HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI

UDK 62
DOI 10.21857/m3v76t130y

ISSN 2991-8502 (Online)
ISSN 1331-6818 (Tisak)

B I L T E N

RAZREDA ZA TEHNIČKE ZNANOSTI

Broj 1, 2025.

Godište XVIII.



Zagreb, 2025.

Nakladnik
HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI

Za nakladnika
Akademik Dario Vretenar, glavni tajnik

Glavni i odgovorni urednik
Akademik Sven Lončarić

Grafička urednica
Nina Ivanović

Adresa Uredništva
RAZRED ZA TEHNIČKE ZNANOSTI
10000 Zagreb, Trg Nikole Šubića Zrinskog 11

Elektroničko izdanje
Učestalost izlaženja: dva puta godišnje

Znanstveni skup

POTRESNO INŽENJERSTVO OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA

Razred za tehničke znanosti
i
Hrvatski centar za potresno inženjerstvo

Organizacijski odbor:
Ivo Senjanović, Jurica Sorić, Ignac Lovrek, Josip Atalić

Zagreb, 9. svibnja 2025.

PREDGOVOR

Razred za tehničke znanosti Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti, od svoga osnutka 1997. godine, samostalno ili u suradnji s drugim institucijama, organizira pozvana predavanja istaknutih znanstvenika s područja tehničkih znanosti, okrugle stolove i znanstvene skupove o aktualnim temama u cilju upoznavanja šire javnosti o znanstvenim postignućima, te transferu i primjeni novih tehnologija u Hrvatskoj.

Slijedom navedenog, dana 9. svibnja 2025. godine održan je znanstveni skup pod nazivom **Potresno inženjerstvo – oštećenja i konstrukcijska obnova građevina**, u organizaciji Razreda za tehničke znanosti i Hrvatskog centra za potresno inženjerstvo. Ova tema postala je vrlo aktualna u Hrvatskoj nakon razornih potresa koji su pogodili Zagreb 23. ožujka 2020. i Petrinju 29. prosinca 2020.godine. Namjera Organizacijskog odbora je bila da se nizom odabranih predavanja dade uvid u ovu zanimljivu problematiku.

Skup su otvorili akademik Ignac Lovrek, tajnik Razreda za tehničke znanosti, i prof. dr. sc. Josip Atalić, voditelj Hrvatskog centra za potresno inženjerstvo. Podnijeto je šest izlaganja istaknutih znanstvenika s područja seizmologije, građevinarstva, arhitekture i brodogradnje i to u dva bloka kojima su predsjedali prof. dr. sc. Josip Atalić i akademik Jurica Sorić. Predstavljeni su: Najvažniji potresi u Hrvatskoj i svijetu; Prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi nakon potresa; Načini konstrukcijske obnove građevina; Konstrukcijska obnova Zagrebačke katedrale (kao najsloženiji pothvat); Obnova zgrada Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu; Prolazna opterećenja i odzivi konstrukcija. Nakon razmatranja ove zanimljive problematike razvila se plodna rasprava usmjerena na zakonsku regulativu.

U ovom broju BILTENA Razreda za tehničke znanosti prikazane su prezentacije održanih predavanja s pripadnim sažecima i kratkim životopisima predavača. Također je ukratko predstavljen Hrvatski centar za potresno inženjerstvo kao krovna organizacija, koja okuplja sve bitne sudionike u obnovi razrušenih područja. Svrha ovako koncipiranog BILTENA je ostaviti pisani trag o održanim znanstvenim skupovima kao podsjetnik na aktualne probleme i poduzete korake za njihovo rješenje u određenom vremenskom razdoblju.

Na kraju zahvaljujemo svim predavačima koji su svojim zanimljivim prezentacijama uvelike doprinijeli uspješnosti znanstvenoga skupa. Također zahvaljujemo glavnom tajniku Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti akademiku Dariju Vretenaru koji je podržao organizaciju skupa. Veliku zahvalnost dugujemo voditelju Hrvatskog centra za potresno inženjerstvo prof. dr. sc. Josipu Ataliću koji nam je mnogo pomogao pri izboru predavača i tema predavanja. Posebno smo zahvalni gospođi Kim Sombolac koja nam je pomagala pri organizaciji ovoga znanstvenog skupa.

Organizacijski odbor

SADRŽAJ

Ivo Senjanović, Jurica Sorić
Uvod u razmatranu potresnu problematiku.....9

Prezentacije predavanja

Josip Atalić:
Kratki osvrt na organizaciju i rad Hrvatskog centra za potresno inženjerstvo 13

Marijan Herak:
Najvažniji potresi u Hrvatskoj i svijetu - uzroci i posljedice..... 25

Helena Jelić, Iva Hudan, Dominik Skokandić:
Obnova nakon potresa - prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi 43

Josip Atalić, Marija Demšić:
Načini konstrukcijske obnove građevina..... 61

Damir Lazarević, Mario Todorić, Juraj Pojatina, Petra Gidak, Josip Atalić:
Konstrukcijska obnova Zagrebačke katedrale 79

Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovšćak:
Obnova zgrada Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu.....125

Nikola Vladimir, Ivo Senjanović:
Prolazna opterećenja i odzivi konstrukcija 161

DOI 10.21857/mzvkptood9

Ivo Senjanović, Jurica Sorić

UVOD U RAZMATRANU POTRESNU PROBLEMATIKU

Poznato je da su potresi u Zagrebu i na Banovini koji su se dogodili 2020. godine uvelike obilježili život i radne uvjete velikog broja naših sugrađana. Stoga su uzroci nastajanja potresa, njihove razorne posljedice i konstrukcijska protupotresna obnova aktualne i zanimljive teme, kako za znanstvenu i stručnu zajednicu, tako i za širu javnost.

U Hrvatskoj su potresi relativno česta pojava, osobito u seizmički aktivnim područjima poput Dalmacije, dijela sjeverozapadne Hrvatske i riječkog zaleđa. Posljedica su međudjelovanja Jadranke mikroploče i Euroazijske ploče. Najjači poznati potres u Hrvatskoj do danas je dubrovački potres magnitude oko 7 po Richterovoj ljestvici koji se dogodio 6. travnja 1667. i gotovo je uništio grad Dubrovnik, pri čemu je poginulo oko 2000 ljudi. Veliki je zagrebački potres magnitude 6,1 koji se dogodio 9. studenoga 1880. Brojne zgrade bile su razorene i oštećene, a troje ljudi je poginulo. Nakon toga potresa došlo je do sveobuhvatne obnove i modernizacije donjega grada. Pritom je veliki doprinos dao glavni gradski inženjer Milan Lenuzi po kojem je poznata zelena Lenuzijeva potkova. U siječnju 1962. bio je jaki potres magnitude 5,9 na području Makarske koji je uzrokovao velike štete, naročito u podbiokovskim selima, gdje je usmrtio dvoje ljudi. Na novu građevinsku regulativu, a osobito na uvođenje novih protupotresnih normi u bivšoj državi, pa tako i u Hrvatskoj, od velikog utjecaja je bio razorni skopski potres magnitude 6,1, koji se dogodio 26. srpnja 1963. Tada je poginulo 1070 ljudi, a oko 200 000 je ostalo bez krova. Velika oštećenja na širom području Dubrovnika bila su uslijed crnogorskog potresa koji se dogodio 15. travnja 1979. Taj potres je imao magnitudu 6,9, a epicentar je bio u okolici Ulcinja i bilo je 136 poginulih. Zagrebački potres magnitude 5,5 i petrinjski čija je magnituda bila 6,2, koji su se dogodili 2020. godine i još uvijek su u našem svježem sjećanju, snažno su osvijestili potresnu opasnost i ugroženost u našem okruženju. To su prva dva značajna hrvatska potresa za koje je nedvojbeno utvrđen uzročni rasjed. Potaknuli su obnovu seizmografske mreže, te dali novi zamah hrvatskoj seizmologiji i protupotresnoj gradnji.

Razred za tehničke znanosti Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti, i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo organizirali su znanstveni skup „Potresno

inženjerstvo - oštećenja i konstrukcijska obnova građevina“ na kojem su razmatrani uzroci potresa i načini sanacije građevina. Znanstveni skup je održan u Knjižnici Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti 9. svibnja 2025. i okupio je znanstvenike i stručnjake iz područja seizmologije, građevinarstva i arhitekture, a pridružili su se i znanstvenici iz područja brodogradnje. Održano je 6 pozvanih predavanja čije su prezentacije prikazane u ovom BILTENU. Poredane su redoslijedom kojim su predavanja izvođena. Sve prezentacije počinju kratkim sažetkom predavanja i životopisima predavača.

Na samom početku je dan kratki prikaz Hrvatskog centra za potresno inženjerstvo. Nakon toga slijedi prezentacija pod naslovom: „Najvažniji potresi u Hrvatskoj i svijetu- uzroci i posljedice“. Tu su razmatrani uzroci potresa i dan je prikaz najvećih svjetskih potresa s posebnim osvrtom na potrese čijom analizom je došlo do značajnih znanstvenih doprinosa. Tu je posebno istaknut doprinos našega akademika Andrije Mohorovičića koji je bio utemeljitelj suvremene hrvatske seizmologije i među prvim zagovornicima protupotresne gradnje. Opisani su važni potresi u Hrvatskoj i okolici i dan je prikaz karte potresne opasnosti s osvrtom na procjenu svojstava buduće potresne trešnje. Druga prezentacija: „Obnova nakon potresa - prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi“ bavi se procjenom štete u zagrebačkom i petrinjskom potresu i obrađuje zakonodavni okvir obnove. Opisuje provedbu obnove i predstavlja novi zakon o obnovi. Definirane su različite razine konstrukcijske obnove. Govori se o konstrukcijskoj obnovi različitih građevina kao što su: obiteljske kuće, višestambene zgrade, zgrade javne namjene i građevine koje su kulturna baština. Iznose se procijenjeni troškovi obnove. U prezentaciji: „Načini konstrukcijske obnove građevina“ opisuju se oštećenja građevina u zagrebačkom i petrinjskom potresu zajedno s različitim pristupima obnovi postojećih građevina. Na primjerima se pokazuju različiti načini ojačanja konstrukcija. Četvrta prezentacija je: „Konstrukcijska obnova Zagrebačke katedrale“. Protupotresna obnova Zagrebačke katedrale je veliki znanstveni i stručni izazov. U prezentaciji su detaljno prikazana oštećenja Katedrale. Izrađen je računalni model za ocjenu postojećeg stanja, na temelju kojega se provode ojačanja konstrukcije. Prikazani su načini ojačanja. Pritom je potrebno očuvati izvorni izgled i povijesnu vrijednost Katedrale, a istovremeno osigurati njenu dugoročnu stabilnost i sigurnost. U prezentaciji: „Obnova zgrada Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti u Zagrebu“ prikazuje se obnova osam zgrada u vlasništvu Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti. Sve zgrade su unutar zaštićene urbanističke povijesne cjeline, a sedam je pojedinačno zaštićeno kulturno dobro. Prikazani se elementi konstrukcijske obnove u svim zgradama zajedno s restauratorskim radovi-

ma te tehnološko osuvremenjivanje i energijska obnova. Bilo je potrebno uskladiti zahtjeve konstrukcijske obnove s konzervatorskim uvjetima. Zadnja, a ne i manje vrijedna prezentacija: „Prolazna opterećenja i odzivi konstrukcija“ odnosi se na proračun čeličnih inženjerskih konstrukcija uslijed dinamičkih opterećenja koja su analogna potresnim opterećenjima. Pritom se razmatraju udaranje pramca broda o nailazeće valove i ponašanje plutajućeg aerodroma uslijed polijetanja i slijetanja zrakoplova. Opisan je također postupak protupotresnog modeliranja diesel generatora u nuklearnim postrojenjima.

DOI 10.21857/mjrl3uoo29

Prezentacija predavanja

KRATKI OSVRT NA ORGANIZACIJU I RAD HRVATSKOG CENTRA ZA POTRESNO INŽENJERSTVO

Prof. dr. sc. Josip Atalić
Voditelj Hrvatskog centra za potresno inženjerstvo

Josip Atalić

KRATKI OSVRT NA ORGANIZACIJU I RAD HRVATSKOG CENTRA ZA POTRESNO INŽENJERSTVO

Razorni potresi u 2020. godini su potvrdili da **potres predstavlja neprihvatljiv rizik za RH** i da je presudno pojačati kapacitete (značajno) i uspostaviti sustav koji će kontinuirano (ne od katastrofe do katastrofe) biti posvećen upravljanju i smanjenju rizika od potresa (na tragu iskustava država ugroženih potresom). Nakon potresa je fokus i odgovornost bila na stručnjacima iz područja potresnoga inženjerstva, koji su odradili niz nužnih/važnih aktivnosti započevši s pregledima oštećenja i uporabljivosti građevina (brzi/inicijalni pregledi), a u nastavku i sigurnosnim geotehničkim pregledima, pregledima za definiranje potreba hitnih uklanjanja i uspostave sigurnih koridora, ali i organizacijom/nadzorom hitne izgradnje nužne infrastrukture. Paralelno se kontinuirano održavala/popunjavala/ažurirala baza podataka o pregledima oštećenja i uporabljivosti građevina (korištena za brojne potrebe), izradili su se priručnici za procese obnove, organizirale su se brojne edukacije inženjera (bilo je nužno podići razinu znanja) i napravljeno je centralno mjesto za okupljanje znanja (internet stranica www.hcpi.hr). Posebice je bila važna obrada baze podataka za dvije prijave za Fond solidarnosti (u suradnji s Svjetskom bankom) što je osiguralo sredstava za početne korake obnove. Skupljeno iskustvo/znanje predstavlja veliki (neprocjenjivi) kapital za vrijeme ispred nas (postavljanje sustava, prijenos znanja na buduće generacije, dijeljenje iskustava drugim državama i slično), a posebice su vrijedni stručnjaci s iskustvom koje je bilo potrebno nekako zadržati u sustavu. Motivirani željom za postavljanjem sveobuhvatne (HCPI) platforme i osiguranjem sustavnog/kontinuiranog napretka, pokrenuli smo procese i napravili prva dva koraka: osnivanje podružnice HCPI na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, a potom i udruge Hrvatski centar za potresno inženjerstvo – Interventna služba (HCPI-IS) kako je bilo uvjetovano postojećim strukturama/sustavima.

Podružnica HCPI na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu okuplja 25 nastavnika (docenata/profesora) iz različitih znanstvenih područja (obuhvaća više Zavoda) i trenutno 5 zaposlenika s ciljem povezivanja i stvaranja novih znanja, nužnih za kontinuirani razvoj u području potresnoga inženjerstva, ali i stvaranje temelja za cjelokupni sustav/platformu što uključuje i prijenos znanja u praktičnu primjenu. Podružnica je **osigurala kontinuitet procesima** koje je Građevinski fakultet, kao glavni izvršitelj na nacionalnoj razini, odrađivao i prije potresa u suradnji s nadležnim ministarstvima (procjene rizika od potresa, procjene sposobnosti/kapaciteta države, brojni projekti, suradnja s interventnim službama i slično). Značaj podružnice se posebice istaknuo u brojnim aktivnostima vezanim za oporavak nakon potresa što uključuje i procese vezane za obnovu. Podružnica je osnovana 2021. godine kao hitna intervencija odnosno refleks na brojne potrebe nakon potresa u Zagrebu. Osnovni cilj je bio **osnaživanje kapaciteta** koji bi podržali sve nužne procese na nacionalnoj razini, uključujući i preventivne radnje za buduće potrese. Općenito, osnovna djelatnost podružnice je znanstvena djelatnost u području potresnoga inženjerstva i ublažavanja rizika od potresa. Dodatno se može istaknuti djelatnost visokog obrazovanja u skladu s novim znanstvenim dostignućima te edukacija inženjera, interventnih postrojbi, državnih službenika i drugih. Od stručnih djelatnosti se mogu istaknuti poslovi vezani za kritičnu infrastrukturu (primjerice Katedrala) i građevine od posebnog državnog interesa (povjerljivi podaci). Razvoj metodologije za seizmičko certificiranje je jedan od motiva formiranja podružnice, kao i kreiranje baze podataka o građevinama te prikupljanje/čuvanje građe, vezane za temu potresnoga inženjerstva, koja je od posebne važnosti za RH. Općenito djelatnosti su definirane prema potrebama na razini države, a u skladu s tim podružnica sudjeluje u razvoju nacionalnih strateških programa vezanih za područje potresnoga inženjerstva. Hrvatski centar za potresno inženjerstvo suorganizator je triju konferencija o potresnom inženjerstvu s međunarodnim sudjelovanjem koje su održane u Zagrebu 2021. i 2023. te u Splitu 2025.godine.

Udruga Hrvatski centar za potresno inženjerstvo – Interventna služba (HCPI-IS) okuplja odnosno osnovali su je gotovo svi ključni dionici u području potresnog inženjerstva - 16 institucija (građevinski fakulteti, PMF, geodetski fakultet, RGN i tehničko veleučilište; građevinska, arhitektonska, geodetska, strojarska i elektrotehnička komora; ostale udruge vezane za potresno inženjerstvo poput HDPG, HIS, HDSVP i UKA) i 24 pojedinca (voditelji/organizatori stanica tijekom potresa – Zagreb, Petrinja, Glina, Sisak i Zagrebačka županija).

Navedeno predstavlja veliki (ultimativni) kapacitet u smislu povezivanja različitih inženjerskih znanja (inženjerska služba) iz svih struka vezanih za potresno inženjerstvo (građevina, arhitektura, seizmologija, geologija, geodezija, strojarstvo, elektrotehnika i slično) te povezivanja svih regija u Hrvatskoj, čime se stvorila podloga za operativna djelovanja inženjera u sustavu civilne zaštite. Od osnivanja udruga se i dalje kontinuirano proširuje sa svim raspoloživim institucijama/stručnjacima u cijeloj RH, a područje djelovanja je izrazito široko – mogu se istaknuti edukacije na svim razinama (i u svim oblicima), suradnje s ministarstvima na procesima obnove (baza podataka, pregledi projekata obnove, dodatni pregledi i još mnogo toga), suradnje s interventnim službama (međunarodne misije, intervencije nakon potresa, vježbe i slično) i drugo odnosno sve što se tiče potresnoga inženjerstva ili primjene inženjerskih znanja u slučaju katastrofa.


HCPI
Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
CCEE


Potresi u 2020. godini
Zagreb
Petrinja
7. prijedloga / inicijativa ?!?

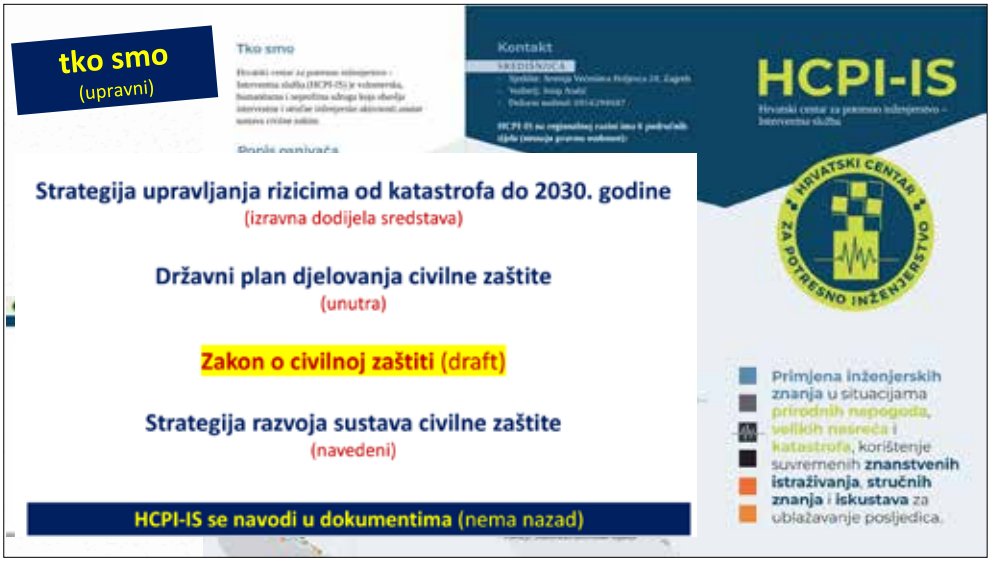

Potresi u 2020. godini
GFZG
(HCPI)
GRAFOS
okupili se na hrvatski način ...
35 volontera u HCPI stožeru
Petrinja/Sisak / Glina
GRADRI
brojni sponzori i podupiratelji
Dubrovnik
➢ 1700 inženjera na terenu
(iz cijele Hrvatske)
FGAG
Nacionalni stožer
(koordinacija / zaštita / jakne / ugovori / gorivo, ...)


Potresi u 2020. godini
tko su ti ''statičari'' ?!?
(prepoznati/identificirani)
zapeli u povijesti s imenom?
niz struka
popularno biti ''statičar'' (ponos)
''tješitelji''
...
katastrofičar
(žena)


HCPI
Petrinja
(1700)
Primjena inženjerskih znanja u situacijama prirodnih nepogoda, velikih nesreća i katastrofa, korištenje suvremenih znanstvenih istraživanja, stručnih znanja i iskustava za ublažavanje posljedica.
HCPI
Obliti privatorum publica curate
HCPI
Obliti privatorum publica curate
Zagreb
(450)
nismo savršeni
(napraviti nešto dobro ...)
jedino zajedno
(svi dionici, ...)


RH
www.hcpi.hr
EU
Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
(platforma)
Regija
Struktur
UDRUGE
Hrvatsko društvo za potresno građevinarstvo,
Hrvatski inženjerski savez,
Udruženje hrvatskih arhitekata,
Hrvatsko društvo sudskih vještaka i procjenitelja
MREŽA INŽENJERA
HRVATSKE KOMORE
inženjera građevinarstva,
arhitekata,
ovlaštenih inženjera geodezije,
inženjera strojarstva,
inženjera elektrotehnike,
...
1700
inženjera na terenu
ZNANSTVENA PLATFORMA
FAKULTETI
Građevinarstva,
Arhitekture,
Geodezije,
PMF (seizmologija),
RGN (geologija)
podružnica
(GFZG)


HCPI GFZG (podružnica)
kapaciteti
(poduprijeti / osnažiti)


tko smo
(upravni)
Tko smo
Kontakt
HCPI-IS
Hrvatski centar za potresno inženjerstvo – Interventna služba
HRVATSKI CENTAR ZA POTRESNO INŽENJERSTVO
Strategija upravljanja rizicima od katastrofa do 2030. godine
(izravna dodijela sredstava)
Državni plan djelovanja civilne zaštite
(unutra)
Zakon o civilnoj zaštiti (draft)
Strategija razvoja sustava civilne zaštite
(navedeni)
HCPI-IS se navodi u dokumentima (nema nazad)
Primjena inženjerskih znanja u situacijama prirodnih nepogoda, velikih nesreća i katastrofa, korištenje suvremenih znanstvenih istraživanja, stručnih znanja i iskustava za ublažavanje posljedica.


www.hcpi.hr (u rekonstrukciji)
https://hcpi.hr
HCPI
Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
HCPI
(platforma)
HCPI-IS
(udruga)
HCPI-GFZG
(podružnica)
HCPI-???
(u nastajanju)
korak po korak
(vrijeme)
Vijesti


što sve ?!?
pregledi oštećenja
(prepoznato / zgrade / mostovi / dronovi / VR edukacije)
međunarodna konferencija
(3CroCEE - Split)
Baza podataka o građevinama
(GIS)
edukacijsko-memorijalni centar
(Italija)
strateški projekti
(struka)
pomoć ministarstvima
povezivanje s civilnom zaštitom
edukacije
(svim razinama)
kritična infrastruktura
(rizik-mjerenja-pojačanje)
priručnici
(struka)
povezivanje s svjetskim centrima za potrese
(prijenos znanja)
seizmički certifikat
rizik od potresa
(RH, škole, ...)
Turska (2023), BIH (2024)
energetska + seizmička?
humanitarne večeri građevinara
poplave, požari, uklanjanja, podupiranja, koridori, zaštita, organizacija, ...

DOI 10.21857/yl4okf8869

Prezentacija predavanja

NAJVAŽNIJI POTRESI U HRVATSKOJ I SVIJETU
UZROCI I POSLJEDICE

Akademik Marijan Herak
Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu

Marijan Herak

NAJVAŽNIJI POTRESI U HRVATSKOJ I SVIJETU – UZROCI I POSLJEDICE

Sažetak predavanja

Potresi spadaju među prirodne katastrofe koje se ne mogu predvidjeti, ali se od njih može uspješno braniti protupotresnom gradnjom. Osnovni preduvjeti za to su što bolje poznavanje njihovih uzroka, kao i svojstava trešnje tla tijekom potresa na određenom području. Njihovo osiguravanje je zadaća seizmologije i seizmologa, kao i kolega iz srodnih struka poput geologije ili geodezije. Kakva su obilježja seizmičnosti u svijetu, a kakva u Hrvatskoj? Gdje su potresi najčešći, a gdje ih ima vrlo malo? Gdje su se dogodili najveći potresi? Zašto baš tamo? Kakva je u Hrvatskoj prostorna razdioba potresne opasnosti? Koliko često se u Hrvatskoj i okolici događaju veliki potresi? Na ta i slična pitanja nastojat će se odgovoriti u predavanju u kojem će se sažeto prikazati i osnovni podaci, uzroci i posljedice nekih najvažnijih hrvatskih potresa koji su se dogodili u epicentralnim područjima u okolici Zagreba i Rijeke, u Pokuplju te u Dalmaciji. U predavanju će se nastojati ukratko odrediti i ključni momenti razvoja hrvatske seizmologije, posebno njezine discipline koja je povezuje s građevinarstvom, arhitekturom i prostornim planiranjem – inženjerskom seizmologijom. Pri tome je nezaobilazna uloga Andrije Mohorovičića koji je svojim rezultatima početkom 20. stoljeća snažno potaknuo razvoj svih seizmoloških disciplina u Hrvatskoj, ali i u svijetu.

O predavaču

Akademik prof. emeritus **Marijan Herak** rođen je u Zagrebu 1956. godine. 1981. diplomirao je fiziku (smjer geofizika s meteorologijom), a magistrirao je 1985. godine. Doktorsku disertaciju obranio je 1991. na Sveučilištu u Zagrebu. 2023. g. izabran je za profesora emeritusa na Geofizičkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Usavršavao se u Njemačkoj, Italiji, SAD i Kini. U svojem znanstvenom radu bavi se brojnim aspektima seizmologije, pri čemu se posebno ističu studije seizmičnosti Hrvatske, istraživanje svojstava Zemljine unutrašnjosti te radovi u vezi s procjenom potresne opasnosti. Bio je glavni istraživač

na hrvatskim seizmološkim znanstvenim projektima, a sudjelovao je kao voditelj hrvatskog tima u petnaest međunarodnih projekata. Do 2024. godine objavio je više od 100 znanstvenih radova (72 u časopisima koje pokriva WoS), 120 priopćenja i sažetaka sa znanstvenih skupova, 2 knjige (kourednik), 9 poglavlja u knjigama, te mnoge stručne studije. Radovi su mu prema bazi Scholar citirani oko 3500 puta. Recenzirao je pedesetak radova u poznatim svjetskim časopisima. Održao je više desetaka javnih popularnih znanstvenih predavanja te je objavio mnoge popularizacijske priloge u časopisima. Bio je i idejni začetnik te jedan od organizatora uređenja memorijalnih prostorija Andrije Mohorovičića. Dužnosti prodekana Prirodoslovno-matematičkog fakulteta za međunarodnu suradnju i pročelnika Geofizičkog odsjeka obnašao je u po dva mandata, a bio je i predsjednik sveučilišnog Vijeća prirodoslovnog područja, te predsjednik Znanstvenog vijeća za daljinska istraživanja HAZU u dva mandata. Do 2023. bio je predstavnik Hrvatske u Europskoj seizmološkoj komisiji, a tijekom razdoblja 2019.–2023. i član povjerenstva za dodjelu Plinijeve medalje (*Plinius medal*) Europske geofizičke unije (EGU). Od 1993. do 2003. bio je glavni urednik znanstvenog časopisa *Geofizika*. 2016. godine Sveučilište u Zagrebu dodijelilo mu je *nagradu Andrija Mohorovičić* za ostvarene znanstvene rezultate, promicanje znanstvene discipline i struke, te prijenos znanja i odgoj mladih stručnjaka u području prirodnih znanosti. M. Herak je 2006. godine izabran za člana suradnika, a 2024. g. za redovitog člana Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti.

POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA
Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 9. svibnja 2025.



Najvažniji potresi u Hrvatskoj i svijetu – – uzroci i posljedice

akademik Marijan Herak (prof. emeritus, Geofizički odsjek, PMF, Zagreb)

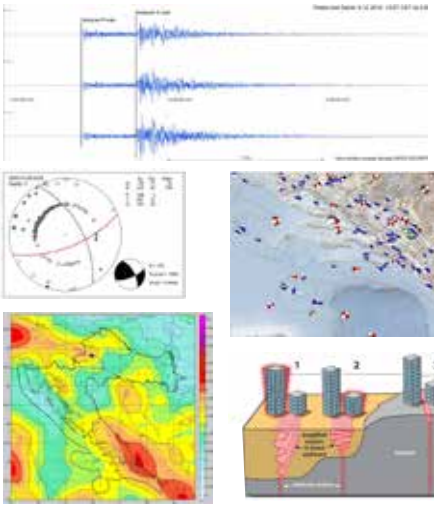
Seizmologija je znanost o potresima, bavi se:

1. 'Opažačka' seizmologija
- Opažanjem potresa (instrumentalno, makroseizmičko)
- Katalogiziranjem potresa

2. 'Fizikalna' seizmologija (treba 1!)
- Proučavanjem fizikalnih svojstava Zemljine unutrašnjosti
- Proučavanjem fizikalnih karakteristika seizmičkih izvora

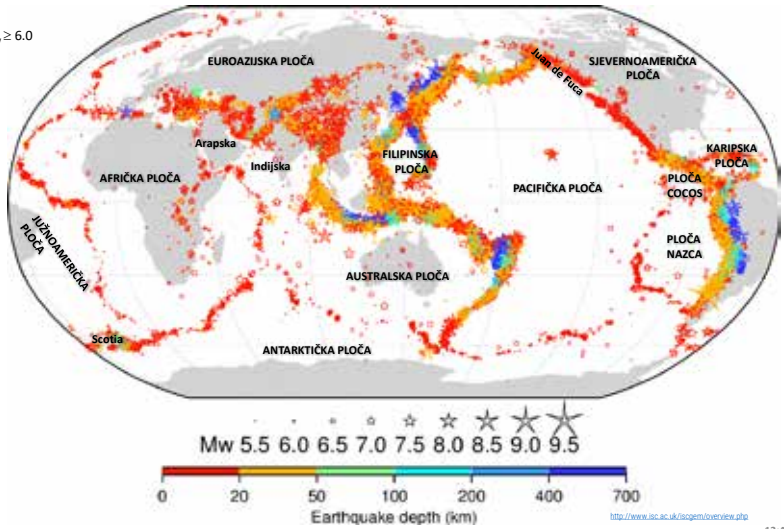
3. Inženjerska seizmologija (treba 1. i 2!)
- Procjenom seizmičkog hazarda (potresne opasnosti)

Seizmologija je izrazito interdisciplinarna znanost!



12:40:19 #2

ISC-GEM, 1904.–2018.
oko 49000 potresa, $M_w \geq 6.0$



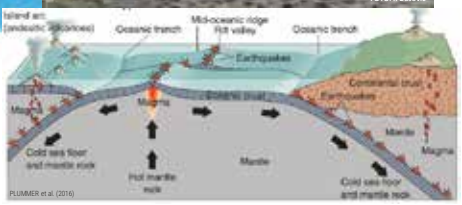
12:40:19 #3

Uzroci potresa



Tektonske ploče i
relativni pomaci (cm/god.)





Vrste granica među pločama

12:40:19 #4

20 najvećih svjetskih potresa

	M_w	Lokacija	Datum		M_w	Lokacija	Datum
1.	9.5	Valdivia (Bio-Bio), Čile	1960-05-22	11.	8.6	Sjeverna Sumatra, Indonezija	2005-03-28
2.	9.2	Južna Aljaska, SAD	1964-03-28	12.	8.6	Aleuti, Aljaska, SAD	1957-03-09
3.	9.1	U moru ispred sjeverne Sumatre, Indonezija	2004-12-26	13.	8.6	Južna Aljaska, SAD	1946-04-01
4.	9.1	Pokraj obale Honšua (Tohoku), Japan	2011-03-11	14.	8.5	More Banda, Indonezija	1938-02-01
5.	9.0	Pokraj obale Kamčatke, Rusija	1952-11-04	15.	8.5	Atacama, Čile	1922-11-11
6.	8.8	U moru, Bio-Bio, Čile	2010-02-27	16.	8.5	Kurilski otoci, Rusija	1963-10-13
7.	8.8	Pokraj obale Ekvadora	1906-01-31	17.	8.4	Pokraj obale Kamčatke, Rusija	1923-02-03
8.	8.7	Aleuti, Aljaska, SAD	1965-02-04	18.	8.4	Južna Sumatra, Indonezija	2007-09-12
9.	8.6	Indija – Tibet	1950-08-15	19.	8.4	Pokraj obale južnog Perua	2001-06-23
10.	8.6	Ispred obale sjeverne Sumatre, Indonezija	2012-04-11	20.	8.4	Pokraj obale Honšua, Japan	1933-03-02

Malo brojeva....

Magnituda (M_0)	Potresa u svijetu s $M > M_0$ godišnje	Potresa u svijetu s $M > M_0$ dnevno	Potresa u Hrvatskoj i graničnim područjima s $M > M_0$ godišnje	Duljina rasjeda (km, približno)	Širina rasjeda (km, približno)	Efekti u epicentru
(10)	–	–	–	(4300)	(90)	
9	0.15	0.0004	–	1,000	45	katastrofalan potres
8	1.5	0.004	–	250	25	uništavajući potres
7	15	0.04	0.004	60	15	pustošan potres
6	150	0.4	0.04	14	7	razoran potres
5	1,500	4	0.4	4	3	vrlo jak potres
4	15,000	40	4	1.5	1	umjeren do jak potres
3	150,000	400	40	0.5	0.5	umjeren potres
2	1,500,000	4,000	400	0.15	0.15	(vrlo) lagan potres
1	15,000,000	40,000	4,000			nezamjetljiv potres
0	150,000,000	400,000	40,000			
-1 ...	1,500,000,000	4,000,000	400,000			

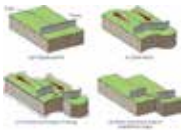
12:40:19 #5

Potresi koji su značajno unaprijedili znanost




Lisabonski potres (1755., Portugal, M_W = 8.5–9.0)
- **Važnost:** Smatra se početkom moderne seizmologije.
- **Znanstvena ostavština:** Prvi pokušaj sustavne analize efekata potresa i razumijevanja njihovih prirodnih uzroka.

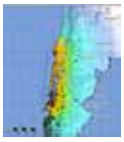




Potres u San Francisku (1906., SAD, M_W = 7.9)
- **Važnost:** Poticaj za razumijevanje rasjeda i akumulacije naprezanja.
- **Znanstvena ostavština:** Razvijena *teorija elastičnog povrata* (Reid), temeljna za današnju teoriju potresnih izvora.



Veliki Kanto potres (1923., Japan –Yokohama, Tokio, M_W = 7.9–8.2)
- **Važnost:** Snažno utjecao na *potresno inženjerstvo*.
- **Znanstvena ostavština:** Potaknuo unaprjeđenje potresne pripravnosti u Japanu.




Čileanski potres (1960., Valdivia, M_W = 9.5)
- **Važnost:** Najjači ikada zabilježen potres. Uzročni rasjed dug više od **1000 km**!
- **Znanstvena ostavština:** Potvrdio važnost *megapomaka* i ulogu *subdukcije* u teoriji tektonike ploča.

12:40:19 #6

Potresi koji su značajno unaprijedili znanost

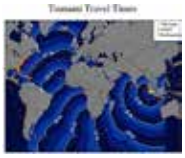



Aljaški potres (1964., SAD, M_W = 9.2)
- **Važnost:** Jasan primjer megapotresa.
- **Znanstvena ostavština:** Pružio ključne podatke za razumijevanje *konvergentnih granica ploča (subdukcija) i značajno potaknuo prihvaćanje tektonike ploča*.




Potres u Tangšanu (1976., Kina, M_W = 7.6)
- **Važnost:** Prekretnica u kineskoj seizmologiji.
- **Znanstvena ostavština:** Razumijevanje potresa *unutar tektonskih ploča*; povećan fokus na istraživanje *prognoze potresa*, iako s vrlo ograničenim uspjehom.

Sumatranski potres (2004., Indonezija, M_W = 9.1)
- **Važnost:** Jedan od najvažnijih potresa u novijoj povijesti. Veliki tsunami!
- **Znanstvena ostavština:** Potaknuo razvoj *upozoravajućih sustava za tsunamije* i razumijevanje *globalnog utjecaja* velikih potresa.








Potres Tohoku (2011., Japan, M_W = 9.1)
- **Važnost:** Izazvao nuklearnu katastrofu; iznimno dobro dokumentiran; tsunami!
- **Znanstvena ostavština:** Unaprijedio globalno upravljanje rizicima i tehnologije za opažanje potresa i tsunamija.

12:40:20 #7

Potresi koji su značajno unaprijedili znanost

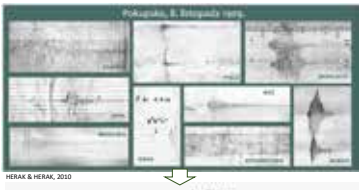
Pokupski potres (1909., Hrvatska, M_L = 6.1)

- **Važnost:** Ključan za razumijevanje unutrašnje građe Zemlje.
- **Znanstvena ostavština:** **Andrija Mohorovičić** otkriva *Mohorovičićev diskontinuitet* (*Moho*), granicu između Zemljine kore i plašta.

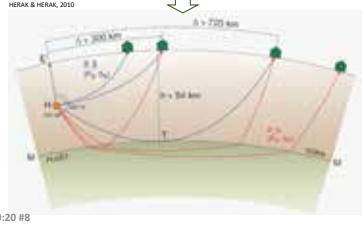


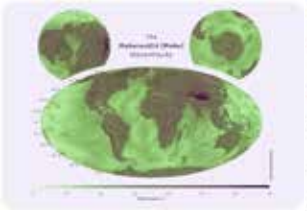


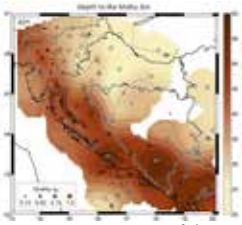
HERAK & HERAK, 2010



HERAK & HERAK, 2010







STIPČEVIĆ ET AL., 2020

12:40:20 #8

Andrija Mohorovičić

Mohorovičić je bio među prvim zagovornicima protupotresne gradnje.
*Iz predavanja održanih **1909.** godine u Društvu inžinira i arhitekta:*



Zalaže se za strogu kontrolu graditelja:	*...Najbolje zasnovana zgrada dolazi katkada u ruke graditelja, koji ili iz pohlepe za dobitkom ili iz nesavjesne konkurencije izvede posao posve manjkavo. **Događa se također, da se grade zgrade u svrhu, da se čim prije prodaju i iz njih izbije čim veći dobitak, te se ne pazi na solidnu izradbu nego na to, da se sa čim manjim troškom izvede čim veća zgrada.** Da takova zgrada ne može biti čvrsta proti potresu razumljivo je, a zadatak je oblasti, da čim strože pazi na solidnu izvedbu svake zgrade.*
Definira seizmički hazard (potresnu opasnost):	*...Kao rezultat ... slijedi, da imamo u Zagrebu po jedan veoma jaki potres na 100 godina, a po jedan potres, koji nanaša manje štete, najmanje na 10 godina, te po 3 jača potresa svakih pet godina. ... Ima predjela podvrženih veoma jakim potresima, a ima takovih u kojima se događaju samo slabi potresi, ili takovi u kojima je potres velika rijetkost. **Potrebno je dakle da graditelj više ili manje obazire na upliv potresa prema predjelu u kojem ima da gradi.***
Definira seizmički rizik (potresnu ugroženost):	***...Kod običnih se zgrada pita, kolika je mogućnost, da će se za života zgrade dogoditi jedan ili više potresa, koji nanašaju štete ili možda i koji katastrofalni potres** ... (u ovisnosti o) većoj ili manjoj vjerojatnosti takovih potresa isplatit će se veći ili manji kapital uložen u svrhu da se zgrada zaštiti od potresa.*
Važnost protupotresne gradnje:	*... neophodno (je) potrebno, da se kod gradnje kuća **u Zagrebu osobiti obzir uzme na pogibelj od potresa**, te da se potroši nešto više, samo da bude zgrada čim sigurnija od potresa.*
Ukazuje na važnost kvalitete tla:	*.. Neka se pomno **ispita zemljište** na mjestu gdje se mora raditi, te ako je potrebno, neka se umjetno pojača.*
Prepoznaje rezonanciju zgrade kao opasnost:	***...Potres dakle inducira u svim elastičnim tjelesima, vezanim sa zemljom, vlastito titranje**, ili elastična tjelesa resoniraju na potres. ...Ako se dogodi, da je **perioda potresa jednaka periodi vlastitoga gibanja tijela**, onda će se postaviti tijelo u vrlo jako gibanje...*
Uz to:	*Uvodi **akceleraciju** kao važan parametar, definira **načela spektra odziva** (32 g. prije Biota!), zalaže se za eksperiment (shaking-table!) ...*

12:40:20 #9

Andrija Mohorovičić

Preporuke (sažeto!), Mohorovičić (1909):	Eurocode-8 (2003):
1. Ne graditi na strmim padinama. 2. Pomno ispitati zemljište, ako treba umjetno ga pojačati. 3. Temelji zgrade neka su dovoljno jaki i debeli, od jednog komada, betonski. 4. Ako je zgrada monolit,... onda je tim otpornija, čim su joj stijene tanje. Kod proračunavanja debljine osnovnih zidova, pregradni se mogu zanemariti. 5. Radi smanjenja lateralnih deformacija valja graditi krute stropove i krovove čvrsto povezane s nosivim zidovima. 6. Čim bude u unutrašnjosti zgrade više čvrstih poprečnih zidova, tim će zgrada biti čvršća. 7. Sve svodove valja zamijeniti gredama jer svodovi rastežu, a grede vežu zidove. 8. Smanjiti na minimum sve dijelove zgrade koji ne doprinose čvrstoći (što lakša stubišta i pregradne stijene, izbjegavati teške ukrase). 9. Prigradnje i krila zgrade neka se ili veoma čvrsto vežu s glavnom zgradom, ili neka se grade posebne neovisne zgrade. 10. Krov neka je lagan, čvrst i čvrsto vezan sa svim zidovima. Ravni se krovovi preporučaju za seizmički jako aktivna područja. 11. Dimnjaci neka su čim lakši i čim čvršći, čvrsto vezani s krovom.	Valja paziti na: a) Jednostavnost strukture b) Jednolikost i simetriju c) Dvosmjernu otpornost i krutost d) Torzionu otpornost i krutost e) Ponašanje stropova kao dijafragmi f) Odgovarajuće temeljenje. Mohorovičić ne razmatra samo d)!



Izvadak iz članka *Potres od 8. listopada* (Narodne novine, 75/237, 1909, 5-6):

Ovom zgodom moram upozoriti sve nadležne faktore na zastarjele građevne propise, koji ne uzimaju nikakav obzir na to, kako potres djeluje na građevine. *U ožujku ove godine predavao sam o tom u društvu inžinira i arhitekta u Zagrebu, te sam istaknuo kako bi trebalo kod gradnje kuća uzimati u obzir i na potres. Domala ću to predavanje, opširno obrazloženo izdati.* ***Moje su riječi ostale do sada glasom onoga, koji vapi u pustinji, te i iza ovoga predavanja izgradilo se je u samom Zagrebu koješta što je pogibeljno za prolaznike i za zgrade same.***

12:40:20 #10

Andrija Mohorovičić

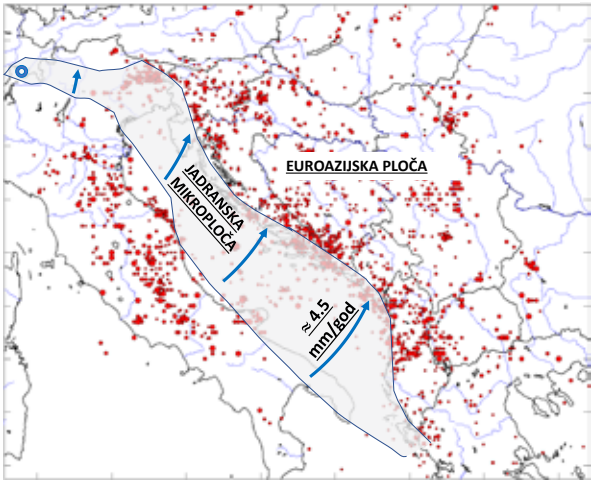


- Utemeljitelj suvremene hrvatske **seizmologije i meteorologije**, **inženjerske seizmologije, i potresnog inženjerstva**, službe točnog vremena, te geofizičkog sveučilišnog obrazovanja, Mohorovičić je bez dvojbe jedan od najvećih znanstvenika ikada rođenih u Hrvatskoj.
- Činjenica da je sve svoje rezultate postigao u Hrvatskoj, te iznimni međunarodni odjek njegovih otkrića, izdvaja ga na vrh najuspješnijih hrvatskih znanstvenika svih vremena.

Potresi u Hrvatskoj (i okolici)

- Potresi su ovdje posljedica interakcije **Jadranske mikroploče** i **Dinarida (Euroazijska ploča)**.
- Rotacijom Jadranske mikroploče i pomakom prema sjeveru dolazi do kompresije u području kontakta, kao i deformacije i naprezanja unutar obje ploče (Alpe, Dinaridi, ...).

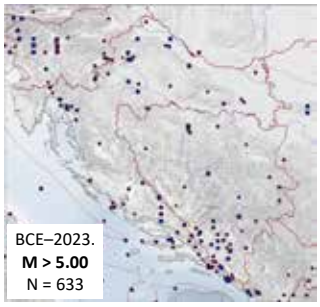


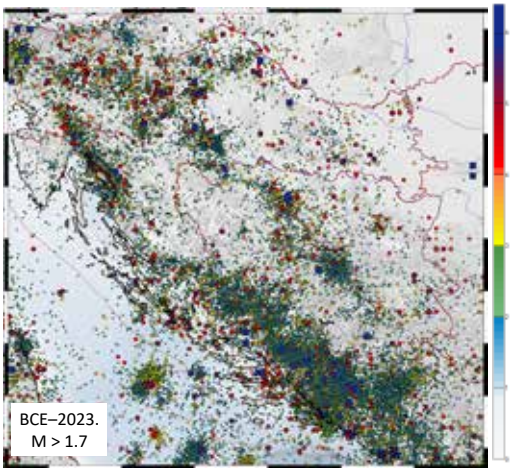


12:40:20 #12

Seizmičnost Hrvatske (i okolice)

- Većina potresa u Hrvatskoj događa se u Dalmaciji, u širem riječkom području, i u SZ Hrvatskoj.
- Najmanje ih je u Istri, Lici s Velebitom, Kordunu, te u istočnoj Slavoniji i Moslavini.





Na slici je oko 61000 potresa (M > 1.70) prema *Hrvatskom katalogu potresa* (koji sadrži više od 200.000 potresa za razdoblje BCE–2023).

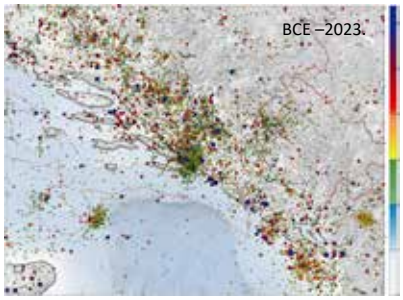
Geofizički odsjek PMF-a, Zagreb

12:40:20 #13

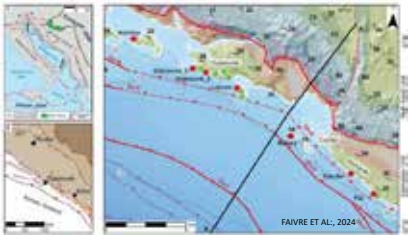
Važni potresi u Hrvatskoj (i okolici) – Dubrovačka velika trešnja 6. travnja 1667.

- Potres koji je **snažno utjecao na povijest Dubrovnika, kao i na propise o gradnji u Gradu**.
- Intenzitet u epicentru je bio IX °EMS ljestvice ($M_w \approx 7.0$). To je uvjerljivo **najjači poznati potres u Hrvatskoj** do danas!
- Teško je oštećeno cijelo područje od Stona do Budve. U Dubrovniku je poginulo oko 2000 ljudi (oko 42% vlastele), u Crnoj Gori bilo je oko 220 žrtava.





- Rasjedni sustav odgovoran za seizmičnost Dubrovnika smo počeli sustavno istraživati prije 5 godina (DuFault, HRZZ) – danas ga dosta dobro poznajemo, ali može i puno bolje!



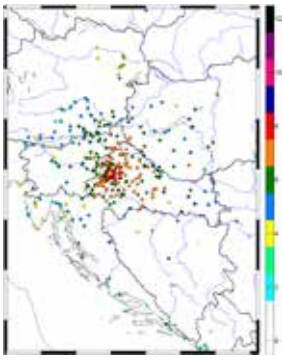
12:40:20 #14

Važni potresi u Hrvatskoj (i okolici) – Veliki zagrebački potres 9. studenog 1880. (M ≈ 6.1)

- Potres se osjetio najvećim intenzitetom (VIII° EMS) u mjestima Planina, Kašina, Granešina, Zagreb, Čučerje, Podsused, Remete, Resnik, Sesvete, Šestine, Stenjevec, Vugrovec, Sv. Helena, Kraljev vrh ... a šteta je bilo i u *Sloveniji, Austriji i Mađarskoj*.
- Osjetio se čak u Vukovaru (V° EMS), Češkim Budjeovicama, Dubrovniku, Kotoru...
- Potres je oštetio mnoge kuće, usmrtio troje ljudi.
- **Potres je dao i snažan zamah uređenju i modernizaciji grada i razvoju hrvatske seizmologije.**
- Osam dana nakon potresa Akademija imenuje *Potresni odbor* na čelu s Josipom Torbarom – drugi (ili treći ?) takav odbor u svijetu!



Fotografije IVAN STANDL, 1880.



Karta intenziteta potresa, 9. XI. 1880.

12:40:20 #15

Važni potresi u Hrvatskoj (i okolici) – Skopski potres 26. srpnja 1963.







- Hipocentar potresa (M_w = 6.1) bio je plitak (oko 5 km), i praktički ispod grada → velika šteta i **intenzitet IX° EMS.**
- Poginulo je 1070 ljudi, oko 3500 ih je bilo ozlijeđeno, bez doma ostalo je oko 200.000 ljudi. Šteta je bila oko 15% godišnjeg BDP Jugoslavije.
- **77% svih zgrada za stanovanje postalo je neupotrebljivo**, 10% ih je srušeno, 44% pretrpjelo je veliku štetu. *Blokovi zgrada i neboderi viši od 10 katova nisu bili ozbiljno oštećeni.*
- Velika i brza međunarodna pomoć u obnovi grada.



Karta šteta od potresa

- Rekonstrukcija središta grada je na međunarodnom natječaju povjerena japanskom arhitektu Kenzu Tangeu.
- Nakon potresa predloženo je: provesti mikrozoniranje Skopja, *procijeniti potresni hazard za cijelu državu*, osnivanje IZIIS-a, **te uvođenje nove građevinske regulative korištenjem protupotresnih normi**.

12:40:20 #16

Važni potresi u Hrvatskoj (i okolici) – Veliki crnogorski potres 15. travnja 1979.

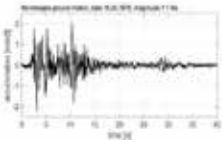


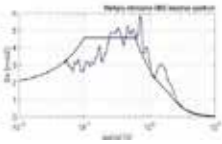


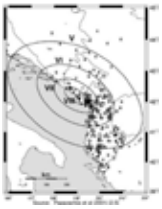




- Po svojoj magnitudi (M_w = 6.9) ovaj je potres sličan Velikoj dubrovačkoj trešnji 1667.
- Epicentar je bio ispred Ulcinja.
- Bilo je 136 poginulih, i više od 1000 ozlijeđenih.
- Štete su bile vrlo velike u Crnoj Gori (Ulcinj, Kotor, Budva, Herceg Novi, 400 sela je posve uništeno) i u Albaniji.
- U Dubrovniku udaljenom 120 km šteta je također bila velika, ali bez žrtava. Za obnovu Grada osnovan je *Zavod za obnovu Dubrovnika.*
- Ovaj potres **dobro je zabilježen akcelerografima** čiji su zapisi ušli kao referentni u svjetske baze.







- Nakon potresa **građevinski propisi su dopunjeni i osuvremenjeni**.

12:40:20 #17

Još neki važni potresi u Hrvatskoj

– Potres kod **Klane** 1870. (I_{max} = VIII° EMS, M_w = 5.2)

- Austrijski geolog D. Stur je 1871. na temelju podataka prikupljenih na terenu zaključio da se *pojačani efekti potresa u Klani i Studenoj mogu pripisati sastavu tla.* **To je prvo objašnjenje lokalnih amplifikacijskih efekata geološkim i fizikalnim uzrocima!**
- Potres kod Klane poslužio je (uz još njih nekoliko) geologu R. Hoernesu da 1878. formulira teoriju **tektonskih potresa** koji nastaju na granicama velikih tektonskih blokova, te navodi da su veliki *potresi posljedica procesa koji dovode do rasta planina.*

– **Makarski** potresi u siječnju 1962. (I_{max} = VIII° EMS, M_w = 5.9)

- Dva jaka potresa uzrokovala su velike štete, osobito u biokovskim selima (dvoje poginulih), većina kuća u podbiokovskim zaseocima bila je onesposobljena za stanovanje.
- V. Bakarić je istaknuo da prilikom obnove treba voditi računa o perspektivama razvoja ovoga kraja, odnosno da *obnovu treba podrediti razvoju turizma na Makarskom primorju*.
- Predloženo (naloženo?) je da se **u potresom ugroženim područjima ne grade nove kuće**, nego da se stanovništvo preseli na more.
- Time su potresi 1962. u bitnom **odredili i demografsku i privrednu budućnost Makarskog primorja**.

– **Zagrebački** (M_w = 5.5) i **Petrinjski** (M_w = 6.2) potres 2020.

- Potresi 2020. snažno su **osvijestili potresnu opasnost i ugroženost u Hrvatskoj**.
- Također, ti su potresi zabilježeni velikim brojem seizmografa, a potaknuli su i obnovu seizmografske mreže, te dali **novi zamah hrvatskoj seizmologiji**.
- To su prva dva značajna hrvatska potresa za koje je nedvojbeno **utvrđen uzročni rasjed**!





HERAK & HERAK (2018)

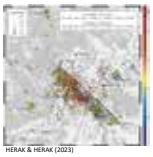


FOTO: MILAN HERAK





HERAK et al. (2021)



HERAK & HERAK (2023)

12:40:20 #18

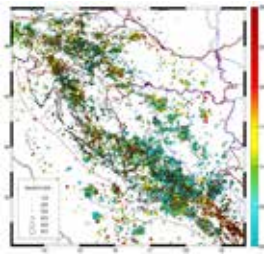
Seizmički hazard (ili potresna opasnost) u Hrvatskoj

- Seizmički hazard ovisi SAMO o **seizmičnosti (prirodi).**
- Potresna ugroženost (ili seizmički rizik) ovisi o **hazardu**, ali i o **vrijednosti i potresnoj otpornosti potresu izložene imovine**, **o broju ugroženih ljudi, ekononomskoj aktivnosti**...
- **Hazard definira očekivane događaje, a rizik njihove posljedice.**
- Hazard ne možemo promijeniti (jer pravila igre određuje priroda), ali rizik MOŽEMO smanjiti jer sami odlučujemo koliki rizik želimo preuzeti!
- Seizmolozi *su izravno zaduženi SAMO za procjenu hazarda – oni iz opažanja i teorije moraju naučiti pravila igre!*

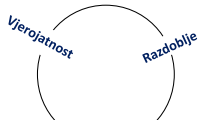


12:40:20 #19

Seizmički hazard (ili potresna opasnost) u Hrvatskoj



- Procjena seizmičkog hazarda svodi se na određivanje: **vjerojatnosti (*p*)** da se na nekom mjestu premaši **zadana vrijednost odabrane** mjere gibanja tla tijekom potresa **(npr. PGA)** tijekom zadanog referentnog **razdoblja (T_{ref})**.



- Uobičajeno je za 'obične zgrade' uzeti:

  p = 10%, T_{ref} = 50 god, ili, što je isto, **T_{pov} = 475 god**.

Dakle, za pouzdanu procjenu potresne opasnosti trebamo:

1. **Što potpuniji katalog potresa** – važni su svi veliki povijesni potresi, ali i mikropotresi koje danas možemo pouzdano locirati ako imamo dovoljno seizmografa.
2. **Bazu podataka o žarišnim mehanizmima potresa.**
3. **Dobro poznavanje seizmotektonike** – važno je zbog pouzdane procjene najvećih mogućih magnituda i mjesta gdje se potresi mogu dogoditi.
4. **Dobro poznavanje geologije područja** – zbog pouzdane procjene položaja rasjeda i njihove recentne aktivnosti.
5. **Bazu podataka o zabilježenim akceleracijama** – da bi se korektno procijenila akceleracija od budućih potresa.
6. **Seizmologe i geologe (strukturna geologija i tektonika) s iskustvom ...**

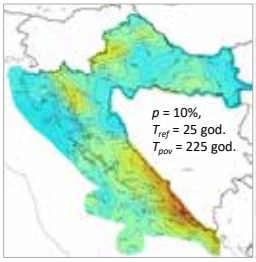
12:40:20 #20

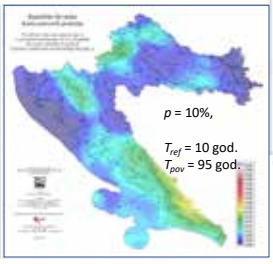
Karte potresne opasnosti (iz 2011. godine)

- Odnose se na razinu ***osnovne stijene***.
- Izražene su pomoću vršne horizontalne akceleracije tla (PGA).
- Odnose se na odabrana povratna razdoblja (npr. T_{pov} = 475, 225 ili 95 godina).
- Osnova su za primjenu propisa o gradnji (npr. Eurokod-8).
- Karte je potrebno periodički revidirati i uskladiti s najnovijim spoznajama o seizmičnosti i recentnim dosezima znanosti.



M. HERAK et al. (2011)



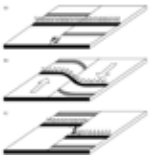


Nužno je prirediti nove karte jer:
– Dosta smo naučili u proteklih 14 godina...
– Novi Eurokod više ne poznaje PGA!

12:40:20 #21

Umjesto zaključaka





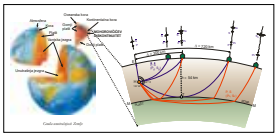
- Veliki potresi koji su se dogodili *u pravo vrijeme i na pravom mjestu*, često su dali **impuls razvitku seizmologije i drugih geoznanosti**, ali su bili i **katalizatori društvenih i normativnih promjena**.



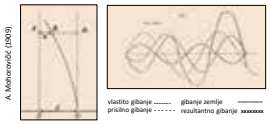


21. svibnja 1965.

- U Hrvatskoj su upravo potresi 1667. u Dubrovniku, 1880. u Zagrebu i 1962. kod Makarske uzrokovali **dalekosežne društvene promjene**.

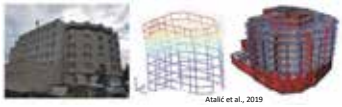


- Pokupski potres 1909. prepoznat je kao jedan od poticaja za **razvoj seizmologije kao znanosti** zahvaljujući istraživanjima **Andrije Mohorovičića** i otkriću diskontinuiteta između Zemljine kore i plašta.



- Mohorovičić je zaslužan i za **prve preporuke za protupotresnu gradnju u Hrvatskoj**, kao i **utemeljenje suvremenog pogleda na seizmički hazard i rizik**.

- **Danas više nema izgovora** – potresi u Hrvatskoj više ne bi smjeli rušiti novosagrađene ili obnovljene kuće. Seizmolozi su u stanju razumno procijeniti **svojstva buduće potresne trešnje**, a projektanti i **građevinari mogu takve zgrade i izvesti**. Samo ne smijemo zaostati za svijetom u prikupljanju i primjeni novih spoznaja!



Atalić et al., 2019



Izvori

Atalić, J., M. Šavor Novak & M. Uroš (2019): Seismic risk for Croatia: overview of research activities and present assessments with guidelines for the future, Građevinar, 71, 923-947, DOI: https://doi.org/10.14256/JCE.2732.2019

Faivre, S., Lončar, N., Tomljenović, B., Sečanj, M., Herak, M., Barešić, J. (2024): Impact of coseismic uplifting on relative sea level change in the Southern Adriatic during the past 4.500 years – New evidence from Dubrovnik epicentral area based on analysis of algal rims and tidal notches, Geomorphology, 460, 1–20. doi: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109262

Herak, D. & Herak, M. (2010): The Kupa Valley (Croatia) earthquake of 8 October 1909 – 100 years later. Seismological Research Letters, 81 (1), 30–36, doi:10.1785/gssrl.81.1.30.

Herak, M. i sur. (2011): Republika Hrvatska, Karta potresnih područja, http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/

Herak, M., Živčić, M., Sović, I., Cecić, I., Dasović, I., Stipčević, J. & Herak, D. (2018): Historical seismicity of the Rijeka region (NW External Dinarides, Croatia) – Part II: The Klana earthquakes of 1870. Seismological research letters, 89 (4), 1524–1536, doi:10.1785/0220180064.

Herak, M., Herak, D. & Orlić, N. (2021): Properties of the Zagreb 22 March 2020 earthquake sequence – analyses of the full year of aftershock recording. Geofizika, 38 (2), 93–116.

Herak, M., Herak, D. & Živčić, M. (2021): Which one of the three latest large earthquakes in Zagreb was the strongest – the 1905, 1906 or the 2020 one?. Geofizika, 38 (2), 117–146, doi:10.15233/gfz.2021.38.5.

Herak, M. & Herak, D. (2023) Properties of the Petrinja (Croatia) earthquake sequence of 2020–2021 – results of seismological research for the first six months of activity. Tectonophysics, 858, 229885, 18, doi:10.1016/j.tecto.2023.229885.

Mustapić, M. i N. Karajić (2012): Prirodne katastrofe kao čimbenici modernizacije hrvatskog društva: primjer potresa 1962. godine na Makarskom primorju, U: MAKARSKO PRIMORJE DANAS, Makarsko primorje od kraja Drugog svjetskog rata do 2011 (Ur. M. Mustapić i I. Hrstić), Zbornik, Institut društvenih znanosti Ivo Pilar, Zagreb.

Petrovski, J. (Ed.) (2003): Damaging effects of the July 26, 1963 Skopje Earthquake. In: Conference proceedings of Skopje Earthquake - 40 Years of European Earthquake Engineering, Skopje-Ohrid.

Sinadinovski, C. & K.F.McCue, 2013. 50 years since the Skopje 1963 earthquake – implications for Australian building standards, Australian Earthquake Engineering Society 2013 Conference, Nov 15-17, Hobart Tasmania.

Stipčević, J., Herak, M., Molinari, I., Dasović, I., Tkalčić, H. & Gosar, A. (2020): Crustal thickness beneath the Dinarides and surrounding areas from receiver functions. Tectonics, 37, 1–15.

WWW:

http://www.isc.ac.uk/iscgem/overview.php

https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/official19600522191120_30/shakemap/intensity

https://ploce.com.hr/ostalo/jadranskoj-magistrali-55-je-godina/

https://simple.wikipedia.org/wiki/1755_Lisbon_earthquake

https://simple.wikipedia.org/wiki/1976_Tangshan_earthquake

https://slideplayer.com/slide/5355399/17/images/48/Numbers+represent+average+rates+of+relative+movement%252C+cm%252Fyr.jpg

https://telegrafi.com/en/the-1963-earthquake-in-Skopje-can-be-repeated/

https://www.britannica.com/event/Japan-earthquake-and-tsunami-of-2011

https://www.britannica.com/event/San-Francisco-earthquake-of-1906

https://www.kovz.gov.mk/ns-newsarticle-skopje-religious-objects-destroyed-in-the-earthquake--today-stuns-with-their-brilliance.nspx

https://www.livescience.com/24712-china-earthquakes-aftershocks.html

https://www.myguidemontenegro.com/travel-articles/the-earthquake-in-kotor-40th-anniversary

https://www.npr.org/2016/08/29/490239181/when-the-biggest-earthquake-ever-recorded-hit-chile-it-rocked-the-world

https://www.spomenikdatabase.org/post/skopje-s-1963-quake-from-ruins-to-modernist-resurrection

https://www.tsunami.gov/previous.events/?p=09-30-09-Indonesia

DOI 10.21857/y7v64t44ey

Prezentacija predavanja

OBNOVA NAKON POTRESA
PRILIKE I IZAZOVI U KONSTRUKCIJSKOJ OBNOVI

Dipl. ing. Helena Jelić, dipl. ing. Iva Hudan, doc. dr. sc. Dominik Skokandić
Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine

Helena Jelić, Iva Hudan, Dominik Skokandić

OBNOVA NAKON POTRESA – PRILIKE I IZAZOVI U KONSTRUKCIJSKOJ OBNOVI

Sažetak predavanja

Nakon potresa u Zagrebu u ožujku 2020. godine postavljen je zakonski okvir za obnovu zgrada oštećenih potresom kojim se uredio način i postupak obnove oštećenih zgrada. Zakonom su definirane vrste obnove ovisno o stupnju oštećenja te namjeni zgrade. Konstrukcijska obnova, koja uključuje popravak i/ili ojačanje nosive konstrukcije zgrade, predstavlja tehnički iznimno složen proces u kojem se zgrade koje su građene prije propisa koji su uzimali u obzir seizmičko opterećenje obnavljaju na način da ispunjavaju propisane zahtjeve mehaničke otpornosti i stabilnosti. Samim time, oštećene zgrade se ne vraćaju u prvobitno stanje, već se obnavljaju kako bi bile u skladu s današnjim normama. Uz složena tehnička rješenja, veliki izazov kod konstrukcijske obnove predstavlja i problematika korištenja zgrada tijekom obnove, što posebno dolazi do izražaja u obnovi javnih zgrada poput bolnica. Također, u kulturno povijesnim cjelinama grada Zagreba, Petrinje, Siska i Gline, posebna pažnja kod konstrukcijske obnove mora se obratiti na očuvanje kulturne baštine i usklađivanje sa smjernicama i odredbama nadležnih Zavoda za zaštitu spomenika kulture i prirode. Mnogi materijali i tehnologije koji nisu bili pretjerano zastupljeni u gradnji prije razornih potresa, sada se učestalo koriste prilikom konstrukcijske obnove, što se svakako treba uzeti u obzir prilikom određivanja maksimalnih troškova. U ovom radu se daje osvrt na postupke konstrukcijske obnove zgrada oštećenih potresom sa strane definiranja zakonskog okvira, ostvarivanja prava na obnovu, definiranja razina obnove, očuvanja kulturne baštine kroz obnovu, određivanja visine cijena usluga i radova u postupcima obnove, prihvatljivih troškova i slično.

O predavačima

Helena Jelić je diplomirana inženjerka građevine te je zaposlena u Ministarstvu prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine kao načelnica sektora za kontrolu i praćenje nekonstrukcijske obnove zgrada. Od 2021. godine sudjeluje u postupcima obnove zgrada oštećenim potresom kao savjetnica ministra prostornoga

uređenja, graditeljstva i državne imovine zatim kao načelnica sektora vezanih uz obnovu. Od 2015. godine radi kao voditeljica projekata uključujući strateške projekte sufinancirane sredstvima EU te projekte cjelovite obnove zgrada oštećenih potresom.

Iva Hudan je diplomirana inženjerka arhitekture te je od 2022. godine zaposlena kao savjetnica ministra prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine zadužena za koordinaciju projekata obnove zgrada oštećenih potresom na području Sisačko-moslavačke županije i davanje stručnih mišljenja vezanih za unaprjeđenje provedbe obnove. Kao ovlaštena projektantica unutar vlastitog ureda projektirala je rekonstrukcije i gradnje novih zgrada različitih namjena u svim fazama razrade projekata te vršila nadzor nad gradnjom istih. Neposredno nakon petrinjskog potresa je aktivno sudjelovala u pregledu zgrada oštećenih u potresu, izradila je smjernice za obnovu potresom oštećenih zgrada unutar kulturno povijesne cjeline grada Petrinje te je sudjelovala u izradi projekata obnove zgrada nakon potresa.

Dominik Skokandić je docent na Zavodu za Konstrukcije Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Doktorsku disertaciju pod nazivom „Probabilistic assessment of existing road bridges using B-WIM measurements“ obranio je 2020. godine pod mentorstvom prof. Mandić Ivanković, a 2024. je biran u nastavno-znanstveno zvanje docenta. Specijalizirao se u područjima procjene stanja postojećih građevina i mostova, probabilističkom pristupu projektiranja pouzdanosti, potresnom inženjerstvu te analizi vrijednosti informacija (VoI analize). Od siječnja 2023. godine zaposlen je i kao posebni savjetnik ministra graditeljstva, prostornog uređenja i državne imovine, za savjetovanje u poslovima povezanim sa obnovom zgrada oštećenih potresom. U karijeri je objavio 14 znanstvenih radova u inozemnim i domaćim časopisima i preko 30 radova na međunarodnim znanstvenim skupovima. Dobitnik je nagrade za najbolji radu časopisu „Structural Engineering International“, kao i nagrade Hrvatskog saveza građevinskih inženjera (HSGI) za najbolji doktorski rad iz područja građevinarstva za 2020. godinu. Član je međunarodne udruge IABSE, kao i međunarodnog odbora Young Engineers Board. Kao projektant sudjelovao na više projekata obnove nakon potresa, javnih i privatnih zgrada.


POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA
Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Helena Jelić, MPGI
Iva Hudan, MPGI
Dominik Skokandić, MPGI
Zagreb, 9. svibnja 2025.
mpgi.gov.hr

Uvod – potresi u RH

mpgi.gov.hr

- **Zagrebački potres**
  - 22. Ožujka 2020. u 6 sati i 24 minute magnitude 5,5 po Richteru
  - Do 12. kolovoza 2020. zabilježeno 2047 potresa

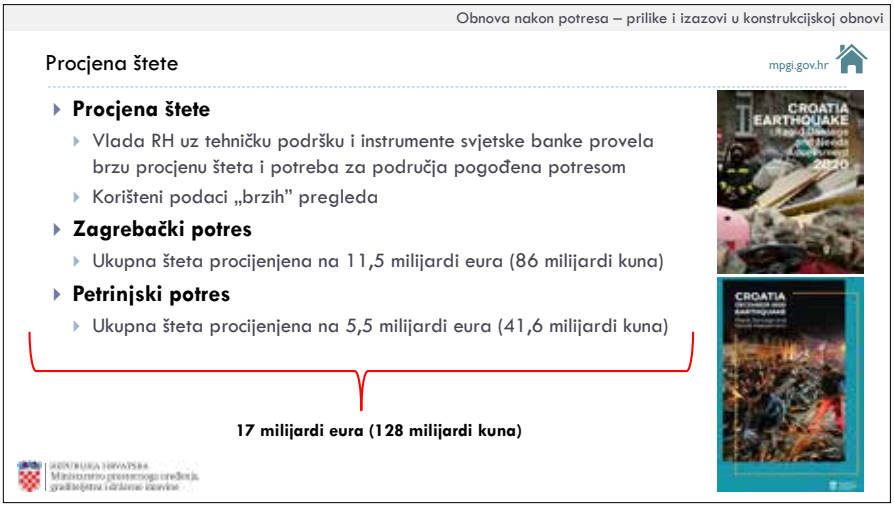


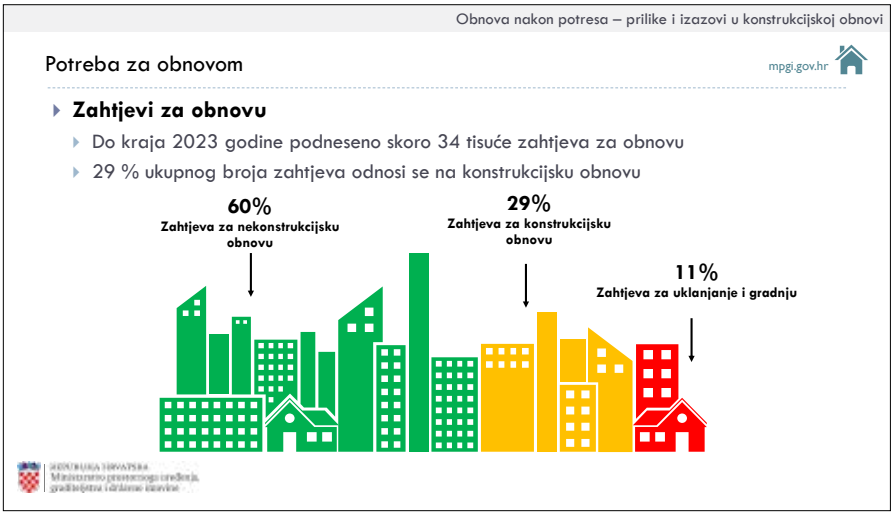
Uvod – potresi u RH

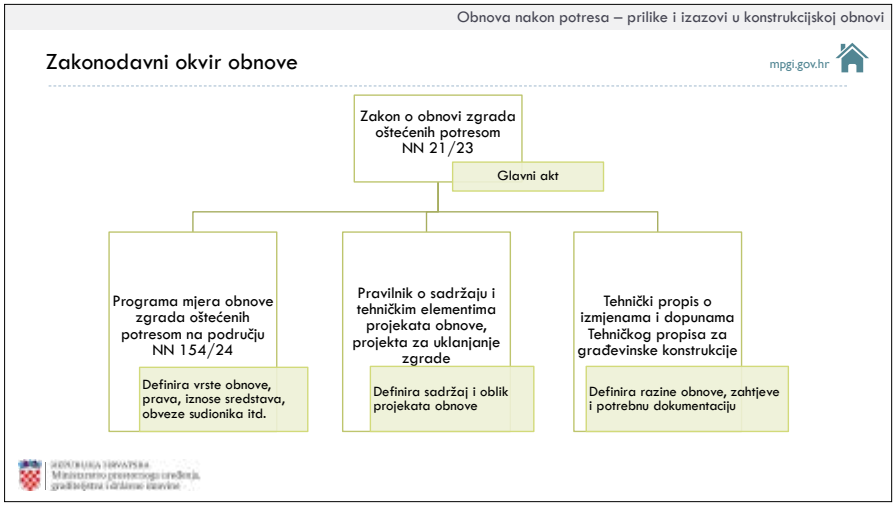
mpgi.gov.hr

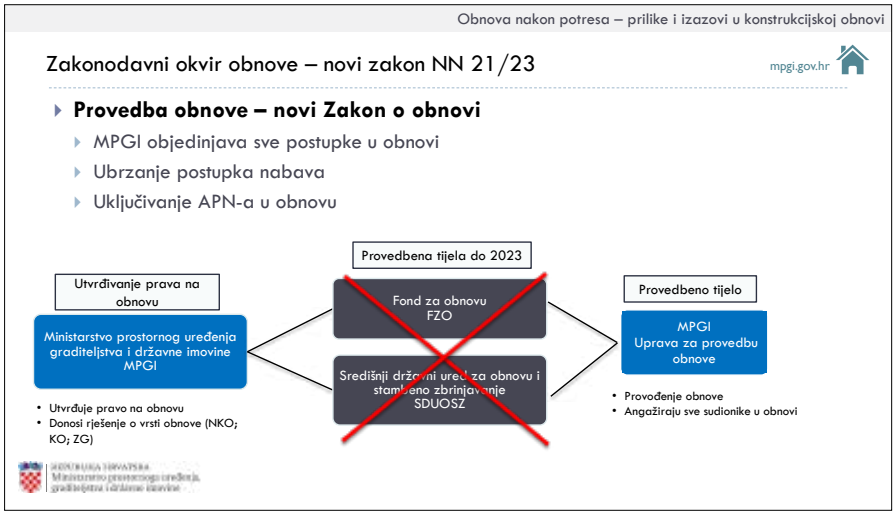
- **Petrinjski potres**
  - 28. I 29. prosinca 2020. od kojih je najjači bio magnitude 6,2 po Richteru
  - Najveći intenzitet procijenjen je da iznosi VIII-IX stupnjeva EMS ljestvice

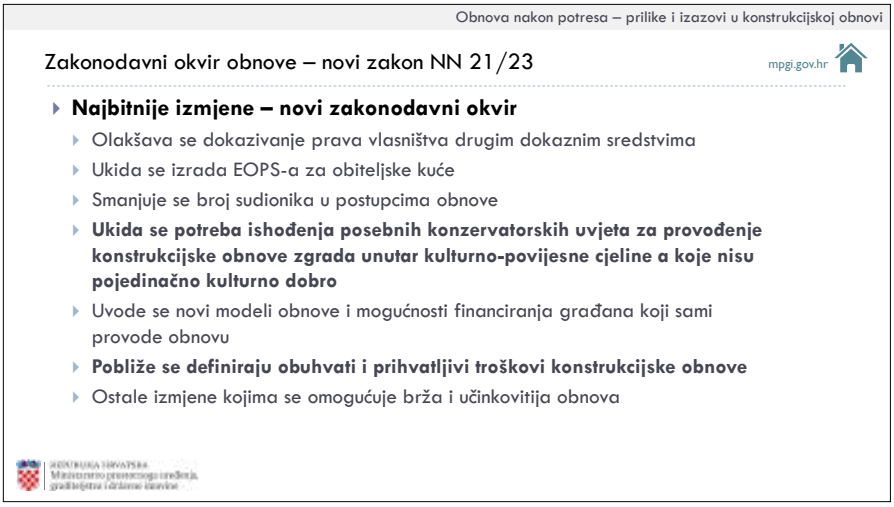


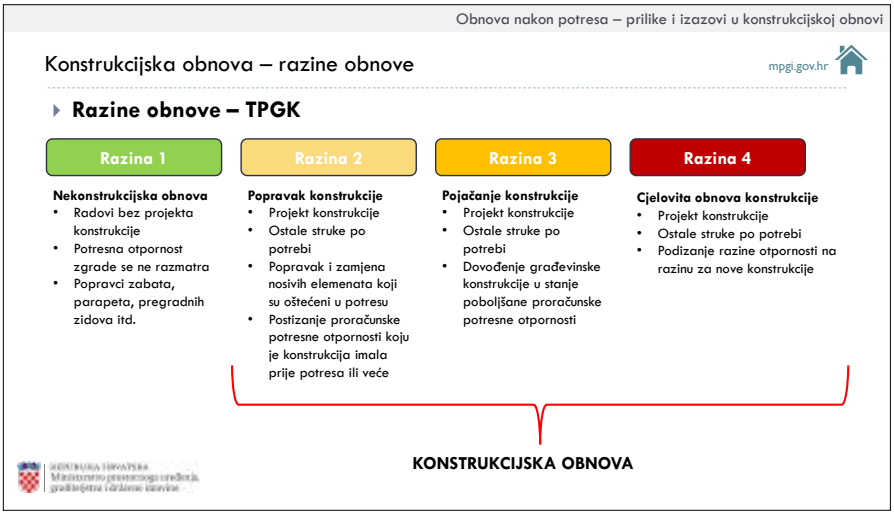

Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Procjena štete
mpgi.gov.hr
Procjena štete
Vlada RH uz tehničku podršku i instrumente svjetske banke provela brzu procjenu šteta i potreba za područja pogođena potresom
Korišteni podaci „brzih" pregleda
Zagrebački potres
Ukupna šteta procijenjena na 11,5 milijardi eura (86 milijardi kuna)
Petrinjski potres
Ukupna šteta procijenjena na 5,5 milijardi eura (41,6 milijardi kuna)
17 milijardi eura (128 milijardi kuna)
CROATIA EARTHQUAKE
2020
CROATIA

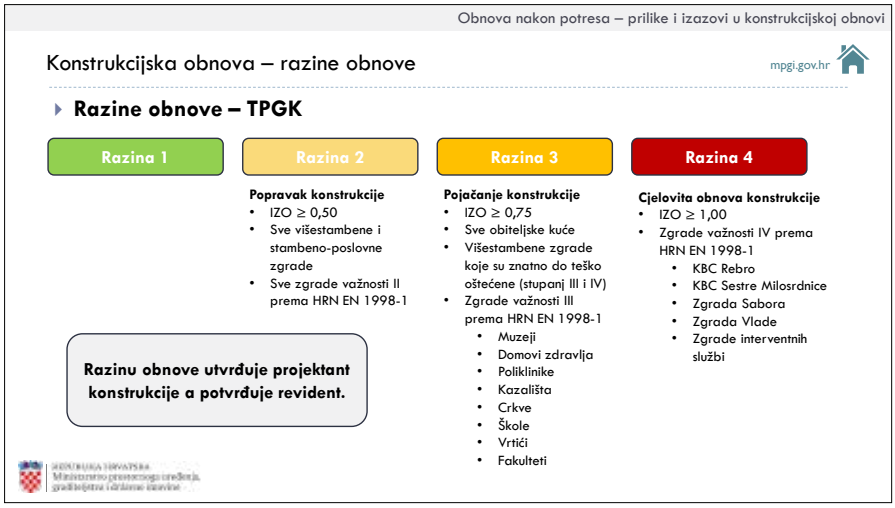

Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Potreba za obnovom
mpgi.gov.hr
Zahtjevi za obnovu
Do kraja 2023 godine podneseno skoro 34 tisuće zahtjeva za obnovu
29 % ukupnog broja zahtjeva odnosi se na konstrukcijsku obnovu
60%
Zahtjeva za nekonstrukcijsku obnovu
29%
Zahtjeva za konstrukcijsku obnovu
11%
Zahtjeva za uklanjanje i gradnju


Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Zakonodavni okvir obnove
mpgi.gov.hr
Zakon o obnovi zgrada oštećenih potresom NN 21/23
Glavni akt
Programa mjera obnove zgrada oštećenih potresom na području NN 154/24
Definira vrste obnove, prava, iznose sredstava, obveze sudionika itd.
Pravilnik o sadržaju i tehničkim elementima projekata obnove, projekta za uklanjanje zgrade
Definira sadržaj i oblik projekata obnove
Tehnički propis o izmjenama i dopunama Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije
Definira razine obnove, zahtjeve i potrebnu dokumentaciju


Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Zakonodavni okvir obnove – novi zakon NN 21/23
mpgi.gov.hr
Provedba obnove – novi Zakon o obnovi
MPGI objedinjava sve postupke u obnovi
Ubrzanje postupka nabava
Uključivanje APN-a u obnovu
Utvrđivanje prava na obnovu
Ministarstvo prostornog uređenja graditeljstva i državne imovine MPGI
Utvrđuje pravo na obnovu
Donosi rješenje o vrsti obnove (NKO; KO; ZG)
Provedbena tijela do 2023
Fond za obnovu FZO
Središnji državni ured za obnovu i stambeno zbrinjavanje SDUOSZ
Provedbeno tijelo
MPGI Uprava za provedbu obnove
Provođenje obnove
Angažiraju sve sudionike u obnovi


Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Zakonodavni okvir obnove – novi zakon NN 21/23
mpgi.gov.hr
Najbitnije izmjene – novi zakonodavni okvir
Olakšava se dokazivanje prava vlasništva drugim dokaznim sredstvima
Ukida se izrada EOPS-a za obiteljske kuće
Smanjuje se broj sudionika u postupcima obnove
Ukida se potreba ishođenja posebnih konzervatorskih uvjeta za provođenje konstrukcijske obnove zgrada unutar kulturno-povijesne cjeline a koje nisu pojedinačno kulturno dobro
Uvode se novi modeli obnove i mogućnosti financiranja građana koji sami provode obnovu
Pobliže se definiraju obuhvati i prihvatljivi troškovi konstrukcijske obnove
Ostale izmjene kojima se omogućuje brža i učinkovitija obnova


Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Konstrukcijska obnova – razine obnove
mpgi.gov.hr
Razine obnove – TPGK
Razina 1
Nekonstrukcijska obnova
Radovi bez projekta konstrukcije
Potresna otpornost zgrade se ne razmatra
Popravci zabata, parapeta, pregradnih zidova itd.
Razina 2
Popravak konstrukcije
Projekt konstrukcije
Ostale struke po potrebi
Popravak i zamjena nosivih elemenata koji su oštećeni u potresu
Postizanje proračunske potresne otpornosti koju je konstrukcija imala prije potresa ili veće
Razina 3
Pojačanje konstrukcije
Projekt konstrukcije
Ostale struke po potrebi
Dovođenje građevinske konstrukcije u stanje poboljšane proračunske potresne otpornosti
Razina 4
Cjelovita obnova konstrukcije
Projekt konstrukcije
Ostale struke po potrebi
Podizanje razine otpornosti na razinu za nove konstrukcije
KONSTRUKCIJSKA OBNOVA


Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Konstrukcijska obnova – razine obnove
mpgi.gov.hr
Razine obnove – TPGK
Razina 1
Razina 2
Razina 3
Razina 4
Popravak konstrukcije
IZO ≥ 0,50
Sve višestambene i stambeno-poslovne zgrade
Sve zgrade važnosti II prema HRN EN 1998-1
Pojačanje konstrukcije
IZO ≥ 0,75
Sve obiteljske kuće
Višestambene zgrade koje su znatno do teško oštećene (stupanj III i IV)
Zgrade važnosti III prema HRN EN 1998-1
Muzeji
Domovi zdravlja
Poliklinike
Kazališta
Crkve
Škole
Vrtići
Fakulteti
Cjelovita obnova konstrukcije
IZO ≥ 1,00
Zgrade važnosti IV prema HRN EN 1998-1
KBC Rebro
KBC Sestre Milosrdnice
Zgrada Sabora
Zgrada Vlade
Zgrade interventnih službi
Razinu obnove utvrđuje projektant konstrukcije a potvrđuje revident.


Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Konstrukcijska obnova – obiteljske kuće i stambene zgrade
mpgi.gov.hr
Konstrukcijska obnova – osnovni princip
Mehanička stabilnost i otpornost jedini temeljni zahtjev koji je nužno ispuniti temeljem našeg Zakona o obnovi
Građevinska mapa je glavna mapa a često i jedina mapa!!!
Projektantska odgovornost ne završava s predajom projekta obnove već traje kroz sve faze izvođenja radova te bi trebala biti prisutna i u kasnijoj uporabi obnovljene zgrade
Završni radovi se ne izvode (soboslikarski itd)
Problematika razrade projekata – obratiti pozornost na instalacije – problem izvođenja nakon ojačanja zidova
Ne postoji obveza tehničkog pregleda

Konstrukcijska obnova – obiteljske kuće i stambene zgrade

mpgi.gov.hr

- **Konstrukcijska obnova – osnovni princip**
  - **Ispravnost i zaštita instalacija -** nužnost i prihvatljivost ostalih radova koji proizlaze iz tehničkog rješenja obnove – **zgrada mora nakon obnove biti uporabljiva**
  - Osviještenje korisnika pri daljnjem korištenju a naročito adaptacijama (npr. zadiranje u FRCM nosivih zidova prilikom adaptacija)
  - **Racionalizacija tehničkih rješenja –** što manje zadiranja u posebne dijelove kada je moguće
  - **Glavne instalacijske vertikale** moraju ostati lako dostupne nakon završene konstrukcijske obnove
  - **Energetska obnova** zgrada oštećenih u potresu (NPOO 54,5 mil EUR)





Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi

Konstrukcijska obnova – obiteljske kuće i stambene zgrade

mpgi.gov.hr

- **Konstrukcijska obnova – problem instalacija**









Konstrukcijska obnova – obiteljske kuće

mpgi.gov.hr

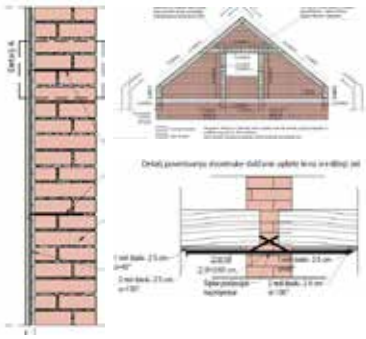
- **Obiteljske kuće**
  - Najveći broj lokacija za konstrukcijsku obnovu
  - Preko 7000 obiteljskih kuća prijavljeno na konstrukcijsku obnovu
  - Veliki broj projekata u kratko vrijeme
  - Pokušaj „tipizacije" projektnih rješenja
  - Izrada smjernica za projektiranje (MPGI u suradnji s HCPI-om)
  - Izrada generičkih troškovnika – pojednostavljenje provođenja nabave
  - Jednostavnija organizacija gradilišta – veliki broj van povijesnih jezgri



Konstrukcijska obnova – obiteljske kuće

mpgi.gov.hr

- **Obiteljske kuće – smjernice (MPGI/HCPI)**
  - Nosivi zidovi – ojačanje zidova s vanjske strane armiranom žbukom s pojačanjem temeljnih traka
  - Unutarnja oštećenja nosivih zidova – FRCM
  - Međukatna konstrukcija – izvedba tlačne ploče ili podaskavanje
  - Krovište – popravak nosive konstrukcije i pokrova
  - Zabatni zidovi – izvedba omeđenih zabatnih zidova sa sidrenjem u zidove etaže ispod
  - Izbjegavanje skupih materijala




Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Konstrukcijska obnova – višestambene zgrade
mpgi.gov.hr
Višestambene zgrade
Preko 1000 lokacija prijavljenih za konstrukcijsku obnovu
Kompleksnija projektna rješenja
Nedokumentirani zahvati/adaptacije kroz godine
Veliki broj lokacija u povijesnim jezgrama
Očuvanje kulturne baštine
Problem organizacije gradilišta u kulturno – povijesnim cjelinama
Problematika predavanja zgrade u posjed – poslovni prostori / stanari


Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Konstrukcijska obnova – višestambene zgrade
mpgi.gov.hr
Višestambene zgrade
Primorska 17
Jurišićeva 9
Ilica 139
Augusta Šenoe 9,11,13

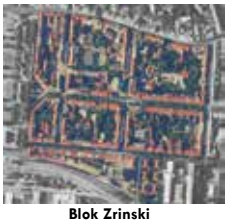
Konstrukcijska obnova – višestambene zgrade

mpgi.gov.hr

- **Višestambene zgrade – blokovska obnova**
  - Obnova zagrebačkih blokova – ubrzanje obnove
  - Paralelna obnova svih zgrada u bloku
  - Jednostavnija organizacija gradilišta
  - Usklađena tehnička rješenja za cijeli blok
    - **Blok 20 (11 zgrada s 113 posebnih jedinica)**
    - **Blok Medulić (17 zgrada s 154 posebne jedinice)**
    - **Blok Zrinski ZG (24 zgrade s 317 posebnih jedinica)**
    - Kukovićeva kuća (6 ulaza sa 73 posebne jedinice)
    - **Mali Vatikan (25 ulaza s 259 posebnih jedinica)**
    - Blok Svačić (42 zgrade sa 471 posebnom jedinicom)



Blok Svačić



Blok Zrinski

Konstrukcijska obnova – kulturna baština u privatnom (su)vlasništvu

mpgi.gov.hr

- **Zgrade unutar kulturno – povijesne cjeline**
  - Obnova financirana sredstvima DP
  - MKM izrađuje program obnove
  - Cjelovita obnova pročelja **nije prihvatljiv trošak**
  - Ukoliko se zahvatima zadire u plastiku pročelja:
    - Izraditi arhitektonski snimak pročelja
    - Konzervatorski i restauratorski istražni radovi
    - Priprema za cjelovitu obnovu pročelja (II faza)
  - Novi zakon **o održavanju i upravljanju zgradama:**
    - **Program uređenja pročelja –** sufinanciranje unutar kulturno povijesne cjeline **1/3 RH, 1/3 JLS i 1/3 suvlasnici**
    - Program **ugradnje dizala,** javni poziv – energetska obnova



Program cjelovite obnove kulturno-povijesne cjeline Grada Petrinje nakon potresa 2020.



Program cjelovite obnove kulturno-povijesne cjeline Grada Gline



Program cjelovite obnove kulturno-povijesne cjeline Grada Siska

Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi

Konstrukcijska obnova – kulturna baština u privatnom (su)vlasništvu

mpgi.gov.hr

- **Pojedinačno zaštićena kulturna dobra**
  - Obnova financirana sredstvima DP
  - Ukupno zaprimljeno 140 zahtjeva
  - Cjelovita obnova:
    - Mehanička otpornost i stabilnost
    - Gospodarenje energijom i očuvanje topline
    - Ostali temeljni zahtjevi – samo ako je moguće bez većih troškova
  - Cjelovito se obnavljaju **samo zajednički dijelovi**
  - **Posebni dijelovi** – obnova do razine KO
  - **Poslovni prostori** – obnova do razine grubih radova bez instalacija





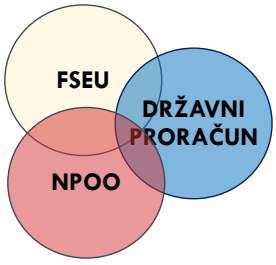
REPUBLIKA HRVATSKA
Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine

Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi

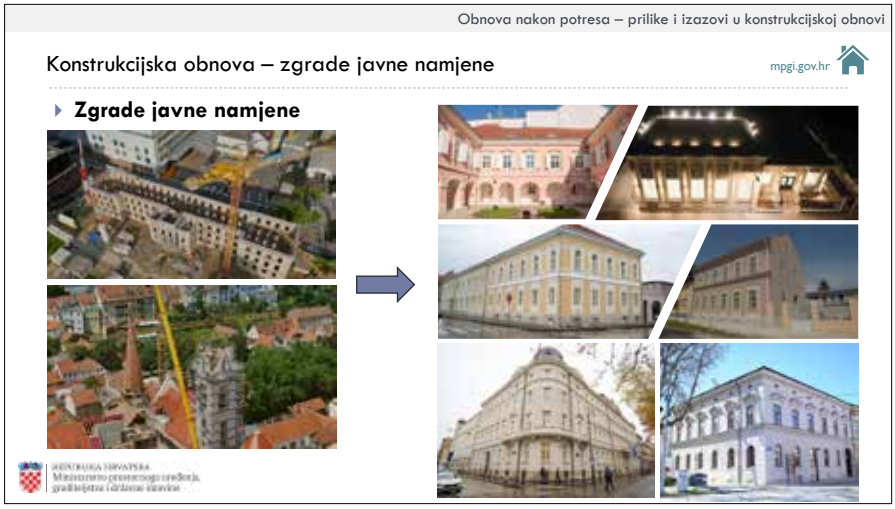
Konstrukcijska obnova – zgrade javne namjene

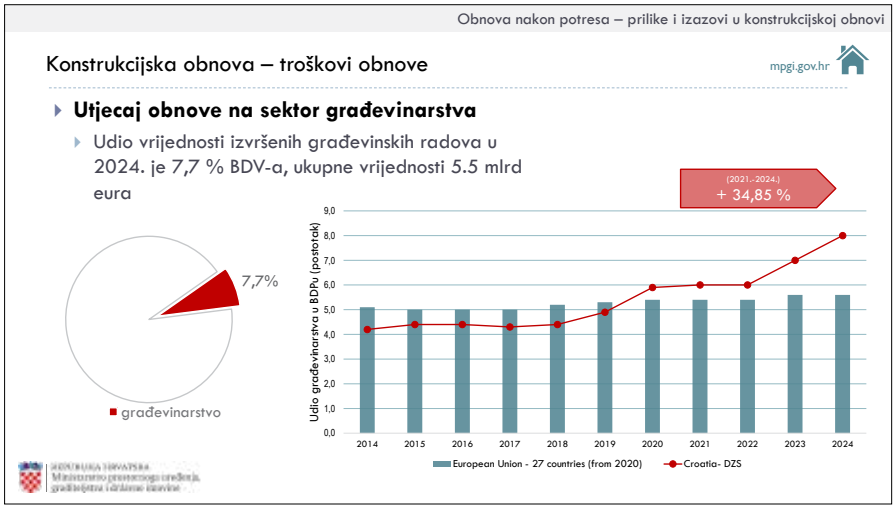
mpgi.gov.hr

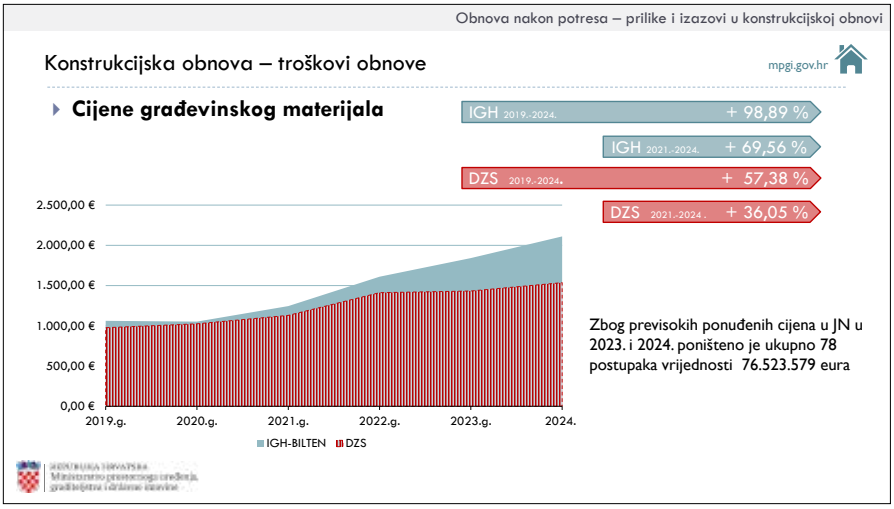
- **Zgrade javne namjene**
  - Obnova financirana sredstvima FSEU/NPOO/DP
  - **FSEU – konstrukcijska obnova**
  - **NPOO – cjelovita obnova** (energetska i poboljšice)
  - 214 projekata javnih zgrada
  - Ukupna vrijednost 2,48 milijarde eura
  - Veliki angažman građevinske operative te projektanata i nadzornih inženjera
  - Veliki broj završenih projekata



REPUBLIKA HRVATSKA
Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine


Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Konstrukcijska obnova – zgrade javne namjene
mpgi.gov.hr
Zgrade javne namjene


Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Konstrukcijska obnova – troškovi obnove
mpgi.gov.hr
Utjecaj obnove na sektor građevinarstva
Udio vrijednosti izvršenih građevinskih radova u 2024. je 7,7 % BDV-a, ukupne vrijednosti 5.5 mlrd eura
7,7%
građevinarstva
(2021.-2024.)
+ 34,85 %
Udio građevinarstva u BDPu (postotak)
European Union - 27 countries (from 2020)
Croatia- DZS


Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Konstrukcijska obnova – troškovi obnove
mpgi.gov.hr
Cijene građevinskog materijala
IGH 2019.-2024. + 98,89 %
IGH 2021.-2024. + 69,56 %
DZS 2019.-2024. + 57,38 %
DZS 2021.-2024. + 36,05 %
2.500,00 €
2.000,00 €
1.500,00 €
1.000,00 €
500,00 €
0,00 €
2019.g.
2020.g.
2021.g.
2022.g.
2023.g.
2024.
IGH-BILTEN
DZS
Zbog previsokih ponuđenih cijena u JN u 2023. i 2024. poništeno je ukupno 78 postupaka vrijednosti 76.523.579 eura


Obnova nakon potresa – prilike i izazovi u konstrukcijskoj obnovi
Zaključci – konstrukcijska obnova nakon potresa
mpgi.gov.hr
Zaključci
Konstrukcijska obnova – kompleksni zahvati
Blokovska obnova – ubrzanje obnove Donjeg grada
Javna nabava – problematika velikog broja poništenih postupaka nabave
Standardizacija troškovnika – pomoć kod ugovaranja
Kontinuirana edukacija svih sudionika u obnovi

DOI 10.21857/yk3jwh77o9

Prezentacija predavanja

NAČINI KONSTRUKCIJSKE OBNOVE GRAĐEVINA

Prof. dr. sc. Josip Atalić, izv. prof. dr. sc. Marija Demšić
Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Josip Atalić, Marija Demšić

NAČINI KONSTRUKCIJSKE OBNOVE GRAĐEVINA

Sažetak predavanja

Zagrebački i petrinjski potresi koji su 2020. godine pogodili središnju Hrvatsku razotkrili su značajne konstrukcijske nedostatke mnogih zidanih zgrada, posebno onih izgrađenih prije uvođenja suvremenih protupotresnih standarda. Najranjivije kategorije zgrada bile su zgrade gradskih blokova u zagrebačkom Donjem gradu te u povijesnim jezgrama Petrinje, Gline i Siska. U ovom će se predavanju prikazati izvorni i stečeni konstrukcijski nedostatci zidanih zgrada izgrađenih krajem 19. i početkom 20. stoljeća koji uvjetuju njihovu koncepciju obnove. Također će se predstaviti različite razine obnove, od hitnih mjera do ojačanja konstrukcije. Prezentirat će se tehnološka rješenja koja su primijenjena u projektima obnove stambenih i javnih zgrada u Zagrebu, te o izazovima obnove u kontekstu zaštite kulturne baštine.

O predavačima

Josip Atalić je izvanredni profesor na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Glavna su područja njegovoga istraživanja potresno inženjerstvo (uključujući procjene rizika od potresa, analizu seizmičkih ojačanja itd.), numeričko modeliranje i povijesne građevine. Od 2014. godine predvodi niz aktivnosti na razini države vezano za upravljanje rizikom od potresa. Autor je nacionalnih dokumenta Procjena rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj – rizik od potresa, a sudjelovao je na procjeni sposobnosti i kapaciteta RH vezano za rizik od potresa, na definiranju nacionalne strategije upravljanja rizicima od katastrofa, strategije razvoja sustava civilne zaštite i slično. Vodio je Studiju za saniranje posljedica potresa u suradnji s Gradom Zagrebom, a bio je i voditelj tima Građevinskog fakulteta za projekt Procjena rizika grada Zagreba koji predstavlja pilot projekt na razini RH. Trenutno je voditelj nacionalnog projekta ‘’Projekt istraživanja u području potresnoga inženjerstva’’. Jedan je od inicijatora i koordinatora pregleda oštećenja i uporabljivosti zgrada nakon potresa u 2020. godini i niza aktivnosti nužnih za brzi oporavak zajednice, sudjelovanja u povjerenstvima ministarstava, izrade Stručnih smjernica i Preliminarne procjene troškova kao podršku Zakonu o obnovi, procjene šteta i potreba (RDNA) nakon potresa u Zagrebu i potresa kod Petrinje, organizacije brojnih seminara/savjetovanja, organizacije Hrvatske konferencije o potresnom inženjerstvu (CroCEE), izrade dva

priručnika i slično. Sudjelovao je u izradi preko 150 raznovrsnih stručnih projekata, a trenutno je glavni projektant u projektima obnove Zagrebačke katedrale. Voditelj je podružnice Hrvatskog centra za potresno inženjerstvo (HCPI) pri Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i predsjednik udruge Hrvatski centar za potresno inženjerstvo – interventna služba (HCPI-IS) koja je nastala na temeljima brojnih aktivnosti stručnjaka nakon potresa u 2020. godini.

Marija Demšić (rođ. Nikolić), izvanredna je profesorica na Sveučilištu u Zagrebu, Građevinskom fakultetu (GFZg) na Zavodu za tehničku mehaniku. Diplomirala je 2009. godine, a doktorirala 2015. na GFZg-u. Zaposlena je na Građevinskom fakultetu u Zagrebu od 2010. godine, a 2022. izabrana je u zvanje izvanrednog profesora. Nositeljica je dva kolegija na preddiplomskom studiju, dva na diplomskom i po jednog kolegija na specijalističkom i doktorskom studiju. Od 2023. voditeljica je novoosnovanog specijalističkog studija Potresno inženjerstvo. Njezin znanstveni rad obuhvaća dinamiku konstrukcija, potresno inženjerstvo te numeričko modeliranje konstrukcija. Aktivno sudjeluje na poslovima projektiranja i izrade stručnih ekspertiza, te je suradnica na više znanstvenih i stručnih projekata u čijoj provedbi sudjeluje Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Objavila je više znanstvenih radova u časopisima zastupljenim u bazi podataka WoSCC, te na međunarodnim, domaćim i stručnim skupovima. Suautorica je više poglavlja u monografiji *Potresno inženjerstvo – obnova zidanih zgrada*. Aktivno je sudjelovala u procjeni oštećenja građevina nakon potresa u Zagrebu i Petrinji 2020. godine te u pripremi dokumenata za međunarodne fondove pomoći u suradnji s Vladom RH i Svjetskom bankom. Za rad na otklanjanju posljedica potresa u Petrinji nagrađena je priznanjem "Kolos" Hrvatske komore inženjera građevinarstva (HKIG). Jedna je od osnivačica udruge Hrvatski centar za potresno inženjerstvo – interventna služba.

Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti
Razred za tehničke znanosti
i
Hrvatski centar za potresno inženjerstvo

POTRESNO INŽENJERSTVO - OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA

Zagreb, 9. svibnja 2025.

Načini konstrukcijske obnove građevina

Josip Atalić, **Marija Demšić**

Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
Zavod za tehničku mehaniku

Sadržaj

Uvod – potresni rizik, potresna otpornost građevina i razine obnove

Pristup obnovi građevina

Poznavanje građevine

Mjere obnove i ojačanja horizontalnih i vertikalnih elemenata konstrukcije

Konceptualna rješenja obnove – primjeri

Problem postojećih građevina i 2BeSafe projekt

Zaključak

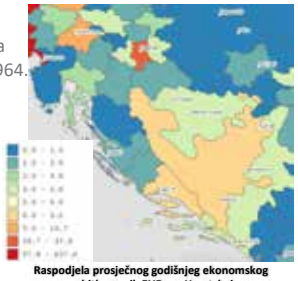
Uvod – Potresni rizik Zagreba i Hrvatske

Izloženost i ranjivost fonda zgrada

- Nedostatak podataka za procjene rizika
- Stari fond zgrada (>22% zgrada prije 1964. dodatnih 41 % prije 1981.)
- Loše održavanje, nedokumentirane rekonstrukcije…

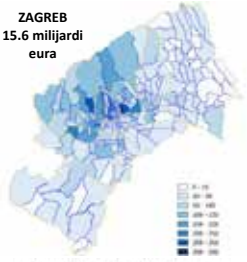
Aktivnosti na procjeni rizika

- Identifikacija rizika za Hrvatsku (2014.)
- Procjena seizmičkog rizika za Zagreb (2015.)
- Procjena višestrukih rizika (2015.)
- Procjena seizmičkog rizika za županije u Hrvatskoj (2015.)
- Ažurirana procjena seizmičkog rizika (2018.)
- Studija smanjenja rizika od potresa u Gradu Zagrebu, (2013. – 2020.)
- SERA – europski projekt
- Procjena rizika od potresa – Zagreb (2023.) pilot projekt za RH



Raspodjela prosječnog godišnjeg ekonomskog gubitka u mil. EUR-a u Hrvatskoj
H. Crowley et al (2021) European Seismic Risk Model Viewer

ZAGREB
15.6 milijardi eura



Ekonomski gubici u mil. EUR za scenarij najgoreg vjerojatnog hazarda s povratnim razdobljem od 475 godina za Zagreb (Atalić et al. 2018.)



Procjena seizmičkog rizika, Građevinski fakultet, Ministarstvo graditeljstva (2015.)

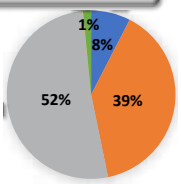
Uvod – Potresni rizik Zagreba i Hrvatske

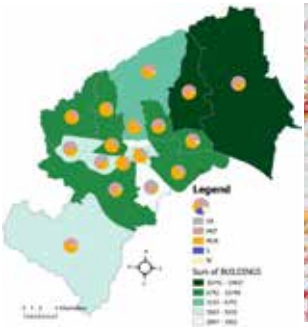
Izloženost i ranjivost fonda zgrada

- Tipologije zgrada grada Zagreba

Atalić i sur. Procjena rizika od potresa - grad Zagreb

CR – armirani beton
MCF – omeđeno zide
MUR – obično zide
S – čelik
SRC – čelik - beton
W – drvo





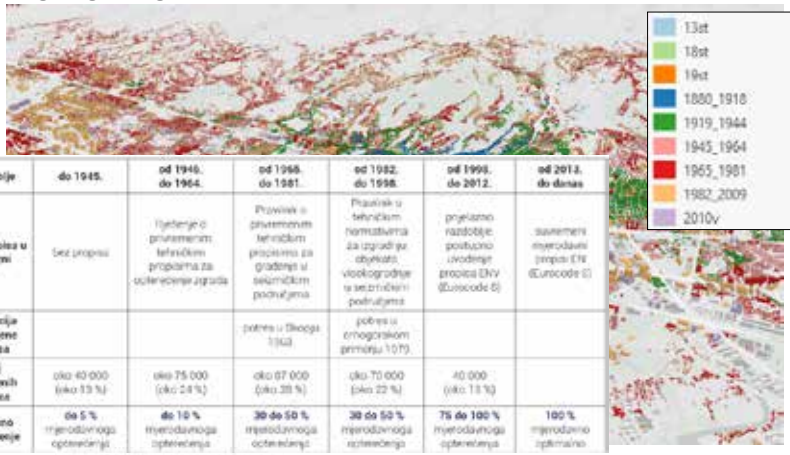


Uvod – Potresni rizik Zagreba i Hrvatske

Izloženost i ranjivost fonda zgrada

- Starost zgrada grada Zagreba

Atalić i sur. Procjena rizika od potresa - grad Zagreb



Razdoblje	do 1945.	od 1946. do 1964.	od 1968. do 1981.	od 1982. do 1998.	od 1998. do 2012.	od 2013. do danas
Opis propisa u primjeni	bez propisa					
Motivacija za izmjene propisa			potres u Skopju 1963.	potres u crnogorskom primorju 1979.		
Broj stambenih jedinica	oko 40 000 (oko 13 %)	oko 75 000 (oko 24 %)	oko 67 000 (oko 20 %)	oko 70 000 (oko 22 %)	40 000 (oko 13 %)	
Potresno opterećenje	do 5 % mjerodavnoga opterećenja	do 10 % mjerodavnoga opterećenja	30 do 50 % mjerodavnoga opterećenja	30 do 50 % mjerodavnoga opterećenja	75 do 100 % mjerodavnoga opterećenja	100 % mjerodavno optimalno

Atalić i sur. Studija grada Zagreba

Uvod – Oštećenja građevina u zagrebačkom i petrinjskom potresu

Potres u Zagrebu i oštećenja

- Nedjelja, 22. ožujka: ML5.5 u 6:24
- najveći procjenjeni intenzitet EMS VII
- Epicentar 7 km sjeverno od centra
- Dubina 8 km
- Više od 1400 potresa u 45 dana
- 1 smrtno stradala osoba
- 26 ozlijeđeno
- Oštećeno oko 22000 zgrada
- 30000 raseljenih ljudi
- Ukupna šteta - 11,3 mlrd. EUR
- Cijena obnove - 17,5 mlrd. EUR

World Bank, RDNA Zagreb, 2020.

- 5816 zgrada – neupotrebljivo







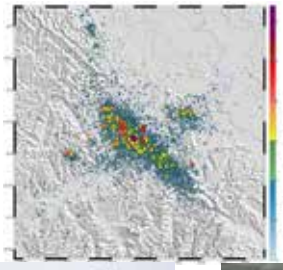


Uvod – Oštećenja građevina u zagrebačkom i petrinjskom potresu

Potres u Petrinji i oštećenja

- Prethodni potres, 28. prosinca: M_L5.1 u 6:24
- Glavni potres, 29. prosinca: M_L6.2
- Epicentar 4.5 km JZ od Petrinje, 50 km od Zagreba
- Dubina 6-7 km
- 7 poginulih, 15 ozlijeđenih, oko 4,000 iseljenih obitelji
- Šteta procijenjena na 4.8 milijarde EUR
- Obnova i oporavak na 8.4 milijarde EUR

World Bank, RDNA Petrinja, 2021.



Karta epicentara potresa u Petrinji u razdoblju od 28. prosinca 2020. do 29. ožujka 2021.

Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu:



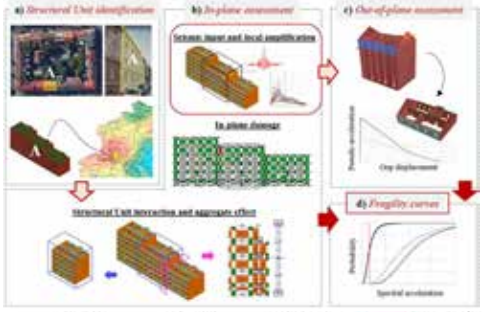




Potresna oštetljivost zgrada unutar niza gradskog bloka

Analiza tradicijske zidane zgrade unutar niza gradskog bloka

- Istraživanje je pokazalo da mehanizmi otkazivanja izvan ravnine (npr. rušenje zabatnih zidova i fasadnih zidova) bitno doprinose razini oštećenja
- Učinak niza na jedinicu unutar njega smanjuje oštetljivost elemenata u ravnini i ima pozitivan učinak kod nižih i srednjih razina oštećenja (DL2 i DL3)
- Rezultati upućuju na bitne konstrukcijske nedostatke tipičnih tradicijskih zgrada u Donjem gradu kojima su fasadni zidovi i poprečni zidovi skupa sa stropnom konstrukcijom nedovoljno povezani.



***Pinasco et al*, Seismic fragility assessment of existing masonry buildings in aggregate located in Zagreb, 2025**

Uvod –otpornost građevina i razine obnove

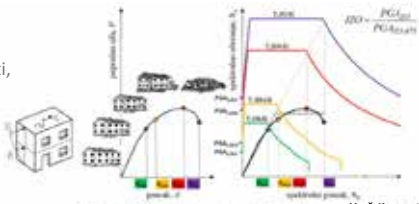
Razine oštećenja konstrukcije:

• Oštećenja u ravnini i izvan ravnine

• Distribucija oštećenja uvjetuje razinu oštećenosti, odnosno pojava lokalnih mehanizama otkazivanja koja ugrožavaju vertikalnu stabilnost konstrukcije

• Razina oštećenja – definira se na licu mjesta nakon pregleda zgrade nakon potresa ili se predviđa numeričkim modelima

• Zahtjev (npr. indeks znatnog oštećenja – IZO) se postavlja s obzirom na određenu vjerojatnost prekoračenja potresnog djelovanja



Shematski prikaz značenja IZO faktora

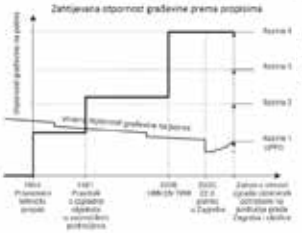
***Uroš*, Konceptualna rješenja obnove i mjere pojačanja konstrukcija , 2024.**

Razina obnove građevine

• Usko vezana za zahtjev otpornosti građevina na određeni potresni zahtjev

• Kompromis između zahtjeva trenutnog standarda i prihvatljive sigurnosti – razine 1, 2, 3 i 4

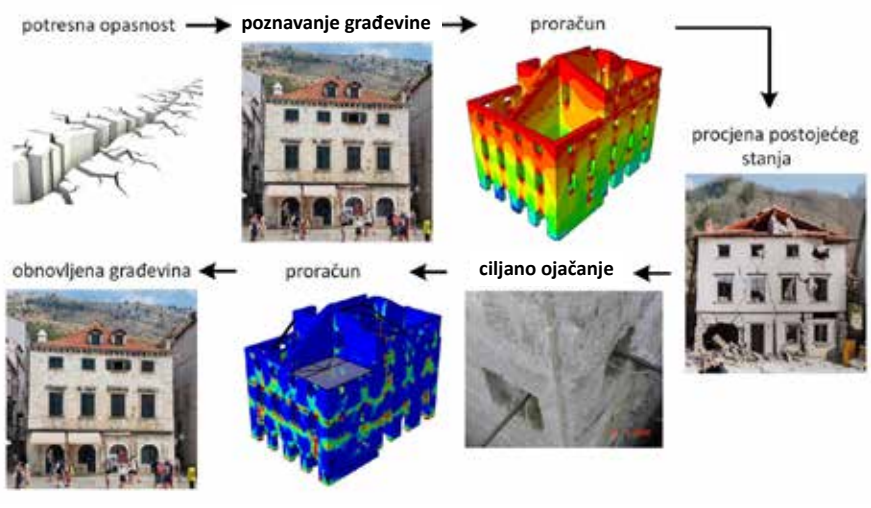
• Model cjelovite obnove



Shematski prikaz razina obnove u odnosu na stvarnu razinu otpornosti zgrade

Crnogorac i sur., Priručnik UPPO, 2020.

Pristup obnovi postojećih građevina



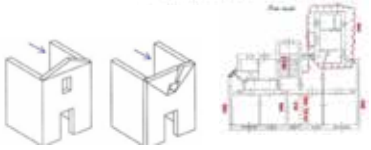
Poznavanje građevine – dokumentacija i vizualni pregled

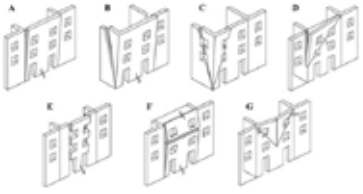
Potresna oštetljivost i nedostatci postojećih građevina:

- **Izvorni nedostatci** tradicijskih zidanih zgrada – neadekvatni spojevi, nedostatak ukrutnih zidova, nepravilnosti u tlocrtnoj i vertikalnoj dispoziciji, klasične drevne stropne konstrukcije itd.
- **Stečeni nedostatci** koji se tiču starenja gradiva i neodržavanja, neprimjerene rekonstrukcije zgrada i (na)dogradnje građevine itd.
- Nedostaci uzrokovani promjenama uvjeta lokacije i tla
- Nedostaci uzrokovani prethodnim izvanrednim djelovanjima



***Crnogorac*, Obnova zidanih zgrada, 2021**





D'Ayala & Speranza, Definition of Collapse Mechanisms and Seismic Vulnerability of Historic Masonry Buildings, 2002

Poznavanje građevine – istražni radovi

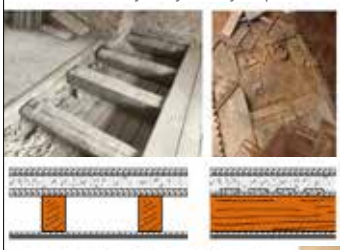
• temelji: utvrđivanje vrste, kvalitete, izmjere dimenzija, oštećenja temelja, određivanje dubine temeljenja...

• istražne sonde u stropnim konstrukcijama radi određivanje ukupne debljine stropova, vrste stropne konstrukcije, debljine slojeva, dimenzija i razmaka nosivih elemenata;

• skidanje slojeva žbuke i utvrđivanje veza te strukture zida, jasnije utvrđivanje razine oštećenja elemenata – mjerenje debljine pukotina



Foto: U.O.I.G. Tarnik



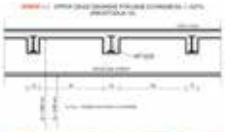




Foto: Toding





Laboratorij za ispitivanje konstrukcija, Krolo i sur.

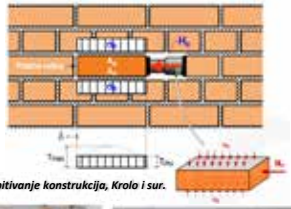
Poznavanje građevine – istražni radovi

• Ispitivanje mehaničkih svojstava ugrađenih gradiva (ziđe, mort, opeka, kamen, čelične zatege, beton, armatura…)

• Utvrđivanje dinamičkih parametara postojeće konstrukcije (operativna modalna analiza)

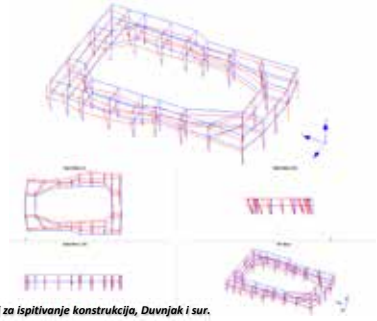
• Kod posebno vrijednih građevina kulturnih dobara – 3D snimak geometrije i ostalih detalja

• **Opseg istražnih radova uvjetuje RAZINU ZNANJA o građevini**



Laboratorij za ispitivanje konstrukcija, Krolo i sur.







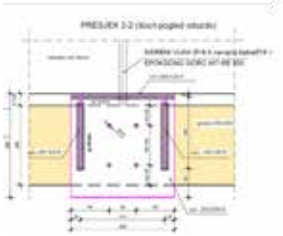
Laboratorij za ispitivanje konstrukcija, Duvnjak i sur.

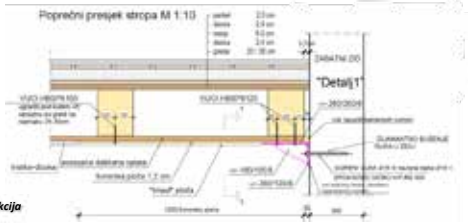
Ojačanje horizontalnih konstrukcija - primjeri

Plošno ukrućivanje grednika

- Djelomično kruta dijafragma – ukručujući pojas od furnirskih ploča
- Povezivanje grednika i zidova „L" profilima i čeličnim sponama







iTVZ, izvedbeni nacrti ojačanja horizontalnih konstrukcija

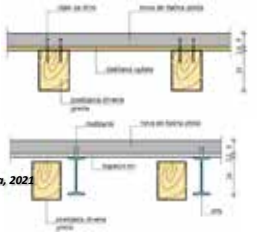
Ojačanje horizontalnih konstrukcija - primjeri

Plošno ukrućivanje grednika

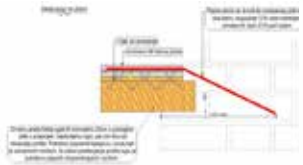
- Dovoljna krutost međukatne konstrukcije može se ostvariti novom ili spregnutom konstrukcijom
- Bitno je ostvariti spajanje (ojačanje) sidrenim šipkama sa obodnim zidovima u svrhu povezivanja zgrade u jednu cjelinu

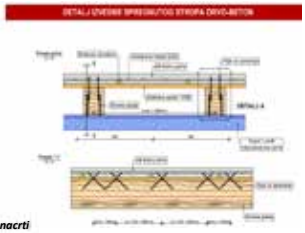


Pojatina, Potresno inženjerstvo - Obnova zidanih zgrada, 2021







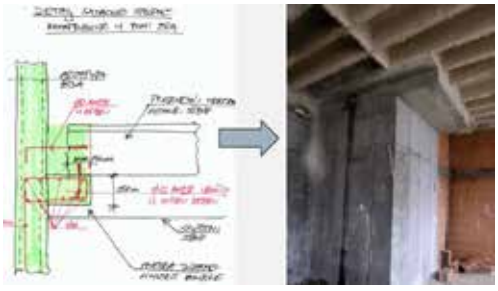


U.O.I.G. Tarnik, izvedbeni nacrti

Ojačanje horizontalnih elemenata - primjeri

Detalji spojeva postojeće stropne konstukcije sitnog rebra





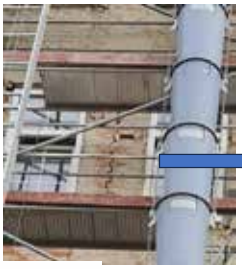


Toding, izvedbeni nacrti povezivanja postojeće horizontalne konstrukcije

Ojačanje vertikalnih elemenata - primjeri

Popravak pukotina

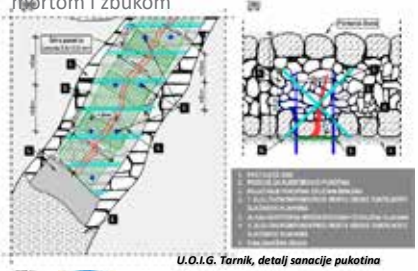
- Popravak oštećenog zida prije injektiranja
- Ciljati kritični mehanizam
- na mjestima većih pukotina ugrađuju se čelične spiralne šipke
- dodatno se postavljaju polimerne mreže (FRCM) u kombinaciji odgovarajućim mortom i žbukom



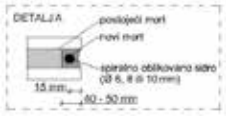




iTVZ, sanacija teško oštećenog zida



U.O.I.G. Tarnik, detalj sanacije pukotina







Baričević, Potresno inženjerstvo - Obnova zidanih zgrada Izdavač, 2021

Ojačanje vertikalnih elemenata - primjeri

- Manji opseg zahvata na konstrukciji obično uključje osnovno povezivanje fleksibilne/polukrute dijafragme i lokalno ojačanje
- Efektivnost FRCM sustava bitno će ovisiti o debljini postojećeg ziđa, jednostranom/dvostranom oblaganju.



Todorić, Potresno inženjerstvo – Obnova zidanih zgrada, 2021.









Ojačanje vertikalnih elemenata - primjeri

- Preziđivanje teže oštećenog zida
- Pretvaranje pregradnih zidova u omeđeno ziđe



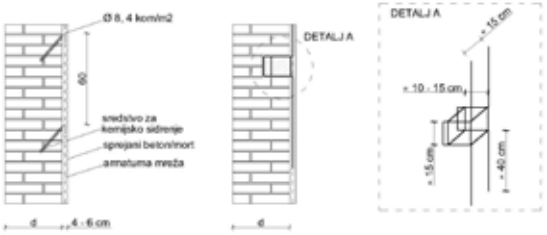
Todorić, Potresno inženjerstvo – Obnova zidanih zgrada, 2021.



Ojačanje vertikalnih elemenata - primjeri

Pojačanje zidanih zgrada ovijanjem AB oblogama

- osigurati kontinuitet te detalje sidrenja armaturne mreže sidrima ili posmičnim trnom
- zahtjeva i ojačanje temelja





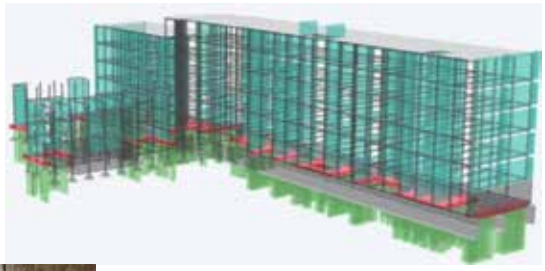


Uroš, Konceptualna rješenja obnove i mjere pojačanja konstrukcije

Načini obnove građevina - primjeri

Zgrada AGG fakulteta

- Koncept ojačanja – izgradnja novog nosivog sustava
  - Novi AB zidovi u kontinuitetu od temelja
- Povezivanje dilatacija u svrhu postizanja ujednačenijeg dinamičkog odziva – smanjenje ekscentriciteta
- Poboljšanje pojedinih konstrukcijskih segmenata i funkcionalne promjene







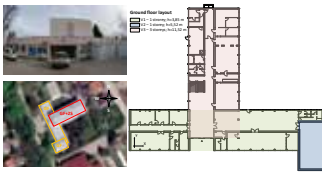


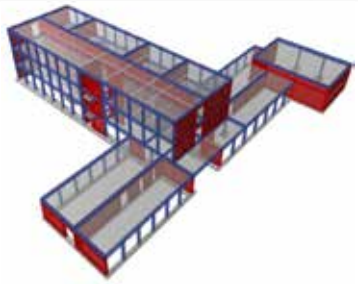
Toding, ojačanje zgrade AGG fakulteta

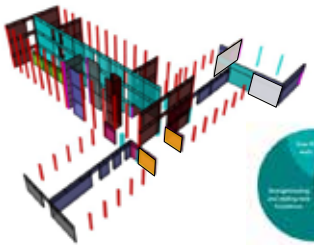
Načini obnove građevina - primjeri

Zgrada Učiteljskog fakulteta u Petrinji

- Čuvanje fasade (energetska obnova) na dijelu rubne okvirne konstrukcije
- Ojačanje unutarnjeg zidanog sustava i izvedba novih elemenata – AB zidova u svrhu postizanja ujednačenijeg odziva
- Poboljšanje pojedinih konstrukcijskih segmenata i funkcionalne promjene







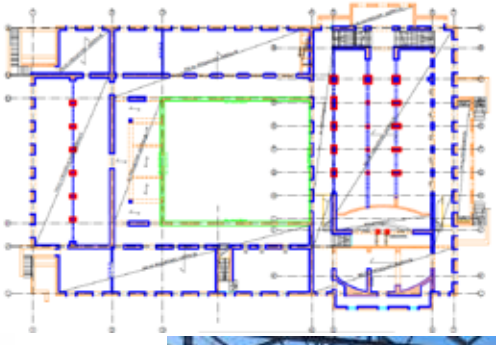


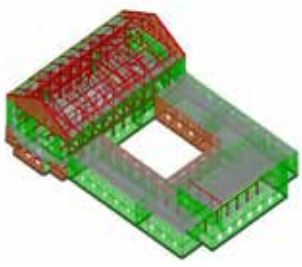
Uroš i sur., Seismic Retrofitting of Dual Structural Systems — A Case Study of an Educational Building in Croatia, 2023.

Načini obnove građevina - primjeri

Hrvatski dom u Petrinji

- Konstrukcija više puta nadograđivana i nepravilna
- Ojačanje postojećih elemenata uz instalaciju novih AB zidova
- Postojeće drveno krovište zamijenjeno novom čeličnom konstrukcijom







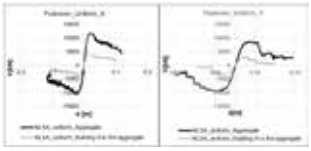


Problem postojećih građevina i 2BeSafe projekt

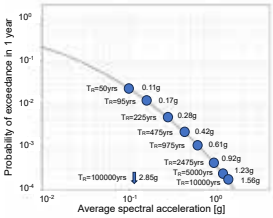
- Primjena numeričkih modela različite složenosti u svrhu pouzdanijeg određivanja potresne otpornosti građevina
- Krivulje ranjivosti za tipske zidane i armiranobetonske zgrade u Zagrebu
- Razrada metodologije ciljanih ojačanja

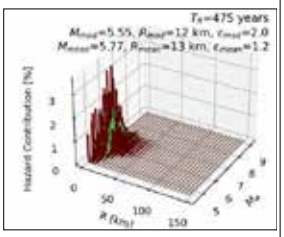






Krivulje kapaciteta nosivosti zgrade





Srednja krivulja hazarda PSHA za Sa,avg i deagregacija hazarda za Sa,avg za TR=475 yrs

Zaključak

- Zahvati koji se primjenjuju u obnovi i ojačanju konstrukcije trebaju biti u **skladu sa novim zahtjevima** koji se postavljaju na konstrukciju
- Projekti obnove i ojačanja postojećih konstrukcija vrlo su zahtjevni u procesu realizacije što zahtjeva kontinuirani
- Obnova nakon potresa treba biti početak kontinuirane revitalizacije zgrada koje će rezultirati smanjenjem potresnog rizika, prvi korak u tom smjeru je i uvođenje **seizmičkog certifikata**
- Građevine kulturne baštine – dopušta se odstupanje od osnovnih zahtjeva, **čuvanje baštinskih vrijednosti i zahtjev sigurnosti** treba svakako uskladiti kroz namjenu takvih građevina – npr. škole, bolnice?

Zahvala

Predstavljena rješenja predstavljaju realizirane projekte projektantskih ureda:
Toding,
U.O.I.G. Tarnik,
iTVZ,
i
Građevinskog fakulteta

A posebno zahvala kolegama…
• Mario Todorić, Krešimir Tarnik, Marijan Župan, Sanja Raich, Nikša Ivanović, Miroslav Duvnjak, Mario Uroš , Juraj Pojatina, Joško Krolo, Ivan Duvnjak, Ana Baričević, Marko Bartolac...

Predstavljeni znanstveni projekti realiziraju se uz financijsku potporu:

Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti
Razred za tehničke znanosti
i
Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
POTRESNO INŽENJERSTVO - OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA

Zagreb, 9. svibnja 2025.

Hvala na pažnji!

mdemsic@grad.hr

DOI 10.21857/mwo1vcrrly

Prezentacija predavanja

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA ZAGREBAČKE KATEDRALE

Prof. dr. sc. Damir Lazarević
Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Dipl. ing. Mario Todorić
Toding d.o.o.

Dipl. ing. Juraj Pojatina
Studio ARHING d.o.o.

Izv. prof. dr. sc. Petra Gidak
Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Prof. dr. sc. Josip Atalić
Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Damir Lazarević, Mario Todorić, Juraj Pojatina, Petra Gidak, Josip Atalić

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA ZAGREBAČKE KATEDRALE

Sažetak predavanja

Neogotička katedrala u Zagrebu, najveća je sakralna građevina u Hrvatskoj, pretrpjela je teška oštećenja u potresu magnitude 5,4 koji se dogodio 22. ožujka 2020. godine. Naknadni potresi, uključujući i snažni petrinjski potres 29. prosinca 2020. doveli su do znatnih progresivnih oštećenja građevine. S obzirom da se radi o iznimno vrijednoj građevini kulturne baštine, koncept obnove Zagrebačke katedrale temelji se na ravnoteži između očuvanja njezine povijesne autentičnosti i primjene suvremenih inženjerskih rješenja. Mjere sanacije i ojačanja konstrukcije odabrane su na način da kompenziraju nedostatke izvorne konstrukcije kako bi se osigurala razina prihvatljive sigurnosti. Analizu ove složene konstrukcije bilo je nužno početi od njenog konceptualnog oblikovanja, a budući da se radi o monumentalnoj zidanoj građevini, nametnuli su se brojni izazovi u numeričkom pristupu koji uključuju materijalnu nelinearnost, degradaciju i varijabilnost geometrije. Kako bi se izbjegao odviše kompatibilan pristup, za statičku i dinamičku analizu Katedrale korištena je metoda diskretnih elemenata za što je korišten programski paket 3DEC. Zbog složene geometrije, značajan napor uložen je u izradu numeričkog modela. U okviru prezentacije raspravljat će se i o odabiru ulaznih podataka za modeliranje materijala i nosivih elemenata, uključujući rezultate in-situ ispitivanja.

O predavačima

Damir Lazarević redoviti je profesor na Sveučilištu u Zagrebu, Građevinskom fakultetu (GFZg) na Zavodu za tehničku mehaniku. Diplomirao je 1993. godine, a doktorirao 2000. na GFZg-u. Na diplomskom studiju nositelj je četiriju kolegija, na specijalističkom studiju dvaju kolegija, a na doktorskom studiju četiriju kolegija. Do sada je bio mentor na više od 120 diplomskih radova i 5 doktorskih disertacija. Od 2010. do 2014. bio je pročelnik Katedre za statiku, dinamiku i stabilnost konstrukcija, a od 2014. do 2016. predstojnik Zavoda za tehničku mehaniku na GFZg-u. Njegov znanstveni rad obuhvaća široko područje tehničke mehanike i numeričkih metoda u analizi građevinskih konstrukcija, s posebnim naglaskom na potresno inženjerstvo i procjenu otpornosti povijesnih građevina, te mostova i industrijskih građevina. Autor je više od 70 znanstvenih radova objavljenih u časopisima i zborn-

icima nacionalnih i međunarodnih konferencija, te knjige „O načelima i postupcima proračuna građevinskih konstrukcija“, i poglavlja u sveučilišnoj monografiji „Potresno inženjerstvo – Obnova zidanih zgrada“. Sudjelovao je u nekoliko znanstvenih projekata, te je bio voditelj projekta Nestandardni modeli građevinskih konstrukcija, financiranog od Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske, i projekta Novi, učinkoviti iteracijski postupak proračuna konstrukcija, financiranog od Hrvatske zaklade za znanost. U suradnji s hrvatskom industrijom sudjelovao je u gotovo 100 projekata projektiranja i sanacije konstrukcija, uključujući objekte cementne industrije, građevine kritične infrastrukture, mostove velikih raspona i povijesne građevine, gdje je njegova znanstvena ekspertiza imala ključnu ulogu. Nakon potresa u Hrvatskoj 2020. godine, aktivno je sudjelovao u brzim pregledima oštećenja i procjeni uporabljivosti kritične infrastrukture, kao i u drugim aktivnostima vezanim uz smanjenje posljedica potresa. Od 2021. angažiran je na projektu obnove Zagrebačke katedrale te je autor koncepta obnove konstrukcije.

Mario Todorić ovlašteni je inženjer građevinarstva sa preko 35 godina iskustva u obavljanju stručnih poslova projektiranja i nadzora. Sudjelovao je u izgradnji velikog broja objekata raznih namjena u zemlji i inozemstvu, na područjima građevinarstva, energetike, industrije, prometa i turizma. Od strane Ministarstva prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine ovlašten je kao revident za kontrolu projekata s obzirom na mehaničku otpornost i stabilnost betonskih i zidanih konstrukcija. Od 2012. godine posjeduje ovlaštenje od strane Ministarstva za obavljanje poslova na zaštiti i očuvanja kulturnih dobara te je aktivno uključen u rekonstrukcije i seizmička ojačanja građevina zaštićenih kao kulturno dobro. Aktivno sudjeluje na stručnim skupovima i savjetovanjima, član je Povjerenstva za donošenje izmjena Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije i ekspertne grupe kod donošenja Zakona o obnovi nakon potresa. Uže područje struke veže za armiranobetonske i zidane konstrukcije te potresno inženjerstvo, što je rezultiralo nagradom KOLOS za 2013. godinu - nagrada Hrvatske komore inženjera građevinarstva za izuzetna dostignuća u struci za konstrukcije. Autor je više stručnih članaka na temu protupotresne gradnje te jedan od urednika i autora monografije *Potresno inženjerstvo – Obnova zidanih zgrada* i priručnika *UPPO – Urgentni program potresne obnove*. Nakon potresa koji je pogodio Zagreb i okolicu 2020., sudjelovao je u pregledu građevina, obnovi velikog broja objekata kao i u osnivanju HCPI – Hrvatskog centra za potresno inženjerstvo, čiji je član upravnog

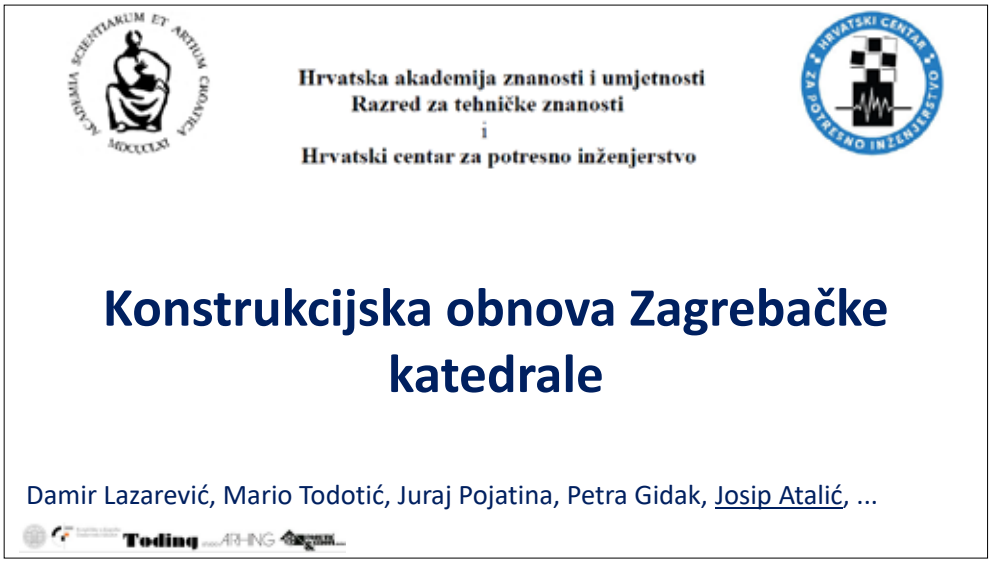
odbora i aktivno sudjeluje u daljnjem razvoju potresnog inženjerstva u zemlji. Trenutno vodi niz složenih projekata obnove zgrada oštećenih potresom, kao projektant konstrukcije i stručni nadzor, te sudjeluje kao projektant konstrukcije u projektnom timu obnove Zagrebačke katedrale.

Juraj Pojatina rođen je 1977. godine u Zagrebu. Diplomirao je 2003. na Građevinskom fakultetu u Zagrebu – konstruktersko usmjerenje. Dobitnik je Rektorove nagrade za rad s područja drvenih konstrukcija. Pripravničko razdoblje radi u Metal-projektu, a potom prelazi u Studio Arhing gdje radi i danas kao projektant voditelj na projektima konstrukcija. Stručno usavršavanje nastavlja u Barceloni na konstrukcijskoj obnovi povijesnih građevina (SAHC – Structural Analysis of Historical Constructions). Za U.S. Department of State provodi seizmičke procjene postojećih građevina u nekoliko država regije. Uže područje specijalizacije su mu inženjerske drvene i čelične konstrukcije, seizmičke analize i sanacije povijesnih građevina. Član je međunarodnog vijeća za spomenike i spomeničke cjeline – ICOMOS. Nakon zagrebačkog potresa postaje redoviti član stručnih povjerenstava za konstrukcijsku obnovu graditeljske baštine pri Ministarstvu kulture i medija, Ministarstvu graditeljstva, članom ekspertnih skupina Hrvatske komore inženjera građevinarstva i Građevinskog fakulteta u Zagrebu te aktivno sudjeluje u radu Hrvatskog centra za potresno inženjerstvo. Dobitnik je medalje Grada Zagreba za nesebičan doprinos prilikom pregleda i procjene stanja najsloženijih i najznačajnijih zagrebačkih građevina oštećenih prilikom potresa u Gradu Zagrebu, te nagrade Komore - 'Kolos' za izuzetna dostignuća u struci.

Petra Gidak rođena je 14. veljače 1980. godine u Karlovcu. Na Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisala se 1998. godine. Diplomirala je na konstruktorskom usmjerenju u lipnju 2003. godine.

Godine 2003. upisala je poslijediplomski znanstveni studij za stjecanje akademskoga stupnja magistra znanosti na usmjerenju Inženjerske konstrukcija na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, a magistarsku disertaciju pod naslovom Primjena metode gustoće sila na oblikovanje prednapetih mreža iz znanstvenoga područja tehničke znanosti, znanstveno polje građevinarstvo, znanstvena grana konstrukcije, obranila je u rujnu 2011. godine pod mentorstvom prof. dr. sc. Damira Lazarevića. U prosincu 2007. godine zaposlila se na radno mjesto znanstveni novak na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu u Zavodu za tehničku mehaniku.

Godine 2011. upisala je poslijediplomski znanstveni studij za stjecanje akademskoga stupanja doktora znanosti iz usmjerenja Mehanika konstrukcije na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, a doktorsku disertaciju pod naslovom Ocjena stabilnosti postupaka za proračun oblika prednapetih mreža iz znanstvenoga područja tehničke znanosti, znanstveno polje temeljne tehničke znanosti, obranila je u listopadu 2014. godine pod mentorstvom prof. dr. sc. Damira Lazarevića. Od prosinca 2014. do travnja 2016. godine bila je zaposlena kao viša asistentica – poslijedoktorandica, a od travnja 2016. kao docentica na istom Fakultetu. Od lipnja 2022. godine radi na radnom mjestu izvanrednog profesora, a od listopada iste godine obnaša dužnost prodekanice za nastavu na Sveučilištu u Zagrebu Građevinskom fakultetu. U listopadu 2021. godine položila je stručni ispit za obavljanje poslova prostornoga uređenja i graditeljstva. Od početka zaposlenja sudjeluje u nastavnom i stručnom radu Zavoda za tehničku mehaniku.


Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti
Razred za tehničke znanosti
i
Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
Konstrukcijska obnova Zagrebačke katedrale
Damir Lazarević, Mario Todotić, Juraj Pojatina, Petra Gidak, Josip Atalić, ...

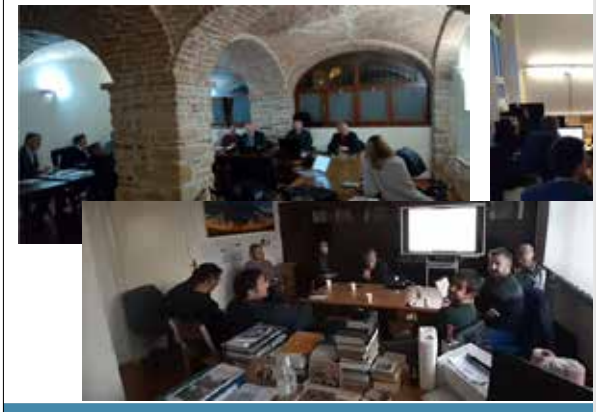
Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti
Razred za tehničke znanosti
i
Hrvatski centar za potresno inženjerstvo

Konstrukcijska obnova Zagrebačke katedrale

30 minuta
(''premalo pričamo o Katedrali'')

Damir Lazarević, Mario Todotić, Juraj Pojatina, Petra Gidak, Josip Atalić, ... **(>100)**

Konzorcij (tim)



snaga / organizacija / kolege / ''tko je glavni'' / cilj: Katedrala /...



Povijest kao učiteljica

Katedrala kroz povijest

- Zagrebačku **biskupiju** u XI. stoljeću osniva kralj Ladislav, a time započinje i gradnja **prve katedrale**
- Iz toga doba imamo gotičku kapelu Sv. Stjepana koja je sada u sklopu Nadbiskupskog dvora
- Katedrala tijekom srednjeg vijeka od XIV. – XVI. st. više se puta započinjala **graditi**
- U XVII. i XVIII. stoljeću nastavlja se s **gradnjom** južnog zvonika
- Mješavina gotike (južni konrafori; kordonski vijenci s maskaronima), renesansnih prozora i romaničkim portalom
- Točnu podjelu gradnje katedrale kroz povijest nije moguće točno utvrditi već se ona datira prema grbovima pojedinih biskupa koja nalazimo na pročeljima katedrale.

Najraniji prikazi katedrale



Nacrt Zagreba, 1566. godina



Prikaz katedrale, 1690. godina





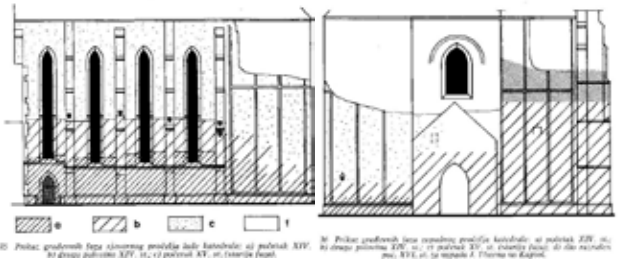
Prikaz katedrale iz sredine 19. stoljeća

Katedrala kroz povijest



Glavno pročelje, Friedrich von Schmidt, 1878.godina

- Katedralu su zahvatila dva velika požara (1624. i 1645) i veoma je oštetili. Slijedi **obnova** i gradnja južnog renesansnog zvonika, koji je ujedno bio i promatračnica. Radove izvodi majstor Ivan Albertal.
- Kroz povijest građevina je **više puta stradavala** u tartarskim napadima – sama pročelja svjedoče o građevnim fazama kroz stoljeća



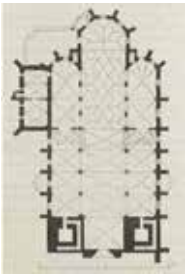
Veliki zagrebački potres 1880. godine



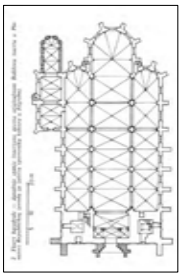


Katedrala kroz povijest

- Restauraciju – **rekonstrukciju** katedrale u neogotičkom stilu vodio je **Hermann Bolle**
- Rekonstrukcija je završila 1902. godine
- U sklopu te obnove sa zapadne stran pročelja podignuta su dva tornja visine 108 m



Tlocrt Katedrale, K. Weis, 1859. godina



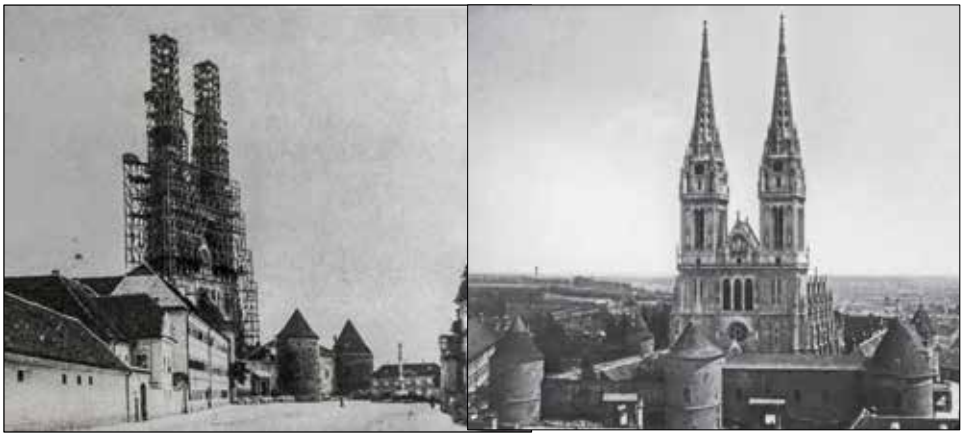
Tlocrt Katedrale, H. Bolle, 1900. godina







Katedrala kroz povijest



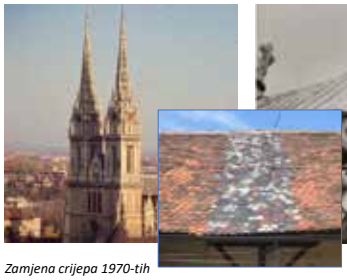
„Bolleova" katedrala





Katedrala kroz 20. stoljeće

- 1937. započeta je **obnova** južnog zvonika zbog lošeg stanja izvorno ugrađenog kamena
- 1974. započinju **radovi** na krovištu – šareni glazirani crijep je zamijenjen bakrenim limom



Zamjena crijepa 1970-tih




Obnavljanje južnog tornja 1930-ih

Katedrala kroz 20. stoljeće

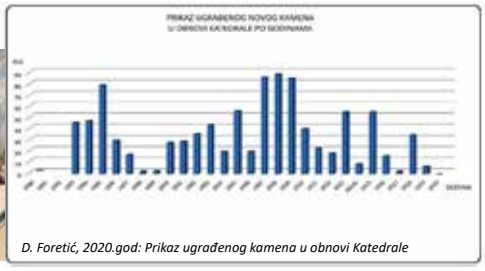
- 1990. je započela vanjska **obnova** katedrale koja je trajala sve do potresa 2020. godine
- U gradnji zagrebačke katedrale prilikom zadnje rekonstrukcije se koristio kamen tipa **bizek** – litotamnijski vapnenac i litavac (lokaliteti na južnim obroncima Medvednice)
- Glavni uzročnik propadanja bizeka utvrđen je još prilikom obnove 1930-tih godina
- Odabran je novi kamen dobrih svojstava – **travertin**



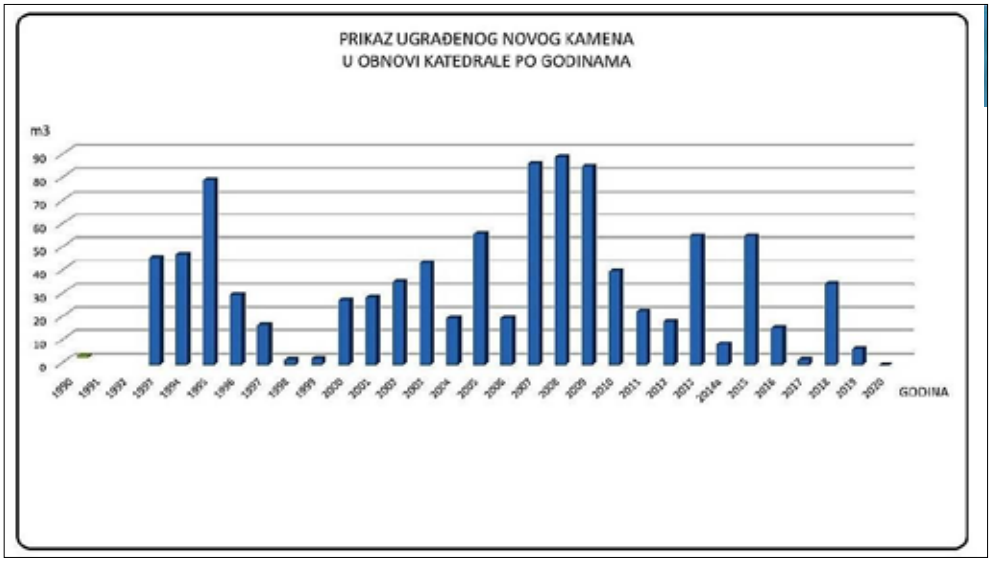




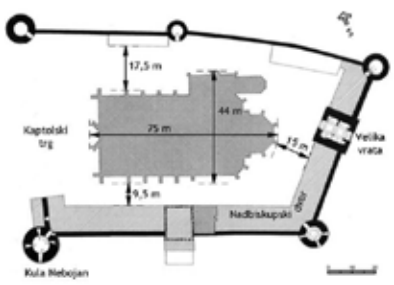




D. Foretić, 2020.god: Prikaz ugrađenog kamena u obnovi Katedrale

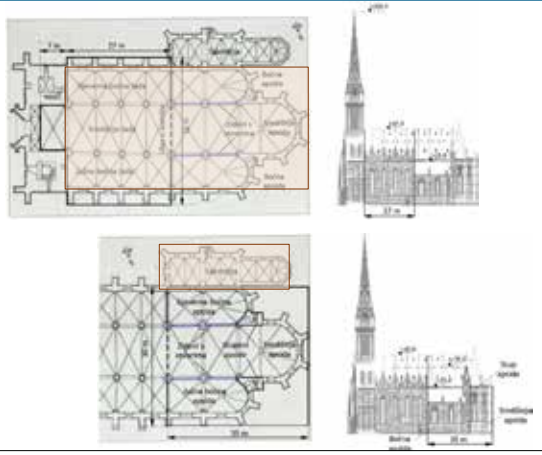


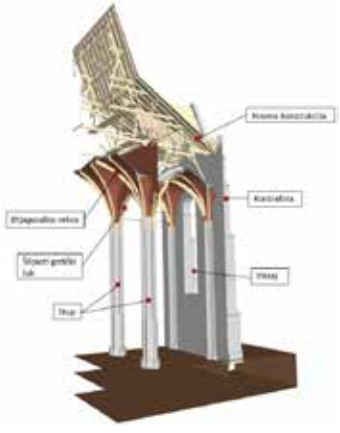
Lokacija i položaj Katedrale



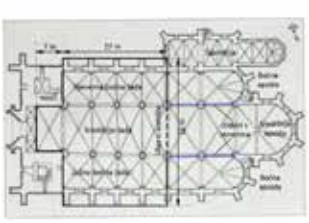


Nosivi sustav Katedrale





Nosivi sustav Katedrale











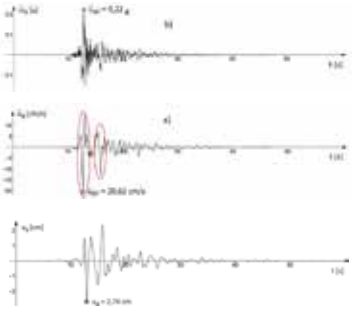
Lokacija i položaj Katedrale

➡ *Rizična lokacija građevine*



Udaljenost Katedrale od epicentara triju najjačih potresa iz bliže prošlosti [istraživanja prof. Heraka]: 1880., 1906. i 2020. godine

7-16 km



Zapis komponente sjever-jug zagrebačkoga potresa zabilježene u zgradi UHS-a 22. ožujka 2020. godine

povijest / zanimljivost / providnost / …

- **2001. Diplomski rad: „Svodovi zagrebačke katedrale”**
- **2011. Doktorski rad: ’’Utjecaj kontaktnih naprezanja na nosivost tradicijskih kamenih stupova”**
- **2021 obnova Katedrale**

Potres 2020. godine



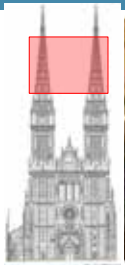


Potres 2020. godine



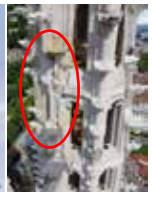
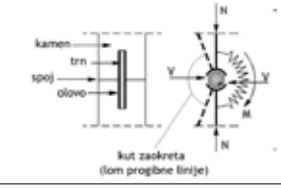



Oštećenja u potresu 2020. godine

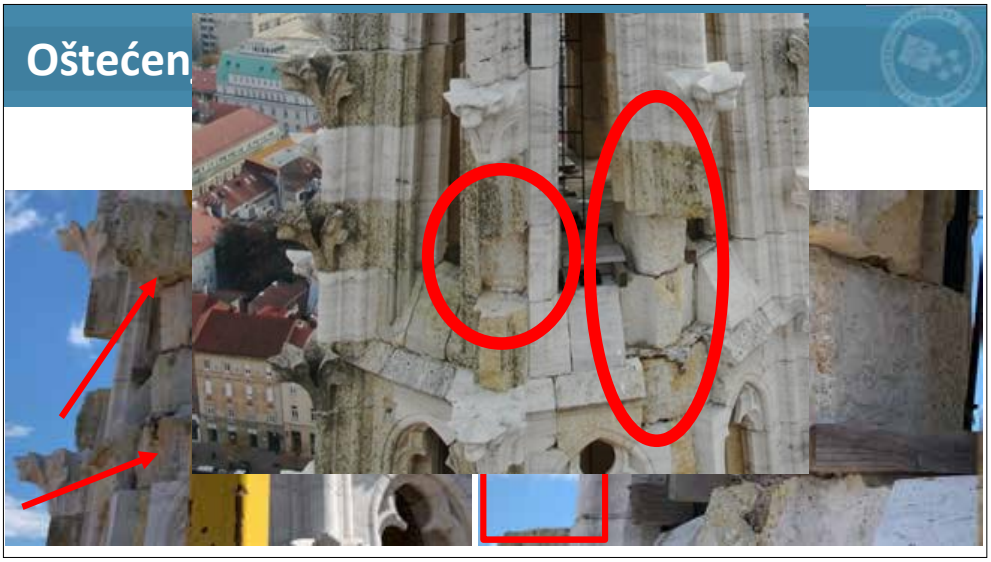


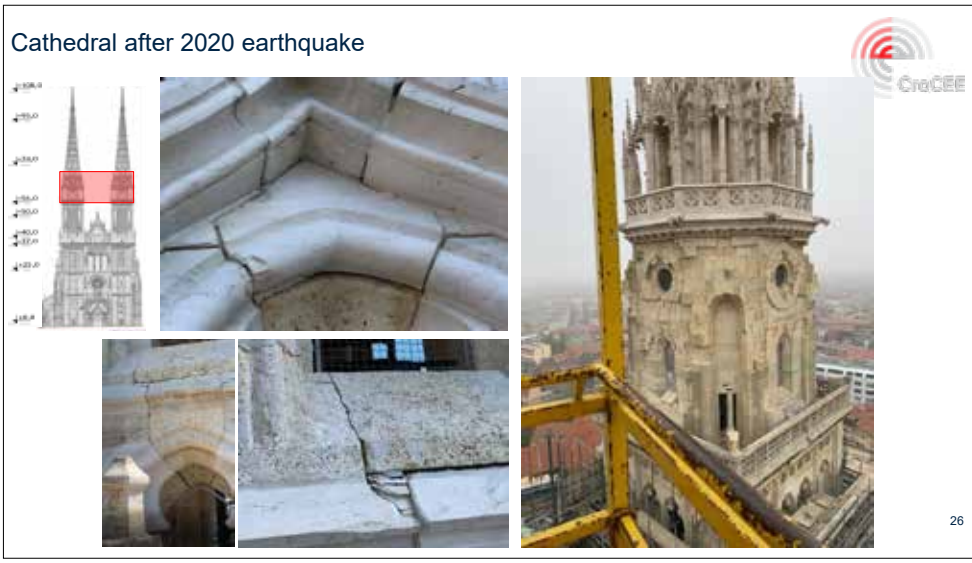




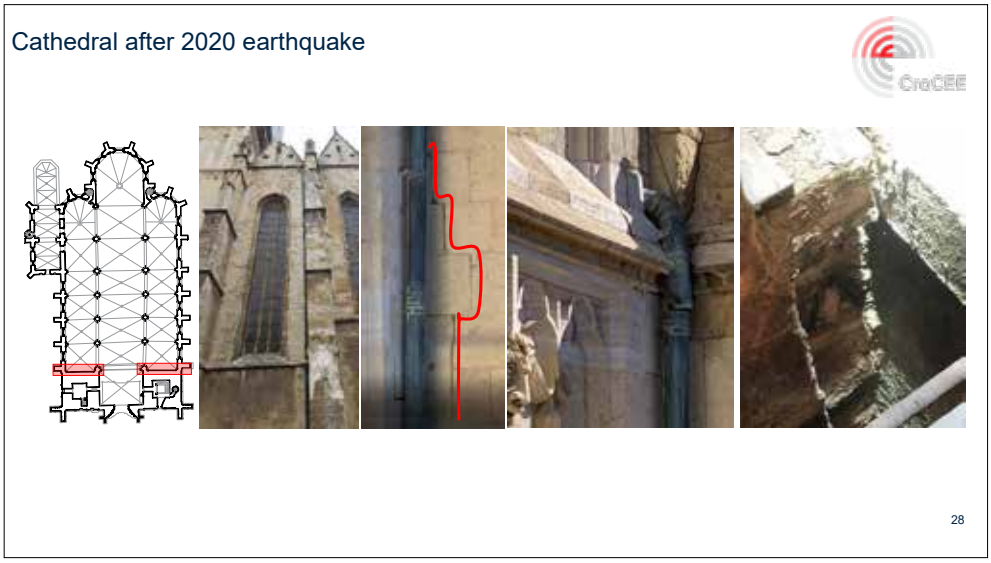






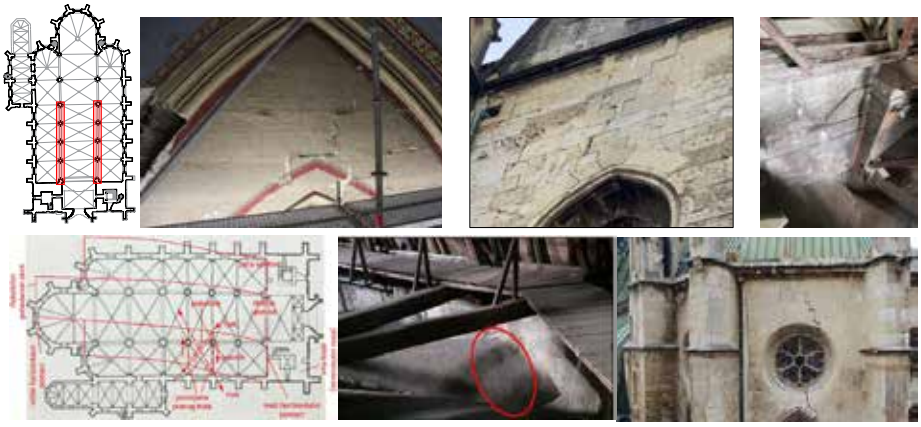

Oštećen


Cathedral after 2020 earthquake
CroCEE
26

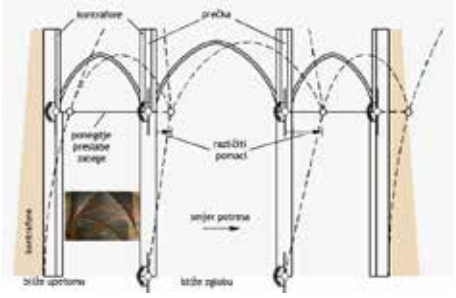

Oštećenja u potresu 2020. godine
stupovi tornja
"SVOD"
STUP
Početno mjesto torzijske komponente odziva

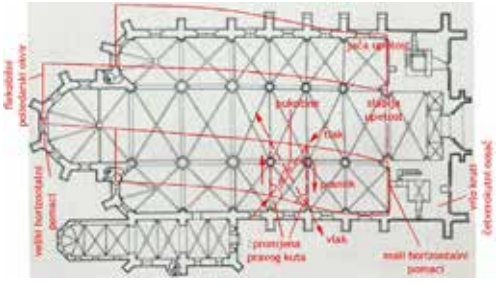

Cathedral after 2020 earthquake
CroCEE
28

Oštećenja u potresu 2020. godine



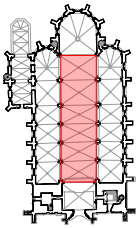
Cathedral after 2020 earthquake





32

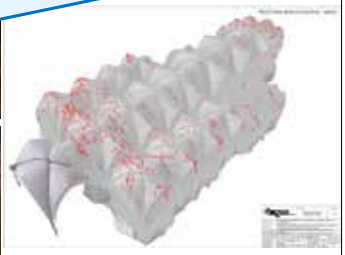
Oštećenja u potresu 2020. godine







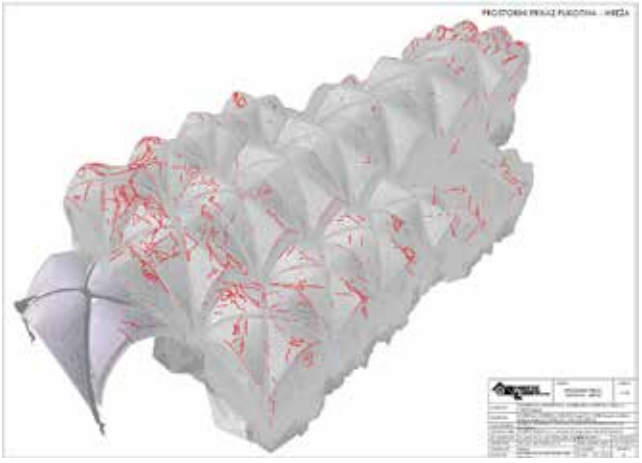
srušiti svodove ?







Cathedral after 2020 earthquake



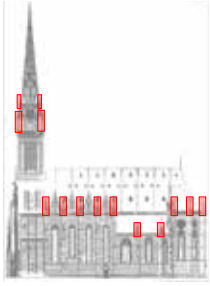
34

Cathedral after 2020 earthquake



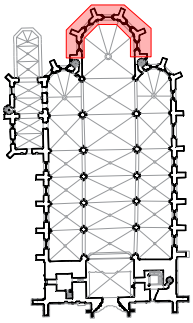
36

Oštećenja u potresu 2020. godine





Damage of the Cathedral after 2020 earthquake



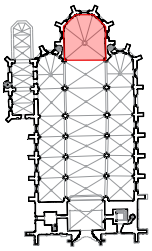


After Zagreb 2020 earthquake

After Petrinja 2020 earthquake

39

Cathedral after 2020 earthquake









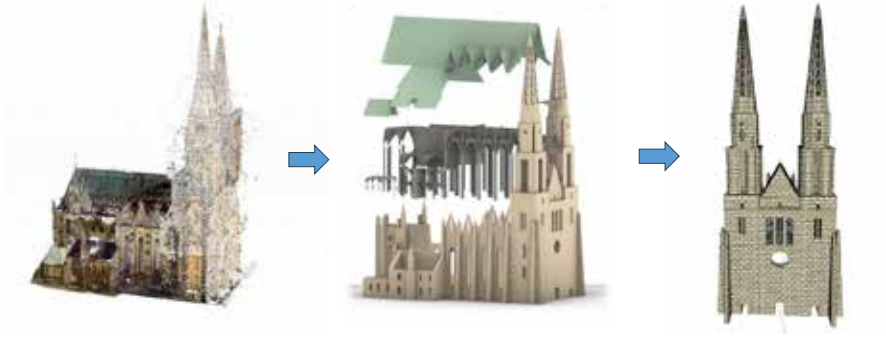
40

Cathedral after 2020 earthquake



41

Numerički model – za ocjenu postojećeg stanja

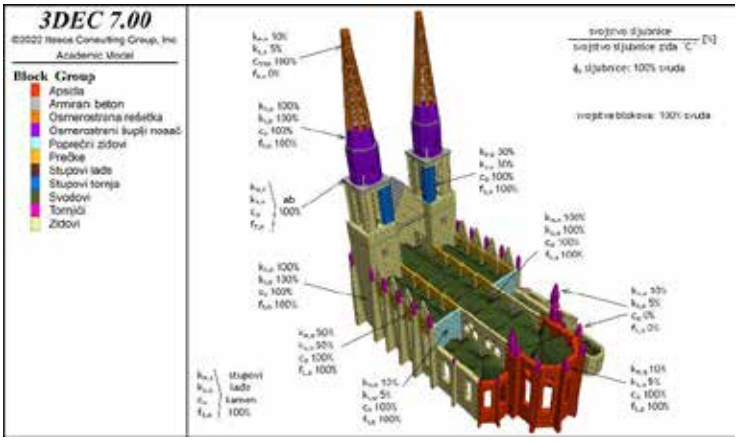


Genesis of the numerical model with distinct elements



44

Iteratively determined final properties of the contact model in relation to the undamaged state



45

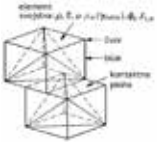
BIM



Foretić

Kalibracija numeričkog modela

- Vidljive i skrivene pukotine
- Vrlo diskontinuiran materijal bez ojačanja, izrazito rastresit na nekim mjestimaduring Tijekom potresa zidni elementi se razdvajaju, uvijaju, kližu i pucaju
- Pomaci i kutovi rotacije modalnih čvorova nisu povezani
- Prirodna anizotropija kamena

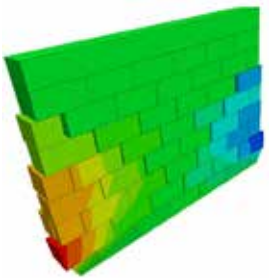


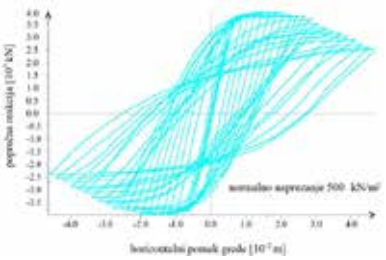




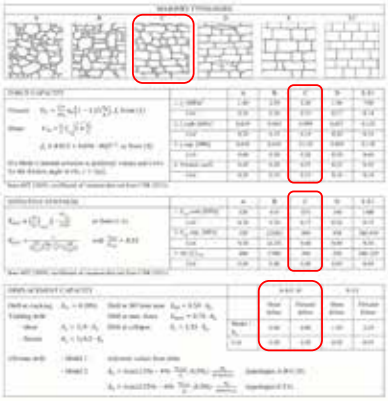
Kalibracija numeričkog modela

- Osnovna ideja je prilagoditi ulazne parametre elemenata i opruga tako da karakteristične točke na krivulji sila-pomak (ne naprezanje-deformacija, što su vrijednosti u točki) odgovaraju onima iz statističke obrade većeg broja dobro dokumentiranih pokusa.



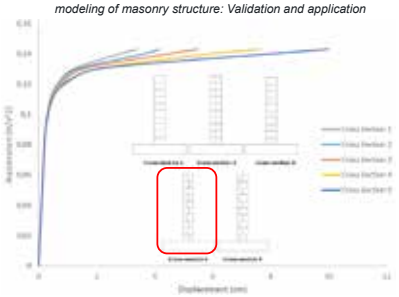


Numerical model: distinct element method approach



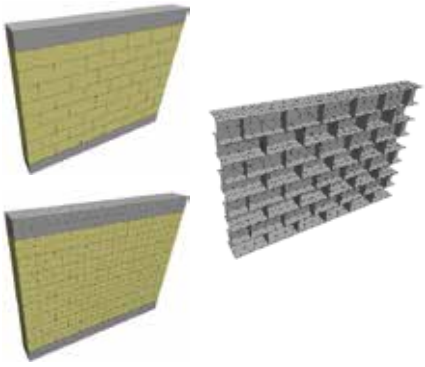
← F. Vanin, D. Zaganelli, A. Penna, K. Beyer: *Estimates for the stiffness, strength and drift capasity of stone masonry walls based on 123 quasi-static cyclic tests reported in the literature*

B. Pulatsu, E. M. Bretas, P. B. Lourenco: *Discrete element modeling of masonry structure: Validation and application*



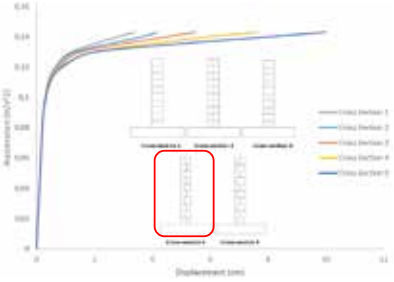
52

Numerical model: distinct element method approach



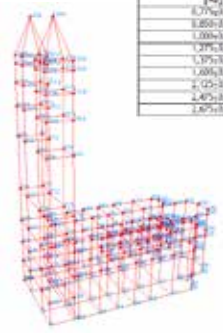
An example of discretization of the model of the Cathedral walls: arrangement of blocks, representation of the network of elements (tetrahedra) into which the blocks are divided, and an example of a model of horizontal, frontal and lateral contact planes.

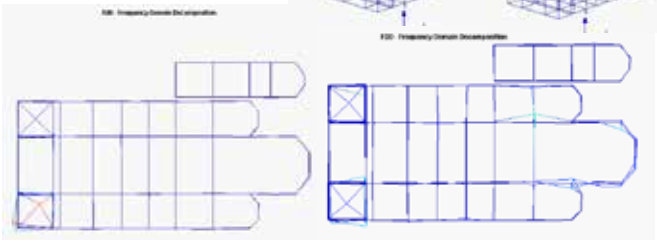
B. Pulatsu, E. M. Bretas, P. B. Lourenco: *Discrete element modeling of masonry structure: Validation and application*



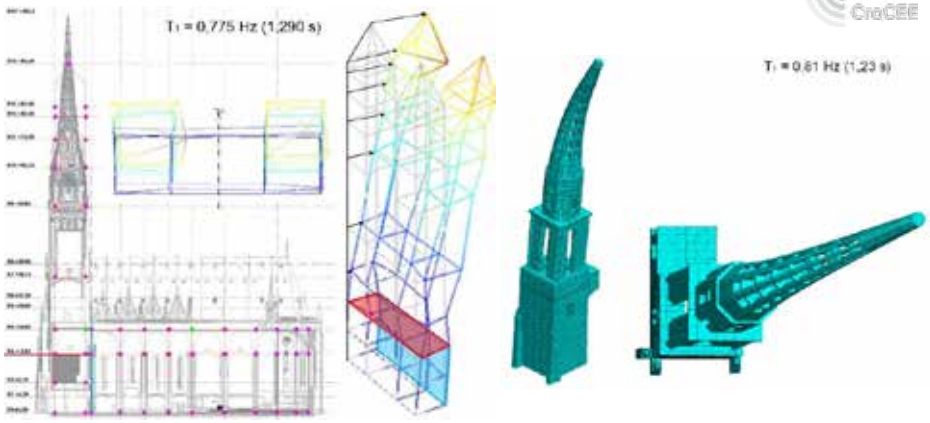
53

- Numerički model: kalibracija prema rezultatima operativne modalne analize



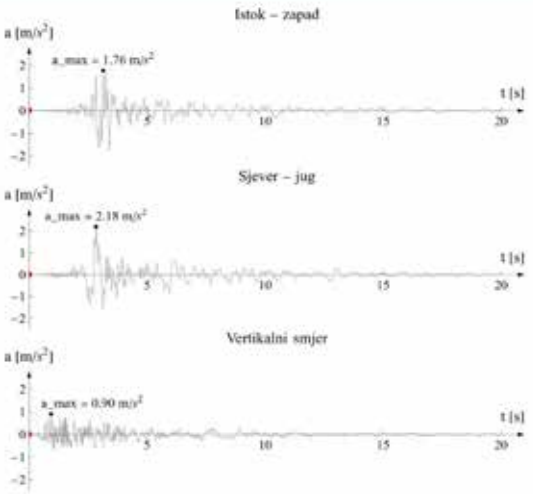


Numerical model: calibration according to the results of operational modal analysis



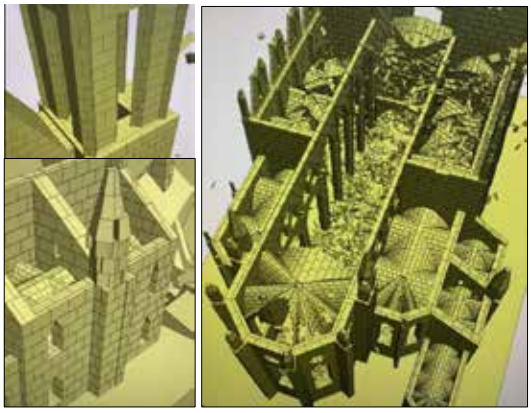
62

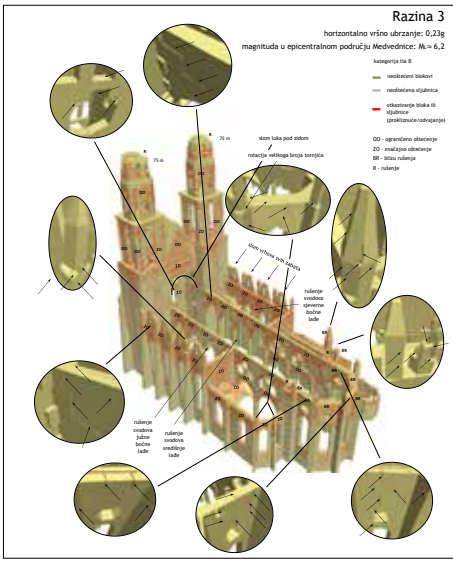


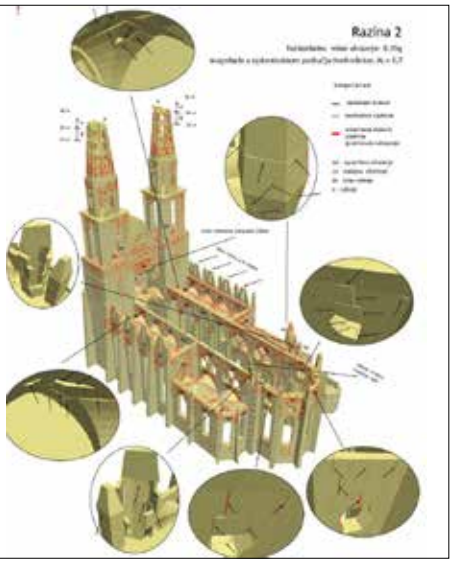


Ocjena postojećeg stanja konstrukcije

- Posljednjih 9 metara oba **tornja**, od +96 m do +87 m, ima zanemarivu otpornost na potres. Vrhovi su blizu urušavanja (BR) pri vršnom ubrzanju tla od 0,04 g. Tako slab potres ima povratni period od samo 10 godina i vjerojatnost premašivanja od 10% u 1 godini.
- U opasnosti je 15 redova kamena po tornju, a svaki red sadrži približno 30 komada kamena. Dakle, imamo 15·30=450 komada kamena po kuli, za dvije kule ukupno 900 komada, s prosječnom težinom od oko 1 kN po komadu. To je ukupno 900 kN konstrukcije na velikoj visini, koja može doseći stanje urušavanja pri vrlo malom ubrzanju tla – oko 0,05 g.

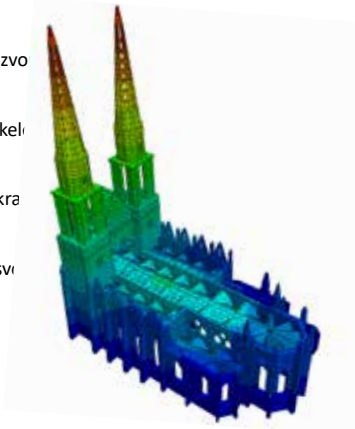






Urgentne mjere sanacije (ojačanja)

- Organizacija gradilišta oko građevine
- Skidanje skele južnoga tornja i postavljenje novih skela i liftova uz oba zvo
- Rastavljanje kamenoga stupa i rešetke otvora bifore u razini zvona
- Demontaža zvona s drvenom konstrukcijom i postavljanje unutarnje skel
- Razgradnja približno 15-20 m zvonika
- Uklanjanje tornjića uz sakristiju i apsidu, te svih oštećenih konzolnih ukra
- Podupiranje prozora i demontaža vitraja
- Stabilizacija gornje i donje plohe svodova i sidrenje rebara u sanirane sv
- Sanacija prečaka obodnih i unutarnjih okvira
- Ugradnja štapnih zatega u petama svodova (u oba smjera)
- Sanacije krovišta
- Pridržanje trokutnih zabata izvan vlastitih ravnina





Urgentne mjere sanacije (ojačanja)

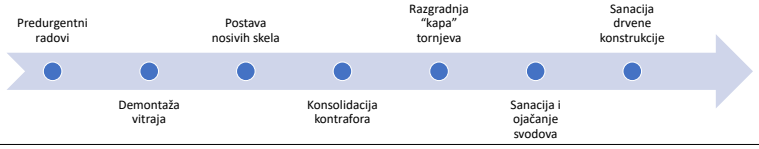
KONCEPT URGENTNIH MJERA

- Potrebno je izvesti skelu na preostalom tlocrtu Katedrale kako bi kompletni svodovi bili poduprti, spriječilo se njihovo nekontrolirano urušavanje i omogućio rad na sanaciji i ojačanju
- Pristupiti radovima osiguranja gradilišta demontažom svih nestabilnih elemenata i izvedba nove skele
- Izvesti nove zatege u razini peta svodova









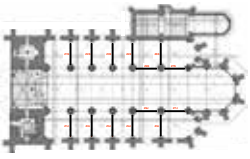
Urgentne mjere sanacije (ojačanja)

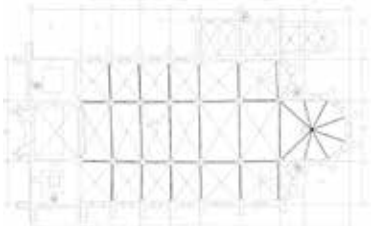
ZATEGE

- Prema vizualnom pregledu i stanju možemo zaključiti da je sve zatege potrebno demontirati i zamijeniti adekvatnima kao i ugraditi na preostalim poljima na kojima nisu bile izvorno ugrađene









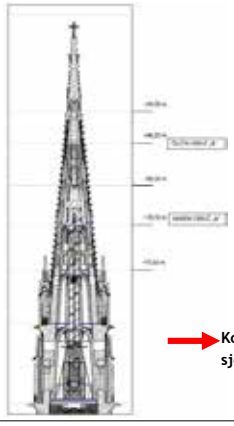




Urgentne mjere sanacije (ojačanja)

KONTROLIRANA RAZGRADNJA TORNJEVA







Kontorlirano su razgrađeni oštećeni dijelovi „kape" južnoga i sjevernoga tornja zbog opasnosti od urušavanja do kote +73 m.

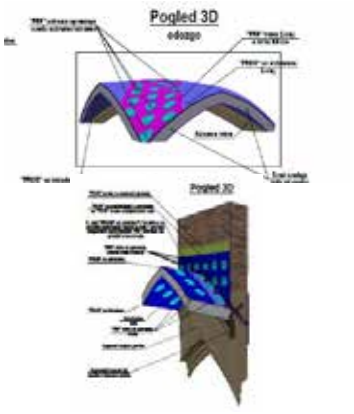
77

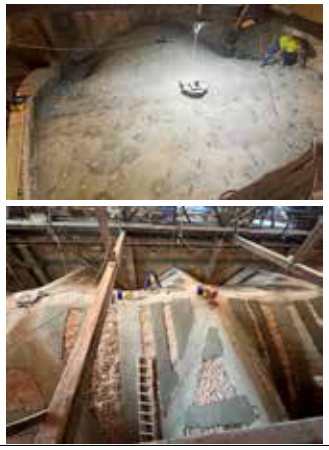
Urgentne mjere sanacije (ojačanja)






Urgentne mjere sanacije (ojačanja)



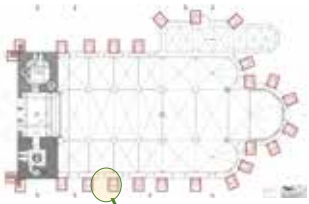




79

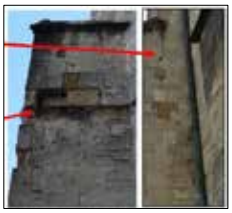
Urgentne mjere sanacije (ojačanja)

- Nakon potresa u Zagrebu **kontrafore** katedrale zadobili su značajna oštećenja
- Kontrafore sjeverne i južne strane razlikuju se prema materijalnim i geometrijskim karakteristikama
- Građene su u vremenskim odmacima, neke su nadograđivane kroz stoljeća





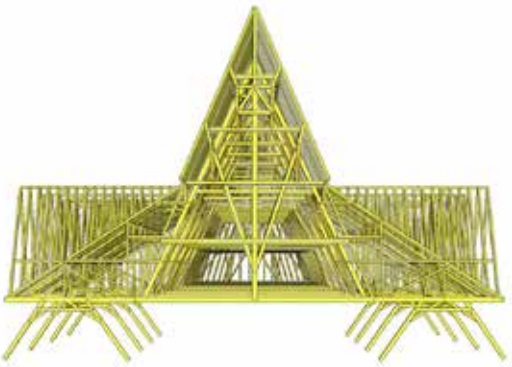




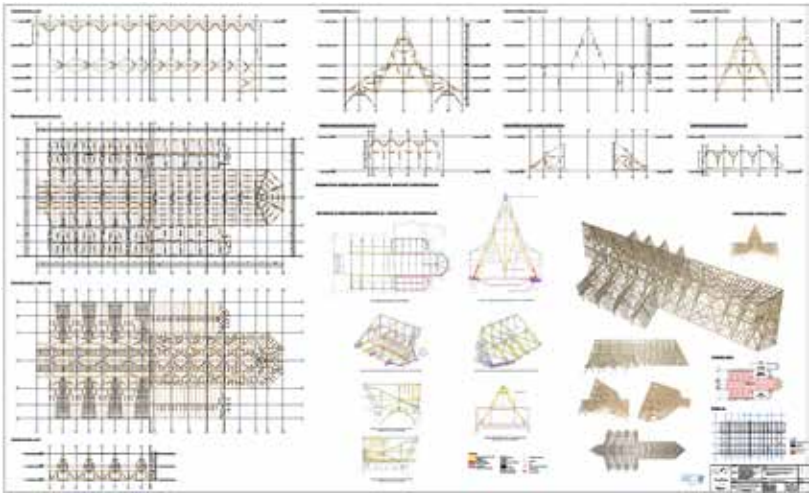




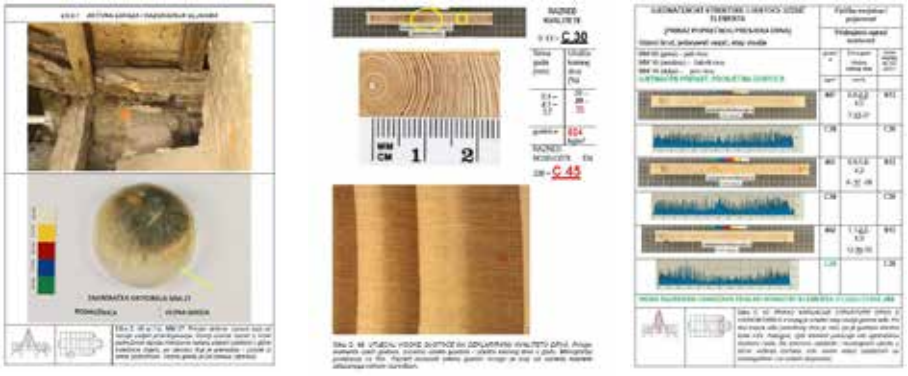
Krovište



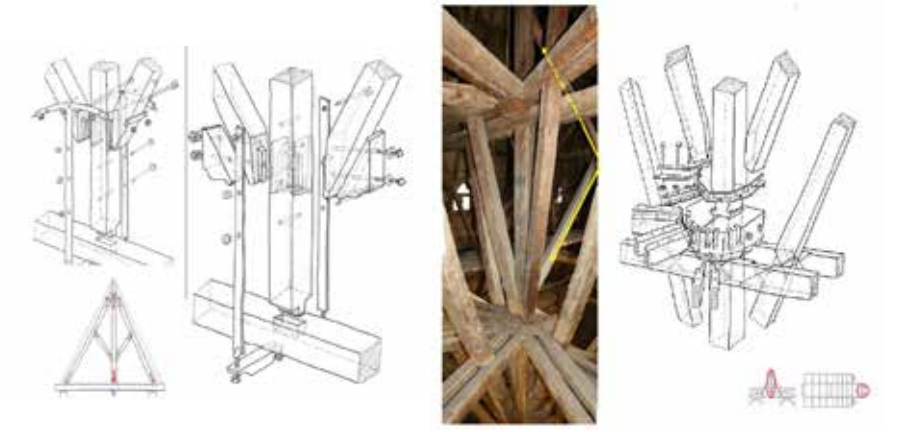
”5-katna” visulja Zagrebačke katedrale: najviše i najveće povijesno drveno krovište u RH …



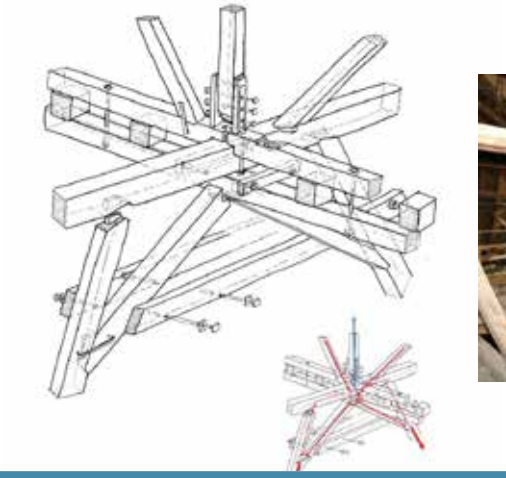
NIKADA U HRVATSKOJ NIJE PROVEDENO OVAKO DETALJNO SKENIRANJE DRVENE POVIJESNE KONSTRUKCIJE …



Istražne radove na drvenoj konstrukciji provodio je prof. Hrvoje Turkulin sa Šumarskog fakulteta u Zagrebu s ekipom…

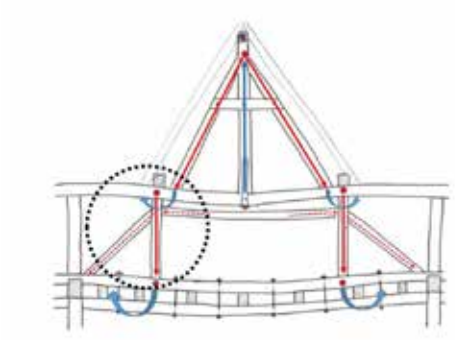


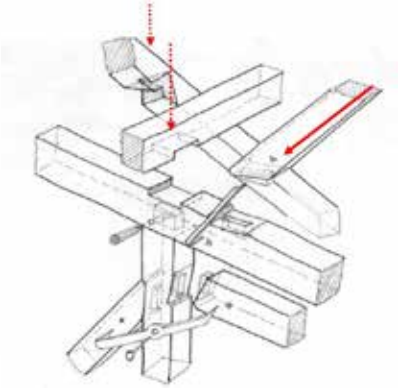
Zatečena konstrukcija predstavlja dragulj tehničke i graditeljske baštine …



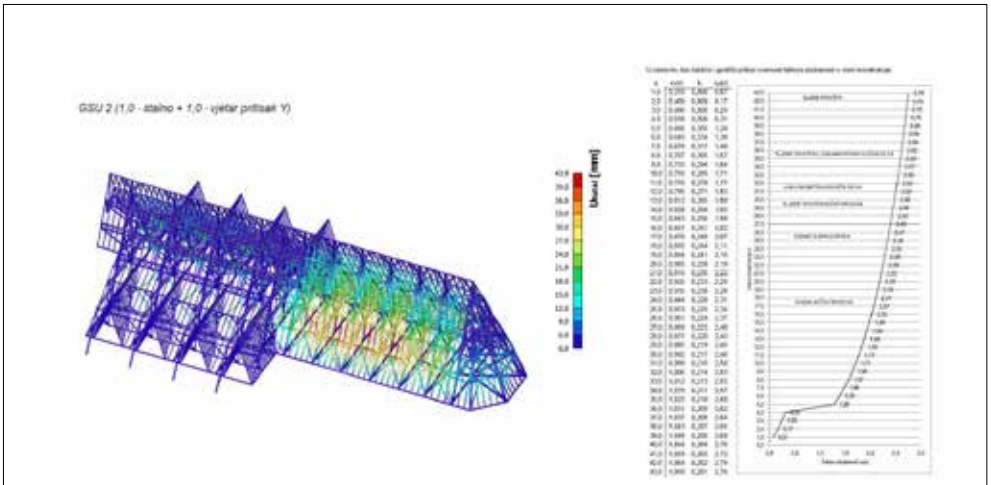


Iznimno složeni spojevi drvene konstrukcije izvedeni gotovo u potpunosti tradicijskim tesarskim vezovima …

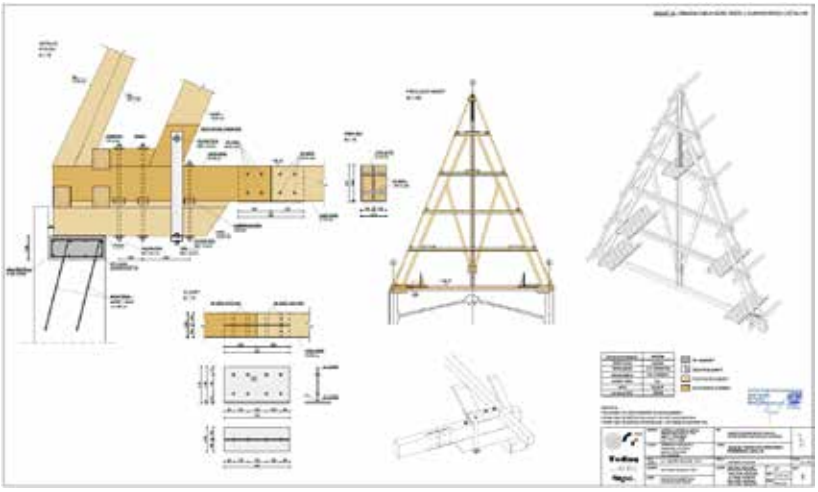




Uočene deformacije koje su kasnije tretirane kroz projekt obnove …



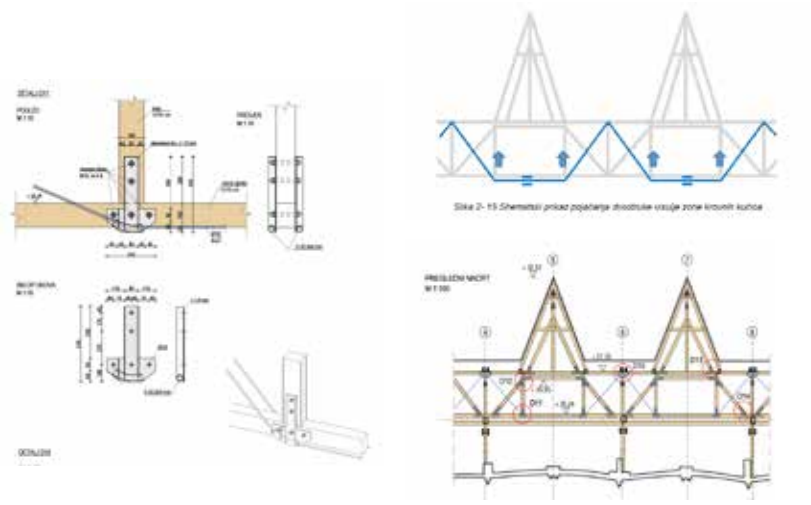
Proračunska kontrola prema važećim propisima …



projektirani su zahvati sanacije i pojačanja koji su (opet po prvi puta u Hrvatskoj) slijedili smjernice ICOMOSa …



Izvođenje: Vrlo muktrpan, dugotrajan i složen proces zamjene dijela grede …



Interventna mjera ‘podizanja’ drvene visulje. Opet, jedna reverzibilna mjera, sa ciljem očuvanja izvornog koncepta…

Ocjena stanja drvene krovne konstrukcije i projekt konstrukcijske obnove drvene krovne konstrukcije:

STUDIO ARHING d.o.o., Zagreb

Projektant:
Juraj Pojatina, dipl.ing.građ.

Suradnici:
David Anđić, mag. ing. aedif.
Borna Doračić, mag. ing. aedif.
Maja Vrančić, mag. ing. aedif.
Tamara Horvat, mag.ing.aedif.

Istražni radovi i ispitivanja

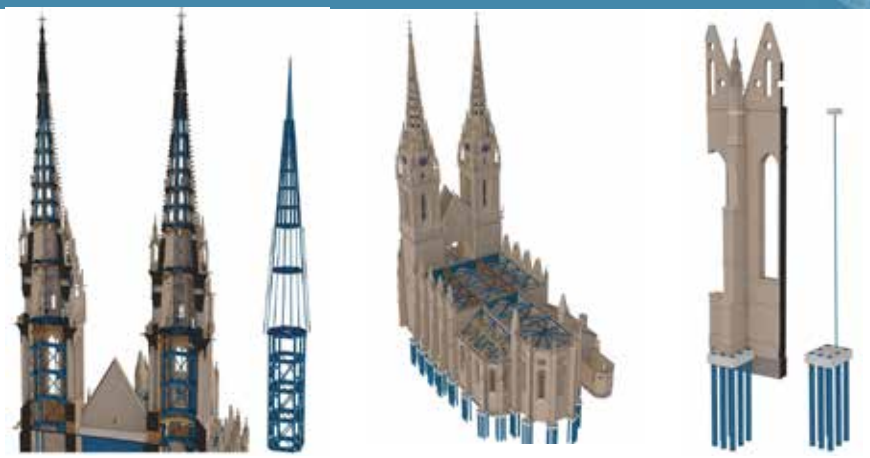
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU, FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
Laboratorij za drvo u graditeljstvu (LDG)

Voditelj:
Prof. dr.sc. Hrvoje Turkulin

Suradnici:
Doc. dr. sc. Tomislav Sedlar /// Andrija Novosel mag. ing. techn. lign. /// Doc. dr.sc. Josip Miklečić /// Izv. prof.dr.sc. Vjekoslav Živković /// Izv. prof. dr.sc. Marin Hasan

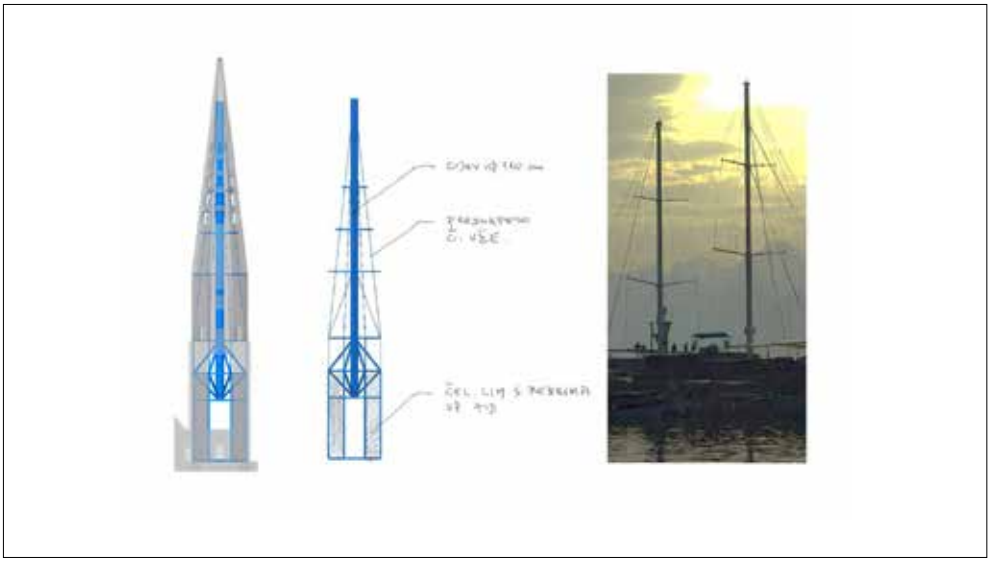


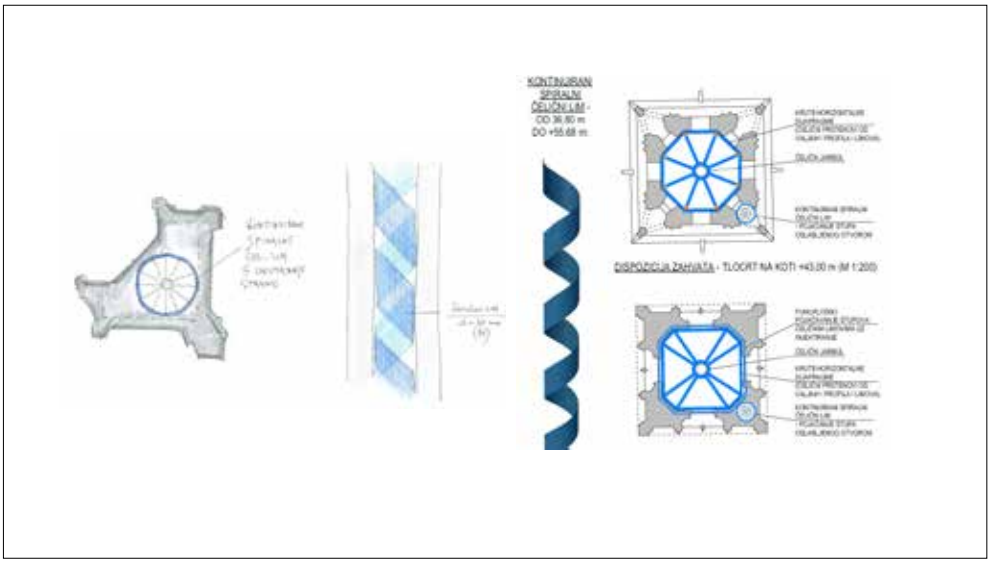
1. rješenje

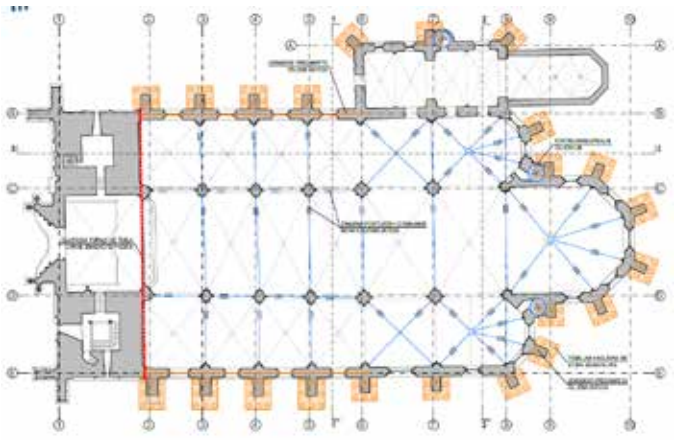


2. rješenje






KONTINUIRANI SPIRALNI ČELIČNI LIM -
DISPOZICIJA ZAHVATA - TLOCRT NA KOTI +43.00 m (M 1:200)



Zaključak

- Jedinstvena gotička građevina visine 108 m građena na seizmički aktivnom području (*ag=0,26 g*)
- Uklonjeni su destabilizirani vrhovi tornjeva do kote +73,60 m – ukupno 20 m vrhova tornjeva koji su činili vizuru grada
- *Katedrala nije nikad bila sigurnija nego danas!*
- Sva pojačanja i zahvati koje je predviđeno izvesti neće biti vidljivi nakon obnove s vanjske strane, a ni u unutrašnjosti katedrale osim novih zatega
- Proces projektiranja obnove/ojačanja Katedrale daleko je složeniji i kompleksniji od projektiranja novih građevina i zahtjeva precizno planiranje, opsežna istraživanja i suradnju s brojnim stručnjacima iz različitih područja.
- CILJ: očuvati izvorni izgled i povijesnu vrijednost Katedrale, te istovremeno osigurati njezinu dugoročnu stabilnost i sigurnost!
- U konačnici, obnova zagrebačke katedrale nije samo građevinski projekt, već i simbol naše sposobnosti da očuvamo i prenesemo kulturnu baštinu budućim generacijama.

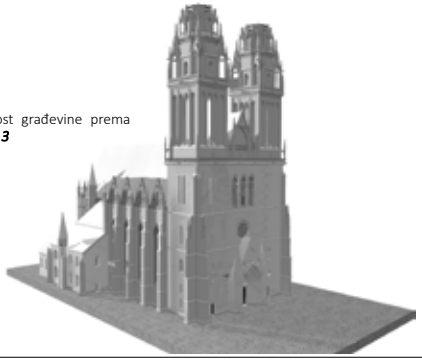
Trenutno stanje

Jučer

- Projektna dokumentacija cjelovite obnove – 1. faza konstrukcijska obnova u izradi
- Radovi urgentnih mjera zaštite se privode kraju
- Praćenje procesa obnove putem BIM-a



Zahtjevana otpornost građevine prema propisima – ***RAZINA 3***



Jučer

Katedrala je sigurna !!!



hvala na pažnji



DOI 10.21857/m3v76t11wy

Prezentacija predavanja

OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU

Akademik Mladen Obad Šćitaroci, mag. ing. arch. Petra Tončić Lipovšćak
Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti

Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovšćak

OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU

Sažetak predavanja

Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti nakon dva potresa 2020. godine obnavlja sljedećih osam zgrada u Zagrebu: Palača HAZU (Trg N. Š. Zrinskog 11), Palača Vranyczany-Dobrinović (Strossmayerov trg 12/ Hebrangova 1-3), Knjižnica HAZU (Strossmayerov trg 14), Palača Prister (Strossmayerov trg 2), Gliptoteka HAZU (Medvedgradska 2), Palača Drašković (Opatička 18), Vila Ehrlich-Marić / Hrvatski muzej arhitekture (I. G. Kovačića 37) i zgrada u Gundulićevoj 24/1. Sedam zgrada imaju status pojedinačno zaštićenih kulturnih dobara, a svih osam zgrada se nalaze u granicama zaštite urbanističke povijesne cjeline. Četiri zgrade se nalaze na Strossmayerovu trgu koji je dio zaštićene Lenucijeve perivojne potkove. Namjene svih zgrada su u cijelosti ili djelomično javnog karaktera, a u pet zgrada se nalaze Akademijini muzeji (Strossmayerova galerija starih majstora, Gliptoteka, Kabinet grafike, Hrvatski muzej arhitekture i Hrvatski muzej medicine i farmacije). Knjižnica HAZU je obnovljena dok je na sedam zgrada u tijeku cjelovita i energetska obnova, nakon što je tijekom 2024. i početkom 2025. godine završila konstrukcijska obnova. Očekivani završetak obnove je do sredine 2026. godine.

Na primjerima obnove Akademijinih zgrada pokazat će se provedba koncepta sveobuhvatne obnove zgrada pri čemu je konstrukcijska obnova bitna i nezaobilazna, ali nedovoljna za uspješan i prihvatljiv završetak obnove zgrada i grada. Kada je potres 1880. godine porušio i oštetio veći dio tadašnjega grada (današnji povijesni dio Zagreba), uključujući i staru zagrebačku katedralu, koncept obnove nije se ograničio na popravke i konstrukcijsku obnovu pojedinačnih zgrada već se gradski i državni koncept temeljio na sveobuhvatnom pristupu koji je doveo do stvarne modernizacije grada, što je ubrzo bilo pravno-urbanistički ozakonjeno Drugom regulatornom osnovom (urbanističkim planom) čiju je izradu vodio glavni gradski inženjer Milan Lenuzi, a koja je poznata po perivojnoj/zelenoj potkovi kao sustavu perivojnih trgova s javnim zgradama uokvirena stambenim blokovima. Slijedom takvog koncepta sveobuhvatne poslije potresne obnove nastao je zagrebački Donji grad kao oživotvorenje idealnoga srednjoeuropskoga grada kraja XIX. i početka XX. stoljeća. Nažalost, ta se iskustva i znanja iz doba prve modernizacije grada,

kao i druge modernizacije Zagreba iz sredine XX. stoljeća, danas ne koriste ili se nedovoljno koriste za prijeko potrebnu treću modernizaciju Zagreba u XXI. stoljeću. Akademija je ubrzo poslije potresa objavila Izjavu o obnovi Zagreba nakon potresa 22. ožujka 2020. – https://www.info.hazu.hr/upload/File/2020/ODLUKE-2020/Obnova-Zagreba-2020---sve-BROŠURA.pdf

Prezentacija će ukratko prikazati sljedeće teme na primjerima Akademijinih zgrada:

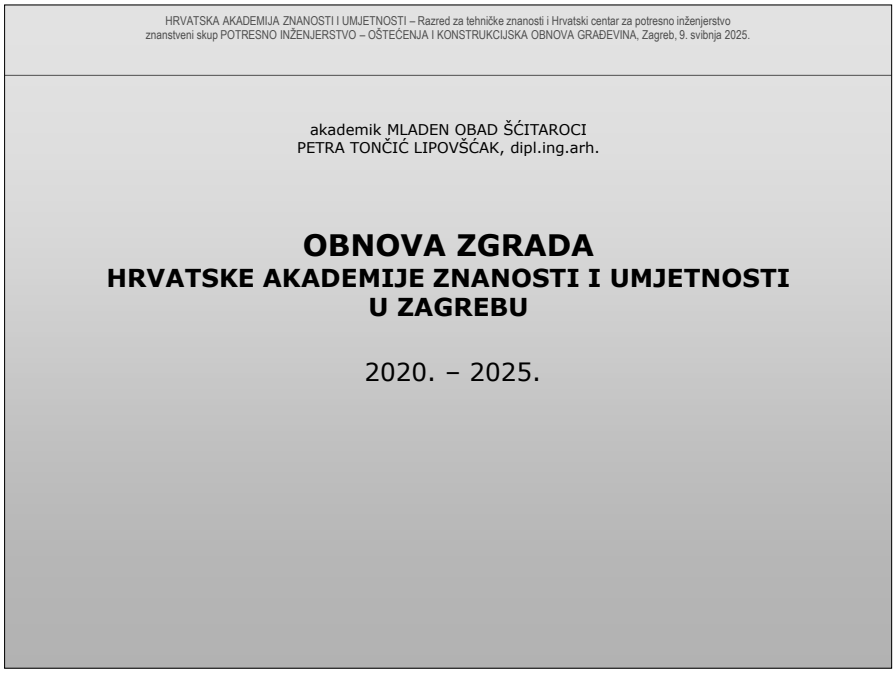
- Vrijeme izgradnje i stilska obilježja zgrada – od početka XIX. do početka XX. stoljeća
- Namjena/korištenje zgrada – od izvorne do sadašnje i buduće namjene
- Obilježja i posebnosti konstrukcijskih zahvata na zgradama – od uobičajenih metoda protupotresnog ojačanja do posebnih i prilagođenih rješenja prikladnih za pojedinu zgradu
- Razine obnove potresom oštećenih konstrukcija zgrada u odnosu na mehaničku otpornost i stabilnost
- Obilježja cjelovite i energetske obnove – funkcionalno, tehnološko i estetsko unaprjeđenje zgrada
- Konzervatorski čimbenici utjecaja na konstrukcijsku, cjelovitu i energetsku obnovu zgrada
- Zahtjevi za ispunjavanje uvjeta zaštite od požara te osiguranje pristupačnosti zgrada osobama s invaliditetom i smanjene pokretljivosti; zadovoljavanje DNSH načela (ne nanositi bitnu štetu)
- Izazovi obnove – od prijave na natječaje za financiranje, provedbe javne nabave, konstrukcijske, cjelovite i energetske izvedbe obnove do nabave opreme, muzejskih postava i uređenja interijera.

O predavačima

Mladen Obad Šćitaroci, redoviti član HAZU, *professor emeritus* Arhitektonskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, dipl. ing. arhitekture. U njegovu znanstvenom i stručnom opusu prevladavaju teme obnove i revitalizacije kulturnoga naslijeđa – od pojedinačnih zgrada, gradova i naselja do kulturnoga krajolika. Dobitnik je Državne nagrade za znanost za životno djelo u području tehničkih znanosti. Tajnik je Razreda za likovne umjetnosti HAZU, zamjenik predsjednika Odbora i Radne skupine za obnovu zgrada HAZU u Zagrebu poslije potresa. Aktivno sudjeluje u svim aktivnostima na obnovi Akademijinih zgrada od ožujka 2020. godine – od

prvih pregleda šteta, pripreme projektnih zadataka za stručne elaborate i projektnu dokumentaciju za konstrukcijsku i cjelovitu obnovu do praćenja izrade projektne dokumentacije, sudjelovanja u pripremi javne nabave za izvedbu, praćenja izvedbe konstrukcijske i cjelovite obnove Akademijinih zgrada i muzejskih prostora do priprema za muzejske postave i uređenja interijera te priprema za povratak u obnovljene zgrade.

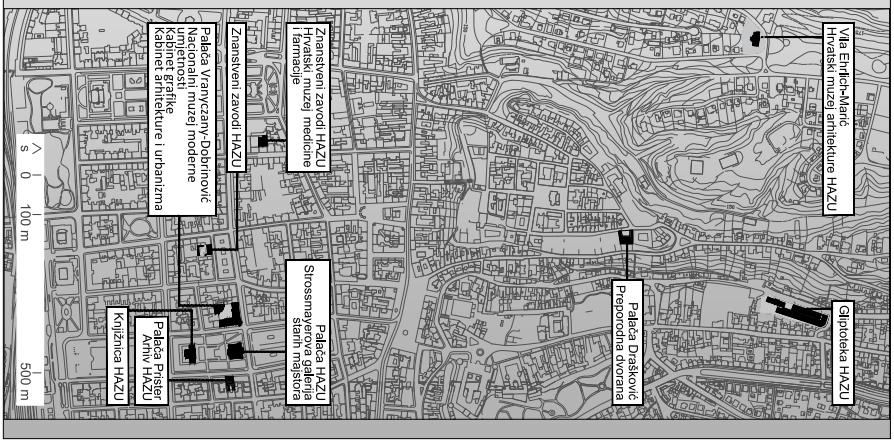
Petra Tončić Lipovšćak, dipl. ing. arhitekture. Voditeljica je projekta obnove sedam Akademijinih zgrada i članica Radne skupine za obnovu zgrada HAZU u Zagrebu poslije potresa. Aktivno sudjeluje u svim aktivnostima na obnovi Akademijinih zgrada od srpnja 2021. godine obavljajući sljedeće zadaće: priprema projektnih zadataka za stručne elaborate i projektnu dokumentaciju za konstrukcijsku i cjelovitu obnovu, praćenje izrade projektne dokumentacije, sudjelovanje u pripremi javne nabave za projektiranje i izvođenje radova, praćenje izvedbe konstrukcijske i cjelovite obnove Akademijinih zgrada i muzejskih prostora. Kao rukovoditeljica Službe za obnovu i upravljanje nekretninama HAZU aktivno sudjeluje na svim gradilišnim koordinacijama, upravlja i vrši nadzor nad projektima i resursima, uključujući projekte tehničke zaštite, projekte izgradnje trafostanica i sunčanih elektrana te usmjerava pripreme za uređenje interijera. Dokumentira i izvještava o napretku radova te surađuje s javnopravnim tijelima uključenim u obnovu zgrada.


HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
akademik MLADEN OBAD ŠĆITAROCI
PETRA TONČIĆ LIPOVŠĆAK, dipl.ing.arh.
OBNOVA ZGRADA
HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI
U ZAGREBU
2020. – 2025.

HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

ISTODOBNA OBNOVA OSAM ZGRADA HAZU

Palača HAZU, Trg N. Š. Zrinskog 11 :: **Palača Vranyczany-Dobrinović**, Strossmayerov trg 12/Hebrangova 1-3 :: **Knjižnica HAZU**, Strossmayerov trg 14 :: **Palača Prister**, Strossmayerov trg 2 :: **Gliptoteka HAZU**, Medvedgradska 2 :: **Palača Drašković**, Opatička 18 :: **Vila Ehrlich-Marić** / Hrvatski muzej arhitekture, I. G. Kovačića 37 :: **zgrada u Gundulićevoj** 24/1



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

ZGRADE HAZU – ZAŠTIĆENA KULTURNA DOBRA

sve zgrade unutar zaštićene urbanističke povijesne cjeline
sedam zgrada pojedinačno zaštićena kulturna dobara
četiri zgrade na Strossmayerovu trgu, Lenucijeva perivojna potkova



AKADEMIJINA IZJAVA O OBNOVI ZAGREBA POSLIJE POTRESA

4. svibnja 2020. Izjava HAZU o obnovi Zagreba nakon potresa 22. ožujka 2020.
https://www.info.hazu.hr/upload/File/2020/ODLUKE-2020/Obnova-Zagreba-2020---sve_BROSURA.pdf

PRVA urbana modernizacija Zagreba – kraj XIX. st. (nakon potresa 1880.)

DRUGA urbana modernizacija Zagreba – sredina XX. st. – grad i zgrade (Novi Zagreb)

očekivana TREĆA URBANA MODERNIZACIJA ZAGREBA – prva polovica XXI. st.
urbana obnova i osuvremenjivanje ne samo zgrada nego i grada



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarocci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

RAZLIKA U KONCEPCIJAMA OBNOVA POSLIJE POTRESA 1880. i 2020.

od **1880.** godine
sveobuhvatan pristup – modernizacija grada :: *Druga regulatorna osnova*
(urbanistički plan), glavni gradski inženjer Milan Lenuzi (perivojna / zelena potkova)
REZULTAT – I. modernizacija Zagreba :: Donji grad, idealni srednjoeuropski grad
kraja XIX. i početka XX. st.

od **2020.** godine
obnova pojedinačnih zgrada
izostaje sustavna urbana obnova grada

VAŽNOST SVEOBUHVATNOG KONCEPTA OBNOVE

konstrukcijska obnova :: cjelovita obnova :: energetska obnova :: osuvremenjivanje zgrada i instalacijskih sustava :: osuvremenjivanje muzeja u zgradama :: prilagodbe prilikom projektiranja i izvedbe zbog očuvanja temeljnih svojstava zgrada kao kulturnih dobara :: prilagodljivost konzervatorskih zahtjeva funkcionalnim potrebama i suvremenim tehničko-tehnološkim rješenjima :: kreativno, logično i prilagodljivo promišljanje obnove od projekta do izvedbe uključujući i procedure

JAVNE NAMJENE U AKADEMIJINIM ZGRADAMA

:: muzeji, arhivi, javna događanja, znanstveni zavodi ::

Strossmayerova galerija starih majstora – palača HAZU
Gliptoteka HAZU – sklop od četiri zgrade
Kabinet grafike – palača Vranyczany-Dobrinović
Hrvatski muzej arhitekture – vila Ehrlich-Marić
Hrvatski muzej medicine i farmacije – zgrada u Gundulićevoj 24

Arhiv HAZU – palača Prister
Kabinet za arhitekturu i urbanizam – palača Vranyczany-Dobrinović
Arhiv za likovne umjetnosti – zgrada u Gundulićevoj 24

Palača HAZU – javna događanja u atriju i velikoj sjedničkoj dvorani

HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

OBNOVA AKADEMIJINIH ZGRADA

Konstrukcijska obnova provedena u 8 zgrada

Cjelovita i energetska obnova u tijeku je za 7 zgrada

Cjelovita obnova Knjižnice HAZU nije rađena jer je zgrada temeljito obnovljena 2003. – 2009. godine

6 zgrada se obnavlja na razini III., palača Priester na razini II.

Izvedba prema Zakonu o obnovi, ne prema Zakonu o gradnji

Završetak obnove :: jesen-zima 2025. / proljeće 2026.

OBILJEŽJA KONSTRUKCIJSKIH ZAHVATA NA AKADEMIJINIM ZGRADAMA

Konstrukcijska obnova = DEKONSTRUKCIJA – ANATOMIJA ZGRADA – KONSTRUKCIJA
važna i nezaobilazna, ali nedovoljna za završetak obnove zgrada i grada

UOBIČAJENI ZAHVATI KONSTRUKCIJSKE OBNOVE NA AKADEMIJINIM ZGRADAMA
ojačanja zidova armiranim betonom, torkretom, CRM i FRCM sustavima,
ojačanja međukatnih konstrukcija izvedbom tlačnih ploča,
temeljenje, drenaža, sanacija kapilarne vlage,
zamjena dotrajale drvene i druge građe





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarоci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE HAZU

projekt 1876.–1877. Friedrich von Schmidt, Herman Bollé, gradnja **1877.–1884.** ::: **5911 m²**
glavna projektantica: Jasminka Kečanović Šimec, d.i.a.,
projektanti konstrukcije: prof. dr. sc. Mladen Meštrović, d.i.g., dipl. ing. mat., Karlo Kopljar, d.i.g.

konzervatorska studija

palača Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti na trgu Ivana Zajca u Zagrebu
https://www.haz.hr/content/repository/HAZ_Palaca-HAZU.pdf (2022, ISBN 978-953-175-804-2.pdf




HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

ELEMENTI KONSTRUKCIJSKE OBNOVE PALAČE HAZU

ZIDOVI – glavni nosivi sustav: 95–120 cm podrum, 75 cm prizemlje, 45–75 cm 1. kat, 45–60 cm 2. i 3. kat :: ojačanje CRM sustavom, armaturne šipke u sljubnicama

:: ČETIRI nove UGLOVNE AB JEZGRE povezane tlačnim pločama

:: Izvedene nove TEMELJNE PLOČE u podrumu

LUK U ATRIJU :: pukotina sanirana karbonskom tkaninom

SVODOVI iznad podruma :: ojačanje – mrežica od staklenih vlakana, dvokomponentni mikroarmirani mort, ankeri

MEĐUKATNE KONSTRUKCIJE – postojeći drveni grednici 20x30 cm s ispunom od šute, osni razmak 72 cm :: djelomična zamjena novim gredama – lamelirane između prizemlja i kata, čelične iznad 2. kata

ATRIJ :: postavljene zatege u međukatnoj konstrukciji, povezane s tlačnim pločama (u kontinuitetu između atrija i vanjskih zidova)

KROVIŠTE – visulja, čelična konstrukcija svjetlarnika, 1986. sprezanje krovišta u čeličnoj konstrukciji, AB tlačna ploča između 2. i 3. kata :: novo – pokrov, staklo svjetlarnika, otvori za dovod i odvod zraka strojarske opreme

HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE HAZU

UGLOVNE ARMIRANOBETONSKE JEZGRE :: LAMELIRANE GREDE, ČELIČNI NOSAČI :: TLAČNE PLOČE :: ZATEGE U ATRIJU U MEĐUKATNOJ KONSTRUKCIJI



KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE HAZU

UGLOVNE ARMIRANO BETONSKE JEZGRE



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarocci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE HAZU

MEĐUKATNE KONSTRUKCIJE – LAMELIRANE GREDE NA 1. KATU, ČELIČNE GREDE NA 2. KATU



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE HAZU

MEĐUKATNE KONSTRUKCIJE – DRVENE GREDE OJAČANE LIMOM,
ČUVANJE IZVORNE MEĐUKATNE KONSTRUKCIJE NA MJESTIMA STROPNIH OSLIKA





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE HAZU

RESTAURATORSKI RADOVI – STROP VELIKE VIJEĆNIČKE DVORANE, ATRIJ, STUBIŠTE





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarocci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GLIPTOTEKE

projekt 1896. Martin Pilar i Janko Holjac i dr.), izgradnja **1898.–1927.** :: **11.694 m²**
glavni projektant: Davor Mateković, d.i.a.; projektant konstrukcije: Branko Galić, d.i.g.

konzervatorska studija

https://www.info.hazu.hr/wp-content/uploads/2022/10/OZ_Gliptoteka-HAZU_2022_ISBN-978-953-373-010-3.pdf



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarocci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

ELEMENTI KONSTRUKCIJSKE OBNOVE GLIPTOTEKE

POPREČNI ZIDOVI :: NOVI AB ZIDOVI uz postojeće zidove od opeke (zgrade 1, 2, 4)

UZDUŽNI ZIDOVI :: u sljubnice opeke postavljene ARMATURNE ŠIPKE –
od inoxa s vanjske strane i čelične s unutrašnje strane (zgrade 1, 2, 4)

VANJSKI ZIDOVI ZGRADE 3 :: NOVI AB ZIDOVI uz postojeće zidove od opeke

DRVENE MEĐUKATNE KONSTRUKCIJE :: ojačane AB TLAČNIM PLOČAMA

BETONSKE MEĐUKATNE KONSTRUKCIJE nisu ojačavane

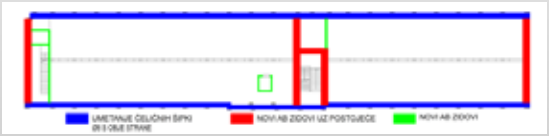
KROVNA KONSTRUKCIJA nije mijenjana ni ojačavana :: stavljen je NOVI POKROV
i toplinska izolacija

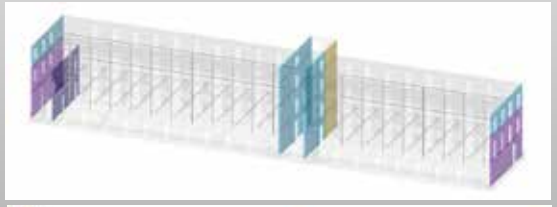
BETONSKI STUPOVI u dvoranama :: ojačani su CFRP sustavom
(polimer ojačan karbonskim vlaknima)

DRVENI STUPOVI u dvoranama :: ojačani su ČELIČNIM KAPITELIMA

HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GLIPTOTEKE







HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GLIPTOTEKE

NOVI POPREČNI AB ZIDOVI UZ POSTOJEĆE POPREČNE ZIDOVE OD OPEKE



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarоci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GLIPTOTEKE

NEKADAŠNJE TVORNIČKE HALE, DANAS IZLOŽBENE DVORANE
SKINUTI PODGLEDI, VIDLJIVE GREDE, DRVENI STUPOVI OJAČANI ČELIČNIM KAPITELIMA





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarоci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GLIPTOTEKE

UGRAĐENO 60.000 NOVIH OPEKA, ARMATURNE ŠIPKE POSTAVLJENE U SLJUBNICE ZIDOVA







HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE VRANYCZANY-DOBRINOVIĆ

projekt 1880./1881. Otto von Hofer, gradnja **1881.–1883**. :: **6792 m²**
glavna projektantica: Kristina Vujica, dipl.ing.arh.; projektant konstrukcije: Branislav Škoro, d.i.g.

konzervatorska studija
palača Vranyczany-Dobrinović, Hebrangova 1
https://www.iau.hr/content/knjige/IZU_063_Palaca-Vranyczany-Dobrinovic_ISBN_978-953-7875-83-1.pdf



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

ELEMENTI KONSTRUKCIJSKE OBNOVE PALAČE VRANYCZANY-DOBRINOVIĆ

POPREČNI ZIDOVI :: NOVI AB ZIDOVI uz ili umjesto postojećih zidova

UZDUŽNI ZIDOVI (vanjski i unutarnji) :: ojačani CRM sustavom
(Composite Reinforced Mortar) – uz uporabu mreža, kutnika i spojnih elemenata od predgotovljenog kompozitnog materijala od AR staklenih vlakana i termostabilnih smola

KROVIŠTE :: DRVENA krovna konstrukcija zamijenjena ČELIČNOM u sjevernom i istočnom krilu zgrade; sačuvano DRVENO KROVIŠTE NA UGLU (spoj dva krila) s lokalnim ojačanjima ili zamjenama dotrajalih dijelova

VIJENAC ZGRADE :: postojeći izvorni vijenac s ulične i dvorišne strane zamijenjen NOVIM AB nadozidom i vijencem

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE VRANYCZANY-DOBRINOVIĆ

NOVI POPREČNI AB ZIDOVI UZ ILI UMJESTO POSTOJEĆIH ZIDOVA
UZDUŽNI ZIDOVI OJČANI CRM-om
NOVO ČELIČNO KROVIŠTE







HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarocci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE VRANYCZANY-DOBRINOVIĆ

NOVI AB ZIDOVI ILI BETONSKA OJAČANJA UZ POSTOJEĆE UZDUŽNE I POPREČNE ZIDOVE





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE VRANYCZANY-DOBRINOVIĆ

POTKROVNA ETAŽA – NOVA ČELIČNA KONSTRUKCIJA, VOLUMEN ISTI KAO PRIJE OBNOVE






HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE VRANYCZANY-DOBRINOVIĆ

SAČUVAN SREDIŠNJI DIO DRVENOGA KROVA, SPOJ S NOVIM ČELIČNIM KROVOM




KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE DRAŠKOVIĆ

projekt 1835. Bartol Felbinger, 1846. Aleksandar Brdarić, gradnja **1838./1839.** :: **2650 m²**
glavna projektantica: Ana Alar, d.i.a.; projektant konstrukcije: Mario Todorić, d.i.g.

konzervatorska studija

Palača Drašković, Opatička 16
https://www.iaa.hr/content/knjige/PU_Palace%20Drakovic_Opaticka_Zagreb_Croatia_2022_ISBN-978-953-173-008-0.pdf





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarоci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

ELEMENTI KONSTRUKCIJSKE OBNOVE PALAČE DRAŠKOVIĆ

Tijekom XIX. i XX. st. bilo je nekoliko dogradnji i preinaka

MINIMALNI NOVI ZAHVATI :: bez zadiranja u interijer Preporodne dvorane

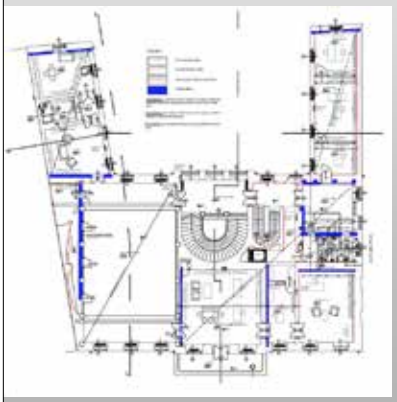
ZIDOVI :: mjestimična izvedba NOVIH AB ZIDOVA uz postojeće zidove od opeke

ZIDOVI I SVODOVI :: ojačanje tankoslojnom žbukom armiranom FRCM sustavom *(Fibre Reinforced Cementitious Matrix)* na prethodno injektiranim pukotinama

TLAČNE PLOČE :: međukatna konstrukcija od DRVENIH OBLICA
posloženih jedna uz drugu ojačana je AB i drvenim tlačnim pločama



KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE DRAŠKOVIĆ





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE DRAŠKOVIĆ

NOVI ARMIRANOBETONSKI ZIDOVI / OJAČANJE POSTOJEĆIH ZIDOVA OD OPEKE





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarоci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE DRAŠKOVIĆ

MEĐUKATNA KONSTRUKCIJA S DRVENIM GREDAMA POSTAVLJENIM JEDNA UZ DRUGU IZ 1838.
OJAČANJE TLAČNOM PLOČOM



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarоci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE DRAŠKOVIĆ

OJAČANJE SVODOVA



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE DRAŠKOVIĆ

RESTAURATORSKI RADOVI





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE PRISTER

projekt 1892./1893. Leo Hönigsberg i Julio Deutsch, gradnja **1893.** :: **2054 m²**
glavni projektant: prof. dr. sc. Željko Peković, d.i.a.; projektant konstrukcije: Ivo Matković, d.i.g.

konzervatorska studija

palača Prister, Trg Josipa Jurja Strossmayera 2
https://www.min-kulture.hr/UserDocsImages/DPU/DPU-Palaca-Prister-ISBN-978-953-7975-62-4.pdf







HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarоci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

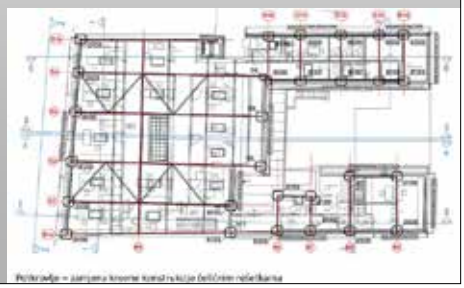
ELEMENTI KONSTRUKCIJSKE OBNOVE PALAČE PRISTER

POSTOJEĆI NOSIVI ZIDOVI :: ojačanje tankoslojnom žbukom armiranom FRCM sustavom na prethodno injektiranim pukotinama

MEĐUKATNE KONSTRUKCIJE :: ojačanje TLAČNIM PLOČAMA – AB u podrumu i prizemlju, LAMELIRANO DRVO na 1. katu i u potkrovlju

KROVIŠTE :: postojeće drveno zamijenjeno NOVIM ČELIČNIM





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarоci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE PRISTER

DRVENO KROVIŠTE ZAMIJENJENO ČELIČNIM – UREDI U POTKROVLJU





KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE PRISTER

MEĐUKATNA KONSTRUKCIJA (DRVO, ČELIK), FRCM NA ZIDOVIMA, AB I DRVENE TLAČNE PLOČE



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE PRISTER

TLAČNE PLOČE OD LAMELIRANOG DRVETA



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarocci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA PALAČE PRISTER

RESTAURATORSKI RADOVI





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarocci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA VILE EHRLICH-MARIĆ

projekt 1890. Mijo Geher, gradnja 1891., nekoliko pregradnji, zadnja **1928.** :: **1424 m²**
glavna projektantica: Kristina Vujica, dipl.ing.arh.; projektant konstrukcije: Branislav Škoro, d.i.g.

konzervatorska studija

vila Ehrlich-Marić, Ulica Grada Vukovara 37
https://www.min-kulture.hr/default.aspx?id=6625 (Ministarstvo kulture i medija Republike Hrvatske, 2004.)





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

ELEMENTI KONSTRUKCIJSKE OBNOVE VILE EHRLICH-MARIĆ

POSTOJEĆI NOSIVI ZIDOVI :: ojačanje tankoslojnom žbukom armiranom FRCM sustavom na prethodno injektiranim pukotinama

TEMELJI :: kampadna izvedba novih temelja

MEĐUKATNE KONSTRUKCIJE :: ČELIČNI NOSAČI i TLAČNE PLOČE

NADOZIDI U POTKROVLJU :: ojačani MONIERKAMA

KROVIŠTE :: DJELOMIČNA ZAMJENA drvenom građom
uz pretvaranje visulje u stolicu + novi DRVENI DIJELOVI KROVA

HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA VILE EHRLICH-MARIĆ



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarоci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA VILE EHRLICH-MARIĆ

KAMPADNA IZVEDBA NOVIH TEMELJA



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarоci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA VILE EHRLICH-MARIĆ

UKLANJANJE STARIH DRVENIH MEĐUKATNIH KONSTRUKCIJA KOJE SE ZAMJENJUJU ČELIČNIM



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA VILE EHRLICH-MARIĆ

NOVE ČELIČNE MEĐUKATNE KONSTRUKCIJE, AB TLAČNE PLOČE





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

KONSTRUKCIJSKA OBNOVA VILE EHRLICH-MARIĆ

OBNOVLJENO I NOVO KROVIŠTE





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarocci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

TEHNOLOŠKO OSUVREMENJIVANJE I ENERGETSKA OBNOVA
AKADEMIJINIH ZGRADA

:: NOVI SUSTAVI grijanja, hlađenja i ventilacije povezani s dizalicama topline, klima komorama i rashladnicima *(chillerima)*

:: NOVI RAZVOD elektroinstalacija, vodovodnih instalacija i odvodnje

TRAFOSTANICE :: zbog povećane potrebe za električnom energijom grade se dvije trafostanice u dvije zgrade – Gliptoteka i palača Vranyczany-Dobrinović

SOLARNA ELEKTRANA :: na ravnom krovu zgrade 2 Gliptoteke

UŠTEDE ENERGIJE :: toplinska izolacija zidova (s unutrašnje strane) i krova; prozori su novi (ponegdje samo krila), uvijek s novim izo staklom

ZAŠTITA OD POŽARA :: vodom, vodenom maglicom i plinom – ovisno o namjeni prostorija i vrsti muzejske građe

HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarocci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

TEHNOLOŠKO OSUVREMENJIVANJE I ENERGETSKA OBNOVA
AKADEMIJINIH ZGRADA

STROJARSKE INSTALACIJE (GRIJANJE, HLAĐENJE, VENTILACIJA), ELEKTROINSTALACIJE, … …



HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

TEHNOLOŠKO OSUVREMENJIVANJE I ENERGETSKA OBNOVA AKADEMIJINIH ZGRADA

PRIPREMA ZA SUNČANU ELEKTRANU U GLIPTOTECI, IZO STAKLA, RASHLADNICI (CHILLERI)





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

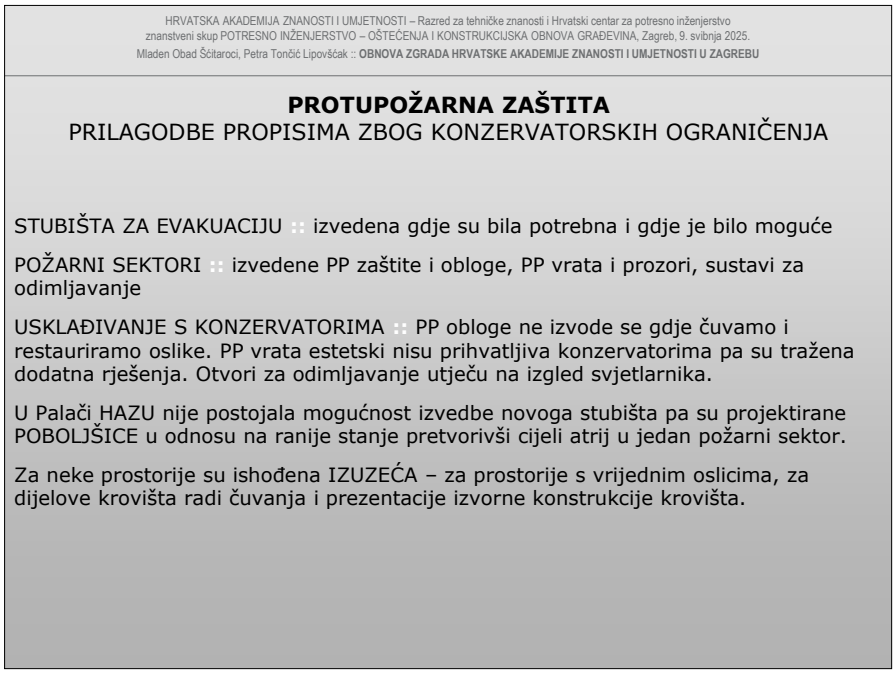
USKLAĐIVANJE S POSEBNIM PROPISIMA

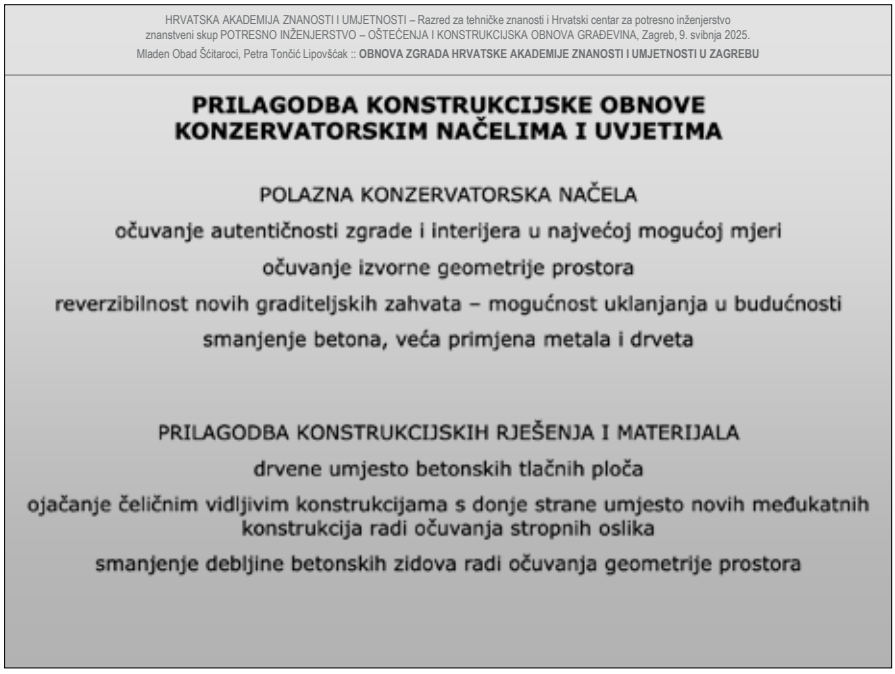
SAVLADAVANJE VISINSKIH PREPREKA :: izvedena su dizala u svim zgradama, ugrađene su rampe i platforme

PRIMJENA NAČELA *DNSH (do no significant harm)* :: Sve su zgrade projektirane u skladu s načelom NE NANOSITI BITNU ŠTETU okolišu (Uredba EU u okviru NPOO) ::
PLIN za grijanje UKINUT je u svim zgradama






HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarocci, Petra Tončić Lipovšćak :: OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU
PROTUPOŽARNA ZAŠTITA
PRILAGODBE PROPISIMA ZBOG KONZERVATORSKIH OGRANIČENJA
STUBIŠTA ZA EVAKUACIJU :: izvedena gdje su bila potrebna i gdje je bilo moguće
POŽARNI SEKTORI :: izvedene PP zaštite i obloge, PP vrata i prozori, sustavi za odimljavanje
USKLAĐIVANJE S KONZERVATORIMA :: PP obloge ne izvode se gdje čuvamo i restauriramo oslike. PP vrata estetski nisu prihvatljiva konzervatorima pa su tražena dodatna rješenja. Otvori za odimljavanje utječu na izgled svjetlarnika.
U Palači HAZU nije postojala mogućnost izvedbe novoga stubišta pa su projektirane POBOLJŠICE u odnosu na ranije stanje pretvorivši cijeli atrij u jedan požarni sektor.
Za neke prostorije su ishođena IZUZEĆA – za prostorije s vrijednim oslicima, za dijelove krovišta radi čuvanja i prezentacije izvorne konstrukcije krovišta.


HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarocci, Petra Tončić Lipovšćak :: OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU
PRILAGODBA KONSTRUKCIJSKE OBNOVE
KONZERVATORSKIM NAČELIMA I UVJETIMA
POLAZNA KONZERVATORSKA NAČELA
očuvanje autentičnosti zgrade i interijera u najvećoj mogućoj mjeri
očuvanje izvorne geometrije prostora
reverzibilnost novih graditeljskih zahvata – mogućnost uklanjanja u budućnosti
smanjenje betona, veća primjena metala i drveta
PRILAGODBA KONSTRUKCIJSKIH RJEŠENJA I MATERIJALA
drvene umjesto betonskih tlačnih ploča
ojačanje čeličnim vidljivim konstrukcijama s donje strane umjesto novih međukatnih konstrukcija radi očuvanja stropnih oslika
smanjenje debljine betonskih zidova radi očuvanja geometrije prostora

HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

PRILAGODBA KONSTRUKCIJSKE OBNOVE KONZERVATORSKIM NAČELIMA I UVJETIMA

PREPORODNA DVORANA UTJECALA NA RJEŠENJE OJAČANJA KONSTRUKCIJE





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovščak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

PRILAGODBA KONZERVATORSKIH UVJETA ZAHTJEVIMA KONSTRUKCIJSKE OBNOVE I TEHNIČKIM RJEŠENJIMA

Palača HAZU – odustajanje od čuvanja stropnih oslika u sobama na uglovima zgrade zbog konstrukcijskog rješenja uglovnih jezgri i novih međukatnih konstrukcija

Odzračnici strojarskih instalacije na krovovima svih zgrada – prihvaćanje unatoč vizualnoj izloženosti i otežanog estetskog uklapanja

Strojarske instalacije u unutrašnjosti – velike dimenzije, rashladnici/chilleri – ograničeno prihvaćanje; smještaj rashladnika u potkrovljima ili na ravnim krovovima

Gliptoteka – sunčana elektrana na ravnom krovu – na mjestu smanjene vizualne izloženosti









RESTAURATORSKI RADOVI
U SKLOPU KONSTRUKCIJSKE I CJELOVITE OBNOVE

RESTAURATORSKI RADOVI izvode se u ŠEST ZGRADA :: Palača HAZU, Palača Drašković, Palača Prister, Palača Vranyczany-Dobrović, Vila Ehrlich-Marić, Gliptoteka

RESTAURATORSKI RADOVI NA PROČELJIMA :: zamjena dotrajale opeke, zamjena stupova (replika), zamjena kamenih vijenaca, zamjena kamenih dekorativnih dijelova, izrada povijesnih profilacija koje su izgubljene tijekom vremena, liječenje kamena, povezivanje ukrasnih dijelova pročelja s elementima konstrukcije zgrade, sanacije pukotina, ...

RESTAURATORSKI RADOVI U UNUTRAŠNJOSTI :: stropni i zidni oslici, štukature, povijesni arhitektonski detalji (stupovi i grede), mramorizacija, ...





HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitarocci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

OBNOVA AKADEMIJINIH MUZEJA, GALERIJA I ZBIRKI
2020. – 2026. – ????

Obnova muzeja ne podrazumijeva samo fizičku obnovu zgrada već je to sveobuhvatan i dugotrajan proces s brojnim vidljivim i „nevidljivim" aktivnostima

:: preventivna zaštita i izmještanje muzejske/arhivske građe u privremene čuvaone nakon potresa
:: izrada projektne dokumentacije za konstrukcijsku i cjelovitu obnovu muzejskih prostora
:: izvedba konstrukcijske, cjelovite i energetske obnove
:: izrada novih muzeoloških koncepcija i projekata uređenja interijera i muzejskih postava

:: restauriranje umjetnina za stalni i povremeni muzejski postav
:: povratak izmještene muzejske/arhivske građe u obnovljene muzeje
:: nabava i ugradba muzejske i druge opreme (multimedija, ovjesi, …)
:: namještanje i uređenje muzejskog prostora (čuvaone, izložbene dvorane, restauratorske radione, radni prostori zaposlenika, vanjski prostori, ostali muzejski pomoćni prostori)
:: upoznavanje s novim instalacijskim sustavima (grijanje, hlađenje, ventilacija, tehnička zaštita)
:: izrada kataloga i vodiča novoga muzejskog postava
:: postavljanje umjetnina u izložbene prostore s potrebnom muzeološkom opremom
:: vizualni identitet muzeja, vidljivost u virtualnom i fizičkom prostoru
:: povećanje broja muzejskog osoblja i provedba ambicioznijih planova u novim muzejima

ZAKLJUČAK

:: U pet godina od potresa – od 2020. do 2025. – HAZU provodi obnovu zgrada prema zahtjevnim procedurama i postupcima vezanim uz izvedbu obnove OSAM ZGRADA sa statusom KULTURNIH DOBARA. U pet godina izvedene su konstrukcijske obnove za 8 zgrada, obnova jedne zgrade je završena, a privode se kraju cjelovita i energetska obnova za još 7 zgrada.

:: Provedba obnove podrazumijeva neprekidno i svakodnevno PRAĆENJE GRADILIŠTA, sudjelovanje na koordinacijama gradilišta te rješavanje brojnih poteškoća koje se svakodnevno pojavljuju, uz potrebu stalne prisutnosti Akademije i ubrzavanja procesa izvedbe. Deset članova RADNE SKUPINE ZA OBNOVU Akademijinih zgrada različitih struka neprekidno pet godina usmjeravaju sve aktivnosti i pripremaju što je potrebno za uspješnu provedbu obnove.

:: Istodobno s izvedbom obnove zgrada priprema se temeljita OBNOVA 5 MUZEJA, 2 ARHIVA, KAZALIŠNE ZBIRKE i drugih UMJETNIČIH i KULTURNO-POVIJESNIH ZBIRKI.

:: Akademijine zgrade koje su zaštićena pojedinačna kulturna dobra smještena u zaštićenoj urbanističkoj povijesnoj cjelini, najvećim dijelom su zgrade sa javnom kulturnom namjenom. Obnova i novi život tih zgrada donosi FUKCIONALNA POBOLJŠANJA, TEHNIČKO I TEHNOLOŠKO UNAPRJEĐENJE te OSUVREMENJIVANJE MUZEJA.

:: Obnovljene zgrade Akademije OSNAŽIT ĆE ZAGREB U KULTURNOM, TURISTIČKOM I URBANISTIČKOM OZRAČJU uz afirmiranje naslijeđenih kulturno-povijesnih i arhitektonskih vrijednosti zgrada te posebice muzejske i arhivske građe, umjetnina i kulturno-povijesnih zbirki

HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI – Razred za tehničke znanosti i Hrvatski centar za potresno inženjerstvo
znanstveni skup POTRESNO INŽENJERSTVO – OŠTEĆENJA I KONSTRUKCIJSKA OBNOVA GRAĐEVINA, Zagreb, 9. svibnja 2025.
Mladen Obad Šćitaroci, Petra Tončić Lipovšćak :: **OBNOVA ZGRADA HRVATSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI U ZAGREBU**

korišteni izvori

konzervatorske studije
statički elaborati
projektna dokumentacija za obnovu zgrada HAZU – idejni i glavni projekti
zapisnici koordiacija na gradilištima
zapisnici i fotodokumentacija Radne skupine za obnovu zgrada HAZU

fotografije

Petra Tončić Lipovšćak, Mladen Obad Šćitaroci, Jelena Đukić

DOI 10.21857/9xn31cww6y

Prezentacija predavanja

PROLAZNA OPTEREĆENJA I ODZIVI KONSTRUKCIJA

Izv. prof. dr. sc. Nikola Vladimir, akademik Ivo Senjanović
Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu

Nikola Vladimir, Ivo Senjanović

PROLAZNA OPTEREĆENJA I ODZIVI KONSTRUKCIJA

Sažetak predavanja

Predavanje obrađuje dinamička opterećenja i odzive inženjerskih konstrukcija s posebnim naglaskom na impulsna opterećenja. Analiza odziva konstrukcija podložnih impulsnim opterećenjima zahtijeva specifične pristupe zbog njihova kratkog trajanja (u odnosu na prirodne periode vibriranja) i visoke amplitude. Ovisno o vrsti konstrukcije i prirodi opterećenja, primjenjuju se različite metode analize i proračuna (analitičke, numeričke, eksperimentalne), kao i odgovarajuće mjere kojima je cilj osigurati sigurnost tako opterećenih konstrukcija. Cilj ovog predavanja je približiti fizikalnu pozadinu problema i pojasniti principe njegovog matematičkog modeliranja, odnosno rješavanja jednadžbi dinamičke ravnoteže u vremenskoj domeni, kroz nekoliko vrlo izazovnih problema u suvremenoj inženjerskoj praksi. U tom smislu će se prikazati problematika dinamičkog odziva plutajućeg aerodroma uslijed dinamičke uzbude uzrokovane slijetanjem zrakoplova, projektiranje havarijskih dizel generatora za rad u nuklearnim postrojenjima koji moraju podnijeti odgovarajuća potresna opterećenja, te podrhtavanje (prolazne vibracije) trupa broda za eksploataciju nafte usidrenog u Atlantskom oceanu u blizini Brazila, uslijed udaranja pramčanog i krmenog dijela u valove, te posljedice takvih opterećenja na zamorni vijek konstrukcijskih detalja i eventualni gubitak nosivosti konstrukcije.

O predavačima

Nikola Vladimir je izvanredni profesor na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu (FSB) i voditelj Katedre za strojeve i uređaje plovnih objekata. Na FSB-u je diplomirao 2007. godine na studiju brodogradnje, a 2011. godine i doktorirao s temom Hidroelastičnost i dinamička izdržljivost velikih kontejnerskih brodova. Njegovi istraživački interesi uključuju: energetsku učinkovitost, ekološku prihvatljivost i održivost brodova i drugih plovnih objekata, brodske energetske sustave, projektiranje i eksploataciju brodova specijalne namjene (ribarski, ro-ro putnički, brodovi unutarnje plovidbe), akvakulturu, cjeloživotne analize, međudjelovanja fluida i konstrukcije, statičke i dinamičke analize brodskih i pomorskih konstrukcija, itd. Na višemjesečnim znanstvenim usavršavanjima boravio je u Portugalu (Instituto Superior Tecnico, Lisbon), Francuskoj (Bureau Veritas, Research Department, Pariz) i

Južnoj Koreji (Pusan National University, Busan). Tijekom karijere involviran je u niz projekata iz kompetitivnih programa financiranja (EU FP7, Horizon Europe, Interreg ADRION, Global Core Research Center for Ships and Offshore Plants (GCRC-SOP) Južna Koreja, Europski fond za pomorstvo i ribarstvo, Europski socijalni fond, Europski fond za regionalni razvoj, Hrvatska zaklada za znanost, Bilateralna hrvatsko-kineska suradnja, MZOŠ RH, itd.), od kojih većinu vodi ili je vodio. Proveo je veći broj stručnih projekata za ugledne domaće i strane naručitelje. Član je međunarodnih (ISSC) i domaćih (Znanstveno vijeće za pomorstvo HAZU) znanstvenih i stručnih tijela, uredničkih odbora nekoliko međunarodnih znanstvenih časopisa, recenzent niza članaka za časopise i konferencije, te autor preko 300 radova objavljenih u znanstvenim časopisima i zbornicima specijaliziranih domaćih i međunarodnih konferencija.

Akademik **Ivo Senjanović** je diplomirao u Zagrebu na tadašnjem Strojarsko-brodograđevnom fakultetu 1967., magistrirao na Građevinskom fakultetu 1969., a doktorirao na Fakultetu strojarstva i brodogradnje (FSB) 1970. Radio je na Brodarskom institutu u Zagrebu od 1967. do prelaska na FSB 1969, gdje je prošao sva znanstveno-nastavna zvanja od asistenta do redovitog profesora. Umirovljen je 2010. Usavršavao se kao gostujući znanstvenik na University of California, Berkeley, 1973. i kao istraživač u klasifikacijskom društvu Det norske Veritas, Oslo, 1974./75. Područja njegovog znanstvenog interesa su teorija ljusaka, teorija tankostjenih nosača, metoda konačnih elemenata, čvrstoća podmornica, čvrstoća, vibracije, pomorstvenost i hidroelastičnost brodskih i pomorskih konstrukcija, nelinearna dinamika, kaotično njihanje broda na valovima, porinuće broda s horizontalnog ležaja pomoću zakretnih saonika, projektiranje spremnika za prijevoz ukapljenog plina i dr. Sa svojim suradnicima pridonio je uvođenju suvremenih spoznaja i inženjerskih alata u brodograđevnu praksu i time povećao konkurentnost hrvatske brodogradnje na svjetskom tržištu. Objavio je dvije knjige na engleskom jeziku i pet udžbenika s područja teorije konstrukcija, i preko 350 znanstvenih i stručnih radova u časopisima i zbornicima znanstvenih skupova. Prema studiji Stanford University svrstan je u 2% najutjecajnijih znanstvenika u svom području istraživanja. Bio je član međunarodnog udruženja *International Ships and Offshore Structures Congress (ISSC)* od 1977. do 2012., djelujući u radu desetak tehničkih komiteta. Redoviti je član HAZU od 2002. Dobitnik je republičke nagrade za znanost „Nikola Tesla“ 1974., nagrade Sveučilišta u Zagrebu „Fran Bošnjaković“ za 1995., za izuzetne zasluge za razvoj i opstojnost hrvatske brodogradnje, te državne nagrade za životno djelo 2009. Počasno zvanje professor emeritus Sveučilišta u Zagrebu dodijeljeno mu je 2011.



TRANSIENT LOADS AND RESPONSES OF STRUCTURES (PROLAZNA OPTEREĆENJA I ODZIVI KONSTRUKCIJA)

Nikola Vladimir, Ivo Senjanović

University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture
nikola.vladimir@fsb.unizg.hr
ivo.senjanovic@fsb.unizg.hr

Croatian Academy of Sciences and Arts
Zagreb, 9th May 2025

Contents

- ***INTRODUCTION – RESEARCH BACKGROUND***
- ***PRACTICAL EXAMPLES OF STRUCTURES EXPOSED TO SPECIFIC DYNAMIC LOADINGS***
  - ✓ *Design of FPSO structural details subjected to impulsive slamming loads*
  - ✓ *Response of a floating airport under plane take off and landing*
  - ✓ *Seismic design of genset base frame and elastic supports for NPPs*
- ***CONCLUSION***

N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 2

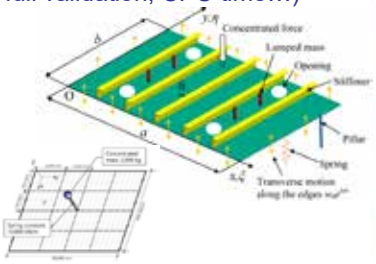
INTRODUCTION – RESEARCH BACKGROUND

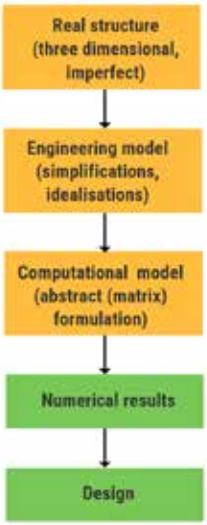
N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 3

Motivation

- **Common goal – design of safe engineering structures requires information on their loads and responses**
- **Approaches – model tests** (expensive, limited number of cases, problem of similitude…)**, full-scale measurements** (limited number of operating, expensive countermeasures…)**, mathematical / numerical modelling** (numerical modelling difficulties, lack of full validation, CPU time…)
- **Loads**
  - ✓ **Static**
  - ✓ **Dynamic**

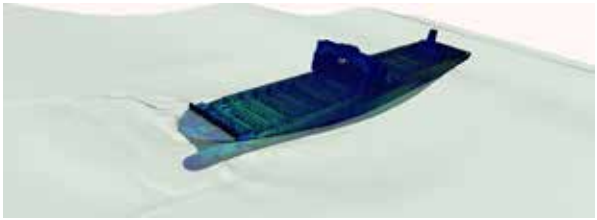


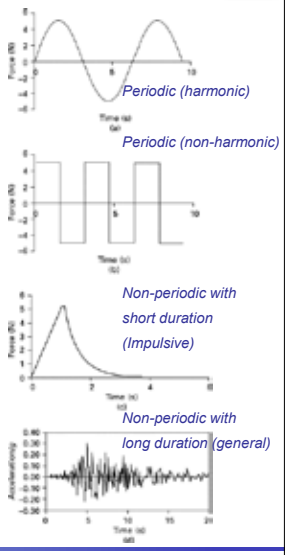




Dynamic loads

- **Classification of dynamic loads**
  - ✓ **Deterministic** (magnitude, point of application of the load and the variation of the load with respect to time are known)
  - ✓ **Stochastic** (variation of load with respect to time is not known)
- **Deterministic loads**
  - ✓ **Periodic** (repeats itself at equal time intervals)
  - ✓ **Non-periodic**

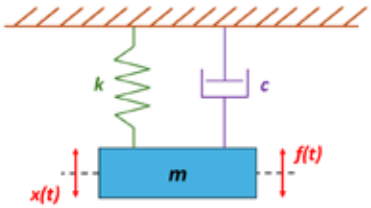




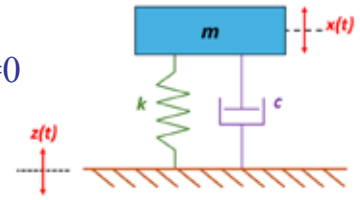
Mathematical modelling

- **Basic models**
  - ✓ 1 DOF system

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t)$$



$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{z}) + k(x - z) = 0$$
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = kz + c\dot{z}$$

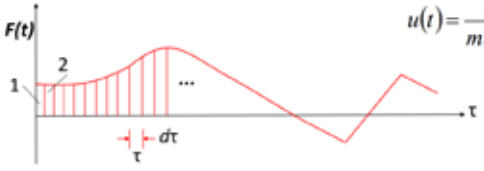


Mathematical modelling

- **Solutions of dynamic equations**
  - ✓ Load dependent
- **Free vibration**
- **Loads described by analytical functions**

$$x(t) = x_h(t) + x_p(t)$$

- **Duhamel's integral – linear systems subjected to arbitrary time-varying external loads (analytical / numerical)**
  - ✓ Loading is represented by a number of infinitesimal impulses



$$u(t) = \frac{1}{m\omega_d}\int_0^t F(\tau)e^{-\zeta\omega_n(t-\tau)}\sin[\omega_d(t-\tau)]\,d\tau$$

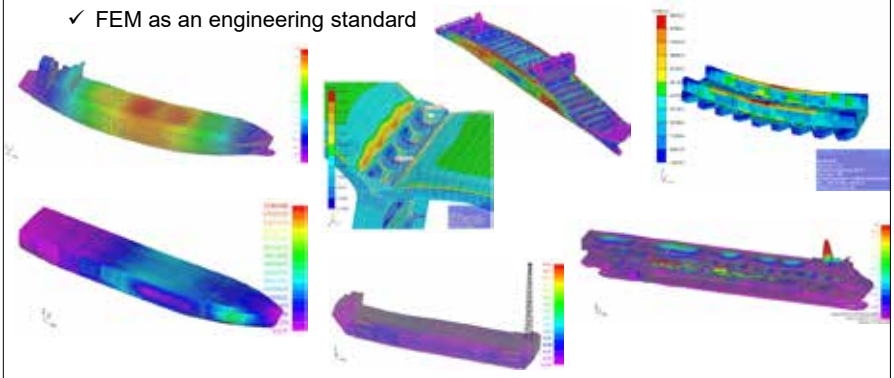
$$u(t) = \frac{1}{m\omega_n}\int_0^t F(\tau)\sin[\omega_n(t-\tau)]\,d\tau.$$

Mathematical modelling

- **Frequency response by transformation method**
  - ✓ Laplace method
  - ✓ Fourier method (Nowadays FFT is widely applied)
- **Numerical methods**
  - ✓ Temporal discretization
  - ✓ Loads can be defined both analytically or numerically
  - ✓ Applicable both to linear and nonlinear problems
  - ✓ **Explicit** (method of central difference, linear acceleration method…)
  - ✓ **Implicit** (Newmark, Wilson θ, Houbolt...)
  - ✓ Explicit methods - generally a small time step Δt, but their solution does not require a relatively long time
  - ✓ Implicit methods allow a relatively large time step Δt, but their solution requires a much longer time
  - ✓ Importance of time step – stability, accuracy, calculation time

Mathematical modelling

- **Complex structures require spatial discretization - MDOF**
  - ✓ FEM as an engineering standard



$$[\mathbf{M}]\{\ddot{\mathbf{U}}\}+[\mathbf{C}]\{\dot{\mathbf{U}}\}+[\mathbf{K}]\{\mathbf{U}\}=\{\mathbf{P(t)}\}$$

Mathematical modelling

➢ **The governing matrix differential equation for coupled motions and vibrations of a floating structure in frequency domain**

$$\left[\mathbf{k}+\mathbf{C}-i\omega\left(\mathbf{d}+\mathbf{B}(\omega)\right)-\omega^2\left(\mathbf{m}+\mathbf{A}(\omega)\right)\right]\boldsymbol{\xi}=\mathbf{F}$$

$\mathbf{k}, \mathbf{d}, \mathbf{m}$ - structural stiffness, damping and mass matrix

$\mathbf{C}$ - restoring stiffness matrix

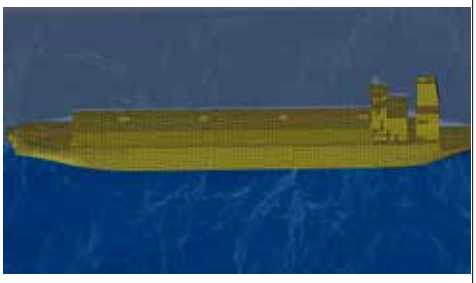
$\mathbf{B}(\omega)$ - hydrodynamic damping

$\mathbf{A}(\omega)$ - added mass

$\boldsymbol{\xi}$ - modal amplitudes

$\mathbf{F}$ - wave excitation

ω - encounter frequency



N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 10

Mathematical modelling

➢ **Hybrid method proposed by Cummins is adopted**

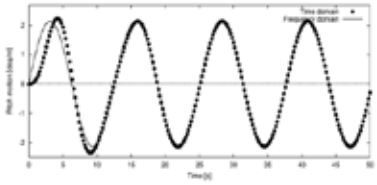
✓ **Frequency domain**

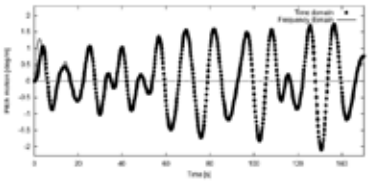
$$\{-\omega^2([\,\mathrm{m}\,]+[\,\mathrm{A}\,])-i\omega[\,\mathrm{B}\,]+([\,\mathrm{k}\,]+[\,\mathrm{C}\,])\}\{\xi\}=\{F^{Dt}\}$$

✓ **Time domain**

$$([\,\mathrm{m}\,]+[\,\mathrm{A}^{\infty}\,])\{\ddot{\xi}(t)\}+([\,\mathrm{k}\,]+[\,\mathrm{C}\,])\{\xi(t)\}+\int_0^t[\,\mathrm{K}(t-\tau)\,]\{\dot{\xi}(\tau)\}d\tau=\{F(t)\}+\{Q(t)\}$$

✓ **Preliminary verifications for regular and irregular waves in linear conditions**





N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 11

PRACTICAL EXAMPLES OF STRUCTURES EXPOSED TO SPECIFIC DYNAMIC LOADINGS

Design of FPSO structural details subjected to impulsive slamming loads

Petrobras taps Seatrium for construction of $8.15 billion FPSO pair

Brazilian state-owned oil and gas giant Petrobras has hired Singapore-headquartered Seatrium Limited for the supply of two floating production, storage, and offloading (FPSO) units, which will be deployed at its fields in the pre-salt Santos Basin off the coast of Brazil.





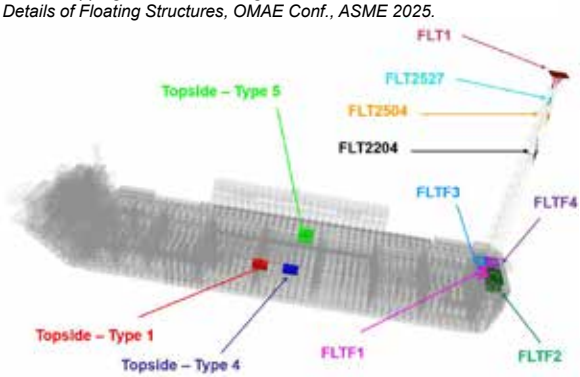


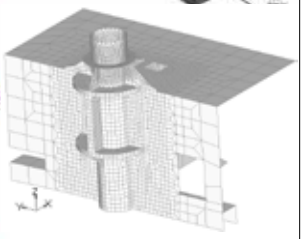
Design of FPSO structural details subjected to impulsive slamming loads

- **Non-standard loads**
  - ✓ Whipping induced by bow and stern slamming

Ref.
Vladimir et al.: An Efficient Numerical Model for Evaluation of the Whipping Influence on Fatigue Life of Structural Details of Floating Structures, OMAE Conf., ASME 2025.



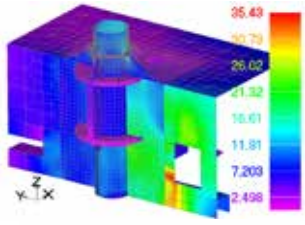


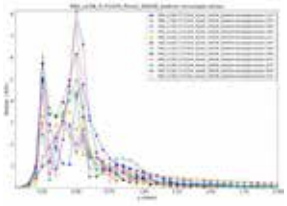


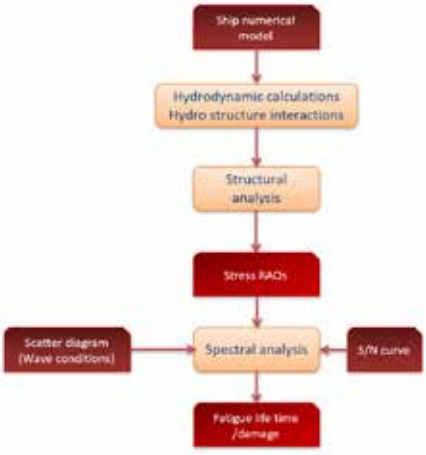
N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 14

Design of FPSO structural details subjected to impulsive slamming loads

- **Fatigue assessment of a series of structural details**
  - ✓ Linear spectral fatigue



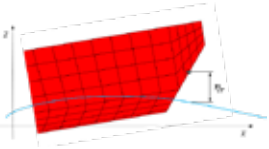


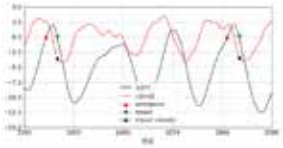


N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 15

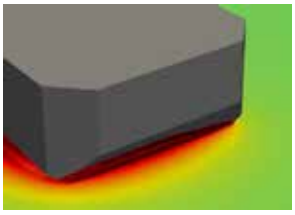
Design of FPSO structural details subjected to impulsive slamming loads

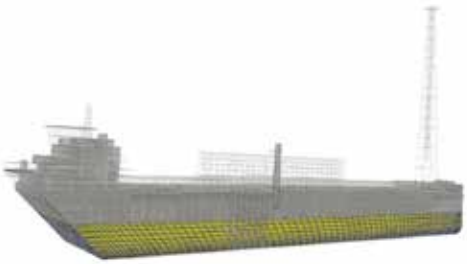
➢ Identification of slamming events

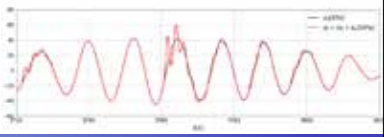




$$F_z(t) = \rho C_s(\phi)[V_r(t)]^3 t$$







N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 16

Design of FPSO structural details subjected to impulsive slamming loads

➢ Results of fatigue computation

ELEMENT No	LC08		LC12		LC14		LC18		COMBINED		WFRF
	QS	QS+Whip	QS	QS+Whip	QS	QS+Whip	QS	QS+Whip	QS	QS+Whip	
FLT1-HSP-A-FE1759	3,39E+05	1,35E+05	3,15E+05	6,22E+04	3,00E+05	2,51E+05	2,48E+05	3,97E+04	3,03E+05	1,36E+05	0,45
FLT1-HSP-A-FE1762	7,88E+05	3,28E+05	8,21E+05	1,31E+05	6,43E+05	5,33E+05	5,26E+05	1,17E+05	7,09E+05	2,99E+05	0,42
FLT1-HSP-A-FE16222	1,31E+06	4,74E+05	1,23E+06	1,92E+05	1,18E+06	9,64E+05	9,75E+05	1,29E+05	1,18E+06	4,95E+05	0,42
FLT1-HSP-B-FE29524	2,94E+05	8,75E+04	2,17E+05	4,18E+04	2,58E+05	2,14E+05	1,78E+05	2,15E+04	2,37E+05	1,06E+05	0,45
FLT1-HSP-B-FE29525	8,81E+05	2,17E+05	6,46E+05	9,71E+04	7,72E+05	6,29E+05	5,32E+05	5,00E+04	7,08E+05	2,94E+05	0,42
FLT1-HSP-B-FE29617	1,02E+06	1,60E+05	7,98E+05	7,10E+04	9,57E+05	7,20E+05	6,68E+05	3,35E+04	8,68E+05	3,06E+05	0,35
FLT-2204-FE30936	2,47E+05	1,00E+05	2,94E+05	4,42E+04	1,69E+05	1,58E+05	1,73E+05	3,06E+03	2,25E+05	8,62E+04	0,38
FLT-2204-FE30937	2,68E+05	1,06E+05	3,18E+05	4,24E+04	1,83E+05	1,72E+05	1,87E+05	2,36E+03	2,43E+05	9,13E+04	0,37
FLT-2204-FE30938	2,70E+05	1,06E+05	3,21E+05	4,05E+04	1,84E+05	1,74E+05	1,89E+05	2,07E+03	2,46E+05	9,13E+04	0,37
FLT-2504-FE21714	1,03E+05	4,36E+04	1,03E+05	2,18E+04	7,35E+04	6,52E+04	6,87E+04	6,33E+03	8,75E+04	3,79E+04	0,43
FLT-2504-FE21715	1,02E+05	4,18E+04	1,03E+05	2,06E+04	7,29E+04	6,45E+04	6,82E+04	5,96E+03	8,69E+04	3,70E+04	0,43
FLT-2504-FE21716	9,86E+04	3,91E+04	9,96E+04	1,91E+04	7,06E+04	6,24E+04	6,62E+04	5,51E+03	8,43E+04	3,52E+04	0,42
FLT-2527-FE48220	251,68	212,62	334,54	203,74	265,76	258,20	212,50	65,63	279,73	203,42	0,73
FLT-2527-FE48222	249,13	208,34	328,31	194,95	260,34	252,53	206,89	64,57	274,43	197,56	0,72
FLT-2527-FE52826	261,60	219,46	349,65	208,20	274,96	267,05	219,00	65,09	290,70	209,02	0,72
FLTF1-FE3381	1487,49	1419,24	719,81	672,68	1040,31	1006,10	556,13	524,45	922,59	879,13	0,95
FLTF1-Rod	3,48E+05	3,19E+05	1,14E+05	1,01E+05	1,63E+05	1,50E+05	5,38E+04	3,29E+04	1,57E+05	1,41E+05	0,89
FLTF1-FE1256465	1430,40	1299,08	681,46	597,35	973,18	913,38	511,70	450,79	870,44	791,24	0,91
FLTF1-FE1256466	2879,53	2664,61	1338,22	1187,06	1947,16	1828,86	1002,90	840,53	1732,25	1581,34	0,93
FLTF2-FE995	1655,97	1482,83	1708,88	1271,16	1517,90	1462,44	2149,98	1136,06	1700,27	1349,59	0,79
FLTF2-Rod	3,50E+04	3,08E+04	3,48E+04	2,42E+04	2,96E+04	2,82E+04	3,83E+04	1,70E+04	3,36E+04	2,55E+04	0,76
FLTF2-FE12392	592,95	530,07	563,77	416,09	459,29	446,72	470,47	202,68	517,58	420,89	0,81
FLTF2-FE12393	1137,24	1006,19	1092,26	769,36	875,26	844,05	903,16	442,26	994,69	781,96	0,79
FLTF3-Rod	7,35E+06	6,42E+06	7,03E+06	4,48E+06	5,32E+06	5,22E+06	3,87E+06	2,05E+05	6,01E+06	4,39E+06	0,73
FLTF3-FE6271	1796,08	1614,08	2223,26	1601,90	1421,61	1403,77	1521,89	331,69	1773,40	1343,85	0,76
FLTF3-FE7031	1946,13	1748,05	2410,49	1734,62	1539,50	1519,87	1647,44	364,25	1921,53	1455,91	0,76
FLTF3-FE7474	2370,52	1987,95	2831,27	1701,66	1832,13	1797,83	1882,13	268,71	2270,09	1563,32	0,69
FLTF4-Rod	2,15E+05	1,85E+05	1,30E+05	9,39E+04	1,69E+05	1,55E+05	1,29E+05	1,27E+05	1,56E+05	1,34E+05	0,86
FLTF4-FE8281	678,77	619,45	404,07	345,56	487,82	464,58	344,16	338,85	465,60	427,25	0,92
FLTF4-FE8395	605,20	571,68	351,91	315,56	424,55	411,26	289,66	286,83	405,99	383,16	0,94
FLTF4-FE10234	653,35	616,01	380,96	340,42	459,58	444,53	315,08	311,88	439,45	413,92	0,94
TOPSIDE-T1-FE244940	21,80	21,79	25,01	24,95	28,32	28,25	28,78	28,71	26,25	26,22	1,00
TOPSIDE-T1-FE244950	21,52	21,52	24,65	24,63	27,89	27,85	28,24	28,17	25,85	25,82	1,00
TOPSIDE-T1-FE244951	30,51	30,51	35,10	35,08	39,77	39,71	40,21	40,12	36,81	36,77	1,00
TOPSIDE-T4-FE155443	138,86	138,85	159,07	159,03	168,06	167,79	164,26	163,82	159,96	159,79	1,00
TOPSIDE-T4-FE155463	84,02	84,02	95,24	95,22	100,15	100,00	97,44	97,18	95,61	95,53	1,00
TOPSIDE-T4-FE155464	86,15	86,14	97,37	97,35	102,29	102,13	99,91	99,65	97,79	97,69	1,00
TOPSIDE-T5-FE401770	95,91	95,91	105,46	105,43	113,77	113,43	103,50	102,85	106,64	106,43	1,00
TOPSIDE-T5-FE401771	91,45	91,44	100,58	100,55	108,39	108,07	98,99	98,36	101,71	101,49	1,00
TOPSIDE-T5-FE401971	94,90	94,89	102,78	102,75	110,65	110,34	99,11	98,51	103,80	103,59	1,00

N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 17

Response of a floating airport under plane take off and landing

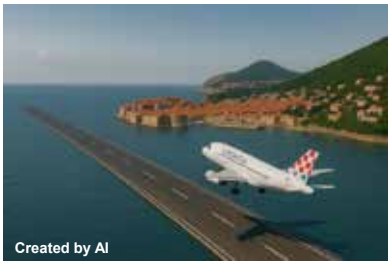
➢ Basic considerations

- ✓ Very Large Floating Structures (VLFS) have been actively researched since the 1970's
- ✓ Length and breadth significantly larger than the draft – can be modelled as an elastic isotropic floating thin plate with free edges
- ✓ Responses are dominated by the elastic modes and hydroelasticity becomes an issue
- ✓ The pontoon in water is treated as a free thin rectangular plate on elastic support



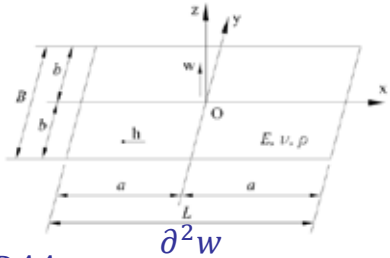
Mega-floating airport in Japan

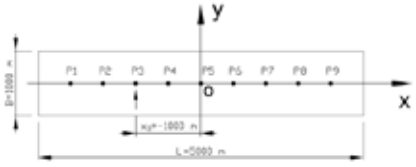




N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 18

Response of a floating airport under plane take off and landing





$$D\Delta\Delta w + m\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \rho g w = p_h - p_e$$

L x B= 5 km x 1 km

$w(x, y, t)$ – plate deflection,
$D = \frac{Eh^3}{[12(1-\nu^2)]}$ – plate flexural rigidity
E – Young's modulus
ν - Poisson's ratio
h – equivalent thickness of the pontoon thin-walled structure
$\Delta(.) = \partial^2(.)/\partial x^2 + \partial^2(.)/\partial y^2$ - two dimensional Laplace differential operator
$m(x, y)$ – mass per unit area
$\rho g w$ – hydrostatic pressure
$p_e(x(t), y(t), t)$ - local time dependent moving pressure
$p_h(x, y, t)$ – hydrodynamic pressure

Refs.
Senjanović et al.: An Advanced Procedure for Hydroelastic Analysis of Very Large Floating Airport Exposed to Airplane Load, Proc. 7th Int. Conf. Hydroelasticity in Mar. Techn., 2015.

Hadžić et al.: Some Aspects of Mega-Floating Airport Design and Production, J. Marit. & Trans. Sci. 2016.

N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 19

Response of a floating airport under plane take off and landing

➢ Assumptions

- ✓ Airplane load during landing and take-off is simulated as a moving time – varying lumped force below the airplane centre of gravity
- ✓ An airplane moves along the runway during landing and take-off uniformly accelerated, with constant acceleration a_0
- ✓ The airplane velocity and position:

$$v(t) = v_0 + a_0 t, \qquad x_p(t) = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a_0 t^2$$

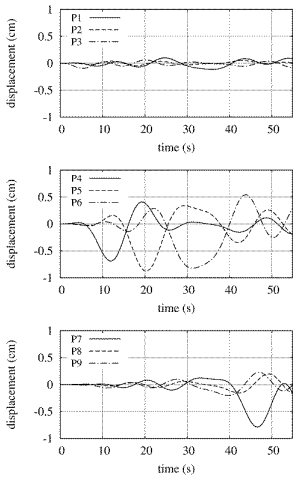
- ✓ The airplane lift forces (a_L and b_L have different, but constant parameters for landing and take off):

$$F_L(t) = \frac{1}{2} \rho_a A_w v^2(t) C_L(t), \quad C_L(t) = a_L e^{b_L t}$$

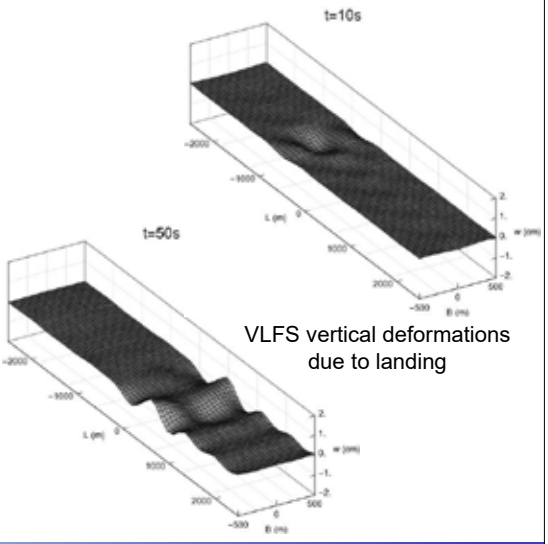
- ✓ Resulting force as a difference between weight and lift force

$$F(t) = Q - F_L(t)$$

Response of a floating airport under plane take off and landing

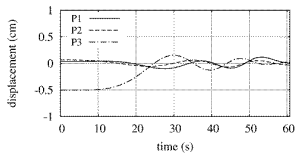


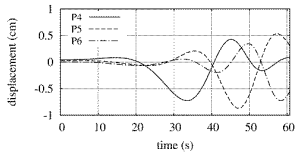
Landing time history

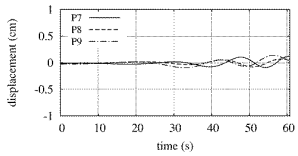


VLFS vertical deformations due to landing

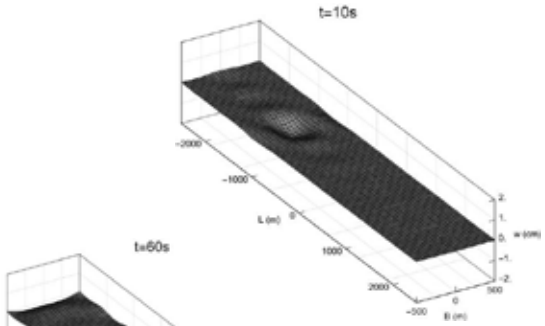
Response of a floating airport under plane take off and landing

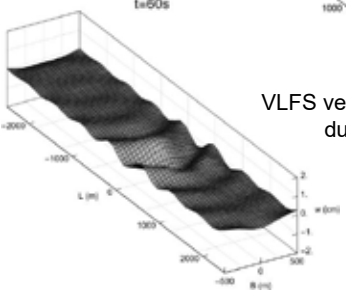






Take off time history





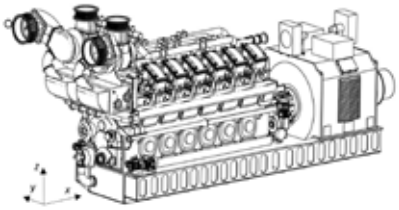
VLFS vertical deformations due to take off

N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 22

Seismic design of genset base frame and elastic supports for NPPs

➢ Background, motivation

- ✓ In NPPs diesel generator sets are used in the emergency units and are consisted of: diesel engine, generator and two separate base frames or one common base frame, placed on elastic supports.
- ✓ A genset is exposed to dynamic loads caused by an earthquake, short circuit, synchronization failure as well as unbalanced diesel engine internal forces.
- ✓ Evaluation of genset structural integrity is illustrated in case of ADRIA 40 diesel engine and KONČAR generator.
- ✓ The strength of the common base frame is analysedd number of elastic spring-damper supports is determined.



Refs.
Senjanović & Vladimir: Seismic Design of Emergency Machinery Foundation for Nuclear Power Plants, Proc. 1st Croatian Conf. Earthquake Eng. 2021.

Senjanović et al.: Structural Integrity of Diesel Generator Set Subjected to Dynamic Loads, Int. J. Eng. Modell. 2020.

N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 23

Seismic design of genset base frame and elastic supports for NPPs

➢ Research necessity

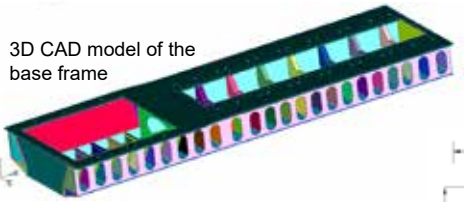
- ✓ Evaluation of the system is done for installation in Ruppur, Bangladesh.
- ✓ Strength criteria and capacity of the base frame and necessary number of spring-damper elements are determined according to the Codes of Russian authorities for nuclear power plants.



N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 24

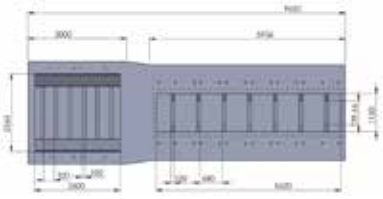
Seismic design of genset base frame and elastic supports for NPPs

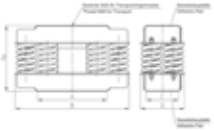
3D CAD model of the base frame



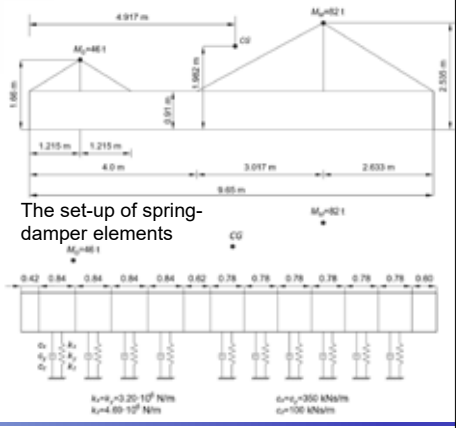


Adhesive pad





Spring-damper element



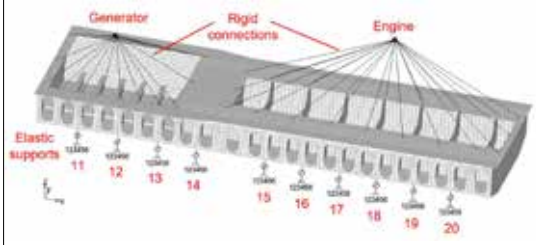
The set-up of spring-damper elements

N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 25

Seismic design of genset base frame and elastic supports for NPPs

➢ FE model

- ✓ The generator and engine are modelled by lumped mass elements rigidly connected to the base frame with two sets of massless bars.
- ✓ The base frame is supported by 20 elastic spring-damper elements, i.e. 10 elements on each side.



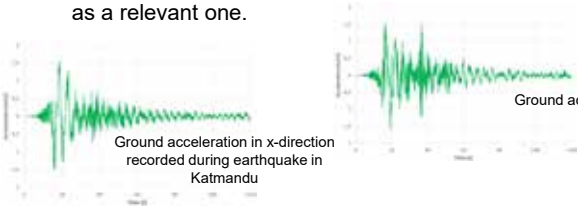
Mass of the finite element model includes the following items:
- generator mass: $M_G = 46$ t,
- engine mass: $M_M = 82$ t,
- base frame mass: $M_F = 20$ t,
- mass of lubrication oil: $M_O = 6.5$ t,

$$[M]\{\ddot{\delta}\} + [C]\{\dot{\delta}\} + [K]\{\delta\} = -[M]\{\ddot{d}\}$$

Seismic design of genset base frame and elastic supports for NPPs

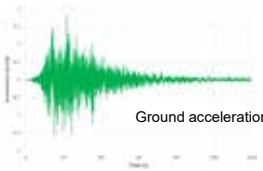
➢ Loadings (earthquake)

- ✓ The considered nuclear power plant (NPP) is located in Bangladesh.
- ✓ According to the requirements of the authority, the earthquake registered in Kathmandu, Nepal on April 25th, 2015 with magnitude of 7.8 Mw can be used as a relevant one.



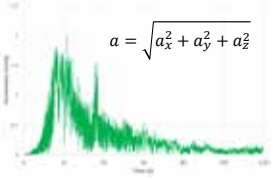
Ground acceleration in x-direction recorded during earthquake in Katmandu

Ground acceleration in y-direction



Ground acceleration in z-direction

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$



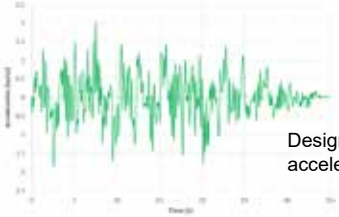
Absolute total ground acceleration of earthquake in Kathmandu on April 25th, 2015

Seismic design of genset base frame and elastic supports for NPPs

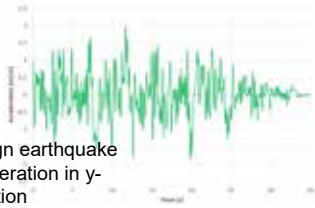
➢ Loadings (earthquake)

- ✓ In the absence of the digital time record, acceleration of design earthquake for the ground floor is reconstructed for needs of genset dynamic analysis.

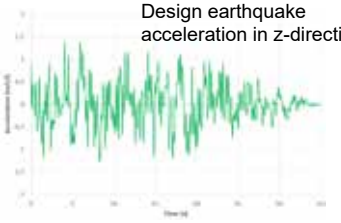
$$a(t) = C\sum_{i=1}^{n} A_i(\omega_i)\cdot\cos(\omega_i t + \varepsilon_i),$$



Design earthquake acceleration in x-direction



Design earthquake acceleration in y-direction



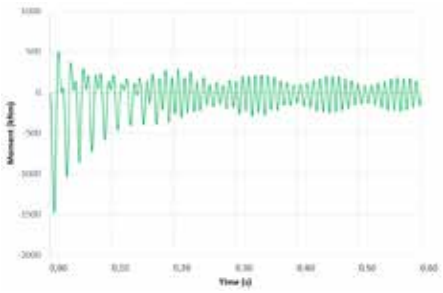
Design earthquake acceleration in z-direction

Seismic design of genset base frame and elastic supports for NPPs

➢ Loadings (2-phase short circuit)

- ✓ The 2-phase short circuit appears if trunk wires, which are relatively close to the generator, are mutually connected.
- ✓ This causes an impulsive moment in the generator cross-section plane.
- ✓ Time history of the moment, given by the generator manufacturer, has maximum value is 1.5 MNm.
- ✓ The impulsive moment is imposed on the FE model in the generator centre of gravity.

The 2-phase short circuit impulsive moment

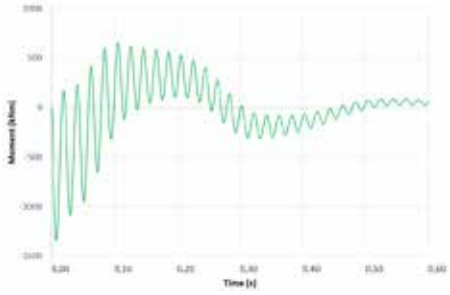


Seismic design of genset base frame and elastic supports for NPPs

➢ Loadings (synchronisation failure)

- ✓ Synchronization failure of generator mostly happens when the synchronization device is suddenly out of order, or if it is not switched on in a proper time.
- ✓ This causes an impulsive moment in the generator cross-section plane.
- ✓ It is characterized with very short duration of only 0.6 s, and maximum amplitude of 1.35 MNm.
- ✓ The moment is imposed to the FE model in the generator centre of gravity.

Synchronization failure impulsive moment



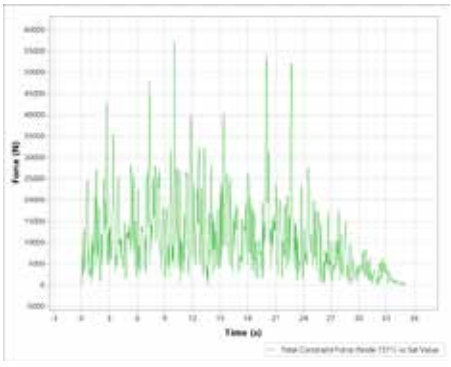
N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 30

Seismic design of genset base frame and elastic supports for NPPs

➢ Genset response to the earthquake

- ✓ The three components of ground acceleration are imposed simultaneously to the FE model.
- ✓ Problem is solved in the time domain by means of NASTRAN software.
- ✓ Time histories of reaction forces in springs (in all 3 directions) are obtained.

Absolute total reaction force of spring No. 11 due to seismic load



N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 31

Seismic design of genset base frame and elastic supports for NPPs

➢ Genset response to the earthquake

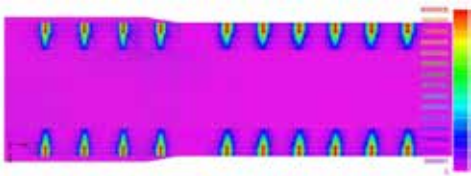
- ✓ Maximum values of seismic reaction forces, independently on time instant, are shown in the table for all 20 springs.
- ✓ Shear stresses in the spring coils due to vertical and horizontal forces are determined – four corner springs, i.e. no. 1, 10, 11 and 20 as the representative ones, are considered.

Maximum seismic reaction forces (independent on time instant)

Spring No.	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	F (kN)
1	16.65	16.59	42.50	45.23
2	16.64	16.53	39.09	41.87
3	16.65	16.38	35.69	38.86
4	16.67	16.56	33.99	37.14
5	16.69	17.49	32.85	36.77
6	16.67	17.57	32.32	36.25
7	16.67	17.71	33.22	36.24
8	16.67	17.94	35.62	40.50
9	16.67	18.26	39.67	44.18
10	16.68	18.75	43.74	47.97
11	14.68	16.61	55.04	57.46
12	14.68	16.55	50.60	53.31
13	14.68	16.41	47.29	49.63
14	14.68	16.61	45.13	47.75
15	14.65	17.55	42.04	45.26
16	14.63	17.64	43.48	46.33
17	14.62	17.77	44.84	47.82
18	14.62	17.97	46.30	49.31
19	14.62	18.25	47.98	50.82
20	14.62	17.72	49.70	52.54

Maximum seismic shear stresses τ (MPa)

Spring No.	Node No.	τ_{F_y}	τ_{F_x}	τ_{tot}
1	9208	96	67	163
10	9209	100	79	179
11	1371	127	65	192
20	1373	112	86	198



Seismic design of genset base frame and elastic supports for NPPs

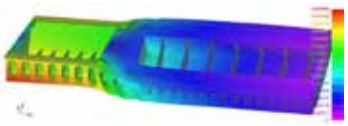
➢ Genset response to the 2-phase short circuit impulse

Maximum reaction forces due to the 2-phase short circuit (independent on time instant)

Spring no.	Node no.	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	F (kN)
1	9208	1.40	7.12	15.14	15.85
2	9215	1.25	7.10	15.02	15.85
3	9462	1.01	7.13	14.62	15.53
4	9519	0.89	7.08	8.97	10.43
5	9389	1.73	6.87	5.76	7.43
6	9216	2.14	6.16	6.07	7.65
7	9217	2.32	6.33	6.28	7.90
8	9213	2.40	7.31	6.42	8.69
9	9388	2.43	8.66	6.50	9.84
10	9209	2.45	10.00	6.55	11.05
11	1371	1.37	7.12	15.14	15.85
12	7905	1.25	7.10	15.02	15.85
13	8719	1.01	7.13	14.62	15.53
14	9157	0.89	7.08	8.97	10.43
15	8708	1.73	6.87	5.76	7.43
16	8018	2.14	6.16	6.07	7.65
17	8194	2.32	6.33	6.28	7.90
18	4077	2.40	7.31	6.42	8.69
19	8195	2.43	8.66	6.50	9.84
20	1373	2.45	10.00	6.55	11.05

Maximum shear stresses in spring coils due to the 2-phase short circuit moment, τ (MPa)

Spring No.	Node No.	τ_{F_y}	τ_{F_x}	τ_{tot}
1	9208	37	21	58
10	9209	9	44	53
11	1371	37	21	58
20	1373	9	44	53



Deformation of the base frame due to the 2-phase short circuit moment, t = 0.012 s

Seismic design of genset base frame and elastic supports for NPPs

➢ Genset response to the synchronization failure

Maximum reaction forces due to synchronisation failure (independent on time instant)

Spring No.	Node No.	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	F (kN)
1	9208	1.48	13.24	23.74	25.83
2	9215	1.40	13.03	23.57	25.75
3	9462	1.23	12.84	22.94	25.25
4	9519	1.35	12.60	15.80	18.55
5	9389	2.43	12.14	14.91	17.00
6	9216	2.86	11.15	14.95	17.23
7	9217	3.04	11.57	15.01	17.51
8	9213	3.11	13.43	15.04	17.85
9	9388	3.14	15.23	15.07	18.24
10	9209	3.16	17.01	15.09	18.93
11	1371	1.48	13.24	23.74	25.83
12	7905	1.40	13.03	23.57	25.75
13	8719	1.23	12.84	22.94	25.25
14	9157	1.35	12.60	15.80	18.55
15	8708	2.43	12.14	14.91	17.00
16	8018	2.86	11.15	14.95	17.23
17	8194	3.04	11.57	15.01	17.51
18	4077	3.11	13.43	15.04	17.85
19	8195	3.14	15.23	15.07	18.24
20	1373	3.16	17.01	15.09	18.93

Maximum synchronisation failure shear stresses in spring coils, τ (MPa)

Spring no.	Node no.	τ_{F_y}	τ_{F_z}	τ_{sc}
1	9208	55	43	98
10	9209	17	73	90
11	1371	55	43	98
20	1373	17	73	90

Seismic design of genset base frame and elastic supports for NPPs

➢ Selected number od spring-damper elements

- ✓ The necessary number of springs can be determined proportionally to the actual shear stress due to different load combinations as

$$n = \frac{\tau_{act}}{\tau_{per}} n_0.$$

Maximum shear stresses in spring-damper elements due to particular loads, τ (MPa)

Gravity load	Seismic load	2-phase short circuit	Synchronisation failure
177	198	58	98

- ✓ Strength criteria are given by the Russian Federal Codes and Standards in the Area of Atomic Energy Applications. Building of emergency diesel electric power plant in the considered NPP is classified at the second seismic resistance category.
- ✓ For this category, following load combinations in dynamic response analysis are required:

NO + DE, NOF + DE,

- ✓ NO is the normal operation, NOF is the normal operation with failure, while DE is the design earthquake.

The necessary number of springs for different loading combinations

Gravity load	Gravity load and seismic load	Gravity load, seismic load and 2-phase short circuit	Gravity load, seismic load and synchronisation failure
(7.15) 8	(15.15) 16	(17.50) 18	(19.11) 20

CONCLUSION

- **Illustrative examples confirm importance of numerical methods in practical engineering**
- **Analysis of dynamic response**
  - ✓ Frequency domain – simple, not always possible
  - ✓ Time domain – robust, with a number of available methods, much more complex and regularly expensive
- **Simplified models**
  - ✓ Very useful for understanding of physics
- **Regularly, proper load modelling / assessment is more complex than the response determination**
- **Stochastic loads – particular challenge**

N. Vladimir & I. Senjanović: Transient loads and responses of structures 36



Thanks for Your Attention!!!

Thanks to our Partners