



9. savjetovanje Hrvatskog geotehničkog društva s međunarodnim sudjelovanjem i pod pokroviteljstvom ISSMGE-a
9th Conference of Croatian Geotechnical Society with international participation and under the auspices of ISSMGE
Geotehnika u epicentru – Petrinja 2020
SISAK, Croatia, 4. - 6. 5. 2023.
ISBN:xxxxxxxxxxxxx

POTRESNA OTPORNOST ZIDOVA OD NABIJENE ZEMLJE OKOMITO NA SVOJU RAVNINU: NA PRIMJERU KUĆE IZ KARANCA

OUT-OF-PLANE SEISMIC RESISTANCE OF RAMMED EARTH WALLS: ON A EXAMPLE OF A HOUSE FROM KARANAC

Dominik KATALINIĆ¹, Ivan KRAUS², Ana PERIĆ³, Ivana BRKANIĆ MIHIĆ⁴

SAŽETAK

Zemljana arhitektura s područja Slavonije i Baranje čini dio kulturne baštine Republike Hrvatske. Zemljana arhitektura ima i značajan globalni utjecaj jer 30 % svjetske populacije živi u zemljanim kućama. Zidovi izrađeni tehnikom nabijanja tla dobro podnose gravitacijska opterećenja, no imaju malu potresna otpornost. Do danas je proveden značajan broj ispitivanja na zidovima od nabijene zemlje koji su podvrgnuti djelovanju simuliranih potresnih opterećenja. Međutim, broj provedenih ispitivanja pri djelovanju sila okomito na ravninu zida vrlo je skroman. Koristeći računalni program ANSYS izrađeni su numerički modeli zidova od nabijene zemlje koji predstavljaju zidove karakteristične za područje Slavonije i Baranje. Varirana je debljina zidova, intenzitet vertikalnog opterećenja te mehanička svojstva materijala. Dobiveni rezultati sugeriraju da zidovi imaju dostatnu potresnu otpornost za referentno potresno opterećenje kakvo se očekuje u mjestu Karanac (Hrvatska).

Ključne riječi: zemljana arhitektura, krivulja sposobnosti nosivosti, nosivost okomito na svoju ravninu, zid od nabijene zemlje, ANSYS

ABSTRACT

Earthen architecture from the area of Slavonia and Baranja forms part of the cultural heritage of the Republic of Croatia. Earthen architecture also has a significant global impact, as 30% of the world's population lives in earthen houses. Walls made of rammed earth withstand gravity loads well, but their seismic resistance is very low. To date, a significant number of tests have been conducted on rammed earth walls subjected to simulated earthquake loads. However, the number of conducted out-of-plane seismic resistance tests of rammed earth walls is very modest. Numerical models of rammed earth walls, which represent the walls characteristic of the area of Slavonia and Baranja, were created using the computer program ANSYS. The thickness of the walls, the intensity of the vertical load and the mechanical properties of the material were varied. The obtained results suggest that the walls have sufficient seismic resistance for the reference seismic load expected in Karanac (Croatia).

Keywords: earthen architecture, bearing capacity curve, bearing capacity perpendicular to its plane, rammed earth wall, ANSYS

¹ student, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Osijek, Hrvatska, dkatalinic@gfos.hr

² izvanredni profesor, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Osijek, Hrvatska, ikraus@gfos.hr

³ doktorandica, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Osijek, Hrvatska, aperic@gfos.hr

⁴ docentica, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Osijek, Hrvatska, ibrkanic@gfos.hr

UVOD

Zemljana arhitektura s područja Slavonije i Baranje čini dio kulturne baštine Republike Hrvatske. Taj fond obuhvaća kuće izrađene od ćerpiča i nabijene zemlje. Zemljana arhitektura ima i značajan globalni utjecaj jer 30 % svjetske populacije pronalazi utočište upravo u zemljanim kućama (Kraus et al., 2020).

Tradicija građenja tlom prenosila se iz generacije u generaciju uglavnom usmenom predajom i bez nacрта ili pisanih uputa te je zbog toga danas sve teže pronaći ljude koji znaju izrađivati kuće od nabijene zemlje. Osim toga, u Hrvatskoj ne postoje norme za projektiranje konstrukcija od nabijene zemlje. Ipak, primjerice, Australija i Novi Zeland imaju norme i preporuke za građenje zemljanih kuća.

Tradicijska kuća Slavonije i Baranje obično je izgrađena koristeći opeku, ćerpič, nabijenu zemlju i pleter, a najčešće je to bila višeprostrorna prizemnica s jasno odijeljenim

Tablica 1. Kratki pregled provedenih istraživanja na zidovima od nabijene zemlje

Izvor	Država	Provedeno istraživanje
(Bui et al., 2016)	Francuska	Procjena potresnog ponašanja zidova primjenom numeričkog modela
(Bui et al., 2018)	Francuska	Numerički modeli zidova za procjenu dinamičkog ponašanja pri djelovanju potresa
(Silva et al., 2018)	Portugal	Ispitivanje nosivosti zidova pri djelovanju opterećenja okomito na njihovu ravninu
(Allahvirdizadeh et al., 2019)	Portugal	Procjena nosivosti pomoću numeričkih modela zidova od nabijene zemlje; ispitivanje provedeno pri djelovanju sila okomito na ravninu zidova
(Zhou & Liu, 2019)	Kina	Eksperimentalna studija provedena na modelu kuće od nabijene zemlje, ispitane na potresnom stolu
(Nguyen et al., 2021)	Vijetnam	Procjena potresnog ponašanja kuće od nabijene zemlje

Broj provedenih ispitivanja potresne otpornosti zidova od nabijene zemlje okomito na svoju ravninu vrlo je skroman. S ciljem da se baza rezultata ovakvih ispitivanja nadopuni, koristeći računalni program ANSYS izrađeni su numerički modeli zidova od nabijene zemlje koji predstavljaju zidove karakteristične za područje Slavonije i Baranje. Varirani su debljina zidova, intenzitet vertikalnog opterećenja te mehanička svojstva materijala. Na temelju

stambenim i gospodarskim dijelom (Lončar-Vicković & Stober, 2011). Tlo za gradnju najčešće se dobivalo iskapnjem bunara, jama za napajanje stoke ili podruma (Kraus et al., 2020). Takvo tlo se miješalo s vodom i pljevom kako bi bilo prikladno za građenje kuća. Tradicionalno, zidovi su ručno zbijani pomoću drvenih nabijača u slojeve debljine između 10 i 15 cm.

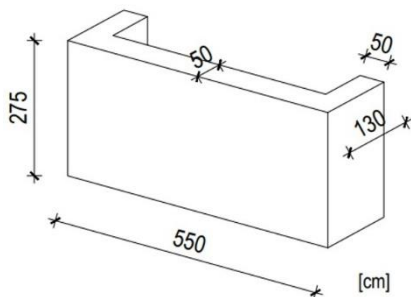
Nabijena zemlja vrlo je izdržljiv materijal, koji može opstati generacijama uz pravilo održavanje. To je ekološki razgradiv materijal, omogućava stvaranje lokalnih radnih mjesta (Bui et al., 2008) te pruža dobru toplinsku izolaciju i požarnu otpornost (Toufigh & Kianfar, 2019). Zidovi izrađeni tehnikom nabijanja tla dobro podnose gravitacijska opterećenja, no slabost im je potresna otpornost.

Tablica 1 daje osvrt na ispitivanja provedena na zidovima od nabijene zemlje koji su podvrgnuti djelovanju simuliranih potresnih opterećenja.

provedenih numeričkih ispitivanja određena je sposobnost nosivosti zidova. Uz to, procijenjene su razine oštećenja. Dobiveni rezultati sugeriraju da zidovi imaju dostatnu potresnu otpornost za referentno potresno opterećenje kakvo se očekuje u mjestu Karanac, Hrvatska (<http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/>, pregledano 23. 2. 2023.).

NUMERIČKI MODELI

Koristeći računalni program ANSYS (ANSYS Inc., 2022) izrađeno je dvanaest numeričkih modela zidova s krilima (Slika 1). Svi zidovi oponašaju dijelove jednokatnih tradicijskih zemljanih kuća s područja Slavonije i Baranje, a razlikuju se s obzirom na debljinu, gravitacijsko opterećenje koje preuzimaju te svojstva materijala.



Slika 1. Prikaz promatranog zida debljine 50 cm

Za zidove su odabrane dimenzije i oblik sukladno zatečenom stanju na terenu s područja Slavonije i Baranje. Dimenzije krila zidova su proračunate. Prema (Lončar-Vicković & Stober, 2011) debljine zidova od nabijene zemlje na području Slavonije i Baranje kreću se u rasponu između 50 i 70 cm. Rezultati istraživanja koja su proveli Perić i Kraus (Perić, 2021; Perić et al., 2021) navode da zidovi od nabijene zemlje mogu biti i 40 cm debljine. Za potrebe ove studije usvojene su sljedeće debljine zidova: 40 cm, 50 cm i 60 cm. Debljina zida od 50 cm pretpostavlja se najčešćom za promatrano područje. Što se tiče dužine i visine zida, ne postoji jasna preporuka. Ipak, na temelju pregleda literature (Lončar-Vicković & Stober, 2011; Živković, 2013) i koristeći rezultate terenskih istraživanja provedenih u okviru projekta UIP-2020-02-7363, utvrđeno je da se dužina zidova tradicijskih zemljanih kuća s područja Slavonije i Baranje kreće u rasponu od 450 do 1000 cm, dok se visine zidova kreću u rasponu od 220 i 340 cm. Na temelju navedenoga za sve zidove promatrane u ovome radu usvojena je dužina od 550 cm te visina od 275 cm.

Dimenzije krila zidova određena su prema postupku koji je opisao Katalinić (Katalinić, 2022). Tako zidovi debljine 40 cm, 50 cm i 60 cm,

kakvi su promatrani u ovome radu imaju krila dužine redom 120 cm, 130 cm i 140 cm.

Gravitacijskim opterećenjem u obzir je uzeta vlastita težina krovne konstrukcije, pokriva te međukatne konstrukcije tradicijske kuće od nabijene zemlje karakteristične za područje Slavonije i Baranje. Uz to gravitacijskim opterećenjem u obzir je uzeto i promjenjivo opterećenje, što podrazumijeva korisnike tavanskih prostorija te žitarice kakve se obično skladište u tavanskim prostorijama. Djelovanje snijega i vjetra nije uzeto u obzir jer se ono ne kombinira s potresnim opterećenjem sukladno HRN EN 1998-1:2011. Nakon provedenog proračuna gravitacijskog opterećenja usvojene su dvije vrijednosti: prva koja iznosi 0,125 MPa (na slikama oznaka L) i druga, dvostruko veća vrijednost u iznosu od 0,25 MPa (na slikama oznaka H). Prva vrijednost predstavlja najmanje očekivano opterećenje, dok druga vrijednost predstavlja najveće očekivano opterećenje na vrhu zida.

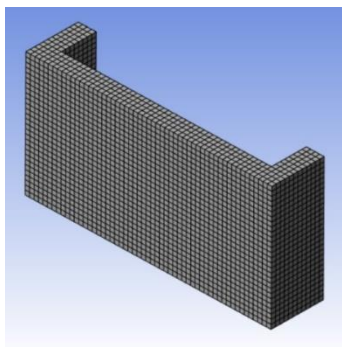
Za zidove tradicijskih zemljanih kuća kakve se obično pojavljuju na području Slavonije i Baranje, izrađene su dvije skupine modela s različitim svojstvima materijala. Prvi korišteni materijal predstavlja pesimistično stanje na terenu, tj. pretpostavljen je materijal s niskim vrijednostima mehaničkih svojstava (dalje u tekstu slabi materijal, na slikama oznaka W). Drugi korišteni materijal predstavlja optimistično stanje na terenu, tj. korišten je materijal s relativno visokim vrijednostima mehaničkih svojstava (dalje u tekstu jaki materijal, na slikama oznaka S). Za potrebe ovog istraživanja podatci o materijalu preuzeti su iz dostupne literature. U nastavku je opisan odabir, ali i procjena potrebnih mehaničkih svojstava jakog materijala. U načelu, svojstva jakog materijala definirana kao funkcija tlačne čvrstoće. Mehanička svojstva slabog materijala također su definirana kao funkcija tlačne čvrstoće, pri čemu je usvojena dvostruko manja tlačna čvrstoća jakog materijala. Svi ostali parametri usvojeni su prema preporukama iz dostupne literature. Prema Perić (Perić, 2021) prosječna tlačna čvrstoća materijala od kojega su izrađeni zidovi u istočnoj Hrvatskoj iznosi 2 MPa. Vlačna čvrstoća može se usvojiti kao 10 % tlačne čvrstoće (Bui et al., 2014). Vršna kohezija može se pretpostaviti kao dvostruka vrijednost

vlačne čvrstoće (Miccoli et al., 2016). Kut dilatacije usvojen je jednak 12° (Bui et al., 2015). Reziidualni kut unutarnjega trenja i kohezija proračunani su koristeći ranije navedene podatke i iznose redom $18,26^\circ$ i $0,23$ MPa. Modul elastičnosti određen je prema preporukama koje daju Bui i suradnici (Bui et al., 2016) te Aguilar i suradnici (Aguilar et al., 2019):

$$E=400 \cdot f_c=450 \cdot 2=900 \text{ MPa}$$

Za sve zidove usvojena je specifična gustoća od 1750 kg/m^3 , što je karakteristična specifična gustoća materijala s područja istočne Hrvatske (Perić, 2021).

Modeli zidova izrađeni su u računalnom programu ANSYS. Svaki zid upet je u podnožju. Svi zidovi podijeljeni su na konačne elemente veličine $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ (Slika 2). Svaki zid opterećen je na polovici visine monotono rastućim horizontalnim opterećenjem koje djeluje paralelno s krilima zida.



Slika 2. Numerički model zida i podjela na konačne elemente

REZULTATI

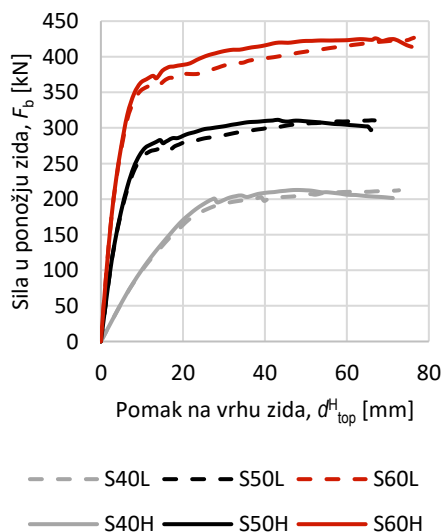
U nastavku su za promatrane modele zidova korištene oznake poput S40L, pri čemu prvo slovo predstavlja jaki (engl. Strong), odnosno slabi (engl. Weak) konstrukcijski materijal, broj predstavlja debljinu zida izraženu u centimetrima (40 cm, 50 cm i 60 cm), dok se posljednje slovo odnosi na veliko opterećenje (engl. High), odnosno malo opterećenje (engl. Low).

Slika 3 prikazuje krivulje sposobnosti nosivosti za zidove s jakim materijalom. Pregledom odziva zidova moguće je zaključiti da se pri

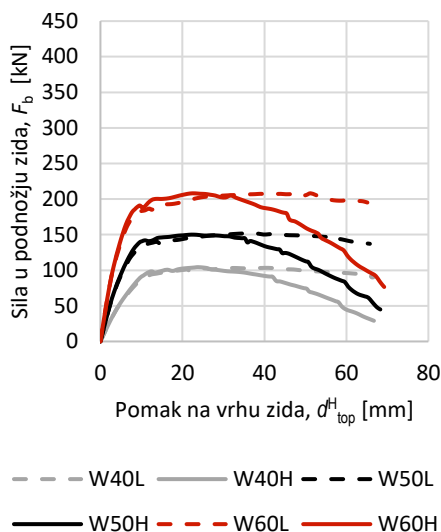
povećanju debljine zida za 10 cm nosivost u prosjeku poveća za 100 kN, što se smatra značajnim povećanjem. Također, kada je u pitanju jaki materijal, ustanovljeno je da intenzitet gravitacijskog opterećenja ne doprinosi značajno nosivosti. Krutost raste s povećanjem debljine zida.

Slika 4 prikazuje krivulje sposobnosti nosivosti za zidove sa slabim materijalom. Ovi zidovi pokazuju drugačije ponašanje u odnosu na zidove izrađene od jakog materijala, i to prvenstveno u sposobnosti nosivosti, ali i ponašanju nakon dostizanja vršne nosivosti. Kod zidova sa slabim materijalom koji prenose veće gravitacijsko opterećenje uočen je najbrži pad nosivosti nakon dostizanja vršne nosivosti. Krutost zidova kao i njihova nosivost rastu s povećanjem debljine zida.

Koristeći krivulje sposobnosti nosivosti i zahtjevani spektar odziva koji je definiran za promatrano područje moguće je procijeniti razinu oštećenja za promatrane zidove. Kao referentno područje za građenje zidova odabrano je selo Karanac koje se nalazi na području Baranje. U ovome selu je prilikom terenskog istraživanja uočen vrlo velik broj zemljanih kuća.



Slika 3. Krivulje sposobnosti nosivosti za zidove s jakim materijalom (S): L označava gravitacijsko opterećenje od $0,125 \text{ MPa}$, a H od $0,250 \text{ MPa}$



Slika 4. Krivulje sposobnosti nosivosti za zidove sa slabim materijalom (W): L označava gravitacijsko opterećenje od 0,125 MPa, a H od 0.250 MPa

Uz pretpostavku da su promatrani zidovi dio kuće namijenjene stanovanju, zahtijevani spektar je izrađen za faktor važnosti γ_i koji iznosi 1.0 (HRN EN 1998-1:2011). Također, pretpostavljeno je da se promatrano područje nalazi se na tlu kategorije B. Usvojena je vrijednost faktora ponašanja $q = 1.5$. Ovaj faktor predstavlja mogućnost konstrukcije da apsorbira i troši energiju unesenu u konstrukciju tijekom potresa (Čaušević, 2010). Pomoću ovog faktora izbjegava se iznimno složeni nelinearni proračun konstrukcije.

Najveće očekivano ubrzanje temeljnog tla očitano je s karte potresnih područja u Republici Hrvatskoj s povratnim razdobljem od 475 godina (HRN EN 1998-1:2011):

$$a_{gR} = 0.112 \cdot g = 1.01 \text{ m/s}^2$$

Proračunsko ubrzanje tla proračunato je na sljedeći način (EN 1998-1:2011, 2011):

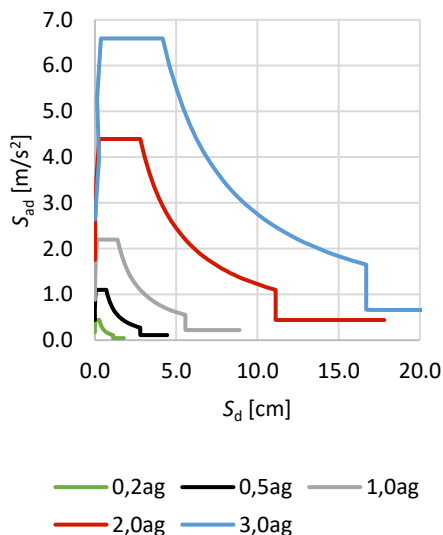
$$a_g = \gamma_i \cdot a_{gR} = 1.0 \cdot 1.01 = 1.01 \text{ m/s}^2$$

Uz očekivano najveće proračunsko ubrzanje temeljnog tla (dalje u tekstu referentno ubrzanje 1.0ag), u nastavku (Tablica 2) razmotrene su i druge razine mogućeg ubrzanja tla kao udio referentnog ubrzanja (0.2ag, 0.5ag, 2.0ag i 3.0ag). Proračunski spektri odziva za horizontalne komponente potresnog

djelovanja definirani su i proračunani prema HRN EN 1998-1:2011 (Slika 5).

Tablica 2. Ubrzanja tla različitih intenziteta

Oznaka intenziteta potresnog djelovanja	Proračunsko ubrzanje, a_g [m/s ²]
0.2ag	0.202
0.5ag	0.505
1.0ag	1.01
2.0ag	2.02
3.0ag	3.03



Slika 5. Elastični spektri odziva za različite intenzitete potresnog djelovanja

Preklapanje dobivenih krivulje sposobnosti nosivosti i definiranih spektra odziva mogu se dobiti točke odziva konstrukcije (presjecišta dviju krivulja). Upravo pomoću tih točaka moguće je procijeniti međukatne pomake zidova za određenu potresnu situaciju na određenoj lokaciji (Bui et al., 2016):

$$\Delta = \frac{d_{top}^H}{H}$$

gdje je Δ međukatni pomak, d_{top}^H horizontalni pomak vrha zida, a H visina promatranog zida.

Razina oštećenja promatranih zidova definirana je sukladno preporukama danim u dostupnoj literaturi i to kroz usporedbu proračunatih i graničnih vrijednosti međukatnih pomaka. S obzirom da nedostaju normirane preporuke za

zemljane konstrukcije, korištene su preporuke dane za zidane konstrukcije. Za međukatne pomake Calvi predlaže tri granična stanja oštećenja (engl. *Limit State*) za zidane konstrukcije (Calvi, 1999):

- a) LS2 – mala konstrukcijska oštećenja i/ili umjerena oštećenja nekonstrukcijskih dijelova. Građevina se može koristiti nakon potresa. Nisu potrebni značajniji popravci ili ojačanja konstrukcijskih elemenata. Granična gornja granica međukatnog pomaka za ovo stanje je 0.1 %.
- b) LS3 – značajna konstrukcijska oštećenja i velika šteta na nekonstrukcijskim elementima. Građevina nije pogodna za korištenje prije nego li se provedu svi potrebni popravci. Moguć je popravak i obnova konstrukcije. Granična gornja granica međukatnog pomaka za ovo stanje je 0.3 %.
- c) LS4 – urušavanje; popravak nije moguć i nije isplativ. Konstrukcija mora biti srušena nakon djelovanja potresa.

Urušavanje građevine može ugroziti ljudski život. Granična gornja granica međukatnog pomaka za ovo stanje je 0.5 %.

U Tablici 3 i 4 prikazani su međukatni pomaci na temelju kojih je procijenjeno oštećenje modeliranih zidova.

Pregledom Tablice 3, uočeno je da zidovi s jakim materijalom te debljinom većom od 40 cm neće pretrpjeti oštećenja čak ni pri djelovanju potresa s ubrzanjem od 3 m/s^2 . Međutim, zidovi s jakim materijalom i debljinom od 40 cm će pretrpjeti mala do umjerena oštećenja pri potresima s ubrzanjem temeljnog tla većim od 1 m/s^2 . Nadalje, pregledom Tablice 4, uočeno je da zidovi sa slabim materijalom uglavnom neće pretrpjeti oštećenja pri djelovanju potresa s ubrzanjem manjim od 1 m/s^2 . Međutim, zidovi sa slabim materijalom uglavnom će pretrpjeti mala oštećenja pri potresima s ubrzanjem temeljnog tla a_g od 1 m/s^2 do 3 m/s^2 . Zidovi sa slabim materijalom i debljinom od 40 cm pretrpjet će umjerena oštećenja pri potresima s ubrzanjem temeljnog tla većim od 2 m/s^2 .

Tablica 3. Procjena oštećenja zidova s jakim materijalom

Oznaka intenziteta potresnog djelovanja	Vrijednost međukatnog pomaka [%], procjena oštećenja					
	S40L	S40H	S50L	S50H	S60L	S60H
0.2ag	0.0211 bez oštećenja	0.0211 bez oštećenja	0.0051 bez oštećenja	0.0051 bez oštećenja	0.0036 bez oštećenja	0.0036 bez oštećenja
0.5ag	0.0527 bez oštećenja	0.0527 bez oštećenja	0.0138 bez oštećenja	0.0138 bez oštećenja	0.0091 bez oštećenja	0.0091 bez oštećenja
1.0ag	0.1055 mala oštećenja	0.1055 mala oštećenja	0.0276 bez oštećenja	0.0276 bez oštećenja	0.0185 bez oštećenja	0.0185 bez oštećenja
2.0ag	0.2109 mala oštećenja	0.2109 mala oštećenja	0.0553 bez oštećenja	0.0553 bez oštećenja	0.0367 bez oštećenja	0.0367 bez oštećenja
3.0ag	0.3156 umjerena oštećenja	0.3156 umjerena oštećenja	0.0818 bez oštećenja	0.0818 bez oštećenja	0.0553 bez oštećenja	0.0553 bez oštećenja

Tablica 4. Procjena oštećenja zidova sa slabim materijalom

Oznaka intenziteta potresnog djelovanja	Vrijednost međukatnog pomaka [%], procjena oštećenja					
	W40L	W40H	W50L	W50H	W60L	W60H
0.2ag	0.0229 bez oštećenja	0.0229 bez oštećenja	0.0145 bez oštećenja	0.0145 bez oštećenja	0.0098 bez oštećenja	0.0098 bez oštećenja
0.5ag	0.0567 bez oštećenja	0.0567 bez oštećenja	0.0367 bez oštećenja	0.0367 bez oštećenja	0.0255 bez oštećenja	0.0255 bez oštećenja
1.0ag	0.1135 mala oštećenja	0.1135 mala oštećenja	0.0731 bez oštećenja	0.0731 bez oštećenja	0.0505 bez oštećenja	0.0505 bez oštećenja
2.0ag	0.2273 mala oštećenja	0.2273 mala oštećenja	0.1462 mala oštećenja	0.1462 mala oštećenja	0.1015 mala oštećenja	0.1015 mala oštećenja
3.0ag	0.3985 umjerena oštećenja	0.3793 umjerena oštećenja	0.2196 mala oštećenja	0.2182 mala oštećenja	0.1520 mala oštećenja	0.1513 mala oštećenja

ZAKLJUČAK

Zemljana arhitektura predstavlja dom velikom broju ljudi diljem svijeta. Konstrukcije, konkretno zidovi, od nabijene zemlje dobro podnose gravitacijska opterećenja i zato mogu, u određenim situacijama, parirati danas konvencionalnim građevinskim materijalima kao što su čelik i beton. Međutim, zidovi od nabijene zemlje relativno loše podnose bočna opterećenja (npr. potres), što se smatra glavnim nedostatkom ovoga materijala.

Do danas su provedena brojna ispitivanja fizikalnih i mehaničkih svojstava na uzorcima izrađenim od mješavina tla s dodatcima kako bi se izgradilo dodatno znanje o ovome prirodnom materijalu i njegovoj primjenjivosti u području projektiranja konstrukcija zgrada izrađenih tehnikom nabijanja tla. Postoje i brojna provedena istraživanja u okviru kojih je promatrana otpornost zidova opterećenih simuliranim potresnim silama u njihovoj ravnini, dok je opseg istraživanja zidova opterećenih simuliranim potresnim silama okomito na njihovu ravninu vrlo oskudan.

Rezultati provedenog istraživanja pokazuju da pri djelovanju potresnog opterećenja okomito na ravninu zida zidovi od nabijene zemlje debljine veće od 40 cm mogu biti neoštećeni i

nakon potresanja temeljnog tla s ubrzanjem manjim od 2 m/s^2 . Međutim, potrebno je provesti dodatna istraživanja, kako numerička, tako i eksperimentalna, kako bi se zaključci doneseni u okviru ovog rada dodatno provjerili i eventualno potvrdili.

Područje Slavonije i Baranje bogato je tradicijskim kućama od nabijene zemlje. Međutim, u Republici Hrvatskoj tlo se ne smatra normiranim građevinskim materijalom i ne postoje norme i pravila prema kojima bi se zemljane konstrukcije očuvale, obnovile ili projektirale. U okviru HRZZ projekta Nabijena zemlja za modeliranje i normizaciju u potresno aktivnim područjima – RE-forMS (UIP-2020-02-7363) nastoji se ukazati na postojeće stanje u Slavoniji i Baranji te u konačnici izraditi nacrt odgovarajuće norme za projektiranje zidova od nabijene zemlje.

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.

REFERENCE

- Aguilar, R., Noel, M. F. & Ramos, L. F., 2019. Integration of reverse engineering and non-linear numerical analysis for the seismic assessment of historical adobe buildings. *Automation of Construction*, 13. Studeni.
- Allahvirdizadeh, R., Oliveira, D. V. & Silva, R. A., 2019. Numerical modeling of the seismic out-of-plane response of a plain and TRM-strengthened rammed earth subassembly. *Engineering Structures*, 9. Svibanj.
- ANSYS Inc., 2022. ANSYS Academic Research Mechanical, Release 2022 R2, Help System, Coupled.
- Bui, Q. B., Bui, T. T. & Liman, A., 2016. Assessing the seismic performance of rammed earth walls by using discrete elements. *Cogent Engineering*.
- Bui, Q. B., Morel, J. C., Venkatarama Reddy, B. V. & Ghayad, W., 2008. Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering. *Building and Environment*, 2. Lipanj.
- Bui, Q.-B., Limam, A. & Bui, T.-T., 2018. Dynamic discrete element modelling for seismic assessment of rammed earth walls. *Engineering Structures*, 24. Kolovoz.
- Bui, T. T., Bui, Q. B., Limam, A. & Maximilien, S., 2014. Failure of rammed earth walls: From observations to quantifications. *Construction and Building Materials*.
- Bui, T. T., Bui, Q. B. & Morel, J. C., 2015. Modeling rammed earth wall using discrete element method. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 22. Srpanj.
- Calvi, G. M., 1999. A displacement-based approach for vulnerability evaluation of classes of buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 1. Ožujak.
- Čaušević, M., 2010. *Dinamika konstrukcija*. Zagreb: Golden marketing - Tehnička knjiga.
- EN 1998-1:2011, 2011. Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade.
- Kraus, I., Perić, A., Kaluđer, J. & Kraus, L., 2021. Seismic behaviour of traditional Croatian earth architecture. Zagreb, 1st Croatian Conference of Earthquake Engineering.
- Kraus, I., Perić, A. & Kraus, L., 2020. Failure mechanisms of rammed earth walls. Slavonski Brod.
- Lončar-Vicković, S. & Stober, D., 2011. Tradicijska kuća Slavonije i Baranje - priručnik za obnovu. Osijek.
- Miccoli, L., Drougkas, A. & Muller, U., 2016. In plane behaviour of rammed earth under cyclic loading: Experimental testing and finite element modelling. *Engineering Structures*, 8. Srpanj.
- Nguyen, T.-D. i dr., 2021. Evaluation of seismic performance of rammed earth building and improvement solutions. *Journal of Building Engineering*, 8. Kolovoz.
- Perić, A., 2021. Characterization of materials used for earth architecture in Eastern Croatia. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.
- Perić, A., Kraus, I., Kaluđer, J. & Kraus, L., 2021. Experimental Campaigns on Mechanical Properties and Seismic Performance of Unstabilized Rammed Earth - A Literature Review. *Buildings*, 18. Kolovoz.
- Perić, A., Kraus, I. & Krolo, P., 2021. Tlačna čvrstoća tradicijskih zidova od nabijene zemlje: studija slučaja iz Aljmaša. Rijeka.
- Silva, R. A. i dr., 2018. Evaluating the seismic behaviour of rammed earth buildings from Portugal: From simple tools to advanced approaches. *Engineering Structures*, 11. Prosinac.
- Toufigh, V. & Kianfar, E., 2019. The effects of stabilizers on the thermal and the mechanical properties of rammed earth at various humidities and their environmental impacts. *Construction and Building Materials*, 11. Prosinac.
- Zhou, T. & Liu, B., 2019. Experimental study on the shaking table tests of a modern inner-reinforced rammed earth structure. *Construction and Building Materials*, 12. Siječanj.
- Živković, Z., 2013. *Hrvatsko tradicijsko graditeljstvo*. Zagreb: Ministarstvo kulture.