

# Ispitivanje zida flat-jack metodom

---

Lulić, Luka; Stepinac, Mislav

*Source / Izvornik:* **Zajednički temelji 2023. - uniSTem : deseti skup mladih istraživača iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti, Split, 14.-17. rujna, 2023. : zbornik radova, 2023, 14 - 18**

**Conference paper / Rad u zborniku**

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

<https://doi.org/10.31534/10.ZT.2023.09>

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:404263>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-09**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT

  
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI



## ISPITIVANJE ZIDA FLAT-JACK METODOM

Luka Lulić<sup>1</sup>, Mislav Stepinac<sup>1</sup>

(1) Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, Hrvatska, [luka.lulic@grad.unizg.hr](mailto:luka.lulic@grad.unizg.hr), [mislav.stepinac@grad.unizg.hr](mailto:mislav.stepinac@grad.unizg.hr)

### Sažetak

Nedavni seizmički događaji koji su protresli Hrvatsku naglašavaju potrebu za obnovom značajnog broja postojećih građevina. Veliki dio njih spada među ranjive nearmirane zidane konstrukcije. Kako bi obnova i pojačanje takvih konstrukcija bili efikasni i održivi, potrebno je provesti detaljne istražne radove u procesu ocjene postojećeg stanja građevinske konstrukcije korištenjem raznih metoda. Flat-jack metoda pokazala se kao vrlo korisna polurazorna metoda ispitivanja. Ona pomoću plosnatih preša unosi naprezanje u zide te posljedično uzrokuje njegovu deformaciju. Mjerenjem spomenutih naprezanja i deformacije te obradom dobivenih podataka osigurava se uvid u mehanička svojstva zida. Kroz tri faze ispitivanja mogu se odrediti vertikalno stanje naprezanja, modul elastičnosti i početna posmična čvrstoća zida.

*Ključne riječi: zide, potres, flat-jack, obnova*

## FLAT-JACK METHOD FOR TESTING MASONRY

### Abstract

The recent seismic events that shook Croatia made it clear that there is a great need for the renovation of a significant number of existing buildings. A large portion of these are vulnerable buildings made of unreinforced masonry. In order to make the renovation and strengthening of such structures efficient and sustainable, detailed investigations must be conducted to assess the existing condition of the structure. Various methods are used for this purpose. The flat-jack method has been proven to be a very useful semi-destructive testing method. Flat-jacks are used to apply stress to the masonry, causing it to deform. An insight into the mechanical properties of the masonry is acquired by measuring the aforementioned stresses and deformations and processing the measured data. The vertical stress state, the modulus of elasticity, and the initial shear strength of the masonry can be determined during the three test phases.

*Keywords: masonry, earthquake, flat-jack, renovation*

## 1. Uvod

Hrvatski građevinski fond sastoji se velikim dijelom od nearmiranih zidanih konstrukcija koje su posebno ranjive u seizmičkim područjima [1]. Mnoge od njih su pred istekom projektiranog uporabnog vijeka [2]. Nedovoljno održavanje te nepravilne rekonstrukcije nepovoljno je utjecalo na sigurnost takvih konstrukcija te su trenutno u stanju nedostatne mehaničke otpornosti i stabilnosti. Kada uzmemo u obzir i potresni rizik, situacija postaje još ozbiljnija, oogotovo nakon nedavnih snažnih potresa koji su dodatno pogoršali situaciju dodatnim oštećenjima i degradacijom mehaničkih svojstava [3]. Sve navedeno naglašava važnost obnove takvih građevina. Kako bi obnova i daljnje upravljanje postojećim građevinskim fondom bilo što efikasnije, potrebna je kvalitetna procjena postojećeg stanja građevinske konstrukcije. Upravo spomenutom tematikom bavi se znanstveni projekt ARES: *Procjena stanja i obnova postojećih građevina – Razvoj suvremenih metoda za zidane i drvene konstrukcije* [4]. U procesu procjene postojećeg stanja važnu ulogu imaju istražni radovi. Pri tome se koriste razne nerazorne, polurazorne i razorne istražne metode. Među najkorištenijima su flat-jack metoda, posmični test, modalna analiza, ispitivanje tlačne čvrstoće opeke, sklerometar za mort i dijagonalni vlačni test [5]. U nastavku rada je detaljnije objašnjena flat-jack metoda.

## 2. Flat-jack metoda

Metoda se sastoji od nekoliko faza koje se mogu provoditi u kontinuitetu jedna iza druge ili pojedinačno, neovisno jedna od druge. Ovisno o fazi, koriste se jedan ili dva flat-jacka (plosnata preša) koja se umetnu u ziđe. Povećanjem pritiska u prešama dio pritiska se prenosi na ziđe što dovodi do njegove deformacije. Promatranjem pritiska i deformacije te obradom podataka dolazi se do nekoliko korisnih mehaničkih svojstava ziđa. To su vertikalno stanje naprezanja, ponašanje ziđa u tlaku (odnos naprezanje-deformacija) odnosno modul elastičnosti te početna posmična čvrstoća i koeficijent trenja. U nastavku su detaljnije prikazane sve 3 faze ispitivanja.

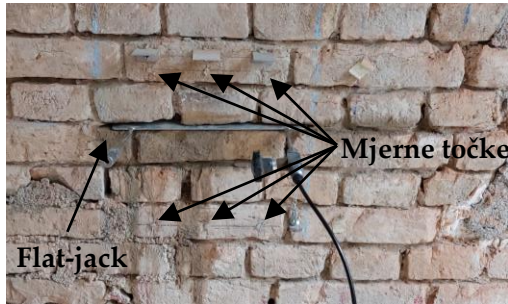
### 2.1. Proces kalibracija

Prije samog ispitivanja potrebno je provesti proces kalibracije. Svrha kalibracije je utvrditi postotak gubitka pritiska do kojeg dolazi zbog deformiranja čeličnih ploča flat-jacka. Kalibracija se provodi u laboratoriju na statičkoj preši minimalne nosivosti 10 tona. Detalji vezani za proces kalibracije dani su u američkim [6] i međunarodnim [7] smjernicama.

### 2.2. Vertikalno stanje naprezanja

Nakon kalibracije može se pristupiti prvoj fazi ispitivanja (Slika 1.) kojom se određuje vertikalno stanje naprezanja u ziđu na mjestu ispitivanja. Za to se koristi jedan flat-jack. Uz to potrebno je zalijepiti mjerne toče u parovima iznad i ispod lokacije flat-jacka. One će služiti za mjerenje njihove udaljenosti tijekom ispitivanja kako bi pratili deformiranje ziđa. Mjerenje se vrši pomoću prijenosnog komparatora rezolucije tisućinke milimetra. Cilj je izmjeriti inicijalnu udaljenost mjernih točaka prije izrade otvora te ponoviti mjerenje nakon izrade otvora kako bismo dobili progib ziđa zbog novonastalog diskontinuiteta u materijalu i relaksacije naprezanja. Zatim se u otvor umetne flat-jack u kojem se postepeno povećava pritisak. Kako pritisak raste, flat-jack se

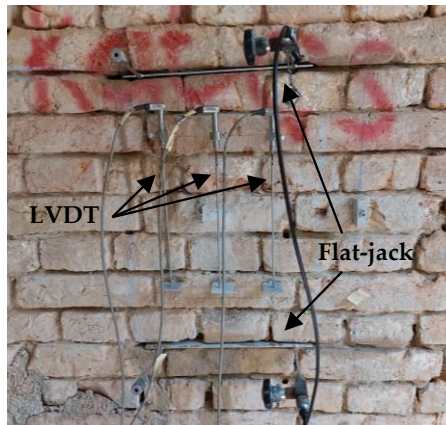
deformira i prenosi dio naprezanja na zidu. Zidu se, također, počinje deformirati i polako vraćati u inicijalni položaj. Kada se zid vrati u inicijalni položaj, zabilježi se pritisak u flat-jacku. Taj pritisak se korigira koeficijentom dobivenim u postupku kalibracije i koeficijentom koji uzima u obzir veličinu otvora te predstavlja stanje vertikalnog naprezanja u zidu. Smjernice za ovu fazu ispitivanja mogu se pronaći u [6], [7].



Slika 1. Određivanje vertikalnog naprezanja

### 2.3. Odnos naprezanje-deformacija

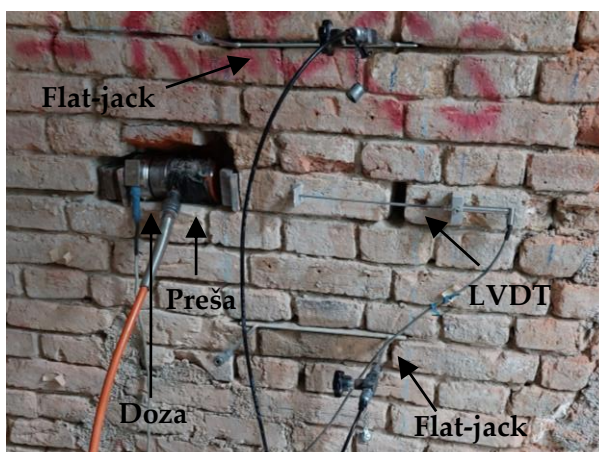
Druga faza ispitivanja (Slika 2.) koristi dva flat-jacka postavljena jedan iznad drugoga te vertikalno postavljene senzore pomaka (LVDT). Tako se dobije dio zida koji se nalazi u području jednolikog tlačnog naprezanja koje se može kontrolirati. Postepeno povećanje pritiska i mjerenje pomaka rezultira odnosom naprezanje-deformacija koji opisuje ponašanje zida u tlaku. Iz dobivenog odnosa moguće je odrediti modul elastičnosti koji se dobije iz omjera naprezanja i deformacije. Kada spomenuti omjer krene naglo padati, ispitivanje se prekida kako zid ne bi ušlo u plastično područje gdje dolazi do oštećenja. Detaljnije informacije o određivanju modula elastičnosti nalaze se u [8], [9].



Slika 2. Određivanje modula elastičnosti

## 2.4. Posmični test s kontrolom vertikalnog naprezanja

Treća i zadnja faza ispitivanja (Slika 3.) koristi do sada korištena dva flat-jacka kojem se dodaje i treća horizontalna standardna preša (može se koristiti i mali flat-jack). Potrebno je odabrati jednu uzdužnu opeku između dva flat-jacka koja će se gurati s trećom prešom. Ispred odabrane opeke radi se otvor za treću prešu, a iza te opeke radi se drugi otvor kako bi opeka imala mjesta za pomak. Prvo se osigura određena razina vertikalnog pritiska te se zatim opeka gura horizontalno dok ne otkáže, odnosno dok ne prokliže. Zatim se razina vertikalnog protiska povećá te se opeka ponovo gurne dok ne prokliže. Isti postupak se ponovi na nekoliko razina vertikalnog pritiska. Kao rezultat dobije se odnos posmičnog naprezanja i vertikalnog naprezanja. Izmjerene točke povezujemo korelacijskim pravcem čiji nagib predstavlja koeficijent trenja, a odsječak na vertikalnoj osi predstavlja početnu posmičnu čvrstoću zida. Više informacija o završnoj fazi flat-jack ispitivanja može se naći u [10], [11].



Slika 3. Određivanje početne posmične čvrstoće

Detaljniji opis flat-jack metode, njene provedbe te određenih poteškoća za vrijeme provedbe ispitivanja dane su u [12]. Također, prikaz rezultata opsežne flat-jack studije provedene na postojećim nearmiranim zidanim konstrukcijama u Hrvatskoj može se pronaći u [13].

## 3. Zaključak

S ciljem efikasne i održive obnove potrebno je posebnu pažnju posvetiti ulaznim parametrima za proračun konstrukcije. Polurazorna flat-jack metoda predstavlja zahtjevnu, ali korisnu ispitnu metodu. Njenom provedbom osigurava se uvid u važna mehanička svojstva zida. Primjena ove metode korisna je u procjeni stanja postojećih zidanih konstrukcija, posebno u vrijeme obnove velikog broja građevina nakon nekoliko snažnih potresa koji su pogodili zagrebačko i petrinjsko područje.

## Literatura

- [1] Kišiček, T., Stepinac, M., Renić, T., Hafner, I., and Lulić, L., Strengthening of masonry walls with FRP or TRM, *Gradjevinar*, vol. 72, no. 10, pp. 937 – 953, 2020, doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.2983.2020>.
- [2] Stepinac, M., Kišiček, T., Renić, T., Hafner, I., and Bedon, C., Methods for the assessment of critical properties in existing masonry structures under seismic loads-the ARES project, *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 5, 2020, doi: 10.3390/app10051576.
- [3] Stepinac, M., Lourenço, P. B., Atalić, J., Kišiček, T., Uroš, M., Baniček, M., and Šavor Novak, M., Damage classification of residential buildings in historical downtown after the ML5.5 earthquake in Zagreb, Croatia in 2020, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 56, p. 102140, 2021, doi: 10.1016/j.ijdr.2021.102140.
- [4] ARES, ARES Project official website, Jun. 26, 2020. <https://www.grad.hr/ares/>
- [5] Krolo, J., Damjanović, D., Duvnjak, I., Smrčić, M. F., Bartolac, M., and Koščak, J., Methods for determining mechanical properties of walls, *Gradjevinar*, vol. 73, no. 2, pp. 127 – 140, 2021, doi: 10.14256/JCE.3063.2020.
- [6] ASTM., ASTM C1196 - 09: Standard Test Method for In Situ Compressive Stress Within Solid Unit Masonry Estimated Using Flatjack Measurements. 2009.
- [7] RILEM, RILEM Recommendation MDT. D. 4: In-situ stress tests based on the flat jack, *Materials and Structures*, vol. 37, no. 7. pp. 491 – 496, 2004.
- [8] ASTM, ASTM C1197 - 14a: Standard Test Method for In Situ Measurement of Masonry Deformability Properties Using the Flatjack Method. 2014.
- [9] RILEM., RILEM Recommendation MDT. D. 5: In-situ stress - strain behaviour tests based on the flat jack, *Materials and Structures*, vol. 37, no. September 2004. pp. 497 – 501, 2005.
- [10] ASTM, ASTM C1531 - 16: Standard Test Methods for In Situ Measurement of Masonry Mortar Joint Shear Strength Index, *Changes*, vol. 04. pp. 1 – 7, 2003.
- [11] RILEM., RILEM Recommendations MS-D.6: In-situ measurement of masonry bed joint shear strength, *Materials and Structures*, vol. 29. pp. 459 – 475, 1996.
- [12] Lulić, L., Stepinac, M., Bartolac, M., and Lourenço, P. B., Review of the flat-jack method and lessons from extensive post-earthquake research campaign in Croatia, *Constr Build Mater*, vol. 384, p. 131407, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131407.
- [13] Stepinac, M., Lulić, L., Damjanović, D., Duvnjak, I., Bartolac, M., and Lourenço, P. B., Experimental Evaluation of Unreinforced Brick Masonry Mechanical Properties by the Flat-Jack Method – an Extensive Campaign in Croatia, *International Journal of Architectural Heritage*, pp. 1–18, May 2023, doi: 10.1080/15583058.2023.2208542.

