

Nagrada KOLOS prof. dr. sc. Davoru Skejiću

Prof. dr. sc. Davor Skejić osmislio je konstrukcijski sustav skela koji se svojom složenošću, visinom i sigurnosnim zahtjevima ubraja među najzahtjevnije u svijetu

PRIREDIO: Petar Bilobrk
FOTO: prof. dr. sc. Davor Skejić



prof. dr. sc. Davor Skejić

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU U BORBI PROTIV VREMENA

Potres magnitude 5,5 po Richterovoj ljestvici, najsnažniji u proteklih 140 godina, ostavio je duboke tragove u hrvatskoj metropoli. Jedan od najsokantnijih simbola te prirodne katastrofe bio je pad vrha južnoga tornja zagrebačke katedrale, čija je slika obišla svijet.

Zagrebačka katedrala Uznesenja Blažene Djevice Marije i svetih Stjepana i Ladislava, najveća hrvatska sakralna građevina i simbol Grada Zagreba, nije se prvi put suočila s razornim potresom. Još 1880. godine urušio se južni toranj, što je dovelo do temeljite obnove pod vodstvom Hermana Bolléa.

Ubrzo nakon potresa 2020. godine, Zagrebačka nadbiskupija suočila se s dvojnom: kako pristupiti obnovi jednoga od najvažnijih spomenika hrvatske kulturne baštine? Odgovor je stigao iz akademске zajednice. Profesor Stjepan Lakušić, tadašnji dekan Građevinskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, zajedno sa svojim suradnicima, preuzeo je odgovornost za taj iznimno složen zadatak.

„To je jedina katedrala u svijetu koja je bila toliko blizu epicentru potresa. Htjeli smo da ju obnavljaju hrvatski inženjeri, da uložimo svoje znanje na dobrobit svih“, rekao je profesor Lakušić. Zagrebačka nadbiskupija prihvatila je rješenje koje je predložio Građevinski fakultet, što je bio početak jednoga od najsloženijih projekata obnove kulturne baštine u Europi.

Potresni fondovi Europske unije (Fond solidarnosti EU-a) i državni proračun Republike Hrvatske trenutno nose glavnu trošku: u obnovu zagrebačke katedrale dosad je uloženo 42 milijuna eura, potvrdio je to u lipnju 2025. predsjednik Vlade Republike Hrvatske



Obnova zagrebačke katedrale

Andrej Plenković nakon sastanka sa zagrebačkim nadbiskupom mons. Draženom Kutlešom i zajedničkog obilaska katedrale. Ostatak financiranja obnove zagrebačke prvostolnice osiguran je kroz državni proračun i nacionalni mehanizam za oporavak. Uz to su Zagrebačka nadbiskupija, korporacije i građani donirali simbolične, ali vrijedne iznose.

Obnova jednoga od najvažnijih hrvatskih kulturnih spomenika započela je nakon snažna potresa koji je pogodio Zagreb, dodatno otežana istodobnom pandemijom bolesti COVID-19.

Nekoliko je ključnih izazova s kojima se trebalo nositi na početcima i tijekom obnove. Najveći problem bio je ograničen rok za korištenje bespovratnih sredstava iz Fonda solidarnosti Europske unije, koji inače mora biti iskorišten u roku od 18



Rektor Lakušić, nadbiskup Kutleša i premijer Plenković obišli su zagrebačku katedralu (FOTO: Zagrebačka nadbiskupija)

mjeseci od dana dodjele. Međutim, takav vremenski okvir pokazao se prekratkim s obzirom na složenost i opseg potrebnih radova na katedrali.

Zbog izvanrednih okolnosti – istodobno djelovanje razorna potresa i pandemije – Hrvatska je bila prisiljena više puta tražiti produljenje rokova kako bi osigurala kvalitetnu i temeljitu obnovu, što je omogućilo nastavak radova bez dodatnog remećenja.

Prekratki rokovi značajno povećavaju pritisak na izvođače, čime se izlaže riziku i sama kvaliteta obnove. Kod složenih građevina i kulturnih spomenika poput zagrebačke katedrale brzina može biti kontraproduktivna, stoga je iznimno važno bilo omogućiti dovoljno vremena za sve potrebne zahvate i sanaciju te monumentalne građevine.

Bilo kako bilo, katedrala – simbol glavnoga grada i Republike Hrvatske – polako vraća svoj stari sjaj, zahvaljujući zajedničkim naporima države, crkve i stručnjaka.

VRHUNSKI STRUČNI TIM

Zbog iznimne složenosti i opsežnosti projektnoga zadatka, sastavljen je kon-

zorcij vrhunskih tvrtki pod vodstvom Građevinskoga fakulteta. Članovi konzorcija bili su Toding d. o. o., Studio Arhing d. o. o. te Foretić i sinovi d. o. o.

Odgovornost za obnovu preuzeli su ključni stručnjaci: prof. dr. sc. Stjepan Lakušić, tadašnji dekan Građevinskoga fakulteta, kasnije rektor Sveučilišta u Zagrebu, koordinator cijeloga projekta, prof. dr. sc. Damir Lazarević, autor koncepta konstrukcijske obnove, stručnjak za dinamiku konstrukcija i seizmičko inženjerstvo, izv. prof. dr. sc. Josip Atalić, glavni projektant konstrukcijske obnove, voditelj Hrvatskoga centra za potresno inženjerstvo. Prof. dr. sc. Davor Skejić, projektant čeličnih skela, stručnjak za metalne konstrukcije, sa svojim je timom, osmislio sustav skela koji se svojom složenošću, visinom i sigurnosnim zahtjevima ubraja među najzahtjevnije u svijetu, za što je dobio nagradu KOLOS Hrvatske komore inženjera građevinarstva (HKIG).

ZNANSTVENOISTRAŽIVAČKI PRISTUP

Građevinski fakultet pristupio je obnovi na znanstvenoistraživački način. Laboratorij za ispitivanje konstrukcija izradio je detaljan elaborat istražnih radova i elaborat mjerenja dinamičkih svojstava konstrukcije. Stručnjaci s Geodetskoga fakulteta napravili su detaljan digitalni (fotogrametrijski) snimak katedrale koji je rezultirao oblakom od približno 3,1 milijuna točaka.

„Svaki dio ostade kamene konstrukcije je razgrađen, 3D skeniran kako bi se dobila podloga za izradu novog“, objasnio je glavni inženjer gradilišta Ante Mlinar. Ovaj pristup omogućio je precizno dokumentiranje postojećega stanja i planiranje obnove.

KONSTRUKCIJSKE INOVACIJE

Profesor Davor Skejić je, sa svojim užim timom stručnjaka s Katedre za metalne konstrukcije (asistenti Ivan Čudina i Andelo Valtić) u suradnji s revidentom mr. sc. Ivanom Paljanom, osmislio je konstrukcijski sustav skela koji predstavlja veliki inženjerski izazov. Posebice se ističu toranjske skele visine 70 metara, izvedene kao konzolne konstrukcije koje se oslanjaju na ranjive dijelove tornjeva. Ovaj je projekt vrhunski spoj konstrukcijske analize, kreativnosti i poštovanja prema kulturnoj baštini.

POSEBNOSTI KONSTRUKCIJA SKELA ZA OBNOVU KATEDRALE UZNESENJA MARIJINA

Kako bi se izveli sanacijski radovi urgentne obnove katedrale, bilo je potrebno projektirati skele koje bi omogućile radove na nedostupnim mjestima i podupiranje nestabilnih dijelova koji su oštećeni tijekom potresa. U tu svrhu, trebalo je urgentno projektirati skele unutar katedrale (za unutarnje podupiranje i osiguranje konstrukcije svodova), skele po obodu katedrale (za vanjsko podupiranje i izvođenje vanjskih sanacijskih radova) i skele za tornjeve katedrale (za razgradnju i rekonstrukcije gornjih etaža kamenih

tornjeva, kao i za ugradnju nove konstrukcije za njihovo seizmičko ojačanje). Kako bi se dobio dojam o veličini skela, isti se podatak da je za unutarnja skela uporabljeno 23 080, za vanjsku 12 415 i za toranjsku 23 483 konstrukcijskih elemenata. Ukupno, za skele i čelične platforme utrošeno je nešto više od 1000 tona materijala (čelika i aluminija).

Iako su cijevne skele geometrijski prilagodljivije, zbog zahtijevane pouzdanosti i neizvjesnih parametara pouzdanosti i neizvjesnih parametara pri projektiranju, odlučeno je da se ide na modularne skele koje se temelje na tipskim rješenjima certificiranih sustava. Međutim, unaprijed definirani moduli skele rezultiraju ograničenjima u zadovoljavanju zahtjeva da se skela optimalno približi razvede-

noj geometriji katedrale. Pridruži li se navedenom činjenica da nisu postojali detaljni nacrti katedrale, definiranje optimalne geometrije skela provedeno je korištenjem modela oblaka točaka koji se izrađivao tijekom samog projektiranja. Ono što ovaj projekt izdvaja od ostalih je urgentnost i neizvjesnost projektiranja metalne konstrukcije, koja je unikatna i po svemu posebna. Ipak, javnosti najpoznatija i medijima najzanimljivija svaka je skela za tornjeve katedrale, koja je ukupne visine 70 metara, s time da kreće od +40 m (u delikatnim uvjetima sidrenja) i doseže +110 m od razine tla. Doda li se tomu činjenica da se zbog oštećenja tornjeva skela nije mogla kontinuirano pridržavati za sam toranj, dolazimo do još jedne jedinstvenosti u svjetskim raz-

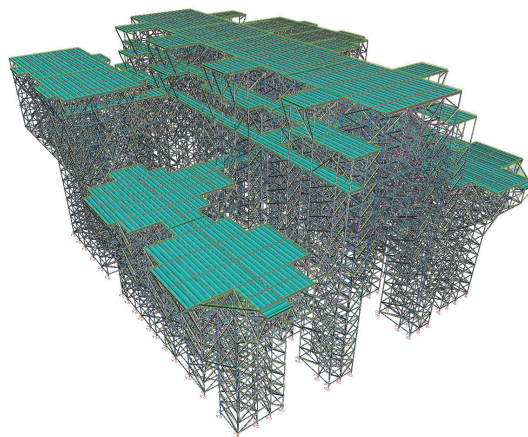
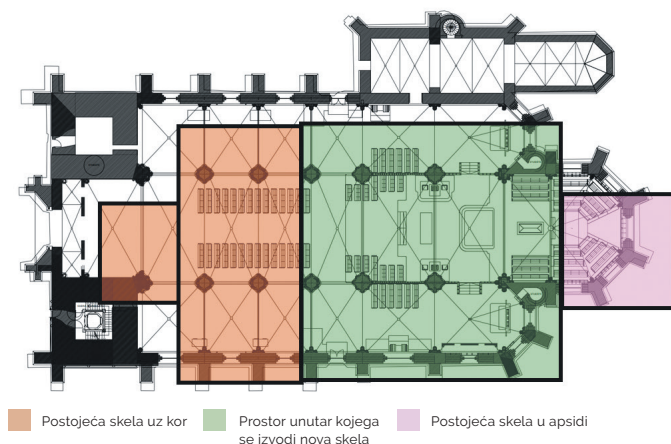
mjerima – prostorno prstenaste skele s konzolom visine od 40 metara.

Konstrukcija unutarnje skele (slika 1.) služi za izvođenje radova sanacije i ojačanja svodova katedrale koji su oštećeni potresom, ali i za podupiranje postojećih svodova dok se navedeni radovi ne završe.

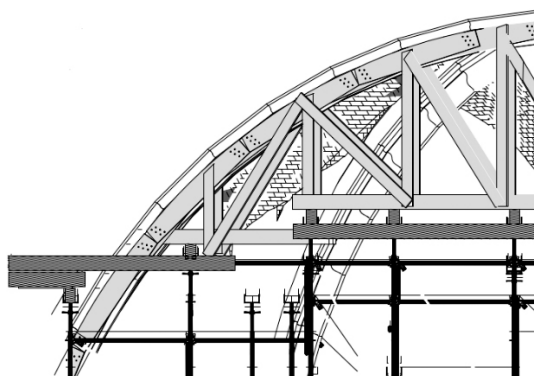
Na radnim platformama izvođe se nosive drvene konstrukcije za podupiranje zidanih svodova katedrale (remenati) (slika 2.).

Karakteristični presjek unutarnje skele sa zonama ojačanja i pogled na središnji dio u završnoj fazi montaže prikazan je na slici 3.

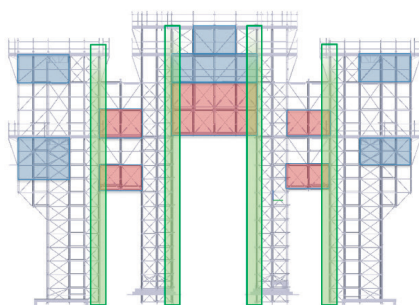
Slika 1. Konstrukcija unutarnje skele (tlocrtni položaj i 3D model)



Slika 2. Radna platforma ispod svodova i drvena konstrukcija (remenati) za podupiranje zidanih svodova



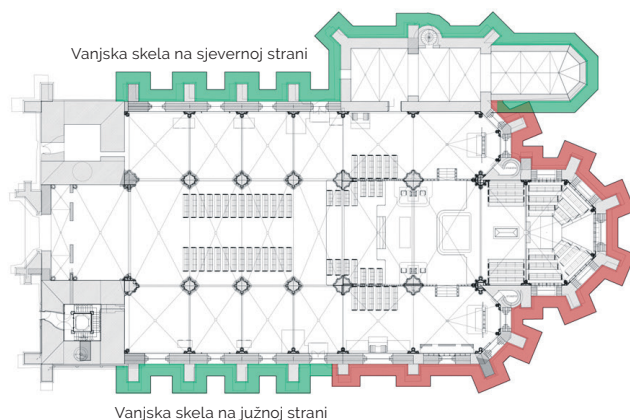
Slika 3. Presjek unutarnje skele sa zonama ojačanja i pogled na središnji dio u završnoj fazi montaže (projektant skela D. Skejić s najužim suradnicima I. Čudinom i A. Valčićem)



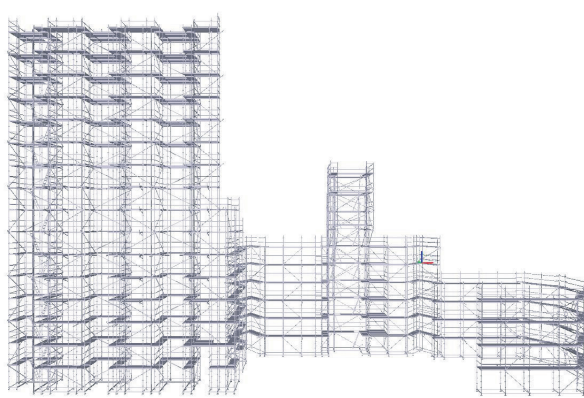
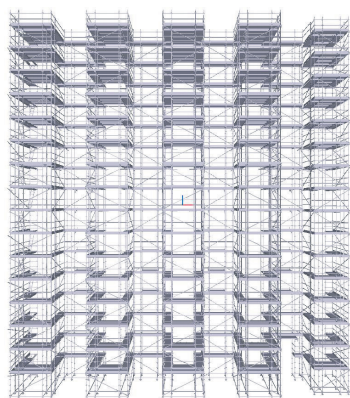
Iako je netom nakon potresa 22. ožujka 2020. postavljena skela na istočnom dijelu vanjskih zidova katedrale, zbog radova, pregleda, obnove i ojačanja kontrafora pokazala se potreba za novim skelama (slike 4. i 5.).

Konstrukcija vanjske modularne skele sastoji se od 16 etaža, svaka visine 2,0 metra. Ukupna duljina južne skele iznosi 29,5 metara, a sjeverna je skela razvedene duljine od približno 86 metara.

Slika 4. Konstrukcija i pozicija vanjske skele (crvenom bojom označen je položaj postojeće skele; zelenom bojom označen je položaj nove skele)



Slika 5. Nove skele na južnoj i sjevernoj strani katedrale (modeli i izvedeno stanje)



Zapadna skela obuhvaća dvije neovisne višesmjernje modularne konstrukcije skela i platformi koje su smještene u zoni tornjeva katedrale. Čelične platforme, na koje se oslanjaju toranjske skele južnoga i sjevernoga tornja katedrale, prostorne su rešetkaste konstrukcije (slika 6.).

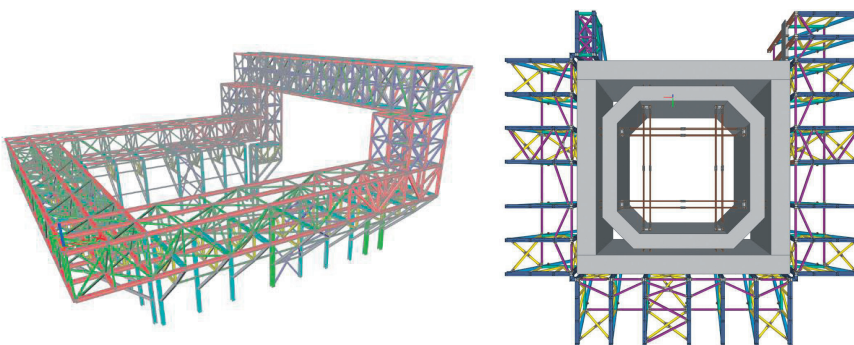
Platforme se nalaze na visini od +36,75 do +46,00 metara. Prijenos horizontalnih reakcija, koje su iznimno velike zbog konzolnoga sustava toranjskih skela, odvija se na spoju stupa sa zidom katedrale u dva reda oslonaca postavljenih na stupovima.

Na gornjem redu oslonaca šest se konzolnih okvira sidre i vlačno u zidove katedrale na način da su na tim mjestima rupe za navojne šipke izbušene kroz cijelu debljinu tornja katedrale (oba nasuprotna zida debljine po 2,5 m svaki).

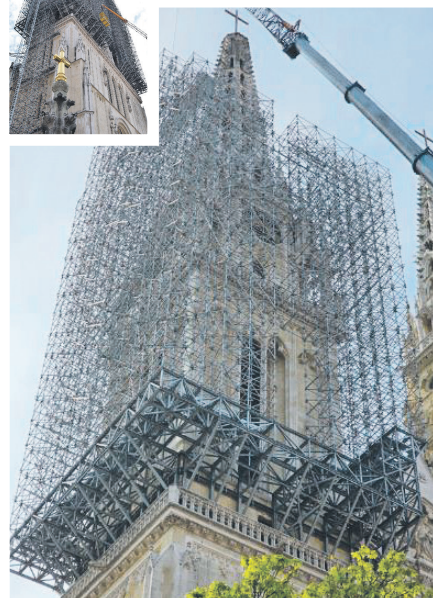
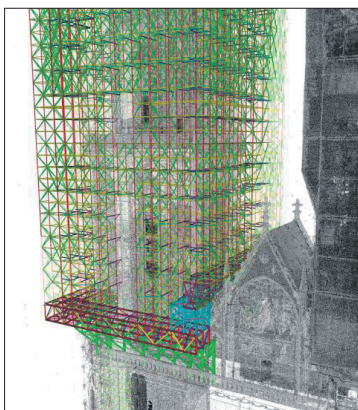
S unutarnje strane zidova izvode se sidrene čelične oslonjačke ploče, a šipke koje vire iz tih detalja nastavljaju se unutar tornja i tako tvore mrežu prednapetih zatega (slika 6.).

Na slici 7. prikazana je zapadna (toranjska) skela kroz faze: od modela do izvedbe. Unikatni detalj platforme, kutni priključak sidrenoga prstena u fazi izrade, prikazuje kompleksnost čelične konstrukcije na koju se oslanja toranjska skela.

Slika 6. Model čelične platforme i presjek u razini vlačnih zatega koje prolaze kroz toranj i na taj način zatežu nasuprotne strane platforme



Slika 7. Zapadna (toranjska) skela – od modela do izvedbe



Obnova zagrebačke katedrale vrhunski je primjer kako akademska zajednica može odgovoriti na veliki nacionalni izazov. Uloga Građevinskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, predvođena profesorom Stjepanom Lakušićem, zajedno s ključnim stručnjacima kao što su profesori Damir Lazarević, Josip Atalić i Davor Skejić, pokazala je da hrvatska inženjerska struka može riješiti i najsloženije zadatke. Njihov visokostručni doprinos osigurava da će zagrebačka prvostolnica, simbol ne samo grada nego i cijele Hrvatske, ponovno moći služiti budućim naraštajima. ///