

Mogući pristup analizi procesa podlokavanja oko stupova mostova nastalih pod utjecajem hidroloških i meteoroloških parametara

Lulić, Luka; Stepinac, Mislav

Source / Izvornik: **7. simpozij doktorskog studija građevinarstva 2021. : zbornik radova, 2021, 9 - 20**

Conference paper / Rad u zborniku

Publication status / Verzija rada: **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

<https://doi.org/10.5592/CO/PhDSym.2021.02>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:237:059127>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



Ispitivanje ziđa plosnatim prešama

Luka Lulić¹, doc.dr.sc. Mislav Stepinac²

¹ Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, luka.lulic@grad.unizg.hr

² Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, mislav.stepinac@grad.unizg.hr

Sažetak

Procjena stanja postojećih građevinskih konstrukcija od velikog je sigurnosnog i ekonomskog značenja za gospodarenje građevinskim fondom. Brojnost, starost i potresna ranjivost zidanih konstrukcija posebno naglašavaju potrebu za kvalitetnim uvidom u trenutačno stanje konstrukcija. Bitan korak pri procjeni stanja su svakako istražni radovi. Uz mnogobrojne metode za ispitivanje zidanih konstrukcija jedna od korisnijih ispitnih metoda koristi plosnate preše. Takozvana flat-jack metoda polurazorna je metoda ispitivanja zidanih konstrukcija koja omogućuje uvid u nekoliko ključnih karakteristika materijala. Stoga, u nastavku rada detaljno je obrađen postupak pripreme i provedbe tri razine ispitivanja zidanih građevina plosnatim prešama.

Ključne riječi: plosnate preše, ziđe, terenska ispitivanja, postojeće građevine, potres

In-situ testing of masonry with flat-jacks

Abstract

Assessment of existing structures is of great safety and economic importance for building stock management. The number of masonry structures, their age and seismic vulnerability further emphasizes the need for quality insight into the current state of structures. An important step in the assessment of existing structures is certainly in-situ testing. One of the most useful tests is the flat-jack method. It is a semi-destructive method of testing masonry that provides insight into several key characteristics of the material. Therefore, this paper describes in detail the process of preparation and implementation of three levels of testing of masonry buildings with flat-jacks.

Key words: flat-jacks, masonry, in-situ testing, existing structures, earthquake

1 Uvod

Hrvatska je jedna od seizmički najugroženijih država Europe [1]. Dubrovnik i okolića imaju najveći potresni hazard, odnosno najveću vjerojatnost seizmičkog događaja određenog intenziteta, a zagrebačko područje karakterizira najveći potresni rizik (kombinacija potresnog hazarda, izloženosti i ranjivosti) u Hrvatskoj. Nedavni potresi u Zagrebu, Petrinji i Dalmaciji probudili su svijest o potresima u stručnoj, ali i općoj populaciji. Dugi period seizmičke neaktivnosti ostavio je trag koji je rezultirao neadekvatnim održavanjem, nestručnim adaptacijama kao i energetskim obnovama fasada postojećih konstrukcija bez razmišljanja o nužnim konstrukcijskim pojačanjima. Značajni dio hrvatskoga građevinskog fonda građen je tradicionalnim materijalima kao što su opeka (nosivi i pregradni zidovi) i drvo (međukatne konstrukcije i krovišta). Znatni dio takvih konstrukcija blizu je ili je već prešao planirani životni vijek uporabe. Također, veliki dio građevina izgrađen je prije protupotresnih propisa ili u vrijeme prvih propisa koji su simbolični u odnosu na današnje potresne zahtjeve. Postojeće zidane konstrukcije najčešće su nearmirane te su zbog velike krutosti, male duktilnosti kao i male potresne otpornosti iznimno ranjive i podložne značajnim oštećenjima pri izlaganju potresnom djelovanju. Posljedice i potvrda navedenog vidljivi su nakon razornih potresa u Zagrebu [2] i Petrinji (slika 1.). Kako bi se saznalo trenutačno stanje postojećih građevina, procijenio preostali kapacitet potresne otpornosti te odlučilo o opsežnosti sanacije i pojačanja konstrukcija, važno je detaljno i pouzdano znanje o karakteristikama građevina. Primjenjuju se razne metode pri ocjenjivanju postojećeg stanja građevina koje podrazumijevaju vizualne metode [3], terenska i laboratorijska ispitivanja [4], moderne tehnologije [5] te mnoge druge metode [6]. Norme i stručna literatura također daju preporuke materijalnih karakteristika za validaciju dobivenih podataka ili za njihovu uporabu pri odsutnosti podataka zbog nedostatnih istražnih radova [7]. Spomenutom problematikom bavi se znanstveni projekt ARES u sklopu kojeg su rađena ispitivanja s nekima od nabrojanih metoda. U nastavku rada detaljno je obrađena metoda s plosnatim prešama.



Slika 1. Zidane građevine oštećene u potresu

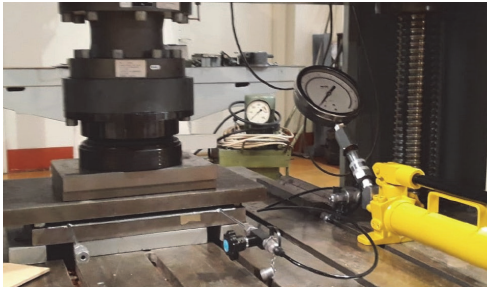
2 Plosnate preše

Krajem 20. stoljeća počinje uporaba plosnatih preša (flat-jackova) u građevinarstvu. Prije toga korištene su pretežito za geotehnička ispitivanja pri određivanju stanja naprezanja u stijenama. S godinama se sustav razvijao pa danas postoje različiti oblici plosnatih preša koje se izrađuju od čelika ili aluminijski. Za punu opremu potrebna su značajna ulaganja, a sama ispitivanja su vremenski zahtjevna. Unatoč tome, preciznost i vrijednost dobivenih podataka opravdavaju uloženo vrijeme i trud. Metoda se ubraja u polurazorne istražne radove te je pronašla najrašireniju uporabu u zidanim konstrukcijama. Metodologija samog ispitivanja razvijena je u obliku američkih [8–10] i europskih [11, 12] inačica normi. Ispitivanje se obavlja na gradilištu te se razlikuju tri metode ispitivanja kojima se dobiju vrijedni podaci o promatranoj konstrukciji.

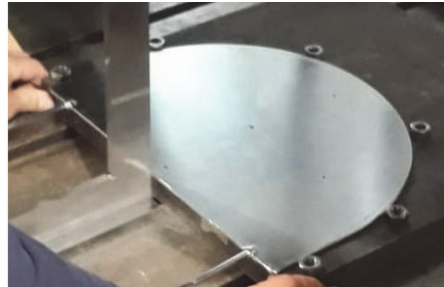
2.1 Kalibracija

Cijela metoda temelji se na prijenosu naprezanja s plosnate preše na zidu. Uvjet za prijenos naprezanja je kontakt između preše i zida koji se ostvaruje povećanjem volumena preše. Promjena volumena preše uzrokuje deformaciju čelične konstrukcije same preše. Na spomenutu deformaciju “troši” se dio hidrauličnog pritiska u preši. Stoga, ostvareni pritisak u plosnatoj preši ne prenosi se u cijelosti na zidu. Navedeni gubitak pritiska uzima se u obzir korekcijskim faktorom K_m koji se određuje postupkom kalibracije (slika 2.). Kalibracija se provodi u laboratoriju na preši minimalne nosivosti 10 tona (100 kN) [8]. Plosnata preša stavlja se između dvije čelične ploče dovoljno velike debljine (50 mm) [8, 11], odnosno dovoljno velike krutosti kako se ploče ne bi deformirale prilikom prijenosa opterećenja te time utjecale na točnost rezultata. Rub plosnate preše poravnava se s rubom čeličnih ploča da se ventili plosna-

te preše ne oštete. Između čeličnih ploča postavljaju se čelični distanceri debljine malo veće od debljine plosnate preše da se izbjegne oslanjanje čelične ploče na plosnatu prešu te time utječe na točnost rezultata (slika 3.).



Slika 2. Postupak kalibracije



Slika 3. Postavljanje distancera

Čelične ploče u potpunosti moraju prekriti plosnatu prešu i unos sile iz preše trebao bi biti točno u težištu plosnate preše (+/- 6 mm). Prešom se pritisnu dvije čelične ploče silom od 3 do 6 kN, ovisno o veličini plosnate preše, kako bi se ostvario stabilan kontakt s distancerima [8, 11]. Na plosnatu prešu ne prenosi se ta sila jer je njena debljina manja od debljine distancera. Tijekom nastavka kalibracije pomak klipa preše drži se konstantnim i mjeri se sila kojom plosnata preša pritišće čeličnu ploču odnosno prešu. Plosnata preša puni se uljem pomoću hidraulične ručne pumpe koja na sebi ima analogni tlakomjer te se na taj način stvara pritisak u plosnatoj preši. S porastom pritiska plosnata preša se deformira te joj se povećava volumen odnosno debljina. Debljina se povećava sve dok se ne ostvari kontakt sa čeličnom pločom. U tom trenutku pritisak se prenosi na veliku prešu i može se pratiti promjena tog pritiska u obliku sile na preši. Sada je poznat iznos pritiska u plosnatoj preši (tlakomjer na pumpi) i njena bruto površina. S druge strane poznat je iznos sile u velikoj preši koja je posljedica pritiska u plosnatoj preši. Ono što se traži jest efektivna površina plosnate preše odnosno konstanta plosnate preše koja pomnožena s bruto površinom daje traženu efektivnu površinu. Dakle, $K_m = A_e / A_b$ i uvijek vrijedi $K_m < 1,0$ jer uvijek postoji određeni gubitak pri deformaciji plosnate preše. Odnos pritiska u plosnatoj preši i prenesene sile na prešu prikazan je izrazima (1) i (2):

$$p_{pp} = \frac{N_p}{A_b \cdot K_m} = \frac{N_p}{A_b \cdot \frac{A_e}{A_b}} = \frac{N_p}{A_e} \quad (1)$$

$$A_e = \frac{N_p}{p_{pp}} \quad (2)$$

gdje je:

p_{pp} – pritisak u plosnatoj preši

N_p – sila u preši

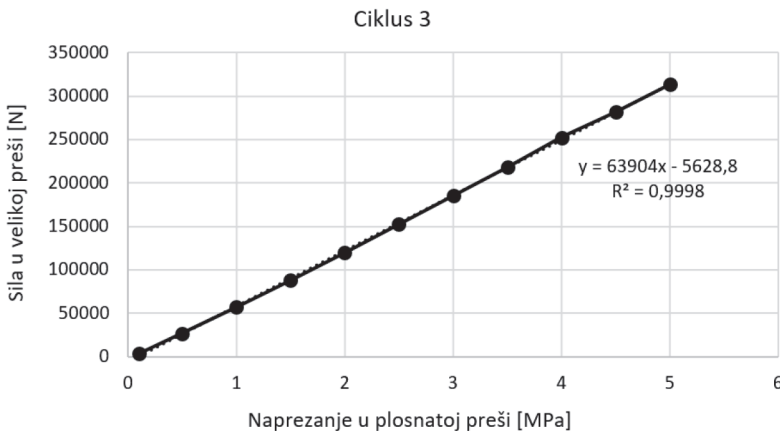
A_b – bruto površina plosnate preše

K_m – konstanta plosnate preše

A_e – efektivna površina plosnate preše

Postupak opterećenja (preko hidraulične pumpe) i rasterećenja prilikom kalibracije izvodi se tri puta za svaku plosnatu prešu te se za ispitivanje koristi srednja vrijednost dobivene konstante K_m . Za vrijeme kalibracije ne smije se dosegnuti vršna vrijednost dopuštenog pritiska u plosnatoj preši koju definira proizvođač, a prema [11] ta vrijednost pritiska iznosi 70 bara. Također, pritisak je potrebno podizati postupno te bi bilo u skladu s normama [8, 11] provoditi kalibraciju u deset koraka s prirastom pritiska u plosnatoj preši od 0,5 bar-a pri svakom koraku. Na svakom koraku bilježi se sila u velikoj preši i pritisak u plosnatoj preši te ih se grafički prikazuje radi daljnje obrade i bolje vizualizacije. U nastavku (slika 4.) prikazan je dijagram dobiven pri kalibraciji poluovalne plosnate preše dimenzija 350 x 260 x 4,5 mm.

Na horizontalnoj osi je pritisak u plosnatoj preši, a na vertikalnoj osi je sila u preši. Povezivanjem točaka dobije se pravac čiji nagib definira vrijednost efektivne površine plosnate preše. Omjer dobivene efektivne površine i bruto površine daje konstantu plosnate preše K_m . Proces kalibracije potrebno je ponoviti nakon pet ispitivanja.



Slika 4. Dijagram dobiven kalibracijom

2.2 Stanje naprezanja

Podatak o trenutnom tlačnom naprezanju u zidu od velike je važnosti zato što posmična otpornost zida ovisi o njoj. Obično se stanje naprezanja procjenjuje analitički analizom opterećenja ili preko numeričkog modela pomoću računalnog programa. Kvalitetno odrađeno ispitivanje plosnatim prešama trebalo bi povećati razinu pouzdanosti rezultata. Za početak potrebno je odrediti lokaciju odnosno zid unutar građevine koji je reprezentativan, pristupačan i bez vertikalnih otvora ili instalacija. Sama ispitivanja po etažama bilo bi dobro vertikalno poravnati kako bi se dobio uvid u promjenu naprezanja po visini. Zato je prethodno potrebno pronaći zid koji je kontinuiran po visini. Zatim se pristupa skidanju završnih slojeva zida. Nakon uklanjanja žbuke određuje se mjesto za jednu plosnatu prešu i mjerne točke. Kako bi se preša mogla ugraditi, potrebno je napraviti otvor u zidu. Otvor bi trebao biti što sličniji obliku plosnate preše te je za poluovalni oblik najprikladnija ekscentrična prstenasta pila. U pravilnom zidu rez bi trebao biti u horizontalnoj sljubnici, a kod nepravilnog kamenog zida rez prolazi kroz mort i kroz kamen. Rez mora biti udaljen od otvora ili ruba zida za minimalno 1,5 duljinu preše te smije biti najviše 12 mm veći od duljine preše. Debljina otvora treba biti minimalno veća od debljine preše. Po potrebi se mogu koristiti tanke čelične ploče u obliku preše kako bi se što bolje ispunio otvor i kako bi se zaštitila preša. Nakon izrade otvora potrebno je izmjeriti površinu otvora kako bi se uzeo u obzir utjecaj veličine otvora na rezultate. Mjerne točke lijepe se u paru u tri ili četiri vertikalne ravnine okomito na otvor te moraju biti horizontalno odmaknute od ruba otvora za 1/8 duljine preše [8, 11]. Parovi točaka lijepe se dvokomponentnim ljepilom na opeku (nikako na mort) na vertikalnom razmaku 0,3 – 1,0 duljine preše, iznad i ispod otvora. Slike 4.a i 4.b prikazuju pripremljeno mjesto ispitivanja. Prije izrade otvora izmjeri se udaljenost mjernih točaka koristeći prijenosni komparator rezolucije tisućinke milimetra. Nakon reza mjerenje se ponavlja. Razlika mjerenja iznos je progiba dijela zida zbog relaksacije naprezanja. Cilj metode je smanjiti progib unošenjem tlačnog naprezanja u zidu preko plosnate preše. Pritisak na kojem se progib vratio na nulu jednak je tlačnom naprezanju u zidu. Pritisak očitani u preši potrebno je reducirati s konstantom plosnate preše i s omjerom bruto površine preše i površine otvora kako bi se uzeli u obzir prije spomenuti utjecaji. Tlačno naprezanje u zidu prema [8] određuje se izrazom (3):

$$\sigma_{astm} = K_m \cdot K_a \cdot p \quad (3)$$

gdje je:

K_m – konstanta plosnate preše

K_a – omjer bruto površine plosnate preše i površine otvora

p – pritisak u plosnatoj preši

Nakon ugradnje preše i prije početka ispitivanja potrebno je dignuti pritisak u preši na otprilike polovicu očekivanog ukupnog pritiska i zatim vratiti pritisak na nulu kako bi se preša što bolje smjestila u otvoru [8, 11]. Samo ispitivanje provodi se u minimalno osam koraka s koracima od najmanje 0,5 bara [11]. U svakom koraku očita se razmak mjernih točaka nakon stabilizacije pritiska na tlakomjeru (0,5 – 1 min nakon povećanja pritiska). Razmak se mjeri na svim parovima mjernih točaka te se sve mjeri tri puta od kojih se uzima srednja vrijednost. Ispitivanje je završeno kada se ostvari razmak koji je bio prije rezanja otvora. U tom trenutku očita se pritisak u preši, korigira se spomenutim faktorima te se pretvori u tlačno naprezanje u zidu. Prema [11] tlačno naprezanje u zidu određuje se izrazom (4):

$$\sigma_{\text{rilem}} = K_e \cdot p \cdot \frac{A_o}{A_e} \quad (4)$$

gdje je:

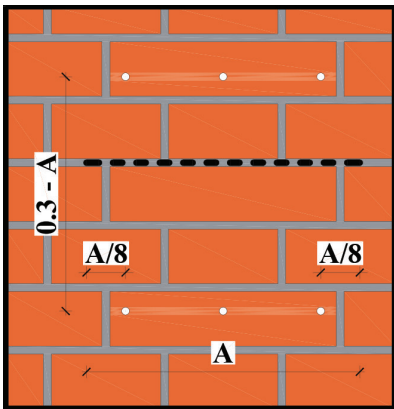
K_e – koeficijent tipologije ziđa (0,83 za uobičajene europske zidne elemente)

p – pritisak u plosnatoj preši

A_o – površina otvora

A_e – efektivna površine plosnate preše

U nastavku je prikazana skica s dimenzijama ispitnog mjesta te ispitno mjesto sa studije slučaja (slika 5.).



Slika 5. a) Skica ispitnog mjesta, b) Ispitno mjesto sa studije slučaja

2.3 Modul elastičnosti

Nakon određivanja tlačnog naprezanja u žiđu slijedi postupak određivanja modula elastičnosti. Potrebne su dvije preše gdje se otvor za drugu prešu radi iznad već ugrađene preše na udaljenosti 1 – 1,5 duljine preše. Također, između preša mora biti barem pet redova opeke [12]. Sve to za izradu prvoga otvora vrijedi i za drugi otvor koji bi trebao biti isti jer se koriste iste preše. Broj mjernih točaka ostaje isti, ali njihov položaj je sada između preša. Njihova vertikalna udaljenost treba biti barem 20 cm [9], odnosno 75-90 % udaljenosti ugrađenih preša [12]. Rubne mjerne točke opet je potrebno uvući za 1/8 duljine preše. S obzirom na to da se pri određivanju modula elastičnosti sva mjerenja izvode nakon rezanja, mogu se koristiti i LVDT-ovi (linearni varijabilni diferencijalni transformator) umjesto prijenosnih komparatora. LVDT-ovi odnosno induktivni senzori imaju znatno veću pouzdanost pri mjerenju. Također, ubrzavaju i olakšavaju mjerenje te omogućuju kontinuirani zapis pomaka kao i automatski grafički prikaz promjene u vremenu. Prije početka mjerenja potrebno je povećati pritisak u preši na otprilike polovicu očekivane čvrstoće žiđa kako bi se preše što bolje smjestile u otvore. Za vrijeme ispitivanja prati se odnos tlačnog naprezanja u žiđu i deformacije dijela žiđa između preša. Iz njihovog omjera dobije se modul elastičnosti. Kada spomenuti omjer počne naglo padati, potrebno je stati s ispitivanjem kako bi se izbjeglo oštećenje žiđa zbog prekomjernog tlačnog napreznja. Za kontrolu oštećenja koristi se tangenti modul u svakom koraku i on se računa prema izrazu (5):

$$E_t = \frac{d\sigma_m}{d\varepsilon_m} \quad (5)$$

gdje je:

$d\sigma_m$ – prirast napreznja u pojedinom koraku

$d\varepsilon_m$ – prirast relativne deformacije u pojedinom koraku

Krajnji rezultat je sekantni modul elastičnosti koji se računa prema izrazu (6):

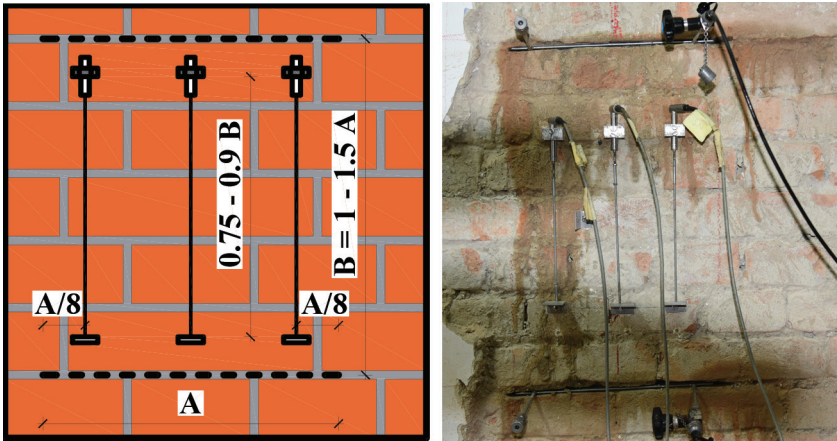
$$E_s = \frac{\sigma_m}{\varepsilon_m} \quad (6)$$

gdje je:

σ_m – ukupno napreznje

ε_m – ukupna relativna deformacija

U nastavku je prikazana skica s dimenzijama ispitnog mjesta te ispitno mjesto sa studije slučaja (slika 6.).



Slika 6. a) Skica ispitnog mjesta, b) Ispitno mjesto sa studije slučaja

2.4 Posmična čvrstoća

Treći i zadnji postupak je određivanje posmične čvrstoće zida. Za početak je potrebno ukloniti vertikalno postavljena mjerna mjesta odnosno LVDT-ove. Obje preše ostaju u zidu (na razmaku od barem pet redova opeke [10]), a za dodatnu treću običnu prešu napravi se otvor ispred opeke koja će se horizontalno gurati. Obavezno se gura uzdužna opeka te joj je potrebno odrediti duljinu i širinu kako bi se odredila posmična površina. Iza opeke se također napravi mali otvor u vertikalnoj sljubnici kako bi opeka imala prostora za pomak. Zatim se postavi horizontalni LVDT između opeke koja se gura i opeke koja je stacionarna. Kako bi se spriječio unos naprezanja u mort, između horizontalne preše i opeke treba postaviti podložne pločice. Visina pločice mora biti malo manja od visine opeke (npr. 6,5 cm za opeku visine 7 cm) te joj debljina treba biti barem 1/8 visine (npr. 0,8 cm za pločicu visine 6,5 cm) radi jednolikog prijenosa naprezanja [10]. Horizontalna preša također mora biti kalibrirana kako bi se iz pritiska u preši mogla izračunati sila. Druga opcija je korištenje uređaja za mjerenje sile (doze) koji se stavlja iza horizontalne preše da kontinuirano mjeri promjenu sile u vremenu. Posmično naprezanje u svakom trenutku može se odrediti izrazom (7):

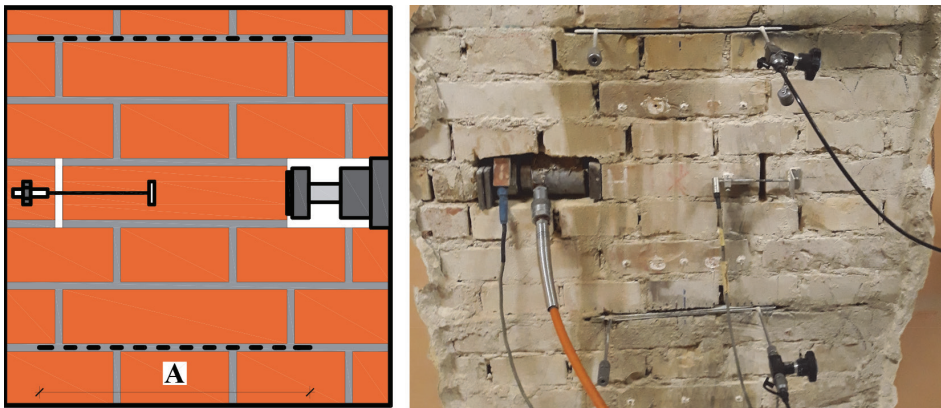
$$\tau = \frac{F_h}{A} \quad (7)$$

gdje je:

F_h – horizontalna sila

A – ukupna posmična površina (gornja + donja).

Ispitivanje počinje unosom vertikalnog naprezanja od 0,7 bara u plosnatim prešama. Uz konstantan vertikalni pritisak polako se povećava pritisak u horizontalnoj preši do otkazivanja. Otkazivanje nastupa kada se pri konstantnoj horizontalnoj sili pomak povećava. Nakon otkazivanja vertikalni pritisak se poveća te se ponovno polako povećava pritisak u horizontalnoj preši. Nakon nekoliko ponavljanja poznato je dovoljno podataka za izradu grafa u obliku pravca koji opisuje odnos vertikalnog naprezanja i posmične čvrstoće. S porastom vertikalnog naprezanja raste i posmična čvrstoća, a koeficijent nagiba dobivenog pravca predstavlja vrijednost koeficijenta trenja μ . Vrijednost posmičnog naprezanja kada je iznos vertikalnog naprezanja nula predstavlja početnu posmičnu čvrstoću f_{vo} . U nastavku je prikazana skica s dimenzijama ispitnog mjesta te ispitno mjesto sa studije slučaja (slika 7.).



Slika 7. a) Skica ispitnog mjesta, b) Ispitno mjesto sa studije slučaja

3 Zaključak

Značajni dio hrvatskoga i europskoga građevinskog fonda izgrađen je od opeke. Mnoge takve građevine pri kraju su projektiranog perioda uporabe. Stoga, mnoga sigurnosna i ekonomska pitanja naglašavaju važnost gospodarenja spomenutim građevinama. Nedavne seizmičke aktivnosti dodatno aktualiziraju problematiku. Za određivanje isplativosti novogradnje, odnosno sanacije i pojačanja postojeće gradnje kao i određivanje potrebne razine pojačanja, a kako bi se dosegla dostatna potresna otpornost, potrebna je kvalitetna ocjena postojećeg stanja građevinske konstrukcije. U procesu ocjenjivanja stanja značajan utjecaj imaju istražni radovi. S ciljem naglašavanja važnosti istražnih radova, posebno u razdoblju poslijepotresne obnove, u radu je prikazana metoda "in situ" ispitivanja materijalnih karakteristika postojećih zidanih građevina. Ispitivanje se provodi plosnatim prešama te se ubraja u polurazorne metode. Rezultati ispitivanja su stanje naprezanja u zidu, modul elas-

tičnosti ziđa te posmična čvrstoća ziđa. Ispitivanje posmične čvrstoće s plosnatim prešama pouzdanije je od ispitivanja posmične čvrstoće s procijenjenom vrijednosti vertikalnog naprezanja u ziđu. Ispitivanje s plosnatim prešama je dugotrajno i zahtijeva raznovrsnu opremu, ali omogućuje dobar uvid u postojeće stanje konstrukcije osiguravajući korisne parametre potrebne za modeliranje i proračun. Odstupanja mogu biti čak do 20 %, ali s iskustvom i preciznošću postotak odstupanja može se spustiti ispod 10 %.

Zahvala

Autori zahvaljuju Hrvatskoj zakladi za znanost na financijskoj potpori istraživanja kroz projekt ARES: Procjena stanja i obnova postojećih građevina – Razvoj suvremenih metoda za zidane i drvene konstrukcije (UIP-2019-04-3749).

Literatura

- [1] Atalić, J., Novak, M.Š., Uroš, M.: Seismic risk for Croatia: Overview of research activities and present assessments with guidelines for the future, *Gradjevinar*, 71 (2019) 10, pp. 923–947.
- [2] Stepinac, M. *et al.*: Damage classification of residential buildings in historical downtown after the ML5.5 earthquake in Zagreb, Croatia in 2020, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 56 (2021), p. 102140.
- [3] Borri, A., Corradi, M., Castori, G., De Maria, A.: A method for the analysis and classification of historic masonry, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13 (2015) 9, pp. 2647–2665.
- [4] Krolo, J., Damjanović, D., Duvnjak, I., Frančić Smrkić, M., Bartolac, M., Koščak, J.: Methods for determining mechanical properties of walls, *Gradjevinar*, 73 (2021) 2, pp. 127–140.
- [5] Stepinac, M., Gašparović, M.: A Review of Emerging Technologies for an Assessment of Safety and Seismic Vulnerability and Damage Detection of Existing Masonry Structures, *Applied Sciences*, 10 (2020) 15.
- [6] Stepinac, M., Kisicek, T., Renić, T., Hafner, I., Bedon, C.: Methods for the assessment of critical properties in existing masonry structures under seismic loads-the ARES project, *Applied Sciences (Switzerland)*, 10 (2020) 5.
- [7] Ghiassi, B., Vermelfoort, A.T., Lourenço, P.B.: Chapter 7 - Masonry mechanical properties, in *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*, (2019), B. Ghiassi and G. B. T.-N. M. of M. and H. S. Milani, Eds. Woodhead Publishing, 2019, pp. 239–261.

- [8] ASTM C1196 - 09: Standard Test Method for In Situ Compressive Stress Within Solid Unit Masonry Estimated Using Flatjack Measurements. .
- [9] ASTM C1197 - 14a: Standard Test Method for In Situ Measurement of Masonry Deformability Properties Using the Flatjack Method. .
- [10] ASTM C1531 - 16: Standard Test Methods for In Situ Measurement of Masonry Mortar Joint Shear Strength Index, *Changes*, 04 (2003). pp. 1–7, 2003.
- [11] RILEM Technical Committee: RILEM Recommendation MDT. D. 4: In-situ stress tests based on the flat jack, *Materials and Structures*, 37 (2004) 7. pp. 491–496, 2004.
- [12] RILEM Recommendation MDT. D. 5: In-situ stress - strain behaviour tests based on the flat jack, 37 (2005) September 2004. pp. 497–501, 2005.