

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:238728>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-20**



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
1. TEHNIČKI OPIS	2
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
2. ANALIZA OPTEREĆENJA.....	6
2.1 STALNO OPTEREĆENJE.....	6
2.2 SNIJEG	6
2.3 VJETAR	7
2.3.1 Vjetar na krov	9
2.3.2 Vjetar na zidove	11
2.3.3 Opterećenje vjetrom trenjem po krovu.....	12
2.4 KORISNO OPTEREĆENJE.....	12
2.5 POTRES.....	13
3. PRORAČUN KONSTRUKCIJE	14
3.1 PRIKAZ PRORAČUNSKOG MODELA	14
3.2 KOMBINACIJE DJELOVANJA	16
3.2.1 Kombinacije za KGS	16
3.2.2 Kombinacije za GSU.....	16
3.3 REZULTATI PRORAČUNA (REZNE SILE)	17
3.4 GRAFIČKI PRIKAZ REZULTATA ZA KARAKTERISTIČNI OKVIR	17
4. DIMENZIONIRANJE KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA.....	19
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 Gornji pojas opterećen tlakom	26
4.5.2 Gornji pojas opterećen vlakom.....	28
4.6 DIMENZIONIRANJE DONJEG POJASA REŠETKE.....	29
4.6.1 Donji pojas opterećen tlakom.....	29
4.6.2 Donji pojas opterećen vlakom	30
4.7 DIMENZIONIRANJE ISPUNE REŠETKE.....	31
4.7.1 Ispuna opterećena tlakom	31
4.7.2 Ispuna opterećena vlakom.....	32
4.8 DIMENZIONIRANJE ZABATA.....	33
4.9 DIMENZIONIRANJE PODROŽNICE.....	35
4.10 DIMENZIONIRANJE SPREGOVA.....	37
5. PRORAČUN PRIKLJUČAKA KARAKTERISTIČNOG OKVIRA.....	38
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

6. PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI.....	55
6.1 PRIRAST TEMPERATURE U ELEMENTIMA.....	56
6.2 KRIVULJA STANDARDNOG POŽARA	58
6.2.1 Proračun nosivosti za nezaštićene elemente	59
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
6.2.2 Proračun nosivosti za zaštićene elemente	65
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
6.2.3 Usporedbe temperatura standardne krivulje požara nezaštićenih i zaštićenih elemenata	67
6.3 LOKALIZIRANI POŽAR.....	72
6.3.1 Proračun nosivosti za nezaštićene elemente	74
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
6.3.2 Usporedbe temperatura standardne krivulje požara (zaštićenih i nezaštićenih elemenata) sa temperaturama lokaliziranog požara	80
6.3.3 Provjera lokaliziranog požara sa manje vjerojatnim scenarijima	83
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
6.3.4 Usporedbe temperatura nezaštićenih elemenata dobivenih analizom "realnog" lokaliziranog požara sa temperaturama dobivenih analizom "manje realnih" lokaliziranih požara	84
6.3.5 Usporedbe temperatura nezaštićenih elemenata dobivenih analizom lokaliziranog požara sa većim Q sa temperaturama dobivenih analizom požara primjenom standardne krivulje	88
6.4 PARAMETARSKA KRIVULJA	91
6.4.1 Proračun parametarske krivulje za predmetnu konstrukciju	93
6.4.2 Proračun nosivosti za nezaštićene elemente	94
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
6.4.3 Proračun nosivosti za zaštićene elemente	96
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
6.4.4 Usporedbe temperatura elemenata dobivenih analizom požara primjenom parametarske krivulje za nezaštićene i zaštićene elemente	97
6.4.5 Usporedba temperatura elemenata dobivenih analizom požara primjenom standardne krivulju, lokaliziranog požara i parametarske krivulje	100
6.4.5.1 Usporedba standardne krivulje i parametarske krivulje	100
6.4.5.2 Usporedba temperatura za nezaštićene elemente	101
7. ZAKLJUČAK.....	104
8. PRILOZI.....	105
10. TABLICE.....	107
11. LITERATURA	108

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, caffè 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/m² 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} [°C]	C_p [J/kgK]	λ_p [W/mK]	$d_{p,max}$ [cm]	ρ_p [kg/m ³]	$\rho_{premaza}$ [kg/m ³]
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

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

- μ_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 $\Rightarrow s_k = 0,45 \left[\text{kN} / \text{m}^2 \right]$

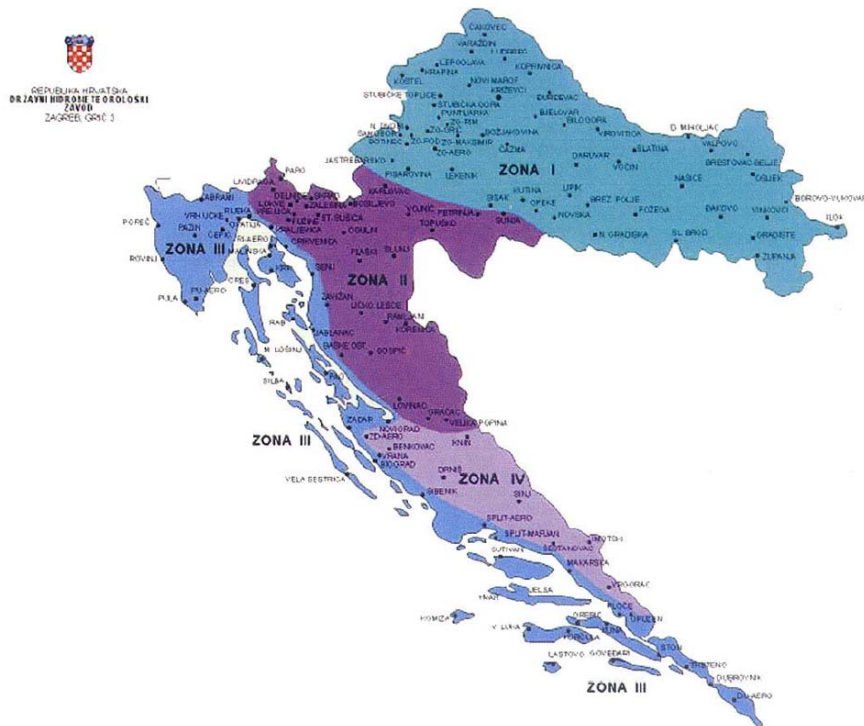
- C_e - koef. izloženosti $\Rightarrow C_e = 1,0$

- 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

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

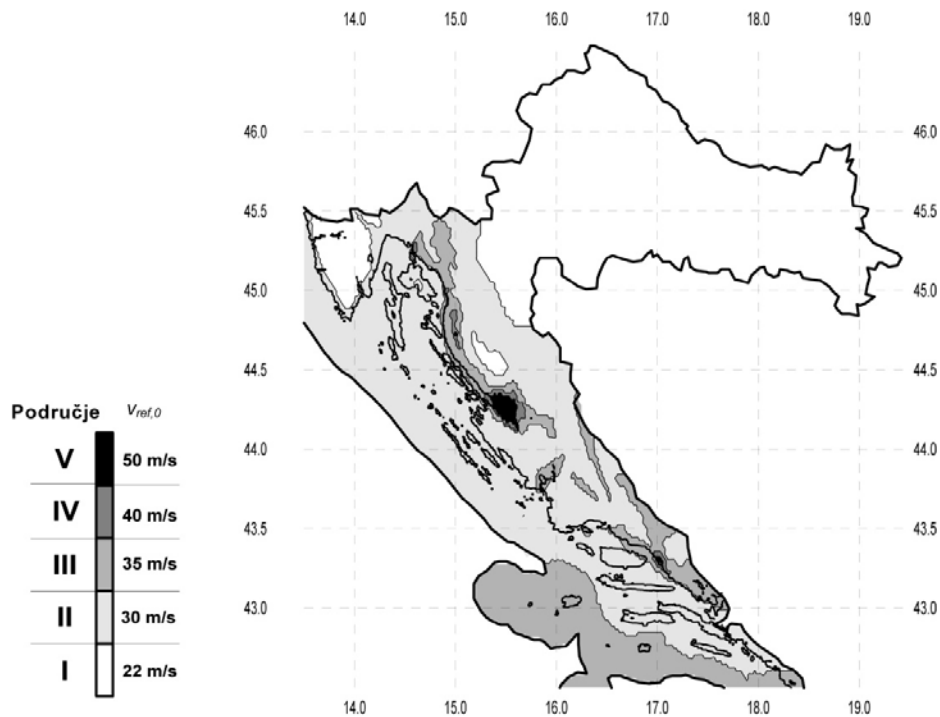
$w_i = q_{ref} \cdot c_e(z_i) \cdot c_{pi} - (\text{kN/m}^2)$ - pritisak vjetra na unutarnje površine

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

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

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

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

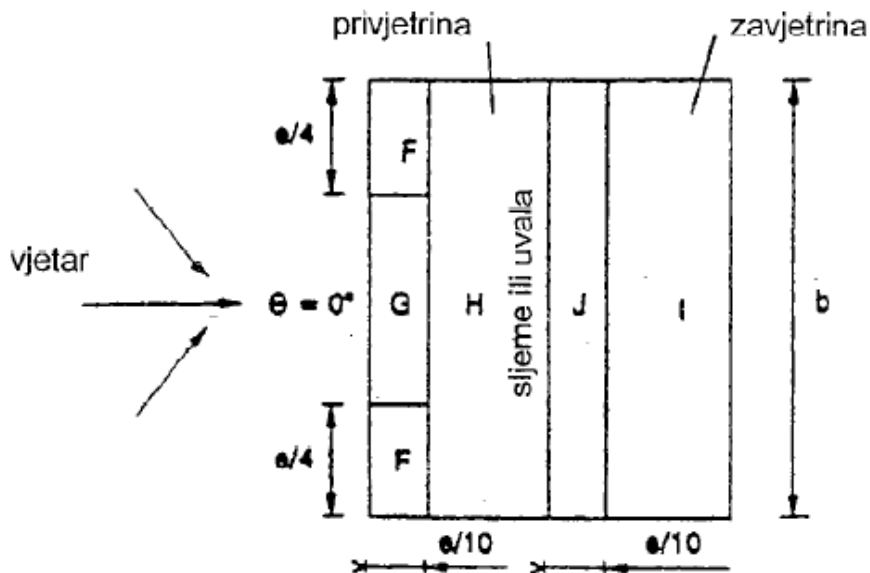
$$\Rightarrow c_e(z_e) = c_e(z_i) = 2,0$$

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 μ

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

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

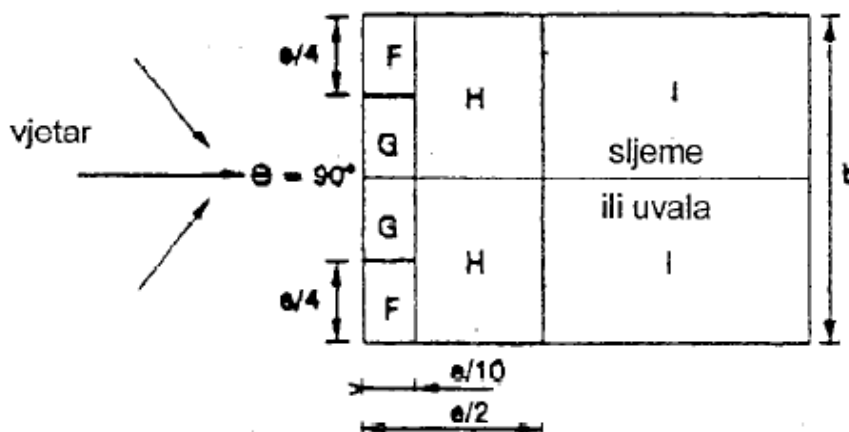
DJELOVANJE VJETRA PO m'			
PODRUČJE	w_{uk} (kN/m ²)	RAZMAK OKV. (m)	W(kN/m')
F	-2,615	5,05	-13,206
G	-1,989	5,05	-10,044
H	-1,185	5,05	-5,984
I	-0,831	5,05	-4,197
J	-0,913	5,05	-4,610

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 μ

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

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

REZULTIRAJUĆE DJELOVANJE VJETRA							
PODRUČJE	q_{ref} (kN/m 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)
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

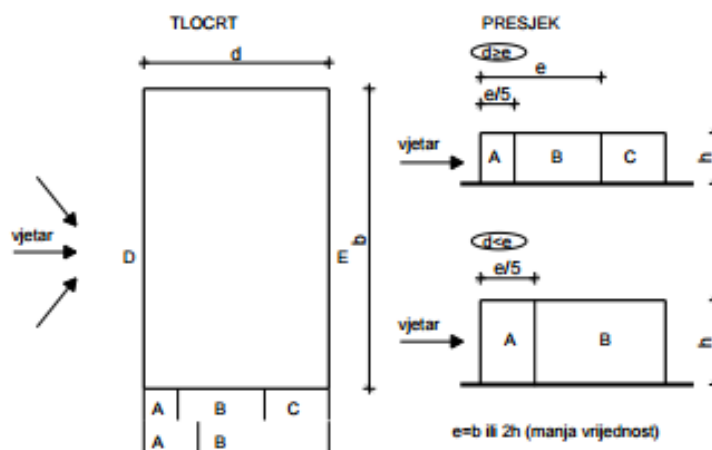
Tablica 7. Djelovanje vjetra za $\Theta=90^\circ$

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

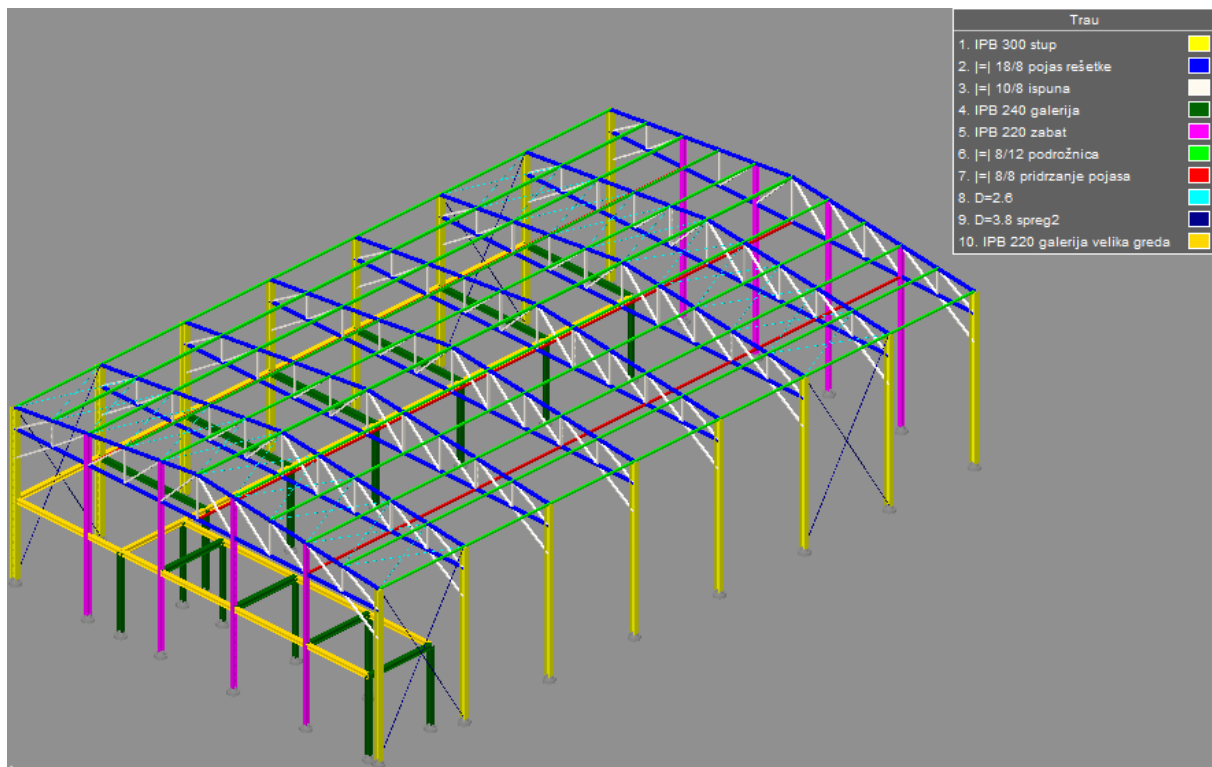
Računsko ubrzanje tla $a = 0.20 \text{ g}$ (VIII seizmička zona)

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

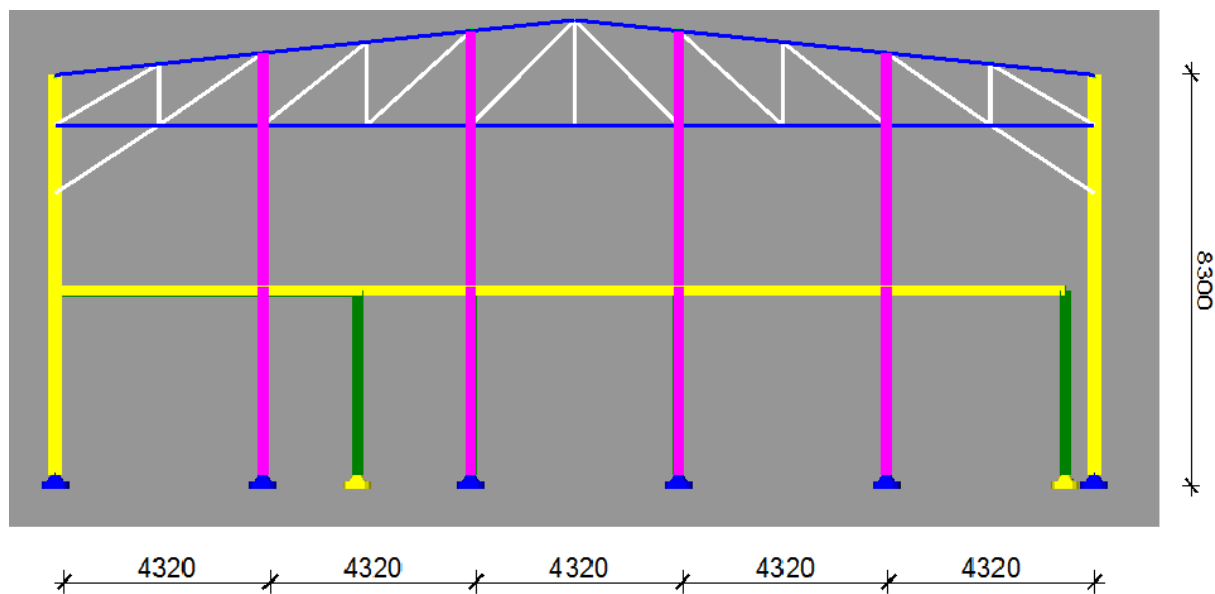
3. Proračun konstrukcije

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

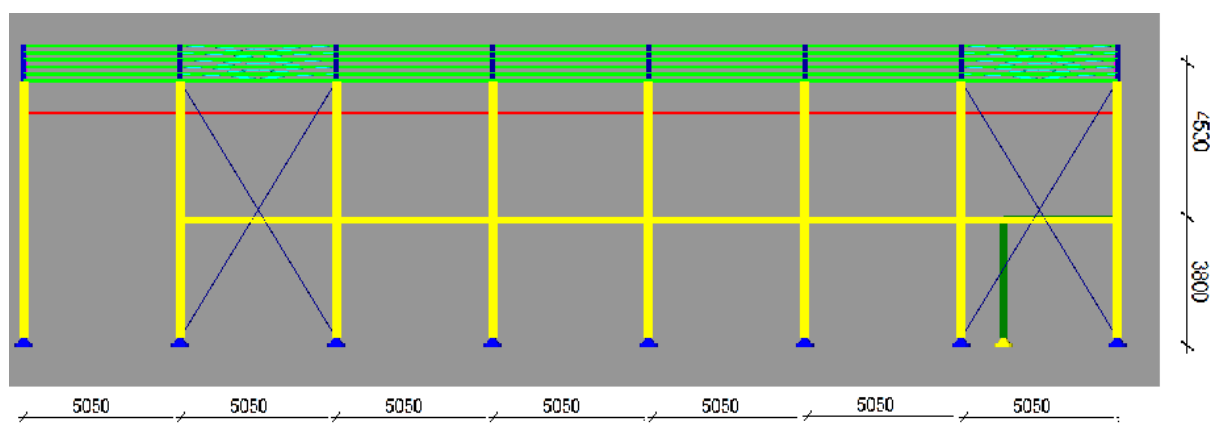
3.1 Prikaz proračunskog modela



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)

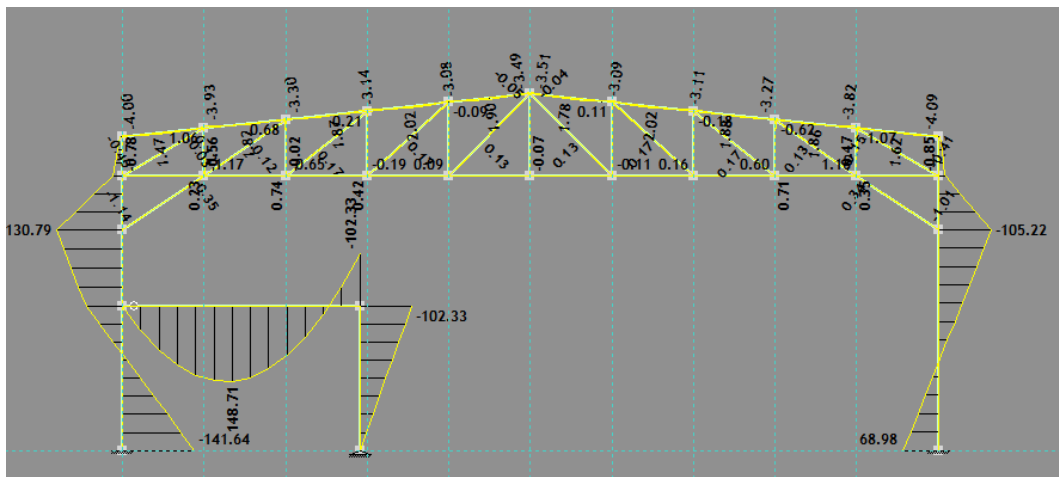
U slijedećoj tablici prikazani su rezultati statičkog proračuna koji je napravljen u programskom paketu Tower 6 sa brojem kombinacije za krajnje granično stanje koja je kritična za element.

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

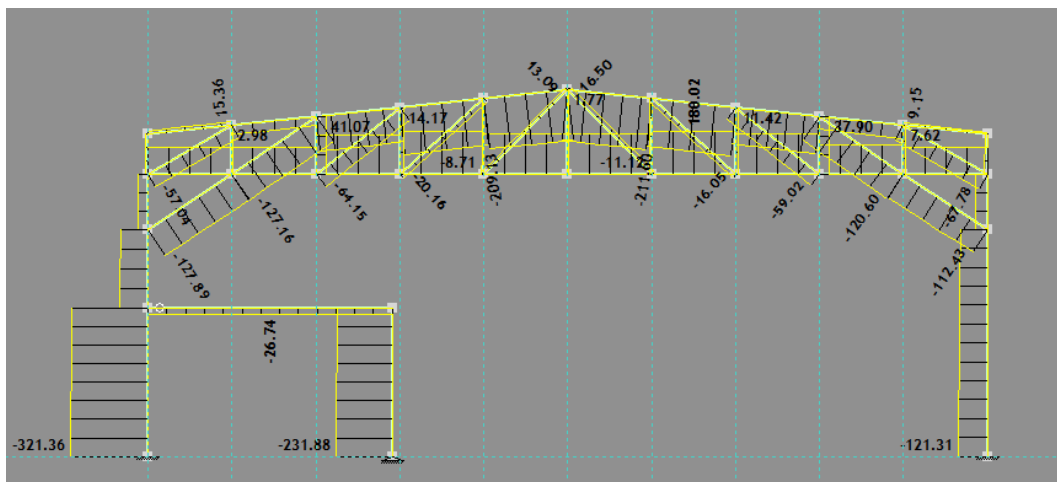
Tablica 11. Rezne sile za KGS

3.4 Grafički prikaz rezultata za karakteristični okvir

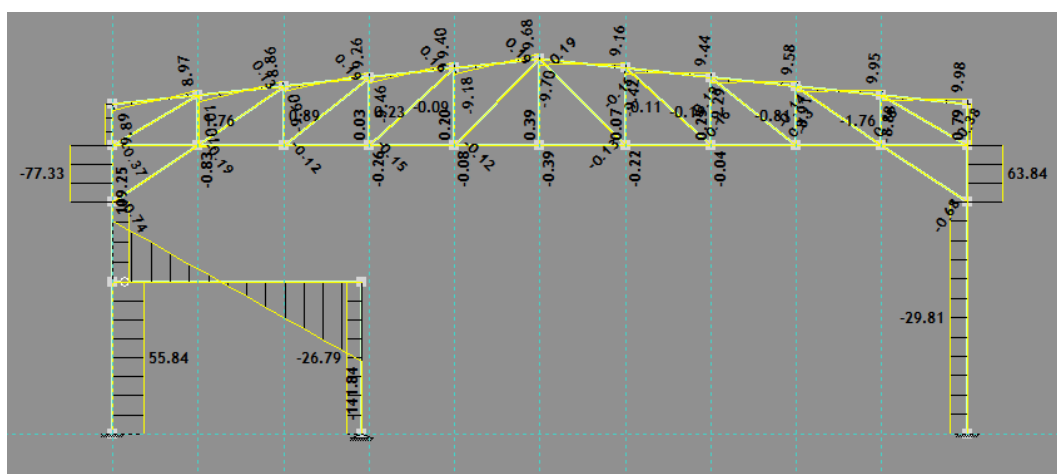
Na slijedeće tri slike vidljivi su rezultati statičkog proračuna iz programskog paketa Tower 6 za jedan karakteristični okvir predmetne konstrukcije.



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

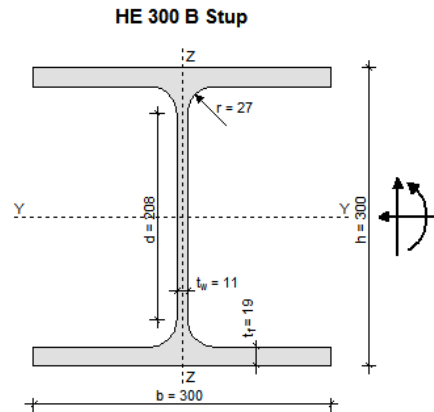
$N_{Sd} = -346.27 \text{ kN}$
 $V_{z,Sd} = 92.78 \text{ kN}$
 $M_{y,Sd} = 162.58 \text{ kNm}$

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

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

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

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

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

INTERAKCIJA M - N S BOČNIM IZVIJANJEM

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

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

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

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

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

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

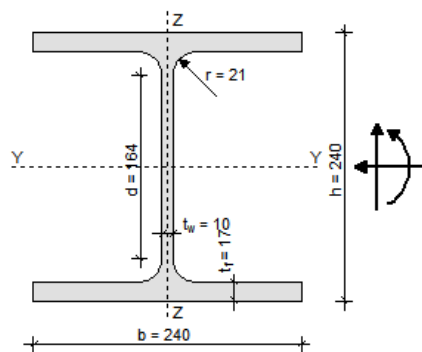
PARC. FAKTORI SIG.

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

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

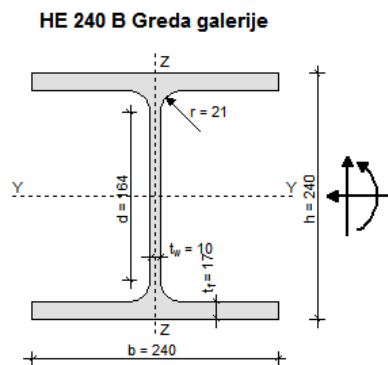
$N_{Sd} = -25.93 \text{ kN}$
 $V_{z,Sd} = 141.39 \text{ kN}$
 $M_{y,Sd} = 150 \text{ kNm}$

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

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

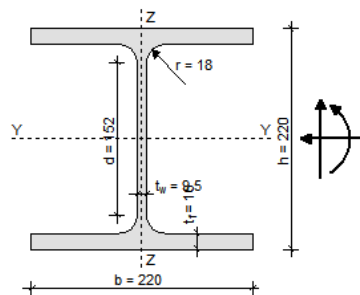
PARC. FAKTORI SIG.

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

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

OS Z-Z

$$l_{by} = 505 \text{ cm}$$

$$l_{bz} = 505 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{by}}{i_y} = 53.72$$

$$\lambda_z = \frac{l_{bz}}{i_z} = 90.18$$

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

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

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

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

LINIJA IZVIJANJA b

LINIJA IZVIJANJA c

$$\chi_y = 0.8508$$

$$\chi_z = 0.5633$$

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

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

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

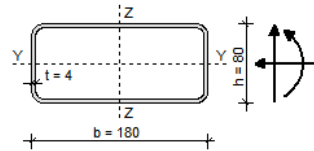
PARC. FAKTORI SIG.

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

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

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

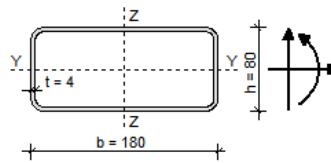
PARC. FAKTORI SIG.

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

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

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

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

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

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

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

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

$i_y = 3.385 \text{ cm}$

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

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

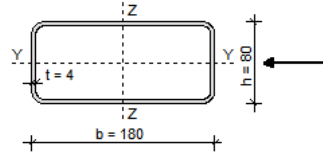
$W_{plz} = 109.321 \text{ cm}^3$

$i_z = 6.331 \text{ cm}$

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

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

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

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

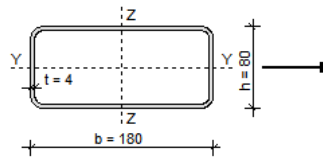
PARC. FAKTORI SIG.

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

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

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

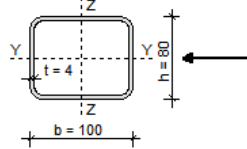
PARC. FAKTORI SIG.

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

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

$$I_y = 260 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{I_y}{i_y} = 82.26$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.876$$

LINIJA IZVIJANJA a

$$\chi_y = 0.7496$$

OS Z-Z

$$I_z = 260 \text{ cm}$$

$$\lambda_z = \frac{I_z}{i_z} = 69.42$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = 0.739$$

LINIJA IZVIJANJA a

$$\chi_z = 0.8286$$

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

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

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

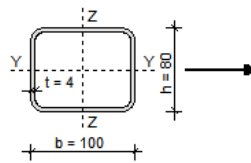
PARC. FAKTORI SIG.

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

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

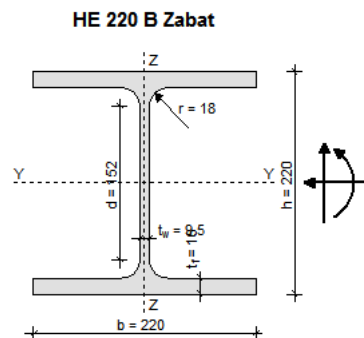
$$\begin{aligned} N_{Sd} &= -69.32 \text{ kN} \\ V_{z,Sd} &= 44.9 \text{ kN} \\ M_{y,Sd} &= 101.29 \text{ kNm} \end{aligned}$$

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

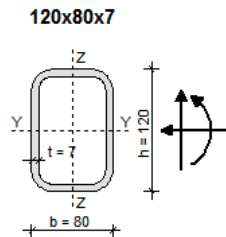
$N_{Sd} = -19.88 \text{ kN}$
 $V_{z,Sd} = 26.03 \text{ kN}$
 $M_{y,Sd} = 11.06 \text{ kNm}$

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

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

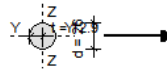
PARC. FAKTORI SIG.

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

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

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

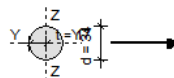
PARC. FAKTORI SIG.

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

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)

$A=149.1$ (cm²)

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:

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

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

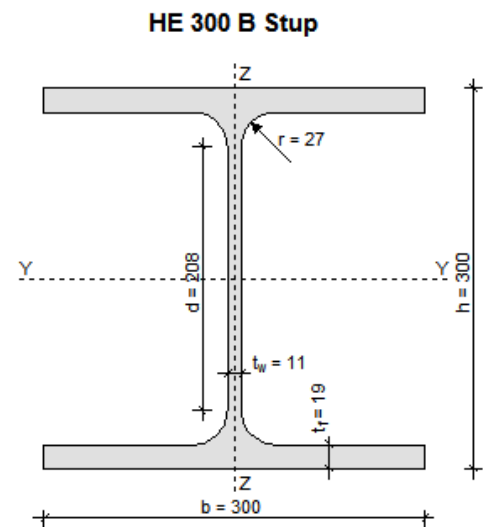
$$\text{- poprečna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{181.9}{1.25} \cdot \frac{600}{100} = 873.12 \text{ (kN)}$$

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:

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

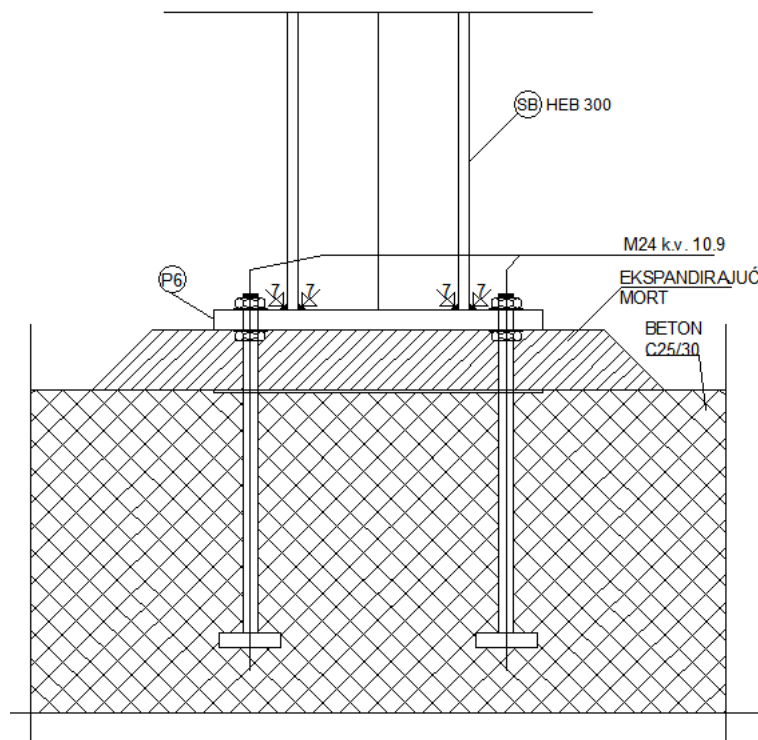
$$M_{Ed} \leq \frac{W_{min} \cdot f_y}{1,1} \Rightarrow W_{min} = \frac{1,1 \cdot M_{Ed}}{f_y} = \frac{b_{pl} \cdot t_{pl}^{min}}{6}$$

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

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

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:

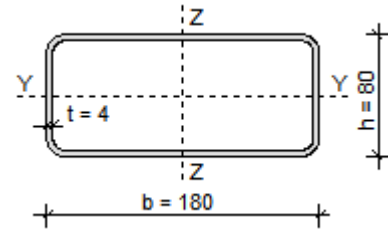
$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{272,7}{1.25} = 218,16 \text{ (kN)}$$

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

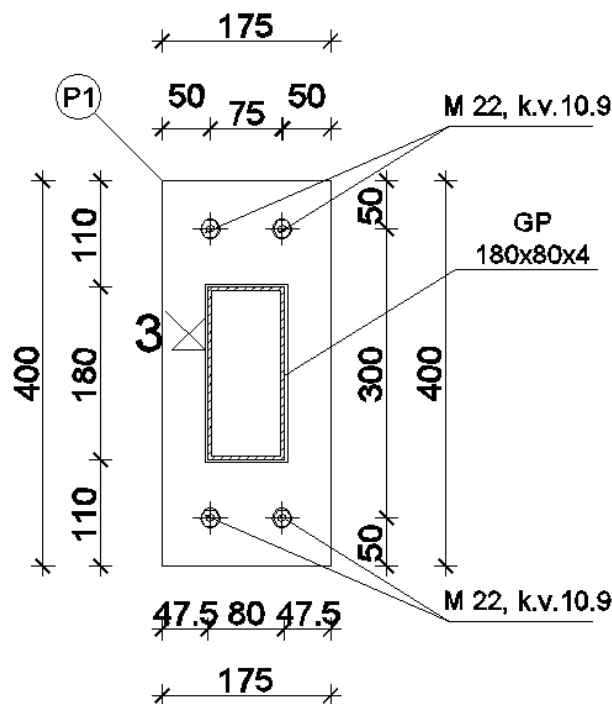
Proračun debljine ploče:

- 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:

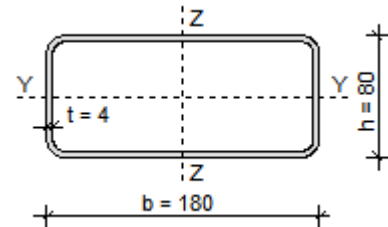
$$F_{t,Rd} = \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_{M1}} = \frac{272,7}{1.25} = 218,16 \text{ (kN)}$$

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:

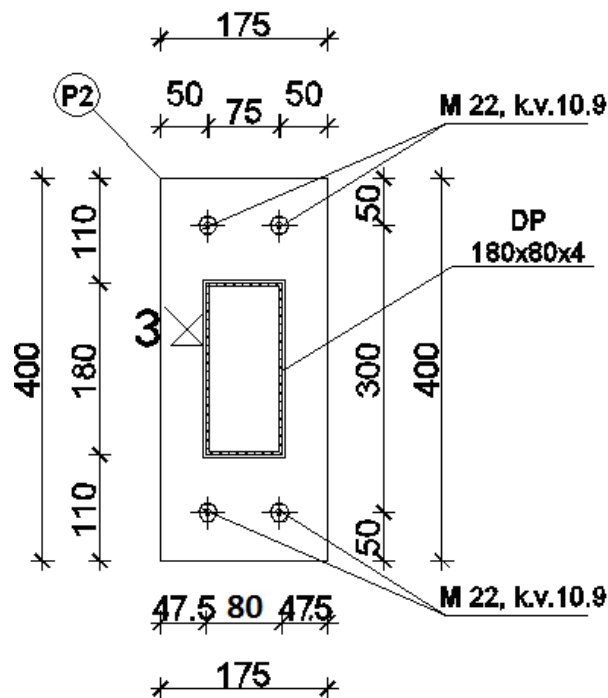
- savijanje ploče od vlačnih vijaka:

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

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

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

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

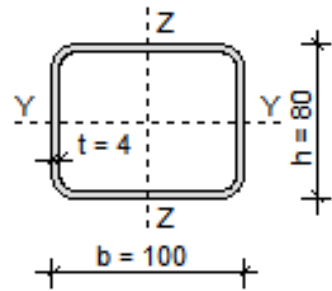
$N=59.63$ (kN) (vlak)

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:

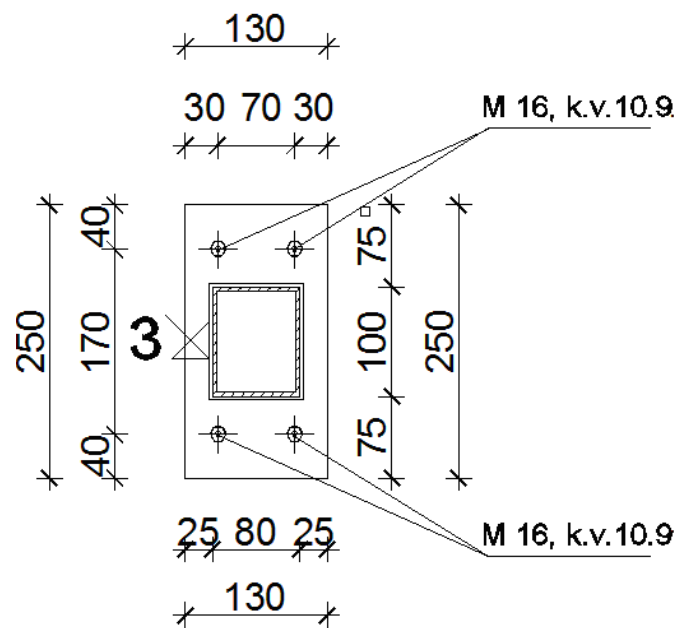
- savijanje ploče od vlačnih vijaka:

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

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

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

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, $n=4$ vijaka

- 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:

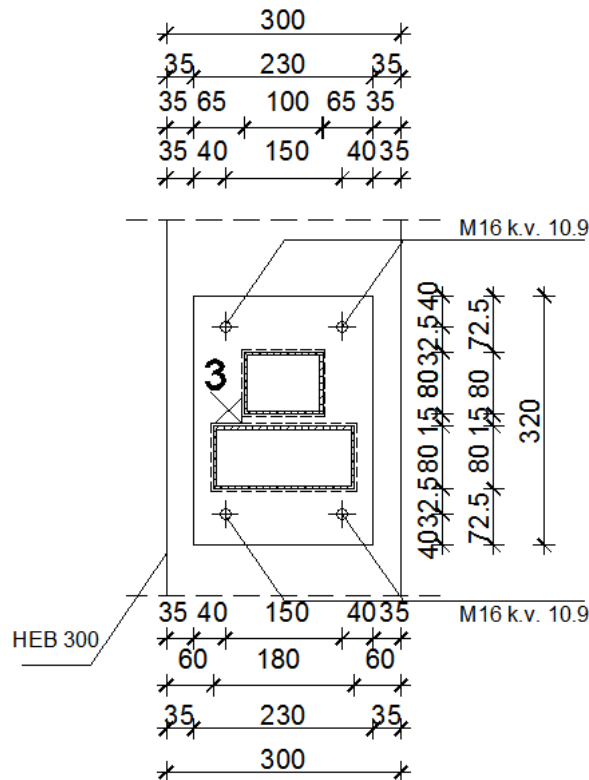
- savijanje ploče od vlačnih vijaka:

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

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

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

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:

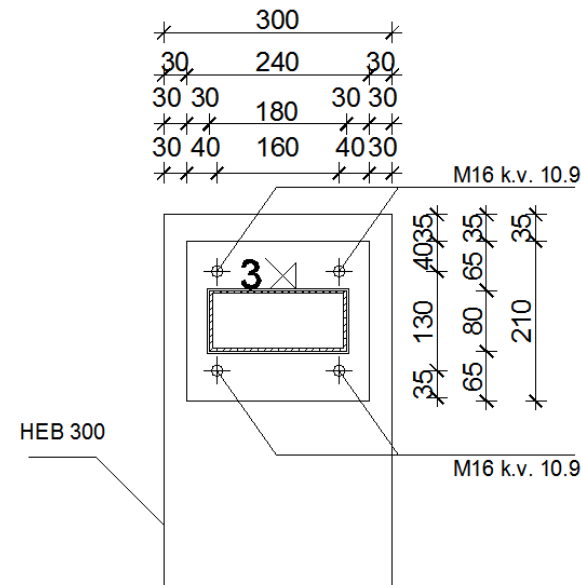
- savijanje ploče od vlačnih vijaka:

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

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

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

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):

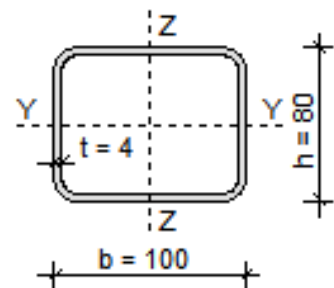
$$\text{- uzdužna sila: } F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{1.25} \cdot \frac{L}{100} = \frac{77.9}{1.25} \cdot \frac{360}{100} = 224.35 \text{ (kN)}$$

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:

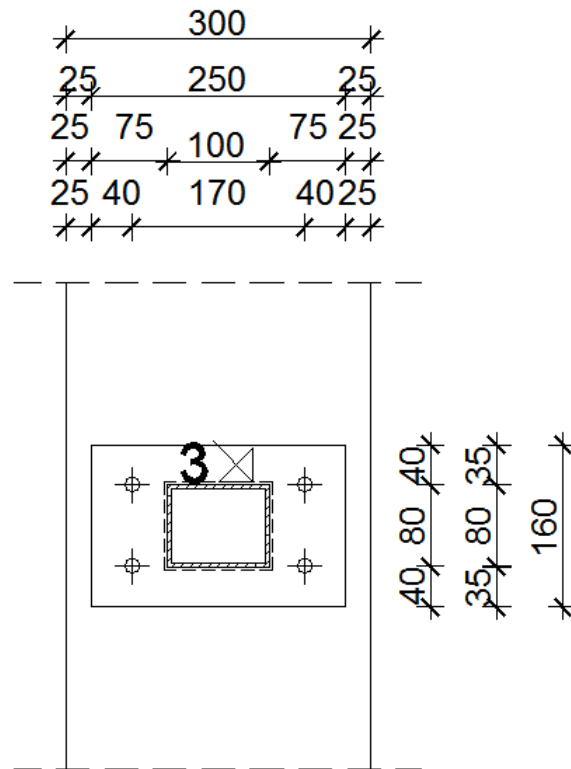
- savijanje ploče od vlačnih vijaka:

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

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

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

Usvojene dimenzije ploče: 250x160x35 mm



Slika 18. Ploča i položaj vijaka priključka stup - ispuna

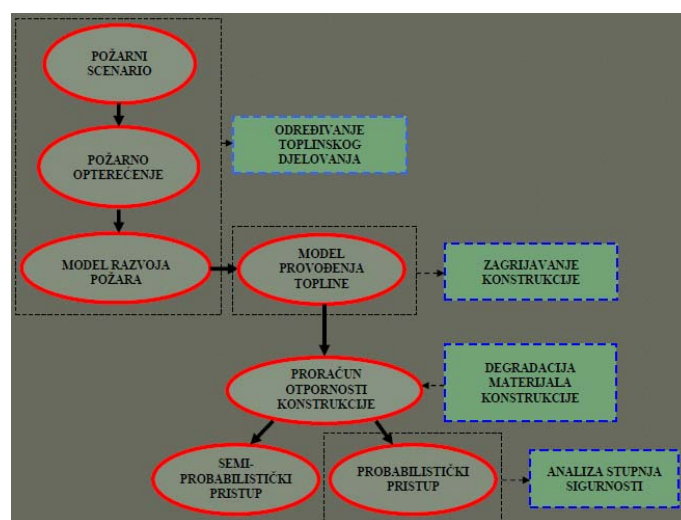
6. Proračun požarne otpornosti

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.

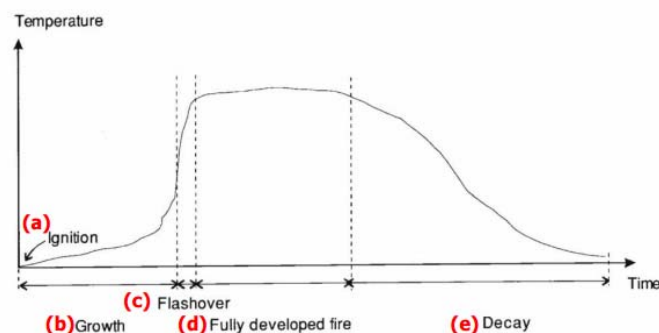
Pošto požar ima negativan utjecaj na konstrukcije općenito, Eurocode daje poseban osvrt na to djelovanje, a dio Eurocode-a na kojem je baziran proračun požarne otpornosti čeličnih konstrukcija je HRN EN 1993-1-2:2008.

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:

α_c - koeficijent konvekcije [W/m²K]

θ_g - temperatura plina u blizini elementa [°C]

θ_m - temperatura površine elementa [°C]

Φ - faktor konfiguracije

ε_m - faktor emisije površine elementa

ε_f - faktor emisije požara

σ - Stephan Boltzmann-ova konstanta (=5.67·10⁻⁸ W/m²K⁴);

θ_r - efektivna temperatura radijacije okoline (~temperatura plamena) [°C].

Za nezaštićeni čelični presjek povećanje temperature $\Delta\theta_{a,t}$ u vremenskom intervalu Δt ($\leq 5s$) 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]

ρ_a - gustoća čelika [kg/m³]

A_m/V - faktor oblika poprečnog presjeka [m⁻¹]

A_m - površina poprečnog presjeka elementa [m²/m]

V - volumen elementa po jedinici duljine [m³/m]

$\dot{h}_{net,d}$ – toplinski tok po jedinici površine [W/m²]

Δt – vremenski interval [s]

k_{sh} - koeficijent sjene [=1]

Proračun prirasta temperature $\Delta\theta_{a,t}$ čelika vremenskom intervalu Δt ($\leq 5s$) 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:

ρ_p - gustoća vatrootpornog materijala [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 Δt [K]

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

A_p - površina vatrootpornog materijala po jedinici dužine elementa [m^2/m]

V - volumen elementa po jedinici dužine [m^3/m]

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

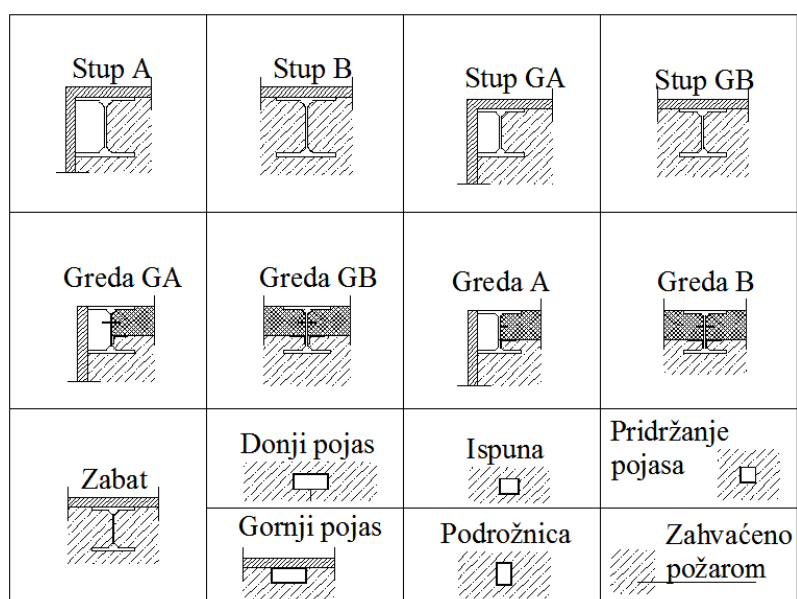
d_p - debljina vatrootpornog materijala [m]

λ_p - koeficijent toplinske provodljivosti vatrootpornog materijala [W/mK]

Δt - vremenski interval u sekundama

FAKTOR OBLIKA $A_{m(p)}/V$ (O/P)					
Element	Presjek	Broj zaštićenih strana	Opseg (m)	Površina presjeka (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

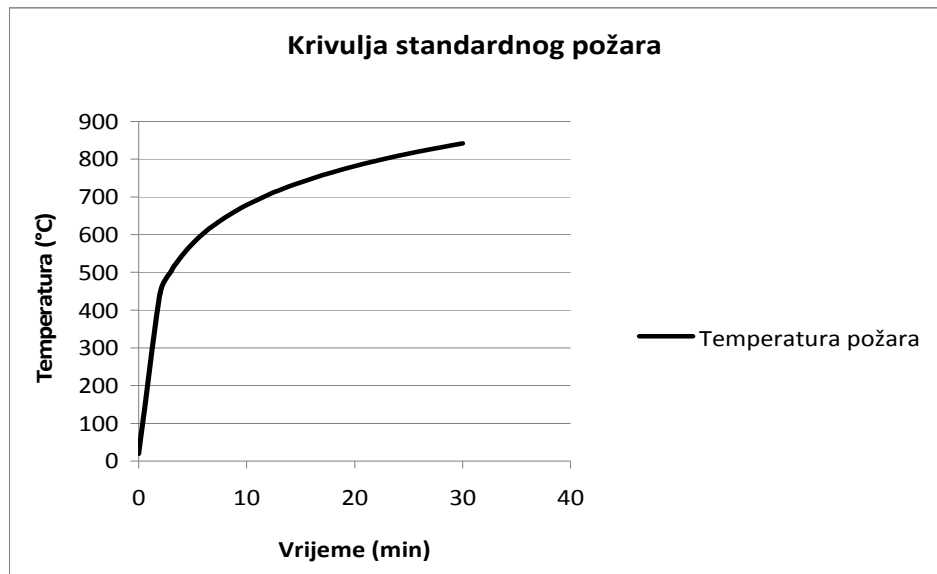
Krivulja standardnog požara temperatura-vrijeme definirana je izrazom:

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

gdje je:

θ_g – temperatura plinova u neposrednoj blizini elementa

t – vrijeme u minutama

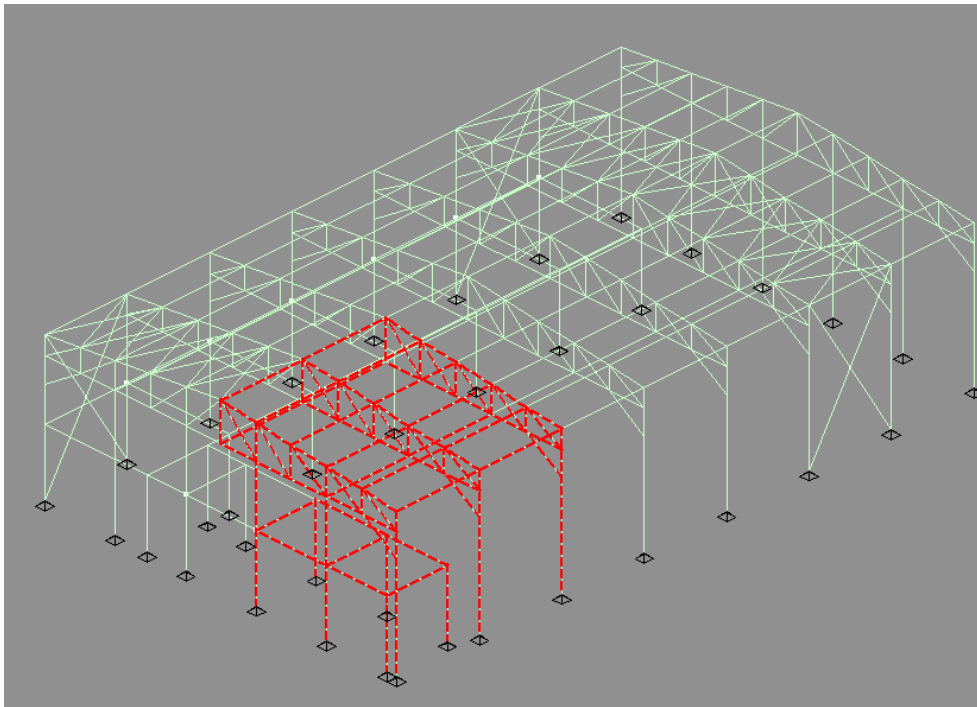


Slika 22. Krivulja standardnog požara predmetne konstrukcije

6.2.1 Proračun nosivosti za nezaštićene elemente

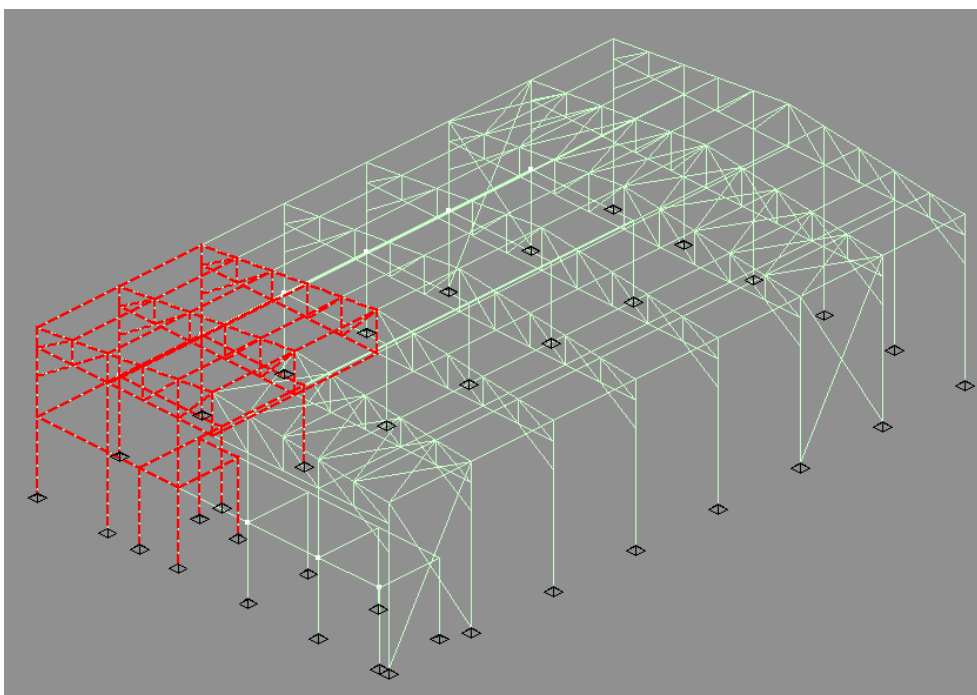
6.2.1.1 Slučajevi opterećenja konstrukcije zahvaćene požarom

Slučaj 1: požar ispod galerije (SP1)



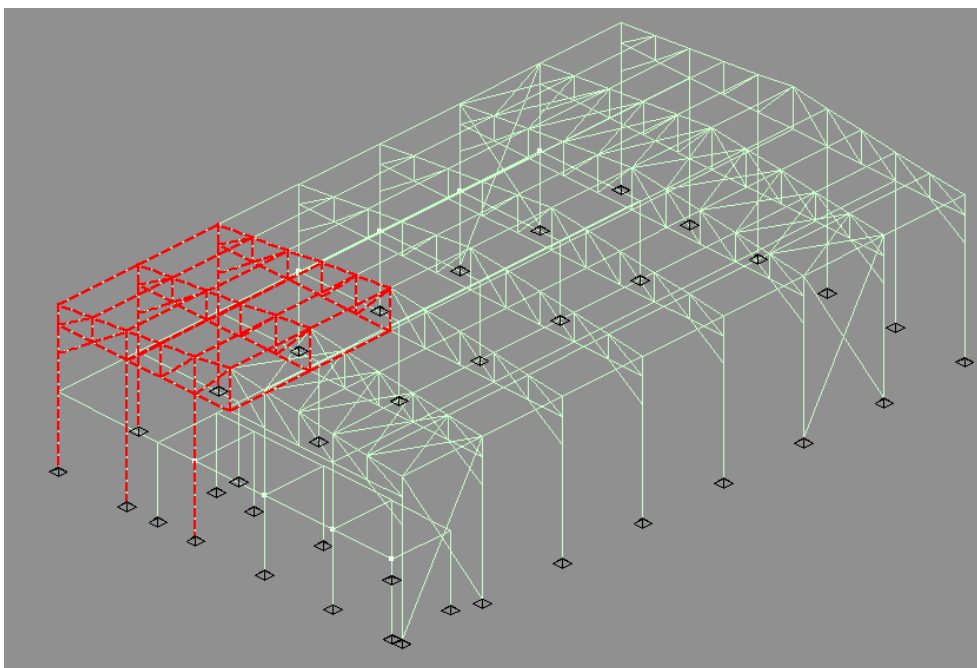
Slika 23. 1. slučaj opterećenja konstrukcije zahvaćene požarom standardne krivulje

Slučaj 2: požar ispod galerije (SP2)



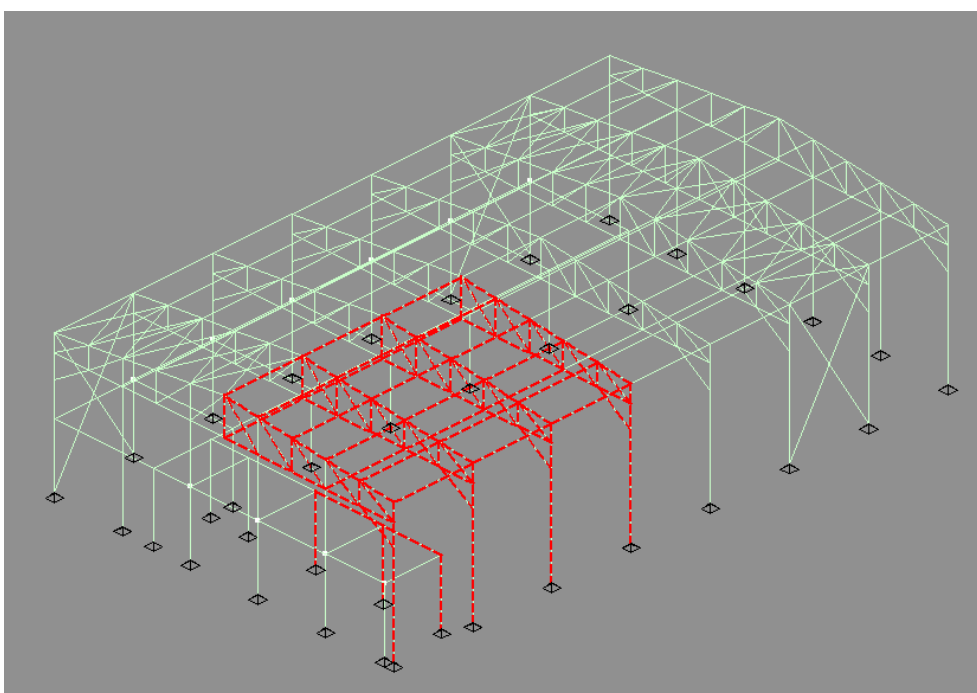
Slika 24. 2. slučaj opterećenja konstrukcije zahvaćene požarom standardne krivulje

Slučaj 3: požar na galeriji (SP3)



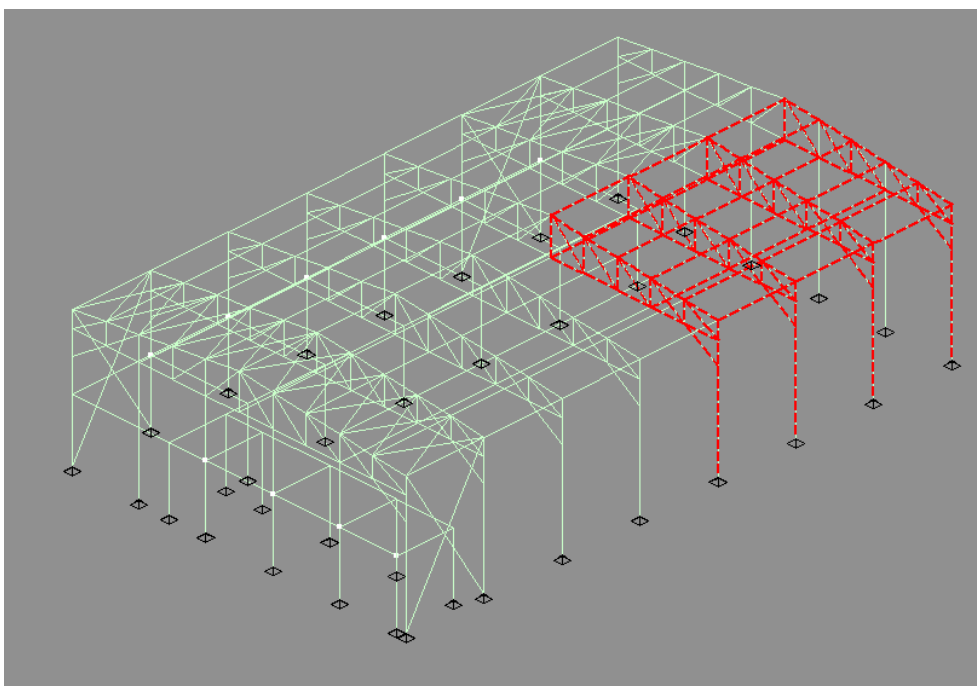
Slika 25. 3.slučaj opterećenja konstrukcije zahvaćene požarom standardne krivulje

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



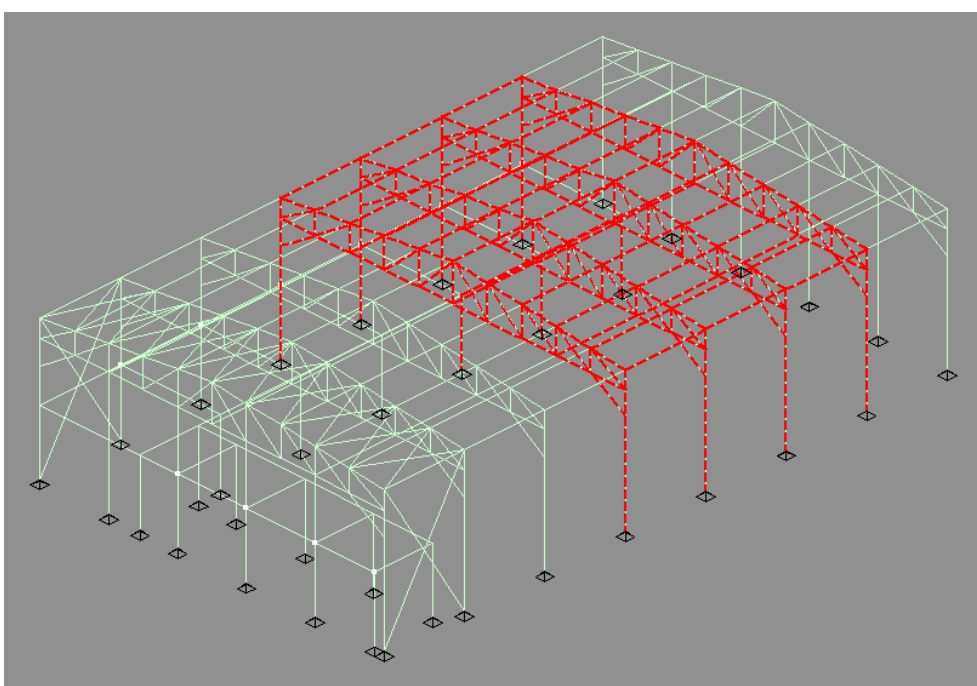
Slika 26. 4.slučaj opterećenja konstrukcije zahvaćene požarom standardne krivulje

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

TEMPERATURE ELEMENATA				
Element	Presjek	Temperatura elementa (°C)	$k_{y,\theta}$	$k_{E,\theta}$
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

REZNE SILE					
Element	Presjek	Slučaj-okvir	$M_{fi,d}(kNm)$	$V_{fi,d}(kN)$	$N_{fi,d}(kN)$
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,

ε - faktor koji uzima u obzir utjecaj čvrstoće čelika na klasu presjeka

Izraz za otpornost vlačnog elementa s jednolikom razdiobom temperature θ 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 θ 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 θ :

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

gdje je

χ_{fi} - faktor redukcije koji uzima u obzir izvijanje elementa u slučaju požara,

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

λ_θ - bezdimenzionalna vitkost pri temperaturi θ

Izraz za otpornost grednog elementa opterećenog momentom savijanja s jednolikom razdiobom temperature θ 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 θ 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 θ 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 θ u tlačnoj pojasnici koja je dosegnuta u trenutku t

Izraz za posmičnu otpornost poprečnog presjeka s jednolikom razdiobom temperature θ 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 θ 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 θ 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
		Tlak	Vlak	Izvijanje			
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 _{fi,d} (kNm)	V _{fi,d} (kN)	N _{fi,d} (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

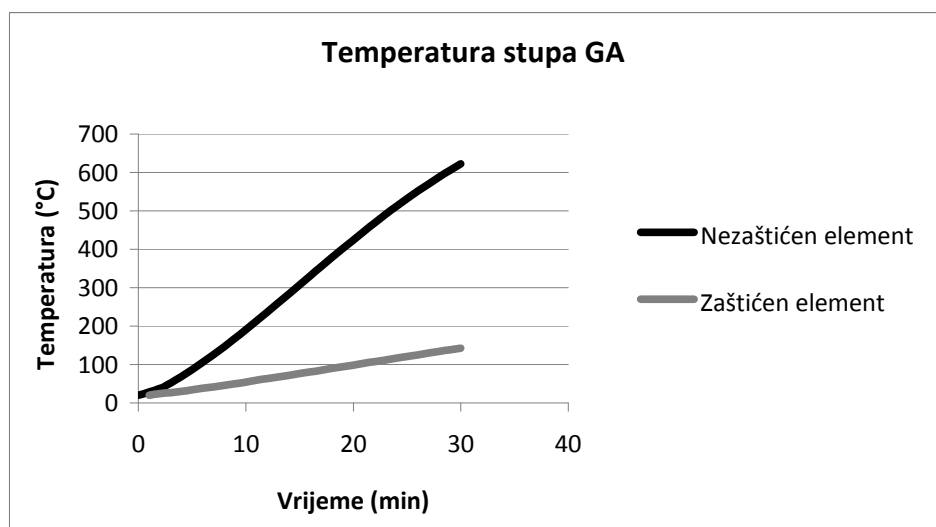
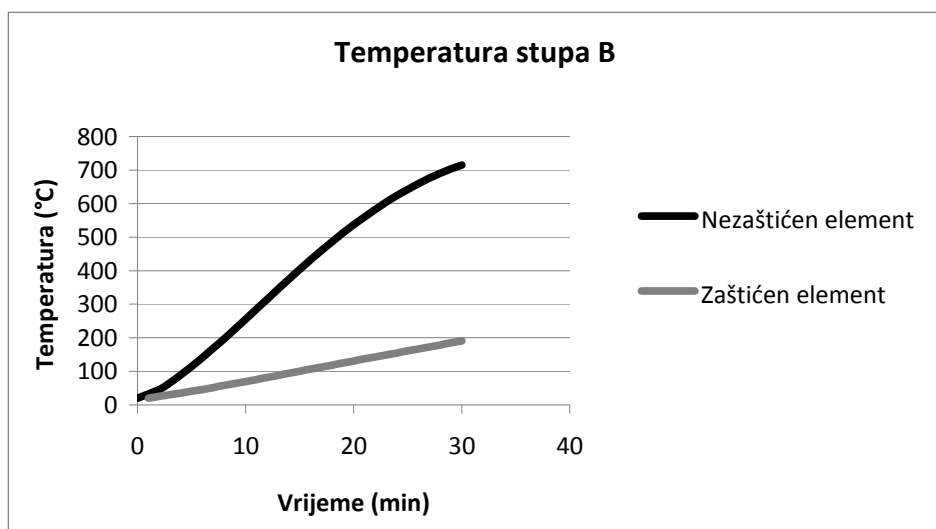
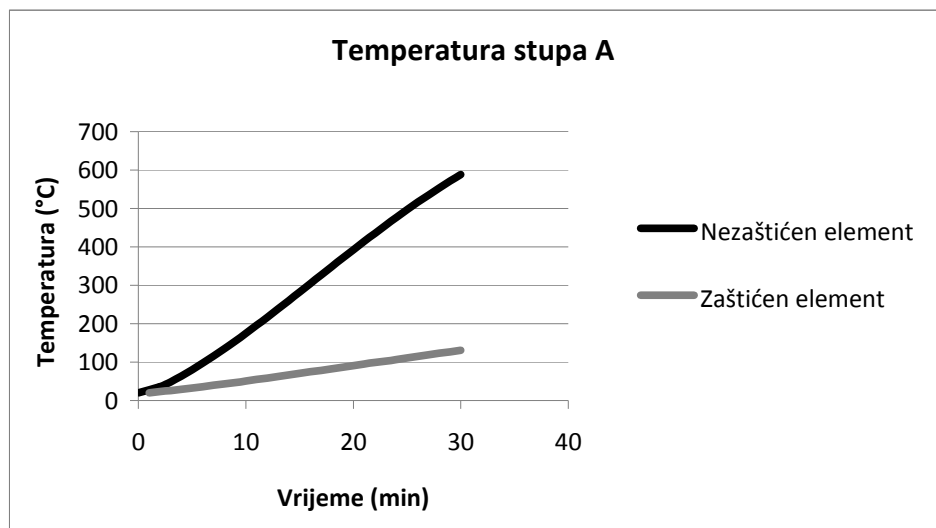
6.2.2.3 Rezultati provjere nosivosti elemenata uslijed djelovanja požara na zaštićene elemente

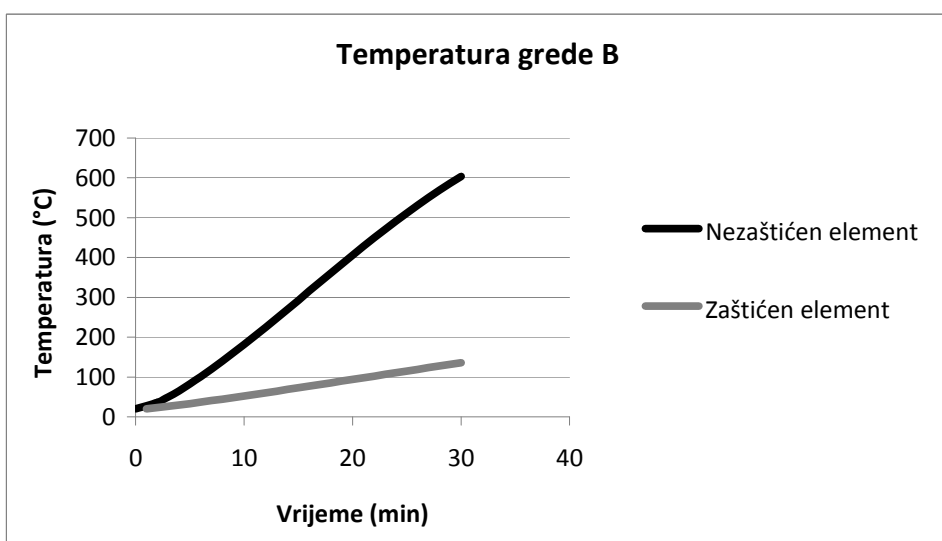
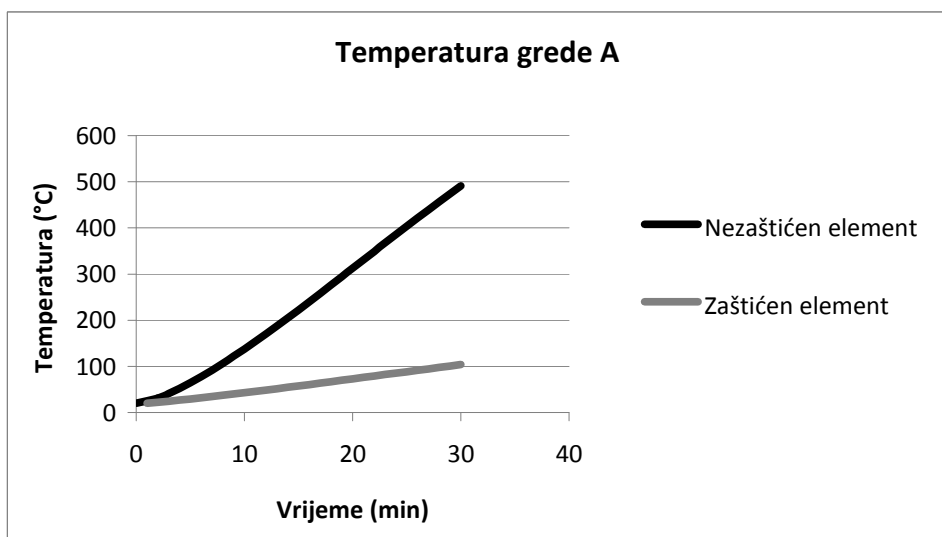
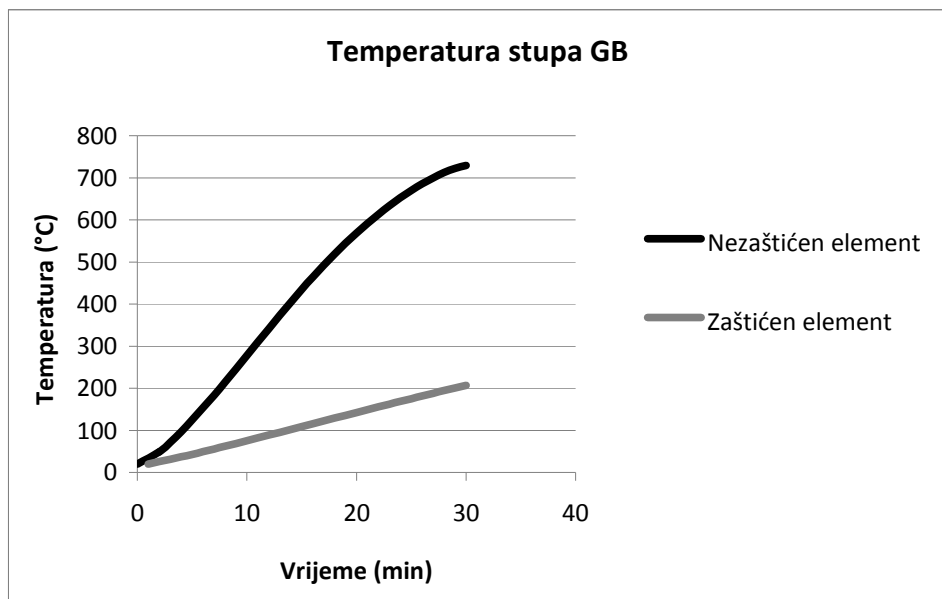
Dimenzioniranje je provedeno prema postupku koji je objašnjen u dijelu 6.2.1.4.

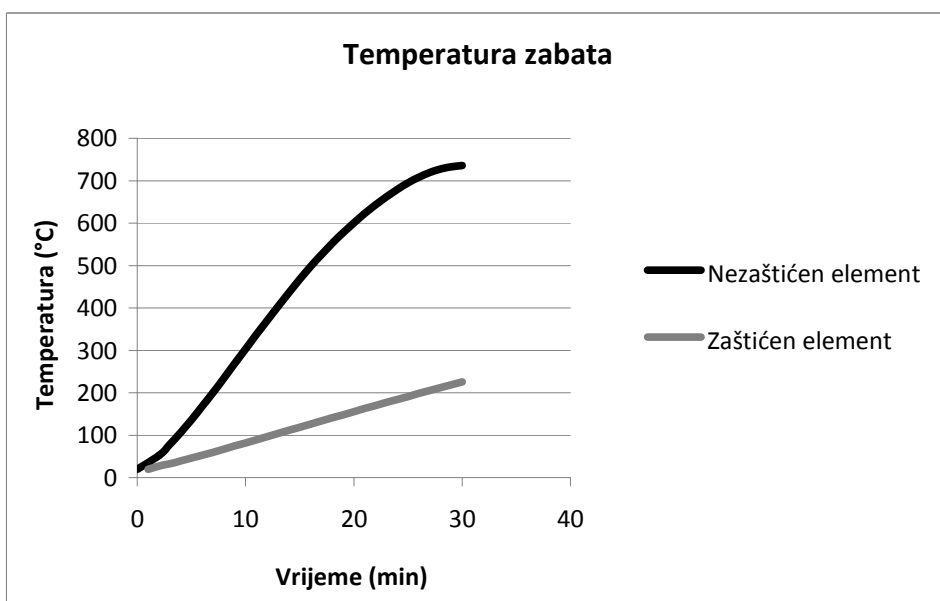
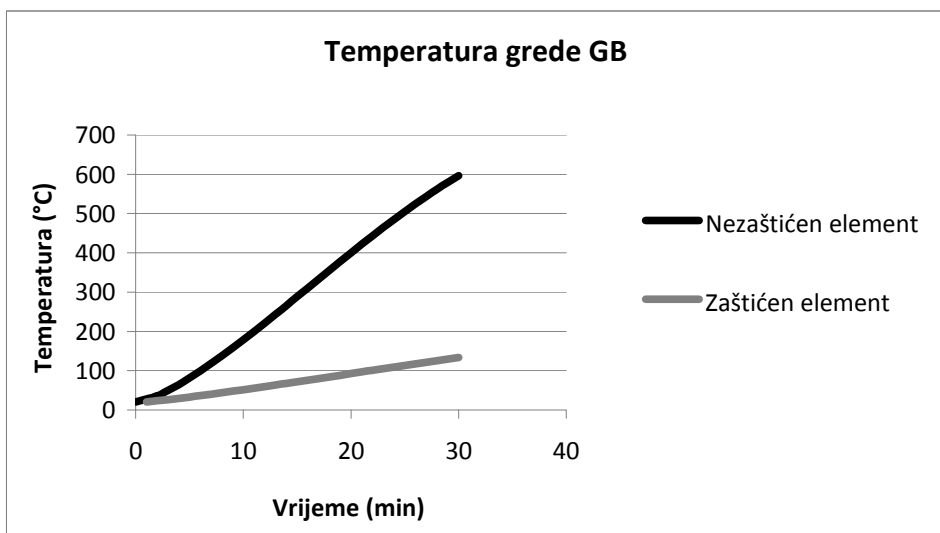
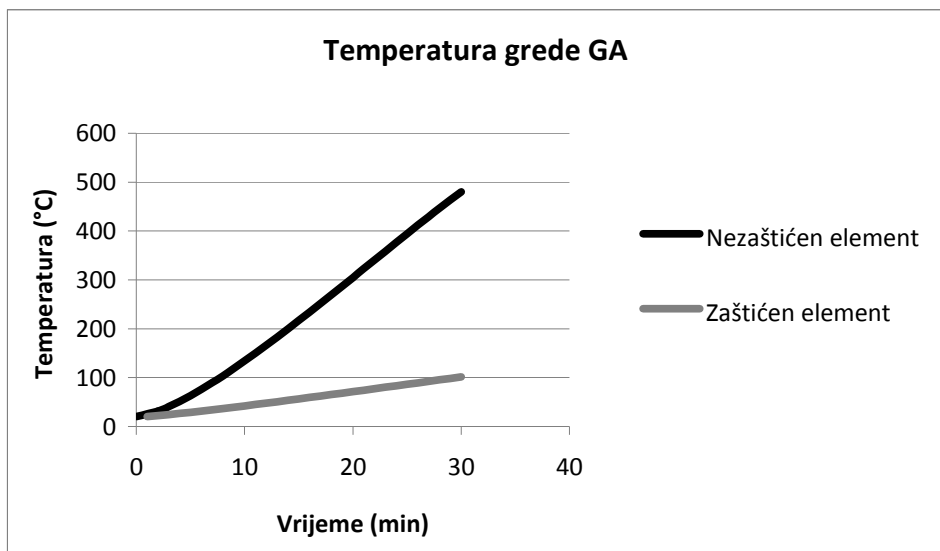
REZULTATI DIMENZIONIRANJA							
Element	Presjek	OTPORNOST PRESJEKA (%)		OTPORNOST ELEMENTA (%)			
		Savijanje	Posmik	Savijanje	Uzdužna sila	M+N-izvijanje	M+N+izvijanje
Stup okvira	HEB300	26,8	14,8	39,9	4,3	31,3	44,6
Stup galerije	HEB240	17,2	2,5	27	3,3	19,7	30,3
Greda galerije	HEB240	44	/	83,6	0,1	44,1	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			

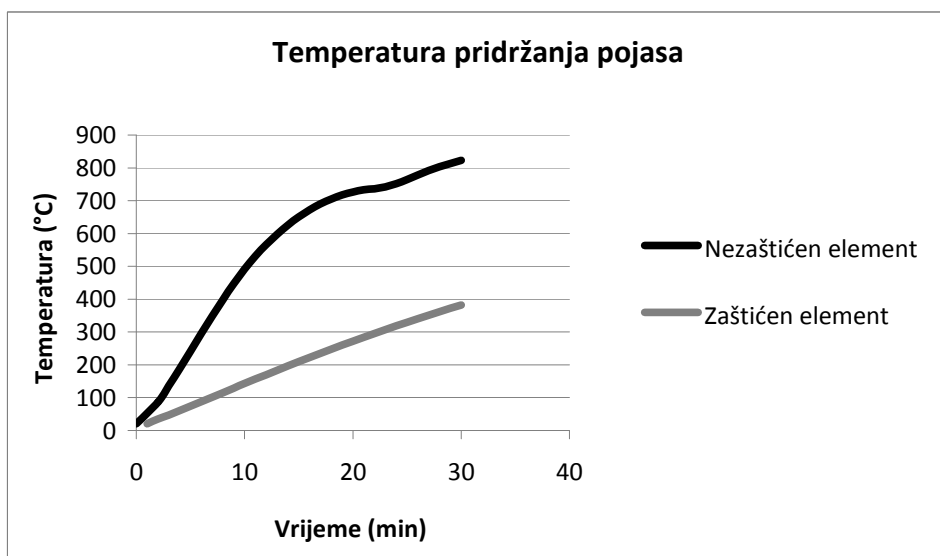
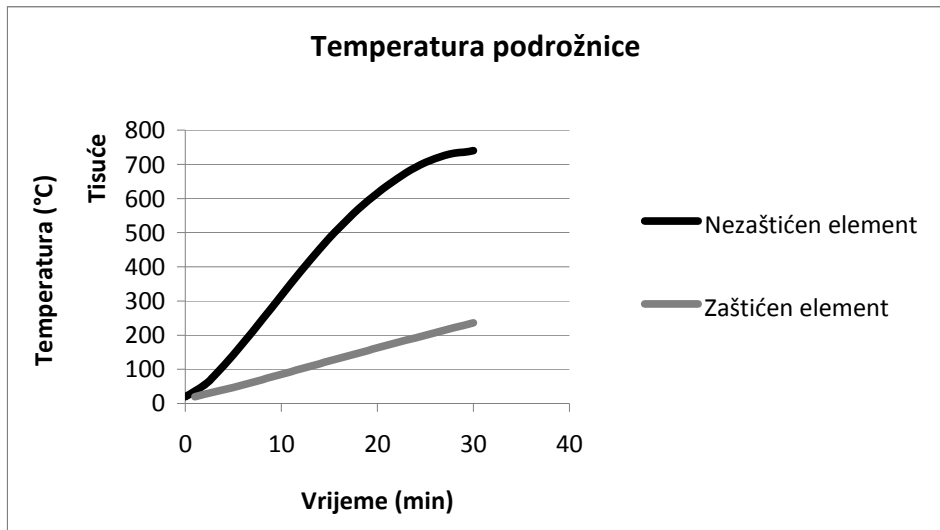
Tablica 18. Rezultati provjere nosivosti uslijed analize požara primjenom standardne krivulje na zaštićene elemente

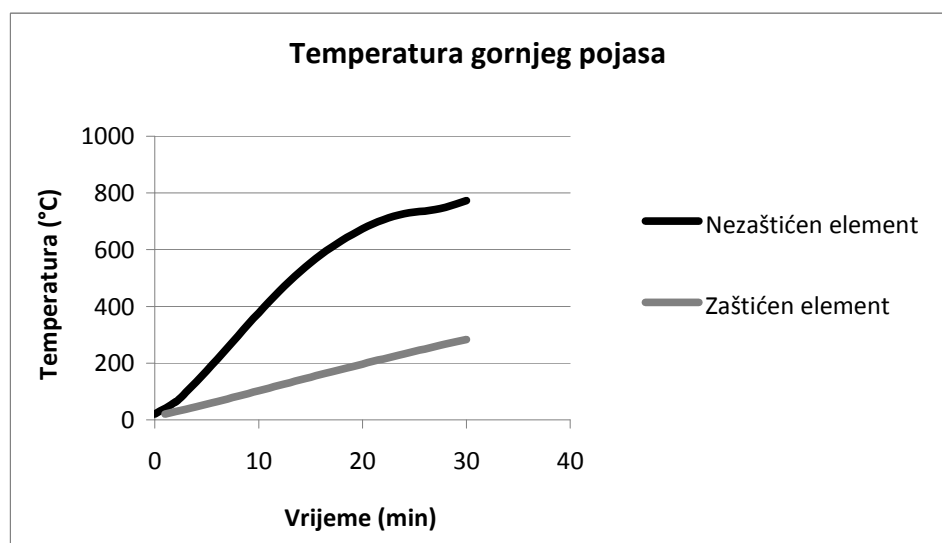
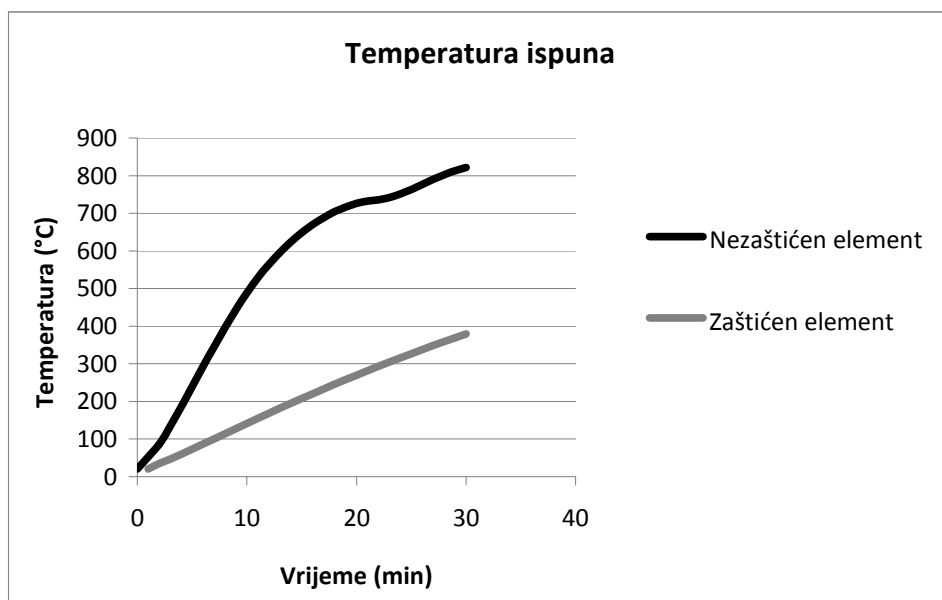
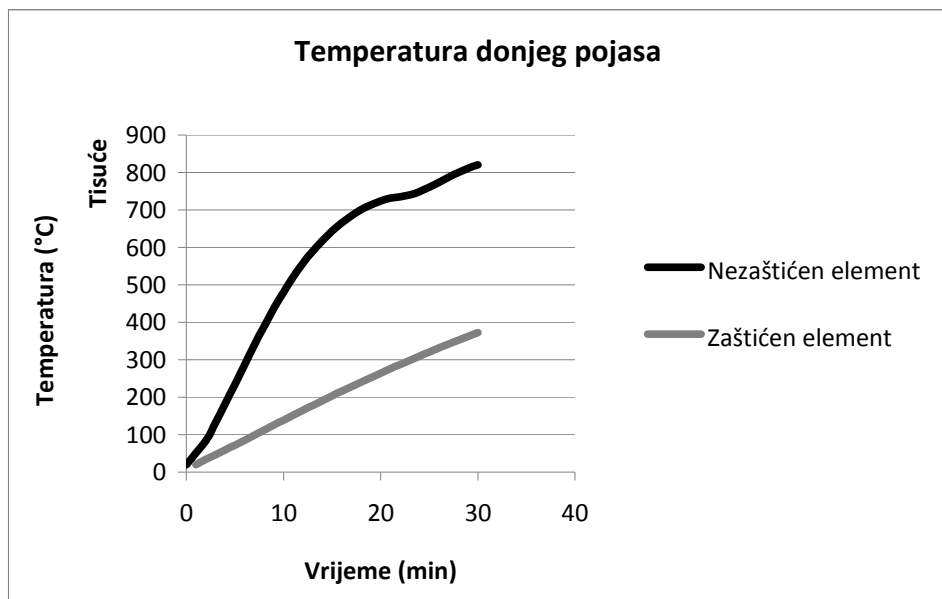
6.2.3 Usporedbe temperatura standardne krivulje požara nezaštićenih i zaštićenih elemenata





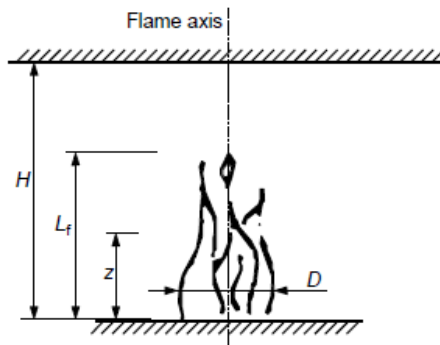




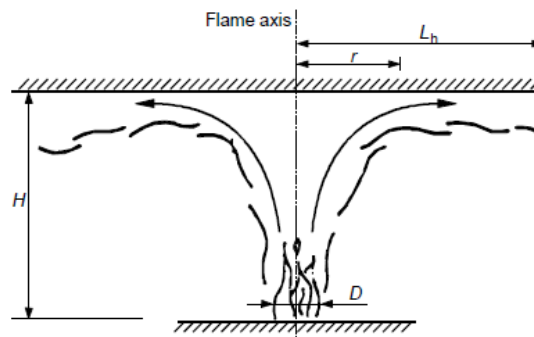


6.3 Lokalizirani požar

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_α – 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_α [s]	RHR_f [kW/m ²]
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_α 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

α_c - koeficijent konvekcije [$25 \text{ W/m}^2\text{K}^4$]

Φ - faktor konfiguracije

ϵ_m - faktor emisije površine elementa

ϵ_f - faktor emisije požara

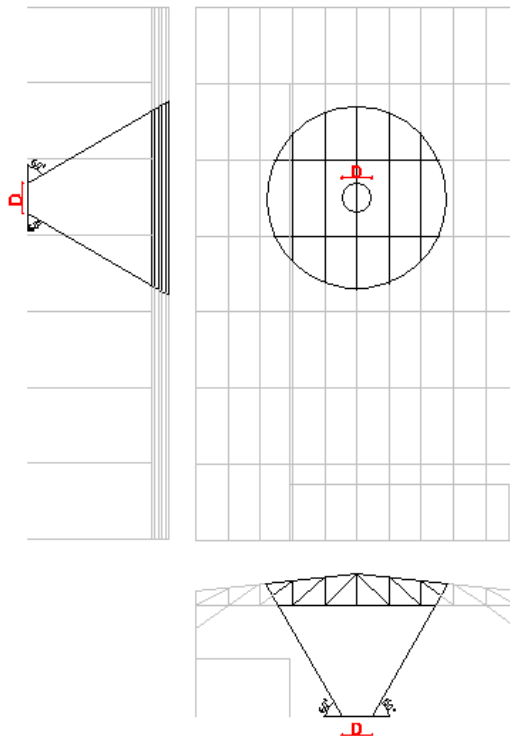
σ - Stephan Boltzmann konstanta [$5,67\text{E-}08 \text{ W/m}^2\text{K}^4$]

Θ_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.

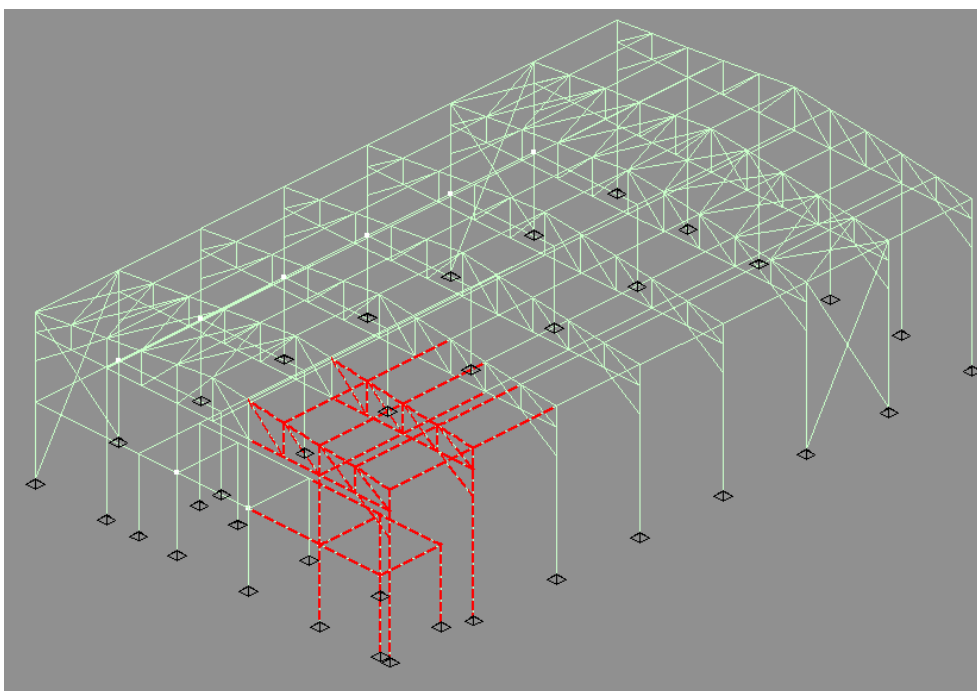
6.3.1 Proračun nosivosti za nezaštićene elemente

6.3.1.1 Slučajevi opterećenja konstrukcije lokaliziranim požarom



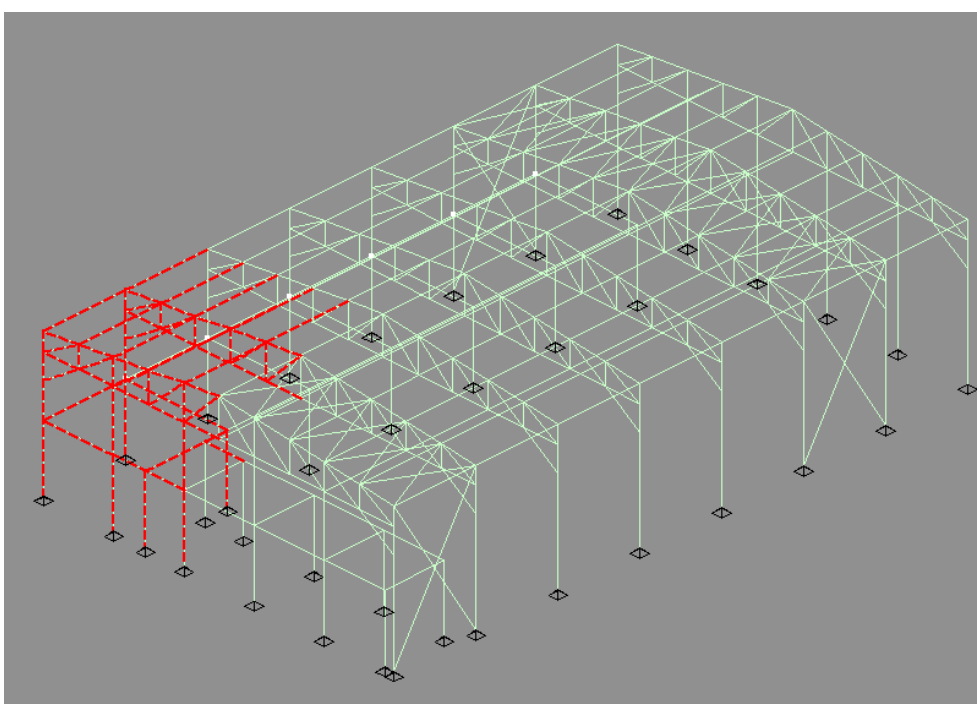
Slika 31. Primjer kako su opterećeni elementi koji su zahvaćeni lokaliziranim požarom

Slučaj 1: lokalizirani požar ispod galerije (LP1)



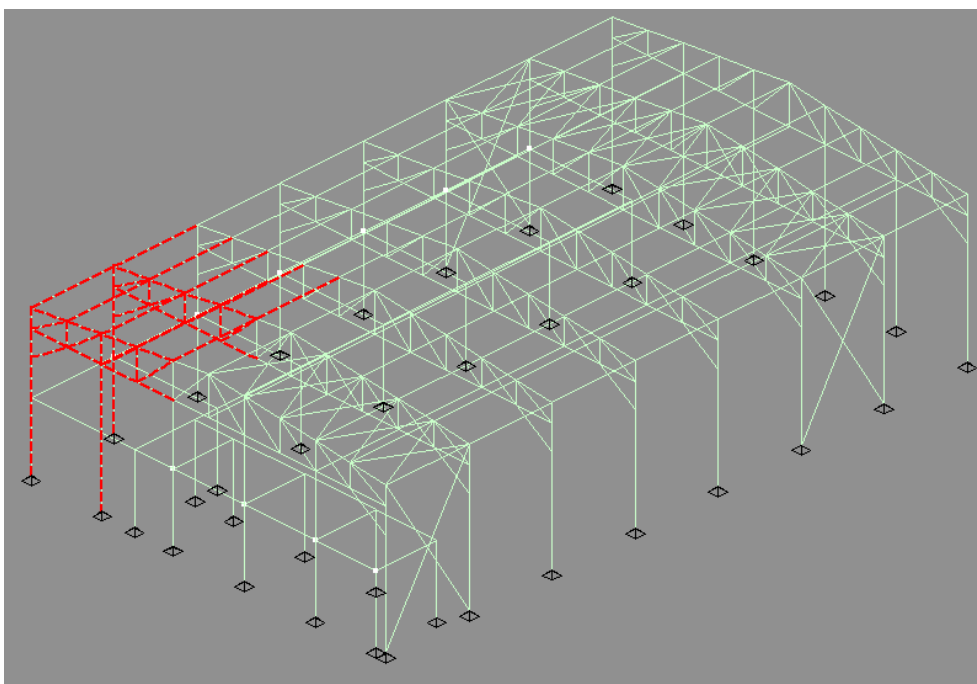
Slika 32. 1.slučaj opterećenja lokaliziranim požarom

Slučaj 2: lokalizirani požar ispod galerije (LP2)



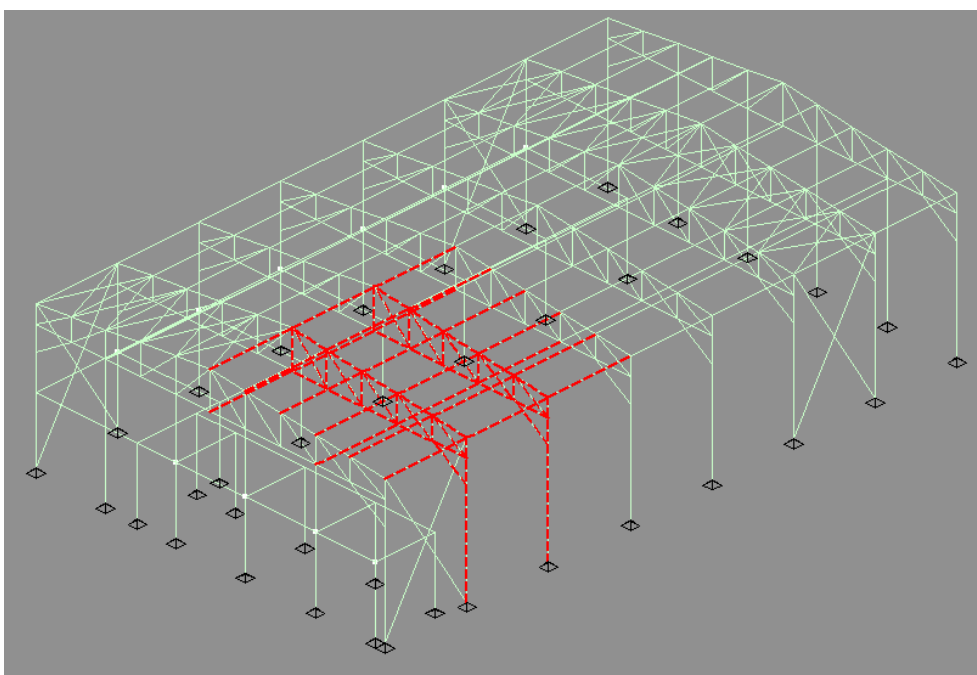
Slika 33. 2.slučaj opterećenja lokaliziranim požarom

Slučaj 3: lokalizirani požar na galeriji (LP3)



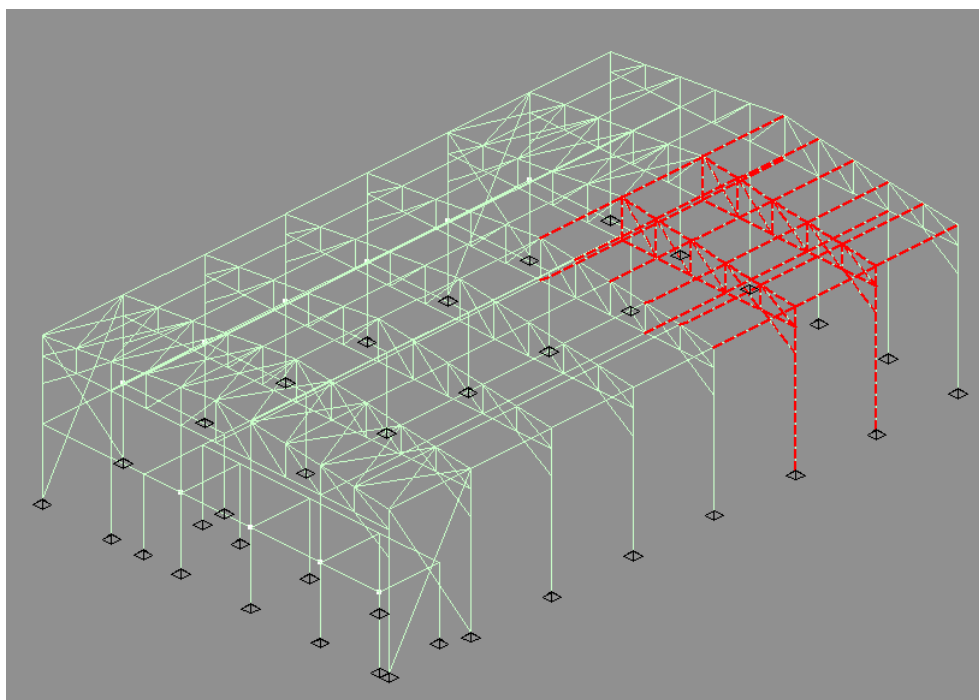
Slika 34. 3.slučaj opterećenja lokaliziranim požarom

Slučaj 4: lokalizirani požar u gledalištu i pozornici 1 (LP4)



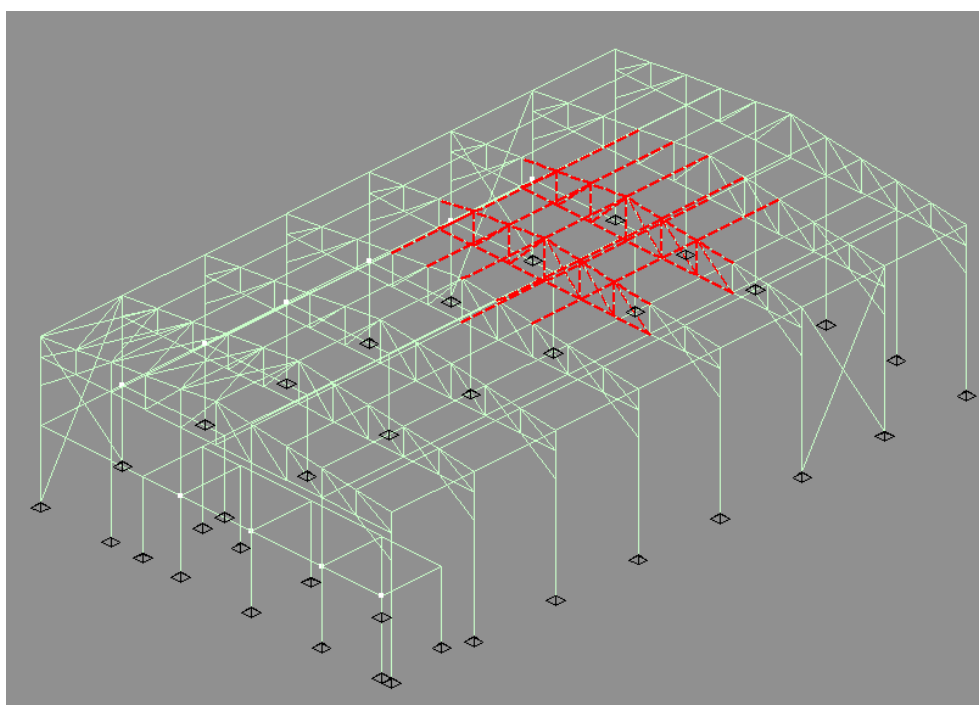
Slika 35. 4.slučaj opterećenja lokaliziranim požarom

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 _α =	300s
RHRf=	250000W/m ²
Q=	785000
L _f =	1,33450113m
Q _c =	628000
z ₀ =	-0,8452442m
z=	3,82m
L _f < H	
Θ(z)=	160,807819 ≤ 900°C

LP3	
H=	3,48M
D=	2M
t=	1800S
t _α =	300S
RHRf=	250000W/m ²
Q=	785000
L _f =	1,33450113M
Q _c =	628000
z ₀ =	-0,8452442M
z=	3,48M
L _f < H	
Θ(z)=	179,735256 ≤ 900°C

LP4, LP5, LP6	
H=	7,3m
D=	2m
t=	1800s
t _α =	150 → tablica
RHRf=	500000W/m ²
Q=	1570000
L _f =	2,41268094m
Q _c =	1256000
z ₀ =	-0,4635103m
z=	7,3m
L _f < 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

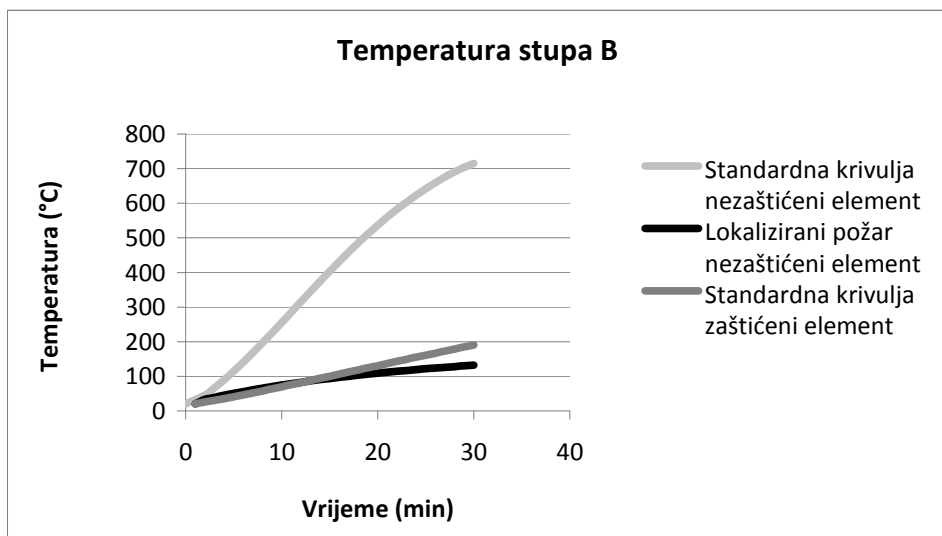
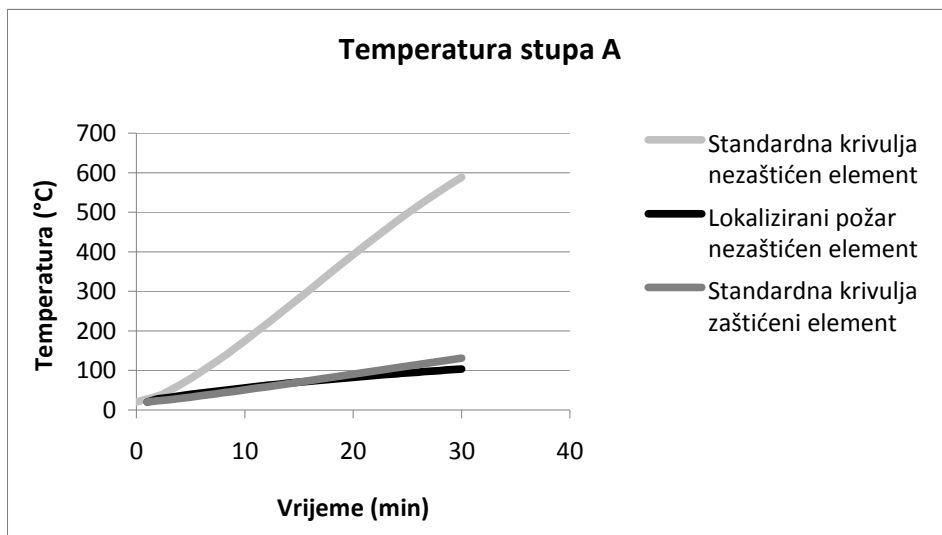
Dimenzioniranje je provedeno prema postupku koji je objašnjen u dijelu 6.2.1.4.

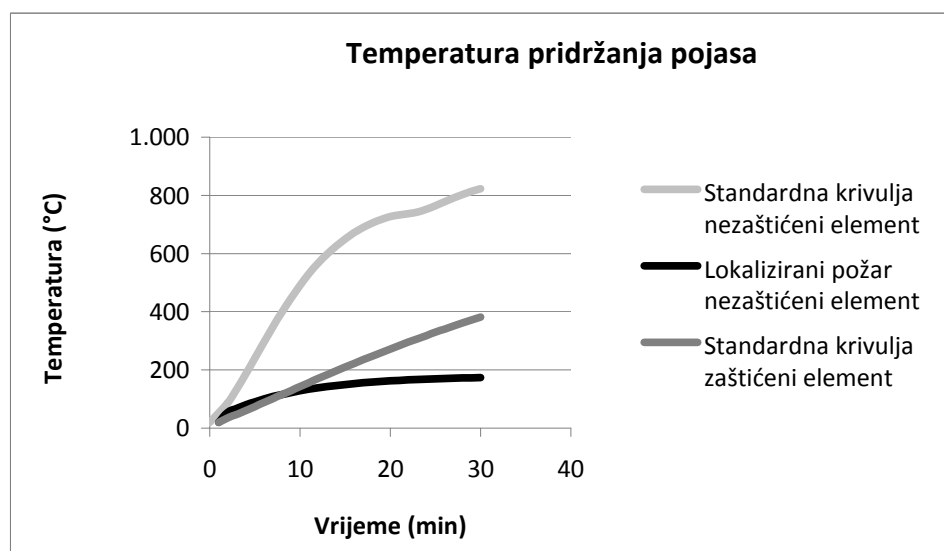
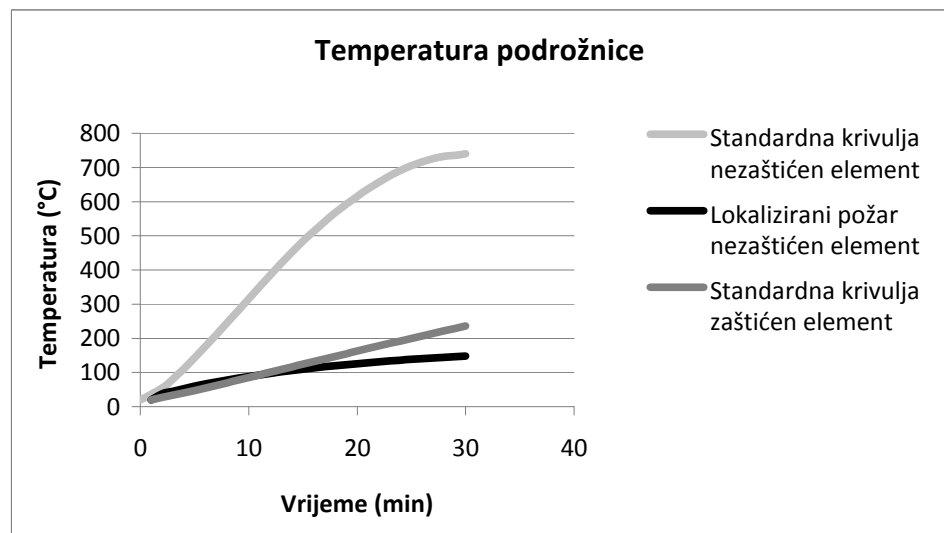
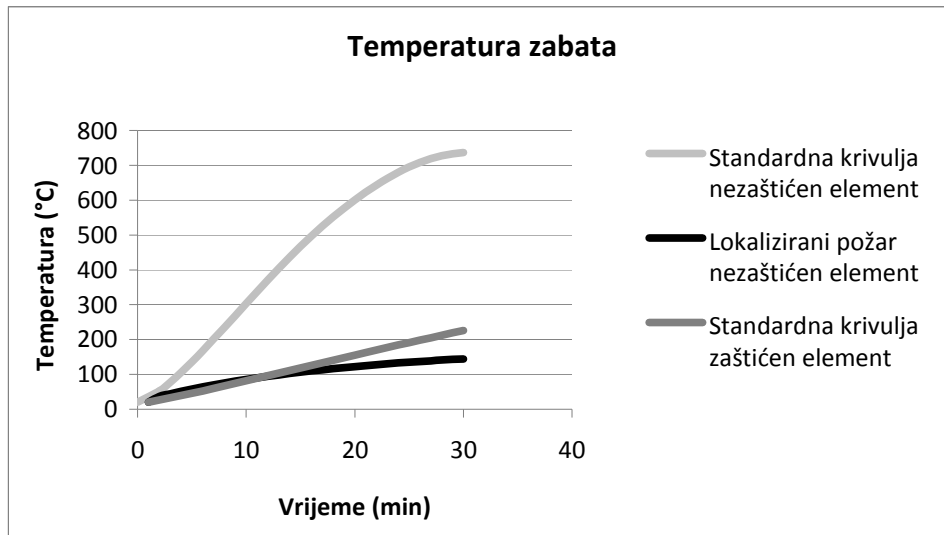
REZULTATI DIMENZIONIRANJA							
Element	Presjek	OTPORNOST PRESJEKA (%)		OTPORNOST ELEMENTA (%)			
		Savijanje	Posmik	Savijanje	Uzdužna sila	M+N-izvijanje	M+N+izvijanje
Stup okvira	HEB300	33,5	10,5	49,5	11,5	46,7	63,5
Stup galerije	HEB240	16,7	2,4	26,3	11,4	25,1	37,6
Greda galerije	HEB240	36,3	/	69,7	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			

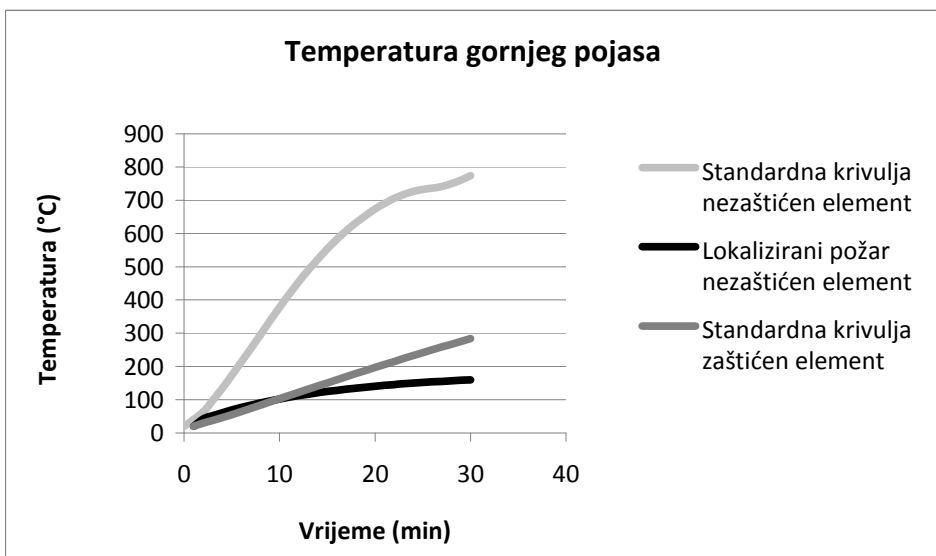
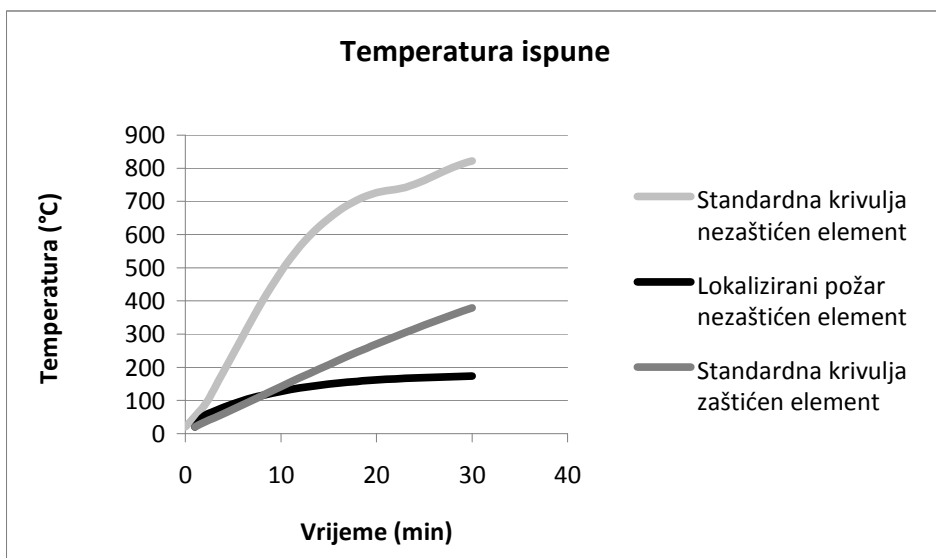
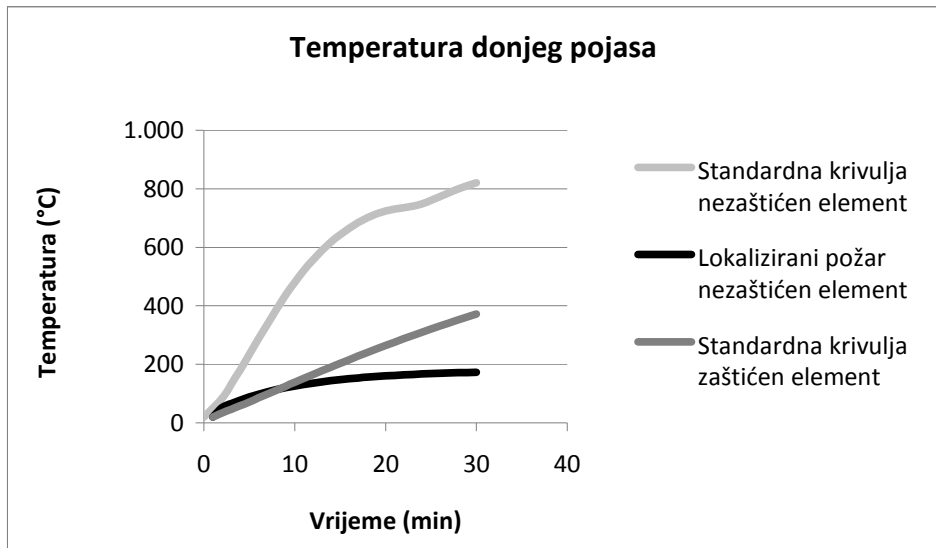
Tablica 24. Rezultati provjere nosivosti uslijed analize lokaliziranog požara na nezaštićene elemente

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 _α =	300	s
RHRf=	250000	W/m ²
Q=	2657696	W
L _f =	1,74261656	m
Q _c =	2126156,8	W
z ₀ =	-1,8076422	m
z=	3,82	m
L _f < H		
Θ(z)=	252,262257	≤900°C

LP2		
H=	3,82	m
D=	5,05	m
t=	1800	s
t _α =	300	s
RHRf=	250000	W/m ²
Q=	5004865,63	W
L _f =	1,92876242	m
Q _c =	4003892,5	W
z ₀ =	-2,6443814	m
z=	3,82	m
L _f < H		
Θ(z)=	301,131639	≤900°C

LP3		
H=	3,48	m
D=	5,05	m
t=	1800	s
t _α =	300	s
RHRf=	250000	W/m ²
Q=	5004865,63	W
L _f =	1,92876242	m
Q _c =	4003892,5	W
z ₀ =	-2,6443814	m
z=	3,48	m
L _f < H		
Θ(z)=	327,622723	≤900°C

LP4, LP5, LP6		
H=	7,3m	
D=	5,05m	
t=	1800s	
t _α =	300s	
RHRf=	500000	W/m ²
Q=	10009731,3	W
L _f =	4,19080252	m
Q _c =	8007785	W
z ₀ =	-1,8434969	m
z=	7,3m	
L _f < 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 $Q = 10^6 \cdot \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2$ sa preporučenim koeficijentima t_α 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.

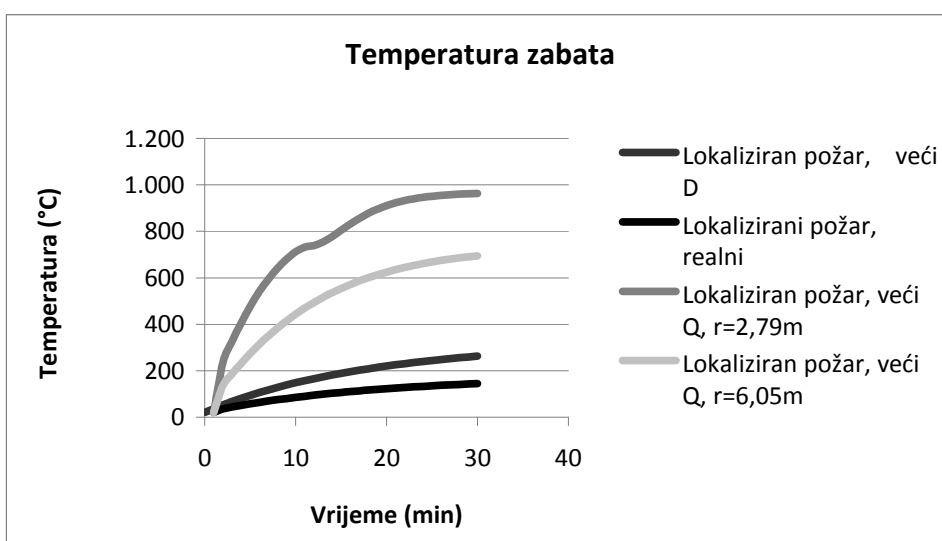
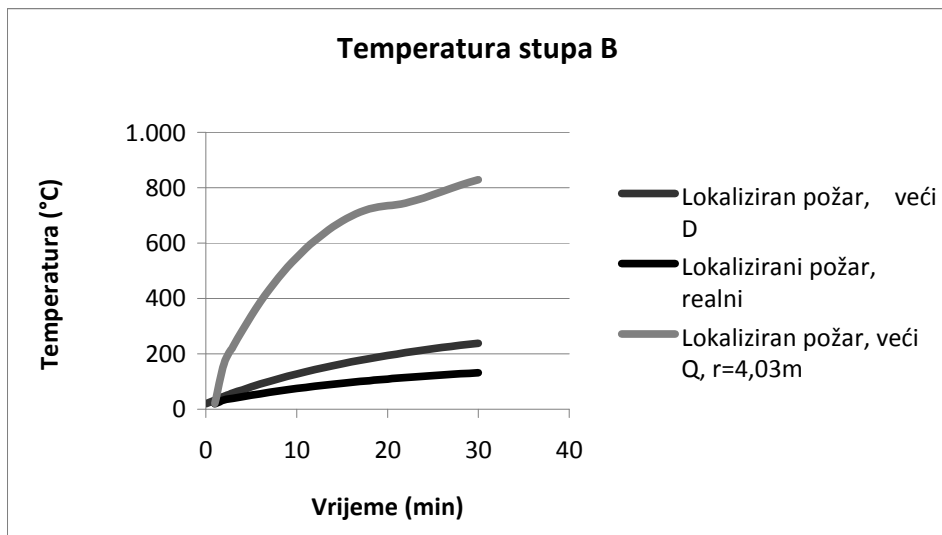
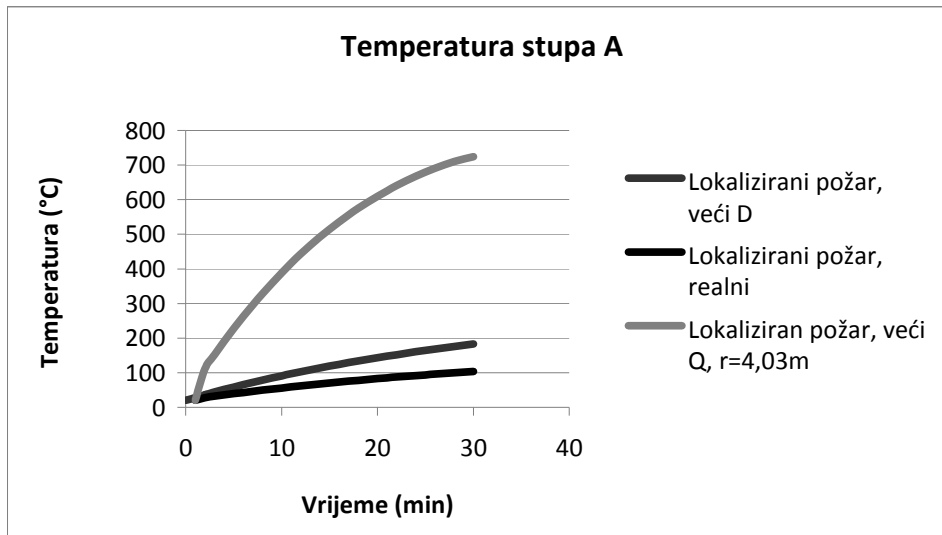
Proračun temperatura elemenata je napravljen u programskom paketu HEAT.

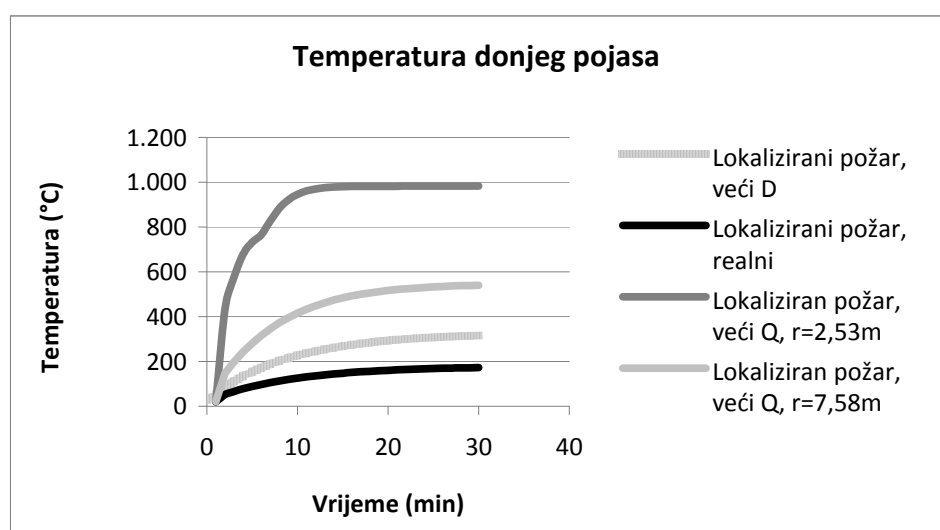
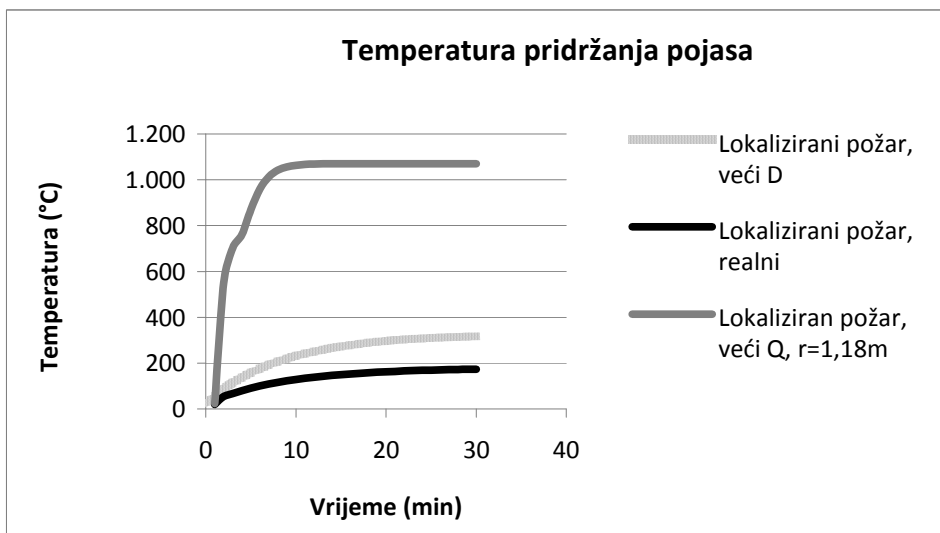
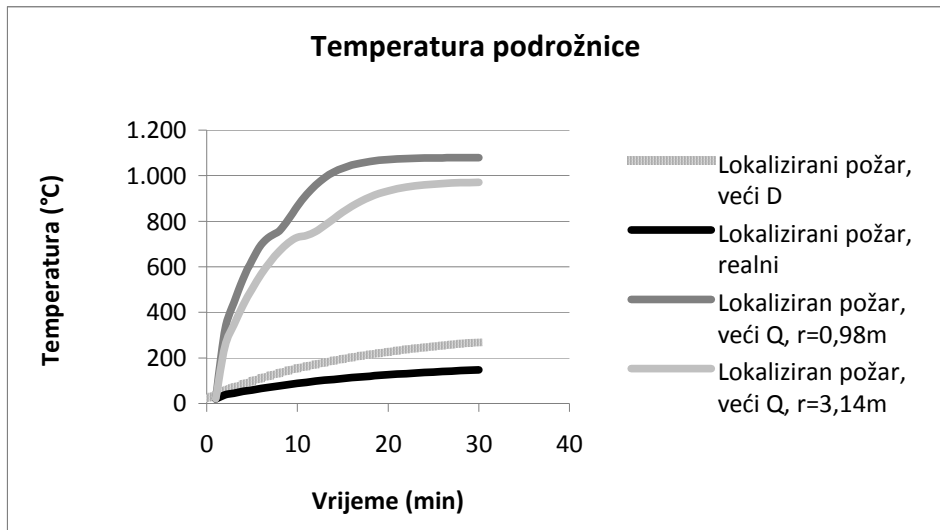
6.3.4 Usporedbe temperatura nezaštićenih elemenata dobivenih analizom "realnog" lokaliziranog požara sa temperaturama dobivenih analizom "manje realnih" lokaliziranih požara

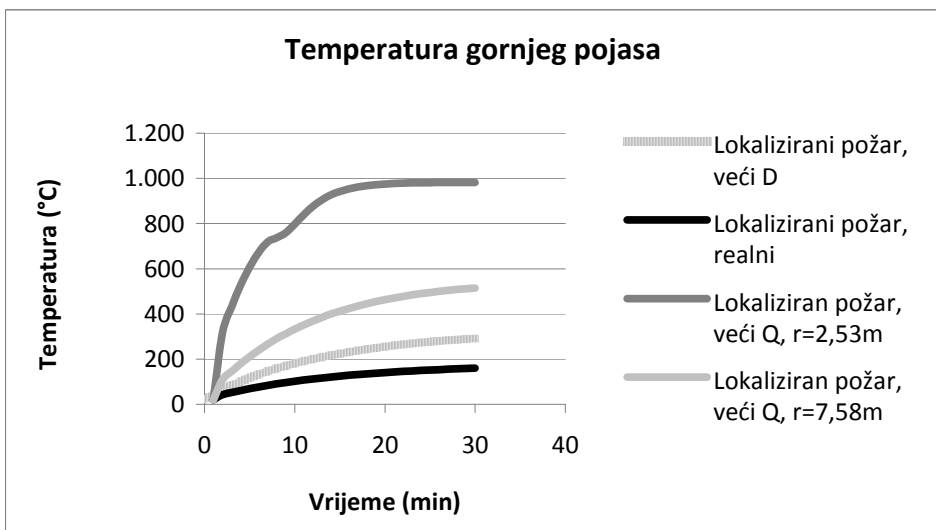
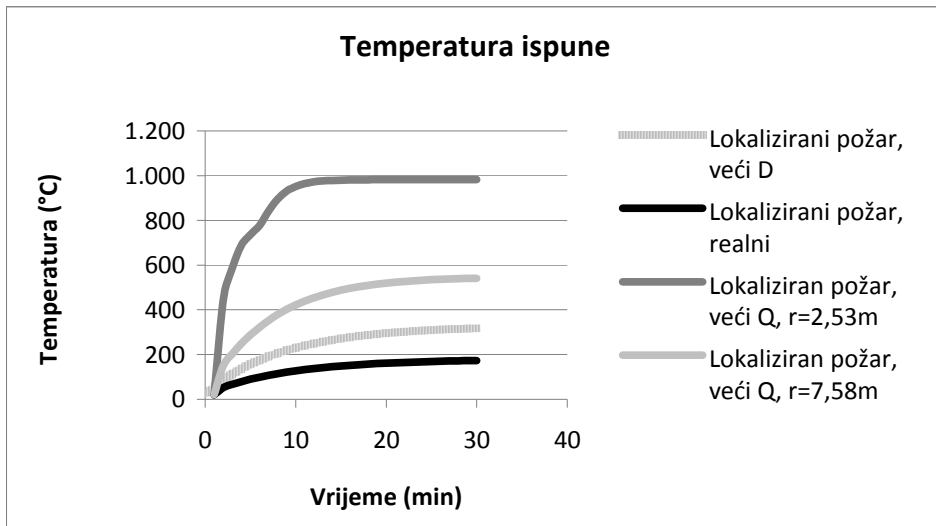
Usporedba je rađena za 3. slučaj požara jer se za "realni" lokalizirani požar i lokalizirani požar sa većim D u tom slučaju javljaju najveće temperature.

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

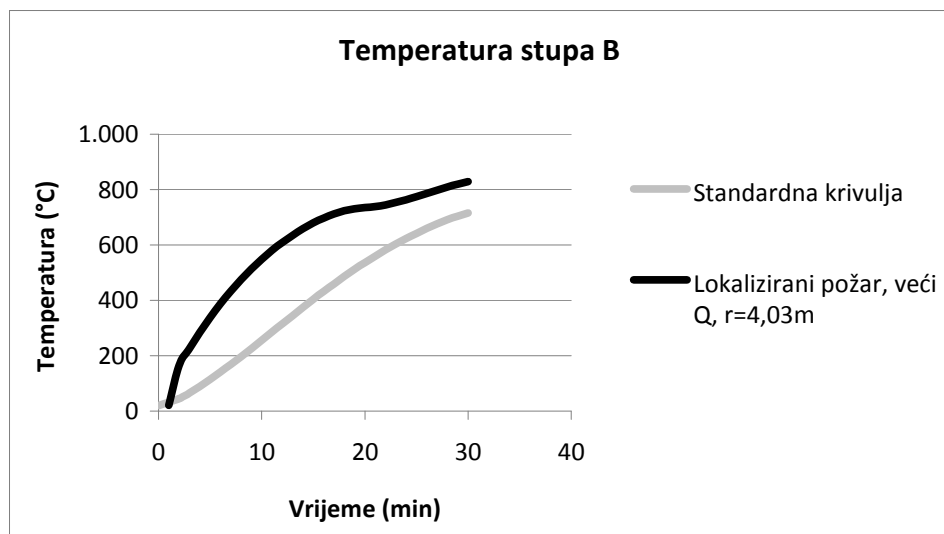
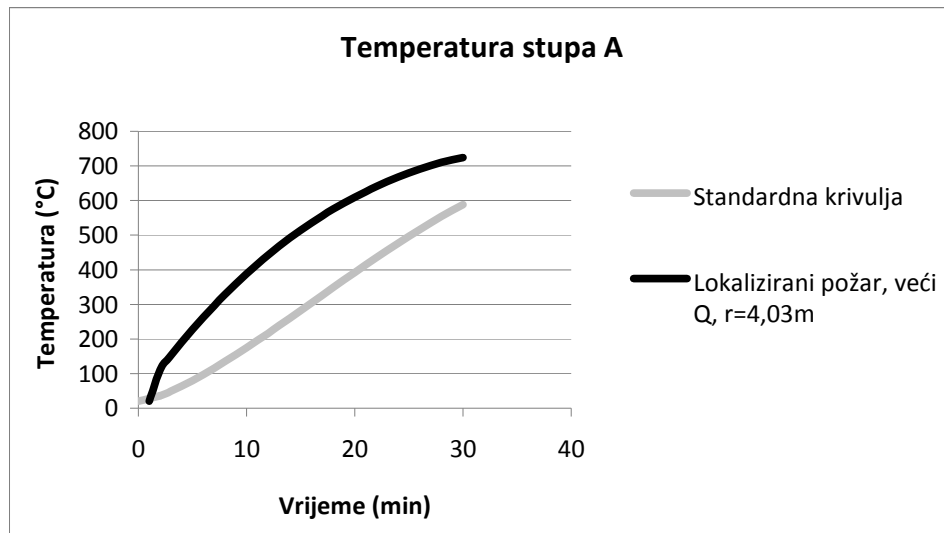


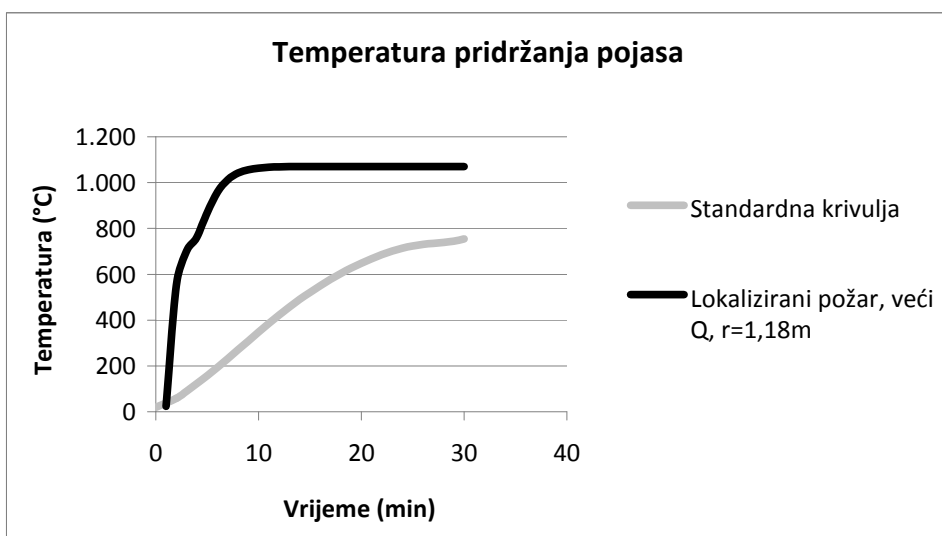
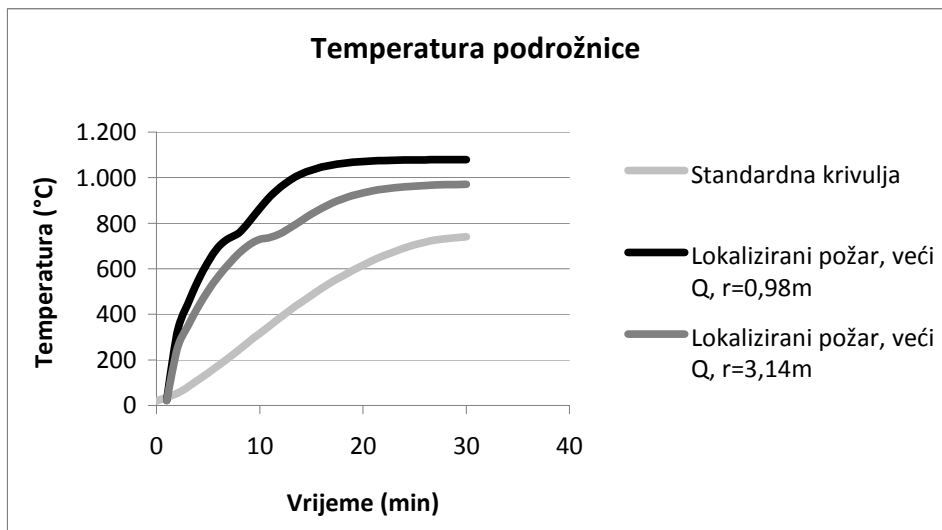
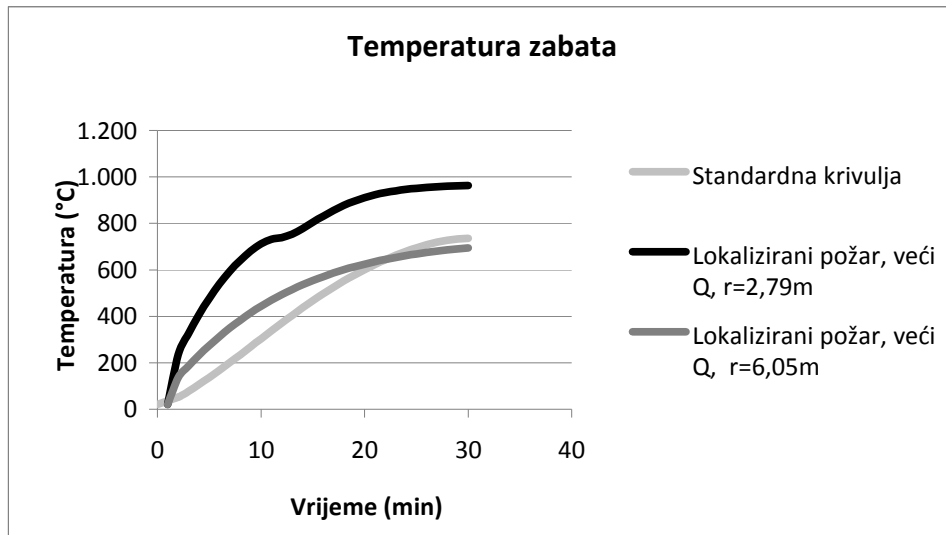


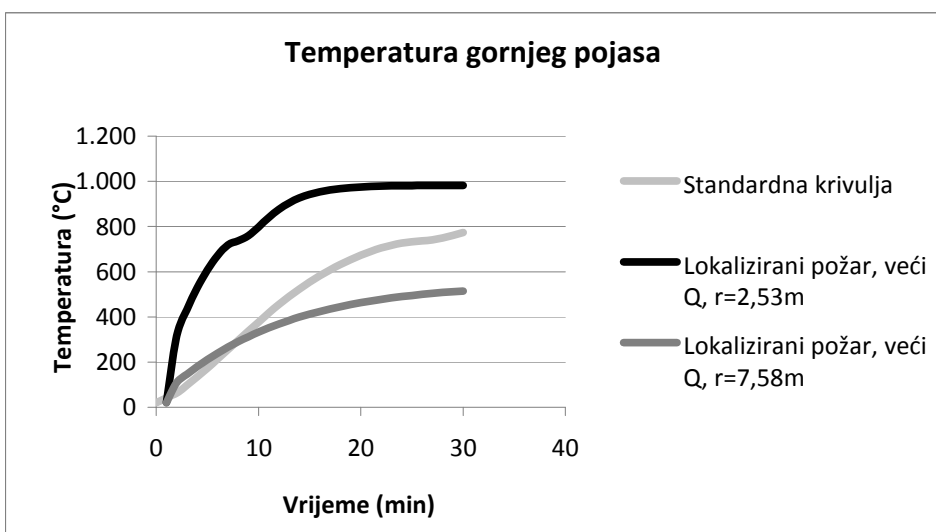
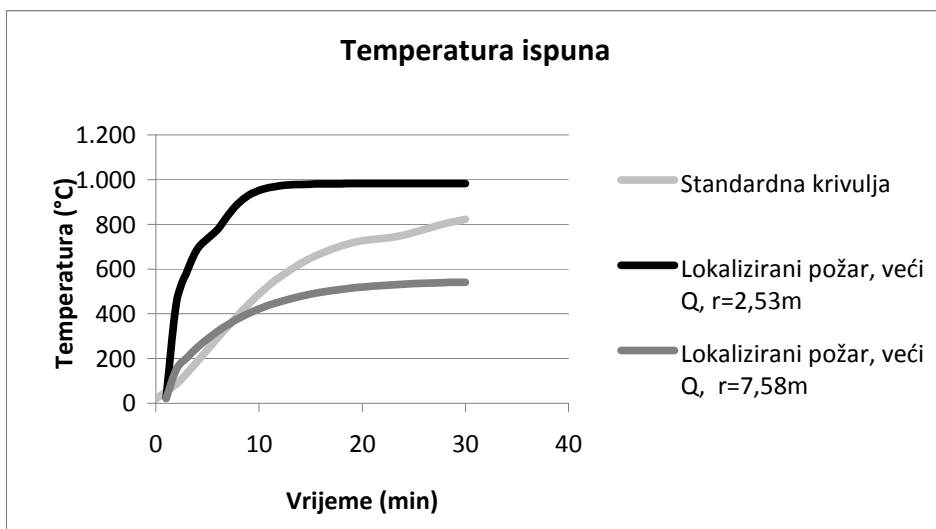
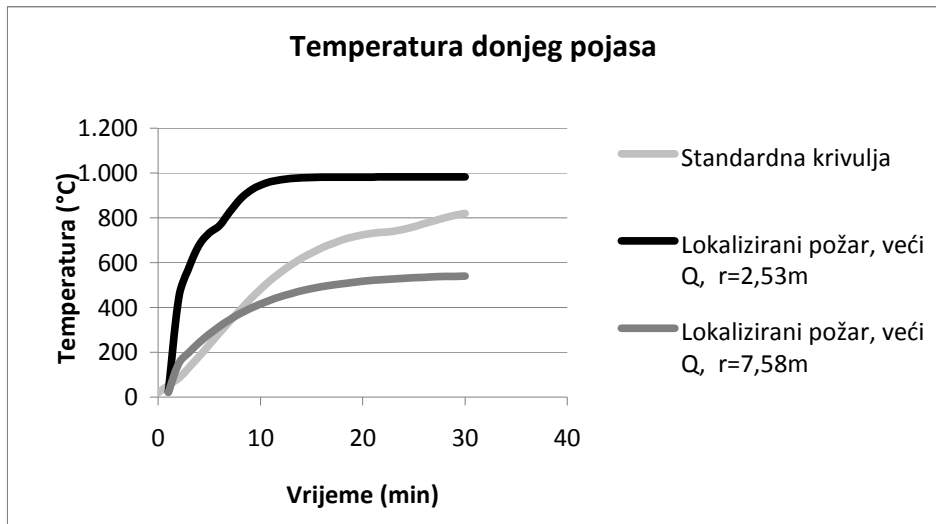


6.3.5 Usporedbe temperatura nezaštićenih elemenata dobivenih analizom lokaliziranog požara sa većim Q sa temperaturama dobivenih analizom požara primjenom standardne krivulje

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 m² 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 λ u W/mK, specifične toplinske vodljivosti c u J/kgK i gustoće ρ kg/m³
- ukupne površine zidova, stropa i poda, uključujući otvore (A_t [m²]), ukupne površine otvora (A_v [m²]), i prosječnu visinu otvora h (h_{eq} [m]),
- snaga požara ($q_{t,d}$ [MJ/m²]) 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 ρ i toplinskoj vodljivosti λ s limitom $100 \leq b \leq 2\,200$ [J/m²s^{0.5}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^{0.5}]

$$\Gamma = \left(\frac{O/0,04}{b/1160} \right)^2$$

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/m²]

$q_{f,d}$ – vrijednost dana u tablici 27. za različite namjene prostora [MJ/m²]

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 Γ

$$O_{\lim} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / t_{\lim}$$

$$\Gamma_{\lim} = \left(\frac{O_{\lim} / 0,04}{b / 1160} \right)^2$$

Ako je $O > 0,04$ i $q_{t,d} < 75$ i $b < 1160$, Γ_{\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

$$\theta_g = \theta_{\max} - 625(t^* - t_{\lim}^*) \text{ za } t_{\max}^* \leq 0,5$$

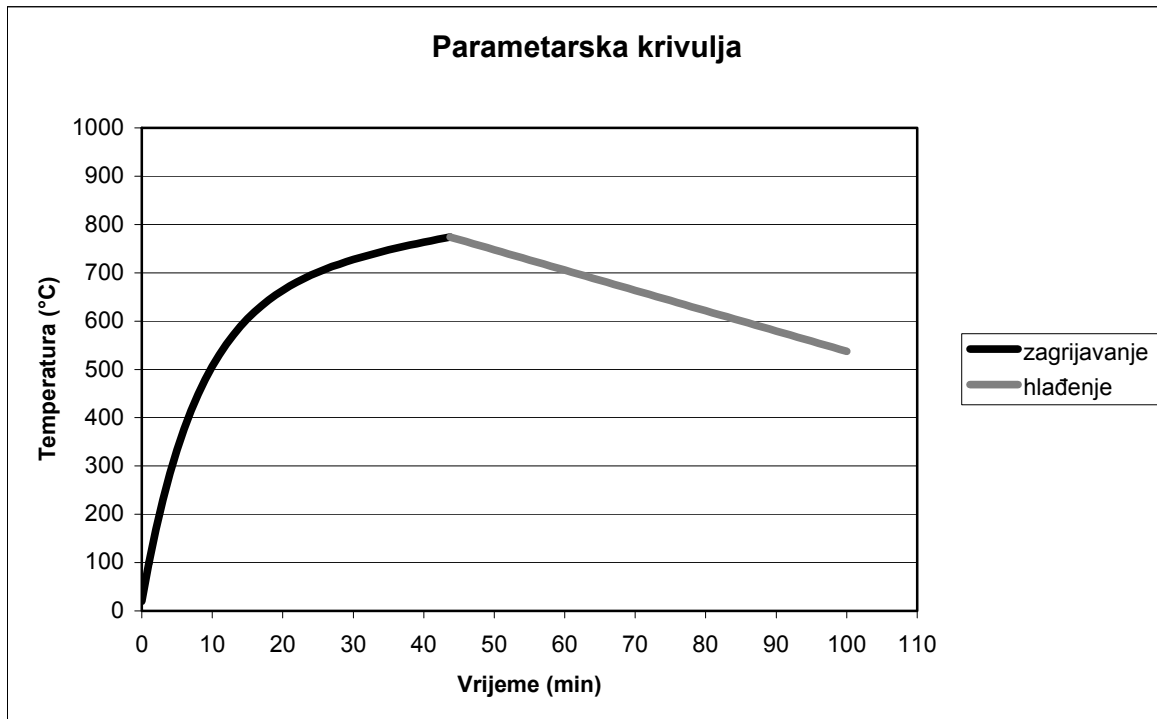
$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(3 - t_{\max}^*)(t^* - t_{\lim}^*) \text{ za } 0,5 < t_{\max}^* < 2,0$$

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(t^* - t_{\lim}^*) \text{ za } t_{\max}^* \geq 2,0$$

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 _{f,k} =	365	MJ m ⁻²	Tablica 4 Annex E		
A _r =	485,1844	m ²	površina odjeljka		
δq ₁ =	1,54		tablica 1 Annex E		
δq ₂ =	1				
δn=	1				
q _{f,d} =	562,1	MJ m ⁻²			
A _t =	1656,4228	m ²	Ukupna površina		
A _v =	46	m ²	površina otvora		
	pod			strop i zidovi	
ρ=	2300	kg/m ³		ρ= 7850	kg/m ³
c=	840	J kg ⁻¹ K ⁻¹		c= 700	J kg ⁻¹ K ⁻¹
λ=	1,57	W m ⁻¹ K ⁻¹		λ= 35	W m ⁻¹ K ⁻¹
b=	1741,619936	J m ⁻² s ^{-0,5} K ⁻¹		b= 2200	J m ⁻² s ^{-0,5} K ⁻¹
			100 ≤ b ≤ 2200		
b=	2061,90033	J m ⁻² s ^{-0,5} K ⁻¹			
h _{eq} =	2,64673913	m	visina otvora		
O=	0,045179581	m ^{0,5}			
Γ=	0,40378024				
q _{t,d} =	164,6452532	MJ/m ²			
t=	0,728848071	sati			
t _{lim} =	0,2	sati			
t _{max} =	0,728848071	sati			
t _{max} [*] =	0,294294449				
Θ _{max} =	774,0107385	°C			

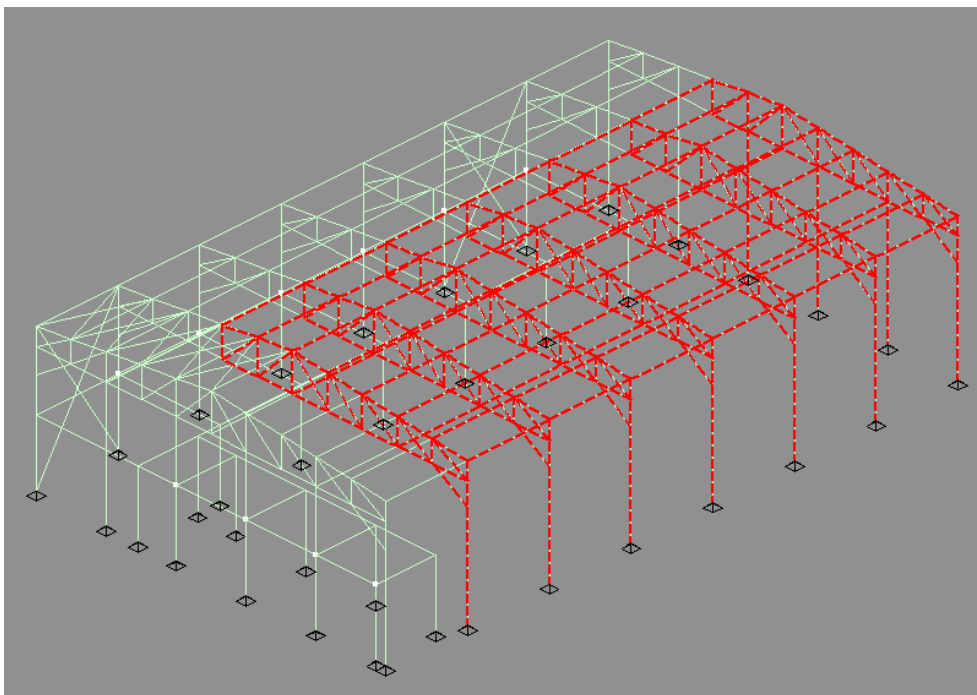


Slika 38. Parametarska krivulja za predmetnu konstrukciju

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

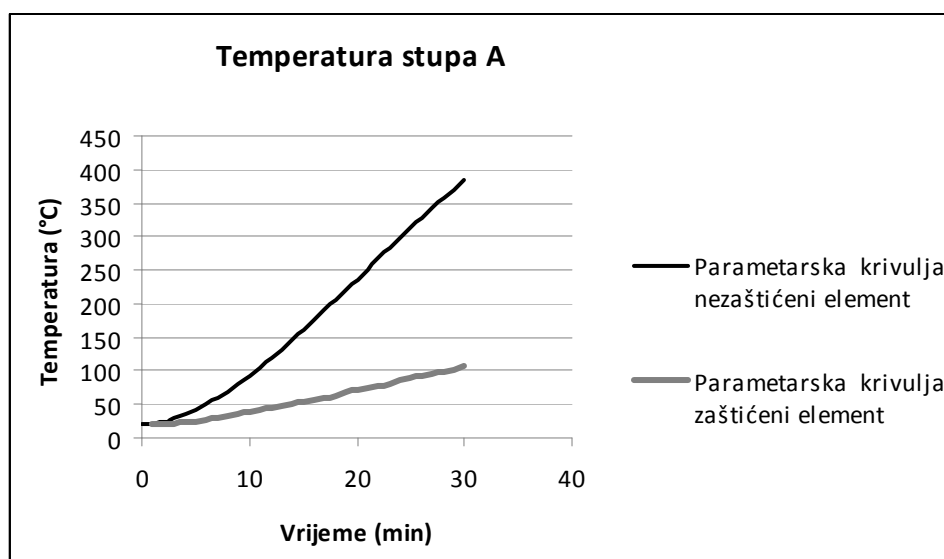
6.4.3.3 Rezultati provjere nosivosti zaštićenih elemenata za požar parametarske krivulje

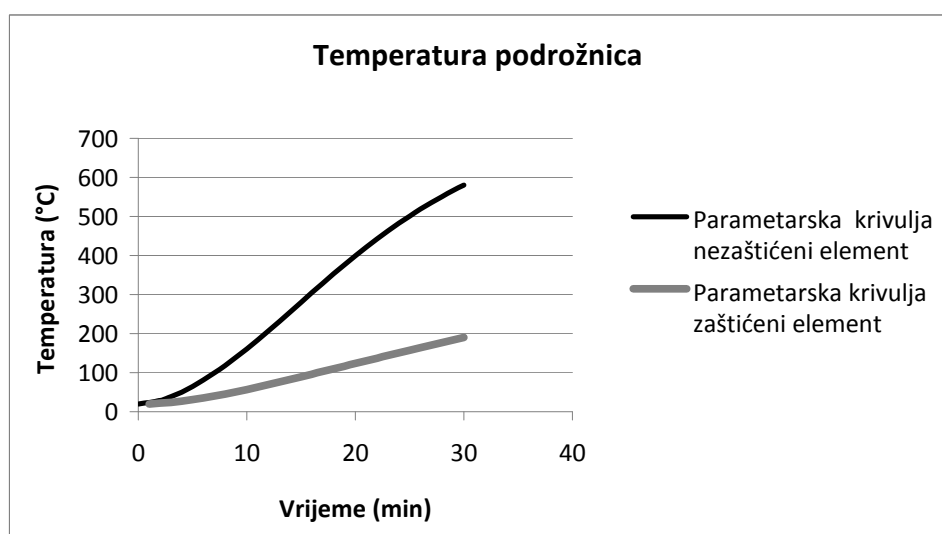
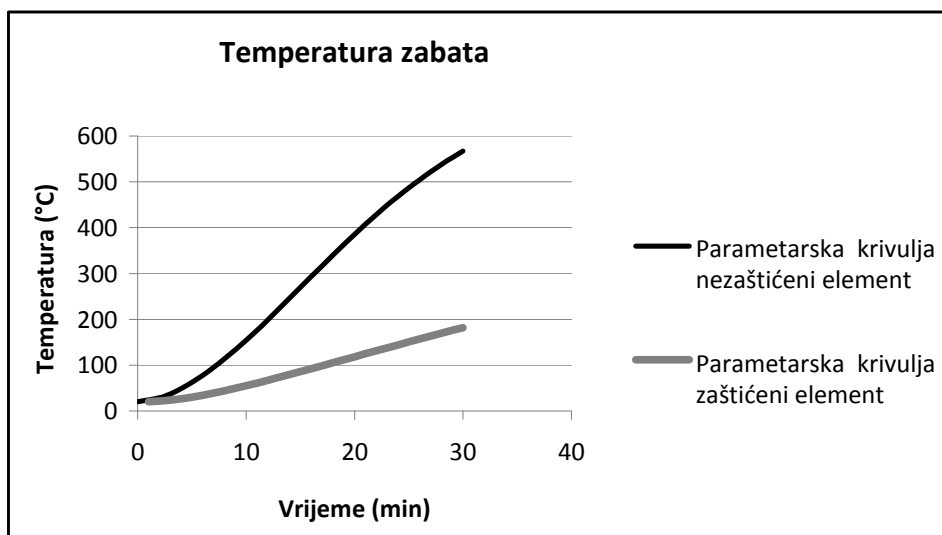
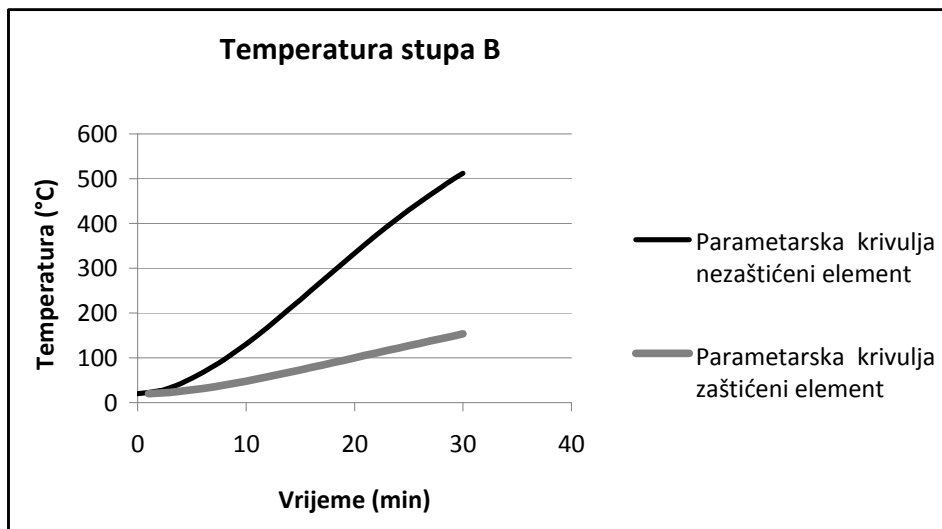
Dimenzioniranje je provedeno prema postupku koji je objašnjen u dijelu 6.2.1.4.

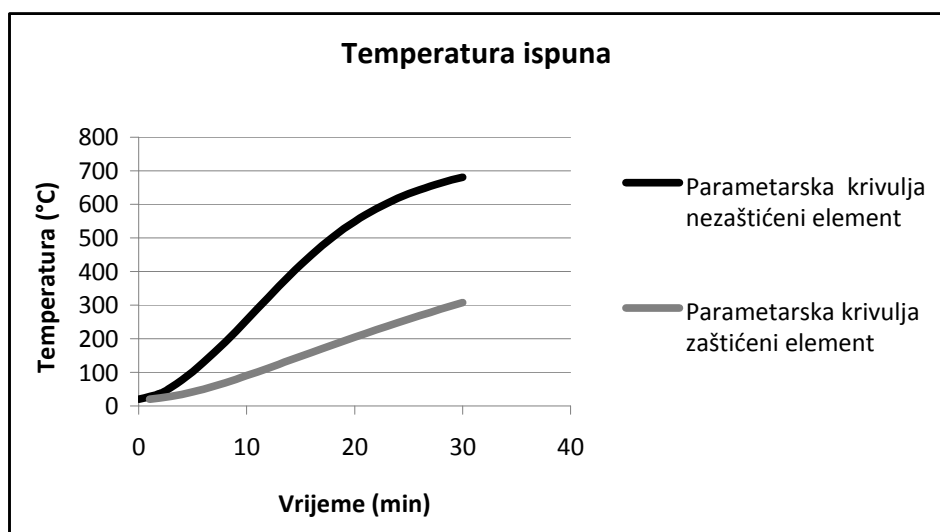
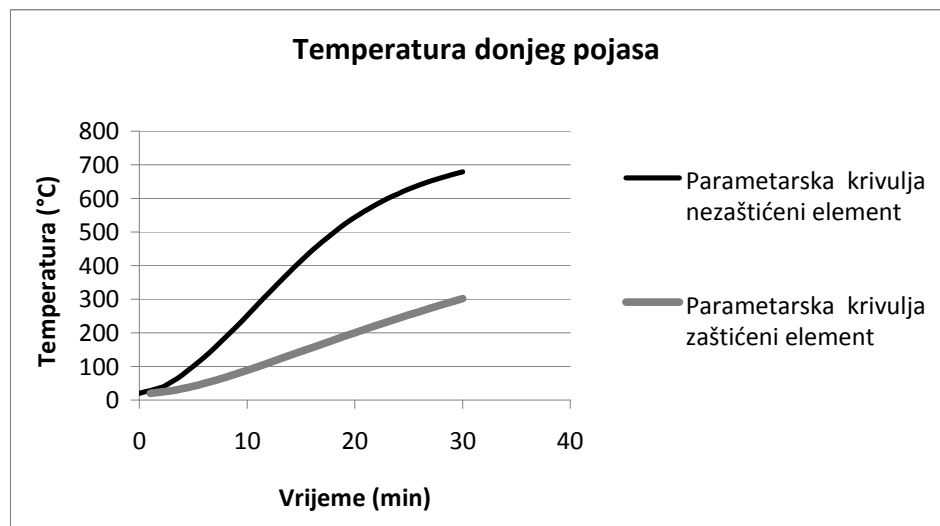
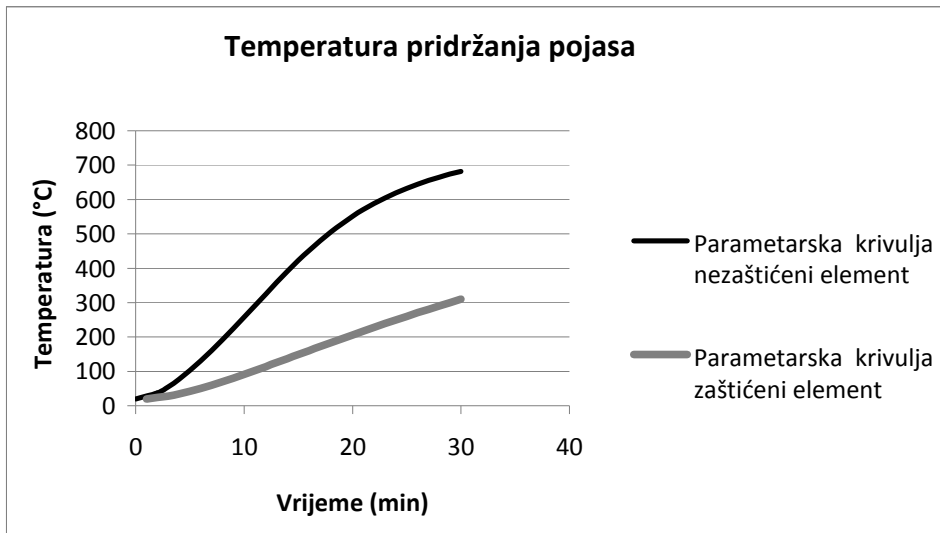
REZULTATI DIMENZIONIRANJA							
Element	Presjek	OTPORNOST PRESJEKA (%)		OTPORNOST ELEMENTA (%)			
		Savijanje	Posmik	Savijanje	Uzdužna sila	M+N-izvijanje	M+N+izvijanje
Stup okvira	HEB300	58,7	13,2	86,7	4,8	64,8	93,4
Zabat	HEB220	27,8	14,6	43	4,9	33,6	48,6
		Tlak	Vlak	Izvijanje			
Gornji pojas	180/80/4	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			

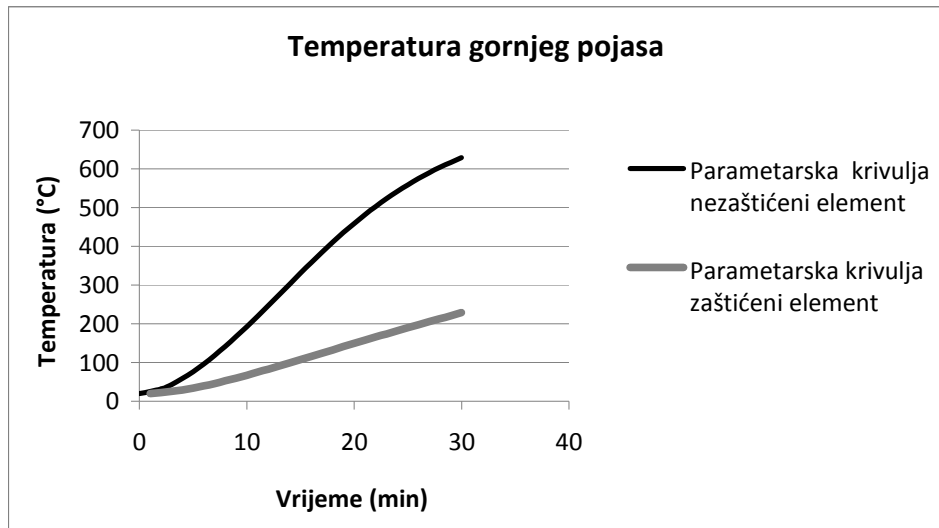
Tablica 33. Temperature zaštićenih elemenata uslijed analize požara primjenom parametarske krivulje

6.4.4 Usporedbe temperatura elemenata dobivenih analizom požara primjenom parametarske krivulje za nezaštićene i zaštićene elemente



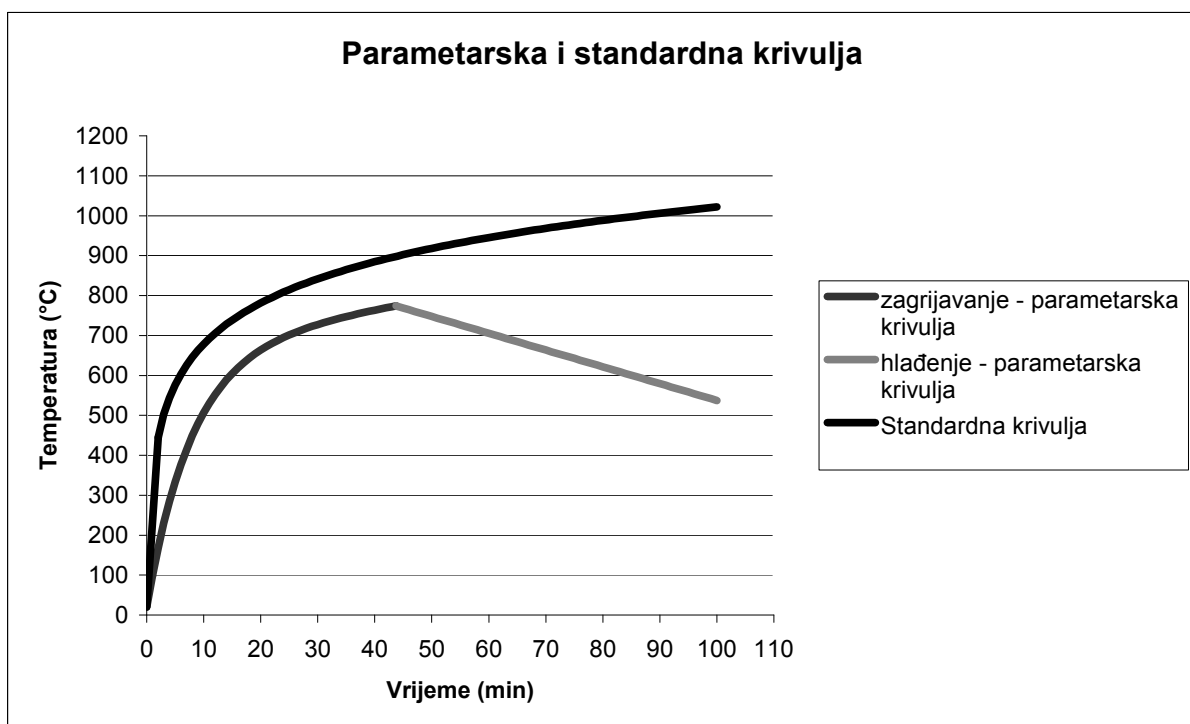






6.4.5 Usporedba temperatura elemenata dobivenih analizom požara primjenom standardne krivulju, lokaliziranog požara i parametarske krivulje

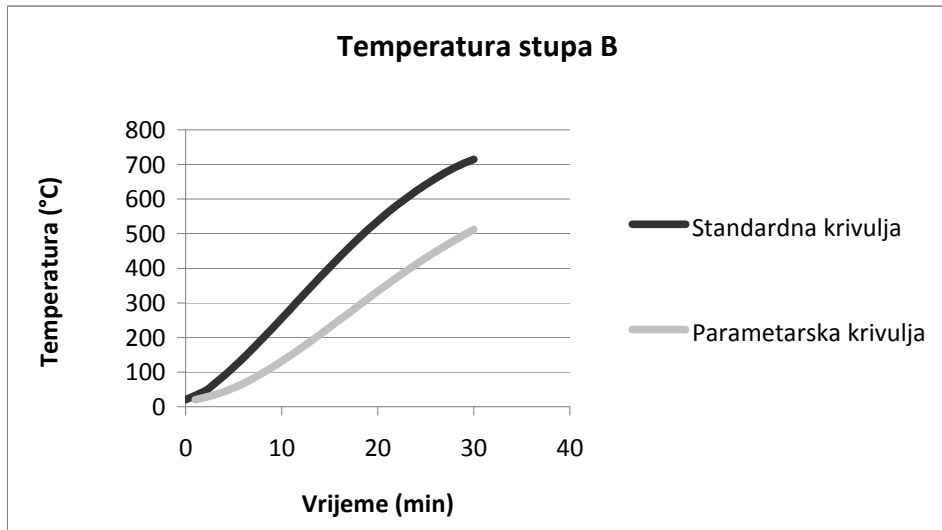
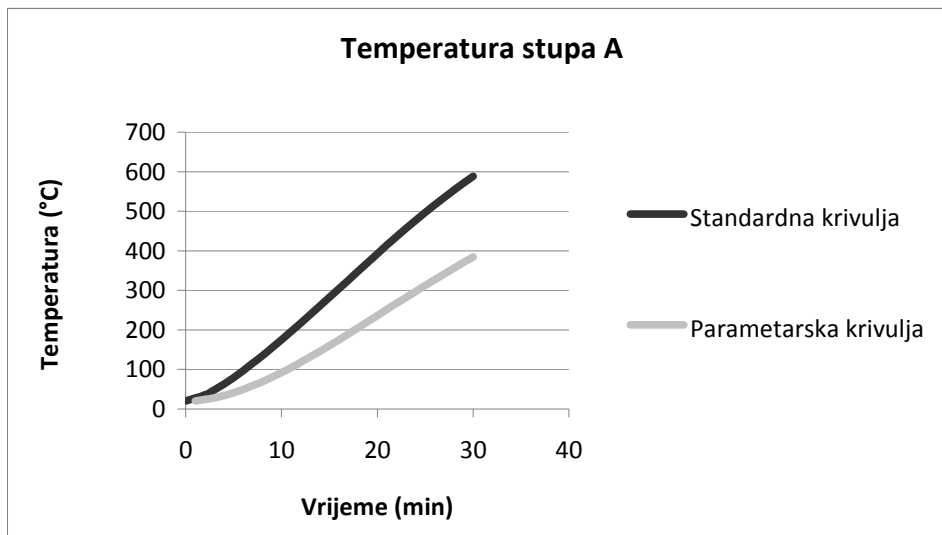
6.4.5.1 Usporedba standardne krivulje i parametarske krivulje

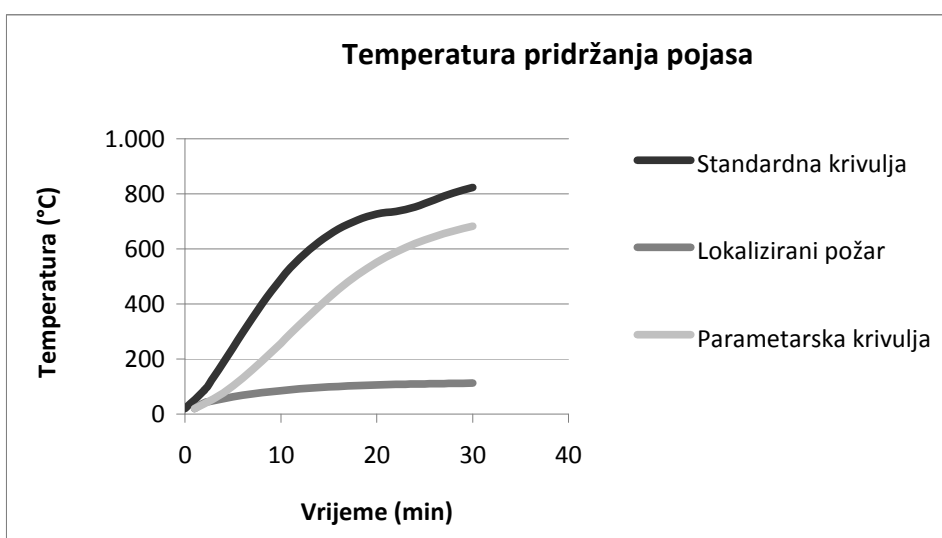
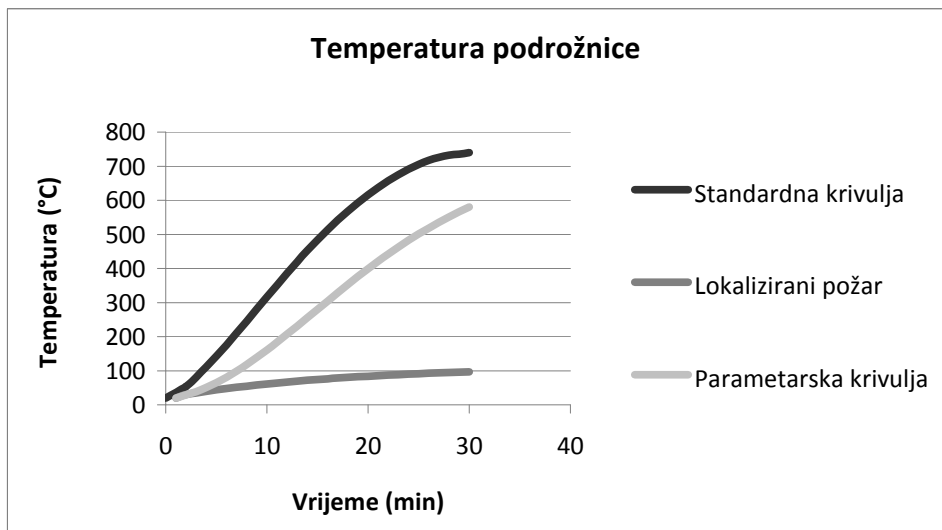
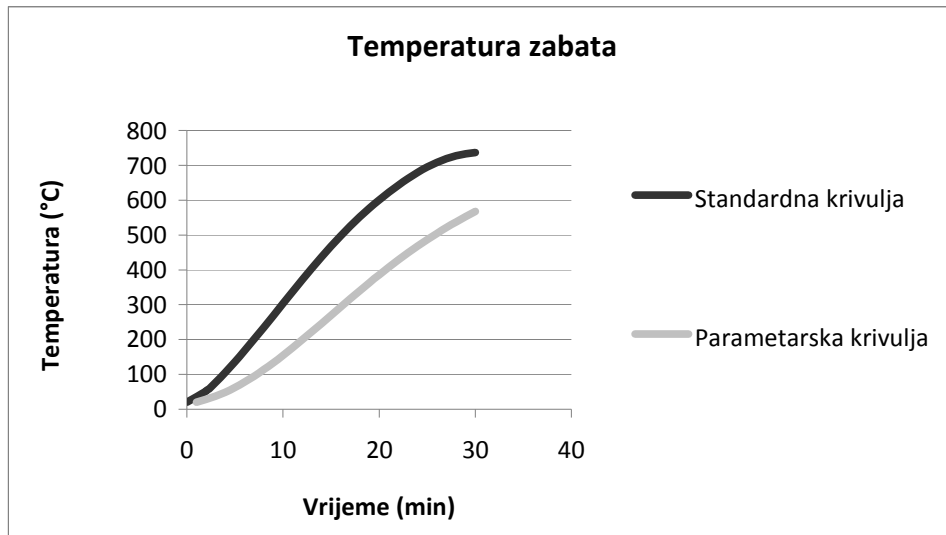


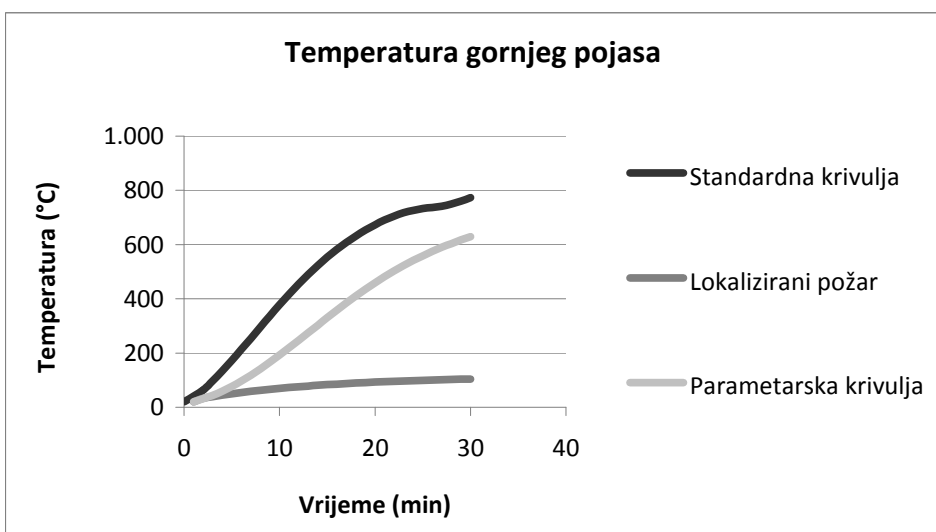
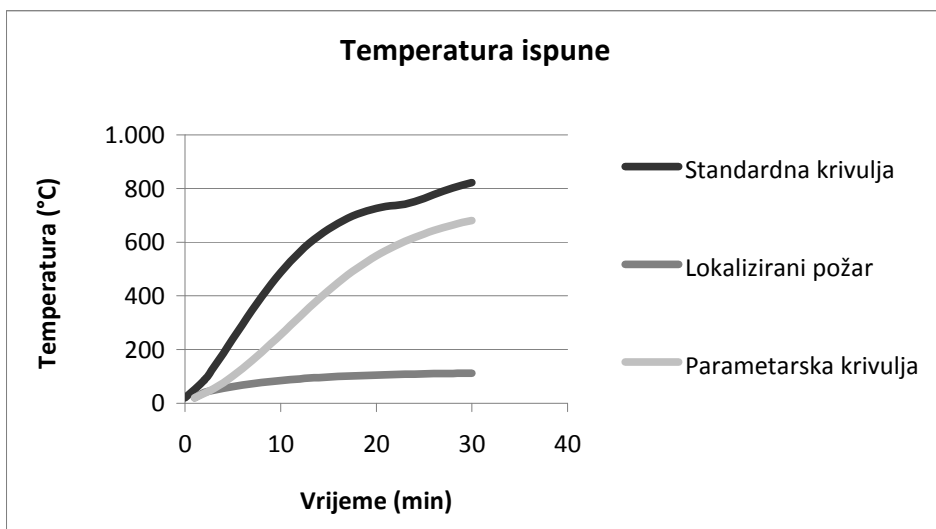
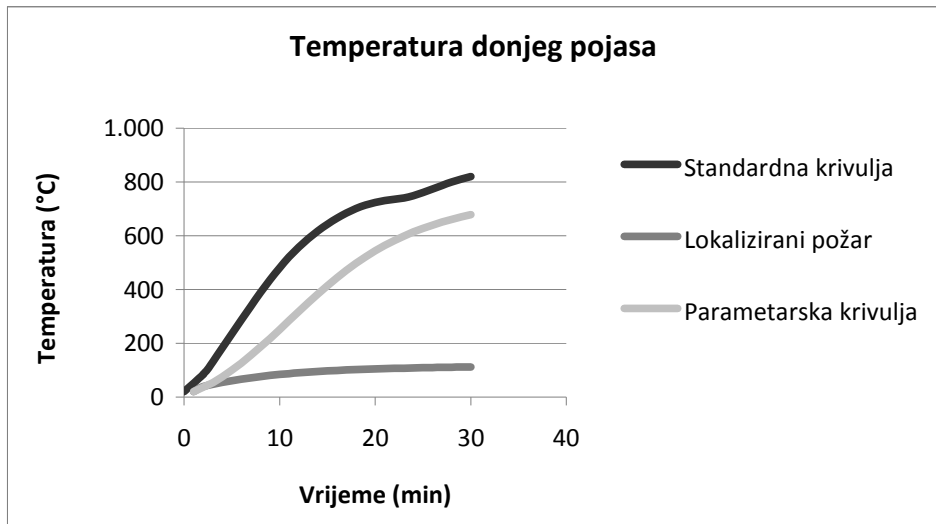
Slika 40. Usporedba standardne i parametarske krivulje

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

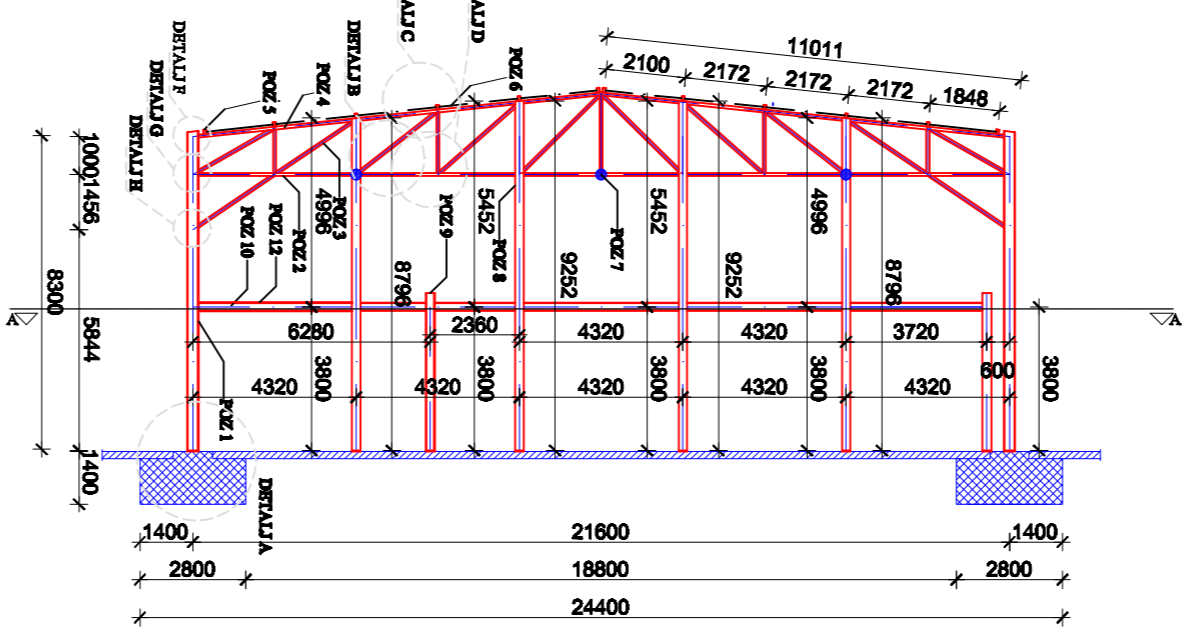
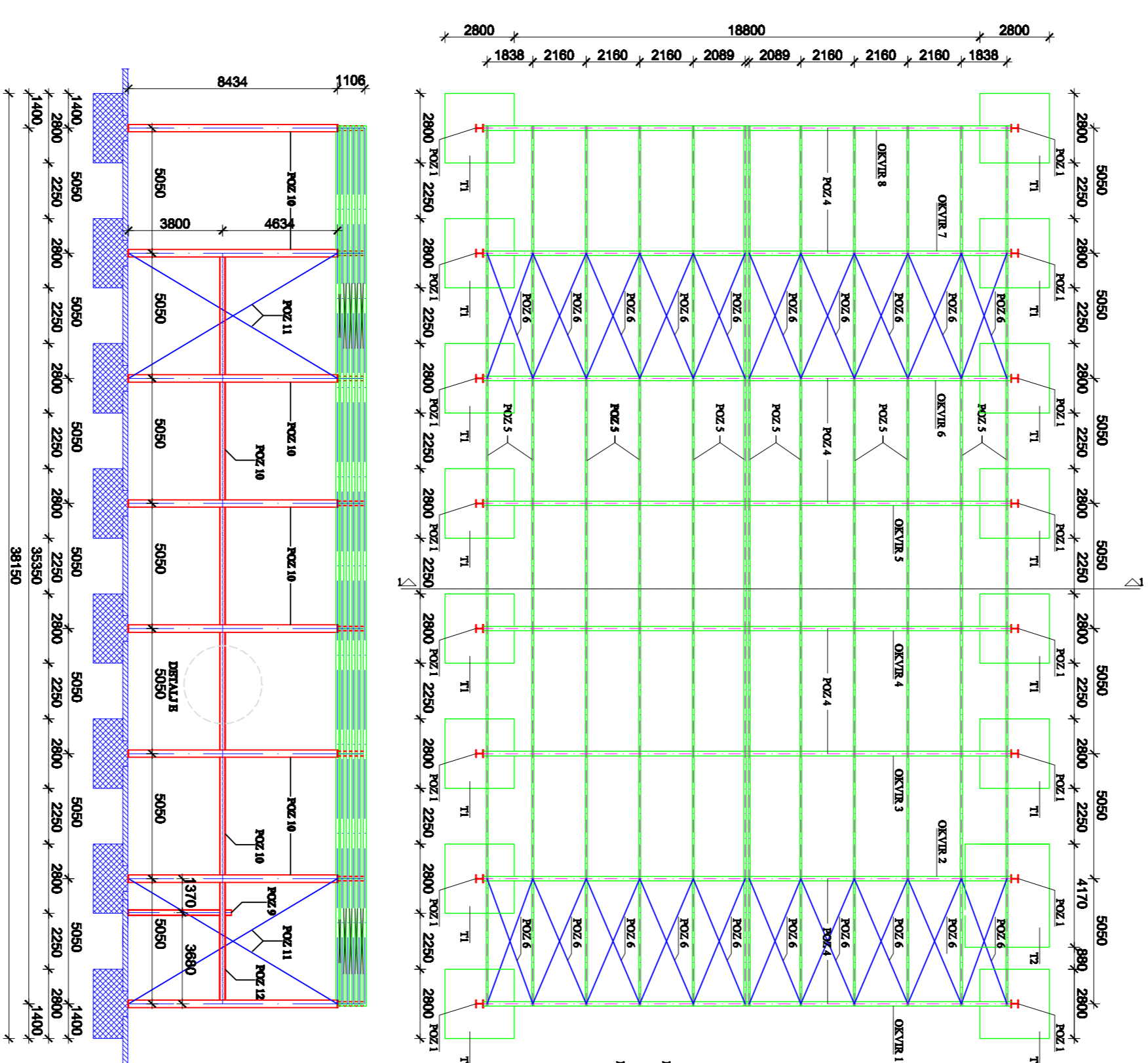
SLIKA 1. KARTA PODRUČJA ZA OPTEREĆENJE SNIJEGOM.....	7
SLIKA 2. ZEMLJOVID PODRUČJA OPTEREĆENJA VJETROM	8
SLIKA 3. ZONE DJELOVANJA TLAKA ZA $\Theta=0^\circ$	9
SLIKA 4. ZONE DJELOVANJA TLAKA ZA $\Theta=90^\circ$	10
SLIKA 5. ZONE DJELOVANJA VJETRA NA ZIDOVE.....	11
SLIKA 6. IZOMETRIJSKI POGLED NA PRORAČUNSKI 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 PARAMETARSKE KRIVULJE	94
SLIKA 41. USPOREDBA STANDARDNE I PARAMETARSKE KRIVULJE	100

10. TABLICE

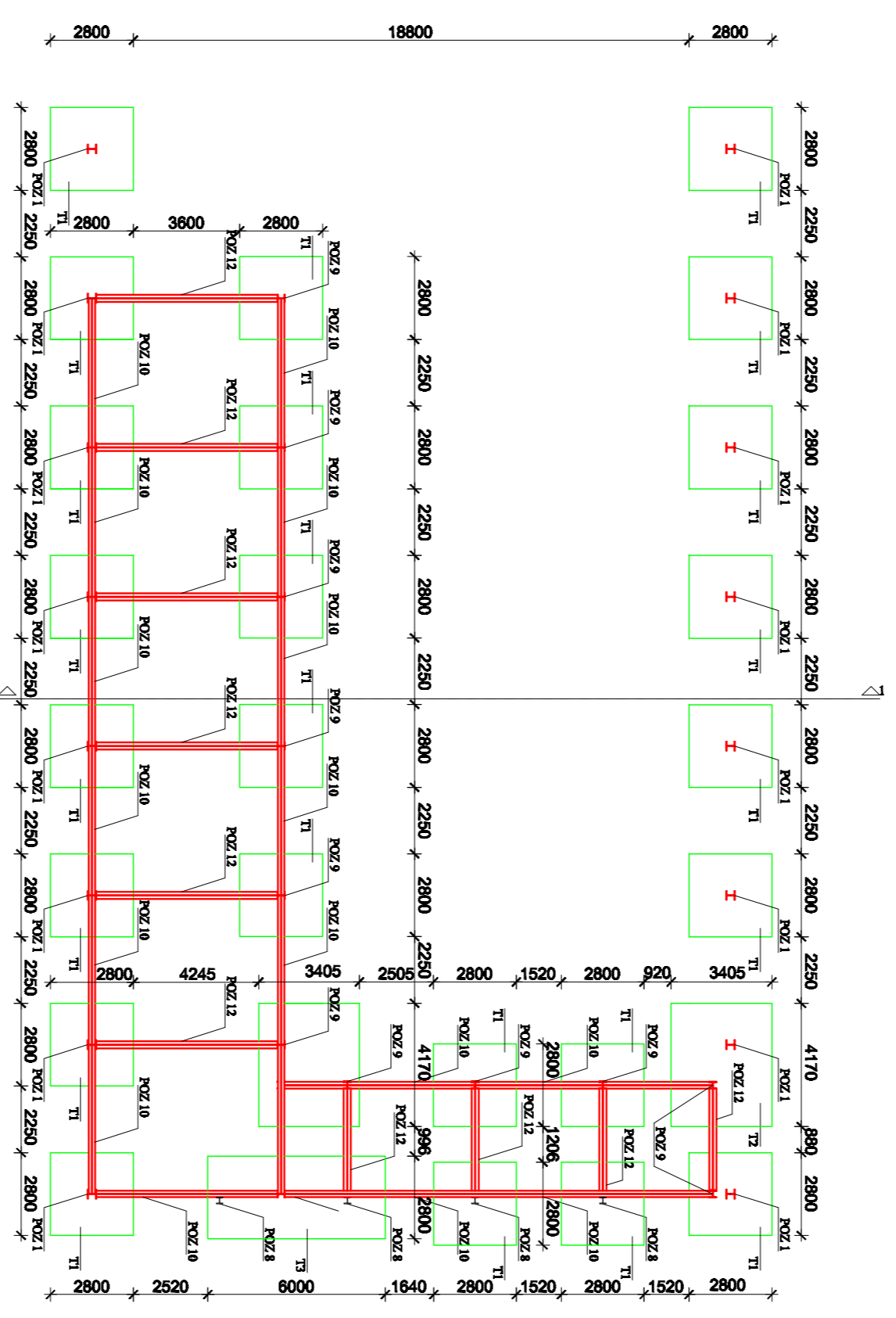
TABLICA 1. PARAMETRI PROTUPOŽARNE ZAŠTITE	5
TABLICA 2. KOEFICIJENTI VANJSKOG TLAKA ZA RAVNI KROV (+) USMJEREN PREMA DOLJE, (-) USMJEREN PREMA GORE	9
TABLICA 3. UNUTARNJI TLAK NA KONSTRUKCIJU ZA $\Theta=0^\circ$	9
TABLICA 4. DJELOVANJE VJETRA ZA $\Theta=0^\circ$	10
TABLICA 5. KOEFICIJENTI VANJSKOG TLAKA 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 PARAMETARSKE KRIVULJE.....	95
TABLICA 29. REZNE SILE NEZAŠTIĆENIH ELEMENATA USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM PARAMETARSKE KRIVULJE.....	95
TABLICA 30. REZULTATI PROVJERE NOSIVOSTI USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM PARAMETARSKE KRIVULJE NA NEZAŠTIĆENE ELEMENTE	95
TABLICA 31. TEMPERATURE ZAŠTIĆENIH ELEMENATA USLIJED POŽARA PARAMETARSKE KRIVULJE	96
TABLICA 32. REZNE SILE ZAŠTIĆENIH ELEMENATA USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM PARAMETARSKE KRIVULJE.....	96
TABLICA 33. TEMPERATURE ZAŠTIĆENIH ELEMENATA USLIJED ANALIZE POŽARA PRIMJENOM PARAMETARSKE 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.

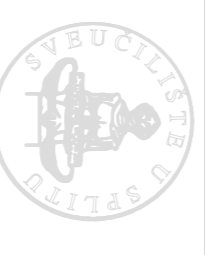


PRESJEK A - A



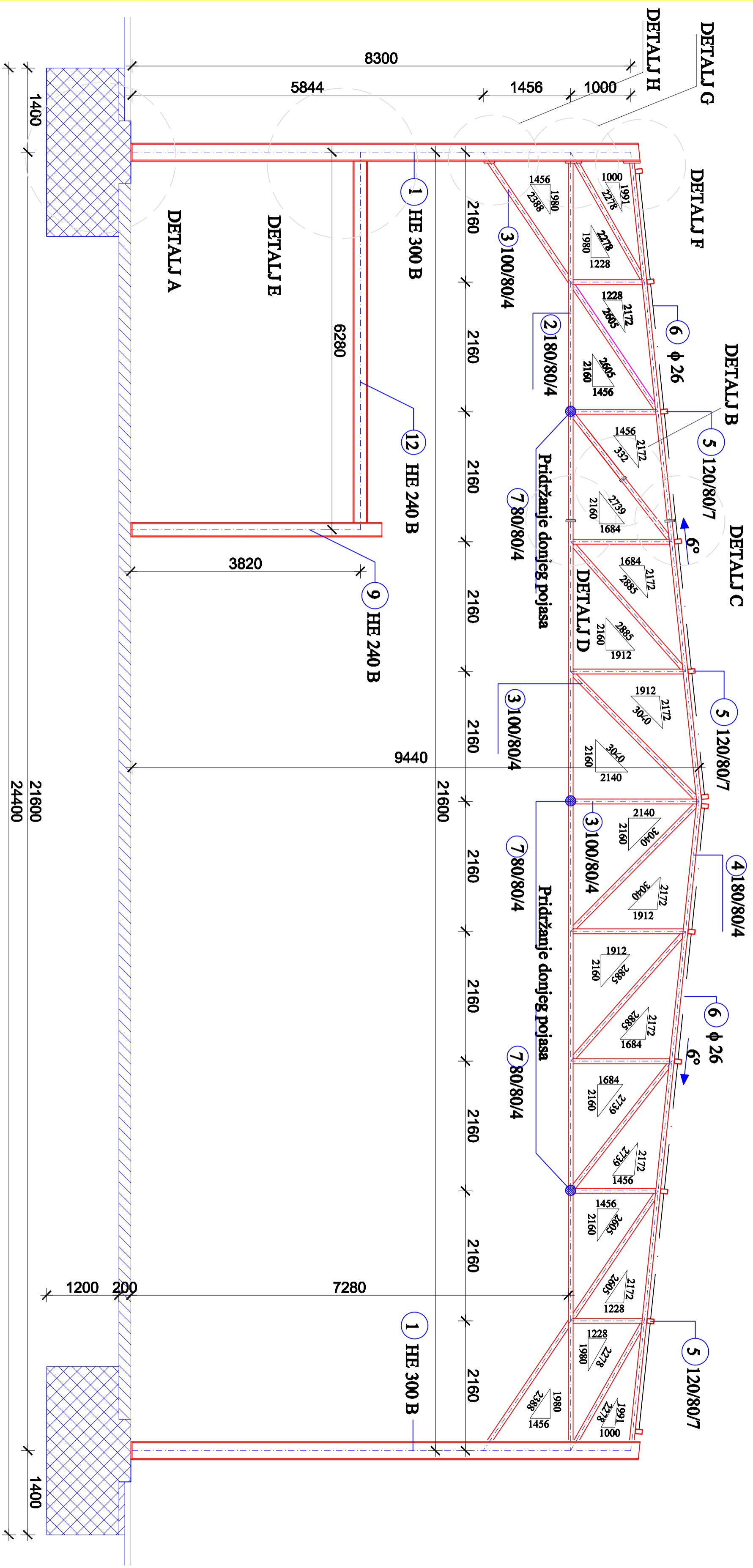
PLAN POZICIJA
MJ 1:200

POZICIJA	PROFIL	NAZIV
POZ. 1	HEH 300	Šup gornje konstruktivne
POZ. 2	180x80x4	Dugi poljski nosač
POZ. 3	100x80x4	Ispuna nosača
POZ. 4	180x80x4	Granični poljski nosač
POZ. 5	120x80x7	Sadržana krovna konstruktivna
POZ. 6	Ø 26	Krovna dijagonalna vjetrovača
POZ. 7	80x80x4	Podstolje donjeg poljski nosača
POZ. 8	HEH 240	Zidani stup
POZ. 9	HEH 240	Šup gornje
POZ. 10	HEH 240	Čelik gornje
POZ. 11	Ø 34	Bodna dijagonalna vjetrovača
POZ. 12	HEH 240	Čelik gornje

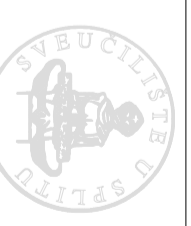


 DIPLOMSKI RAD
 MONITAZNA DVORANA
 Autor: Jozo Vidušić
 Datum: srpanj 2015.

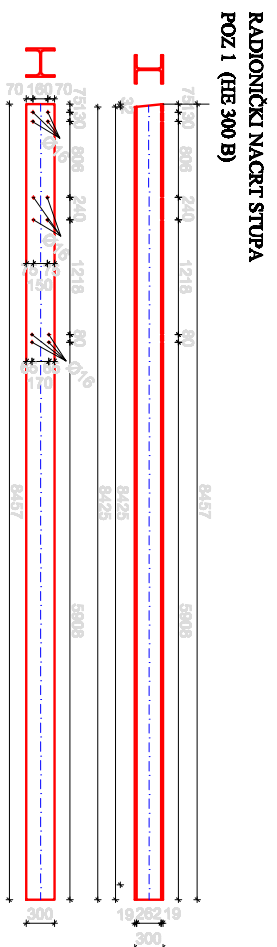
PRESJEK 1 - 1



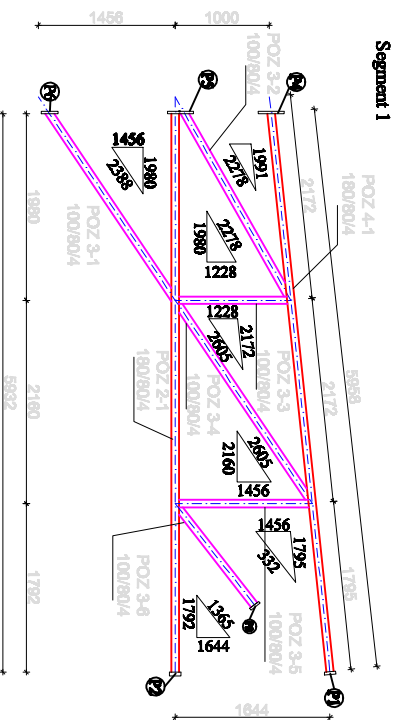
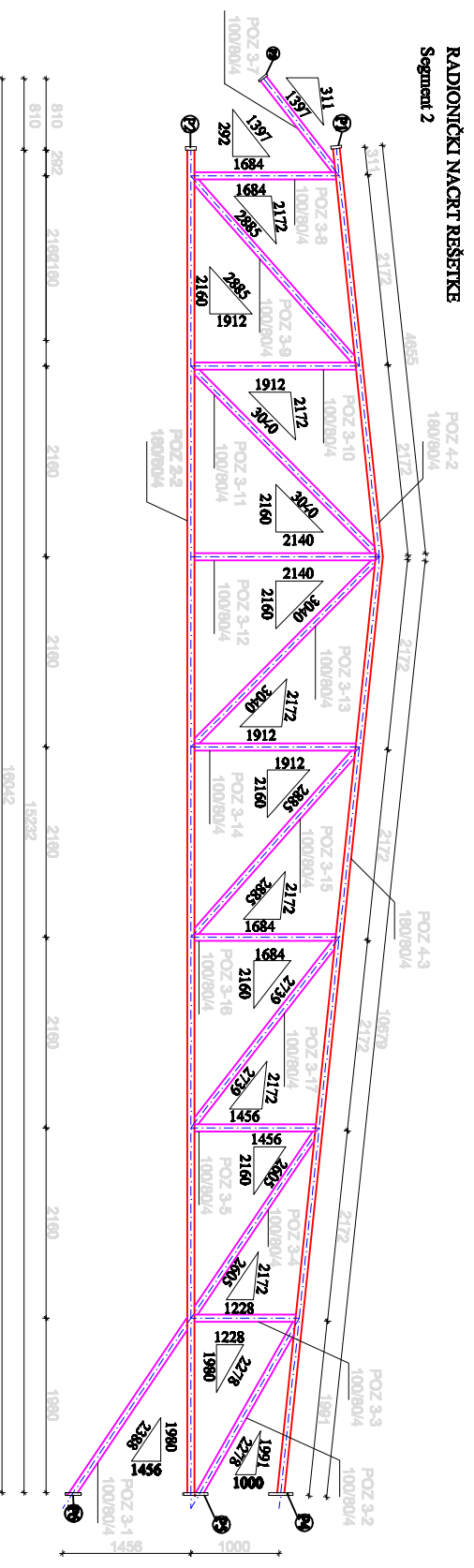
POPREČNI PRESJEK
M 1:50

		DIPLOMSKI RAD	
		MONTAŽNA DVIORANA	
PROJEKCIJA	PROJEKTOVALAC	PROJEKTOVALAC	PROJEKTOVALAC
	Jaco Vukadin	Jaco Vukadin	Jaco Vukadin
STUDIJA	POPREČNI PRESJEK	BRANJE	BRANJE
	2	1:50	2

FAKULTET ARHITEKTURE
UNIVERZITETA U ZAGREBU
ZOOLOGIJSKI VILINJACI
10000 ZAGREB, HRVATSKA




RADIONIČKI NACRT
KARAKTERISTIČNOG OKVIRA
MJ 1:25



		DIPLOMSKI RAD	
		MONTAZNA DVORANA	
PROJEKT STROJAR	Jozo Valadež	MESTO ZA MONTAZNU	doc.dr.sc. Neno Teržić
SVEUČILIŠTE U SPLITU FACULTET GRAĐEVINARSTVA, STROJARSTVA I ENERGETIKE 51000 SPLIT, MATICE INŽINJER 15			datum: srpanj, 2015.

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
				UKUPNA MASA OKVIRA Σ	3044,02

 <p>SVUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 16</p>				DIPLOMSKI RAD	
				MONTAŽNA DVORANA	
PROGRAM					
STUDENT	Jozo Vukadin	PREMETNI NASTAVNIK	dr.sc Nemo Torić		
SADRŽAJ	ISKAZ MATERIJALA	MERILO PRILOG	1:100		
		siparilj, 2015.		4	

Iskaz materijala cijele konstrukcije

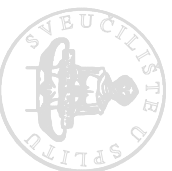
PODROŽNICA					
POZ	PROFIL	KOM	L (m)	J. MASA (kg/m)	MASA(kg)
5	120/80/7	12	35,50	18,79	8004,54
				UKUPNO	8004,54
GALERIJA					
10	HEB 220	<small>UKUPNA DUKANA</small>	94,90	71,50	6785,35
9	HEB 240	<small>UKUPNA DUKANA</small>	3,80	83,20	3477,76
12	HEB 240	<small>UKUPNA DUKANA</small>	52,40	83,20	4359,68
				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	

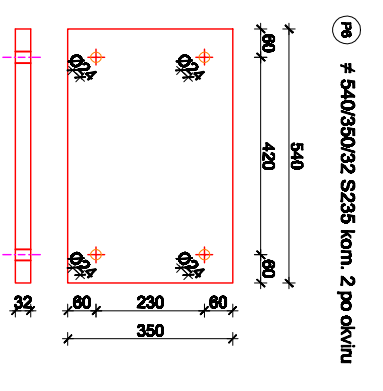
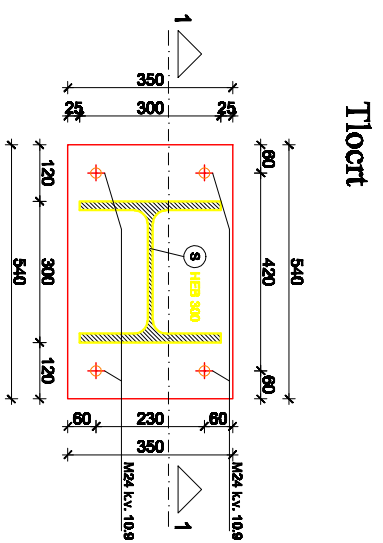
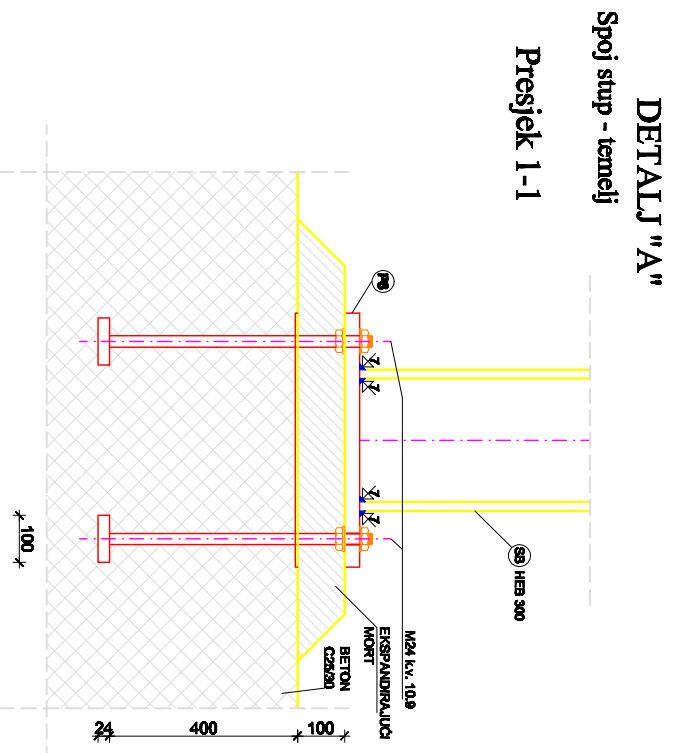
TEŽINA KONSTRUKCIJE		
OKVIR 8 KOM.x3044,02		24352,16
PODROŽNICE ZABATI SPREGOVI GALERIJA		23802,23
UKUPNO		48154,39
UKUPNO KG/M ²		63,06

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

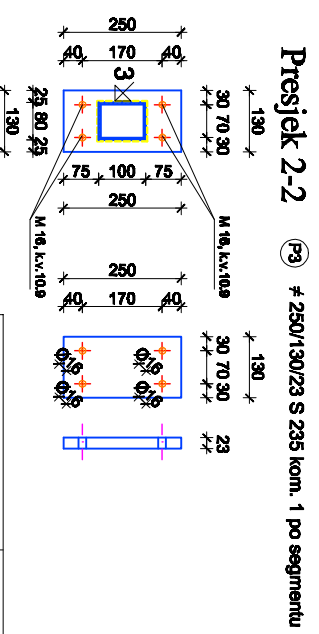
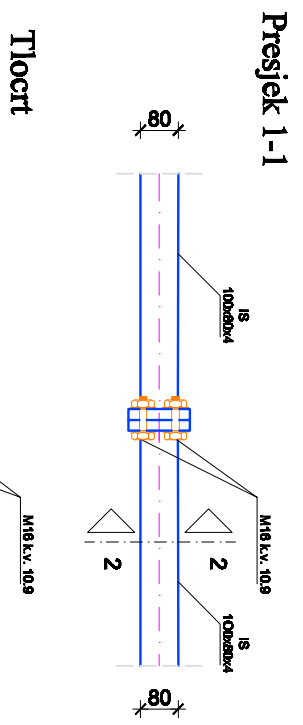
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

DIPLOMSKI RAD				
PROGRAM	MONTAŽNA DVORANA			
STUDENT	Jozo Vukadin	PREMETNI NASTAVNIK	dr.sc Nemo Torić	
SADRŽAJ	ISKAZ MATERIJALA	MATERILO PRILOG	1:100	5
SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 16		siparrij, 2015.		





DETALJ "B"
Montažni nastavak ispunje



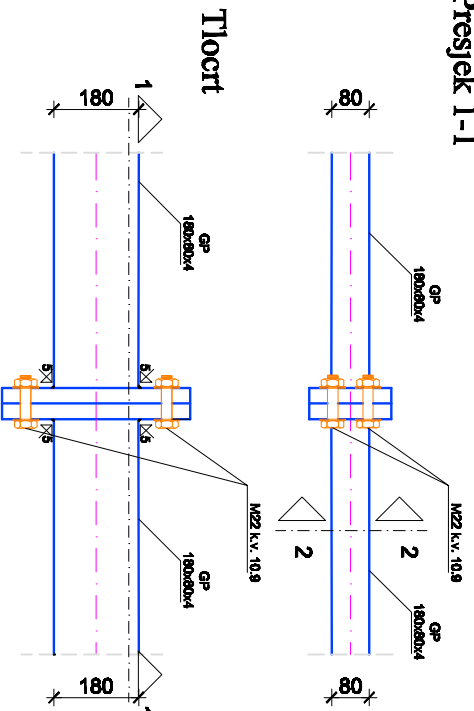
ŠKOLSKA BRATE U SPILITU
PROJEKTIRANJE I INŽINIRANJE
PROJEKTI IZ OBLASTI GRAĐEVINARSTVA
25000 SPILIT, MATICE INŽINIRANJE 15

DIPLOMSKI RAD		MATERIJAL	
MONTAŽNA DVORANA		doc.dr.sc Neno Torić	
PROJEKT	ŠKOLSKA BRATE U SPILITU	PROJEKTIRANJE I INŽINIRANJE	PROJEKTIRANJE I INŽINIRANJE
STUDIJE	Jaco Vukadin	doc.dr.sc Neno Torić	doc.dr.sc Neno Torić
RAZVOJ	DETALJI C/D	MATERIJAL	MATERIJAL
	septemilj 2015.	PROJEKT	PROJEKT
			1:10
			6

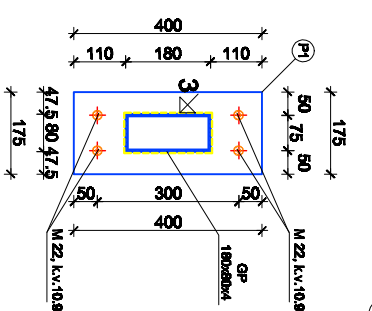
DETALJ "C"

Montažni nastavak gornjeg pojasa

Presjek 1-1



Presjek 2-2



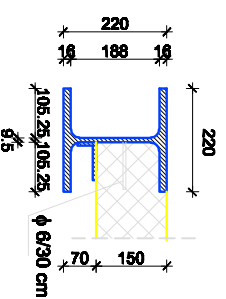
P1 # 400/175/33 S 235 kom. 1 po segmentu

MJ 1:10

DETALJ "C", "D" i "E"

DETALJ "E"

Oslanjanje betonske ploče na gredu profila HEBB 220

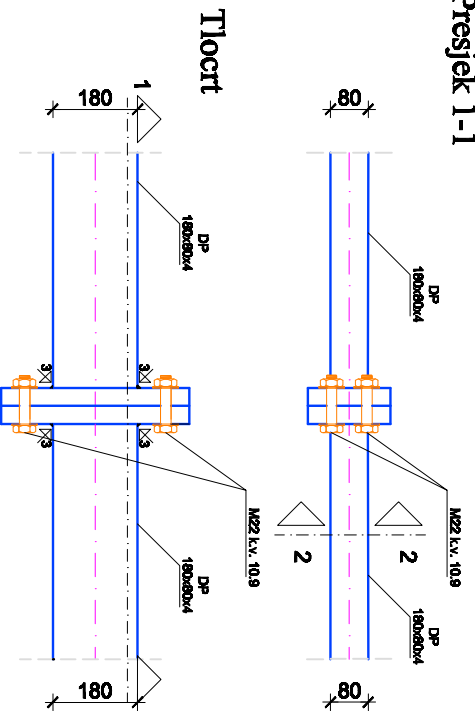


P2 # 400/175/33 S 235 kom. 1 po segmentu

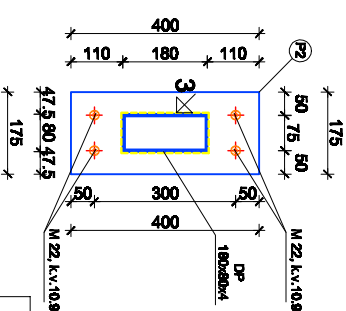
DETALJ "D"

Montažni nastavak donjeg pojasa

Presjek 1-1



Presjek 2-2



P2 # 400/175/33 S 235 kom. 1 po segmentu

MJ 1:10

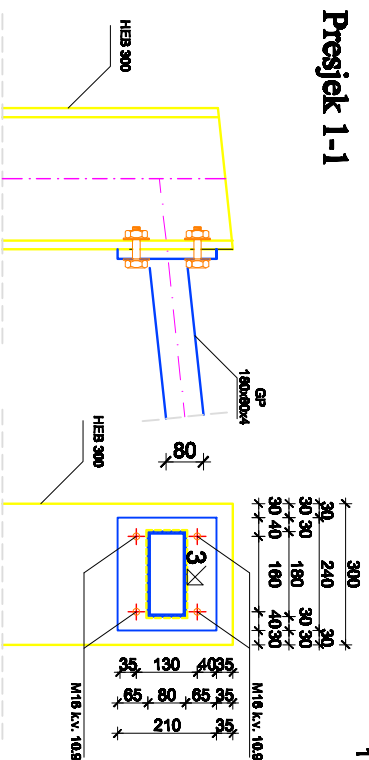
DIPLOMSKI RAD		MATERIJAL	
MONTAŽNA DVORANA		doc.dr.sc. Neno Torić	
STUĐENT	Jaco Vukadin	PRILOG	1:10
BAVITELJ	DETALJI C,D I E	BR. STR.	7

ŠKOLA BRATE U ŠKOLU
PROJEKTIRANJE I
IZVEDBA
2000 ŠKOL. MATICE INOVATIVNE 15



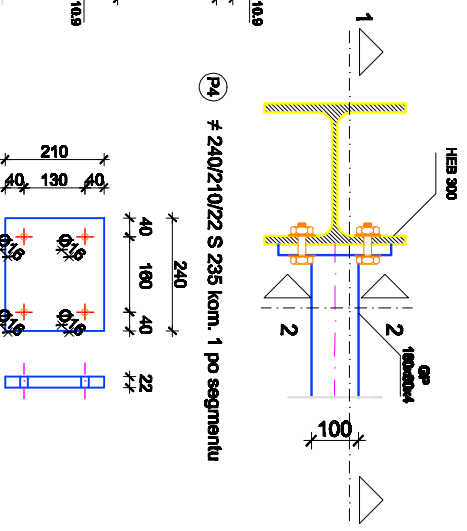
DETALJ "F"

Priljučak stupa i gornjeg pojasa rešetke



Presjek 2-2

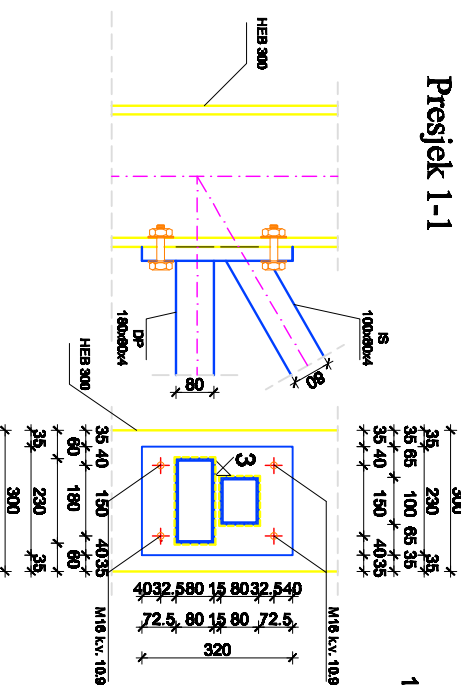
Tlocrt



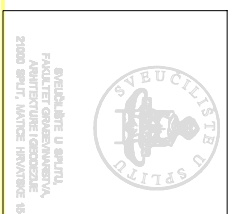
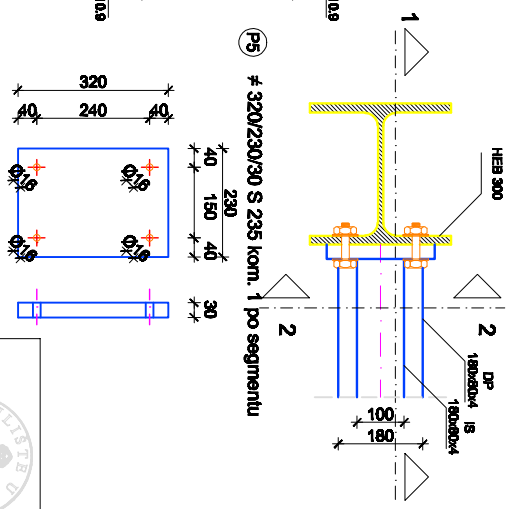
DETALJ "F" i "G"
MJ 1:10

DETALJ "G"

Priljučak stupa i gornjeg pojasa rešetke



Presjek 2-2



SVETI
SVEUČILIŠTE
U
SPLITU
PROJEKTIRANJE I
PROJEKTOVANJE
POSREDOVANJE
31000 SPLIT, MATIJE RAVNATIĆ 15

DIPLOMSKI RAD			
MONTAZNA DVORANA			
PROJEKAT	MONTAZNA DVORANA		doc.dr.sc. Neno Torić
STUDIJE	Jozo Valentin		
SAOPŠTJE	DETALJI F i G	MAŠINSKI PRICJE	1:10
	septem. 2015.		8

