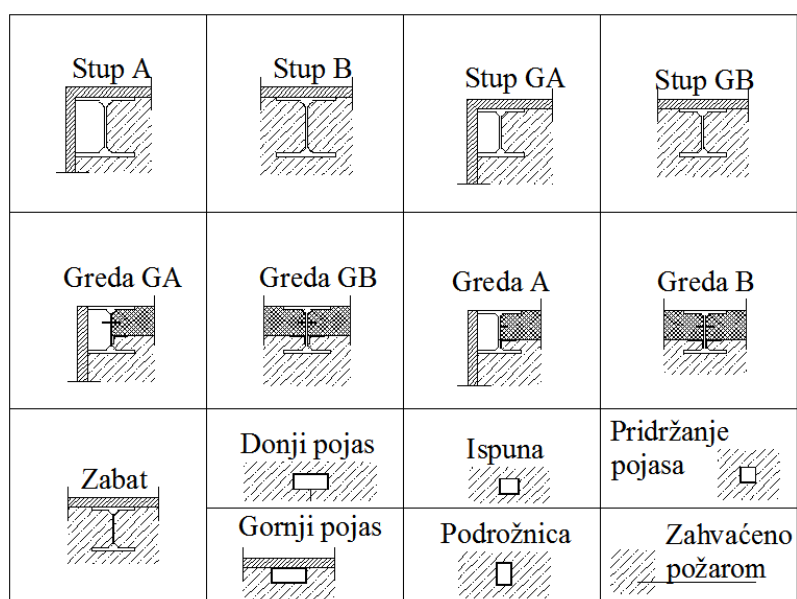
$d_p$  - debljina vatrootpornog materijala [m]

$\lambda_p$  - koeficijent toplinske provodljivosti vatrootpornog materijala [W/mK]

$\Delta t$  - vremenski interval u sekundama

| FAKTOR OBLIKA $A_{m(p)}/V$ (O/P) |          |                        |           |                                    |           |
|----------------------------------|----------|------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|
| Element                          | Presjek  | Broj zaštićenih strana | Opseg (m) | Površina presjeka ( $\text{m}^2$ ) | O/P (1/m) |
| Stup A                           | HEB300   | 2                      | 0,889     | 0,01491                            | 59,62     |
| Stup B                           | HEB300   | 1                      | 1,478     | 0,01491                            | 99,13     |
| Stup GA                          | HEB240   | 2                      | 0,71      | 0,0106                             | 66,98     |
| Stup GB                          | HEB240   | 1                      | 1,18      | 0,0106                             | 111,32    |
| Greda GA                         | HEB240   | 2+ploča jednostrano    | 0,445     | 0,0106                             | 41,98     |
| Greda GB                         | HEB240   | 1+ploča dvostrano      | 0,65      | 0,0106                             | 61,32     |
| Greda A                          | HEB220   | 2+ploča jednostrano    | 0,39523   | 0,0091                             | 43,43     |
| Greda B                          | HEB220   | 1+ploča dvostrano      | 0,5705    | 0,0091                             | 62,69     |
| Zabat                            | HEB220   | 1                      | 0,982     | 0,0091                             | 107,91    |
| Donji pojas                      | 180/80/4 | /                      | 0,52      | 0,0019473                          | 267,04    |
| Ispuna                           | 100/80/4 | /                      | 0,36      | 0,0013073                          | 275,38    |
| Gornji pojas                     | 180/80/4 | 1                      | 0,34      | 0,0019473                          | 174,60    |
| Podrožnica                       | 80/120/7 | 1                      | 0,32      | 0,0023937                          | 133,68    |
| Pridržanje pojasa                | 80/80/4  | /                      | 0,32      | 0,0011473                          | 278,92    |

Tablica 12. Faktori oblika poprečnih presjeka za predmetnu konstrukciju



Slika 21. Prikaz izloženosti elemenata predmetne konstrukcije požaru

## 6.2 Krivulja standardnog požara

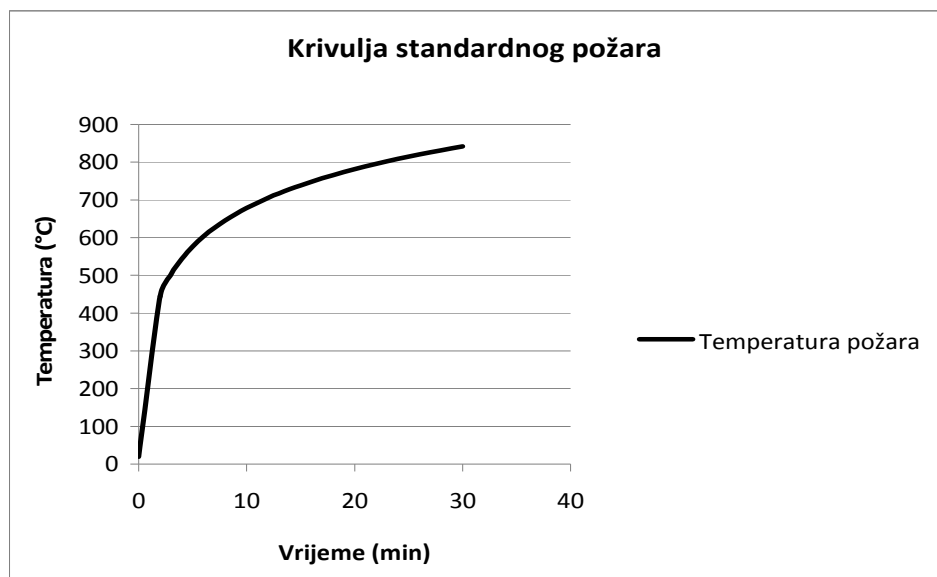
Krivulja standardnog požara temperatura-vrijeme definirana je izrazom:

$$\theta_g = 345 \log(8t+1) + 20$$

gdje je:

$\theta_g$  – temperatura plinova u neposrednoj blizini elementa

t – vrijeme u minutama

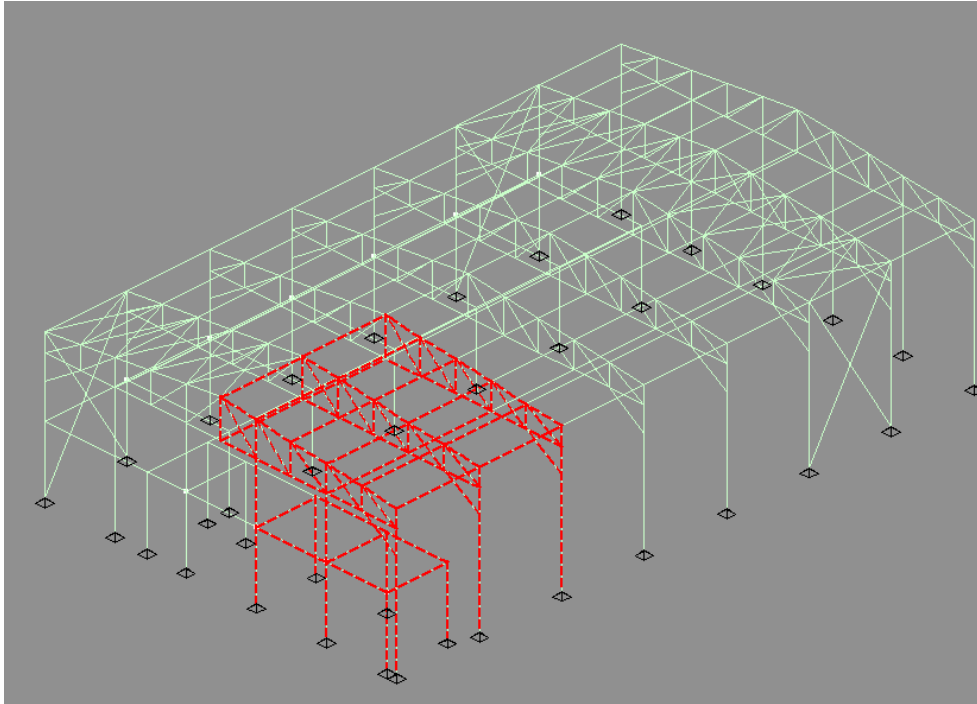


Slika 22. Krivulja standardnog požara predmetne konstrukcije

## 6.2.1 Proračun nosivosti za nezaštićene elemente

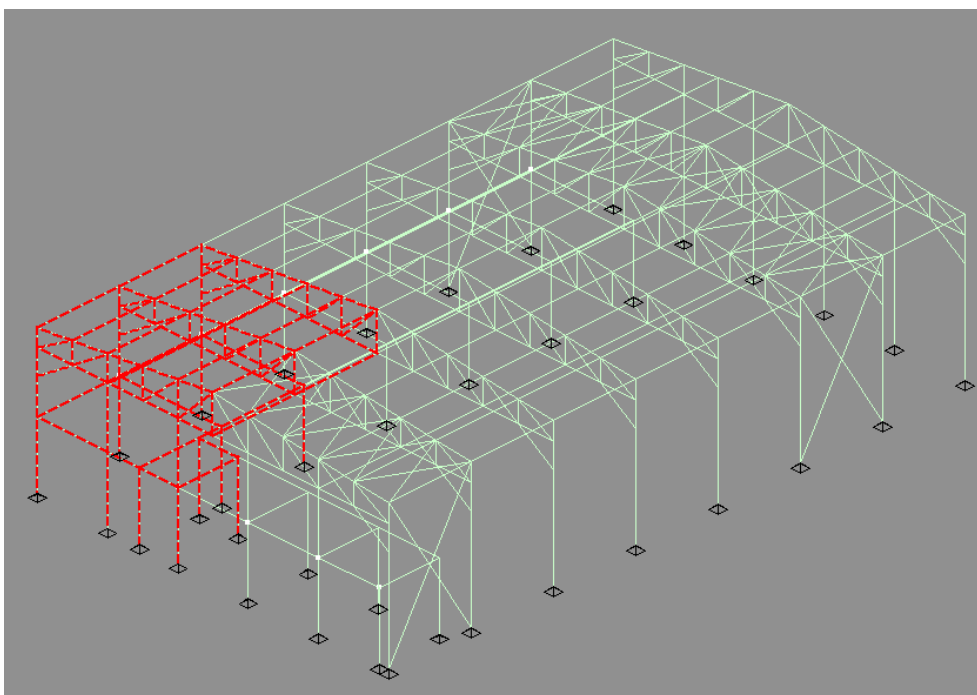
### 6.2.1.1 Slučajevi opterećenja konstrukcije zahvaćene požarom

Slučaj 1: požar ispod galerije (SP1)



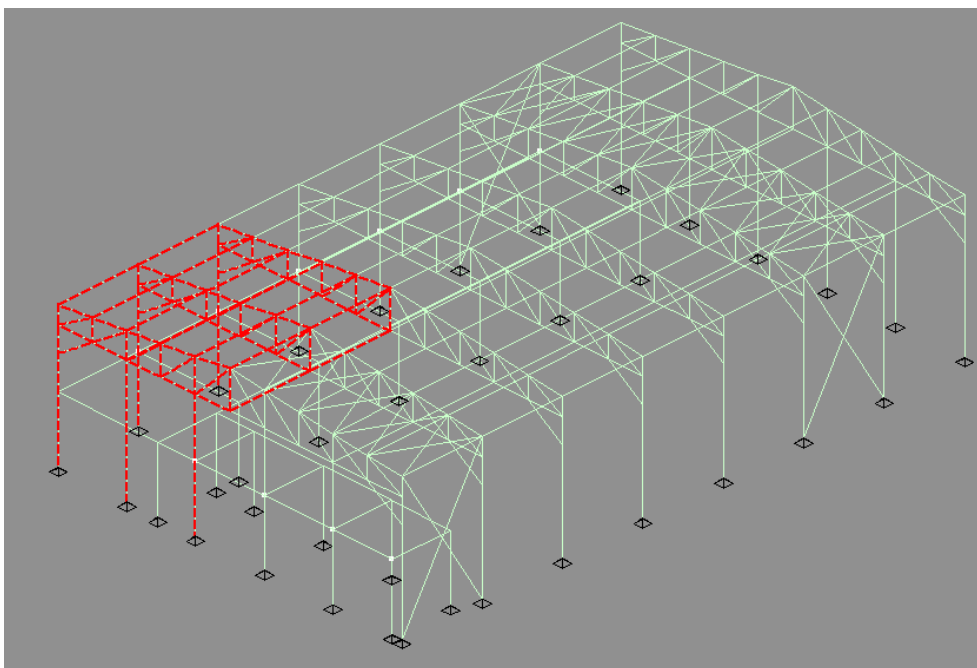
Slika 23. 1. slučaj opterećenja konstrukcije zahvaćene požarom standardne krivulje

Slučaj 2: požar ispod galerije (SP2)



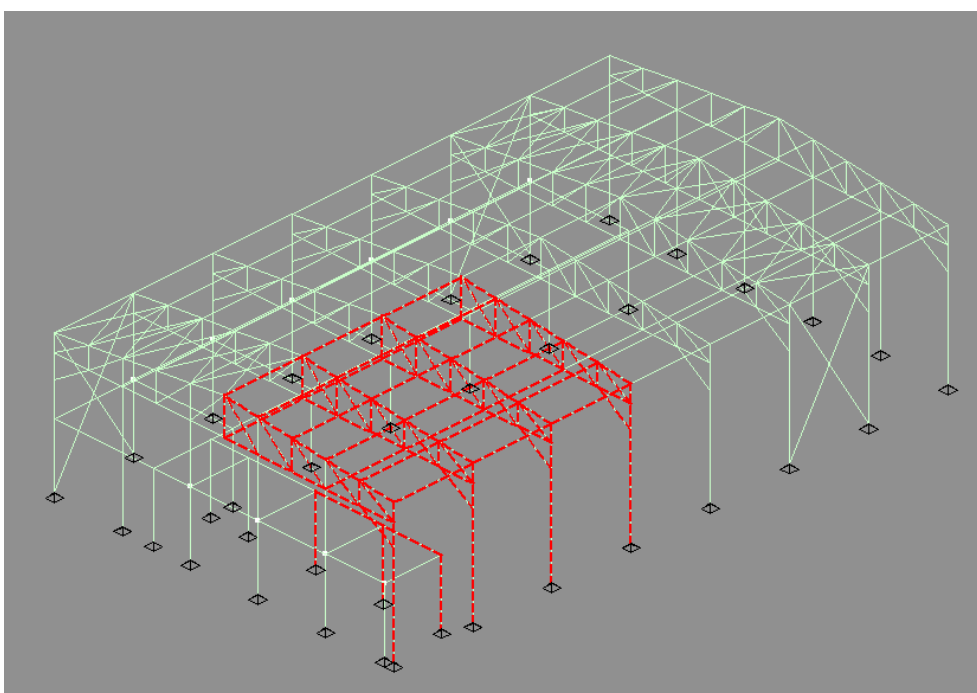
Slika 24. 2. slučaj opterećenja konstrukcije zahvaćene požarom standardne krivulje

## Slučaj 3: požar na galeriji (SP3)



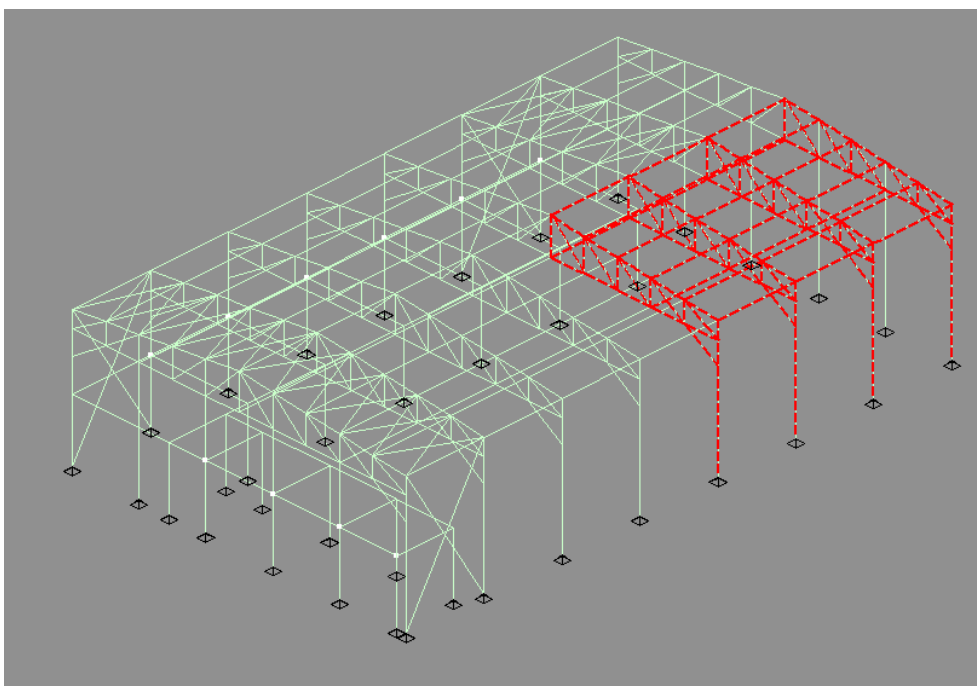
Slika 25. 3.slučaj opterećenja konstrukcije zahvaćene požarom standardne krivulje

## Slučaj 4: požar na gledalištu i pozornici 1 (SP4)



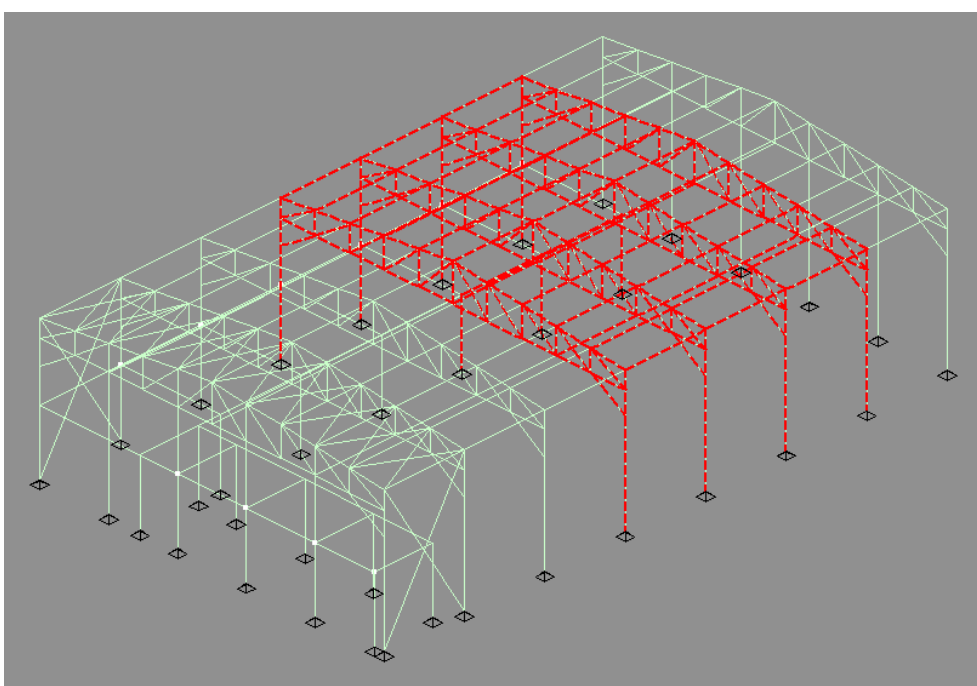
Slika 26. 4.slučaj opterećenja konstrukcije zahvaćene požarom standardne krivulje

## Slučaj 5: požar na gledalištu i pozornici 2 (SP5)



Slika 27. 5.slučaj opterećenja konstrukcije zahvaćene požarom standardne krivulje

## Slučaj 6: požar na gledalištu i pozornici 3 (SP6)



Slika 28. 6.slučaj opterećenja konstrukcije zahvaćene požarom standardne krivulje

### 6.2.1.2 Temperature nezaštićenih elemenata dobivene analizom požara primjenom standardne krivulje i pripadajući koeficijenti redukcije

| <b>TEMPERATURE ELEMENATA</b> |                |                                  |                                  |                                  |
|------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Element</b>               | <b>Presjek</b> | <b>Temperatura elementa (°C)</b> | <b><math>k_{y,\theta}</math></b> | <b><math>k_{E,\theta}</math></b> |
| Stup A                       | HEB300         | 588,420                          | 0,506                            | 0,344                            |
| Stup B                       | HEB300         | 715,170                          | 0,212                            | 0,124                            |
| Stup GA                      | HEB240         | 622,524                          | 0,416                            | 0,269                            |
| Stup GB                      | HEB240         | 729,360                          | 0,195                            | 0,118                            |
| Greda GA                     | HEB240         | 480,290                          | 0,283                            | 0,620                            |
| Greda GB                     | HEB240         | 596,782                          | 0,480                            | 0,319                            |
| Greda A                      | HEB220         | 490,793                          | 0,800                            | 0,609                            |
| Greda B                      | HEB220         | 603,292                          | 0,462                            | 0,304                            |
| Zabat                        | HEB220         | 736,222                          | 0,151                            | 0,116                            |
| Donji pojas                  | 180/80/4       | 820,395                          | 0,100                            | 0,085                            |
| Ispuna                       | 100/80/4       | 822,101                          | 0,100                            | 0,085                            |
| Gornji pojas                 | 180/80/4       | 773,590                          | 0,142                            | 0,101                            |
| Podrožnica                   | 80/120/7       | 739,898                          | 0,182                            | 0,114                            |
| Pridržanje pojasa            | 80/80/4        | 822,757                          | 0,099                            | 0,085                            |

Tablica 13. Temperature nezaštićenih elemenata uslijed analize požara primjenom standardne krivulje

### 6.2.1.3 Rezne sile nezaštićenih elemenata za kombinaciju djelovanja 1,0G+0,7K+1,0P

| <b>REZNE SILE</b> |                |                     |                                   |                                  |                                  |
|-------------------|----------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Element</b>    | <b>Presjek</b> | <b>Slučaj-okvir</b> | <b><math>M_{fi,d}(kNm)</math></b> | <b><math>V_{fi,d}(kN)</math></b> | <b><math>N_{fi,d}(kN)</math></b> |
| Stup A            | HEB300         | 5-8                 | 172,06                            | 49,7                             | -78,42                           |
| Stup GB           | HEB240         | 3-1                 | 60,88                             | 15,94                            | 387,20                           |
| Greda GB          | HEB240         | 2-/                 | 107,22                            | /                                | -4,38                            |
| Greda A           | HEB220         | 2-/                 | 93,12                             | 51,68                            | -18,22                           |
| Zabat             | HEB220         | /-/                 | 57,80                             | 13,64                            | -302,43                          |
| Donji pojas       | 180/80/4       | 3-1                 | /                                 | /                                | -89,08                           |
|                   |                | 5-6                 | /                                 | /                                | 90,26                            |
| Gornji pojas      | 180/80/4       | 5-6                 | /                                 | /                                | -132,93                          |
|                   |                | 5-8                 | /                                 | /                                | 57,07                            |
| Ispune            | 100/80/4       | 1-1                 | /                                 | /                                | -208,44                          |
|                   |                | 6-5                 | /                                 | /                                | 34,51                            |

Tablica 14. Rezne sile nezaštićenih elemenata uslijed analize požara primjenom standardne krivulje

## 6.2.1.4 Dokaz dostatne nosivosti konstrukcije uslijed djelovanja požara

Postupak klasifikacije poprečnog presjeka pri visokim temperaturama identičan je kao i kod normalnih temperatura uz modifikaciju:

$$\varepsilon = 0,85(235 / f_y)^{0,5}$$

gdje je:

$f_y$  - granica popuštanja pri normalnim temperaturama,

$\varepsilon$  - faktor koji uzima u obzir utjecaj čvrstoće čelika na klasu presjeka

Izraz za otpornost vlačnog elementa s jednolikom razdiobom temperature  $\theta$  u poprečnom presjeku:

$$N_{fi,\theta,Rd} = k_y \cdot N_{Rd} \cdot \left( \frac{\gamma_{M,1}}{\gamma_{M,fi}} \right)$$

gdje je

$k_{y,\theta}$  - faktor redukcije za granicu popuštanja čelika pri temperaturi  $\theta$  u trenutku  $t$

$N_{Rd}$  – otpornost poprečnog presjeka na vlačnu silu pri normalnim temperaturama

$\gamma_{M,1}$  – parcijalni faktor za otpornost pri normalnim temperaturama

$\gamma_{M,fi}$  – parcijalni faktor za otpornost pri visokim temperaturama

Izraz za otpornost tlačnog elementa na izvijanje s jednolikom razdiobom temperature  $\theta$ :

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y \cdot A \cdot \frac{1}{\gamma_{M,fi}}$$

gdje je

$\chi_{fi}$  - faktor redukcije koji uzima u obzir izvijanje elementa u slučaju požara,

$k_{y,\theta}$  - faktor redukcije za granicu popuštanja čelika pri temperaturi  $\theta$  u trenutku  $t$

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{\varphi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}}$$

$$\varphi_\theta = \frac{1}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2)$$

$$\alpha = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \cdot (k_{y,\theta} / k_{E,\theta})^{0,5}$$

gdje je

$\lambda_\theta$  - bezdimenzionalna vitkost pri temperaturi  $\theta$

Izraz za otpornost grednog elementa opterećenog momentom savijanja s jednolikom razdiobom temperature  $\theta$  u poprečnom presjeku:

$$M_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y \cdot \left( \frac{\gamma_{M,1}}{\gamma_{M,fi}} \right)$$

Izraz za otpornost grednog elementa klase 1 i 2 (razlika za klasu 3 je što umjesto  $W_{pl,y}$  koristimo  $W_{el,y}$ ) na savijanje s jednolikom razdiobom temperature  $\theta$  u trenutku  $t$ :

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} \cdot k_{y,\theta,com} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y \cdot \frac{1}{\gamma_{M,fi}}$$

gdje je

$\chi_{LT,fi}$  - faktor redukcije koji uzima u obzir gubitak bočne stabilnosti elementa u slučaju požara,  
 $k_{y,\theta,com}$  - faktor redukcije za granicu popuštanja čelika pri temperaturi  $\theta$  u tlačnoj pojasnici koja je dosegnuta u trenutku  $t$

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\varphi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\varphi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}}$$

$$\varphi_{LT,\theta,com} = \frac{1}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2)$$

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot (k_{y,\theta,com} / k_{E,\theta,com})^{0,5}$$

$k_{E,\theta,com}$  - faktor redukcije za modul elastičnosti čelika pri temperaturi  $\theta$  u tlačnoj pojasnici koja je dosegnuta u trenutku  $t$

Izraz za posmičnu otpornost poprečnog presjeka s jednolikom razdiobom temperature  $\theta$  u trenutku  $t$ :

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,web} \cdot V_{Rd,pl,y} \cdot \frac{\gamma_{M,1}}{\gamma_{M,fi}}$$

gdje je:

$V_{Rd}$  - posmična otpornost poprečnog presjeka za normalne temperature

$k_{y,\theta,web}$  - faktor redukcije za granicu popuštanja čelika pri temperaturi  $\theta$  u hrptu nosača koja je dosegnuta u trenutku  $t$

Izraz za otpornost grednog elementa opterećenog momentom savijanja i uzdužnom tlačnom silom s jednolikom razdiobom temperature  $\theta$  u poprečnom presjeku:

- bez problema bočnog izvijanja

$$\frac{N_{fi,d}}{\chi_{min,fi} \cdot \frac{k_{y,\theta} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y \cdot M_{fi,d}}{\frac{k_{y,\theta} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_{y,\theta} \cdot (1,2 \cdot \beta_{M,y} - 3) + 0,44 \cdot \beta_{M,y} - 0,29 \leq 0,8$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{fi,d}}{\chi_{fi} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot f_y} \leq 3,0$$

- sa problemom bočnog izvijanja

$$\frac{N_{fi,d}}{\chi_{z,fi} \cdot \frac{k_{y,\theta} \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{fi,d}}{\chi_{LT,fi} \cdot \frac{k_{y,\theta} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0$$

$$\mu_y = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,9$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{fi,d}}{\chi_{z,fi} \cdot k_{y,\theta} \cdot A \cdot f_y} \leq 3,0$$



### 6.2.1.5 Rezultati provjere nosivosti elemenata uslijed djelovanja požara na nezaštićene elemente

Dimenzioniranje je provedeno prema postupku koji je objašnjen u dijelu 6.2.1.4.

| REZULTATI DIMENZIONIRANJA |          |                        |             |                        |              |               |               |
|---------------------------|----------|------------------------|-------------|------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Element                   | Presjek  | OTPORNOST PRESJEKA (%) |             | OTPORNOST ELEMENTA (%) |              |               |               |
|                           |          | Savijanje              | Posmik      | Savijanje              | Uzdužna sila | M+N-izvijanje | M+N+izvijanje |
| Stup okvira               | HEB300   | 77,4                   | 15,3        | 122,7                  | 8,2          | 89,4          | 135,1         |
| Stup galerije             | HEB240   | 126,2                  | 18,1        | 223,6                  | 88,6         | /             | 328           |
| Greda galerije            | HEB240   | 90,3                   | /           | 197,6                  | 0,7          | 91,4          | 198,9         |
| Greda galerije            | HEB220   | 59,9                   | 17,1        | 116                    | 1,7          | 62,2          | 118,6         |
| Zabat                     | HEB220   | 197                    | 23,8        | 317,4                  | 247,7        | 804,7         | 804,4         |
|                           |          | <b>Tlak</b>            | <b>Vlak</b> | <b>Izvijanje</b>       |              |               |               |
| Gornji pojas              | 180/80/4 | 205,6                  | 87,8        | 257,3                  |              |               |               |
| Donji pojas               | 180/80/4 | 194,7                  | 197,2       | 244,9                  |              |               |               |
| Ispuna                    | 100/80/4 | 678,5                  | 112,3       | 1003,1                 |              |               |               |

Tablica 15. Rezultati provjere nosivosti uslijed analize požara primjenom standardne krivulje na nezaštićene elemente

### 6.2.2 Proračun nosivosti za zaštićene elemente

6.2.2.1 Temperature zaštićenih elemenata dobivenih analizom požara primjenom standardne krivulje i pripadajući koeficijenti redukcije

| TEMPERATURE ELEMENATA |          |                           |                |                |
|-----------------------|----------|---------------------------|----------------|----------------|
| Element               | Presjek  | Temperatura elementa (°C) | $k_{y,\theta}$ | $k_{E,\theta}$ |
| Stup A                | HEB300   | 131,091                   | 1              | 0,969          |
| Stup B                | HEB300   | 190,362                   | 1              | 0,910          |
| Stup GA               | HEB240   | 142,816                   | 1              | 0,957          |
| Stup GB               | HEB240   | 207,130                   | 1              | 0,893          |
| Greda GA              | HEB240   | 101,488                   | 1              | 0,999          |
| Greda GB              | HEB240   | 133,830                   | 1              | 0,319          |
| Greda A               | HEB220   | 104,007                   | 1              | 0,996          |
| Greda B               | HEB220   | 136,024                   | 1              | 0,964          |
| Zabat                 | HEB220   | 225,887                   | 1              | 0,874          |
| Donji pojas           | 180/80/4 | 372,389                   | 1              | 0,728          |
| Ispuna                | 100/80/4 | 379,316                   | 1              | 0,721          |
| Gornji pojas          | 180/80/4 | 283,603                   | 1              | 0,816          |
| Podrožnica            | 80/120/7 | 235,847                   | 1              | 0,864          |
| Pridržanje pojasa     | 80/80/4  | 382,208                   | 1              | 0,718          |

Tablica 16. Temperature zaštićenih elemenata uslijed analize požara primjenom standardne krivulje

## 6.2.2.2 Rezne sile zaštićenih elemenata za kombinaciju djelovanja 1,0G+0,7K+1,0P

| REZNE SILE   |          |              |                         |                        |                        |
|--------------|----------|--------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| Element      | Presjek  | Slučaj-okvir | M <sub>fi,d</sub> (kNm) | V <sub>fi,d</sub> (kN) | N <sub>fi,d</sub> (kN) |
| Stup B       | HEB300   | 6-5          | 117,71                  | 95,53                  | -84,77                 |
| Stup GB      | HEB240   | 6-7          | 42,55                   | 11,14                  | -63,70                 |
| Greda GB     | HEB240   | 2-3          | 108,78                  | /                      | -1,67                  |
| Greda A      | HEB220   | 2-1          | 50,94                   | 38,21                  | 19,69                  |
| Zabat        | HEB220   | 3-1          | 3,85                    | 1,69                   | -187,05                |
| Donji pojas  | 180/80/4 | 1-2          | /                       | /                      | 98,17                  |
|              |          | 1-1          | /                       | /                      | -60,30                 |
| Gornji pojas | 100/80/4 | 6-6          | /                       | /                      | -132,66                |
|              |          | 5-8          | /                       | /                      | 45,30                  |
| Ispune       | 100/80/4 | 6-5          | /                       | /                      | -114,18                |
|              |          | 6-5          | /                       | /                      | 33,63                  |

Tablica 17. Rezne sile zaštićenih elemenata uslijed analize požara primjenom standardne krivulje

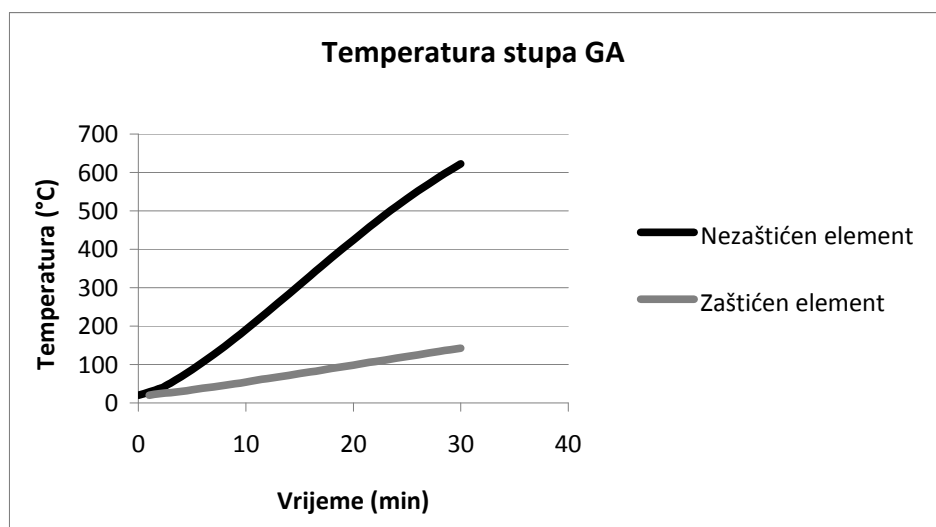
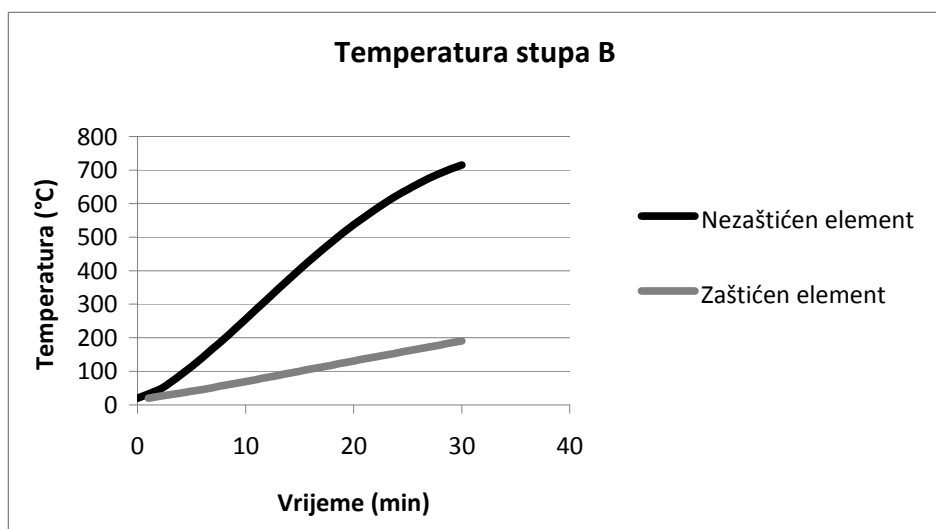
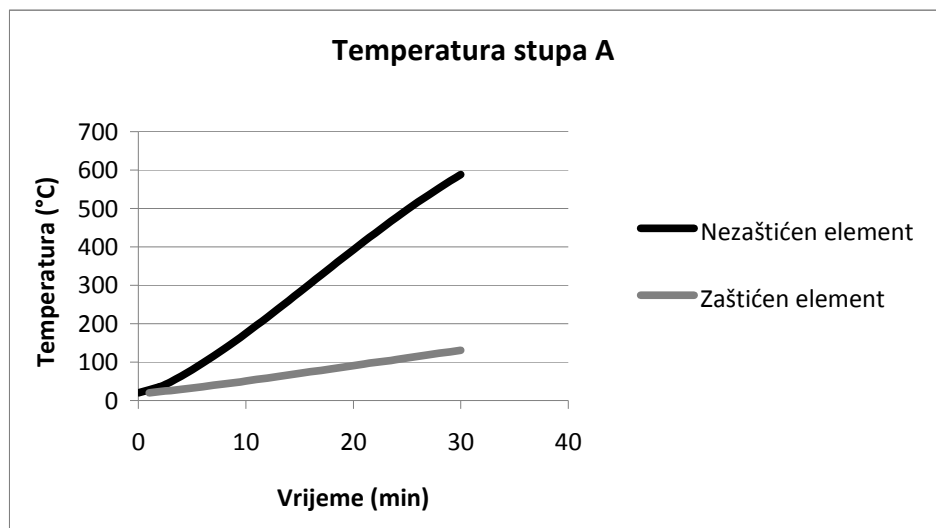
## 6.2.2.3 Rezultati provjere nosivosti elemenata uslijed djelovanja požara na zaštićene elemente

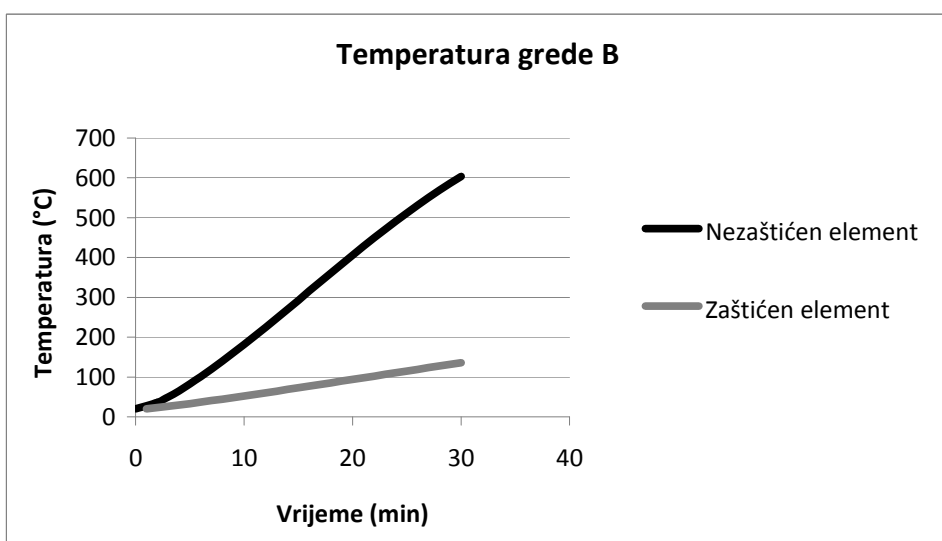
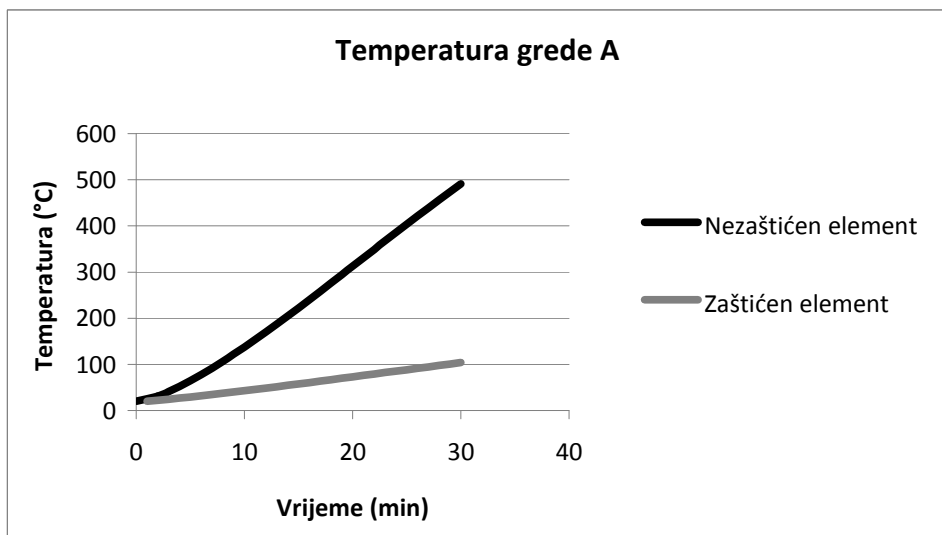
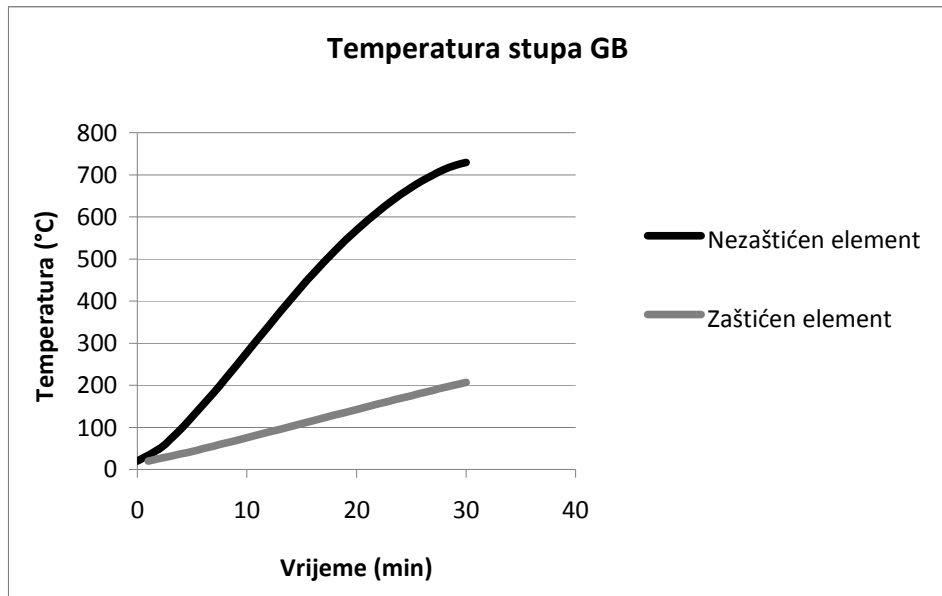
Dimenzioniranje je provedeno prema postupku koji je objašnjen u dijelu 6.2.1.4.

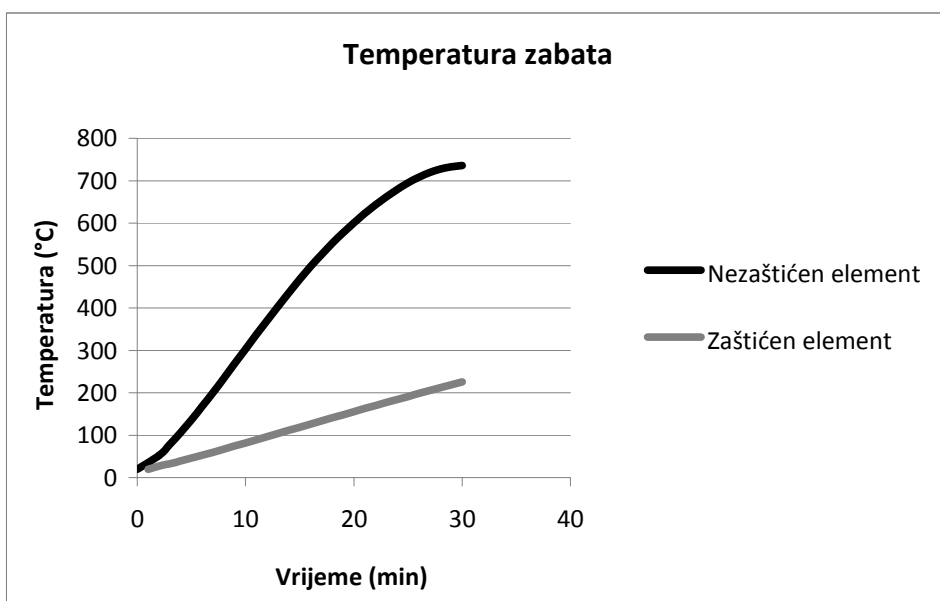
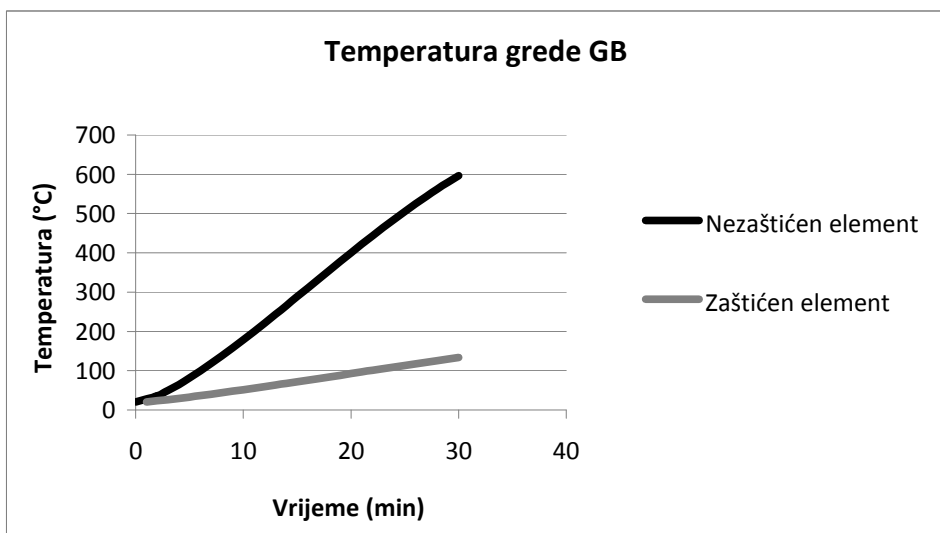
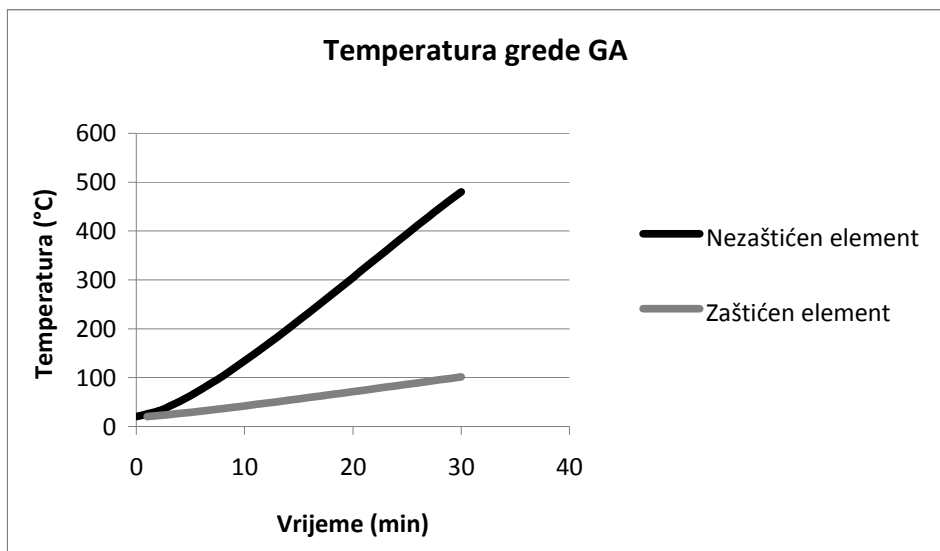
| REZULTATI DIMENZIONIRANJA |          |                        |        |                        |              |               |               |
|---------------------------|----------|------------------------|--------|------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Element                   | Presjek  | OTPORNOST PRESJEKA (%) |        | OTPORNOST ELEMENTA (%) |              |               |               |
|                           |          | Savijanje              | Posmik | Savijanje              | Uzdužna sila | M+N-izvijanje | M+N+izvijanje |
| Stup okvira               | HEB300   | 26,8                   | 14,8   | 39,9                   | 4,3          | 31,3          | 44,6          |
| Stup galerije             | HEB240   | 17,2                   | 2,5    | 27                     | 3,3          | 19,7          | 30,3          |
| Greda galerije            | HEB240   | 44                     | /      | 83,6                   | 0,1          | 44,1          | 83,8          |
| Greda galerije            | HEB220   | 20,6                   | 8,5    | 32,3                   | 2,6          | /             | 34,3          |
| Zabat                     | HEB220   | 2                      | 0,5    | 3,1                    | 21,5         | 23,7          | 24,8          |
|                           |          | Tlak                   | Vlak   | Izvijanje              |              |               |               |
| Gornji pojas              | 180/80/4 | 29                     | 9,9    | 36,5                   |              |               |               |
| Donji pojas               | 180/80/4 | 13,2                   | 21,5   | 16,6                   |              |               |               |
| Ispuna                    | 100/80/4 | 37,2                   | 10,9   | 54,9                   |              |               |               |

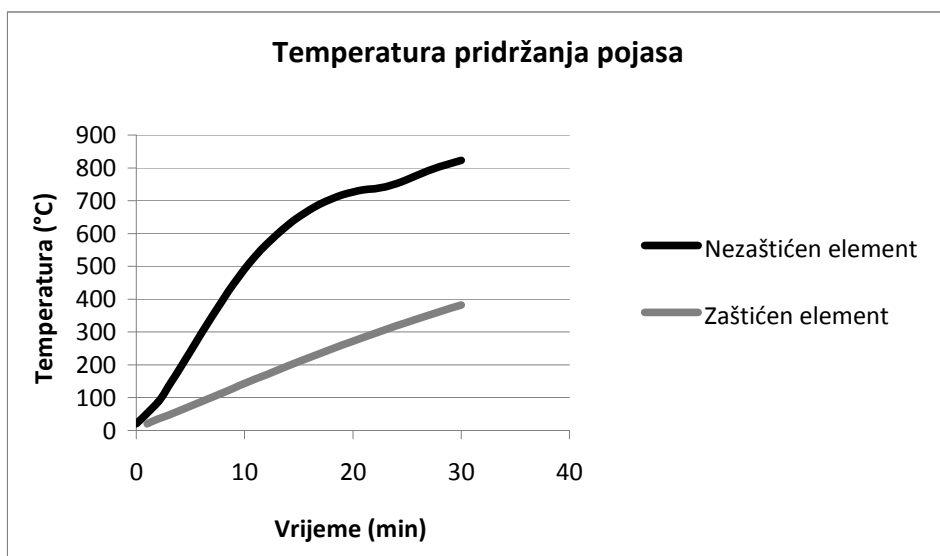
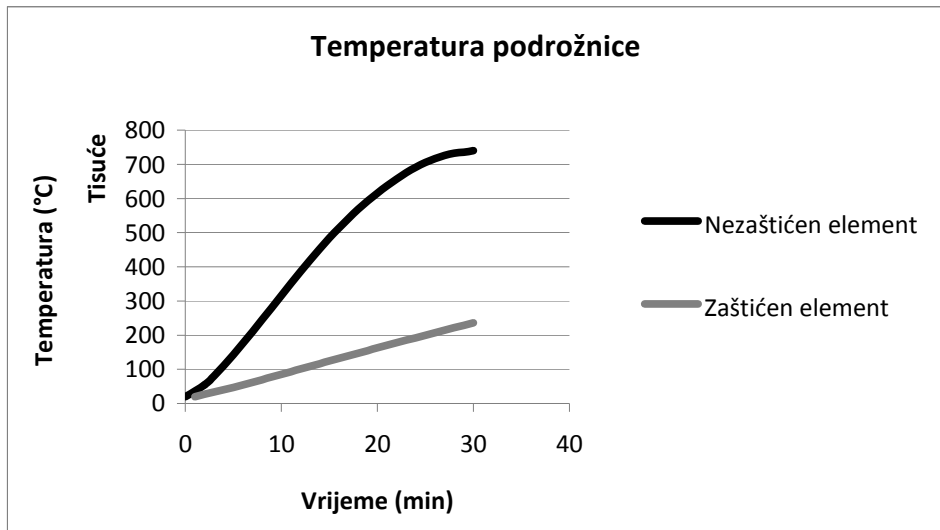
Tablica 18. Rezultati provjere nosivosti uslijed analize požara primjenom standardne krivulje na zaštićene elemente

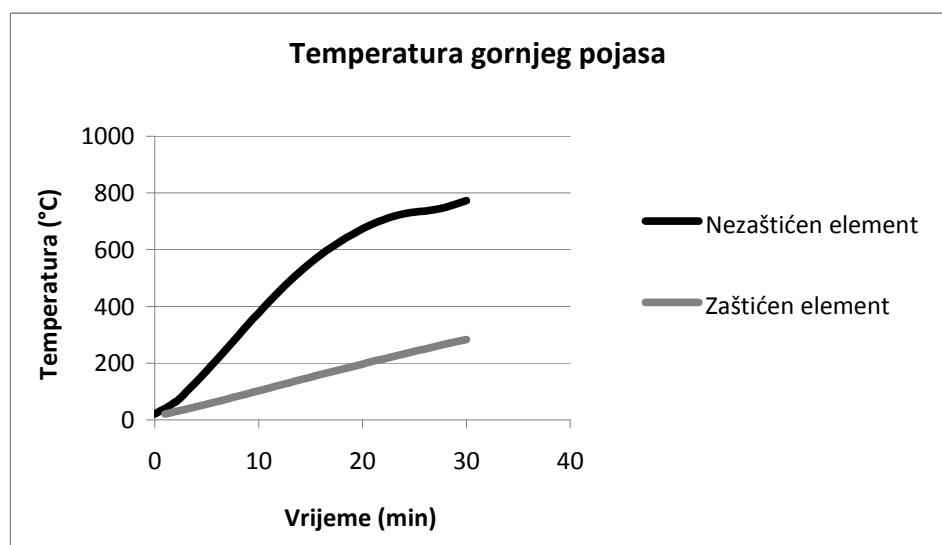
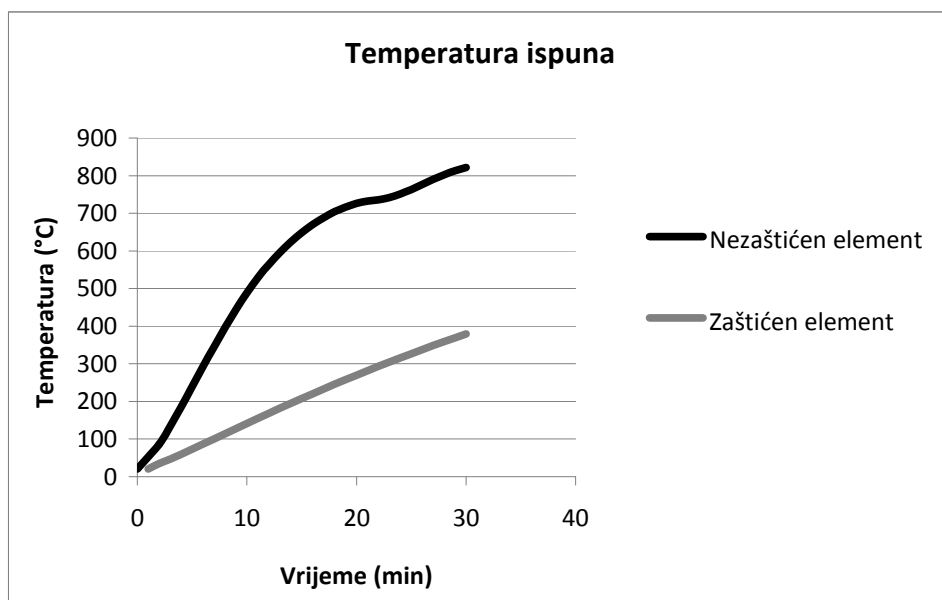
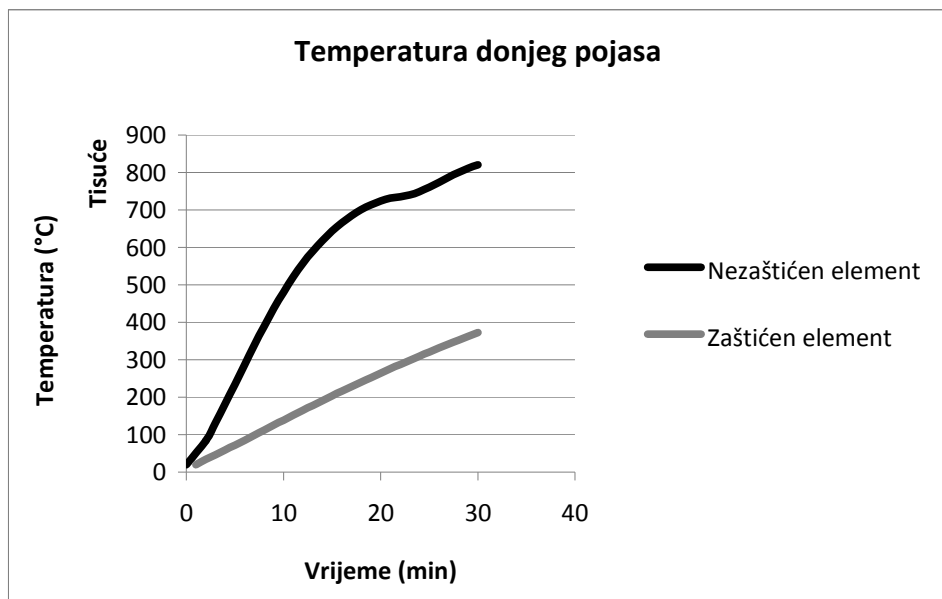
### 6.2.3 Usporedbe temperatura standardne krivulje požara nezaštićenih i zaštićenih elemenata





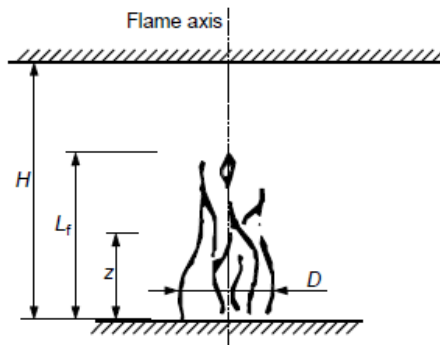




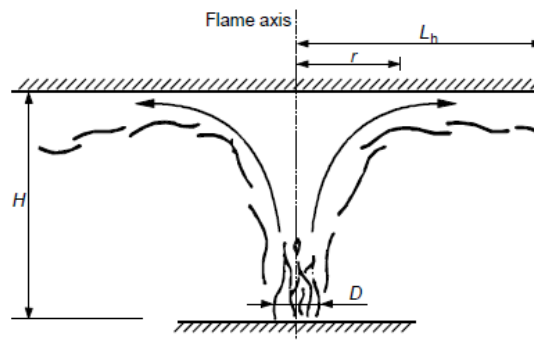


### 6.3 Lokalizirani požar

Prema Eurocode-u postoje 2 slučaja lokaliziranog požara: kad plamen ne doseže strop i kad plamen doseže strop.



Slika 29. Prikaz lokaliziranog požara kad plamen ne doseže strop



Slika 30. Prikaz lokaliziranog požara kad plamen doseže strop

Kao što je vidljivo na skicama uvjet podjele je odnos između  $L_f$  i  $H$  gdje je  $L_f$  duljina plamena [m] a  $H$  visina stropa [m].  $L_f$  je dan izrazom:

$$L_f = -1,02 D + 0,0148 Q^{2/5}$$

gdje je

$D$  - promjer požara [m]

$Q$  - brzina oslobađanja topline od požara [W]

$$Q = 10^6 \left( \frac{t}{t_\alpha} \right)^2$$

$t_\alpha$  – stopa rasta požara dana u niže danoj tablici

$t$  – vrijeme trajanja požara [s]

| Max Rate of heat release $RHR_f$ |                  |                |                              |
|----------------------------------|------------------|----------------|------------------------------|
| Occupancy                        | Fire growth rate | $t_\alpha$ [s] | $RHR_f$ [kW/m <sup>2</sup> ] |
| Dwelling                         | Medium           | 300            | 250                          |
| Hospital (room)                  | Medium           | 300            | 250                          |
| Hotel (room)                     | Medium           | 300            | 250                          |
| Library                          | Fast             | 150            | 500                          |
| Office                           | Medium           | 300            | 250                          |
| Classroom of a school            | Medium           | 300            | 250                          |
| Shopping centre                  | Fast             | 150            | 250                          |
| Theatre (cinema)                 | Fast             | 150            | 500                          |
| Transport (public space)         | Slow             | 600            | 250                          |

Tablica 19. Preporučene vrijednosti  $t_\alpha$  i  $RHR_f$  za različite namjene prostora



U slučaju kad plamen ne doseže strop temperatura požara računa se:

$$\Theta_{(z)} = 20 + 0,25 Q_c^{2/3} (z - z_0)^{-5/3} \leq 900$$

gdje je:

$Q_c$  - konvektivni dio stope oslobađanja topline  $Q_c = 0,8Q$  [W]

$z$  - visina duž osi plamena [m]

$z_0$  - virtualni izvor požara [m] dano izrazom  $z_0 = -1,02 D + 0,00524 Q^{2/5}$

U slučaju kad plamen doseže strop proračun je složeniji a temperatura se izračunava preko neto toplinskog toka al da bi došli do toka prvo trebamo izračunati  $L_h$ ,  $Q_D^*$ ,  $Q_H^*$ ,  $z'$ ,  $y$ .

$$Q_D^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot D^{2,5})$$

$$z' = 2,4 D (Q_D^{*2/5} - Q_D^{*2/3}) \text{ when } Q_D^* < 1,0$$

$$z' = 2,4 D (1,0 - Q_D^{*2/5}) \text{ when } Q_D^* \geq 1,0$$

gdje je

$Q_D^*$  - bezdimenzijski Freudov broj

$z'$  - vertikalna pozicija virtualnog izvora požara [m]

$$Q_H^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot H^{2,5})$$

$$L_h = (2,9 H (Q_H^*)^{0,33}) - H$$

gdje je

$Q_H^*$  - bezdimenzijski Freudov broj

$L_h$  - horizontalna duljina plamena u dodiru sa stropom [m]

$$y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'}$$

gdje je

$y$  – bezdimenzijska vrijednost, omjer udaljenosti od izvora do virtualne točke duž stropa gdje se tok izračunava s jedne strane, i udaljenosti od virtualnog izvora i vrha plamena, s druge strane

$r$  - horizontalna udaljenost osi požara i točke (elementa) na stropu za koju se računa toplinski tok

$$\dot{h} = 100000 \quad \text{if } y \leq 0,30$$

$$\dot{h} = 136300 - 121000 y \quad \text{if } 0,30 < y < 1,0$$

$$\dot{h} = 15000 y^{-3,7} \quad \text{if } y \geq 1,0$$

I konačno neto toplinski koji je element na stropu izložen požaru primio dan je izrazom:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h} - \alpha_c \cdot (\Theta_m - 20) - \Phi \cdot \epsilon_m \cdot \epsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_m + 273)^4 - (293)^4]$$

gdje je

$\alpha_c$  - koeficijent konvekcije [ $25 \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ]

$\Phi$  - faktor konfiguracije

$\epsilon_m$  - faktor emisije površine elementa

$\epsilon_f$  - faktor emisije požara

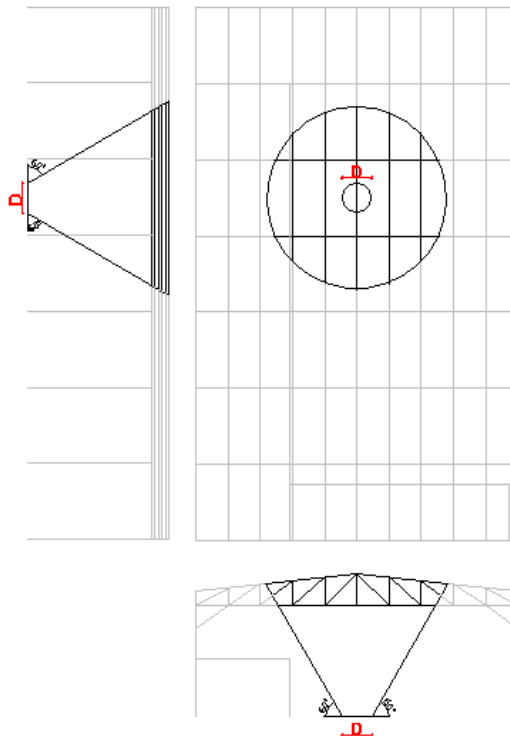
$\sigma$  - Stephan Boltzmann konstanta [ $5,67\text{E-}08 \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ]

$\Theta_m$  - temperatura površine elementa [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Temperature elemenata iz neto toplinskog toka dobivaju se na način koji je vidljiv u poglavlju 6.1 Prirast temperature u elementima.

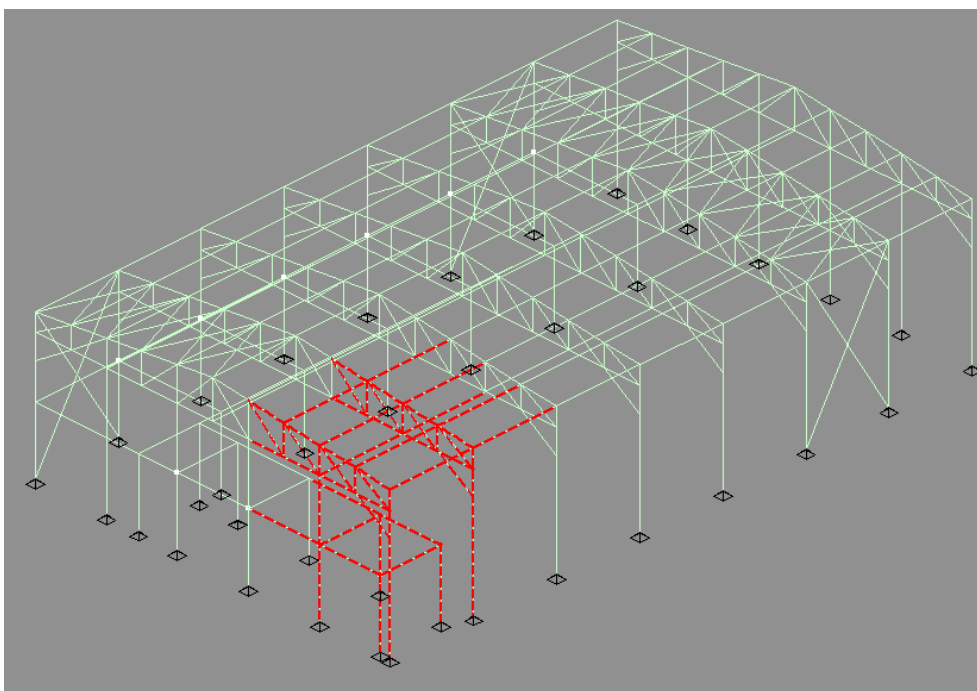
### 6.3.1 Proračun nosivosti za nezaštićene elemente

#### 6.3.1.1 Slučajevi opterećenja konstrukcije lokaliziranim požarom



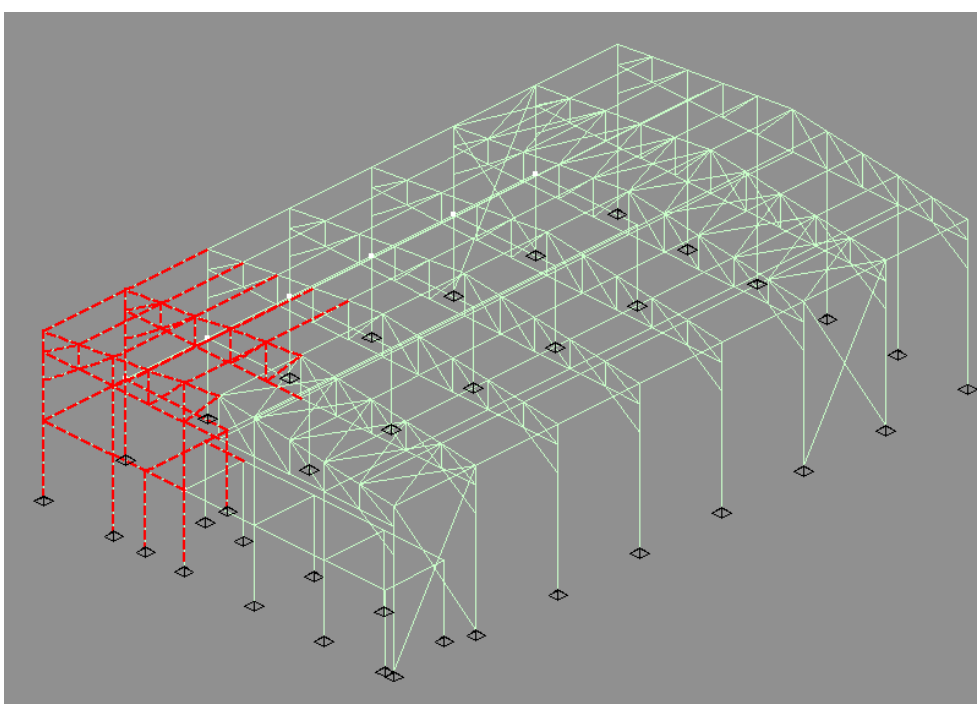
Slika 31. Primjer kako su opterećeni elementi koji su zahvaćeni lokaliziranim požarom

## Slučaj 1: lokalizirani požar ispod galerije (LP1)



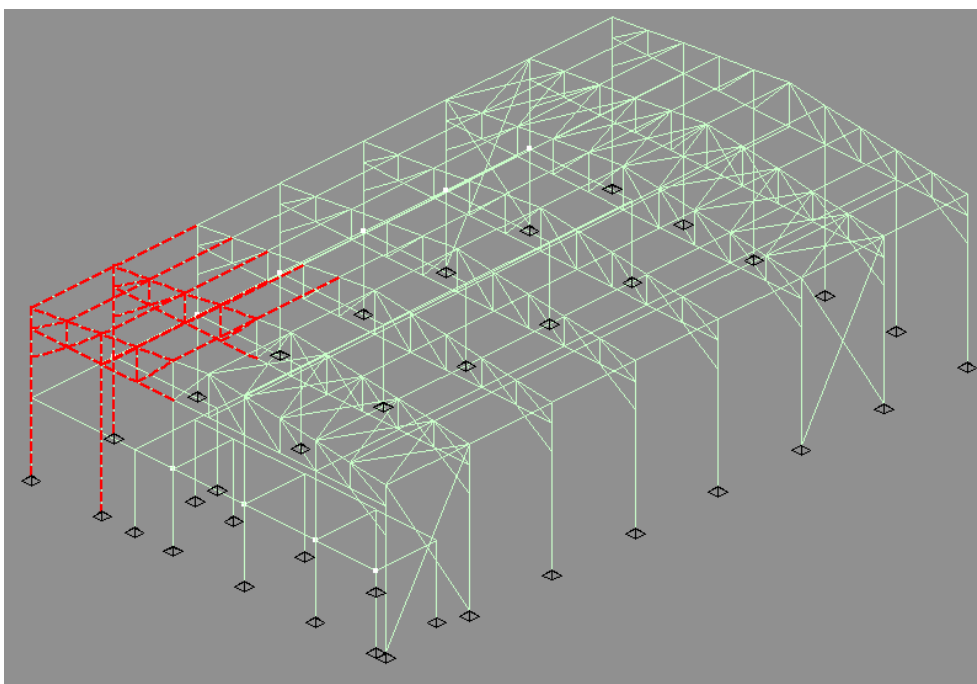
Slika 32. 1.slučaj opterećenja lokaliziranim požarom

## Slučaj 2: lokalizirani požar ispod galerije (LP2)



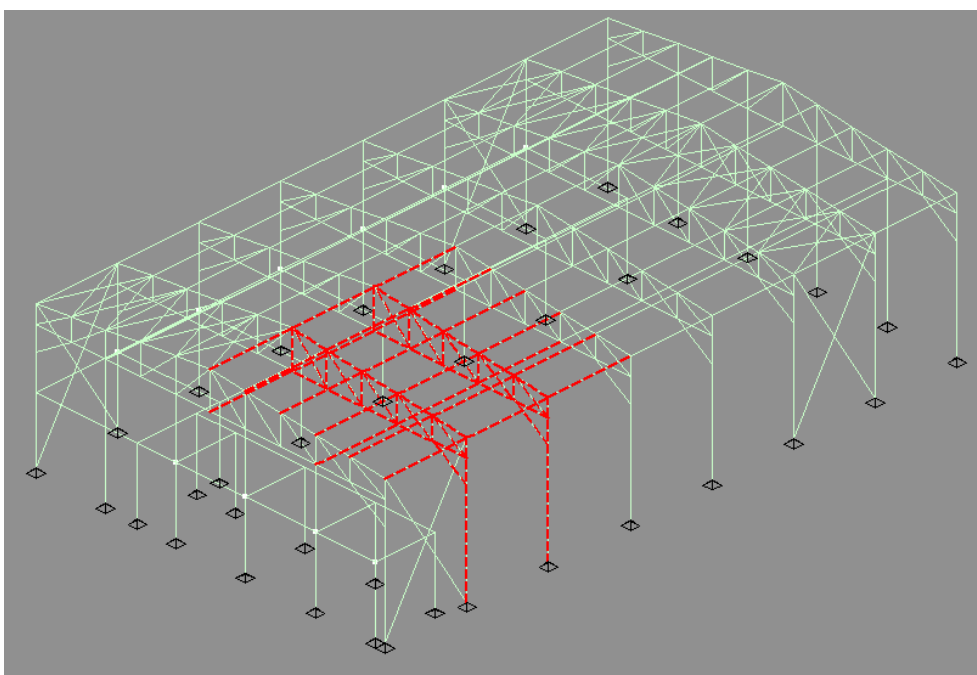
Slika 33. 2.slučaj opterećenja lokaliziranim požarom

## Slučaj 3: lokalizirani požar na galeriji (LP3)



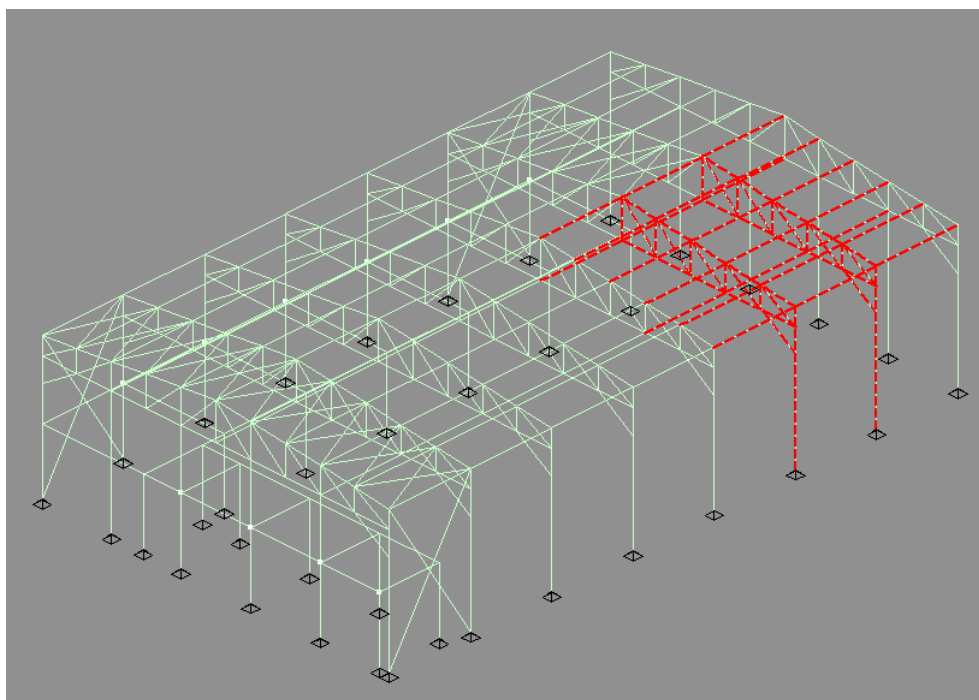
Slika 34. 3.slučaj opterećenja lokaliziranim požarom

## Slučaj 4: lokalizirani požar u gledalištu i pozornici 1 (LP4)



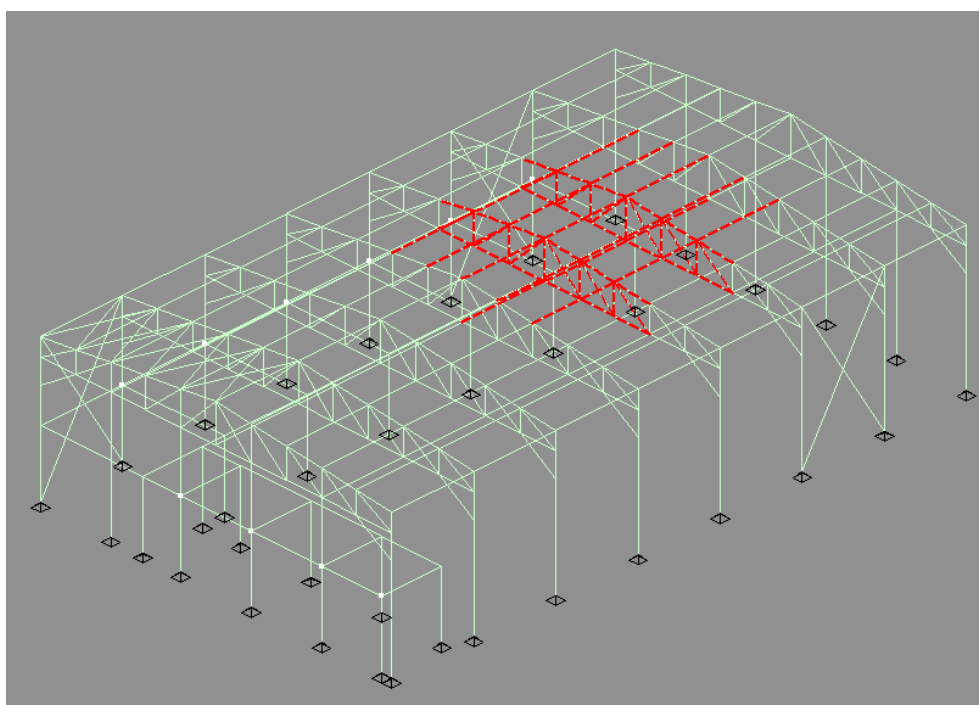
Slika 35. 4.slučaj opterećenja lokaliziranim požarom

Slučaj 5: lokalizirani požar u gledalištu i pozornici 2 (LP5)



Slika 36. 5.slučaj opterećenja lokaliziranim požarom

Slučaj 6: lokalizirani požar u gledalištu i pozornici 3 (LP6)



Slika 37. 6.slučaj opterećenja lokaliziranim požarom

## 6.3.1.2 Temperature požara, elemenata i koeficijenti redukcije

| LP1, LP2           |                        |
|--------------------|------------------------|
| H=                 | 3,82m                  |
| D=                 | 2m                     |
| t=                 | 1800s                  |
| t <sub>α</sub> =   | 300s                   |
| RHRf=              | 250000W/m <sup>2</sup> |
| Q=                 | 785000                 |
| L <sub>f</sub> =   | 1,33450113m            |
| Q <sub>c</sub> =   | 628000                 |
| z <sub>0</sub> =   | -0,8452442m            |
| z=                 | 3,82m                  |
| L <sub>f</sub> < H |                        |
| Θ(z)=              | 160,807819 ≤ 900°C     |

| LP3                |                        |
|--------------------|------------------------|
| H=                 | 3,48M                  |
| D=                 | 2M                     |
| t=                 | 1800S                  |
| t <sub>α</sub> =   | 300S                   |
| RHRf=              | 250000W/m <sup>2</sup> |
| Q=                 | 785000                 |
| L <sub>f</sub> =   | 1,33450113M            |
| Q <sub>c</sub> =   | 628000                 |
| z <sub>0</sub> =   | -0,8452442M            |
| z=                 | 3,48M                  |
| L <sub>f</sub> < H |                        |
| Θ(z)=              | 179,735256 ≤ 900°C     |

| LP4, LP5, LP6      |                        |
|--------------------|------------------------|
| H=                 | 7,3m                   |
| D=                 | 2m                     |
| t=                 | 1800s                  |
| t <sub>α</sub> =   | 150 → tablica          |
| RHRf=              | 500000W/m <sup>2</sup> |
| Q=                 | 1570000                |
| L <sub>f</sub> =   | 2,41268094m            |
| Q <sub>c</sub> =   | 1256000                |
| z <sub>0</sub> =   | -0,4635103m            |
| z=                 | 7,3m                   |
| L <sub>f</sub> < H |                        |
| Θ(z)=              | 115,648137 ≤ 900°C     |

Tablica 20. Proračun temperatura lokaliziranog požara

| TEMPERATURE ELEMENATA |          |                 |         |             |
|-----------------------|----------|-----------------|---------|-------------|
| Element               | Presjek  | Temperatura(°C) |         |             |
|                       |          | LP1,LP2         | LP3     | LP4,LP5,LP6 |
| Stup A                | HEB300   | 93,720          | 103,490 | /           |
| Stup B                | HEB300   | 118,822         | 131,905 | 87,602      |
| Stup GA               | HEB240   | 99,378          | /       | /           |
| Stup GB               | HEB240   | 124,415         | /       | /           |
| Greda GA              | HEB240   | 77,769          | /       | /           |
| Greda GB              | HEB240   | 95,074          | /       | /           |
| Greda A               | HEB220   | 79,223          | /       | /           |
| Greda B               | HEB220   | 96,145          | /       | /           |
| Zabat                 | HEB220   | 130,066         | 144,658 | /           |
| Donji pojas           | 180/80/4 | 154,788         | 172,816 | 111,798     |
| Ispuna                | 100/80/4 | 155,337         | 173,445 | 112,157     |
| Gornji pojas          | 180/80/4 | 143,360         | 159,773 | 104,216     |
| Podrožnica            | 80/120/7 | 132,771         | 147,730 | 97,082      |
| Pridržanje pojasa     | 80/80/4  | 155,555         | 173,791 | 112,293     |

Tablica 21. Temperature elemenata dobivenih analizom lokaliziranih požara

Na predmetnu konstrukciju kod zadavanja požarnog opterećenja nanese su temperature koje su dobivene za požar na sve elemente čime smo na strani sigurnosti. U slijedećoj tabeli su dane temperature sa koeficijentima redukcije sa kojima se išlo u proračun.

| TEMPERATURE POŽARA |                 |                |                |
|--------------------|-----------------|----------------|----------------|
| Slučaj             | Temperatura(°C) | $k_{y,\theta}$ | $k_{E,\theta}$ |
| 1.                 | 160,81          | 1              | 0,939          |
| 2.                 | 160,81          | 1              | 0,939          |
| 3.                 | 179,74          | 1              | 0,920          |
| 4.                 | 115,65          | 1              | 0,984          |
| 5.                 | 115,65          | 1              | 0,984          |
| 6.                 | 115,65          | 1              | 0,984          |

Tablica 22. Temperature kojima su opterećeni elementi u proračunu otpornosti elemenata na lokalizirani požar sa pripadajućim koeficijentima redukcije

6.3.1.3 Rezne sile nezaštićenih elemenata za lokalizirani požar za kombinaciju djelovanja 1,0G+0,7K+1,0P

| REZNE SILE   |          |              |                 |                |                |
|--------------|----------|--------------|-----------------|----------------|----------------|
| Element      | Presjek  | Slučaj-okvir | $M_{fi,d}(kNm)$ | $V_{fi,d}(kN)$ | $N_{fi,d}(kN)$ |
| Stup A       | HEB300   | 2-2          | 146,97          | 67,48          | -243,07        |
| Stup GB      | HEB240   | 2-/          | 41,22           | 10,79          | -218,12        |
| Greda GB     | HEB240   | 2-/          | 89,80           | /              | -21,48         |
| Greda A      | HEB220   | 2-/          | 81,00           | 106,54         | -5,81          |
| Zabat        | HEB220   | 2-/          | 32,83           | 30,69          | -261,76        |
| Donji pojas  | 180/80/4 | /-/          | /               | /              | -119,28        |
|              |          | /-/          | /               | /              | 139,45         |
| Gornji pojas | 100/80/4 | 5-6          | /               | /              | -153,16        |
|              |          | 2-1          | /               | /              | 137,14         |
| Ispune       | 100/80/4 | 3-1          | /               | /              | -205,68        |
|              |          | 3-1          | /               | /              | 103,03         |

Tablica 23. Rezne sile nezaštićenih elemenata uslijed analize lokaliziranog požara

6.3.1.4 Rezultati provjere nosivosti elemenata na lokalizirani požar

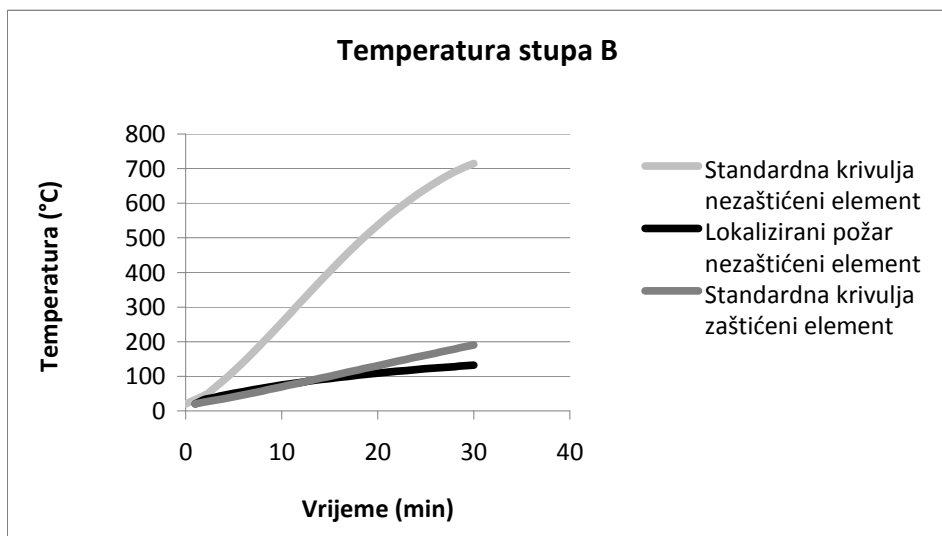
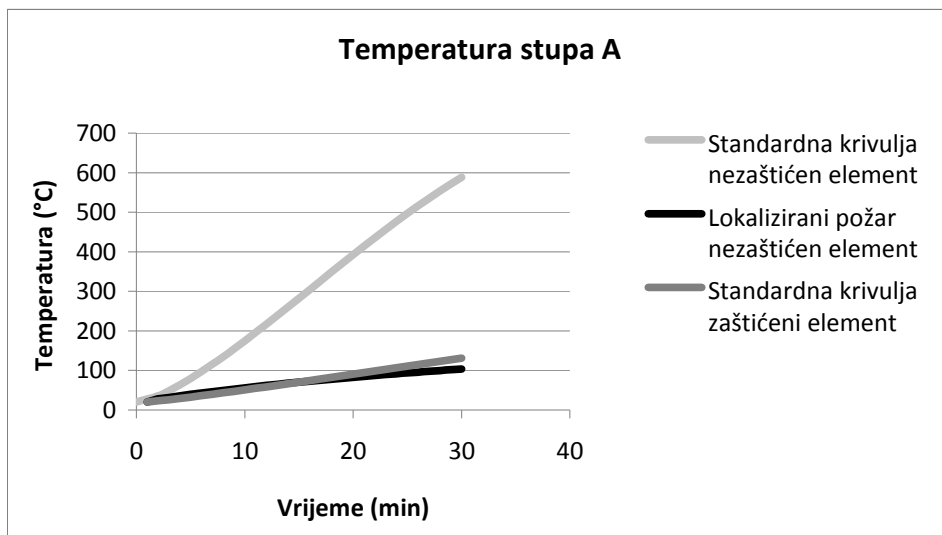
Dimenzioniranje je provedeno prema postupku koji je objašnjen u dijelu 6.2.1.4.

| REZULTATI DIMENZIONIRANJA |          |                        |        |                        |              |               |               |
|---------------------------|----------|------------------------|--------|------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Element                   | Presjek  | OTPORNOST PRESJEKA (%) |        | OTPORNOST ELEMENTA (%) |              |               |               |
|                           |          | Savijanje              | Posmik | Savijanje              | Uzdužna sila | M+N-izvijanje | M+N+izvijanje |
| Stup okvira               | HEB300   | 33,5                   | 10,5   | 49,5                   | 11,5         | 46,7          | 63,5          |
| Stup galerije             | HEB240   | 16,7                   | 2,4    | 26,3                   | 11,4         | 25,1          | 37,6          |
| Greda galerije            | HEB240   | 36,3                   | /      | 69,7                   | 1,4          | 38            | 71,6          |
| Greda galerije            | HEB220   | 41,7                   | 28,1   | 75,3                   | 0,4          | 42,2          | 75,9          |
| Zabat                     | HEB220   | 16,9                   | 8,1    | 26                     | 28,9         | 48,8          | 57,4          |
|                           |          | Tlak                   | Vlak   | Izvijanje              |              |               |               |
| Gornji pojas              | 180/80/4 | 33,5                   | 30     | 42,1                   |              |               |               |
| Donji pojas               | 180/80/4 | 26,1                   | 30,5   | 32,8                   |              |               |               |
| Ispuna                    | 100/80/4 | 67                     | 33,5   | 98,9                   |              |               |               |

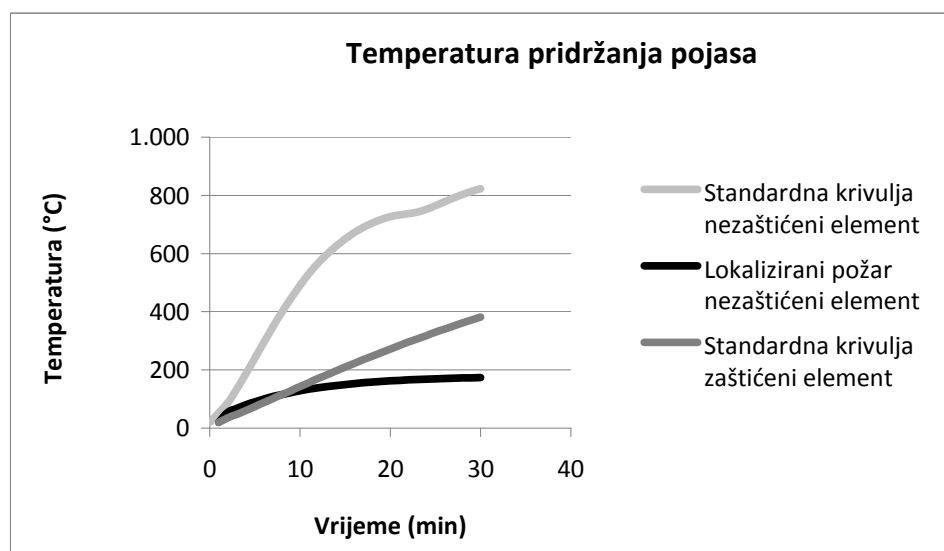
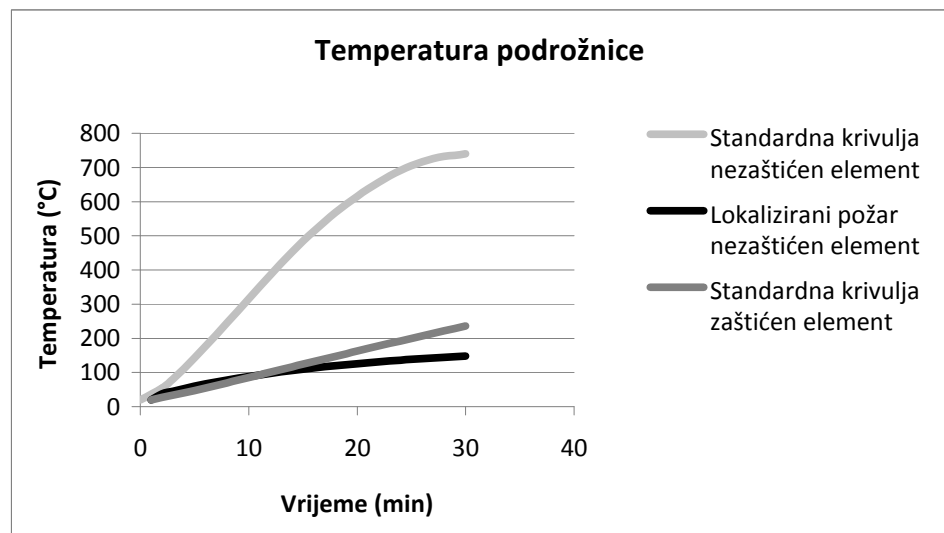
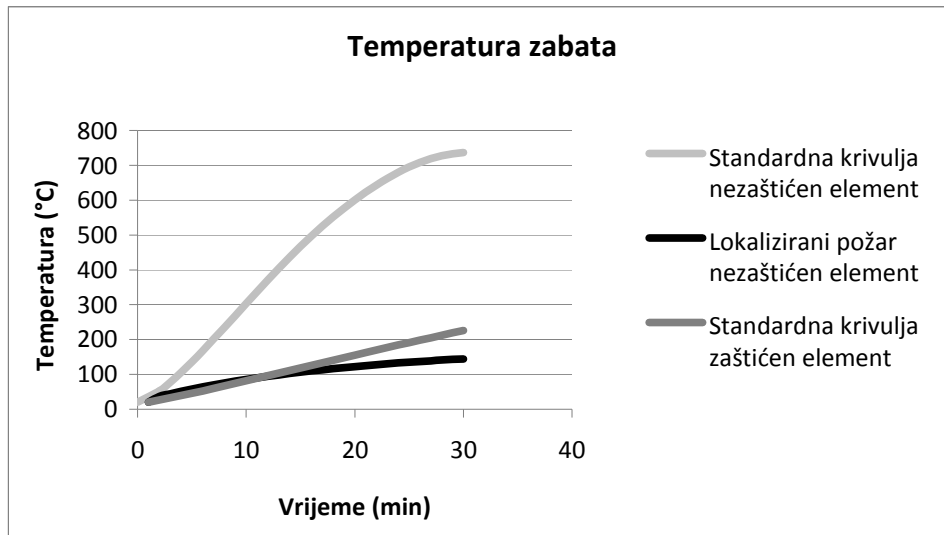
Tablica 24. Rezultati provjere nosivosti uslijed analize lokaliziranog požara na nezaštićene elemente

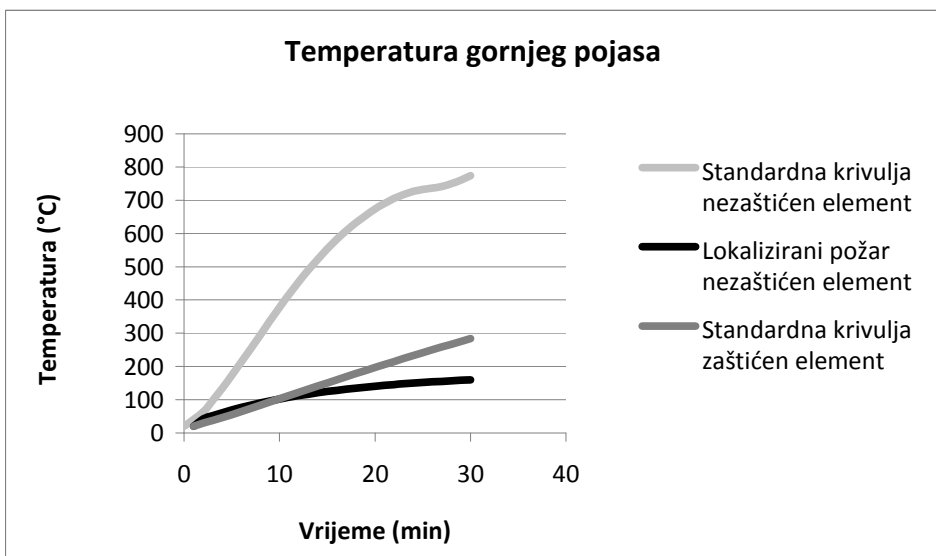
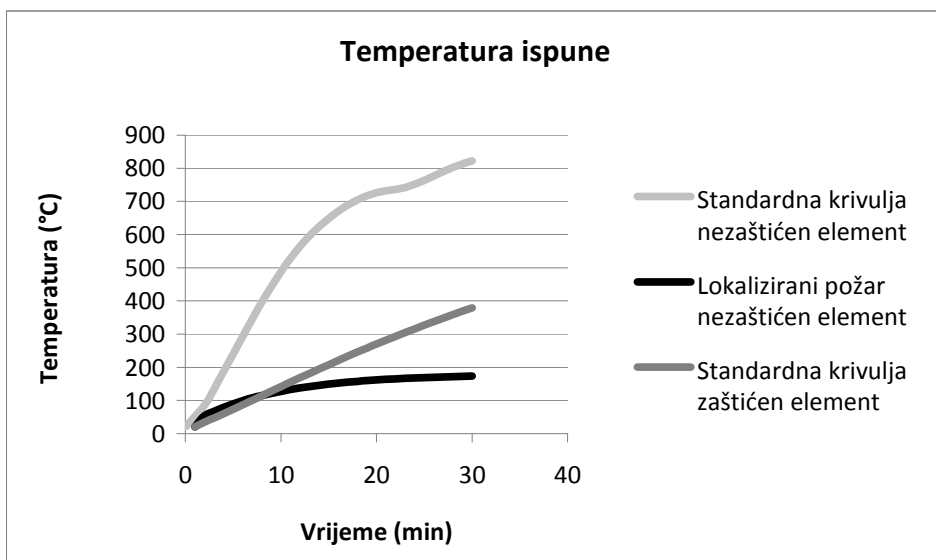
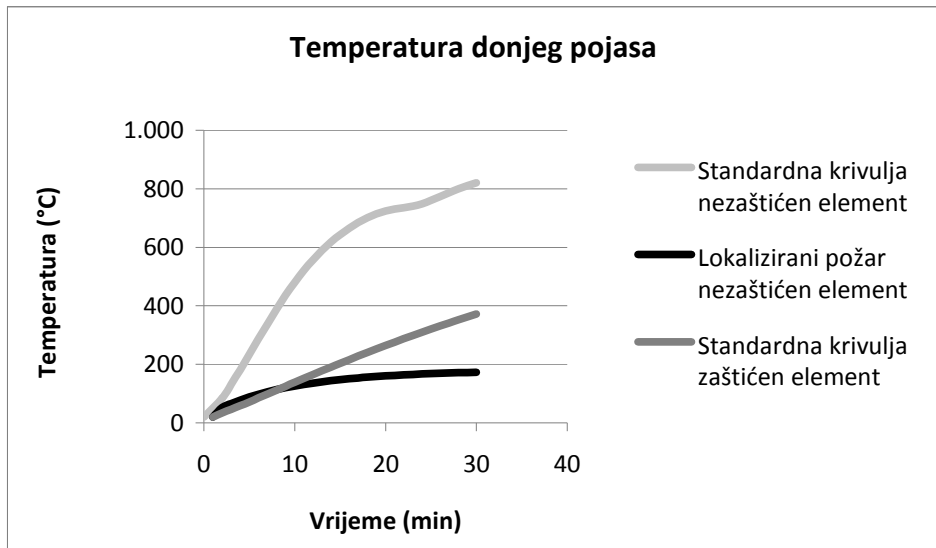
### 6.3.2 Usporedbe temperatura standardne krivulje požara (zaštićenih i nezaštićenih elemenata) sa temperaturama lokaliziranog požara

Usporedba je rađena za 3. slučaj požara jer se za lokalizirani požar u tom slučaju javljaju najveće temperature.









### 6.3.3 Provjera lokaliziranog požara sa manje vjerojatnim scenarijima

Manje vjerojatan scenarij bi bio taj u kojem bi cijela prostorija (od zida do zida) bila zahvaćena požarom što je malo vjerojatno iz razloga što prostor mora imati evakuacijske putove na kojima nema gorivih materijala.

Isto tako je malo vjerojatno da će se u prostorijama predmetne konstrukcije pojaviti požar višestruko jači od snage požara automobila što je detaljnije objašnjeno u daljnjem tekstu.

#### 6.3.3.1 Provjera lokaliziranog požara sa većim D

Veličina D uzeta od zida do zida u prva 3 slučaja a u ostala 3 slučaja max. veličinu od prethodnih.

| LP1                |            |                  |
|--------------------|------------|------------------|
| H=                 | 3,82       | m                |
| D=                 | 3,68       | m                |
| t=                 | 1800       | s                |
| t <sub>α</sub> =   | 300        | s                |
| RHRf=              | 250000     | W/m <sup>2</sup> |
| Q=                 | 2657696    | W                |
| L <sub>f</sub> =   | 1,74261656 | m                |
| Q <sub>c</sub> =   | 2126156,8  | W                |
| z <sub>0</sub> =   | -1,8076422 | m                |
| z=                 | 3,82       | m                |
| L <sub>f</sub> < H |            |                  |
| Θ(z)=              | 252,262257 | ≤900°C           |

| LP2                |            |                  |
|--------------------|------------|------------------|
| H=                 | 3,82       | m                |
| D=                 | 5,05       | m                |
| t=                 | 1800       | s                |
| t <sub>α</sub> =   | 300        | s                |
| RHRf=              | 250000     | W/m <sup>2</sup> |
| Q=                 | 5004865,63 | W                |
| L <sub>f</sub> =   | 1,92876242 | m                |
| Q <sub>c</sub> =   | 4003892,5  | W                |
| z <sub>0</sub> =   | -2,6443814 | m                |
| z=                 | 3,82       | m                |
| L <sub>f</sub> < H |            |                  |
| Θ(z)=              | 301,131639 | ≤900°C           |

| LP3                |            |                  |
|--------------------|------------|------------------|
| H=                 | 3,48       | m                |
| D=                 | 5,05       | m                |
| t=                 | 1800       | s                |
| t <sub>α</sub> =   | 300        | s                |
| RHRf=              | 250000     | W/m <sup>2</sup> |
| Q=                 | 5004865,63 | W                |
| L <sub>f</sub> =   | 1,92876242 | m                |
| Q <sub>c</sub> =   | 4003892,5  | W                |
| z <sub>0</sub> =   | -2,6443814 | m                |
| z=                 | 3,48       | m                |
| L <sub>f</sub> < H |            |                  |
| Θ(z)=              | 327,622723 | ≤900°C           |

| LP4, LP5, LP6      |            |                  |
|--------------------|------------|------------------|
| H=                 | 7,3m       |                  |
| D=                 | 5,05m      |                  |
| t=                 | 1800s      |                  |
| t <sub>α</sub> =   | 300s       |                  |
| RHRf=              | 500000     | W/m <sup>2</sup> |
| Q=                 | 10009731,3 | W                |
| L <sub>f</sub> =   | 4,19080252 | m                |
| Q <sub>c</sub> =   | 8007785    | W                |
| z <sub>0</sub> =   | -1,8434969 | m                |
| z=                 | 7,3m       |                  |
| L <sub>f</sub> < H |            |                  |
| Θ(z)=              | 270,395095 | ≤900°C           |

Tablica 25. Proračun temperatura lokaliziranog požara sa većim D

### 6.3.3.2 Provjera lokaliziranog požara sa većim D i većim Q

U ovoj provjeri kod svih slučajeva je  $L_f > H$  pa je proračun nešto složeniji što se može vidjeti u poglavlju 6.3 Lokalizirani požar.

Q je dobiven preko formule  $Q = 10^6 \cdot \left( \frac{t}{t_a} \right)^2$  sa preporučenim koeficijentima  $t_a$  iz tablice 19.

gdje su dobivene vrijednosti od 36 MW (1., 2., 3. slučaj) i 144 MW (za ostale slučajeve) što je neralna situacija jer npr. automobil prilikom gorenja u 30 min ima snagu od ~5 MW.

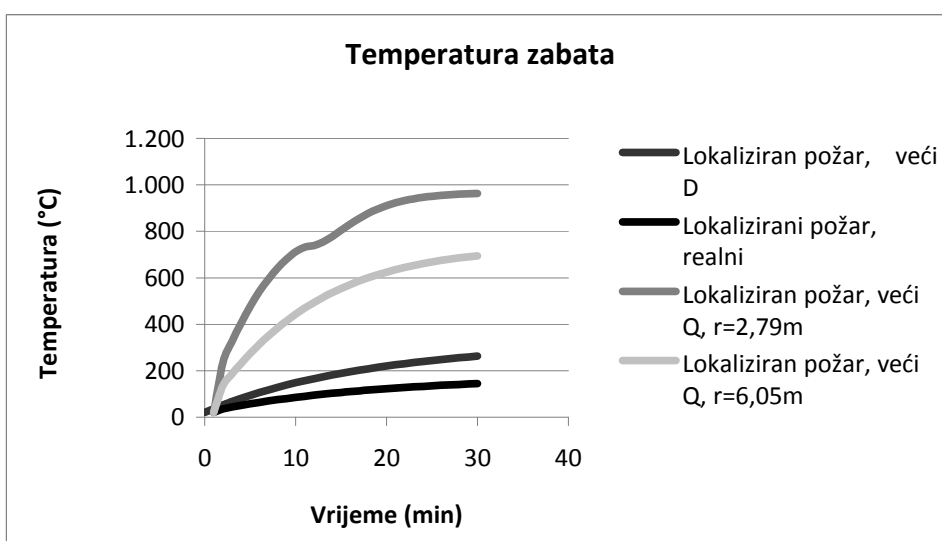
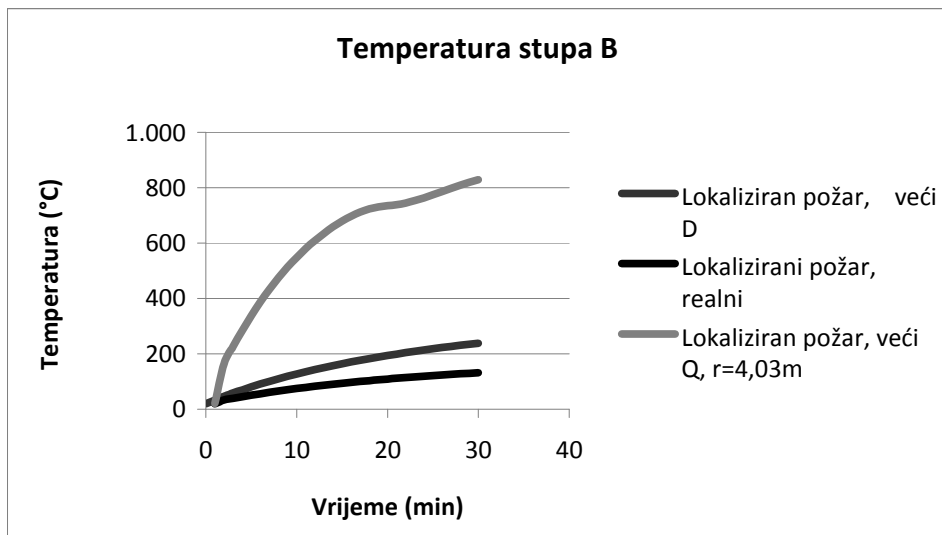
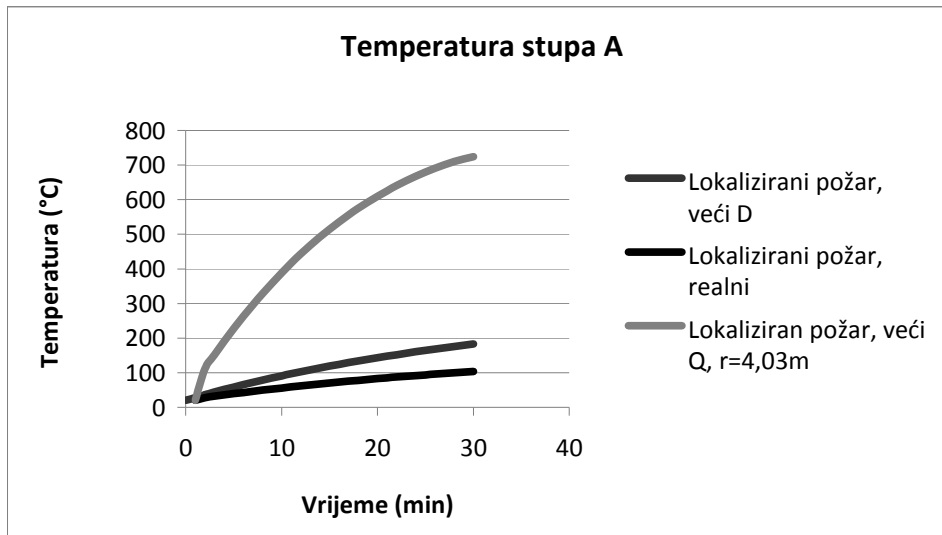
Proračun temperatura elemenata je napravljen u programskom paketu HEAT.

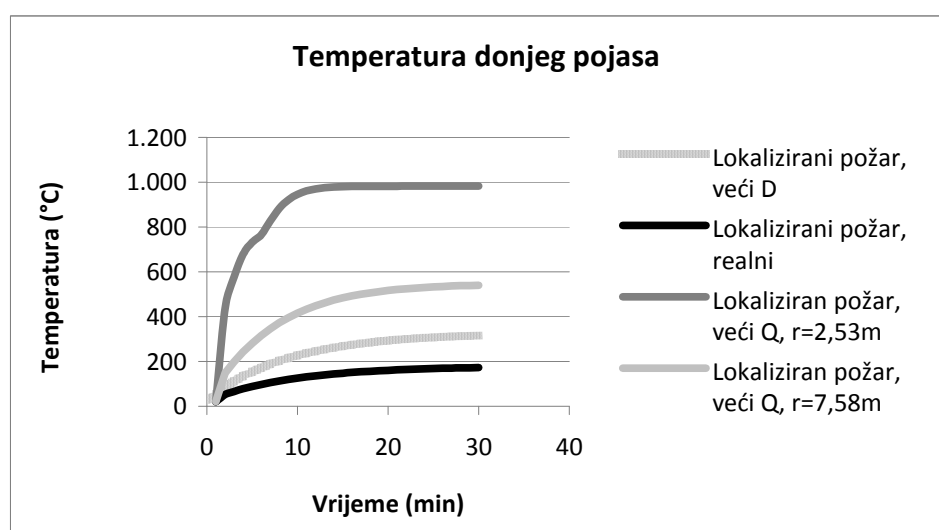
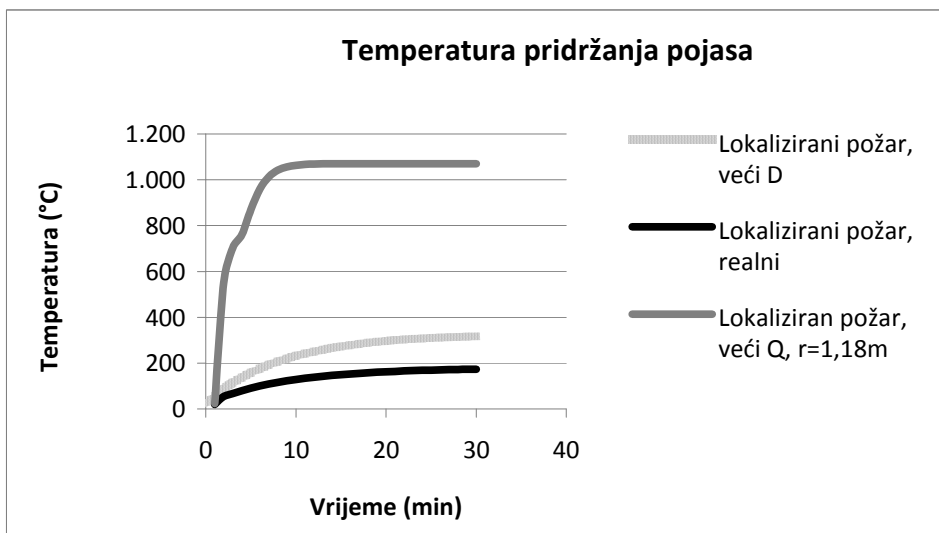
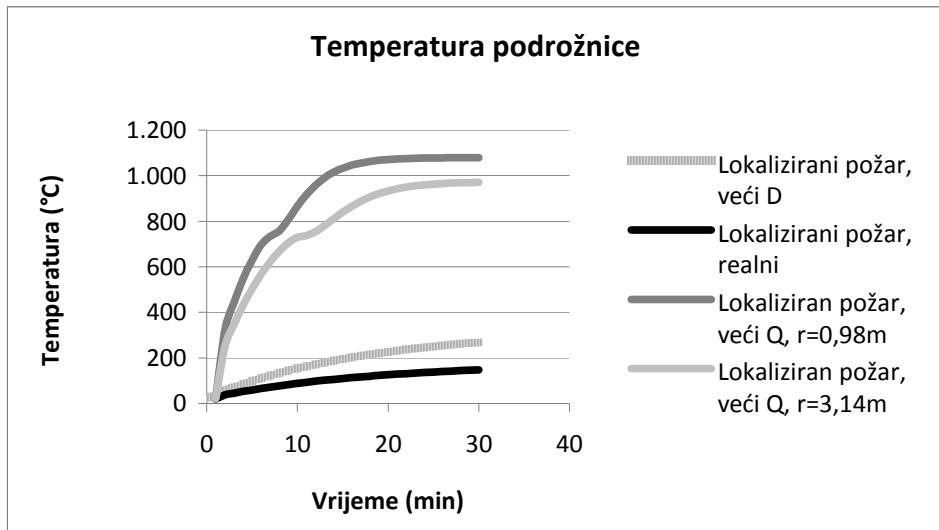
### 6.3.4 Usporedbe temperatura nezaštićenih elemenata dobivenih analizom "realnog" lokaliziranog požara sa temperaturama dobivenih analizom "manje realnih" lokaliziranih požara

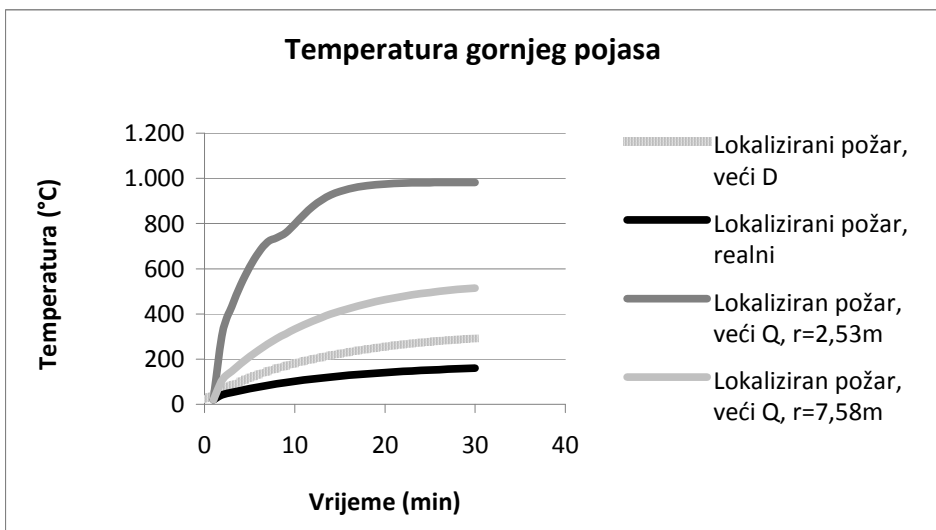
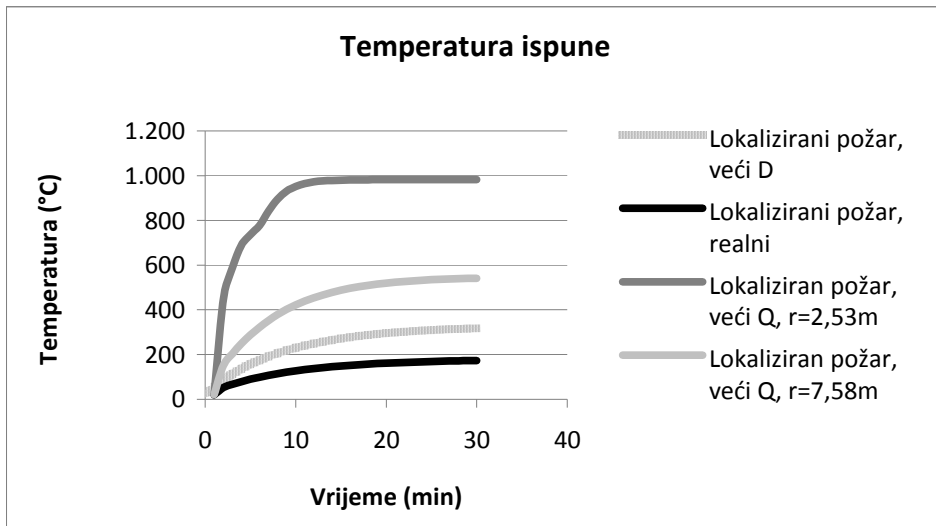
Usporedba je rađena za 3. slučaj požara jer se za "realni" lokalizirani požar i lokalizirani požar sa većim D u tom slučaju javljaju najveće temperature.

| TEMPERATURE ELEMENATA |          |                           |         |                    |
|-----------------------|----------|---------------------------|---------|--------------------|
| Element               | Presjek  | Temperatura elementa (°C) |         |                    |
|                       |          | Realni                    | veći D  | veći Q             |
| Stup A                | HEB300   | 103,490                   | 183,169 | 723,945 (r=4,03m)  |
| Stup B                | HEB300   | 131,905                   | 238,214 | 829,453 (r=4,03m)  |
| Zabat                 | HEB220   | 144,658                   | 262,871 | 963,622 (r=2,79m)  |
|                       |          | /                         | /       | 694,534 (r=6,05m)  |
| Donji pojas           | 180/80/4 | 172,816                   | 315,991 | 982,200 (r=2,53m)  |
|                       |          |                           |         | 540,335 (r=7,58m)  |
| Ispuna                | 100/80/4 | 173,445                   | 317,115 | 982,201 (r=2,53m)  |
|                       |          |                           |         | 541,240 (r=7,58m)  |
| Gornji pojas          | 180/80/4 | 159,773                   | 291,808 | 982,013 (r=2,53m)  |
|                       |          |                           |         | 514,937 (r=7,58m)  |
| Podrožnica            | 80/120/7 | 147,73                    | 268,788 | 1078,979 (r=0,98m) |
|                       |          | /                         | /       | 971,004 (r=3,14m)  |
| Pridržanje pojasa     | 80/80/4  | 173,791                   | 317,559 | 1070,561 (r=1,18m) |

Tablica 26. Temperature nezaštićenih elemenata za 3. slučaj opterećenja analizom više lokaliziranih požara

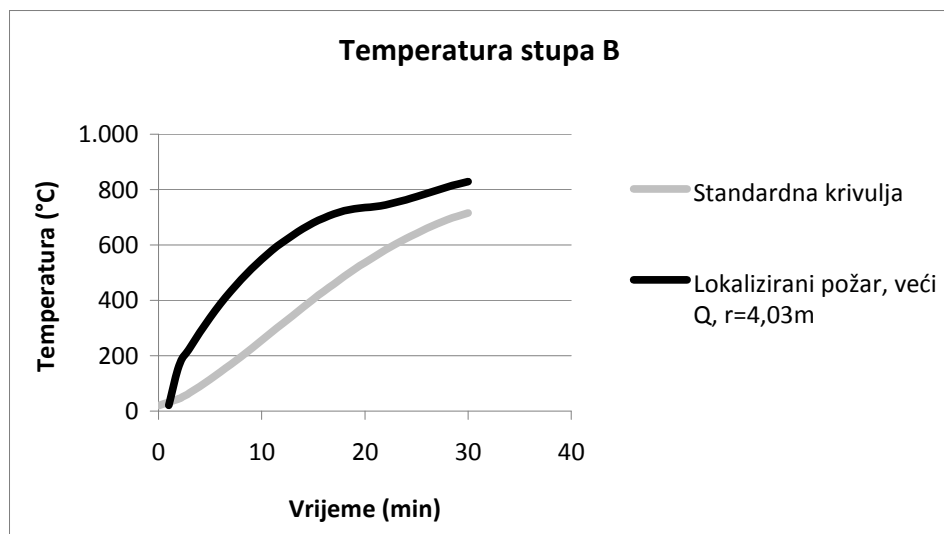
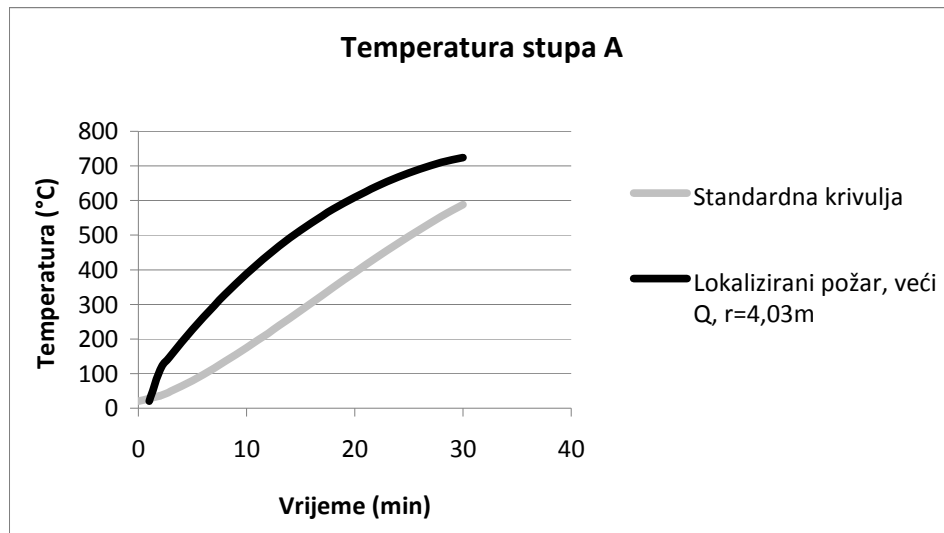




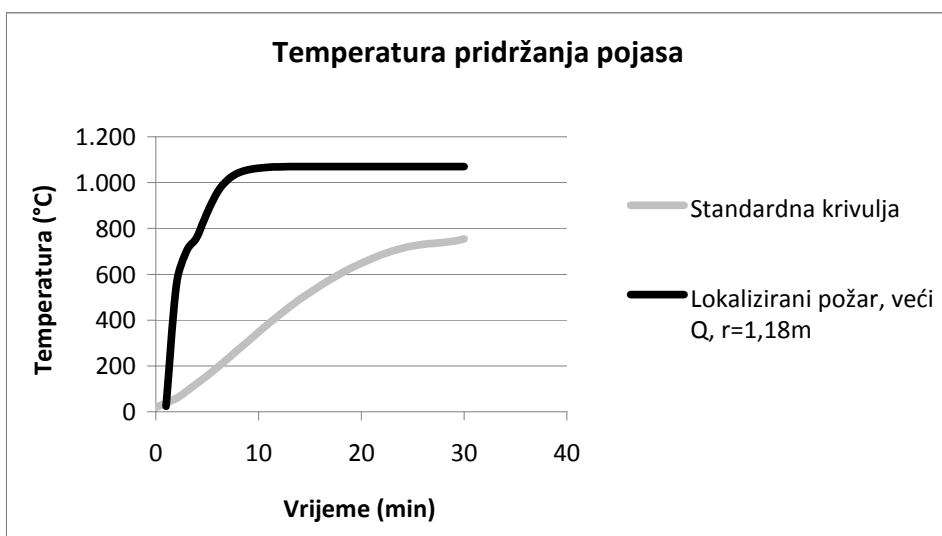
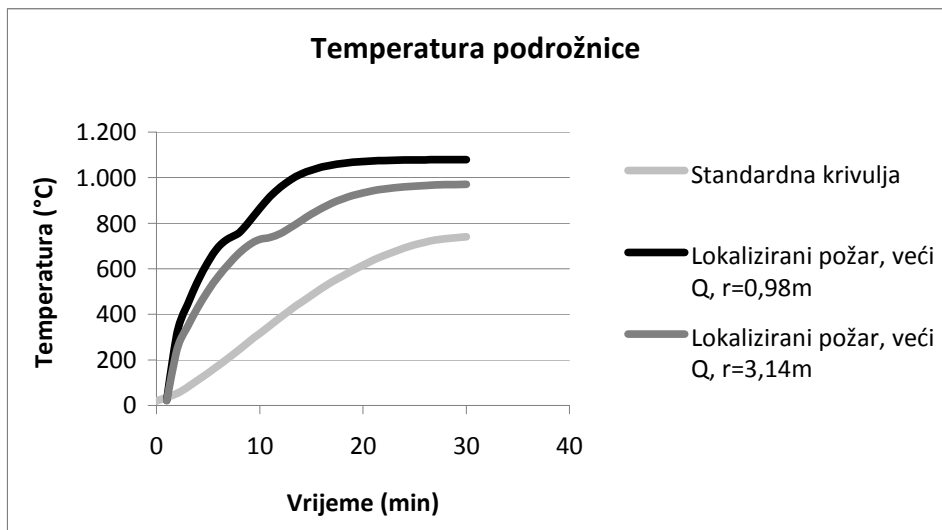
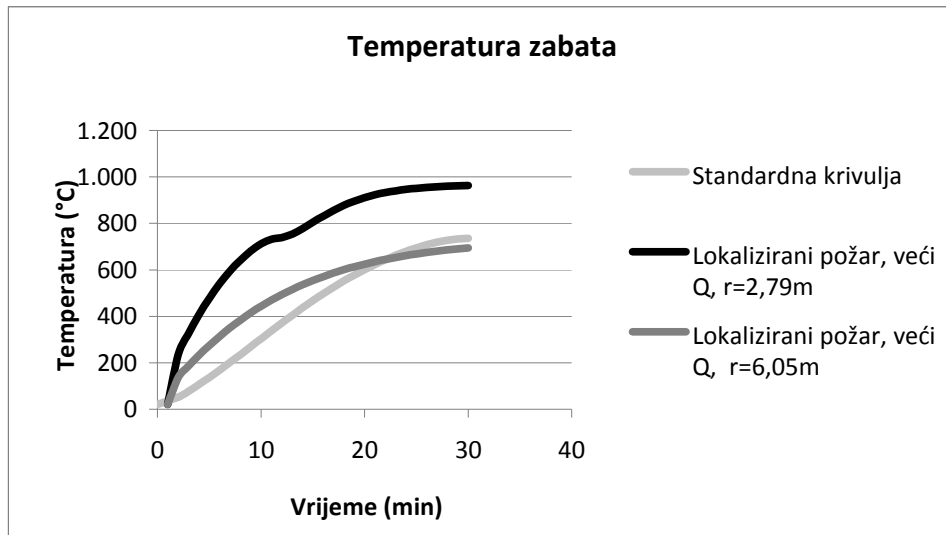


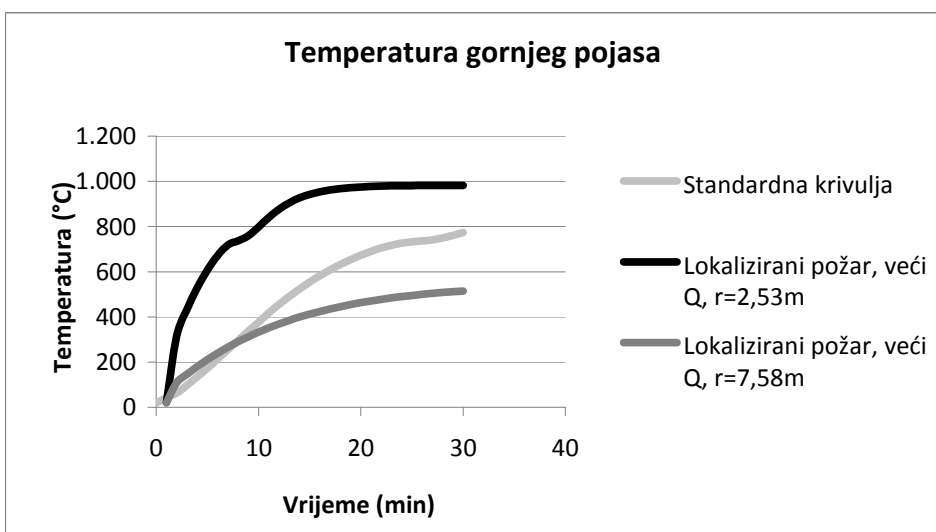
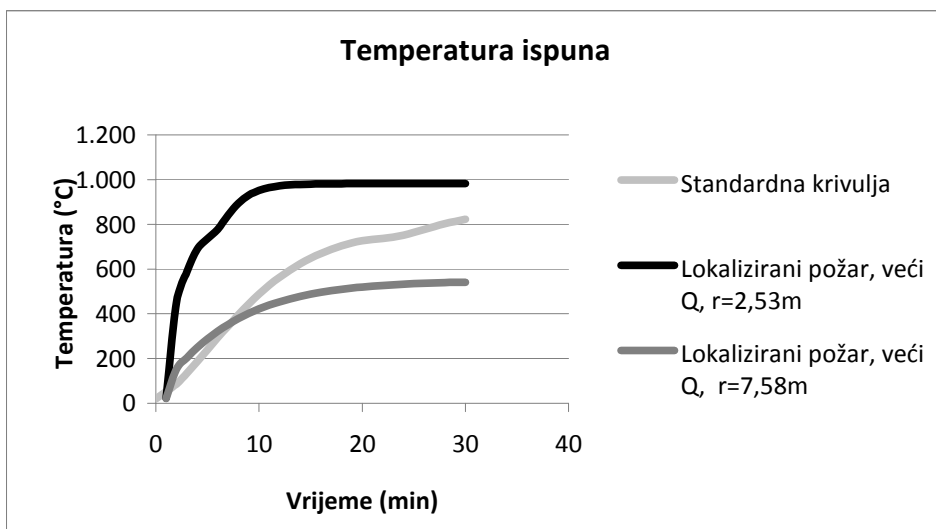
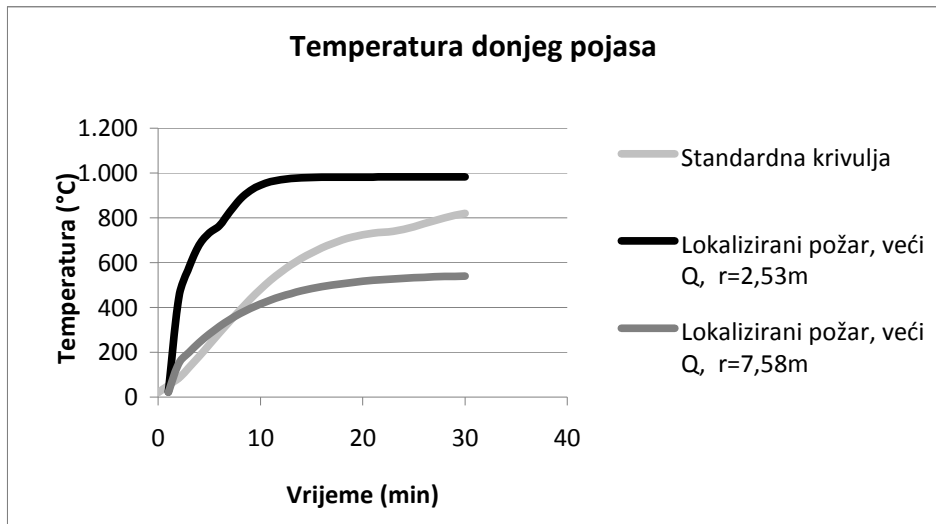
### 6.3.5 Usporedbe temperatura nezaštićenih elemenata dobivenih analizom lokaliziranog požara sa većim $Q$ sa temperaturama dobivenih analizom požara primjenom standardne krivulje

Usporedba je napravljena za 3. slučaj opterećenja požarom.









## 6.4 Parametarska krivulja

Za razliku od prethodna 2 načina parametarska krivulja uzima u obzir površinu i karakteristike odjeljka u kojem se provjerava požarna otpornost. Njena ograničenja po EC (dio koji se posebno bavi parametarskom krivuljom je Annex A) su ta da se koristi za odjeljke do površine 500 m<sup>2</sup> i visine stropa 4 m na kojem nema otvora. Iako je parametarska krivulja ograničena visinom od 4 m a visina stropa predmetne konstrukcije je 7,3 m provjerena je požarna otpornost i rezultati su uspoređeni sa prethodnim načinima.

Postoje 2 vrste parametarske krivulje a to su: požar kontroliran prozračivanjem (ventilacijom) i požar kontroliran gorivom.

Ulazni podaci za parametarsku krivulju su :

- toplinska svojstva zidova, stropa i poda, odnosno toplinske vodljivosti  $\lambda$  u W/mK, specifične toplinske vodljivosti  $c$  u J/kgK i gustoće  $\rho$  kg/m<sup>3</sup>
- ukupne površine zidova, stropa i poda, uključujući otvore (  $A_t$  [m<sup>2</sup>] ), ukupne površine otvora (  $A_v$  [m<sup>2</sup>] ), i prosječnu visinu otvora  $h$  (  $h_{eq}$  [m] ),
- snaga požara (  $q_{t,d}$  [MJ/m<sup>2</sup>] ) koja je direktno vezana za površinu odjeljka
- stopa rasta požara (spori, srednji, brzi)

Tijek proračuna je:

$$b = \sqrt{c\rho\lambda}$$

gdje je

$b$  – faktor zida, stropa, poda ovisan o specifičnoj toplinskoj vodljivosti  $c$ , gustoći  $\rho$  i toplinskoj vodljivosti  $\lambda$  s limitom  $100 \leq b \leq 2\,200$  [J/m<sup>2</sup>s<sup>0.5</sup>K]

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

gdje je

$O$  – faktor otvora ovisan o ukupnoj površini otvora  $A_v$ , prosječnoj visini otvora  $h_{eq}$  i ukupnoj površini odjeljka (pod, strop, zidovi uključujući otvore) s limitom  $0,02 \leq O \leq 0,20$  [m<sup>0.5</sup>]

$$\Gamma = \left( \frac{O/0,04}{b/1160} \right)^2$$

Zatim treba odrediti  $t_{lim}$  koji ovisi o stopi rasta požara i ima iznose za:

- spori požar  $t_{lim}=25$  min
- srednje brzi požar  $t_{lim}=20$  min
- brzi požar  $t_{lim}=15$  min.

$$t_{max} = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O$$

gdje je

$t_{max}$  – max. vrijeme trajanja faze zagrijavanja (točka max. temperature na krivulji)

$q_{t,d}$  – snaga požara koja se računa preko  $q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t$  [MJ/m<sup>2</sup>]

$q_{f,d}$  – vrijednost dana u tablici 27. za različite namjene prostora [MJ/m<sup>2</sup>]

| Occupancy                | Average | 80% Fractile |
|--------------------------|---------|--------------|
| Dwelling                 | 780     | 948          |
| Hospital (room)          | 230     | 280          |
| Hotel (room)             | 310     | 377          |
| Library                  | 1500    | 1824         |
| Office                   | 420     | 511          |
| Classroom of a school    | 285     | 347          |
| Shopping centre          | 600     | 730          |
| Theatre (cinema)         | 300     | 365          |
| Transport (public space) | 100     | 122          |

NOTE Gumbel distribution is assumed for the 80% fractile.

Tablica 27. Vrijednosti  $q_{t,d}$  za različite namjene prostora

Ako je  $t_{\max} > t_{\lim}$ :

onda je požar kontroliran ventilacijom i temperatura zagrijavanja do trenutka  $t=t_{\max}$  dana je izrazom

$$\theta_g = 20 + 1325 \left( 1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*} \right)$$

gdje je

$$t^* - t^* = \Gamma \cdot t$$

Temperatura u fazi hlađenja dana je izrazima

$$\theta_g = \theta_{\max} - 625(t^* - t_{\max}^*) \text{ za } t_{\max}^* \leq 0,5$$

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(3 - t_{\max}^*)(t^* - t_{\max}^*) \text{ za } 0,5 < t_{\max}^* < 2,0$$

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(t^* - t_{\max}^*) \text{ za } t_{\max}^* \geq 2,0$$

gdje je  $t_{\max}^* = \Gamma \cdot t_{\max}$

Ako je  $t_{\max} < t_{\lim}$ :

onda je faktor otvora  $O$  modificiran kao i  $\Gamma$

$$O_{\lim} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / t_{\lim}$$

$$\Gamma_{\lim} = \left( \frac{O_{\lim} / 0,04}{b / 1160} \right)^2$$

Ako je  $O > 0,04$  i  $q_{t,d} < 75$  i  $b < 1160$ ,  $\Gamma_{\lim}$  mora biti pomnožen sa faktorom  $k$  danim sljedećim izrazom

$$k = 1 + \left( \frac{O - 0,04}{0,04} \right) \left( \frac{q_{t,d} - 75}{75} \right) \left( \frac{1160 - b}{1160} \right)$$

Temperatura u fazi zagrijavanja koja traje do  $t=t_{\lim}$  računa se kao i u slučaju gdje je  $t_{\max} > t_{\lim}$  uz razliku  $t^* = t_{\lim}$ .

Temperatura u fazi hlađenja računa se po izrazu

$$\theta_g = \theta_{\max} - 625(t^* - t_{\lim}^*) \text{ za } t_{\max}^* \leq 0,5$$

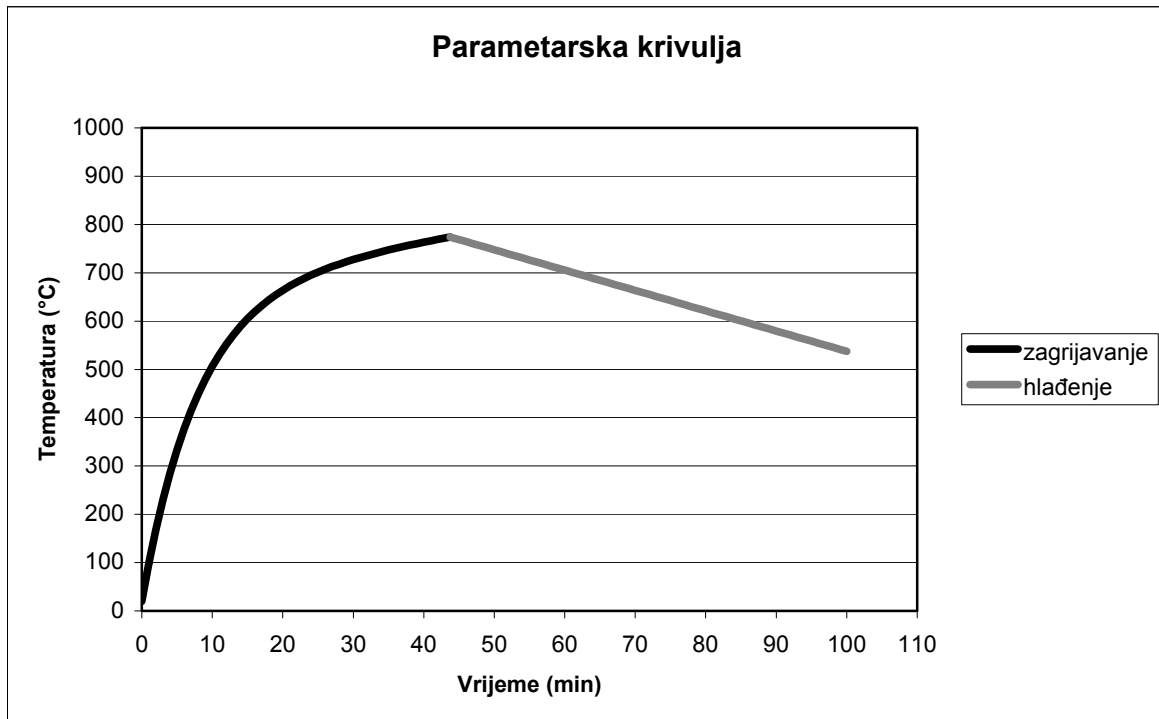
$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(3 - t_{\max}^*)(t^* - t_{\lim}^*) \text{ za } 0,5 < t_{\max}^* < 2,0$$

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(t^* - t_{\lim}^*) \text{ za } t_{\max}^* \geq 2,0$$

gdje je  $t_{\lim}^* = \Gamma_{\lim} \cdot t$

#### 6.4.1 Proračun parametarske krivulje za predmetnu konstrukciju

| PARAMETARSKA KRIVULJA           |             |   |                   |                |   |
|---------------------------------|-------------|---|-------------------|----------------|---|
| h=                              | 7,3         | m   | Visina stropa     |                |   |
| a=                              | 15,32       | m   |                   |                |   |
| b=                              | 31,67       | m   |                   |                |   |
| q <sub>f,k</sub> =              | 365         | MJ m <sup>-2</sup>                                  | Tablica 4 Annex E |                |   |
| A <sub>r</sub> =                | 485,1844    | m <sup>2</sup>                                      | površina odjeljka |                |   |
| δq <sub>1</sub> =               | 1,54        |   | tablica 1 Annex E |                |   |
| δq <sub>2</sub> =               | 1           |   |                   |                |   |
| δn=                             | 1           |   |                   |                |   |
| q <sub>f,d</sub> =              | 562,1       | MJ m <sup>-2</sup>                                  |                   |                |   |
| A <sub>t</sub> =                | 1656,4228   | m <sup>2</sup>                                      | Ukupna površina   |                |   |
| A <sub>v</sub> =                | 46          | m <sup>2</sup>                                      | površina otvora   |                |   |
|                                 | pod         |   |                   | strop i zidovi |   |
| ρ=                              | 2300        | kg/m <sup>3</sup>                                   |                   | ρ= 7850        | kg/m <sup>3</sup>                                   |
| c=                              | 840         | J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>                  |                   | c= 700         | J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>                  |
| λ=                              | 1,57        | W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>                   |                   | λ= 35          | W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>                   |
| b=                              | 1741,619936 | J m <sup>-2</sup> s <sup>-0,5</sup> K <sup>-1</sup> |                   | b= 2200        | J m <sup>-2</sup> s <sup>-0,5</sup> K <sup>-1</sup> |
|                                 |             |   | 100 ≤ b ≤ 2200    |                |   |
| b=                              | 2061,90033  | J m <sup>-2</sup> s <sup>-0,5</sup> K <sup>-1</sup> |                   |                |   |
| h <sub>eq</sub> =               | 2,64673913  | m   | visina otvora     |                |   |
| O=                              | 0,045179581 | m <sup>0,5</sup>                                    |                   |                |   |
| Γ=                              | 0,40378024  |   |                   |                |   |
| q <sub>t,d</sub> =              | 164,6452532 | MJ/m <sup>2</sup>                                   |                   |                |   |
| t=                              | 0,728848071 | sati  |                   |                |   |
| t <sub>lim</sub> =              | 0,2         | sati  |                   |                |   |
| t <sub>max</sub> =              | 0,728848071 | sati  |                   |                |   |
| t <sub>max</sub> <sup>*</sup> = | 0,294294449 |   |                   |                |   |
| Θ <sub>max</sub> =              | 774,0107385 | °C  |                   |                |   |

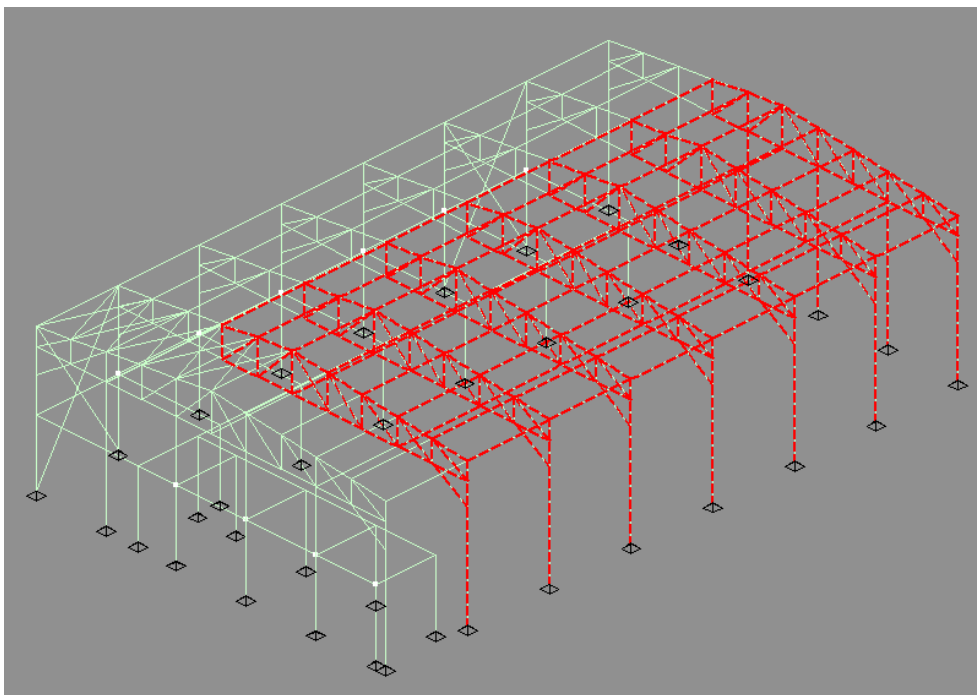


Slika 38. Parametarska krivulja za predmetnu konstrukciju

Parametarska krivulja koja je dobivena ubačena je u programski paket HEAT preko kojeg su dobivene temperature elemenata.

## 6.4.2 Proračun nosivosti za nezaštićene elemente

### 6.4.2.1 Prikaz opterećenja konstrukcije požarom parametarske krivulje



Slika 39. Prikaz opterećenja konstrukcije požarom parametarske krivulje

6.4.2.2 Temperature nezaštićenih elemenata dobivenih analizom požara primjenom parametarske krivulje i pripadajući koeficijenti redukcije

| TEMPERATURE ELEMENATA |          |                           |                |                |
|-----------------------|----------|---------------------------|----------------|----------------|
| Element               | Presjek  | Temperatura elementa (°C) | $k_{y,\theta}$ | $k_{E,\theta}$ |
| Stup A                | HEB300   | 384,604                   | 1              | 0,715          |
| Stup B                | HEB300   | 512,107                   | 0,742          | 0,565          |
| Zabat                 | HEB220   | 567,224                   | 0,572          | 0,405          |
| Donji pojas           | 180/80/4 | 678,857                   | 0,281          | 0,168          |
| Ispuna                | 100/80/4 | 681,167                   | 0,275          | 0,164          |
| Gornji pojas          | 180/80/4 | 629,134                   | 0,400          | 0,258          |
| Podrožnica            | 80/120/7 | 580,127                   | 0,532          | 0,368          |
| Pridržanje pojasa     | 80/80/4  | 682,083                   | 0,273          | 0,162          |

Tablica 28. Temperature nezaštićenih elemenata uslijed analize požara primjenom parametarske krivulje

6.4.2.3 Rezne sile nezaštićenih elemenata za kombinaciju djelovanja 1,0G+0,7K+1,0P

| REZNE SILE   |          |              |                 |                |                |
|--------------|----------|--------------|-----------------|----------------|----------------|
| Element      | Presjek  | Slučaj-okvir | $M_{fi,d}(kNm)$ | $V_{fi,d}(kN)$ | $N_{fi,d}(kN)$ |
| Stup B       | HEB300   | 1-2          | 297,98          | 84,76          | -100,98        |
| Zabat        | HEB220   | 1-8          | 34,29           | 32,87          | 16,88          |
| Donji pojas  | 180/80/4 | 1-8          | /               | /              | -136,29        |
|              |          | 1-2          | /               | /              | 14,91          |
| Gornji pojas | 100/80/4 | 1-2          | /               | /              | -131,34        |
|              |          | 1-2          | /               | /              | 106,83         |
| Ispune       | 100/80/4 | 1-2          | /               | /              | -170,17        |
|              |          | 1-8          | /               | /              | 193,50         |

Tablica 29. Rezne sile nezaštićenih elemenata uslijed analize požara primjenom parametarske krivulje

6.4.2.4 Rezultati provjere nosivosti nezaštićenih elemenata za požar parametarske krivulje

Dimenzioniranje je provedeno prema postupku koji je objašnjen u dijelu 6.2.1.4.

| REZULTATI DIMENZIONIRANJA |          |                        |        |                         |              |               |               |
|---------------------------|----------|------------------------|--------|-------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Element                   | Presjek  | OTPORNOST PRESJEKA (%) |        | OTPORNOST ELEMENATA (%) |              |               |               |
|                           |          | Savijanje              | Posmik | Savijanje               | Uzdužna sila | M+N-izvijanje | M+N+izvijanje |
| Stup okvira               | HEB300   | 91,4                   | 17,7   | 141,2                   | 6,9          | 101,8         | 152,4         |
| Zabat                     | HEB220   | 30,8                   | 15,2   | 54                      | 1,5          | /             | 55,9          |
|                           |          | Tlak                   | Vlak   | Izvijanje               |              |               |               |
| Gornji pojas              | 180/80/4 | 71,8                   | 58,4   | 90,3                    |              |               |               |
| Donji pojas               | 180/80/4 | 106                    | 11,6   | 133,3                   |              |               |               |
| Ispuna                    | 100/80/4 | 201,4                  | 229,1  | 297,8                   |              |               |               |

Tablica 30. Rezultati provjere nosivosti uslijed analize požara primjenom parametarske krivulje na nezaštićene elemente

### 6.4.3 Proračun nosivosti za zaštićene elemente

Iako su pojedini elementi zadovoljili bez zaštite na njima je predviđena protupožarna zaštita jer se u elementima konstrukcije koje nisu zahvaćene požarom javljaju velike uzdužne sile na koje pojedini elementi ne bi zadovoljili. Veće rezne sile se javljaju npr. jer se ravninska rešetka direktno oslanja na zabatni stup gdje se prenose velike sile koje su se isto tako mogle izbjeći oslobađanjem utjecaja na zabatu.

6.4.3.1 Temperature zaštićenih elemenata dobivenih analizom požara primjenom parametarske krivulje i pripadajući koeficijenti redukcije

| TEMPERATURE ELEMENATA |          |                           |                |                |
|-----------------------|----------|---------------------------|----------------|----------------|
| Element               | Presjek  | Temperatura elementa (°C) | $k_{y,\theta}$ | $k_{E,\theta}$ |
| Stup A                | HEB300   | 106,369                   | 1              | 0,994          |
| Stup B                | HEB300   | 153,445                   | 1              | 0,947          |
| Zabat                 | HEB220   | 181,912                   | 1              | 0,918          |
| Donji pojas           | 180/80/4 | 301,714                   | 1              | 0,798          |
| Ispuna                | 100/80/4 | 307,503                   | 1              | 0,792          |
| Gornji pojas          | 180/80/4 | 228,591                   | 1              | 0,871          |
| Podrožnica            | 80/120/7 | 189,929                   | 1              | 0,910          |
| Pridržanje pojasa     | 80/80/4  | 309,924                   | 1              | 0,790          |

Tablica 31. Temperature zaštićenih elemenata uslijed požara parametarske krivulje

6.4.3.2 Rezne sile zaštićenih elemenata za kombinaciju 1,0G+0,7K+1,0P

| REZNE SILE   |          |              |                 |                |                |
|--------------|----------|--------------|-----------------|----------------|----------------|
| Element      | Presjek  | Slučaj-okvir | $M_{fi,d}(kNm)$ | $V_{fi,d}(kN)$ | $N_{fi,d}(kN)$ |
| Stup B       | HEB300   | 1- 2         | 257,97          | 84,79          | -102,51        |
| Zabat        | HEB220   | 1-8          | 54,10           | 55,39          | -43,77         |
| Donji pojas  | 180/80/4 | 1-8          | /               | /              | -241,18        |
|              |          | 1-3          | /               | /              | 20,14          |
| Gornji pojas | 100/80/4 | 1-2          | /               | /              | -108,60        |
|              |          | 1-8          | /               | /              | 220,17         |
| Ispune       | 100/80/4 | 1-2          | /               | /              | -217,68        |
|              |          | 1-2          | /               | /              | 51,21          |

Tablica 32. Rezne sile zaštićenih elemenata uslijed analize požara primjenom parametarske krivulje



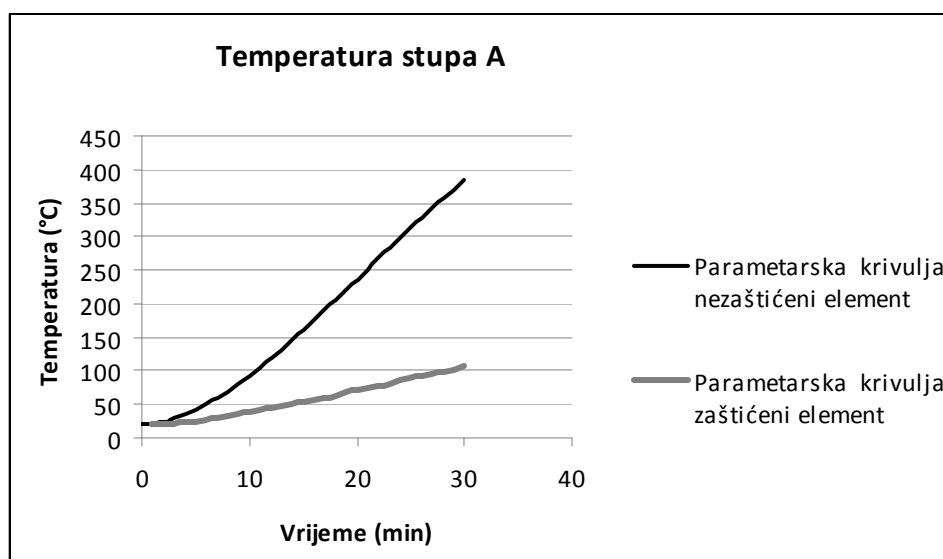
## 6.4.3.3 Rezultati provjere nosivosti zaštićenih elemenata za požar parametarske krivulje

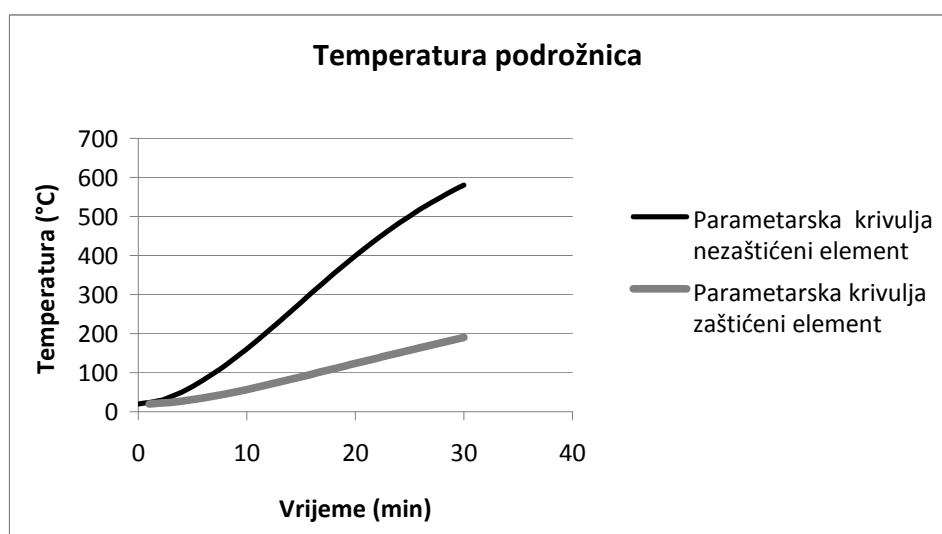
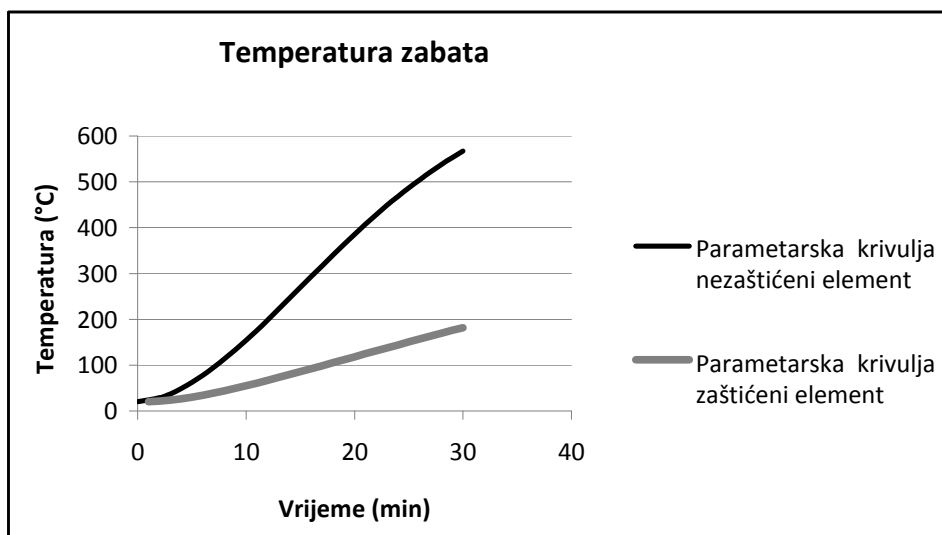
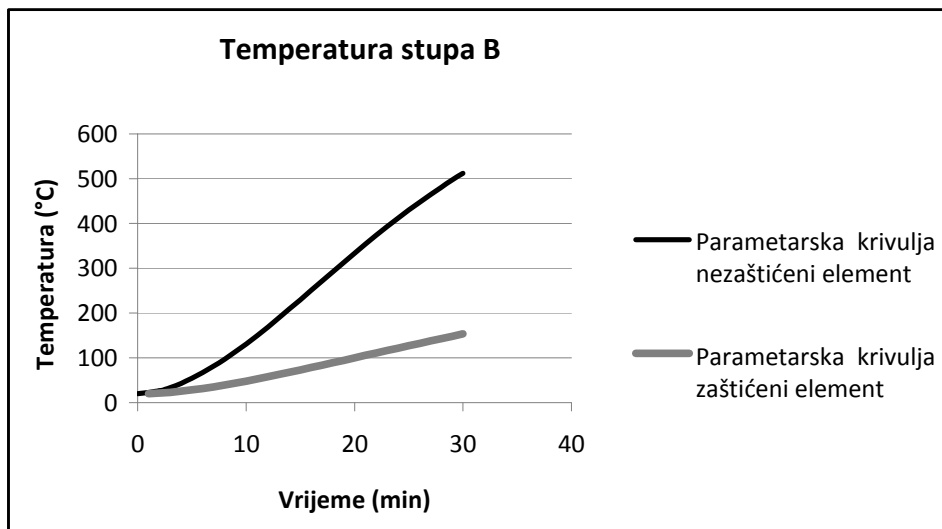
Dimenzioniranje je provedeno prema postupku koji je objašnjen u dijelu 6.2.1.4.

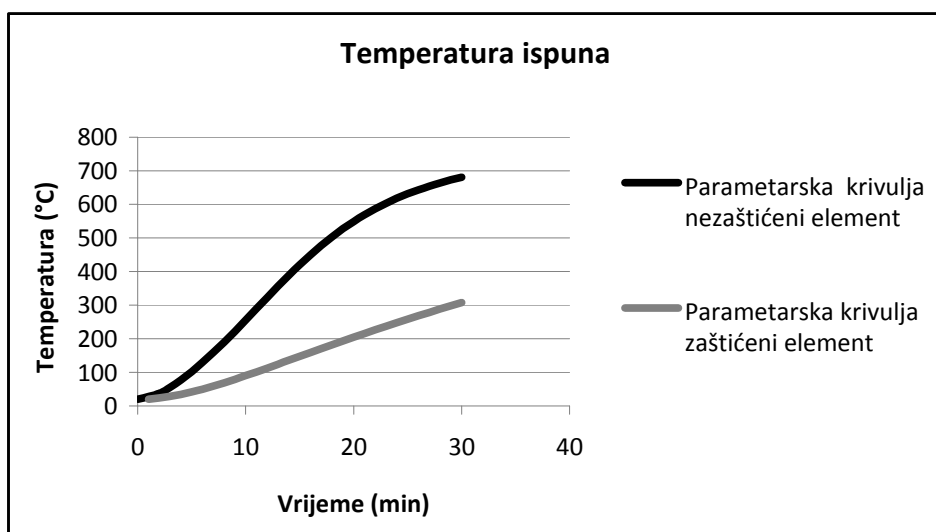
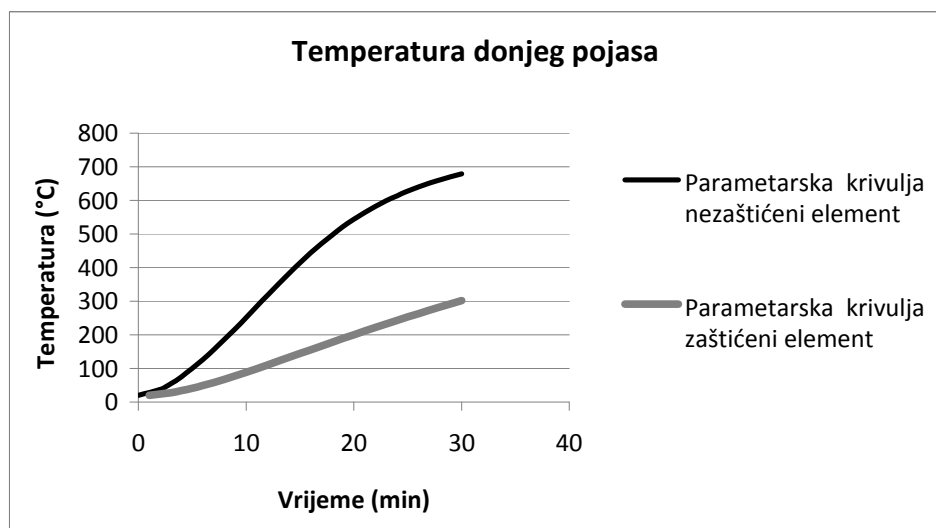
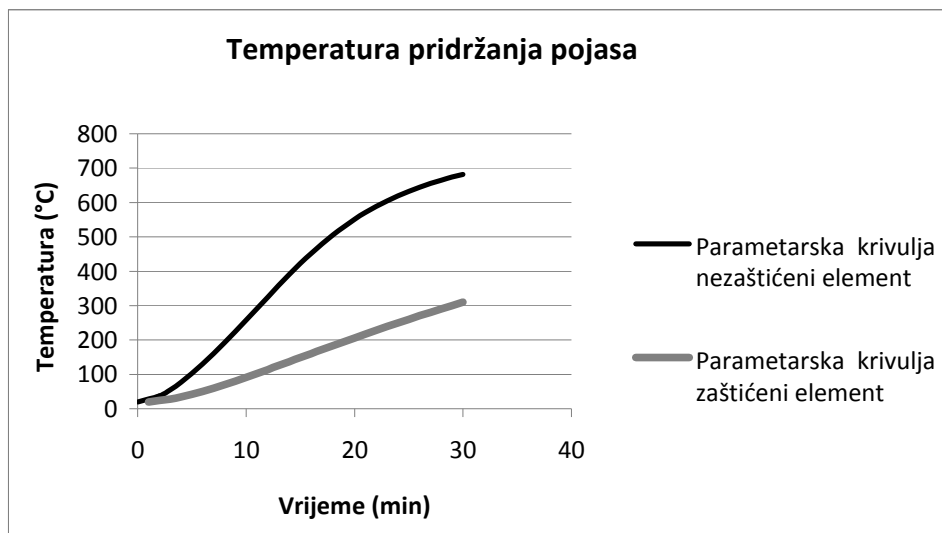
| REZULTATI DIMENZIONIRANJA |          |                        |        |                        |              |               |               |
|---------------------------|----------|------------------------|--------|------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Element                   | Presjek  | OTPORNOST PRESJEKA (%) |        | OTPORNOST ELEMENTA (%) |              |               |               |
|                           |          | Savijanje              | Posmik | Savijanje              | Uzdužna sila | M+N-izvijanje | M+N+izvijanje |
| Stup okvira               | HEB300   | 58,7                   | 13,2   | 86,7                   | 4,8          | 64,8          | 93,4          |
| Zabat                     | HEB220   | 27,8                   | 14,6   | 43                     | 4,9          | 33,6          | 48,6          |
|                           |          | Tlak                   | Vlak   | Izvijanje              |              |               |               |
| Gornji pojas              | 180/80/4 | 23,7                   | 48,1   | 29,9                   |              |               |               |
| Donji pojas               | 180/80/4 | 52,7                   | 4,4    | 66,3                   |              |               |               |
| Ispuna                    | 100/80/4 | 70,9                   | 16,7   | 104,8                  |              |               |               |

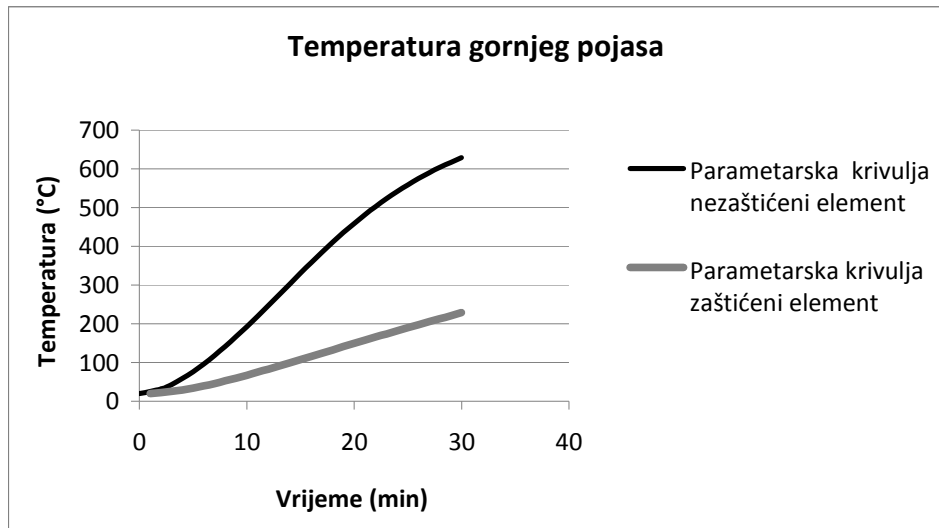
Tablica 33. Temperature zaštićenih elemenata uslijed analize požara primjenom parametarske krivulje

## 6.4.4 Usporedbe temperatura elemenata dobivenih analizom požara primjenom parametarske krivulje za nezaštićene i zaštićene elemente



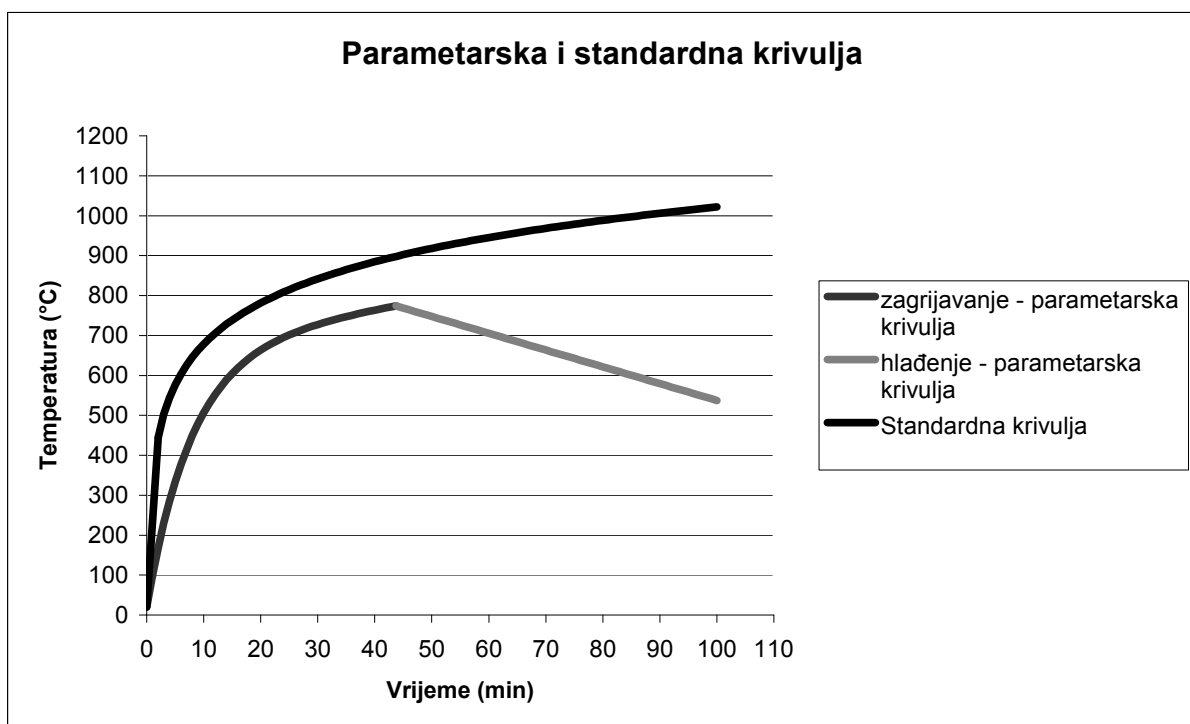






#### 6.4.5 Usporedba temperatura elemenata dobivenih analizom požara primjenom standardne krivulju, lokaliziranog požara i parametarske krivulje

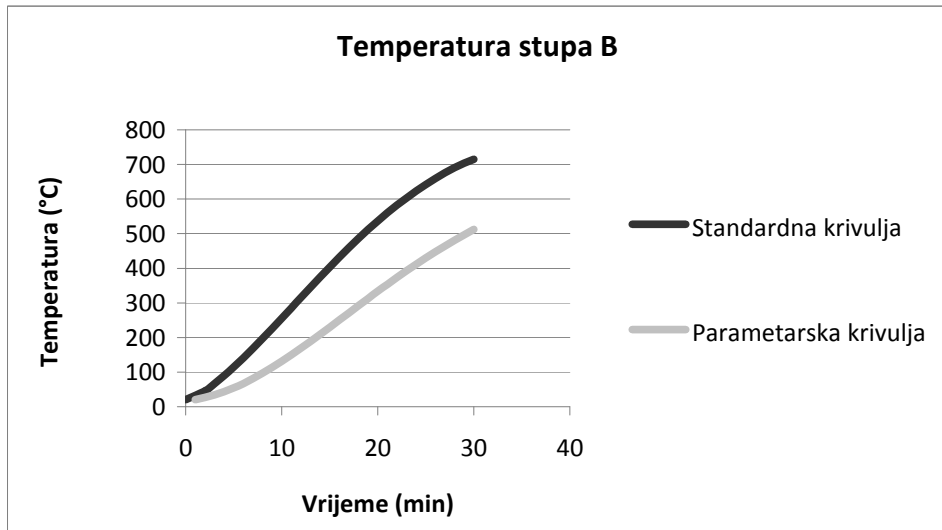
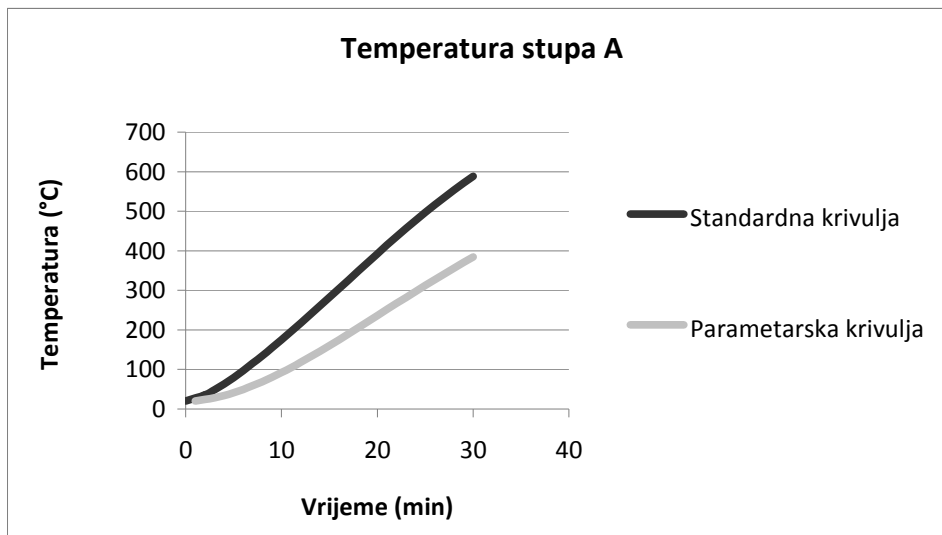
##### 6.4.5.1 Usporedba standardne krivulje i parametarske krivulje

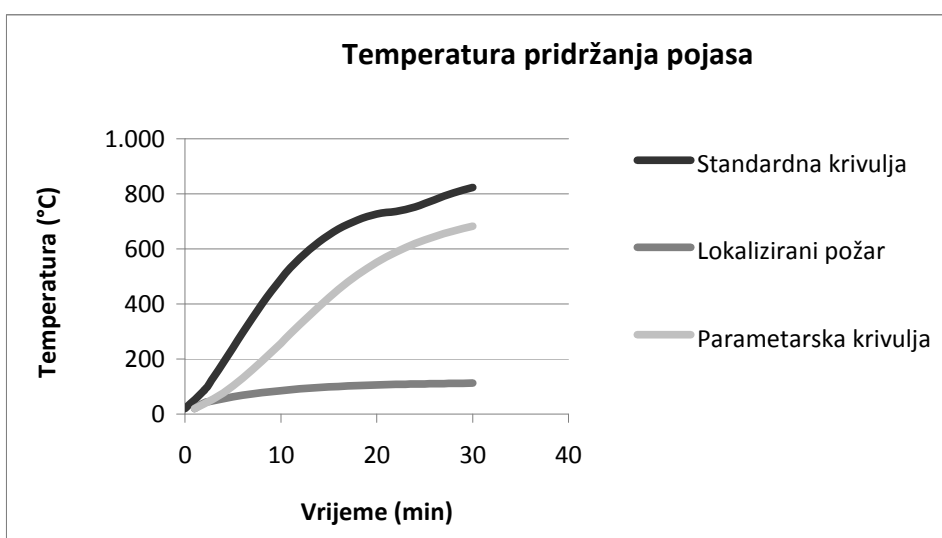
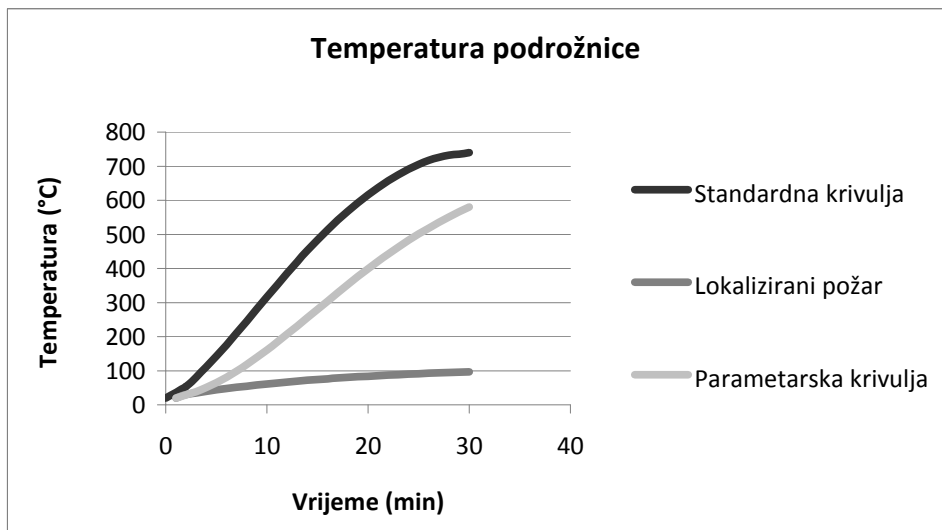
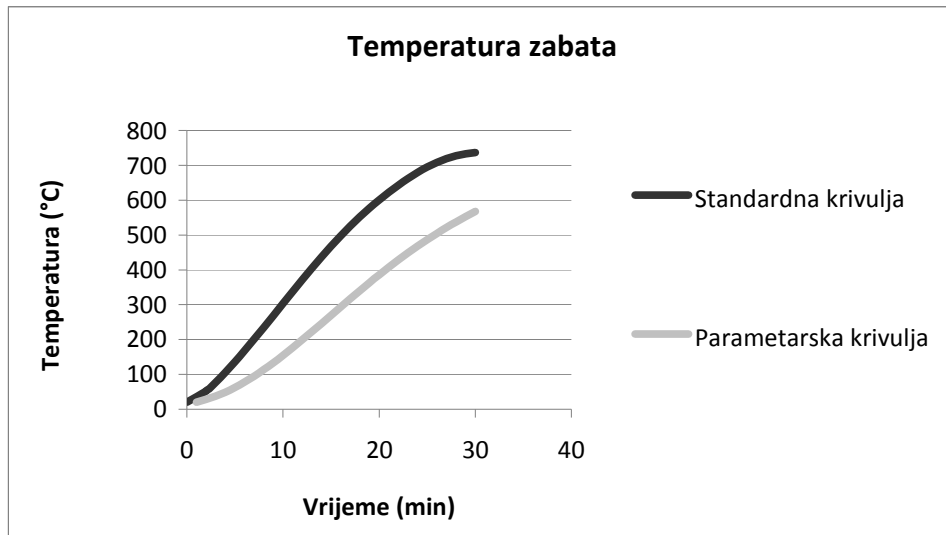


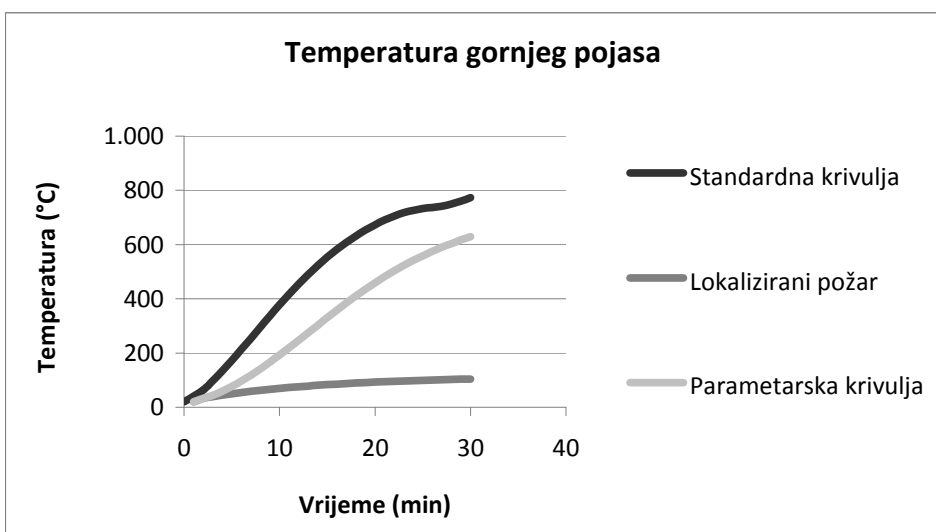
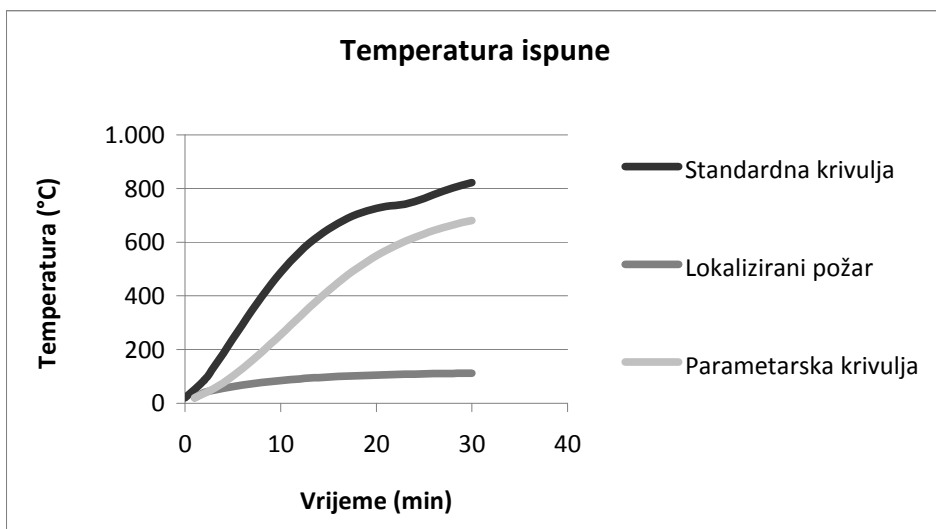
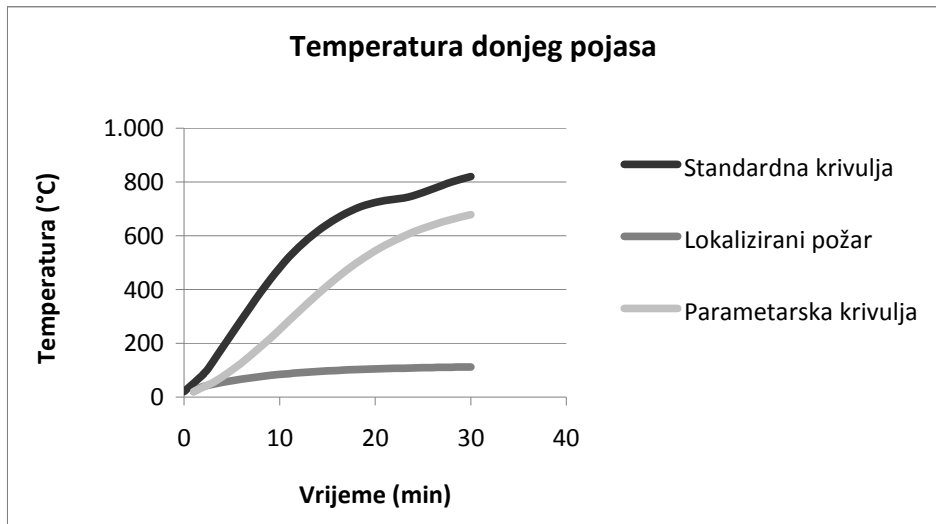
Slika 40. Usporedba standardne i parametarske krivulje

## 6.4.5.2 Usporedba temperatura za nezaštićene elemente

Temperature dobivene analizom požara primjenom standardne krivulje i lokaliziranog požara prikazane su za 6. slučaj opterećenja. Stup A, stup B i zabat kod lokaliziranog požara nisu bili zahvaćeni požarom što se može vidjeti na slici 38.







## 7. ZAKLJUČAK

Za predmetnu konstrukciju na kojoj je provedena požarna analiza primjenom standardne krivulje, lokaliziranog požara i parametarske krivulje uočena je velika razlika između temperatura elemenata dobivenih pojedinim požarnim modelima.

Parametarskom krivuljom koja daje jednaku temperaturu požara neovisno o mjestu na kojem je požar pozicioniran u konstrukciji, dobivene su temperature elemenata sa kojima bi konstrukcija doživjela havariju jer su pojedine iskoristivosti elementa višestruko premašivale moguću nosivost. Za ovaj slučaj predviđena je zaštita sa čijim parametrima se ušlo u proračun nakon čega su svi elementi zadovoljili uvjet nosivosti.

Primjenom lokaliziranog požara pozicioniranog na istim mjestima kao i kod analize požara primjenom standardne krivulje nakon provedene analize dobivene su temperature elemenata koje su višestruko manje nego temperature dobivene parametarskom krivuljom. Sa tim temperaturama napravljena je analiza nosivosti konstrukcije gdje su dobiveni rezultati po kojima svi elementi imaju dostatnu nosivost, što znači da prema analizi lokaliziranog požara uopće nije potrebno predvidjeti protupožarnu zaštitu.

Nadalje, primjenom parametarske krivulje kojom je dobivena temperatura požara nešto niža od temperature požara dobivene standardnom krivuljom, dobivene su nešto manje temperature elemenata kojima je izvršena analiza nosivosti gdje su dobiveni rezultati kojima bi možda bilo moguće samo djelomično štititi konstrukciju što bi trebalo detaljnije istražiti uz korištenje naprednijeg požarnog modela.

Dakle, uspoređujući ova tri načina proračuna požara zaključujemo da nam analiza lokaliziranog požara daje najpovoljnije rezultate u pogledu protupožarne zaštite čime je u odnosu na uvriježenu analizu primjenom standardne krivulje nosivost konstrukcije daleko povoljnija a samim time je i konstrukcija financijski isplativija.



## 8. PRILOZI

Prilog 1: Plan pozicija, M 1:200

Prilog 2: Poprečni presjek, M 1:100

Prilog 3: Radionički nacrt karakterističnog okvira, M 1:25

Prilog 4: Iskaz materijala karakterističnog okvira

Prilog 5: Iskaz materijala za cijelu konstrukciju

Prilog 6: Detalji A i B

Prilog 7: Detalji C, D i E

Prilog 8: Detalji F i G

Prilog 9: Detalj H

## 9. SLIKE

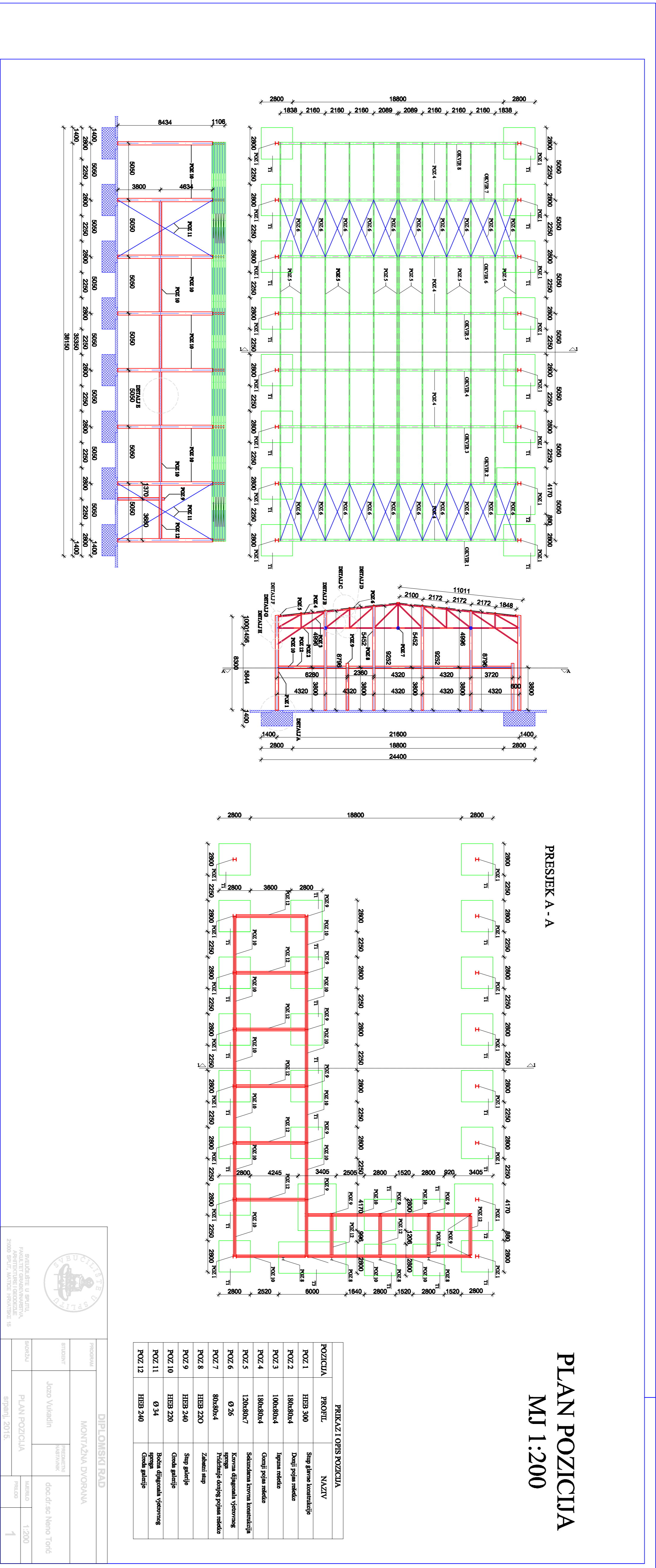
|   |     |
|---|-----|
| SLIKA 1. KARTA PODRUČJA ZA OPTEREĆENJE SNIJEGOM.....  | 7   |
| SLIKA 2. ZEMLJOVID PODRUČJA OPTEREĆENJA VJETROM .....   | 8   |
| SLIKA 3. ZONE DJELOVANJA TLAKA ZA $\Theta=0^\circ$ .....  | 9   |
| SLIKA 4. ZONE DJELOVANJA TLAKA ZA $\Theta=90^\circ$ .....   | 10  |
| SLIKA 5. ZONE DJELOVANJA VJETRA NA ZIDOVE.....  | 11  |
| SLIKA 6. IZOMETRIJSKI POGLED NA PRORAČUNSKI MODEL .....   | 14  |
| SLIKA 7. POGLED SPRIJEDA NA PRORAČUNSKI MODEL .....   | 15  |
| SLIKA 8. POGLED S LIJEVA NA PRORAČUNSKI MODEL .....   | 15  |
| SLIKA 9. PRIKAZ REZULTATA ZA KARAKTERISTIČNI OKVIR (OKVIR 5, KOMBINACIJA ZA KGS 9) - MOMENT (kNm)17           | 17  |
| SLIKA 10. PRIKAZ REZULTATA ZA KARAKTERISTIČNI OKVIR (OKVIR 5, KOMBINACIJA ZA KGS 9) –UZDUŽNA SILA (kN).....   | 18  |
| SLIKA 11. PRIKAZ REZULTATA ZA KARAKTERISTIČNI OKVIR (OKVIR 5, KOMBINACIJA ZA KGS 9) – POPREČNA SILA (kN)..... | 18  |
| SLIKA 12. POPREČNI PRESJEK KROZ PRIKLJUČAK STUP - TEMELJ .....  | 41  |
| SLIKA 13. PLOČA I POLOŽAJ VIJAKA KOD MONTAŽNOG NASTAVKA GORNJEG POJASA REŠETKE .....                          | 43  |
| SLIKA 14. PLOČA I POLOŽAJ VIJAKA KOD MONTAŽNOG NASTAVKA DONJEG POJASA REŠETKE .....                           | 45  |
| SLIKA 15. PLOČA I POLOŽAJ VIJAKA KOD MONTAŽNOG NASTAVKA ISPUNE REŠETKE.....                                   | 47  |
| SLIKA 16. PLOČA I POLOŽAJ VIJAKA KOD PRILJUČKA STUP-DONJI POJAS-ISPUNA .....                                  | 49  |
| SLIKA 17. PLOČA I POLOŽAJ VIJAKA KOD PRIKLJUČKA STUP-GORNJI POJAS .....                                       | 52  |
| SLIKA 18. PLOČA I POLOŽAJ VIJAKA PRIKLJUČKA STUP - ISPUNA .....   | 54  |
| SLIKA 20. GLOBALNI KONCEPT SIGURNOSTI KONSTRUKCIJA U POŽARU .....   | 55  |
| SLIKA 21. FAZE RAZVOJA POŽARA .....   | 55  |
| SLIKA 22. PRIKAZ IZLOŽENOSTI ELEMENATA PREDMETNE KONSTRUKCIJE POŽARU .....                                    | 57  |
| SLIKA 23. KRIVULJA STANDARDNOG POŽARA PREDMETNE KONSTRUKCIJE .....  | 58  |
| SLIKA 24. 1. SLUČAJ OPTEREĆENJA KONSTRUKCIJE ZAHVAĆENE POŽAROM STANDARDNE KRIVULJE.....                       | 59  |
| SLIKA 25. 2. SLUČAJ OPTEREĆENJA KONSTRUKCIJE ZAHVAĆENE POŽAROM STANDARDNE KRIVULJE.....                       | 59  |
| SLIKA 26. 3. SLUČAJ OPTEREĆENJA KONSTRUKCIJE ZAHVAĆENE POŽAROM STANDARDNE KRIVULJE.....                       | 60  |
| SLIKA 27. 4. SLUČAJ OPTEREĆENJA KONSTRUKCIJE ZAHVAĆENE POŽAROM STANDARDNE KRIVULJE.....                       | 60  |
| SLIKA 28. 5. SLUČAJ OPTEREĆENJA KONSTRUKCIJE ZAHVAĆENE POŽAROM STANDARDNE KRIVULJE.....                       | 61  |
| SLIKA 29. 6. SLUČAJ OPTEREĆENJA KONSTRUKCIJE ZAHVAĆENE POŽAROM STANDARDNE KRIVULJE.....                       | 61  |
| SLIKA 30. PRIKAZ LOKALIZIRANOG POŽARA KAD PLAMEN NE DOSEŽE STROP.....   | 72  |
| SLIKA 31. PRIKAZ LOKALIZIRANOG POŽARA KAD PLAMEN DOSEŽE STROP.....  | 72  |
| SLIKA 32. PRIMJER KAKO SU OPTEREĆENI ELEMENTI KOJI SU ZAHVAĆENI LOKALIZIRANIM POŽAROM.....                    | 74  |
| SLIKA 33. 1. SLUČAJ OPTEREĆENJA LOKALIZIRANIM POŽAROM .....   | 75  |
| SLIKA 34. 2. SLUČAJ OPTEREĆENJA LOKALIZIRANIM POŽAROM .....   | 75  |
| SLIKA 35. 3. SLUČAJ OPTEREĆENJA LOKALIZIRANIM POŽAROM .....   | 76  |
| SLIKA 36. 4. SLUČAJ OPTEREĆENJA LOKALIZIRANIM POŽAROM .....   | 76  |
| SLIKA 37. 5. SLUČAJ OPTEREĆENJA LOKALIZIRANIM POŽAROM .....   | 77  |
| SLIKA 38. 6. SLUČAJ OPTEREĆENJA LOKALIZIRANIM POŽAROM .....   | 77  |
| SLIKA 39. PARAMETARSKA KRIVULJA ZA PREDMETNU KONSTRUKCIJU .....   | 94  |
| SLIKA 40. PRIKAZ OPTEREĆENJA KONSTRUKCIJE POŽAROM PARAMETARSKA KRIVULJE .....                                 | 94  |
| SLIKA 41. USPOREDBA STANDARDNE I PARAMETARSKA KRIVULJE .....  | 100 |

## 10. TABLICE

|   |    |
|---|----|
| TABLICA 1. PARAMETRI PROTUPOŽARNE ZAŠTITE .....   | 5  |
| TABLICA 2. KOEFICIJENTI VANJSKOG TLAKA ZA RAVNI KROV (+) USMJEREN PREMA DOLJE, (-) USMJEREN PREMA GORE .....  | 9  |
| TABLICA 3. UNUTARNJI TLAK NA KONSTRUKCIJU ZA $\Theta=0^\circ$ .....   | 9  |
| TABLICA 4. DJELOVANJE VJETRA ZA $\Theta=0^\circ$ .....  | 10 |
| TABLICA 5. KOEFICIJENTI VANJSKOG TLAKA ZA RAVNI KROV (+) USMJEREN PREMA DOLJE, (-) USMJEREN PREMA GORE .....  | 10 |
| TABLICA 6. UNUTARNJI TLAK NA KONSTRUKCIJU ZA $\Theta=90^\circ$ .....  | 10 |
| TABLICA 7. DJELOVANJE VJETRA ZA $\Theta=90^\circ$ .....   | 11 |
| TABLICA 8. KOEFICIJENT VANJSKOG TLAKA NA ZIDOVE (+) DJELUJE NA ZID, (-) DJELUJE OD ZIDA .....   | 11 |
| TABLICA 9. UNUTARNJI TLAK NA KONSTRUKCIJU ZA $\Theta=0^\circ$ .....   | 11 |
| TABLICA 10. DJELOVANJE VJETRA ZA $\Theta=0^\circ$ .....   | 12 |
| TABLICA 11. REZNE SILE ZA KGS.....  | 17 |
| TABLICA 12. FAKTORI OBLIKA POPREČNIH PRESJEKA ZA PREDMETNU KONSTRUKCIJU .....   | 57 |
| TABLICA 13. TEMPERATURE NEZAŠTIĆENIH ELEMENATA USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM STANDARDNE KRIVULJE.....  | 62 |
| TABLICA 14. REZNE SILE NEZAŠTIĆENIH ELEMENATA USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM STANDARDNE KRIVULJE.....   | 62 |
| TABLICA 15. REZULTATI PROVJERE NOSIVOSTI USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM STANDARDNE KRIVULJE NA NEZAŠTIĆENE ELEMENTE .....                                 | 65 |
| TABLICA 16. TEMPERATURE ZAŠTIĆENIH ELEMENATA USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM STANDARDNE KRIVULJE.....  | 65 |
| TABLICA 17. REZNE SILE ZAŠTIĆENIH ELEMENATA USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM STANDARDNE KRIVULJE .....  | 66 |
| TABLICA 18. REZULTATI PROVJERE NOSIVOSTI USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM STANDARDNE KRIVULJE NA ZAŠTIĆENE ELEMENTE .....                                   | 66 |
| TABLICA 19. PREPORUČENE VRIJEDNOSTI $T_A$ I $RHR_F$ ZA RAZLIČITE NAMJENE PROSTORA.....  | 72 |
| TABLICA 20. PRORAČUN TEMPERATURA LOKALIZIRANOG POŽARA .....   | 78 |
| TABLICA 21. TEMPERATURE ELEMENATA DOBIVENIH ANALIZOM LOKALIZIRANIH POŽARA.....  | 78 |
| TABLICA 22. TEMPERATURE KOJIMA SU OPTEREĆENI ELEMENTI U PRORAČUNU OTPORNOSTI ELEMENATA NA LOKALIZIRANI POŽAR SA PRIPADAJUĆIM KOEFICIJENTIMA REDUKCIJE ..... | 79 |
| TABLICA 23. REZNE SILE NEZAŠTIĆENIH ELEMENATA USLIJED ANALIZE LOKALIZIRANOG POŽARA .....  | 79 |
| TABLICA 24. REZULTATI PROVJERE NOSIVOSTI USLIJED ANALIZE LOKALIZIRANOG POŽARA NA NEZAŠTIĆENE ELEMENTE .....   | 79 |
| TABLICA 25. PRORAČUN TEMPERATURA LOKALIZIRANOG POŽARA SA VEĆIM D.....   | 83 |
| TABLICA 26. TEMPERATURE NEZAŠTIĆENIH ELEMENATA ZA 3.SLUČAJ OPTEREĆENJA ANALIZOM VIŠE LOKALIZIRANIH POŽARA.....  | 84 |
| TABLICA 27. VRIJEDNOSTI $Q_{F,D}$ ZA RAZLIČITE NAMJENE PROSTORA .....   | 92 |
| TABLICA 28. TEMPERATURE NEZAŠTIĆENIH ELEMENATA USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM PARAMETARSKJE KRIVULJE.....   | 95 |
| TABLICA 29. REZNE SILE NEZAŠTIĆENIH ELEMENATA USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM PARAMETARSKJE KRIVULJE.....  | 95 |
| TABLICA 30. REZULTATI PROVJERE NOSIVOSTI USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM PARAMETARSKJE KRIVULJE NA NEZAŠTIĆENE ELEMENTE .....                              | 95 |
| TABLICA 31. TEMPERATURE ZAŠTIĆENIH ELEMENATA USLIJED POŽARA PARAMETARSKJE KRIVULJE .....  | 96 |
| TABLICA 32. REZNE SILE ZAŠTIĆENIH ELEMENATA USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM PARAMETARSKJE KRIVULJE.....  | 96 |
| TABLICA 33. TEMPERATURE ZAŠTIĆENIH ELEMENATA USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM PARAMETARSKJE KRIVULJE.....   | 97 |

## 11. LITERATURA

1. Franssen J., Kodur V., Zaharia R., Designing steel structures for fire safety, CRC Press, 2009.
2. EN 1991-1-2;2002, Eurocode 1 – Action on Structures – Part 1-2: General Actions – Actions on structures exposed to fire, European Committee for Standardization, Brussel, 2002.
3. HRN EN 1993-1-2:2008, Eurokod 3 – Projektiranje čeličnih konstrukcija - Dio 1-2: Opća pravila – Proračun konstrukcije na djelovanje požara, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 2008.
4. EN 1998, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, European Committee for Standardization, Brussel, 2002.
5. Torić N., Proračun požarne otpornosti čeličnih konstrukcija prema EN 1993-1-2 (zapisi sa predavanja), Split, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split, 2014.
6. Torić N., Primjeri proračuna požarne otpornosti čeličnih elemenata (zapisi sa predavanja), Split, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split, 2014.
7. Peroš B. Boko I., Sigurnost konstrukcija u požaru, Split, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split, 2015.
8. Boko I., Torić N., Peroš B., Analiza proračunskih modela provođenja topline iz EN1993-1-2, Građevinar 64 (2012) 4, 285-292.



**DIPLOMSKI RAD**  
MONTAŽNA DVOKANA

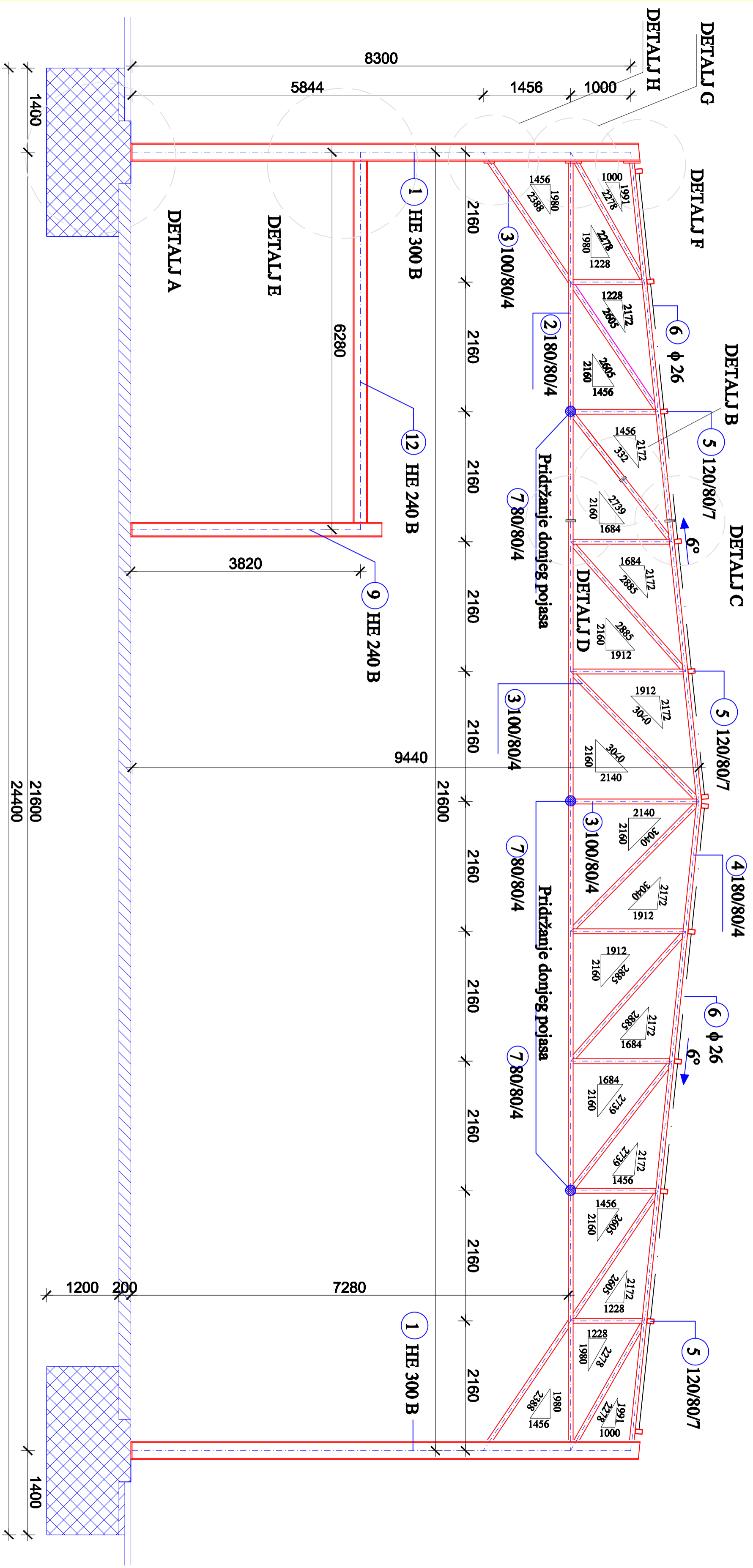
PROJEKTOVANJE I STRUKTURNO  
INŽINJERING I DRUGI VEŠTAČENSKI  
POSLOVI GRAĐEVINARSTVA I  
POSREDOVANJE U PROMETU NEKRETNIM  
DOPUNJENJE IZOBILJEŽJA  
IZ OBLASTI GRAĐEVINARSTVA I  
POSREDOVANJE U PROMETU NEKRETNIM

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| PROJEKTOVANJE                                      | DR. sc. Dr. sc. Nenao Tadić |
| STRUKTURNO INŽINJERING I DRUGI VEŠTAČENSKI POSLOVI | DR. sc. Dr. sc. Nenao Tadić |
| PROJEKTOVANJE                                      | DR. sc. Dr. sc. Nenao Tadić |
| STRUKTURNO INŽINJERING I DRUGI VEŠTAČENSKI POSLOVI | DR. sc. Dr. sc. Nenao Tadić |

PLAN POZICIJA  
1:200  
1

septembar 2015.

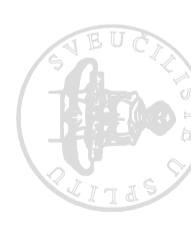
PRESJEK 1 - 1



POPREČNI PRESJEK  
M 1:50

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT


PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

|   |               |   |                    |
|---|---------------|---|--------------------|
|  |               | <b>DIPLOMSKI RAD</b><br>MONTAŽNA DVIORANA |                    |
| PROJEKCIJA  | PROJEKTOVALAC | PROJEKTOVALAC                             | PROJEKTOVALAC      |
| STRUKTURA   | Jaco Vukadin  | STRUKTURA                                 | dr. sc. Nino Todić |
| POPREČNI PRESJEK  |               | POPREČNI PRESJEK                          |                    |
| srpanj, 2015.   |               | br. 2                                     |                    |



## Iskaz materijala karakterističnog okvira

| ISKAZ MATERIJALA KARAKTERISTIČNOG OKVIRA |          |     |        |                             |                |
|--|----------|-----|--------|-----------------------------|----------------|
| STUP                                     |          |     |        |                             |                |
| POZ                                      | PROFIL   | KOM | L (m)  | J. MASA (kg/m)              | MASA(kg)       |
| 11                                       | HEB 300  | 2   | 8,457  | 117,00                      | 1978,94        |
|  |          |     |        | UKUPNO                      | 1978,94        |
| SEGMENT 1                                |          |     |        |                             |                |
| 2-1                                      | 180x80x4 | 1   | 5,932  | 15,29                       | 90,70          |
| 3-1                                      | 100x80x4 | 1   | 2,388  | 10,26                       | 24,50          |
| 3-2                                      | 100x80x4 | 1   | 2,278  | 10,26                       | 23,34          |
| 3-3                                      | 100x80x4 | 1   | 1,228  | 10,26                       | 12,60          |
| 3-4                                      | 100x80x4 | 1   | 2,605  | 10,26                       | 26,73          |
| 3-5                                      | 100x80x4 | 1   | 1,456  | 10,26                       | 14,94          |
| 3-6                                      | 100x80x4 | 1   | 1,365  | 10,26                       | 14,00          |
| 4-1                                      | 180x80x4 | 1   | 5,958  | 15,29                       | 91,10          |
|  |          |     |        | UKUPNO                      | 297,21         |
| SEGMENT 2                                |          |     |        |                             |                |
| 2-2                                      | 180x80x4 | 1   | 5,932  | 15,29                       | 90,70          |
| 3-1                                      | 100x80x4 | 1   | 2,388  | 10,26                       | 24,50          |
| 3-2                                      | 100x80x4 | 1   | 2,278  | 10,26                       | 23,34          |
| 3-3                                      | 100x80x4 | 1   | 1,228  | 10,26                       | 12,60          |
| 3-4                                      | 100x80x4 | 1   | 2,605  | 10,26                       | 26,73          |
| 3-5                                      | 100x80x4 | 1   | 1,456  | 10,26                       | 14,94          |
| 3-7                                      | 100x80x4 | 1   | 1,397  | 10,26                       | 14,33          |
| 3-8                                      | 100x80x4 | 1   | 1,684  | 10,26                       | 17,28          |
| 3-9                                      | 180x80x4 | 1   | 2,885  | 10,26                       | 29,60          |
| 3-10                                     | 180x80x4 | 1   | 1,912  | 15,29                       | 29,23          |
| 3-11                                     | 100x80x4 | 1   | 3,040  | 10,26                       | 31,19          |
| 3-12                                     | 100x80x4 | 1   | 2,140  | 10,26                       | 23,34          |
| 3-13                                     | 100x80x4 | 1   | 3,040  | 10,26                       | 31,19          |
| 3-14                                     | 100x80x4 | 1   | 1,912  | 10,26                       | 29,23          |
| 3-15                                     | 100x80x4 | 1   | 2,885  | 10,26                       | 29,60          |
| 3-16                                     | 100x80x4 | 1   | 1,684  | 10,26                       | 17,28          |
| 3-17                                     | 100x80x4 | 1   | 2,793  | 10,26                       | 28,66          |
| 4-2                                      | 180x80x4 | 1   | 4,655  | 15,29                       | 71,17          |
| 4-3                                      | 180x80x4 | 1   | 10,679 | 15,29                       | 163,28         |
|  |          |     |        | UKUPNO                      | 708,19         |
|  |          |     |        | UKUPNO OKVIR                | 2984,34        |
|  |          |     |        | SPOJNA SREDSTVA 2%          | 59,68          |
|  |          |     |        | <b>UKUPNA MASA OKVIRA Σ</b> | <b>3044,02</b> |

|   |                  |                       |                  |                      |  |
|---|------------------|-----------------------|------------------|----------------------|--|
|  <p>SVUČILIŠTE U SPLITU<br/>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA<br/>ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br/>21000 SPLIT, MATIĆE HRVATSKJE 16</p> |                  |                       |                  | <b>DIPLOMSKI RAD</b> |  |
|   |                  |                       |                  | MONTAŽNA DVORANA     |  |
| PROGRAM   |                  |                       |                  |                      |  |
| STUDENT   | Jozo Vukadin     | PREMETNI<br>NASTAVNIK | dr.sc Nemo Torić |                      |  |
| SADRŽAJ   | ISKAZ MATERIJALA | MERILO<br>PRILOG      | 1:100            |                      |  |
|   |                  | siparilj, 2015.       |                  | 4                    |  |




## Iskaz materijala cijele konstrukcije

| PODROŽNICA      |          |                              |       |                    |          |
|-----------------|----------|------------------------------|-------|--------------------|----------|
| POZ             | PROFIL   | KOM                          | L (m) | J. MASA (kg/m)     | MASA(kg) |
| 5               | 120/80/7 | 12                           | 35,50 | 18,79              | 8004,54  |
|                 |          |                              |       | UKUPNO             | 8004,54  |
| GALERIJA        |          |                              |       |                    |          |
| 10              | HEB 220  | <small>UKUPNA DUKANA</small> | 94,90 | 71,50              | 6785,35  |
| 9               | HEB 240  | 11                           | 3,80  | 83,20              | 3477,76  |
| 12              | HEB 240  | <small>UKUPNA DUKANA</small> | 52,40 | 83,20              | 4359,68  |
|                 |          |                              |       | UKUPNO             | 14622,79 |
| ZABATI SPREGOVI |          |                              |       |                    |          |
| 8               | HEB 220  | 8                            | 9,02  | 71,50              | 5159,44  |
| 6               | φ 26     | 40                           | 5,49  | 4,17               | 915,73   |
| 11              | φ 34     | 8                            | 9,83  | 7,13               | 560,70   |
|                 |          |                              |       | UKUPNO             | 708,19   |
|                 |          |                              |       | UKUPNO             | 23335,52 |
|                 |          |                              |       | SPOJNA SREDSTVA 2% | 466,71   |
|                 |          |                              |       | UKUPNA MASA        | 23802,23 |
|                 |          |                              |       | Σ                  |          |

| TEŽINA KONSTRUKCIJE                 |  |          |
|-------------------------------------|--|----------|
| OKVIR 8 KOM.x3044,02                |  | 24352,16 |
| PODROŽNICE ZABATI SPREGOVI GALERIJA |  | 23802,23 |
| UKUPNO                              |  | 48154,39 |
| UKUPNO KG/M <sup>2</sup>            |  | 63,06    |

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

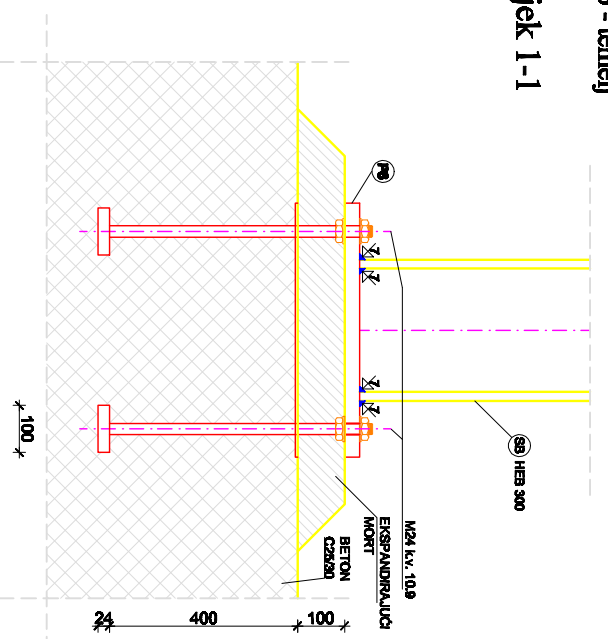
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

|  |                  |                        |                    |                      |   |
|--|------------------|------------------------|--------------------|----------------------|---|
|  <p>SVUČILIŠTE U SPLITU<br/>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA<br/>ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br/>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 16</p> |                  |                        |                    | <b>DIPLOMSKI RAD</b> |   |
|  |                  |                        |                    | MONTAŽNA DVORANA     |   |
| PROGRAM  |                  |                        |                    |                      |   |
| STUDENT  | Jozo Vukadin     | PREDMETNI<br>NASTAVNIK | dr.sc Nemo Torić   |                      |   |
| SADRŽAJ  | ISKAZ MATERIJALA |                        | MATERILO<br>PRILOG | 1:100                |   |
|  |                  |                        | srpanj, 2015.      |                      | 5 |

**DETALJ "A"**

Spoj stupa - temelj

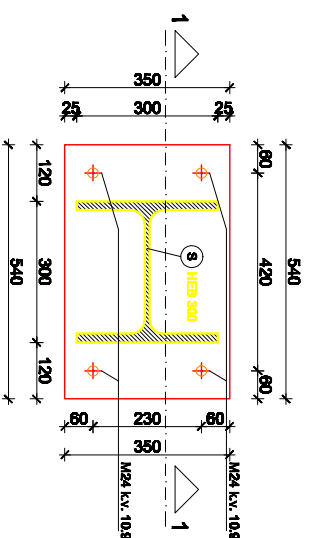
Presjek 1-1



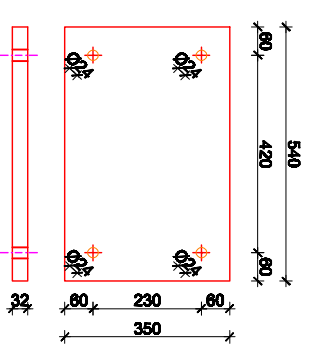
**DETALJ "A" i "B"**

MJ 1:10

Tlocrt



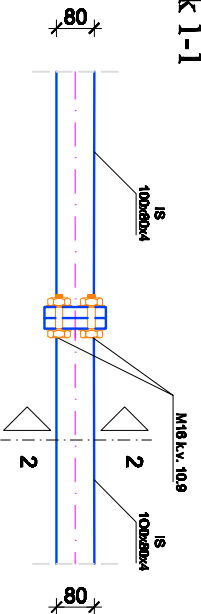
Ⓟ # 540350/32 S235 kom. 2 po okviru



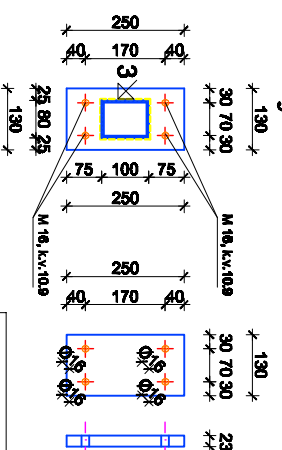
**DETALJ "B"**

Montažni nastavak ispunje

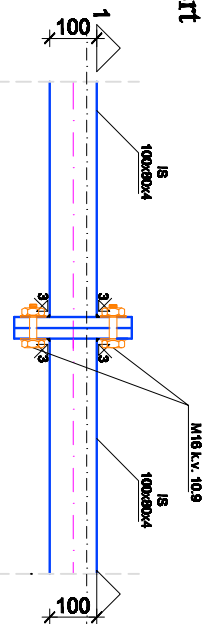
Presjek 1-1



Presjek 2-2 Ⓟ # 250/130/23 s 235 kom. 1 po segmentu



Tlocrt



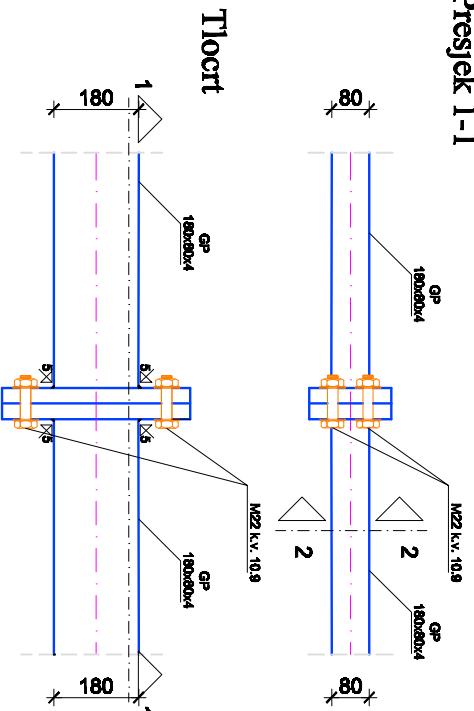
ŠKOLSKA ZBIRKA U SKLADU S  
PROJEKTOM GRAĐEVINARSTVA,  
STRUKTURNE KONSTRUKCIJE  
2000. BRIT. IZDANJE INŽINJER 15

|                   |          |                       |      |
|-------------------|----------|-----------------------|------|
| DIPLOMSKI RAD     |          | MATERIJAL             |      |
| MONTAŽNA DVORANA  |          | doc.dr.sc. Neno Torić |      |
| PROJEKT           | STRUKTUR | DETALJI C/D           | 1:10 |
| Izračun: Valentin |          | Mjerna jedinica: cm   |      |
| AUTORSKI          |          | BRITANJE: 2015.       |      |
|                   |          | 6                     |      |

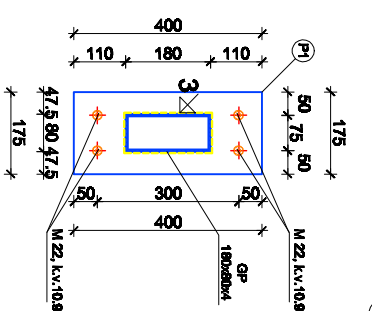
**DETALJ "C"**

Montažni nastavak gornjeg pojasa

Presjek 1-1



Presjek 2-2

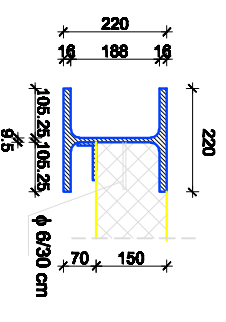


**DETALJ "C", "D" i "E"**

**MD 1:10**

**DETALJ "E"**

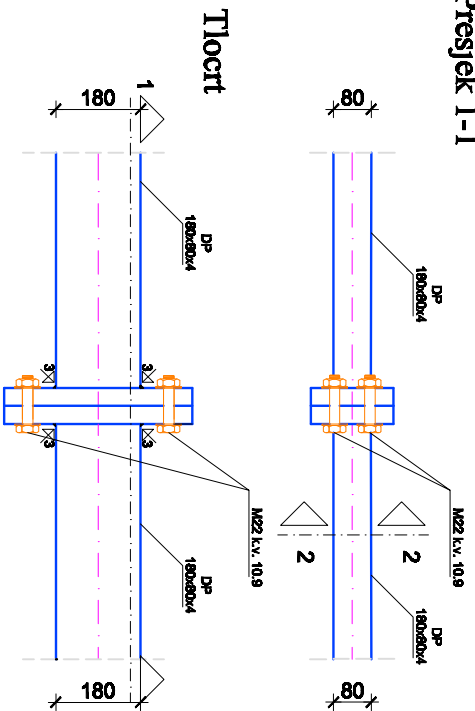
Oslanjanje betonske ploče na gredu profila HEBB 220



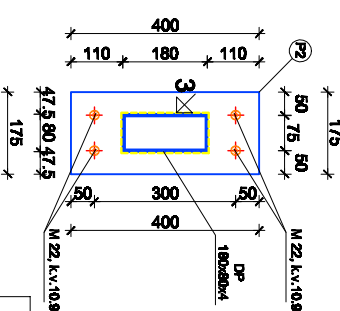
**DETALJ "D"**

Montažni nastavak donjeg pojasa

Presjek 1-1

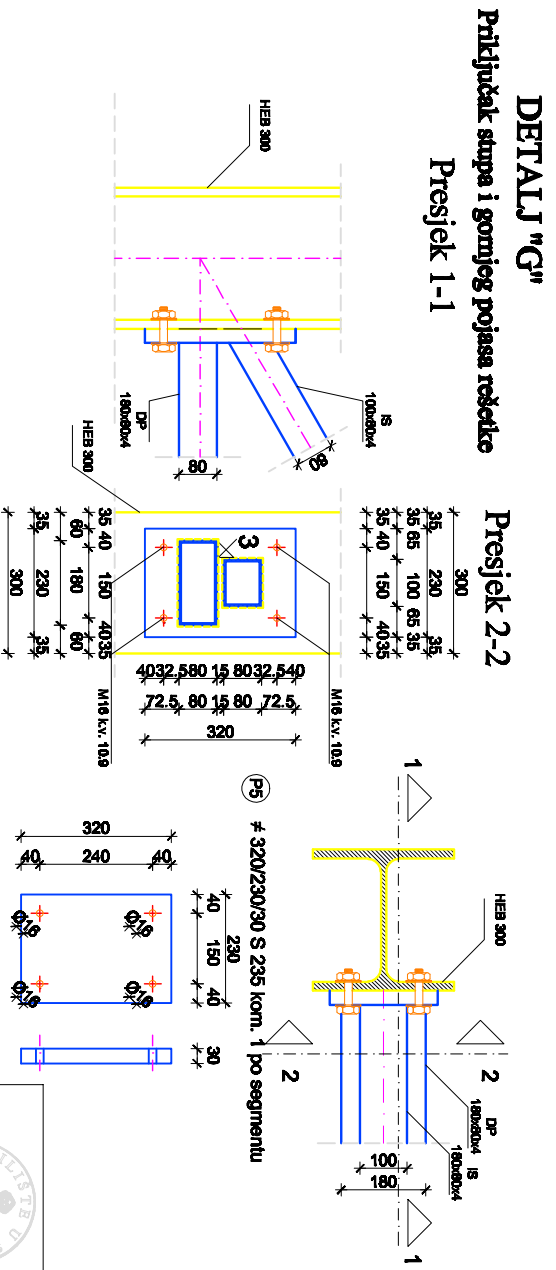
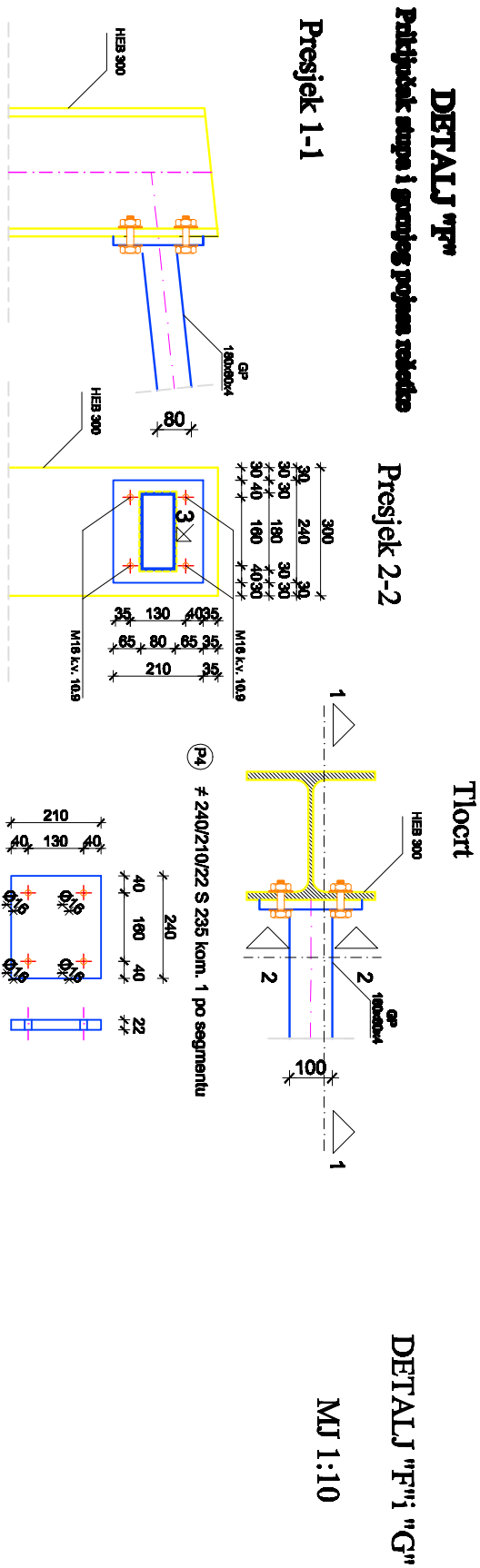


Presjek 2-2



ŠKOLSKA ZBIRKA U SKLADU SA  
PROJEKTOM ČISTOGRAĐEVINE  
2000 ŠKOLSKA ZBIRKA INOVATIVNE ŠK

|                  |                 |                       |      |
|------------------|-----------------|-----------------------|------|
| DIPLOMSKI RAD    |                 | MATERIJAL             |      |
| MONTAŽNA DVORANA |                 | doc.dr.sc. Neno Torić |      |
| STUĐENT          | Jaco Vukadin    | PRILOG                | 1:10 |
| BAVIOŠU          | DETALJI C,D I E | BR. STR.              | 7    |



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

|                  |                  |                       |           |
|------------------|------------------|-----------------------|-----------|
| DIPLOMSKI RAD    |                  |                       |           |
| MONTAŽNA DVORANA |                  |                       |           |
| PROJEKTANT       | MONTAŽNA DVORANA |                       | MATERIJAL |
| STUDIJE          | Jozo Valentin    | doc.dr.sc. Neno Torić | 1:10      |
| SAOPŠTILAC       | DETALJI F i G    | PROJEKT               | 8         |
| SEPTEMBAR 2015.  |                  |                       |           |

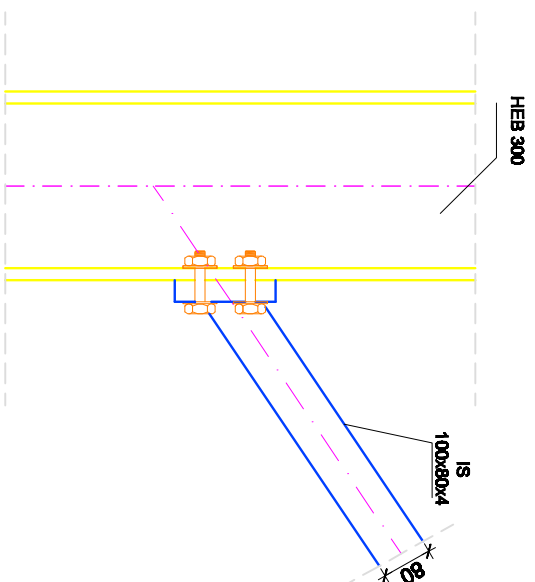


SVUCILIŠTE U SPLITU  
FACULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE  
21000 SPLIT, MATIJE GUPČEVIĆEV BULVAR 15

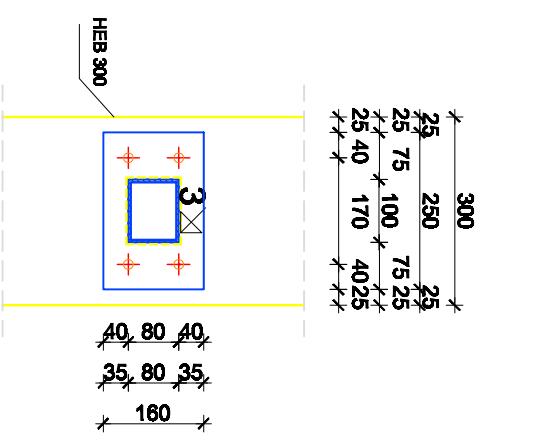
Presjek 1-1

DETALJ "H"

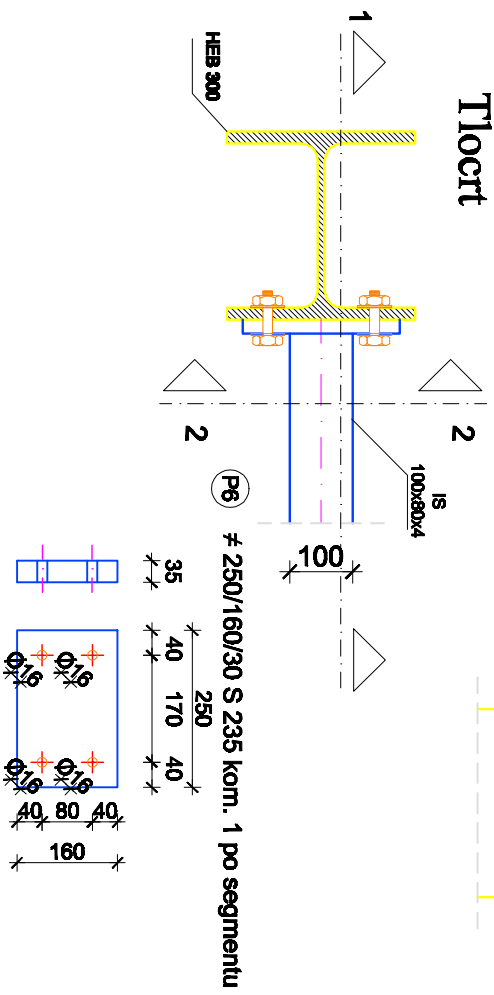
MJ 1:10

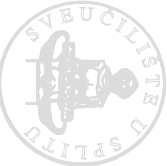


Presjek 2-2



Tlocrt



|   |              |                        |                      |                                    |   |
|---|--------------|------------------------|----------------------|------------------------------------|---|
|  <p>SVUČILIŠTE U SPLITU<br/>FACULTET GRAĐEVINARSTVA,<br/>ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br/>21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> |              |                        |                      | <b>DIPLOMSKI RAD</b>               |   |
|   |              |                        |                      | PROGRAM<br><b>MONTAŽNA DVORANA</b> |   |
| STUDENT   | Jozo Vukadin | PREDMETNI<br>NASTAVNIK | doc.dr.sc Nemo Torić |                                    |   |
| SADRŽAJ   | DETALJI H    |                        | MATERIJAL<br>PRILOG  | 1:10                               | 9 |
|   |              |                        | siparnji, 2015.      |                                    |   |