

**Darko Kahle**

Samostalni istraživač, Zagreb

## **Rasprava *Djelovanje potresa na zgrade* akademika Andrije Mohorovičića iz 1911. godine i protupotresna analiza građevnih propisa grada Zagreba u razdoblju od 1857. do 1964. godine**

Pregledni rad – *Review paper*

Primljen – *Received* 3. 10. 2020.

UDK 550.34-05Mohorovičić, A.  
72:550.34](497.5Zagreb)“1857/1964“

DOI doi.org/10.31664/ripu.2020.44/2.02

### *Sažetak*

*Akademik Andrija Mohorovičić (1857. – 1936.), pronalazač MOHO diskontinuiteta Zemljine kore i svjetski poznati istraživač potresa početkom 20. stoljeća, objavio je 1911. godine u profesionalnom i znanstvenom časopisu Vijesti Hrvatskoga društva inženjera i arhitekta raspravu o djelovanju potresa na zgrade, u kojoj je predložio projektiranje i izračun onodobnih konstrukcija otpornih na potres, te ojačanje starijih, već sagrađenih struktura. Ta pionirska rasprava nije utjecala na donošenje posebnih zakonskih propisa o protupotresnoj izgradnji*

*na području grada Zagreba, za razliku od Ljubljane nakon potresa 1895. godine. No rezultati rasprave bili su neizravno implementirani prilikom noveliranja postojećih odredbi Reda građenja koji je bio na snazi od 1857. do 1940. godine, odnosno Građevinskog pravilnika iz 1940. godine, koji je nakon što je 1946. godine formalno proglašen nevažećim, neformalno ostao na snazi za protupotresne odredbe sve do donošenja prvoga jugoslavenskog propisa 1964. godine, nakon razornog potresa u Skopju 1963. godine.*

*Ključne riječi: Andrija Mohorovičić (1857. – 1936.), djelovanje potresa na zgrade, Zagreb od 1857. do 1964., građevni propisi, protupotresni propisi, građevni priručnici, estetika protupotresne obnove i izgradnje*

### **Uvod – kratki prikaz života i djela Andrije Mohorovičića**

Andrija Mohorovičić rođen je u Voloskom 23. siječnja 1857. godine. Kao gimnazijalac govorio je hrvatski, talijanski, francuski i engleski jezik (a poslije i njemački, češki, latinski te starogrčki). Između 1875. i 1878. studirao je fiziku na Karlovom Sveučilištu u Pragu, gdje je slušao predavanja poznatih fizičara, uključivo Ernsta Macha te Heinricha Durègea. Nakon povratka u Hrvatsku predavao je na Klasičnoj gimnaziji u Zagrebu, Realnoj gimnaziji u Osijeku i Nautičkoj školi u Bakru. Od 1891. predaje na Realnoj gimnaziji u Zagrebu, a 1892. imenovan je upraviteljem Meteorološkog opservatorija na Griču. Godine 1893. je na Mudroslovnom (Filozofskom) fakultetu Sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu obranio doktorsku disertaciju pod naslovom *O opažanju oblaka, te o dnevnom i godišnjem periodu oblaka u Bakru*. Iste godine postaje dopisnim, a 1898. i pravim članom Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, a od 1918. do 1922. godi-

ne tajnikom Akademijina Matematičko-prirodoslovnoga razreda. Godine 1893. habilitirao je za privatnoga docenta, a 1910. imenovan je naslovnim izvanrednim profesorom Sveučilišta u Zagrebu, gdje je do školske godine 1917./1918. predavao gradivo iz područja geofizike i astronomije. Umro je u Zagrebu 18. prosinca 1936. godine.<sup>1</sup>

Već u doba držanja nastave na Nautičkoj školi u Bakru Andrija Mohorovičić počeo se baviti meteorologijom. Godine 1887. utemeljio je meteorološku postaju u Bakru i metodički bilježio podatke vremenskih opažanja, temeljem čega je sastavio doktorsku disertaciju (1893.). Na vlastiti zahtjev premešten je 1891. u Zagreb, gdje je sljedeće godine utemeljio meteorološku službu u Kraljevinama Hrvatskoj i Slavoniji uspostavom opservatorija na Griču. Dosad nije poznato kako i zašto je odlučio preusmjeriti vlastiti znanstveni interes s meteorologije na seizmologiju, ali se može pretpostaviti da ga je zaintrigiralo djelovanje u Akademijinu Odboru za



1. Broširano izdanje predavanja prof. dr. Andrije Mohorovičića *Djelovanje potresa na zgrade*

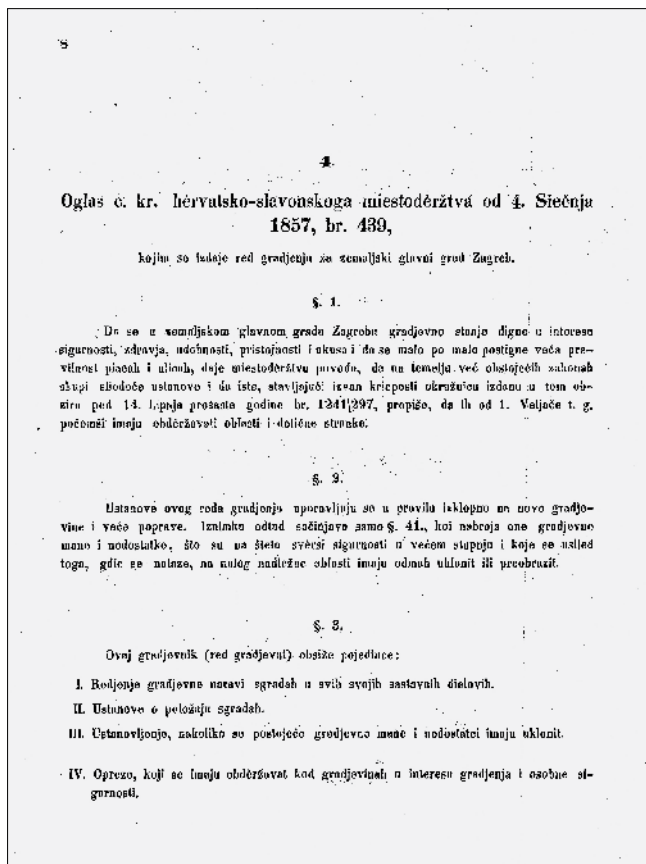
Paperback edition of the lecture by prof. dr. Andrija Mohorovičić *The Impact of Earthquakes on Buildings*

potres, uspostavljenom nakon potresa u Zagrebu 1880. godine.<sup>2</sup> Andrija Mohorovičić osnovao je seizmološku postaju u Zagrebu 1906. instaliravši seizmograf Vicentini-Konkoly u podrumu meteorološkog opservatorija.<sup>3</sup> Godine 1908. i 1909. nabavljeni su Wiechertovi horizontalni seizmografi, kojima je 8. listopada 1909. zabilježen potres u dolini rijeke Kupe. Sljedeće godine objavio je znanstveni članak o tom potresu na hrvatskome i njemačkom jeziku, gdje je dokazao postojanje granice između Zemljine kore i plašta, poslije po njemu nazvane *Mohorovičićev diskontinuitet* (kratica MOHO). Nakon tog otkrića bavio se poboljšanjima u dizajnu seizmografa.<sup>4</sup> Dana 1. ožujka 1909. održao je predavanje *Djelovanje potresa na zgrade* u Hrvatskom Društvu inžinirâ i Arhitektâ u Zagrebu koje je publicirano 1911. godine u dijelovima u stručnom i znanstvenom časopisu *Vijesti Hrvatskoga društva inžinira i arhitekta*,<sup>5</sup> odnosno integralno, u broširanome mekom uvezu.<sup>6</sup> Prema Davorki i Marijanu Herak: »...od šest osnovnih načela konceptualnog dizajna protupotresne izgradnje sadržanih u recentnom [Europskom propisu za projektiranje konstrukcije] Eurocode-8, Mohorovičić zagovarao je njih pet već početkom 20. stoljeća...«<sup>7</sup> Stoga je cilj ovoga znanstvenog članka usporediti to fundamentalno Mohorovičićevo predavanje s konstruktivnim građevnim

propisima grada Zagreba od nastanka reda građenja 1857. pa sve do usvajanja prvoga jugoslavenskog protupotresnog propisa 1964. kao posljedice razornog potresa u Skopju 1963. godine, to jest u razdoblju postojanja građevnih propisa prije zasebnog propisivanja protupotresne regulative.

### Pregled građevnih propisa grada Zagreba – konstruktivni propisi od 1857. do 1909. godine

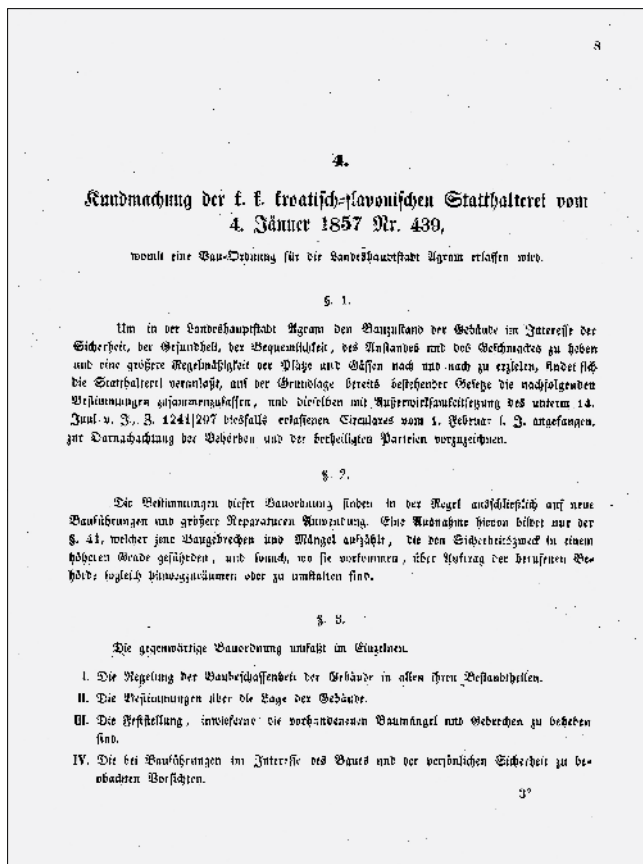
Nakon ujedinjenja dotadašnjih srednjovjekovnih entiteta (gradskih naselja Kaptola, Gradeca /Griča/ i Vlaške ulice s okolnim seoskim naseljima) 1850. u jedinstveni Zemaljski glavni grad Zagreb (*Landeshauptstadt Agram*), državno namjesništvo za Kraljevine Hrvatsku i Slavoniju (*k. k. kroatisch-slavonische Statthaltere*) oktroiralo je 4. siječnja 1857. godine Red gradjenja za zemaljski glavni grad Zagreb (*Bau-Ordnung für die Landeshauptstadt Agram*).<sup>8</sup> Sama činjenica postojanja zasebnih građevnih propisa ima veću težinu od načina kojim su isti ti građevni propisi bili donijeti, to jest nametnuti od strane državnoga upravnog tijela umjesto demokratskog izglasavanja u gradskom vijeću. Postojanje zasebnih građevnih propisa omogućava, naime, kontrolu projekta i izgradnje metodom odobrenja propisanih nacrtâ za svako namjeravano građenje, odnosno veću pregradnju putem građevne policije (Komisija za gradjenje i gašenje vatre / *Bau- und Feuerlöschkommission*). Postupak kontrole doprinio je standardizaciji građenja i projektiranja po načelu najmanjega zajedničkog nazivnika, to jest minimalno propisane građevne norme postale su maksimalnim mjerilom iznosa koji su kućevlasnici i građevni poduzetnici bili spremni potrošiti na gradnju pojedine građevine odnosno zgrade. Iz samog reda građenja vidljivo je da je zakonodavac pretežno usmjeren na protupožarnu, ali ne i protupotresnu zaštitu, što je moguće tumačiti činjenicom da su razorni potresi pogađali zagrebačka gradska naselja prosječno jedanput u 100 do 150 godina, dok su naprimjer u 17. i 18. stoljeću katastrofalni požari pogađali Gradec svakih 15 do 20 godina. Nadalje, transport građevnog materijala prije dolaska željezničke pruge u Zagreb 1862. bio je otežan, čime je građenje bilo usredotočeno na kamen, drvo, glinu i vapnenac koji su se nalazili u okolici, odnosno lokalne ciglane, peći vapnenice za vapno i jame za mort. Broj stambenih zgrada na Gradecu i kurija na Kaptolu građenih drvom uoči 1857. godine bio je zanemariv, a crkve, samostani, javne palače, reprezentativnije kurije i gradske stambene zgrade bile su zidane isključivo opekom i vapnenim mortom. Stoga je Redom građenja iz 1857. godine, u dvostrukoj ulozi anticipacije i omogućavanja dolaska željeznice u Zagreb, određena gradnja jednostavnih zasebnih zgrada zidanih od čvrsta materijala, s drvenim međukatnim konstrukcijama tamo gdje nije bilo izvora vatre, pokrivenih drvenim krovijem koje je zidanim slojem bilo odvojeno od stropa posljednjeg kata i pokriveno vatrostalnim materijalom (crijep ili lim). Propisana su dva temeljna tipa krovišta – sedlasti krov (*Satteldach*) i tzv. zaklonjeni krov (*Walmdach*)<sup>9</sup> – koji su komplementarno uokvirili postojeće stambene tipologije. Od samostalne ugrađene zgrade s dvostrešnim kosim krovijem razvila se tipologija ugrađene



2. Prva stranica službenog izdanja Reda građenja iz 1857. na hrvatskom jeziku (*Oglas c. k. hrvatsko-slavonskoga miestodržtva kojim se izdaje red građenja za zemaljski glavni grad Zagreb*)  
Title page of the official Croatian edition of the Building Code from 1857

najamne kuće, gdje je karakterističan rani primjer stambena zgrada u strogom centru Zagreba u Tomičevoj ulici 3, sagrađena 1868., sa sačuvanim lijevano željeznim polukružnim stubištem. Od postojećih slobodnostojećih stambenih zgrada s djelomično skošenim dvostrešnim krovijem evoluirala je tipologija slobodnostojeće vile, odnosno slobodnostojećih paviljonskih zgrada mnogobrojnih vojarni građenih između potresa 1880. i Prvoga svjetskog rata.

Austro-ugarskom nagodbom 1867., odnosno Hrvatsko-ugarskom nagodbom 1868. godine, Zagreb je pripao ugarskoj "polovici" Habsburškog Carstva, tzv. Translajtarniji. Jednostavna transpozicija unutrašnjeg zakonodavstva između dviju sastavnica bila je otežana ako ne i nemoguća, pa se tako dogodilo da potres u Ljubljani 1895. godine nije imao nikakvog utjecaja na razmišljanje i eventualno usvajanje protupotresnih propisa u Zagrebu. U drugu ruku, Red građenja iz 1857. godine, iako zastario, prešutno je smatran pozitivnim dostignućem jer je bio usvojen u vrijeme kada Zagreb nije bio podčinjen Budimpešti. To je uvjetovalo njegovu postupnu novelaciju sve do usvajanja Građevinskog pravilnika 1940. godine, iako su u međuvremenu zbog nedostatka konsenzusa stručnjaka i političara propala dva pokušaja usvajanja novog Reda građenja, prvi krajem 19., a drugi početkom 20. stoljeća.<sup>10</sup> Novele



3. Prva stranica službenog izdanja Reda građenja iz 1857. na njemačkom jeziku (*Kundmachung der k. k. kroatisch-slavonischen Statthalterei, womit eine Bau-Ordnung für die Landes-Hauptstadt Agram erlassen wird*)  
Title page of the official German edition of the Building Code from 1857

konstruktivnih propisa bile su rijetke sve do potresa 1880. godine, koji je nanio znatnu štetu građevnoj supstanci, a naročito sakralnim građevinama.<sup>11</sup> Potres je ošteti i zgrade građene nakon stupanja na snagu Reda građenja iz 1857. godine, te se na primjeru srušenoga zabatnog zida dvokatnice u Marovskoj (danas Masarykovej) tada najviše (a danas najniže) zgrade u toj ulici, može uvidjeti opravdanost Mohorovičićeva zahtjeva da zabatni zidovi budu jednakovrijedni uličnom zidu, odnosno dvorišnim zidovima. Štete prouzročene rušenjem svodova iznad neoštećenih zidova ubrzale su rasprostiranje tzv. pruskih svodova, konstruiranih na čeličnim traverzama. Obnova nakon potresa potakla je široku građevnu aktivnost na području grada. Herman Bollé je gradnjom novih kaptolskih kurija u zagrebački prostor uveo gradnju fasadnom opekom (tzv. *Ziegelrohbau* ili *Backsteinrohbau*),<sup>12</sup> način izvedbe pročelja s vidljivim vezom opeke karakterističan za njegov rodni grad Köln te Gornje Porajnje, odnosno Ruhrsko područje.<sup>13</sup> Taj način gradnje, koji je – osim skupoće materijala uzrokovane postojanjem velikog broja različitih fazonskih komada opeke potrebne za izvedbu otvora i vijenaca – iziskivao i preciznost veza opeke koji mogu postići samo školovani i dobro trenirani zidari, nažalost nije mogao postati zagrebačkom svakodnevicom. Međutim, već 1892. godine donesena je novela





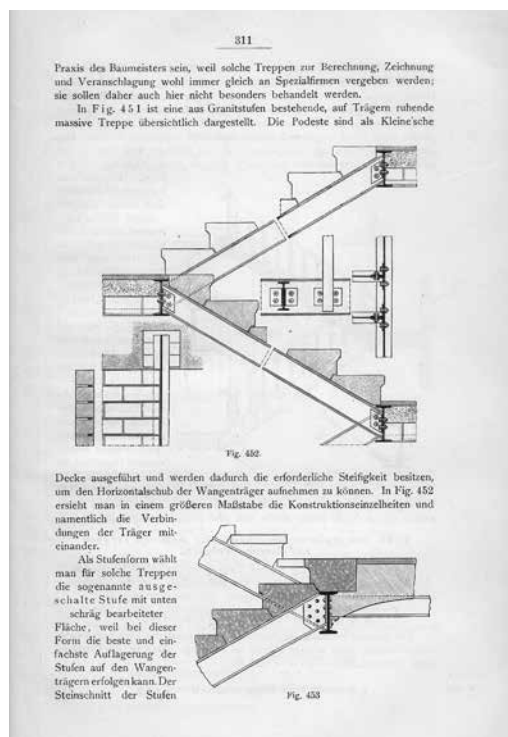
4. Broširano izdanje *Osnove Građevnoga reda* iz 1909.  
*Paperback edition of the drafted Building Code from 1909*



5. Dvokatna ugrađena najamna kuća u današnjoj Masarykovoju ulici nakon potresa 1880.  
*One-storey built-in rental house in today's Masarykova Street after the earthquake of 1880*



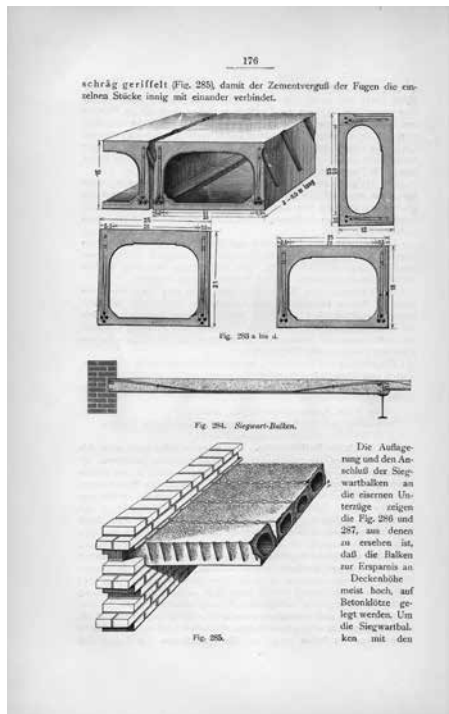
6. Srušeni svodovi nakon potresa 1880.  
*Demolished vaults after the earthquake of 1880*



7. Prikaz konstrukcije stubišta na metalnim traverzama  
*Staircase construction with metal beams*  
 (Franz Albert, *Die Eisenkonstruktionen u. die Eisenbetonbauweise im Hochbau*, Leipzig, Moritz Schäfer, 1908., 311)

o uvođenju ravnog krova s pokrovom od krovne ljepenke, tzv. drvocementa (*Holzzement*), u početku za tvorničke i skladišne, a poslije i za stambene zgrade.<sup>14</sup> Stubišni kraci i podesti na čeličnim traverzama upetima u stubišne zidove

grade se umjesto svodenih stubišta. Građevni poduzetnik i arhitekt Janko Josip Grahor dobio je 1905. koncesiju za *Siegwart* montažne armiranobetonske stropove, koji su se zadržali sve do početka 1930-ih godina. U istom, prvom



8. Prikaz konstrukcije Siegart montažnog armiranobetonskog stropa  
*Construction of the Siegart prefabricated reinforced concrete ceiling*  
 (Franz Albert, *ibid.*, 176)



9. Naslovnica priručnika o zidanim konstrukcijama  
*Cover of a manual on masonry constructions*



10. Naslovnica priručnika o drvenim konstrukcijama  
*Cover of a manual on wooden constructions*



11. Naslovnica priručnika o željeznim i željeznobetonskim konstrukcijama  
*Cover of a manual on iron and reinforced concrete structures*

desetljeću 20. stoljeća, građevinski priručnici na njemačkom jeziku za gradnju opekam, drvom, odnosno željezom postaju uobičajena literatura zagrebačke uglavnom zanatske i poduzetničke građevne zajednice, čime je obnova i izgradnja

Zagreba prema noveliranom redu građenja iz 1857. godine i standardiziranoj građevinskoj literaturi na stranom jeziku posljedično proživjela vrhunac konstruktivnoga i estetskog shvaćanja arhitekture historicizma.

### Predavanje i rasprava Andrije Mohorovičića o utjecaju potresa na zgrade iz 1909. odnosno 1911. godine

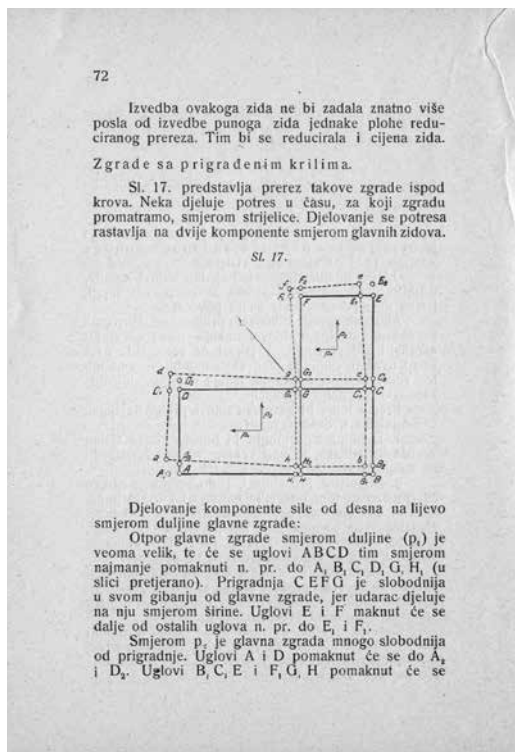
Dana 1. ožujka 1909. Andrija Mohorovičić održao je u prostorijama Hrvatskoga društva inženirâ i arhitektâ u Berislavićevoj ulici u Zagrebu predavanje pod naslovom *Djelovanje potresa na zgrade*, koje je dvije godine kasnije bilo objavljeno u dvjema verzijama: susljedno u stručnom i znanstvenom časopisu *Vijesti Hrvatskoga društva inženira i arhitekta*,<sup>15</sup> a potom i integralno u proširanome mekom uvezu.<sup>16</sup> U uvodu autor spominje potres u Messini i Reggio di Calabria (Italija) od 28. prosinca 1908. godine, te eksplicitno ističe: »Zadatak je oblasti, da čim strože pazi na solidnu izvedbu svake zgrade.«<sup>17</sup> Pogreške u građenju zgrade svrstava u dva tipa: pogreške u projektiranju zbog nepoznavanja principa djelovanja potresa na zgrade i pogreške u izvedbi zbog nesavjesne konkurencije ili čiste špekulacije. Navodi teorem da vjerojatno ne postoji zgrada koja bi bila apsolutno sigurna na izuzetno jaki potres. Zgrade treba svrstati u dvije klase: monumentalne zgrade, pri čijoj gradnji se ne šteti na trajnosti, i obične zgrade, kod kojih se računa dobitak u odnosu na uloženi kapital uz prihvatljivi rizik, u koji spada i rizik od djelovanja potresa. Nadalje, određuje vjerojatnost jakih potresa u Zagrebu i navodi sljedeće potrese koji su nanijeli veliku materijalnu štetu: 26. ožujka 1502. godine, kada je porušen toranj crkve sv. Marka; 1590. godine, kada je porušen Medvedgrad; 1699. godine, kada je ponovno porušen toranj crkve sv. Marka te 1. srpnja 1756. godine. Zbog nedostatka preciznijih podataka jačinu tih potresa nije moguće točno usporediti s potresom 9. studenoga 1880. (magnituda 6,3  $M_w$ ) »...koji je nanosao velike štete.«<sup>18</sup> (Niz se nastavlja potresom 17. prosinca 1905. magnituda 5,6  $M_w$ ,<sup>19</sup> potresom 2. siječnja 1906. magnituda 6,1  $M_w$ <sup>20</sup> i recentnim potresom 22. ožujka 2020. magnituda 5,4  $M_w$ .) Zanimljivo je da Mohorovičić ne spominje potrese iz 1905. i 1906. što može značiti da nisu nanijeli značajnu štetu, iz čega bi se moglo deducirati da je pretežni dio ugrađenih najamnih zgrada Donjega grada i vila na Tuškancu i drugdje od 1880. do 1905. godine građen razmjerno kvalitetno protiv potresa. Autorovim riječima: »Građevni propisi za grad Zagreb sadržaju više ustanova, koje idu za tim, da osiguraju zgradu od potresa...« pa nastavlja: »ali ima još mnogo pogrešaka u načinu gradnje, koje se mogu izbjeći bez da se povisi trošak gradnje, a ima i takvih, koje se mogu izbjeći većom ili manjom povišicom troška prama svrsi u koju se zgrada gradi, i prama trajnosti za koju je proračunana.«<sup>21</sup> Mohorovičić time anticipira moderni probabilistički proračun konstrukcija prema Eurocode-8. Razmatrajući utjecaj oblika, dijelove zidova između prozora svodi na stupove, a raspravljajući o utjecaju materijala, spominje i uporabu armiranog betona za zgrade te međukatne odnosno stropne konstrukcije.

U prvom poglavlju Mohorovičić definira djelovanje potresa kao niz periodičnih pomaka točaka tla, nakon kojih se svaka točka ili vrati u prvobitni položaj ili ostane linearno pomaknuta. Veći linearni pomak može se triangulirati, a opaža se na pukotinama i denivelaciji tla. Pomaci se svode na vertikalnu komponentu, odnosno horizontalnu komponentu kao zbroj smjerova NS i EW.<sup>22</sup> Fizikalnom analizom pomaka

autor izvodi rezonantno gibanje elastičnog tijela povezanog s tlom i njegove posljedice.<sup>23</sup> Kako je zgrada komplicirano sastavljeno tijelo, prema Mohorovičiću općenito rješenje problema titranja zgrade nije moguće, ali je moguća primjena na zgradu kao cjelinu, odnosno na pojedine sastavne dijelove.<sup>24</sup> U drugom poglavlju autor definira zgrade kao monolitne konstrukcije od armiranog betona, čelika,<sup>25</sup> željeza ili drva. Za zidane konstrukcije od drva (kanatne) ili od opeke, traži produženi ili još bolje cementni mort. Armiranobetonske zgrade analizira kao čvrsti šuplji stup, dok zgrade od ostalih materijala analizira kao sklopove sastavljene od međusobno čvršće ili labavije vezanih stupova.<sup>26</sup> Pod prisiljenim gibanjem autor analizira djelovanje potresa na temelj stupa i stup kao cjelinu, na sklop sastavljen od temelja i stupa, na samostalni stup ili zid složen komad do komada i komad na komad (od kamena ili opeke), zatim silu koja prevali stup, te djelovanje vertikalne komponente potresa na uporište horizontalnih nosača.<sup>27</sup> U nastavku se raspravlja o djelovanju horizontalne komponente potresa na elastične, na podlozi učvršćene stupove, najprije na vertikalni puni stup, gdje uočava da je piramida u potresu čvršća od stupa pravokutna presjeka iste homogenosti, zatim na dva sponama spojena stupa kao i na dva stupa spojena po širini.<sup>28</sup> Obradivši različite konstruktivne sklopove – stropove čvrsto spojene sa zidovima, stropove kruto vezane sa zidovima, zidove vezane s potpornim zidovima, šuplje stupove kratkih pobočnih stijena, stupove velikih horizontalnih dimenzija, vertikalne pune i šuplje stupove učvršćene s obje strane – Mohorovičić zaključuje da je šuplji stup jači od punog stupa iste homogenosti i istih rubnih uvjeta.<sup>29</sup> Naposljetku, analiziraju se različite specifične vrste zgrada, poput zgrade sa prigrade-nim krilima, zgrade do zgrade, izbočinu usred zgrade, kao i unutarnje stijene, bilo da je riječ o pojačanjima konstrukcije, bilo o razdjelnim zidovima.<sup>30</sup>

Rasprava je zaključena anticipacijom probabilističke "filozofije" protupotresne regulative našeg doba. Temeljem vlastitih mjerenja, Mohorovičić izvodi opću nemogućnost izgradnje zgrade u potpunosti otporne na djelovanje najjačega potresa, pa ističe: »...Ako zemlja ispod zgrade pukne, mora i zgrada puknuti, ako se zemlja uruši, srušit će se i zgrada...«<sup>31</sup> Ipak, tvrdi da je moguća izgradnja zgrade od lokalno dostupnoga građevnog materijala otporne na djelovanje najjačih lokalnih potresa, pa izvodi: »...[zgrada se] gradi tako čvrsta kako to dopušta građevni materijal. Pošto se zgrada samo od armiranog betona može tako sagraditi, da bude jedan monolit, a kod svakog drugog građevnog materijala se mora sastaviti od većih ili manjih komada, to se mora nastojati, da se ti komadi po mogućnosti čvrsto među sobom spoje tako, da se čitava zgrada može barem približno smatrati monolitom.«<sup>32</sup> S obzirom na činjenicu da je u vrijeme nastanka te rasprave teorija armiranoga betona bila u povojima, Mohorovičić je na temelju tada dostupne znanstvene i stručne literature ispravno zaključio da monolitnost armiranog betona ovisi o više faktora koje je moguće izračunati. Drugim riječima, svaka zgrada, tj. njena građevna konstrukcija sastoji se od dijelova čije se međudjelovanje računski optimizira tako da cijeli sklop djeluje približno monolitno s obzirom na deformacije, odnosno važnost zgrade, uz nužni uvjet pre-





12. Prikaz djelovanja potresa na zgrade sa prigradenim krilima  
*The impact of earthquakes on buildings with attached wings*  
(Andrija Mohorovičić, *Djelovanje potresa na zgrade*, Zagreb, 1911., 72)

življavanja i evakuacije ljudi iz potresom oštećene zgrade, na čemu se temelji probabilistički izračun konstrukcije. Na kraju rasprave autor postavlja pravila za projektiranje i izgradnju zgrada prema protupotresnim principima, izvedenim iz gornjih dviju premisa:

(i) Na strmini, naročito na gornjem rubu jake strmine zgrade se ne smiju graditi.<sup>33</sup>

(ii) Na mjestu predviđenom za izgradnju treba ispitati temeljno tlo i umjetno ga pojačati, ako nije dovoljno jako.<sup>34</sup>

(iii) Temelji zgrade trebaju biti odgovarajuće jaki i debeli, kako bi pritisak zgrade na temeljno tlo po jedinici plohe bio malen. Ako je temeljno tlo tvrđe i jednolično, pritisak zgrade na temeljno tlo po jedinici plohe može biti veći.<sup>35</sup>

(iv) Temelji zgrade trebaju biti monolitni, od betona. Temeljna ploča od betona ispod cijele zgrade nije opravdana, jer će puknuti i prouzročiti pucanje zidova. Temeljni zidovi osim debljine trebaju biti i dovoljno duboki, kako bi se kod potresa izbjegao horizontalni pomak. Ako zgrada ima podrum, a temeljno tlo je tvrdo i podzemni zidovi podruma odgovarajuće debeli, nisu potrebni temelji. »...Zgrada n. pr. ženskog liceja (bivše realke) u Zagrebu [danas zgrada Državnog hidrometeorološkog zavoda na Strossmayerovu šetalištu], građena je na homogenoj tvrdoj ilovači, pa premda nema nikakvog temelja, a prema širini je veoma visoka, mogla je izdržati potres od g. 1880. Takvih zgrada ima u Zagrebu mnogo.«<sup>36</sup> Zide od kamena ili opeke u vapnenom mortu je otporno samo na tlačna naprezanja, ne može biti monolitno. Zgrade treba graditi na način da budu monoliti,

dakle u cementnom mortu, te se takva zgrada može računati na potres kao šuplji stup.<sup>37</sup>

(v) Ako je zgrada monolitna i računata kao šuplji stup, otpornija je na potres kada su zidovi tanji. Debljina stijena ovisi samo o teretu krova, krovišta, stropova i zidova iznad.<sup>38</sup>

(vi) Zidovi zgrade moraju biti čvrsto spojeni s kruto izvedenim stropovima i krovijem, da se spriječe deformacije u horizontalnom smjeru, te se zgrada posljedično ponaša kao šuplji stup.<sup>39</sup>

(vii) Vatrobrani (zabatni) zidovi trebaju biti čvrsti poput ostalih glavnih zidova, čvrsto spojeni sa stropovima i krovijem.<sup>40</sup>

(viii) Što je više unutarnjih čvrstih poprečnih zidova, to je čvrstoća zgrade veća.<sup>41</sup>

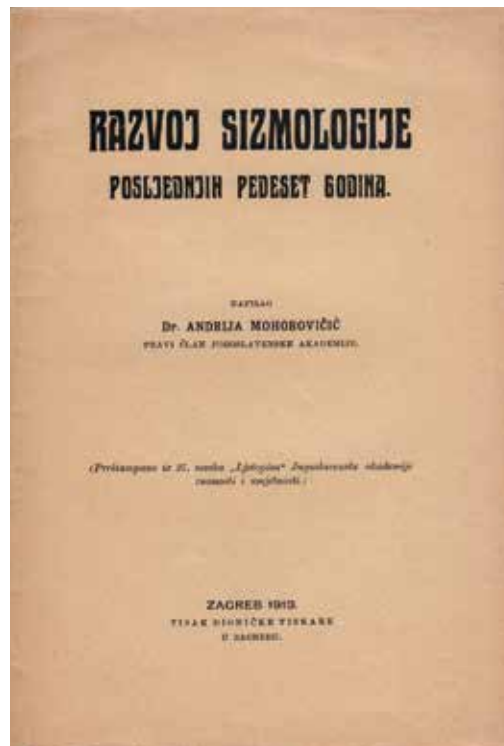
(ix) Svodove treba gdje god je moguće zamijeniti traverzama, jer svodovi rastežu zidove, dok ih traverze vežu.<sup>42</sup>

(x) Dijelovi zgrade koji ne pridonose povećanju njene čvrstoće trebaju biti čim lakši: »...Kojekakav nepotrebit težak nakit, osobito na krovu neka se ispušta.«<sup>43</sup>

(xi) Prigradnje, odnosno krila zgrade treba čvrsto vezati s glavnom zgradom ili graditi kao zasebne zgrade.<sup>44</sup>

(xii) Izbočine raznih vrsta, ako su nužne, treba napraviti lagane i čvrste, te ih vezati s poprečnim zidovima.<sup>45</sup>

(xiii) Krovijšte i krovni pokrovi trebaju biti lagani i čvrsti, te čvrsto vezani sa svim zidovima: »... Ravni se krovovi osobito preporučuju za one predjele, koji su podvrženi jakim potresima.«<sup>46</sup>



13. Separat znanstvenog članka prof. dr. Andrije Mohorovičića *Razvoj sizmologije posljednjih pedeset godina*  
*Offprint of the scientific article Development of Seismology in the Past Fifty Years by Andrija Mohorovičić*

(xiv) Dimnjaci trebaju biti čim lakši i čvrsti u vertikalnom smjeru. Kod prolaza kroz krovšte i krov trebaju biti čvrsto vezani. Visina dimnjaka iznad krova ne smije biti veća od 60 cm. Kod viših dimnjaka njihov vrh treba biti sa sve četiri strane vezan s krovom.<sup>47</sup>

(xv) »... Da kod potresa ne pada crijep sa zgrade na ulicu, neka se na rub krova metne rešetka od željeza, koja ima crijep zaustavljati.«<sup>48</sup>

Na temelju postavljenih principa može se izraditi pouzdana protupotresna analiza velike većine zgrada podignutih između 1857. i 1964. godine s obzirom na građevne propise istog razdoblja, jer je moguća kvantitativna analiza nacrti i statičkih računa pohranjenih u Državnom arhivu u Zagrebu. Zanimljivo je da je akademik Andrija Mohorovičić već 1909. godine došao do zaključka da protupotresnom načinu izgradnje najbolje odgovara ravni krov i monolitni (skeletni) armiranobetonski konstruktivni sustav, odnosno dvije od Le Corbusierovih »pet točaka Novoga građenja« iz 1927. godine,<sup>49</sup> a poslije je sastavio i raspravu o povijesti seizmologije.

### Pregled građevnih propisa grada Zagreba – konstruktivni propisi od 1910. do 1964. godine

Građevni propisi u promatranom razdoblju, koji sadrže pravila za projektiranje konstrukcije zgrade, jesu:

(a) Naputak [hrvatski propisi] za izvedenje konstrukcija iz armiranog i nabijanog betona u zgradarstvu, 1910., 1917.<sup>50</sup>

(b) Zbirka austrijskih propisa i tablica za proračunavanje ISTEg stropova, 1929., 1931.; bila je neslužbeno primjenjivana u Zagrebu do donošenja Švicarskih propisa za armirani beton 1935.<sup>51</sup>

(c) Građevinski zakon od 7. juna 1931., V. Tehnički propisi § 36–46.<sup>52</sup>

(d) Norme za opterećenja u zgradarstvu od 10. februara 1932., propis na ćirilici (Норме за оптерећења у зградарству).<sup>53</sup>

(e) Propisi za probe s kockama i Empergerovim gredama pri izvršenju građevina od betona i armiranog betona od 31. jula 1932.<sup>54</sup>

(f) Propisi za naprezanje zidova od 15. augusta 1932.<sup>55</sup>

(g) Njemački propisi za armirani beton od 1932. godine obvezni za našu zemlju<sup>56</sup>

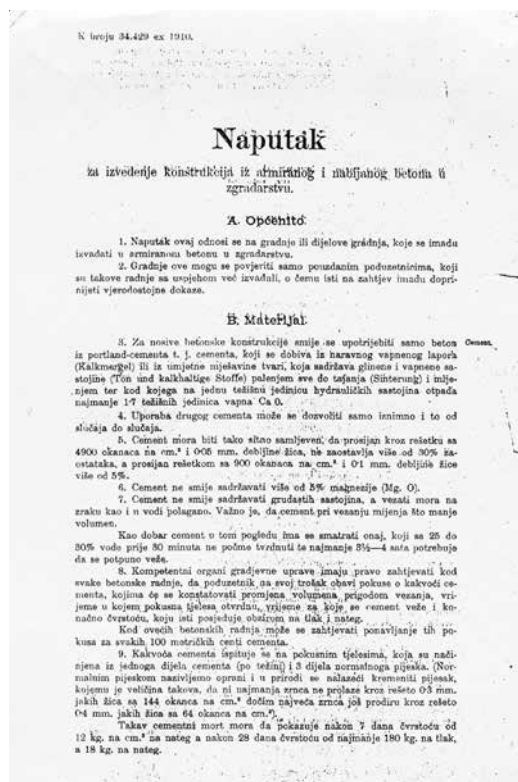
(h) Debljina zidova prema novom formatu opeke.<sup>57</sup>

(i) Propisi za upotrebu ISTEg–čelika za armirano betonske konstrukcije od 3. augusta 1935. i izmjeni 4. februara 1936.<sup>58</sup>

(j) Propisi za armirani beton od 16. XI. 1935.<sup>59</sup> [= Švicarski propisi za armirani beton od 14. maja 1935.].

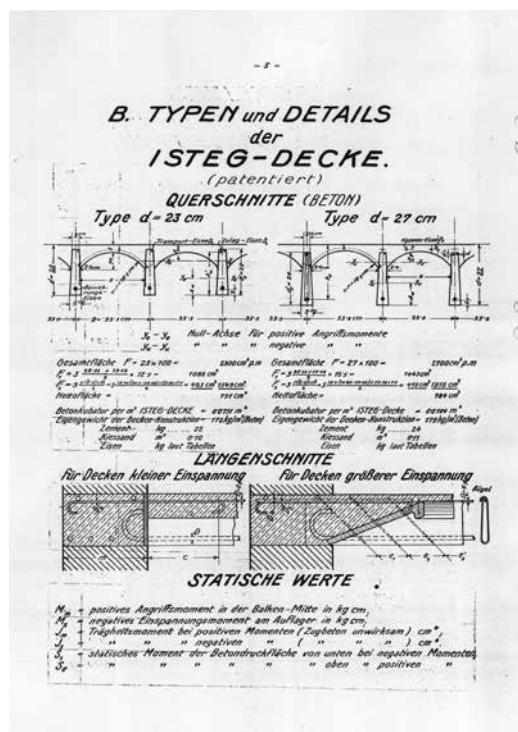
(k) Građevinski pravilnik za grad Zagreb od 10. srpnja 1940., III. Propisi o izvođenju građevine A. Tehnički propisi, § 11–30.<sup>60</sup>

(l) Zakon o nevažnosti pravnih propisa donesenih prije 6. travnja 1941. i za vrijeme neprijateljske okupacije [od 23. listopada 1946.].<sup>61</sup>



14. Prva stranica službenog izdanja prvog hrvatskog propisa za armirani beton iz 1910.

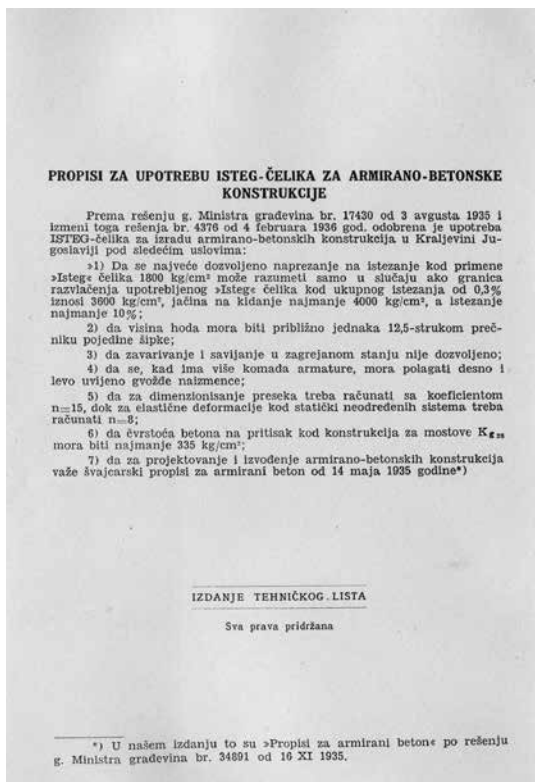
*Title page of the official edition of the first Croatian regulation for reinforced concrete from 1910*



15. Tipovi i detalji ISTEg-stropa iz 1929.

*Types and details of the ISTEg ceiling construction from 1929*





16. Prva stranica službenog jugoslavenskog izdanja tzv. švajcarskih propisa za armirani beton iz 1935.

*Title page of the official Yugoslav edition of the so-called Swiss regulations for reinforced concrete from 1935*

(m) Privremeni tehnički propisi (PTP), za: fundiranje na šipovima (sv. 1), opterećenje zgrada (sv. 2), beton i armirani beton (sv. 3), zidove od opeka (sv. 7), drvene konstrukcije (sv. 8), itd., 1948.<sup>62</sup>

(n) Pravilnik o privremenim tehničkim propisima za građenje u seizmičkim područjima, [od 19. septembra 1964.] propis na ćirilici (Правилник о привременим техничким прописима за грађење у сеизмичким подручјима).<sup>63</sup>

Prvi propis za projektiranje i izgradnju armiranobetonskih konstrukcija koji se primjenjivao na području grada Zagreba bio je po uzoru na slične suvremene njemačke i austrijske propise donesen 1910. godine, a u kasnijoj stručnoj literaturi nazvan je *hrvatskim*. Bio je konzervativniji od austrijskih i njemačkih propisa te je uglavnom propisivao ispitivanje konstrukcije pokusnim opterećenjem. Iako nisu sadržavali posebne protupotresne odredbe, može se smatrati da su zgrade građene prema zahtjevima hrvatskih propisa relativno otporne na potrese određenih magnituda, što bi se moglo dokazati računalnom simulacijom tih zgrada prema projektima sačuvanim u Državnom arhivu u Zagrebu. Nakon završetka Prvoga svjetskog rata bile su masovno podizane ugrađene stambene zgrade na području istočno od Draškovićeve ulice, nadalje tvornički objekti u istočnom i zapadnom dijelu grada, odnosno vile u Bosanskoj, Jurkovićevoj ulici i produžetku Zvonimirove ulice, paviljonska naselja Gradskih stambenih kuća na više lokacija te Željezničarska kolonija i druga slična



17. Prva stranica službenog izdanja *Građevinskog pravilnika za Grad Zagreb* iz 1940.

*Title page of the official edition of the Zagreb Building Code from 1940*

naselja. Sve te građevine bile su pretežito zidane, s betonskim nadvojima i stupovima, a značajan broj i s betonskom stropovima, odnosno krovovima. Ti propisi bili su 1924. zamijenjeni njemačkim propisima za armirani beton,<sup>64</sup> a 1932. nadopunjeni recentnim njemačkim propisima (u očekivanju implementacije najnovijih švajcarskih propisa za armirani beton 1935.), koji će formalno vrijediti sve do 1946., a službeno biti zamijenjeni novima 1948. godine, iako postoji vjerojatnost da su za konstrukcije poput protuzračnih skloništa bili primjenjivani sve do sredine 1960-ih.<sup>65</sup> U trećem i četvrtom desetljeću 20. stoljeća započinje i projektiranje te izgradnja javnih zgrada poput Gradske štedionice, Uprave gradskih poduzeća, Radničke komore, Javne burze rada, Gimnazija u Križanićevoj i Kušlanovoj ulici, brojnih škola arhitekta Ivana Zemljaka, Sokolane u Kačićevoj ulici, dviju zgrada kampusa Tehničkog fakulteta, kampusa Veterinarskog fakulteta i mnogih drugih, te značajnog broja velikih uglovnica i ugrađenih najamnih stambenih zgrada privatnih investitora koje su redom imale ili skeletne armiranobetonske konstrukcije ili nosive zidove u produženom ili cementnom mortu s armiranobetonskim stropovima. Kako se radilo o zgradama statički proračunavanima na dopušteno opterećenje, a ne na granično stanje, njihovi su betonski dijelovi vjerojatno predimenzionirani i samim time bi trebali biti otporni na potres, što je isto tako zacijelo moguće dokazati računalnom simulacijom. U Građevinski pravilnik iz 1940. godine uglavnom su unesena tehnička pravila iz prije navedenih propisa.

Nakon Drugoga svjetskog rata Savezna skupština donijela je 1946. Zakon o nevažnosti pravnih propisa prije 6. 4. 1941. i za vrijeme rata, kojim su svi prijašnji propisi *de iure* stavljeni izvan snage, ali su oni građevinski *de facto* smjeli biti korišteni do donošenja novih jugoslavenskih propisa. Tako je 1947. – 1949. godine doneseno mnoštvo »privremenih tehničkih propisa«, temeljem kojih su bili projektirani i građeni stambeni blokovi na neizgrađenim parcelama Donjega grada, na Volovčici, Fallerovu šetalištu i drugdje, kao i armiranobetonske tvorničke hale novih perjanica zagrebačke industrije, poput Rade Končara ili Prvomajske, te individualne, uglavnom slobodnostojeće zgrade po bivšim prigradskim naseljima, Dubravi, Rudešu ili Donjem Vrapču, ali i na praznim parcelama Tuškanca ili Grškovićeve ulice. Potres koji je 26. srpnja 1963. razorio Skopje, primorao je tadašnje vlasti na donošenje prvoga jugoslavenskog »privremenog tehničkog propisa« za protupotresnu izgradnju 1964. godine.

### Diskusija i zaključak

Predavanje Andrije Mohorovičića pod naslovom *Djelovanje potresa na zgrade*, održano u Hrvatskom društvu inženjera i arhitekta u Zagrebu 1909. i njegova objava u stručnom glasilu društva, odnosno u obliku separata dvije godine kasnije, 1911., približno se podudaraju s izdavanjem prvoga hrvatskog propisa za betonske i armiranobetonske konstrukcije 1910. godine. Može se ustvrditi da je Mohorovičić bio upoznat sa sadržajem tog dokumenta, sudeći prema korištenju terminologije i opisu svojstava armiranog betona u svom izlaganju. Stoga se povijest razvoja konstruktivnih propisa za gradnju na administrativnom području grada Zagreba, a prije donošenja samostalnih propisa o protupotresnoj gradnji, može podijeliti u dva, po prilici jednako duga razdoblja: od donošenja prvoga građevnog propisa, 1857., do donošenja prvog propisa za armirani beton 1910. (53 godine); odnosno od donošenja prvog propisa za armirani beton, 1910., do donošenja prvog propisa o protupotresnoj gradnji 1964. (54 godine). Može se tvrditi da je donošenje propisa za armirani beton neposredno potaknuto izgradnjom Nacionalne i sveučilišne biblioteke (danas zgrade Hrvatskog državnog arhiva) na Marulićevu trgu arhitekta Rudolfa Lubynskoga od 1911. do 1913. godine, odnosno kupole crkve sv. Blaža u Primorskoj ulici arhitekta Viktora Kovačića od 1912. do 1915. godine<sup>66</sup> – prvih zgrada u Zagrebu gdje su armiranobetonske konstrukcije bile korištene u opsegu koje je iziskivao zasebne propise kako bi se mogao efikasno kontrolirati tijekom gradnje.

Za prvo je razdoblje karakteristična gradnja zgrada jednostavnih, pravilnih obrisa s nosivim zidovima od opeke, svodenim stropovima stubišta, podruma i prizemlja te drvenim grednim međukatnim konstrukcijama i uglavnom kosim krovovima od drvene građe. Takve su zgrade većinom otporne na potres, osim kod gradnje tankih zabatnih zidova. Nakon potresa 1880. godine nestaju svodena stubišta, a usvajaju se stubišta od čeličnih nosača sa svodenim podestima i elementima od bilo prirodnog bilo umjetnog kamena.

Za drugo razdoblje karakteristična je gradnja zidovima u produženom, odnosno cementnom mortu, kao i usvajanje stropova od betonskih elemenata (npr. *Siegwart* prije, a *IŠTEG* nakon Prvoga svjetskog rata), raznih podvlaka, stropova i na kraju skeletne konstrukcije od armiranog betona za, može se tvrditi, sve javne zgrade, kao i za stambene zgrade važnijih ili bogatijih privatnih kućevlasnika. U tom vremenu u stubišta se počinju ugrađivati takozvane konzolne stubice od armiranoga betona, što je nakon potresa u Skopju i Banja Luci bilo zabranjeno. Čak i špekulantska izgradnja ugrađenih najamnih zgrada uglavnom slijedi propise, izuzme li se rušenje dvorišnog dijela četverokatne ugrađene najamne zgrade u Vojnovičevoj ulici 17 u zimi početkom 1941. godine, koje je uslijedilo jer je beton bio proizveden i ugrađen na temperaturama ispod ništice.<sup>67</sup> Građevna policija bila je toliko konzervativna u procjeni novih vrsta konstrukcija, da se arhitekt i poduzetnik Zorislav Franjetić pismeno žalio direktoru EMPA Instituta u Zürichu Mirku Rošu na ponašanje kontrolnih inženjera, arhitekta Vladimira Šterka i kolege, prilikom gradnje četverokatne ugrađene najamne zgrade Jugoslavenskih državnih željeznica na uglu Ulice kneza Branimira i Petrinjske ulice ujesen 1940. godine,<sup>68</sup> jer stariji kolega očito nije bio vičan računanju po metodi graničnih stanja. Što se tiče "divlje" gradnje u perifernim dijelovima grada, a naročito na Trešnjevci i Trnju, njezina je kvaliteta ovisila o trudu sitnih vlasnika tih zgrada građanih u vlastitoj režiji, uz sudjelovanje vlasnika i muških članova bliže i dalje obitelji, pa se može procijeniti da je barem 70 posto tih prizemnica ili jednokatnica bilo solidno izvedeno. Nakon svršetka Drugoga svjetskog rata pobjednici su delegitimirali dotad važeći pravni sustav, ali su iz njega, među inim, koristili i propise koji su regulirali izgradnju obiteljskih kuća na široj gradskoj periferiji (poslije poznatih i pod pogrdnim nazivom *kureki*). Državna izgradnja stanova i javnih zgrada potpadala je pod privremene tehničke propise, koji su doneseni jer industrija građevnog materijala u poslijeratnoj Jugoslaviji nije mogla proizvesti betone prema švicarskom standardu iz 1935. godine (prema usmenoj obavijesti dobivenoj od tada aktivnih konstruktora, poslije profesora na Arhitektonskom fakultetu).<sup>69</sup> To, naravno, ne znači da su armiranobetonske konstrukcije u Zagrebu nakon 1948. bile slabije kvalitete, nego da su dizajnirane drukčije. Tako na primjer zapadnu tribinu Stadion Dinamo, građenu sredinom 1950-ih godina prema projektu arhitekta Vladimira Turine i konstruktora Eugena Erliha, drže rešetkasti armiranobetonski nosači ogromnih presjeka.<sup>70</sup>

Ono što izgradnju Zagreba u razdoblju između 1857. i 1964. godine svakako čini jedinstvenom jest činjenica da su za otprilike 96 posto ugrađenih najamnih višekatnica tog razdoblja sačuvani građevni nacrti predani u postupku ishoda građevne, odnosno uporabne dozvole, odnosno statički proračuni traženi građevnim propisima.<sup>71</sup> Za javne zgrade od 1857. do 1944. taj je postotak i nešto veći (oko 99%), a za privatne građevine, tzv. vile, od 1881. od 1944. godine postotak je nešto manji (oko 93%).<sup>72</sup> Čak i za veliku većinu tzv. divljih kuća podizanih između dvaju svjetskih ratova postoje nacrti, pod uvjetom da su bile legalizirane temeljem minimalne kvalitetne izvedbe (najmanje zidanica

s drvenim krovštem i pokrovom od crijepa). Kada je riječ o zgradama građenim za potrebe vojske, vojne su vlasti do 1945. bile dužne dostavljati nacрте građevnoj policiji samo na uvid, a nacrti su u pravilu bili čuvani u vojnim arhivima. To znači da bi bilo moguće računalno modelirati svaku od oko 30 do oko 100 različitih vrsta i klasa građevina sagrađenih između 1857. i 1964. godine te izraditi računalni model građevne supstance grada Zagreba u korelaciji s djelovanjima potresa različitih magnituda. Skupljena građa procjene oštećenja zgrada u Donjem gradu od potresa 2020. godine može, razvrstana prema izvornim izvođačima, poslužiti kao osnovica za grubu procjenu protupotresne kvalitete njihove izvedbe. Na taj način moguće je postaviti obnovu građevne supstance u znanstveni okvir, prije svega određivanjem najprimjerenijih načina obnove oštećenih zgrada, a potom i donošenjem konačnih procjena o nužnosti uklanjanja građevina koje nije moguće konstruktivno obnoviti. Andrija Mohorovičić zalagao se za pojednostavljenje pročelja, odnosno uklanjanje arhitektonskih ukrasa s većine zgrada, koji su se u potresima pokazali najranjivijima. Prema tipologiji građevne supstance treba odrediti 3 – 5 posto karakteristič-

nih zgrada svakoga tipa, gdje će se ukrasi zadržati uz adekvatnu obnovu i statičko učvršćenje, kako ne bi predstavljali opasnost za stanare i prolaznike. Zgrade, poput uglovnice na jugoistočnom uglu Đorđičeve i Petrinjske ulice nužno je ukloniti te podići nove prema konzervatorskim uvjetima i javnome arhitektonskom natječaju. Presudna mana te zgrade je njezin položaj; izvorno je (prije donošenja građevnih propisa 1857.) podignuta kao ugrađena zgrada, a kasnijim probojem Đorđičeve ulice prema Regulatornoj osnovi njezin je zabatni, relativno tanak i slabi zid ostao izložen potresu, što je posljedično dovelo do gubitka mladog života, jedine žrtve potresa u ožujku 2020. godine. Kod obnove svake pojedine zgrade potrebno je obaviti cjelokupnu protupotresnu analizu prema sačuvanim nacrtima, eventualno izrađenom statičkom računu i nužnim, malobrojnim uzorcima cigle, morta, drva odnosno betona iz same zgrade. Zaključno, potrebno je analizom odrediti mogućnost odnosno tipologiju dodatne termičke izolacije prema važećim propisima u odnosu na protupotresnu otpornost, čime je moguće ostvariti ravnotežu protupotresne i energetske obnove vanjštine svake pojedine zgrade u zaštićenome povijesnom središtu grada.

## Bilješke

1 Životopis i znanstveno djelo akademika Andrije Mohorovičića prikazani su prema: DAVORKA HERAK – MARIJAN HERAK, Andrija Mohorovičić (1857–1936) – On the occasion of the 150th anniversary of his birth, *Seismological Research Letters*, 78/6 (2007.), 671–674.

2 DAVORKA HERAK – MARIJAN HERAK (bilj. 1), 671–672.

3 Seizmogram broj 9 je bilješka Velikog potresa u San Franciscu 1906. godine, DAVORKA HERAK – MARIJAN HERAK (bilj. 1), *ibid.*

4 DAVORKA HERAK – MARIJAN HERAK (bilj. 1), *ibid.*

5 ANDRIJA MOHOROVIČIĆ, Djelovanje potresa na zgrade, *Vijesti Hrvatskoga društva inženjera i arhitekta u Zagrebu*, 32 (1911.), 17, 33, 51, 69, 85, 103, 112, 126, 139.

6 ANDRIJA MOHOROVIČIĆ, *Djelovanje potresa na zgrade*, Zagreb, 1911.

7 DAVORKA HERAK – MARIJAN HERAK (bilj. 1), *ibid.*

8 DARKO KAHLE, Građevinski propisi grada Zagreba u razdoblju od 1850. do 1918. godine, *Prostor*, 12 (2004.) (2/28), 203–214.

9 Tekst njemačkog izvornika bio je složen za tisak od osobe kojoj njemački jezik nije bio materinski, pa se tako dogodilo da je u izvorniku otisnuto *Walendach*, umjesto ispravnog *Walmdach*, op. aut.

10 ZLATKO JURIC, Građevni redovi i regulatorno planiranje Zagreba od 1900. do 1918. godine, *Časopis za suvremenu povijest*, 52 (2020.), 35–52.

11 DRAGAN DAMJANOVIĆ, Herman Bollé i obnova građevina zagrebačkog Stolnog kaptola nakon potresa 1880. godine, *Radovi Instituta za povijest umjetnosti*, 34 (2010.), 131–148.

12 LEO ADLER, Ziegelrohbau, Backsteinrohbau, u: Leo Adler (ur.), *Wasmuths Lexikon der Baukunst, Vierter Band, P bis Zyp*, Berlin, Verlag Ernst Wasmuth A. G., 1932., 744–745, ploča između strana.

13 DRAGAN DAMJANOVIĆ (bilj. 11), 137–138.

14 MILAN SMREKAR (prir.), *Građevni red za Grad Zagreb* [s novellama do 1902.], u: Milan Smrekar, *Priručnik za političku upravnu službu u kraljevinah Hrvatskoj i Slavoniji, knjiga treća*, Zagreb, Tiskom i nakladom Ignjata Granitza, 1902., 548–569.

15 ANDRIJA MOHOROVIČIĆ (bilj. 5).

- 16  
ANDRIJA MOHOROVIČIĆ (bilj. 6), *ibid.* Predavanje je prikazano i analizirano prema ovoj, integralnoj verziji.
- 17  
Isto, 4.
- 18  
Isto.
- 19  
R. I., Zagreb je od 1880. imao još dva jača potresa od posljednjeg, zašto se ne spominju?, u: index.hr, 26. 3. 2020. <<https://www.index.hr/vijesti/clanak/zagreb-je-od-1880-imao-jos-dva-jaca-potresa-od-posljednjeg-zasto-se-ne-spominju/2169174.aspx>>.
- 20  
R. I. (bilj. 19).
- 21  
Isto, 6.
- 22  
Isto, 7.
- 23  
Isto, 13 i d.
- 24  
Isto, 30.
- 25  
Isto. Autor za čelik koristi riječ *ocijel*.
- 26  
Isto, 31.
- 27  
Isto, 32–40.
- 28  
Isto, 40–48.
- 29  
Isto, 48–72.
- 30  
Isto, 72–76.
- 31  
Isto, 76.
- 32  
Isto, 77.
- 33  
Isto, 77, točka 1.
- 34  
Isto, 77, točka 2.
- 35  
Isto, 77, točka 3.
- 36  
Isto, 78, točka 4.
- 37  
Isto.
- 38  
Isto, 78, točka 5.
- 39  
Isto, 78, točka 6.
- 40
- 40  
Isto, 78–79, točka 7.
- 41  
Isto, 79, točka 8.
- 42  
Isto, 79, točka 9.
- 43  
Isto, 79, točka 10.
- 44  
Isto, 79, točka 11.
- 45  
Isto, 79, točka 12.
- 46  
Isto, 79, točka 13.
- 47  
Isto, 79, točka 14.
- 48  
Isto, 79, točka 15.
- 49  
PIERRE JEANNERET LE CORBUSIER, Fünf Punkte zu einer Neuen Architektur, *Die Form. Zeitschrift für gestaltende Arbeit*, 2, 9 (1927.), 272–275.
- 50  
Naputak za izvedenje itd. 34.429 ex 1910 od svibnja 1910.; VII 1398 ex 1917., usp. RAJKO KUŠEVIĆ, Novi nemački propisi za armirani beton, *Tehnički list*, 7/24 (1925.), 361–367; hrvatski propisi: *ibid.*, 362, bilj. 2.
- 51  
Državni arhiv u Zagrebu, Zbirka građevne dokumentacije, signatura HR-DAZG-1122, Horvatovac 12.
- 52  
*Tehnički list*, XIII/11 (1931.), 160–176.
- 53  
*Tehnički list*, XIV/4 (1932.), 55–58.
- 54  
*Tehnički list*, XIV/14 (1932.), 184–186.
- 55  
*Tehnički list*, XIV/15–16 (1932.), 204–205.
- 56  
*Tehnički list*, XIV/20 (1932.), 268.
- 57  
*Tehnički list*, XIV, 20 (1932.), 268.
- 58  
*Tehnički list*, XVIII (1936.), Prilog 3–4, 1.
- 59  
*Tehnički list*, XVIII (1936.), Prilog 3–4, 1–21.
- 60  
*Narodne Novine*, CIV, br. 292 (1940.), 21–46.
- 61  
*Službeni list FNRJ*, 86 (1946.), 1078–1079.
- 62  
*Privremeni tehnički propisi*, Beograd, Građevinska knjiga, 1954.
- 63  
*Službeni list SFRJ*, 39/64 (1964.), 751, Dodatak.



- 64  
RAJKO KUŠEVIĆ (bilj. 50), *ibid.*
- 65  
DARKO KAHLE, Fallout Shelters in Zagreb After the End of World War II, izlaganje na međunarodnom znanstvenom skupu *Society of Architectural Historians 2018 Annual International Conference*, Saint Paul, MN, USA.
- 66  
ZLATKO JURIĆ, Crkva Sv. Blaža u Zagrebu 1908.–1914., *Život umjetnosti*, 59 (1997.), 92–107.
- 67  
HR-DAZG-1122, Vojnovičeva 17.
- 68  
HR-DAZG-1122, Kneza Branimira 5.
- 69  
Usmeni navodi pokojnog prof. dr. sc. Josipa Jelovca (kolegiji *Statika, Tehnička mehanika, Nauka o čvrstoći* na Arhitektonskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu) za vrijeme terenske nastave u Draguču 1983. godine (voditelj prof. dr. sc. Vladimir Bedenko) i Ljetne škole arhitekture u Motovunu 1987. (voditelji prof. dr. sc. Bruno Milić, prof. Branko Kincl i prof. Ivan Crnković).
- 70  
DARKO KAHLE, Turinin Einfühlung, *Čovjek i prostor*, 53, 3–4 (2006.), 72.
- 71  
DARKO KAHLE, Zagrebačka ugrađena najamna kuća u razdoblju od 1928. do 1934. godine, *Prostor*, 10 (2002.) (2/24), 155–167; DARKO KAHLE, Zagrebačka ugrađena najamna kuća u razdoblju od 1935. do 1945. godine, *Prostor*, 11 (2003.) (1/25), 33–43; DARKO KAHLE, Zagrebačka uglovnica u razdoblju od 1928. do 1944. godine, *Prostor*, 12 (2004.) (1/27), 77–85; DARKO KAHLE, Multi-story Attached Houses in Zagreb between 1850 and 1927, *Prostor*, 22 (2014.) (2/48), 174–187; DARKO KAHLE, Collective Housing Blocks (CHBs) in Zagreb between 1945 and 1955: From the Collectivization to the Re-privatization of Architectural Offices, u: Martina Peřinková – Martin Nedvěď (ur.), *Architecture in Perspective 09*, zbornik radova međunarodnog znanstvenog skupa, Ostrava, 2017., 188–191.
- 72  
DARKO KAHLE, *Stambene kuće Novog građenja u sjevernim dijelovima Zagreba u razdoblju od 1928. do 1945. godine*, doktorska disertacija, Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2007. godine.

## Summary

Darko Kahle

### “The Impact of Earthquakes on Buildings” (1911) by Academician Andrija Mohorovičić and the Seismic Analysis of the City of Zagreb Building Regulations in the Period 1857–1964

Academician Andrija Mohorovičić’s lecture entitled “The Impact of Earthquakes on Buildings,” held at the Croatian Society of Engineers and Architects in Zagreb in 1909, and its publication as an offprint from the professional journal of the society two years later, in 1911, roughly coincided with the publication of the first Croatian regulation for concrete and reinforced concrete structures in 1910. Judging by the terminology and descriptions of the properties of reinforced concrete in Mohorovičić’s paper, it can be stated that he was familiar with the content of that regulation. Therefore, the history of regulations for constructions in the administrative area of Zagreb, and before the adoption of separate seismic regulations, can be divided into two periods of similar length: from the first building regulation in 1857 to the first regulation for reinforced concrete in 1910 (53 years), and from the adoption of the latter regulation to the adoption of the first regulation on seismic construction in 1964 (54 years). It can further be argued that the implementation of the regulation for reinforced concrete was related to the construction of the National and University Library, today’s Croatian State Archives on Marulić Square, designed by architect Rudolf Lubynski and built in 1911–1913, or the dome of St Blaise’s

church in Primorska Street, designed by architect Viktor Kovačić and built in 1912–1915, as the first buildings in Zagreb where reinforced concrete structures were used to the extent that required separate norms.

The first period was characterized by the construction of simple buildings with load-bearing walls made of brick, vaulted ceilings in staircases, basements, and ground floors, wooden ceilings on the upper floors, and mostly sloping wooden roof frames. Such buildings were mostly earthquake resistant, except when they had thin gable walls. After the earthquake of 1880, vaulted staircases were replaced by staircases with steel girders, vaulted landings, and elements made of natural or artificial stone. The second period was characterized by the construction of walls in extended or cement mortar, as well as the introduction of ceilings made of concrete elements with various underlays, and finally the use of skeletal reinforced concrete constructions for all public buildings as well as private buildings of important or wealthier homeowners. Staircases now included the so-called cantilever stairs made of reinforced concrete. Even the profit-driven construction of built-in rental buildings generally followed the regulations. The construction police were mostly conservative in

assessing new types of structures. As for the so-called wild constructions in the peripheral parts of the city, especially in Trešnjevka and Trnje, the quality of building depended on the approach of their poorer owners. These houses were built according to their own rules, mostly by the owners themselves and their close or distant male relatives. After World War II, the victors “delegitimized” the legal system, but kept the regulations governing the construction activity of private owners, who now built their family houses on the far outskirts of the city, later known as “hencoops”. On the other hand, the state construction of apartments and public buildings took place according to the temporary technical regulations, which were passed because the building ma-

terials industry in post-war Yugoslavia could not produce concrete according to the pre-war specifications. Of course, this does not mean that the reinforced concrete structures in Zagreb were of poorer quality after 1948, but that they were designed differently. For example, the west stand of Dinamo’s stadium, built in the mid-1950s according to the project of architect Vladimir Turina and the construction engineer Eugen Ehrlich, was held together by lattice girders with huge cross-sections, made in reinforced concrete.

*Keywords:* Andrija Mohorovičić (1857–1936), earthquake impacts on buildings, Zagreb 1857–1964, construction regulations, seismic regulations, building codes, aesthetics of seismic rebuilding and construction