

Ivan Ignjatović¹, Drago Ostojić², Nikola Muravljov³

PROCENA STANJA KONSTRUKCIJE NAKON POŽARA SA MERAMA SANACIJE I REALIZACIJA REŠENJA

Rezime:

U ovom stručnom radu prikazana su oštećenja konstrukcije objekta usled dejstva požara, predlog mera sanacije i realizovano rešenje. Konstrukcija desetospratnog objekta je armiranobetonska, sa montažnim prethodnonapregnutim tavanicama sistema IMS i kvadratnim stubovima u pravilnom rasteru. Veza između kasetiranih tavanica i stubova je ostvarena pomoću užadi za prednaprezanje u oba pravca. Usled požara, tavanice su pretrpele lokalna vidna oštećenja, koja se ogledaju u degradaciji pojedinih ploča i rebara kasetirane tavanice. Izvršen je makroskopski pregled, proračunom potvrđena nosivost tavanica i kontrolisana sila prednaprezanja u kablovima merenjem frekvencije oscilovanja žica u kابلu. Na bazi klasifikacije tipičnih oštećenja date su mere sanacije pojedinih elemenata konstrukcije i prikazano izvedeno rešenje.

Кljučne reči: požar, betonska konstrukcija, prednaprezanje, sanacija

ASSESSMENT OF STRUCTURE EXPOSED TO FIRE WITH RETROFITTING MEASURES AND IMPLEMENTATION

Summary

This technical paper presents the damage to the structure due to the effects of fire, the proposed retrofitting measures and the implemented solution. The reinforced concrete structure of the ten-story building is consisted of prefabricated prestressed coffered structure (IMS system) and square columns in a regular grid. The connection between the horizontal structure and the columns is made by means of prestressed wires in both directions. A macroscopic inspection was performed, the bearing capacity of the structure was confirmed by calculation and the prestressing force in the cables was controlled by measuring the frequency of oscillations of the wires in the cable. Based on the classification of typical damages, measures for repairing individual structural elements are given and the derived solutions are presented.

Key words: fire, concrete structure, prestressing, retrofitting

¹ *Dipl. građ. inž., Dr, v.prof., Univerzitet u Beogradu-Grādevinski fakultet, Bulaver kralja Aleksandra 73, ivani@imk.grf.bg.ac.rs*

² *Dipl. građ. inž., Univerzitet u Beogradu-Grādevinski fakultet, Bulaver kralja Aleksandra 73, drago@imk.grf.bg.ac.rs*

³ *Dipl. građ. inž., koljaka@gmail.com*

Veza između kasetiranih tavanica i stubova je ostvarena pomoću užadi za prednaprezanje u oba pravca. Užad su smeštena između kasetiranih tavanica u posebno oblikovanim žljebovima i naknadno zaliveni betonom, formirajući sistem rigli u ortogonalnom pravcu stubova, detalj D1, slika 2. Primenjeni sistem se zasniva na sili pritiska koja se unosi pomoću užadi, odnosno na sili trenja između ivičnih greda tavanice i stubova. Ta sila formira se na bazi sile u užadima i usvojenog koeficijenta trenja. Fasada je sačinjena od betonskih fasadnih panela oslonjenih na fasadne grede koje se oslanjaju na stubove, detalj D2, slika 2. Prostornu stabilnost za horizontalna opterećenja (seizmiku) daju parovi armiranobetonskih zidova, slika 1. Smatra se da seizmička otpornost konstrukcije nije izmenjena u odnosu na stanje pre požara i nije predmet analize sprovedene u okviru ovog rada.

3. STANJE KONSTRUKCIJE NAKON POŽARA

3.1. OPIS OŠTEĆENJA

Makroskopski pregled objekta obuhvatio je utvrđivanje stanja konstrukcije na spratovima VIII, IX i X, obilaskom stanova čija je pozicija u osnovi označena na slici 3.

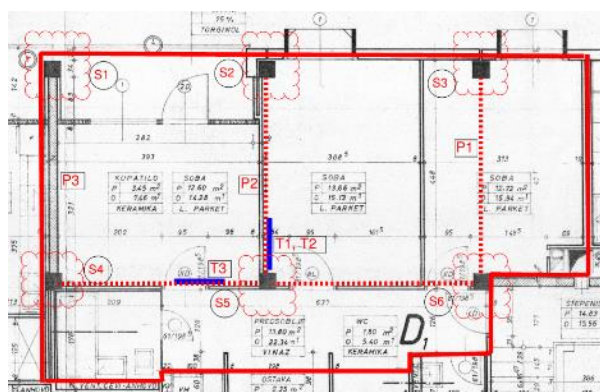
Usled požara, tavanice su pretrpele lokalna vidna oštećenja, koja se ogledaju u degradaciji pojedinih ploča i rebara kasetirane tavanice. Oštećenja se mogu podeliti u tri grupe:

- Velika oštećenja rebara tavanice, u smislu potpunog ili značajnog gubitka betonskog preseka rebara, najčešće u prvim poljima uz ivično rebro (P1, P2, slika 3). U ovim poljima, postoji i dominantna podužna pukotina u ploči, sa nizom sitnijih pukotina, koje kompromituju nosivost tog dela tavanice. Na mestima pukotine u ploči došlo je do vertikalnih dilatiranja između delova AB tavanice. Na tavanici VIII sprata ovo se može tumačiti nekom vrstom „udara“ nakon eksplozije plinske boce u toku (ili na početku) požara, tj. delovanju opterećenja „na gore“. Međutim, slična slika zabeležena je i na tavanici IX sprata, a koja je bila izložena požaru odnosno visokoj temperaturi posredno, preko fasade i terase. Za takvu sliku oštećenja na tavanici IX sprata može se reći da je atipična i ne može se objasniti samo dejstvom visoke temperature na AB elemente, kod kojih bi se očekivalo otpadanje zaštitnih slojeva praćeno izduženjem armature i relativno ravnomero raspoređene prsline u rebrima kasetirane tavanice. Jedna od mogućnosti je da je usled požara došlo do oštećenja užadi za prednaprezanje, čime se, imajući u vidu konstruktivni sistem, dovodi u pitanje nosivost čitave tavanice.
- Delimična oštećenja rebara, manifestovana najčešće gubitkom zaštitnog sloja betona na delu ili celom dužinom rebra u okviru jedne kasete, praćena mrežom sitnijih prslina u ploči.
- Oštećenja između ivičnih rebara-rigli ili između ivičnog rebra i zida, u zoni užadi za prednaprezanje (P3, slika 3). Pod dejstvom vatre, plamena ili dima oštećena su ivična rebra sa donje strane, što znači da je visoka temperatura imala pristup užadima za prednaprezanje unutar žljebova opisanih u delu 2.

Vizuelnim pregledom nisu utvrđena bitna oštećenja stubova- nema otpadanja zaštitnog sloja ili izbočavanja armature usled izloženosti visokoj temperaturi. Izuzetak je fasadni stub na terasi (S1, slika 3) gde je primetno izgubljen zaštitni sloj betona na delu stuba, a na preostaloj visini stuba zaštitni sloj je slabo vezan sa ostatkom betonske mase i sklon krunjenju.

Na X spratu uočen je zazor između fasadnog panela i betonskog stuba, odnosno tavanice, približne širine 5 mm. S obzirom da se plamen koji je izbio na VIII spratu razvijao i prenosio na

više spratove preko fasade, pretpostavka je da je došlo do delimičnog popuštanja veze panela sa oslonačkim elementima.



Slika 3 - Dispozicija tipičnih oštećenja i mesta "šlicovanja" ploče

3.2. KONTROLE IZVRŠENE NA LICU MESTA

S obzirom da se opisani montažni sistem zasniva na vezi između stuba i tavanice preko sile pritiska koju unose užad za prednaprezanje, kao i zbog, na izvesnim mestima, atipične slike oštećenja tavanice, izvršeno je ispitivanje sile u užetu na tri mesta, na delovima karakterističnih rigli, a kojima je bilo moguće pristupiti. Mesto na kojem je izvršeno ispitivanje na podu IX sprata označeno je sa T1, a na podu X sprata sa T2 i T3, slika 3.

Da bi se pristupilo merenju sile, sa gornje strane rigle, štemovanjem betona na dužini od cca 90cm, do užeta, izvršeno je oslobađanje užeta za prednaprezanje od okolnog betona i izdvajanje pojedinačnih žica na dužini od 75cm, slika 4 levo.



Slika 4 - Merenje frekvencije oscilovanja žice za prednaprezanje (levo) i „labave“ žice za prednaprezanje

Merenje frekvencije oscilovanja žice se obavilo frekvencometrom, slika 4 levo, a dobijeni rezultati su uneti u jednačinu Savarovog zakona koji daje vezu između napreznja, frekvencije

oscilovanja i raspona napregnute žice koja slobodno vibrira. Prednaprezanje je izvedeno sa dva užeta $6\phi 5$, pri čemu je utvrđeno da su užad vođena pravolinijski.

Nakon oslobađanja pojedinačne žice iz užeta i merenja frekvencije, dobijene su sledeće vrednosti: 183, 186, 188, 193, 195, 197 i 200Hz, pri čemu se na nekoliko ponovljenih merenja na dve oslobođene žice iz užeta, ustalila vrednost od 200Hz. Izuzetak je bilo ispitno mesto T2, gde je vizuelno uočen gubitak sile u jednom od užadi, manifestovan „raspetljavanjem“ žica jednog užeta, čije su 3 od 6 žica bile sasvim labave, slika 4 desno. U drugom užetu na istom mestu zabeležena frekvencija slična je vrednostima u ostalim užadima na drugim mestima. Na osnovu frekvencije izmerene u ostalim užadima sračunate su sledeće veličine: 1) Ukupna sila u predmetnom kابلu iznosi cca $6 \cdot 14,1 = 84,6$ Kn, 2) Ukupna sila za jedan pravac (2 kabl) = $2 \cdot 84,6 = 169,2$ kN, 3) Ukupna horizontalna sila pritiska koja se preko kablova prenosi na stub: $4 \cdot 169,2 = 676,8$ kN, 4) Ukupna vertikalna sila koju je moguće prihvatiti na stub: $676,8 \cdot 0,5 = 338,4$ kN.

3.3. PRORAČUNSKI MODELI

Na osnovu podataka iz originalnog projekta, merenja dimenzija konstrukcije na licu mesta, napravljen je proračunski model tipske tavanice, sa ciljem: 1) utvrditi veličinu normalne sile u stubu i uporediti sa vertikalnom silom koju je moguće prihvatiti preko pritiska koji se uvodi kablovima za prednaprezanje, 2) proveriti da li količina ugrađene armature odgovara potrebnoj armaturi na osnovu statičkog proračuna.


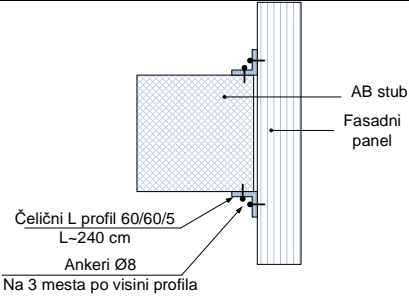
Vrednost vertikalne sile, tj. normalne sile u stubu koja je posledica vertikalnog stalnog i korisnog opterećanja, iznosi $4 \cdot 32,9 = 132$ kN. Poredeći sa ukupnom vertikalnom silom koju je moguće prihvatiti iz stuba, a koja iznosi 338,4 kN (deo 3) i uzimajući u obzir i koeficijent sigurnosti, može se zaključiti da se na projektovani način može prihvatiti vertikalno opterećenje sa tavanica. Dimenzionisanjem preseka za uticaje utvrđeno je da sračunata, potrebna količina armature u rebrima odgovara količini koja je utvrđena na licu mesta.


4. MERE SANACIJE I OJAČANJA


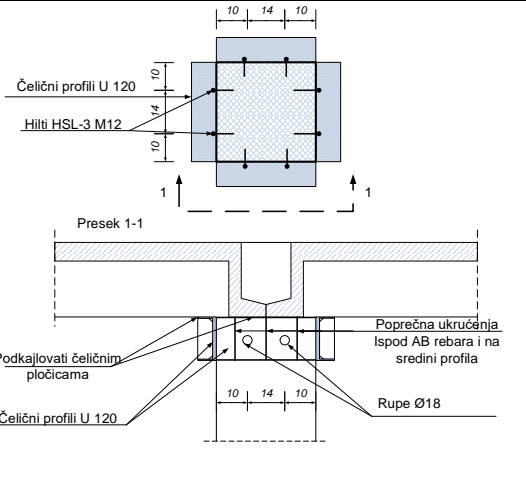
Imajući u vidu sve napred navedeno – konstruktivni sistem, oštećenja uočena makroskopskim pregledom, merene vrednosti sile i sprovedene kontrole armature u ploči, za tipična oštećenja predložene su sledeće mere sanacije i ojačanja armiranobetonske konstrukcije:

Tipično oštećenje / sanirana konstrukcija	Mera sanacije/ojačanja
	 <p>AB zid</p> <p>Hilti HSL-3 M12 5 kom/nosaču- u svakoj kaseti tavanice po 1</p> <p>Podkajlovatni čeličnim pločicama</p> <p>Rebro za ukrućenje Na mestima poprečnih AB rebara</p> <p>Čelični profil UNP 120 L~380 cm</p>
1. Oslonačka veza ivičnog rebra tavanice i zida na VIII i IX spratu	

Tipično oštećenje / sanirana konstrukcija	Mera sanacije/ojačanja
	 <ol style="list-style-type: none"> 1) Odštemovati prvo polje ploče i sačuvati armaturu ploče, 2) Odštemovati oštećeni deo rebara – kompletno rebro u prvom polju tavanice, sačuvati armaturu rebara i postaviti je u projektovanu geometriju, 3) Dodati 1Ø12 u donju zonu rebara prvog polja (prva kasetna), povijenu na oba kraja i zavarenu tačkasto za postojeću armaturu, 4) Postaviti drvenu (ili drugu odgovarajuću) oplatu i izvršiti podupiranje najmanje prvog rebara posle ivičnog, 5) Izvršiti betoniranje rebara i ploče reparaturnim sitnozrnim betonom klase min C30/37
2. Velika oštećenja rebara i ploče	
Tipično oštećenje / sanirana konstrukcija	Mera sanacije/ojačanja
	<ol style="list-style-type: none"> 1) Očistiti nagorele delove betona vodom pod povišenim pritiskom, 2) Ukloniti labave delove betona sa rebara i oko armature, 3) Ukoliko postoje sitne prsline (do 0.1 mm) u ploči, površinu betona zaštititi reparaturnim malterom, 4) Ukoliko postoje šire prsline (≥ 0.2 mm) u ploči, izvršiti injektiranje, 5) Nadomestiti nedostajuće delove betonskog preseka rebara i obezbediti zaštitni sloj betona od najmanje 1.5 cm. Primeniti reparaturni malter.
3. Manja oštećenja rebara i ploče	

Tipično oštećenje / sanirana konstrukcija	Mera sanacije/ojačanja
	
<p>4. Veza stuba i fasadnog panela na X spratu</p>	

Tipično oštećenje / sanirana konstrukcija	Mera sanacije/ojačanja
	<ol style="list-style-type: none"> 1) Očistiti nagorele delove betona vodom pod povišenim pritiskom, 2) Ukloniti labave delove betona oko armature, 3) Nadomestiti nedostajuće delove betonskog preseka stuba i obezbediti zaštitni sloj betona od najmanje 1.5 cm, primenom reparaturnog maltera.
<p>5. Oštećenje fasadnog stuba S1</p>	

Tipično oštećenje / sanirana konstrukcija	Mera sanacije/ojačanja
	
<p>6. Podupiranje tavanica VIII i IX sprata preko kratkih elemenata</p>	

5. ZAKLJUČAK

Usled izbijanja požara i višesatnom izlaganju konstrukcije visokoj temperaturi, armiranobetonska konstrukcija pretrpela je značajna oštećenja. Posrednim merenjem na tri mesta utvrđeno je da u 5 od 6 užadi nema gubitka sile za prednaprezanje, koji su ključni deo sistema za prenos vertikalnog opterećenja. Ipak, imajući u vidu gubitak sile u jednom užetu, kao i atipičnu sliku oštećenja tavanica na VIII i naročito IX spratu, predloženo je dodavanje čeličnih „kragni“ oko stubova koje bi omogućile direktno i neposredno oslanjanje ivičnih rebara, tj. čitave tavanice. Osim toga, neophodno je bilo sprovesti i mere date u tačkama 1-5 dela 4. Sanacioni radovi izvršeni su od nižih ka višim spratovima. Nakon sprovođenja svih opisanih mera sanacije i ojačanja, postignuto je da spratovi VIII, IX i X, kao i zgrada u celini, poseduju adekvatnu nosivost i stabilnost.

LITERATURA

- [1] Ignjatović I, Ostojić D, Muravljev N: Stručno mišljenje o stanju konstrukcije zgrade u ul. Milutina Milankovića br. 110 u Beogradu sa predlogom mera sanacije, Građevinski fakultet u Beogradu, 2020.
- [2] Raupach M, Buttner T: Concrete repair to EN 1504: Diagnosis, Design, Principles and Practice. CRC Press, 2019.