

Történeti falazatok diagnosztikája

Diagnostics of Historical Masonry Structures

FENYVESI Olivér

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Magasépítés Tanszék
fenyvesi.oliver@emk.bme.hu

Abstract

The assessment of the condition of historic masonry structures plays a crucial role in the fields of heritage conservation and building rehabilitation. The aim of the present study is to provide a comprehensive overview of diagnostic methods for masonry structures, with particular emphasis on deterioration caused by moisture ingress and salt contamination, as well as on mechanical and material testing techniques. The research is based on the evaluation of findings reported in the literature and on experience gained through professional expert assessments. The analysis demonstrates that a complex, integrated diagnostic approach is essential for achieving reliable condition assessment and for the development of appropriate intervention strategies.

Keywords: historical masonry, diagnostics, moisture, salt leaching, non-destructive test (NDT), prevention of cultural heritage

Kivonat

A történeti falazott szerkezetek állapotának felmérése kulcsszerepet játszik a műemlékvédelem és az épületfelújítás területén. Jelen tanulmány célja a falazatok diagnosztikai módszereinek átfogó bemutatása, különös tekintettel a nedvesség- és sóterhelés okozta károsodásokra, valamint a mechanikai és anyagvizsgálati eljárásokra. A kutatás a szakirodalmi eredmények és szakértési feladatok során gyűjtött tapasztalatok feldolgozásán alapul. Az elemzés rámutat arra, hogy a komplex diagnosztikai megközelítés elengedhetetlen a megbízható állapotértékeléshez és a megfelelő beavatkozási stratégiák kialakításához.

Kulcsszavak: történeti falazatok, diagnosztika, nedvesség, sókristályosodás, roncsolásmentes vizsgálat, műemlékvédelem

1. BEVEZETÉS

A történeti falazatok vizsgálata komplex mérnöki feladat, amely több tudományterület (mechanika, kémia, építőmérnöki tudományok) integrációját igényli.

A történeti falazott szerkezetek vizsgálata az építőmérnöki tudományok és a műemlékvédelem határterületén helyezkedik el. A nemzetközi kutatások hangsúlyozzák, hogy a falazatok viselkedése komplex rendszerként értelmezendő, ahol az egyes alkotóelemek kölcsönhatása meghatározó. A nedvesség szerepét számos szerző kiemeli, különösen a kapilláris felszívódás és a párolgási zónában történő sókiválás kapcsán. A sókristályosodás által keltett belső feszültségek a pórusszerkezet károsodását idézik elő, amely hosszú távon a szerkezet degradációjához vezet [1].

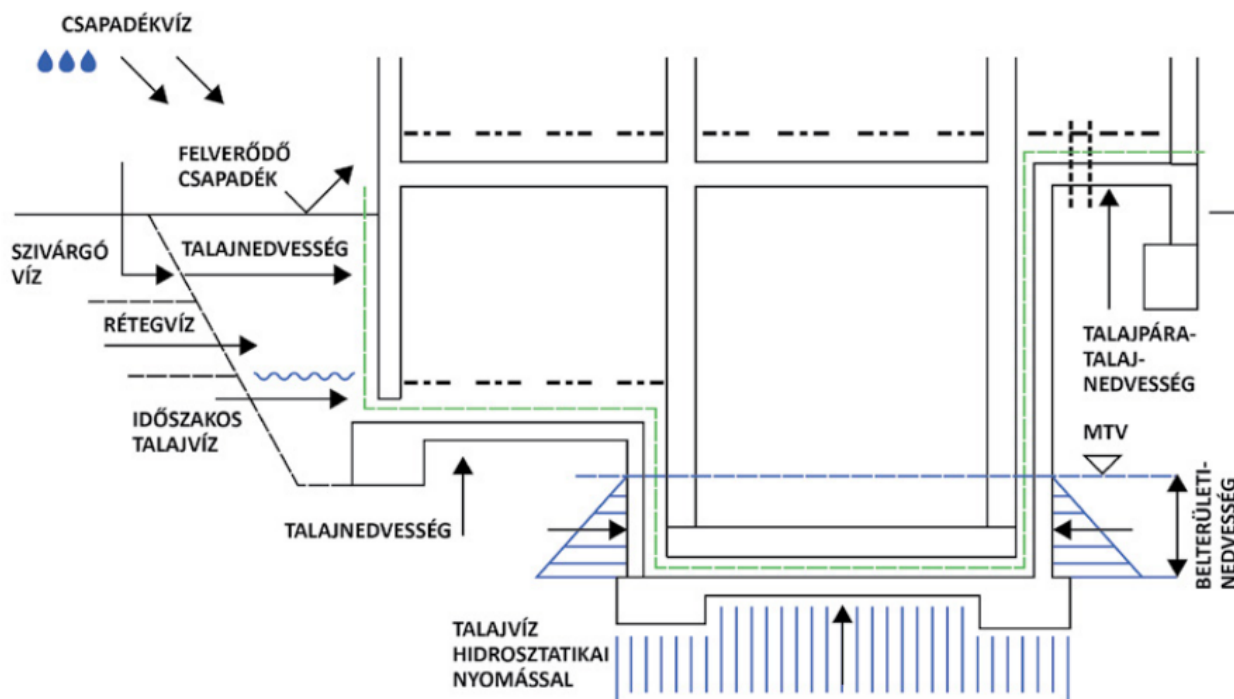
A roncsolásmentes vizsgálati módszerek fejlődése új lehetőségeket nyitott a diagnosztikában. A Schmidt-kalapács alkalmazása, valamint az elektromos és mikrohullámú nedvességmérési technikák gyors és hatékony helyszíni vizsgálatokat tesznek lehetővé, bár ezek értelmezése körültekintést igényel.

A laboratóriumi vizsgálatok közül a derivatográfia szolgál olyan műszeres analitikai eszközként, amit gyakran alkalmazhatunk olyan esetekben, amikor a nedves analitikai vizsgálatok nem vezetnek eredményre, mivel lehetővé teszi a habarcsok és sótartalmak pontos összetételének meghatározását.

2. A TÖRTÉNETI FALAZATOK KÁROSODÁSI MECHANIZMUSAI

A történeti kő- és téglafalazatok károsodási mechanizmusai összetett, egymással kölcsönhatásban álló fizikai, kémiai és mechanikai folyamatok eredményeként alakulnak ki. E szerkezetek általában heterogén

felépítésűek, eltérő tulajdonságú falazóelemekből és habarcsokból állnak, ami sokszor érzékennyé teszi őket a környezeti hatásokra. A károsodások egyik legfontosabb kiváltó tényezője a nedvesség jelenléte, amely különböző formákban – például talajból felszívódó víz, csapadék, illetve párakicsapódás – juthat a falzatba (1. ábra).



1. ábra Épületeket érő nedvesség hatások [2]

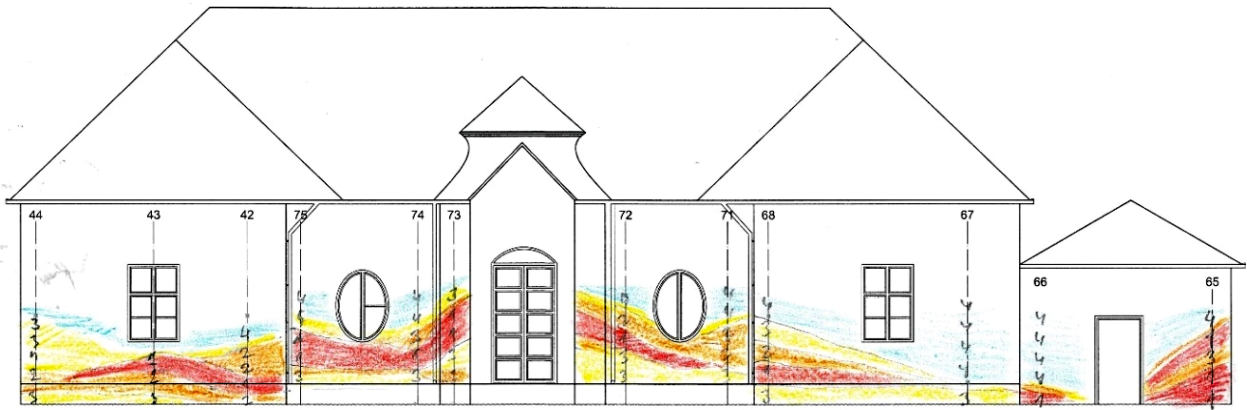
A nedvességhez szorosan kapcsolódik az oldott sók szerepe. A falzatok pórusaiban jelen lévő sók a nedvesség mozgásával együtt vándorolnak, majd a párolgási zónában kiválnak és kristályosodnak. A kristályosodási folyamat során jelentős térfogatváltozás lép fel, amely belső feszültségeket generál a póru szerkezetben. Ezek a feszültségek ismétlődő nedvesedési–száradási ciklusok hatására fokozatos anyagkárosodást idéznek elő, amely felületi mállás, vakolatleválás és a falazóelemek szilárdságcsökkenése formájában jelentkezik. További sók okozta károsodási jelenség a higroszkópos sók feldúsulása, amely a levegő nedvességtartalmát képes megkötni és a falzatok nedvesedését ezáltal előidézni [3].

A fizikai károsodások közül kiemelendő a fagyás hatása. A pórusokban lévő víz megfagyása során térfogata megnő, ami jelentős nyomást gyakorol a pórusfalakra. Ez különösen a nagy nedvességtartalmú, porózus anyagok esetében vezet repedések kialakulásához és az anyag szerkezetének roncsolódásához. Emellett a hőmérséklet-ingadozásokból eredő ismétlődő tágulási és összehúzódnási folyamatok szintén hozzájárulnak a repedéshálózat kialakulásához [3, 4].

A kémiai károsodások közé tartozik például a kötőanyagok átalakulása, különösen a mészhabarcsok karbonátcsoportjai érzékenyek pl. a savas ágensekkel szemben, vagy a szulfátosodási folyamatok, amelyek akár a cementkötésű habarcsok esetén is okozhatnak degradációt az anyagban. Ezen túlmenően a biológiai tényezők – például algák, mohák és mikroorganizmusok megtelepedése – is szerepet játszhatnak a felületi károsodások kialakulásában.

Összességében a történeti falzatok károsodása többtényezős folyamat, ahol a nedvesség, a sók, a hőmérsékleti hatások és a kémiai reakciók együttesen határozzák meg a szerkezet állapotának romlását. A károsodási mechanizmusok pontos megértése alapvető feltétele a megfelelő diagnosztikai és beavatkozási módszerek megválasztásának [5].

A történeti falzatok állapotát meghatározó egyik legfontosabb tényező a nedvesség jelenléte, amely gyakran talajból felszívódó formában jelentkezik (2. ábra). A nedvesség oldott sókat szállít, amelyek a párolgási zónában kiválnak, jellegzetes sókivirágzásokat hozva létre (3. ábra).



2. ábra Példa egy történeti homlokzat nedvesedési térképére



3. ábra Példa egy történeti homlokzat nedvesedésére és a jól látható sókivirágzási folyamatokra



4. ábra Példa egy történeti homlokzat lábazati részének fagykárosodására

A sók kristályosodása során fellépő térfogatváltozás jelentős feszültségeket generál (4. ábra), amely a falazat fizikai mállásához vezet. A fagyás tovább súlyosbítja a károsodást.

A fentiek alapján történeti falazatok diagnosztikája során a szerkezeti anyagok azonosításán, a mechanikai jellemzők mérésén túl elsősorban a nedvesedési és sószennyezettségi vizsgálatok lehetnek segítségünkre.

3. DIAGNOSZTIKAI MÓDSZEREK

3.1. Nedvességvizsgálat

A történeti téglá- és kőfalazatok nedvességvizsgálata a műemléki diagnosztika egyik alapvető területe, mivel a nedvesség jelenléte és mozgása közvetlenül befolyásolja a szerkezetek állékonyságát, tartósságát és anyagi állapotát. A falazatok nedvesedése összetett folyamat, amely több forrásból eredhet, beleértve a talajból kapillárisan felszívódó nedvességet, a csapadékból származó beszivárgást vagy beázásokat, valamint a kondenzációs jelenségeket. A történeti épületek esetében különösen jelentős a felszálló talajnedvesség problémaköre, mivel ezek az épületek rendszerint nem rendelkeznek hatékony vízszigeteléssel, vagy az idők során a vízszigetelés már tönkrement és nem tudja már ellátni funkcióját.

A nedvességvizsgálati módszerek két fő csoportba sorolhatók: roncsolásmentes és roncsolásos eljárások csoportjába. A roncsolásmentes vizsgálatok közé tartoznak az elektromos ellenállás- és kapacitásmérésen alapuló módszerek, valamint a mikrohullámú nedvességmérés. Ezek előnye, hogy gyorsan alkalmazhatók és nem igénylik a szerkezet károsítását, ugyanakkor az eredmények értelmezése körültekintést igényel, mivel a mért értékek függenek a falazat anyagától, pórusszerkezetétől és különösen az oldott sók koncentrációjától. Emiatt ezek a módszerek elsősorban relatív nedvességeloszlás meghatározására alkalmasak, például nedvességtérképek készítésére, mint amire a 2. ábrán láthattunk példát.

A roncsolásos vizsgálati módszerek közé tartozik a mintavétel és a gravimetriás nedvességtartalom-meghatározás (Darr-módszer), amely a legmegbízhatóbb mérésnek tekinthető a felsorolt eljárások közül. Ennek során a falazatból vett (vésett darabos vagy fűrt por állapotú) minták tömegének szárítás előtti és utáni különbségéből határozható meg a tényleges nedvességtartalom. A módszer nagy pontosságot biztosít, azonban lokális jellegű és a mintavétel a szerkezet károsításával jár, ezért alkalmazása általában korlátozott.



5. ábra Példa egy történeti pincefalazaton tapasztalt szulfátos sókivirágzásra

A korszerű diagnosztikai gyakorlatban a nedvességvizsgálatot kiegészítjük sótartalom-elemzéssel, amely lehetővé teszi a károsodási mechanizmusok pontosabb megértését. A nedvesség és a sók együttes vizsgálata elengedhetetlen a megfelelő beavatkozási stratégiák meghatározásához, például a vízszigetelési megoldások vagy a sótelenítő eljárások kiválasztásához. A sókárosító fajtákat anioncsoportok szerint csoportosítjuk. A leggyakrabban előforduló károsítók:

- a szulfátok: leggyakrabban a talajból, talajvízből, talajnedvességből, de sok esetben ipari vagy háztartási szennyvízből, de akár a falazat anyagából is származhatnak.
- A kloridok: leggyakrabban a téli jégolvasztó sózásából, tengervízből, ipari vagy háztartási szennyvízből származnak.
- A nitrátok: szinte mindig szerves bomlástermékből származnak, pl. műtrágyából, szerves trágyából, talajok humuszrétegéből származnak.

- A karbonátok: szikes talajokból, mésztartalmú anyagokból, akár a falazat anyagából származnak [6,7,8].

Összességében megállapítható, hogy a történeti tégl- és kőfalazatok nedvességvizsgálata komplex, több módszert integráló folyamat. A megbízható állapotértékelés csak különböző vizsgálati eljárások kombinált alkalmazásával érhető el, amely figyelembe veszi a szerkezet anyagi sajátosságait és a környezeti hatásokat. Ez a megközelítés alapvető feltétele a műemléki értékek hosszú távú megőrzésének.



6. ábra: Roncsolásmentes nedvességmérés

3.2. Roncsolásmentes szilárdsági vizsgálatok

A történeti tégl- és kőfalazatok roncsolásmentes vizsgálatai (Non-Destructive Testing, NDT) kiemelt jelentőséggel bírnak a műemléki diagnosztikában, mivel lehetővé teszik a szerkezet állapotának felmérését annak károsítása nélkül. Ezek az eljárások különösen fontosak védett épületek esetében, ahol a mintavétel korlátozott vagy nem megengedett. A roncsolásmentes módszerek célja a falazatok anyagi és szerkezeti jellemzőinek gyors, helyszíni meghatározása, valamint a károsodási folyamatok azonosítása [9-13].

Az egyik legelterjedtebb módszer a felületi keménység vizsgálata, amelyet leggyakrabban Schmidt-kalapáccsal végzünk. A mérés során a visszapattnási érték alapján következtetnek az anyag felületi keménységére és nyomószilárdságára. Bár a módszer gyors és egyszerű, alkalmazása során figyelembe kell venni, hogy az eredmények erősen függenek a felület állapotától (érdesség, degradáció), az anyag heterogenitásától és a nedvességtartalomtól. Emiatt a kapott értékek elsősorban összehasonlító jellegűek és empirikus összefüggések segítségével értelmezhetők [14].



7. ábra: Schmidt-kalapáccsos vizsgálat és a vizsgálat nyoma nagyméretű tömör téglán

A Schmidt kalapácsos vizsgálat során különös figyelmet kell fordítani a felület előkészítésére, amin nem maradhatnak szennyeződések (vakolat, festék, olaj, biológiai szennyeződés, moha, zuzmó stb.). Történeti téglafalazóelemek esetén figyelembe kell venni, hogy a felület a téglafal eredeti oldala vagy vágott/törött, mivel sok esetben az égetéskor keletkezett kemény kéreg jelenléte vagy hiánya befolyásolja a visszapatantási eredményeket [10-13,15].

További korszerű roncsolásmentes vizsgálati eljárások közé tartoznak az ultrahangos mérések, amelyek a hanghullámok terjedési sebessége alapján adnak információt az anyag tömörségéről és repedezettségéről. A geofizikai módszerek, például a földradar (GPR), lehetővé teszik a falazat belső szerkezetének feltárását, például üregek, inhomogenitások vagy rejtett szerkezeti elemek azonosítását [16].

A téglafal- és kőanyagok mellett a habarcsok helyszíni vizsgálata is lehetséges a BME Építőanyagok Tanszékén kidolgozott kis roncsolásos fúrási ellenállás vizsgálattal (8. ábra). A habarcsfűrő eszközzel a fűrőszár adott erővel hatol be a falazóhabarccsal kitöltött vízszintes fugákba, mérjük a fúrási ellenállást, amiből becsülhető a falazóhabarcs nyomószilárdsága. A mérési eredmény függ a habarcs szemszerkezetétől és nedvességtartalmi állapotától egyaránt [17].



8. ábra: Habarcsvizsgálat próbafúrással vizsgálati helyszínen és laboratóriumban

Összességében a roncsolásmentes vizsgálatok nélkülözhetetlen eszközt jelentenek a történeti falazatok diagnosztikájában. Bár önmagukban gyakran nem adnak teljes képet, más vizsgálati módszerekkel kombinálva megbízható alapot biztosítanak az állapotértékeléshez és a szükséges beavatkozások megtervezéséhez.

A további próbafúrás és mintavétel további információt szolgáltat a habarcs és a falazóelemek állapotáról.

3.3. Roncsolásos szilárdsági vizsgálatok

A történeti téglafal- és kőfalazatok roncsolásos szilárdságvizsgálatai alapvető szerepet töltenek be a szerkezetek teherbírásának és állapotának pontos meghatározásában. E vizsgálati módszerek alkalmazása során a szerkezetből mintát veszünk, amely lehetővé teszi az anyag mechanikai tulajdonságainak közvetlen meghatározását. Bár a roncsolásos eljárások bizonyos mértékű károsodással járnak, pontosságuk és megbízhatóságuk miatt elengedhetetlenek a történeti épületek statikai ellenőrzése és felújítási tervezése során.

A leggyakrabban alkalmazott módszerek közé tartozik a falazóelemekből és habarcsból vett minták laboratóriumi nyomószilárdság-vizsgálata. Téglafalak esetében a falazóelemekből kifűrt magmintákat vagy kivésett falazóelemeket vizsgáljuk szabványos nyomóvizsgálattal. A vizsgálat előtt a próbatestek kimunkálása során különösen fontos, hogy a nyomott felületeket kiegyenlítsük, ami történhet habarcssimítással, gipszsimítással, rugalmas lemez közbeiktatásával, esetleg csiszolással. A csiszolás esetén figyelni kell arra, hogy a felületkezelés a mért eredményértékekre növelő hatással van, ami esetleg a biztonság kárára történő számításához vezethet, ezért javasolt az előbbieken említett felületkezelési módszereket előnyben részesíteni. Kőfalazatoknál általában magmintavételt végzünk. A természetes kövek heterogenitása miatt különös figyelmet kell fordítani a minták reprezentativitására. A kivett magmintákon előkészítés után elsősorban nyomószilárdság-vizsgálatot végzünk, de igen hasznos információt szolgáltatnak a hasító-húzó (ún. brazil) vizsgálatok is.

A teljes falazat teherbírásának meghatározására alkalmazható a flat-jack vizsgálat, amely kvázi roncsolásos eljárásnak tekinthető. A módszer során a habarcsrétegbe vágott részbe hidraulikus lapos sajtót

helyeznek, amelynek segítségével meghatározható a falazatban ébredő feszültségállapot és deformációs viselkedés. Ez az eljárás különösen alkalmas történeti szerkezetek helyszíni teherbírásának vizsgálatára.

A roncsolásos szilárdságvizsgálatok előnye, hogy közvetlen és nagy pontosságú adatokat szolgáltatnak a szerkezet mechanikai állapotáról. Hátrányuk ugyanakkor, hogy a mintavétel helyi károsodással jár, valamint a vizsgálatok idő- és költségigényesek. Ennek következtében a korszerű diagnosztikai gyakorlatban a roncsolásos és roncsolásmentes módszereket általában együttesen alkalmazzuk annak érdekében, hogy a szerkezet állapotáról minél teljesebb és megbízhatóbb képet kapjunk.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A történeti falazatok diagnosztikája igen összetett, multidiszciplináris megközelítést igénylő mérnöki feladat. Manapság úgy gondolom, hogy a tartószerkezeti tervezőmérnökök és a kivitelezők kevés ismerettel rendelkeznek ezen a területen, ezért is fontos, hogy a hazai és nemzetközi szakirodalomban megjelenő legfrissebb ismeretek birtokában vállaljuk a műemlékek felújításának tervezési és kivitelezési feladatait. Ehhez nagy mértékben tudnak hozzájárulni a falazatok diagnosztikai vizsgálatai, amelyeket a megfelelő mérnöki, építész kamarai, illetőleg minisztériumi jogosultságokkal rendelkező mérnökkollégák jogosultak elvégezni.

Sok esetben merül fel a kérdés, hogy milyen mértékű roncsolásos beavatkozást végezzünk a falazatokon, mennyi az optimális mérési darabszám és ennek milyen költségvetési vonzatai vannak. Ezekre a kérdésekre a válasz minden egyes műemlék esetében eltérő és függ az elérhető korábbi tervek, szakvélemények, vizsgálatok mennyiségétől, a diagnosztika céljától és a felújítás által érintett szerkezeti elemek mennyiségétől stb. Azonban minden esetben kijelenthetjük, hogy egy jól megtervezett és elvégzett diagnosztikai szakvélemény birtokában a tervezőnek és a kivitelezőnek is könnyebb dolga van és elkerülhetőek olyan nem várt események, amelyek során nem egyszer a szerkezetdiagnosztika költségéhez képest nagyságrendekkel nagyobb költségtételek merülhetnek fel, nem is beszélve arról, hogy a határidők ilyen esetekben milyen áron tart(at)hatóak be.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] 2/2019. (V I I.1.) ÉPMI *Falazott szerkezetek nedvesség- és sóvizsgálata*
[https://emi.hu/EMI/web.nsf/Pub/9R38W9/\\$FILE/EMI%206.1%20napirend_v5.pdf](https://emi.hu/EMI/web.nsf/Pub/9R38W9/$FILE/EMI%206.1%20napirend_v5.pdf) letöltés: 2022.05.18.
- [2] 3_2022. ÉPMI (v1_2022. I. 18.) *Falazott szerkezetű épületek talajból származó nedvességátadások és sók elleni utólagos védelmének tervezése*, 2022. [https://www.emi.hu/EMI/web.nsf/Pub/LEA16V/\\$FILE/falazott_szerkezetu_epuletek_iranyelv_2022_01_18.pdf](https://www.emi.hu/EMI/web.nsf/Pub/LEA16V/$FILE/falazott_szerkezetu_epuletek_iranyelv_2022_01_18.pdf) letöltés: 2022.05.18.
- [3] Nemes, R; Józsa, Zs: *Vegyes falazatok jellemzői és problémái Budapest belső kerületeiben* In: Török, Ákos; Vásárhelyi, Balázs (szerk.) *Mérnökgeológia - Közetmechanika 2010*, Budapest, Magyarország : Műegyetemi Kiadó (2010) 281 p. pp. 61-70., 10 p.
- [4] Magó, B; Józsa, Zs; Csányi, E; Ana, C: *Erődítmények falazatán végzett anyagvizsgálatok*
In: Historic Structures International Conference/ Conferinta Internationala de Structuri Portante Istorice/ Történeti Tartószerkezetek Nemzetközi Konferencia-sorozat : Historic Load-bearing Structures in Ruins - Fortress Engineering / Structuri Portante Istorice in Ruine - Ingineria Fortificatiilor/ Romos Történeti Tartószerkezetek - Erődítmények Műszaki Vonatkozásai, Kolozsvár, Románia (2010) pp. 1-9., 9 p.
- [5] Vidovszky, I; Józsa, Zs: *Diagnostics for Maintenance of Historic Buildings in Central Europe* In: anon (szerk.) *Conservation of Heritage Structures Ottawa, Kanada: s.n. (2010) pp. 429-439., 11 p.*
- [6] Bojár, I A; Martinkó, J; Szentpéteri, M; Józsa, Zs; Tóth, B; Bojár, I A (szerk.): *Téglaépítészet Magyarországon II.*: Fejezetek a Magyar tégláépítészet történetéből – a kezdetektől 1989-ig Budapest, Magyarország : Vertigo kiadó (2003), 248 p. ISBN: 9632127439
- [7] Dulácska, E; Józsa, Zs; Borosnyói, A: *Téglszilárdságvizsgálat Schmidt kalapáccsal* In: Balázs, L Gy (szerk.) *EUROCODE 6 – Téglafalazatok Budapest, Magyarország: Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Közhasznú Társaság (ÉMI Kht.) (2001) 172 p. pp. 129-132., 4 p.*
- [8] Józsa, Zs; Sopronyi, G: *Az építőanyagok szerepe a téglafalazatokban* In: Balázs, L Gy (szerk.) *EUROCODE 6 – Téglafalazatok Budapest, Magyarország: Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Közhasznú Társaság (ÉMI Kht.) (2001) pp. 87-98. Paper: 1, 12 p.*
- [9] Mengistu, G M; Tóth, M M; Nemes, R: *Nondestructive assessment of compressive strength in historical solid clay bricks using the rebound hammer test: influence of density* HELIYON 12: 4 Paper: e44723, 14 p. (2026)
- [10] Mengistu, G M; Rita, N: *The Influence of Test Location, Face Types, and Moisture Content on the Rebound Hammer Test of Clay Bricks* In: YBL JOURNAL OF BUILT ENVIRONMENT (DE GRUYTER OPEN/SCIENDO) 9: 2 pp. 10-25., 16 p. (2024)
- [11] Mengistu, G M; Gyurkó, Z; Nemes, R: *The Influence of the Rebound Hammer Test Location on the Estimation of Compressive Strength of a Historical Solid Clay Brick* In: SOLIDS 4: 1 pp. 71-86., 16 p. (2023)

- [12] Gyurkó, Z; Nemes, R: *Comparison of modelling of hardness testing with DEM and FEM* In: Kohoutková, Alena; Vitek, Jan L; Frantová, Michaela; Bílý, Petr (szerk.) Proceedings of the 12th International PhD Symposium in Civil Engineering Prague, Csehország: Czech Technical University in Prague (2018) 1,312 p. pp. 405-412., 8 p.
- [13] Gyurkó, Z; Nemes, R: *Energy-based evaluation of hardness testing with discrete element method* In: IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 426 p. 012013, 8 p. (2018)
- [14] Józsa, Zs; Madaras, G: *Kerámia és könnyűbeton falazatok* In: Balázs, LGy; Kovács, B (szerk.) Tartók 2000: VI. Magyar Tartószerkezeti Konferencia Budapest, Magyarország: Műegyetemi Kiadó (2000) 333 p. pp. 280-290. Paper: 1, 11 p.
- [15] Józsa, Zs: *Eső után... Falazatok nedvesedése-száradása* In: ALAPRAJZ: ÉPÍTÉSZET TERVEZÉS KONSTRUKCIÓK RÉSZLETEK TERMÉKEK 5: május pp. 56-59., 4 p. (1998)
- [16] Turi, N; Török, Á; Nemes, R: *A prágai Károly-híd homokköveinek laboratóriumi vizsgálata: vízfelvételi tulajdonságok és a hőtágulás változásának elemzése* In: Török, Ákos; Vásárhelyi, Balázs (szerk.) Mérnökgeológia - Kőzetmechanika 2008 Budapest, Magyarország: Műegyetemi Kiadó (2008) 296 p. pp. 215-224., 10 p.
- [17] Balázs, Gy. (szerk.) (1983): *Építőanyag praktikum* Budapest: Műszaki Könyvkiadó, ISBN: 9631044335, 757 p.