

Simon Dániel¹, Kemes Balázs², Medvey Boldizsár³

A KORSZERŰ VÁLYOGÉPÍTÉS LEHETŐSÉGEI, A VERT VÁLYOGFALAK JELENE ÉS JÖVŐJE

POSSIBILITIES OF MODERN EARTH CONSTRUCTION, PRESENT AND FUTURE OF RAMMED EARTH WALLS

KIVONAT / HUN

Napjainkban a környezetbe jutó károsanyag kibocsátás 30%-a, illetve az éves szemétermelés egyharmad része az építőiparhoz köthető. Építőanyagaink nagy részének újrahasznosításához mind a mai napig nincs jó megoldás. Az említett hulladékok közé tartozik az építkezések során kitermelt föld is. A vályog újrafelfedezése egy fontos mérföldkő lenne, hiszen egy olyan környezetbarát építőanyagról van szó, mely számtalan alkalommal újra felhasználható és hulladékmentes. Kutatásom során arra kerestem válaszokat, hogy melyek a legjelentősebb hátráltató tényezők, amelyek miatt a vályog, legfőképp a vert vályogfalak alkalmazása ellehetetlenül, vagy nehezékké válik, illetve van-e ésszerű keretek között megoldás az alkalmazásával kapcsolatos problémákra úgy, hogy a mai építési trendekkel kompatibilis legyen. A kutatás során a vert falak homlokzati vízterhelése és eróziója állt a tanulmány középpontjában.

Kulcsszavak: vályog, vályogépítés, vert vályogfal, környezettudatos építés, újrahasznosítható

ABSTRACT / ENG

In these days the 30% of emission of harmful substances and the third of waste production is connected to the construction industry. Today, there is still no good solution for recycling most of our building materials. Surprisingly, this waste includes soil excavated from construction sites. The rediscovery of loam would be an important milestone, as it is an environmentally friendly building material that can be reused in countless ways and it is waste-free. In my research, I tried to find answers to the most significant barriers that make the use of adobe, especially of rammed earth walls, impossible or difficult, and whether there is a reasonable solution to the problems associated with its use, in a way that would be compatible with today's building trends. The study focused on the water load and erosion of the facade of the vertical adobe walls.

Keywords: adobe, earth building, rammed earth wall, environmentally friendly construction, reuseable

¹ építész hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, e-mail: simondani98@gmail.com

² okl. építészmérnök, DLA, egyetemi adjunktus, BME Építészmérnöki Kar Középülettervezési Tanszék, e-mail: kemes.balazs@epk.bme.hu

³ okl. építészmérnök, egyetemi tanársegéd, BME Építészmérnöki Kar Épületszerkezzetani Tanszék, e-mail: medvey.boldizsar@epk.bme.hu

1. | BEVEZETÉS

A vályogot, mint építőanyagot, azon belül is a vert vályogfalakat a komplex tervezés nevű tárgyaim során kezdem el tanulmányozni, mert a tervezett épületek fontos elemei voltak ezek az épületszerkezetek. Céлом az anyag megismerése mellett az volt, hogy a felhasználás legfontosabb szempontjait is összegyűjtssem, hogy tervemben helyesen alkalmazzam azokat. Természetesen számos olyan aspektusa maradt még a vályognak, illetve a belőle készülő vert falaknak, melyek meghaladták a tervezési tárgy kereteit, ezért egy TDK keretében tovább foglalkoztam a témával [1]. Dolgozatomban foglalkoztam az anyag stabilizálásának lehetőségeivel és a vízzel szembeni ellenálló képesség növelésének eszközeivel, de a vályog ritka alkalmazásának hátterét is próbáltam feltárni. Kutatásom fókuszában azonban a vert vályogfalakat érő külső hatások, azon belül is a homlokzatot érő vízterhelés elemzése állt, amelyhez egy kísérlet is kapcsolódott. Ebben a cikkben a kísérletet inspiráló elméleti hátteret igyekszem összegyűjteni, majd magát a kísérletet és annak tanulságait mutatom be.

2. | A STABILIZÁLÁS ÉS KÖVETKEZMÉNYEI

A vályognak rengeteg előnye ellenére vannak hátrányos tulajdonságai is. Más anyagokhoz hasonlóan, ezeket a tulajdonságokat általában különböző adalékok hozzáadásával kísérik meg kedvezőbbé tenni [2]. Ezek a komponensek kezdetben természetes anyagok voltak, napjainkban azonban már a mesterséges adalékok használata a gyakoribb megoldás. A vályog leggyakrabban javítani kívánt tulajdonságai a szilárdsága, a hőszigetelő képessége, a vízzel szembeni ellenálló képessége és nagy mértékű zsugorodásának csökkentése, illetve adott esetekben a felületi ellenálló képességének fokozása. Attól függően, hogy az alkalmazáshoz melyik attribútum feljavítása szükséges több szóba jöhető adalékanyag is rendelkezésünkre áll.

A kortárs földépítészetben a leggyakoribb mesterséges stabilizáló anyag a

cement. A vályogban lévő agyag arányától függő mértékben adagolható effektíven cement a keverékhez. Kővér, azaz nagy agyagtartalmú keverékeknél ezzel a stabilizálással szinte egyáltalán nem érhető el javulás az anyag tulajdonságaiban. Normál vályog esetében 3%-os, míg sovány vályog esetében 5%-os cement adagolással érhető el gazdaságosan a szerkezet viszonylag eredményes megerősítése [3]. Ezen adalékszer leginkább két okból alkalmazzák az anyag stabilizálására: egyrészt növeli a szilárdságot, másrészt, mivel kémiai kötések hoz létre, jelentősen csökkenti a vízre való érzékenységet.

A cementtel való stabilizálás azonban több olyan következményt von magával, melyek nem elhanyagolhatóak. Egyrészt tönkreteszi a vályog különleges páragazdálkodó képességét, másrészt rendkívül nagy mértékben megnöveli a beépített energiataralmat, amellyel más környezetszennyező anyagok szintjére süllyeszti a vályogot [4]. A legnegatívabb következmény, hogy ezen eljárás után az anyag nem használható fel többször úgy, ahogy az egy stabilizálatlan szerkezet esetében lehetséges. Ennek az az oka, hogy míg az agyag ásványainak kötési víz segítségével felbonthatóak, majd száradás hatására újraköthetőek (fizikai kötések), a cement esetében ezek a kötések, csak mechanikai behatással (pl. őrlés) bonthatók fel és kötőanyag, azaz cement további adagolásával köthetőek újra. Érdemes azt is megvizsgálni, hogy milyen mértékben erősíthető meg ezen adalék alkalmazásával a vályog. A témával külföldi és hazai cikkekben egyaránt foglalkoznak. Az egyik legjelentősebb külföldi cikk Henri Van Damme és Hugo Houben „Earth concrete. Stabilization revisited” című munkája [5]. Az írás alapját saját kísérleteik képezik. Betonokat és cementtel stabilizált különböző típusú vályogfalakat hasonlítottak össze kötőanyag-intenzitás és karbonintenzitás mutató alapján. A kutatásuk eredményeként megállapították, hogy a vályog cementtel való stabilizálása egyáltalán nem kifizetődő, mivel az anyag tulajdonságait csak csekély mértékben javítja, cserébe mindez nagy mértékű környezeti terhelés mellett következik be. A cementtel való stabilizálással lényegében csak silány földbetont készítenek – így összegzik eredményeiket.

3. | A KÍSÉRLET KÖZVETLEN HÁTTERE

Ahogy azt minden vályogépítéssel foglalkozó tudományos írásban megemlítik, a vályog legnagyobb ellensége a víz. A hagyományos, stabilizálatlan vályog anyagú szerkezetben a kötőerőért felelős komponens az agyag. A keverékekhez készítés közben minden esetben vizet adagolunk. A nedves agyagban az agyagkristályok közti vízfilm miatt az anyag képlékeny állapotba kerül. Szilárdulás, azaz száradás közben ezek a kristályok egymáshoz tapadnak, ez biztosítja a kötést. Ez a folyamat reverzibilis, a kész szerkezet alkotó keverékben újra és újra végbe tud menni a képlékenyedés, majd a száradás [6]. Ez az alapja annak, amiért egy végtelenszer újra használható anyagként tartják számon a vályogot. Így tehát paradox módon az anyag legkedvezőbb tulajdonsága adja a legnagyobb gyengeségét is egyben.

A vályog szerkezeteink, ahogy a vert falak is több módon kerülhetnek kapcsolatba vízzel. Egyrészt az építés közben, másrészt az épületek funkciójával együtt járó használati víz rendszeren keresztül. Jó tervezéssel és helyes műszaki kialakításokkal ezen nedvességforrások hatása nem jelentkezik káros módon. Az időjárás viszont egy rendszeresen jelentkező olyan külső hatás, amelynek problémája nem megkerülhető, ezért a felületi erózió jelenségével mindenképpen foglalkozni kell a téma vizsgálatánál.

A népi építészetben ismert vályogházak falait meszeléssel, nagy mértékben túlnyúló tetővel, illetve a terepszinttől való elemeléssel vagy a lábazat más anyaggal való megerősítésével védték a külső, környezeti hatásokkal szemben [7]. Ma már nem minden helyzetben reális ezen megoldások alkalmazása, hiszen folyamatos karbantartást igényelnek, ráadásul több kompromisszumot szükséges kötnünk hozzá, mint amit az előírások és a mai használat lehetővé tesznek [8]. Sok esetben jelentkezik új igényként a vert vályogfalak jellegzetes felületi textúrájának láttatása, amely szintén ellehetetleníti a hagyományos felületvédelmi technikák alkalmazását.

Mivel ez a tulajdonság a vályogfalak legmeghatározóbb problémája, sok

olyan megoldás született, amely a kültéri alkalmazás lehetőségeit igyekszik megoldani, esetenként több, máskor kevesebb sikerrel.

A leggyakoribb módszer, amely a kortárs építészetben is elterjedt sajnos a cementtel történő stabilizálás. A Rammed Earth Works, az Earth Structures Group nevű amerikai, illetve ausztrál cégek, előregyártott vert vályogfal panelei is cement adagolással készülnek, hogy a kívülről látszó vert vályog textúra érvényesülhessen, de közben a szerkezet víz általi eróziója ne érjen el jelentős értékeket, a felület ellenállóbb legyen. Ugyanezt a vonalat képviseli a szintén ausztrál Sirewall rendszer is. Ez a „megoldás” javítja a faltest tulajdonságait és lehetővé teszi a homlokzati falként való alkalmazását a vert falaknak, azonban ahogy azt korábban tárgyaltam, rendkívül hátrányos következményeket von magával. Ahhoz, hogy fenntartható és környezetbarát alternatívaként tarthassuk számon a vályogépítést, mindenképpen kerülnünk kell a cement, mint adalék használatát.

A felületi erózió mérséklése azonban nem csak cementtel lehetséges. A stabilizálatlan vert vályogfalak gyártásának egyik központja napjainkban az ausztriai Vorarlbergben található. Itt Martin Rauch vályogmester és csapata gépekkel előregyártott stabilizálatlan vert vályogpaneleket készít és épít be nagy sikerrel. A falak mindenféle felületi erősítés vagy adalékszer nélkül ellenállnak az időjárás viszontagságainak anélkül, hogy javításra szorulnának vagy felületük túlzott mértékben erodálna. Ennek a módszernek a legismertebb példája a nemrégiben átadott Ricola gyár, melynek bár primer tartószerkezete vasbeton pillérváz, külső térelhatároló szerkezete az említett vályog panelekből áll (**1. ábra**).

Persze az említett épület még nem áll annyi ideje, hogy felületi erózió szempontjából releváns következtetéseket tudjunk levonni. A módszer vizsgálatára 20 évvel ezelőtt kísérletet indítottak. A szabad ég alá helyeztek stabilizálatlan és cementtel stabilizált vert vályog faltesteket, amelyeket hagytak erodálni. 20 év időjárási viszonyoknak való kitettség után a stabilizált fal felületén 2 mm, míg a stabilizálatlan változat felületén 6,4 mm volt az erózió mértéke [9]. Ezek az eredmények azért jelentős adatok számunkra, mert hazánk klímá-



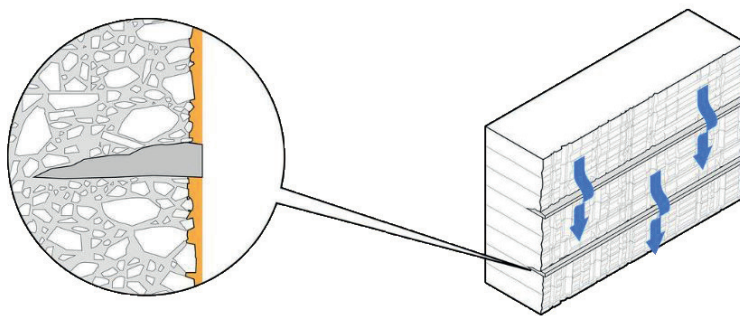
1. ÁBRA: A Ricola gyógynövény-feldolgozó üzem építése előregyártott vályog panel homlokzati falakkal

jával megegyező körülmények között helyezkednek el ezek a falak.

A gépi előregyártás azonban önmagában még nem elegendő a felületi erózió mérsékléséhez. Rauch és csapata kikísérletezett egy olyan kialakítást, mellyel még tovább mérsékelhető a felület kopása. Ennek a módszernek már nem a homlokzati falat közvetlenül érő, hanem a felületén lefolyó vízhez van köze. Több tudományos cikkben is megjelenik az elmélet, miszerint a homlokzaton lefolyó víz egyre jobban felgyorsulva egyre inkább erodálja a felületet [10]. A jelenség következtében a faltest alsó részén nagyobb mértékű károsodás figyelhető meg. A hatékony megoldás, melyet Vorarlbergben is gyakran alkalmaznak, őseink építészetében rejlik. Hiszen a történelmi épületek esetében a vízszintes párkányzatok

nem csupán díszítő céllal voltak jelen, hanem a homlokzaton lefolyó víz lelassítására, illetve kivezetésére is használták ezeket, hogy kevésbé károsítsa a fal felületét. A vert vályogfalakra adaptálva egy olyan konstrukciót alkottak meg, mellynél minden ledöngölt réteg után egy cserép/léc vízszintes homlokzati tagolás jelenik meg [11]. Ezek a cserepek vagy lécek készítés közben még a fallal egy síkban vannak. Az idők során bekövetkező erózió eredményeként kerülnek elő a homlokzaton, ahol szerepük a lefolyó víz mozgási energiájának fékezése és ezáltal a víz eróziós potenciáljának csökkentése (**2. ábra**).

Az ide kapcsolódó elméletek szerint a homlokzati felületből kimosódó finom szemcsék a vízszintes megszakítások felett lerakódnak és egy egyedi párkány szerű profilt alakítanak ki. Egyes cikkek



2. ÁBRA: A vert vályogfal felületének stabilizálódása vízszintes homlokzati tagolással



3. ÁBRA: A faltest készítéséhez felhasznált anyagok és előkészítésük

feltételezése szerint ez az erózió idővel szinte megszűnik, miután a fal felületéről a finom szemcsék kimosódnak, mivel a nagyobb alkotórészeket a víz már nem képes kimozdítani és kialakul egy stabil felület, mely a víz hatására már nem érzékeny.

4. | A KÍSÉRLET BEMUTATÁSA

Bár rengeteg dolgot lehetne vizsgálni a vert falakkal kapcsolatos elméletek vonatkozásában, az egyik legfontosabb talán a vízérzékenység kérdése és az erre adott megoldások. A kutatásomhoz kapcsolódó kísérletben az előző fejezetben ismertetett módszereket próbáltam ki, hogy azok gyakorlati működését vizsgáljam laboratóriumi körülmények között.

4.1. A FALTESTHEZ FELHASZNÁLT ANYAGOK

A vályogfal készítése során alapvetően kétféle keverékkel dolgoztam. Az alapanyag egyik felét Perbárról hozott vályogtéglák, a másik felét pedig Tengődről származó, rostált földkeverék adta. A vályogtéglák bedolgozása alátámasztja a vályog alkalmazásával kapcsolatban gyakran emlegetett tézist, miszerint végtelenszer és más formában is újra felhasználható (**3. ábra**).

Az anyagok véges mennyisége miatt a keverékekből három, illetve négy réteg készült, ez az anyagváltás a kísérletben

elkészített fal felületén is jól látható. Az alsó sötétebb rétegek a vályogtéglák anyagából döngölt, a felső, világosabb rétegek pedig a tengődi anyagból készített részek.

Az adalékok mindkét esetben 1-3 mm-es apró szemű homokos kavics és 8-16 mm szemcseátmérőjű durva kavics volt. A cement adagolás hatásai és következményei miatt a kísérletben nem alkalmaztam ezt az adalékot, így a kialakított faltest egy stabilizálatlan vert vályog konfiguráció.



4. ÁBRA: Az elkészült próbatest felületeinek kialakítása



4.2. A PRÓBATEST MÉRETEI, KIALAKÍTÁSA

A faltest méretét alapvetően meghatározta a rendelkezésre álló anyag mennyisége, illetve a kísérlethez készített zsaluzat. A zsalu kialakításából adódóan a fal vastagsága 20 cm, hosszúsága pedig 40 cm lett. Magassága a több ponton mért értékek átlaga alapján 78 cm volt.

A faltest kialakítása (**4. ábra**) több ponton is eltér a hagyományos, illetve



1. TÁBLÁZAT: A locsoló eróziós vizsgálatok típusai

változó	IS 1725 [12]	Bulletin 5, HB195 [13], NZS 4298 [14]	módosított Bulletin 5 [15]	Ogunye és Boussabaine [16]
vízszögár jellege	cseppek	folyamatos	cseppek	cseppek
víznyomás a szórófejben [kPa]	140	50	50	50
szórófej átmérője [mm]	100	48	3,2-7,5	10
locsolás iránya	vízszintes	vízszintes	vízszintes	függőleges
szórófej távolsága a próbatesttől [mm]	180	470	470	2000
locsolt felület átmérője [mm]	-	150	150	1000
vizsgálat időtartama [perc]	120	60	60-180	720

a kortárs vert vályogfalak kialakításától is. A 40 cm hosszúságú felülete mentén az egyik oldalon a hagyományos módon készült natúr vályogfal textúra látható, a másik oldalon azonban a kortárs vert falak esetében megfigyelhető megszakító sávokat helyeztem el, rétegenként kiosztva.

A fal döngölése, készítése során a rétegeket egyenletesen osztottam ki. Egy döngöletlen réteg vastagsága 15-16 cm volt, míg a döngölés utáni vastagsága már csak 11-12 cm. Tehát átlagosan egy réteg 4 cm-t tömörödött össze a döngölés hatására. Összességében tehát hét réteg készült el, melyek között összesen hat darab megszakító fa deszka helyezkedik el, de csak a fal egyik oldalán.

4.3. A KÍSÉRLET

A kísérletem során a Bulletin 5, HB 195 [13], NZS 4298 [14] gyorsított, locsoló eróziós vizsgálatot végeztem el a faltest mindkét oldalán.

Aszórófej átmérője, a locsolás iránya, illetve a szórófej távolsága a próbatesttől minimális eltérésekkel, de megfelel az 1. táblázat által diktált paramétereknek. A falat folyamatos vízszögárral terheltem, azonban a locsoló meghibásodása esetenként kisebb, máskor nagyobb nyomást eredményezett, mint 50 kPa. A locsolt felület átmérője a képeken is tisztán kivehető, körülbelül 30 cm-es értéket adott, mely duplája a táblázatban megadott szabványos vizsgálatához tartozó értéknek.

A legnagyobb eltérés a vizsgálat időtartamában volt. A szabványos értékekhez képest sokkal kevesebb ideig, mindössze 2,5 percig zajlott a kísérlet

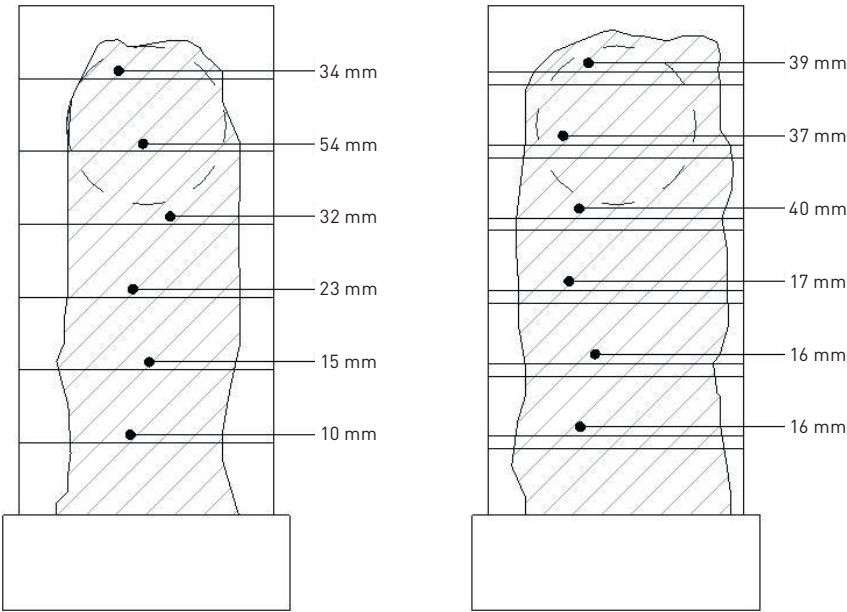
oldalanként. Ennek oka, hogy a víz öszszegyűjtésére alkalmazott láda olyan szintig telt vízzel, hogy a kísérletet folytatva elérte volna a faltest alját, mely nagymértékben zavarta volna a vég-eredményt.

Alapvetően az volt a célom, hogy ne csak a csapóeső hatását szimuláljam, hanem egyben a faltesten lefolyó víz okozta eróziót is megvizsgáljam a próbatest alsó részein. Emiatt a hagyományos 15 vagy 20 cm élhosszúságú kocka helyett egy 20×40×78 cm méretű próbatestet készítettem. A nagyobb méretű és oldalanként eltérő felületű próbatest segítségével nemcsak a felületi erózió mértékét akartam vizsgálni, hanem a megszakító sávok működését is.

4.4. EREDMÉNYEK

A próbatestről a kísérlet után le-mért adatok meglehetősen vegyesek (5. ábra). A felső zónában, ahol a szóró-fejből érkező vízszögár közvetlenül érte a felületet, viszonylag nagy mértékű a kimosódás. A natúr felület esetében ezen a részen volt mérhető a legnagyobb mértékű erózió (6. ábra). Azonban a lécezett felület ezen részén, a másik jellegzetes kimosódási ponton jelentősen nagyobb értékek voltak mérhetők a sima felületű oldalhoz képest (7. ábra).

A lábazati részen mért értékek még érdekesebb eredményt mutatnak. Itt ugyanis a fal legaljánál, ahol a felületi



5. ÁBRA: A próbatest hagyományos (balra), illetve lécezetes (jobbra) felületein mért erózió értékei



5. | AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE, FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A kísérlet egyik legmeglepőbb része a falazat meglehetősen nagy mértékű eróziója, melynek több magyarázata is van. Alapvetően külső falként történő alkalmazás esetén körülbelül 2-3 cm-t rá kell hagyni vastagságban erre a rétegre, ha pontos szerkezeti méretet szeretnénk, hiszen nagyjából ekkora mértékű a finom szemcsék kimosódásával járó erózió. Ez azonban alapesetben egy nagyon hosszú folyamat, melynek egy ilyen gyorsított eróziós vizsgálathoz képest nem szabadna ekkora értékeket adnia.

Jelen kísérlet esetében a nem megfelelő mértékű tömörítés járult hozzá legnagyobb mértékben a felület ilyen mértékű eróziójához. Feltehetően a tömörítésre használt döngölő kialakítása nem volt ideális. A lécre erősített rétegelt lemez lapot a léccs csak annak közepén nyomta megfelelő módon, nem pedig a teljes felületén, így a széleken nem adódott át akkora erő és nem tömörítette a próbatest peremeit kellőképpen. Érdemes lenne a kísérlet megismétlésénél egy kisebb felületű döngölőt használni a jobb és egyenletesebb tömörítés érdekében.

Egy furcsa anomália, hogy a lécbetákos konstrukciónak kevésbé kellett volna erodálnia a faltest alján, mint a sima felületű oldálnak, azonban ez éppen fordítva történt. Ennek oka egyrészt szintén a rossz tömörítésben, másrészt a választott elválasztó szegélyek anyagában keresendő. A falécből kialakított szegélyek viszonylag rugalmasak, így a tömörítés során nem tudtak szerves részeként beépülni a falszerkezetbe. Az elválasztó szegélyek körüli lazább részeket a víz hamar kimosta, emiatt jobban erodálódtak ezek a részek. A jövőbeni esetleges kísérletezés esetében mindenképpen kevésbé rugalmas anyag használata szükséges erre a célra, mely képes megfelelőbb módon beépülni a faltest szerkezetébe.

A vizsgálat időtartama is sokkal rövidebb volt, mint az előírt. Érdemes lenne megismételni a kísérletet a hosszabb időtartammal, de ehhez megfelelő szórófejre, működő nyomásszabályozóra lesz szükség, illetve a lefolyó víz összegyűjtését is más módon kell biztosítani.

6. ÁBRA: A próbatest natúr oldalának eróziója a kísérlet után

eróziót elméletileg a víz mozgási energiájából származó eróziós potenciál adja, a lécezett konstrukciónak sokkal jobban kellene teljesítenie a hagyományos kialakítású felülettel szemben. A kísérletben ez pont fordítva történt.

A sima felület esetében jól láthatóak, hogy a döngöléssel közvetlen kapcsolatba került részek, azaz a rétegek felső határai sokkal tömörebbek, így kevésbé erodálódtak és kvázi párkányokat képeztek a felületen.



7. ÁBRA: A próbatest lécbetákos oldalának eróziója a kísérlet után

A vert vályogfalak, a vályogépítés reneszánszát éli. Az ember folyamatosan igyekszik mérsékelni az ökológiai lábnyomát az élet minden területén, így az építőiparban is. Véleményem szerint a vályog újra felfedezése és integrálása a jelenlegi szabályozási és építési környezetbe az egyik legjobb lépés, melyet ezen az úton tehetünk, hiszen rendkívül alacsony a beépített energiatartalma, hulladékmentes és végtelen alkalommal újrahasznosítható. A kutatásom során világossá vált, hogy vannak olyan aspektusai az anyagnak, a szerkezetnek, melyek jelenleg megnehezítik az alkalmazását. Reális keretek között ezen nehézségek kiküszöbölhetőek lennének, ám ehhez a jövőben további kísérletek és kutatások szükségesek.

HIVATKOZÁSOK

[1] **Simon Dániel:** A korszerű vályogépítés lehetőségei, a vert vályogfalak jelene és jövője. TDK dolgozat, BME, Budapest, 2022, <https://tdk.bme.hu/EPK/DownloadPaper/A-korszeru-valyogepites-lehetosegei-a-vert>

[2] **Csicseley Ágnes:** Szemelvények a vályog- és földépítés történetéből. Építés - Építészettudomány 30(3-4), 2002, 273-287, <https://doi.org/10.1556/epud.30.2002.3-4.5>

[3] **Orbáné Csicseley Ágnes:** Vályogfalak kísérleti és elméleti teherbírásvizsgálata. Doktori értekezés, BME, Budapest, 2006, <http://hdl.handle.net/10890/1435>

[4] **Medvey Boldizsár:** Földépítés egy környezetbarátabb építőiparért: a föld anyagú falak előnye. Metszet 12(6), 2021, 90-93, <https://doi.org/10.33268/Met.2021.6.12>

[5] **Henri Van Damme, Hugo Houben:** Earth concrete. Stabilization revisited, Cement and Concrete Research 114, 2018, 90-102, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.035>

[6] **Molnár Viktor:** A vályog és a favázis vályogépítészet anyagai. Doktori értekezés, NyME, Sopron, 2005, http://doktori.uni-sopron.hu/id/eprint/36/1/de_1686.pdf

[7] **Gernot Minke:** Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser. Basel/Berlin/Boston, 2006.

[8] **Bihari Ádám, Medgyasszay Péter, Medvey Boldizsár:** Természetes építőanyagok szabályozása: különös tekintettel a vályog építési anyagokra és technikákra. Metszet 9(6), 2018, 84-91. https://epa.oszk.hu/03500/03575/00003/pdf/EPA03575_metszet_2018_06_084.pdf

[9] **Q. B. Bui, J. C. Morel:** Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering. Building and Environment 44(5), 2009, 912-919, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.001>

[10] **Kevan Aubrey Heathcote:** An investigation into the erodibility of earth wall units. Doktori értekezés, University of Technology Sydney, Sydney, 2002, <https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/20153/2020/02Whole.pdf>

[11] **Medvey Boldizsár:** Földanyagú külső falak tartóssága. Metszet 10(6), 2019, 56-63, <http://doi.org/10.33268/Met.2019.6.7>

[12] **IS:1725-1982:** Indian Standard: Specification for soil based blocks used in general building construction (first revision). Indian Standards Institution, New Delhi, <https://law.resource.org/pub/in/bis/S03/is.1725.1982.pdf>

[13] **Peter Walker:** The Australian Earth Building Handbook. Standards Australia, 2002. <https://www.saiglobal.com/PDFTemp/Previews/OSH/as/misc/handbook/HB195.pdf>

[14] **NZS 4298:1998:** Materials and workmanship for earth buildings: Incorporating amendment no. 1. Standards New Zealand, Wellington, https://cobcode.s3.amazonaws.com/supporting-docs/NZS4298-1998-Materials_and_Workmanship_For_Earth_Buildings.pdf

[15] **G. F. Middleton, L. M. Schneider:** Bulletin 5: Earth-wall construction, 4th edition. National Building Technology Centre, Australia, 1987, <https://www.saiglobal.com/pdftemp/previews/osh/as/misc/csiro/csiro5.pdf>

[16] **F. O. Ogonye, H. Boussabaine:** Development of a rainfall test rig as an aid in soil block weathering assessment. Construction and Building Materials 16(3), 2002, 173-180, [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00010-7](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00010-7)