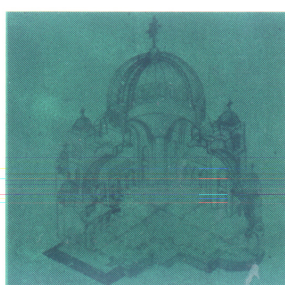
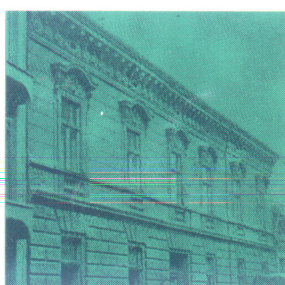
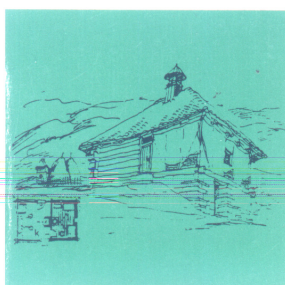
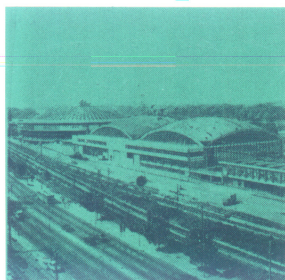


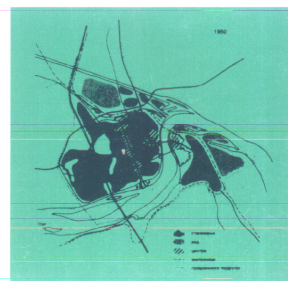
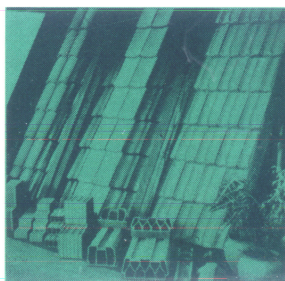
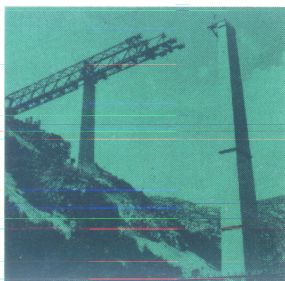


IZGRADNJA

BROJ
3
MART
GODINA LII



YU ISSN 0350-5421
UDK 624+71+72 (05)



OSNOVNI POJMOVI O OTPORNOSTI PREMA POŽARU GRAĐEVINSKOG OBJEKTA

MAIN NOTIONS ON FIRE RESISTANCE OF CONSTRUCTION WORKS



UDK: 699.81:712.6
Stručni rad

Bratislav STANKOVIĆ, građ. inž. i dipl. inž. zaštite na radu

REZIME

Da bi se obezbedila potrebna nosivost i upotrebljivost konstrukcije u svim stanjima i režimima eksploatacije objekta, u fazi projektovanja treba uzeti u obzir i požarno opterećenje, jer je važno bar onoliko koliko i svako drugo opterećenje za koje se konstrukcija proračunava.

Ključne reči: osnovni pojmovi o požaru/vatri, objekta.

SUMMARY

In order to secure the necessary bearing capacity and serviceability of the structure in all the states and regimes of the structure exploitation, it is necessary, in the phase of designing, to take into account the fire loading as well, as it is important at least as any other loading for which the construction is being computed.

Key words: main notions on conflagration/fire of the structure.

1. UVOD

Požar je svako nekontrolisano sagorevanje usled koga dolazi ili može doći do povreda ljudi i šteta na materijalnim dobrima (JUS U.J.010/2.1. objavljenog u "Službenom listu SFRJ", broj 29/73).

Sagorevanje je hemijski proces u kome se materija (koja može da gori) hemijski jedini sa kiseonikom, pri čemu dolazi do oslobađanja toplote i pojave plamena – to je rekao Francuz Lavoazije (Antoine de Lavoisier, 1743–1794). Time su oborena mnoga (neuspešna) objašnjenja vatre kao što je bila flogistička teorija Nemca Štala (Georg Ernst Stahl, 1660–1734) po kojoj svaka materija koja može da gori, sadrži posebnu materiju "FLOGISTON" koja kada dode do požara izlazi u obliku plamena.

Zaštita od požara je aktivnost usmerena na ograničavanje opasnosti od izbijanja požara, ograničenje daljeg širenja nastalog požara i smanjenje ugroženosti konstrukcija od požara. To se postiže izborom odgovarajućih materijala i konstrukcija, propisivanjem metoda ispitivanja i vrednovanjem rezultata ispitivanja (JUS U.J.010/2.2 objavljen u "Službenom listu SFRJ", br. 29/73).

Jedan od načina sprečavanja požara, koji treba primeniti još u fazi projektovanja objekta, jeste sprečavanje prostiranja / razmene toplote koja je spontan proces prostiranja unutrašnje energije od tela (ili delova tela) sa višom temperaturom ka telu (ili delovima tela) sa nižom temperaturom.

Trajanje požara ne može da se predvidi zbog mnogih procesa koji se mogu pojaviti u razvoju požara. Međutim, ako se trajanje požara uporedi sa požarnim opterećenjem, dešavalo se da požar traje u nekim slučajevima duže, a nekim kraće.

Tabela 1. Trajanje požara

Specifično požarno opterećenje	Vreme trajanja požara
Nisko požarno opterećenje do 1 GJ/m^2 ($250\,000 \text{ kcal/m}^2$)	približno jedan čas
Srednje požarno opterećenje do 2 GJ/m^2 ($500\,000 \text{ kcal/m}^2$)	približno dva časa
Visoko požarno opterećenje preko 2 GJ/m^2 ($500\,000 \text{ kcal/m}^2$)	približno četiri časa

Požarno opterećenje je merilo stepena ugroženosti od požara građevinskog objekta, kompleksa, bloka, naselja...

Način određivanja požarnog opterećenja propisuje standard JUS U.J.030 (objavljen u "Službenom listu SFRJ", br. 36/76).

Ukupno požarno opterećenje (KJ) je računaska vrednost toplotne energije koja može da se oslobodi u požaru.

Specifično požarno opterećenje (KJ/m^2) je toplota koja može da se razvije u sobi, hali, magacinu, svedena na 1 m^2 sobe, hale, magacina.

Adresa autora: Narodna banka Jugoslavije, Zavod za izradu novčanica i kovanog novca, 11000 Beograd, Pionirska br. 2

Pri proračunu požarnog opterećenja uzimaju se svi gorivi materijali koji su sastavni deo objekta (instalacije, oprema, nameštaj,...).

Toplota može da se rasprostire provođenjem (kondukcijom), mešanjem (konvekcijom) i zračenjem (radijacijom).

Provođenje (kondukcija) je proces širenja toplote (karakterističan za čvrsta tela) između delova tela koji se neposredno dodiruju, a nastaje usled toplotnog kretanja molekula ili atoma materije (u metalima slobodnim elektronima).

U ovom slučaju toplota u telu se odvodi od čestice do čestice. Čestice se nalaze u stanju mirovanja.

Mešanje (konvekcija), strujanje je proces prostiranja toplote (karakterističan za tečnosti i gasove) iz jednog u drugi deo prostora, a preko tečnosti ili gasa koji se nalaze u tom prostoru.

U ovom slučaju se prenos toplote vrši sa tečnosti ili gasa na čvrste materije. Čestice se nalaze u kretanju.

Zračenje (radijacija) isijavanje, je proces prostiranja toplote koji nastaje bez posredstva materijalne sredine.

U ovom slučaju toplota se od tela koji zrači prenosi preko elektromagnetskih talasa u oblasti od oko 0,04 do 800 μm .

Konvektivna toplotna razmena je zajednički proces konvekcije i kondukcije. Konvekciju uvek prati kondukcija.

Toplotna razmena zračenjem je proces prostiranja toplote, izazvan zračenjem i apsorbovanjem dva ili više tela različite temperature.

Apsorbovanje toplote je proces pretvaranja energije zračenja, koja pada na telo, u unutrašnju energiju.

Prelaz toplote je konvektivna toplotna razmena između površine čvrstog tela i struje tečnosti ili gasa.

Prolaz toplote je proces prostiranja toplote od jedne tečnosti / gasa ka drugoj kroz čvrstu pregradu koja ih razdvaja.

2. PONAŠANJE GRAĐEVINSKIH MATERIJALA I KONSTRUKCIJA U POŽARU

Izborom građevinskog materijala i konstrukcija objekta utiče se na zaštitu od požara i njegovo ograničavanje. Ukoliko dođe do požara i eksplozije, građevinski objekat treba da bude takav da omogući nesmetano spasavanje ljudstva u akciji gašenja požara.

Pri rešavanju pitanja zaštite od požara u fazi projektovanja građevinskog objekta, stepen zapaljivosti / sagorljivosti primenjenog građevinskog materijala, treba posmatrati uporedo sa požarnim opterećenjem konstrukcije u kome je zastupljen građevinski materijal, jer značajnu ulogu u zaštiti od požara imaju pored vrste zastupljenih građevinskih materijala u konstrukciji i ukupna debljina konstrukcije, pojedinačna debljina svakog zastupljenog građevinskog materijala i eventualni sloj vazduha ...

2.1. Ponašanje građevinskih materijala u požaru

Prema osobinama pojedinih građevinskih materijala može da se izvrši njihova podela na negoriv i goriv materijal.

Negorivi materijal tokom trajanja ispitivanja na način koji propisuje JUS U.J1.040. (objavljen u "Službenom listu SFRJ", br. 68/86) ne prouzrokuje:

- povišenje temperature peći za 50°C ili više od početne temperature peći;
- povišenje temperature na površini uzorka od 50°C ili više od početne temperature peći;
- plamen koji bi trajao duže od deset sekundi neprekidno;
- gubitak mase uzorka veći od 50% u odnosu na prosečnu masu uzorka posle hlađenja u eksikatoru.

Gorivi materijal tokom trajanja ispitivanja na način koji propisuje JUS U.J1.055. (objavljen u "Službenom listu SFRJ", br. 16/92) prouzrokuje bilo koju od četiri navedene pojave.

Vatrostalni materijali imaju tačku topljenja iznad 1853°K (1580°C), a bitne osobine su im da na visokim temperaturama zadržavaju, pored vatrostalnosti, čvrstoću i zapreminu.

Ova osobina proističe iz hemijsko-mineraloškog sastava, koji može da bude: silicijum-dioksidni, aluminijum-silikatni, magnezijumski, hromni, karbonatni, cirkonijumski, oksidni i karborundumski.

Vatrostalni materijal može da bude zrnast ili oblikovan.

Zrnast vatrostalni materijal je kao pesak / brašno koji se koristi za vatrostalne maltere i betone.

Oblikovan vatrostalni materijal je u komadima čije dimenzije zavise od namene u građevinskoj konstrukciji.

2.1.1. Osobine građevinskih materijala koji se najčešće upotrebljavaju

Opeka se dobro održava u požaru sve dok temperatura ne dostigne temperaturu njenog pečenja. Usled visoke temperature opeka dobija naprsline zbog kojih se ona ljušti po površini. Na temperaturi od 1.100°C opeka po površini omekšava i ukoliko se požar poveća i duže traje dolazi do razaranja konstrukcije građene od opeke.

Malter, kao homogenizovana smeša veziva, agregata, vode i dodatka, koji se upotrebljava kao spojni materijal u zavisnosti od vrste, ima svoje karakteristike u požaru.

Krečni malter se u požaru usled izdvajanja vode razara na temperaturi od oko 803°K (530°C) i zato opada sa zida na kome je bio nanet. Postojanost krečnog maltera u požaru može da se poveća dodavanjem gipsa (oko 10% od težine kreča) ili dodavanjem šamotnog brašna.

Produžni cementni malter je otporniji u požaru od krečnog maltera. Zato se produžni cementni malter češće koristi za malterisanje konstrukcija radi njihove zaštite od visokih temperatura u požaru.

Vatrostalni malter se spravlja od veziva i agregata čija je tačka topljenja iznad 1853°K (1580°C). Vatrostalni malter treba da je postojaniji u požaru od konstrukcije koju štiti od požara, da dobro prijanja na konstrukciju i da im je izražena stabilnost zapremine pri povećanju temperature.

Kamen se u požaru ponaša u zavisnosti od vlažnosti, mineralnog sastava itd. Kamen koji sadrži veće količine krečnjaka bolje opstaje u požaru od kamena koji sadrži veće količine kvarca.

Kod kamena koji sadrži znatnije količine krečnjaka na temperaturi od oko 550°C, njegov glavni hemijski sastojak kalcijum karbonat se raspada na kalcijumoksid i ugljendioksid.

Sa povećanjem temperature do 900°C ovaj proces se završava tako što se po površini kamena stvara sloj početnog kreča, koji tako postaje toplotni izolator od daljeg prodiranja toplote ka unutrašnjosti kamena.

Kod kamena koji sadrži znatne količine kvarca dolazi na temperaturi od oko 550°C do naglog povećanja zapremine, a sa daljim povećanjem temperature i do prskanja i ljuštenja kamena.

Beton je otporniji na požar što je stariji, a i sa povećanjem količine cementa poboljšava se njegova vatrootpornost. Takođe, u požaru je otporniji beton spravljen od šljunka u kome preovladava krečnjak, nego beton spravljen od šljunka u kome preovladava kvarc i lisku.

Na dejstvo požara je mnogo otporniji spravljen sa dolomitnim agregatom, nego beton spravljen od uobičajenih agregata. Takođe, veću otpornost u požaru ima beton spravljen sa aluminatnim cementom.

Temperatura viša od 150°C može nepovoljno da utiče na beton. Na temperaturi od 575°C dolazi do pucanja i ljuštenja površinskog sloja betona zbog promene u strukturi šljunka.

Armirani beton na temperaturi od 100°C ponaša se tako što se i beton i čelik izdužuju, te se ova temperatura može smatrati bezopasnom za konstrukcije od armiranog betona.

Sa povećanjem temperature preko 100°C, čelik se izdužuje, a beton skuplja što izaziva pucanje betona i izvlačenje armature, koje je veće ukoliko je armatura glatka zbog manje površine prijanjanja nego što bi to bio slučaj sa rebrastom armaturom. Sa povećanjem temperature od 200°C do 300°C otpornost armature naglo pada tako da između 400°C do 600°C dolazi u armiranobetonskoj konstrukciji do stanja bliskog slomu.

Vatrostalni beton se primenjuje u slučaju kada je potrebno da beton zadrži svoja fizičko-hemijska svojstva i pri dužoj izloženosti temperaturi većoj od 450°C do 500°C, temperaturi do koje običan beton i može da opstane.

Čelik se u požaru pod uticajem temperature širi i znatno deformiše iako da njegova nosivost već pri temperaturi od 400°C do 600°C toliko opada da se konstrukcija deformiše i ruši. Uklješteni čelični elementi se povoljnije ponašaju u požaru nego elementi koji mogu slobodno da se deformišu.

Drvo se upali na 250°C do 300°C i gori po površini ili se ugljeniše. U unutrašnjosti, zbog slabe provodljivosti toplote, drvo se slabije zagreva. Sa daljim rasplamsavanjem požara, pošto se drvo zapalilo, dolazi na njegovoj površini do ugljelenisanja što izaziva oslobađanje toplote (koja se prenosi ka unutrašnjosti) i daljeg paljenja – održavanja gorenja drveta. Gasovite materije iz drveta, sa daljim razvojem požara koji prouzrokuje povećanje temperature, izbijaju na površinu i u dodiru sa vazduhom sagorevaju. Pri daljem razvoju požara na površini drveta se izdvaja ugljenik čime se upravo usporava za izvesno vreme prenošenje toplote u drvetu da bi se potom povećao – rasplamsao plamen i došlo do još intenzivnijeg sagorevanja, jer se drvo ispod ugljelenisanog sloja zagreje dotle da izaziva rasprskavanje toga sloja.

Dogorevanjem drveta sagorevaju gasovite materije koje se izdvajaju. Time je pristup kiseonika olakšan i zato dolazi do potpunog sagorevanja i stvaranja ugljendioksida, tj. nastaje proces sagorevanja bez plamena, odnosno počinje tinjanje drveta.

2.2. Ponašanje građevinskih konstrukcija u požaru

Otpornost građevinskih konstrukcija na visokim temperaturama koje se razvijaju u požaru, najčešće zavisi od: požarnog opterećenja, trajanja – brzine požara, maksimalne temperature koja se razvije u požaru, oblika (usitnjen ili u komadima) gorivog materijala u konstrukciji, od vlažnosti, udaljenosti od izvora toplote, potrebne količine vazduha za odvijanje gorenja/požara i sl.

U fazi projektovanja objekta treba najpre izračunati požarno opterećenje, potom, odrediti minimalnu potrebnu otpornost konstrukcije na požar i nakon toga izvršiti izbor materijala za građevinsku konstrukciju objekta.

Zid se u pogledu otpornosti na požar (s obzirom na funkciju određenu projektom) ispituje na način koji propisuje standard JUS U.J1.090 (objavljen u "Službenom listu SFRJ", br. 68/86).

Otpornost zida prema požaru definiše se kao vreme (koje može da bude 15 min., 30 min., 60 min., 90 min., 120 min., 180 min. i 240 min.) u kome nije došlo ni do jedne od sledećih promena:

- rušenja konstrukcije, prodora plamena: za uzorak zida koji razdvaja prostorije i treba da spreči prodor plamena iz jedne prostorije u drugu – pojavu pukotina, naprslina ili drugih otvora kroz koje može da prođe plamen;

- otpora temperaturnom valu: uzorak zida ne sme na neizloženoj strani imati srednju temperaturu za 140°C višu od početne temperature, a ni u kom slučaju i ni na kome mestu ne sme imati maksimalnu temperaturu za 180°C višu od početne; bez obzira na početnu temperaturu ne sme da ima temperaturu višu od 220°C.

U tabeli 2 dat je prikaz požarne otpornosti nekih zidova određenih opitom.

Tabela 2. Požarna otpornost nekih zidova

Opis zida		Debljina zida u cm	Požarna otpornost u satima
Opeka	malterisan zid	12	2,0
	neomalterisan zid	12	1,0
		25	6,0
Beton	zid od nearmiranog betona	7,5	0,5
		10	1,0
		12	2,0
		18	4,0
		25	6,0
	armirani beton	7,5	1,0
		10	2,0
		18	4,0
		22,5	6,0

Zid koji ima izraženu požarnu otpornost u konstruktivnom smislu je i vertikalna prepreka požaru i treba da je:

- otporan u određenom stepenu na požar,
- izgrađen od negorivog materijala,
- izveden od temelja do iznad krovne površine i da tako preseca sve gorive elemente konstrukcije.

Stub se u pogledu otpornosti u uslovima požara (pod statičkim opterećenjem) ispituje na način koji propisuje JUS U.J1.100 (objavljen u "Službenom listu SFRJ", br. 47/86). Otpornost stuba prema požaru izražava se vremenom (koje može biti 15 min., 30 min., 60 min., 90 min., 120 min. i 180 min.) merenim od početka ispitivanja do trenutka kad nastupi plastična deformacija stuba.

U tabeli 3 dat je prikaz požarne otpornosti nekih stubova određenih optom.

Tabela 3. Požarna otpornost nekih stubova

Opis stuba		d u (cm)	Požarna otpornost u satima
Beton	neobložen armiran betonski stub debljine:	20,0	0,5
		25,0	1,0
		30,0	2,0
	obložen armiranobetonski stub debljine:	26,0	2,0
		30,0	4,0
Čelik	zaštićen čelični stub oblogom od lako armiranog betona debljine:	2,5	1,0
		5,0	2,0
		6,0	4,0
		10,0	6,0
	zaštićen čelični stub opekam i međuispunom od betona debljine:	5,0	1,0
		7,0	4,0
		10,0	6,0

Od stubova koji su sastavni deo objekta naročito je važno zaštititi od požara noseći stub, jer njegovo rušenje zbog dejstva požara izaziva rušenje pojedinih delova objekta, što ubrzava razvoj požara.

Međuspratna konstrukcija u pogledu otpornosti u uslovima požara (s obzirom na opterećenje za koje je projektovan) ispituje se na način koji propisuje JUS U.J1.110 ("Službeni list SFRJ", br. 47/86).

Otpornost međuspratne konstrukcije prema požaru definiše se kao vreme (koje može da bude 15 min., 30 min., 60 min., 90 min. i 180 min.) računajući od početka ispitivanja do trenutka u kojem je postignut jedan od sledećih kriterijuma:

- rušenje,
- prodor plamena,
- zagrevanje neizložene strane.

U tabeli 4 dat je prikaz požarne otpornosti nekih međuspratnih konstrukcija koje su određene optom.

Tabela 4. Požarna otpornost nekih međuspratnih konstrukcija

Opis međuspratne konstrukcije			Požarna otpornost (sati)
Šuplji element	neomalterisan plafon		1
	omalterisan plafon		2
Beton	puna armiranobetonska ploča debljine:	9 cm	0,5
		10 cm	1
		12 cm	2
		15 cm	4
		18 cm	6
	sitnorebrasta konstrukcija	bez plafona	0,5
		gips.plafon 12 cm	1
Čelik	čelični nosač visine:	15 – 25 cm	1 – 1,5
		25 – 30 cm	3
		40 – 50 cm	4 – 4,5
Drvo	međ.konstrukcija sa plafonom		0,5

Međuspratna konstrukcija koja ima izraženu požarnu otpornost u konstruktivnom smislu predstavlja horizontalnu prepreku požaru.

Nosač u pogledu otpornosti u uslovima požara (s obzirom na opterećenje za koje je projektovan) ispituje se na način koji je propisan standardom JUS U.J1.114, objavljen u "Službenom listu SFRJ", br. 47/86.

Otpornost nosača prema požaru definiše se kao vreme zagrevanja (koje može da bude: 15 min., 30 min., 60 min., 90 min., 120 min. i 180 min.) u kome nije došlo do plastične deformacije uzorka nosača.

U tabeli 5 dat je prikaz požarne otpornosti nosača određenih optom.

Tabela 5. Požarna otpornost armiranobetonskog nosača

Opis nosača	Požarna otpornost u časovima	
Armiranobetonski nosač poprečnog preseka 40/20 cm, koji je ispod betonske ploče čija je debljina 10 cm	zaštitni sloj 6 cm	4
	zaštitni sloj 5 cm	2
	zaštitni sloj 4 cm	1
	zaštitni sloj 2,5 cm	0,5

Krov se u pogledu otpornosti u uslovima požara ispituje na način koji propisuje standard JUS U.J1.140 objavljen u "Službenom listu SFRJ", br. 36/76. Otpornost protiv požara definiše se kao vreme (koje može biti 15 min., 30 min., 45 min. i 60 min.) nakon koga dolazi do:

- prekoračenja temperature od 180°C u pojedinim tačkama, odnosno prekoračenja srednje temperature od 140°C,
- pojave tinjanja, odnosno plamena na neizloženoj strani krovnog pokrivača.

Krov se sastoji od krovne konstrukcije i krovnog pokrivača. Treba težiti da krovni pokrivač bude od negorivog materijala (crep, cementne ploče, lim, ...). Ukoliko se mora koristiti gorivi materijal (na primer: ter-hartija) onda je dobra mera zaštite tavanica izrađena od negorivog materijala.

Dimnjak u pogledu otpornosti na požar ispituje se na način koji propisuje JUS U.J1.170 (objavljen u "Službenom listu SFRJ", br. 29/73). Dimnjak je stalna opasnost za svaki objekat u kome se nalazi zbog povišene temperature gasova koji se njime odvođe. Zato treba od dimnjaka da budu udaljeni najmanje 8 cm svi drveni elementi međuspratne konstrukcije, tavanice, krovne konstrukcije i sl. Dimnjački kanal treba da je vertikalna, a izuzetno u odnosu na vertikalnu može da ima skretanje od 30°.

Najbolje je da je dimnjak kružnog poprečnog preseka i da je unutrašnja površina glatko obrađena. Zbog taloženja čestica čađi u dimnjaku, koje mogu u povoljnim uslovima da se upale, predviđaju se otvori sa vratancima za čišćenje dimnjaka. Visina dimnjaka

iznad krova treba da je što veća i da je on što bliži slemenu.

Ostali konstruktivni elementi koji su značajni za protivpožarnu zaštitu, na koju treba obratiti pažnju još u fazi projektovanja građevinskog objekta su, između ostalih i:

- elementi za zaštitu otvora u zidu (kao što su: protivpožarna vrata, prozori...),
- protivpožarne stepenice,
- komunikacioni prostori (hodnici, liftovi, izlazi),
- mašinske instalacije (grejanje, ventilacija...),
- elektroenergetska postrojenja, instalacije, uređaji i sl.

3. ZAKLJUČAK

Požar koji je zahvatio objekat može toliko da ga ošteti da bi dovođenje objekta u prvobitno stanje zahtevalo velike sanacione radove, a nekad i potpunu zamenu od požara oštećenih delova konstrukcije. Zato još u fazi projektovanja objekta treba izabrati konstruktivne sisteme koji su manje osetljivi na dejstvo požara. Pored toga, treba obratiti pažnju na dimenzionisanje preseka pojedinih konstruktivnih elemenata na požarno opterećenje u zavisnosti od potrebne vatrootpornosti kao i na zaštitu konstrukivnih elemenata od dejstva visoke temperature koja se povećava sa razvojem požara na objektu.

LITERATURA

- [1] Jugoslovenski standardi: JUS U.J1.010, JUS U.J1.030, JUS U.J1.040, JUS U.J1.055, JUS U.J1.060, JUS U.J1.090, JUS U.J1.100, JUS U.J1.110, JUS U.J1.114, JUS U.J1.140, JUS U.J1.170
- [2] Stojanović, D.: Zaštita od požara i eksplozija, Institut za dokumentaciju zaštite na radu, Niš 1978.
- [3] Stojanović, O., Stojanović, N., Kosanović, Đ.: Štetne i opasne materije, Izdavačka radna organizacija "RAD" – Beograd, 1984.
- [4] Budisavljević, B., Kleut, N.: Zaštita od požara u građevinarstvu, Institut IMS, 1993.