

RE-forMS

rammed earth for modelling and standardization
in seismically active areas



HRZZ

Hrvatska zaklada
za znanost

Zidovi uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti i pripadni računalni modeli	
Naziv projekta:	Nabijena zemlja za modeliranje i normizaciju u potresno aktivnim područjima
Akronim:	RE-forMS
Šifra projekta:	UIP-2020-02-7363
Ustanova s kojom je sklopljen ugovor o financiranju:	Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek
Partnerske ustanove:	Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
Voditelj:	izv. prof. dr. sc. Ivan Kraus
Izveštajno razdoblje:	3. razdoblje
Oznaka izvještaja:	D1
Sadržaj:	Izrada zidova uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti i ispitivanje nosivosti na djelovanje monotonorastuće sile okomito na ravninu zida. Rezultati ispitivanja koeficijenta prolaska topline.
Autori izvještaja:	Ana Perić Fekete, izv. prof. dr. sc. Ivan Kraus, Lucija Kraus, Mihaela Domazetović, doc. dr. sc. Marin Grubišić, dr. sc. Jelena Kaluđer
Datum:	7. 1. 2024.

Ovaj je materijal sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom UIP-2020-02-7363. Sadržaj ili preporuke navedene u ovom materijalu odnose se na autora i ne odražavaju nužno stajališta Hrvatske zaklade za znanost.

Sažetak:

U posljednjem kvartalu 2023. godine uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti izrađena su dva zida, od čega je jedan bio od nabijene zemlje, zidovi W5-OoP. Na tom zidu je tijekom prosinca 2023. godine te siječnja 2024. godine vršeno mjerenje prolaska topline. Zid W3 i W4 srušeni su u prvome kvartalu 2023. godine primjenom monotono rastuće horizontalne sile okomito na njihovu ravninu. U drugoj polovici 2023. godine uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti izrađen je zid od nabijene zemlje W5-OoP. Na tom zidu je tijekom prosinca 2023. godine izvršeno mjerenje prolaska topline. Svi zidovi izrađeni su tradicijskom tehnikom nabijanja zemlje u drvenu oplatu. U ovom izvještaju pokazani su rezultati dobiveni prilikom rušenja zidova W3-OoP i W4-OoP te rezultati ispitivanja toplinske provodljivosti na zidu W5-OoP. Ispitivanje zrakopropusnosti zidova započeto je krajem trećeg razdoblja planiran nastavak je u početnim mjesecima idućeg izvještajnog razdoblja.

Ključne riječi: toplinska provodljivost, opterećenje okomito na ravninu zida

Ovaj materijal sufinancirala je Hrvatska zaklada za znanost projektom UIP-2020-02-7363. Sadržaj ili preporuke navedene u ovom materijalu odnose se na autora i ne odražavaju nužno stajališta Hrvatske zaklade za znanost.

Imajte na umu da je izvođenje testova zahtijevalo znatan napor istraživačkog tima RE-forMS, djelatnika Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek i partnerskih institucija. Ako ostvarite vrijedne rezultate iz ovih podataka, molimo navedite referencu na relevantne publikacije.

Popis svih publikacija proizašlih iz okvira aktivnosti provedenih na projektu RE-forMS moguće je vidjeti na sljedećoj internetskoj stranici:

<https://www.croris.hr/projekti/projekt/5837>

U slučaju bilo kakvih nedoumica i/ili ako u izvještaju nedostaju određene informacije koje bi vam mogle biti od koristi prilikom primjene dostupnih podataka proizašlih iz projekta RE-forMS, molimo kontaktirati voditelja projekta RE-forMS: dr. sc. Ivan Kraus, ikraus@gfos.hr.

Abstract:

In the last quarter of 2023, two walls, one of them made of rammed earth, wall W5-OoP, were built next to the air permeability test chamber. The thermal transmittance of this wall was measured in December 2023 and January 2024. Walls W3 and W4 were demolished in the first quarter of 2023 by applying a monotonically increasing horizontal force perpendicular to their plane. In the second half of 2023, a rammed earth wall W5-OoP was erected next to the air permeability test chamber. The thermal transmittance of this wall was measured in December 2023. All walls were built using the traditional technique of tamping earth into a wooden formwork. This report shows the results obtained during the demolition of the W3-OoP and W4-OoP walls and the results of the thermal conductivity test on the W5-OoP wall. Testing of the air permeability of the walls began at the end of the third reporting period and will continue in the first few months of the next reporting period.

Key words: thermal conductivity, out-of-plane loading

This material was co-financed by the Croatian Science Foundation under the project UIP-2020-02-7363. The content or recommendations in this material are those of the author and do not necessarily reflect the views of the Croatian Science Foundation.

Please note that conducting the tests required a significant effort from the RE-forMS research team, the staff of the Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek and the partner institutions. If you derive valuable results from this data, please cite the relevant publications.

The list of all publications resulting from the activities within the RE-forMS project can be found on the following website:

<https://www.croris.hr/projekti/projekt/5837>

If you have any doubts and/or if certain information is missing from the report that could be useful to you in applying the available data from the RE-forMS project, please contact the RE-forMS project leader: Dr. sc. Ivan Kraus, ikraus@gfos.hr.

Sadržaj

1. Uvod.....	5
2. Ispitivanje potresne otpornosti zidova W3-OoP i W4-oOp pri djelovanju monotono rastućeg opterećenja okomito na njihovu ravninu	5
3. Izgradnja zida W5 uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti	8
4. Rezultati preliminarnog ispitivanja koeficijenta prolaska topline za zid W5-OoP	11
5. Rezultati ispitivanja koeficijenta toplinske provodljivosti.....	13
6. Zaključak	16
Literatura.....	16

1. Uvod

Provedeno je rušenje dva zemljana zida, W3-OoP i W4-OoP, opterećena monotonorastućim opterećenjem okomito na njihovu ravninu. Na tim zidovima je u prethodnom razdoblju i ovom razdoblju provedeno ispitivanje zrakopropusnosti i toplinske provodljivosti. Nakon rušenja zidova W3-OoP i W4-OoP izrađen je novi zid zida, W5-OoP na kojemu je provedeno ispitivanje zrakopropusnosti i toplinske provodljivosti nakon sušenja. Svi promatrani zidovi debeli su 40 cm, izrađeni su tradicijskom tehnikom nabijanja zemlje, pri čemu je zbijanje zidova provedeno ručnim nabijačima. Za zidove W3-OoP i W4-OoP pripremljeni su nelinearni računalni modeli u programu ANSYS za procjenu ponašanja zidova.

2. Ispitivanje potresne otpornosti zidova W3-OoP i W4-oOp pri djelovanju monotono rastućeg opterećenja okomito na njihovu ravninu

Dva zida dimenzija 40 x 250 x 250 cm, zidovi W3-OoP W4-OoP, ispitani su na djelovanje opterećenja okomito na ravninu. Primijenjena je opcija rušenja guranjem pomoću hidraulične prese, za što je brzo i jednostavno pripremljen oslonac koristeći postojeće dostupne čelične elemente u laboratoriju Fakulteta. Opterećenje je nanošeno pomoću ručno kontrolirane hidrauličke preše u razini 2/3 svjetle visine zida, što je česta situacija unosa potresne sile u građevinske konstrukcije (slika 2.1). Unos sile bilježen je pomoću mjerne ćelije kapaciteta 200 kN. Uz to, pomaci su mjereni u tri točke po visini zida ($\frac{1}{4}$ visine, $\frac{1}{2}$ visine i $\frac{3}{4}$ visine), i to na oba ruba zida radi bolje kontrole. Mjeren je i pomak u centru zida, neposredno ispod točke unosa sile. Svi pomaci mjereni su pomoću LVDT-a s hodom mjerne igle od 15 cm. Opterećenje je nanošeno kao monotono rastuće do sloma.



Slika 2.1 Prikaz unosa opterećenja okomito na ravninu zida

Prije ispitivanja, zabilježeno je stanje zidova od nabijene zemlje godinu dana nakon izvedbe (slika 2.2). Uočeno je da su zidovi u velikoj mjeri ostali cjeloviti i postojani, uz pojedina oštećenja uglova zidova. Međutim, pretpostavljamo da bi se redovnim održavanjem, u slučaju stvarne konstrukcije, i takva oštećenja mogla sanirati te bi se konstrukcija mogla neometano upotrebljavati.



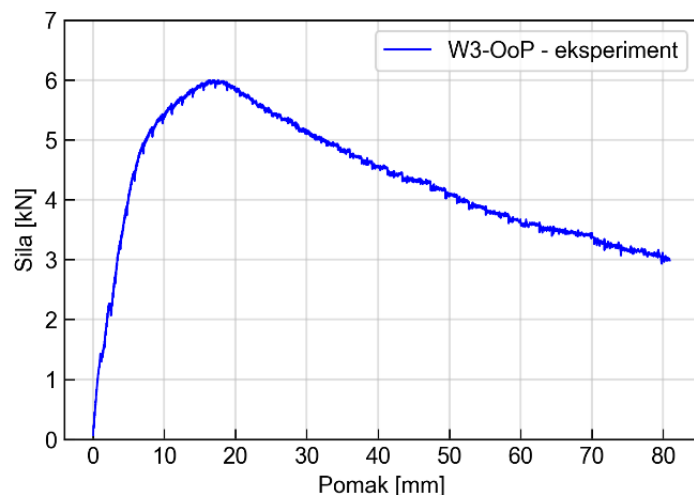
a) Zid od nabijene zemlje W3-OoP (zapadni zid)



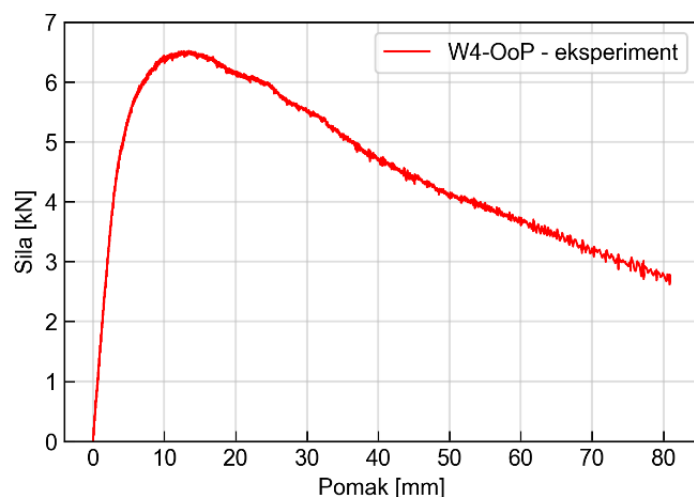
b) Zid od nabijene zemlje W4-OoP (istočni zid)

Slika 2.2 Stanje zidova od nabijene zemlje godinu dana nakon izvedbe

Sposobnost nosivosti zidova W3-OoP i W4-OoP na djelovanje opterećenja izvan ravnine određeno je na temelju unesene sile i pomaka mjenog LVDT-om u centru zida. Na slikama 2.3 i 2.4, prikazana je sposobnost nosivosti zidova koji su ostvarili približno jednaku nosivost u iznosu od oko 6 kN.



Slika 2.3 Sposobnost nosivosti zida od nabijene zemlje W3-OoP (zapadni zid)



Slika 2.4 Sposobnost nosivosti zida od nabijene zemlje W4-OoP (istočni zid)

Nakon ispitivanja zidova, uzeti su uzorci za određivanje vlažnosti u trenutku ispitivanja. Za zidove uzeti su uzorci podnožju zida, odnosno na mjestu sloma. Određene vlažnosti prikazane su u tablicama 2.1 i 2.2.

Tablica 2.1 Vlažnost zida W3-OoP (zapadni zid) prilikom ispitivanja

	#1	#2	#3
Slomna ploha (%)	2,53	2,5	2,84
Prosječna vlažnost (%)	2,62		

Tablica 2.2 Vlažnost zida W4-OoP (istočni zid) prilikom ispitivanja

	#1	#2	#3
Slomna ploha (%)	3,17	3,29	3,36
Prosječna vlažnost (%)	3,27		
50 cm iznad slome plohe (%)	5,94	4,87	5,64
Prosječna vlažnost (%)	5,48		

Prilikom ispitivanja zidova, uočeno je da se slom dogodio u podnožju, pri čemu je zid srušen kao jedna cjelina (blok). Uz to, iako su zidovi izgubili nosivost pri razmjerno maloj razini pomaka, konačni pad zida dogodio se pri 25–30 puta većoj razini pomaka. Osim toga, prilikom ispitivanja uočeno je da se zid vraća u prvobitan položaj pri anuliranju sile, ako je horizontalni pomak zida na mjestu unosa sile manji od približno 40 cm. Na slici 2.5 prikazan je pogled na zid W4-OoP tijekom ispitivanja, od početka unošenja opterećenja do trenutka konačnog pada zida, dok je na slici 2.6 isto prikazan pogled za zid W3-OoP.



Slika 2.5 Pogled na zid W4-OoP (istočni zid) tijekom ispitivanja



Slika 2.6 Pogled na zid W3-OoP (zapadni zid) prilikom ispitivanja

3. Izgradnja zida W5 uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti

Provedena je ugradnja jednog zemljanog zida od zemljane mješavine uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti. Ispitivanje toplinske provodljivosti planirano je i provedeno je tijekom prosinca 2023. godine, tj. tijekom *hladnih* dana. Zid je izrađen tradicijskom tehnikom nabijanja zemlje, pri čemu je zbijanje zidova provedeno ručnim nabijačima.

Za potrebe ispitivanja toplinskih karakteristika, a kasnije i za potrebe ispitivanja potresnog ponašanje zidova pri djelovanju simuliranih potresnih sila, uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti izrađen je jedan zemljani zid. Izrađen je zid debljine 40 cm, te širine i visine

250 cm. Izrada zida W5-OoP provedena je tijekom dva radna dana, pri čemu je prvoga dana u radilo petero ljudi, dok je drugoga dana radilo dvoje ljudi. Prije izgradnje zidova, postavljena je drvena oplata sa sve četiri strane zida koja je osigurana drvenim kosnicima (slika 2.1 i slika 2.2)



Slika 3.1 Postavljanje vanjskog dijela oplata zida



Slika 3.2 Oplata na unutarnjem dijelu zida

Zemljani materijal pripremljen je na podlozi, sijanjem kroz sito promjera 16 mm. Nakon toga je miješan u građevinskoj miješalici uz postupno dodavanje riječne sipine s najvećim zrnom agregata od 4 mm te uz postupno i kontrolirano dodavanje vode.

U svaki sloj zida ugrađeno je 10 kanti zapremnine 15 L pripremljenog materijala. Materijal je prije zbijanja preliminarno zbijen gaženjem nakon čega je zbijan udarcima nabijačem (slika 2.3). Svaki sloj zbijan je ravnomjerno, nekoliko puta, do postizanja ravnosti plohe. Prije nasipavanja materijala za novi sloj, površina zbijenog sloja je povremeno navlažena špricanjem vode.



Slika 3.3 Gaženje i zbijanje materijala nabijačem

Oplata je skinuta mjesec dana nakon završetka izrade zidova, kako bi se provjerilo može li odgoda skidanja oplata utjecati na ravnost ploha i minimiziranje odvajanja dijelova zida zajedno s oplatom. Naime, u prethodnim razdobljima oplata je skidana sa zidova tjedan do deset dana nakon ugradnje posljednjeg sloja zida te je ustanovljeno kako se dijelovi zida mogu zalijepiti za oplatu te tako otpasti sa zida.

Zid je izrađen izravno na betonskoj podlozi, na vanjskoj strani komore za ispitivanje zrakopropusnosti. Tako je odlučeno jer bi zbog velike vlastite težine zidova, transport unutar otvora u komori bio otežan, i jer je na ovaj način izvedba zida jednostavnija.

Prilikom izrade zida određena je vlažnost mješavine. Vlažnost je u prosjeku iznosila 10,11 %. Valja napomenuti da je vlažnost uzoraka provjerena pomoću „drop testa“ (Minke, 2013), kao i prilikom izrade uzoraka za ispitivanje tlačne i vlačne čvrstoće.

U nastavku je dan i dio dnevnika koji je vođen prilikom izgradnje zida W5-OoP

DIJELOVI DNEVNIKA KOJI JE VOĐEN PRILIKOM IZGRADNJE ZIDA W5-OoP:

22. rujan 2023.

U 8 h došla su četiri radnika i glavni majstor. Dva radnika pripremaju (kopaju i usitnjavaju) glinu s deponija ispred hale i dovoze ju u kolicima unutar prostora gdje će pripremati mješavinu. Za to vrijeme dva radnika i glavni majstor izrađuju oplatu. Prema riječima glavnog majstora 16 građevinskih kolica čini ugrubo 1m³ materijala.

Do 9:50 pripremljene su četiri volumena mješavine gline i sipine primjenom građevinske miješalice. Prema riječima glavnog majstora u miješalicu je dodavano 10 lopata tla 15 lopata sipine te 3 male posudice vode (sve količine su u više navrata izmjerene vaganjem prilikom građenja zida radi dodatnih provjera, dodatna mjerenja su radili laboranti s Organizacije ili voditelj projekta). Do 9:50 dopremljeno je 18 kolica gline u halu i izrađena je polovica visine oplata za zid.

U prvi sloj zida ugrađeno je šest kanti materijala. Prvi sloj zida zbijen je u 11:15. Do 11 h ispred komore dopremljeno je materijala iz sedam miješalica. Izrađene su u cijelosti stražnja i bočne stranice oplata te prednja stranica oplata do 90 cm visine. U 11:30 nasipan i nabijen 2. sloj.

Uzeti uzorci materijala za provjeru vlažnosti, posebno za sipinu, posebno za glinu i posebno za pripremljenu mješavinu.

Do 13 h radnici su ugradili materijal do 100 cm visine oplata. Provedena je kontrola debljine zida.

U 16 h radnici su napustili halu.

26. rujna 2023.

Provodi se zbijanje ostatka zida. Na zbijanju rade dva radnika od 12:00 do 15:30.

27. listopada 2023.

Oko 12:30 h došla dva radnika i skinuli su oplatu do 15:00.

Za potrebe određivanja tlačne i vlačne čvrstoće materijala od kojeg su izrađeni zidovi, za vrijeme izgradnje zidova, izrađeno je i tri uzoraka kocke te šest uzoraka valjaka. Uzorci su izrađeni od istog materijala, pripremljenog na isti način. Uzorci kocke dimenzija 15 x 15 x 15 cm zbijani su drvenim batom i gumenim čekićem, u tri sloja. Uzorci valjaka dimenzija 15 x 30 cm zbijani su standardnim ručnim nabijačem za Proctor pokus, u tri sloja. Uzorci su pohranjeni u komoru sa kontroliranom vlažnosti prostora $50 \pm 5 \%$ pri temperaturi $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Njegovanje je planirano do trenutka ispitivanja zidova u idućem projektnom razdoblju, kako bi se poznavale čvrstoće materijala upravo u tom trenutku. Podatci ispitivanja tlačne i vlačne čvrstoće za ove zidove dani su u izvještaju D4. Materijal od kojega je izrađen zid W5-OoP istovjetan je materijalu od kojega je izrađen zid W6 (tj. W6-IP).

4. Rezultati preliminarnog ispitivanja koeficijenta prolaska topline za zid W5-OoP

Zemljani ugrađen je uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti. Debljina zida W5-OoP iznosi 40 cm. Na zidu usporedno je provedeno preliminarno ispitivanje koeficijenta prolaska topline (U vrijednosti) nerazornom in situ temperaturnom metodom (eng. *Temperature Based Method*, TBM). Mjerenje je provedeno multifunkcijskim uređajem Testo 435-4, slika 4.1. Mjerna oprema postavljena je unutar i izvan komore te okomito na zidove koji se ispituju. Lokacija senzora određena je korištenjem infracrvene kamere (Testo 882). Tehničke specifikacije korištene opreme prikazane su u tablici 3.1.



Slika 4.1 Fotodokumentacija lokacije mjerne opreme: unutarnja strana zida (lijevo), vanjska strana zida (desno)

Za potrebe mjerenja zrakopropusnosti komore korišten je Minneapolis BlowerDoor uređaj. Minneapolis BlowerDoor uređajem izmjerena je vrijednost n_{50} te iznosi 9 h^{-1} .

Tablica 4.1 Glavne tehničke specifikacije korištene opreme

Oprema	Mjerno područje	Razlučivost	Točnost
Termokamera Testo 882	Vidno polje (FOV)	$32^\circ \times 23^\circ$	
	Spektralni raspon	7,5 do $14 \mu\text{m}$	-
	Temperaturna razlučivost (NETD)	$<50 \text{ mK na } +30^\circ \text{C}$	
Testo 435-4 sa termoparovima tip K	Temperatura na površini zida	$-20 \text{ do } +70^\circ \text{C}$	$0,1^\circ \text{C}$
	Unutarnja temperatura zraka	$-20 \text{ do } +70^\circ \text{C}$	$0,1^\circ \text{C}$
	Vanjska temperatura zraka	$-60 \text{ do } 400^\circ \text{C}$	$0,1^\circ \text{C}$

Preliminarno istraživanje provedeno je tijekom sezone grijanja kada se s vanjske strane komore mogu osigurati niže temperature te ostvariti preporučena razlika temperature između unutarnjeg i vanjskog zraka od najmanje 10°C . Ispitivanje je provedeno kontinuirano tijekom više dana. Prilikom ispitivanja zidova unutarnja temperatura, T_i postavljena je na 25°C i održavana konstantnom. Svi mjerni podatci su za potrebe analize uprosječeni na interval od 10 min.

Preliminarnim ispitivanjem utvrđena je nemogućnost postavljanja termoparova za mjerenje temperature na površini zida konvencionalnim sredstvima za pričvršćivanje što predstavlja glavnu moguću problem prilikom provođenja ovakve vrste ispitivanja.

Kao rezultat in situ mjerenja temperaturnom metodom određene su srednje U vrijednosti korištenjem metode prosjeka predložene u ISO 9869-1:2014 prema sljedećoj jednadžbi:

$$U \left[\frac{W}{m^2K} \right] = h_i \frac{\sum_{j=1}^n T_{i(j)} - T_{si(j)}}{\sum_{j=1}^n T_{i(j)} - T_{e(j)}} \quad (1)$$

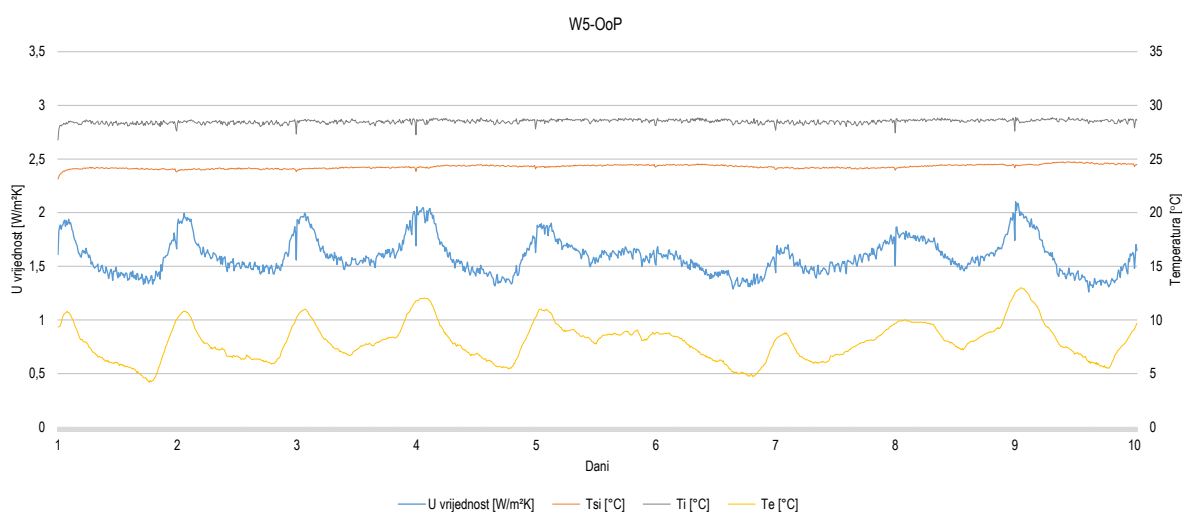
pri čemu je h_i [W/m^2K] koeficijent unutarnjeg prijelaza topline (prema normi HRN EN ISO 6946:2017 za vodoravan smjer toplinskog toka kroz vanjske zidove, $h_i = 7,69$ [W/m^2K]), T_i [K] temperatura unutarnjeg zraka, T_e [K] temperatura vanjskog zraka i T_{si} [K] temperatura unutarnje površine zida.

U tablici 4.2 su na temelju podataka dobivenih mjerenjem temperaturnom metodom, izračunate i prikazane srednje U vrijednosti s mjernim nesigurnostima prema metodi prosjeka. Uz rezultate eksperimentalnog ispitivanja, u tablici 4.2 prikazana je i usporedba in-situ izmjerenih U vrijednosti s teorijskim vrijednostima izračunatim na temelju karakteristika materijala prema HRN EN ISO 6946:2017. Karakteristike materijala korištene za proračun teorijskih U vrijednosti određene su ispitivanjem uzoraka u uređaju FOX200.

Tablica 4.2 Uvjeti ispitivanja, izmjerene srednje U vrijednosti, teorijske U vrijednosti i odstupanje između izmjerenih i teorijskih U vrijednosti zida W5-OoP

Model	Trajanje ispitivanja [dani]	Uvjeti ispitivanja	Srednja vrijednost ΔT [°C]	HFM metoda - Mjerna oprema 1	HFM metoda - Mjerna oprema 2	TBM	U_t	Postotna razlika HFM1- TBM	Postotna razlika HFM2- TBM	Postotna razlika U_t - HFM1	Postotna razlika U_t - HFM2	Postotna razlika U_t - TBM
				srednja U vrijednost [W/m²K]								
W5	10	$T_i=30$ °C	20,5	1,34±0,11	1,58±0,10	1,59±0,12	0,96	19%	1%	40%	65%	66%

Na slici 4.2 grafički su prikazani rezultati višednevnog ispitivanja zida W5-OoP, odnosno izmjerene U vrijednosti u ovisnosti o unutarnjoj temperaturi zraka (T_i), vanjskoj temperaturi zraka (T_e) i temperaturi površine zida (T_{si}).



Slika 4.2 Prikaz U vrijednosti, unutarnje temperature zraka (T_i), vanjske temperature zraka (T_e) i temperature površine zida (T_{si}) tijekom sezone grijanja, zid W5-OoP

5. Rezultati ispitivanja koeficijenta toplinske provodljivosti

U Tablici 5.1 prikazani su rezultati ispitivanja koeficijenta toplinske provodljivosti na uzorcima. Ispitani su uzorci stari 12 mjeseci (izrađeni u 2022. godini i čuvani u komori za čuvanje uzoraka, pri konstantnoj vlazi i temperaturi) te uzorci stari 1 mjesec (uzorci izrađeni prilikom izvedbe zidova za ispitivanje potresne otpornosti). Uzorci stari 1 mjesec, označeni kao W1 (odnosno W5-IP) predstavljaju materijal koji je korišten za izvedbu zida W5 ispitivanog na djelovanje cikličkog horizontalnog opterećenja u ravnini zida. Uzorci stari 1 mjesec, označeni kao W3 (odnosno W6-IP) predstavljaju materijal koji je korišten za izvedbu zidova W6-IP, W7-IP i W8-

IP, ispitanih na djelovanje cikličkog horizontalnog opterećenja u ravnini zida, te zida W5-OoP ispitano na djelovanje monotonorastućeg opterećenja okomito na ravninu zida. Za zidove W7-IP i W8-IP nisu posebno rađeni uzorci, iako su spomenuti zidovi sadržavali konoplju ugrađenu između slojeva nabijene zemlje, budući da ne postoji razumno opravdanje za takvo ispitivanje. Slike 5.1 – 5.7 prikazuju uzorke ispitane u uređaju FOX200.

Tablica 5.1 Rezultati ispitivanja koeficijenta toplinske provodljivosti

Mješavina (interna oznaka zida)	Starost uzoraka	Uzorak			Prosječna vrijednost λ (W/mK)
		#1	#2	#3	
EM hala rec	12 mjeseci	0,542	0,6795	0,6544	0,6253
60V+40T+4vap	12 mjeseci	0,5422	0,5342	0,521	0,5325
M3_10_11	12 mjeseci	0,3984	0,3777	0,420	0,3987
W1	12 mjeseci	0,6055	0,5615	0,6348	0,6006
W3	12 mjeseci	0,6667	0,553	0,6237	0,6145
W1 (W5-IP)	1 mjesec	0,5265	0,6133	0,6065	0,5821
W3 (W6-IP)	1 mjesec	0,4033	0,4985	0,4736	0,4585



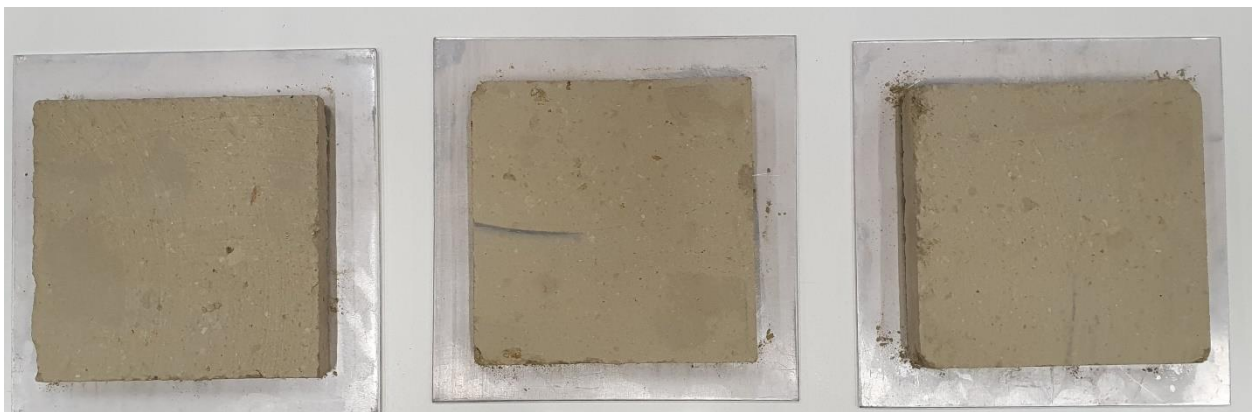
Slika 5.1 Uzorci nakon određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti - reprezentativni uzorci izgrađenih zidova (W1)



Slika 5.2 Uzorci nakon određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti - reprezentativni uzorci izgrađenih zidova (W3)



Slika 5.3 Uzorci nakon određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti - reprezentativni uzorci izgrađenih zidova (60V+40T+4vap)



Slika 5.4 Uzorci nakon određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti - reprezentativni uzorci izgrađenih zidova (EM hala rec)



Slika 5.5 Uzorci nakon određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti - reprezentativni uzorci izgrađenih zidova (W5-IP)



Slika 5.6 Uzorci nakon određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti - reprezentativni uzorci izgrađenih zidova (W6-IP)



Slika 5.7 Uzorci nakon određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti - reprezentativni uzorci izgrađenih zidova (M3_10_11)

6. Zaključak

Prilikom izrade zida od nabijene zemlje uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti, proučavana je tehnologija izrade te vremenski period izrade zidova, kako bi organizacija izrade zidova u narednom projektnom razdoblju bila jednostavnija.

Po završetku ispitivanja koeficijenta prolaska topline, zidovi su ispitani i na djelovanje monotono rastućeg horizontalnog opterećenja okomito na njihovu ravninu, što je poslužilo i kao sredstvo rušenja i uklanjanja zidova od komore za ispitivanje zrakopropusnosti. Time se stvorio prostor za izvedbu novih zidova od nabijene zemlje na kojima će se zrakopropusnost te otpornost na djelovanja okomito na ravninu zida ispitati u idućem projektnom razdoblju.

Računalni modeli za procjenu ponašanja zidova na djelovanje opterećenja izvan ravnine izrađen je primjenom računalnog programa ANSYS 2020. Uz progresivni pomak 1 mm/s do konačnog pomaka od 80 mm, očitana je sila u podnožju upetog modela zida. Prema tome je definirana sposobnost nosivosti oba zida, koja je približno jednaka za oba zida. Najveća sila koju zidovi mogu podnijeti pri horizontalnom opterećenju je oko 6 kN.

Literatura

Minke, G. (2013). Building with Earth. *Building with Earth*.
<https://doi.org/10.1515/9783034608725>

Perić, A., Kraus, I., Kaluđer, J., & Kraus, L. (2021). Experimental campaigns on mechanical properties and seismic performance of unstabilized rammed earth—A literature review. In *Buildings* (Vol. 11, Issue 8). <https://doi.org/10.3390/buildings11080367>

