

## RE-forMS

rammed earth for modelling and standardization  
in seismically active areas



**HRZZ**

Hrvatska zaklada  
za znanost

Zidovi uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti i rezultati ispitivanja zidova opterećenih okomito na njihovu ravninu	
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:	2. razdoblje
Oznaka izvještaja:	D3
Sadržaj:	Rezultati ispitivanja zrakopropusnosti i toplinske provodljivosti te otpornosti zidova od nabijene zemlje na djelovanje horizontalnih sila okomito na njihovu ravninu.
Autori izvještaja:	izv. prof. dr. sc. Ivan Kraus, dr. sc. Mihaela Domazetović, Ana Perić, doc. dr. sc. Marin Grubišić
Datum:	19.12.2023.

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:

Na zidovima od nabijene zemlje izgrađenima u prethodnom razdoblju projekta (W-40 i W-50) provedeno je ispitivanje koeficijenta toplinske provodljivosti i zrakopropusnosti komore. Pritom nisu uočene značajne razlike u toplinskim karakteristikama između zidova. Potom su zidovi ispitani na djelovanja okomito na ravninu, što je poslužilo i kao način uklanjanja zidova i otvaranje prostora za izvedbu novih dvaju zidova od nabijene zemlje (W-RE i W-RE-f) uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti.

Ispitivanjem zidova W-40 i W-50 na djelovanja okomito na ravninu uočeno je da zidovi imaju približno jednaku nosivost, oko 12 kN, no da deblji zid pokazuje polaganiji pad krutosti. Provedeno i je ispitivanje mehaničkih karakteristika uzoraka izrađenih u trenutku izrade zidova W-40 i W-50. Uzorci su, koji su nakon godinu dana čuvanja bili u izrazito lošem stanju, pokazali su vrlo niske vrijednosti tlačne čvrstoće (0,44 MPa na uzorcima kocaka, 0,07 MPa na uzorcima valjaka) i modula elastičnosti (13,99 MPa na uzorcima kocaka i 6,82 MPa na uzorcima valjaka).

Nova dva zida od nabijene zemlje (W-RE i W-RE-f) izrađeni su od mješavine zemljanog materijala iz okolice Osijeka i sitnog dravskog šljunka. Pritom je u jedan od zidova (W-RE-f) između slojeva nabijene zemlje dodana i pšenična slama. Osim toga, zidovi su identični, istovjetnih dimenzija i tehnologije građenja. Na zidovima je provedeno i preliminarno ispitivanje koeficijenta toplinske provodljivosti pri čemu su uočene značajnije razlike između ispitanih zidova.

Izrađeno je više grupa uzoraka različitih mješavina, pri čemu svaka grupa sadrži po 12 uzoraka. Iz svake grupe izdvojena su po tri uzorka radi ispitivanja toplinske provodljivosti u uređaju FOX200 tijekom ovog izvještajnog razdoblja, dok su ostali uzorci pohranjeni kako bi se na njima ispitala toplinska provodljivost nakon 12, 24 i 36 mjeseci starosti, u narednim razdobljima projekta radi utvrđivanja utjecaja starosti.

**Ključne riječi:** zrakopropusnost, toplinska provodljivost, djelovanje izvan ravnine, nabijena zemlja

*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](mailto:ikraus@gfos.hr).*

**Abstract:**

On rammed earth walls made in the previous project period (W-40 and W-50), thermal conductivity coefficient and air permeability was tested. No apparent differences in thermal characteristics between the tested walls was observed. Following that, out-of-plane load bearing-capacity of walls was tested, which served as a mean of removing the walls and creating a space for building two new rammed earth walls (W-RE and W-RE-f) next to the air permeability test chamber.

It was observed that both walls (W-40 and W-50) have approximately equal out-of-plane load bearing capacity, around 12 kN. However, thicker wall exhibited slower decline in stiffness. Mechanical characteristics was also tested on samples manufactured in time of building the W-40 and W-50 walls. Samples, in severe condition after one-year curing period, exhibited extremely low compressive strength (0,44 MPa and 0,07 MPa for cube and cylinder samples, respectively) and Young's Modulus (13,99 MPa and 6,82 MPa for cube and cylinder samples, respectively).

Two new rammed earth walls (W-RE and W-RE-f) were built using mixture of local earthen material from Osijek area and fine gravel from Drava River. Moreover, one of the walls (W-RE-f) was made with wheat straw placed between the layers. Apart from that, walls are identical, with the same dimensions and building technique. Preliminary thermal coefficient testing was performed after walls were built, and notable differences were observed between the tested walls.

Several groups of samples of different mixtures were made, with each group containing 12 samples. Three samples were taken from each group for thermal conductivity testing using the FOX200 device during this reporting period, while the other samples were stored to be tested for thermal conductivity after 12, 24 and 36 months of age, in subsequent periods of the project to determine the effect of ageing.

**Key words:** air permeability, thermal conductivity, out-of-plane loading, rammed earth

*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](mailto:ikraus@gfos.hr).*

## Sadržaj

1. Uvod.....	5
2. Eksperimentalna ispitivanja koeficijenta prolaska topline (U vrijednosti) zemljanih zidova W-40 i W-50 .....	5
3. Ispitivanje zidova na djelovanje opterećenja okomito na ravninu .....	10
4. Izrada novih zidova od nabijene zemlje uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti.....	22
5. Određivanje koeficijenta toplinske provodljivosti .....	25
6. Preliminarna eksperimentalna ispitivanja koeficijenta prolaska topline (U vrijednosti) zemljanih zidova W-RE i W-RE-f .....	28
7. Zaključak.....	29
Literatura .....	30

## 1. Uvod

Provedeno je ispitivanje dvaju zemljanih zidova izrađenih u prethodnom razdoblju projekta (tj. u 2021. godini). Zidovi debljine 40 cm (W-40) i 50 cm (W-50) u prethodnom razdoblju projekta ispitani su uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti početkom ovoga razdoblja (u zimskim mjesecima).

Nadalje, godinu dana nakon izvedbe ovih zidova ispitano je i njihovo potresno ponašanje pri djelovanju opterećenja okomito na njihovu ravninu.

Nakon razornog ispitivanja i uklanjanja materijala srušenih zidova, uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti izgrađena su dva nova zida, oba debljine 40 cm, pri čemu je jedan zid izrađen uz dodatak slame pšenice između slojeva nabijene zemlje, dok između slojeva drugoga zida nije dodavana slama. Nakon uklanjanja oplata, provedeno je preliminarno ispitivanje koeficijenta toplinske provodljivosti na novim zidovima. Oba zida biti će dodatno i detaljnije ispitana tijekom 2023. godine slijedći metodologiju ispitivanja toplinske provodljivosti i zrakopropusnosti kakva je primjenjena na zidovima izvedenim krajem 2021. godine i ispitanim tijekom 2022. godine.

## 2. Eksperimentalna ispitivanja koeficijenta prolaska topline (U vrijednosti) zemljanih zidova W-40 i W-50

Nakon provedenih preliminarnih ispitivanja zemljanih zidova ugrađenih neposredno uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti s istočne (W-50) i zapadne strane (W-40), nastavljena je provedba eksperimentalnih ispitivanja varirajući uvjete i metode ispitivanja. Također, provedeno je i ispitivanje zrakopropusnosti komore Blower door metodom. Prilikom izvedbe zida W-50 između slojeva zemljanog materijala (po visini) ugrađena je pljeva, dok je u zid W-40 između slojeva ugrađena slama pšenice. Debljina zida W-50 iznosi 50 cm, a zida W-40 40 cm.

Osim temperaturnom metodom, na ugrađenim zidovima W-50 i W-40 usporedno je provedeno i ispitivanje koeficijenta prolaska topline (U vrijednosti) nerazornom in situ metodom mjerenja protoka topline kroz građevne dijelove (eng. *Heat flow meter method, HFM method*). In situ mjerenje U vrijednosti temperaturnom metodom provedeno je multifunkcijskim uređajem Testo 435-4 s pripadajućim sondama i senzorima. Za in situ mjerenje U vrijednosti HFM metodom korištene su dvije mjerne opreme Hukseflux TRSYS01 za mjerenje toplinskog otpora i U vrijednosti građevnih dijelova. Sustav TRSYS01 opremljen je s dva senzora HFP01 za mjerenje protoka topline kao i dva para termoparova za mjerenje unutarnje i vanjske temperature što osigurava visoku razinu točnosti. Prilikom mjerenja mjerni podatci bilježeni su svakih 10 s, a 10-minutni prosjek podataka pohranjen je u memoriju.

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 2.1.

Za potrebe mjerenja zrakopropusnosti komore korišten je Minneapolis BlowerDoor uređaj, slika 2.1. Minneapolis BlowerDoor uređajem izmjerena je vrijednost  $n_{50}$  te iznosi  $9 \text{ h}^{-1}$ .

Tablica 2.1 Glavne tehničke specifikacije korištene opreme

Oprema		Mjerno područje	Razlučivost	Točnost
Termokamera Testo 882	Vidno polje (FOV) Spektralni raspon Temperaturna razlučivost (NETD)	32° x 23° 7,5 do 14 μm <50 mK na +30 °C	-	±2 °C; ±2% od izmjerene vrijednosti
Testo 435-4 sa termoparovima tip K	Temperatura na površini zida Unutarnja temperatura zraka Vanjska temperatura zraka	-20 do +70 °C -20 do +70 °C -60 do 400 °C	0,1 °C 0,1 °C 0,1 °C	±0,1 °C ±0,1 °C ±0,3 °C
Hukseflux TRSYS01	Gustoća toplinskog toka, q Temperatura	± 2000 W/m <sup>2</sup> -30 do 70 °C	0.02 W/m <sup>2</sup> 0.02 °C	±5% ± 0.1 °C



Slika 2.1 Oprema za ispitivanje zrakopropusnosti komore Blower door metodom

Eksperimentalno in situ ispitivanje U vrijednosti provedeno je tijekom sezone grijanja i hlađenja kada se može ostvariti preporučena razlika temperature između unutarnjeg i vanjskog zraka od najmanje 10 °C. Sva ispitivanja provedena su u uvjetima bez oborina i izravnog sunčevog zračenja na vanjsku površinu ispitanih zidova, pri brzini vjetra manjoj od 1 m/s. 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 glavni mogući 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:

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

pri čemu je  $h_i$  [W/m<sup>2</sup>K] 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<sup>2</sup>K]),  $T_i$  [K] temperatura unutarnjeg zraka,  $T_e$  [K] temperatura vanjskog zraka i  $T_{si}$  [K] temperatura unutarnje površine zida.

Kao rezultat in situ mjerenja U vrijednosti HFM metodom određene su i prikazane srednje U vrijednosti korištenjem prosjeka promatranih vrijednosti prema normi ISO 9869-1:2014:

$$U \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{\sum_{j=1}^n (T_{ij} - T_{ej})} \quad (2)$$

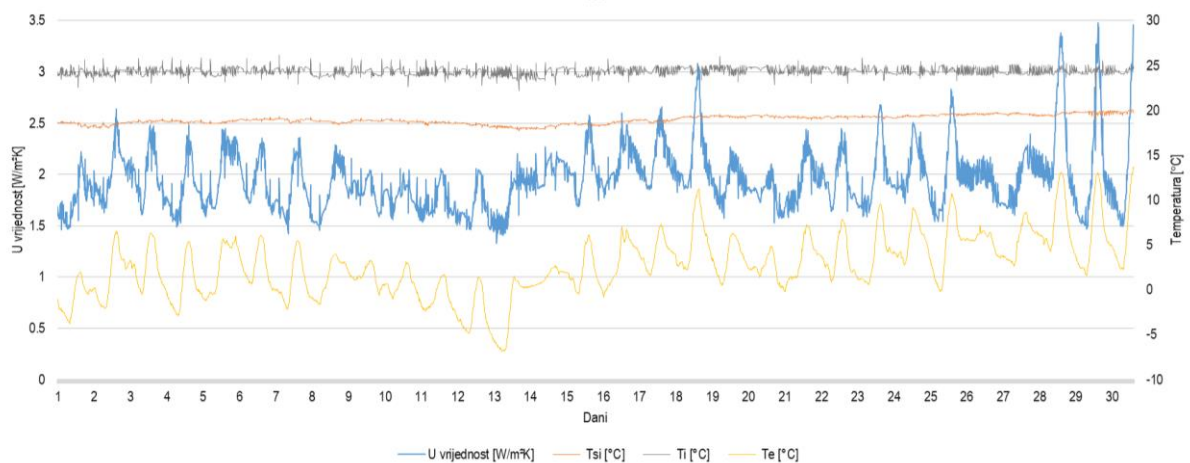
pri čemu je  $q_j$  [W/m<sup>2</sup>] gustoća toplinskog toka kroz jedinicu površine elementa,  $T_{ij}$  [K] i  $T_{ej}$  [K] su unutarnja i vanjska temperatura, a oznaka j označava pojedinačna mjerenja.

U tablici 2.2 su na temelju podataka dobivenih mjerenjem temperaturnom metodom i HFM metodom, izračunate i prikazane srednje U vrijednosti s mjernim nesigurnostima prema metodi prosjeka za zidove W-50 i W-40. Uz rezultate eksperimentalnog ispitivanja, u tablici 2.2 prikazana je i usporedba in situ izmjerenih U vrijednosti sa 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 (rezultati ispitivanja pripadnih uzoraka prizmi). Prilikom analize kao mjerodavni rezultati definirani su i promatrani samo rezultati ispitivanja dobiveni u intervalima temperaturne razlike veće od 10 °C budući da je upravo to preporučena razlika temperature između unutarnjeg i vanjskog zraka za ovu vrstu ispitivanja.

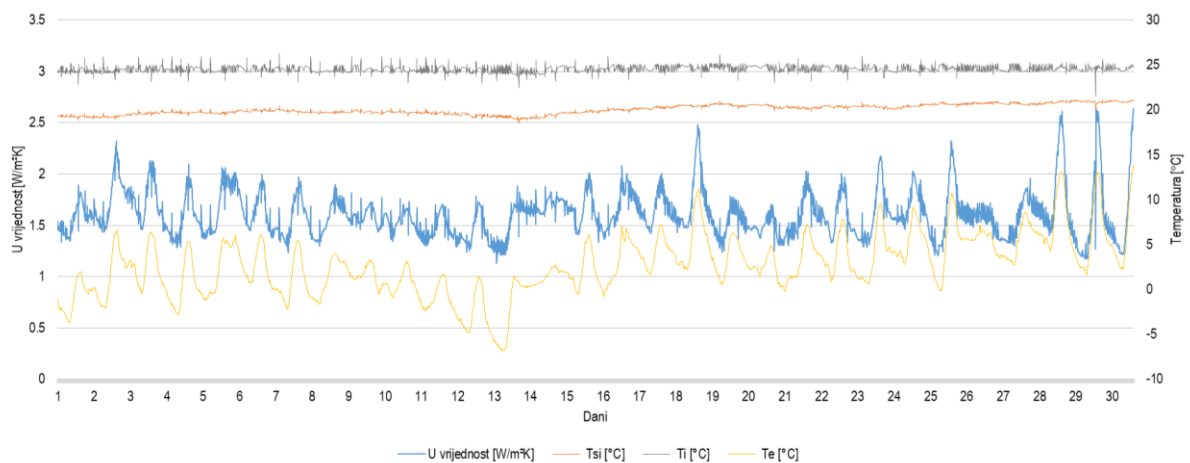
Tablica 2.2 Uvjeti ispitivanja, izmjerene srednje U vrijednosti, teorijske U vrijednosti i odstupanje između izmjerenih i teorijskih U vrijednosti zemljanih zidova

Model	Trajanje ispitivanja [dani]	Uvjeti ispitivanja	Srednja vrijednost $\Delta T$ [°C]	HFM metoda - Mjerna oprema 1	HFM metoda - Mjerna oprema 2	TBM	$\zeta_t$	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/m <sup>2</sup> K]								
W-50	30	$T_i=25$ °C	21,6	-	-	$1,95\pm 0,11$	0,70	-	-	-	-	179%
W-40	30	$T_i=25$ °C	21,8	-	-	$1,61\pm 0,11$	0,85	-	-	-	-	89%
W-50	9	$T_i=18$ °C	13,2	$0,58\pm 0,04$	$0,85\pm 0,05$	$0,69\pm 0,19$	0,70	19%	19%	17%	21%	1%
W-40	6	$T_i=18$ °C	12	$0,54\pm 0,03$	$0,59\pm 0,04$	$0,59\pm 0,20$	0,85	9%	0%	36%	31	31%
W-50	10	$T_i=18$ °C	14,9	-	-	$0,85\pm 0,17$	0,70	-	-	-	-	21%
W-40	10	$T_i=18$ °C	14,9	-	-	$0,80\pm 0,17$	0,85	-	-	-	-	6%

Na slikama 2.2 i 2.3 grafički su prikazani rezultati ispitivanja zidova W-50 i W-40 temperaturnom metodom tijekom sezone grijanja odnosno izmjerene U vrijednosti u ovisnosti o unutarnjoj temperaturi zraka ( $T_i$ ), vanjskoj temperaturi zraka ( $T_e$ ) i temperaturi površine zida ( $T_{si}$ ).



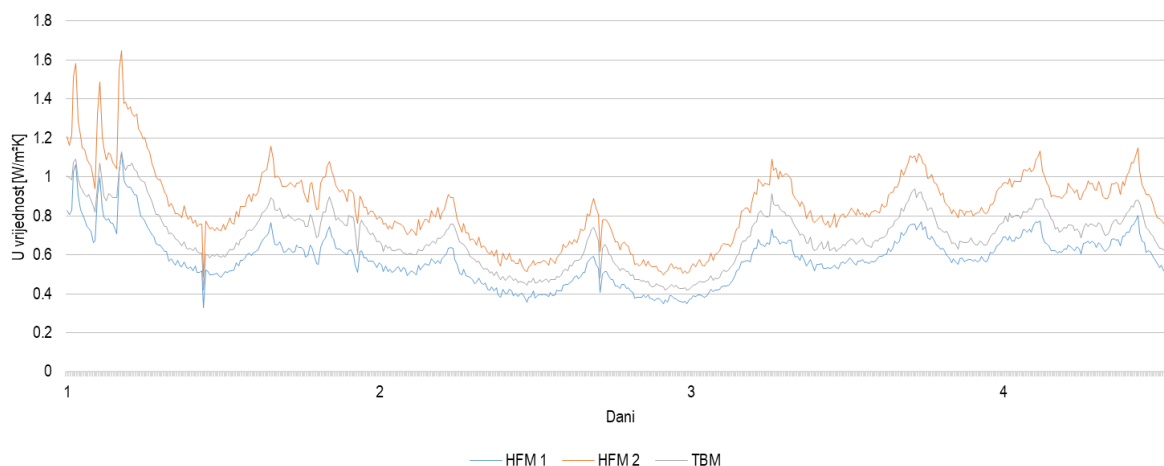
Slika 2.2 Prikaz dobivenih U vrijednosti, unutarnje temperature zraka ( $T_i$ ), vanjske temperature zraka ( $T_e$ ) i temperature površine zida ( $T_{si}$ ) tijekom sezone grijanja, zid W-50



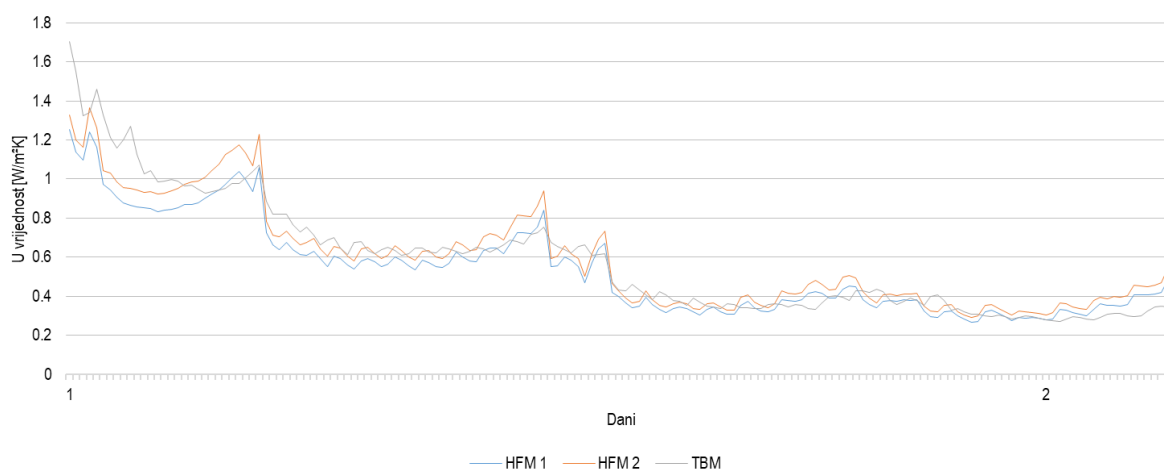
Slika 2.3 Prikaz dobivenih U vrijednosti, unutarnje temperature zraka ( $T_i$ ), vanjske temperature zraka ( $T_e$ ) i temperature površine zida ( $T_{si}$ ) tijekom sezone grijanja, zid W-40

Na slikama 2.4 i 2.5 grafički su prikazani rezultati usporednog ispitivanja zidova W-50 i W-40 temperaturnom metodom i HFM metodom tijekom sezone hlađenja odnosno izmjerene U vrijednosti u ovisnosti o primijenjenoj metodi. Na slikama su prikazani samo podatci zabilježeni pri razlici temperature između unutarnjeg i vanjskog zraka većoj ili jednakoj od  $10^{\circ}\text{C}$ , a što je prema literaturi minimalna preporučena temperaturna razlika za provođenje in situ ispitivanja U vrijednosti.



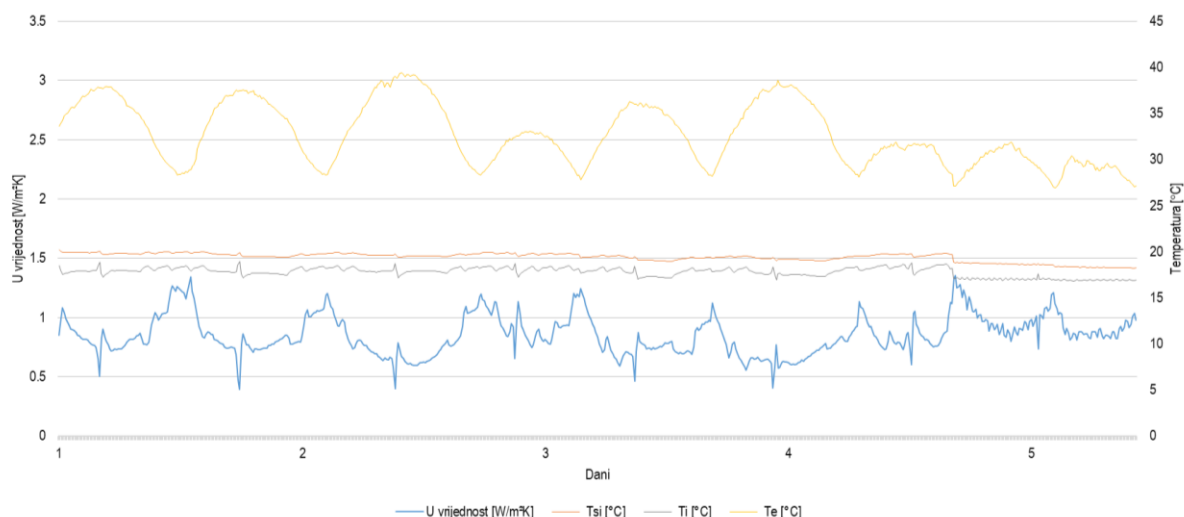


Slika 2.4 Prikaz dobivenih U vrijednosti HFM i temperaturnom metodom tijekom sezone hlađenja, zid W-50

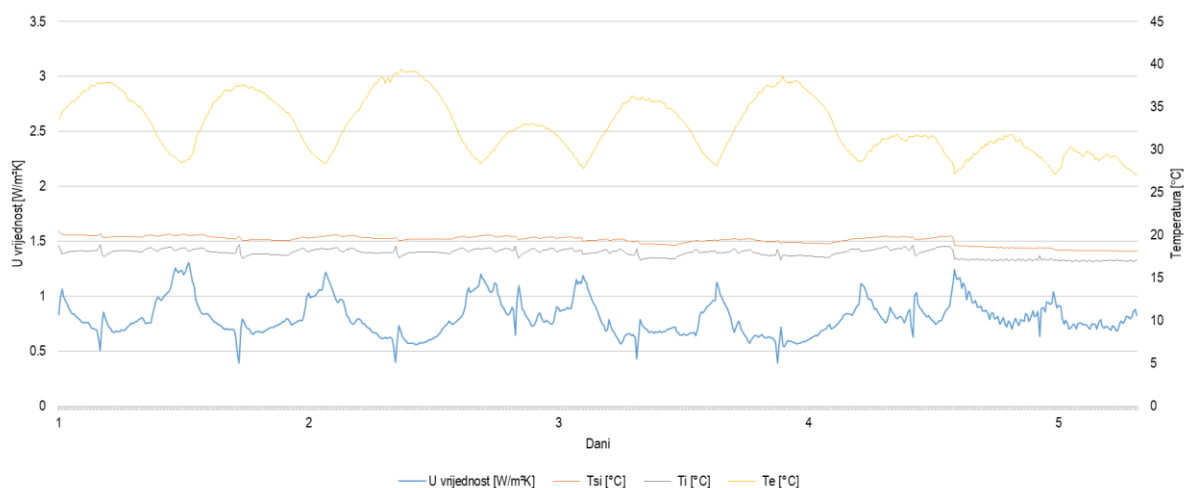


Slika 2.5 Prikaz dobivenih U vrijednosti HFM i temperaturnom metodom tijekom sezone hlađenja, zid W-40

Na slikama 2.6 i 2.7 grafički su prikazani rezultati ispitivanja zidova W-50 i W-40 temperaturnom metodom tijekom sezone hlađenja odnosno izmjerene U vrijednosti u ovisnosti o unutarnjoj temperaturi zraka ( $T_i$ ), vanjskoj temperaturi zraka ( $T_e$ ) i temperaturi površine zida ( $T_{si}$ ). Na slikama su prikazani samo podatci zabilježeni pri razlici temperature između unutarnjeg i vanjskog zraka većoj ili jednakoj od  $10^{\circ}\text{C}$ , a što je prema literaturi minimalna preporučena temperaturna razlika za provođenje in situ ispitivanja U vrijednosti.



Slika 2.6 Prikaz dobivenih U vrijednosti, unutarnje temperature zraka ( $T_i$ ), vanjske temperature zraka ( $T_e$ ) i temperature površine zida ( $T_{si}$ ) tijekom sezone hlađenja, zid W-50



Slika 2.7 Prikaz dobivenih U vrijednosti, unutarnje temperature zraka ( $T_i$ ), vanjske temperature zraka ( $T_e$ ) i temperature površine zida ( $T_{si}$ ) tijekom sezone hlađenja, zid W-40

### 3. Ispitivanje zidova na djelovanje opterećenja okomito na ravninu

Dva zida dimenzija 50 x 250 x 250 cm (Zid W-50) te 40 x 250 x 250 cm (Zid W-40) ispitani su na djelovanje opterećenja okomito na ravninu. Planirano je bilo zidove rušiti povlačenjem koristeći polužnu dizalicu nabavljenu u okviru projekta. Međutim, konzultirajući se s članovima istraživačkog tima i laborantima koji bi izradili pomoćne konstrukcije za potrebe pričvršćivanja polužne dizalice nedaleko konstrukcije, zaključeno je da je takav postupak rušenja vrlo opasan po život (poglavito osobe koja upravlja dizalicom). Osim toga, rušenje primjenom polužne dizalice zahtijevalo bi oštećivanje (bušenje) zida na mjestu unosa sile radi provlačenja kablova ili lanaca pomoću kojih bi se zid potezao. Stoga je razmotrena 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 svijetle visine zida, što je česta situacija unosa potresne sile u građevinske konstrukcije. Unos sile bilježen je pomoću mjerne ćelije kapaciteta 200 kN. Uz to, pomaci su mjereni u tri točke po visini zida (1/4 visine, 1/2 visine i 3/4 visine), i to na oba ruba zida radi bolje kontrole. Uz to, mjereno 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. Na slici 3.1 vidi se položaj LVDT-a u trenutku provedbe eksperimenta, dok se na slici 3.2 vidi mjesto unosa sile hidrauličkom prešom preko drvene letve kako bi se osiguralo jednoliko linijsko opterećenje u dužini od 2 metra. Opterećenje je nanošeno kao monotono rastuće do sloma.



a)



b)

Slika 3.1 Zidovi od nabijene zemlje prije ispitivanja s postavljenim mjernim instrumentima: a) Zid W-40 s postavljenom opremom za ispitivanje, b) Zid W-50 s postavljenom opremom za ispitivanje

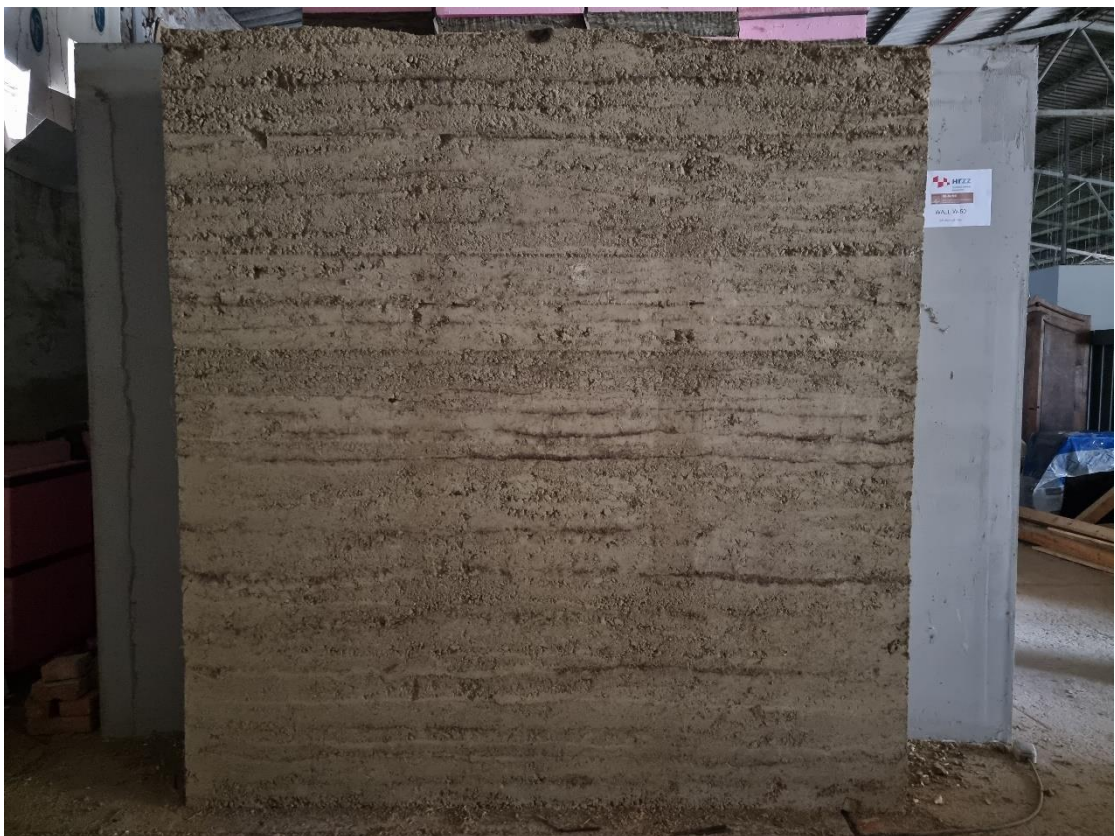


Slika 3.2 Prikaz unosa linijskog opterećenja okomito na ravninu zida od nabijene zemlje

Prije ispitivanja, zabilježeno je stanje zidova od nabijene zemlje godinu dana nakon izvedbe (slika 3.3). 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.



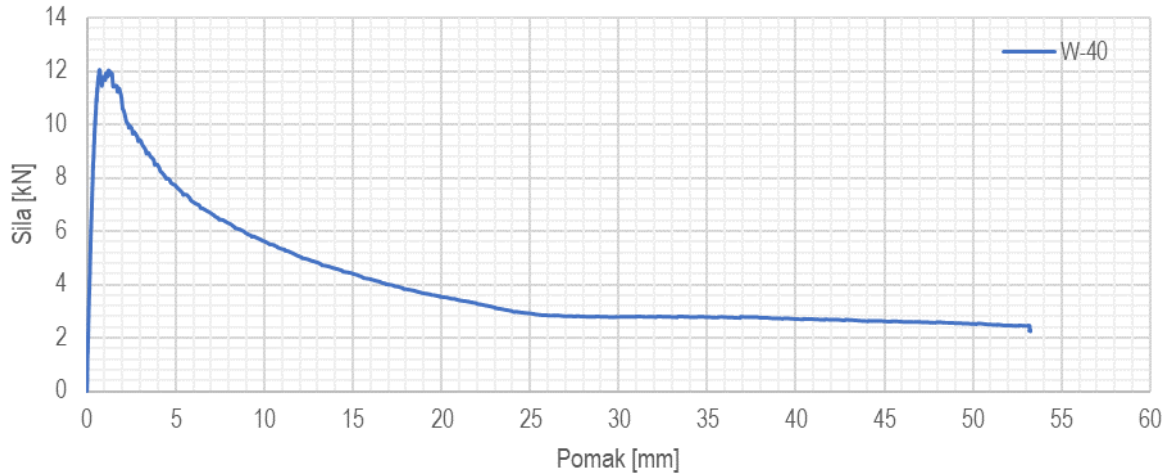
a) Zid od nabijene zemlje W-40



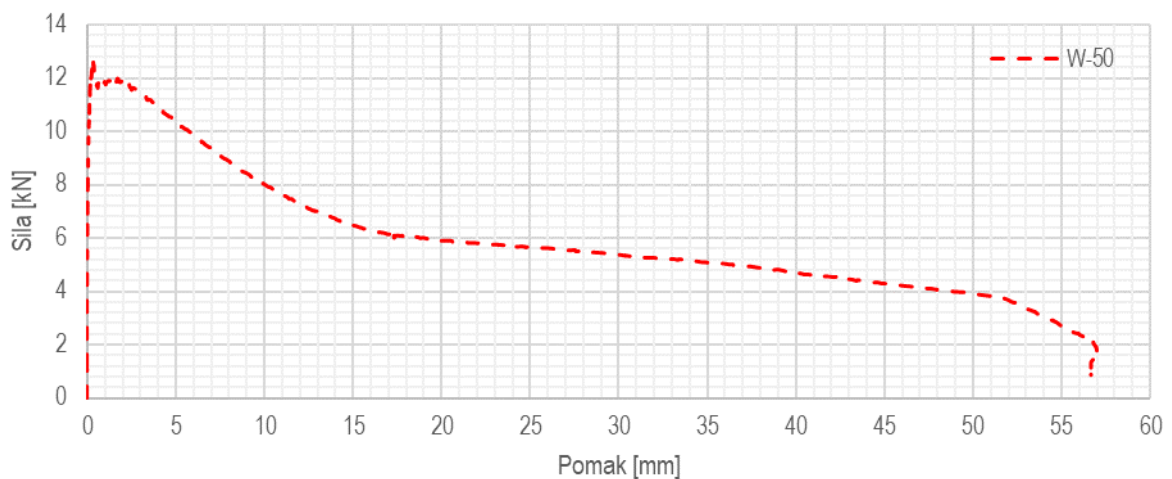
b) Zid od nabijene zemlje W-50

Slika 3.3 Stanje zidova od nabijene zemlje godinu dana nakon izvedbe

Sposobnost nosivosti zidova W-40 i W-50 na djelovanje opterećenja izvan ravnine određeno je na temelju unesene sile i pomaka mjenog LVDT-om u centru zida. Na slikama 3.4 i 3.5, prikazana je sposobnost nosivosti zidova koji su, unatoč različitoj debljini, ostvarili približno jednak u nosivost u iznosu od 12 kN. Međutim, uočeno je da je zid W-50 pokazao polaganiji pad krutosti nakon sloma u odnosu na tanji zid W-40.



Slika 3.4 Sposobnost nosivosti zida od nabijene zemlje W-40



Slika 3.5 Sposobnost nosivosti zida od nabijene zemlje W-50

Nakon ispitivanja zidova, uzeti su uzorci za određivanje vlažnosti u trenutku ispitivanja. Za zidove uzeti su uzorci podnožju zida, odnosno na mjestu sloma te u težištu zida. Određene vlažnosti prikazane su u tablici 3.1.

Tablica 3.1 Vlažnost zidova od nabijene zemlje prilikom ispitivanja

	#1	#2	#3
Podnožje zida (%)	4.83	4.72	4.69
Prosječna vlažnost (%)	4.71		
Težište zida (%)	4.70	4.91	5.15
Prosječna vlažnost (%)	4.92		

Prilikom ispitivanja zidova, uočeno je da se pomak dogodio u podnožju, pri čemu je zid srušen kao jedna cjelina (blok). Uz to, iako su zidovi izgubili nosivost pri razmjerno maloj razini pomaka, što je vidljivo na slikama 3.3 i 3.4, konačni pad zida dogodio se pri 25–30 puta većoj razini pomaka. Konkretno, zid W-40, započeo je slobodan pad tek pri dostizanju pomaka od oko 45 cm na mjestu unosa sile. 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 3.6 prikazan je pogled na zid W-40 tijekom ispitivanja, od početka unošenja opterećenja do trenutka konačnog pada zida, dok je na slici 3.7 isto prikazan pogled za zid W-50.

Nakon rušenja zida, uočeno je raslojavanje gornjih dijelova zida dok je podnožje zida uglavnom ostalo cjelovito (slika 3.8 i 3.9). Međutim, valja napomenuti da je donja trećina zida W-40 ostala cjelovita u većem postotku u odnosu na zid W-50. Sličan oblik sloma uočen je prilikom terenskog istraživanja provedenog tijekom prethodnog razdoblja projekta, što je prikazano na slici 3.10. Na terenu su također uočena raslojavanja, međutim za razliku od zidova ispitanih u laboratoriju (W-40 i W-50), nije uočeno da je preostalo cjelovitih dijelova zida.



Slika 3.6 Pogled na zid W-40 tijekom ispitivanja





a) Početak ispitivanja



b) Tijekom ispitivanja



c) Trenutak kolapsa zida

Slika 3.7 Pogled na zid W-50 tijekom ispitivanja



Slika 3.8 Zid W-40 nakon rušenja



Slika 3.9 Zid W-50 nakon rušenja



Slika 3.10 Zid nakon sloma uočen tijekom terenskog istraživanja (Aljmaš, Dunavska obala bb)

Prilikom izrade zidova uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti u prethodnom razdoblju projekta, tj. 2021. godne, izrađeni su i uzorci za određivanje mehaničkih svojstava zidova od nabijene zemlje. Tom je prilikom izrađeno tri kocke (15 x 15 x 15 cm) te šest valjaka (15 x 30 cm), pri čemu su kocke i tri valjka planirani za ispitivanje tlačne sile, dok su preostala tri valjka

planirana za ispitivanje vlačne čvrstoće cijepanjem. Uzorci su godinu dana čuvani u komori za sušenje zoraka na temperaturi  $25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  i  $\text{RH } 65 \pm 5 \%$ . Međutim, zbog loše kvalitete uzoraka uslijed niske energije zbijanja prilikom izrade, vlačnu čvrstoću nije bilo moguće odrediti nego je određena samo tlačna čvrstoća na uzorcima kocaka i valjaka. Valjci su se raspali prilikom postavljanja u uređaj za određivanje vlačne čvrstoće.

Ispitivanje tlačne čvrstoće provedeno je koristeći uređaj Shimatzu AG-X kapaciteta 300 kN. Unos opterećenja proveden je kontrolom pomaka  $1 \text{ mm/min}$ , za uzorke oblika kocke i valjka na kojima je ispitana tlačna čvrstoća.

Prije ispitivanja, svaki uzorak je precizno izmjeren kako bi se mogla odrediti čvrstoća prema sljedećem izrazu:

$$f_c = \frac{F_{\max}}{A} \quad (1)$$

gdje je:  $f_c$  – tlačna čvrstoća,  $F_{\max}$  – najveća postignuta sila prilikom ispitivanja,  $A$  – površina plohe na koju djeluje sila.

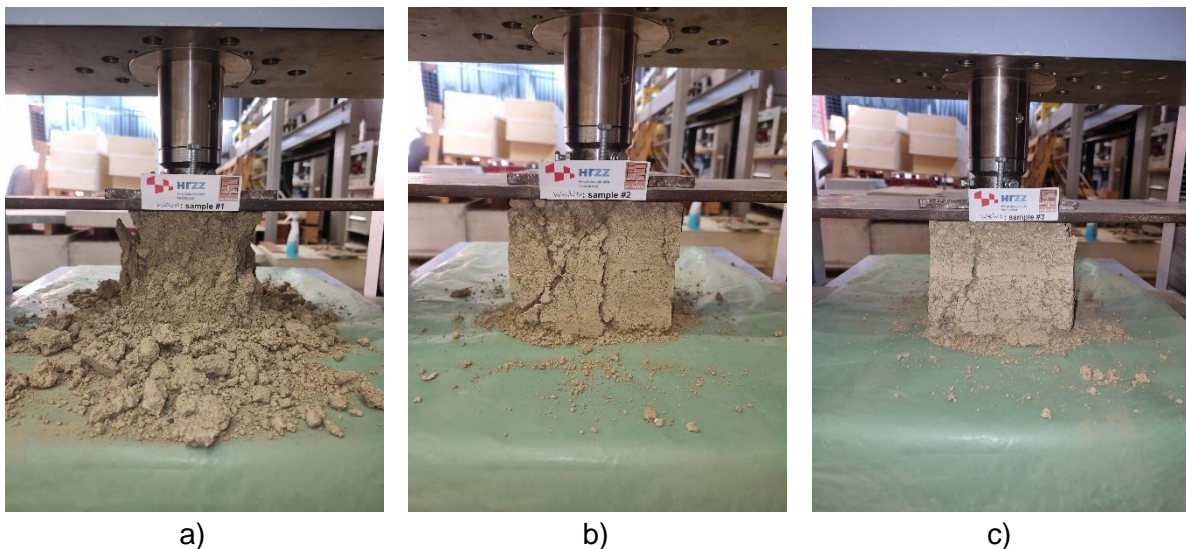
Nakon provedenog ispitivanja iz sredine svakog ispitnog uzorka izdvojeno je nešto više od 100 grama materijala za potrebe određivanja vlažnosti prilikom ispitivanja.

Modul elastičnosti proračunan je na temelju 30 % vrijednosti tlačne čvrstoće (Silva et al., 2013, 2016, 2018), prema Hookeovom zakonu:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2)$$

gdje je:  $E$  – modul elastičnosti,  $\sigma$  – tlačna čvrstoća,  $\varepsilon$  – deformacija

Za par zidova W-40 i W-50 ispitana je tlačna čvrstoća na tri kocke (slika 3.11) i tri valjka (slika 3.12).

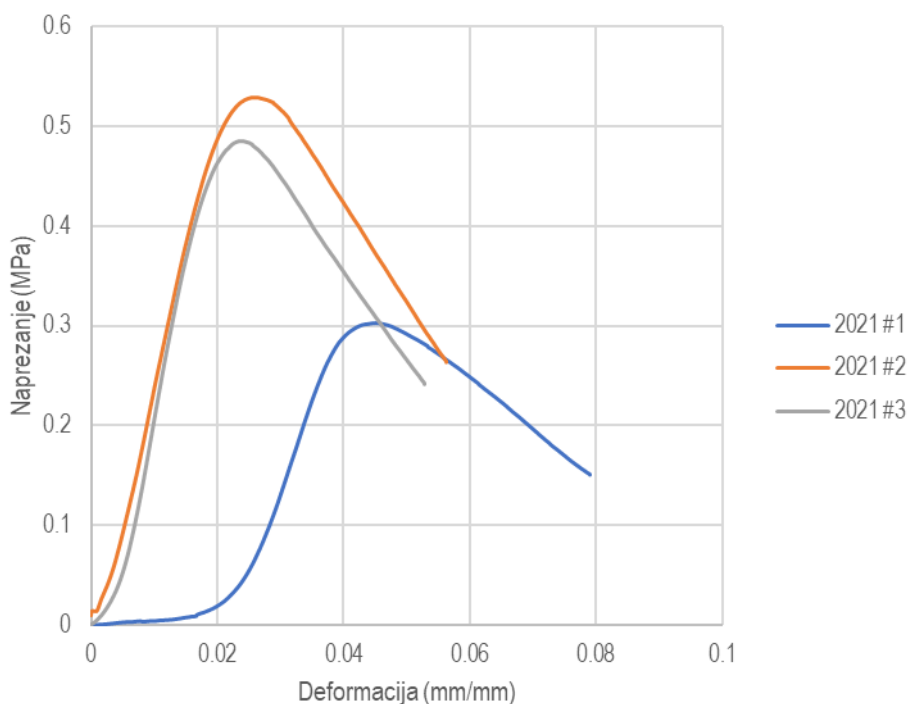


Slika 3.11 Ispitivanje tlačne čvrstoće na kockama – W-40 i W-50

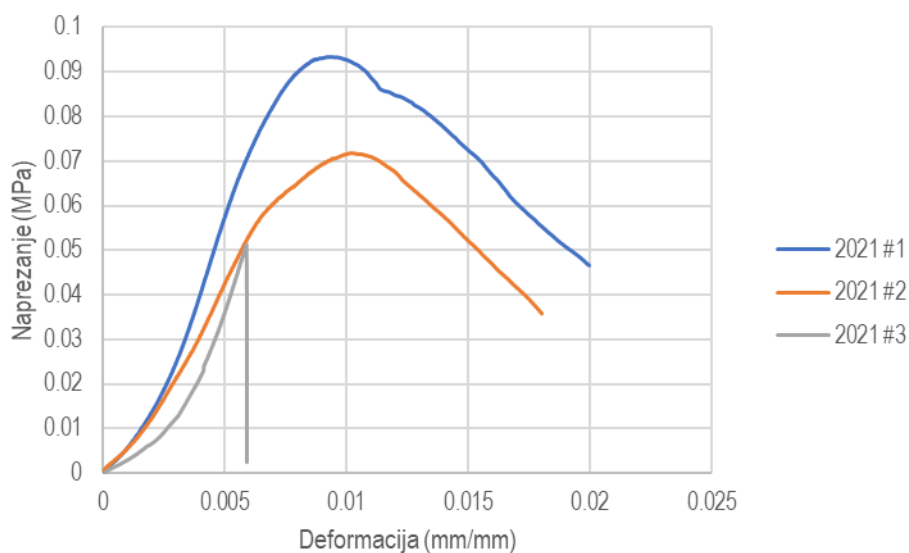


a) b) c)  
Slika 3.12 Ispitivanje tlačne čvrstoće na valjcima – W-40 i W-50

Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće na kockama i valjcima grafički su prikazani na slikama 3.13 i 3.14. U tablici 3.2 sažeto su prikazane čvrstoće uzoraka te prosječna čvrstoća određena na svakom setu uzoraka, kao i modul elastičnosti određen na temelju podataka o ispitivanju tlačne čvrstoće na svakom uzorku. U tablici 3.3 prikazane su vrijednosti vlažnosti za svaki ispitni uzorak.



Slika 3.13 Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće na kockama – W-40 i W-50



Slika 3.14 Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće na valjcima – W-40 i W-50

Tablica 3.2 Rezultati ispitivanja tlačne i vlačne čvrstoće

	#1	#2	#3
Tlačna čvrstoća – kocka (MPa)	0,30	0,53	0,48
Srednja tlačna čvrstoća - kocka (MPa)	0,44		
Tlačna čvrstoća – valjak (MPa)	0,09	0,07	0,05
Srednja tlačna čvrstoća - valjak (MPa)	0,07		
Modul elastičnosti – kocka (MPa)	3,28	21,23	17,45
Srednji modul elastičnosti – kocka (MPa)	13,99		
Modul elastičnosti – valjak (MPa)	8,72	7,13	4,60
Srednji modul elastičnosti – valjak (MPa)	6,82		

Tablica 3.3 Rezultati vlažnosti ispitnih uzoraka

	#1	#2	#3
Tlačna čvrstoća – kocka (%)	2,28	2,39	2,38
Prosječna vlažnost (%)	2,35		
Tlačna čvrstoća – valjak (%)	2,36	2,36	2,55
Prosječna vlažnost (%)	2,42		

#### 4. Izrada novih zidova od nabijene zemlje uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti

Za potrebe ispitivanja zrakopropusnosti te toplinskih karakteristika zidova od nabijene zemlje, uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti izrađena su nova dva zemljana zida. Pritom su oba zida izrađena istih dimenzija, debljine 40 cm te visine i dužine jednake 250 cm. Izrada zida provedena je tijekom 5 radnih dana, pri čemu je svakog dana radilo troje iskusnih majstora, s dugogodišnjim iskustvom u području izgradnje i obnove zemljane arhitekture.

Prije izgradnje zidova, postavljena je drvena oplata sa sve četiri strane zida koja je osigurana drvenim kosnicima (slika 4.1).



Slika 4.1 Postavljena oplata za izgradnju zida od nabijene zemlje osigurana kosnicima

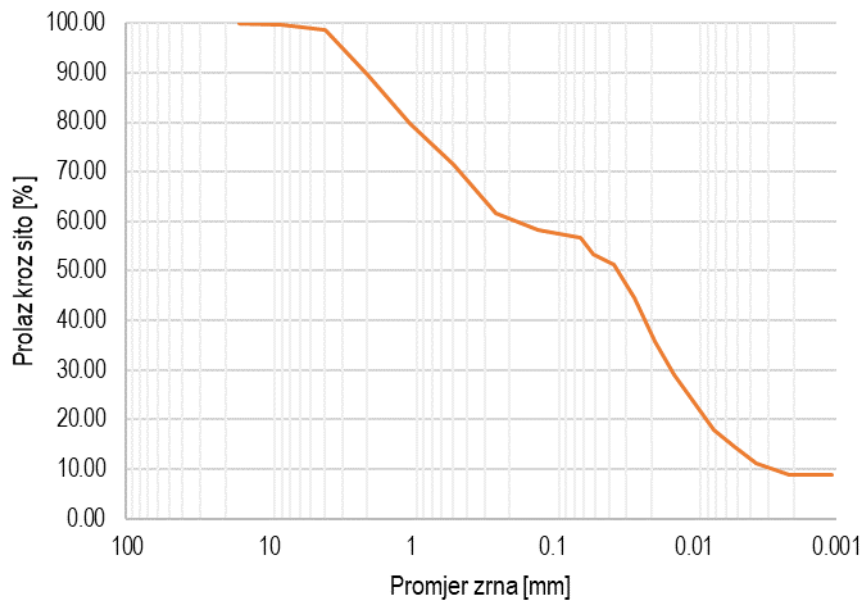
Zemljani materijal pripremljen je na čistoj betonskoj podlozi, sijanjem kroz sito promjera 16 m (slika 4.2.). Mješavina (slika 4.3) primijenjena za izradu oba zida od nabijene zemlje pripremljena je miješanjem tla iz mjesta Orlovnjak (okolica Osijeka) sa sitnim dravskim šljunkom granulacije 0-4 mm, i to u omjeru 60:40. Dodavanje sitnog šljunka u masenom udjelu 40 % provedeno je kako bi mješavina sastavom dobro odgovarala mješavinama od kojih su izrađene tradicijske kuće od nabijene zemlje s područja Slavonije i Baranje. Nakon toga je materijal vlažen ravnomjernim špricanjem sitnim kapljicama po površini i miješan lopatom.

Valja napomenuti i da je materijal korišten za izradu ovih zidova istovjetan materijalu od kojega su izrađeni zidovi W3 i W4 ispitani na djelovanja simuliranih potresnih sila u ravnini zida i prikazani u izvještaju D5.

U svaki sloj dodano je 10 kanti (zapremnine 15 L), pripremljenog materijala. Materijal je prije zbijanja poravnat gaženjem te je zbijan udarcima metalnim nabijačem. Svaki sloj zbijan je ravnomjerno, nekoliko puta, do postizanja ravnosti plohe. Prije nasipavanja materijala za novi sloj, površina zbijenog sloja je povremeno pokvašena špricanjem vode.



Slika 4.2 Priprema zemljanog materijala sisanjem



Slika 4.3 Granulometrijska krivulja mješavine rabljene za izradu zidova od nabijene zemlje

Jedan zid je izveden uz dodavanje pšenične slame između izvedenih slojeva te je označen kao W-RE-f (slika 4.4), dok je drugi izveden bez slame i označen kao W-RE (slika 4.5). Tako će biti moguće dodatno istražiti utjecaj dodatka slame na zrakopropusnost i toplinsku provodljivost zidova od nabijene zemlje, ali i eventualni utjecaj na nosivost zidova okomito na njihovu ravninu. Tijekom terenskog istraživanja u prošlom razdoblju projekta (2021. godina), na pojedinim je objektima uočena prisutnost stabljika slame između slojeva nabijene zemlje te je stoga nužno provjeriti svojstva zida sa slamom u odnosu na istovjetni zid bez slame.



Slika 4.4 Zid W-Re-f sa slamom između slojeva



Slika 4.5 Zid W-RE bez slame između slojeva

Za izradu dva zida od nabijene zemlje, timu od četiri čovjeka trebalo je pet radnih dana. Oplata je skinuta tjedan dana nakon završetka izrade zidova kako zbog velike vlastite težine ne bi došlo do puzanja zidova. Zidovi su izrađeni direktno na betonskoj podlozi, na vanjskim stranama komore za ispitivanje zrakopropusnosti (slika 4.6 i slika 4.7). Tako je odlučeno jer bi zbog velike vlastite težine zidova, njihov transport u otvor komore bio otežan, te jer je na ovaj način izvedba zida jednostavnija. Na isti način su izvedeni i zidovi u prethodnom izvještajnom razdoblju.



Slika 4.6 Završeni zid W-Re-f nakon uklanjanja oplate



Slika 4.7 Završeni zid W-RE nakon uklanjanja oplate

Prilikom izrade, uzeta su tri uzorka za određivanje vlažnosti, čiji su rezultati prikazani u tablici 4.1. Vlažnost zida bez dodatka slame (W-RE) tijekom izrade je u prosjeku iznosila 8.83 %, dok je vlažnost zida s dodanom slamom između slojeva (W-RE-f) tijekom izrade u prosjeku iznosila 9.61 %. Valja napomenuti da je vlažnost uzoraka provjerena i pomoću „drop testa“ (Minke,



2013) prilikom izrade zidova, kao i prilikom izrade uzoraka za ispitivanje tlačne i vlačne čvrstoće.

Tablica 4.1 Vlažnost zidova prilikom izrade

Zid		Uzorak		
		#1	#2	#3
W-RE	Vlažnost (%)	9.29	8.33	8.87
	Prosječna vlažnost (%)	8.83		
W-RE-f	Vlažnost (%)	10.13	9.33	9.36
	Prosječna vlažnost (%)	9.61		

Za potrebe određivanja tlačne i vlačne čvrstoće materijala od kojeg su izrađeni zidovi, za vrijeme izgradnje zidova, izrađene su tri kocke, tri valjaka te tri uzoraka prizmi i pločica. Uzorci su izrađeni od istog materijala, pripremljenog na isti način. Svi su uzorci zbijani do prosječne zbijenosti od 98 %, odnosno kada se više nije vidjela promjena na površini sloja nakon naknadnog zbijanja. Uzorci su pohranjeni u komoru sa kontroliranom vlažnosti prostora  $50 \pm 5$  % pri temperaturi  $20 \pm 5$  °C. Njegovanje je planirano do trenutka ispitivanja zidova u idućem projektnom razdoblju, kako bi se poznavale čvrstoće materijala upravo u tom trenutku.

## 5. Određivanje koeficijenta toplinske provodljivosti

Koeficijent toplinske provodljivosti za materijal od kojega su izrađeni zidovi u 2021. i 2022. godini određen je na pločastim uzorcima tlocrtnih dimenzija 150 x 150 mm i debljine 25–30 mm. Ispitivanje je provedeno primjenom uređaja FOX200 koji koristi ustaljenu tehniku za određivanje koeficijenta toplinske provodljivosti.

Provedeno je ispitivanje toplinske provodljivosti uzoraka izrađenih od materijala od kojega su izrađeni novi zidovi (W-RE i W-RE-f) uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti (slika 5.1). Uz to, provedeno je i određivanje koeficijenta toplinske provodljivosti za dodatnih pet skupina uzoraka (slike 5.2 - 5.6). Uzorci prikazani na slikama 5.1 i 5.2 odgovaraju redom materijalu parova zidova W1 i W2 te W3 i W4 koji su izgrađeni tijekom 2022. godine te iste godine ispitani na djelovanje horizontalnog opterećenja u njihovoj ravnini (izvješće D5). Uzorci prikazani na slici 5.3 odgovaraju materijalu od kojega su izrađeni zidovi u 2021. godini.

Za četiri skupine uzoraka (tablica 5.1), izrađeni su i uzorci na kojima će se u narednim projektnim razdobljima ispitati toplinska provodljivost radi istraživanja utjecaja starosti uzorka na promjenu koeficijenta toplinske provodljivosti. Valja napomenuti da je jedna skupina izrađena od „recikliranog“ materijala, koji je dobiven rušenjem zida W-50. Uz to, izrađena je i nova skupina uzoraka uz 4 % masenog udjela vapna u mješavini od koje su izrađeni zidovi W-RE i W-RE-f.

Na četiri skupine uzoraka (tablica 5.1) planirano je provesti ispitivanje u svrhu određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti nakon 12, 24 te 36 mjeseci. Uzorci se čuvaju u laboratoriju Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek u komori s kontrolom stalne vlažnosti i temperature.

Uzorci koji bi u slojevima sadržavali slamu ili u koje bi bila umješana slama, a kakvi bi odgovarali materijalu od kojega su izrađeni zidovi u ovom izvještajnom razdoblju nisu izrađeni budući da ispitivanja toplinske provodljivosti na takvim uzorcima primjenom uređaja FOX200 ne bi imalo razumno opravdanje.

Tablica 5.1 Broj uzoraka izrađen za ispitivanje toplinske provodljivosti tijekom narednih godina radi utvrđivanja utjecaja starosti

Oznaka mješavine	Godina ispitivanja toplinske provodljivosti				Ukupno uzoraka po mješavini
	2022.	2023.	2024.	2025.	
	Broj izrađenih uzoraka				
W1/W2*	3	3	3	3	12
W-RE/W-RE-f i W3/W4*	3	3	3	3	12
Reciklirani materijal	3	3	3	3	12
Mješavina s 4% vapna	3	3	3	3	12
Ukupno uzoraka za ispitivanje po godini	12	12	12	12	48

Na slikama 5.1 – 5.6 prikazani su uzorci na kojima je ispitan koeficijent toplinske provodljivosti. Slike su za sve uzorke izrađene nakon provedenog ispitivanja. Za svaku od 6 mješavina izrađeno i ispitano po tri uzorka.



(a) #1

(a) #2

(a) #3

Slika 5.1 Uzorci nakon određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti - reprezentativni uzorci izgrađenih zidova (W-RE/W-RE-f te W1/W2 (izvješće D5))

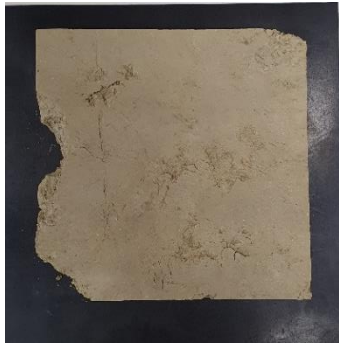


(a) #1

(a) #2

(a) #3

Slika 5.2 Uzorci nakon određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti – reprezentativni uzorci izgrađenih zidova (W1/W2 – izvješće D5)



(a) #1



(a) #2

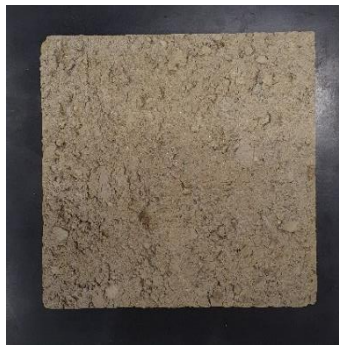


(a) #3

Slika 5.3 Uzorci nakon određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti - OSa.100.0.0



(a) #1

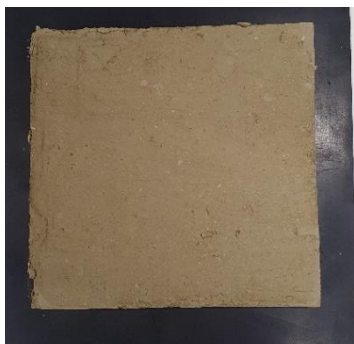


(a) #2



(a) #3

Slika 5.4 Uzorci nakon određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti – OSa.44.56.0



(a) #1

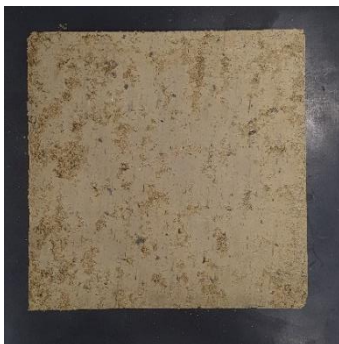


(a) #2



(a) #3

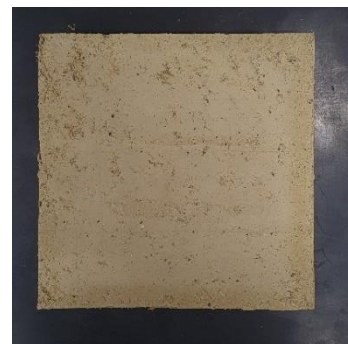
Slika 5.5 Uzorci nakon određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti – reciklirani materijal



(a) #1



(a) #2



(a) #3

Slika 5.6 Uzorci nakon određivanja koeficijenta toplinske provodljivosti – mješavina s 4% vapna

Za svaki uzorak određena je srednja vrijednost koeficijenta toplinske provodljivosti. U Tablici 5.2 prikazane su srednje vrijednosti za svaki uzorak te prosječne vrijednosti za svaku ispitanu mješavinu.

Tablica 5.2 Rezultati ispitivanja koeficijenta toplinske provodljivosti

Mješavina	Uzorak			Prosječna vrijednost $\lambda$ (W/mK)
	#1	#2	#3	
W1/W2*	0,3943	0,4017	0,3882	0,3947
W-RE/W-RE-f i W3/W4*	0,4495	0,4513	0,4682	0,4563
OSa.100.0.0	0,3802	0,2928	0,3897	0,3542
OSa.44.56.0	0,3547	0,4730	0,3962	0,4080
Reciklirani materijal	0,2716	0,4779	0,3404	0,3633
Mješavina s 4% vapna	0,4781	0,4956	0,4453	0,4730

\* oznake modela zidova opisanih u izvješću D5

Vrijednosti koeficijenta toplinske provodljivosti određene na uzorcima od nabijene zemlje kreću se u granicama od 0,3542 W/mK do 0,4730 W/mK. Usporedbom s podacima danim u Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, uzorci od nabijene zemlje bilježe bolje toplinske karakteristike i od armiranog betona ( $\lambda = 2,6$  W/mK) i od pune opeke ( $\lambda = 0,81$  W/mK), no lošije u odnosu na stiropor ( $\lambda = 0,032 - 0,04$  W/mK).

## 6. Preliminarna eksperimentalna ispitivanja koeficijenta prolaska topline (U vrijednosti) zemljanih zidova W-RE i W-RE-f

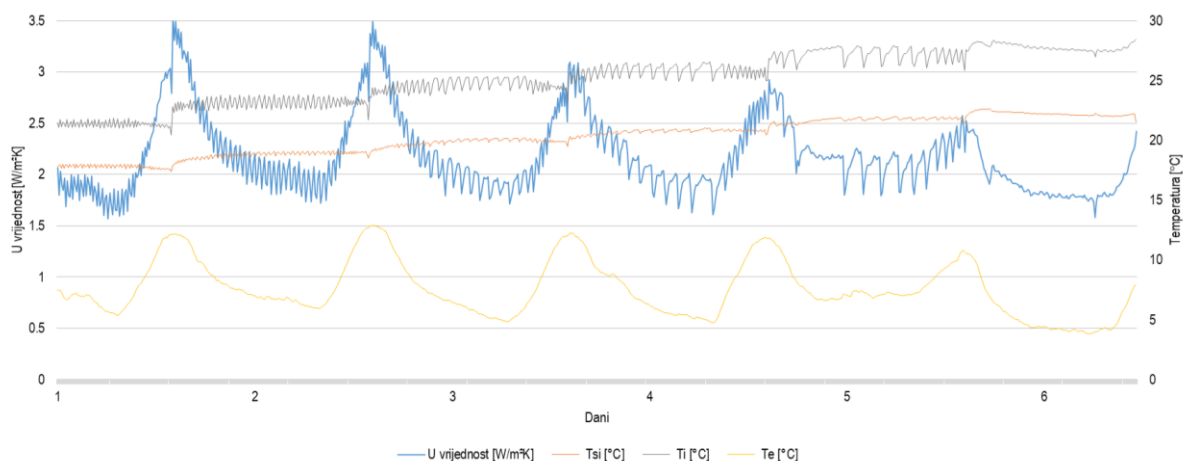
Nakon što su zidovi W-50 i W-40 ispitani, isti su nakon razornog ispitivanja nosivosti na horizontalne sile uklonjeni te su izvedena dva nova zida debljine 40 cm s istočne (W-RE) i zapadne strane (W-RE-f). Prilikom izvedbe zida W-RE-f između slojeva ugrađena je pšenična slama. Za navedene zidove provedeno je preliminarno ispitivanje koeficijenta prolaska topline (U vrijednosti) nerazornom in situ temperaturnom metodom (eng. Temperature Based Method, TBM).

U tablici 6.1 su na temelju podataka dobivenih preliminarnim ispitivanjem temperaturnom metodom, izračunate i prikazane srednje U vrijednosti s mjernim nesigurnostima prema metodi prosjeka za zidove W-RE i W-RE-f. Uz rezultate eksperimentalnog ispitivanja, u tablici 6.1 prikazana je i usporedba in situ izmjerenih U vrijednosti sa 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 (rezultati ispitivanja uzoraka W-RE/W-RE-f).

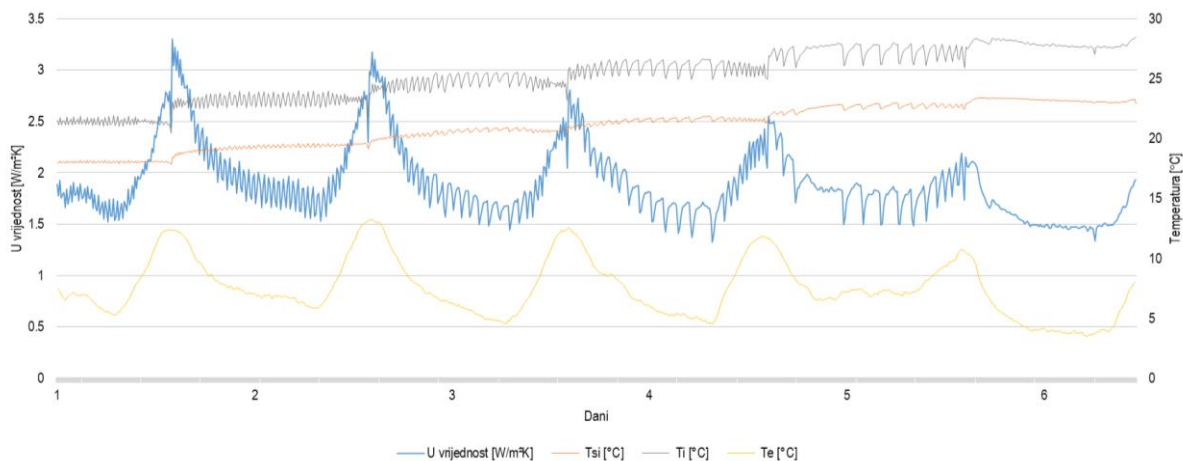
Tablica 6.1 Uvjeti ispitivanja, izmjerene srednje U vrijednosti, teorijske U vrijednosti i odstupanje između izmjerenih i teorijskih U vrijednosti zemljanih zidova

Model	Trajanje ispitivanja	Uvjeti ispitivanja	Srednja vrijednost $\Delta T$ [°C]	$U_m$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_t$ [W/m <sup>2</sup> K]	$\sigma$ [%]
W-RE	6 dana	$T_i=23$ °C	17,6	$2,18\pm 0,14$	0,96	127
W-RE-f	6 dana	$T_i=23$ °C	17,7	$1,91\pm 0,14$	0,96	99

Na slikama 6.1 i 6.2 grafički su prikazani preliminarni rezultati ispitivanja zidova W-RE i W-RE-f temperaturnom metodom tijekom sezone grijanja odnosno izmjerene U vrijednosti u ovisnosti o unutarnjoj temperaturi zraka ( $T_i$ ), vanjskoj temperaturi zraka ( $T_e$ ) i temperaturi površine zida ( $T_{si}$ ).



Slika 6.1 Prikaz dobivenih U vrijednosti, unutarnje temperature zraka (Ti), vanjske temperature zraka (Te) i temperature površine zida (Tsi) tijekom sezone hlađenja, zid W-RE



Slika 6.2 Prikaz dobivenih U vrijednosti, unutarnje temperature zraka (Ti), vanjske temperature zraka (Te) i temperature površine zida (Tsi) tijekom sezone hlađenja, zid W-RE-f

## 7. Zaključak

Na zidovima od nabijene zemlje koji su izvedeni u prethodnom projektnom razdoblju (2021. godina) provedeno je ispitivanje koeficijenta toplinske provodljivosti varirajući uvjete i metode ispitivanja. Uz to, provedeno je i ispitivanje zrakopropusnosti komore Blower door metodom. Nisu uočene velike razlike u vrijednosti toplinskog koeficijenta između zidova W-50 i W-40.

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 kućice za ispitivanje zrakopropusnosti. Time se stvorio prostor za izvedbu nova dva zida od nabijene zemlje na kojima će se zrakopropusnost te otpornost na djelovanja okomito na ravninu zida ispitati u idućem projektnom razdoblju (2023. godine).

Ispitivanjem otpornosti zidova od nabijene zemlje na djelovanje monotono rastućih horizontalnih sila okomito na njihovu ravninu uočeno je da oba zida, unatoč različitoj debljini

zida (40 i 50 cm), imaju približno istu nosivost koja iznosi oko 12 kN. Međutim, uočeno je da deblji zid W-50 pokazuje polaganiji pad krutosti nakon sloma. Uz to, iako su zidovi vrhunac nosivosti dosegli pri razmjerno niskim pomacima (1–2 mm), oba su zida prije konačnog rušenja izdržali pomake od oko 50 cm na mjestu unosa sile.

Mehanička svojstva određena su na uzorcima izrađenim u vrijeme izrade zidova (2021. godine). Pritom je na kockama i valjcima određena samo tlačna čvrstoća te je na temelju tih podataka određen i modul elastičnosti. Tlačna čvrstoća određena na kockama iznosila je u prosjeku 0,44 MPa, dok je prosječni modul elastičnosti određen u iznosu 13,99 MPa. Prosječna tlačna čvrstoća na valjcima iznosila je 0,07 MPa, dok je pripadni modul elastičnosti iznosio 6,82 MPa. Valja napomenuti da smatramo kako su zbog niske energije zbijanja uzorci bili u izrazito lošem stanju, s oštećenim rubovima i vrlo porozne strukture. Na temelju rezultata ispitivanja uzoraka s većom energijom zbijanja (prikazano u izvještaju D3), možemo zaključiti da bi mehanička svojstva bila znatno povoljnija da je izrada uzoraka provedena na drugačiji način.

Nakon uklanjanja zidova W-40 i W-50, izvedena su nova dva zida od nabijene zemlje (W-RE i W-RE-f) uz komoru za ispitivanje zrakopropusnosti, oba istih dimenzija (40 x 250 x 250 cm). Zidovi su izrađeni od mješavine zemljanog materijala iz okoline Osijeka (mjesto Orlovnjak) i sitnog dravskog pijeska u omjeru 60:40, pri prosječnoj vlažnosti materijala od oko 8.8 % (W-RE), odnosno 9.6 % (W-RE-f). Pritom je u jedan od zidova (W-RE-f) dodana pšenična slama između slojeva, kao vlakno koje bi trebalo dodatno osigurati stabilnost zida. Na zidovima je provedeno preliminarno eksperimentalno ispitivanje koeficijenta toplinske provodljivosti u trajanju od 6 dana. Pritom su uočene značajnije razlike između dvaju zidova.

Provedena je i izrada šest grupa uzoraka za određivanje koeficijenta toplinske provodljivosti u uređaju FOX 200. Od svake grupe ispitana su po tri uzorka te je još po devet uzoraka pohranjeno za ispitivanje nakon 12, 24 i 36 mjeseci. Na taj će se način provjeriti utjecaj starosti uzorka na vrijednost koeficijenta toplinske provodljivosti. Na uzorcima ispitanim u ovom projektnom razdoblju uočeno je da uzorci od nabijene zemlje bilježe bolje toplinske karakteristike od armiranog betona i pune opeke, no lošije u odnosu na stiropor.

## Literatura

- Minke, G. (2013). Building with Earth. *Building with Earth*. <https://doi.org/10.1515/9783034608725>
- Silva, R. A., Domínguez-Martínez, O., Oliveira, D. v., & Pereira, E. B. (2018). Comparison of the performance of hydraulic lime- and clay-based grouts in the repair of rammed earth. *Construction and Building Materials*, 193, 384–394. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.207>
- Silva, R. A., Oliveira, D. v., Miranda, T., Cristelo, N., Escobar, M. C., & Soares, E. (2013). Rammed earth construction with granitic residual soils: The case study of northern Portugal. *Construction and Building Materials*, 47, 181–191. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.047>
- Silva, R. A., Oliveira, D. v., Schueremans, L., Miranda, T., & Machado, J. (2016). Effectiveness of the repair of unstabilised rammed earth with injection of mud grouts. *Construction and Building Materials*, 127, 861–871. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.064>

Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (Translation: Technical Regulation on the Rational Use of Energy and Thermal Insulation in Buildings). Narodne novine, broj 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, 102/20