



**HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA**

**Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva**

**Opatija, 2017.**

# KONSTRUKCIJA SPORTSKE DVORANE U LOPARU

**Dragan Kovač**

mr. sc. Dragan Kovač, dipl.ing.građ., CAPITAL ING d.o.o. , Zagreb

## SUDIONICI U PROJEKTU

### “ **INVESTITOR:**

#### **OPĆINA LOPAR**

Lopar 289A, 51281 Lopar, Otok Rab

### “ **PROJEKTANT KONSTRUKCIJE:**

- **mr.sc. Dragan Kovač**, dipl.ing.građ.  
Capital Ing d.o.o, Ksaverska cesta 6, Zagreb

### “ **REVIDENTI KONSTRUKCIJE:**

- **Milan Novković**, dipl.ing.građ. ( ab i zidana konstrukcija)  
Projektni biro Novković d.o.o., Palinovečka 19A, Zagreb

- **Borivoj Pojatina**, dipl.ing.građ. ( drvena krovna konstrukcija)  
Studio Arhing d.o.o., Čire Truhelke 49, Zagreb

### “ **IZVOĐAČ:**

#### **GPP MIKIĆ d.o.o.**

Pušća 131, Omišalj

### “ **STRUČNI NADZOR:**

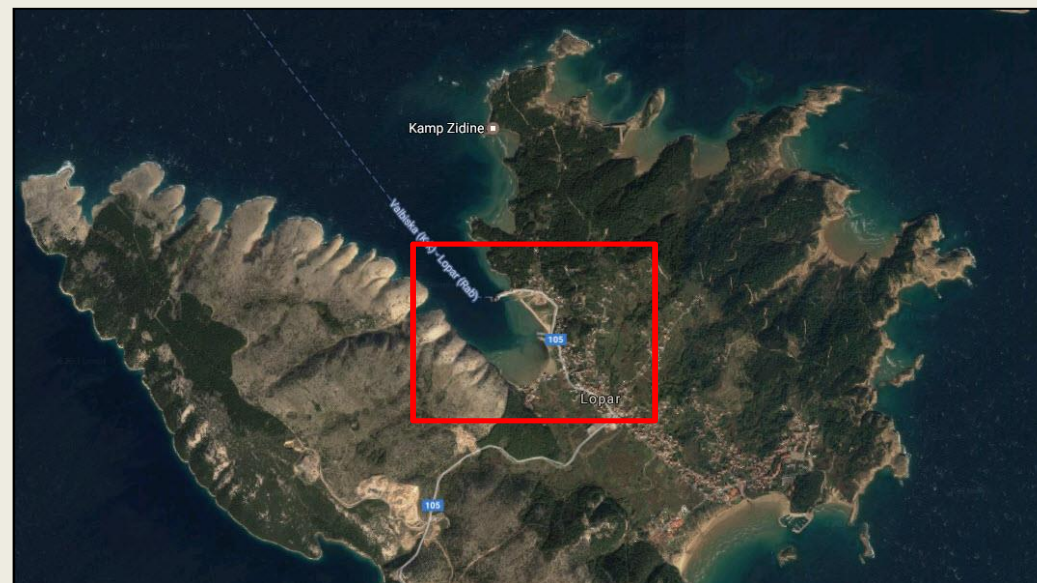
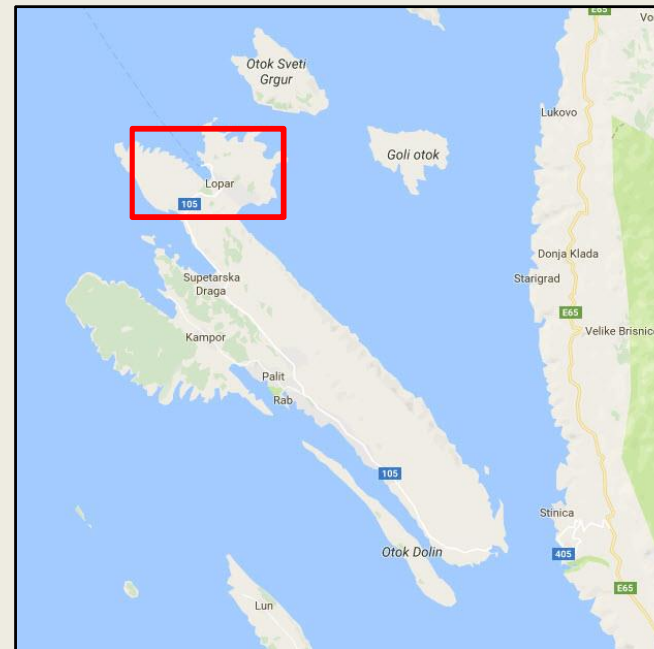
#### **FLUM - ING, d.o.o.**

Žrtava fašizma 2, Rijeka

“ **Lokacija – otok Rab**

“ **Općina Lopar**

“ **Zapadni dio otoka**



## OPIS GRAĐEVINE



- “ Trodijelna sportska dvorana
- “ Fiksne tribine za 250 mjesta
- “ Ukupna tlocrtna izmjera 53 x 42 m
- “ Tlocrtna izmjera dvorane 45 x 27 m
- “ Bruto površina 2520 m<sup>2</sup>

## OPIS GRAĐEVINE



- “ Čestica P = 3130 m<sup>2</sup>
- “ Objekt je smješten na ulazu u Lopar uz državnu cestu D 105

- “ Krovna konstrukcija dvorane drvena – lamelirani nosači
- “ Okviri dvorane armiranobetonski
- “ Aneks dvorane u dvije etaže – zidana omeđena konstrukcija



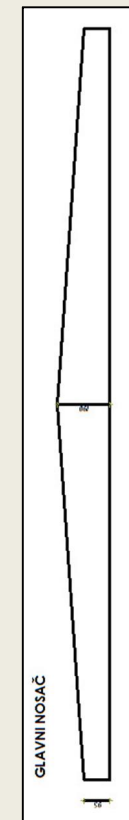
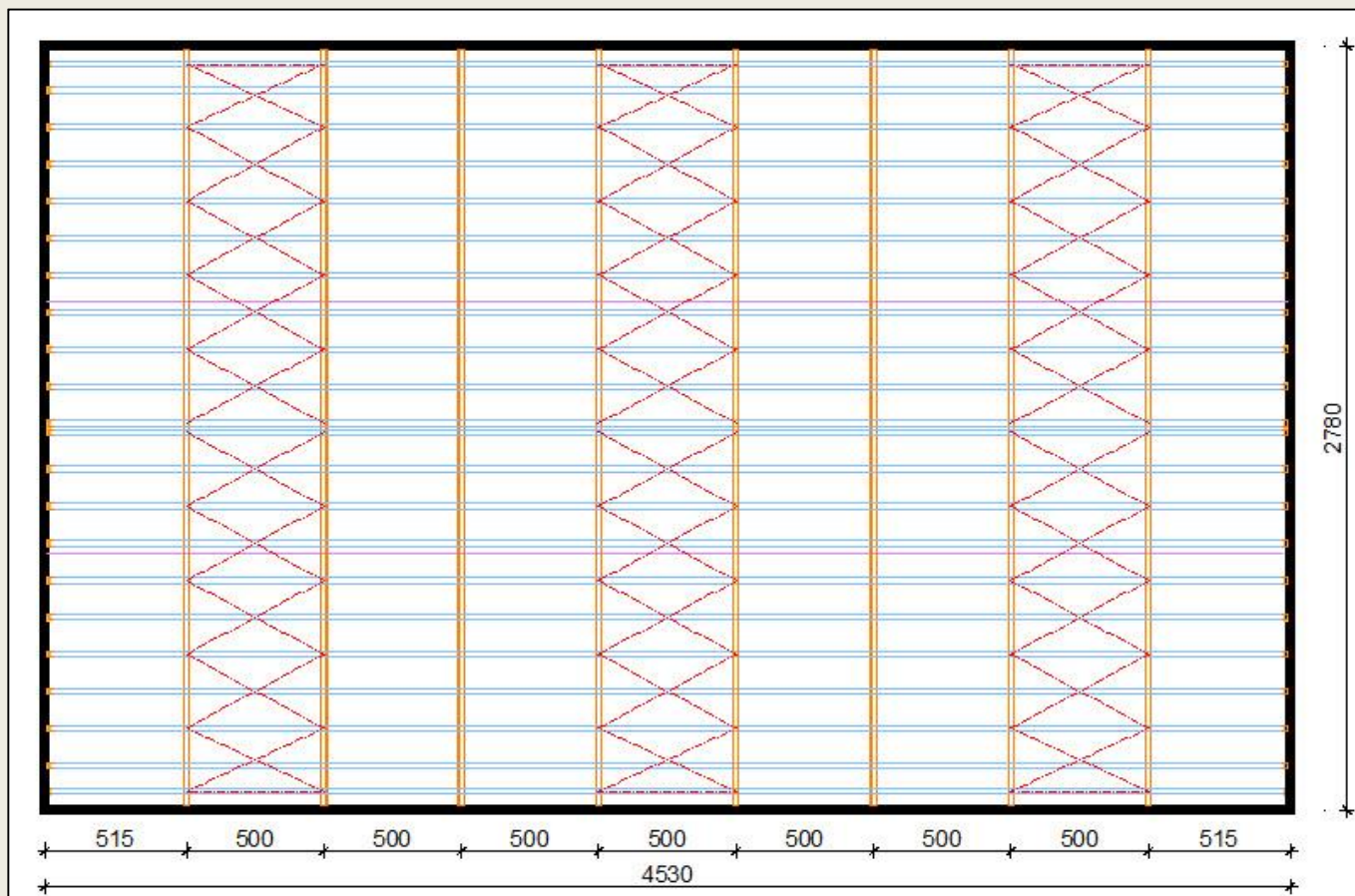


## OPIS GRAĐEVINE



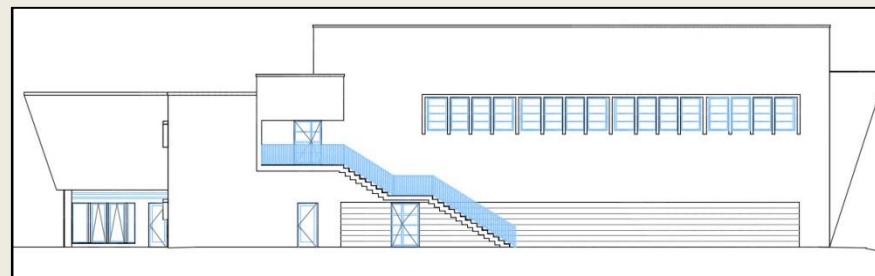
- “ Svjetla visina trodijelne dvorane 9.4 m
- “ Ukupna visina građevine 12 m
- “ Glavni projekt je izrađen 2012. godine
- “ Početak gradnje - sredina 2016. godine
- “ Gradnja u tijeku – izvedena kompletna konstrukcija, u tijeku je montaža krovne konstrukcije

# KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE

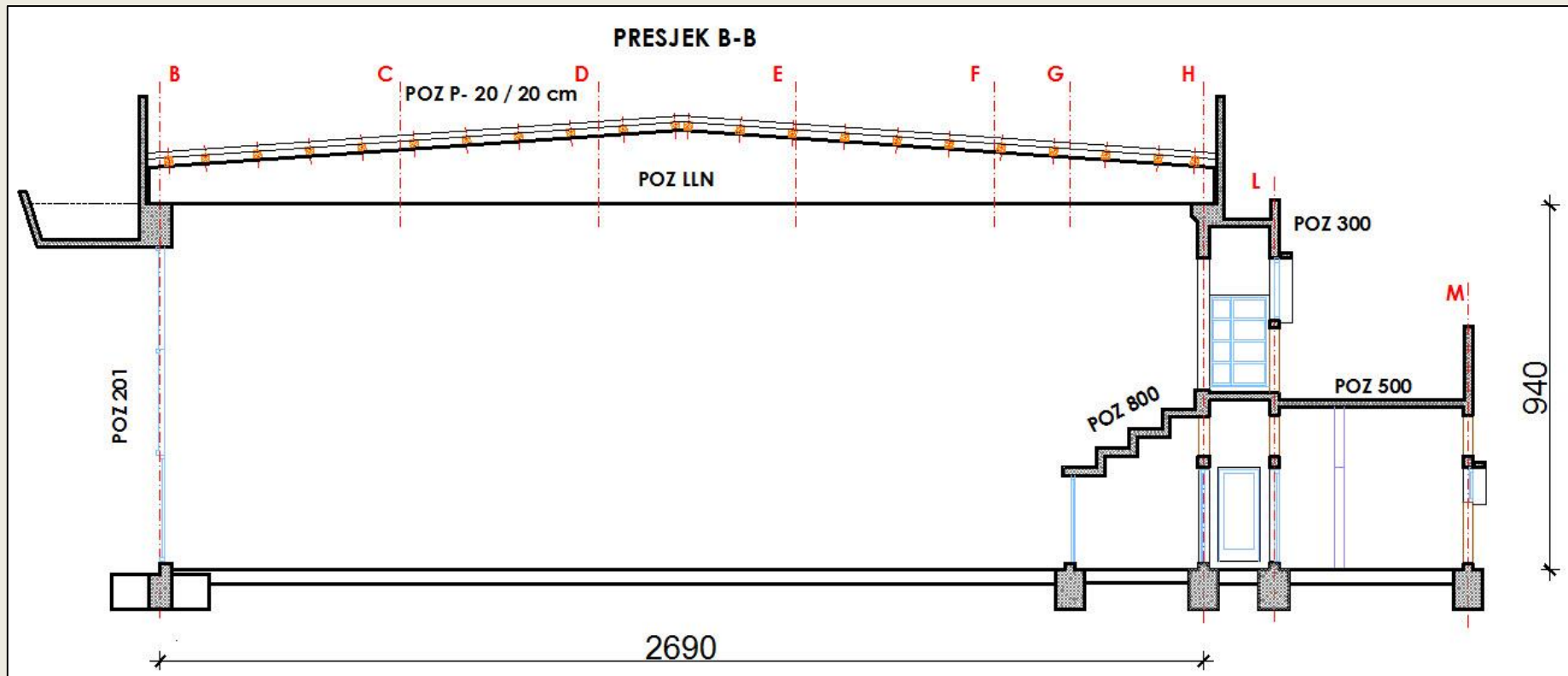


GN - LLD - h = 95 / 190 / 95 cm , d = 20 cm

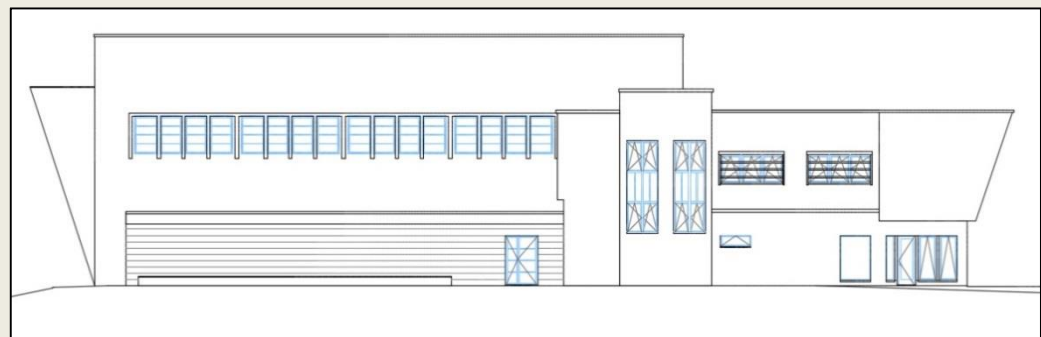
- “ Krovna konstrukcija drvena - izmjera 27x45 m
- “ Stabilizacija krova – 3 horizontalna poprečna sprega – šipke 32 mm, čelik S 235 JR
- “ Glavni nosači dvostrešni – LLD klase GL 24h
- “ Raspon glavnih nosača 27 m, raster 5.0 m



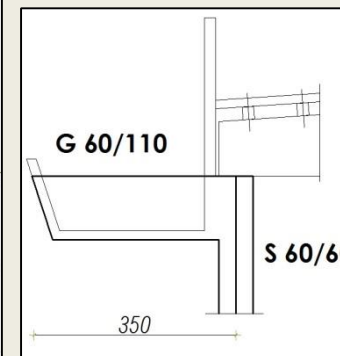
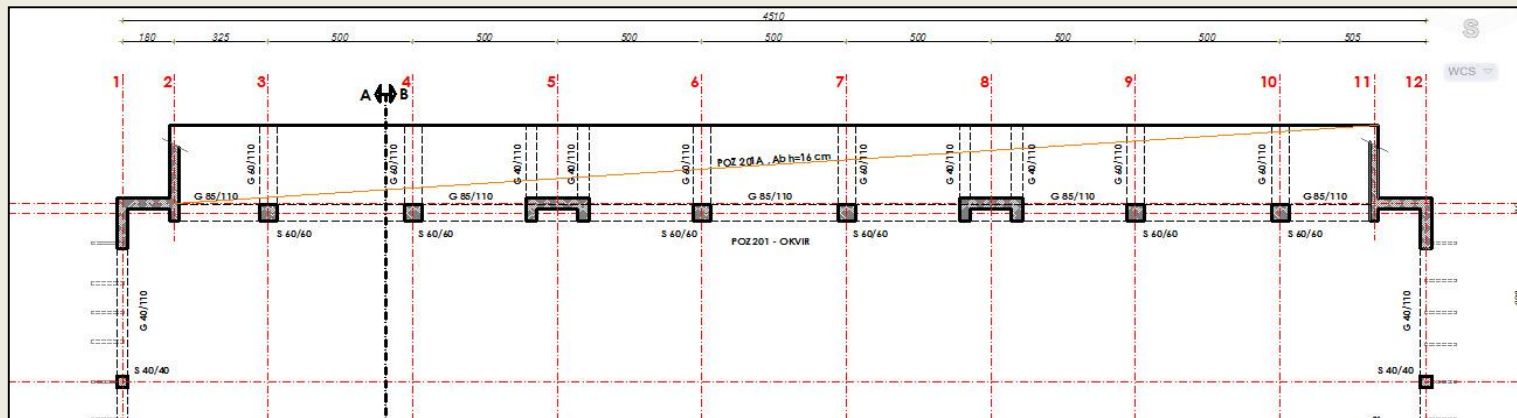
# KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE



- “ Sekundarni nosači drveni 20/20 cm, C 24 na resteru 140 cm
- “ Pokrov krova – toplinski paneli
- “ Os oslonca GN je u postavljena u osi stupova

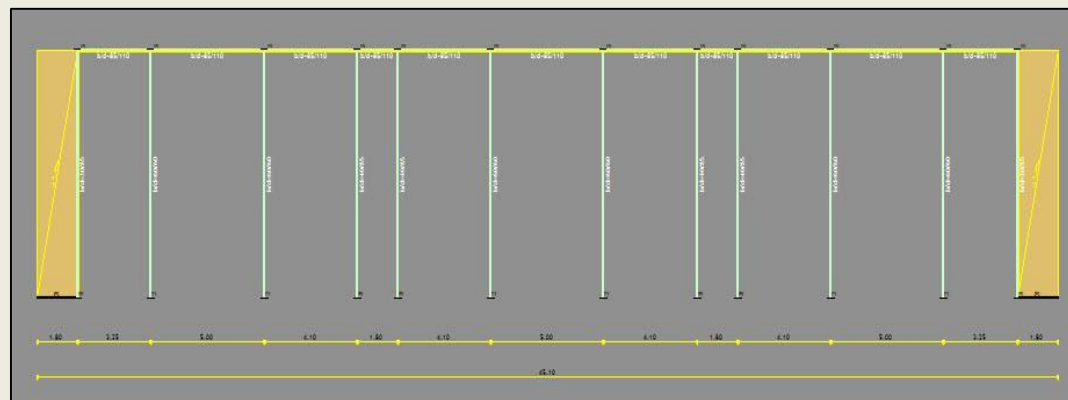


# KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – AB OKVIRI – PREDNJI OKVIR DVORANE



- “ Slobodni stupovi statičke visine 9.0 m, C 30/37
- “ Stupovi 60/60 cm i C stupovi 40/85/150 cm

- “ Na vrhu okvira žardinjera – ab ploča h=16 cm na konzolnim gredama 60/110 ( stupovi 60/60 ) i 40/110 cm ( C stupovi ) koje su upete u ab stupove Raspon konzolne ploče 350 cm
- “ Uzdužna ab greda koja povezuje okvir gore 85/110 cm
- “ Bočna kosa ab krila d=30 i 40 cm
- “ Ispuna okvira – staklene stijene u punoj visini dvorane



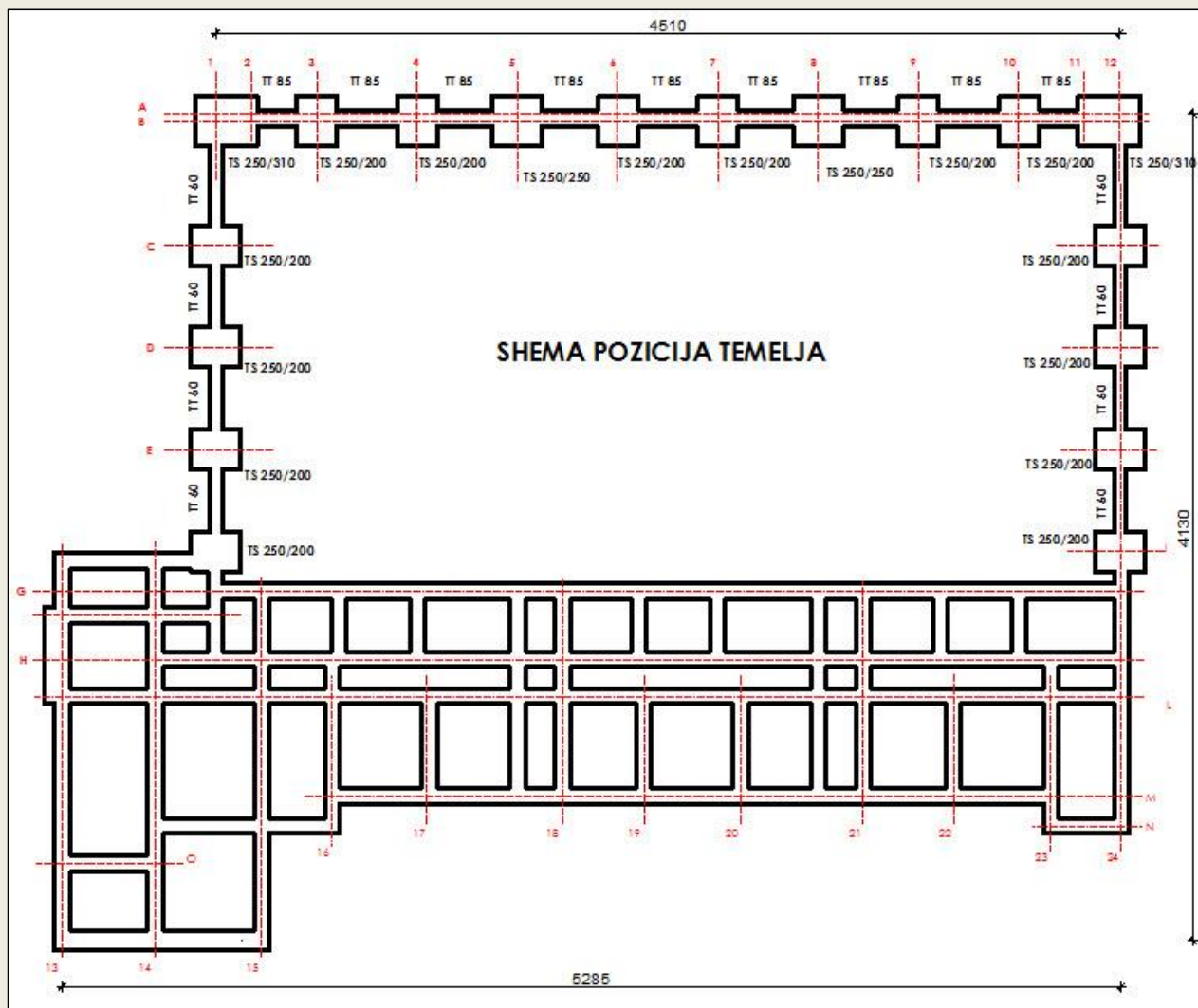








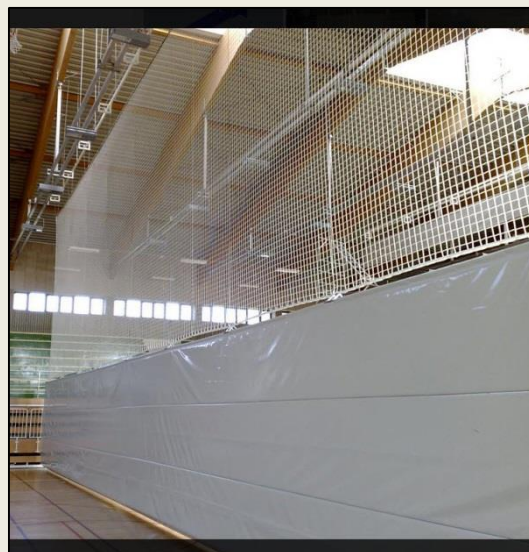
## KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – TEMELJENJE



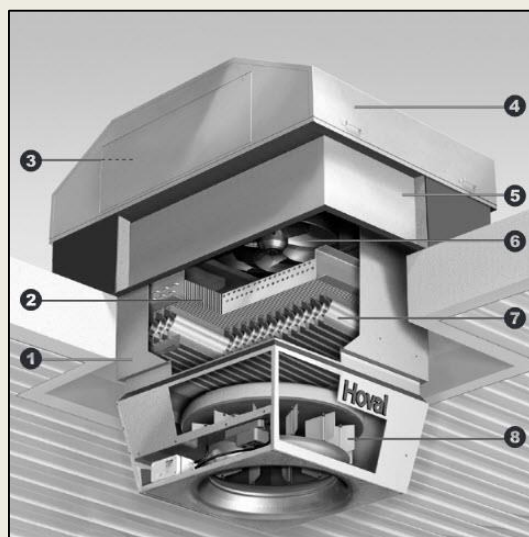
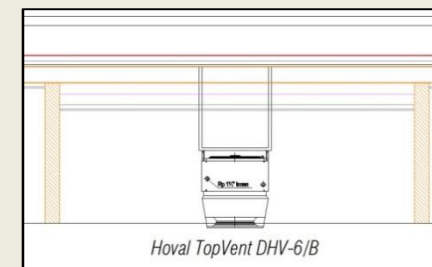
- Plitko temeljenje
- Temeljne grede i stope
- Stope dvorana 200/250 cm i 250/250 cm , h=90 cm
- Vezne grede 60/90 cm
- Gredni roštilj aneksa dvorane 75/100 cm
- Temeljenje građevine u sloju zaglinjenog pijeska
- Geomehaničkim elaboratom traženo temeljenje na dubini min 2.0 m
- Opterećenje na tlo ograničeno na maksimalno 150 kN/m<sup>2</sup>
- Očekivana slijeganja za navedeno opterećenje 4.0 cm
- U slučaju većih opterećenja sa konstrukcije zatraženo temeljenje na pilotima

# KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – OPTEREĆENJA

- “ Predvidjeti sva opterećenja – posebno ona karakteristična za sportske dvorane
  - “ Akustične obloge
  - “ Koševi – ovješeni na krov
  - “ Pregrade trodijelne dvorane ovještene na krov na GN
  - “ Strojarska oprema
  - “ Spojna i pričvrsna sredstva
  - “ Razvod instalacija pod krovom



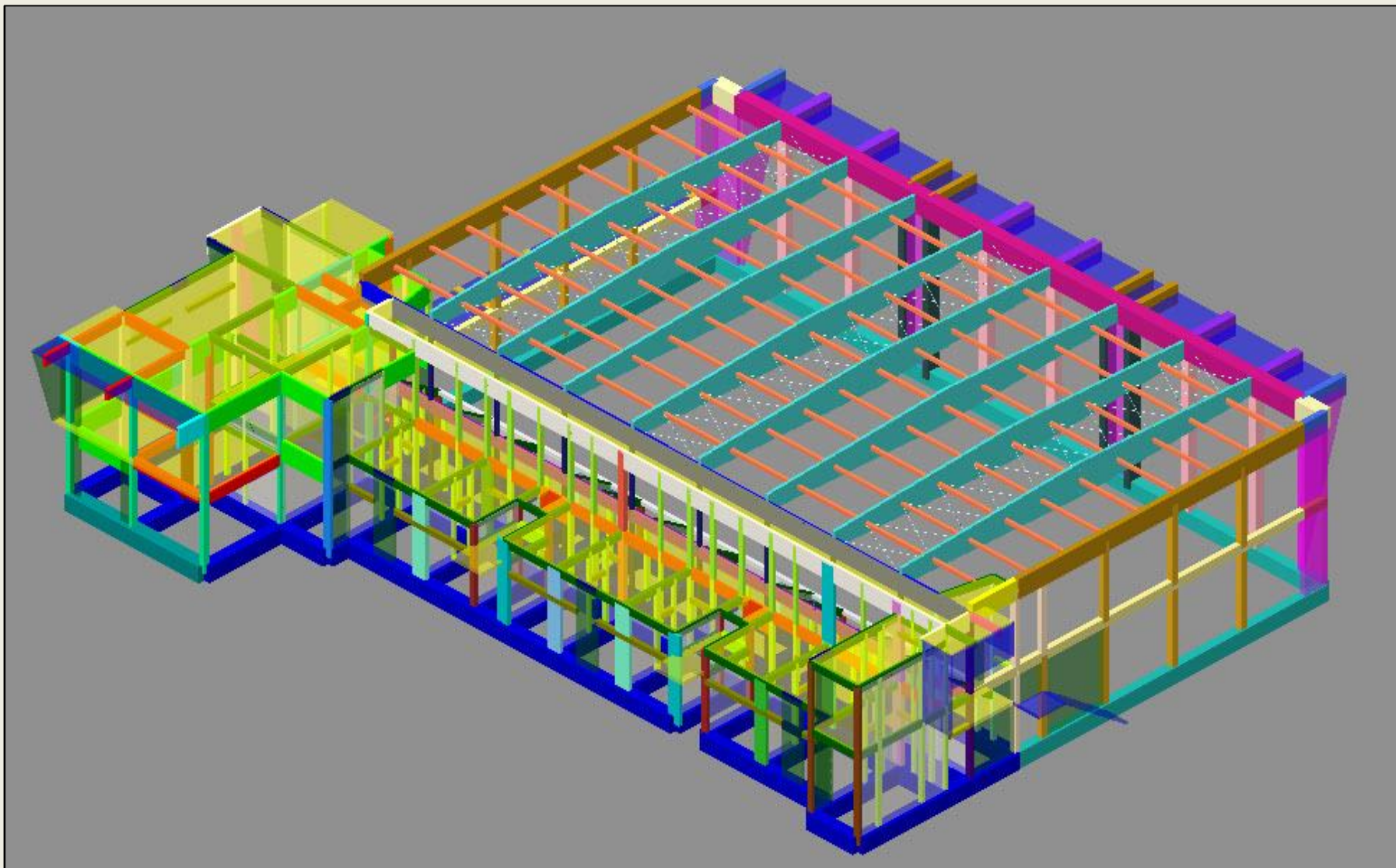
Kod pregrada poželjno da iste diktiraju raster glavnih nosača, ako je pregrada između – potrebna dodatna sekundarna konstrukcija



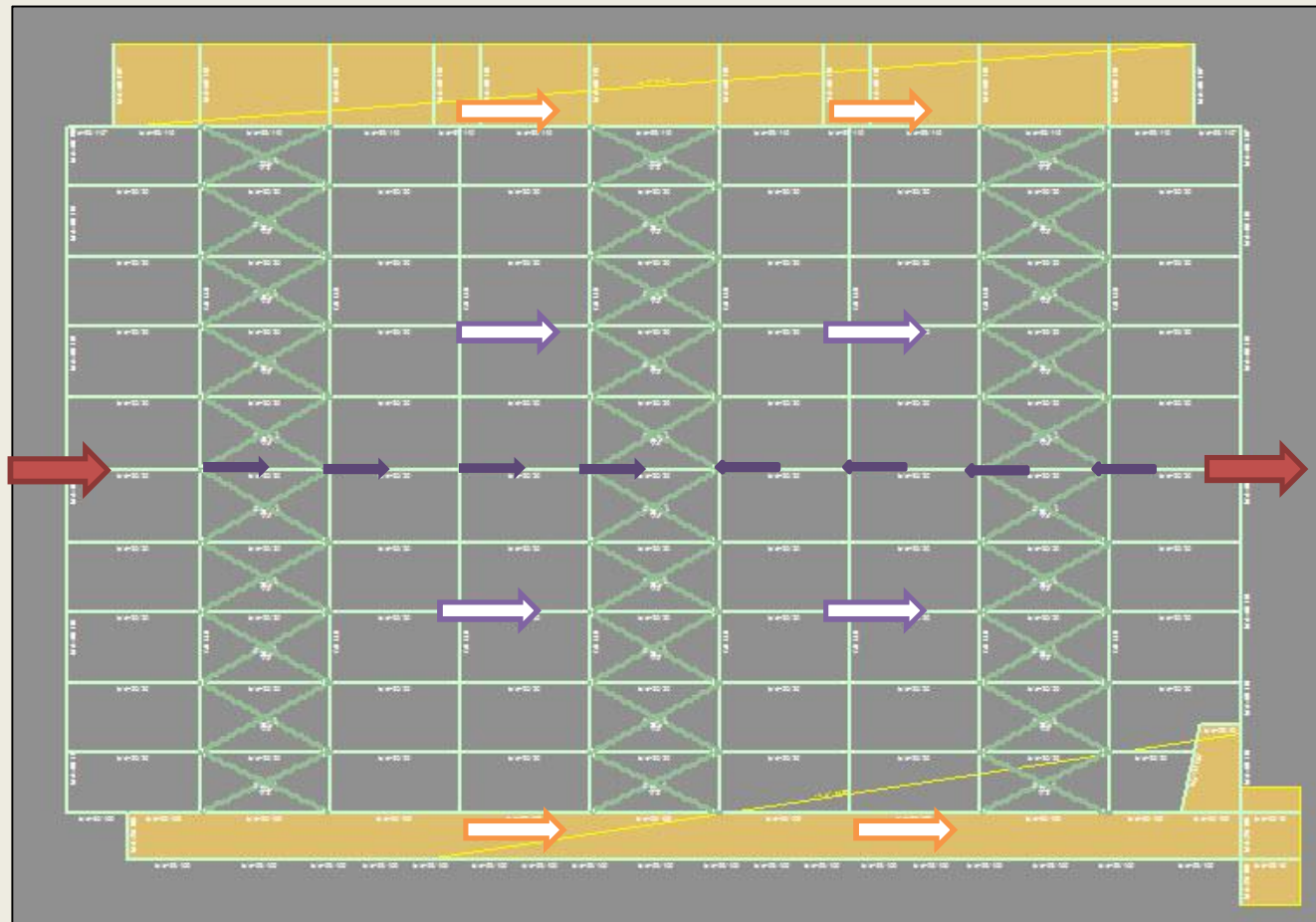
**Strojarski uređaji -**  
**Moguće je izbjeći vidljive ventilacijske kanale**  
**U proračunu kao mjerodavan uzet nosač na kome je pregrada**  
 **$g = 25 \text{ kg/m}^1$**   
**Ukupno 675 kg**  
**Croatia sport d.o.o.**  
**Velika Gorica**







## PROSTORNI MODEL KONSTRUKCIJE



# KROVNA KONSTRUKCIJA /OKVIRI – OPTEREĆENJA NA KROV I OKVIRE – X SMJER



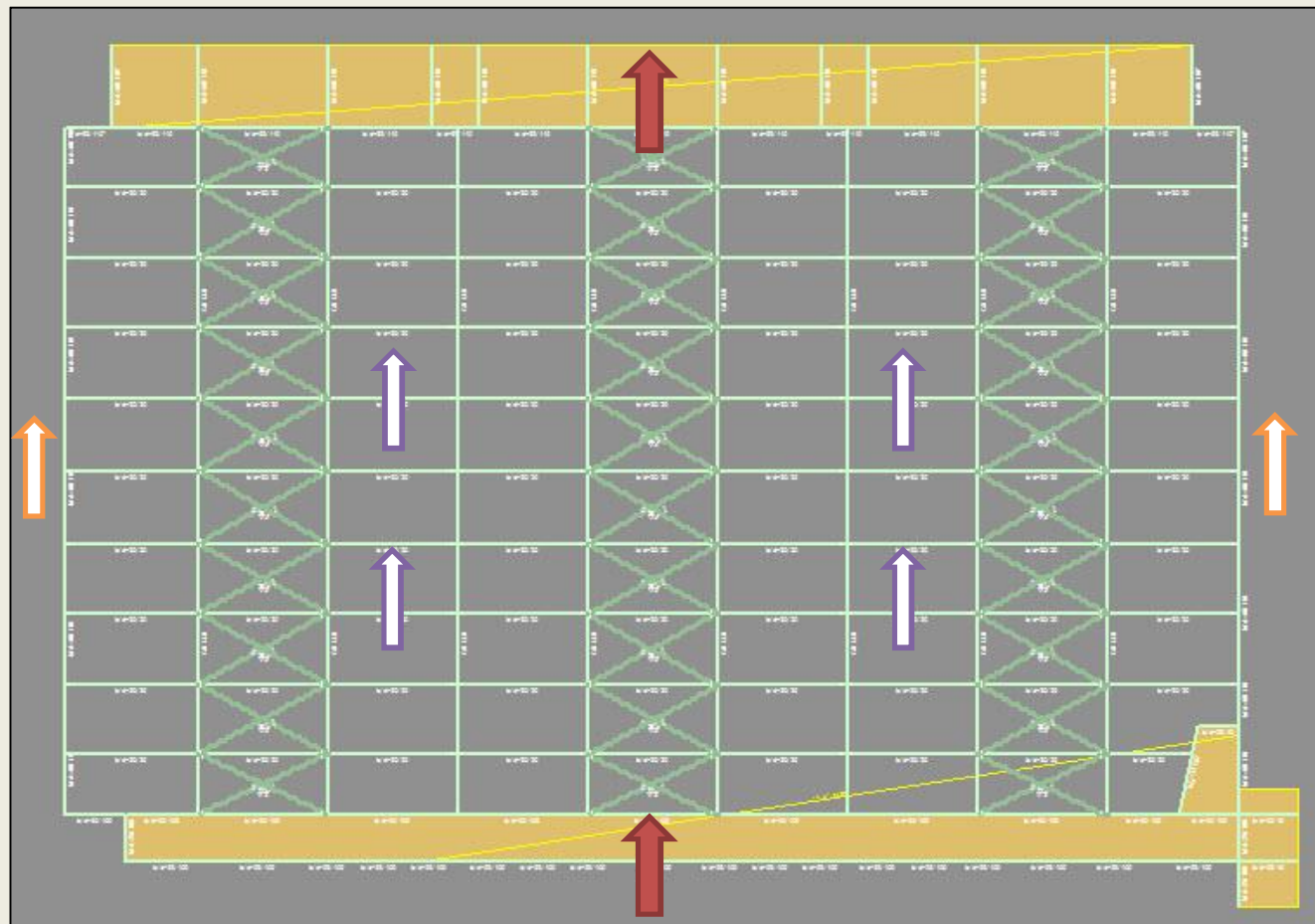
-  Opterećenje vjetar zabati
-  Trenje vjetra po krovnoj plohi
-  Trenje vjetra po zabatima
-  Devijacijske sile

Lokacija Lopar :  
Dodatno stalno :  
 $\Delta g_k = 0.85 \text{ kN/m}^2$   
Snijeg:  
 $s_k = 0.50 \text{ kN/m}^2$   
Vjetar :  
 $w_k = 1.10 \text{ kN/m}^2$   
Seizmika  
 $a_g = 0.186 \text{ g}$


- “ Lopar - horizontalno djelovanje – mjerodavan vjetar, a ne potres
- “ Tražena požarna otpornost krovne konstrukcije R60
- “ Proračun ab konstrukcije proveden prema HRN ENV 1992 i HRN ENV 1998
- “ Proračun drvene konstrukcije – kombinirano HRN EN 1995 i priznata tehnička pravila ( 2012. )




# KROVNA KONSTRUKCIJA /OKVIRI – OPTEREĆENJA NA KROV I OKVIRE – Y SMJER



 Opterećenje vjetar zabati

 Trenje vjetra po krovnoj plohi

 Trenje vjetra po zabatima

Devijacijske sile od tlačne sile u pojasu sekundarnih nosača zanemarivo

Koeficijent sile za trenje vjetra ovisan o naboranosti podloge  
 HRN EN 1991-1-4  
 Točka 7.5. – tablica 7.10.

“ Ne zanemarivati trenje vjetra – može imati značajan doprinos horizontalnoj sili – npr seizmička sila od mase krova je cca 30 kN, a sila od trenja vjetra po krovnoj plohi je 9 kN na jedan okvir

Površina	Koeficijent trenja $c_{tr}$
Glatka (npr. čelik, glatki beton)	0,01
Gruba (npr. grubi beton, katranske ploče)	0,02
Vrlo gruba (npr. valovite, rebraste i naborane površine)	0,04





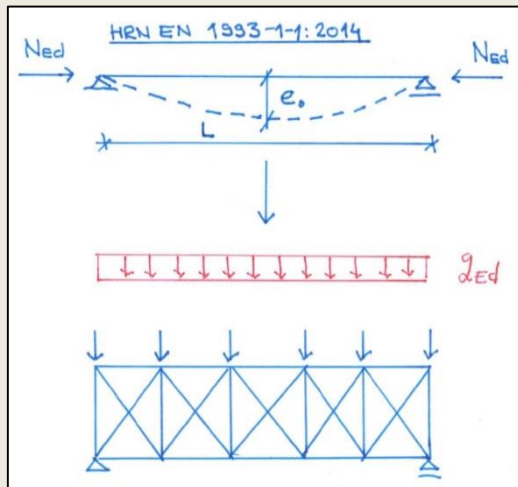
# KROVNA KONSTRUKCIJA / OKVIRI – DEVIJACIJSKE SILE

## Devijacijske sile od tlačne sile u pojasu glavnog nosača

$$q_{d1} = \frac{1}{30} \cdot \frac{M_{Ed}}{h}$$

HRN EN 1993-1-1, točka 5.3.3.

$$e_0 = \frac{\alpha_n \cdot L}{500}$$
$$\alpha_n = \sqrt{0.5 \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right)}$$
$$q_d = 8 \cdot N_{Ed} \frac{e_0 + \delta_q}{L^2}$$



- “ U ovom projektu opterećenje devijacijskim silama uzeto prema priznatim tehničkim pravilima ( 2012 ) – 1/30 tlačne sile u pojasu
- “  $M_{Ed} = 1037$  kNm
- “  $N_{Ed} = 725$  kN
- “  $q_{d1} = 0.9$  kN/m<sup>1</sup> – za jedan glavni nosač
- “  $q_{d1} = 2.7$  kN/m<sup>1</sup> – 1 spreg pridržava 3 nosača

### Prema HRN EN 1993-1-1:2014 – EUROCODE 3

- “  $e_0 = 5.37$  cm – slučajni ekcentricitet sprega
- “  $N_{Ed} = 725$  kN
- “  $q_d = 0.45$  kN/m<sup>1</sup> – za jedan glavni nosač
- “  $q_{d1} = 1.35$  kN/m<sup>1</sup> – 1 spreg pridržava 3 nosača
- “ Dvostruko manje devijacijske sile

Devijacijska sila na GN ovisna je o krutosti sprega, odnosno o progibu sprega od horizontalnog djelovanja u krovnoj ravnini

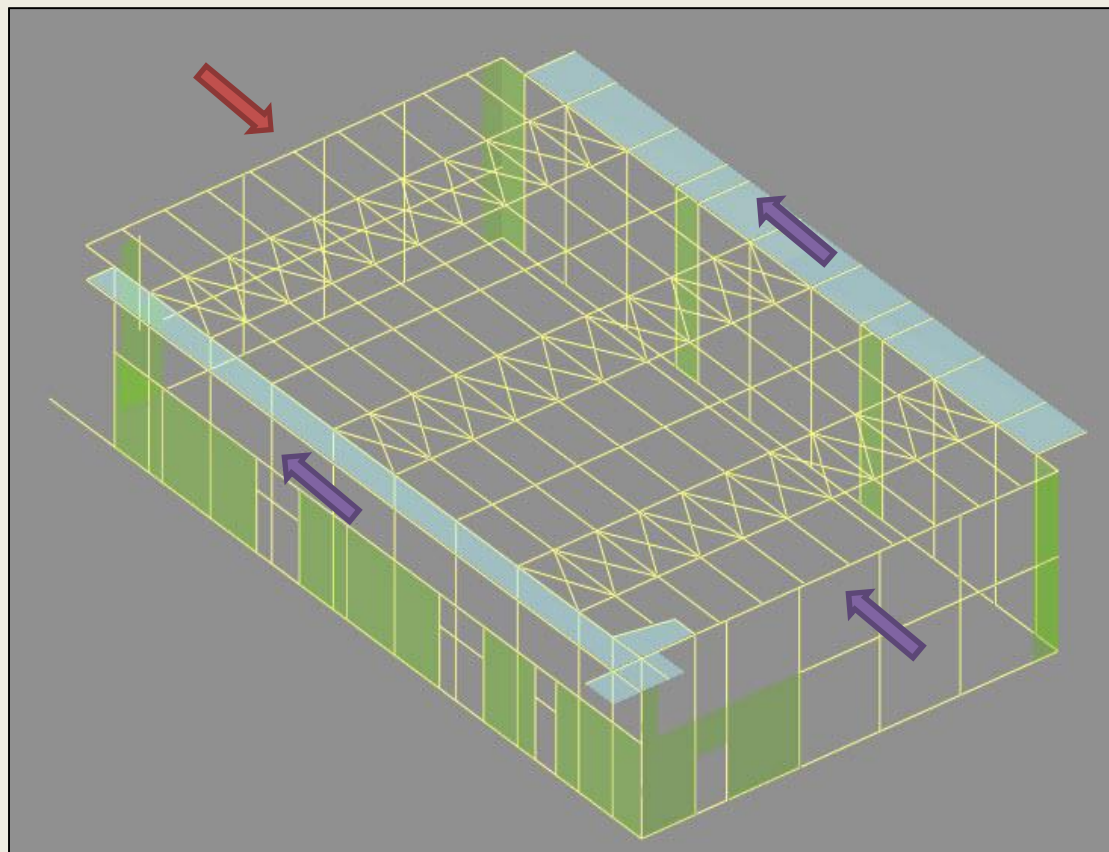
$e_0$  – slučajni ekcentricitet sprega

$\delta_q$  – progib sprega od horizontalnih djelovanja na spreg



## NOSIVI SUSTAV – KROVNA KONSTRUKCIJA / OKVIRI

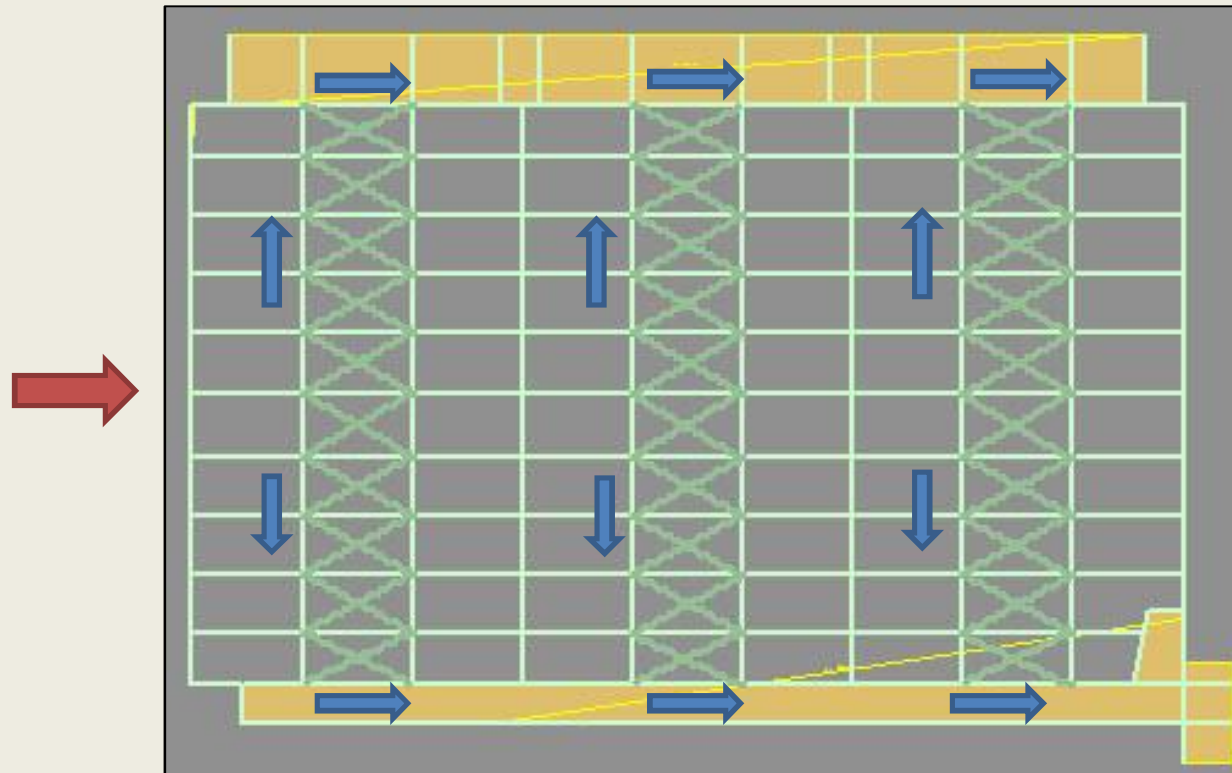
Koncept nosive konstrukcije – prijenos opterećenja



- “ Horizontalna djelovanja se unose u krovnu konstrukciju
- “ Uvjet nepomični oslonci glavnih i sekundarnih nosača na ab okvir
- “ Prednji i stražnji ab okvir zajedno sa spregovima prenose horizontalno djelovanje
- “ Krutost ab okvira je veća – veći dio sile prenose ab okviri u odnosu na spregove

## NOSIVI SUSTAV – KROVNA KONSTRUKCIJA / OKVIRI

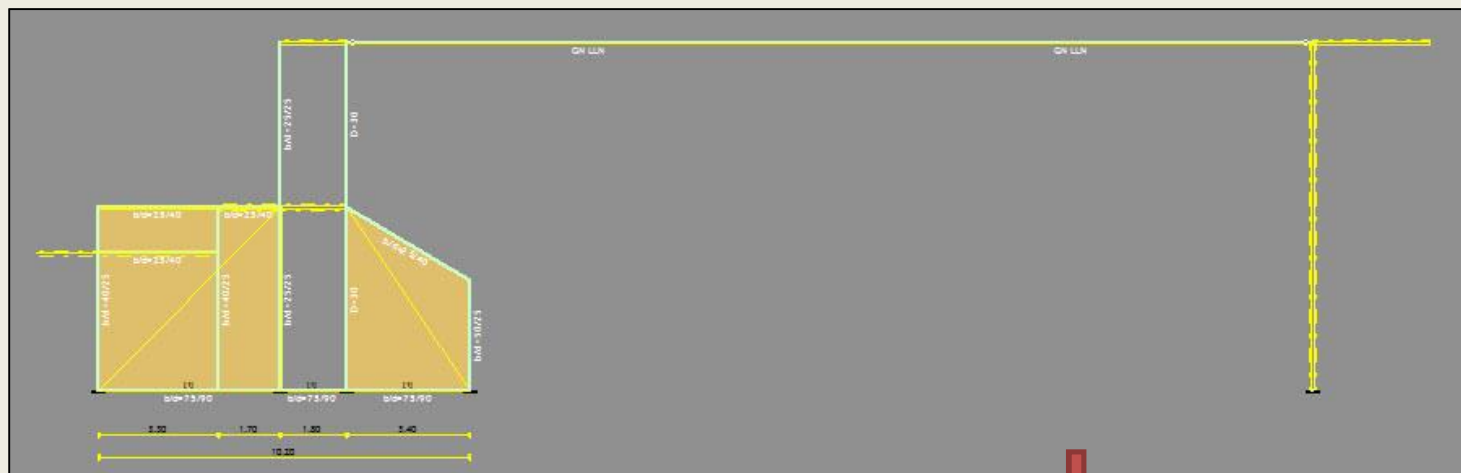
Koncept nosive konstrukcije – prijenos opterećenja



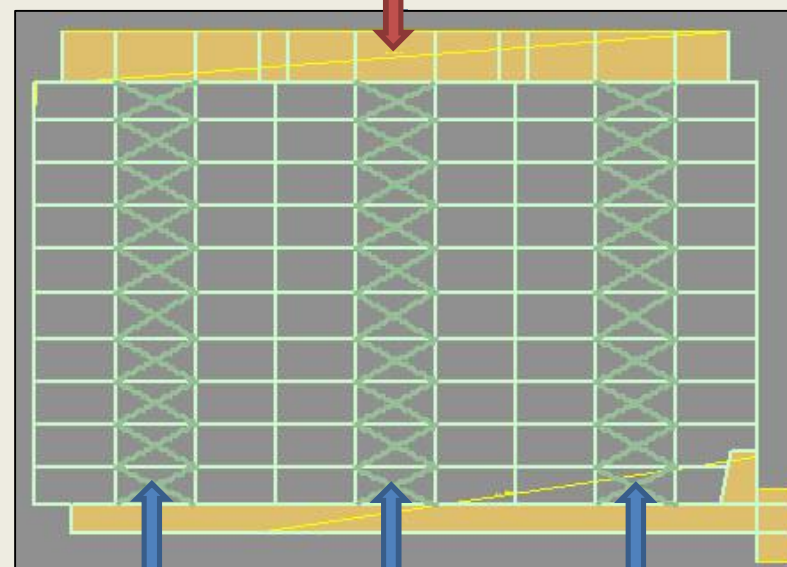
- “ Preko spregova se sile unose u zabatne okvire
- “ Horizontalnu silu prenose : prednji okvir, stražnji okvir i spregovi
- “ Omjer preuzete sile između horizontalne ravnine i ab okvira ovisan o međusobnom odnosu njihovih krutosti

# NOSIVI SUSTAV – KROVNA KONSTRUKCIJA / OKVIRI

Koncept nosive konstrukcije – prijenos opterećenja

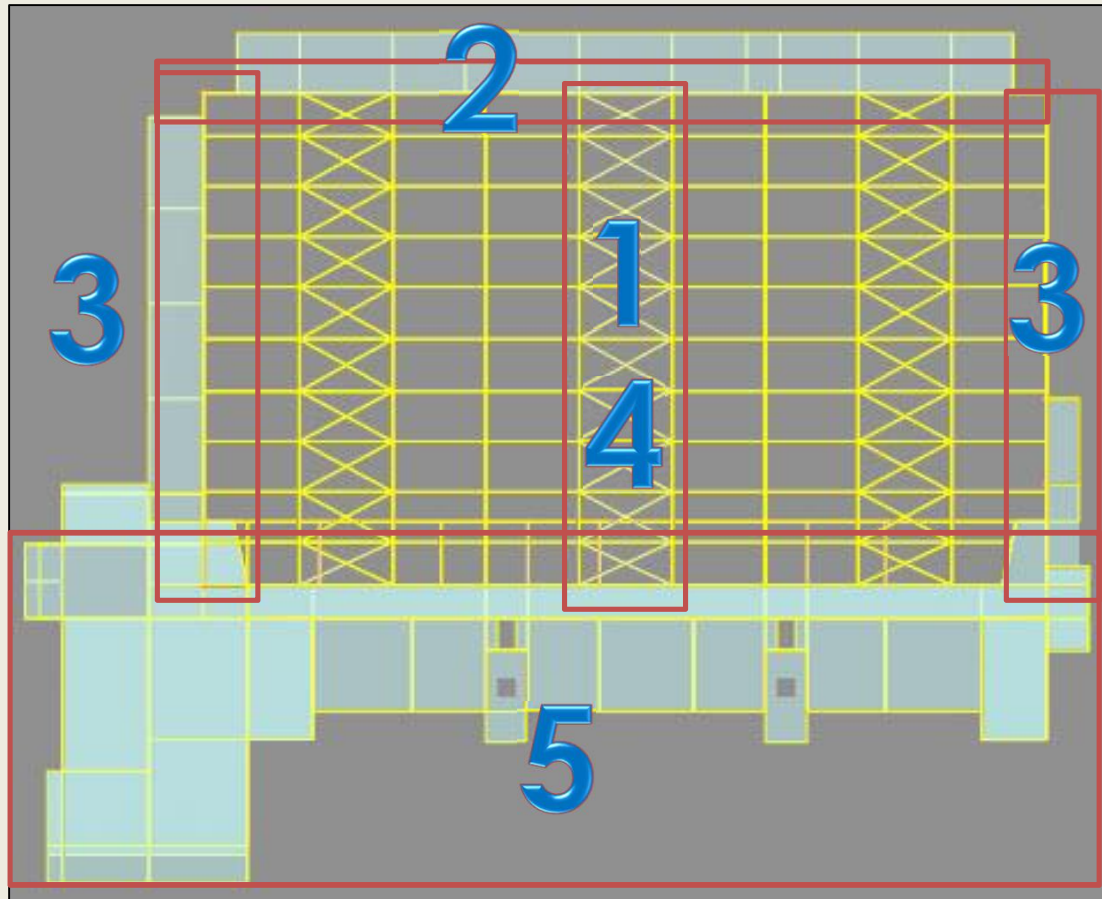


- “ U poprečnom smjeru konstrukcija dvorane u Loparu je pridržana ab konstrukcijom aneksa dvorane
- “ Kratki stupovi u dva reda – dvostruko manje visine dostatno pridražanje s obzirom na iznos horizontalnih sila
- “ Izvedba horizontalnih uzdužnih spregova ne bi dala značajan doprinos horizontalnoj krutosti okvira u Y smjeru



Y smjer

## PRORAČUN PREMA GLAVNOM PROJEKTU :



1. Analiza krutosti poprečnih krovnih spregova

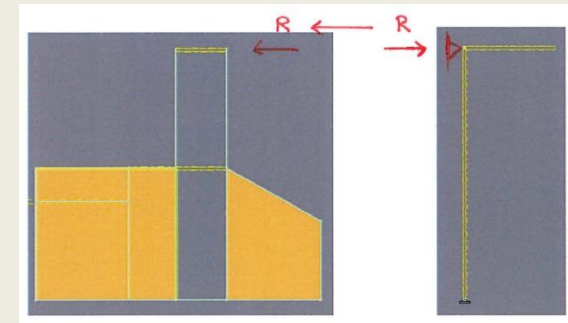
2. Izračun duljeg uzdužnog okvira – gore nepomični oslonci okomiti na okvir. Reakcije sa unos za proračun aneksa dvorane - 5

3. Izračun poprečnih okvira. Gore napomični oslonci. Reakcije s nepomičnih oslonaca su opterećenje za poprečne spregove

4. Izračun poprečnih spregova

5. Izračun aneksa dvorane

Poželjno s obzirom da su periodi osciliranja bitno različiti za okvire i kruti aneks dvorane



“ Napravljen proračun i na cijelom prostornom modelu - kontrola

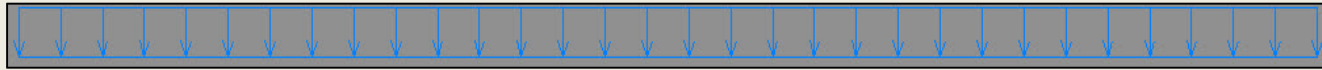
“ Sportske dvorane su konstrukcije nepravilne tlocrtno i visinski – potrebna je provedba seizmičkog proračuna multimodalnom analizom. Većina tonova osciliranja u multimodalnoj su tonovi vezani na okvire dvorane ( aneks je u usporedbi s istima jako krut )

“ Može nastati problem pokupiti 90% mase što je uvjet po HRN EN 1998-1

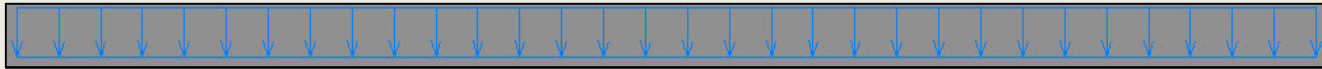


# KROVNA KONSTRUKCIJA / OKVIRI – PRORAČUN SPREGOVA

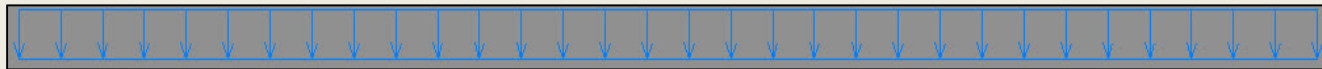
Opterećenja koja djeluju na spregove



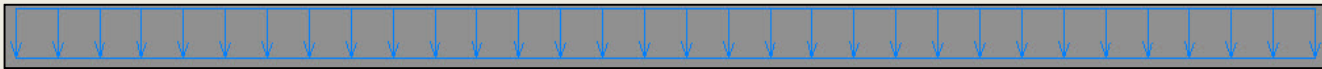
Vjetar sa zabatnih ploha



Potres sa zabatnih ploha



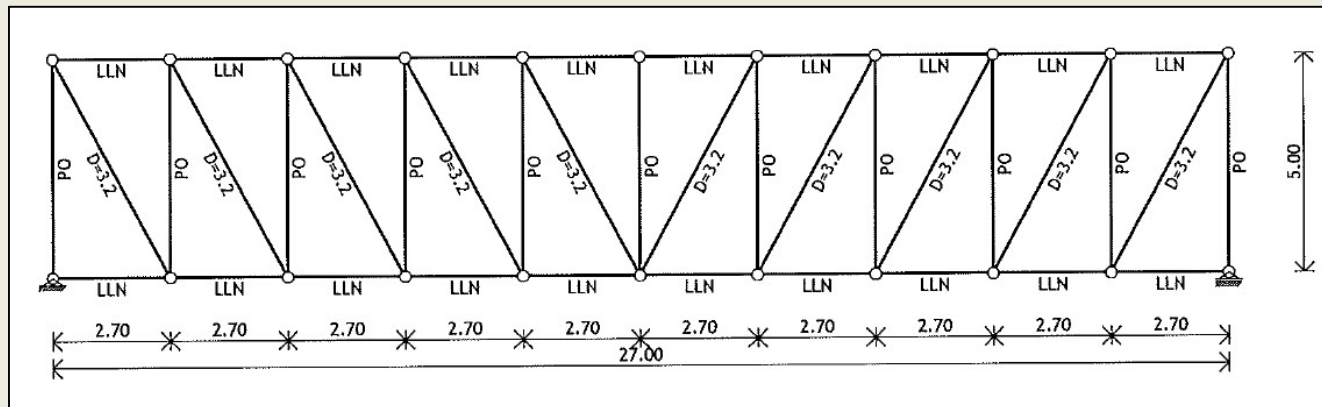
Trenje vjetra po krovnoj plohi



Potres od težine krova



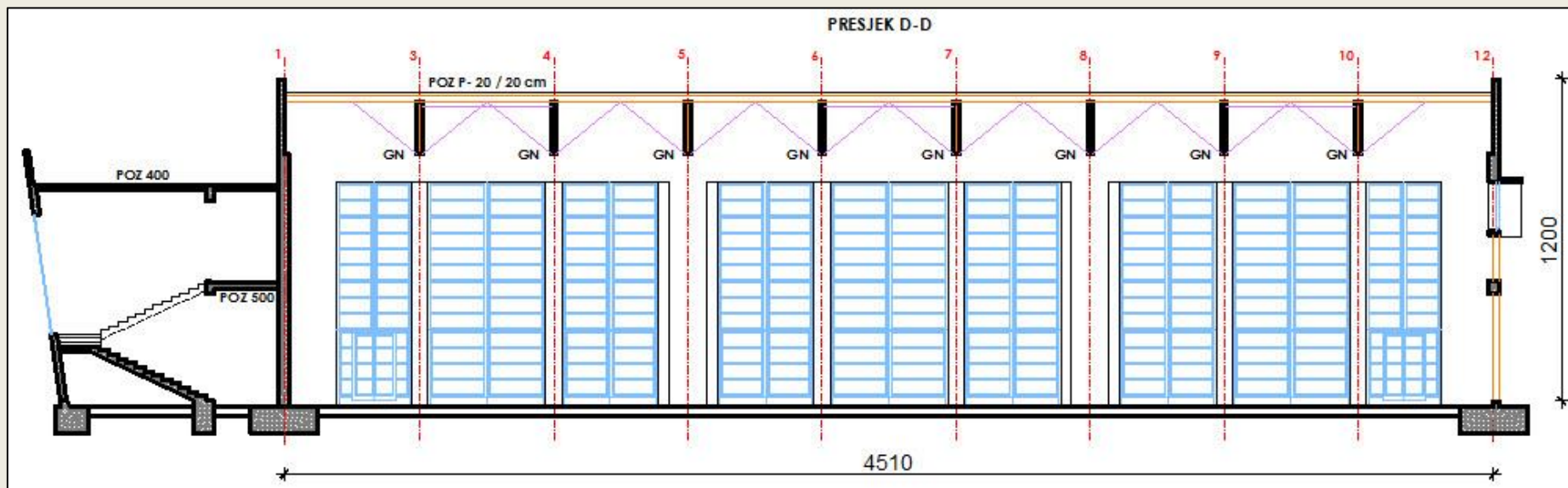
Devijacijske sile



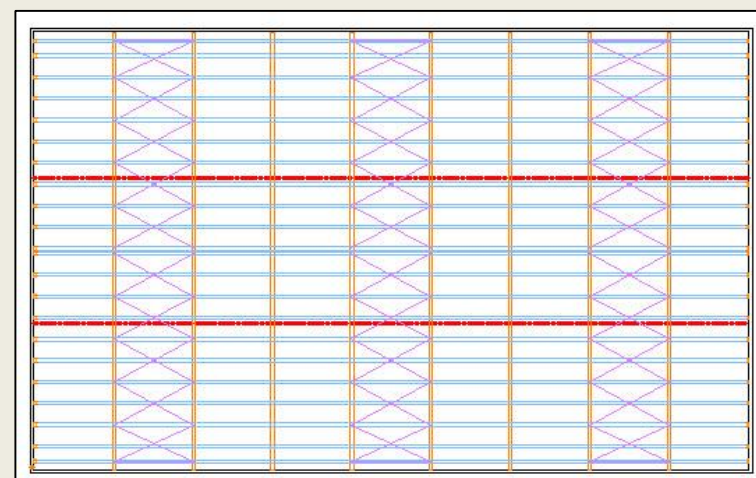
Spregovi od vlačnih dijagonala. Tlačne isključene iz proračuna



# KROVNA KONSTRUKCIJA / OKVIRI – ODIZANJE VJETROM



- “ Lagani krov – pokrov samo lagani toplinski paneli
- “ Opterećenje odizanje vjetrom :  $w_k = - 0.77 \text{ kN/m}^2$
- “ Donji pojas glavnog nosača - u tlaku
- “ Problem stabilnosti na izvijanje radi duljine od 27 m
- “ Potrebna stabilizacija donjeg pojasa
- “ Projektirane vješaljke ( čelične šipke ) koje povezuju donji pojas GN i podrožnice
- “ Vješaljke u dva reda – izvijanje donjeg pojasa reducirano je na duljinu od 9.0 m
- “ Vješaljke prenose devijacijsku silu iz donjeg pojasa u gornji tj. u podrožnice









# KROVNA KONSTRUKCIJA / OKVIRI – DJELOVANJE TEMPERATURE

“ **Nepomični oslonci GN na ab okvire dvorane – mora se analizirati utjecaj temperature**

Za konkretnu lokaciju - prema HRN EN 1991-1-5:2012 :

Unutarnja temperatura :  $T_{in}$  - ljeta 20 °C,  $T_{in}$  zima 25 °C

Početna temperatura ( montaža ) :  $T_0 = 10$  °C

Maksimalna tepepratura :  $T_{max} = 40$  °C

Minimalna temperatura :  $T_{min} = -20$  °C

$T_{out}$  ( ljeta ) =  $T_{max} + T_4 = 40 + 30 = 70$  °C

$T_{out}$  ( zima ) =  $T_{min} = -20$  °C

$$T_{ljeto} = \frac{T_{out}(ljeto) + T_{in}(ljeto)}{2} = \frac{70 + 20}{2} = 45 \text{ °C}$$

$$T_{zima} = \frac{T_{out}(zima) + T_{in}(zima)}{2} = \frac{-20 + 25}{2} = 2.5 \text{ °C}$$

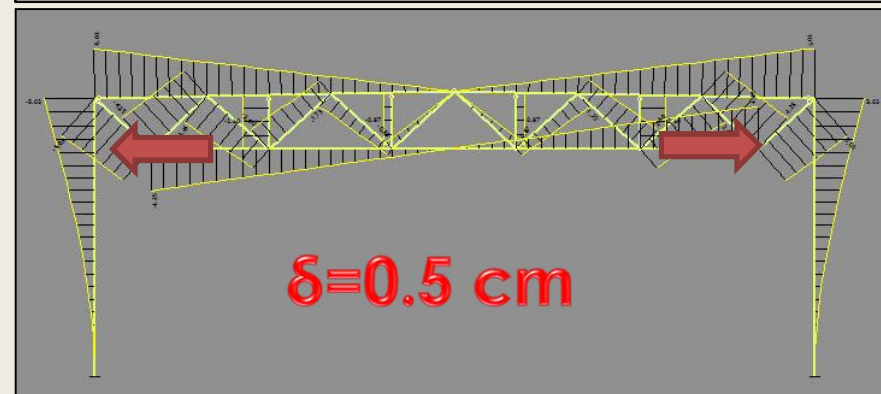
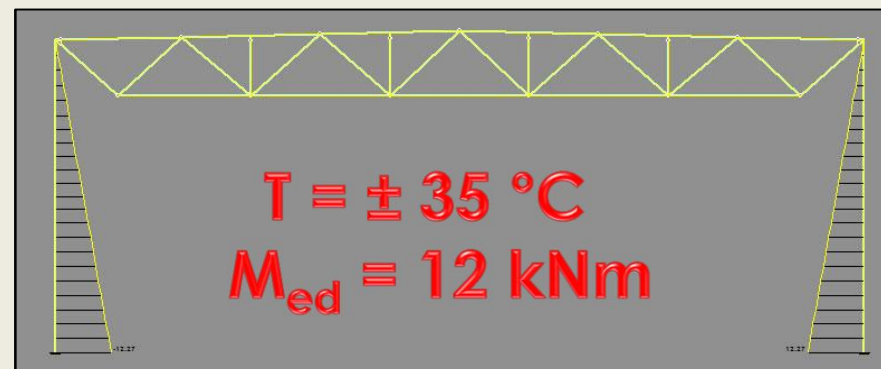
$\Delta T_u$  ( ljeta ) =  $T_{ljeto} - T_0 = 45 - 10 = 35$  °C

$\Delta T_u$  ( zima ) =  $T_{zima} - T_0 = 2.5 - 10 = -7.5$  °C

Uzeti će se jednolika promjena temperature :  $\Delta T_u = \pm 35$  °C

“ **Temperaturu unijeti za sve elemente konstrukcije, a ne samo za krov. U protivnom će ab okviri sprječavati pomak konstrukcije krova**

- “ **Koeficijent toplinskog širenja za drvo  $\alpha_t = 5 \cdot 10^{-6}$**
- “ **U usporedbi s čelikom i betonom za drvo dvostruko manji**
- “ **Neznatan moment savijanja od temperature – stup visok i deformabilan – pomak 0.5 cm**
- “ **Temperatura je korisno opterećenje – ne kombinira se s potresom**



## KROVNA KONSTRUKCIJA / OKVIRI – DIMENZIONIRANJE STUPOVA

- “ Dimenzioniranje okvira provedeno prema HRN ENV 1992-1-1
- “ Zbog vitkosti  $\lambda=80$ , proračun proveden na defomiranom sustavu prema teoriji 2. reda
- “ Ukupni dodatni ekscentricitet 10.5 cm
- “ Uvećanje momenta savijanja okomito na okvir uslijed učinaka 2. reda – 37 %
- “ Slučajni ekscentricitet je uzet kao L/200
- “ Primjer proračuna ab stupa jednog okvira

Okvir dolje upet gore pridrzan :

$N_{Ed} = 621 \text{ kN}, M_{Ed} = 147 \text{ kNm}$

$\lambda = 80$

$e_{tot} = e_0 + e_a + e_2$

**Excentricitet  $e_0$  :**

$$e_0 = \frac{M_{sd}^I}{N_{sd}^I} = 23.67 \text{ cm}$$

**Slučajni ekscentricitet**

$e_a = \nu \cdot l_0 / 2$

( uzeto min L/200 ) :

$e_a = 4.5 \text{ cm}$

**Excentricitet po teoriji I reda :**

$e_a = 23.67 + 4.5 = 28.17 \text{ cm}$

$M_{Ed}^I = 175 \text{ kNm}$

$$e_i = \frac{1}{200} \cdot \alpha_h \cdot \frac{l_0}{2} ; \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}} ; 2/3 < \alpha_h < 1$$

**Excentricitet po teoriji II reda :**

$$\frac{1}{r_y} = \frac{2 \cdot K_2 \cdot \varepsilon_{yd}}{0.9 \cdot d} = 1.30 \cdot 10^{-4}$$

$$e_2 = K_1 \cdot \frac{l_i^2}{10} \cdot \frac{1}{r_y} = 10.53 \text{ cm}$$

**$e_{tot} = 38.7 \text{ cm}$**

$M_{sd}^{II} = N_{sd} \cdot e_{tot} = 240 \text{ kNm}$

**Povećanje momenta 37%**

$\mu_{sd} = 0.188 \quad \nu_{sd} = 0.194$

$$A_{s1} = \omega \cdot \frac{b \cdot h \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 25.02 \text{ cm}^2$$

- “ Slučajni excentricitet za vitke ab elemente je min L/200 ( u biti duljina izvijanja  $l_0 = 2 l_i$  )
- “ Ukoliko je sustav pridrzan ( nepomičan ) prema HRN EN 1992-1-1:2013 +NA, moguće je uzeti slučajni ekscentricitet dvostruko manji tj. - L/400 = 2.25 cm ( u biti duljina izvijanja  $l_0 = l_i$  )
- “ I taj ekcentricitet je moguće reducirati za visine elemenata > 4.0 m – za visinu 9.0 m – 0.67





## KROVNA KONSTRUKCIJA – POŽARNI ZAHTJEVI

- “ Pravilnik o otpornosti na požar i drugim zahtjevima koje građevine moraju zadovoljiti u slučaju požara - NN 29/13
- “ Prostori s okupljanjem > 300 osoba – kategorija ZPS 5
- “ ZPS4 ili ZPS5 ne dopuštaju nosivu konstrukciju od gorivog materijala

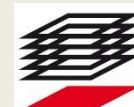
(5) Zgrade podskupine 5 (ZPS 5) su zgrade s kotom poda najviše etaže za boravak ljudi do 22,00 metra mjereno od kote vanjskog terena s kojeg je moguća intervencija vatrogasaca, odnosno evakuacija ugroženih osoba, a koje nisu razvrstane u podskupine ZPS 1, ZPS 2, ZPS 3 i ZPS 4, kao i zgrade koje se pretežno sastoje od podzemnih etaža, zgrade u kojima borave nepokretne i osobe smanjene pokretljivosti te osobe koje se ne mogu samostalno evakuirati (bolnice, domovi za stare i nemoćne, psihijatrijske ustanove, jaslice, vrtići i slično) te zgrade u kojima borave osobe kojima je ograničeno kretanje iz sigurnosnih razloga (kaznene ustanove i slično), i/ili imaju pojedinačne prostore u kojima se može okupiti više od 300 osoba;

- “ Po novim požarnim propisima drvena krovna konstrukcija za ovakvu građevinu nije dozvoljena – drvo je goriv materijal
- “ Toplinska izolacija – mineralna vuna . Stiropor i veći broj toplinskih panela nije dozvoljen

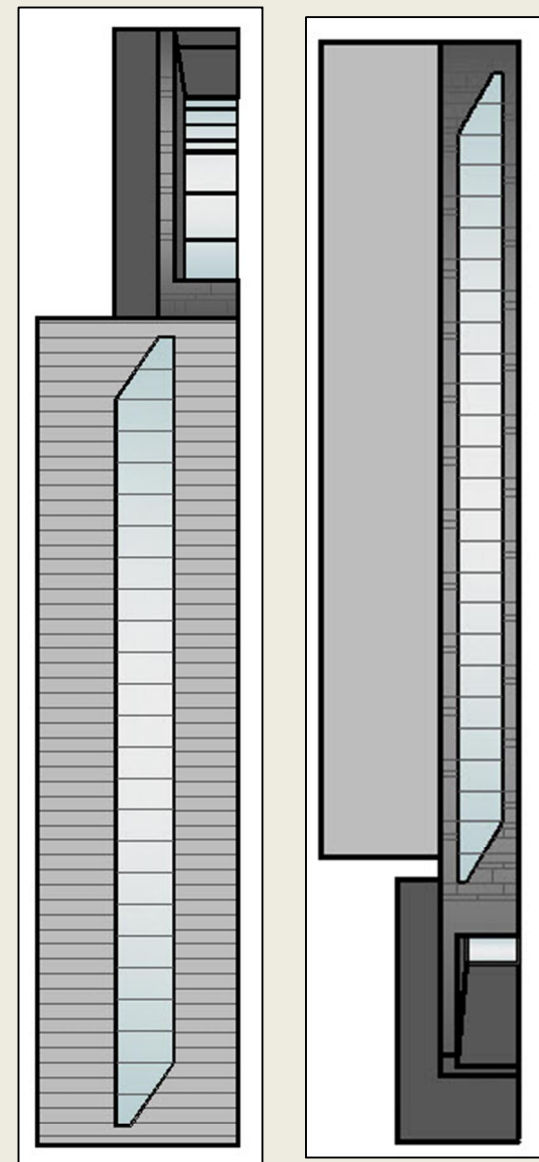
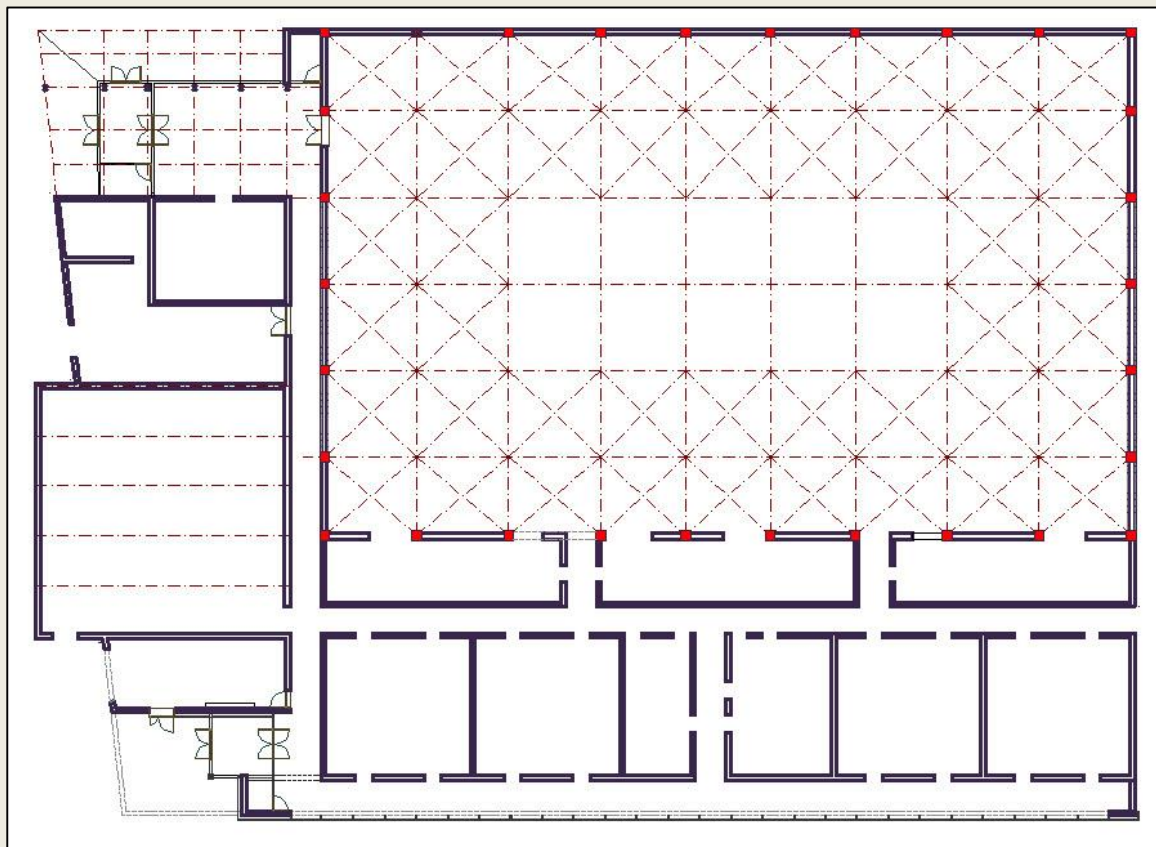
TABLICA 7. Krovovi

Konstrukcija	Zgrada podskupine (ZPS)					
	ZPS 1	ZPS 2	ZPS 3	ZPS 4	ZPS 5	Visoke zgrade
<b>Ravni krovovi</b>						
Gornji sloj debljine od najmanje 5 cm šljunka ili istovrijednog materijala						
- Izolacija (hidroizolacija i slično)	E	E	E	E	D	D
- Toplinska izolacija	E	D	D	A2	A2	A2
Kad gornji sloj ne odgovara prethodnoj točki						
- Izolacija	BKROV (t1)	BKROV (t1)	BKROV (t1)	BKROV (t1)	BKROV (t1)	nije dozvoljeno
- Toplinska izolacija	E	E	E	A2	A2	
<b>Kosi krovovi</b>						
- Pokrov	BKROV (t1)	BKROV (t1)	BKROV (t1)	A2	A2	A2
- Krovna ljepenka i folije	E	E	E	E	E	A2
- Krovna konstrukcija	E	E	E	A2	A2	A2
- Toplinska izolacija	E	D	C	A2	A2	A2

RAZRED	PONAŠANJE PRI POŽARU
<b>A1</b>	proizvodi od prirodnog kamena, betona, opeke, keramike, stakla i veliki broj metalnih proizvoda
<b>A2</b>	proizvodi kao u grupi A1, ali koji sadržavaju malu količinu organskog materijala
<b>B</b>	gipsane ploče s različitim (tankim) oblogama požarni usporivači na bazi drva
<b>C</b>	fenolna pjena, gipsane ploče s različitim oblogama (tanjim od onih u razredu B)
<b>D</b>	drveni proizvodi koji imaju debljinu veću od 10 mm i gustoću veću od 400 kg/m <sup>3</sup> (ovisno o krajnjoj uporabi proizvoda)
<b>E</b>	različite vrste vlaknastih ploča, izolacijski proizvodi i proizvodi od plastike
<b>F</b>	proizvodi koji nisu ispitani na požar (nema zahtjeva za svojstvima reakcije na požar)

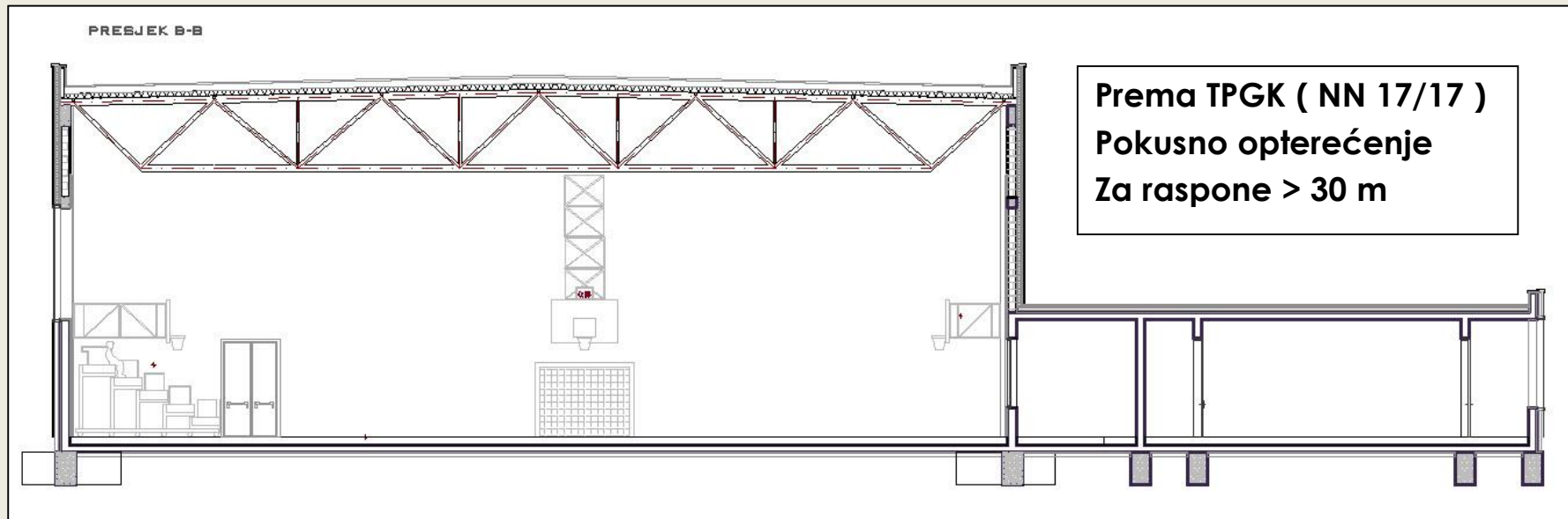


## KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – DVORANA SPORTSKE GIMNAZIJE ZAGREB

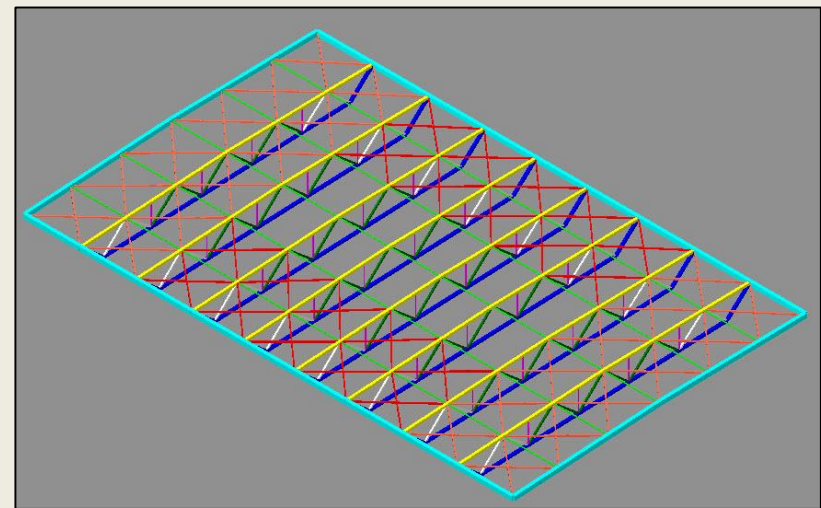


- “ Lokacija – Selska cesta Zagreb
- “ BRP 2800 m<sup>2</sup>
- “ Krovna konstrukcija čelična
- “ Okviri dvorane i aneks dvorane ab konstrukcija
- “ Izmjere samo dvorane 29x46 m
- “ Glavni nosači krova dvorane čelične rešetke

## KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – DVORANA SPORTSKE GIMANZIJE ZAGREB

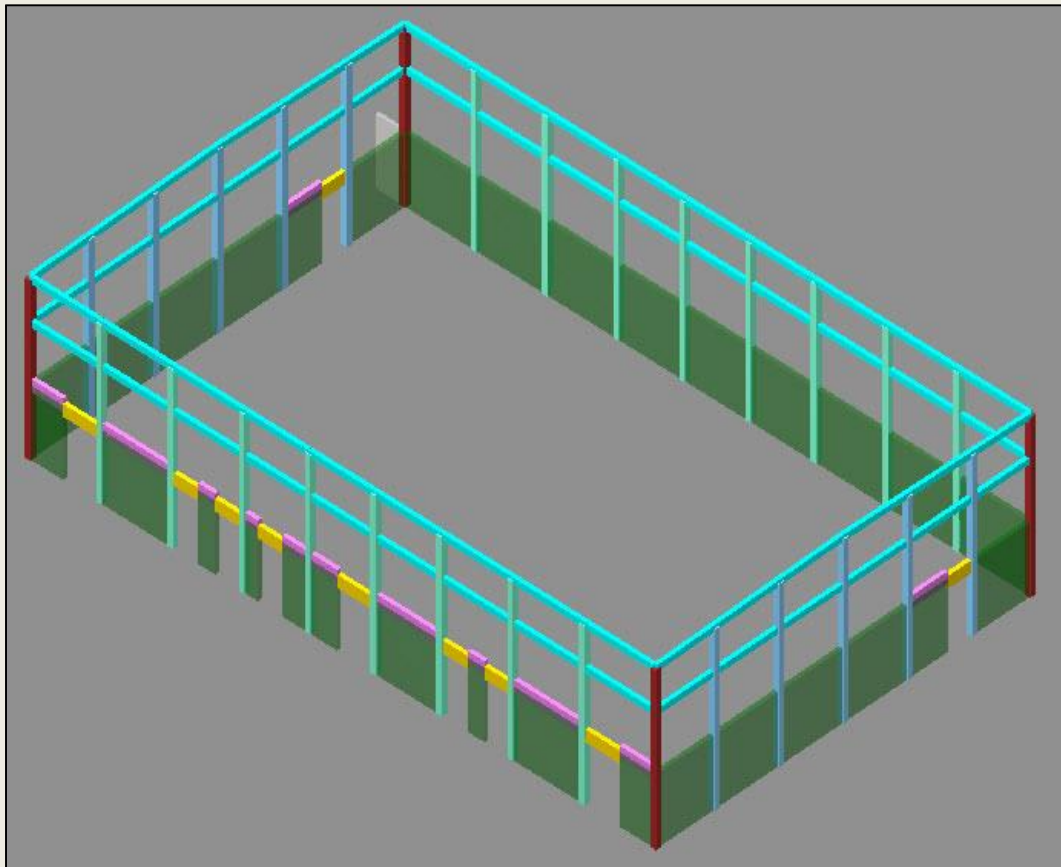


- “ Krovna konstrukcija čelična – raspon 29 metara  
Raster nosača 5 m
- “ Visina rešetke 215 cm na osloncu i 230 cm u sredini raspona
- “ Krovni paneli koji zadovoljavaju požarne zahtjeve uvjetuju sekundarne nosače na iznimno malom rasteru – gusto postavljanje Neracionalno za čeličnu konstrukciju
- “ Odabran visokovalni trapezni lim nosiv na rasteru glavnih nosača . Nema klasičnih sekundarnih nosača- samo uzdužni nosači koji osiguravaju povezivanje ( stabilnost krova )





## KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – DVORANA SPORTSKE GIMANZIJE ZAGREB



ČELIK S 235 JR

Gornji pojas : 220x220x10 mm

Donji pojas: 220 x220 x 8 mm

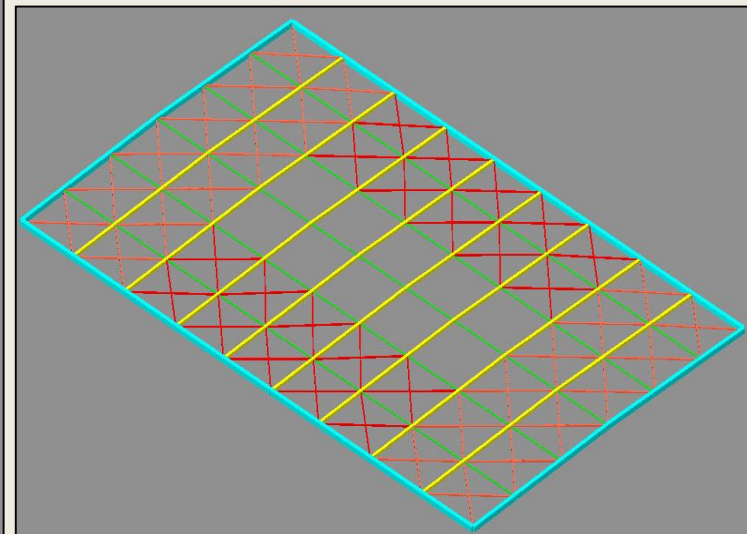
Rubne dijagonale : 140x140x 6.3 mm

Unutarnje dijagonale : 140x140x 4 mm

Vertikale: 80 x80 x 3 mm

Vezni nosači: 80 x80 x 3 mm

Spregovi: 100 x100 x 5 mm

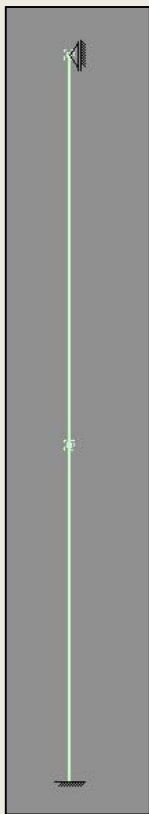


- “ Uvjet manje izmjere stupova radi mogućnosti smještaja dvorane na čestici- Stupovi - h=11.1 m
- “ Ab stupovi svih okvira 40/45 cm. Donji dio okvira ab zidovi. Gornje ab grede na dvije visine
- “ Nepomični oslonci – zajednički rad krova i okvira za horizontalnu krutost
- “ Krovni spregovi gusto postavljeni – čelične cijevi – tlačno/vlačne dijagonale

# KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – DULJINA IZVIJANJA STUPOVA

- Prvi uvjet je da su spojevi glavnih nosača i stupova nepomični oslonci – u protivnom je ab stup čista konzola
- Provedena je analiza duljine izvijanja za ukupno 5 slučajeva različitih krutosti gore ( 1 do 5 ) i 5 podslučajeva različite krutosti dolje ( A do E )
- Eurocode 2 daje izraze za izračun duljine izvijanja za slučaj popustljivosti na rotaciju gore i dolje, ali za potpuno pomičan oslonac gore što za dvorane nije primjenjivo
- Kod dvorana oslonac gore je horizontalno djelomično popustljiv ( radi spregova )

Krutost za horizontalni pomak



- 1 : krutost =  $\infty$
- 2 : krutost = 30.000 kN/m<sup>1</sup>
- 3 : krutost = 3.000 kN/m<sup>1</sup>
- 4 : krutost = 300 kN/m<sup>1</sup>
- 5 : krutost = 0

-U praksi niti oslonac gore niti oslonac dolje nisu apsolutno kruti.  
 Krutost na horizontalni pomak gore ovisi o krutosti krovne ravnine  
 -Krutost dolje može ovisiti o npr. krutosti tla

HRN EN 1992-1-1:2013 – točka 5.8.3.2.

$$l_o = l \max \left\{ \sqrt{1 + 10 \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}} ; \left( 1 + \frac{k_1}{1 + k_1} \right) \left( 1 + \frac{k_2}{1 + k_2} \right) \right\}$$

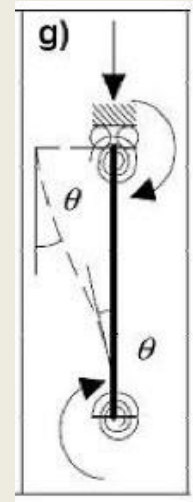
Krutost za rotaciju

- A : krutost =  $\infty$
- B : krutost = 30.000 kN/m<sup>1</sup>
- C : krutost = 3.000 kN/m<sup>1</sup>
- D : krutost = 300 kN/m<sup>1</sup>
- E : krutost = 0

$$k_{1,2} = \frac{\theta}{M} \cdot \frac{EI}{l}, k_{min} = 0.1$$

k - popustljivost na rotaciju  
 k = 0 – potpuno spriječeno  
 k =  $\infty$  – potpuno slobodno

$L_0 > 2L$

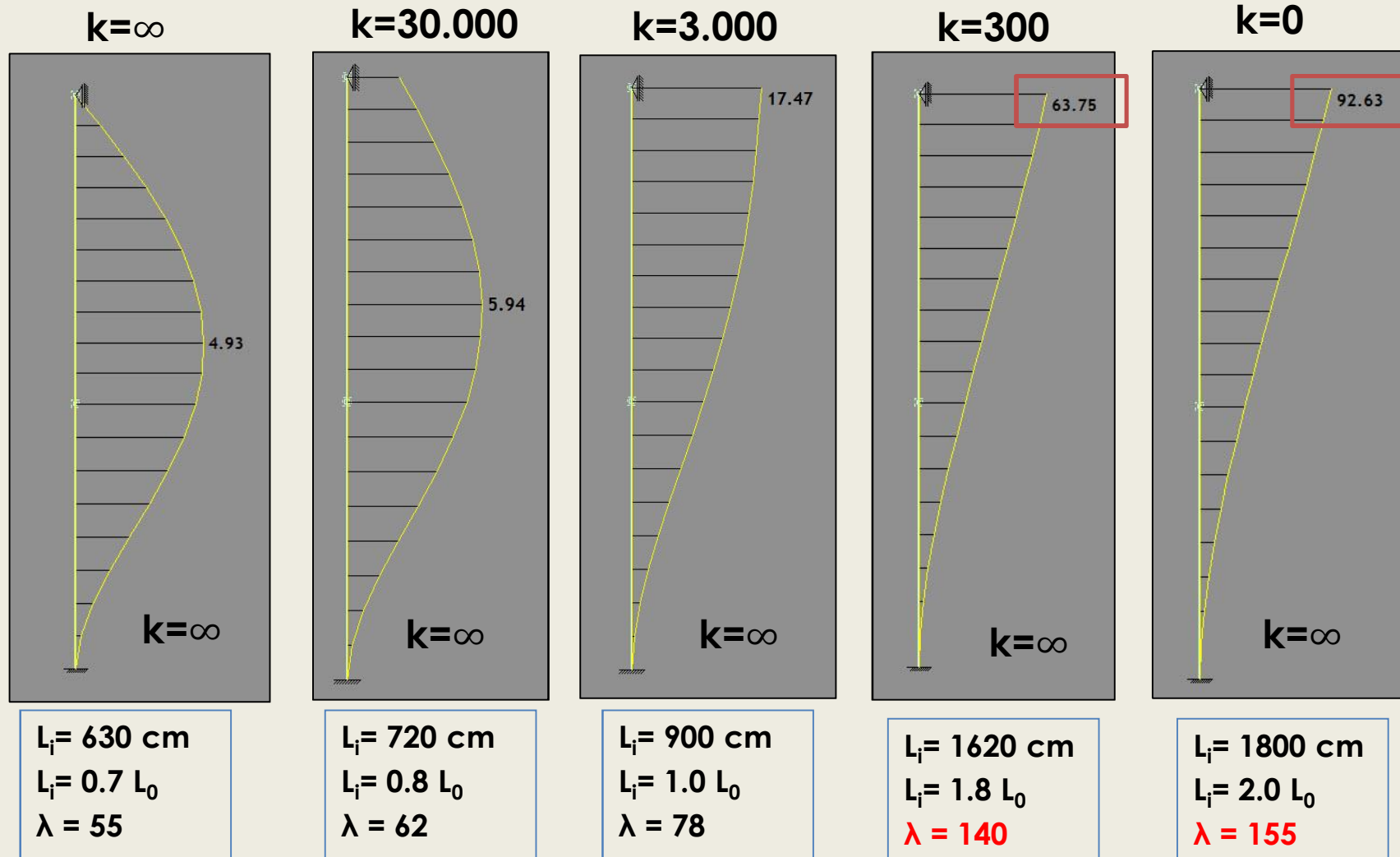


# KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – DULJINA IZVIJANJA STUPOVA

“ Slučaj A

$$\delta_{\max} = L/150 = 6.0 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\max} = 120$$



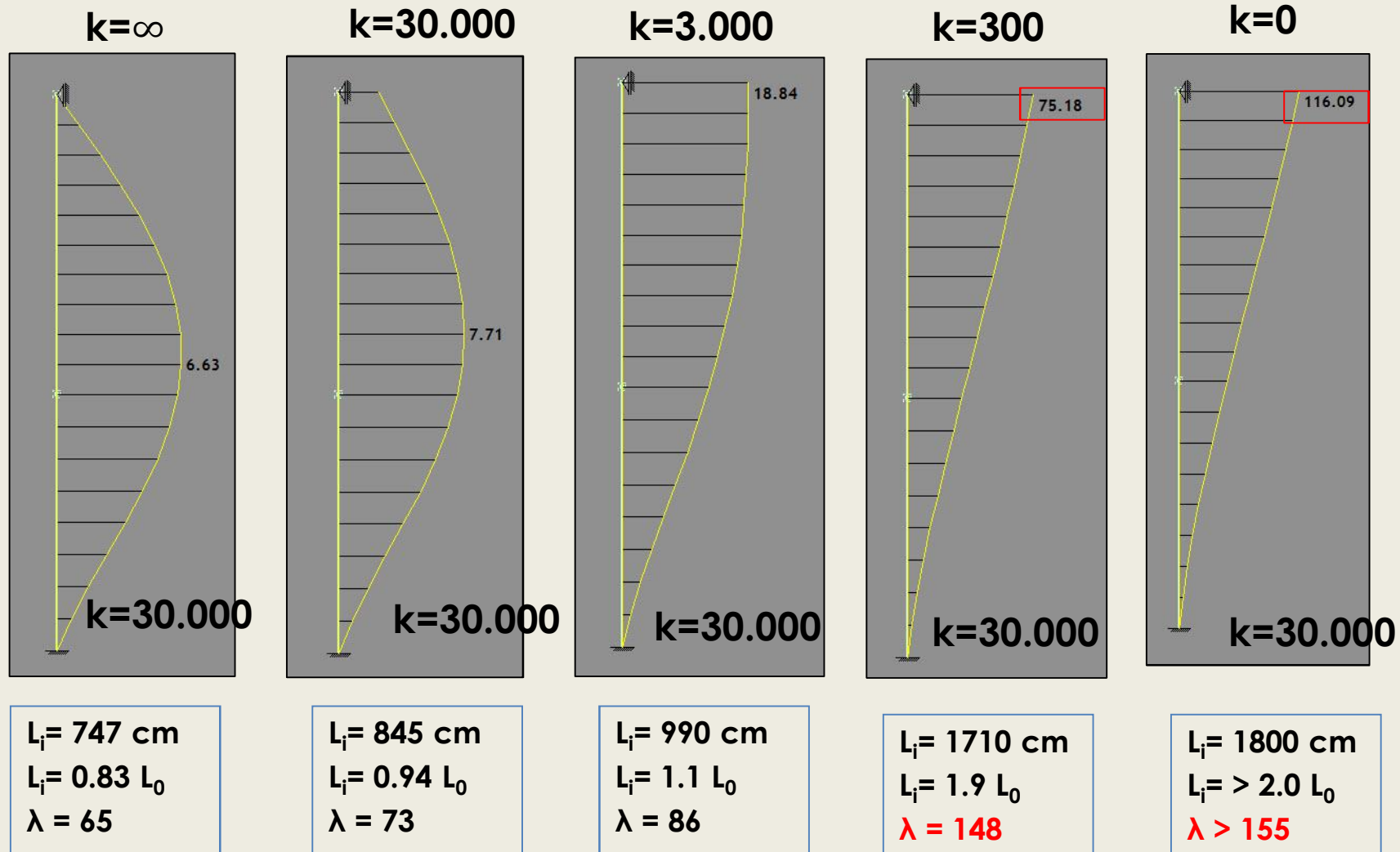


# KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – DULJINA IZVIJANJA STUPOVA

“ Slučaj B

$$\delta_{\max} = L/150 = 6.0 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\max} = 120$$

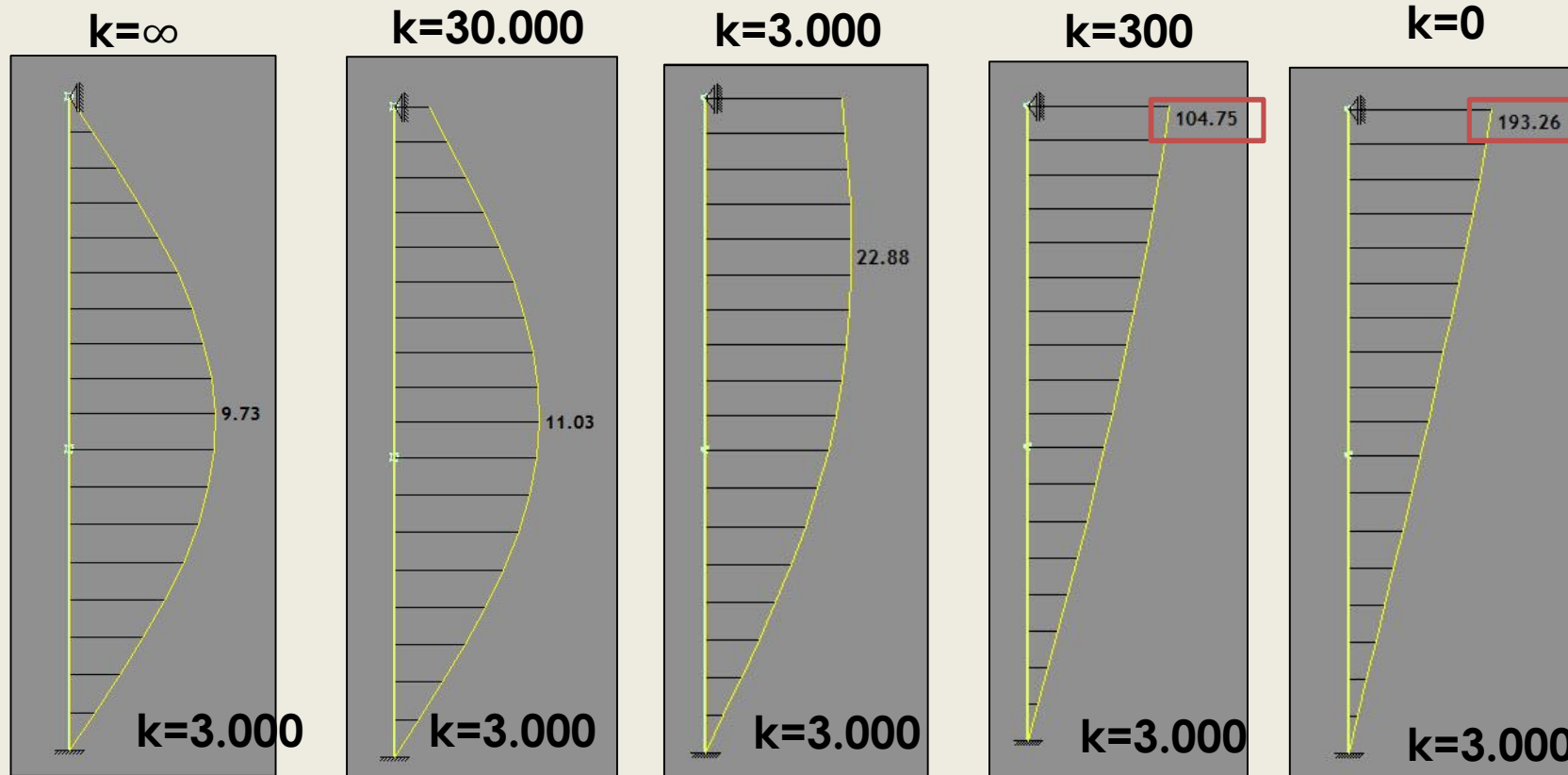


# KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – DULJINA IZVIJANJA STUPOVA

“ Slučaj C

$$\delta_{\max} = L/150 = 6.0 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\max} = 120$$



$L_i = 900 \text{ cm}$   
 $L_i = 1.0 L_0$   
 $\lambda = 78$

$L_i = 990 \text{ cm}$   
 $L_i = 1.1 L_0$   
 $\lambda = 86$

$L_i = 1350 \text{ cm}$   
 $L_i = 1.5 L_0$   
 $\lambda = 117$

$L_i = 1710 \text{ cm}$   
 $L_i > 2.0 L_0$   
 $\lambda > 155$

$L_i = 1800 \text{ cm}$   
 $L_i > 2.0 L_0$   
 $\lambda > 155$

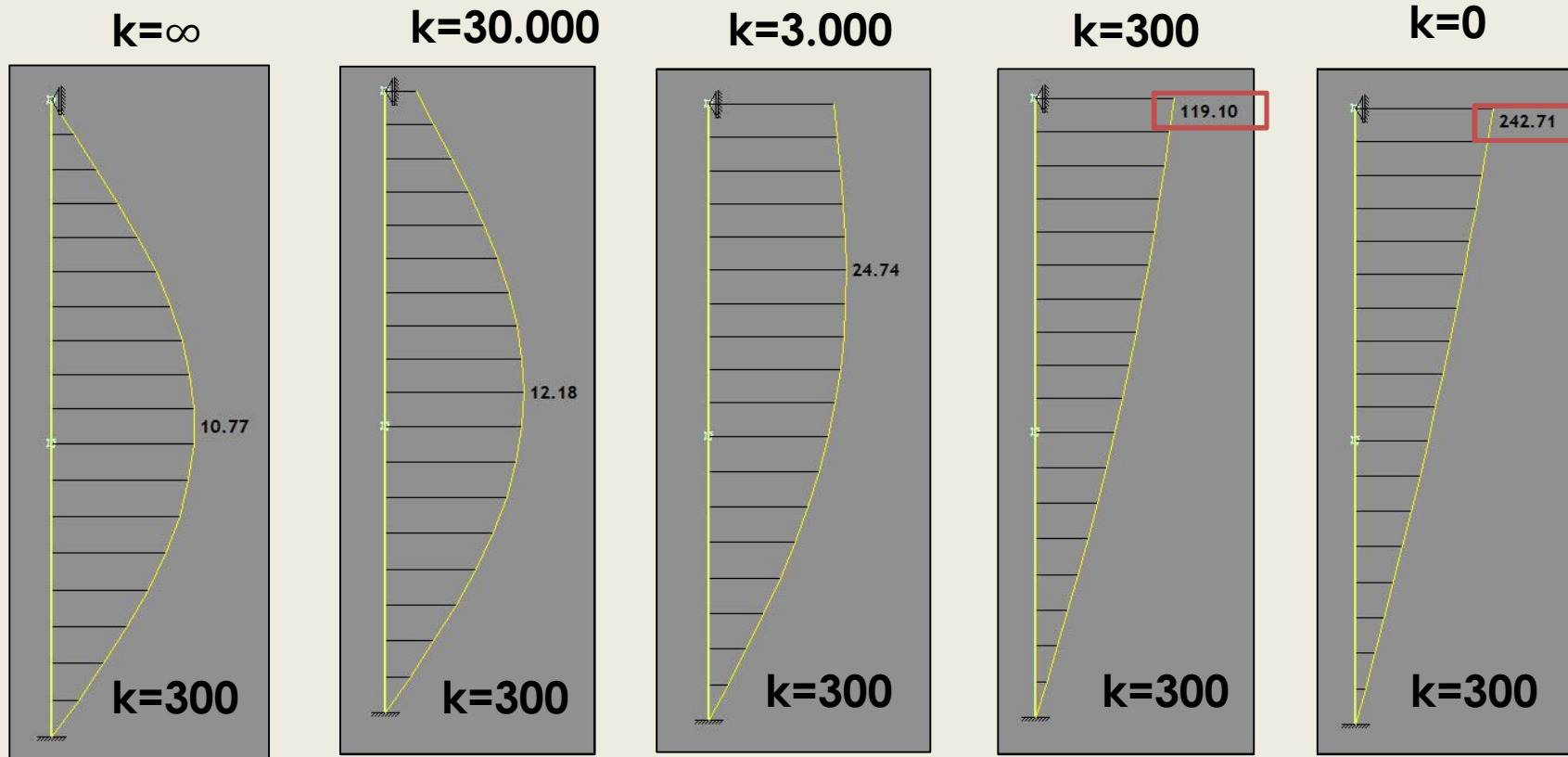


# KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – DULJINA IZVIJANJA STUPOVA

“ Slučaj D

$$\delta_{\max} = L/150 = 6.0 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\max} = 120$$



$L_i = 900 \text{ cm}$   
 $L_i = 1.0 L_0$   
 $\lambda = 78$

$L_i = 1035 \text{ cm}$   
 $L_i = 1.15 L_0$   
 $\lambda = 95$

$L_i = 1350 \text{ cm}$   
 $L_i = 1.5 L_0$   
 $\lambda = 117$

$L_i = 1710 \text{ cm}$   
 $L_i > 2.0 L_0$   
 $\lambda > 155$

$L_i = 1800 \text{ cm}$   
 $L_i > 2.0 L_0$   
 $\lambda > 155$





## KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – DULJINA IZVIJANJA STUPOVA

	Pomak ( cm )	Li		Pomak	Li		Pomak	Li		Pomak	Li		Pomak	Li
A1	0.49	0.7 l <sub>0</sub>	A2	0.59	0.8 l <sub>0</sub>	A3	1.75	1.0 l <sub>0</sub>	A4	6.4	1.8 l <sub>0</sub>	A5	9.3	2.0 l <sub>0</sub>
B1	0.63	0.83 l <sub>0</sub>	B2	0.77	0.94 l <sub>0</sub>	B3	1.88	1.1 l <sub>0</sub>	B4	7.52	1.9 l <sub>0</sub>	B5	11.6	>2.0 l <sub>0</sub>
C1	0.97	1.0 l <sub>0</sub>	C2	1.1	1.12 l <sub>0</sub>	C3	2.3	1.5 l <sub>0</sub>	C4	10.5	>2.0 l <sub>0</sub>	C5	19.3	>2.0 l <sub>0</sub>
D1	1.08	1.0 l <sub>0</sub>	D2	1.22	1.15 l <sub>0</sub>	D3	2.47	1.5 l <sub>0</sub>	D4	11.9	>2.0 l <sub>0</sub>	D5	24.3	>2.0 l <sub>0</sub>

### Izračun dozvoljenog pomaka okvira u potresu

Zahtjev :

$a_g = 0.248$  - ubrzanje

$d_r \cdot v \leq 0.005 \cdot h$

$d_r = q_d \cdot d_e$  – uvećati faktorom ponašanja

Pomak u potresu ali za  $T_{DLR} = 95$  god

$d_r \cdot v = 2.9 \cdot 3.0 \cdot 0.512 = 4.45$  cm

$v = 0.512$  omjer  $a_g$  za  $T_{DLR} = 95$  god i  $T_{NCR} = 475$  god

Dozvoljeno –  $0.005 \cdot 1110 = 5.55$  cm

Dva su kriterija za određivanje izmjere ab stupova okvira dvorana :

“ Maksimalno dozvoljena vitkost  $\lambda = 140$ . Preporuka  $\lambda_{max} = 120$

“ Maksimalno dozvoljeni pomak . Za osnovna djelovanja  $L/150$  . U ovom slučaju 6.0 cm. Za GSU pomak slučajnog exc. se ne uzima u obzir

“ Dozvoljeni pomak za seizmičko djelovanje ( pomak za  $T_{DLR} = 95$  god. )

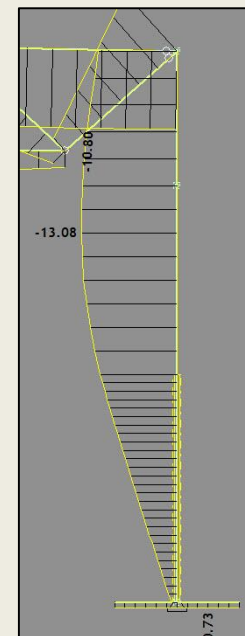
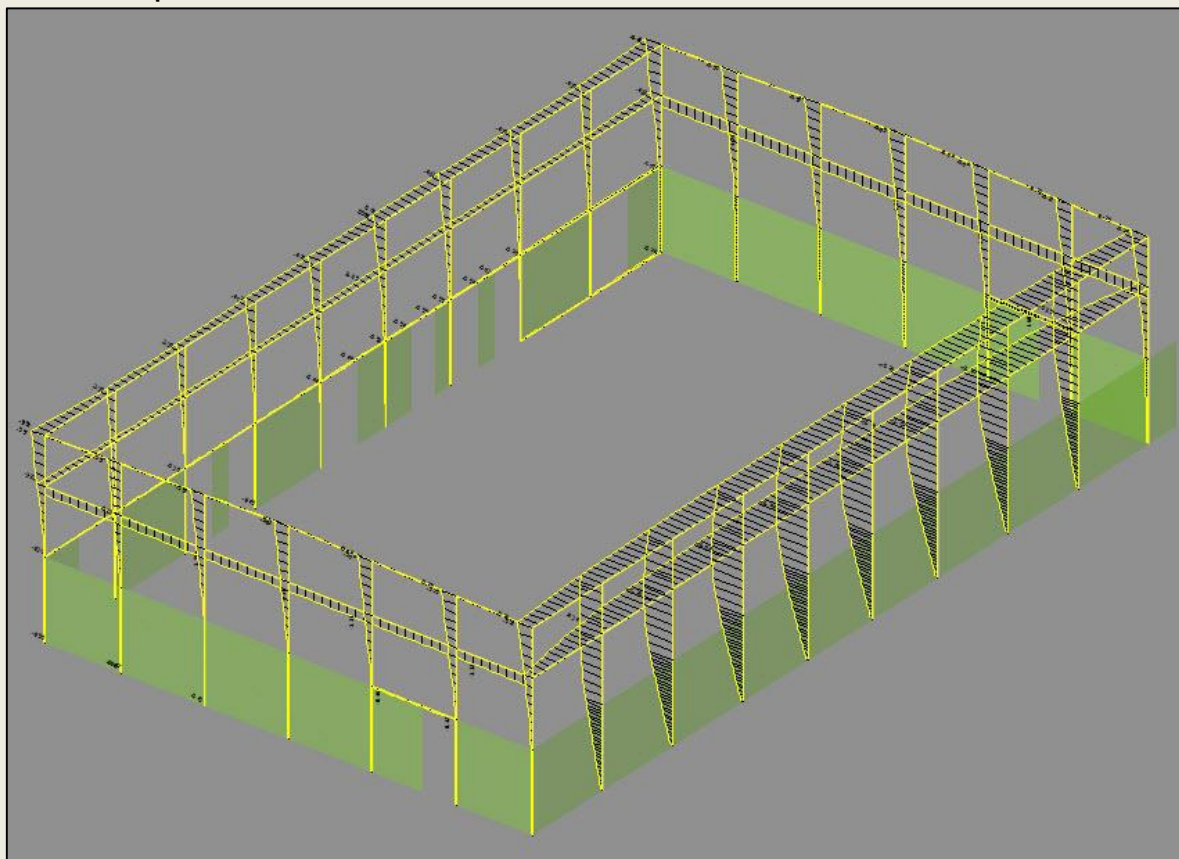
“ Izračun okvira po teoriji 2. reda – Uvećenje momenta provesti uz korištenje punog iznosa pomaka za  $T_{NCR} = 475$  god tj.

$d_r = 2.9 \cdot 3.0 = 8.7$  cm



# KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – PRORAČUN AB OKVIRA

“ Pomak  $Y_p$  – Vjetar Y



Stup  
40/45 cm  
h=1110 cm

$\delta = 1.3 \text{ cm}$

$$N_{Ed} = 399 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^1 = 95 + 399 \cdot 0.055$$
$$M_{Ed}^1 = 117 \text{ kNm}$$

$$L_i = 1480 \text{ cm}$$

$$L_i = 1.33 \cdot L_0$$
$$\lambda = 113$$

$$e^2 = 25 \text{ cm}$$

$$M_{Ed}^2 = 217 \text{ kNm, povećanje 185\%}$$

$$\mu_{sd} = 0.13, \nu_{sd} = 0.11$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 8.3 \text{ cm}^2$$

“ Stvarna deformacija 1.31 cm .  $\Delta M_{Ed}^2 = 399 \cdot 0.013 = 5.2 \text{ kNm}$

“  $M_{Ed}^2 = 122 \text{ kNm}$  . Uvećanje 4.3 %

“ Proračun EN 1992-1-1 po maksimalnoj zakrivljenosti vrlo strog

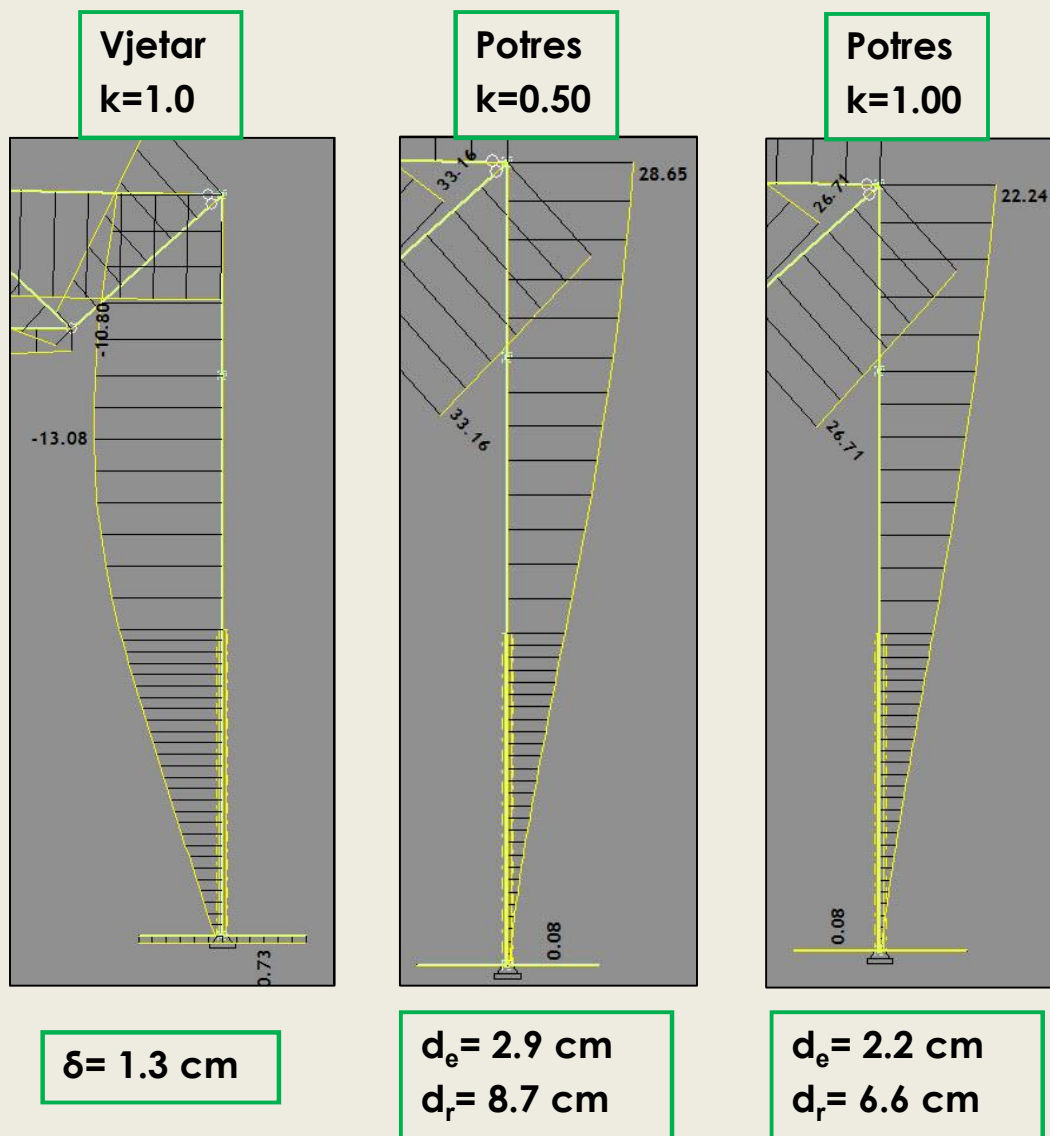
Dodatni ekscentricitet od 25 cm je znatno veći od dozvoljenog pomaka konzole od  $L/150 = 7.4 \text{ cm}$





# KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – PRORAČUN AB OKVIRA

“ Usporedba deformacije vjetar/potres/ potres bez umanjnja krutosti

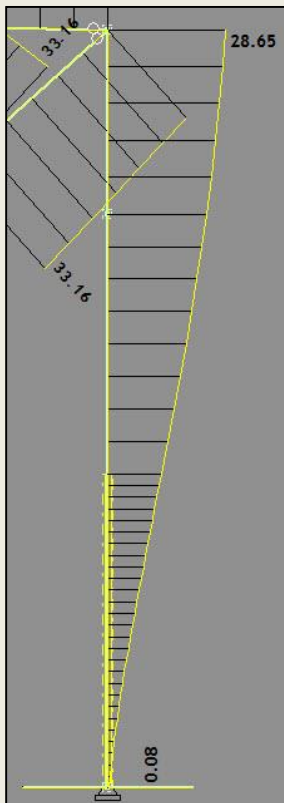


- “ Pomak u potresu je dvostruko veći od pomaka od vjetra
- “ Kod SGZG ( Zagreb ) opterećenje potresom je veće 40% u odnosu na dvoranu u Loparu ( veći  $a_g$  )
- “ Kod dvorane u Loparu opterećenje vjetrom je dvostruko veće od SGZG ( more/kopno )
- “ U seizmičkoj analizi se krutost ab elemenata prema HRN EN 1998-1-1 reducira sa 0.5, što je kod SGZG uvećalo pomak za 32 %
- “ Dvorana u Loparu je projektirana 2012 prema HRN ENV 1998-1-1 po kojem se krutost ab elemenata nije umanjivala sa 0.5
- “ Kod potresa je stup dolje upet – razlog znatno veća krutost tla koja se uzima u seizmičkom proračunu, u odnosu na proračun na djelovanje vjetra
- “ Pomak u potresu uvećati sa faktorom ponašanja  $q_d = 3.0$



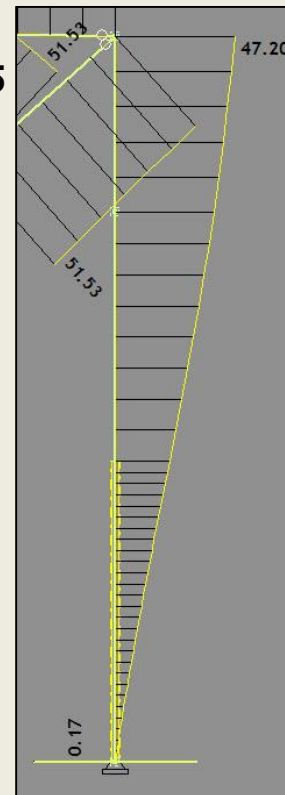
# KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – PRORAČUN AB OKVIRA

- “ Seizmički proračun se može provesti s punom krutosti ab elemenata bez umanjenja sa 0.5 i s faktorom ponašanja 1.5



- “ Krutost stupa na savijanje - 0.5
- “ Faktor ponašanja – 3.0
- “ Proračun prema Eurocodu 8

$$d_r = d_e \cdot q$$
$$d_e = 2.9 \text{ cm}$$
$$d_r = 8.7 \text{ cm}$$



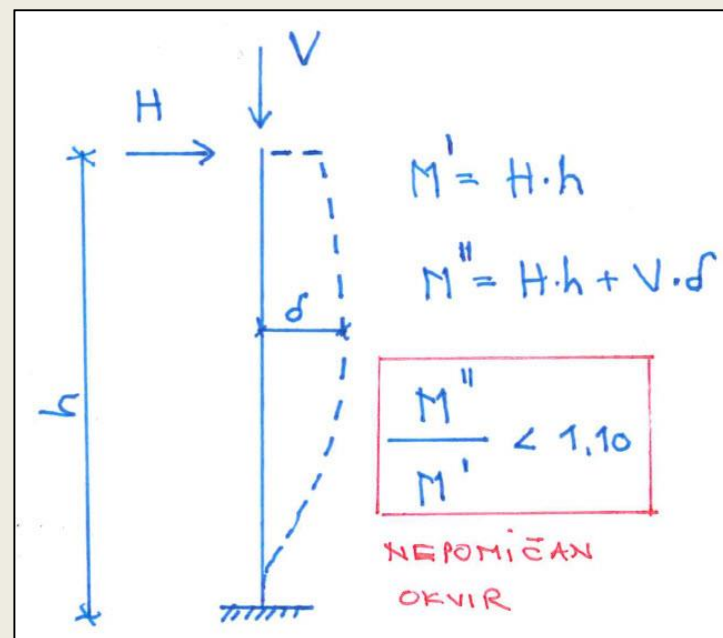
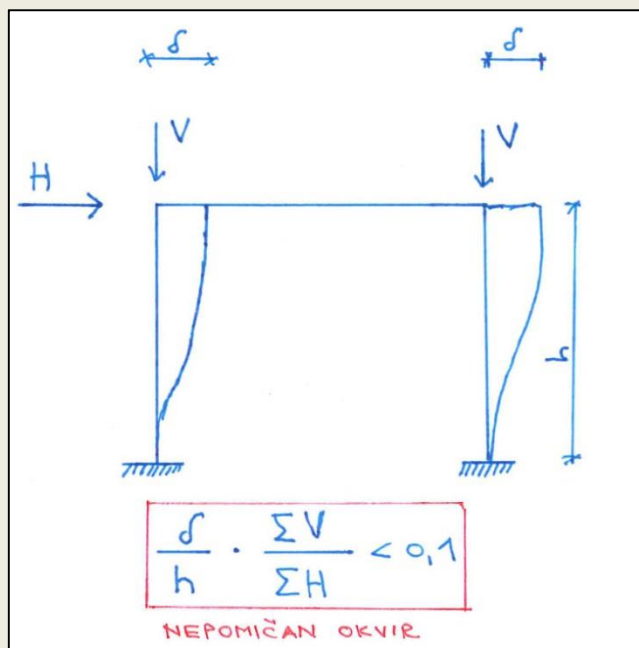
- “ Krutost stupa na savijanje – 1.0
- “ Faktor ponašanja – 1.5
- “ Proračun prema Eurocodu 2

$$d_r = d_e \cdot q$$
$$d_e = 4.7 \text{ cm}$$
$$d_r = 7.1 \text{ cm}$$

“ Rezultat je gotovo identičan

## KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – POMIČNI / NEPOMIČNI OKVIR

- Proračun po teoriji 2. reda prema metodi uvećanja momenta je iznimno strog. Ukupni ekcentriciteti su višestruko veći od dozvoljenih pomaka elemenata konstrukcije
- Pitanje je da li uopće treba provoditi proračun po teoriji 2. reda bez obzira što je vitkost stupa npr. 120, odnosno prvo je potrebno utvrditi da li je okvir POMIČAN ILI NEPOMIČAN
- Ako učinci 2. reda ne povećavaju sile za više od 10% - okvir se može smatrati nepomičnim
- Kod analize pomičnosti slučajni ekscentricitet se uzima u obzir za izračun  $M_{Ed}^1$



- Za djelovanje vjetrov okvir je nepomičan, a za potres pomičan, radi znatno većih pomaka, a koji se uvećavaju faktorom ponašanja
- I kad je okvir nepomičan uvijek uzeti u obzir slučajni ekscentricitet. Za granično stanje uporabivosti slučajni ekscentricitet se ne uzima u obzir (točka 5.2. HRN EN 1992-1-1)

# KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – PRORAČUN AB OKVIRA

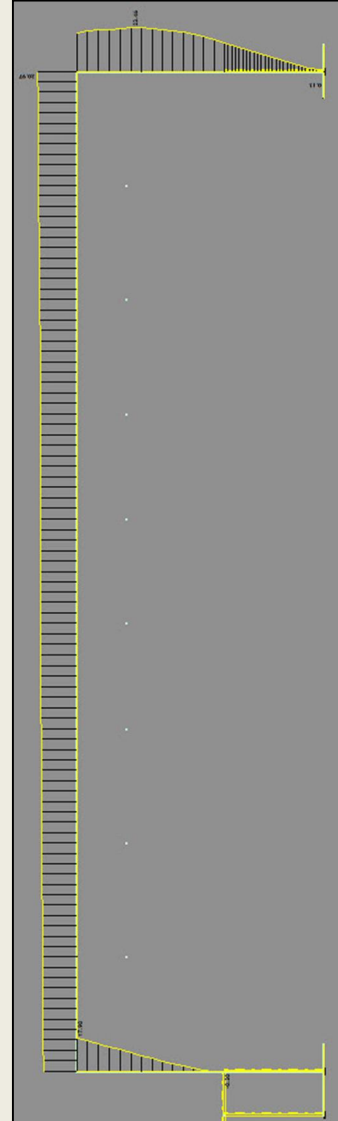
$N_{Ed} = 226 \text{ kN}$   
 $M_{Ed}^1 = 59+13 = 72 \text{ kNm}$   
 $L_i = 1165 \text{ cm}$   
 $L_i = 1.05 \cdot L_0$   
 $\lambda = 105$   
 $e_{dod} = 15.5 \text{ cm ( EN 1992-1-1 )}$   
 $M_{Ed}^2 = 107 \text{ kNm, povećanje 81\%}$   
  
 $e_{stvarni} = 0.8 \text{ cm}$   
 $M_{Ed}^2 = 73.8 \text{ kNm, povećanje 2.5\%}$   
**NEPOMIČNI OKVIR**

Pomak  $X_p$  – Vjetar X – zabatni okviri



$N_{Ed} = 231 \text{ kN}$   
 $M_{Ed}^1 = 32+13 = 45 \text{ kNm}$   
 $L_i = 1360 \text{ cm}$   
 $L_i = 1.23 \cdot L_0$   
 $\lambda = 105$   
 $e^2 = 21.2 \text{ cm ( EN 1992-1-1 )}$   
 $M_{Ed}^2 = 94 \text{ kNm, povećanje 2.1 puta}$   
  
 $e_{stvarni} = 0.54 \text{ cm}$   
 $M_{Ed}^2 = 46.2 \text{ kNm, povećanje 2.8 \%}$   
**NEPOMIČNI OKVIR**

Pomak  $X_p$  – Potres X – zabatni okviri



$N_{Ed} = 145 \text{ kN}$   
 $M_{Ed}^1 = 59+13 = 72 \text{ kNm}$   
 $L_i = 1420 \text{ cm}$   
 $L_i = 1.3 \cdot L_0$   
 $\lambda = 110$   
 $e_{dod} = 22.47 \text{ cm ( EN 1992-1-1 )}$   
 $M_{Ed}^2 = 104.6 \text{ kNm, povećanje 45\%}$   
  
 $e_{stvarni} = 2.34 \cdot 3 = 7.02 \text{ cm}$   
 $M_{Ed}^2 = 82.18 \text{ kNm, povećanje 14\%}$   
**POMIČNI OKVIR**

“  $a_g = 0.25 \text{ g}$   
 “ Uvećanje momenta između 5 i 15%

$N_{Ed} = 158 \text{ kN}$   
 $M_{Ed}^1 = 83+13 = 96 \text{ kNm}$   
 $L_i = 1360 \text{ cm}$   
 $L_i = 1.23 \cdot L_0$   
 $\lambda = 105$   
 $e_{dod} = 21.17 \text{ cm ( EN 1992-1-1 )}$   
 $M_{Ed}^2 = 129 \text{ kNm, povećanje 35\%}$   
  
 $e_{stvarni} = 1.77 \cdot 3 = 5.31 \text{ cm}$   
 $M_{Ed}^2 = 105 \text{ kNm, povećanje 9\%}$   
**NEPOMIČNI OKVIR**







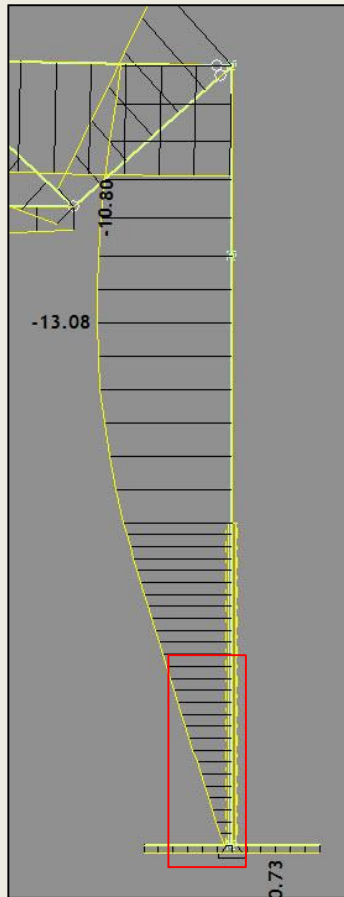


# KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE – UTJECAJ KRUTOSTI TLA

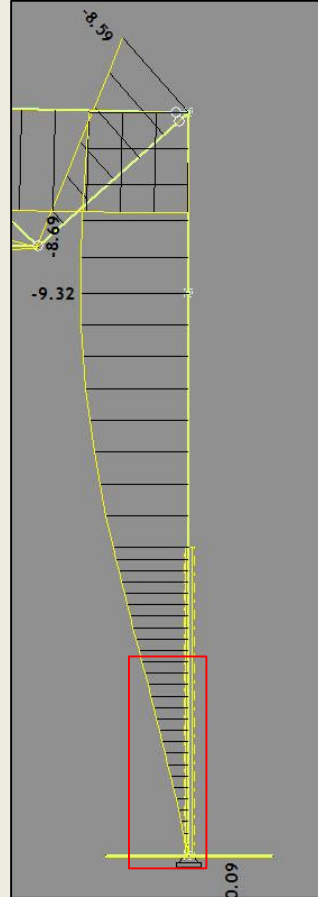
Krutost tla  
5.000 kN/m1

Krutost tla  
50.000 kN/m1

Opterećenje vjetrom

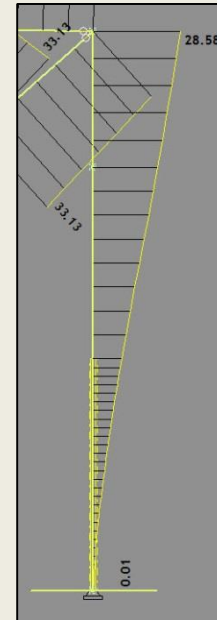
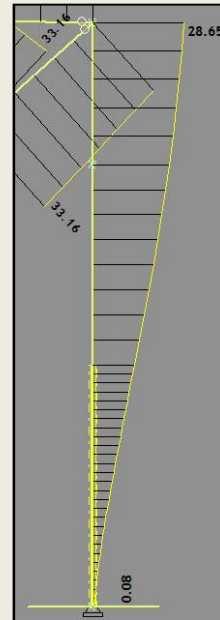


$d_e = 1.31$  cm



$d_e = 0.93$  cm

Opterećenje potresom



$d_e = 2.9$  cm

HRN EN 1992-1-1:2013  
Točka 5.8.2. – stavak 3  
Kod proračuna učinaka  
2. reda mora se uzeti u  
obzir savitljivost temelja  
Interakcija  
tlo/konstrukcija

- “ Prvi slučaj je krutost tla 5.000 kN/m1 – npr. temeljenje na glini
- “ Drugi slučaj krutost tla 50.000 kN/m1 – npr. temeljenje na stijeni
- “ Za osnovno opterećenje - Smanjenje horizontalnog pomaka 29 % + upetija veza stupa i temelja
- “ Za osnovno opterećenje - Smanjenje vitkosti 20 %
- “ Za seizmičko djelovanje pomak i vitkost potpuno identični za obe krutosti. Razlog je što se seizmika ionako provodi sa znatno uvećanom krutošću tla



# PRORAČUN KONSTRUKCIJE NA DJELOVANJE REALNOG POŽARA

- “ Proračun na djelovanje realnog požara je u dva koraka
- “ Prvo se odredi stvarna temperatura u požarnom sektoru
- “ Potom se provodi dimenzioniranje na elementima s reduciranim mehaničkim karakteristikama
- “ Izračun temperature u požarnom sektoru – software Ozone V2.2.
- “ Dimenzioniranje konstrukcije – software Elefir EN
- “ Krovne konstrukcije dvorana su na relativno velikoj visini i karakteristično požarno opterećenje je nisko  $q_{f,k} = 300 \text{ MJ/m}^2$
- “ Provesti proračun na realni požar – izvedba požarnih premaza je značajan trošak u izvedbi



## Računsko požarno opterećenje

$$q_{f,d} = \delta_{q,1} \cdot \delta_{q,2} \cdot \prod \delta_{n,i} \cdot m \cdot q_{f,k}$$

$\delta_{q,1}$  - faktor opasnosti od nastanka požara

$\delta_{q,2}$  - faktor ovisan o namjeni prostora

$\prod \delta_{n,i}$  - faktori aktivnih mjera zaštite od požara

$m$  - faktor izgaranja

$q_{f,k}$  - karakteristično požarno opterećenje

- “ Proračun požarnog djelovanja se provodi prema HRN EN 1991-1-2 – djelovanja na konstrukciju izloženu požaru
- “ Napredni dvozonski proračunski model u kombinaciji s modelom lokalnih požarnih temperatura
- “ Značajan utjecaj na proračun ima sama geometrija požarnog sektora ( dvorane ) te količina otvora





# PRORAČUN KONSTRUKCIJE NA DJELOVANJE REALNOG POŽARA

Floor				
Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m <sup>3</sup> ]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	2	450	0,1	1113
Middle weight Concrete [EN12524]	5	1800	1,15	1000
Glass wool & Rock wool	10	60	0,037	1030
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	20	2300	1,6	1000
Ceiling				
Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m <sup>3</sup> ]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Steel [EN1994-1-2]	0,1	7850	45	600
Glass wool & Rock wool	20	60	0,037	1030
Hidroizolacija	1	60	0,14	900
Wall 1				
Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m <sup>3</sup> ]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Gypsum board [EN12524]	2	900	0,25	1000
Normal Bricks	30	1600	0,7	840
Glass wool & Rock wool	16	60	0,037	1030
Openings				
Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
4,5	7	25	Stepwise	no

1. Sprinkler sustav
2. Neovisna opskrba vodom
3. Automatski detektori topline
4. Automatski detektori dima
5. Dojava vatrogasnoj postrojbi
6. Vlastita vatrogasna brigada
7. Vanjska vatrogasna brigada
8. Osigurani evakuacijski putevi
9. Vatrogasni aparati
10. Sustav prisilnog odimljavanja

DA / NE

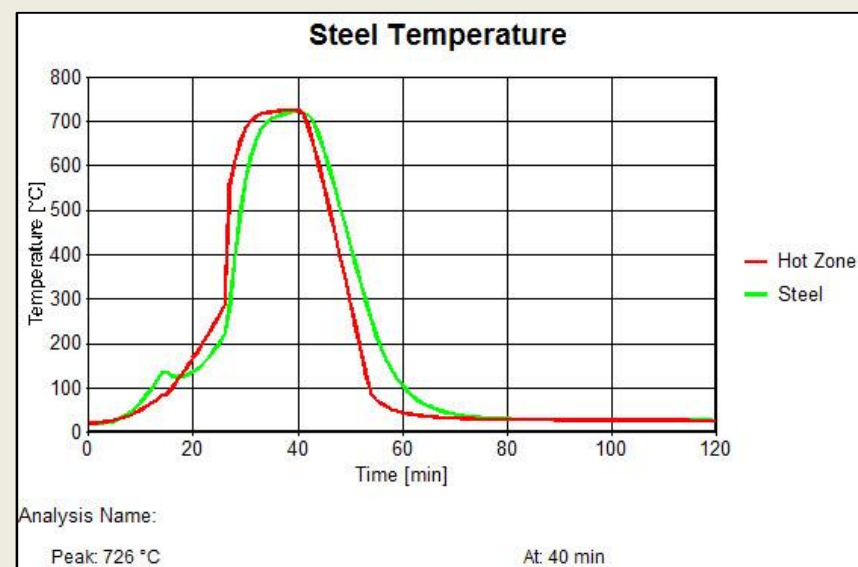
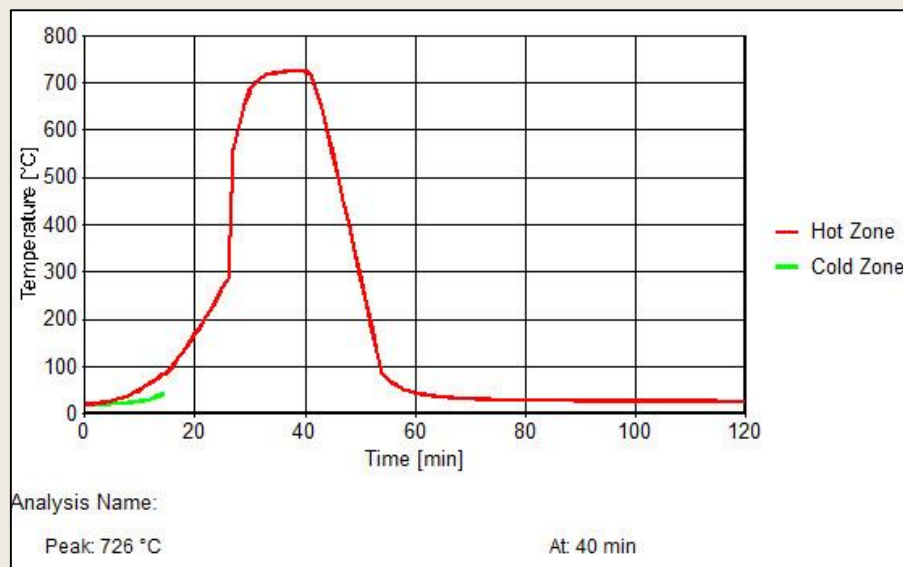
- “ Unos slojeva za sve elemente koji omeđuju požarni sektor : pod, strop i sva 4 zida
- “ Unos debljine slojeva, gustoće, provodljivosti topline i specifične topline
- “ Potrebno unijeti položaj i veličinu svih otvora na požarnom sektoru na zidovima i stropu

Fire Curve:	NFSC Design Fire			
Maximum Fire Area:	1288	m <sup>2</sup>		
Fire Elevation:	0,5	m		
Fuel Height:	0,5	m		
Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m <sup>2</sup> ]	Fire Load q <sub>f</sub> ,k [MJ/m <sup>2</sup> ]	Danger of Fire Activation
User Defined	300	250	300	1
Active Measures	Description	Active	Value	
	Automatic Water Extinguishing System	No	δ <sub>n,1</sub> = 1	
	Independent Water Supplies	No	δ <sub>n,2</sub> = 1	
	Automatic Fire Detection by Heat	Yes		
	Automatic Fire Detection by Smoke	Yes	δ <sub>n,4</sub> = 0,73	
	Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	Yes	δ <sub>n,5</sub> = 0,87	
	Work Fire Brigade	No		
	Off Site Fire Brigade	Yes	δ <sub>n,7</sub> = 0,78	
	Safe Access Routes	Yes	δ <sub>n,8</sub> = 1	
	Staircases Under Overpressure in Fire Alarm	No		
	Fire Fighting Devices	Yes	δ <sub>n,9</sub> = 1	
	Smoke Exhaust System	No	δ <sub>n,10</sub> = 1,5	
Fire Risk Area:	1288	m <sup>2</sup>	δ <sub>q,1</sub> = 1,78	
Danger of Fire Activation:			δ <sub>q,2</sub> = 1	
q <sub>f,d</sub>	317,5	MJ/m <sup>2</sup>		



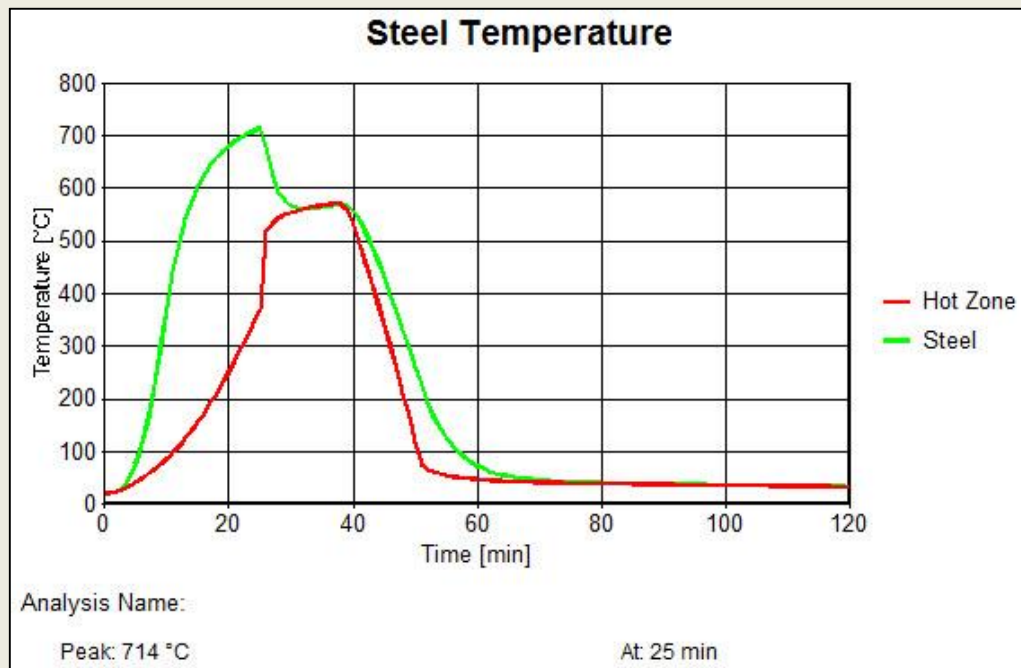
## PRORAČUN KONSTRUKCIJE NA DJELOVANJE REALNOG POŽARA

- “ Za čeličnu konstrukciju krova SGZG faktor umanjenja opterećenja u požarnoj proračunskoj situaciji iznosi  $E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d$  -  $\eta_{fi} = 0.70$
- “ Maksimalna temperatura od 726 ° C je dosegnuta u 40 minuti
- “ Smanjenje čvrstoće čelika iznosi čak 86 %, odnosno pri 726 ° C čelik ima samo 14 % čvrstoće u odnosu na čvrstoću pri normalnoj temperaturi



- “ Čelična krovna konstrukcija ne zadovoljava traženu požarnu otpornost R 60
- “ Potrebno je provesti zaštitu čelične konstrukcije atestiranim požarnim premazima
- “ Zbog relativno velike visine neće doći do pojave lokaliziranog požara

## PRORAČUN KONSTRUKCIJE NA DJELOVANJE REALNOG POŽARA



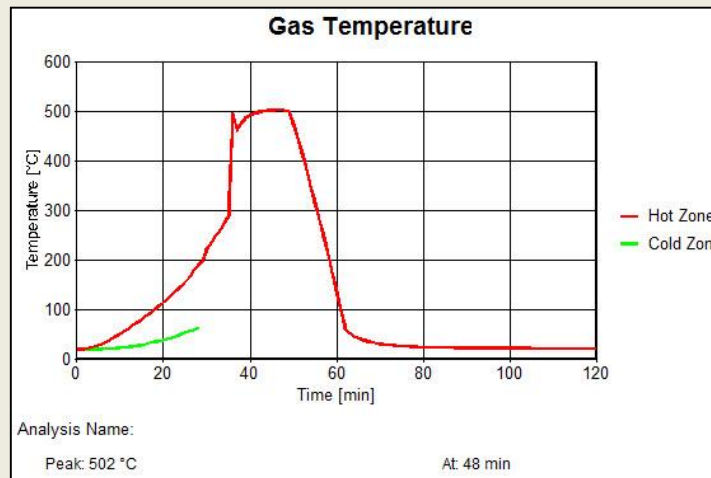
- “ Kod određivanja temperature u sektoru uzima se visina sektora
- “ Kod lokaliziranog požara uzima se visina na kojoj se nalazi čelični element
- “ Kod čeličnih rešetki donji pojas je na 2.15 m nižoj visini od visine sektora

Form of Compartment:	Rectangular Floor
Height:	10,6 m
Depth:	28 m
Length:	46 m
Roof Type:	Flat Roof

- “ Kod manjih visina požarnog sektora može nastati lokalizirani požar
- “ Maksimalna temperatura je veća u lokaliziranom požaru i nastaje ranije

# PRORAČUN KONSTRUKCIJE NA DJELOVANJE REALNOG POŽARA

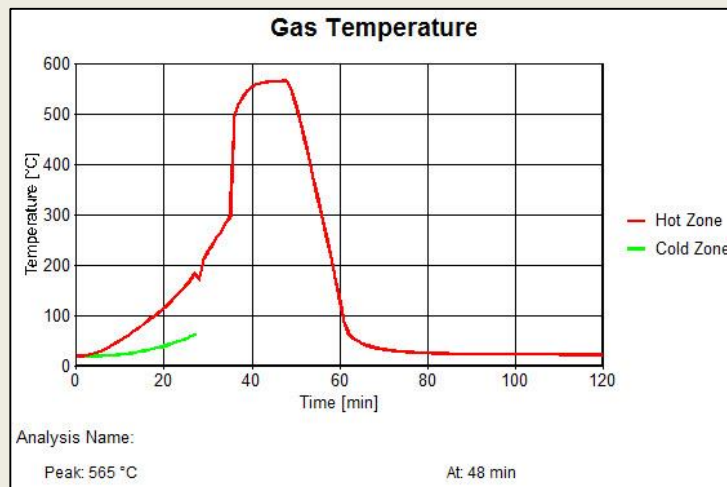
- “ Primjer sportske dvorane koja zadovoljava R 60
- “ Isto kao dvorana SGZG – trodijelna istog raspona i visine, ali za razliku od dvorane SGZG ima znatno više prozora – na svakom od 4 zida



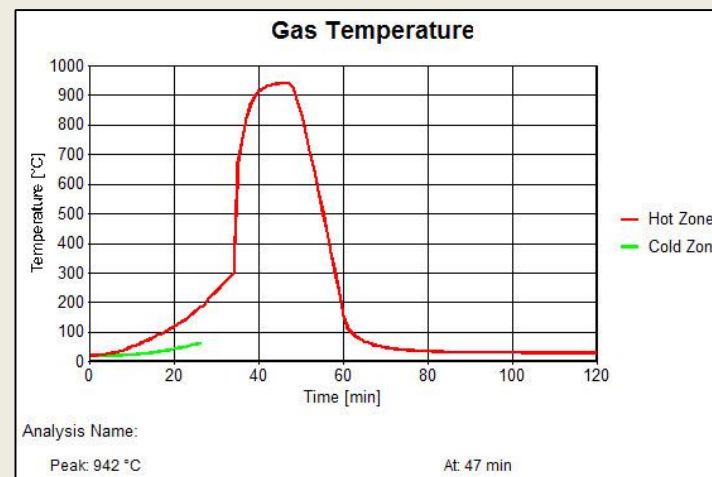
$T_{max} = 502 \text{ °C}$   
 $\eta_{fi} = 0.70$   
 $k_{v,\theta} = 0.78$   
**Zadovoljava**

Kritična temperatura u čeliku nije dosegnuta za cijelo vrijeme trajanja požara – R ∞

Izbačen otvor na 1 zidu  
 $T_{max} = 565 \text{ °C}$



Izbačeni otvori na dva zida  
 $T_{max} = 942 \text{ °C}$





**ZAHVALJUJEM NA POZORNOSTI**

