

FÖLDANYAGÚ KÜLSŐ FALAK TARTÓSSÁGA

Megépült példák és vizsgálati módszerek

1. Bevezető

A fenntarthatósági szempontok erősödése újra és újra előtérbe helyezi a földet mint építőanyagot. Sok fejlett ország évtizedekkel ezelőtt elkezdte komolyan venni ezt az építési módot, és mára kialakult gyakorlattal és szabályozással rendelkeznek. Európán belül ilyen Németország, Franciaország és Spanyolország is. A magyarországi szabályozás helyzetét egy korábbi cikkben mutattuk be. [19]

Hazánkban nagy hagyománya van a földdel való építésnek, jelene azonban egyelőre kevésbé jelentős. A KSH 2011-es adatai szerint még 1961-1970 között is az összes új építésű lakóház 15%-a épült földfallal, 2001 és 2011 között ez a részesedés már csak 1,8% volt. [4]

A külföldi kortárs építészetben azonban felkapott építőanyag lett, az elmúlt évtizedben sok középület készült a föld reprezentatív felhasználásával (lásd lentebb). Ezek a nemzetközi trendek itthon is éreztetik hatásukat, bár kevés nagy léptékű példában tükröződnek. Itthon továbbra is inkább családi házak készülnek, s azok is inkább a hagyományos vályogházak eszköztárát tükrözik, mint a külföldi trendeket. Tavaly a hazai várrekonstrukciós programban is felmerült a föld mint építőanyag használata. A nagyvárosnyi vár rekonstrukciós tervezésével megbízott építészek a koncepcióban gyökerező anyagválasztása az egykori és friss régészeti meddőre esett. A vár falait a korábban azokat betakaró talajból toldották volna meg. Végül a föld mint építőanyag vélt alkalmatlansága és a szakemberhiány okozta kétségek térítették más irányba a projektet.

Az elmúlt évtizedekben és most is bizalomhiány gátolja a földépítés elterjedését. Alacsony igényszintű, gyakori karbantartást igénylő épületet viszonylag kis anyagi és eszmei ráfordítással is létre lehet hozni földből. Az igényszint növekedésével azonban megnő a szükséges szakértelem mélysége és a ráfordítandó idő mennyisége is. Az alacsony igényszintű földépületek túlsúlya torzíthatja az építési mód általános megítélését. Ettől függetlenül vitathatatlan, hogy a föld mint építőanyag a természetéből fakadóan érzékeny a víz jelenlétére. Ez a

tény önmagában is sokakban kétséget ébreszt, sőt talán ez az egyik leggyakoribb fenntartás az építőanyaggal kapcsolatban. Ezzel szemben temérdek hazai és külföldi épület tanúskodik arról, hogy ez az érzékenység tulajdonképpen nem jelent komoly gondot a gyakorlatban, vagy legalábbis könnyen áthidalható. Különösen provokatív ilyen szempontból Martin Rauch gyakorlata, aki mindenféle felületvédelmet és túlnyúló ereszeket mellőző épületeit stabilizálatlan földből készíti. A következő részekben különböző korokból származó épületekből mutatunk be néhányat és röviden összehasonlítjuk őket a külső falak időjárás-állóságára adott megoldásaik szempontjából.

A példák kiválasztásánál előnyben részesítettük a mérsékelt éghajlaton található épületeket a száraz éghajlaton lévőkhöz szemben. A földépítészet legrégebbi példáit szárazabb éghajlatokon találjuk, de a magyarországi éghajlat számára is sokkal relevánsabb, hogy hogyan öregsznek a földfalak mérsékelt éghajlaton. Egy másik szempont a vakolat volt: itt a vakolat nélkülieket preferáltuk, hogy a kortárs trendekhez hasonló épületeket tárgyalhassunk. Ez jellemzően vert falú technikával épült házakat eredményezett, hiszen leginkább ezeket hagyják vakolat nélkül. Az átláthatóság kedvéért három csoportba soroltuk a példákat, koruk szerint (2., 3. és 4. pontok) – hisz mi sem érzékelteti jobban egy épület tartósságát, mint az életkora.

2. Az időtállóság csúcstartói: földépítészeti matuzsálemek

Az első csoportot a több száz éves példák adják, amelyeket annak tanúiként említünk, hogy a földdel lehet rendkívül időtálló módon építeni. Ezenkívül a föld mint építőanyag használata nem mindig és mindenhol korlátozott az alacsony igény- és reprezentációs szintekre.

A máig jó állapotban, illetve használatban lévő kültéri földfalak közül az egyik legrégebbit körülbelül 1300 évvel ezelőtt építették. Ez Japán első világörökségként listázott helyszínén a Hórjudzsi buddhista templom-együttes körül található kerítésfal. [12] A falakat kőlába-

zat és túlnyúló cseréptető védi az időjárástól, a felületük azonban vakolatlan. (1. ábra) Ez jó példa arra, hogy a földet reprezentatív funkcionál is felvállaltan alkalmazták építőanyagként.

Ugyanerre egy másik példa a spanyolországi Castellón tartományban lévő Castillo de Chivert vár döngölt földből készült fala. Ezen a közel 13 méter széles és 10 méter magas falon még a mór hódítás idejéből (13. század) származó díszítés és felirat is található. A vár maga már csak rom, s ezt a falat 2000-ben állították helyre, a nagyobb hiányokat mész- és cementtartalmú javítóhabarccsal pótolták. [14] A 2. ábra a felújított fal arab feliratot is tartalmazó részét mutatja.

Szintén a világörökség részét képezik a kínai Fucsien régióban található ún. tolouk. Viszonylag lehatárolt föld-

lan falak felületén. Luo és munkatársai megemlégtették, hogy 2016-ban a Meranti és Megi szupertájfunk határára 20 ilyen épület is összedőlt. [17] Ez egy olyan szélsőséges időjárási esemény volt, amelyben 45 m/s szélességet is mértek, és két nap alatt 407 mm csapadék esett (viszonyításképp ez a magyarországi éves átlag kétharmadával egyenlő).

A spanyol példával ellentétben a japán és kínai épületek karbantartási igényéről, annak műszaki jellegéről sajnos nem találtunk adatot. A toloukról található képek arról tanúskodnak, hogy a lábazati részen előfordulnak javítások (akár vályogtéglával kipótolt részek), de a falak felsőbb részeinek teljesen egységes felületeiből arra következtethetünk, hogy ott nem végeznek számottevő karbantartási munkákat.



1. ábra. Hórjudzsi templomegyüttes, Ikaruga, Japán (fotó: 663highland, 2010)

2. ábra. Castillo de Chivert, Alcalá de Chivert, Spanyolország (fotó: Falconaumanni, 2014)

3. ábra. Tolouegyüttes, Fucsien, Kína (fotó: Fon Zhou, 2009)

4. ábra. Tolouépület, Fucsien, Kína (fotó: Fon Zhou, 2009)

rajzi területen, szubtrópusi éghajlaton állnak ezek a jellemzően kör vagy négyzet alaprajzú, 3-5 szintes közösségi lakóépületek. [33] A fa-, bambusz- vagy egyéb növényi rosttal kevert döngölt földfalak védelmét a japán példához hasonlóan kőlabazat és túlnyúló cseréptető biztosítja. Az ereszt kinyúlása igen tekintélyes (közel háromméteres), ami a 3-4. ábrákon is látható.

Előfordult, hogy a falakat mésszel stabilizálták, illetve az ablakok környékét meszeléssel is védték. Az épületek alapvetően parasztsaládok összefogásával épültek a gyakori rablótámadások elleni védelem céljából. A közel 700 éves épületek igen nagy falvastagsággal bírnak, az alul két méter széles falak a felsőbb szinteken egy méter szélességűre vékonyodnak el. Ennek ellenére a csapóeső hatásának ezek a falak is ki vannak téve: az 3-4. ábrákról is látható, hogy jelentős repedések vannak a vakolat-

Egy közelebbi régióban, a francia Alpok lábainál is tetemes méretű a földanyagú épített örökség. Itt nagyságrendileg háromszázezer, hatvan évnél idősebb földfalú épület található [5] (Magyarországon az említett KSH-adatok szerint kicsit több mint négyszázezer). Ezek vegyesen lakó-, illetve gazdasági funkciójúak, de kisebb kastélyok is épültek földből. [30] Európán belül ezek a francia épületek tanúskodnak arról, hogy a csupaszon hagyott falak 100-150 év után is funkcionális állapotban vannak.

3. Az első reneszánsz: közelmúltbeli épületek tartóssága

A második csoportot a környezetvédelmi mozgalmak által megindított fenntarthatósági hullámban épített házak adják. A huszadik század során a világ sok táján elhagy-



ták a földdel való építést, ezek a közelmúltban készült alkotások a szakmaterület újbóli felfedezésének első gyümölcsei. Koruk alapján már releváns információt szolgáltatnak a különböző mértékben iparosított földépítés időtállóságáról.

Lyon vonzáskörzetében található egy 1980-as években épült kísérleti településrész, a Domaine de la Terre. Több különböző földépítési technikával készültek a jellemzően 2-3 szintes sorházak, társasházak. A vert falú, illetve stabilizált, préselt földtégla épületek homlokzati felületeit mutatják az 5-8. ábrák. A képek az ideit, tehát 35-40 éves állapotot tükrözik. A falak védelmét itt is a szokásos csizma-kalap adta, változó, de jellemzően legalább egyméteres ereszkinyúlással. Ezek karbantartási szükségleteiről sem találtunk információt, de a helyszíni szemle során nem akadtunk felületi javításra vagy pótlásra utaló jelre.

A sok szempontból úttörő munkásságáról híres gyűrfüi közösség is a helyi földből építette tanyáit. Az egyik tanya, amely vertfal-technikával készült és külső felületvédelemként sártapasztást és meszelést kapott, ez idáig elenyésző karbantartást igényelt. Húszéves fennállása óta csak egyszer kellett újrameszelni, illetve az oromfal tapasztását szintén egyszer kellett megújítani. Mindezt annak ellenére, hogy a kivitelezést nem szakemberek, hanem javarészt a tulajdonos és családja végezte. A tapasztalható időtállóság a szakértőktől kapott és a szakirodalomban fellelhető tanácsoknak, illetve a megfelelő keverékek kikísérletezésére rászánt időnek tulajdonítható.

4. Új trendek: kortárs földépítészeti példák

A harmadik csoportot a kortárs földépítészeti példák adják. Itt már az elmélyültebb szakmabeli tudás jelei tapasztalhatóak, illetve az iparosítás magasabb fokaival és az alapanyag műszaki teljesítményjellemzőinek határai-val való kísérletezés. Az épületek többnyire túl fiatalok ahhoz, hogy ítéletet mondhassunk az időtállóságukról, azonban a felvetett irányok miatt mindenképpen figyelemreméltóak.

A kortárs példákat két forrásból merítettük, az egyik a szerzők által személyesen is felkeresett épületek köre, a másik a 2016-os TERRA Award döntős épületei. [11]

Az első példa egy kicsi, földszintes műhelyépület, amely a franciaországi Villefontaine településen található. A körülbelül tízéves döngölt földfalú épületet földépítészeti workshopok keretében építették laikusok, szakértői vezetés mellett (amaco), stabilizáció nélkül. Azóta karbantartásra nem volt szükség, főként annak köszönhetően, hogy a falakat a két hosszanti oldalon szélesen túlnyúló ereszkinyúló védte. A rövid oldalakon elhanyagolható a tetőkinyúlás, különösen, hogy a védett rész nagy részében a fa rácsostartóból készült fedélszék található. Ennek ellenére erózió szinte alig látható a falnak ezen a részén, sok helyütt látszódik még a zsaluzat által hátrahagyott sima felület. (9. ábra)

A franciaországi Orléans-ban található Talajminták Európai Raktára (tervező: NAMA Architects) külső és belső teherhordó falai egyaránt 60 cm vastag döngölt földfalak. Ezek a falak tartják a vasbeton födémeket, melyre zöldtető készült, így a falak külső síkját nem védi tető. A vertfal-technika sajátos réteges textúráját szabadon megmutatták, amit ebben az esetben 5% mésztalazáció tett lehetővé.

Az új-caledóniai Konéban található Paiamboué középiskola (tervezők: André Berthier, Joseph Frassanito, Espaces Libres – K'ADH) fa tartószerkezettel és vert fal homlokzati falakkal készült. A falakat itt sem védi tető, csak egyszerű lefedés. A külső földfalaknak itt nincs teherhordó szerepe, de itt is stabilizáció biztosítja az időtállóságukat, pozíciótól függően 2-6% cementet kevertek a fal anyagához.

Martin Rauch talán egyik legtöbbet publikált háza a saját családi háza az osztrák Schlinsben (tervező: Roger Boltshauser). Ez a 2008-as épület Rauch addigi tapasztalatainak összegzése volt. Az összes teherhordó fal döngölt technikával készült, 45 cm vastagságban, helyi anyagból, stabilizáló adalék nélkül. A lejtős terepen álló ház pincefalai is így készültek, ezeket a nedvességtől egy 15-20 cm vastag kövér agyagréteg védi, hagyományos vízszigetelő lemez a tetőn kívül gyakorlatilag csak a pincefal és a beton sávalap között található a házban. [15] A felmenő falak külső felületét fémlemez attikalefedés

5. ábra. Íves vert falú épület, Domaine de la Terre, Franciaország (fotó: Medvey Boldizsár, 2019)

6. ábra. Stabilizált préselt földtégla fal, Domaine de la Terre, Franciaország (fotó: Medvey Boldizsár, 2019)

7. ábra. Vert fal lábazati eróziója, Domaine de la Terre, Franciaország (fotó: Medvey Boldizsár, 2019)

8. ábra. Vert fal felületi eróziója, Domaine de la Terre, Franciaország (fotó: Medvey Boldizsár, 2019)



és a vert falba 4-5 rétegenként beillesztett cserépsávok védik az eróziótól. Ez a sávok kialakítás Rauch épületeinek meghatározó eleme. A keramikusból lett vállalkozó rá mer hagyatkozni a kavicsos talaj eredendő időtállóságára (lásd a 6. pontban). A cserépdarabokból kialakított párkányok a fal külső síkjával egy síkban készülnek el. Az első néhány év eróziója során kezdenek kiállni a felületből, de láthatóvá és mérhetővé teszik az eróziót, hiszen mutatják az eredeti felület síkját. Ezenkívül a kitüremkedő állapotban a felületen lefolyó víz mozgási energiáját is féken tartják, ami csökkenti a víz eróziós potenciálját. A tapasztalatok alapján egy ilyen kialakítású fal annyira lassan erodálódik, hogy bőven funkcionális állapotban marad az épület élettartama alatt. A Rauch munkásságát bemutató, 2015-ös könyvben [15] látható az építéskori és a két évvel későbbi állapot, de frissebb képekre nem találtunk.

Rauch munkásságának eddigi legnagyobb szabású példája a svájci Laufenben található Ricola feldolgozóüzem (tervezők: Herzog & de Meuron). Ez a 29×110 méteres előregyártott vasbeton szerkezetű csarnoképület döngölt föld térelhatárolást kapott. A 11 méter magas vert fal önhordó, a vasbeton vázhoz csak vissza van kötve. Legfőbb különlegessége, hogy 1,5×3,3 méteres, 45 cm vastag előregyártott, stabilizálatlan falelemekből készült. Ilyen mértékű előregyártásra ez volt az első példa – erre a projektre egyedi, 50 méter hosszú gyártósort tervezett meg Rauch csapata. A vasbeton lábazon álló falakat itt a fal magasságához képest elhanyagolható kinululás hullámlemez védi. Itt a cserép helyett mészharcból lettek kialakítva a párkányok, amelyek a legtöbb publikált fényképen még teljesen egy síkban van-

nak a földfal felületével. Az épületet 2013-ban adták át, elméletileg mostanra már a stabil felületet kellene mutassa, sajnos azonban erről sem találtunk fényképet.

Rendelkezésünkre bocsátotta azonban egy földépítészeti tanulmányút képanyagát Albert Tamás építész. Ebből egy szintén svájci példát, Rauch Sempachban megépült madárvartáját (tervező: :mlzd) láthatjuk a 11. ábrán. Az épület a Ricola csarnokhoz hasonló kialakítású, csak vasbeton helyett favázis szerkezetű és kisebb léptékű. A külső földfalak ugyanúgy önhordóak, és előregyártott, stabilizálatlan falelemekből készültek. A 11. és 12. ábrák négy évvel az épület átadása után készült fényképek. A felületen megjelenő kavicsfrakció a legkülső réteg finomszemcséinek kimosódását jelzi (12. ábra), ez a stabil felület kialakulásának közbenső fázisa. Megfigyelhető a csapóesőnek tájolástól függően különböző mértékben kitett homlokzatok közti különbség is a 11. ábrán. A főbejárat szélfogója fölött látható homlokzati felület erősen erodálódott, s az épület más részein már négy év után is voltak karbantartást igénylő felületek. Sajnos nem áll rendelkezésünkre elég adat, hogy megítéljük, ez minek köszönhető, s hogy ezek a falak milyen gyakran és milyen mértékben igényelnek karbantartást. Annyi biztos, hogy a 6. pontban leírt hosszú távú kültéri kísérletek eredményei alapvetően alátámasztják Rauch elgondolását, és egy jól megválasztott és kivitelezett keverék esetében valóban kialakul egy stabil felület, stabilizáló adalékok nélkül is.

Egy fiatal lyoni építész szokatlan helyzetben választotta a földfalat: a helyi áramszolgáltató által megrendelt új transzformátorház külső térelhatárolása készült döngölt földből. A ház Martin Rauch épületeinek (lásd lentebb) mintájára vasbeton pillérvázis teherhordó szerkezettel épül, a földfal itt is csak önhordó külső térelhatároló falként funkcionál. Rauch ilyen jellegű épületeitől eltérően azonban itt a föld monolit technikával, a helyszínen készül. (10. ábra) Az eddigi példáktól eltérően azonban ez már csak a csizmát hagyja meg, az épület belső vízvezetetésű lapostetővel lesz ellátva, aminek következtében szükségtelenné válik a szokványos, nagy túlnyúlású tető.

9. ábra. Műhelyépület, Villefontaine,

Franciaország (fotó: Medvey Boldizsár, 2019)

10. ábra. Transzformátorépület építés alatt,

Lyon, Franciaország (fotó: Medvey Boldizsár, 2019)

11. ábra. Ornitológiai látogatóközpont

főhomlokzata, Sempach, Svájc (fotó: Albert Tamás, 2018)

12. ábra. Ornitológiai látogatóközpont hom-

lokzati részlete, Sempach, Svájc (fotó: Albert Tamás, 2018)

1. táblázat. Az erózió mértékét befolyásoló időjárási tényezők (Heathcote nyomán)

Időjárási tényező	Definíció	Mértékegység	Mi befolyásolja?	Az erózióra való hatás jellege és mértéke [13] szerint
Csapadék-intenzitás	egy óra alatt leeső csapadékoszlop magassága egy négyzetméterre vonatkoztatva	mm/h	időjárási adottság	földfalak esetében definiálatlan, talajok esetében az erózió* a csapadékintenzitás négyzetével egyenesen arányos
Cseppméret	az esőcseppek jellemző átmérője	mm	jell. eloszlása a csap.intenzitástól függ	az erózió** mértéke a cseppátmérő 1,2-ik hatványával fordítottan arányos
Becsapódás szöge	a csapóesővektornak a falfelület normálisával bezárt szöge	°	a cseppek végsebessége és a szélerősség	minél közelebb van a felület normálisához, annál nagyobb a becsapódási sebesség, ugyanakkor az ennél kisebb szögű becsapódások nagyobb nyírőerőt fejtenek ki a szemcsékre
Becsapódás sebessége	a csapóesővektor nagysága	m/s	a cseppek végsebessége és a szélerősség	az erózió** mértéke a becsapódási sebesség 2,5-ik hatványával egyenesen arányos
terhelési idő	az időjárási hatásnak való kitettség időtartama	min	időjárási adottság	Az erózió** mértéke az idő előrehaladtával csökken, az eróziós görbe alakja egy MMF növekedési görbével leírható

* az erózió itt az egységnyi felületre jutó kimosódó anyag

**az erózió itt az egységnyi becsapódó vízmennyiségre jutó kimosódó anyag

2. táblázat. Locsoló eróziós vizsgálatok és főbb paramétereik [7]

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

5. Földfalak sajátos meghibásodási formái

Végeredményben a hagyományos tönkremeneteli típusok, mint szilárdsági, stabilitási vagy használati a földfalakra is ugyanúgy alkalmazhatóak, mint a szokványos építési módokra. A sajátosságok inkább az okokban keresendők, ezek alapján pedig két fő csoportot különböztet meg a szakirodalom: a szerkezeti okokra visszavezethető, illetve a nedvesség okozta problémákat (Houben & Guillaud). A szerkezeti okokra vonatkozóan bőséges tájékoztatást és útmutatást találunk a hazai szakirodalomban is. [18; 29] A nedvesség okozta károk is megjelennek, de kisebb hangsúllyal és nem egységes nézőpontból tárgyalva. Egy Skóciában folytatott, majd egy évtizedig tartó kísérleti program jelentésében [20] a következő károsodási jelenségeket különböztette meg: zsugorodás; felületi erózió; használati erózió; kifagyás; biológiai károk; leválás; kapillaris nedvesedés; felcsapódó eső; illetve az üzemi víz, tetőhibák miatti koncentrált vízterhelés vagy árvíz okozta elázás.

Az említett károsodási jelenségek közül mindet ki lehet küszöbölni a megfelelő részletképzéssel és minőségi kivitelezéssel. Az árvíz elleni védelem kivételként, itt

a részletképzésen és kivitelezésen csak kicsi múlik, inkább az észszerű telepítésre kell hagyatkozni.

A kortárs építészeti példáknál megfigyelhető trendek azonban (a kinyúló ereszek és a külső felületképzés elhagyásával) normál esetben is előtérbe helyezik a felületi erózió kérdését.

6. Földfalak felületi eróziója

A földfalak felületi eróziójának fő oka a csapóeső (szárazabb éghajlatokon a szél által szállított homok). A skót és francia kísérletekben [5; 20] is azt a jelenséget figyelték meg, hogy a kezdeti időszakban a finom szemcsék a felületi rétegekből kimosódnak a csapóeső hatására.

Ezek a szemcsék azonban nem tűnnek el a falról, hanem leülepednek a fal alsóbb részein. Morton & Little azt tapasztalta, hogy a kezdeti felületi repedésekben gyűlnek össze, így bezárva azokat. [20] Kapfinger & Sauer szerint a Rauch által használt eróziót lassítani szándékozó párkányoknál rakódnak le, sajátos felületi profilt kialakítva két-két párkány között. [15] Abban teljesen egységesek a tapasztalatok, hogy a kezdeti erózió egy durvább, rusztikusabb felületet eredményez, ahol a nagyobb szemcsék és az esetleges rostok, szálak adalékok alkotják a külső felületet. Ezek az alkotóelemek pedig már nem érzékenyek a további erózióra, hiszen a csapóeső ezeket már nem tudja kimozdítani. Így a csapóesőnek köszönhető kimosódás mértéke látványosan lecsökken, és stabil felület alakul ki. Ezt a lassuló jellegűt a Grenoble melletti kísérleti falak 20 évnyi kitettség utáni kiértékelése [5] és az ausztrál Heathcote [13] laboratóriumi és terepi vizsgálatai is megerősítik.

A franciaországi Grenoble melletti kísérleti terepen a két, felületkezelés nélküli, stabilizálatlan, 40 cm vastag faltest nagyjából 1 négyzetméteres felületén mért átlagos eróziós mélység 5,7 és 6,4 mm volt húszévnnyi kitettség után. A csapóeső okozta erózió legnagyobb mélysége pedig 18 és 21 mm. [5]

7. A kortárs földépítészeti fejlemények műszaki háttere

Az említett épületek között két markánsan különböző hozzáállás figyelhető meg. Az általánosabbnak mondható a föld stabilizálása cementtel vagy mésszel, a másik a megfelelő stabilizálatlan keverék kikísérletezése és a felületi erózió szemmel tartása.

A föld cementtel vagy más hidraulikus kötőanyaggal való stabilizálása nagymértékben befolyásolja az anyag beépített energiáját és újrahazsnálhatóságát. A végtelen újrahazsnálhatóság már minimális adalékanyag mellett is elvész, hiszen az újrahazsnálhatóság kulcsa, hogy az anyagot csak fizikai és nem kémiai kötések tartják egyben. A beépített energia a legjáratosabb adalékarányok-

kal (pl. 6% cement) már annyira megemelkedik, hogy ilyen szempontból is elveszti a fenntarthatósági előnyét. Van Damme & Houben bemutatta, hogy a cementes stabilizáció tulajdonképpen nagyon alacsony hatásfokú beavatkozás, mert a fent említett nagy árat kell egy viszonylag csekély mechanikai teljesítményemelkedésért fizetni. [30] Nem éri meg a földet egy gyenge betonná alacsonyítani.

A megfelelő keverék kikísérletezése és a felületi erózió szemmel tartása – amit tipikusan Martin Rauch munkásságában találunk meg – jelenti a valóban környezetbarát földépítést. A kinyúló ereszek elhagyása pedig leginkább figyelemfelhívó drasztikus lépésnek tekinthető. Bár valóban mélyebb szakmai tudással készülnek ezek az épületek, mint a közelmúltbeli példák, de sokkal kevésbé valódi műszaki-tudományos, mint inkább hozzáállásbeli át-törés eredményei. Az előző pontban részletezett felismerésre alapoz ez a fajta építésmód, miszerint a vertfal-technikában alkalmazott, kavicsfrakciót is tartalmazó talajkeverékek külső felülete az első néhány év eróziója után önmagától stabilizálódik. A 6. pontban említett eredmények azt mutatják, hogy ennek a hozzáállásnak igenis van létjogosultsága.

8. Földfalak csapóesővel szembeni ellenállásának vizsgálati módszerei

Az víz általi erózióval szembeni ellenállás vizsgálatára használt módszereket Heathcote három csoportra osztotta: indirekt, gyorsított eróziós és szimulációs vizsgálatokra. [13] Indirektnek nevezte azokat a laboratóriumi vizsgálatokat, amelyek az időtállósággal empirikus úton kapcsolatba hozott anyagtulajdonságokat mérnek. Ezek közül a legjellemzőbbek a telített és száraz nyomószilárdsági értékek aránya, a kapilláris nedvességfelvétel sebessége, illetve a különböző vízbemerítéses vizsgálatok. Gyorsított módszerek alatt a locsoló (ún. spray test) és a csepegtető (ún. drip test) vizsgálatokat értette, amelyek valamilyen mértékben megpróbálják modellezni a valós időjárási hatásokat. Ezen vizsgálatok a hatást valamilyen vonatkozásban felnagyítják, hogy a vizsgálati időtartamot észszerű keretek között tudják tartani. Jellemzően 1-2 órára szorítják a vizsgálati időt a becsapódó víz mennyiségének megnövelésével. A szimulációs vizsgálatok célja, hogy a lehető legnagyobb mértékben reprodukálják a beépített állapotban lévő igénybevételt. Ide sorolhatók a kültérbe kihelyezett próbatestek és próbafalak, hiszen itt valós időjárási hatásoknak vannak kitéve.

Cikkünkben csak a gyorsított vizsgálati módszerekről adunk áttekintést. Ebben a kategóriában jellemzően két eltérő vizsgálati módszert tart számon a szakirodalom, az ún. locsoló és csepegtető vizsgálatokat (spray és drip test). Ezeknek többféle módozata van, amelyek csak vál-

3. táblázat. Csepegtető eróziós vizsgálatok és főbb paramétereik

Változó	NZS 4298 [26]	Swinburne [13]	UNE 41410 [1]	Erkal, et al [10]
Kiengedett vízmennyiség [ml]	100	10620	500	400 / 900
Jellemző cseppátmérő [mm]	6	–	–	1,92 / 3,07 / 4,06
Becsapódás szöge [°]	27°	27°	27°	5°–45°
Esési magasság [mm]	400	1000	1000	3200 / 4000
Vizsgálat időtartama [perc]	20–60	10	10	n/a

4. táblázat. Az eróziót befolyásoló időjárási tényezők és jelenlétük a gyorsított eróziós vizsgálatokban

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

5. táblázat. A gyorsított eróziós vizsgálatokban használt próbatestek és a rájuk engedett víz tömegarányai

Vizsgálat fajtája	Vizsgálati eljárás	Hivatkozás	Próbatest adatai				Tömegarány*
			Szél. [mm]	Hossz. [mm]	Mag. [mm]	Típus	
drip	egyedi	Erkal, et al [10]	105	220	67	tégla	0,13 / 0,30
		Cid-Falceto, et al [7]	166	306	103	tégla	0,05
	UNE 41410	Aguilar, et al [2]	140	295	90	tégla	0,07
		Nakamatsu, et al [21]	55	55	10	henger	10,52
		Seco, et al [25]	55	55	10	henger	10,52
	NZS 4298	Stazi, et al [27]	65	65	75	henger	1,00
			300	1000	1000	fal	0,00
	IS 1725	Suresh & Anand [28]	250	250	20	vakolat	0,04
			150	150	150	tégla	0,04
	spray	HB 195	Walker [31]	140	295	45	tégla
140				295	96	tégla	216
Bulletin 5		Kariyawasam & Jayasinghe [16]	140	295	125	tégla	166
			110	225	81	tégla	428
		Arrigoni, et al [3]	240	240	240	tégla	106
			180	180	160	tégla	166
		Heathcote [13]	150	150	120	henger	52–1706
			200	200	200	tégla	107
		Eires, et al [9]	166	306	103	tégla	164
			140	295	90	tégla	231
Stazi, et al [27]	Narloch, et al [22]	300	300	200	tégla	48	
		140	290	100	tégla	211	
	300	1000	1000	fal	3		
						250	250

* A víz és a próbatestek térfogatsűrűségét egységesen 1000, illetve 2000 kg/m³-ként vettük figyelembe, mivel sok esetben nem közöltek adatot a sűrűséget illetően (ez jellemzően túlbecsüli a próbatestek tömegét, így javítva az arányt)

tozóikban térnek el (pl. felhasznált vízmennyiség, víznyomás, terhelési idő stb.), egyes verziókat szabványban is rögzítettek. A locsoló vizsgálatnál közeli rokonságban van az Ogunye és Boussabaine által kifejlesztett esőszimulációs vizsgálat, [23] ezt Heathcote a szimulációs vizsgálat kategóriába sorolta, [13] azonban alapvetően

gyorsított vizsgálatról van szó, ezért itt tárgyaljuk.

A különböző vizsgálati módszerek paramétereire az egyes szabványok, adott esetben az egyes kutatócsoportok is más és más értéket adnak meg (2. és 3. táblázatok), s főként máshogyan értékelik ki a vizsgálat eredményét.

A konkrét vizsgálati eljárásokat két fő szempontból kell értékelni, hogy megbecsülhessük az előrejelzéseik megbízhatóságát.

1. A vizsgálatban alkalmazott roncsoló hatás mennyire pontosan modellezi a valós igénybevételt.

2. A vizsgálatához készített próbatestek mennyire pontosan modellezik a teljes méretű falak viselkedését.

A talajerózióra, illetve földfalerózióra vonatkozó eddigi kutatások kimutatták, hogy a csapóeső általi erózió mértéke (a kimosódó anyag mennyisége) függ a csapadékin-tenzitástól (mennyiség / időegység), a becsapódás szögétől és sebességétől, illetve a cseppméret eloszlásától. [13] Ezenfelül a terepi megfigyelések, kültéri és labor-kísérletek egyaránt azt mutatják, hogy a terhelési időtől is függ – pontosabban, hogy időben egyre csökken az eróziós folyamat sebessége. Ezeket a tényezőket és az eróziós folyamatra gyakorolt hatásukat az 1. táblázatban, jelenlétüket az egyes vizsgálati módszereknél a 4. táblázatban foglaltuk össze.

Az első négy tényező egy-egy vihar során mind időben, mind térben dinamikusan változó értékek, így egy modellezési kísérletben csak valamilyen karakterisztikus értékkel lehet figyelembe venni azokat. További megfontolást igényel, hogy egy épület fala egy időpillanatban a teljes felületén egyforma hatásnak van kitéve, kivéve az épület sarkainál, ahol a szélviszonyok okozta áramlások megváltoztatják az esőcseppekre ható oldalirányú erőket, és ezen keresztül befolyásolják a becsapódás szögét és sebességét is. Ezt az egységes eloszlást sokszor igen nehéz biztosítani egy laborvizsgálat során, de a cseppentős vizsgálatoknál maga az eljárás zárja ki ennek a lehetőségét.

Egy próbatest vagy egy próbafal nem tudja pontosan modellezni egy belső teret határoló teljes faltest viselkedését. Ennek oka egyfelől a próbatestek és -falak méretében keresendő, hiszen egy egy méter hosszúságú falszakasz felületén az élek menti fokozott igénybevétel arányosan sokkal nagyobb károsodást idézhet elő, mint egy épület esetében. Másik oka azonban a belső és külső légállapotok különbségének a hiánya, hiszen egy-egy ilyen próbatestet minden oldalról kültér vesz körül. Így nem azok a hőmérsékleti és relatív páratartalmi gradiensek alakulnak ki, amelyek a beépített állapotra jellemző hő- és nedvességáramokat létrehozzák.

A gyorsított eróziós vizsgálatokat leíró dokumentumok jellemzően nem határozzák meg a vizsgálandó pró-

batest méretét. Implicit módon arra lehet következtetni, hogy a felhasználni kívánt építőelemet kell a vizsgálatnak alávetni. Ez eleve nehezen meghatározható a monolit technikáknál, hiszen nem elemekből készülnek, így egy reprezentatív próbatestméret meghatározása is szükségessé válik. A próbatest mérete voltaképpen abból a szempontból érdekes, hogy a vizsgálat során ráengedett víz a próbatest telítettségéhez szükséges vízmennyiséghez hogyan viszonyul. A talajok telítettségű víztartalma a porozitásuktól függ, így átlagos értéket nehéz hozzárendelni. Ettől függetlenül a fent leírtak érzékeltetésére az 5. táblázatban összehasonlítottuk a próbatestek tömegét a rájuk engedett víz tömegével. 5. táblázat.

Az előrejelzések pontosságáról voltaképpen csak párhuzamos vizsgálatokból (labor és beépített állapotban való megfigyelés) lehetséges megbizonyosodni. Meglévő épületből vett mintákkal is elképzelhető ilyesmi, amennyiben lehetséges reprezentatív, zavartalan mintát kivenni. Könnyebben reprodukálható eredményt hozna azonban, ha újonnan készült próbatestek és épületek közti korrelációt lehetne felállítani. Ennek oka leginkább az, hogy a földanyagú szerkezetek végső tulajdonságait nagymértékben befolyásolja az építési nedvességtartalom és a bedolgozás minősége, amelyekről egy meglévő épület esetén nehézkes tájékozódni.

9. Összegzés

A beazonosított kortárs földépítészeti trendek mögött kisebb mértékben a technikai tudásszint elmélyülése látható, nagyobbbrészt pedig egy szemléletváltás eredményének tekinthetőek.

- A külső földanyagú falak felületi erózióját sok esetben a használt talaj kémiai stabilizációjával érik el, azonban ennek nagy környezeti ára van.
- A szemléletváltás esetében a tervezők egyszerűen az erózió lassulásával, egy stabil felület természetes kialakulásával számolnak. Más szóval elfogadják az erózió jelenségét, és nem megszüntetni, hanem pusztán szemmel tartani akarják.

A földanyagok tartóságának megítélésére használt vizsgálati módszerek között nagyon nagy a szórás már csak a főbb paraméterek alapértékeit, de az eredmények kiértékelési szempontjait illetően is.

A vizsgálati módszerek összehangolása, egységes értékelési rendszer szükséges, amely figyelembe tudja venni a helyi időjárási mintázatokat.

A vizsgálati módszerek stabilizált anyagokra lettek kitalálva, a kémiai stabilizációtól mentes anyagokra való adaptálásuk szükséges.

Medvey Boldizsár, Dobszay Gergely

Irodalom / References

- [1] AENOR: „UNE 41410 Compressed earth blocks for walls and partitions, Definitions, specifications and test methods”, Spanish Association for Standardisation and Certification, (2008).
- [2] Aguilar, Rafael, et al: „The potential use of chitosan as a biopolymer additive for enhanced mechanical properties and water resistance of earthen construction”, *Construction and Building Materials*, Vol 114 (Jul 2016), pp 625–637.
- [3] Arrigoni, Alessandro, et al: „Life cycle analysis of environmental impact vs durability of stabilised rammed earth”, *Construction and Building Materials*, Vol 142, pp 128–136, Jul 2017.
- [4] Bojer, Anasztázia (ed): *2011 évi népszámlálás: 6 A lakások és lakóik*, Központi Statisztikai Hivatal, Budapest 2012, p 84.
- [5] Bui, Quoc-Bao, et al: „Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering”, *Building and Environment*, Vol 44, No 5 (2009), pp 912–919.
- [6] Bureau of Indian Standards, „IS 1725: soil based blocks used in general building construction” (1982).
- [7] 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.
- [8] Danso, Humphrey, et al: „Physical, mechanical and durability properties of soil building blocks reinforced with natural fibres”, *Construction and Building Materials*, Vol 101 (Dec 2015), pp 797–809.
- [9] Eires, Rute – Camões, Aires – Jalali, Said: „Enhancing water resistance of earthen buildings with quicklime and oil”, *Journal of Cleaner Production*, Vol 142 (Jan 2017), pp 3281–3292.
- [10] Erkal, Aykut – D’Ayala, Dina – Sequeira, Lourenco: „Assessment of wind-driven rain impact, related surface erosion and surface strength reduction of historic building materials”, *Building and Environment*, Vol 57 (Nov 2012), pp 336–348.
- [11] Gauzin-Müller, Dominique – Doat, Patrice: *Architecture en terre d’aujourd’hui*, Éditions Museo/CRAterre, 2016.
- [12] Hall, Matthew – Djerbib, Youcef: „Rammed earth sample production: context, recommendations and consistency”, *Construction and Building Materials*, Vol 18, No 4 (2004), pp 281–286.
- [13] Heathcote, Kevan Aubrey: *An investigation into the erodibility of earth wall units*, tézis, University of Technology Sydney, Sydney 2002.
- [14] Hofbauerová, Vera – De Antonio Otal, José Manuel: „Consolidación y restauración del muro de Alafia Castillo de Xivert (Castellón, LOGGIA, No 11 (Dec 2001), pp 74–85.
- [15] Kapfinger, Otto – Sauer, Marko (eds): *Martin Rauch, refined earth: construction & design with rammed earth*, Detail, München 2015.
- [16] Kariyawasam, K K G K D – Jayasinghe, C: „Cement stabilized rammed earth as a sustainable construction material”, *Construction and Building Materials*, Vol 105 (Feb 2016), pp 519–527.
- [17] Luo, Yi, et al: „Wind-rain erosion of Fujian Tulou Hakka Earth Buildings”, *Sustainable Cities and Society*, Vol 50 (Oct 2019), p 101666.
- [18] Mednyánszky, Miklós – Schlammer, Zsuzsanna: *Vályogházak: Építés, korszerűsítés, átalakítás*, TERC, Budapest 2005.
- [19] 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.
- [20] Morton, Thomas – Little, Rebecca: *Experimental Earth Structures, Renders and Plasters*, Historic Scotland, Edinburgh 2015.
- [21] Nakamatsu, Javier, et al: „Eco-friendly modification of earthen construction with carrageenan: Water durability and mechanical assessment”, *Construction and Building Materials*, Vol 139 (May 2017), pp 193–202.
- [22] Narloch, P L, et al: „Durability Assessment Of Monolithic Rammed Earth Walls”, *Archives of Civil Engineering*, Vol 61, No 2 (2015), pp 73–88.
- [23] Ogunye, F O – Boussabaine, H: „Development of a rainfall test rig as an aid in soil block weathering assessment”, *Construction and Building Materials*, Vol 16, No 3 (2002), pp 173–180.
- [24] Raj S, Saranya – Sharma, Anil Kumar – Anand, K B: „Performance appraisal of coal ash stabilized rammed earth”, *Journal of Building Engineering*, Vol 18 (Jul 2018), pp 51–57.
- [25] Seco, Andres, et al: „Estimated and real durability of unfired clay bricks: Determining factors and representativeness of the laboratory tests”, *Construction and Building Materials*, Vol 131 (Jan 2017), pp 600–605.
- [26] Standards New Zealand: *NZS 4298:1998 Materials and workmanship for earth buildings*, Standards New Zealand, Wellington 1998.
- [27] Stazi, Francesca, et al: „An experimental study on earth plasters for earthen building protection: The effects of different admixtures and surface treatments”, *Journal of Cultural Heritage*, Vol 17 (Jan 2016), pp 27–41.
- [28] Suresh, Abhirami – Anand, K. B.: „Strength and Durability of Rammed Earth for Walling”, *J Archit Eng*, Vol 23, No 4 (2017), p 06017004.
- [29] Szűcs, Miklós: *Föld- és vályogfalú házak építése és felújítása*, Építésügyi Tájékoztatói Központ Kft., Budapest 2008.
- [30] Van Damme, Henri – Houben, Hugo: „Earth concrete Stabilization revisited”, *Cement and Concrete Research*, Vol 114 (Dec 2018), pp 90–102.
- [31] Walker, Peter J: „Strength and Erosion Characteristics of Earth Blocks and Earth Block Masonry”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol 16, No 5 (2004), pp 497–506.
- [32] Walker, Peter – Standards Association of Australia: *The Australian earth building handbook*, Standards Australia International, Sydney 2002.
- [33] Fujian Tolou [honlap], hozzáférhető: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fujian_tulou> [utolsó belépés: 23-Oct-2019].

A b s t r a c t s

MIZSEI, Anett: STARSHIP MOORED BETWEEN THE AGES

Citation: *Metszet*, Vol 10, No 6 (2019), pp 12-21, DOI: 10.33268/Met.2019.6.1

PUSKÁS ARENA, BUDAPEST, HUNGARY

ARCHITECTS: GYÖRGY SKARDELLI AND KÖZTI

Retaining the architectural spirit of this stadium's predecessor (the People's Stadium) a new structuralist monument has been developed placing Hungary at the forefront of sports innovation. In recent decades the tendency to start with a clean slate has resulted in architectural wonders, but at what cost to cultural identity? Here is a stadium that has direct links to its past, by means of partial restoration, and the act of reinstating the previous building's supporting structures. The latter being reinforced concrete pylons which house the access stairs, lifts and serve as the main support system to the building itself. Sport as in any activity forms part of a nation's identity and this stadium has succeeded in representing this fact.

ZÖLDI, Anna: MASS HOUSING IN THE 21ST CENTURY

Citation: *Metszet*, Vol 10, No 6 (2019), pp 22-25, DOI: 10.33268/Met.2019.6.2

SEESTADT ASPERN, VIENNA, AUSTRIA

ARCHITECT: TOVATT ARCHITECTS & PLANNERS

On the outskirts of Vienna one of Europe's largest urban development projects can be found. The goal being to create a model example of how to establish a "smart city". This has been designed to be organic in nature, offering a positive approach to the urban experience, where residents can live in secure surroundings. The ideals of an optimum work-life balance are met integrating places of employment alongside homes, parks and public transport networks. Continual monitoring of the development's use patterns should assist evaluation of environmental impact and general facility management.

WARE-NAGY, Orsolya: INPSIRED FRAMEWORK

Citation: *Metszet*, Vol 10, No 6 (2019), pp 26-29, DOI: 10.33268/Met.2019.6.3

TWO TOWERS NURSERY AND KINDERGARTEN, PARIS, FRANCE

ARCHITECTS: QUERKRAFT and SAM ARCHITECTURE

As part of the Clichy-Batignolles EcoDistrict project established to redevelop industrial wasteland and integrate Paris' bid for the 2012 Olympic Games several residential and commercial buildings were realised. Amongst these is a development of two towers, linked at ground and first floor level, by a nursery school and kindergarten. A complex development to provide social housing, education and commercial space on building volume.

SÁGHI, Attila: EXCELLENT COOPERATION

Citation: *Metszet*, Vol 10, No 6 (2019), pp 32-35, DOI: 10.33268/Met.2019.6.4

NATIONAL MUSEUM RESTORATION AND STORAGE CENTRE (OMRRK), BUDAPEST, HUNGARY

ARCHITECTS: ZSOLT VASÁROS, NARMER ARCHITECTURE STUDIO

One of the most important elements of the Budapest Liget project is the brownfield development of a former hospital. It was deemed necessary to develop a centre for the restoration and storage of artefacts for future museums. Regeneration of the former hospital site led to the decision to

invest in renewable energy and environmental protection. This facility also serves to support the Artpool, Fine and Applied Arts lectorate archives, making it a leading source for research documents in Central Europe.

ALFÖLDI, György: BIRTH OF A NEIGHBOURHOOD

Citation: *Metszet*, Vol 10, No 6 (2019), pp 36-44, DOI: 10.33268/Met.2019.6.5

JÓZSEFVÁROS URBAN REHABILITATION PROJECT, BUDAPEST, HUNGARY

Urban rehabilitation takes on many forms ranging from radical change of use to the more questionable act of gentrification. In Budapest's Józsefváros the pressing issues of poverty and inadequate housing had to be addressed. Replacing housing alone would not suffice, therefore development of a more complex urban situation was required, offices, shops and an improved infrastructure had to be planned. Eventually 4000 homes, 50,000 m² of commercial space and 40,000 m² retail was developed.

BECKER, Gábor: A 150 YEAR-OLD WORKSHOP

Citation: *Metszet*, Vol 10, No 6 (2019), pp 46-55, DOI: 10.33268/Met.2019.6.6

A HISTORY OF BME DEPARTMENT OF BUILDING CONSTRUCTIONS

A history of how the Department of Building Constructions was established at the Technical University of Budapest. Starting at the point where architecture as an art was partnered with structural engineering as a discipline for the mathematical (analytical and geometrical), mechanical and chemical development of building structures. Dealing with changes in political influence, teaching methods and members of the professional teaching staff.

MEDVEY, Boldizsár – DOBSZAY, Gergely: DURABILITY OF SOIL BASED EXTERNAL WALLS

Citation: *Metszet*, Vol 10, No 6 (2019), pp 56-63, DOI: 10.33268/Met.2019.6.7

As the contemporary trend for developing buildings with external earth walls increases the need to measure rates of stability, structural integrity and therefore durability has grown. Guidelines for developing these methods of construction follow research into contemporary design trends, knowledge of regional construction methods, chemical analysis, selection of suitable base materials and a harmonisation of test methods. Once these areas of study have been undertaken suitable advice into how to build against erosion can be offered.

HORVÁTH, Sándor: BALCONIES, LOGGIAS, TERRACES DRAINAGE, AND HANDRAIL FIXING

Citation: *Metszet*, Vol 10, No 6 (2019), pp 64-69, DOI: 10.33268/Met.2019.6.8

When designing external spaces to buildings such as balconies and the like, critical problems may occur due to poor detailing. Although current discussion focuses on the problems created by thermal bridging little attention is paid to drainage problems, snow loading and surface treatment, all of which might lead to structural failure. The same applies to the design of handrails, as a safety measure, and how to integrate these with surface water drainage solutions. "The Devil in the Details" really does apply to this area of building design requiring that multidisciplinary cooperation in a necessity to avoid failure.