

A korszerű vályogépítés lehetőségei, a vert vályogfalak jelene és jövője

TDK

Építészmérnöki Kar

2022

Szerző:

Simon Dániel

Konzulens:

Dr. Kemes Balázs

Medvey Boldizsár

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Épületszerkezzetani Tanszék

Tartalomjegyzék:

0.0 Absztrakt

1.0 Előszó

2.0 – Bevezetés

2.1 – Motiváció

2.2 – Témafelvetés

2.3 – A kutatás célja

2.4 – Hipotézisek

3.0 – A vályogépítés története

3.1 – A világban

3.2 – Hazánkban

4.0 – A vályog, mint építőanyag

4.1 – A vályog alapvető alkotórészei, fajtáik, jelentőségük

4.2 – A vályog minőségének javítására alkalmazható anyagok és hatásuk

4.2.1 – Természetes adalékanyagok

4.2.2 – Mesterséges adalékanyagok

4.3 – A vályogkeverékek alapvető fajtái és műszaki adataik

4.4 – Főbb vályogépítési technológiák

4.4.1 – Rakott fal

4.4.2 – Vályogtéglafal

4.4.3 – Vert fal

5.0 – A vályog és legfőképp a vert vályogfalak alkalmazásának nehézségei napjainkban,
illetve ezen nehézségek kiküszöbölésének lehetőségei

5.1 – Szabványosítás/szabványosíthatóság

5.2 – Modern anyagokhoz képest gyengébb tulajdonságok

5.3 – Egyedi épületfizikai tulajdonságok

5.4 – Szakemberhiány, munkaerőhiány, időhiány

5.5 – Problémás a megerősítése

5.6 – Statikai szempontból nem előnyös

5.7 – Vízérzékenység

5.8 – Összegzés, a felsorolt problémák és megoldási javaslatok konklúziója

6.0 – Kísérlet a vert falak víz általi felületi eróziójának vizsgálatára

6.1 – Faltesthez felhasznált anyagok, összetétel

6.2 – Zsaluzat, készített és használt eszközök

- 6.3 – A próbatest méretei, kialakítása
- 6.4 – Eróziós vizsgálatok főbb típusai, menete
- 6.5 – A jelen kísérletben alkalmazott gyorsított eróziósvizsgálat
- 6.6 – A kísérlet eredménye, dokumentációja
- 6.7 – A kísérlet eredményeinek magyarázata, hibái és fejlesztési lehetőségei
- 7.0 – Köszönetnyilvánítás
- 8.0 – Összegzés, jövőkép
- 9.0 – Irodalomjegyzék
- 10.0 – Ábrajegyzék

0.0 – Absztrakt

A vályog hosszú idők során az emberiség fő építőanyaga volt. Számos kultúrában használták a földet különböző adalékokkal összekeverve építésre. Erre talán a legismertebb példa a Kínai Nagyfal, melynek készítésénél vert- és öntöttfalas technológiákat is használtak.

A vályogépítés hazánkban is nagyon elterjedt volt, hiszen a földrajzi adottságaink hála, az ország majdnem minden részén rendelkezésre állt olyan talaj, melyből jó minőségű vályogot lehetett készíteni. Így rengeteg különböző vályog építési technika alakult ki. Az 1900-as évekre Magyarország Európa földépítési központjává fejlődött.

Ezután megjelent a korszerű téglagyártás és lezajlott két világháború, minek következtében a vályogépítés lendületét veszítette. Az újabb építőanyagok és technológiák mellett már kezdett egyre inkább háttérbe szorulni a vályog. Olyan építési tendenciák kezdődtek el, melyek nem voltak kompatibilisek ezzel az építőanyaggal, így előtérbe került a modern anyagok használata.

Ma Magyarországon nagyjából 600000 vályog falú épület áll, az új építések között azonban elenyésző azok száma, melyek ebből az anyagból épülnek. Ebben nyilvánvalóan szerepet játszik a szakember és munkaerőhiány, de legnagyobb okai az építészeti tervezést alapjaiban befolyásoló jogszabályok, a szerkezeteinkkel szemben támasztott, néha irreális követelmények, illetve, hogy jelenleg nem áll rendelkezésre szabvány ezen anyagra vonatkozóan. Eközben Európa más részein a vályogépítés reneszánszát éli.

Napjainkban a környezetbe jutó károsanyag kibocsátás 30%-a, illetve az éves szemétermelés egyharmad része az építőiparhoz köthető. Építőanyagaink nagy részének hasznosításához mind a mai napig nincs jó alternatíva. Meglepő módon az említett építőipari hulladékok közé tartozik az építkezések során kitermelt föld is. Véleményem szerint a vályog újrafelfedezése egy fontos mérföldkő lenne, hiszen egy olyan környezetbarát építőanyagról van szó, mely számtalan alkalommal újra felhasználható és hulladékmentes.

Mivel a vályogfalak típusuk szerint nagyon sokfélék lehetnek és a teljes témakör tárgyalása meghaladja jelen dolgozat terjedelmét, így a kutatásom középpontjába az általános megállapítások mellett a vert vályogfalak kerülnek. Dolgozatomban arra szeretnék válaszokat keresni, hogy melyek azok a hátráltató tényezők, illetve tulajdonságok melyek miatt a vályog, illetve a vert vályogfalak alkalmazása ellehetetlenül, vagy nehézkessé válik, van-e ésszerű keretek között megoldás az alkalmazásával kapcsolatos problémákra úgy, hogy a mai építési trendekkel kompatibilis legyen.

1.0 – Előszó

Az építés, az építészet az emberiséggel egyidős. Folyamatosan fejlődik, rendkívül szerteágazó és az emberiség fejlődésével arányosan egyre bonyolultabbá válik. Egyre nagyobb, komplexebb igényeket kell kielégítenie és egyre több a vonatkozó jogszabály, melynek meg kell felelnie. Az építőanyagaink és szerkezeteink jó része igazodott ezekhez a körülményekhez. Ezek a termékek sorozatgyártásban készülnek, előre meghatározott teljesítményjelzőkkel és a hozzá tartozó igazolásokkal kerülnek forgalomba. Azonban vannak anyagaink, melyek kevésbé tipizálhatóak és szoríthatók bele ebbe az aprólékosan szabályozott jogszabályi környezetbe, illetve építési trendbe. Egy ilyen anyag például a vályog. A népi építészetből ismert szerkezeteink jelentős részének ez az építőanyag képezi az alapját. Azonban ezek közül a szerkezetek közül napjainkban egyedül a vályogtégla, ami képes volt lépést tartani ezzel a fejlődéssel, hiszen, ha belegondolunk, maga az elem és a hozzá kapcsolódó építési mód már hosszú idők óta a rendelkezésünkre áll. Azonban más vályog alapú falszerkezetek, mint például a vert fal vagy rakott fal már egészen más kategóriába tartoznak. Ezek a szerkezetek megrekedtek azon a szinten, ahol anno a népi építészetben is helyet foglaltak. Azonban ez egyáltalán nem jelenti azt, hogy némelyik szerkezet nem tudná megugrani a léceket, sőt...

2.0 – Bevezetés

2.1 – Motiváció

A komplex tervezés 1-2 tárgyaim során az épületem egyik fő építőanyaga a vályog volt. Ezen belül is a vert földfalak. Ezen vert falak használata kulcsfontosságú volt a terv koncepcióját illetően. Ekkor kezdtem el elmélyedni a vályog utáni kutatásban, leginkább azzal az indokkal, hogy a kialakításhoz kapcsolódó ökölszabályokat megismerjem. Azonban rengeteg olyan tényező került számításba, melyet az anyag kiválasztásánál még nem ismertem. Végül a terv során ezen falak csak a belső térben álltak főfalakként. Emellett a padlóm is vályogból készült. Ekkor kezdtem el azon gondolkodni, hogy miért nem használjuk gyakrabban ezt az anyagot vagy ezt a technikát, illetve, hogy egyik és másik oldal mellett felhozott érvek közül melyik lehet jogos és melyik nem állja meg a helyét, vagy van másképp a való életben.

2.2 – Témafelvetés:

Egy jogszabályok, szabványok és egyéb megkötések által jól beszabályozott környezetben élünk és tervezünk és előszeretettel használjuk fel modern, mindent is tudó építőanyagainkat a katalógusok sokaságából úgy, hogy közben környezetbarát alternatívák alkalmazása szóba sem kerül. Azt tapasztalom, hogy az épületeket általánosságban nagy energiabefektetéssel előállított, ideális esetben éppen megtérülő gépészeti rendszerek integrálásával próbálják meg környezetbaráttá tenni és véletlenül sem az építőanyagokban keresik ezt a környezettudatosságot.

Hajlamosak vagyunk csak a jelenre koncentrálni és csak a közeljövőt szemlélni. Modern anyagaink döntő többségének rendkívül nagy a beépítési energiaigénye, ami önmagában nem előnyös. Azonban azt hajlamosak vagyunk elfelejteni, hogy ezen anyagok mennyisége a földön véges. Rengeteg anyagunkra a mai napig nincs előállítva olyan eljárás, mellyen újrahasznosítható lenne. Nyilván olyan anyag nem létezik, amelyből végtelen mennyiség áll a rendelkezésünkre, így a megoldás nem itt keresendő, hanem az újrahasznosításban és az újra felhasználásban. Ezt a szempontot vizsgálva már más megvilágításba kerül a vályog, hiszen ez az anyag ideális esetben végtelen alkalommal újra felhasználható.

Azonban mi mégsem tesszük ezt. Ennek okai nagy valószínűséggel azok a tulajdonságai ennek a vályognak és a belőle készülő vert földfalaknak, melyek megnehezítik az alkalmazását. Biztosan szerepet játszik ebben az is, hogy a köztudatban egy negatív kép él a vályogról, az

emberek jelentős részében elavult anyagnak tartja. De ez tényleg így van? Ezek a tulajdonságok tényleg megnehezítik, vagy ellehetetlenítik a vályog vagy a vert vályogfalak alkalmazását?

2.3 – A kutatás célja:

Feltárni és kielemezni az említett nehézségeket, illetve problémáknak hitt tulajdonságokat és ezen eredmények alapján értékelni az anyagot és a belőle készült szerkezetet, valamint megoldási lehetőségeket felvázolni a felfejlett problémákra. Ezen felül a megoldási lehetőségek értékelése és feltárása annak, hogy ezen verziók milyen következményekkel, illetve pozitív és negatív hozadékokkal járnak. Megcáfolni vagy megerősíteni az anyaggal kapcsolatos hiedelmeket.

2.4 – Hipotézisek:

Egy deklarált, megfelelő keverék alapján gépekkel történő előregyártás az alkalmazással kapcsolatos problémák nagy részét át tudná hidalni, mindezt stabilizáló anyagok alkalmazása nélkül.

Ezzel a vályogépítési technikával készült falak vízzel szembeni ellenállását egyszerű és esztétikus módon lehetséges javítani úgy, hogy az adott épület élettartama alatt nem igényelnek karbantartást ezek a faltestek.

3.0 – A vályogépítés története:

3.1 – A világon:

A föld évezredekken keresztül az emberiség legfőbb építőanyaga volt, más természetes anyagok mellett. Rengeteg kultúrában alakultak ki különböző építési tradíciók, melyek nyomait a mai napig láthatjuk. Az első ismertnek tekinthető föld építésű épület egy agyagcsomókból és sárból épített jerikói kunyhó, melyet palesztinai leletek között találtak. A Krisztus előtti 6.-7. évezredből a törökországi Catal Hüyükben tártak fel olyan épületet, melynek tartószerkezete fa, a faváz között pedig agyag hasábokat alkalmaztak kitöltésnek. Valamint, hogy egy ismertebb példát is említsek, a Kínai nagy fal építéséhez is földet használtak. A feltárások során vert és öntött falas technikák jelenlétét is felfedezték a fal szerkezetében. [4]

Kínából azonban nem csak a nagy fal, ami ennyire jelentős fennmaradt épület. Fucsien tartományból ugyanis fennmaradtak olyan vert falas épületek, melyek a nagy falhoz hasonlóan a világörökség részét képezik. Ezek az ún. tolouk esetenként mésszel stabilizált, kör vagy négyzet alaprajzzal, az alsó szinteken 2 m, míg a felső szinteken 1 m vastag falakkal épültek több család összefogásával általában 3-5 szintes magassággal. A lábazatot a csapóeső elleni védelem jegyében kőből építették, a falakat pedig egy jelentős, körülbelül 3 m-es túlnyúlású tetővel védték. A falakat alkotó keverékbe bambuszt, fát, illetve egyéb növényi rostokat adagoltak, illetve az ablakok környékét is meszeléssel védték. Ezek az épületek nagyjából 700 évesek, azonban falaik teljesen épek, egyedül a lábazat részen találhatóak vályogtéglával kipótoltt, javított részek. [34]



1. - 2. ábra Tolouk a mai kína területén Fucsien tartományban [33,34]

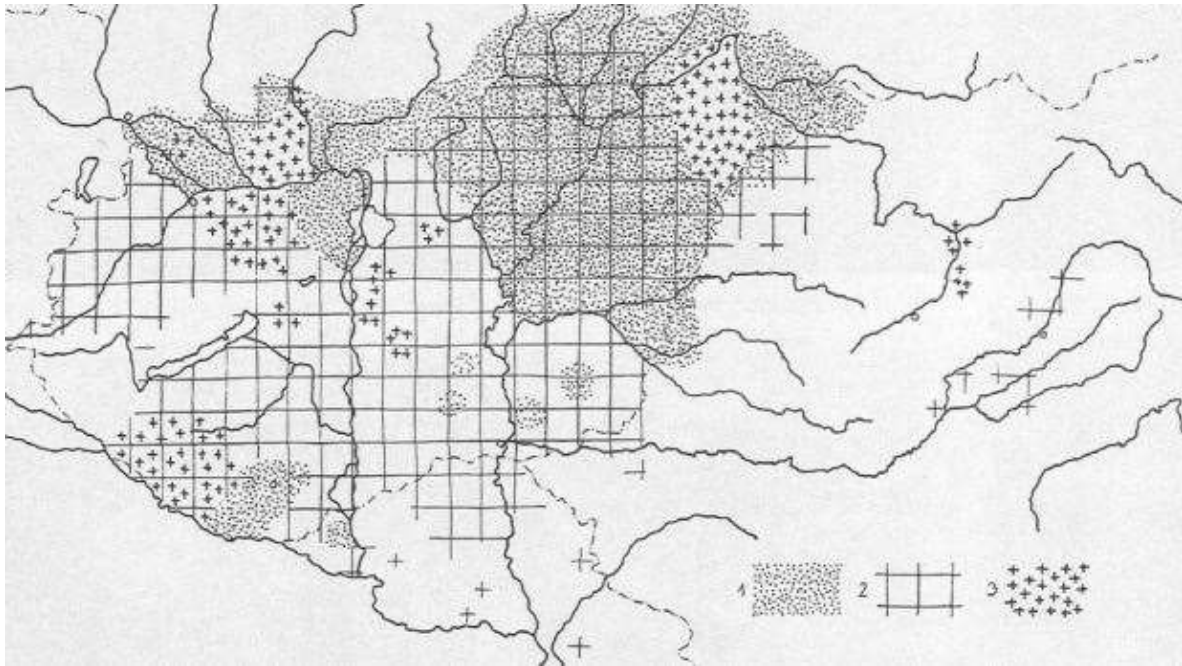
Ahogy az emberiség fejlődött, időről-időre megjelentek új építőanyagok, új feldolgozási módok, azonban ezek mellett a földépítés még mindig egy jelentős alternatíva maradt. A 20. század során lezajlott világháborúk azonban mindent megváltoztattak. A háborúkban során kifejlesztett modern anyagok, technológiák átszivárogtak az építőiparba és annak robbanásszerű fejlődését indukálták. A már addig is előszeretettel alkalmazott beton, vasbeton, acél és üveg mellett megjelentek a műanyagok is az építőipari anyagok palettáján. Egyre inkább előtérbe kerültek az előregyártott szerkezetek, természetesen az új, modernebb anyagokból. [3]

A számtalan új alternatíva mellett egyre inkább háttérbe szorult a földépítés, a vályogot elavultnak bélyegezték. A 20. század közepén az anyagok és szerkezetek nagy mértékű előregyártása miatt felmerült az igény a szabályozásra. Tovább erősödött a nyomás, hogy az egyedi épületszerkezetek helyett a kereskedelemben használt, tipizált szerkezetek alkalmazása legyen a követendő irány. [5]

Európán belül Németországban, Franciaországban és Spanyolországban nagy hangsúlyt fektettek ekkor a természetes anyagok, köztük a vályog szabályozására is. A németeknél például megalkottak 3 szabványt, amelyek a vályogépítésre és kivitelezésére, a vályoghabarcsokra és a vályogvakolatokra terjedtek ki. Ezek idővel azonban elavultnak és korszerűtlennek érződtek, így hatályon kívül helyezték őket. Azonban nem sokkal később felmerült az igény egy új szabályozás kidolgozására, melynek eredményeként 1998-ban megalkották a Lehmbau Regeln, azaz a Vályogépítés szabályai című szabályozást. Hivatalos szabvány végül csak később 2013-ban jelent meg az imént említett 3 szegmensre. Ezek az országok, ahol már sokkal korábban elkezdtek foglalkozni a természetes anyagok szabványosításával és azok kortárs módon történő alkalmazásával, jelenleg a kortárs vályogépítés központi szereplői.[6]

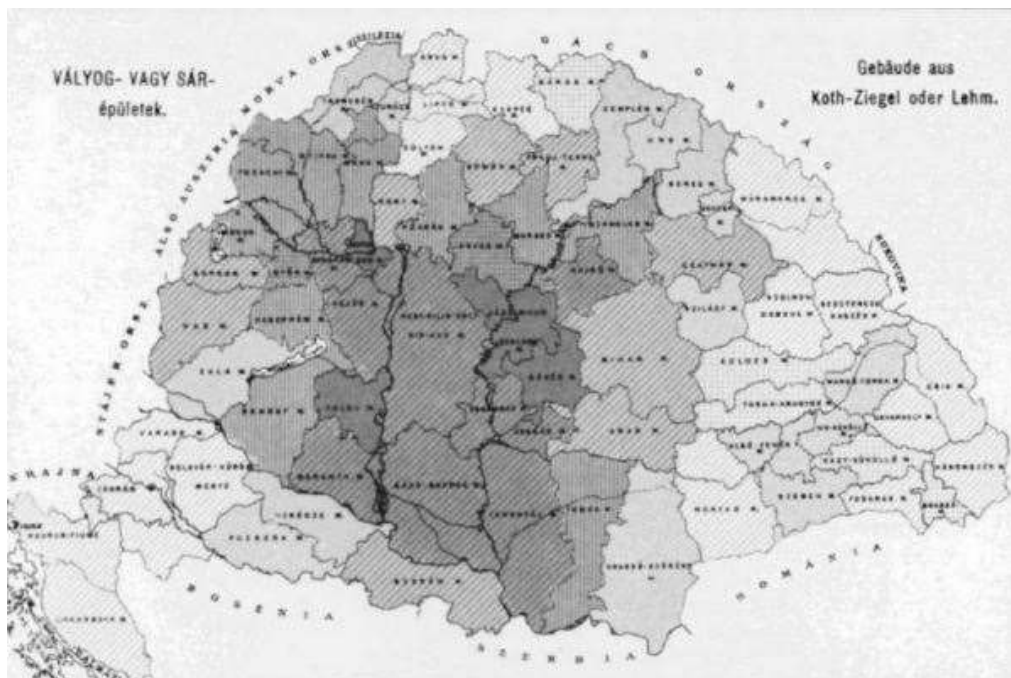
3.2 – Hazánk területén:

Hazánk területén a vályogépítés rendkívül elterjedt és népszerű volt, népi építészetünk jelentős részét ebből az anyagból készült épületek képezik. Ennek egyik legjelentősebb oka, hogy hazánk területének majdnem bármelyik részén vályogépítésre alkalmas talajokat találunk.



3. ábra A különböző vályogépítési technológiák meghonosodása Magyarországon a XIX. században – 1. vályogtégla fal, 2. vert fal, 3. rakott sárfal (Barabás J. – Gilyén N. nyomán) [7]

A vályog hosszú időközön keresztül a legfőbb építőanyagunk volt. Annyira, hogy Magyarország a 19. század végére Európa földépítési központjává fejlődött.



4. ábra Vályog- és sárfalú épületek elterjedése Magyarországon a XIX. század végén - A térképlapot Posner Károly Lajos és Fia térképészeti műintézete metszette és nyomtatta Budapesten, 1896-ban.[8]

Azonban ez a virágkor nem tartott sokáig, hiszen ezután nem sokkal lezajlott az első és második világháború és az építési igények, trendek alapvetően megváltoztak, az építőanyag piac pedig kiszélesedett.

Megjelentek az első szabványok a nagy mértékű előregyártás következményében, így hazánkban visszaszorult a vályogból való építkezés. 1997-ig egyáltalán nem törődtek a vályog, illetve bármelyik másik természetes építőanyag szabályozásával. Az addig érvényben lévő Országos Építésügyi Szabályzat értelmében egészen addig maximum 1 szintes épületet és minimum 45 cm vastag falakkal szabadott vályogból építeni. Az OÉSZ-t leváltó OTÉK, azaz Országos Településrendezési és Építési Követelmények már említést sem tett a vályogról, vagy a belőle készült épületekről. Ezután az EU jogharmonizációval életbe lépett 3/2003 (I. 25) BM-GKM-KvVM együttes rendelet már műszaki specifikációhoz kötötte bármely építési termék betervezhetőségét és beépíthetőségét. Ez az adott anyagokra vonatkozóan rendkívül költséges vizsgálatokat jelentett, amelyet a tömeggyártásban készülő anyagokat előállító nagy gyártók képesek voltak kifizetni, azonban az egyedi termékek esetében ez egy hatalmas gátat jelentett. Ezzel gyakorlatilag ellehetetlenült az olyan egyedi termékek alkalmazása, mint például egy vert fal. A szabályozás ezen hibájának kiküszöbölésére a Magyar Szabványügyi Testület létrehozott előszabványokat a vályog és szalma építőanyagokra, így „Szállítói megfelelőségi nyilatkozattal” is elég volt igazolni a termék tulajdonságait, melyhez már nem voltak szükségesek méregdrága laboratóriumi vizsgálatok, így lényegesen alacsonyabb költségeket eredményezett. [5]

Napjainkban alapvetően 4 darab jogszabály határozza meg a természetes anyagok beépíthetőségének körülményeit. Ez a 4 jogszabály a 275/2013. (VII. 16.) Kormányrendelet, Európai Parlament és a Tanács 305/2011/EU rendelete, az 1997. évi LXXVIII. törvény és a 253/1997. (XII. 20.) Kormányrendelet, vagyis az OTÉK. Ezek a rendeletek már előírják a természeti források fenntartható használatát, mellyel kedveznek a természetes építőanyagok beépíthetőségének. Ezen termékek megfelelőségének igazolása 3 féle módon lehetséges. Európai Műszaki Engedéllyel, Nemzeti Műszaki Értékeléssel, illetve felelős műszaki vezető által történő igazolással. [5]

A jelenlegi szabályozásnak azonban még mindig vannak hiányosságai. Egyrészt túl nagy felelősséget hárít a felelős műszaki vezetőre, hiszen előfordulhat olyan eset mikor a nem megfelelő minőségű anyagot, vagy technológiát alkalmaznak a megfelelő ütemezés miatt, illetve egy siettetett kivitelezési folyamat közben az ő felelőssége, hogy a további késés ellenére elrendeli-e az elkészült szerkezet vizsgálatát. [5]

Azonban a nagyobb hiányosság, hogy a monolit jellegű falakhoz kapcsolódóan nincs szabvány azok tartószerkezeti méretezésére, illetve megfelelőségük vizsgálatára sem, így gyakorlatilag teherhordó szerepben nem jelenhetnek meg az épületben. [5]

Hazánk területén napjainkban nagyjából 600 000 vályog falú épület áll, melyekből 502 000 lakott jelenleg is. A KSH 2016-os adatai szerint ezen házak 70%-a 1960, míg 97%-a 1980 előtt épült. [9] Egy másik érdekes statisztika, hogy a 60-as évek során az új építések 15%-a volt vályogfalú épület, míg ez a 2000-es években már csak mindössze 1,8% volt. [10] Ezek az adatok jól mutatják, hogy a szabványok bevezetésével hogyan alakultak a vályogépítés lehetőségei egészen napjainkig.

4.0 – A vályog, mint építőanyag:

4.1 – A vályog alapvető alkotórészei, fajtáik, jelentőségük:

A vályog 4 alapvető alkotóeleme az agyag, iszap, homok és a kavics. Az adott keverékhez használt anyagok, illetve azok aránya a felhasználás módjának függvénye. Az előbbi 3 összetevő minden keverékben jelen van és mindegyikük más szempontból járul hozzá a keverék tulajdonságainak javításához. A kavics adagolás nagyban képes javítani a keverék és ezzel együtt a végeredményként kapott faltest tulajdonságait, azonban alkalmazása nem minden esetben szükséges. Egy vályogtégla falazatnál, mely jellemzően magasabb agyagtartalommal készül nem célszerű a használata. Ilyen keverékben az iszap és a homok aránya is alapvetően kisebb. Azonban egy vert fal esetében a kavics adagolás nem csak, hogy célszerű, inkább kötelező, hiszen rengeteg szempontból javítja a faltest tulajdonságait. A vert falak készítéséhez a hegyek eróziója során keletkezett, kavicsos vályogtalaj a legmeglelőbb választás. [1]

A keverékben lévő alkotórészek közül az agyag felel a szerkezetben működő kötőerő kialakulásáért, az agyag a vályog természetes kötőanyaga. Az agyag alapvetően ásványok és földpátok eróziója során keletkezett. Keletkezésükből adódóan az agyagtalajokat két fő csoportba soroljuk, ezek a hegyi, illetve lejtővályogok. A leggyakoribb ilyen ásványok a kaolinit, montmorillonit és illit. Az agyagásványok különböző kémiai vegyületekkel keveredve is előfordulnak, leggyakrabban különféle vas oxidokkal. Ezek a kémiai vegyületek nagy szerepet játszanak az agyag tulajdonságainak milyenségében, hiszen befolyásolják a kötőerő és a nyomószilárdság értékét az agyagban lévő kationok mennyisége és típusa alapján. [2]

A vályog alkotóelemeit szemcseméret alapján lehet a legkönnyebben elkülöníteni. Az agyag szemcséi 0,002 mm-nél is kisebbek. Az agyagtartalom alapján soroljuk kategóriákba a vályogokat. A nagy agyagtartalmú keveréket a kövér, míg a kisebb agyagtartalmú keveréket sovány vályognak nevezzük. [1,14]

Az iszapban lévő szemcsék már egy nagyságrenddel nagyobbak, ide soroljuk a 0,002 és 0,06 mm közötti szemcseméretű részecskéket. A homok szemcséi az előző összetevőhöz képest szintén egy nagyságrendnyi ugrást jelentenek, ebben az esetben a szemcseméret 0,06 és 2 mm közé esik. A 2 mm átmérőt meghaladó adalékanyagot már kavicsként definiáljuk. Ezeknek az aggregátumoknak a legfőbb feladata a vályog soványítása. A vályogot ebből a szempontból a betonhoz hasonlíthatjuk, hiszen az agyag tölti be a cement szerepét, az iszap, a homok és a kavics pedig csak kitöltő/adalékanyagok. Utóbbi 3 anyag formája szerint 2 csoportba

különíthető el. Mindegyikből létezik gömbölyű és éles szemű változat is, attól függően, hogy a víz formálta, vagy a kőzetek eróziója. [1,14]

Érdekes módon ez az apró alaki különbség is nagyban befolyásolja a keverék viselkedését. Az előnyösebb kialakítási mód, ha éles szemű adalékokat alkalmazunk. Erre egy remek példa Gernot Minke Building with Earth című könyvében szereplő döngölt vályogpadló kialakítása. Itt a mai is használatos rétegrendekhez hasonlóan egy kapilláris nedvességfelszívódást akadályozó tömörített kavics ágyazatra helyeznek egy vízszigetelő lemezt, melyre hőszigetelő réteg kerül. Ez után következik a lényeg. A hőszigetelés fölé egy sovány vályogból döngölt vastagabb réteg készül, mely hozzájárul a szerkezet hőszigetelő képességének javításához. Ezen felül egy szilárd aljzatot képez a rá kerülő burkolatnak, mely szintén vályog. Azonban ez a burkolatként szolgáló vályoghabarcs réteg már kövérebb vályogból készül a teherbírás, a felületi ellenálló képesség növelésének céljából. Itt kerül fókuszba a keverékbe kevert adalékanyagok formája, ugyanis a kövér vályog, magas agyagtartalmából fakadóan nagy mértékben zsugorodna száradás közben. A keverékhez adagolt éles szemű, durva homok nagy mértékben mérsékli a zsugorodásból adódó repedéseket, amellet, hogy a felületi keménységet is javítja. [1]

Azonban itt még nem ér véget a történet. Az idők során e 4 anyagon kívül számos más adalékanyaggal kísérleteztek, melyek mind az anyag különböző tulajdonságait voltak hivatottak javítani.

4.2 – A vályog minőségének javítására alkalmazható anyagok és hatásuk:

A vályognak rengeteg előnye ellenére vannak hátrányos tulajdonságai is. Mint más anyagoknál is, ezeket a tulajdonságokat különböző adalékok segítségével igyekszünk javítani. Ezek az adalékok kezdetben természetes anyagok voltak, ma azonban már mesterséges adalékokat is használunk erre a célra. [13,14]

A vályog leggyakrabban javítani kívánt tulajdonságai a szilárdsága, hőszigetelő képessége, a vízzel szembeni érzékenységének és nagy mértékű zsugorodásának csökkentése, illetve esetenként a felületi tömörségének, ellenálló képességének fokozása. Attól függően, hogy az alkalmazáshoz melyik attribútum feljavítására van igény, más és más anyagokkal érhetjük a kívánt eredményt. Ami rendkívül fontos az ilyen célra alkalmazott anyagok esetében, hogy kövessük az előírt vagy tapasztalatok alapján ajánlott mennyiségeket, különben könnyen megeshet, hogy ezen javító célzatú tevékenységünkkel ellentétes hatásokat váltunk ki. [13]

4.2.1 – Természetes adalékanyagok:

Homok és kavics:

Ezen 2 anyag használata és előnyei már kifejtésre kerültek a 4.1-es pontban.

Szalma:

A fent említett 2 adalék után a szalma sorban következő leggyakrabban használt tulajdonság-módosító anyag. Legfőbb előnye, hogy hatékonyan növeli a vályog húzószilárdságát, amellet, hogy nyomószilárdságát nem csökkenti jelentős mértékben. Azonban ez mindaddig van így, amíg betartjuk a tapasztalatok alapján meghatározott maximum 30 tömegszázalékos adagolási mértéket. Ezen értéknél nagyobb mértékű alkalmazás ugyanis már a nyomószilárdság jelentős mértékű csökkenését eredményezheti. Az alkalmazásának másik jelentős hozadéka, hogy jelentősen növeli a vályog keverék hőszigetelő képességét. Egy vert vályogfal esetében a szalma adagolás akár duplájára tudja növelni a szerkezet hőszigetelő képességét. [13] [14]

Fűrészpor, faforgács, fenyőtű:

Ezen anyagok a keverék szempontjából egy kalap alá vehetőek. Mindhárom anyag bekeverésének előnye, hogy a vályog soványítása mellett tovább fokozzák a fal hőszigetelő képességét. [2]

Vessző, karó:

Jellemzően vert vályogfalaknál előforduló anyagok. Mivel ezek a falak monolit szerkezetek, ezen fa elemek gond nélkül elhelyezhetőek benne. Alkalmazásuk a fal szempontjából kritikus részeken történik például a sarkokon, illetve nyílások környezetében, ahol szükséges a faltest megerősítése a rá ható igénybevételekkel szemben. Itt fontos megjegyeznünk, hogy ez a konstrukció egyáltalán nincs káros hatással a beépített faanyagra, ugyanis a vályogfal lényegében konzerválja azt, így hosszú idő elteltével is ugyan olyan jó állapotban nyerhető vissza belőle egy esetleges bontás után a faanyag, ahogy az beépítésre került a kivitelezés során. Ezek az elemek egy híg vályogos folyadékba történő áztatás után építhetőek be a legjobb minőségben a falszerkezetbe. [1] [13]

Állati származékok:

Ez a csoport magában foglalja a savót, trágyát, illetve például az állati vért is. Kazein, tej és egyéb fehérjék alkalmazásával jelentősen csökkenthető a vályog vízzel szembeni érzékenysége. [13]

Lenolaj:

Ez az anyag kissé kilóg a sorból, ugyanis bár javítja az anyag vízzel szembeni viselkedését, közben tönkreteszi az egyik kulcsfontosságú tulajdonságát. A lenolajkence pórustömítő hatású, így egy vályog szerkezeten alkalmazva impregnálható vele a felület. Azonban ezért a tulajdonságért nagy árat fizetünk, hiszen ez egyben azt is jelenti, hogy a vályog egyedi páratechnikai viselkedését tönkreteszi ez a felületkezelés. Ez a nem elhanyagolható mértékű következmény, ami miatt ezen adalék csak kivételes esetekben kerül alkalmazásra. [13]

4.2.2 – Mesterséges adalékanyagok:

Cement:

A kortárs vályogépítészetben az egyik leggyakrabban használt mesterséges stabilizálószer. Segítségével növelhető a vályog szilárdsága és vízzel szembeni ellenálló képessége. Azonban itt sem mindegy a keverés mértéke. Más és más agyagtartalmú keverékekhez más mennyiség az ajánlott. Az átlagosan jó érték, mely még minden keverék esetén nagyon közel esik a hatásos zónához, az az 5%-os érték. Azonban ez a stabilizálás szintén a lenolajkencénél már ismertetett következménnyel jár. A cement adagolás magával hozza az anyag egyedi páratechnikai képességének megszűnését. Azonban ez még a kisebbik baj. A nagyobbak, hogy a cement adagolásával megszűnik a vályog újra felhasználhatósága, ráadásul a falazat beépített energiaigénye is jelentősen megnő, így az egész folyamat végeredménye már alig környezetbarátabb és energiatakarékosabb, mint például egy monolit vasbeton konstrukció. [13]

Mész:

A mész adagolása a keverékbe nagyon hasonló a cementhez. Itt a folyamat lényege, hogy a mész kalcium ionjai cserélődnek ki az agyag fém ionjaival, így egy sokkal erősebb kötést hozva létre. A mésszel való stabilizáláshoz jellemzően oltott meszet használnak.

Végeredményben ezzel a konstrukcióval a vályog sokkal vízállóbb lesz, mint a stabilizálás előtt volt. A kötési idő ezzel a módszerrel 4-8 óra közé tehető. Ez alatt az idő alatt a szilárdulás is bekövetkezik, melyet egy nagyon hosszán elnyúló utószilárdulási folyamat követ. [13] [14]

Gipsz:

A gipsszel az eddigi anyagoktól eltérően az agyag zsugorodása mérsékelhető. Az ideális mérték 3-5%-os adagolás. Ebben az esetben a kötéshez szükséges idő maximum 1 óra. [13] [14]

4.3 – A vályogkeverékek alapvető fajtái és műszaki adataik:

Ahogy azt már említettem előzőleg, a vályog lelke az agyag. A különböző összetételű vályogokat agyagtartalmuk alapján különítjük el egymástól. Alapvetően a szakirodalomban 4 féle kategóriát definiálnak a vályog testsűrűségének függvényében, ezek a következők: nehézvályog ($2000-2200 \text{ kg/m}^3$), tömör vályog ($1700-2000 \text{ kg/m}^3$), szalma vályog ($1200-1700 \text{ kg/m}^3$), könnyűvályog ($300-1700 \text{ kg/m}^3$). Alapvetően az agyagtartalom egyenesen arányos a testsűrűséggel, a szilárdsággal, illetve a hővezetési tényezővel. Tehát minél könnyebb egy vályog annál jobb a hőszigetelő képessége. Az agyagtartalom növekedésével egyben az anyag zsugorodása is egyre jelentősebb. [1,2]

Rengeteg falazat típus alakult ki ebből az anyagból, azonban a kivitelezéstől függően ezekhez a szerkezetekhez más és más tulajdonságú keverékek a legalkalmasabbak. Ezeket a keverékeket legegyszerűbben a testsűrűségük alapján tudjuk elkülöníteni, mely egyben utal az összetételükre is. A vályog anyagok alapvetően alkalmazott falszerkezeteit és a hozzájuk tartozó sűrűségi határértékeket a következő táblázat taglalja:

Vályog építési agyagok sűrűsége	alsó határ (kg/m ³)	felső határ (kg/m ³)
Vert vályog	1700	2200
Rakott fal	1500	1800
Szalmás vályog / (szálas vályog)	1200	1700
Könnyűvályog	400	1200
Ömlesztett áru		
vályog ömlesztett áru	1200	2200
könnyűvályog ömlesztett áru	400	1200
Elemek-téglák		
vályogtégla	1200	2200
könnyűvályog tégla	600	1200
natúr téglák (ki nem égetett)		
tömör	1900	2000
üreges	400	1600
Építőlemezek		
vályog építőlemezek	1200	1800
könnyűvályog építőlemezek	400	1200
Habarcsok		
vályog falazóhabarcs	1200	1800
könnyűvályog falazóhabarcs	800	1200
vályog vakolóhabarcs	1200	1800
könnyűvályog vakolóhabarcs	600	1200
vályog gépi vakolat	600	1800

4.3 - 1. táblázat Vályog építési anyagok jellemző testsűrűsége [16]

Alap esetben a vályog nem rendelkezik húzószilárdsággal, ezen műszaki tényezőjének javítása a megfelelő adalékokkal lehetséges. A különböző keverékek testsűrűségei utalnak azok agyagtartalmára, mely egyenesen arányos a nyomószilárdságukkal. Ezeket az értékeket a sűrűségi osztály függvényében az alábbi táblázat tartalmazza:

A vályog építőanyagok nyomószilárdsága		
tapasztalati értékek		
Építőanyag	sűrűségi osztály (kg/m ³)	nyomószilárdság (N/mm ²)
Vert vályog		
kavicsos	2,0-2,2	3-5
szalmás	1,7-2,0	2-3
Vályogtégla	1,6-2,2	2-4
Natúr téglák (ki nem égetett)	1,9-2,2	2-4

4.3 - 2. táblázat A vályog építőanyagok nyomószilárdsága [16]

Minél kisebb egy keverék agyagtartalma és ezzel együtt a testsűrűsége, annál több adalékanyag kerül az az adott keverékbe, melyek leggyakrabban homok, kavics, illetve szalma. Ezek az anyagok amellet, hogy soványítják a vályogot, csökkentik annak hővezetési ellenállását, így javítják a keverék hőszigetelő képességét. Az alábbi táblázatban látható, hogy alakul az anyag hővezetési ellenállása sűrűségének függvényében:

Vályog építőanyagok hővezetési ellenállásának számítási értékei ¹⁾		
	Sűrűség (kg/m ³) ²⁾	Hővezetési ellenállás – λ (W/mK)
	2200	1,40
	2000	1,20
	1800	0,90
	1600	0,70
	1400	0,60
	1200	0,50
	1000	0,35
	900	0,30
	800	0,25
	700	0,21
	600	0,17
	500	0,14
	400	0,12

¹⁾ Az adatok a korábbi normákban és irodalmi adatokban szereplő értékek kedvezőtlenebb értékei.
²⁾ Üreges építőelemeknél az agyagos térfogatsúly van megnevezve, azaz a légtér fogat nincs figyelembe véve.

4.3 - 3. táblázat A vályog építőanyagok hővezetési ellenállása [16]

Az ezen pontok alatt megjelenő táblázatok adatait a Lehmbau Regeln című német előszabvány jelentették meg, így ezek nemzetközileg elismert adatok.

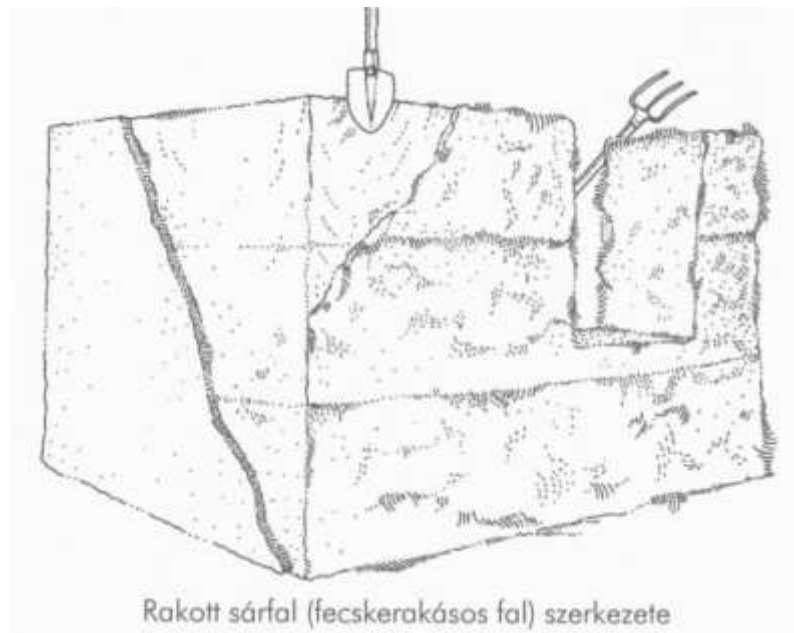
4.4 – Főbb vályogépítési technológiák:

A földépítés több évezredes múltra tekint vissza. Ez idő alatt rengeteg különböző vályogépítési technika fejlődött ki, melyek területenként változóak voltak az adott éghajlati viszonyok, illetve az ott élő kultúrák fejlettsége alapján. Ahogy arról már szó esett, hazánk területén majdnem mindenhol vályogépítésre alkalmas talajt találunk, mely adottságot őseink is felismerték és ki is használták. Ez volt a fő oka, hogy Magyarország a 19. század végére Európa földépítési központjává válhatott. Ahogy az 1. ábrán látható, a korabeli térképen az ország területének minden részén egy-egy technikához tartozó sraffozás látható. A következő pontokban a térképen is szereplő falszerkezeteket fogom tárgyalni. Jelen pontban csak a vályogépítési technológiák közül csak a falszerkezetekkel foglalkozom, ezen belül is csak a hagyományos szerkezetekkel, hiszen a többi vályog anyagú szerkezet ismertetése meghaladja jelen dolgozat kereteit.

4.4.1 – Rakott fal:

Tradicionalis építési technika, mely egy nagy mértékben elterjedt építési mód volt, azonban ma már egyáltalán nem jellemző a használata. A rakott fal leggyakoribb esetben

mindössze agyagból és hosszú szálú szalmából tevődött össze, időnként a keverékhez adagoltak még töreket, pelyvát, esetleg gyékény és sás darabokat. [2]



5. ábra Rakott sárfal szerkezete [18]

Az anyagot körülbelül fél méter magasságban elterítették, összekeverték, közben pedig folyamatosan vízzel locsolták. Keverés és forgatás közben ökrökkel, illetve lovakkal is megtapostatták, majd egy éjszakát pihenni hagyták az anyagot. Ezután vasvillával kezdték el rakni a faltestet. Minden fal egyszerre épült, egy ütemben körülbelül 1 méternyi magasságot. Az átlagos vastagsága a faltestnek 60-70 cm körül volt kész állapotában. Ezen vastagságnál eredetileg azonban minden esetben vastagabb volt a fal, erre a méretre ásókkal vágták/faragták le a faltestet. A nyílásokat vagy még a készítés közben egy kirekesztéssel alakították ki, vagy utólag vágták ki a megfaragott faltestből. [17]

A kész szerkezet sűrűsége nagyjából $1500-1800 \text{ kg/m}^3$ körül alakult, ahogy azt a 4.3 - 1. táblázat is mutatja. A hővezetési ellenállása a nagy mértékű szalma adagolásnak köszönhetően nagyon kedvező, $0,7 \text{ W/mK}$ értéket is el tudta érni. Hátrányként megemlíthető, hogy időigényes, hosszú száradási időt igényel, illetve a kész szerkezeten jelentkező zsugorodás nagy mértékű. Ami még tovább bonyolította az építést, hogy a kivitelezés teljes mértékben az időjárás függvénye volt. [2] [17]



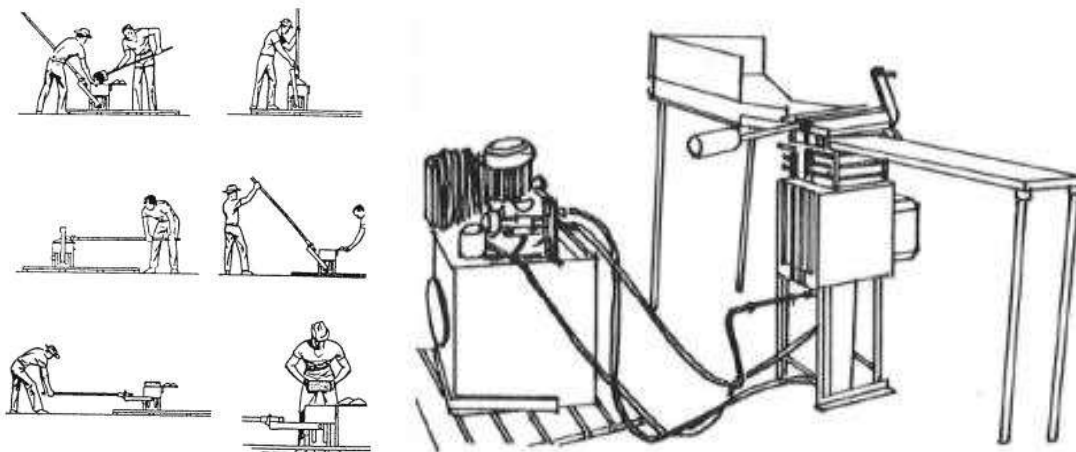
6. - 7. ábra Rakott sárfal készítése [19]

Napjainkban ez a technika nehezen alkalmazható, hiszen az anyag összetétele rendkívül vegyes és általában változó arányú, a szabványosítása nagyon nehezen lehetséges. Időigényes az építés és a kiszáradási idő is jelentős, valamint nem gépesíthető, így az élőmunka igénye is nagy. Ellene szól még az is, hogy a kivitelezés az időjárás függvénye. A tradicionális módon tehát nem alkalmazható.

4.4.2 – Vályogtégla fal:

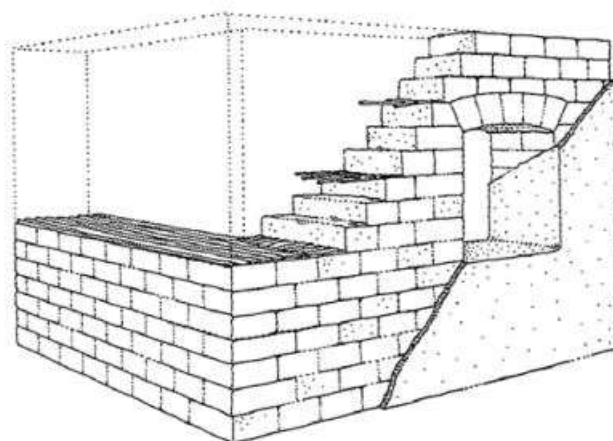
A vályogtégglákkal való falazás mindig is egy népszerű opció volt a földépítés történelmében. Hazánkban kezdetben a vetett téglák technológiája terjedt el. Ezután megjelentek a kézi, majd gépi préssel előállított vályogtégglák. Ez a verzió nem hiába volt kedvelt, hiszen méretpontos és más vályogépítési technológiákhoz képest gyorsabb, egyszerűbb kivitelezést tett lehetővé. Emellett kis méretéből fakadóan a száradási ideje is sokkal rövidebb volt, mint társainak.

A vályogtégglák sűrűsége $1500-2200 \text{ kg/m}^3$ érték között változott, nagy agyagtartalommal és általában soványítás céljából nagyon kis mennyiségű szalmával vagy más szálal anyaggal. Előnyük, hogy előző tulajdonságukból fakadóan nagy tömörségű és nagy nyomószilárdságú elemek, azonban hátrányuk szintén ezen tulajdonságuk miatt, hogy hőszigetelő képességük meglehetősen csekély. [1,2]



8. ábra Kézi préselésű vályogtéglák készítése [1] **9. ábra** Hidraulikus vályogtéglák préselő gép [7]

A könnyű vályogtéglák sűrűsége $600-1200 \text{ kg/m}^3$ érték között ingadozott, ezen téglák már jelentősen mértékben tartalmaztak szálaló anyagokat, így szilárdságuk kisebb, hőszigetelő képességük azonban jobb volt.



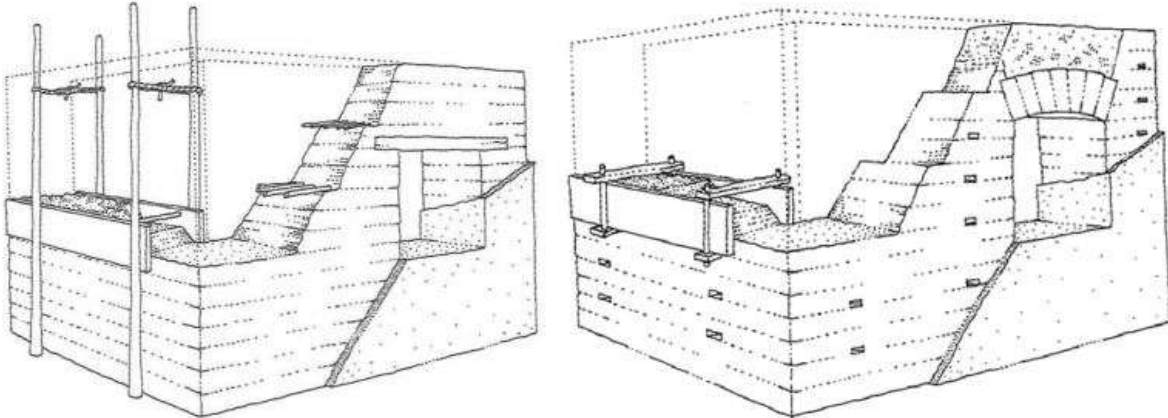
10. ábra A vályogtéglából falazott fal szerkezete [7]

A technika előnye, hogy a korszerű technikákkal kompatibilis, a hagyományos falazás technológiája alkalmazható ezen elemekkel. Egyszerűen szabványosítható és gyártható nagyobb tételben is. Ezt tanúsítja, hogy hazánkban is van gyártó, aki különböző szerkezetekhez, több fajta vályogtéglát is gyárt, illetve vályog alapanyagú alap és fedővakolatokat is egy rendszeren belül.

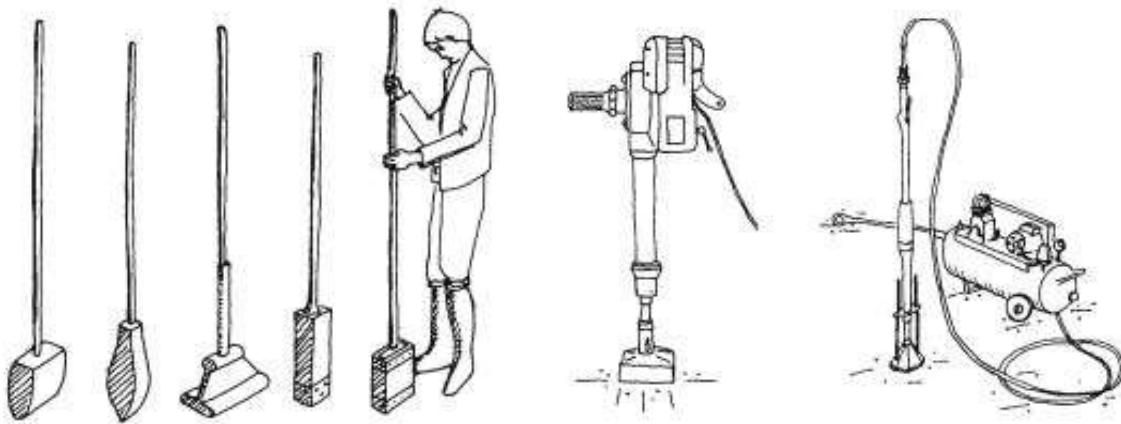
Negatívuma azonban, hogy kis elemekből álló falszerkezet, így élőmunka igényes és viszonylag lassú építést tesz lehetővé.

4.4.3 – Vert fal:

A tradicionális vert falat 2 oldali zsaluzat közé helyezett anyag dögölésével készítették. Zsaluzatból, illetve a dögöléshez szükséges eszközökből is többféle kialakítás jött létre, melyek az idők során egyre tovább fejlődtek.



11. -12. ábra A vert vályogfal szerkezete és készítése oszlopos, valamint jármős zsaluzattal [7]



13. -14. - 15. ábra A vert vályogfal készítéséhez használt kézi, elektromos, illetve pneumatikus dögölők [1]

A faltest sűrűsége $1700-2200 \text{ kg/m}^3$ közötti értéket adott ki általánosságban. A technológia előnyét a faltest viszonylag nagy szilárdsága jelentette, mely tulajdonság a fal készítési módjából adódik. A zsaluzat közé helyezett anyagot rétegenként dögölték, így 1-1 réteg vastagsága dögölés előtt körülbelül 15 cm, dögölés után pedig 10 cm körül alakult. A fal nyomószilárdsága a mechanikai hatásból, lényegében az anyag tömörítéséből adódóan átlagosan a 4 N/mm^2 értéket is elérte. [1,2,13]

A szerkezet hátrányait a viszonylag nagy száradási ideje és a zsugorodásából adódó repedések jelentették. A kivitelezés során természetesen helyben készülő szerkezetként az időjárási körülmények is befolyásolták a készítését.

Manapság a tradicionális módon történő elkészítése ennek a szerkezetnek nem igazán lehetséges. Egyrészt nincsenek meg hozzá a megfelelő szabályozások, másrészt a kivitelezés szempontjából is rengeteg a nehezítő tényező. Ezen alkalmazási nehézségek, illetve szabályozási hiányosságok részletes magyarázatát a következő pontok tartalmazzák.

5.0 – A vályog és legfőképp a vert vályogfalak alkalmazásának nehézségei napjainkban, illetve ezen nehézségek kiküszöbölésének lehetőségei:

5.1 – Szabványosítás/szabványosíthatóság:

A hazai vályogépítésre vonatkozó szabványokat a 3.2 pont alatt már ismertettem. A legnagyobb nehézség, hogy hazánkban a monolit jellegű falakhoz kapcsolódóan nincs szabvány azok tartószerkezeti méretezésére, illetve megfelelőségük vizsgálatára sem, így gyakorlatilag teherhordó szerepben nem alkalmazhatóak az épületben vert vályogfalak. [5]

Ha nem töltenek be teherhordó funkciót, abban az esetben beépíthetünk vert földfalakat az épületbe, de csak akkor, ha Európai Műszaki Engedéllyel, Nemzeti Műszaki Értékeléssel vagy felelős műszaki vezető által igazoljuk a szerkezet megfelelőségét. [5]

Azonban az előbbi 2 alternatíva vert falak esetében nem lehetséges, hiszen nem képes ezen megfelelőségi igazolásokhoz szükséges pontokat teljesíteni. Ezen dokumentumokat ugyanis építési termékekre állíthatják ki, mely fogalom keretei közé a hagyományos módon a helyszínen készülő vert vályogfal nem illeszthető bele. [20] [21]

A felelős műszaki vezető által történő igazolás sem lehetséges. Hiszen ebben az esetben nem kellene teljesítmény nyilatkozat sem, mert a felelős műszaki vezető a 305/2011 EU rendeletben megadott három esetben teljesítménynyilatkozat nélkül igazolhat. Azonban a jelen helyzet nem illeszthető a meghatározott három eset egyikébe sem, így értelmes keretek között nincs realitása annak, hogy ezzel a kiskapuval oldjuk meg a vert földfal alkalmazhatóságát. [36]

A szabványosítással kapcsolatos nehézségek témakörébe tartozik még az is, hogy a klasszikus vert falhoz használt vályog agyag, iszap, homok és kavics megfelelő arányú keveréke, melyhez esetlegesen további adalékanyagok társulnak. Mint azt már tárgyaltuk előzőleg, ez azért okoz problémákat, mert egyrészt sok alkotóelemből tevődik össze, másrészt

mert ezek az alkotóelemek is sokfélék lehetnek és így tulajdonságaik is mások és kihatással vannak a végső keverék teljesítményére is.

Ezek alapján könnyen belátható, hogy az eddig használt esetleges, éppen elérhető maradék adalékokkal erősített, valamint a tradicionális módon készülő szerkezetként nem lehetséges a vert falak alkalmazása.

Ebből a szempontból egy állandó minőségű, a falazat szempontjából legelőnyösebb receptúra megalkotása lehetne a megoldás. Ehhez nyilván a különböző alkotóelemek szétválogatása kellene, hogy aztán az előre meghatározott arányban lehessen azokat a keverékhez adagolni. Erre egy lehetséges módszer lehet az ülepítés, illetve a rostálás. Azonban ez még nem elég ahhoz, hogy vert falakat alkalmazhassunk az épületeinkben. Ebből a szerkezetből építési terméket kell előállítanunk, ami azt jelentené, hogy mindenképpen kell egy gyártóval rendelkeznie a szerkezetnek. A megoldást jelenthetné ilyen esetben a vályogfalak paneles előregyártása, nyilván az imént leírt deklarált keverék alkalmazásával. A falazat készítésének ezen módjával lehetőség adódna azonos minőségű, összetételű és tulajdonságú vert falak készítésére és alkalmazására, hiszen a kellő ellenőrzések elvégzése után honosított harmonizált szabvány hiányában létre lehetne hozni Nemzeti Műszaki Értékelést ezekre az elemekre. Ezzel a vert falak alkalmazása jogilag lehetségessé válna. [20,21]

Azonban nem szabad elfeledkeznünk arról, hogy az alkalmazása és betervezése ezeknek a falpaneleknek még mindig csak kitöltő szerepben lenne lehetséges, hiszen a tartószerkezeti méretezésük így még nem megoldott. A tartószerkezeti szabványosításra vonatkozó lehetőségek taglalása meghaladja a jelen dolgozat kereteit, így ez a rész most nem kerül kifejtésre.

5.2 – Modern anyagokhoz képest gyengébb tulajdonságok:

A vert falak esetében használt vályogkeverék tulajdonságait az előzőekben már megismerhettük, azonban ezek az adatok akkor adnak teljes képet az anyagról, ha a korszerű építőanyagainkkal hasonlítjuk össze őket. Az alábbiakban összegyűjtöttem a falszerkezetekhez leggyakrabban alkalmazott anyagaink néhány fontosabb tulajdonságát.

Építőanyag	Sűrűség [kg/m ³]	Hővezetési tényező [W/mK]	Nyomószilárdság [N/mm ²]	Tűzvédelmi osztály
Vert vályog	2000	1,2	4	A1
Pórusbeton	440	0,11	3	A1
Vázkerámia	750	0,19	11	A1
Beton C30/37	2400	1,55	30	A1
Tömör tégl	1730	0,78	22	A1
Mészhomok	1600	0,65	16	A1

5.2 - 1. táblázat A vert vályogfal tulajdonságainak összehasonlítása a modern anyagokkal [saját ábra] [22,23,24,25,26]

A táblázat alapján az első 3 tulajdonságból az anyagok, illetve a belőlük épített fal egyéb tulajdonságai is egyszerűen meghatározhatóak. A vert falak egyik legnagyobb előnye a döngölés következtében kialakuló nagy sűrűségük. Ugyanis ebből következik, hogy átlagos vastagságú vert fal egy meglehetősen nehéz szerkezet, ami több szempontból is kedvező. Egyrészt egy rendkívül jó hőtároló tömeget jelent, mely energiagazdálkodás szempontjából jelentős, másrészt rendkívül jó léghanggátlás szempontjából. Szintén kedvező, hogy a vályog egy nem éghető anyag, így „A” tűzvédelmi osztályba sorolható.

Kedvezőtlen tulajdonsága, hogy ez a viszonylag nagy sűrűség a hagyományos vert fal vastagságokkal kombinálva nagy önsúlyt jelent a szerkezetre, illetve az azt alátámasztó tartószerkezetre nézve. További hátrány, hogy bár hőtárolás szempontjából meglehetősen előnyös, azonban sűrűsége és összetétele miatt a korszerű anyagokhoz képest rosszabb hőszigetelő képességgel rendelkezik. Mint azt a táblázatban is láthatjuk, nyomószilárdsága kisebb az átlagosan alkalmazott anyagoknál, a pórusbeton kivételével. Ez kisebb léptékű, kevesebb szintszámú épületek esetében, illetve kitöltő falként való alkalmazás esetén nem okoz problémát, azonban egy bizonyos szinten limitálja a szerkezet alkalmazhatóságát.

A 4.2-es fejezetben felsorolásra kerültek azok az adalékanyagok, melyeket régen alkalmaztak, illetve amelyeket manapság alkalmaznak a külföldi építési projekteknél a vályog tulajdonságainak javítására. Ezen pont alapján kijelenthető, hogy a bemutatott adalékok majdnem mindegyike olyan lényegi, előnyös tulajdonságait változtatja meg az anyagnak, megerősítése mellett, hogy lényegében nem éri meg az alkalmazásuk. Mindemelett az anyag beépítési energiaigényét is növelik és egy kevésbé környezetbarát építőanyaggá teszik a vályogot.

Azonban szó sincs arról, hogy ettől az anyagtól elvárnánk, hogy minden téren lekörözze számszerű adatok terén a modern építőanyagainkat. Ha a vert falunkhoz egy olyan receptúrát is előállítunk, mely olyan arányban tartalmaz szalmát, hogy az ne menjen teljesen a

nyomószilárdság rovására, akkor sokkal jobb hőszigetelő képességet érhetünk el, mely már bőven felvehetné a versenyt a modern falazóanyagokkal.

Az előző pontban említett előgyártással azonban a vert fal más tulajdonságait is tudnánk javítani. Hiszen, ha kézi erő helyett gépi erővel döngölnénk le az adott falakat, sokkal nagyobb fokú tömörítettséget érhetnénk el, mely egyben a szilárdság növekedését is indukálná. A Rammed Earth Works amerikai cég hasonló technikával gyárt előre építési célra vályogfal paneleket. Gyártási technológiájuk lényege, hogy a folyamatosan töltik bele az anyagot a zsaluzatba, miközben egy gép 6 bar nyomással percenként nagyjából 700 döngölő mozdulatot végezve végigmegy a zsaluzaton hosszirányban. Igaz, a cég minimális cementet is adagol a keverékébe, de így 12,5-14,5 N/mm² nyomószilárdságot is elérnek a panelekkel. [27] Ez számunkra azt támasztja alá, hogy a szilárdság, bár nem ekkora mértékben, de jelentősen növelhető gépi döngölés alkalmazásával.

5.3 – Egyedi épületfizikai tulajdonságok:

A vályognak számos előnyös tulajdonsága van, azonban egy kiemelkedik a többi közül. Ez pedig nem más, mint az egyedi páratechnikai viselkedése. A vályogból készült fal rendkívül jó nedvességszabályozó, képes a belső térben lévő párával olyan módon gazdálkodni, hogy ha megnő a páratartalom az épületen belül, akkor ezt a többletet magába szívja, ha pedig csökken, akkor ezt a felvett bónusz nedvességet visszajuttatja a belső térbe. Így az épületen belül képes egy egészséges mikroklíma megteremtésére.

Ez a tulajdonsága alapvetően hasznos, azonban egy másik szempontból nézve már nem annyira pozitív ez a páratechnikai viselkedés. Mivel a vályogfal páraáteresztő tulajdonságú, ha az alkalmazása mellett döntünk, akkor a felszerkezet egészét páradiffúzió szempontjából nyitottá kell tennünk. Ez azt jelenti, hogy párafékező tulajdonságú anyaggal nem kombinálhatjuk a vályogot, például egy vályogtégla falra nem kerülhet műanyag hab hőszigetelés. Ellenkező esetben a pára útja ezen szerkezetek határán megakad, a pára kicsapódik és mind a hőszigetelő réteget mind a vályogot átnedvesíti. Ha pedig a hőszigetelés nedvességet vesz fel, nagyban romlik a hőszigetelő képessége., tehát egy ilyen hibával teljesen tönkre tehetjük a falat. Ugyanezen ok miatt kell odafigyelnünk a vakolatok anyagára is.

Azonban, ez nem feltétlen egy negatív dolog vagy hátrány. Általánosságban elmondható, hogy a páraáteresztő tulajdonságú anyagok természetes anyagok. A párafékező tulajdonságú anyagok, mint a műanyag hab hőszigetelések, vagy a dryvit homlokzati hőszigetelő rendszer elemei pedig mesterséges anyagok, melyek sokkal

környezetszennyezőbbek, illetve beépítési energiaigényük is sokkal magasabb természetes anyagú társaikhoz képest. Ez alapján tehát egy vályogfal, úgymond megköveteli magának az adott falszerkezetben a környezetbarát anyagok használatát. Ebből a nézőpontból vizsgálva már állíthatjuk, hogy egyáltalán nem egy hátrányos tulajdonságról van szó, hiszen ilyen módon a vályog lehet a környezetbarát építés indikátora.

A természetes anyagokból, melyek páraáteresztő képességük, rendelkezésünkre állnak alternatívák. A hőszigetelés ilyen esetben lehet akár nádpalló, kőzetgyapot vagy fűjt cellulóz is. Teljesítménynyilatkozattal rendelkező vályog alap és fedővakolatokat pedig zsákos kiszerezésben lehet beszerezni. Ezek a termékek más vályog anyagú szerkezetekkel kompatibilisek.

5.4 – Szakemberhiány, munkaerőhiány, időhiány:

A mai magyar építőipari körülmények nagy mértékben eltérnek a népi építészeti vályogörökségünk fénykorában kialakult építési körülményektől. A régi időkben ez a 3 probléma egyáltalán nem merült fel, hiszen kalákában építkeztek, sokan összefogva. Adott volt a munkaerő, a szükséges szaktudásnak mindenki a birtokában volt, az építési idő rövidege pedig egyáltalán nem volt annyira fontos szempont, mint napjainkban. Manapság már azonban az idő pénz. Az építkezések időigényét minden lehetséges módszerrel próbáljuk a minimumra redukálni, minél többet és minél gyorsabban akarunk építeni.

Ahogy azt a 3.2-es pontban részleteztem, a vályogépítészet az elmúlt évtizedekben nagy mértékben visszaszorult. Így mostanra meglehetősen kevés olyan szakember maradt, aki még ismeri a vályoggal való építés rejtjelmeit. Persze érvelhetünk azzal, hogy a szabványokban, előszabványokban vagy irányelvekben találunk kialakítási módokat, azonban véleményem szerint az elmélet nem tudja teljes mértékben pótolni a gyakorlati tudást.

A munkaerőhiány szintén egy jelentős probléma, hiszen a mai korszerűen megalkotott gyors és gépesített építési módszerek mellett is jelen van ez a hiány. A hagyományos vályog alapanyagú falak, mint például egy vert fal megépítése rendkívül élőmunka igényes. Ekkora mennyiségű anyag bekeveréséhez és ledöngöléséhez tetemes mennyiségű munka szükséges.

Ezek alapján tehát egyértelmű, hogy ha napjainkban újra alkalmazni akarjuk ezeket a szerkezeteket, akkor ezekre a problémákra költséghatékony, lehetőleg nem környezetszennyező megoldásokat kell találnunk.

Ezen kiküszöbölésére szintén egy alkalmas módszer a gépesítés és az előregyártás. Hiszen, ha az anyagot alkotóelemeire bontva gépekkel keverjük be megadott receptúra alapján, majd gépekkel adagoljuk a zsaluzatba és döngöljük le és a helyszínen csak daruval beemeljük a megfelelő helyre, azzal mind a három problémát megoldottnak tekinthetjük. Persze egy ilyen mértékű gépesített gyártásnál a beépítési energiaigény megnövekszik a hagyományos készítésű vert falakhoz képest, azonban még így is sokkal környezetbarátabb az építési mód, mint a szóba kerülő más alternatívák. Számos tanulmány született, melynek középpontjában ez a téma állt, ami nem más, mint hogy a vert földfalak beépített energiája hogyan viszonyul más falazóanyagokból épített fal beépítési energiájához. Ezen tanulmányok mindegyikében a végeredményben a vert falak sokkal jobban teljesítettek, még cementtel, illetve mésszel stabilizálva is, ami sokkal nagyobb mértékben növeli a beépített energiát, mint az előregyártás, így kijelenthetjük, hogy a vert falak még így is sokkal gazdaságosabbak energiafelhasználás szempontjából, mint társaik.

5.5 – Problémás a megerősítése:

A 4.2-es pontban ismertettem részletesebben a vályog stabilizálására használt anyagokat és azok hatásait. Ezen információk alapján egyértelműen kijelenthető, hogy a vályog megerősítése egyáltalán nem egy egyszerű kérdéskör. Ezen adalékok nagy része lényegi tulajdonságait változtatja meg az anyagnak amellet, hogy a kívánt szempontból javítja azt.

A természetes adalékok tekintetében megállapíthatjuk, hogy alkalmazásuk nagy előnyökkel jár és közben negatív kihatásuk a keverék tulajdonságaira csekély, főleg, ha betartjuk az alkalmazásukra vonatkozó tapasztalati úton meghatározott, vagy előírt mértékeket. A homok és kavics a vert vályogfalak kihagyhatatlan elemei, a vályog soványságának függvényében ezeket az összetevőket minden esetben adagoljuk a keverékbe.

A szalma, illetve növényi rostok szintén jó soványító anyagok, a hőszigetelő képességet és a húzószilárdságot is jelentősen növelik, viszont nyilván csak egy bizonyos mértékű nyomószilárdság csökkenés mellett. Attól függően, hogy milyen igénybevételek ébrednek a szerkezetben, ezen anyag használata napjainkban is egy jó útvonal.

A lenolajkencével történő impregnálás, igaz természetes adalék, de lényegében változtatja meg a kezelt rész páratechnikai tulajdonságait. A gyakorlatban ezt az anyagot ritkán alkalmazzák. Jellemzője, hogy a kezelt felület tónusát megváltoztatja, mely egy monolit faltest esetében nem kívánt esztétikai romlást idézhet elő. Emellett nem UV álló, így kültéren alkalmazva időközönként meg kell ismételni a kezelést, azonban hiába természetes

alapanyagból készülő stabilizátorról van szó, alapjában véve is meg tudja növelni az impregnált szerkezet beépítési energiaigényét, arról nem is beszélve, hogy mennyivel növeli ezt az értéket, ha rendszeresen újra kell alkalmazni az adott felületkezelést.

A kortárs földépítészetben a leggyakoribb mesterséges stabilizáló anyag a cement. A vályogban lévő anyag arányától függően eltérő mértékben adagolható effektíven cement a keverékhez. Nagyon kövér vályogoknál ezzel a stabilizálással szinte egyáltalán nem érhető el javulás az anyag tulajdonságaiban. Alapvetően kövér vályog esetében 3%-os, sovány vályog esetében 5%-os cement adagolással érhető el gazdaságosan a szerkezet effektív megerősítése. Ezen adalékszert leginkább 2 okból alkalmazzák a vályog stabilizálására. Egyrészt növeli az anyag szilárdságát, másrészt sokkal ellenállóbbá teszi az adott keverékből készülő fal felületét, mely előnyös lehet egy homlokzati falként történő alkalmazás esetében. [13,14]

Azonban a cementtel való stabilizálás több sebből is vérzik. Egyrészt tönkreteszi a vályog alapvető páragazdálkodó képességét. Másrészt rendkívül nagy mértékben megnöveli a beépítési energiaigényt, amellyel más környezetszennyező anyagok szintjére rontja le a vályogot. Azonban, ami a legnegatívabb következmény, hogy ezen eljárás után a vályog nem használható fel többször úgy, ahogy az egy stabilizálatlan fal esetében lehetséges. Ennek oka, hogy míg az agyag ásványainak kötése víz segítségével felbonthatóak, majd száradás hatására újra köthetőek, a cement esetében ezek a kötések, csak kötőanyag, azaz cement újbóli adagolásával lehetségesek.

Amiről azonban még nem esett szó, 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 „Earthconcrete, Stabilization revisited” című munkája. 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. Így a cementtel való stabilizálással lényegében csak silány földbetont készítünk. [15]

A következtetés tehát, hogy amennyire csak lehet, érdemes kerülni a mesterséges stabilizáló szereket, mert a kívánt hatásért akkora árat kell fizetnünk, hogy már nem lesz kifizetődő a szerkezet alkalmazása. A természetes alapú stabilizáló szerekekkel is óvatosan kell bánnunk, hiszen bár az egyik helyen adnak, a másik helyen elvesznek az anyag előnyeiből.

5.6 – Statikai szempontból nem előnyös:

Ahogy azt az 5.1 részben már tárgyaltam, a vert vályogfalak jelenleg szabályozás hiányában nem tölthetnek be tartószerkezeti szerepet az épületen belül. Méretezésük statikai szempontból összetett, hiszen az egymásra dőngölt rétegek közötti kohézió, a rétegek együtt dolgozása egy olyan pontja ezeknek a falaknak, melyre még nem áll rendelkezésünkre kidolgozott megoldás. A régi időkben, még a szabványosítások előtt rengeteg ház épült vert falas tartószerkezettel. Ezeknél az épületeknél egy vályogos-vizes keverékbe áztattak be fa karókat, melyeket ezután dőngölés közben helyeztek el a falszerkezetben. Ezek a fa karók általában csak a szerkezet kritikusabb pontjain helyezkedtek el, például sarkoknál, illetve nyílások környezetében, ahol a falszerkezet alapvetően gyengébb a kialakítás következtében. [1,7]

Egy következő nehézség, hogy a vályogfalakra nem helyezhetünk közvetlenül olyan szerkezetet, amely kis felületen ad át nagy terheket a falra, ugyanis a vályog nem viseli jól a pontszerű terhelést. Ez egy sarkalatos pont, mely egyrészt kihatással van a nyílások áthidalására, másrészt a födémszerkezetre is.

A vályog faltestekben az áthidalók anyaga általános esetben fa. A népi épületek többségében fa anyagú áthidalókat találunk, illetve a szakirodalom is ezt az anyagot ajánlja erre a célra. Ennek egyik oka, a korábban már ismertetett tény, mi szerint a falszerkezetbe épített fát a vályog konzerválja. Ezen fa áthidalók kialakításánál a pontszerű terhelés elkerülése, illetve mérséklése miatt a napjainkban erre a célra alkalmazott szerkezetekhez képest nagyobb felfekvést kell biztosítanunk a fa áthidaló gerendáknak a faltesten.

A födém szerkezetek esetében pontszerű terhelést okozhatnak a gerendás födémek. A történeti szerkezetek közül ilyen például a borított fa gerendás födém, de ez az eset áll fenn manapság például egy gerendás-béléstest födém esetében is. A megoldás itt azonban nem a felfekvés növelése, hiszen egy födémről nagyságrendekkel nagyobb terhek adódhatnak át a falra, mint egy áthidalóról. A bevált módszer ilyen esetben, hogy a födémgerendák alá egy teherelosztó gerenda kerül beépítésre, mely lévén, hogy teljes felületén fekszik fel a falra, vonalmenti teherre transzformálja a pontszerű terhelést.

Végső soron tehát ezek a nehézségek nem is annyira nehézségek. Hátrányuk, hogy a vályogfalak kialakításából adódóan vastagabb falszerkezetek több beépített anyagot jelentenek például az áthidalók tekintetében, illetve a födémeknél az esetleges teherelosztó gerendák is

többlet anyag felhasználást jelentenek, így a beépítési energiaigény ezeket a plusz tételeket is beleszámítva minimálisan magasabb értéket fog adni.

Ahogy azt már korábban írtam, a tartószerkezeti méretezéshez tartozó megoldási opciók nem képezik részét a dolgozatnak. A falazatban lévő nyílások, illetve nyílások áthidalásának szempontjából szintén előnyös lenne a faltestek előregyártása, hiszen így kirekesztésre sem lenne szükség a nyílásoknak, egyszerűen az elemek méreteiből adódóan egyszerűen meg lehetne oldali ezen részek kialakítását. A stabilitást fokozó fa karók és esetleges betétfák a nagyobb nyomószilárdság és kedvezőbb kialakítás miatt valószínűsíthetőleg feleslegessé válnának. Abból a szempontból szintén egy kedvezőbb kialakítást adna így a szerkezet, hogy a fa gerenda áthidalók a döngölés hatására rugalmasságuk miatt ellentétesen mozoghatnak, így a faltest és áthidalók együtt dolgozása nem lenne a kívánt minőségű és stabilitású. Azonban előregyártott elemek alkalmazásával ezek a kapcsolatos sokkal tisztábban és stabilabban kialakíthatóak.

5.7 – Vízérzékenység:

Ahogy azt minden vályogépítészethez kapcsolódó cikkben és könyvben megemlítik, a vályog legnagyobb ellensége a víz. Korábban a dolgozatomban az anyag alkotóelemeihez kapcsolódó 4.1-es pontban ismertettem, hogy a hagyományos, stabilizálatlan vályog anyagú szerkezetben a kötőerőért felelős komponens az agyag. Az 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. Azonban ez a folyamat reverzibilis, a kész szerkezetet alkotó keverékben ez a folyamat újra és újra végbe tud menni. Ez az alapja annak, amiért egy végtelenszer újra használható anyagként tartjuk számon a vályogot. Így tehát paradox módon az anyag legkedvezőbb tulajdonsága adja a legnagyobb gyengeségét is egyben.

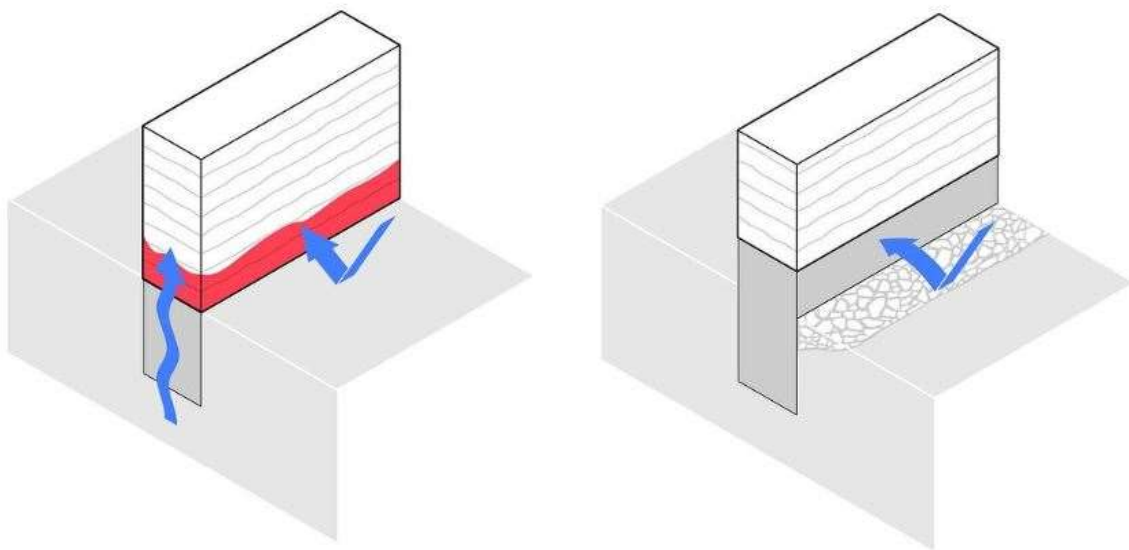
[11]

Ez a vízérzékenység napjaink tervezési körülményei és szokásai között meglehetősen nehéz helyzeteket teremthet. Hiszen ezen tulajdonság bizonyos esetekben gyakorlatilag kizárja a vályog alkalmazását. Például egy nagyobb léptékű épületben, ahol tűzvédelmi szempontok miatt kötelező oltóberendezést elhelyeznünk, meglehetősen nagy problémákat okozhat a falazat víz hatására történő képlékenyedése.

Az előző bekezdéshez hasonló problémával találjuk szemben magunkat, ha az épületen belüli használati vízre és a hozzá kapcsolódó építészeti megoldásokra gondolunk. A nedves

vagy vizes téri helyiségek falaiban gyakran futnak vezetékek, amelyek egy esetleg csőtörés alkalmával problémát okozhatnak. Azonban a probléma még nagyobb, ha az adott határoló falak nedvesség hatására esetlegesen elvesztik állékonyságukat.

Problémákat azonban nem csak az épületen belüli nedvességforrások okoznak, hiszen a külső teret határoló falaknak az időjárás viszontagságaival is meg kell küzdeniük. Ezen téma tárgyalásánál mindenképpen foglalkoznunk kell a felületi erózió témakörével. A népi építészetben ismert vályogházak falait meszeléssel, nagy mértékben túlnyúló tetővel, illetve a terepszinttől való elemeléssel, a lábazat más anyaggal való megerősítésével védték a külső környezeti hatásokkal szemben. Azonban ma már nem minden esetben reális, hogy ezen megoldásokat alkalmazzuk, hiszen az építészeti koncepcióval kapcsolatban nem szeretünk kompromisszumokat kötni és sok esetben nem illeszthetőek hozzá ilyen konkrét megoldások a tervekben szereplő épületeinkhez. Sok esetben azért sem tudnának működni egyes megoldások, például a meszelés, mert a kortárs építészetben a vert falak reprezentatív textúrájának láttatása fontos szempont az ilyen falszerkezettel rendelkező épületek esetében.



16. -17. ábra A vert vályogfal lábazati kialakításának hibás és megfelelő módja [35]

Lévéen, hogy ez a tulajdonság a vályog legmeghatározóbb problémája, sok olyan megoldás született, melyek a vert falak kültéri alkalmazásának lehetőségeit igyekeznek megoldani esetenként több, máskor kevesebb sikerrel.

A leggyakoribb megoldás, mely a kortárs építészetben is elterjedt sajnos a cementtel való stabilizálás. A Rammed Earth Works, az Earth Structures Group nevű amerikai, illetve ausztrál cégek, előregyártott vert vályogfal paneli is cement adagolással készülnek, hogy a kívülről látszó vert vályog textúra érvényesülhessen, de közben a szerkezet víz általi eróziója ne érjen el jelentős értékeket és a felület ellenállóbb legyen. Ugyanezt a vonalat képviseli a szintén ausztrál Sirewall rendszer is. Korábban már kifejtettem, hogy a stabilizálás ezen módja milyen nem kívánatos következményekkel jár, melyek a környezet, illetve energiatudatosság szempontjai miatt nem elfogadhatóak. [27,28,29]

Azonban a felületi erózió mérséklése szerencsére nem csak cementtel lehetséges. A stabilizálatlan vert vályogfal gyártás fellegvára napjainkban az Ausztriai Vorarlbergben található. Itt tevékenykedik Martin Rauch vályogos mester. Ezen a területen jó minőségű agyagos talaj található, melyből magas minőségű vályog keverék állítható elő. Rauch csapat 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 elkopna. Ezen módszer legékesebb példája a nemrégiben átadott Ricola gyár, melynek bár primer tartószerkezet vasbeton pillérváz, külső térelhatároló szerkezete az említett vályog panelekből áll. [33]



18. -19. ábra A Ricola Kräuterzentrum építése előregyártott vert vályogpanelekkal [30]

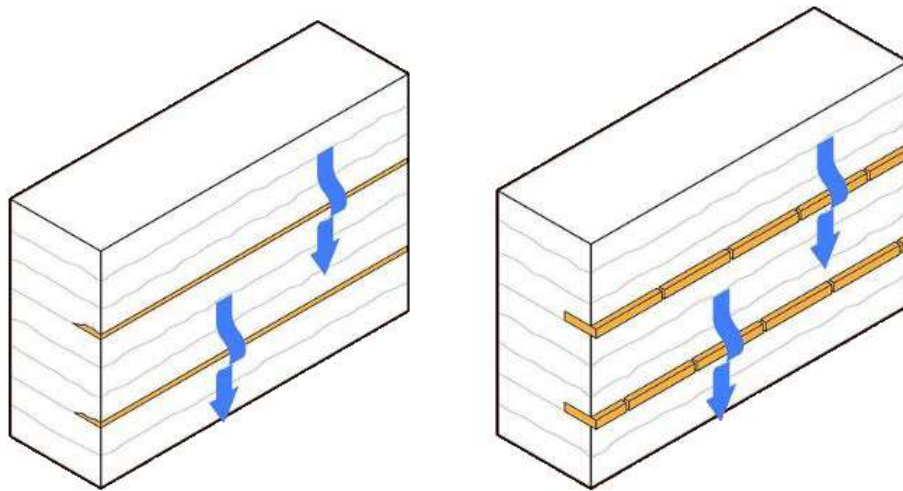


20. ábra A Ricola Kräuterzentrum vert vályogpanelekből készült épülete kész állapotban [30]

Persze ez az épület még nem áll annyi ideje, hogy a felületi erózió szempontjából releváns következtetéseket tudjunk levonni a szerkezetre vonatkozóan.

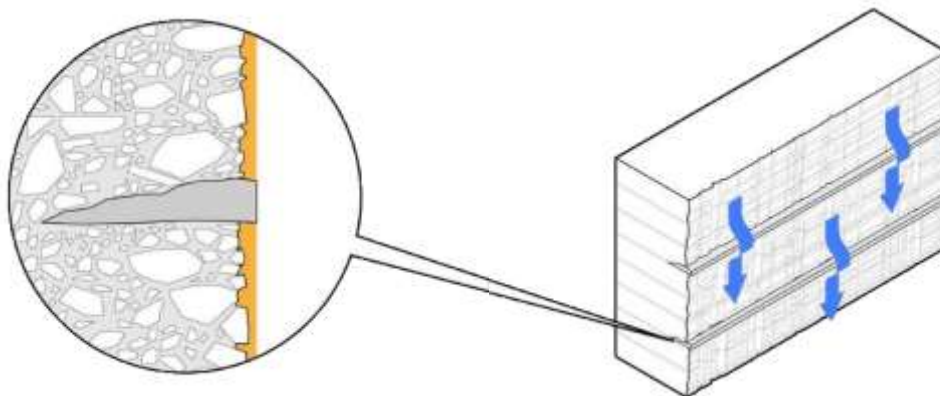
Ezen a területen azonban körülbelül 20 évvel ezelőtt szerencsénkre lehelyeztek a szabad ég alá vert vályog faltesteket, melyeket magukra hagytak erodálódni. Ezekből a faltestekből stabilizált és stabilizálatlan verziók is készültek. 20 év időjárási viszonyoknak való kitettség után a stabilizált fal felületén 2 mm, míg a stabilizálatlan változat felületén 6,4 mm volt az erózió mértéke. Ezek az eredmények azért jelentenek sokat a számunkra, mert hazánk klímájával megegyező körülmények között helyezkednek el ezek a falak.

Azonban a történet itt még nem ér véget. Rauch és csapata kikísérletezett egy olyan kialakítást, mellyel még tovább mérsékelhető a felület kopása. Azonban ennek már nem annyira a homlokzati falat közvetlenül érő vízhez, hanem inkább az azon lefolyó vízhez van köze. Szintén több tudományos cikkben is megjelenik az elmélet, mi szerint a homlokzaton lefolyó víz, ahogy egyre jobban felgyorsul egyre inkább erodálja a felületet, melynek következménye a faltest aljának nagy mértékű károsodása. A hatékony megoldás, melyet Rauchék is alkalmaznak, őseink építészetében rejlik. Hiszen a történelmi épületek esetében a vízszintes párkányzatok nem csupán díszítő céllal voltak jelen, hanem pontosan emiatt, hogy a homlokzaton lecsorgó víz kevésbé károsítsa a fal felületét. Jelen esetben a vert vályogfalakra adaptálva Martin Rauch csapata egy olyan konstrukciót alkotott meg, ahol minden ledöngölt réteg után egy cserép/léc vízszintes homlokzati tagolás jelenik meg. Ezek a cserepek vagy lécek készítés közben még a fallal egy síkban vannak. Az idők során bekövetkező eróziók eredményeképp kerülnek elő a homlokzaton, ahol szerepük a lefolyó víz mozgási energiájának fékezése és ezáltal a víz eróziós potenciáljának csökkentése.



21.- 22. ábra A vert vályogfal külső felületének kialakítása vízszintes megszakító sávokkal [35]

Az ide kapcsolódóelméletek szerint a homlokzati felületből kimosódó finom szemcsék ráadásul a vízszintes megszakítások felett lerakódnak és egy egyedi párkány szerű profilt alakítanak ki. [34] Sőt, egyes cikkekben szereplő elméletek szerint ez az erózió idővel szinte megszűnik, miután a fal felületéről a finom szemcsék kimosódnak, mivel a nagyobb köveket a víz már nem képes kimosztani és kialakul egy stabil felület, mely a víz hatására már nem érzékeny.



23.- 24. ábra A vert vályogfal külső felületének finomszemcse kimosódás után kialakuló felülete [35]

Rauch egyik leghíresebb épülete, saját háza is ezzel a megoldással készült.

Tehát a vert falak alkalmazása homlokzati falként nem csak, hogy lehetséges, de mindez stabilizálás és alacsony környezeti terhelés mellett kivitelezhető.

5.8 – Összegzés, a felsorolt problémák és megoldási javaslatok konklúziója:

Az előző pontok tanulságaiból egyértelműen leszűrhető, hogy a vert falak alkalmazásának gyakorlatilag feltétele hazánkban az előregyártás. Ez a készítési mód több, a kivitelezés szempontjából fennálló problémát, mint idő, munkaerő és szakemberhiány teljes mértékben megold, amellett, hogy egy ilyen konstrukció a szabványosítás alapfeltétele is a jelenlegi kilátások alapján. Ezek mellett pedig más nehézségekkel szemben hozzájárul a vert fal javításához. A gépi gyártás és a belőle fakadó jobb minőségű szerkezet ellőállíthatósága miatt tartószerkezeti szempontból is előnyösebb tulajdonságokat biztosít, illetve csökkenti az adalékszerek alkalmazásának szükségességét.

Egy másik fontos megállapítás, hogy a stabilizálatlan földfalak alkalmazása jelenti a környezetkímélő megoldást. A mesterséges adalékszerek alkalmazása kerülendő, a természetes opciók közül pedig esetlegesen használható a szalma, azonban a nyomószilárdság csökkenése miatt inkább csak kitöltő falként. Nagyon indokolt esetben alkalmazhatjuk még a lenolajkencét, azonban csak kis felületeken és mindenképpen olyan felületen melyet nem ér UV sugárzás.

A vízzel szembeni viselkedés szempontjából elméletileg külső térelhatároló szerkezetként is alkalmazható, vagyis homlokzati falként, hiszen minden nemű felületkezelés nélkül is ellen tud állni az környezeti hatásoknak, a vízszintes megszakító osztásokkal pedig még inkább.

Azonban érezhető, hogy a vert vályogfalaknak az eddig taglalt tulajdonságok, kialakítások és megoldások közül a vízérzékenység és az annak orvoslására megalkotott módszerek a leginkább megkérdőjelezhető részei. Bár sok más érdekes kísérletet lehetne még végezni a vert falakkal kapcsolatos témákról, a dolgozatomhoz kapcsolódó kísérletemben az említett homlokzati falként történő alkalmazáshoz, a vízérzékenység témaköréhez tartozó hipotéziseket, elméleteket szeretném igazolni, vagy cáfolni.

6.0 – Kísérlet a vert falak víz általi felületi eróziójának vizsgálatára:

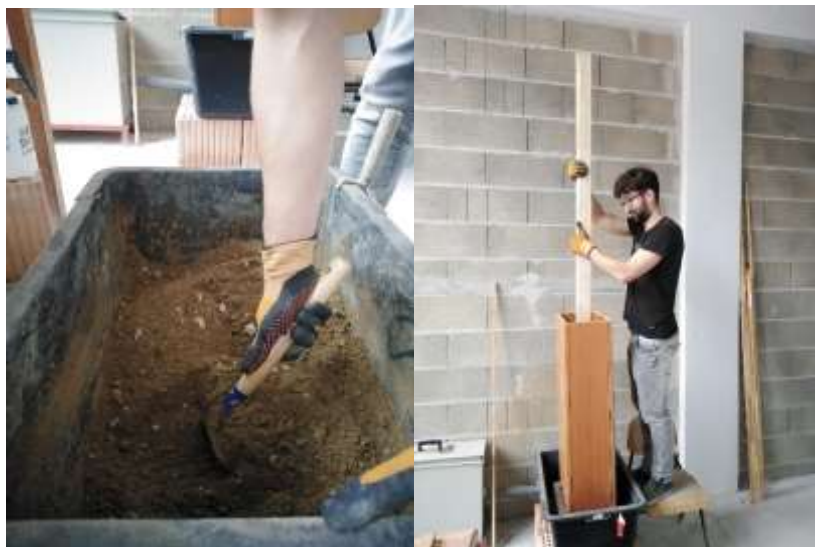
6.1 – Faltesthez felhasznált anyagok, összetétel:

A vályogfal készítése során 2 féle keverékkel dolgoztam. Az adalékok mindkét esetben 1-3 mm-es apró szemű kavics és 8-16 mm szemcseátmérőjű durva kavics volt. A falhoz felhasznált anyagok alapvetően 2 helyről származnak. Az anyag egyik felét a Perbárról hozott vályogtéglák adják, melyeket véső és kalapács segítségével bontottam szét.



25.- 26. ábra A falhoz felhasznált anyagok és a Perbárról hozott vályogtéglák szétbontása [saját fotó]

Ez a művelet alátámasztja a vályog alkalmazásával kapcsolatban gyakran emlegetett tézist, mi szerint végtelenszer és más formában is újra felhasználható. Az anyag másik fele Tengődről származó, rostált földkeverék volt. Ez az anyag, illetve a nagy szemű kavics a 26. képen nem szerepel. Az anyagok véges mennyisége miatt a keverékekből 3, illetve 4 réteget sikerült ledöngölni, az anyagváltás a fal felületén is jól látható.



27.- 28. ábra A faltesthez használt anyag bekeverése, illetve faltest döngölése [Fotó: Medvey Boldizsár]

Az alsó sötétebb rétegek a vályogtéglák anyagából döngölt, a felső, világosabb rétegek pedig a Tengődi anyagból döngölt részek. Utóbbi anyagból az említett településen számos épületet készítettek.

6.2 – Zsaluzat, készített és használt eszközök:

A próbatesthez készített zsaluzat régi bútorlapok felhasználásával készült. A zsaluzat magassága 1 m. Rövidebb oldalai 20 cm, míg hosszabbik oldalai körülbelül 44 cm hosszúságúak. A pontosság a rövidebb oldalnál volt fontos szempont, hogy megfelelő vastagságot kapjak, hiszen ehhez kívülről illesztettem a hosszabb oldalakat, így itt nem volt gond a zsaluzat esetleges túllógása.



29.- 30. ábra A faltesthez készített zsaluzat, illetve a zsaluzat és a hozzá készült döngölő [saját fotó]

A bútorlapok alapvetően nagyjából 2 cm vastagságúak voltak, így jött a hosszabbik oldal körülbelül 44 cm-es hossza. A lemezek kapcsolatai 4x40 mm-es csavarokkal készültek annak érdekében, hogy a kapcsolat oldható legyen és a döngölés után a zsaluzat könnyen szétbontható legyen. Ezek a csavarok a megfelelő tartás miatt viszonylag sűrűn, körülbelül 10 cm távolságra vannak kiosztva egymástól és a végeken a biztonság kedvéért mindig dupla csavar helyezkedik el.

A falest döngöléséhez egy 1,5 méter hosszúságú lécet használtam, melynek aljára egy nagyobb felületű falapot erősítettem, hogy a döngölési folyamat gyorsabban tudjon haladni.

Ahogy az a 31. képen látszik, a konstrukció legalsó részét üreges falazóelemek képzik, melyekre azért volt szükség, hogy a kísérlet során a fekete ládában felgyülemelő vizet le tudjam engedni, így az ne érje el a faltest alját. Annak érdekében, hogy a fal magasabban helyezkedjen el és a vízszint ne érhesse el, a zsaluzatot 16 cm oldalhosszúságú beton kockákra helyeztem rá. A fekete láda oldalán a felgyülemelő víz elvezetésének céljából egy lyuk és hozzá kapcsolódóan egy csap található.

6.3 – A próbatest méretei, kialakítása:

A faltest mérete végül az anyagmennyiség függvénye lett, illetve a zsaluzat magassága is nyilvánvalóan meghatározó volt. A 20, illetve 40 cm hosszúságú oldalak 2-3 mm eltéréssel teljesültek. A próbatest magassága végül több ponton mért értékek átlaga alapján 78 cm lett. Ez nagyjából megfelel az eredetileg kigondolt méretnek, hiszen a zsaluzatban szükség volt többlet helyre felül, hogy a döngölőt a zsaluzaton belül lehessen tartani és megfelelően ledöngölhető legyen a legfelső réteg is.



31.- 32. ábra Az elkészült falazat hagyományos felülete és oldalnézete [saját fotó]

A faltest kialakítása több ponton is eltér a hagyományos, illetve a kortárs vert vályogfalak kialakításától is. A 40 cm hosszúságú felülete mentén egy-egyik oldalon a hagyományos módon készült natúr vályogfal textúra látható, a másik oldalon azonban a kortárs

vert falak esetében megfigyelhető megszakító sávokat helyeztem el. Ezek a sávok a jelen esetben raklapdeszkákból készültek és rétegenként vannak kiosztva.



33.-34. ábra Az elkészült falazat megszakító lécsorokkal készült oldala [saját fotó]

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 7 réteg készült el, melyek között összesen 6 darab megszakító fa deszka helyezkedik el, de csak a fal egyik oldalán. Ez a kialakítás a már említett elmélet miatt alakult így, mi szerint ezek a sorok megakasztják a falon lefolyó vizet, ezzel lelassítják, így csökkentve az eróziót.

6.4 – Eróziós vizsgálatok főbb típusai, menete:

A víz általi erózió egy komoly probléma a ma használt homlokzati falak legkülső rétegét illetően. Mint azt már említettem a víz két féle formában tud nagy károkat okozni a falszerkezeteinkben. Az egyik a csapóeső, a másik pedig a homlokzati felületen felgyorsuló lefolyó víz. A víz általi erózióval szembeni ellenállás vizsgálatára szolgáló módszereket az ausztrál Kevan Heathcote alapvetően három csoportba sorolta be. Ez a három csoport az indirekt, a gyorsított eróziós és a szimulációs vizsgálatok. A kísérletemben egy gyorsított eróziós vizsgálatnak vettem alá az általam készült faltestet, így jelen helyzetben csak a gyorsított eróziós vizsgálat módszerét ismertetem. [34,37]

Ez a módszer alapvetően locsoló és csepegtető vizsgálatokra bontható fel. Lényege, hogy valós időjárési hatásokat próbál lemodellezni, azonban mindezt úgy, hogy a használt hatást felnagyítják a vizsgálati idő redukálásának érdekében. Ezen vizsgálatok hossza 1-2 óra időtartamot vesz igénybe, mely alatt a próbatestre megnövelt vízmennyiséget juttatnak. A csapóeső által okozott erózió alapján véve több tényezőtől függ. Ezek a tényezők a csapadékintenzitás, a becsapódás szöge és sebessége, a cseppméret elosztása, illetve a terhelési idő.

Változó	IS 1725 [6]	Bulletin 5, HB 195, [32] NZS 4298 [26]	módosított Bulletin 5. [13]	Ogunye és Boussabaine [23]
Csapadékintenzitás [mm/h]	15–30	1700	280-2400	150
Jellemző cseppátmérő [mm]	2–4	–	1,1–2,5	0,8–4,5
Becsapódás szöge [°]	0°	0°	0°	15°–45°
Becsapódás sebessége [m/s]	–	9,9	9,8–15,2	3,6–8,9
Terhelés idő [perc]	120	60	60–180	720

6.4 - 1. táblázat Az eróziót befolyásoló tényezők alakulása a gyorsított eróziós vizsgálatokban [34]

Változó	IS 1725 [6]	Bulletin 5, HB 195, [32] NZS 4298 [26]	módosított Bulletin 5. [13]	Ogunye és Boussabaine [23]
Vízugár 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

6.4 - 2. táblázat A locsoló eróziós vizsgálatok fő paraméterei [34]

A vizsgálati eljárásokat természetesen az alapján kell kiválasztani, hogy egyrészt mennyire modellezik pontosan a valós igénybevételt, illetve, hogy az adott próbatest mennyire modellezi megfelelően egy normál méretű fal működését. [34]

6.5 – A jelen kísérletben alkalmazott gyorsított eróziós vizsgálat:

A kísérletemben egy locsoló eróziós vizsgálatot végeztem el az elkészített faltesten, melynek alapját a megadott 6.4 - 2. táblázat második oszlopában szereplő paraméterek adták meg. Azonban a kísérletet befolyásoló körülmények miatt ehhez a paraméter halmazhoz képest eltérésekkel zajlott le a kísérlet.

A falazatot folyamatos vízszugárral terheltem, azonban a nyomásmérő meghibásodása miatt a víznyomás értékét nem lehetett pontosan beállítani, így csak körülbelül olyan erősséggel igyekeztem a faltestet locsolni, ahogy a paraméterek azt diktálták a táblázat szerint. Ez esetenként kisebb, máskor nagyobb nyomást eredményezett, mint 50 kPa, ezzel kevésbé pontosá téve a kísérlet eredményét.

A szórófej átmérője, a locsolás iránya, illetve a szórófej távolsága a próbatesttől minimális eltérésekkel, de megfelel a táblázat által diktált paramétereknek.

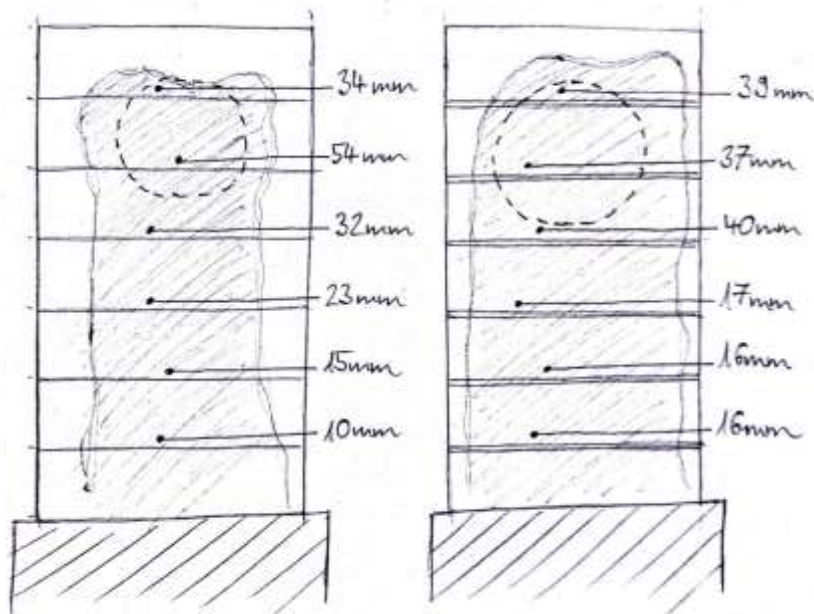
A locsolt felület átmérője a képeken is tisztán kivehető, körülbelül 30 cm-es értéket ad, mely duplája a táblázatban megadott szabványos vizsgálathoz tartozó értéknek.

A legnagyobb eltérés a vizsgálat időtartamában lelhető fel. A szabványos értékhez képest sokkal kevesebb ideig, mindössze 2,5 percig zajlott a kísérlet oldalanként. Ennek oka egy részről, hogy a víz összegyűjtésére alkalmazott láda olyan szintig telt vízzel a kísérlet alatt, hogy tovább folytatva elérte volna a faltest alját, mely pontatlanságot okozott volna a kísérlet eredményében, más részről idő hiányában nem tudott tovább folytatódni a kísérlet.

6.6 – A kísérlet eredménye, dokumentációja:

A kísérlet úgy zajlott, hogy az imént leírt paraméterekkel megadott gyorsított locsolós eróziós vizsgálatot végeztem el. 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. Ez egyrészt információt szolgáltat erről a jelenségről, másrészt a fal 2 oldalának eltérő kialakítása miatt, illetve mivel a lécbetétes résznek ebből a szempontból jobban kellene teljesítenie, erre e jelenségre is kapunk információkat. Így a fal egyik, majd másik oldalán elvégzett kísérlet közben a faltest egészéről készült felmérés.

A locsolás utáni állapoton jelentkező kimosódások kontúrját, melyet a halványan sraffozott rész jelöl, a locsolás helyét, melyet a szaggatott kör fed le, illetve a locsolás következtében létrejövő kimosódások mértékét, amelyeket az ábra mellett látunk azok helyével együtt, a következő ábrák szemléltetik:



35. ábra A készített próbatest felületi eróziójának mértéke az egyes kialakításokkal [saját rajz]

A próbatestről a kísérlet után lemerő adatok meglehetősen vegyesek. A felső zónában, ahol a szórófejből érkező vízszögár közvetlenül érte a felületet, viszonylag nagy mértékű a kimosódás. A natúr felület esetében ezen a részen volt mérhető a legnagyobb mértékű erózió. Azonban a lécezett felület ezen részén a másik 2 jellegzetes kimosódási ponton jelentősen nagyobb értékek voltak mérhetőek a sima felületű oldalhoz képest.

A lábazati részen mért értékek azonban még érdekesebb eredményt mutatnak. Itt ugyanis a fal legaljánál, ahol a felületi eróziót elméletileg a víz mozgási energiájából származó eróziós potenciál adja, a lécezett konstrukciónak sokkal jobban kellene teljesítenie natúr felületű társánál. A kísérletben azonban ez pont fordítva történt. A sima felület esetében jól láthatóak, hogy a dögöléssel közvetlen kapcsolatba került részek, azaz a rétegek felső határai sokkal tömörebbek, így kevésbé erodálódtak és kvázi párkányokat képeztek a felületen.

(A kísérletről készült további képek, illetve videók az alábbi drive linken elérhetőek: https://drive.google.com/drive/folders/1Lv4Eg9krdgeIrIXOSRYjQGB2Zj5lVThi?usp=s_haring)



36.- 37. ábra Az elkészült falazat natúr oldaláról készült fotók a vizsgálat után [saját fotó]



38.- 39. ábra Az elkészült falazat natúr oldaláról készült fotók a vizsgálat után [saját fotó]



40.- 41. ábra Az elkészült falazat lécbetétes oldaláról készült fotók a vizsgálat után [saját fotó]

6.7 – A kísérlet eredményeinek magyarázata, hibái és fejlesztési lehetőségei:

A kísérlet egyik legmeglepőbb része a falazat meglehetősen nagy mértékű eróziója, melynek több oka is van a jelen helyzetben. Korábban már esett szó arról, hogy a külső falra körülbelül 2-3 cm-t rá kell hagyni vastagságban, ha pontos szerkezeti méretet szeretnénk, hiszen nagyjából ekkora mértékű a finom szemcsék kimosódásával járó erózió. Ez azonban alap esetben egy nagyon hosszú folyamat, melynek egy ilyen gyorsított eróziós vizsgálat alkalmával nem szabadna ekkora értékeket adnia. És jelen helyzetben nem is ez volt a nagy mértékű felületi erózió egyetlen oka.

Hozzájárult az úgynevezett zsalusúrlódás is, mely azt a jelenséget takarja, mikor a döngölés közben a szélső sávokra ható erők egy jelentős hányada a tömörítendő vályog helyett a zsaluzatra adódik át súrlódással. Alap esetben ez okozza a felső vékonyabb felületréteg viszonylag gyors erózióját, hiszen ezeken a részeken gyengébbek lesznek az anyag olyan tulajdonságai, mint szilárdság, illetve felületi ellenálló képesség.

Jelen kísérlet esetében azonban még egy fontos tényező volt, amely hozzájárult a nagy mértékű felületi károsodáshoz, ez pedig nem más, mint e nem megfelelő mértékű tömörítés. Az előző, 6.2-es pontba részleteztem a döngöléshez használt eszköz kialakítását. Ezzel kapcsolatban az a probléma állt fenn a készítés során, hogy a döngölő nyelét adó fa lécsík a rá erősített nagyobb felületű lappal kombinálva nem tette lehetővé a faltest megfelelő mértékű tömörítését. Ennek egyik oka, hogy a lécsíkre erősített rétegelt lemez lapot a lécsík csak annak közepén nyomta teljes felületén, így a széleken nem adódott át akkora erő és nem tömörítette le kellőképp a próbatest széleit. A másik ok pedig, hogy ezen rétegelt falemez felülete túl nagy volt erre a célra, hiszen nagyobb felületen adódott át a kifejtett erő, amely nem tette lehetővé a megfelelő mértékű tömörítést. Ha a nagyobb felületű lemezt nem erősítettem volna a döngölőre, hanem simán csak a lécsík felületét használtam volna, akkor egy nagyobb szilárdságú faltest lett volna a végeredmény kisebb mértékű felületi erózióval. Erre bizonyíték a sima felületen végzett vizsgálat eredménye, hiszen ott a legnagyobb mértékű erózió a rétegek alján jelentkezett, ahová a döngölő hatás már nem ért le, a legkisebb erózió pedig ott alakult ki, ahol közvetlen találkozott a döngölő szerszám a réteggel.

Ezek a nagy mértékű eróziók tehát egy következő kísérlet, illetve egy következő ilyen próbálkozás esetében mérsékelhetőek egy kisebb felületű döngölő eszköz alkalmazásával.

A másik erózióval kapcsolatos furcsaság, hogy bár a szakirodalom és a kortárs vályogépítésszaki képviselői a vízszintes megszakító cserép/fa berakást egy jó konstrukciónak

tartják a felületen lefolyó víz eróziója miatt, ezen felületnek kevésbé kellett volna erodálódni a kísérlet folyamán, mint a sima felületű oldalnak azonban ez esetünkben éppen fordítva történt. Ennek okai azonban nem az elv hibásságában, hanem a kivitelezésben, a választott anyagban rejlik. Egy részről az adott döngölő szerszám kevésbé volt alkalmas ezen megszakító deszkázat döngöléséhez, másrészt a faanyag sem volt megfelelő választás ehhez a konstrukcióhoz, hiszen ez egy viszonylag rugalmas anyag, mert döngölés közben ellent mozgott és nem tudott a fal szerves részeként beépülni a szerkezetbe. Azonban az eltérést az okozta, hogy itt a lécek felett akkora mértékű volt a kimosódás, hogy ezek a helyek elkezdtek vízvetőként funkcionálni, felgyorsultak lassulás helyett, és jobban erodáltak a felületet, mint azt tették volna egy megfelelően elkészített konstrukció esetében.

A jövőbeli esetleges kísérletezés esetében mindenképpen kevésbé rugalmas anyag használata ajánlott erre a célra, mely képes megfelelőbb módon beépülni a faltettest szerkezetébe.

További hiba még például a víznyomás mértékének szabálytalansága, melyet egyszerűen, egy jól működő nyomásmérővel megoldhatunk.

A vizsgálati időtartam a jelen kísérletben sokkal rövidebb lett, mint kellene, így egy jövőbeli újra próbálkozás, vagy hasonló kísérlet során egy jobb konstrukcióval hosszabb vizsgálata időtartamot is kitűzhetünk célnak.

7.0 – Összegzés, jövőkép:

Összességében elmondható, hogy bár napjainkban nem használunk vert vályogfalakat, rengeteg potenciál rejlik bennük és alkalmazásuk korántsem annyira lehetetlen, mint amilyenek elsőre tűnik. Nem minden szempontból megfelelőek számunkra, a vályog nem egy univerzális, mindenre jó építőanyag, azonban ez nem is várható el. A tanulmányom nem arra irányul, hogy mostantól mindenhol és csak vert falakat alkalmazzunk az építészetben, hanem arra, hogy ésszerű keretek között és körültekintőbben válogassuk meg a szerkezeteinket és anyagainkat, illetve, hogy ne tekintsük ördögtől valónak a vályog alkalmazását manapság.

Véleményem szerint egy épület nem attól lesz környezetbarát és energiatudatos, hogy egy hatalmas környezeti szennyezéssel és beépítési energiaigénnyel megalkotott gépészeti rendszert tervezünk bele. Szerintem ehhez a kérdéshez kapcsolódóan el kell hagyni a vasbeton és hasonló környezetszennyező anyagok használatát olyan helyeken, ahol az nem indokolt és ténylegesen számba kell vennünk a természetes, környezetbarát építőanyagokat.

A vert vályogfalak paneles építési rendszere, illetve a problémái és azok megoldásai egy olyan példát helyez elénk, melyhez hasonló további anyagokkal/szerkezetekkel is megtörténhetne, hiszen mindegy anyag felhasználható és előnyös lehet, ha tudjuk a módját annak, hogyan használjuk.

A téma aktualitását szerintem az adja, hogy már jelenleg is építőanyag hiány van hazánkban, illetve más országokban is, a jövőben ez pedig jobb már nem, maximum rosszabb lesz. Hiszen a föld erőforráskészletei is végesek. Így a vályoghoz hasonló végtelenszer újra használható anyagok alkalmazása előbb, vagy utóbb elkerülhetetlen lesz.

Napjainkban a környezetbe jutó károsanyag kibocsátás 30%-a, illetve az éves szemétermelés egyharmad része az építőiparhoz köthető. Építőanyagaink nagy részének hasznosításához mind a mai napig nincs jó alternatíva. Meglepő módon az említett építőipari hulladékok közé tartozik az építkezések során kitermelt föld is. Ez még egy hatalmas érv, amellet, hogy törődjünk a természetes anyagainkkal és keressük a lehetőséget a javításra.

8.0 Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni mindenkinek, aki bármilyen módon hozzájárult ahhoz, hogy a dolgozatom elkészülhessen.

Külön köszönettel tartozom a témavezetőimnek, Kemes Baláznak és Medvey Boldizsárnak, nem csak a dolgozat írásos részéhez kapcsolódó iránymutatásukért, hanem a próbatest elkészítéséhez szükséges anyagok beszerzésében való segítségért, illetve a faltest kivitelezéséhez kapcsolódó mindennemű segítségükért is.

Külön köszönet illeti még Trajbár Balázst a zsaluzat elkészítésével és anyagok beszerzésével kapcsolatban nyújtott segítségéért.

9.0 – Irodalomjegyzék:

- [1] – Minke, Gernot: Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser, Basel/Berlin/Boston, 2006.
- [2] – Jankovich Valéria: Vályogépítészet. Építészfórum, 2021.
<https://tervlap.hu/tananyag/2> (Utolsó elérés: 2022. 11. 02.)
- [3] – <http://arc.sze.hu/eptortea/korunk.htm>
- [4] – http://www.sze.hu/ep/arc/irod/CSA_2002_Valyog_es_foldepites_tort.pdf
- [5] – Medvey, Boldizsár – Bihari, Ádám – Medgyasszay, Péter: „Természetes építőanyagok szabályozása, különös tekintettel a vályog építési anyagokra és technikákra”, Metszet, Vol 9 (2018), No 6, pp 84–91.
- [6] – Csicsely Ágnes – „Vályogfalazat nyomószilárdsági vizsgálata”
Építőanyag 56. évf. 2004. 4. szám
- [7] – Dr. Nagy László: „Vályogépítés”, Budapest 2019
- [8] – Csicsely, Ágnes: SZEMELVÉNYEK A VÁLYOG- ÉS FÖLDÉPÍTÉS TÖRTÉNETÉBŐL
Építés- Építészettudomány XXX (3–4) 273–287
- [9] – Kovács Marcell: mikrocenzus 7: lakáskörülmények, Központi Statisztikai Hivatal, Budapest 2018
- [10] –Bojer, Anasztázia (ed): 2011 évi népszámlálás: 6 A lakások és lakóik, Központi Statisztikai Hivatal, Budapest 2012, p 84
- [11] – [Vályog és agyag | Naturillo](#)
- [12] –[A vályog előnyei, hátrányai - A Mi Otthonunk](#)
- [13] – Orbánné Csicsely Ágnes: „Vályogfalak kísérleti és elméleti teherbírásvizsgálata”
Budapest, 2006
- [14] – Molnár Viktor: „A vályog és a favázás vályogépítészet”
Építés- Építészettudomány XXX (3–4) 273–287
- [15] – Medvey, Boldizsár: Building with earth for the environmentally friendly construction industry

Metszet, Vol 12, No 6 (2021), pp 90-93

- [16] – [Nehéz építési mód, ásványi építőanyagok \(igylakunk.hu\)](#)
- [17] – [RAKOTT SÁRFAL | Magyar néprajz | Kézikönyvtár \(arcanum.com\)](#)
- [18] – [B2 Falak-K2.pdf \(sze.hu\)](#)
- [19] – [Munkafolyamat bemutatása | Újra itt a vályogfal ideje! \(valyogfal.hu\)](#)
- [20] – [Műszaki értékelések kiadása \(emi.hu\)](#)
- [21] – [Építési jog | 16.2. Építési termékkel kapcsolatos fontosabb fogalmak, magyar és EU jogszabályok \(epitesijog.hu\)](#)
- [22] – [Microsoft Word - 9_0504_tartalomelem_011_munkaanyag_100731_bor.doc \(nive.hu\)](#)
- [23] – [Silka-HML 300 NF+GT falazóelem \(epitoanyag.hu\)](#)
- [24] – [Ytong Classic NF+GT falazóelem 60x20x30 cm \(epitoanyag.hu\)](#)
- [25] – [Porotherm 30 N+F tégl \(epitoanyag.hu\)](#)
- [26] – [Építési módok természetes anyagokból: a vályog \(epiteszforum.hu\)](#)
- [27] – [Rammed Earth Works - Manufacturing Rammed Earth Panels](#)
- [28] – [SIREWALL | Structural Insulated Rammed Earth – The art and science of modern rammed earth](#)
- [29] – [Rammed Earth Homes - Construction of Walls, Houses & More \(earthstructuresgroup.com.au\)](#)
- [30] – [Ricola Herb Centre in Switzerland by Herzog and de Meuron with Martin Rauch - Architectural Review \(architectural-review.com\)](#)
- [31] – Q.B. Bui, - J.C. Morel – „Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering” Building and Environment
Volume 44, Issue 5, May 2009, Pages 912-919
- [32] – [Rauch House in Ausztriái by Roger Boltshauser with Martin Rauch - Architectural Review \(architectural-review.com\)](#)
- [33] – Dávid Alexandra – „habitat_2” (2011) [utolsó belépés: 2022-11-02].

[34] – Medvey, Boldizsár - „Földanyagú külső falak tartóssága” Metszet, Vol 9 (2019), No 11, pp 56-63.

[35] – [Lehm Ton Erde \(@erden.at\) • Instagram-fényképek és -videók](#)

[36] – [Az Európai Parlament és a Tanács 305/2011/EU rendelete \(2011. március 9.\) az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált feltételek megállapításáról és a 89/106/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről](#) EGT-vonatkozású szöveg (europa.eu)

[37] – Heathcote, Kevan Aubrey: An investigation into the erodibility of earth wall units, tézis, University of Technology Sydney, Sydney 2002

[38] – Cid-Falceto, Jaime – Mazarrón, Fernando R – Cañas, Ignacio: „Assessment of compressed earth blocks made in Spain: International durability tests”, Construction and Building Materials, Vol 37 (Dec 2012) pp 738–745.

10.0 – Ábrajegyzék:

1. ábra – [habitat2: Kelet-Ázsia \(habitat2.blogspot.com\)](http://habitat2.blogspot.com)
2. ábra – [*Foldfalak-tartossaga-print.pdf](#)
3. ábra – Dr. Nagy László: „Vályogépítés”, Budapest 2019
4. ábra – Csicsely, Ágnes: SZEMELVÉNYEK A VÁLYOG- ÉS FÖLDÉPÍTÉS TÖRTÉNETÉBŐL Építés- Építészettudomány XXX (3–4) 273–287
5. ábra – [B2 Falak-K2.pdf \(sze.hu\)](#)
6. ábra – [Munkafolyamat bemutatása | Újra itt a vályogfal ideje! \(valyogfal.hu\)](#)
7. ábra – [Munkafolyamat bemutatása | Újra itt a vályogfal ideje! \(valyogfal.hu\)](#)
8. ábra – Minke, Gernot: Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser, Basel/Berlin/Boston, 2006.
9. ábra – Dr. Nagy László: „Vályogépítés”, Budapest 2019
10. ábra – Dr. Nagy László: „Vályogépítés”, Budapest 2019
11. ábra – Dr. Nagy László: „Vályogépítés”, Budapest 2019
12. ábra – Dr. Nagy László: „Vályogépítés”, Budapest 2019
13. ábra – Minke, Gernot: Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser, Basel/Berlin/Boston, 2006.
14. ábra – Minke, Gernot: Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser, Basel/Berlin/Boston, 2006.
15. ábra – Minke, Gernot: Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser, Basel/Berlin/Boston, 2006.
16. ábra – [Lehm Ton Erde \(@erden.at\) • Instagram-fényképek és -videók](#)
17. ábra – [Lehm Ton Erde \(@erden.at\) • Instagram-fényképek és -videók](#)
18. ábra – [Ricola Herb Centre in Switzerland by Herzog and de Meuron with Martin Rauch - Architectural Review \(architectural-review.com\)](#)
19. ábra – [Ricola Herb Centre in Switzerland by Herzog and de Meuron with Martin Rauch - Architectural Review \(architectural-review.com\)](#)
20. ábra – [Ricola Herb Centre in Switzerland by Herzog and de Meuron with Martin Rauch - Architectural Review \(architectural-review.com\)](#)

21. ábra – [Lehm Ton Erde \(@erden.at\) • Instagram-fényképek és -videók](#)
22. ábra – [Lehm Ton Erde \(@erden.at\) • Instagram-fényképek és -videók](#)
23. ábra – [Lehm Ton Erde \(@erden.at\) • Instagram-fényképek és -videók](#)
24. ábra – [Lehm Ton Erde \(@erden.at\) • Instagram-fényképek és -videók](#)
25. ábra – saját ábra
26. ábra – saját ábra
27. ábra – saját ábra
28. ábra – saját ábra
29. ábra – saját ábra
30. ábra – saját ábra
31. ábra – saját ábra
32. ábra – saját ábra
33. ábra – saját ábra
34. ábra – saját ábra
35. ábra – saját ábra
36. ábra – saját ábra
37. ábra – saját ábra
38. ábra – saját ábra
39. ábra – saját ábra
40. ábra – saját ábra
41. ábra – saját ábra

4.3 – 1. táblázat – [Nehéz építési mód, ásványi építőanyagok \(igylakunk.hu\)](#)

4.3 – 2. táblázat – [Nehéz építési mód, ásványi építőanyagok \(igylakunk.hu\)](#)

4.3– 3. táblázat – [Nehéz építési mód, ásványi építőanyagok \(igylakunk.hu\)](#)

5.1 – 1. táblázat – saját táblázat

[\(Microsoft Word - 9_0504_tartalomelem_011_munkaanyag_100731_bor.doc \(nive.hu\),](#)

[Silka-HML 300 NF+GT falazóelem \(epitoanyag.hu\),](#) [Porotherm 30 N+F téglá \(epitoanyag.hu\),](#)

[Ytong Classic NF+GT falazóelem 60x20x30 cm \(epitoanyag.hu\),](#) [Építési módok természetes anyagokból: a vályog \(epiteszforum.hu\)](#)

6.4 – 1. táblázat - [*Foldfalak-tartossaga-print.pdf](#)

6.4 – 2. táblázat - [*Foldfalak-tartossaga-print.pdf](#)