

# Tlačna čvrstoća tradicijskih zidova od nabijene zemlje: studija slučaja iz Aljmaša

Perić, A.<sup>1</sup>, Kraus, I.<sup>2</sup> i Krolo, P.<sup>3</sup>

## Sažetak

Ponašanje tradicijskih kuća od nabijene zemlje do danas je nedovoljno istraženo, a većina postojećih zemljanih građevina je u vrlo lošem stanju. Zbog nedostatka normi i smjernica za projektiranje zemljanih kuća, projektanti su često primorani koristiti norme za projektiranje zidanih i betonskih konstrukcija. Kako bi dobili saznanje o ponašanju tradicionalnih konstrukcija izgrađenih od nabijene zemlje, potrebno je utvrditi njihova osnovna mehanička svojstva. U ovom radu predstavljeno je laboratorijsko ispitivanje tlačne čvrstoće uzoraka prizme izrezanih iz većeg komada materijala prikupljenog na terenu. Prije ispitivanja provedena su preliminarna terenska istraživanja na području Istočne Hrvatske, u mjestu Aljmaš. Iz nekoliko zidova iste kuće od nabijene zemlje prikupljeni su materijali za pripremu ispitnih uzoraka. Provedbom ispitivanja uzoraka na tlak dobiveni su dijagrami odnosa sile i pomaka u smjeru tlačnog opterećenja. Na temelju najvećih tlačnih sila određene su tlačne čvrstoće, te je analiziran utjecaj udjela vlažnosti u materijalu na tlačnu čvrstoću.

**Ključne riječi:** nabijena zemlja, tlačna čvrstoća, udio vlažnosti, zemljana kuća, Istočna Hrvatska

---

<sup>1</sup> **Ana Perić, mag. ing. aedif.**, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Zavod za materijale i konstrukcije, Vladimira Preloga 3, 31000 Osijek, e-mail: [aperic@gfos.hr](mailto:aperic@gfos.hr)

<sup>2</sup> **Doc. dr. sc. Ivan Kraus, mag. ing. aedif.**, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Zavod za materijale i konstrukcije, Vladimira Preloga 3, 31000 Osijek, e-mail: [ikraus@gfos.hr](mailto:ikraus@gfos.hr)

<sup>3</sup> **Doc. dr. sc. Paulina Krolo, dipl. ing. građ.**, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Zavod za nosive konstrukcije i tehničku mehaniku, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka, e-mail: [paulina.krolo@uniri.hr](mailto:paulina.krolo@uniri.hr)

## 1 Uvod

Istočna Hrvatska je samo jedan primjer potresno aktivnog područja s mnogo kuća izrađenih tehnikom nabijanja zemlje. Postojeći fond zemljane arhitekture Slavonije i Baranje uglavnom se sastoji od kuća i gospodarskih objekata koji su napušteni i/ili u vrlo lošem stanju [1] – [4]. Iako stare i više od 100 godina, mnoge istočno hrvatske zemljane kuće izdržale su ratna razaranja i prirodne katastrofe. No, zbog nedostatka znanja o mogućnostima sanacije i/ili pojačanja, njihovi vlasnici su nerijetko primorani napustiti ih, srušiti ili, kada je moguće, prenamijeniti u gospodarske objekte.

Terenska istraživanja koja su proveli autori ([4] i [5]) ukazuju na postupno nestajanje zemljane arhitekture u Republici Hrvatskoj, a time i rizik od postupnog gubitka važnog dijela hrvatske kulturne baštine. Međutim, terenska istraživanja su ukazala i na želju za izgradnjom novih zemljanih kuća. Naime, primjena lokalno dostupnog građevnog materijala osigurava vrlo nizak ugljični otisak te direktno potiče i osigurava održivo građenje, a građenje zemljom je relativno jeftino i ne zahtjeva visoko napredne tehnologije [3]. Osim toga, dijelovi zemljanog zida, koji zbog djelovanja vanjskih utjecaja otpadnu na tlo, mogu se reciklirati i povratiti na oštećeno mjesto u kući.

Ipak, građenje novih te sanacije i pojačanja postojećih zemljanih kuća u Republici Hrvatskoj nisu moguća ili su otežana zbog nedostatka normi i smjernica za projektiranje zemljanih konstrukcija. U svijetu su projektanti zemljanih kuća često primorani koristiti se normama za projektiranje zidanih ili betonskih konstrukcija [3], [6]. No, Novi Zeland se može istaknuti kao zemlja koja je prva razvila vrlo detaljne norme za projektiranje zemljanih konstrukcija za stanovanje [3].

Nedavno je, prema spoznajama autora, provedeno prvo istraživanje potresnog ponašanja istočno hrvatske zemljane kuće primjenom računalnih simulacija ([6] i [7]). Međutim, fizikalna i mehanička svojstva materijala korištenog za izradu numeričkog modela preuzeta su iz dostupne strane literature. Naime, do sredine 2021. godine nisu bila poznata svojstva hrvatskih tradicijskih zemljanih mješavina. Nadalje, pregledom literature [3] ustanovljen je izrazito velik rasap fizikalnih i mehaničkih svojstava nestabilizirane zemlje korištene za izradu „nabijača“ (tj. kuća od nabijene zemlje).

Kako bi se omogućilo istraživanje potresnog ponašanja istočno hrvatskih zemljanih kuća kroz računalne simulacije, ali i eksperimentalna istraživanja, potrebno je poznavati svojstva lokalnih materijala i tradicijskih mješavina. Tek nedavno provedena su prva terenska i laboratorijska istraživanja fizikalnih i mehaničkih svojstava na uzorcima izdvojenih iz zidova od nabijene zemlje s područja Slavonije i Baranje ([4] i [5]). Ovaj rad je nastavak na spomenuta istraživanja, pri čemu je cilj ovoga rada, kao i prethodnih istraživanja popuniti prazninu u svjetskoj bazi fizikalnih i mehaničkih svojstava tradicijskih mješavina za izradu konstrukcija od nabijene zemlje.

U ovom radu predstavljeno je laboratorijsko ispitivanje tlačne čvrstoće na uzorcima zemljanog materijala prikupljenog tijekom terenskog istraživanja u Slavoniji i Baranji. Uz dopuštenje, iz iste ruševne kuće od nabijene zemlje prikupljen je materijal za pripremu ispitnih uzoraka. Provedbom ispitivanja uzoraka na tlak dobiveni su dijagrami odnosa sile i pomaka u smjeru tlačnog opterećenja. Na temelju najvećih tlačnih sila određene su tlačne čvrstoće, te je analiziran utjecaj udjela vlažnosti u materijalu na tlačnu čvrstoću.

## 2 Laboratorijsko ispitivanje

### 2.1 Prikupljanje materijala za izradu uzoraka i priprema uzoraka

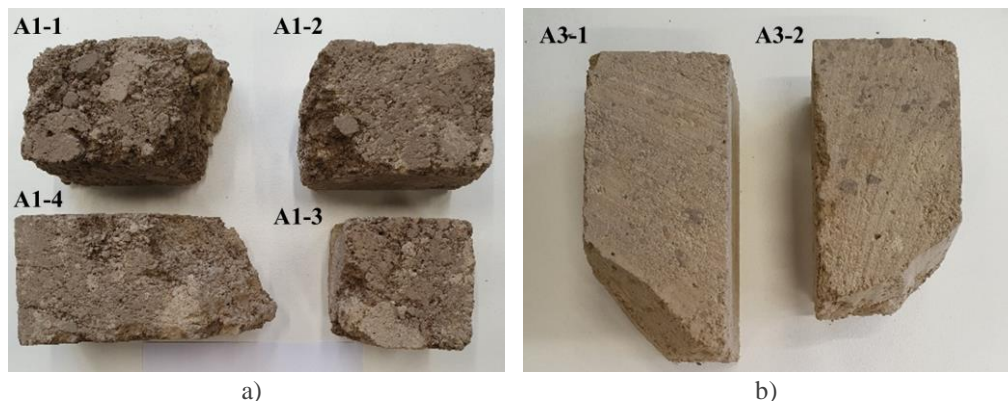
Preliminarna terenska istraživanja provedena su na području Istočne Hrvatske, u mjestu Aljmaš. Cilj provedbe terenskih istraživanja bio je prikupljanje materijala za pripremu ispitnih uzoraka. Komadi materijala uzeti su iz dva vanjska zida kuće od nabijene zemlje (slika 1). Osim tehnikom nabijanja zemlje, dijelovi kuće su izrađeni primjenom nepečene opeke (tj. ćerpiča). Prikupljeni materijal (veći komadi zida) je odmah nakon prikupljanja pohranjen u plastične vrećice te čuvan u laboratorijskim uvjetima do pripreme ispitnih uzoraka. Mješavine materijala su označene kao mješavina A1 koja odgovara materijalu prikupljenom iz zida smještenog u sjeni, te mješavina A3 koja odgovara materijalu koji je prikupljen iz zida smještenog na osunčanoj strani kuće. Sav materijal prikupljen je s visine od oko 25 cm iznad razine terena.

Udio vlažnosti u mješavinama određena je isti dan kada je provedeno prikupljanje materijala, te iznosi 3.87 % za mješavinu A1 i 2.90 % za mješavinu A3. Uzorci su potom kondicionirani u sobnim uvjetima u laboratoriju pri temperaturi od 20 °C i relativnoj vlažnosti zraka od 55 %. Trideset dana nakon prikupljanja uzoraka na terenu, provedeno je drugo mjerenje udjela vlažnosti. Utvrđeno je odstupanje od -27.13 % u odnosu na prvo mjerenje za mješavinu A1, te udio vlažnosti iznosi 2.82 %. Odstupanje udjela vlažnosti u mješavini A3 je -35.52 % u odnosu na prvo mjerenje, te ono iznosi 1.87 %. Udio vlažnosti u materijalu određen je prema normi BS 1377, dio 2 [8].



Slika 1. Tradicionalna kuća od nabijene zemlje u Aljmašu (Istočna Hrvatska)

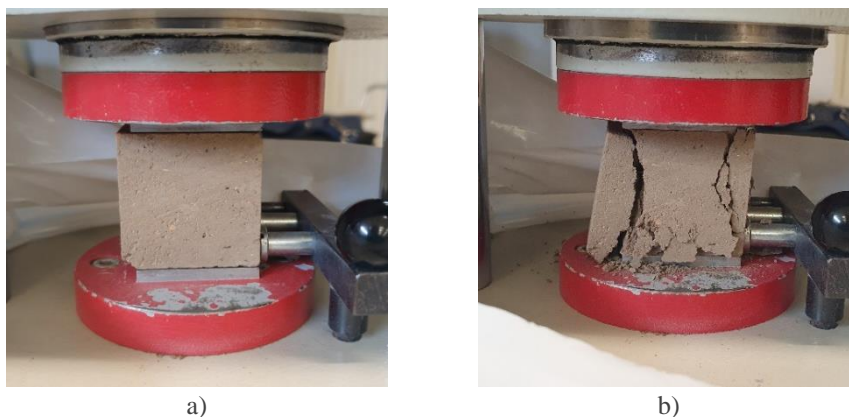
Iz većih komada materijala, koji su prikupljeni na terenu, izrezani su ispitni uzorci poprečnog presjeka približno 40×40 mm. Duljina ispitnih uzoraka je varirala. Komadi materijala su iskorišteni učinkovito koliko je to bilo moguće, s obzirom na oblik i veličinu. Iz mješavine materijala A1 izrezana su četiri ispitna uzorka, dok su iz mješavine A3 izrezana svega dva ispitna uzorka (slika 2). Uzorci su obilježeni oznakama A1-1, A1-2, A1-3 i A1-4, gdje prva oznaka definira mješavinu A1, a druga oznaka definira broj uzorka. Analogno vrijedi i za uzorke iz mješavine A3, gdje su uzorci označeni kao A3-1 i A3-2.



Slika 2. Ispitni uzorci izrađeni iz a) mješavine A1 i b) mješavine A3

## 2.2 Ispitivanje tlačne čvrstoće

Ispitivanja uzoraka od nabijene zemlje na jednoosni tlak provedena su u laboratoriju za materijale Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek, koristeći uređaj Shimatzu AG-X plus kapaciteta 50 kN. Budući da za zemljane materijale ne postoje norme s uputama za ispitivanje tlačne čvrstoće, autori su se vodili uputama danim u normi za ispitivanje čvrstoće cementnih uzoraka HRN EN 196-1 [9]. Uzorci nabijene zemlje (slika 2) promatrani su kao polovine slomljenih gredica za ispitivanje vlačne čvrstoće prema normi HRN EN 196-1. Međutim, gredice za ispitivanje vlačne čvrstoće nije bilo moguće izraditi zbog oblika i ograničene veličine prikupljenih komada nabijene zemlje. Ispitivanje je provedeno sve do sloma uzorka uz konstantni prirast pomaka, sukladno preporukama u normi HRN EN 196-1. Postava uzorka za ispitivanje prikazana je na slici 3a) prije ispitivanja te na slici 3b) nakon sloma uzorka. Tijekom svakog testa, mjerene su sile i pomaci gornje ploče u smjeru tlačnog opterećenja. Za prikupljanje mjernih podataka korišten je program Trapezium X [10].



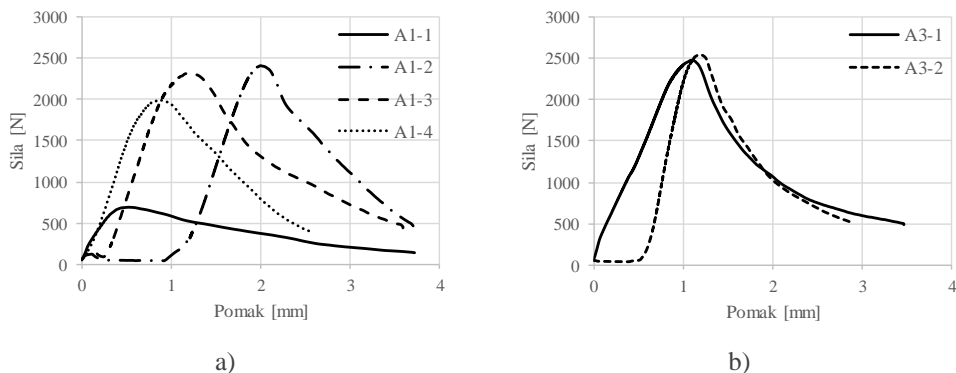
Slika 3. Postava uzorka A3-2 u ispitnom stroju Shimatzu AG-X 50 kN a) prije ispitivanja i b) nakon sloma uzorka

### 2.3 Rezultati ispitivanja

Kao rezultat ispitivanja uzoraka od nabijene zemlje na jednoosni tlak dobiveni su dijagrami odnosa sile i pomaka u smjeru tlačnog opterećenja, te su prikazani na dijagramima na slici 4a) za ispitne uzorke A1, te na slici 4b) za ispitne uzorke A3.

Budući da uzorci za ispitivanje tlačne čvrstoće nisu izrađeni u kalupima, nego su „krojjeni“ od većeg komada materijala, ne može se pretpostaviti da su svi istovjetno izvedeni, kao što bi bio slučaj da su izrađeni od vlažnog materijala u kalupu i zbijeni. Stoga je za očekivati da se vrijednosti nalaze u većem intervalu, kao što je to vidljivo iz samih dijagrama. Najveća tlačna sila za uzorak A1-1 iznosi 695 N, dok se za preostala tri uzorka iz mješavine A1, najveće tlačne sile kreću u rasponu od 2000 do 2500 N. Najveća tlačna sila izmjerena za uzorke iz mješavine A3 iznosi oko 2500 N.

Na temelju izmjerenih najvećih tlačnih sila, određene su tlačne čvrstoće za sve ispitne uzorke. Tlačna čvrstoća uzorka A1-1 iznosi 0.43 MPa, dok prosječna tlačna čvrstoća za preostala tri uzorka iznosi 1.4 MPa. Vizualnim pregledom uzorka A1-1 utvrđena je znatno veća poroznost materijala u odnosu na ostale uzorke, što je rezultiralo manjom tlačnom čvrstoćom. Stoga je uzorak A1-1 izuzet iz osrednjavanja rezultata. Prosječna tlačna čvrstoća uzoraka iz mješavine A3 je 1.57 MPa. Evidentno je da uzorci iz mješavine A1 s većim udjelom vlažnosti u materijalu (2.82 %) imaju za 10.83 % manju tlačnu čvrstoću u odnosu na uzorke A3 s manjim udjelom vlažnosti (1.87 %).



Slika 4. Dijagrami odnosa sile i pomaka za uzorke a) A1 i b) A3

### 3 Zaključak

Preliminarnim terenskim istraživanjem u mjestu Aljmaš, u Istočnoj Hrvatskoj, prikupljene su mješavine materijala od nabijene zemlje (mješavina A1 i A3). Potom je, odmah nakon prikupljanja materijala, određen udio vlažnosti. Svi uzorci su čuvani u zavezanim plastičnim vrećicama, u laboratorijskim uvjetima. Nakon 30 dana od prikupljanja materijala, provedena su laboratorijska ispitivanja uzoraka na djelovanje jedoosnog tlaka nakon čega je provedeno drugo mjerenje udjela vlažnosti u materijalu. Na temelju provedenih istraživanja donose se sljedeći zaključci:

- Materijal prikupljen u sjeni ima za gotovo 1 % veću vlažnost od materijala prikupljenog na osunčanoj strani kuće.
- Udio vlažnosti u materijalu izmjeren neposredno nakon prikupljanja materijala prosječno iznosi 3.40 %, dok nakon ispitivanja tlačne čvrstoće (30 dana nakon prvog mjerenja) iznosi 2.30 %. Iz navedenog je vidljivo da se pri kondicioniranju uzoraka u sobnim uvjetima laboratorija javilo smanjenje udjela vlažnosti za oko 30 %.
- Uzorak A1-1 pokazao je manju tlačnu čvrstoću u odnosu na ostale uzorke iz iste serije i to gotovo za 70 %. Vizualnim pregledom uzorka utvrđena je veća poroznost materijala u odnosu na ostale uzorke, što je rezultiralo smanjenu tlačnu čvrstoću.
- Uzorci iz mješavine A1 s većim udjelom vlažnosti u materijalu (2.82 %) imaju za 10.83 % manju tlačnu čvrstoću u odnosu na uzorke A3 s manjim udjelom vlažnosti (1.87 %).

## Zahvale

Ovaj rad sufinancirala je Hrvatska zaklada za znanost projektom UIP-2020-02-7363, pod nazivom „Nabijena zemlja za modeliranje i normizaciju u potresno aktivnim područjima“, te im se ovim putem zahvaljujemo.

## Literatura

- [1] Lončar-Vicković, S. i Stober, D.; Tradicijska kuća Slavonije i Baranje. Ministarstvo turizma Republike Hrvatske; Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek; 2011
- [2] Živković, Z.; Hrvatsko tradicijsko graditeljstvo. Ministarstvo kulture, Uprava za zaštitu kulturne baštine; 2013
- [3] Perić, A., Kraus, I., Kaluđer, J. i Kraus, L.; Experimental Campaigns on Mechanical Properties and Seismic Performance of Unstabilized Rammed Earth—A Literature Review; Buildings; 2021; 11; 1-21.
- [4] Perić, A. Charactzation of materials used for earth architecture in Eastern Croatia; 13th International Scientific Conference on Civil and Environmental Engineering – Mladi Vedec; High Tatras; Slovakia; 2021; 1-8 (in press)
- [5] Perić, A., Kraus, I. i Krstić, H.; Koeficijent toplinske provodljivosti tradicijske zemljane kuće iz Istočne Hrvatske: studija slučaja; Zajednički temelji; Mostar; Bosna i Hercegovina; 2021; 1-6 (under review)
- [6] Perić, A.; Potresno ponašanje zidova tradicijskih kuća od nabijene zemlje; Diplomski rad; Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek; Osijek; Hrvatska; 2020
- [7] Kraus, I., Perić, A., Kaluđer, J. i Kraus, L.; Seismic behavior of traditional Croatian earth architecture: a case study; Proceedings of 1st Croatian Conference on Earthquake Engineering, 1CroCEE; University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering; Zagreb; Croatia; 2021;1049-1058
- [8] BS 1377-2:1990; Methods of test for soils for civil engineering purposes - Classification tests; 1990
- [9] HRN EN 196-1:2005; Metode ispitivanja cementa - 1. dio: Određivanje čvrstoće; 2005
- [10] Shimadzu; Trapezium X Software Reference Manual; Tokyo; Japan; 2007