

# Modern eszközökkel végzett épületrekonstrukciós rendszer kidolgozása

## Developing a building reconstruction system using modern tools

Dr. HEGEDŰS Éva<sup>1</sup>, KŐFALVI Tamás<sup>1</sup>, HOLCZBAUER András<sup>1</sup>, Dr. MÁTHÉ László<sup>2</sup>

<sup>1</sup>EBK Hungary Kft., 2100 Gödöllő, Pattantyús Ábrahám körút 10., hegedus.eva@ebkhungary.com

<sup>2</sup>Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1., mathe.laszlo@uni-mate.hu

### Abstract

*EBK Hungary Ltd., Szintézis Informatika Ltd. and the Hungarian University of Agriculture and Life Sciences received support in the framework of the research and development project with identification number GINOP-2.2.1-18-2020-00022 for a fusion of several different sensors of building facades a widely applicable system for diagnosis, which helps to detect and localize the structural or surface defects or sources of defects in the building facade with the help of artificial intelligence, and then, based on the information received, the files required for 3D printers can be created from the 3D point cloud with the help of a self-developed software to make façade repairs simple and quick.*

**Keywords:** sensor fusion, artificial intelligence, building façade reconstruction, additive manufacturing, point cloud

### Kivonat

*Az EBK Hungary Kft., a Szintézis Informatikai Zrt és a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, a GINOP-2.2.1-18-2020-00022 azonosító számú kutatás-fejlesztési projekt keretében támogatást nyertek az épülethomlokzatok több különböző szenzor fűzőjével támogatott diagnosztizálásának és széles körben alkalmazható rendszerének kidolgozására, amely mesterséges intelligencia segítségével segít detektálni és lokalizálni az épülethomlokzat szerkezeti vagy felületi hibáit, majd a kapott információk alapján a 3D pontfelhőből, egy sajátfejlesztésű szoftver segítségével alkothatóak meg a 3D nyomtatókhoz szükséges fájlok, amelyek segítségével a homlokzatok egyszerűen és gyorsan javíthatóvá válnak.*

**Kulcsszavak:** szenzorfüzió, mesterséges intelligencia, épülethomlokzat rekonstrukció, additív gyártás, pontfelhő

## 1. Bevezetés

A régi épületek kulturális örökségünk fontos részét képezik, de idővel homlokzatuk megsérülhet vagy megromolhat. Ilyen esetekben szükségessé válik a homlokzatok rekonstrukciója, hogy az épület eredeti megjelenését visszaállítsák és megőrizték történelmi jelentőségét. A régi épületek homlokzati rekonstrukciójának korszerű technikája a modern technológiák és anyagok felhasználásával az eredeti homlokzatok pontos másolatainak elkészítését jelenti. Ez a folyamat megköveteli az épület történetének, építészetének és anyagainak mélyreható ismeretét, valamint az épület kulturális kontextusban betöltött jelentőségének megbecsülését. [1]

A homlokzatrekonstrukció egyik legfontosabb kihívása a hitelesség és a praktikum közötti egyensúly megtalálása. A modern anyagok és technikák használata javíthatja a rekonstruált homlokzat tartósságát és hosszú élettartamát, de úgy kell megvalósítani, hogy az épület eredeti megjelenése és jellege megmaradjon, ugyanakkor egyes, a kulturális örökség részét képező, műemléki épületek esetében, a hagyományos technológiák használata a jelenleg elvárt. Ennek elérése érdekében számos rekonstrukciós projektben a hagyományos kézművesség és a modern technológiák, például a 3D szkennelés és 3D nyomtatás és a számítógépes tervezés kombinációját alkalmazzák. Ezek az eszközök nagyobb pontosságot és precizitást tesznek lehetővé a homlokzat eredeti kialakításának és részleteinek reprodukálásában.

A műemléki épületek homlokzati rekonstrukciója kényes egyensúlyozás a kulturális örökség megőrzése, a modern technikák és anyagok alkalmazása között. A legújabb technológiák és anyagok alkalmazásával, ugyanakkor az épület történelmi jelentőségének tiszteletben tartásával a rekonstrukciós projektek biztosíthatják, hogy ezek a fontos kulturális műemlékek megmaradjanak a jövő generációi számára. [2]

A kutatásunk fő célja, hogy olyan lehetőségeket vizsgáljunk, amelyben modern diagnosztikai eszközök kombinációjával, vagy újonnan fejlesztett eszközökkel és szoftverekkel, fenntartható módon, idő és költséghatékonyan lehet információkat kinyerni az épületek homlokzatainak állapotáról.

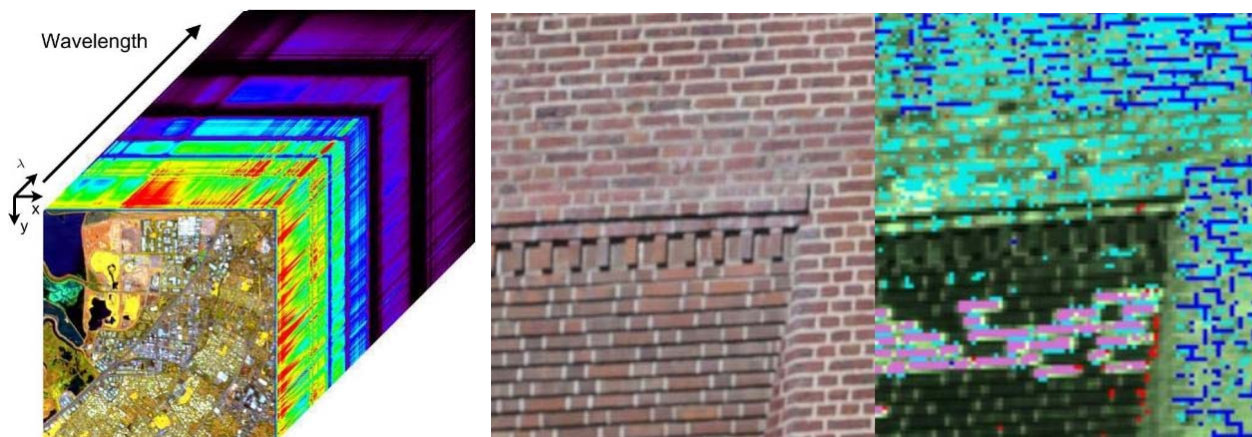
A szenzorfüzióval, mesterséges intelligencia alapú szoftverek segítségével és az additív gyártástechnológia alkalmazásával azonnal elkezdhető, gyors, roncsolásmentes, automatizálható és kiszámítható javítási munka érhető el. A kidolgozott rendszer az épületrekonstrukcióban alkalmazott hagyományos szakági folyamatokat leegyszerűsítheti és felgyorsíthatja. Ezen felül az eredeti homlokzatot állapotát az alkalmazott eljárás nem módosítja. A 3D nyomtatás alkalmazásával a környezeti terhelése alacsonyabb lehet mint a hagyományos technológiával végzett épület rekonstrukcióé. A szenzorokból nyert információk a mesterséges intelligencia segítségével feldolgozásra kerülnek, majd a saját fejlesztésű szoftverrel történő digitálisan rekonstrukció és additív gyártástechnológia segítségével javíthatók, vagy újra gyárthatók a sérült részek.

A kutatás során több eredménytermék született meg: 3D nyomtatófej, szenzorfüzió, AI alapú diagnosztikai rendszer, 3D szoftver a pontfelhő módosítására és nyomtatási fájlok előkészítésére.

## 2. Szenzorfüziós, M.I. alapú épületdiagnosztikai rendszer

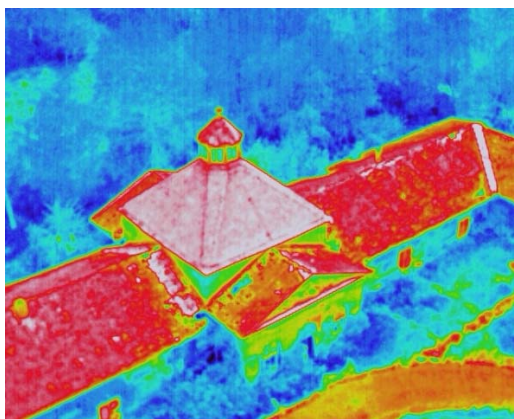
A projekt keretében kidolgozott mesterséges intelligencia alapú épületdiagnosztikai rendszer képes különböző szenzorokból érkező információ automatikus összevetésére, rendszerezésére és elemzésére. A kidolgozott szenzorfüziós irányelvek mentés a rendszer alkalmas hiperspektrális, hőkamerás, lidar szenzorral készült 3D adatok és RGB fényképes állományok összevetésére és elemzésére, az épülethibák megállapítására és megjelölésére.

A hiperspektrális felvételek (1. ábra) segítségével az épületekről és épületelemekről rengeteg fontos információt nyerhető. A kutatás-fejlesztés során elsősorban a falüregek keresését, vízsedések detektálását gombásodott részek feltárását tűztük ki célul. A hiperspektrális mérőeszközök előnye, hogy mélységi feltárások is elvégezhetők az épületszerkezeteken.



1. ábra Hiperspektrális képek párhuzamos osztályozása neurális hálózatok segítségével [3], balra; Új módszert felfedezése az épületek erősségei és gyengeségei elemzésére [4], jobbra

A hőkamerás épületdiagnosztika (2. ábra) segítségével elsősorban az épületek konstrukciós vagy szigetelési hiányosságaiból adódó hőhidak detektálhatók. Ezek a hőhidak az épület energiahatékonysági hibáin túl, szerkezeti meghibásodásokat is okozhatnak.



2. ábra. Babatpusztai istállókastély épület hőkamerás képe.

A 3D lidar szkennerek segítségével (3. ábra) a nagy pontosságú 3D pontfelhők készíthetők a sérült épülethomlokzatokról, amelyet követően a tapasztalt homlokzati hibák digitálisan rekonstruálhatók és javíthatók. A képkötés egy lidar mérőeszközzel felszerelt drón segítségével is elvégezhető. Így a drón levegőbe juttatásával, akár egy egész épületről készíthetők olyan 3D pontfelhők amelyek a rekonstrukció alapját képezik. Ezek a 3D pontfelhők különböző részletességűek lehetnek annak függvényében, hogy a cél az elemzés vagy a rekonstrukció.

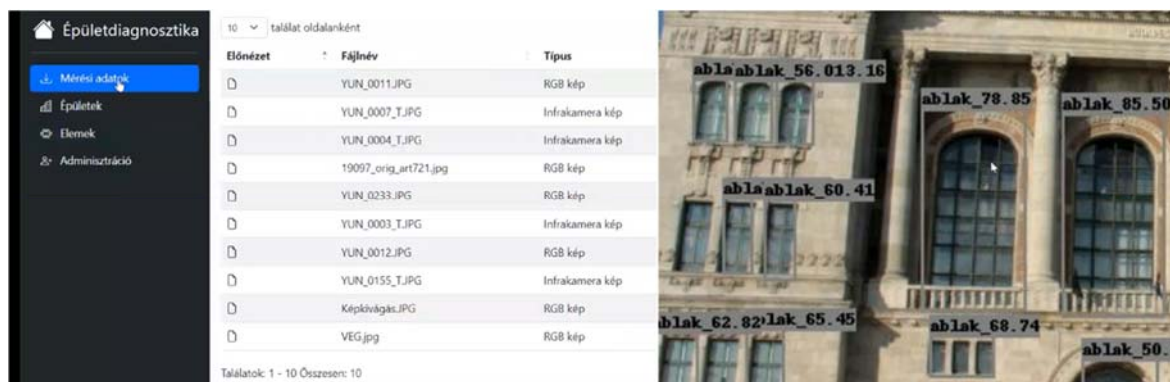


3. ábra. Sérült homlokzati elem szkennelése SCANTECH iReal 2E Color kézi 3D szkennelssel

Az RGB fényképes felvételek szintén fontos elemei az épületdiagnosztikának. Az állványról, kézből, vagy drónról készült felvételek segítségével a vizuálisan felismerhető hibák, mint a repedések, homlokzatfolytonossági hiányosságok mellett, az olyan rekonstrukció tervezésben fontos elemek is felismertethetők, mint az ajtók, ablakok száma, mérete vagy felülete.

### 3. Mesterséges intelligencia alapú épületdiagnosztikai rendszer

A projekt keretében kidolgozott mesterséges intelligencia alapú épületdiagnosztikai szoftvert (4. ábra) a homlokzati elemek automatikus elemzésére fejlesztettük ki. Az automatikus diagnosztikával segíthetjük, vagy később akár ki is válthatjuk a szakember által végzett szemrevételezési felmérési munkát. Jelenleg a mesterséges intelligencia épületek alaksajátosságait, mint például az ablakok, ajtók, tud a mesterséges intelligencia beazonosítani, de ezen felül a repedések folytonossági hiányok detektálására, jelölésére és felületének meghatározására is alkalmas. A szoftver segítségével teljes épületek, vagy több épületből álló képsorozatok gyors és automatizált állapotmeghatározása végezhető el automatikusan, így könnyebben, gyorsabban elemezhetők az épületek, így rendszeres diagnosztikával folyamatosan nyomon követhetők az épületeróziós folyamatok.

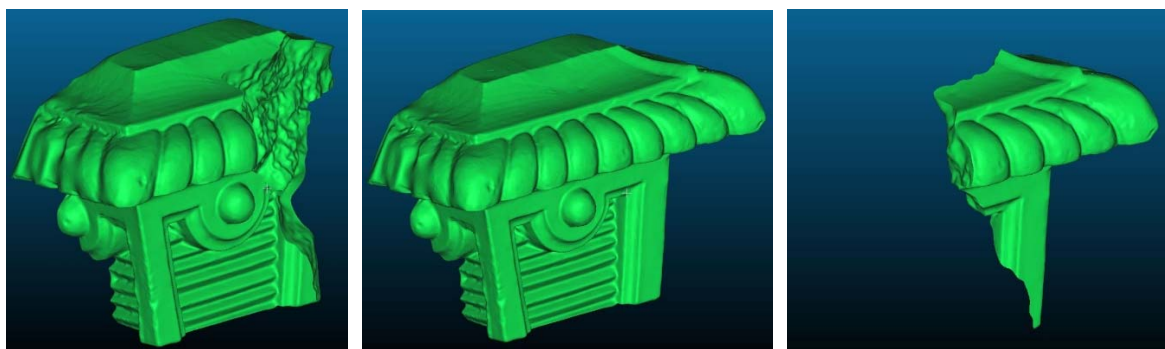


4.ábra. Ablakok felismerése egy betöltött homlokzati minta alapján

#### 4. Homlokzati hibák javítása

A látható tartományba eső hibák egyik gyakori típusa a különböző homlokzati elem leválások és folytonossági hiányok, amelyek javítására olyan módszert dolgoztunk ki, amely segítségével a hibák javítása korszerű digitális módszerek segítségével történhet meg. Az épületdiagnosztikai rendszer által megjelölt hiányos épületrészletek lidar, vagy 3D szkennelvel készült pontfelhő adatait a szintén a projekt keretében fejlesztett, pontfelhő elemzésre és módosításra szolgáló szoftverbe, az EBKcc-be lehet betölteni. Ez a szoftver alkalmas a 3D pontfelhőt megjeleníteni, módosítani és a pontfelhőt 3D nyomtatáshoz előkészíteni.

Egy gyakorlati példával szemlélítve a folyamatot az alábbi ábrán láthatók (5. ábra) egy épületelem rekonstruálási folyamatának lépései. Ebben a példában egy sor hasonló homlokzati elem található az épületen. A szoftverbe a sérült és több hibátlan épületelem részlet is betölthető. A szoftver segítségével elemezhető, hogy mely hibátlan épületelem a leginkább hasonló a hibás épületelem megmaradt részeihez. A betöltött pontfelhőket tisztítás és hálóképzés után a két épületelem részletet a szoftver szinte automatikusan, egy kattintással egymásra helyezi. Az egymásra helyezett részletekből kivonás művelettel lehet kinyerni a hiányzó elemet, amely a 5. ábra jobbszélén látható.



5.ábra Rongálódott, hiányos részlet (bal oldalon), hibátlan részlet (középen) és a hiányzó, EBKcc által megoldott részlet bal oldalon

Az EBKcc által elkészült, csak a hiányzó részt tartalmazó elemrészlet nyomtatása azonnal elkezdhető, mivel a szoftver képes a pontfelhőből nyomtatásra alkalmas fájlformátumokat generálni. A nyomtatások a nyomtatandó részlet geometriai bonyolultsága, anyagminősége és méretei szerint eltérőek lehetnek. Az alábbi képen látható sarokelem kiegészítés sablonmintája nagyfelbontású 3D nyomtatóval lett kinyomtatva. A nyomtatott minta 2 komponensű shore 40-es kenénységű szilikonnal lett körbeöntve. A szilikon formába az épületelemmel megegyező anyagú beton került. Az így kapott elem, amely tökéletesen illeszkedik a tört felülethez (6/a ábra), időjárásálló betonragasztóval került felrögzítésre.



a.)



b.)

6. ábra Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) főépületének  
megrongálódott korlátelemeinek rekonstrukciója  
a.) Sarokelem kiegészítés; b.) Kovácsolt korlátdísz kiegészítés

A fenti példában említett korlátoszlop mellett található további hiba is kijavításra került a projekt keretében. A 6/b ábrán látható virágdísz kovácsolt elem egyik része hiányzott. A díszelem hiányzó részeinek rekonstruálásához az egész elemet le kellett gyártani. Az elem 3D szkennelése után a pontfelhő elemzés és javítás az EBKcc szoftverben történt, majd az elem legyártását 3D fémnyomtatóval végeztük el. Az így legyártott elemet már egészben lehet rögzíteni a korláthoz. Ezzel az eljárással a 3D nyomtatás magasabb költsége ellenére is rentábilisan javítható volt a hiányos korlátelem, tekintettel arra, hogy egy ilyen kovácsolt, vagy öntött alkatrész pontos, a meglévő elemekhez illeszkedő legyártása komoly szakértelmet és időt igényelne egy kovács szakembertől.

Jelenleg a mesterséges intelligencia a projektcélok között kitűzött alakzatokat lépcső felismerni, de tekintettel a technológia univerzális voltára, további tanítással a felismerhető elemek száma tovább növelhető. A jövőben felismerhető alakzatok lehetnek akár látható vakolat átnedvesedések, elszíneződések, mész-, szulfát-, klorid kivirágzások, vakolatleválások, vagy akár falfirka vagy egyéb rongálások is.

A szoftver segítségével az RGB tartományú fényképfelvételek alapján a látható tartományba eső hibák felismerését végezhetjük el, a hőkamerás felvételeken az épület hőtérképének anomáliáit detektálja a mesterséges intelligencia, míg a hiperspektrális adatok alapján a nem látható tartományokba eső anomáliákat tudunk elemezni.

## 5. Összefoglalás

A cikkünkben bemutatott projekteredmények alapján elmondható, hogy a megalkotott épületdiagnosztikai és épületrekonstrukciós rendszer hasznossága bizonyított. Az additív gyártástechnológiával legyártott épülethomlokzati elem kiegészítések idő és költséghatékony alternatívái lehetnek az hagyományos restaurálási folyamatoknak. Az 3D nyomtatással készült elemek költségei automatizáltan és pontosan meghatározhatóak. Mivel sem a felmérési folyamat, sem a rekonstrukció nem igényli a restaurálandó épület módosítását, így műemlék jellegű épületeknél is alkalmazható a rendszer. Komoly lehetősége a rendszernek, hogy a munkafolyamatai sokkal pontosabbak és gyorsabbak is lehetnek, mint a jelenlegi restaurálási munkafolyamatok. Pontos és azonnali feltárásokat lehet lefuttatni a rendszer segítségével. Így a költségeket, munkaidő ráfordítást, anyagmennyiségeket relatív pontosan lehet meghatározni, ami az építőiparban nagy versenyelőnyvel járhat. A kidolgozott digitális eszközök és műveleti folyamatok a folyamatos felhasználás mellett tovább igazíthatók az épületrekonstrukciós napi gyakorlathoz.

## Köszönetnyilvánítás

A jelen publikáció létrejötté a GINOP-2.2.1-18-2020-00022 számú projekt keretében nyújtott támogatással valósult meg.

### Irodalmi hivatkozások

- [1] Dr. Császár László: A műemlékvédelem Magyarországon. Képzőművészeti Kiadó, Bp., 1983
- [2] Műemlékvédelmi, homlokzatfelújítás, vakolatjavítás, sótelenítés, <https://kreativlakas.com/vakolat/muemlekvedelmi-homlokzatfelujitas-vakolatjavitas-sotalanitas/> (Utolsó letöltés: 2023.04.02.)
- [3] Javier Plaza, A. P. (2018). “Parallel Classification of Hyperspectral Images using Neural Networks”. In Computational Intelligence for Remote Sensing, (old.: 193-216).
- [4] Laefer, P. D. (2018. október 8). Discovers a New Way to Analyze Building Strengths and Weaknesses. Forrás: New York University Tandon School of Engineering: <https://engineering.nyu.edu/news/professor-debra-laefer-discovers-new-way-analyze-building-strengths-and-weaknesses>