

*Slika 1. Pogled na južni toranj neposredno nakon potresa
(foto: D. Foretić, ožujak 2020.)*



Damir Foretić
Zagreb

ZAGREBAČKA KATEDRALA PET GODINA NAKON POTRESA

Pet godina poslije potresa koji je pogodio Zagreb i okolice, zanimanje za obnovu zagrebačke katedrale ne jenjava, zajedno s brojnim pitanjima o urušavanju i o radovima. Pola je desetljeća već prošlo od početnog šoka kada se na magnitudi od 5,5 po Richteru gotovo u jednom komadu srušio vrh južnoga tornja, u ukupnoj visini od 13,5 metara, i od naknadnog kontroliranog uklonjanja (miniranja) dijela sjevernog tornja. Odgovor je jasan: puno toga na građevini neće ostati isto, posebno kada su u pitanju međusobne veze kamenih elemenata.

U odnosu na izvorni nacrt H. Bollea, na južnom je zvoniku izvedeno drukčije rješenje koje smo otkrili tek nakon uvida u ostatke njegovih kamenih elemenata. U prvom dijelu ovoga prikaza izložit ćemo povijesne nacрте i odstupanja od njih – koja su uvelike i doprinijela padu južnog tornja. U drugom dijelu prikazat ćemo razloge naknadne potrebe razgradnje 25 metara na oba tornja. Treći dio rada predčit će tradicionalne veze među pojedinim kamenim elementima nađenima nakon njihova demontiranja.

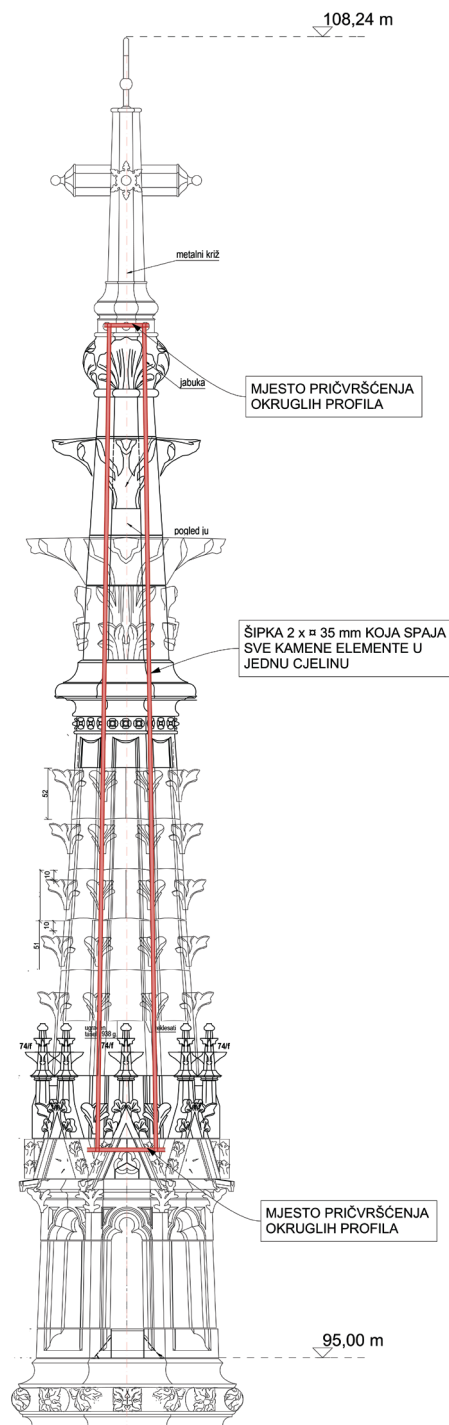
STANJE NEPOSREDNO NAKON POTRESA I ANALIZA POVIJESNIH NACRTA VRHA TORNJEVA



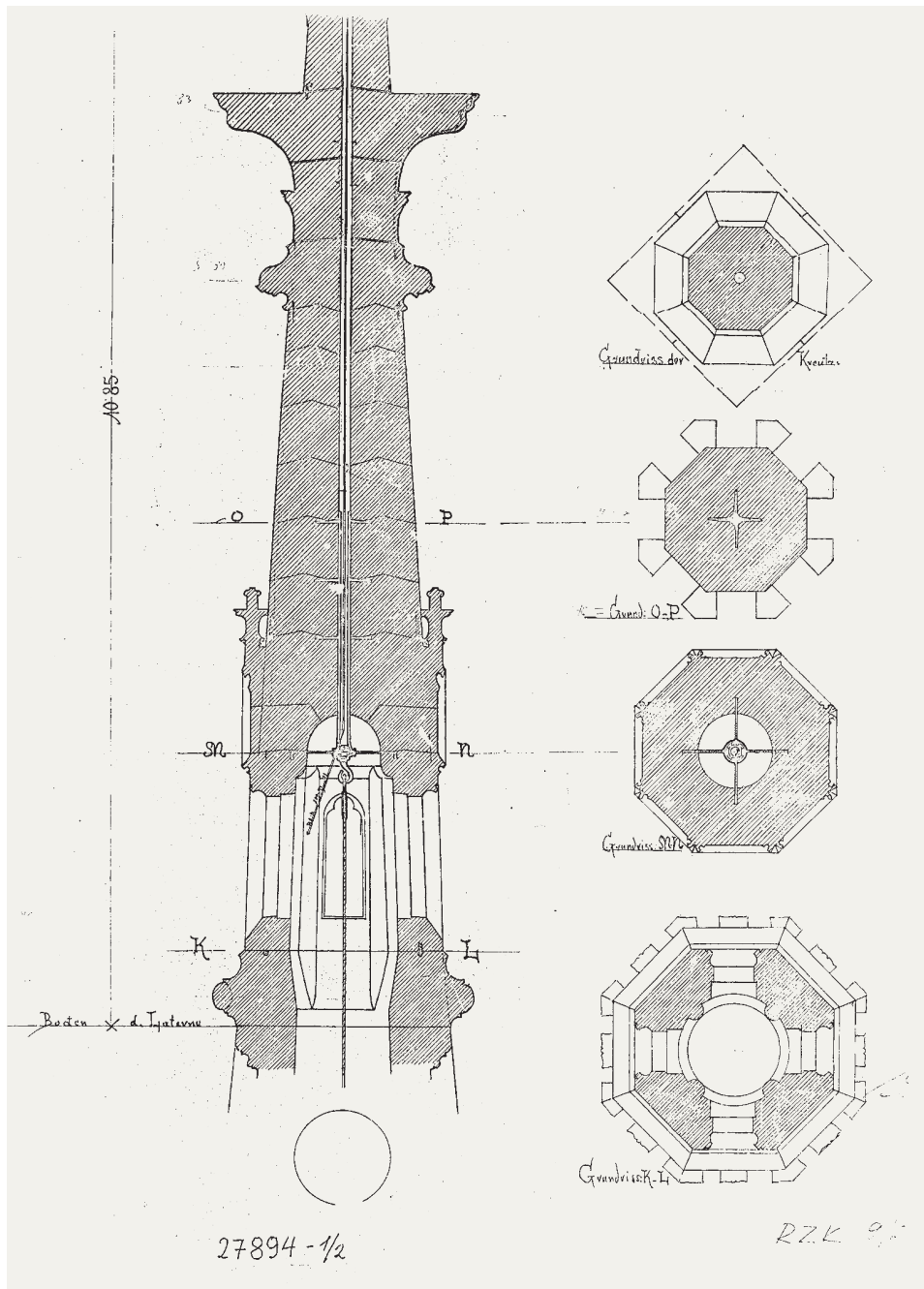
Slika 2. Pogled na mjesto pada vrha južnog tornja u dvorište katedrale
(foto: D. Foretić, 22. ožujka 2020.)



Slika 3. Kontrolirano miniranje 10 m vrha sjevernog tornja (foto: G. Vranić, 17. travnja 2020.)

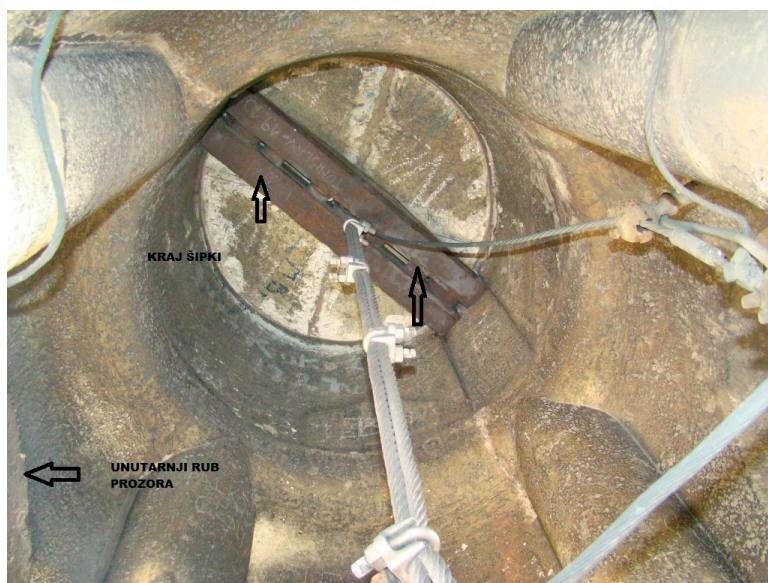


Slika 4. Kako je izveden vrh tornjeva (crtelj: D. Foretić)

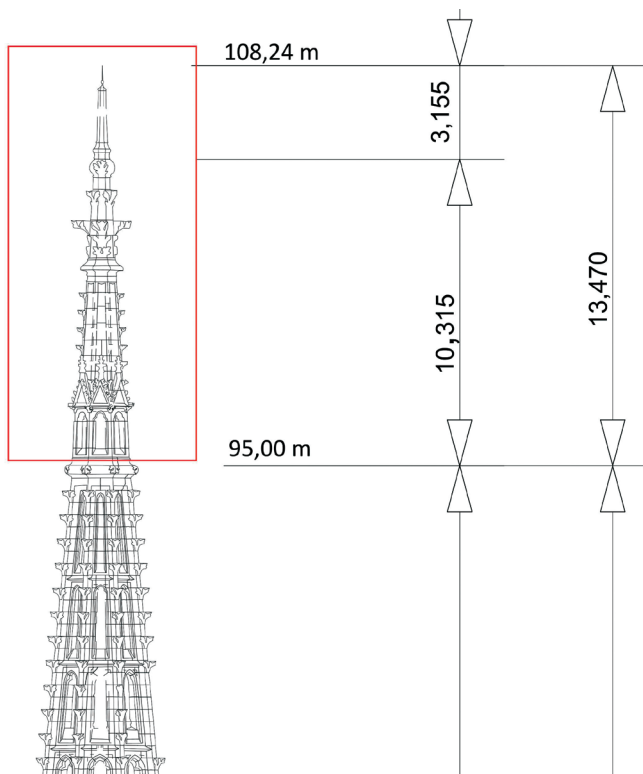


Slika 5. Izvorni nacrt vrha zvonika H. Bolléa (Riznica zagrebačke katedrale n. 69).¹

¹ Na nacrtu se vidi planirani međusobni način sidrenja kamenih elemenata u visini lanterne do križa. Željezo upredeno uže trebalo je prolaziti slobodno do kamene jabuke, a protutupeg je bila kugla napunjena olovom na koti od 55 metara.



Slika 6. Mjesto gdje se vidi završetak – sidro – dviju šipki i mjesto na kojemu visi protuuteg (foto: D. Foretić, 2008.)



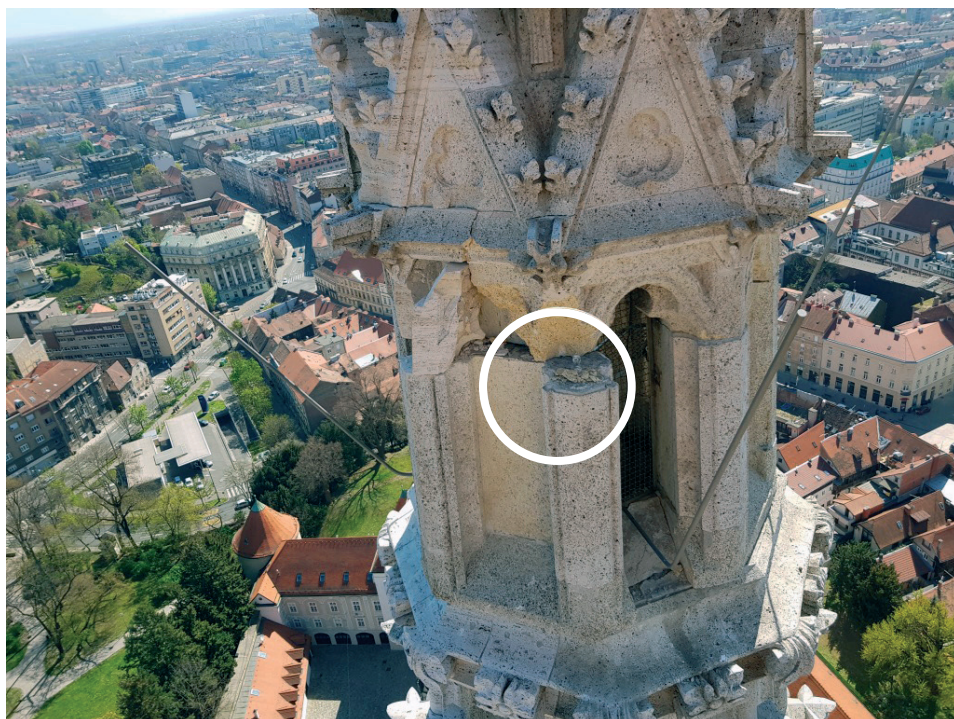
Slika 7. Visine zvonika u odnosu na teren ispred katedrale i vrh zvonika koji se demontirao (crtež: D. Foretić)



Slika 8. Ostatak vrha južnog zvonika gdje se vide željezni profili \square 35 mm (foto: D. Foretić, 23. ožujka 2020.)



Slika 9. Ostaci kamenih elemenata južnog tornja (foto: D. Foretić, svibanj 2020.)

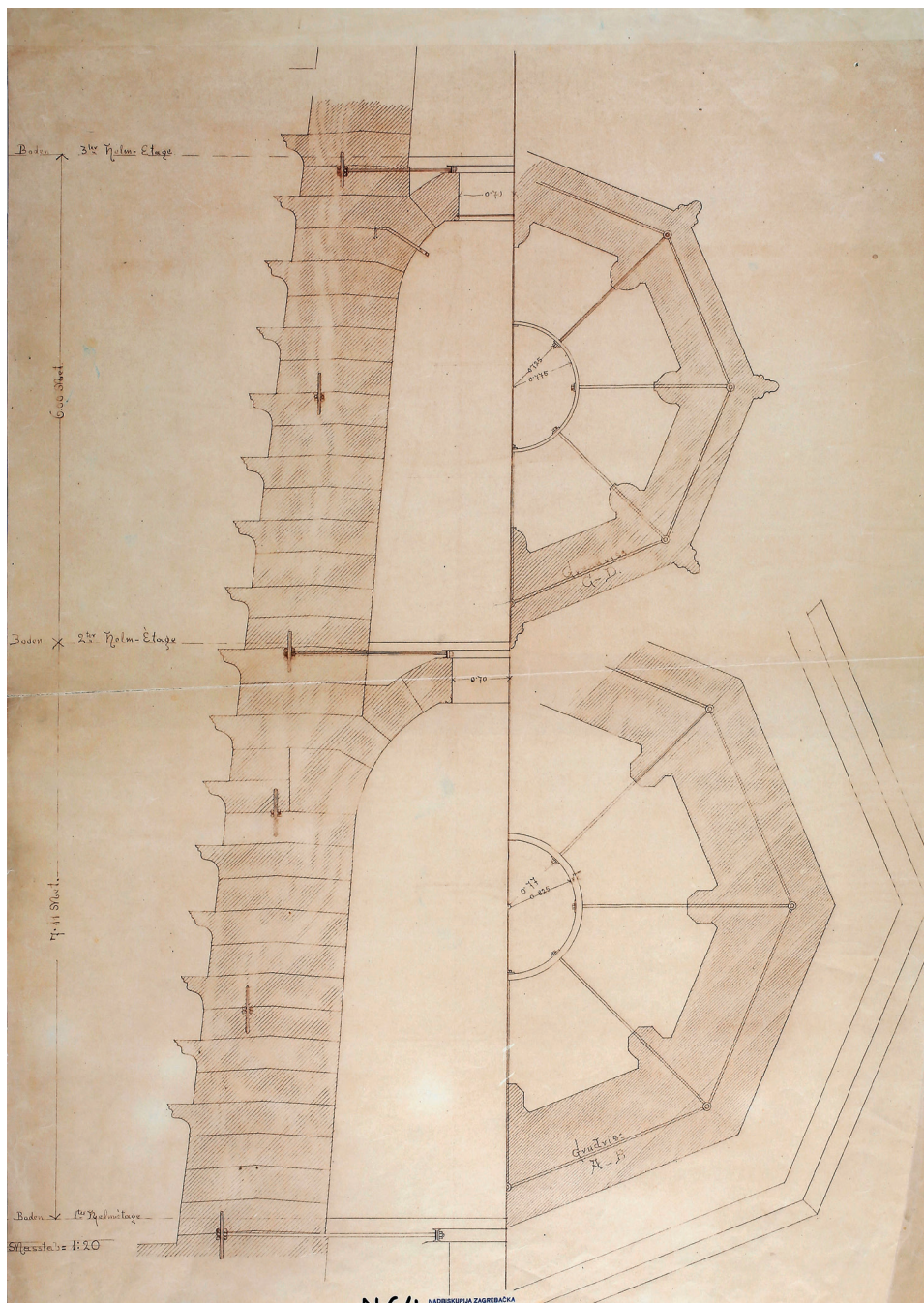


Slika 10. Sjeverni toranj nakon potresa u ožujku 2020. Na lanterni se vidi lom na mjestu trnova i torzija cijelog dijela tornja od 95-108 cm (foto: N. Ninac, ožujak 2020.)



Slika 11. Probni uzorci travertina – nalijevanje inoks-sidara olovom. Kameni elementi ispitani su na IGH² i pokazali su zadovoljavajuće rezultate na izvlačenje sidara, a druga se ispitivanja u to vrijeme nisu obavljala

² Institut IGH, d.d., Zavod za materijale i konstrukcije, Laboratorij za materijale 72530, Zagreb, Janka Rakuše 1; Izvještaj o ispitivanju br. 72530-PI/071/17; Datum izvještaja: 2016-07-03.



Slika 12. Izvorni nacrt veza zvonika H. Bolléa (Riznica zagrebačke katedrale, n. 64)



Slika 13. Originalni trnovi i prstenovi južnog tornja (foto: D. Foretić, 2012.)³

³ Snimljeno prilikom obnove kamene plastike južnog tornja.

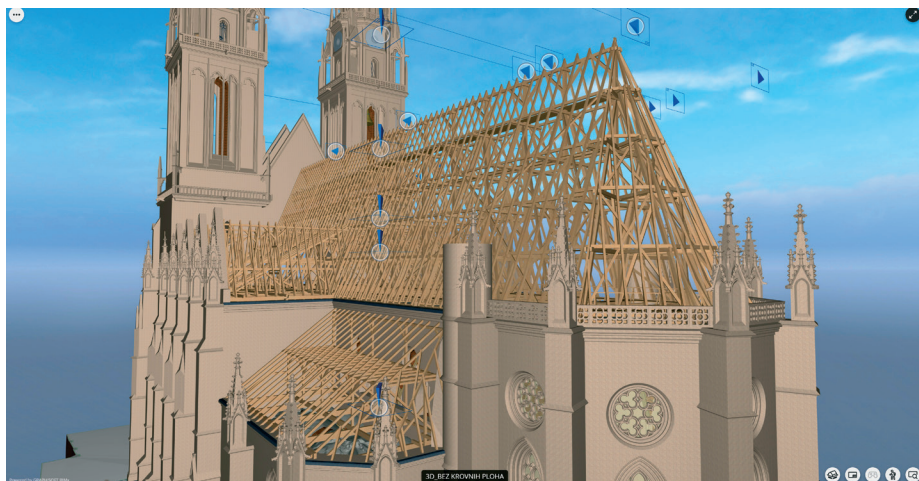


Slika 14. i 15. (dolje) Sidrenja inoks-sidrima \square 12 mm koja su zalijevana olovom (foto: D. Foretić)⁴

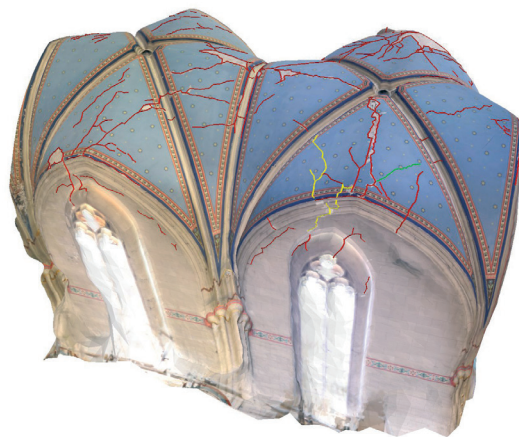
⁴ Snimljeno prilikom obnove kamene plastike južnog tornja 2018. godine

PROJEKTIRANJE NAKON POTRESA

Zbog znatnih oštećenja na tornjevima i na nižim dijelovima zidova katedrale, projektantski je tim krajem 2021. godine krenuo u opsežan posao na čelu s Građevinskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu.⁵ Projektni zadatak bio je podijeljen u određene faze: projektiranje i izrada BIM-modela postojećeg stanja, zatim pregled i izrada elaborata postojećeg stanja s evidentiranim svim oštećenjima, te projekt hitnih mjera za ojačanje svodova katedrale. Prema opsežnim analizama i statičkim modelima katedrale, pokazala se potreba razgradnje još ukupno 25 m visine obaju tornjeva, što je do sada i završeno.

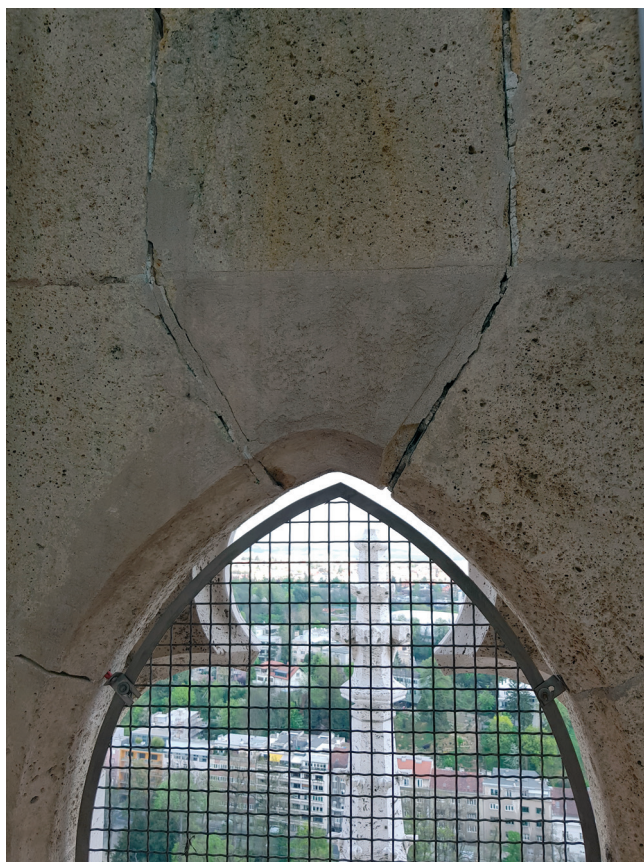


Slika 16. BIM-model postojećeg stanja (model krovišta katedrale izradio I. Foretić prema skenu 2021.)



Slika 17. Evidentiranje i ucrtavanje puknuća na svodovima katedrale (projektjni tim Foretić i sinovi d.o.o.)

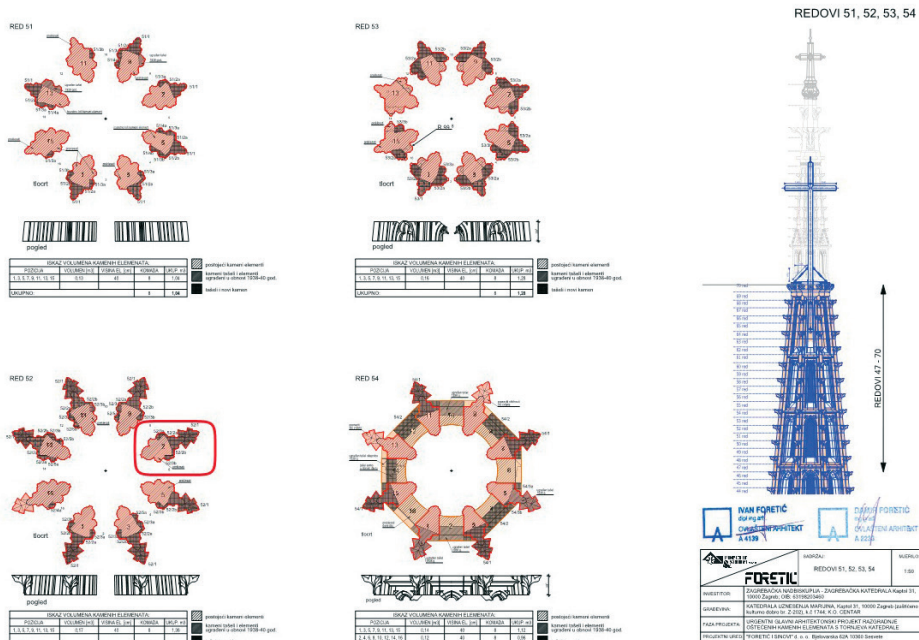
⁵ Uz fakultet, projektantski tim čine tvrtke: TODING d.o.o.; STUDIO ARHING d.o.o. i FORETIĆ I SINOVI d.o.o.



*Slika 18. Oštećenja zidova zvonika gdje se vidi da je došlo do odvajanja kamenih elemenata
(Foto: D. Foretić, 2020.)*



Slika 19. Postojeća olovna veza između kamenih elemenata na gornjoj poziciji (foto: D. Foretić)



Slika 20. Nacrti razgradnje tornjeva prema projektu urgentnih mjera (2022. – 2024.)

Analizom niza parametara iz više znanosti jasno se potvrđuju uzroci velikih oštećenja, a valja naglasiti i da geografski položaj zagrebačke katedrale kao visoke neogotičke građevine nimalo nije povoljan. Po svom je položaju jedinstvena u svijetu i izgrađena je kako je u Elaboratu napisano:

Katedrala se nalazi – u razmjerima udaljenosti kada je o potresima riječ – blizu (nešto preko petnaest kilometara od) dvaju aktivnih rasjeda: Sjeverno rubnoga medvedničkog i Kašinskoga, ... S obzirom na razmjerno malu udaljenost lokacije Katedrale od NMBF i KF podrazumijeva se veliki utjecaj potresa bliskih rasjedu.⁶

Prilikom jakih potresa elementi ziđa (kamen, odnosno opeka i mort) međusobno se odvajaju, zaokreću, proklizavaju, pucaju, drobe se i slično, odnosno nije zadovoljavajuća aproksimacija o zajedničkim pomacima čvorova modela (i kutova zaokreta ako su definirani), osim donekle u modelu drvenoga krovišta. Ništa nije bolje ponašanje elemenata sastavljenih od komada kamena spojenih kratkim željeznim ili kamenim trnovima i klamfama zalivenima olovom.⁷

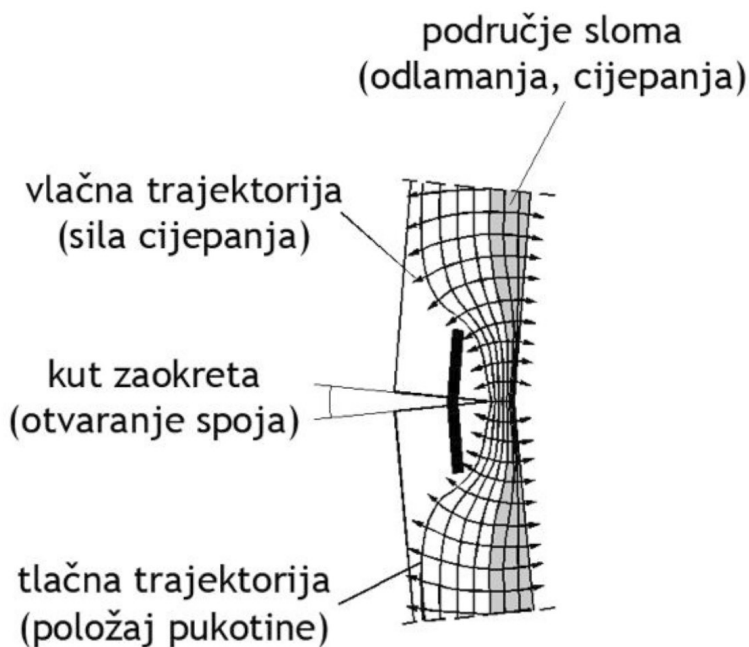
⁶ Preliminarni elaborat ocjene postojećeg stanja; Projekt konstrukcijske obnove: Dio 17 ZOP: kat. S130-18\17 IOP: AJ:112-223/02/2021 (Mapa 01), siječanj 2022., stranica 35 (AUTOR KONCEPTA KONSTRUKCIJSKE OBNOVE: dr. sc. Damir Lazarević, dipl. ing. građ.).

⁷ Preliminarni elaborat ocjene postojećeg stanja; Projekt konstrukcijske obnove: Dio 17 ZOP: kat. S130-18\17 IOP: AJ:112-223/02/2021 (Mapa 01), siječanj 2022., stranica 34 (AUTOR KONCEPTA KONSTRUKCIJSKE OBNOVE: dr. sc. Damir Lazarević, dipl. ing. građ.).

Čitajući dalje spomenuti elaborat, nalazimo i uzroke pucanja i pomicanja pojedinih elemenata, napose na zidovima tornjeva.

Zbog male vlastite težine tlačna sila pri vrhu tornjeva nije dovoljna. Zato se već pri manjemu horizontalnom opterećenju spojevi pri vrhu odvajaju (otvaraju i lome), jer rezultanta pada izvan jezgre. Aktivira se mala nosivost na savijanje, odnosno slaba rotacijska opruga, što je put prema tvorbi zglobova i mehanizmu unutar rešetke. Zašto je opruga tako slaba?

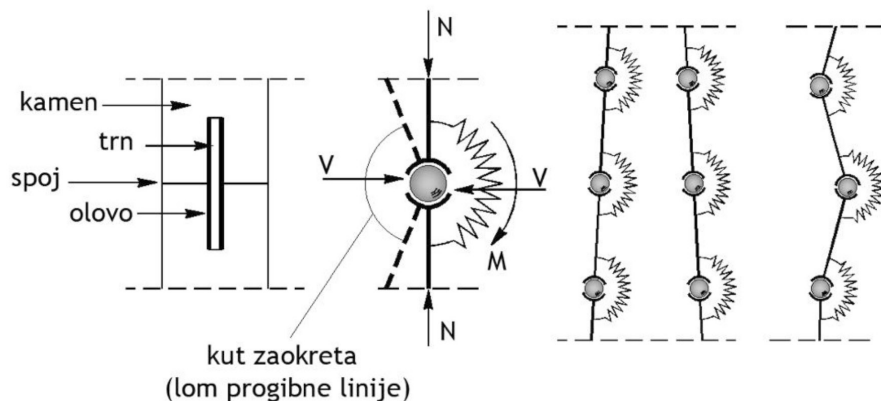
Otvaranjem spoja nastaju lom progibne linije rebra, relativni kut zaokreta među kamenim elementima i nalijeganje preko vrlo male tlačne površine na rubu kamena koja uzrokuje veliku koncentraciju naprezanja. Dolazi do rubnoga drobljenja rebra zbog prekoračenja tlačne čvrstoće kamena u tako maloj tlačnoj zoni i/ili lomljenja, „kalanja“ kamena radi pojave jako zakrivljenih vlačnih trajektorija, odnosno sila cijepanja.⁸



Slika 21. Cijepanje kamena u području spoja: a) tijekom trajektorija naprezanja (kut zaokreta je karikiran)⁹

⁸ Preliminarni elaborat ocjene postojećeg stanja; Projekt konstrukcijske obnove: Dio 17 ZOP: kat. S130-18\17 IOP: AJ:112-223/02/2021 (Mapa 01), siječanj 2022., stranica 41 (AUTOR KONCEPTA KONSTRUKCIJSKE OBNOVE: dr. sc. Damir Lazarević, dipl. ing. građ.).

⁹ Preliminarni elaborat ocjene postojećeg stanja; Projekt konstrukcijske obnove: Dio 17 ZOP: kat. S130-18\17 IOP: AJ:112-223/02/2021 (Mapa 01), siječanj 2022., stranica 41 (AUTOR KONCEPTA KONSTRUKCIJSKE OBNOVE: dr. sc. Damir Lazarević, dipl. ing. građ.).



Slika 22. Uz pojašnjenje naziva „kamena rešetka“: a) skica spajanja kamenih elemenata, b) fizička interpretacija spoja, c) štampni model rebara rešetke, d) oblik progibne linije modela rebara (karikirano)¹⁰

Sve spoznaje, svi proračuni i statički modeli ukazuju na to da je katedralu potrebno dodatno učvrstiti i ojačati u svim segmentima, a pri tome ne izgubiti ništa od njezina izgleda kakav smo poznavali prije potresa.



Slika 23. Katedrala, tlocrt krova – fotogrametrija (izradio Geodetski fakultet u Zagrebu)

¹⁰ Preliminarni elaborat ocjene postojećeg stanja; Projekt konstrukcijske obnove: Dio 17 ZOP: kat. S130-18\17 IOP: AJ:112-223/02/2021 (Mapa 01), siječanj 2022., stranica 39 (AUTOR KONCEPTA KONSTRUKCIJSKE OBNOVE: dr. sc. Damir Lazarević, dipl. ing. grad.).

TRADICIONALNE SPONE KAMENIH ELEMENATA NA ZAGREBAČKOJ KATEDRALI (KOJUNI)

Budući da se planira izgradnja gornjih dijelova novim statičkim sistemom, tradicionalne spone – veze, kameni kojuni, onako kako ih iz tradicije graditeljstva i klesarstva znamo, postat će dio povijesti. Ovdje će se ukratko pokazati neki od njih, a snimljeni su prilikom demontaže kamenih elemenata s tornjeva katedrale.



Slika 24. Demontirani vrhovi baldahina u jednom komadu s jednog od sjevernih kontrafora (foto: D. Foretić, 2022.)



Slika 25. Kameni kojun kao protuklizni element spoja dvaju redova (foto: D. Foretić, 2023.)



Slika 26. Detalj metalnog vertikalnog sidra zalivena olovom (foto: D. Foretić, 2025.)



Slika 27. Detalj metalnog sidra u tlocrtu (foto: D. Foretić, 2025.)



*Slika 28. Dio horizontalne spone dvaju kamenih elemenata, sve zaliveno olovom
(foto: D. Foretić, 2025.)*



Slika 29. Raspored trnova unutar jednog kamenog profila na mjestu otvora. Vide se tri metalna kratka trna i kameni kojun (foto: D. Foretić, 2025.)



Slika 30. Vidi se način sidrenja kamenih elemenata na mjestu vrha južnog kamenog stubišta. Željezne sponje zalivene su olovom, a kroz sredinu prolazi okrugli profil na čijem je kraju visio protutupeg (foto: D. Foretić, 2021.)

Prema Projektu konstrukcijske obnove koji je u završnoj fazi izrade, tornjevi zagrebačke katedrale ponovno će se izgraditi u istoj visini i izgledu, dobit će novu jezgru i uspostaviti će se sasvim novi konstruktivni način obnove. Katedrala bi trebala biti sigurna od mogućih budućih potresa najjačeg intenziteta koji se predviđaju za zonu Zagreba.