

Medvey, Boldizsár: Building with earth for the environmentally friendly construction industry (Földépítés egy környezetbarátabb építőiparért)

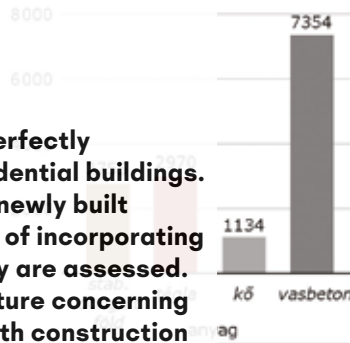
Metszet, Vol 12, No 6 (2021), pp 90-93,
<https://doi.org/10.33268/Met.2021.6.12>

Accepted: 22 October

Published: 23 November 2021

Affiliation: BME Budapest University of Technology

Abstract: Building with earth has its limits, but it is perfectly adequate as a loadbearing structure for low-rise residential buildings. Even so the share of earthen buildings developed for newly built residential buildings is extremely low. The challenges of incorporating earthen construction into the current building industry are assessed. Substantial research data is reviewed from the literature concerning the environmental benefits of building with earth. Earth construction in general shows great potential in reducing the embodied energy and global warming potential of the built environment.



FÖLDÉPÍTÉS EGY KÖRNYEZETBARÁTABB ÉPÍTŐIPARÉRT

A FÖLD ANYAGÚ FALAK ELŐNYEI

SZERZŐ | AUTHOR
Medvey Boldizsár

—A kutatók többsége egyetért abban, hogy az emberiség hatása az éghajlatra és az ökoszisztémára elérte a geológiai léptéket. A jelenkor az „antropocén” megjelölést kapta, mivel a mára már világszerte tapasztalható éghajlatváltozás fő motorja maga az emberi tevékenység. [1]

—A környezetre gyakorolt hatásvizságot több különböző mutatóval próbáljuk mérhetővé tenni, ezek közül az egyik az üvegházhatású gázok kibocsátása. Az összehasonlíthatóság kedvéért az ilyen gázok hatását a szén-dioxidéhoz viszonyítjuk, ezt nevezzük szén-dioxid egyenértéknek.

—Az International Energy Agency 2018-as tanulmánya [2] azt vizsgálta, hogy az egyes emberi tevékenységek milyen mértékben járulnak hozzá a globális szén-dioxid-kibocsátáshoz. Az eredmények azt mutatják, hogy az épületeinkhez köthető a kibocsátások 40%-a, melynek több mint negyede (11%) az építőanyagok előállításához, illetve magához az építéshez kötődik. Ennek a 11%-nak a nagyobbik része (a globális szén-dioxid-kibocsátás 6-8%-a) köthető a cementgyártáshoz, illetve annak felhasználásához. [2] A cement ilyen mértékű részese-
dése mögött nem annyira egy rossz

01

fajlagos mutató áll, sokkal inkább a beton, illetve vasbeton mértékkel alkalmazása világszerte.

—Az épületek üzemeltetési energiáját csökkentve az építőanyagok részese-
dése egyre inkább hangsúlyos lesz. A cement eleve tetemes, és egyre növekvő részese-
dése azt is jelenti, hogy a beton, illetve a vasbeton használatának mellőzése vagy csökkentése komoly potenciállal rendelkezik az építőanyagokhoz köthető szén-dioxid-kibocsátások csökkentésében. A vasbetont jellemzően az épületek tartószerkezetének anyagaként használjuk. Rengeteg egy-két szintes épület függőleges teherhordó szerkezetét is vasbetonból készítik, holott ilyen méretű épületeknél számos alternatíva létezik erre a célra. Akad közöttük olyan is, amelynek gyártása és beépítése jelentősen kevesebb üvegházhatású gáz kibocsátásával jár. Például vályogból, építésre alkalmas agyagos altalajból, egyszerűen földből sokféleképpen készíthetünk falakat, amelyek kielégítően betöltik ezt a funkciót.

—Jelen tanulmánynak az a célja, hogy néhány kutatás eredményein keresztül érzékeltesse a földanyagú falak előnyeit a mai gyakorlatban elterjedt, szokványos falakkal szemben.

A KORTÁRS FÖLDÉPÍTÉS KIHÍVÁSAI

—A föld mint építőanyag alkalmazása előtt számos kihívás áll egy olyan, tömegesen előállított építőanyagokra fókuszált szabályozási rendszerben, mint ami a fejlett országok építőiparát jellemzi. A legfőbb kihívások a következőképp foglalhatók össze:

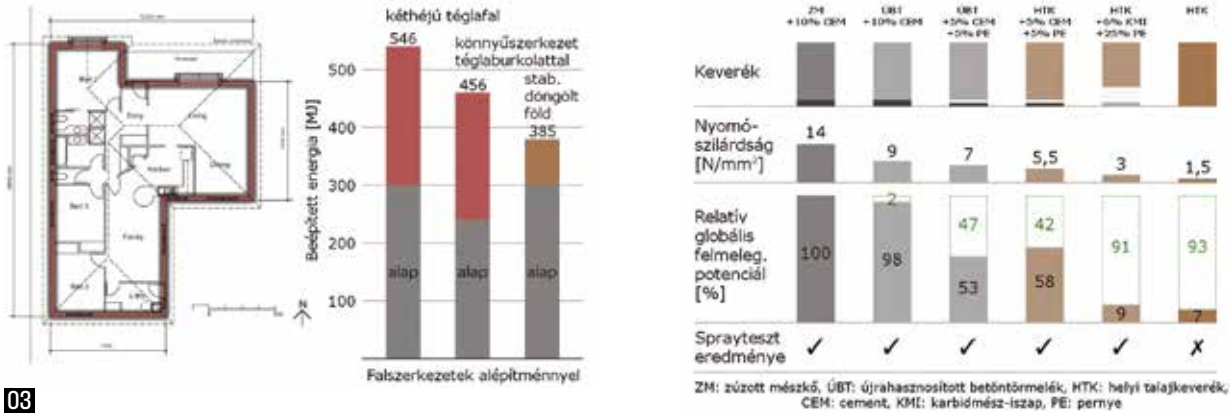
1. A földfalú épületek tervezése, méretezése problematikus, mivel a különböző agyagos altalajok nyomószilárdsága és tartóssága nagy szórást mutat.

2. Ez a széles szórás nehézkessé teszi a szabványosítást, ami akadályozza a földdel való építés beillesztését a fennálló szabályozási rendszerbe, illetve olyan feltételeket generál, amelyek komoly terhet jelentenek az építetőre.

3. A végtermék teljesítménye továbbra is sokkal inkább empirikus, mint tudományos módszerek függvényeként alakul ki.

4. A minőségbiztosítási kényszer nagyon gyakran olyan stabilizáláshoz vezet, ami az anyagnak pont azokat a teljesítményjellemzőit rontja le, amelyek eredetileg indokoltá tették az anyagválasztást.

5. A földfalú épületekről alkotott társadalmi kép is hátráltatja az építési mód elterjedését.



03

04

- 01 Globális CO₂-kibocsátás ágazatonként [2]
- 02 Falak beépített energiája [3]
- 03 Döngölt föld falszerkezetek környezeti értékelése [4]
- 04 Stabilizáció és tartósság vizsgálata életciklus-elemzéssel (Arrigoni et al. nyomán [7])

A vályogépületekről alkotott kép továbbra is összefonódik a szegénységgel, illetve az alacsony színvonalú életkörülményekkel.

6. A földépítési gyakorlattal való, évtizedeken keresztül tartó széles körű felhagyás szakemberhiányt eredményezett, ami tovább nehezíti a kortárs földépítési gyakorlatok elterjedését.

—A fenti 4. pont arra utal, hogy az előtte lévő pontokban megfogalmazott nehézségek feloldására a földdel építők gyakran alkalmaznak kémiai stabilizáló anyagokat – elsősorban cementet, esetleg meszet – a nyomószilárdság növelésére, illetve a vízzérkenység csökkentésére. Ez a gyakorlat nemcsak a cementhasználat csökkentését hiúsítja meg, hanem a vályog újrahasznosíthatóságát is tönkreteszi, illetve még az anyag eredendően kiváló páragazdálkodási képességét is jelentősen lerontja.

A STABILIZÁLT FÖLDÉPÍTÉS VIZSGÁLATA ÉLETCIKLUS-ELEMZÉSEL

—A következőkben néhány, az életciklus-elemzés eszközeit alkalmazó kutatás eredményeit mutatjuk be. Pascual és Nieva [3] négy különböző falazat beépített energiáját hasonlította össze. A beépített energia azt mutatja meg, hogy egy konkrét terméket – esetünkben szerkezetet – mennyi energiába kerül előállítani, illetve

épületszerkezet esetében kivitelezni. Pascual és Nieva az összehasonlítás alapjául m³-nyi falat választott, ez tehát az életciklus-elemzés terminológiája szerinti funkcionális egység.

—Az elemzés eredménye szerint a vizsgált anyagok közül a vasbeton falhoz tartozik a legnagyobb és a természetből épült falhoz tartozik a legalacsonyabb beépített energia. A tömör téglafalazat, illetve a mésszel és cementtel (4–4 m%) stabilizált döngölt földfal beépített energiája egymással szinte megegyezik, de a vasbetonhoz képest 60%-os csökkenést jelent.

—A stabilizált döngölt föld beépített energiája nagyrészt a stabilizáló adalékok beépített energiájából adódik. Pascual és Nieva által vizsgált esetben ezek a cement és a mész. Következésképp a stabilizálatlan föld anyagú falak beépített energiája jelentősen alacsonyabban tartható.

—Treloar et al. [4] nem térfogategységre hasonlították össze a falakat, hanem a teljes épületre vonatkoztatva vizsgálták a beépített energia mennyiségét. Három különböző falszerkezetet vizsgáltak egy családi ház viszonylatában. Ez a megközelítés már azt is figyelembe vette, hogy a földfalak alacsonyabb nyomószilárdságukból fakadóan vastagabbak. A vastagabb falszerkezet következtében szélesebb alaptessel kell számolni, ami a tanulmányban

több betont jelentett, így magasabb beépített energiát eredményezett.

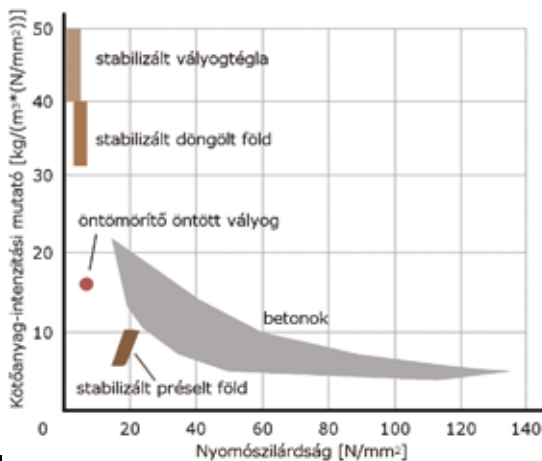
—A vizsgált falszerkezetek a téglaburkolatú szerelt favázás fal (brick veneer), a kéthéjű, üreges téglafal (cavity brick), illetve a 8% cementtel stabilizált döngölt föld voltak. (A kéthéjű téglafal alatt itt a két, kis méretű téglából kis eltartással egymás mellé falazott téglafalat értjük, ahol a két téglafal egymással pontonként össze van kötve.) Az eredmények azt mutatták, hogy 60% feletti beépítettenergia-megtakarítást jelent a döngölt föld a két másik falszerkezethez képest, amennyiben csak a felépítményt hasonlítjuk össze. Az alépitmény figyelembevételével együtt 15%-ra csökken a különbség.

—Nouri et al. [5] igazán ígéretes eredményeket közöltek ezen a területen. Stabilizálatlan döngölt földet hasonlítottak össze egetett téglával, és 95%-kal alacsonyabb beépített energiát mutattak ki a döngölt föld javára. Az összehasonlítás alapja itt az egységnyi tömeg volt (1 tonna).

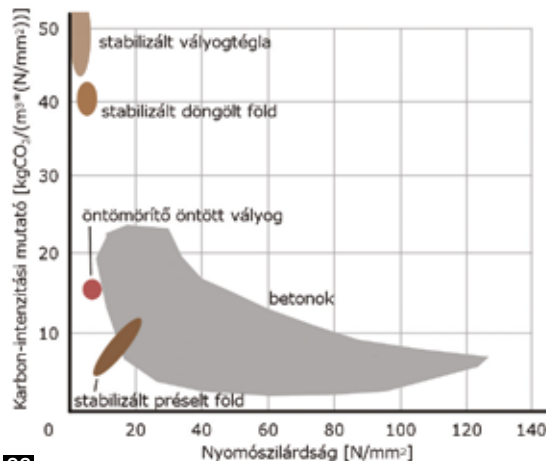
—Ilyen alacsony beépített energiát földfalak terén csak stabilizálatlan földdel lehet elérni. A Van Damme és Houben (2018) által készített tanulmány [6] szerint az 5% cementtel stabilizált földfalak háromszor akkora GWP-értékkel, vagyis globálisfelmelegedés-potenciállal rendelkeznek (64 gCO₂/kg), mint a stabilizálatlanok (23 gCO₂/kg).

03

02



05



06

05 Kötőanyag-intenzitási mutató [6]

06 Karbonintenzitási mutató [6]

—Arrigoni et al. (2017) az előzőekhez hasonló vizsgálatot végeztek, [7] azonban a stabilizáció hatását nem csupán a nyomószilárdság-növekedéssel, hanem a tartósság növekedésével is jellemezték. Ilyen módon optimumot kerestek a stabilizáció környezeti költségei és a kiváltott stabilizáló hatások között. A 4. ábra foglalja össze az eredményeiket.

04

—Arrigoni és társai hat különböző keverékkel készült döngölt föld mintát vizsgáltak. Az alapanyag nem termett talaj volt, a minták felénél volt csak helyi talajkeverék, a maradék esetében pedig zúzott mészkő, illetve újrahasznosított betontörmelék. Vizonyítási alapként a 10% cementtel stabilizált zúzott mészkő szolgált, két okból kifolyólag. Egyfelől a kísérletek helyszínén (Perth, Ausztrália) ez a legelterjedtebb összetétel, másfelől az esettanulmányként vizsgált épület is ezzel az anyaggal készült a kutatással párhuzamosan. A 4. ábrán ennek a nyomószilárdsága és tartóssági, illetve környezeti teljesítménye volt a 100%, ehhez képest mért százalékos változással jellemezték a többi keverék teljesítményét a felsorolt tulajdonságok terén.

—Jelentős környezetterhelés-csökkentést tudtak elérni, amennyiben a cement mellett, illetve helyett ipari melléktermékként keletkező anyagokat alkalmaztak. Mindezt a nyomószilárdság elfogadható szinten tartása mellett, illetve a tartósságcsökkenés nélkül.

Arrigoni és társai kísérleteikben két ilyen ipari mellékterméket használtak: a szénerőműben keletkező pernyét, illetve az acetilénfejlesztés melléktermékeként keletkező karbidmész-iszapot. A pernye aktívatórként szolgált, ami a kötőanyag mennyiségének csökkentését tette lehetővé. A karbidmész-iszapot (ami javarészt oltott mész) kötőanyagként a cement helyettesítésére használták. Mindkét anyag csak abban az esetben jelent környezetterhelésbeli csökkentést a cementtel való stabilizáláshoz képest, amennyiben az építési hely közelében (~20 km) elérhetőek és más célra nincsenek hasznosítva. Az elemzés kimutatta, hogy ellenkező esetben – tehát amennyiben a térségben más célra már hasznosulnak – ezek az anyagok csökkentés helyett tovább fokozzák a falazat környezetterhelését.

A STABILIZÁCIÓ HATÉKONYSÁGA

—Van Damme és Houben [6] két mutatót alkalmazott a stabilizáció szilárdságot növelő hatásának kiértékelésére. Mindkettő egy egyszerű arányszám, az egyik a „kötőanyag-intenzitás”, a másik a „karbonintenzitás”.

—A kötőanyag-intenzitási mutató a felhasznált kötőanyag mennyiségének (kg/m³) és a végtermék 28 napos szilárdságának (MPa, 1 MPa = 1 N/mm²) hányadosa. Ezt több földépítési technikára is összevetették, illetve a hagyományos

betonokkal is összehasonlították. Az eredményt az 5. ábra mutatja.

05

—A nyomószilárdság (MPa) egy egységnyi növeléséhez szükséges kötőanyag-mennyiség terén a vályogtégla teljesíti a legrosszabbul, a vert fal vagy döngölt föld sem hoz jobb eredményeket. A földépítési technikák közül a préselt földtéglaénél lehet a legnagyobb fajlagos nyomószilárdság-növekedést elérni.

—A karbonintenzitási mutató az anyag gyártásával járó fajlagos szén-dioxid-kibocsátás (kgCO₂/m³) és a 28 napos nyomószilárdság (MPa) hányadosa. Ezt több földépítési technikára is összevetették, illetve a hagyományos betonokkal is összehasonlították. Az eredményt a 6. ábra mutatja.

06

—A karbonintenzitási mutatóval kapott eredmények nagymértékben hasonlítanak a kötőanyag-intenzitási mutató eredményeire. A földépítési technikák esetében a kialakult sorrend is megfelel az előbbi vizsgálatnak.

—Van Damme és Houben elég markánsan fogalmazta meg a következtetést: a föld mint építőanyag cementtel való stabilizálása voltaképpen a gyenge beton előállításának magas környezeti terheléssel járó módja. A tanulmány a kémiai stabilizáció egyéb hátrányaira is rávilágít, kiemelve a vályogra eredendően jellemző újrahasznosíthatóság elvesztését.

- [1] „IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021: Summary for Policymakers”, in Valerie Masson-Delmotte et al (eds): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University, 2021.
- [2] IEA, International Energy Agency: *2018 Global Status Report, Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*, ISBN No 9789280737295.
- [3] Pascual, F J C - Nieva, A B: „Embodied energy assessment of rammed earth construction in Pozuelo de Alarcón (Madrid, Spain)”, in C Mileto - F Vegas - V Cristini: *Rammed earth conservation*, CRC Press, 2012, DOI: <10.1201/b15164-82> [utolsó belépés: 2021-10-15].
- [4] Treloar, G J - Owen, C - Fay, R: „Environmental assessment of rammed earth construction systems”, *Structural Survey*, Vol 19, No 2 (2001), pp 99-106, DOI: <10.1108/02630800110393680> [utolsó belépés: 2021-10-15].
- [5] Nouri, H - Safehian, M - Mir Mohammad Hosseini, S M: „Life cycle assessment of earthen materials for low-cost housing a comparison between rammed earth and fired clay bricks”, *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 2021, DOI: <10.1108/IJBPA-02-2021-0021> [utolsó belépés: 2021-10-15].
- [6] Van Damme, H - Houben, H: „Earthconcrete, Stabilization revisited”, *Cement and Concrete Research*, Vol 114 (Dec 2018), pp 90-102, DOI: <10.1016/j.cemconres.2017.02.035> [utolsó belépés: 2021-10-15].
- [7] Arrigoni, A - Beckett, C - Giancio, D - Dotelli, G: „Life cycle analysis of environmental impact vs. durability of stabilised rammed earth”, *Construction and Building Materials*, Vol 142 (Jul 2017), pp 128-136, DOI: <10.1016/j.conbuildmat.2017.03.066.> [utolsó belépés: 2021-10-15].

AZ EREDMÉNYEK ÉRTELMEZÉSÉRŐL

—A hivatkozott tanulmányok eredményeit annyiban fenntartásokkal kell kezelni, hogy Van Damme és Houben kivételével nem számoltak a stabilizációnak az anyag újrahasznosíthatóságára gyakorolt hatásával. Ezenfelül az életciklus-elemzések a kitermelés, gyártás és szállítás fázisaira korlátozódtak, a használat, illetve az életút végét jelző újrahasználat, újrahasznosítás, illetve a hulladékelhelyezés fázisait adathiányra hivatkozva nem vették figyelembe.

—A teljes életút figyelembevételével feltehetően tovább növelné a stabilizáció nélküli anyagok versenyelőnyét a környezetterhelés terén. A feltételezés alapja, hogy a kémiai kötőanyagoktól mentes vályogokat egyszerűen, fizikai folyamatok révén újra lehet keverni és bedolgozni, míg a stabilizált anyagokat csak kötőanyagok újbóli hozzáadásával lehetne újra felhasználni. A stabilizálatlan vályogok hulladékként való elhelyezése sem okoz gondot, hiszen egyszerűen az építési telken elteríthetők környezetkárosítás előidézése nélkül. Mindezek ellenére egyértelműen kirajzolódik, hogy van alacsonyabb környezeti hatású alternatívája a cementtel való stabilizálásnak.

—Egy másik fontos tényező a tartósság megállapítására vonatkozó vizsgálatok mibenléte. A szabványos eróziós vizsgálatokkal kapcsolatban (sprayteszt, wirebrush

teszt) sok kutató kifejezte már kétségeit, ugyanis ezeket stabilizált anyagokra dolgozták ki. A kétségeket az az egyszerű tény táplálja, hogy rengeteg stabilizálatlan fal épül, épült és áll évtizedek, bizonyos esetekben évszázadok óta világszerte. Sokan azt kifogásolják, hogy a vizsgálatban alkalmazott behatás nem reprezentatív, illetve nagyon túlzó a tényleges időjárási hatásokhoz képest.

—A harmadik tényező pedig az, hogy tartósságra vonatkozó adatok gyakran csak olyan anyagokkal kapcsolatban állnak rendelkezésre, amelyeket önmagukban eleve nem használnánk építésre. Ez amiatt van, hogy a stabilizációval egy bizonyos típusú talaj nyomószilárdsága növelhető csak érdemben. A magasabb agyagtartalmú talajok esetében az agyag frakció megátolja, hogy a szemcsemátrixban kellő mennyiségű kötést hozzon létre a cement vagy egyéb stabilizáló adalék. Ilyen például a vályogtég-láknál használt keverék, ami csak igen rossz határfokkal stabilizálható cementtel (lásd [6]).

ÖSSZEFOGLALÁS

—A földépítéssel foglalkozó életciklus-elemzésekből hiányzik a használati, illetve az újrahasznosítási fázisokra vonatkozó adat. Ezek hiányában a földépítésre használt anyagok alacsonyabb ökológiai lábnyomból fakadó vonzereje csorbul, különös tekintettel a stabilizálatlan

anyagokra, amelyek végtelenszer újrahasznosíthatóak.

—Még ezzel a hátráltató tényezővel együtt is jelentősen kisebb környezetterheléssel járó anyagokról van szó a betonhoz vagy az égetett téglához képest. Alkalmazásuknak megvannak a korlátai, de a lakóépületek terén biztonsággal alkalmazhatóak lennének. Ennek ellenére hazánkban mégis nagyon alacsony a részesedésük az új építésű házak között.

—A stabilizálatlan földépítési anyagokat jellemzően alacsony tartósságúnak írják le, azonban ez a megítélés vitatható a szabványos vizsgálatokkal kapcsolatos kétségek miatt, illetve az ellenkező irányba mutató tapasztalati példák alapján.

—A földépítés általánosságban nagy potenciállal rendelkezik az épített környezet beépített energiájának, illetve az építőipar globális felmelegedési potenciáljának csökkentésében. Annak érdekében, hogy ezt a potenciált be is töltsék, több kutatásra volna szükség a stabilizálatlan földépítési anyagok viselkedésének leírásához, illetve az anyagjellemzőik megbízhatóbb szabályozásához. A tartósságukat kiértékelő vizsgálatok felülvizsgálata is szükségesnek látszik, hogy a tapasztalati megfigyelésekhez közelebb álló eredményeket kapjunk.