

PROJEKAT KONSTRUKCIJE SPORTSKE HALE U SUBOTICI SA ANALIZOM NOSIVOSTI KARAKTERISTIČNIH ČELIČNIH ELEMENATA PRI DEJSTVU POŽARA**STRUCTURAL DESIGN OF THE SPORTS HALL IN SUBOTICA WITH LOAD-BEARING CAPACITY ANALYSIS OF STEEL ELEMENTS UNDER FIRE CONDITIONS**Jelena Mirjanić, Igor Džolev, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

Kratak sadržaj – Rad se fokusira na projekat konstrukcije sportske hale u Subotici, sa posebnim akcentom na analizu požarne otpornosti karakterističnih čeličnih elemenata. Obuhvaćeni su ključni tehnički aspekti proračuna kao i metodologija za procenu požarne otpornosti konstrukcije prema važećim Eurocode standardima.

Ključne reči: požarna otpornost, sportska hala, čelične konstrukcije

Abstract – This paper focuses on the structural design of the sports hall in Subotica, with special emphasis on fire resistance analysis of steel elements. It covers key technical aspects of the calculations as well as the methodology for assessing structural fire resistance according to the Eurocode standards.

Keywords: fire resistance, sports hall, steel structures

1. UVOD

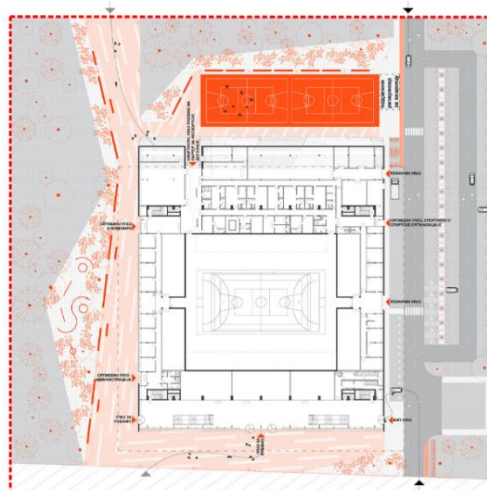
U skladu sa dobijenim arhitektonskim rešenjem [1], razrađen je projekat konstrukcije sportske hale locirane u Subotici, sa akcentom na požarnu analizu karakterističnih čeličnih elemenata.

Sama konstrukcija hale zauzima površinu od oko 9000 m² u osnovi, a najviša tačka krova je na visini od 14,7 m. Ima jednu podzemnu etažu.

Kompleks se sastoji od glavnog dela hale gde su smešteni centralni teren i unutrašnje tribine kapaciteta 4530 mesta (slika 2), kao i bočnih delova sa pratećim sadržajem (slika 1). U skladu s tim, krov se može podeliti na tri dela: ekstenzivni neprohodni krov glavne hale sa solarnim panelima, neprohodni bočni krov gde su smeštene mašinske instalacije i prohodnu bočnu krovnu terasu sa koje se pruža pogled ka Subotici, Paliću i Palićkom jezeru.

NAPOMENA:

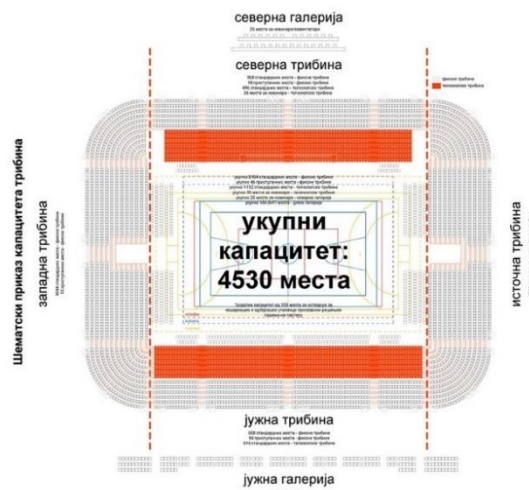
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Igor Džolev, vanr. prof.



Slika 1. Osnova prizemlja [1]

1.2. Tehnički opis

Glavna ramovska konstrukcija hale sastoji se od devet glavnih ramova raspona 65 m, sa visinom od 14,7 m. Srednji ramovi su prostorne četvoropojasne rešetke visine 3,2 m, dok su kalkanski ramovi ravanski rešetkasti nosači visine 2 m. Glavne ramove čine armiranobetonski stubovi, a fasadni stubovi su, takođe, armiranobetonski. Konstrukciju krova čini sistem glavnih i sekundarnih rožnjača, a ukrućene su horizontalnim i vertikalnim krovnim spregovima. Vertikalna ukrućenja čine AB zidna



Slika 2. Kapacitet dvorane [1]

platna koja se protežu čitavom visinom objekta. Međuspratna konstrukcija sastoji se od glavnih i sekundarnih greda, sa profilisanim limom i betonskom pločom debljine 20 cm.

Ispod objekta nalazi se podzemna etaža visine 3 m, delimično za tehničke prostorije i parking mesta. Podrumski ploča oslonjena je na armiranobetonske stubove, dok su po obodu zidovi debljine 25 cm. Objekat je temeljen na temeljnoj ploči debljine 50 cm. Fasada je projektovana kao zarubljena piramida sa koso postavljenim čeličnim profilima, dok su sa kalkanskih strana projektovane prohodne rampe koje povezuju etaže i krovnu konstrukciju. Nagib rampe je 5%. Rampe i koridori su predviđeni kao spregnuta ploča između pravih i kosih fasadnih stubova.

Tabela 1 – Usvojeni profili

USVOJENI PROFILI	POZICIJA
b/d=70/140	glavni stubovi
RHS 500x300x16	donji pojas glavnih rešetki - U
RHS 250x150x10	gornji pojas glavnih rešetki - O
SHS 219.1x10	štapovi ispune glavnih rešetki - D
RHS 500x300x20	rožnjače
b/d=40/40	vjenčanice
SHS 219.1x8	horizontalni krovni spreg
b/d=60/40	fasadni stubovi
RHS 300x300x12.5	kosi nosači fasade
b/d=50/50	kalkanski stubovi
HEM 550	MK glavne grede (nivoi 2, 3) - MKg (2,3)
HEM 400	MK sekundarne grede (2, 3) - MKs (2,3)
HEB 260	MK glavne grede (nivo 1)
HEB 200	MK sekundarne grede (nivo 1)
b/d=80/80	tribinski nosači
b/d=60/100	tribinske grede
b/d=40/40	podrumski stubovi
IPE 300	kratka greda u prizemlju
SHS 244.5x12	vertikalni krovni spreg

2. ANALIZA OPTEREĆENJA [2]

2.1. Stalno opterećenje

- Sopstvena težina
- Dodatno stalno opterećenje od 1,50 kN/m²

2.2 Korisno opterećenje:

- Kategorije C5 – 5,00 kN/m² - za prohodne površine;
- Kategorije H – 1,5 kN/m² - za neprohodne površine;
- Kategorije F – 2,0 kN/m² - za garažu

2.3 Sneg

Karakteristična vrednost opterećenja od snega, za područje Subotice i povratni period od 50 godina, usvojena je u iznosu od $s_k=1,0$ kN/m². Proračunom je u obzir uzet i problem nagomilavanja snega sa viših na nižim krovnim površinama.

2.4 Vetar

Razmatrano je dejstvo vetra za datu lokaciju na ravne krovove i kose fasadne elemente.

Osnovni pritisak vetra: $q_b = 0,2513$ kN/m

Udarni pritisak vetra: $q_{p(z)} = 0,6540$ kN/m²

2.5 Termička dejstva

Karakteristične vrednosti temperaturnog dejstva za predmetnu lokaciju, sa godišnjom verovatnoćom prekoračenja od 2%:

$$T_{\max} = 41 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\min} = -27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2.6 Opterećenje od tla

Za opterećenje na površini tla uz objekat od 2 kN/m² i zapreminsku težinu tla $\gamma=18$ kN/m³, bočni pritisak ima vrednost $p_q=0,667$ kN/m², a horizontalni pritisak se linearno povećava do dubine od 3 m gde iznosi $p_h=18$ kN/m².

2.7 Seizmičko opterećenje

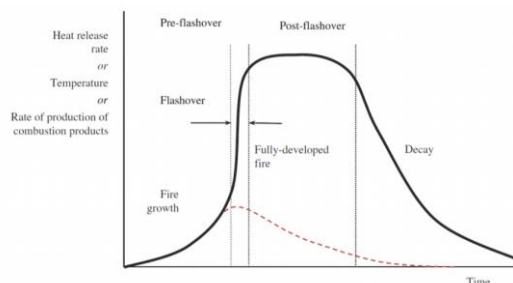
Objekat se nalazi u zoni malog ubrzanja tla od 0,05. Klasa značaja konstrukcije je III (klasa za javne objekte). Faktor ponašanja je $q=2$.

Za dimenzionisanje konstrukcije po kriterijumu nosivosti korišten je softver Tower 8 [3,4].

3. ANALIZA NOSIVOSTI KARAKTERISTIČNIH ČELIČNIH ELEMENATA PRI DEJSTVU POŽARA

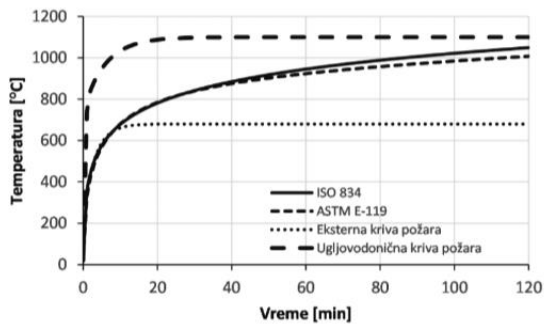
Požarom se smatra svako nekontrolisano sagorevanje kojim se ugrožavaju život i zdravlje ljudi, materijalna dobra i životna sredina. Najveće prednosti čelika kao materijala ogledaju se u njegovoj nezapaljivosti i mogućnosti povratka čvrstoće nakon požara.

Postoji šest faza razvoja koje se mogu uočiti tokom svakog požara (slika 3): paljenje, faza rasta, raspirivanje¹, faza potpuno razvijenog požara, faza opadanja, gašenje požara.



Slika 3 – Faze razvoja požara [5]

¹ Eng. „flashover“



Slika 4 – Nominalne požarne krive

Funkcije temperature u odnosu na vreme su monotono rastuće, zanemarujući fazu hlađenja nakon potpuno razvijenog požara. U ovom radu je korištena izloženost ISO 834 krivoj [6]. Kod standardnih modela požara, požarna otpornost se meri u minutima i predstavlja vreme u kojem konstrukcija ispunjava potrebne kriterijume. Požarna otpornost se definiše prema sledećim kriterijumima:

R - Nosivost

E - Integritet

I - Termička izolovanost

Prema standardu EN 1993-1-2 [7], koji se odnosi na projektovanje čeličnih konstrukcija u uslovima požara, požarna otpornost čeličnih elemenata definiše se kao vremenski period u kojem konstrukcija može da zadrži svoju funkciju pod dejstvom požara [8]. Procena se vrši na osnovu:

1. Proračunske temperature u čeličnom elementu
2. Smanjenja mehaničkih svojstava čelika pri povišenim temperaturama
3. Proračun nosivosti čeličnog elementa u uslovima požara
4. Trajanje požarne otpornosti

3.1. Proračunske temperature u čeličnom elementu

Za „I“ poprečne preseke izložene požaru zadatom nominalnom krivom, korekcionni faktor za efekat senke može se odrediti prema sledećem izrazu:

$$k_{sh} = 0,9 * \frac{\left[\frac{A_m}{V}\right]_b}{\frac{A_m}{V}} \quad (1)$$

$\frac{A_m}{V}$ - odnos površine izloženog preseka i zapremine,

$\left[\frac{A_m}{V}\right]_b$ - odnos koji odgovara bazičnom preseku

Za poprečne preseke konveksnog oblika, kao što su pravougaoni ili kružni šuplji preseki, koji su potpuno izloženi požaru, efekat senke nema uticaja te je vrednost faktora $k_{sh} = 1$.

3.2. Smanjenja mehaničkih svojstava čelika pri povišenim temperaturama

Kako temperatura čelika raste, njegova nosivost značajno opada. Smanjenje mehaničkih svojstava

čelika pri temperaturi θ_a može se izraziti kao proporcija svojstava na sobnoj temperaturi. Smanjenje zatezne čvrstoće čelika:

$$f_{y(\theta_a)} = k_{y(\theta_a)} * f_{y,20} \quad (2)$$

$f_{y(\theta_a)}$ – zatezna čvrstoća čelika na temperaturi θ_a ,

$f_{y,20}$ – zatezna čvrstoća čelika na 20°C,

$k_{y(\theta_a)}$ – redukcionni faktor za zateznu čvrstoću pri temperaturi θ_a

Smanjenje modula elastičnosti čelika:

$$E_{(\theta_a)} = k_{E(\theta_a)} * E_{20} \quad (3)$$

$E_{(\theta_a)}$ – modul elastičnosti na temperaturi θ_a ,

E_{20} – modul elastičnosti na 20°C,

$k_{E(\theta_a)}$ – Redukcionni faktor za modul elastičnosti pri temperaturi θ_a

3.3. Proračun nosivosti čeličnog elementa u uslovima požara

Provera na savijanje:

$$M_{fi,t,Rd} = \frac{k_{y(\theta_a)} * W_{pl} * f_{y,20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (4)$$

Provera na aksijalno naprezanje:

$$N_{fi,t,Rd} = \frac{k_{y(\theta_a)} * A * f_{y,20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (5)$$

Provera na smicanje:

$$V_{fi,t,Rd} = \frac{k_{y(\theta_a)} * A_v * \tau_{y,20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (6)$$

Provera na interakciju aksijalnog naprezanja i savijanja:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{fi,t,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{fi,t,Rd}} \leq 1 \quad (7)$$

3.4. Trajanje požarne otpornosti

Na kraju, uz primenu gornjih formula i korišćenje vrednosti temperature dobijene iz proračuna, određuje se koliko dugo čelični element može da zadrži svoju nosivost i stabilnost tokom požara. Prema standardu, požarna otpornost se izražava u vremenskim periodima od 15, 30, 60, 90, 120 ili 180 minuta, u zavisnosti od tipa elementa i uslova požara.

Proračun se vrši za uticaje dobijene iz incidentne proračunske situacije:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + (\psi_{1.1} \text{ ili } \psi_{2.1}) * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2.i} Q_{k,i} \leq \frac{R_{k,\theta}}{\gamma_{R,fi}} \quad (8)$$

Tabela 2 – Proračun nosivosti i kritične temperature u čeličnim elementima pri dejstvu požara R30

Karakterističan profil	U	O	D	MKg (2,3)	MKs (2,3)
$N_{fi,Ed}$ [kN]	4022	668.78	336.54	1448.5	1292.7
$V_{z,fi,Ed}$ [kN]				207.39	
$M_{y,fi,Ed}$ [kNm]				470.49	152.27
k_{sh}	1	1	1	0.782	0.765
$k_{y,\theta}$	0.194	0.136	0.149	0.243	0.277
$k_{E,\theta}$	0.118	0.099	0.103	0.14	0.165
$N_{fi,t,Rd}$ [kN]	1647.16	354.47	347.47	3057.06	3203.56
$V_{z,fi,t,Rd}$ [kN]				695.18	
$M_{y,fi,t,Rd}$ [kNm]				699.91	560.42
$M_{b,fi,t,Rd}$ [kNm]				590.47	367.08
zadovoljenje uslova nosivosti	NE	NE	DA	NE	NE
μ_0 (iterativno)	0.474	0.257		0.412	0.456
$\theta_{a,cr}$ [°C]	598.71	688.92		624.17	606.25

Elemente, koji ne zadovoljavaju traženu otpornost na požar R30, je potrebno zaštititi vatrootpornim materijalom ili im povećati dimenzije.

4. ZAKLJUČAK

Većina dosadašnjih istraživanja, naučnih radova, propisa i zakona bila je usmerena na obezbeđivanje nosivosti, sigurnosti i trajnosti građevinskih konstrukcija pod statičkim i dinamičkim opterećenjima, dok je otpornost na požar tek nedavno dobila veću pažnju. Klasične metode zaštite, poput premaza i obloga, uglavnom zadovoljavaju zahteve, ali nisu uvek dovoljne, posebno kod složenijih konstrukcija.

Kada zaštitne mere nisu adekvatno primenjene, elementi konstrukcije postaju osetljivi na visoke temperature, što može dovesti do gubitka nosivosti i funkcionalnosti, čime postaju opasni po živote i imovinu. Kod objekata sa visoko zapaljivim materijalima, poput drveta i kompozita, požar se širi brže, povećavajući rizik. Zbog toga je važno, pored pasivnih metoda zaštite, detaljnije analizirati reakciju konstrukcija na visoke temperature i prepoznati kritične tačke.

Da bi se izbegli loši scenariji, potrebno je povećati istraživanja u oblasti požarne bezbednosti. Istraživanja bi trebalo da uključuju nove materijale, savremene tehnologije za simulaciju i testiranje požara, čime bi se omogućilo bolje razumevanje rizika i primena odgovarajućih mera koje će smanjiti posledice požara, osigurati stabilnost konstrukcija i zaštitu ljudi i imovine.

5. LITERATURA

- [1] “Behance,” Behance.net, 2023.
https://www.behance.net/gallery/196118053/Hala-Subotici?share=1&fbclid=PAZXh0bgNhZW0CMTEAAab9QH8iKzz2JnjPCYWoVhXINDh-Z5ka6HJDs0m7uqOsAYIKhxiohdhHmwm_aem

[_KZaWKA5tBAVx90Ag1kW9yA](#) (accessed Sep. 11, 2024).

- [2] EN 1991-1-2, Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-2: General actions – Action on structures exposed to fire (2002), European Committee for Standardization, Brussels
- [3] European Standard EN 1993, Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings, 03.2005, +AC 06.2009, European Committee for Standardization.
- [4] Radimpex (2019). Tower 8, Static and dynamic structural analysis software. Radimpex Software, Beograd.
- [5] EN 1991-1-2, “Actions on Structures, General Actions, Actions of Structures Exposed to Fire”, European Committee for Standardization, 2002.
- [6] ISO 834, “Fire Resistance Test -Elements of Building Construction”, International Standard 834, 1975
- [7] EN 1993-1-2, Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design (2005), European Committee for Standardization, Brussels
- [8] “Pravilnik za građevinske konstrukcije,” Paragraf.rs, 2019.
<https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik-za-gradjevinske-konstrukcije.html> (accessed Sep. 11, 2024).

Kratka biografija:



Jelena Mirjanić rođena je u Banjaluci 1998. god. Diplomirala je na Fakultetu tehničkih nauka 2022. god. Od 2023. je u zvanju saradnika u nastavi za užu naučnu oblast Teorija konstrukcija.
kontakt: jelena.mirjanic@uns.ac.rs



Igor Džolev rođen je u Novom Sadu 1983. god. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2018. god., a od 2024. je zvanju vanredni profesor za užu naučnu oblast Teorija konstrukcija.