



MAGYAR ÉPÍTŐIPAR

HUNGARIAN BUILDING INDUSTRY

LXXIII. | 2024.3.



A Szerk. TISZTELT OLVASÓNK!



Horváth Tamás PhD
főszerkesztő

ÉLETCIKLUS ÉRTÉKELÉS. Az 1970-es években jelent meg a Life Cycle Assessment (LCA) módszertana a termékfejlesztés területén. Segítségével számszerűsíteni tudjuk az egyes termékek teljes életútjához kapcsolódó környezeti hatásokat. Az építőipar, építéstudomány területén – az épületet termékként vizsgálva – az 1990-es évek óta alkalmazzuk egyre elterjedtebben (1997-től ISO 14040 szerint). A 2000-es évektől megjelennek az építőanyag adatbázisok, melyek megteremtik a standardizált alkalmazás hátterét; majd azok a szoftverek is, melyekkel a számítások egyszerűen elvégezhetővé válnak. Ezzel a háttérrel az LCA kiválóan alkalmazható vizsgálati módszerré vált a fenntarthatóságot, környezettudatosságot elemző tudományos kutatásokban. 2024-ben a ScienceDirect több mint 8700 cikket listáz az LCA keresőszóra, melyek közül több mint 3700 foglalkozik épületekkel.

E trendnek megfelelően folyóiratunkhoz is rendszeresen érkeznek olyan írások, melyek a fenntarthatósággal, az építés, az épületek vagy egyes építőanyagok környezeti hatásaival foglalkoznak, és az életciklus szemléletet alkalmazzák. Aktuális számunkba négy ilyen cikket adunk közre. Kósa Balázs építésztervezőként közelít az épületek életciklusához, számba véve a meglévő épületek lehetséges jövőképeit. Kárpáti József a kivitelezői oldalt képviselve érvel az alacsony környezeti hatásokkal bíró, természetes építőanyagok még elterjedtebb használata mellett. V. Nagy Zoltán a legelterjedtebb épületszerkezeti megoldások kombinációit hasonlítja össze egy képzeletbeli lakóépület esetében a beépített szén-dioxid mennyiségét tekintve. Szecskő Heléna pedig egy konkrét lakóépület esetében vizsgálja a tartószerkezet és a hőszigetelés anyagválasztásának környezeti jellemzőit. Mindemellett beszámolunk a 2024-es Építők napja rendezvényről és az ott átadott elismerésekről. 50 éve írtuk rovatunkban pedig Domokos Györgyné és Horkai András segítségével a fotogrammetria fejlődését tekinthetjük át.

Az életciklusban és a környezeti hatásokban gondolkodás szép fokozatosan beszivárgott a mindennapjainkba, amiben nem elhanyagolható szerepe van annak, hogy a környezetbarát vagy fenntartható jelző marketing erővel bír. A folyamat kritikusi ezzel kapcsolatban a greenwashing jelenséget szokták felemlíteni, mely kétségtelenül jelen van a piacon, és fokozott óvatosságra inti a fogyasztókat. Bízunk benne, hogy a Magyar Építőipar LCA témájú cikkei segítenek jobban megérteni és átlátni a fenntarthatóság témáját az építési megoldások területén.



Magyar Építőipar | Hungarian Building Industry

Főszerkesztő: **Horváth Tamás PhD** – SZE, Győr

A szerkesztőbizottság elnöke: **prof. dr. Becker Gábor** – BME, Budapest

A szerkesztőbizottság tagjai:

Bozsaky Dávid habil PhD – SZE, Győr; **prof. Kiss Rita**, az MTA levelező tagja / BME, Budapest;

Molnár Tamás habil DLA – PTE, Pécs; **Nagy Balázs PhD** – BME, Budapest;

Szabó Péter PhD – SE, Sopron; **Terjék Anita PhD** – ÉMI, Szentendre / ME, Miskolc;

Vizi Gergely PhD – ÓE, Budapest; **Völgyi István PhD** – BME, Budapest

HU ISSN 3094-211X – A folyóirat lektorált cikkeket tartalmaz. Megjelenik negyedévente.

Szerkesztőség: 1095 Budapest, Mester utca 87. Tel./fax: 06 1 201-8416,

Kiadja: ÉTÉ Szakértő és Magyar Építőipar Kiadó Szolgáltató és Kiadói Kft.

Felelős kiadó: Dévai Zoltán | Kiadványszerkesztés: Horváth Tamás PhD

e-mail: info@epitokiado.hu, internet: <https://magyarepitoipar.com/>

Címlapon: Kósa Balázs fényképe az Antiquarium makettjéről,

a Soproni Egyetem botanikus kertjében álló, használaton kívüli üvegház kiállítótérre alakításáról

2024.3. TARTALOM | CONTENTS

107 BEVEZETŐ	Horváth Tamás Tisztelt Olvasónk! <i>Dear Reader!</i>
109 PRAXIS	Kósa Balázs Reanimáció vagy eutanázia? Gondolatok épületeink életciklusáról <i>Resuscitation or euthanasia?</i> <i>Thoughts on the life cycle of our buildings</i>
117 ZÖLD / ENERGIA	Kárpáti József CO₂ semleges épületek <i>Carbon neutral buildings</i>
122	V. Nagy Zoltán Lakóépületek összehasonlító beépített-karbon elemzése <i>Comparative embodied carbon analysis of apartment buildings</i>
127	Szecskő Heléna, Horváth Tamás Alacsony energiaigényű lakóépület komplex tervezése: épületszerkezetek, energetika és életciklus elemzés <i>Complex design of a low-energy residential building:</i> <i>building structures, energy and life cycle analysis</i>
136 AKTUÁLIS	Az Építéstudományi Egyesület sajtóközleménye alapján A 2024-es Építők napja szakmai elismerései <i>Professional recognitions of Builders' day 2024</i>
139 50 ÉVE ÍRTUK	Domokos Györgyné Tetőfelületek felmérése fotogrammetriai eljárással <i>Surveying roof surfaces using photogrammetry</i>
144	Horkai András Kommentár Domokos Györgyné „Tetőfelületek felmérése fotogrammetriai eljárással” című 50 éve megjelent cikkéhez <i>Commentary on the 50 years ago published article of</i> <i>Domokos Györgyné “Surveying roof surfaces using photogrammetry”</i>

Kósa Balázs*

REANIMÁCIÓ VAGY EUTANÁZIA? GONDOLATOK ÉPÜLETEINK ÉLETCIKLUSÁRÓL

RESUSCITATION OR EUTHANASIA? THOUGHTS ON THE LIFE CYCLE OF OUR BUILDINGS

KIVONAT / HUN

A cikk párhuzamot von az emberi test gyógyítása és az épületek rekonstrukciós eljárásai között, bemutatva azokat a döntési folyamatokat, amelyek egy épület megmentéséhez vagy elbontásához vezetnek. Hangsúlyozza, hogy egy épület sorsa soha nem lehet egyenrangú egy emberi élet értékével. Az orvosi anamnézishez hasonlóan az építészeti tervezés is az előzmények és a jelenlegi állapot alapos feltárásával kezdődik, melyet beavatkozási javaslatok követnek. A cikk különféle megközelítéseket tárgyal, például esztétikai beavatkozásokat, bővítéseket (protézis), részek eltávolítását (rezekció), valamint az elemek újrahasznosítását (transzplantáció). Kitér az épületek „eutanáziájára” is, amikor az állapotuk már nem teszi lehetővé a megmentést.

A szerző a holisztikus tervezési szemléletet és az ökológikus gondolkodást hangsúlyozza, bemutatva a felelősségteljes építészeti döntések fontosságát.

Kulcsszavak: épületek életciklusa, rezekció, komplex beavatkozás, reanimáció

ABSTRACT / ENG

The article draws parallels between the healing processes of the human body and the reconstruction procedures of buildings, highlighting the decision-making processes that lead to either the preservation or demolition of a structure. It emphasizes that the fate of a building can never be equated with the value of a human life. Similar to medical anamnesis, architectural planning begins with a thorough investigation of the history and current state, followed by intervention proposals. The article explores various approaches, such as aesthetic interventions, extensions (prosthetics), partial removals (resections), and the reuse of elements (transplantation). It also addresses the “euthanasia” of buildings when their condition no longer allows for preservation. The author underscores the importance of a holistic design perspective and ecological thinking, advocating for responsible architectural decisions.

Keywords: life cycle of buildings, resection, complex intervention, resuscitation

* építésztervező művész, DLA, egyetemi tanár, Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Keatívipari Kar Kreatívipari Intézet,
e-mail: kosa.balazs@uni-sopron.hu

Reanimáció vagy újraélesztés: A reanimáció nem csak orvosi berkekben használatos kifejezés, az általános szókincs részét képezi. A szó eredete latin. A „re” előtag valami újra bekövetkezésére utal, az „anima” szó annyit tesz: lélek. Jelentése ebből fakadón: valakit lélekkel újra elárasztani.

Eutanázia: Az eutanázia a menthetetlen, gyógyíthatatlan betegségben szenvedők halálának, a páciens kérésére, vagy annak beleegyezésével történő passzív vagy aktív meggyorsítása. Jelenti a beteg részéről a nem szükséges orvosi beavatkozásokról való asszertív lemondást is.

1. | BEVEZETÉS

A cikk egy eszmefuttatás, amely lehetséges hasonlóságokat vizsgál az emberi test gyógyítási folyamatai és az épületek állagjavító eljárásai között. Lajstromba veszi azokat a fázisokat, amelyek az anamnézistől a felgyógyulásig, vagy végső esetben az eutanáziáig, halálig vezetnek. Tisztázandó ugyanakkor, hogy egy épület, építmény sorsa – legyen az akármilyen kiemelkedő építészeti jelentőséggel bíró alkotás – sosem kezelhető egyenrangúként egy emberi léttel sem. Az írás konkrét példákon keresztül kívánja bemutatni azokat a döntési folyamatokat, amelyek egy meglévő épület megmentéséhez vagy elbontásához vezetnek.

Ha valakit fogfájás gyötör, vagy fogpótlásra szorul, megtalálja a megoldást. Egy baleset következtében elveszített végtagot napjainkban már lehet pótolni – hála a technológiai fejlődésnek egyre jobban megközelítve az eredeti állapotot –, a halláskárosodást, a szív nem rendeltetésszerű működését is egyre nagyobb hatékonysággal lehet korrigálni. Ezáltal az illető életminőségében jelentős javulás áll be, sok esetben a panasz teljes mértékben megszűnik, a működés zavartalanul folytatódik tovább. Ehhez minden esetben szakemberek által végzett beavatkozás szükséges.

A mindennapi gyakorlat során biztosan minden építész kolléga találkozott – talán nem is csekély számban – olyan helyzettel, mikor a megrendelő meg sem vizsgálta a telkén álló épület újra használatának vagy újra hasznosításának lehetőségét. Sőt, sokszor már csak a bontást követően kialakult üres telek látványa fogadja a helyszínre érkező

mérnököt. Nem alapvetés az épületek megmentése. Az esetek egy részében az adekvát válasz valóban a bontás. Sokszor azonban egy kis odafigyeléssel, kreativitással és alázattal épített környezetünk megmenthetővé válhatna.

Az ügyfelek nem kéri szakember segítségét, aki felvázolhatná a területen álló „test” megmentésére, használhatóságára szolgáló stratégiát. (Természetesen a védettséget élvező épületek a hivatali rendből fakadóan kivételt képeznek). Jóllehet a jelenleg kialakult gazdasági helyzetben – az alapanyag hiányából fakadó építőanyag árak egekbe szökése, a munkadíjak emelkedése – a meglévő ingatlan állomány hasznosítása ésszerűbb döntés, kézenfekvő alternatíva lenne az új építéssel szemben. Ahogyan az orvos az emberi szervezetet ismeri és működését segíti, úgy hivatott beavatkozási javaslatokat tenni az építész is a saját területén. Ehhez azonban időben, a megfelelő periódusban szükséges felkeresni a szakembert, ami számos esetben nem teljesül.

Az orvosi eljárások és az építészeti folyamatok nagyon hasonló módon kezdődnek. A gyógyító feladata a gyógyítás, az emberi életért való küzdelem a végsőig. Betegség esetén mindenki a felépülés reményében fordul orvosához. Bármennyire is komoly a probléma, nem lehet más a cél, mint a hatékony kezelési mód megtalálása, az alany életének megmentése, az egészséges állapot legnagyobb mértékben történő visszaállítása. Ennek érdekében a folyamatban résztvevő felek szövetséget kötnek, a kezelést végző – optimális esetben – a kezelt fél bizalmát élvezzi. A pozitív kimenetel érdekében mind a két résztvevő mérlegel és döntések születnek. Ahhoz azonban, hogy kezdetét vehesse a mérlegelés, a lehetőségek felvázolása, egy alapos tényfeltáró párbeszédre, anamnézisre van szükség.

2. | ANAMNÉZIS

Az anamnézis (görögül anamnésisz: „visszaemlékezés”, innen az orvosi jelentés kórelőzmény) jelenti valamennyi orvostudományi szakágazatban a vizsgálat egyik alappillért. Az anamnézis felvétele során az orvos célja a beteg kórtörténetének, valamint jelen panaszainak megismerése és rögzítése [1].

Az építész szerepe is ebben a fázisban kezdődik. Ehhez azonban a megrendelőnek tisztelnie kell a tervezőt, nem pedig egy az épület megvalósításához szükséges rosszként számon tartani, ahogyan azt sok esetben teszik manapság.

Az emberi test kórtörténetét autoanamnézis és heteroanamnézis formájában lehetséges feltérképezni. Az autoanamnézis során a betegről magától tudhatja meg a kezelőorvos az előzményeket, míg a heteroanamnézis egy körülményesebb folyamat, hiszen ezekben a szituációkban a páciens eszméletlen, öntudatlan, cselekvőképtelen, vagy nem rendelkezik beszédképességgel. Ezt a megfelelő vizsgálatok (labor, képalkotó vizsgálatok) követik, amit aztán a terápiás döntéshozatal követ.

Ezzel párhuzam fedezhető fel az épület az építészeti tervezés során is. A helyszíni szemle és a tulajdonosok (jelenlegi és korábbi) elbeszélése a heteroanamnézist helyettesítik, míg az autoanamnézist a geometria felméréssel, pontfelhős és drónos vizsgálatokkal lehet párba állítani. A vizsgálatok, laboratóriumi eljárások építészeti megfelelője lehet a levéltári kutatás, az épület sorsát pedig a részletes műszaki szakértői vizsgálatok, felmérési dokumentációk elkészítését követően lehet meghatározni. Ezt az eljárást sok esetben mellőzik a megrendelők, esélyt sem adva az „életmentőknek”.

Abban az esetben, amikor a tulajdonosok hajlanak a bontás ellenében a megtartásra, akkor szükséges meghatározni a beavatkozás mértékét. Ezek tekintetében az írás a korábbi gondolatmenetet követve különbséget tesz esztétikai beavatkozás, protézis, rezekció, transzplantáció, valamint az ezeket összegző komplex beavatkozások között, majd kitér a végső, elkerülhetetlen megoldásra, az eutanáziára is.

3. | TERÁPIÁS LEHETŐSÉGEK

3.1. ESZTÉTIKAI BEAVATKOZÁS

Ez az egyik legaktuálisabb építészeti, belsőépítészeti feladat pillanatnyilag. Ahogy arra az írás már korábban kitért, a gazdasági megszorítások hatására sokan döntenek az új építés helyett a

költséghatékonyabbnak bizonyuló kisebb átalakítások mellett. Amikor a pénzügyi helyzet nem tesz lehetővé többet, mint minimális beavatkozásokat, de a funkcióváltás, életkörülmények megváltozása, új reprezentációs igény megjelenése mégis megköveteli a változást, akkor építészeti esztétikai beavatkozásokról van szó.

„Meglévőség esetében sokszor fordul elő, hogy nem, vagy csak kis mértékben szükséges átalakítani azokat. Minimális mennyiségű reformot igénylő épületek terei viszonylag egyszerűen és gyorsan képesek arra, hogy az adott kor szellemének megfelelő lakók által támasztott igényeknek eleget tegyenek. Az ilyen beavatkozások csupán regeneratív, esztétikai jellegűek. Céljuk a jól funkcionáló terek átgondolása – amely nem csupán lakberendezői, belsőépítészeti feladat –, hogy azok a transzformációt követően továbbra is képesek legyenek funkciójukat jól ellátni. A legegyszerűbben kivitelezhető beavatkozás típusok ezek, amelyek kis energiabefektetéssel, költséghatékonyan fiatalítják meg, aktualizálják az adott épületet.” [2]

Ilyen megoldás lehet egy konyhabútor cseréje, tetőtér (korábbi padlástér) kihasználását elősegítő vertikális közlekedésre szolgáló lépcsők elhelyezése, bútorok, mobíliák cseréje, nem tartószerkezeti falak létjogosultságának vizsgálata.

Az **1. ábrán** egy balatonlellel nyaraló-épület vertikális közlekedő rendszerének kialakítása látható. A megrendelő a korábbi tetőtér alapterületét kicsinek találta. Az tető megemelésére azonban nem nyílt lehetősége, így abban kért segítséget, hogy a lehetőségekhez mérten optimalizáljuk a tereket. Ennek egy része volt a lépcső terének kialakítása, újratervezése. A földszinten a kisebb helyiségek összenyitásával (háló, konyha és nappali külön helyiségek voltak) tágasabb tér jött létre, így a család kényelmesebben élheti meg a nyár pillanatait. A tetőtérben a közlekedők rováására egy másik hálókiosztást alakítottunk ki, így a földszinten megszüntetett funkció elhelyezhető volt az emeleten. A nappali tartózkodás terei jobban használhatóvá váltak és jól elkülönülnek az éjszakai tartózkodás helyiségeitől. A meglévő térstruktúra álmennyezettel történő korrekciója szintén a mikrobeavatkozások témakörébe sorolható. Ahogy az elektro-

mos hálózat korszerűsítését magával vonó világítástechnikai eszközök cseréje is. A háztartások elengedhetetlen tartozékaiá váltak a mosogatógépek, sütők, nagy teljesítményű háztartási eszközök, amelyek használata sok esetben párhuzamosan zajlik. Ehhez a korábban beépített – mára már elavult – elektromos hálózat megújítása elengedhetetlen.

Sokszor mindössze ilyen jellegű beavatkozások hiánya okozza az épületet használók diszkomfort érzetét. Amennyiben a javasolt változtatások kielégítik a felhasználói igényeket, abban az esetben az ingatlan lebontása, nagymértékű, költséges átalakítása, eladása megelőzhető.

3.2. PROTÉZIS

„A protézis [a görög proszthémi szóból származik, jelentése: prosz – elé, thémi – tesz] amputált végtagot, hiányzó szervet pótló technikai berendezés.” [3]

Már 36 000 éves spanyolországi és franciaországi barlangrajzokon is ábrázoltak olyan alakokat, akik elvesztették végtagjukat. A korszerű orvostudomány megjelenése előtt ezek az emberek nem élhettek teljes életet. A protetika tudománya a civilizáció megszületésével egy időben indult fejlődésnek. Mára, hála a biomechanikai kutatásoknak, amelyek a kisebb energiaigényű, a fiziológiához hasonló és egyre finomabb mozgások lehetővé tételét tűzik ki cé-



1. ÁBRA: Vertikális közlekedés egy nyaralóban (fotó: Kósa Balázs, helyszín: Balatonlelle)

lul, sok ember élhet szinte teljes értékű életet.

Amennyiben egy épület belső tereinek átalakítása már nem elégíti ki a benne életvitelszerűen tartózkodók szükségleteit (például a háztartásban élők számának növekedése vagy a privát terek iránti igény miatt), de a teljes épület lebontásának szükségessége nem igazolható, és a telek bővítési lehetőségeket kínál, a hiányzó tereket „protézis” jellegű bővítményekkel helyettesíthetjük. Ez az intervenció alkalmazható mind családi házak, mind közösségi funkciót ellátó épületek esetében. Az ilyen adaptív átalakítások sem kerülhetik meg az anamnézis és a részletes diagnosztikai folyamatok elvégzését, beleértve a feltárásokat, a strukturális analízist és a szerkezeti állapotfelméréseket, amelyek az alapos döntéshozatal fundamentumai. Amennyiben ezek a folyamatok jelentős költségtöbblettel járnak, indokolt lehet a részleges bontást követő újraépítési alternatíva mérlegelése.

Az épületprotézisek létrehozásával szemben nem követelmény a gazda-épület szerkezeti megoldásainak teljes reprodukciója; ugyanakkor az eltérő építészettörténeti korszakokból származó elemek közötti szinkronizáció elengedhetetlen. Az építészet nem csupán technokrata megközelítést igényel, hanem esztétikai hierarchia kialakítását is megköveteli, tiszteletben tartva az épület történeti és kulturális jelentőségét. A funkcionálisan indokolatlan, redundáns elemek eliminálása és a gondosan megtervezett bővítmények integrációja biztosítja, hogy a kiegészítés az épület szerves részévé váljon.

Pelényi Margit által (Dancs Tamás és Kósa Balázs közreműködésével) tervezett kővágószőlősi közösségi ház esettanulmánya jól demonstrálja ezt a metodikát (**2. ábra**). Míg a település lakói új épület megalkotását tervezték, a tervezői felelősségvállalás rávilágított arra, hogy a meglévő épület „protézis”-szerű kiegészítése költség-hatékonyabb és fenntarthatóbb megoldást nyújthat.

Az új és meglévő elemek csatlakozásának mérnöki artikulációja, amely a projekt egyik kritikus pontja volt, különös figyelmet kapott. Az épület homlokzatának színvilága – a helyi vörös homokkőből származó színárnyalattal – szervesen illeszkedik a település összképéhez, tovább erősítve a környezetével való szimbiotikus kapcsolatot. Az ilyen gondos tervezői attitűd hozzájárul ahhoz, hogy az érintett közösség sajátjának érezze az épületet.

3.3. REZEKCIÓ

A rezekció orvosi értelemben egy szerv, vagy egy szerv részének sebészi eltávolítása, bármilyen okból kifolyólag, amennyiben az nem rendeltetésnek megfelelően működik.

Bizonyos épületek, még a legkiválóbb tervezői és mérnöki kezek munkája nyomán létrejött alkotások esetében is, idővel revízióra szorulnak mind esztétikai, mind műszaki, mind funkcionális



2. ÁBRA: Kővágószőlősi közösségi ház bővítése (fotó: Pelényi Margit, helyszín: Kővágószőlős)

aspektusok mentén. Ez az igény a folyamatos fejlődéssel párhuzamosan jelentkezik, amelyek a változás és alkalmazkodás szükségességét vonják maguk után. Gyakran előfordul, hogy az optimális működést akadályozó strukturális elemek vagy használaton kívüli térkapacitások rezekciója válik szükségessé, hogy helyet biztosítsanak új, releváns funkcióknak. Az épületek életciklusa során az ingatlan tulajdonjogában fellépő változás szintén gyakran eredményezi az igények, sőt, akár az alapvető funkciók redefiniálását. Az épületek tovább élésének (épületként, építőanyagként vagy alkatrészként) folyamatát a történeti építészet vonatkozásában kiválóan mutatja be Guzsik Tamás Középkori építészettörténet című egyetemi jegyzetében a Római Birodalom bukását követő évszázadokat ismertető fejezetekben.

A Pécssett megvalósult Modern Városok Program keretében számos épület esett át revitalizációs beavatkozásokon, ideértve az Apáczai utcai épületegyüttest is, amely műemléki védelem alatt áll. A város központjában megvalósult Tudásközpont létrejötté révén korábban különálló épületekben elhelyezett könyvtárak váltak feleslegessé, így például a korábban Csorba Győző Könyvtárként funkcionáló épület is hosszú időre használaton kívülé vált. Az új funkció – a Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Karának elhelyezése – integrálása érdekében a tervezési folyamat során elkerülhetetlenné vált bizonyos terek rezekciója, hogy az új igényekhez igazodó, modern funkciók kapjanak helyet. A tervezés során ugyanakkor alapvető fontosságú volt az épület történeti és építészeti értékeinek megőrzése, a beavatkozás mértékének minimalizálása érdekében. Az eredeti architektonikus karakter megőrzése mind az épület külső homlokzatán, mind belső tereiben nyomon követhető maradt (lépcsőházak, az épület történeti szerkezetei, az értékléltárban felsorakoztatott beépített bútorok és mobíliák).

Hasonló koncepció vezérelte a pécsi Széchenyi tér északnyugati térfalát képező Szepesi utcai épületegyüttes átalakítását is (3. ábra). Az intervenció mértéke – a korábbi példához hasonlóan – a szükséges minimumra korlátozódott, hogy megóvják a meglévő struktúra integritását. Ezek az adaptív

megoldások kiváló példái annak, hogy az építészeti evolúció során hogyan válaszítható meg a felhasználói igények és az esztétikai koherencia közötti harmonizáció a történeti környezet iránti tisztelet megőrzése mellett.

Ezek az eljárások sokszor komolyabb kihívások elé állítják a tervezőt, mint egy új épület megalkotása, ezért etikai és morális érettségről tesz tanúbizonyságot, ha egy ilyen feladat helyes megoldást eredményez. Az elvi kérdéseken túl számolnia kell a tervezőnek és beruházónak is azzal, hogy kisebb kompromisszumok megkötésével is jár ez a fajta szemléletmód.

3.4. TRANSZPLANTÁCIÓ

A transzplantáció vagy másnéven szervátültetés egy adományozó, azaz donor és egy befogadó fél, más néven recipiens között történő szerv- vagy szervrészlet átadását jelenti.

Amikor egy épület már nem képes betölteni eredeti funkcióját, azonban egyes szerkezeti elemei, építőanyagai vagy más részletei még megfelelő állapotban vannak, az épületet donorstruktúraként lehet kezelni. Az ilyen „haldokló” épületek maradványelemeinek vagy komponenseinek újrafelhasználása jelentős potenciált hordoz az



3. ÁBRA: A Szepesi utcai épülettömb megújítása (fotó: Kósa Balázs, helyszín: Pécs)

építészeti és mérnöki megközelítések szempontjából. A korábbi rendeltetési helyükön már nem hasznosítható anyagok és szerkezetek adaptív reutilizációja egyértelműen az ökológikus szemléletmód előtérbe helyezését tükrözi, amely nem csupán fenntarthatósági, de esztétikai és technológiai értelemben is releváns.

Ez a reutilizációs metodika olyan progresszív attitűdöt követel meg, amely a kreatív újraértelmezésen alapul, figyelembe véve az anyagciklusok optimalizálását és az erőforrások maximális kihasználását. Az ilyen gyakorlatok egyúttal az épített környezet és a természet közötti szimbiotikus kapcsolat fenntartására irányulnak. Az épületelemek dekontextualizált felhasználása és új célra történő integrációja lehetőséget nyújt az anyagok élettartamának meghosszabbítására, minimalizálva ezzel a hulladékképződést és az új alapanyagok iránti igényt. Ez a cirkuláris építési szemlélet nemcsak az erőforrásokkal való felelős gazdálkodást, hanem a tervezői kreativitást is ösztönzi, elősegítve az építészet holisztikus megközelítését.

A Birdhouse névre keresztelt projekt egy orfúi nyaralóépület reinterpretációja (**4. ábra**), amely az eredeti struktúra átgondolt adaptációjával valósult meg. A megrendelő egy az időjárás viszonyosságaitól jelentősen károsodott épületet örökölt, amely sem a kortárs

funkcionális elvárásoknak, sem a környelmi igényeknek, vagy esztétikai szempontjainak nem tudott megfelelni. A dekonstruálási folyamat során azonban olyan szerkezeti elemek kerültek elő, amelyek bár eredeti teherhordó funkciójukat már nem voltak képesek ellátni, tisztítás és revitalizáció után az épület homlokzatburkolataként kerültek újra felhasználásra. Ezáltal a tulajdonos nem csupán az építési költségeket optimalizálta, hanem saját családi örökségének egy részét is megőrizte, amely számára jelentős eszmei értékkel bírt.

Az új homlokzati elemek mellett az épület belső terei is figyelemre méltó példákat kínálnak a kreatív revitalizációra. Az enteriőr részleteit hallgatói bútorok gazdagítják, amelyek a transzplantációs szemlélet jegyében születtek. Ilyen például a létrából kialakított bár-szék vagy az épület alapozásából kinyert betonból készült csepegtető kávéfőző, de természetesen számos már betonból készült design tárgy is. Az ilyen újrahasznosított elemek nem csupán fenntarthatósági szempontokat tükröznek, hanem hozzájárulnak az épület egyedi identitásának kialakításához is.

A transzplantáció sikeressége azonban szorosan összefügg a befektetett munka és anyagi ráfordítás arányával. Az erőforrásallokáció hatékonyságát és a költségek kumulatív hatását szüksé-

ges alaposan elemezni, mivel ha ezek a tényezők gazdasági veszteségként jelennek meg, akkor a transzplantáció nem tekinthető hatékony megoldásnak. Az optimális esetben a projekt során már a korábban végzett diagnosztikai elemzések és előzetes vizsgálatok jelzik, hogy a transzplantáció fenntartható módon megvalósítható-e, és ennek hiányában az eljárástól el kell tekinteni. Az ilyen megközelítés biztosítja, hogy a transzplantációs eljárás mind gazdasági, mind környezeti értelemben felelős döntéseken alapuljon.

3.5. KOMPLEX BEAVATKOZÁSOK

Az építészeti beavatkozások elméleti megközelítése során a rezekció, transzplantáció és protézis fogalmait gyakran egymástól elkülönítve kerülnek tárgyalásra, különösen didaktikus szemléletmód esetén. Azonban a gyakorlatban ezek az intervenciók technikák ritkán jelennek meg izolált módon; legtöbbször egymással szorosan összefüggő, egymást kiegészítő folyamatokat alkotnak. Az egyes beavatkozások közötti szinergiák különösen fontosak az épületek adaptációja és újrafelhasználása során, hiszen ezek együttes alkalmazása eredményez komplex beavatkozási modelleket, amelyek az építészeti fenntarthatóságot és az erőforrás-hatékonyságot szolgálják. Egy kiváló példa erre az Artiquarium projekt, de korábban elemzésre került a Solar Decathlon 2019-es Hungarian Nest + [4] és a 2022-es Lungs of the city [5] [6] min-taépület is ebben az összefüggésben.

Az Artiquarium a Soproni Egyetem Botanikus Kertjében egy használaton kívüli üvegház kiállítóterré történő átalakítását célozta meg (**5. ábra**). Az átalakítás során az egyes intervenciók egymással párhuzamosan jelentek meg. A rezekció módszertanával eltávolították a felesleges elemeket, beleértve az elavult öntözőrendszert és a tér funkcionális szempontból irreleváns bútorait. Ezeknek az elemeknek az eliminációja biztosította a tér alapvető tisztaságát és alkalmasságát a további beavatkozások befogadására. A transzplantáció elve az épület részleteinek és anyagainak újrafelhasználásában valósult meg. A korábban beépített bútorok kreatív átalakításával új funkciókat kaptak, miközben az egyik



4. ÁBRA: A Birdhouse látványterve (látványterv: Gazdag Gábor, Kósa Balázs, helyszín: Orfű)

bútorgyár által selejtesnek ítélt elemek posztamensként kerültek beépítésre. Továbbá a Salgó polcrendszer átalakításával a projekt az adaptív reutilizáció modelljét erősítette, amely nemcsak az anyagok életciklusának meghosszabbítását célozta, hanem a helyi anyagi és eszmei értékek megőrzését is szolgáltatta. A protézis beavatkozások az épület funkcionalitásának kiegészítését célozták meg. Ennek keretében az árnyékoló rendszer és az előtető tervei olyan új elemekként jelentek meg, amelyek biztosítják az üvegház fenntartható működését és kényelmes használatát. Az újonnan beépített struktúrák az épület eredeti karakteréhez szervesen illeszkedve hoztak létre egy holisztikus térbeli összhangot.

Az Artiquarium projekt nem csupán technikai beavatkozások összessége, hanem az építészet ökológikus és szocio-ökológiai megközelítésének manifestációja is. A tér újraértelmezése során az ember és a természeti környezet közötti szimbiotikus kapcsolat helyreállítása volt a kiemelt cél. A projekt a táj, az esztétika és az épített környezet interakciójának lehetőségeit vizsgálva választott korunk azon kihívására, hogy az ember fokozatosan elveszíti kapcsolatát az őt körülvevő természeti környezettel. Az ilyen fenntartható adaptációs stratégiák egyúttal az építészet multidiszciplináris karakterét hangsúlyozzák, ahol a műszaki és esztétikai szempontok harmonikus egységet alkotnak. Az Artiquarium tehát kiváló példája a

komplex beavatkozásoknak, ahol a rezekció, transzplantáció és protézis egymást kiegészítő eljárásaival egy elhagyott üvegház új életre kelt, nemcsak a helyi közösség számára nyújtva új funkciót, hanem az épített környezet és a természet közötti harmóniát is erősítve. Az ilyen átalakítások nem csupán az anyagok fizikai újrahasznosítását célozzák, hanem a tér eszmei jelentőségét is új szintre emelik, demonstrálva az építészet felelősségét a fenntartható jövő kialakításában.

3.6. EUTANÁZIA

Amikor a patológiai állapot oly mértékben progrediál a szervezetben, hogy az élet már nem hordozza magában a pozitív életminőséget, hanem kizárólag fájdalmat és szenvedést eredményez, felvetődik az eutanázia kérdésköre. Az eutanázia alkalmazása számos morális dilemmát vet fel, amelyek az orvosi praxisban is jelentős kihívást jelentenek. Mind az aktív, mind a passzív eutanázia számos országban jogilag szankcionált, és csak kevés helyen minősül legális eljárásnak, éppen a potenciális visszaélések és a döntéshozatali mechanizmusok komplexitása miatt.

Az építészeti analógiákban az eutanázia kérdésköre hasonlóan komplex és érzékeny kérdésként jelenik meg. Olyan esetekben, amikor az épület strukturális degradációja és funkcionális elégtelensége oly mértékűvé válik, hogy fenntartása már nem indokolt, az építész a kegyes bontás mellett dönthet. Ez a döntés számos tényezőtől függ, beleértve a kulturális narratívákat, a gazdasági racionalitást, valamint a szocio-ökológiai hatásokat is. A döntéshozatali folyamat során az építésznek figyelembe kell vennie a környezeti hatásokat, és lehetőség szerint minimalizálnia kell a közvetlen környezetre gyakorolt negatív következményeket. Az eutanázia építészeti alkalmazása – hasonlóan az orvosi gyakorlatban megjelenő változataihoz – csak a legvégső megoldásként értelmezhető. Az ilyen döntések általában hosszadalmas elemzési és mérlegelési folyamatokat követnek, amelyek során az összes lehetséges alternatív beavatkozást mérlegelik, beleértve a rekonstrukciós lehetőségeket, a transzplantációs megoldásokat, valamint a protézis beavat-



5. ÁBRA: Artiquarium makett a helyszínen (fotó: Kósa Balázs, helyszín: Sopron)

kozásokat. Ezen végső intervenciók során a cél az, hogy az épített környezet, amennyiben már nem tud megfelelni az alapvető funkcionális és esztétikai kritériumoknak, méltósággal szűnjön meg, helyet adva új, fenntartható struktúráknak. Az eutanázia ilyen alkalmazása az építészet területén egyaránt szolgálhatja a közösség érdekeit, miközben tiszteletben tartja a kulturális és történeti értékeket. Ennek érdekében az építészeti eutanázia csak akkor válhat legitimé, ha a döntés mögött átfogó és felelősségteljes elemzés áll, amely figyelembe veszi a fenntarthatóság, a környezeti terhelés és a kulturális kontinuitás aspektusait.

Az Orfűi-tó nádasában megbújva rejtőzik egy fa építmény (6. ábra), amely sokak keze munkáját dicséri. A helyén korábban egy rozsdásodó vízi építmény állt, amely nem csak esztétikai szempontból lógott ki a tó miliójéből, de a szerkezet amortizálódott darabjai a tó vizét és környezetét is szennyezték. Az építmény helyére megalkotott sokak által stégkápolnaként emlegetett installációt Nest névre keresztelték az alkotók. A terület érezhetően fellélegzett, amikor a korábbi épületet eltávolították és megjelent a természettel egybeolvadó építmény [7].

„A közösségi tervezés eszközeivel kiválasztott, spiritualitáshoz és természeti környezethez kapcsolódó gondolatokat ötvöző koncepció a nád által elzárt természeti tér szakralitását törekszik megragadni. Az eredmény egy egyszerű faszerkezet, mely a környező természeti elemeket, azok egymáshoz való viszonyát képezi le. A forma az építés legegyszerűbb formáját, az egymásnak döntött ágakat, a hajlékot veszi mintául – amely nem kizárólag az ember sajátja: nem idegen a természet világától sem. A szerkezet homogenitása, az épített környezetre általában jellemző szerkezeti rétegződés mellőzése erősíti a naturális hatást. Az élővilág és az épület fizikai viszonya is fontos eleme a tervnek. A lábakra állított keskeny szerkezet egy meglévő stég helyén épült, minimális mértékben érintve a növényzetet, mégis bebocsátást nyújtva a nádas máshol elzárt világába, feltárva azt a parton sétálók felé. A növényzet így egyszerre határozza meg az épület terét és rejtje a természeti tájba azt. Az alsó vízszintes elemek túlnyújtásával az épület és természet összefonódik, határaik elmosódnak.” [8]



6. ÁBRA: Orfű Nest (fotó: Kovács Péter, helyszín: Orfű)

4. | ZÁRSZÓ, ÖSSZEGRÉZÉS

Egyetemi oktatóként és építésztervezőként egyaránt elengedhetetlen a professzionális attitűd kialakítása és annak társadalmi internalizációja, amelyet a precizitás, az alapos elemzőkészség, a holisztikus szemlélet, valamint a szakmai alázat és kreativitás határoz meg. Az ökológikus design megköveteli egy új paradigmaváltás elfogadását, hangsúlyozva a természet tiszteletét és a harmónia megteremtését. A holisztikus, más néven rendszerszemléletű tervezés egyik kulcsfontosságú alapvetése, hogy az épített környezet a táj szerves részét képezi, nem pedig attól elkülönülő entitás. A tervező elsődleges etikai felelőssége, hogy minimalizálja az általa végzett beavatkozások környezetre gyakorolt negatív hatását. Ez bizonyos esetekben megvalósítható a megfelelő fenntarthatósági stratégiák alkalmazásával, míg máskor az eutanázia válik elkerülhetetlenné az építészeti folyamatokban. Az itt bemutatott szemléletmód egy empirikus tapasztalatokon alapuló tervezői attitűd, amely valós projektek során kristályosodott ki. A helyes megoldások gyakran apró nüanszokon múlnak, amelyek nem feltétlenül esnek egybe a legegyszerűbb választásokkal. Mindezek az apró disztinkciók teszik a kiváló épületet tökéletessé, a ter-

vezőt pedig valódi alkotóvá, aki a funkció, az esztétika és a fenntarthatóság között egyensúlyt teremtve formálja az épített környezetet.

„Nem a betegséget kezeljük,
hanem a beteget gyógyítjuk.”
prof. dr. Hámori Artúr

HIVATKOZÁSJEGYZÉK

- [1] []: Anamnézis. Wikipédia szócikk, <https://hu.wikipedia.org/wiki/Anamnézis>
- [2] Kósa Balázs, S. Xiao, Tamás Anna Mária, Jurdik Sarolta: Research on cultural space design from the perspective of „great health”. Abstract book for the 20th Miklós Iványi International PhD&DLA Symposium 78. o., 2024.
- [3] []: Protézis (orvostudomány). Wikipédia szócikk, [https://hu.wikipedia.org/wiki/Protézis_\(orvostudomány\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/Protézis_(orvostudomány))
- [4] Juhász Hajnalka, Kondor Tamás, Kósa Balázs: Energia kocka – Új típusú energiaterek bemutatása a Hungarian Nest + projekten keresztül, Magyar Építéstechnika, 2021. 11. szám
- [5] Juhász Hajnalka, Kondor Tamás, Modar Ali: Secondary building skin – Energy Envelope. Pol-lack Periodica, megjelenés alatt, 2025, <https://doi.org/10.1556/606.2024.01265>
- [6] Kondor Tamás, Juhász Hajnalka, Kondor-Hegedűs Csilla: Környezetpozitív építé-szet – Lungs of the city – Solar Decathlon Europe 2022, Régi-új Magyar Építőművészet, 1785-282X 23 (4), 50-52., 2023.
- [7] Uhl Gabriella: Környezetpozitív építé-szet – A csavar fordul egyet: Présház / nyaraló Bala-toncsicsó, Octagon: Architecture & Design, 183. 24-29. o., 2023.
- [8] Bögös András, Zilahy Péter: Contemporary vernacular architecture: From experience to doing Symmetry: Art and Science: Special Issue for the Conference: 1-4. 46-49. o., 2023.

Kárpáti József*

CO₂ SEMLEGES ÉPÜLETEK

CARBON NEUTRAL BUILDINGS

KIVONAT / HUN

A klímaváltozás oka, hogy az ipari forradalom után egyre nagyobb nagymennyiségű széndioxidot és egyéb üvegházhatású gázt bocsátottunk ki a légkörbe. A korábbi egyensúly, a légkörbe történő kibocsátás és a növények által a légkörből való kivonás torzult, több lett a kibocsátás, mint a kivonás. Épületeinken, lakókörnyezetünkön keresztül használjuk fel a legtöbb energiát, és bocsátjuk ki a legtöbb széndioxidot. Ezért kiemelt fontosságúnak tartom, hogy unokáink életben maradásának érdekében, a környezetbarát, karbon semleges építési technológiák eredményeinek bemutatását, az alkalmazásukra való ösztönzést, a legszélesebb körben, a legszélesebb módon tegyem, együk meg!

Kulcsszavak:

CO₂ semleges, CO₂ kibocsátás, CO₂ lekötés, energiahatékonyság, természetes építési termékek, COP26

ABSTRACT / ENG

The reason for climate change is that after the industrial revolution, we have been releasing ever-increasing amounts of carbon dioxide and other greenhouse gases into the atmosphere. The previous balance, the emission into the atmosphere and the removal from the atmosphere by plants, has been distorted, and more emissions have been released than removed. We use the most energy and emit the most carbon dioxide through our buildings and living environments. Therefore, I consider it of utmost importance that, in the interests of our grandchildren's survival, we present the results of environmentally friendly, carbon-neutral building technologies and encourage their application in the widest possible way.

Keywords:

CO₂ neutral, CO₂ emission, CO₂ sequestration, energy efficiency, natural building materials, COP26

* környezettudatos építés tanácsadó, Építési Vállalkozók Országos Szakszövetsége (ÉVOSZ), Magyar Környezettudatos és Szerelt Technológias Vállalatok Szövetsége (MAKÉSZ), e-mail: karpati@evosz-makesz.hu
A cikkhez kapcsolódó előadás elhangzott a 2nd Ybl Conference on the Built Environment című konferencián, az Óbudai Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Karán, az Épület és Városenergetikai szekcióban, 2024. május 17-én.

Írásom címének a *CO₂ semleges épületek* címet adtam. Nem elírás, nem véletlen ez a szakmailag hibás meghatározás, de úgy gondoltam ezzel felkelthetem a figyelmet, hisz egyáltalán nincs olyan épület, ami a gáz halmazállapotú CO₂-ből épülne. Sajnos több olyan szakmai fogalom létezik, ami nevében nem fejezi ki a lényegét, például a passzív ház nem azt jelenti, hogy nem csinál semmit, és az aktív ház nem az ellentétje a passzív háznak stb. Az a kifejezés, hogy valami karbon semleges sem fedi a valóságot, hisz pont azok az új környezettudatos építési termékek, amelyek a környezet- és a klímavédelmének is szolgálnak karbon alapúak. A természetes építőanyag kifejezést vannak, akik a téglára is használják, mert „miért ne lenne természetes anyag, az égetett anyag”. De nem akarok többet a nyelvészettel foglalkozni, csak szerettem volna felhívni a figyelmet arra, hogy sokan, különösen a klímászektorikusok a különböző meghatározásokat saját érdekeik szerint értelmezik. *Nem lenne helyesebb, ha karbont lekötő épületekről beszélnénk?*

Mi az alapvető probléma?

Az emberiség létszámának és igényeinek növekedése minden erőfeszítés ellenére egyre több energiát igényel! A szükséges energia többsége pedig szén-dioxid és más üvegház hatású gázok, azaz károsanyag kibocsátással jár. A CO₂ lassú és gyors égés folyamán keletkezik, amit körforgás keretében a növények lekötnek. Tény, a túlzott CO₂ kibocsátás felborítja az egyensúlyt a Föld légkörében és így klímaváltozást okoz. A klímaváltozás az elmúlt évtizedek egyik legfontosabb környezeti-társadalmi kérdésévé vált, de a végleges megoldást még nem találtuk meg! Nagy a kihívás!

Ki a felelős?

Az építőiparnak kiemelt felelőssége van a kérdésben, hiszen a természetet jelentősen terheli az épített környezet, ráadásul a világ szén-dioxid kibocsátásának 28%-a, egyes számítások szerint 34%-a ebből az ipárból származik [1].



1. ÁBRA: CLT (Cross-Laminated Timber: keresztrétegelt fapanel, balra fent), LVL (Laminated Veneer Lumber: laminált furnérfa, jobbra fent), KVH (Konstruktions-Vollholz: hosszoltoltott fa, balra lent) és BSH (BrettSchichtHolz, rétegragasztott fa, jobbra lent) szerkezeti fatermékek

Az összes primer energia felhasználás 40%-át az épületeink működtetése igényli! Az építési anyagok és berendezések előállítására, az épület működtetésére, majd újrahasznosítására fordított energia tovább növeli a CO₂ kibocsátást. Mostanra egyértelművé vált, hogy sürgős cselekvésre van szükség, ha meg akarjuk őrizni bolygónk élhetőségét, hogy fennmaradjon a civilizáció a jövő generációi számára is.

Egy átlagos lakóépület előállításához kb. 1400 kWh/m² energiára van szükség. A kapcsolódó CO₂ kibocsátás 490 kg/m². Ennek 50%-a a szerkezet előállításához szükséges. Fűtéshez, az épület helyétől, szerkezetétől függően évi 10-30 kWh/m² energia szükséges. 50-140 év alatt kell tehát az épület fűtéséhez annyi energia, amennyi az előállításához kellett. 2030-ig 50%-kal kell csökkenteni a CO₂ kibocsátást, 2050-ben el kell érni a karbon semlegességet, azaz a „karbon net zérót”. Ez a cél nem csupán egy álom, hanem egy létfontosságú feladat annak érdekében, hogy megóvjuk bolygónkat a klímaváltozás okozta károktól.

Figyelembe kell vennünk a lakosság létszámának növekedését is. 100 000 év telt el, hogy 1920-ra kb. 2 milliárd ember éljen a Földön, innen mindössze 50 év kellett, hogy megduplázódjon a létszám, újabb 50 év az újabb duplázáshoz, így ma már meghaladjuk a 8 milliárdot. 2050 után pedig már kb. 11 milliárdan leszünk! Tehát a jelenlegi lakásállományon túl, további 3 milliárd embernek kell megoldani a lakhatását, és ha 100 éves ciklusokkal számolunk, akkor további 100 millió lakást kell újraépíteni ill. felújítani! A jelenleg általánosan használt technológiákkal, az épületek előállításával és üzemeltetésével szintén megtöbbszöröződik a CO₂ kibocsátás. Amennyiben a CO₂ lekötés, a légkörből történő kivonása nem növekszik, úgy a klíma katasztrófa elkerülhetetlenné válik!

Érezzük felelősségünk súlyát! Érezzük és tudjuk, hogy mit kellene tenni! Érezzük ennek a feladatnak a sürgősségét! Érezzük, ha nem történik drasztikus változás, az milyen további károk okozója lehet a földi élet számára? *Változtatnunk kell, hogy megmentsük bolygónkat, életünket!*



2. ÁBRA: Vakolható farost (fent), fújható farost (középen) és szalma paplan (jobbra lent) hőszigetelés

Van megoldás?

Ahhoz, hogy ezt a célt elérjük, két alapvető irányba kell indulnunk: csökkentenünk kell a CO₂ kibocsátást és növelnünk kell a CO₂ lekötést. De rendelkezésre áll a megfelelő alapanyag, technológia, erőforrás és szándék mindehhez?

A fosszilis energia helyett egyre szélesebb körben használatosak a megújuló erőforrások. A jogszabályok, az ösztönzők ezt sulykolják, hogy növekedjen a megújuló energiaforrások használata, és ezzel csökkentsük a CO₂ kibocsátást. A nap-, a szél-, az atomenergia terjedésének is megvannak a maga problémái, de véleményem szerint, jó az irány a változáshoz. A légkörben lévő és a kibocsátásra kerülő CO₂ kivonása viszont nem kellő mennyiségű! Eredményként könyvelhetjük el, hogy csökken a CO₂ kibocsátás, de sajnos közel sem olyan mértékben, ami éghajlati változásokat tudna okozni.

A megoldás másik kulcsa olyan építőanyagok használatában rejlik, amelyek egyik feladata, hogy használatukkal nagymértékben csökkenjen az építményeink hűtési és fűtési energiaigénye, továbbá nemcsak alacsony CO₂-kibocsátással állíthatók elő, hanem képesek nagy mennyiségű szén-dioxid megkötésére is. Ilyen anyagok például a fa, a kender, a szalma, a bambusz és más hasonló növényi és állati termékek. Ezen anyagok (1. és 2. ábra) nemcsak fenntarthatóbbá tehetik az építőipart, hanem jelentős mértékben hozzájárulhatnak a légkörben lévő CO₂ koncentráció csökkentéséhez is.

Itt álljunk meg egy pillanatra, hogy a fenntarthatóság elvét értelmezzük: Anyagi javainkat, energiáinkat, igényeink maradéktalan kielégítésére, úgy használjuk fel, hogy ezt utódaink is megtehessék. Ez a meghatározás a megújuló energiaforrások, a természetes építőanyagok használata mellett, a hatékonyság növelésére hívja fel a kötelezettségünket! A CO₂ kibocsátás csökkentése érdekében, általános tevékenység a spórolás. Kapcsold le a villanyt, használj kisebb izzót, tekerd lejjebb a termosztátot! Ezzel kényelmetlenséget okozunk, igényeinket vágyainkat csökkentjük.

Azonban, ha úgy gondolkozunk, és úgy értelmezzük a fenntarthatóságot, hogy kevesebb energiafelhasználással, ugyanolyan megvilágítás legyen a lakásban, munkahelyen, vagy olyan építési és gépészeti technológiákat alkalmazzunk, hogy jóval kevesebb energiával ugyanazt a hőmérsékletet érjük el, akkor nem vesztességgént éljük meg a környezetvédelmet, hanem sikernek, úgy, hogy életmódunkon nem kell változtatni!

CO₂ kivonás a légkörből

Tehát a feladat adott, tudjuk, hogy mit kell elérni: a légkörben lévő szén-dioxid mennyiségének csökkentését. Ami ugyan egyszerűnek tűnik: a fosszilis energiafelhasználás csökkentése, az energiafelhasználás hatékonyságának növelése, a csökkent energiaigény megújuló forrásokkal történő fedezése által. Ezekkel a CO₂ kibocsátást tudjuk csökkenteni, valamint a légkörben lévő CO₂ mennyiség növekedésének csökkenését tudjuk elérni. Viszont a légkörben lévő szén-dioxid koncentráció csökkenését, csak úgy tudjuk eredményesen elérni, ha a körforgásban egyre több CO₂-t kötünk le.

Utóbbira ad lehetőséget például a faanyagok használata. A fa esetén 1 köbméter faanyag növésehez 1,4-1,7 tonna CO₂ felhasználás kapcsolódik. A folyamat során a növénybe beépül a karbon, a légkörbe pedig oxigén kerül. Hasonló növényi eredetű anyagok használata során az figyelhető meg, hogy ezek az anyagok növekedésük során folyamatosan megkötik a szén-dioxidot, tehát természetes módon csökkentik a légkör CO₂-tartalmát. Az ilyen anyagok építési termékként történő felhasználásával akár évszázadokra lekötethető a kivont szén-dioxid, ami a termékek újrahasznosításakor szintén eltemetve marad. Másrészt az építési termék életciklusa végén, lebomlással visszaalakul humusszá, így végül káros hulladék sem képződik.

Az ENSZ klímavédelemmel foglalkozó konferencia sorozata a COP, szintén a természetes anyagok használatát szorgalmazza. A COP26 kapcsán jelent meg a „Fa kiáltvány” [2] [3], és ezzel párhuzamosan több nemzetközi építőipari szakmai

3. ÁBRA:
Ho-Ho Haus, Bécs,
Donaustadt, 24 szintes magasház [5]



4. ÁBRA: Kampa építőipari innovációs központ, Aalen, 8 szintes faépület [6]



5. ÁBRA: Családi lakóház világörökségi környezetben, Fertőrákos [7]

szervezet is nyilatkozatot tett közzé, hogy milyen módon kell a fa használatát növelni.

Sok környezetvédőnek, környezetvédő szervezetnek az a hibás álláspontja, hogy akik fát vágnak ki, azok károsítják a környezetet, tönkre teszik az erdőt. Pedig nem feltétlenül, sőt! A fával ugyanúgy kell gazdálkodni, mint például a gabonával: beérik kitermelik. Az erdészet komoly tudomány, bízzuk rájuk mit mikor lehet, vagy kell kitermelni. Érdekes módon az erdészetek egyik problémája, hogy sok a túltartott erdő, ami már nem termel megfelelő mennyiségű oxigént, nem megfelelően hasznosul. Az erdőt ritkítani, tisztítani is kell. Ezért mondja az erdész, hogy „fűrész által nő az erdő”. Igaz, hogy van probléma, különösen a klímaváltozás miatt több fafajta, ami kevésbé bírja a szárazságot, kipusztul.

Sokan úgy tartják csökkenni az erdőterületek, de a faállomány ezzel szemben növekszik a statisztikák szerint [4]. Magyarországon évente megközelítően 13 millió m³-rel növekszik a faállomány, 3 millió m³ vihar, betegség, kár áldozata lesz, kb. 6 millió m³ kerülhet feldolgozásra, sajnos többségében tűzifaként. Összességében 4 millió m³ a nettó növekedés, ennyivel több minden évben az erdőink fa állománya! Más európai országokban még jobb ez az arány. Tehát a fafelhasználás növelése harmonikus erdőgazdálkodás mellett nem károsítja az erdőállományt, a fa alapanyag jobban hasznosul. Helyes az erdészek felhívása: „Küzdj a klímaváltozás ellen, ültess fát, használj fát!”.

Ezen túlmenően, ha itt az ideje az épületek újraépítésének vagy felújításának, ezen anyagok újrahasznosítása is sokkal környezetbarátabb, mint a hagyományos építési termékeké.

Itt az idő, hogy minden érintett – a politikusoktól kezdve a gyártókig és a kivitelezőig – belássa: az építőipar fenntarthatóságának javítása elengedhetetlen a klímaváltozás elleni küzdelemben. Ha most nem kezdünk el együtt cselekedni, akkor a klímakatasztrófa bekövetkezésével nemcsak a környezetünket veszítjük el, hanem az emberi civilizáció is súlyos veszélybe kerül. Néhány intézkedés, amelyekkel az építőipar karbonkibocsátása csökkenthető lenne:



6. ÁBRA: Családi lakóház és kerti gazdaság, Szigetmonostor [8]

- A helyi és nemzeti szintű építési tervekben kötelező jelleggel szerepeljen az életciklus-elemzés és a szén-dioxid-küszöbérték is.
- Kötelező jelleggel minden terméknek készüljön el a környezetvédelmi nyilatkozata (EPD).
- A vállaltok fenntarthatósági jelentése (ESG) legyen minden vállalat számára kötelezően elkészítendő.
- Az új építési tervekben és a régi épületek felújításában is kapjon több szerepet a fa és a természetes anyagok.
- Legyenek a közbeszerzések is fenntarthatóak: Az, hogy az építőipar mely részét támogatják a döntéshozók közpénzzel, fontos szerepet játszhat a körforgásos gazdaság kialakításában.
- Legyen lehetőség a faanyagok erőforrás-takarékos használatára és újrahasznosítására. Ezzel meghosszabbítható a fatermékek életciklusa és szénmegkötési potenciálja. Ezt az önkormányzatok gyűjtéssel és szétválogatással támogathatnák, valamint azzal, ha a lakosok számára hozzáférést biztosítanak használt faanyagokhoz.
- Az új faipari és felújítási technológiákra fókuszáló célzott továbbképzések nem csak a körforgásos gazdaságot és a fenntarthatóságot segítenék elő, de új munkahelyeket is teremtenének.

Összefoglalva, az épített környezetben több szerepet kell kapnia a fának és más szén-dioxid lekötést növelő alapanyagoknak, például a kendernek és szalmának is.

A természetes alapanyagok használata, fejlesztése világszerte nagy arányban növekszik. Építésszel, kivitelezőkkel beszélve általában elismerik, hogy ez a kívánatos irány, ezeket az anyagokat kellene nálunk is szélesebb körben alkalmazni, de amíg nem lesz kötelező, addig nem szándékoznak változtatni. Ez a káros szemlélet ugyan fékezi a természetes alapanyagok használatát, de szerencsére az egy- és kéttalásos házak területén a 20 évvel ezelőtti 3%-ról mégis 15% fölé nőtt az alternatív konstrukciók alkalmazása. A lakosság körében a hagyományos helyett a környezetbarát kivitel egyre szélesebb körben jelenik meg igényként.

CO₂ semleges épületek

A feladat adott, olyan épületeket kell építeni, felújításokhoz olyan anyagokat kell használni, amelyek nagy mennyiségű szén-dioxidot kötnek le, és hozzájárulnak az épületeink CO₂ kibocsátásának csökkentéséhez. Ilyen épületek, ma már szerte a világban épülnek, ezekben egyre nagyobb mennyi-



7. ÁBRA: CLT falas épület építése

ségű fát, kendert, szalmát vagy más természetes eredetű alapanyagot tartalmazó építési terméket használnak fel.

Világszerte, de a szomszédos országokban is vannak jó példák, törekvések. Ilyen például Bécsben a 75%-ban fából készült Ho-Ho Haus (3. ábra). Sorozatban épülnek a plusz energiás családi és százlakásos társasházak, iskolák, amelyek alapanyaga többségében fa. Jó példák Oslóban a 84 m, Milwokban a 86 m magas, szerkezetében tisztán fából készült épületek, vagy Gdansk példája, ahol intézmény, iskola, óvoda, ma már csak favázis szerkezettel létesíthető.

Az új szemléletű kivitelezés jó példája az Aallenben lévő kórház gyár nyolcszintes központi épülete (4. ábra): a lépcsők járófelülete kivételével, még a liftakna is 100%-ban fából készült. Az energiaellátás, napelemekkel, akkumulátoros energia tárolással, a fűtése fázisváltással történő energia nyeréssel működik, amit egy 675 köbméteres föld alatt elhelyezett termoszt biztosít. 3050 m² moduláris fa-üvegszerkezet, 1350 m³ faanyag, 990 tonna CO₂ lekötés. A pluszenergiás épület fűtés-hűtés energia költsége rendkívül alacsony. A nyolcszintes épület fenyőfa alapanyagmennyisége a Fekete-erdőben 12 percenként termelődik meg.

Mi a helyzet hazánkban?

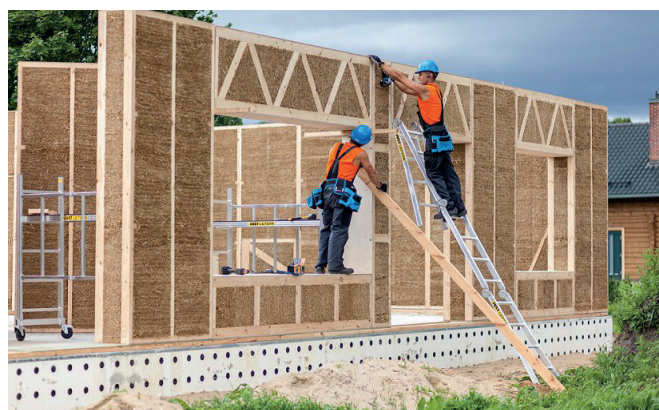
Jelenleg sem jogszabály, sem az energiatanúsítvány, sem más ösztönző nem hat a megrendelőkre, tervezőkre, kivitelezőkre, hogy a CO₂ lekötés lehetőségét figyelembe vegyék. Az energiatanúsítványban is csak a használathoz kötődő CO₂ kibocsátás mértékét kell megadni. Így egy előállításában rendkívül nagy mennyiségű CO₂ kibocsátással készülő vasbeton épület, kőzetgyapot külső hőszigeteléssel, megújuló energiával történő hűtéssel, fűtéssel AA++ minősítésű épület lehet. Pedig egy ilyen épület előállításához felhasznált energia, egy környezetbarát, CO₂ semleges épület fűtésére, hűtésére minimum 150 évre elegendő lenne, ehelyett négyzetméterenként 500 kg CO₂ kibocsátással terheli a légkört.

Egy CO₂ semleges épület legyártása, felépítése a szerkezetek és a hőszigetelés anyagától függően 300-400 kg CO₂-t köt le négyzetméterenként. Ezzel hozzájárul, hogy a légkörbe ne csak kevesebb szén-dioxid legyen kibocsátva, hanem legyen abból kivonva is, ezzel elősegítve, hogy csökkenjen a légkör CO₂ koncentrációja!

Az ÉVOSZ-MAKÉSZ tagjai, és a szervezeten kívüli cégek Magyarországon évente kb. 500-550 családi házat építenek (5. és 6. ábra), amelyek CO₂ semlegesnek minősülnek. A fa



8. ÁBRA: Lakóépület homlokzati hőszigetelése vakolható farost lapokkal



9. ÁBRA: Favázis épület építése szalma kitöltő, hőszigetelő anyaggal

alapanyagból készült szerkezetek KVV, BSH, LVL, CLT termékekből (1. ábra); a hőszigetelések vakolható és fújható, akár vízálló farost, szalma paplan, szalma bála, kender beton anyagokkal készülnek (2. ábra), melyek minősített NMÉ-vel, egyesek ETA-val és CE-vel rendelkező termékek, és a magyar piacon is rendelkezésre állnak (7, 8. és 9. ábra).

Tegyük meg az első lépést a fenntartható jövő felé: biztosítsunk forrást a természetes alapú építési termékek kutatására és fejlesztésére, tervezzünk és használjunk környezetbarát építőanyagokat, támogassuk az innovatív megoldásokat, és tegyük meg a szükséges jogalkotási lépéseket is. *Most van itt az idő változtatni. A jövő nem vár!*

FORRÁSOK

- [1] [1]: State of the Global Climate 2024, World Meteorological Organization, Geneva, 2025, <https://library.wmo.int/idurl/4/69455>
- [2] [2]: COP26: Together for our planet, UN Climate Change Conference, Glasgow, 2021, <https://www.un.org/en/climatechange/cop26>
- [3] [3]: Growing our low-carbon future – Time for timber. CEI-Bois + UK TTF, 2021, <https://worldofwoodfestival.org/timefortimber/>
- [4] [4]: Magyar erdők – A magyar erdőgazdálkodás. VFM + NÉBIH, 2016, <https://www.oee.hu/upload/html/2016-02/Magyar%20erd%C5%91k%20-%20A%20magyar%20erd%C5%91kgazd%C3%A1lkod%C3%A1s.pdf>
- [5] [5] Alexander Migl fotója: HoHo Wien Vienna 19-20 IMG 2225, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=86003199>
- [6] [6] Peter Hofmann fotója: KAMPA Bauinnovationszentrum Firmenzentrale, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=50845591>
- [7] [7]: Letisztult elegancia attraktív megoldásokkal, Ubrankovics Kft., <https://ubrankovics.hu/portfolio-item/letisztult-elegancia-attraktiv-megoldasokkal/>
- [8] [8] Gerzsenyi Gabriella: A megálmodott kert – avagy két jogász, egy (dupla) telek 2.rész: Tervezés, XForest, 2023.09.22., <https://xforest.hu/a-megalmoldott-kert-avagy-ket-jogasz-egy-dupletelek-2-resz/>

V. Nagy Zoltán*

LAKÓÉPÜLETEK ÖSSZEHASONLÍTÓ BEÉPÍTETTKARBON ELEMZÉSE

COMPARATIVE EMBODIED CARBON ANALYSIS OF APARTMENT BUILDINGS

KIVONAT / HUN

Az épületekhez köthető szén-dioxid (karbon) kibocsátások elemzése kiemelten fontos az éghajlatváltozás elleni küzdelemben. A teljes karbon kibocsátásra vetítve az üzemeltetéshez kapcsoló rész aránya egyre csökken, köszönhetően a javuló épületenergetikai jellemzőknek, viszont ezzel párhuzamosan az építőanyagok előállításához, az építéshez kapcsolódó rész, a beépített karbon aránya növekszik. A cikkben ismertetett egyszerűsített elemzés az építőanyagok nyilvánosan elérhető Környezetvédelmi Terméknyilatkozatainak felhasználásával, a magyar lakóépülettervezési gyakorlatban használatos épületszerkezeti megoldásokból összeállított lakóépület változatokhoz számít beépített karbonkibocsátás értékeket. Így már koncepciótervi fázisban lehetővé válik a különböző épületszerkezeti megoldásokkal tervezett épületek környezeti szempontú értékelése, azaz a műszaki elképzelések összehasonlítása beépített karbon kibocsátás szerint. A cikk ismerteti egy kétszintes lakóépület esetére elvégzett elemzés főbb tanulságait.

Kulcsszavak:

éghajlatváltozás, szén-dioxid lábnyom, beépített karbon értékelés, lakóépületek

ABSTRACT / ENG

Analysis of building related carbon dioxide emissions is a major focus in the fight against climate change. The emissions associated with use phase of the buildings, called operational carbon, are decreasing due to improved building energy efficiency and the role of embodied carbon associated with construction materials and construction in total emissions is increasing proportionally. This paper presents a simplified method that calculates embodied carbon emission values for building variants assembled from building construction solutions commonly used in Hungarian residential building design practice, using publicly available Environmental Product Declarations for building materials. This enables environmental comparison of buildings at the conceptual design phase, i.e. the ranking of different technical concepts according to their embodied carbon emissions. The article also presents the results learned from the analysis of a two-storey residential building.

Keywords:

climate change, carbon footprint, embodied carbon benchmark, residential building

* okl. építőmérnök, tartószerkezet tervező, e-mail: vnagyvoltan33@gmail.com

A cikkhez kapcsolódó előadás elhangzott a 2nd Ybl Conference on the Built Environment című konferencián, az Óbudai Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Karán, a Parametrikus és generatív tervezés szekcióban, 2024. május 17-én.

1. | BEVEZETÉS

Amikor egy öblített leveszünk a polc-ról, akkor annak környezetbarátságáról színes feltűnő feliratok tájékoztatnak. Vásárláskor nem mélyedünk el a különböző vegyi összetevők összehasonlításában, megteszik ezt mások helyettünk, nekünk csak a minősítéseket jelző címkékre kell figyelni. Hasonlóan a háztartási gépekhez, ahol már 1996 óta feltüntetik a készülék energia- és vízfogyasztási jellemzőit, így a készülék ára mellett ez is befolyásolja a döntésünket.

Egy épület tervezése objektív és szubjektív döntésekből áll. Kiválaszthatunk és fontosságuk szerint rangsorolhatunk bizonyos jellemzőket: épületszerkezeti és épületgépészeti megoldásokat, ezekhez tartozó várható építési és üzemeltetési költségeket, funkcionalitást, esztétikát és környezeti hatásokat. Ezen jellemzők becslésében sok a bizonytalanság, főleg, ha egy építés jövőbeli ökológiai hatásait szeretnénk megismerni. Mérnökként azonban nem idegen tőlünk, komplex kérdések esetén egyszerűsítésekkel éljünk, a fontos jellemzők megőrzése mellett.

A karbonelemzés hasonlítható az épület költségvetési kiírásának elkészítéséhez, csak itt környezeti költségekkel számolunk. Az életcikluselemzés során (LCA, az ISO 14040 és 14044 szabványok szerint) először is meghatározzuk az elemzés célját és hatókörét. Ezt követően leltárt készítünk, listázzuk a szükséges építőanyagokat, építési üzemeltetési, bontási, újrahasznosítási folyamatokat. A leltárelemekhez kibocsátásértékeket párosítunk, melyeket az építőanyagok Környezetvédelmi Ter-

méknilylatkozatai (EPD) tartalmaznak [1]. Ezek szabványosított formátumú és tartalmú, tanúsított dokumentumok, melyet a gyártók készíthetnek önkéntes alapon termékeikhez. A leltárelemzés eredményeként összesített környezeti indikátorértékeket kapunk, melyek az épület életciklusa során kialakuló különböző környezeti hatásokat becsülik (pl. üvegházhatás, ózonréteg károsítás, savasodás, eutrofizáció). Az éghajlatváltozást generáló üvegházhatáshoz hozzájáruló szén-dioxid-kibocsátás (karbon-lábnym), azaz a GWP (globális felmelegedési index) talán a legismertebb mérőszám, ezt szerepel a jelen elemzésben is [2].

Az épület üzemeltetéséhez kapcsolódó használati karbonkibocsátás csökkentése közös törekvése minden iparági szereplőnek. Könnyű ebben minden az építésben résztvevő és felelősen gondolkodó szereplőnek közreműködni, mivel egy hatékonyabb gépészeti rendszer, jobb hőszigetelés energia-megtakarítást, rezsicsökkenést, ingatlan értéknövekedést jelenthet. Az üzemeltetéshez kapcsolódó kibocsátások csökkentése napjainkban már olyan sikeres, hogy a korábban csak 10-20%-ot kitevő beépített karbon részaránya egyre növekszik a teljes kibocsátáson belül, és a becslések szerint új épületeknél már a 40-50%-ot is elérheti.

Ezzel szemben az építőanyagok előállításához, az építéshez és az utóhasznosításhoz kötődő beépített karbon csökkentése nem feltétlenül jelenti az építési költségek csökkentését. Egy alacsony beépített karbonszintű épület csak szubjektív értéktöbbletet jelenthet az építetőnek, és ez így marad egészen addig, amíg az építési szabályozások pozitív diszkriminációja nem

érvényesül. Néhány európai országban (pl. Franciaország, Hollandia, Egyesült Királyság) az épületek teljes karbon (használati + építési) szabályozására az építési engedélyezési eljárások során már vannak példák [3], és a közeljövőben EU-s szintű előírások is várhatók.

2. | ALMÁT AZ ALMÁVAL

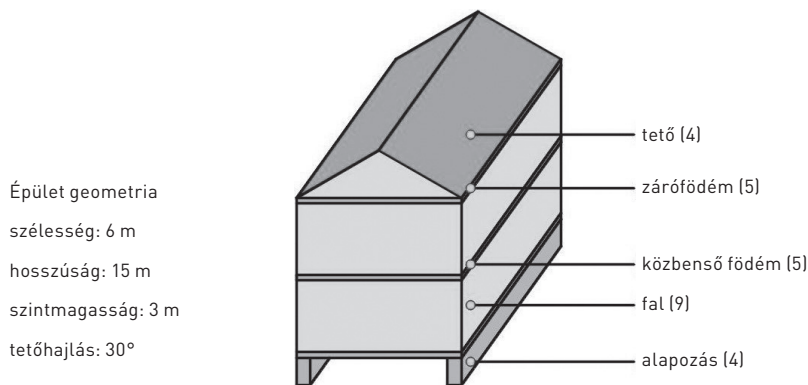
Hogyan lehet a különféle műszaki megoldásokkal tervezett épületeket beépített karbon szerint minősíteni, rangsorolni?

Az egyik lehetőség, hogy olyan minősítési értékeket használunk, melyek már megtervezett épületek adataiból összeállított, épülettípusok szerint szétválogatott adatbázisok elemzéséből származnak. Ez jó megközelítés, azonban probléma lehet az adatok hiánya, az adatok inhomogenitása (épületgeometriák, rétegrendképzések különbözősége, eltérő leltárképzések). Ezen torzító hatások miatt olyan elemekből állhat az elemzett adathalmazunk, hogy végül nem az almát az almával hasonlítjuk össze.

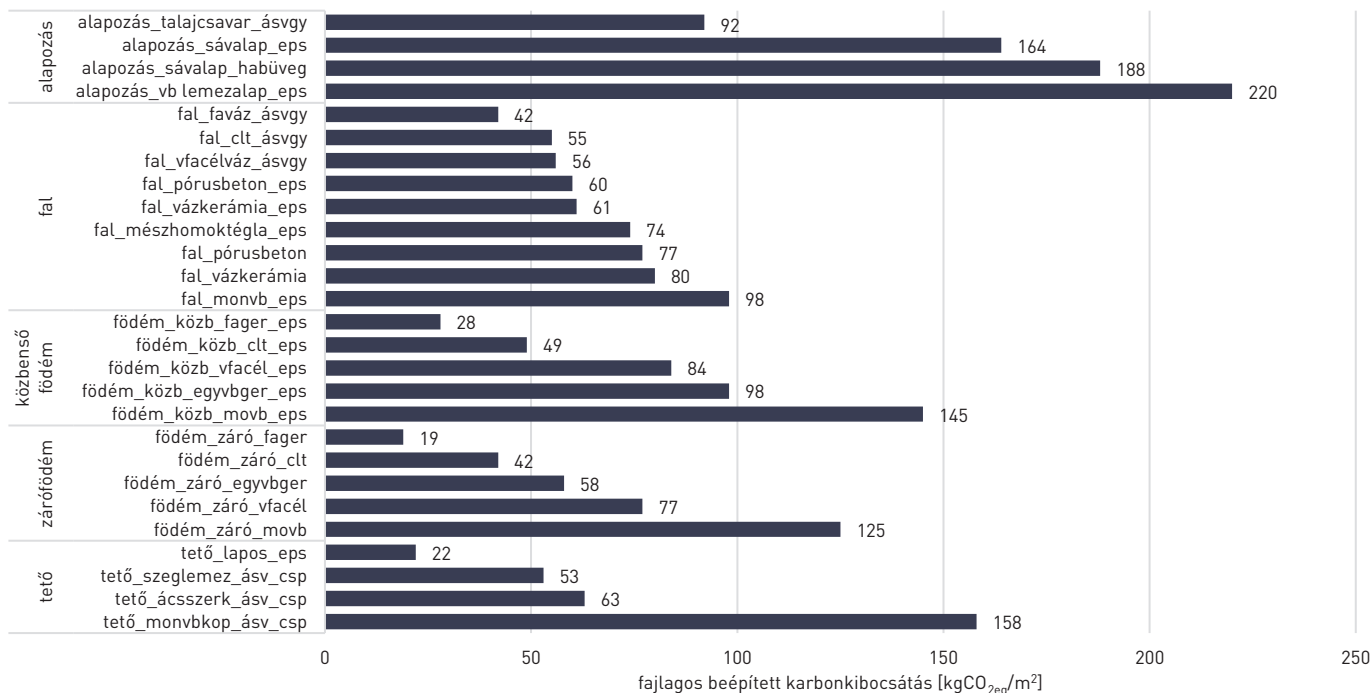
A másik megközelítés az, mely során az elemzett épületek adatbázisát nem megvalósult, hanem virtuálisan generált változatokból állítjuk össze. Olyan épületekből, melyeket a tervezési gyakorlatban előforduló épületszerkezeti megoldásból (alapozás, földem, tető) állítunk össze.

Az elemzési módszer bemutatására az **1. ábra** szerinti egyszerűsített lakóépülettel foglalkoztunk. Az ábrán jelzett épületrészek esetében különféle épületszerkezeti altípusokat különböztettünk meg, melyek száma zárójelben szerepel. Az épületrészek altípusaiból teljes kombinációval egy virtuális épületadatbázist képeztünk, majd ezekből kiszűrtük a műszakilag lehetséges épületváltozatokat. Például egy CLT falas épület esetében nem készülhet vasbeton földem. Az így összeállított épület adatbázis minden eleméhez számítottuk az összesített beépített karbonkibocsátás értékeket. Az épületrészekkel szemben támasztott műszaki követelmények egységesek, így homogen adatbázisra vonatkozik az elvégzett környezeti értékelés.

Fontos kiemelni, hogy ez a módszer komoly egyszerűsítéseket tartalmaz



1. ÁBRA: Az elemzés során megkülönböztetett épületrészek és altípusaik száma



2. ÁBRA: Az épületszerkezetekhez tartozó fajlagos beépített karbonkibocsátás értékek

egy hagyományos életcikluselemzéshez képest. Mivel konkrét termékek EPD-jéből származnak a kibocsátási értékek, ezért az elemzés csak ezen építőanyagok használata esetén érvényes. Fontos továbbá, hogy a beépített karbonkibocsátás csak az építőanyagok kitermelése és előállítása során a légkörbe jutó szén-dioxid mennyiségére ad becslést. Ez csak egy környezeti indikátor a sok közül, és így nem adhat teljes képet egy építés komplex ökológiai hatásairól. Az elemzés csak egy korlátozott elemű ún. „core” szintű leltáron alapul, melyből hiányoznak a nyílászárók, válaszfalak. A fa- illetve betonszerkezeteknél a szén-dioxid-megkötés (sequestration) figyelembevételétől eltekintettünk [4]. Az szállítás, építési folyamat, karbantartás, bontás, utóhasznosítás kibocsátásai nem részei az elemzésnek, csak az építőanyagok előállításával járó kibocsátás (upfront carbon A1-A3).

Fenti egyszerűsítések mellett a koncepcionális tervezés támogatására egy ilyen elemzés hasonlóan hasznos lehet a környezeti hatás becslésében, mint például a tartószerkezettervezésben az előzetes méretfelvételek során használt egyszerűsített statikai számítások, ökölszabályok alkalmazása [5].

3. | AZ ÉPÜLETSZERKEZETEK BEÉPÍTETTKARBON ELEMZÉSE

Az elemzés a magyar lakóépület-építési gyakorlatban előforduló épület-szerkezeti megoldások áttekintésével kezdődött. A **2. ábrán** jelzett négy féle épületszerkezetet különböztettem meg: alapozás, fal, közbelső födém, zárófödém, tető. A szerkezetek különböző altípusait réteges szerkezetként állítottam össze, azonos mechanikai (MSZ EN) és hőtechnikai elvárásoknak (ÉKM) megfelelően. Az elemzéshez használt algoritmus a Rhinoceros 3D (CAD) programon belül futó Grasshopperben készült [6].

A **2. ábrán** szerepelnek a vizsgált épületszerkezeti változatok megnevezései, illetve a hozzájuk tartozó számított fajlagos karbonkibocsátás értékek. Azon elemeknél, ahol hőszigetelés is tartalmaz a rétegrend, ott ennek típusát is feltüntettem. Az alapozásnál és a földemeknél a padlószerkezetet is figyelembe vettem, de burkolat nélkül. A falazatoknál, ahol nem szerepel a hőszigetelés jelölése (eps, ásvgy) ott a fal olyan vastagságú, ami önmagában is teljesíti a vonatkozó hőátbocsátási követelményt. A tető típusoknál a lapostetős kialakítás csak a zárófödémre

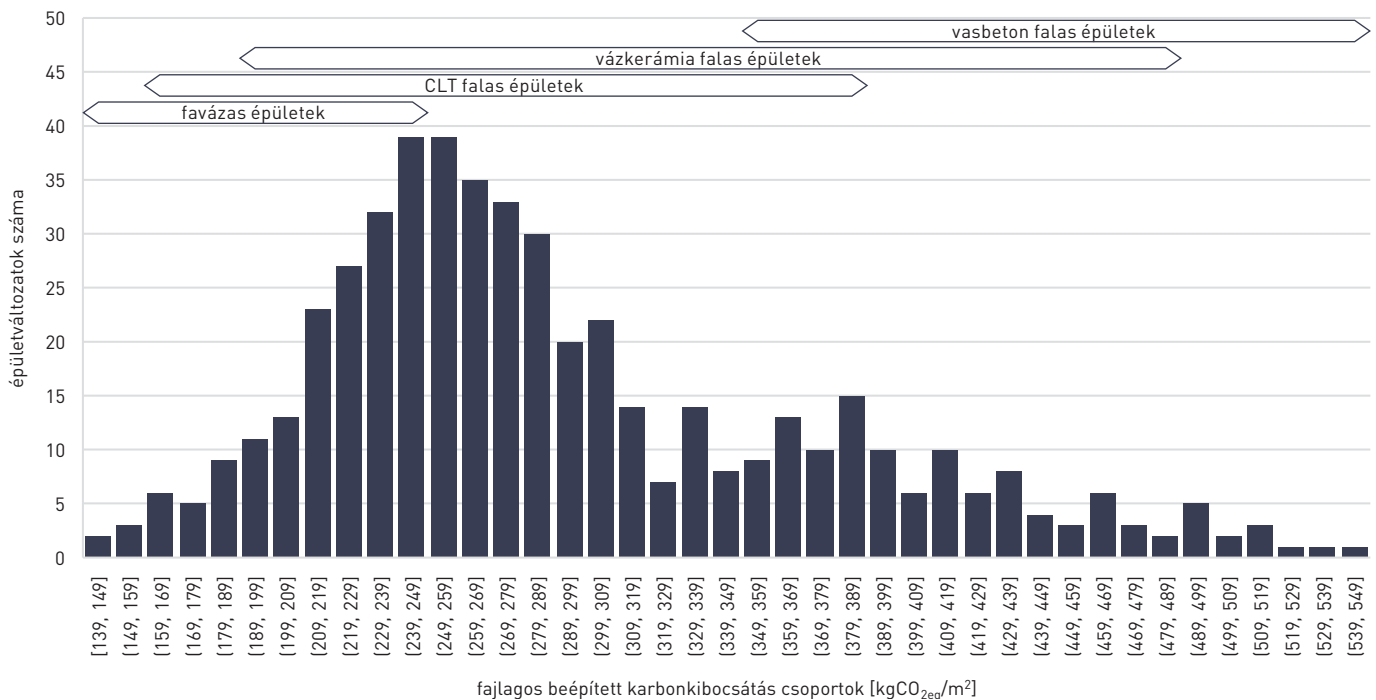
kerülő rétegrendet tartalmazza, míg a magastetős változatoknál a tető szerkezetét is számításba vettem.

Az építőanyagok között három magas kibocsátású szereplőt lehet azonosítani: a betont (a cement miatt), az acélt és a hőszigeteléseket. Az elemzésben használt kibocsátás értékek: hőszigetelések (eps, ásványgyapot) 77 ill. 133 kgCO_{2eq}/m³, monolit beton 240 kgCO_{2eq}/m³, acél 818 kgCO_{2eq}/t.

A számított fajlagos kibocsátásértékeket az is erősen befolyásolta, hogy vázas és tömör kialakításnál látványosan eltér a m^2 -enkénti anyagfelhasználás. Például, ha egy 6 m-es támaszközü monolit vasbeton földem szerkezeti vastagsága 20 cm, akkor a vele műszakilag egyenértékű fáföldem, 10/24-as BSH fagerendákból 60 cm-es osztással építve, csak 20%-os fajlagos m^3/m^2 anyagigényű.

A könnyűszerkezetes épületek alapozására használt talajcsavaros, talpgerendarácsos, száraz úsztatott rétegrendű kialakításhoz tartozó kibo csátásérték a fele, mintha ezt az épü letet vasbeton lemezalappal terveznék. A beton sávalaphoz 15%-kal alacso nyabb érték tartozik, mint a lemezala pozáshoz.

A falaknál az ásványgyapottal hőszigetelt fa bordavázás kialakítás, melyben



3. ÁBRA: Az épületváltozatokhoz tartozó fajlagos beépített karbonkibocsátás értékek eloszlása

KVH fabordákat OSB és gipszkarton lemezekkel burkolunk, a legalacsonyabb kibocsátású változat. Ezt követi a CLT falas (ragasztott fa panel) kialakítás, melynél vékony, 10 cm-es fal felület-szerkezetként már a bordavázhoz képest nagyobb a fajlagos anyagigény, így nagyobb kibocsátású a kialakítás. A falazott szerkezeteknél a nagy szilárdságú mészhomok téglá már 20 cm-es falvastagsággal tervezhető, ugyanakkor ez a kis vastagság sem kompenzálja a fajlagosan nagy szén-dioxid lábnyomot. A diagramból az is látható, hogy kedvezőbb értékeket kapunk, ha nem falazat vastagsággal, hanem kiegészítő hőszigeteléssel teljesítjük az energetikai követelményeket.

A födémeknél a leglátványosabb a különböző szerkezeti kialakítások kibocsátásainak az eltérése. Egy száraz rétegrendű BSH fa gerendás födémhez tartozó kibocsátásérték az esztrichbetonos úsztatott rétegrendű padlóval készülő monolit vasbeton síklemeznek csak 20%-a. A zárófödémek abban térnek el a közbenső födémektől, hogy itt nem készülnek padlórétegrendek, illetve terhelésük alacsonyabb, és ezért kisebb szerkezeti méretekkel tervezhetők. Az előregyártott gerendás bélés-teszt vasbeton födém esetében a zárófödémnél nem használtunk felbetont,

így nem jelentkezik az ehhez tartozó magas kibocsátásérték.

A tetőknél a lapostető csak hő- és vízszigetelést tartalmaz, szerkezetet nem, értéke ennek megfelelően alacsony. A szeglemezes tartó alacsonyabb fajlagos fa felhasználása miatt kedvezőbb. Végül a nagy hőcsillapítású monolit vasbeton koporsófödém mintegy háromszoros kibocsátásérték jelentkezik a faszervezetekhez képest.

4. | AZ ÉPÜLETEK BEÉPÍTETTKARBON ELEMZÉSE

Nézzük mi történik, ha az előző pontban elemzett épületrészekből virtuális épületeket állítunk össze. A szerkezetek kombinálásával 510 különböző virtuális épületet alkottam az épületszintű karbonkibocsátás vizsgálatához.

A 3. ábrán szerepelnek a különböző épületváltozatok összesített fajlagos kibocsátásértékeinek eloszlása. Mivel az épületrészek karbonértékei nagy eltéréseket mutattak várható volt, hogy ennek hatása jelentkezik majd a belőlük összeállított épületeknél is. A legkisebb és a legnagyobb érték között majd négyszeres a különbség, ami azt jelzi, hogy a tervezés mozgástere igen nagy.

A négyféle faltípussal (faváz, CLT, téglá, vasbeton) készülő épületekhez tartozó tartományokat nyílakkal jelöltem.

Az alsó értékek zömmel a tisztán fa megoldásokhoz tartoznak, a legtöbb épületváltozatot a 209-309-es közbenső értéktartományba generáltam különböző falazat típusokkal, majd a legmagasabb kibocsátások a monolit vasbeton falakat tartalmazó megoldások esetén jellemzőek.

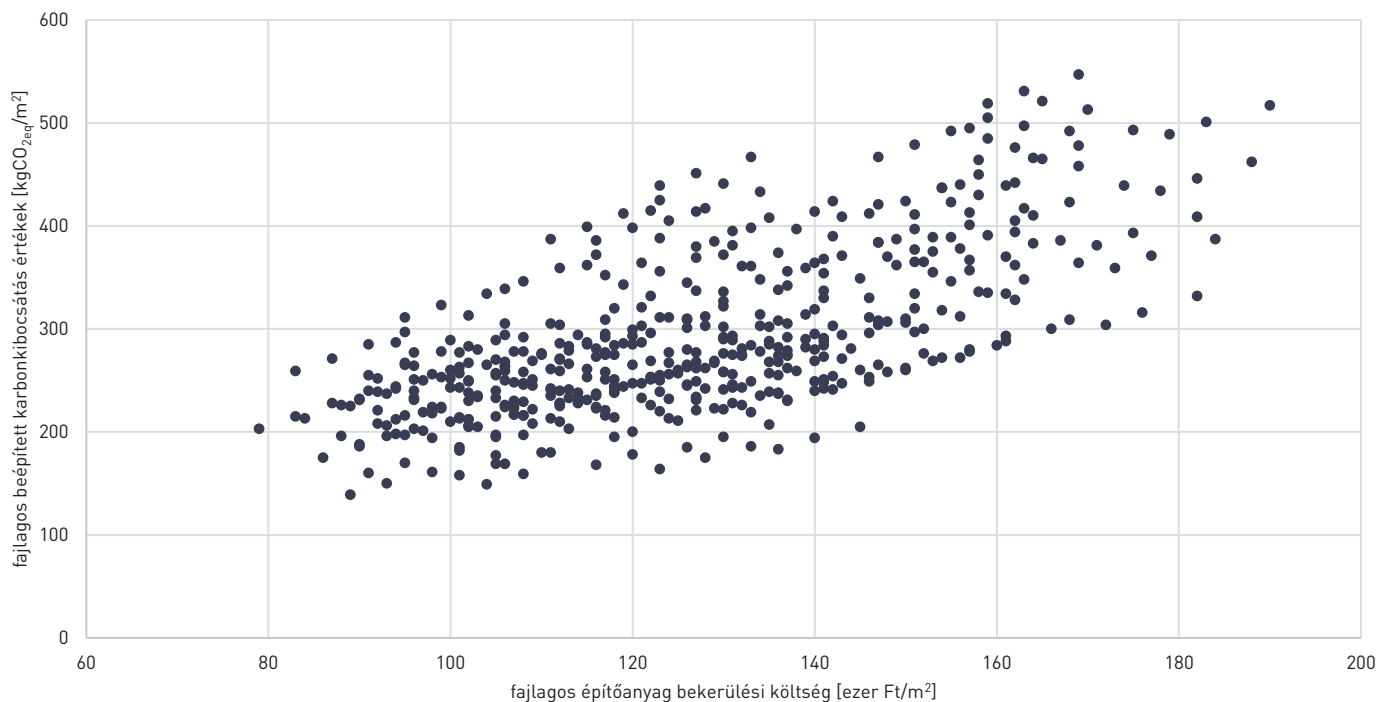
Három jellemző épületet emelnék ki a generált változatok közül, a legkisebb, a legnagyobb és az átlagos kibocsátású változatot:

Legalacsonyabb kibocsátás: 139 kgCO₂/m²

- alapozás: talajcsavar, fa talpgerenda, ásványgyapot hőszigetelés, szárazaljazat
- fal: fa bordaváz, ásványgyapot hőszigeteléssel
- födém: fagerendás födém, EPS úsztatás, szárazaljazat
- tető: lapostető

Legmagasabb kibocsátás: 547 kgCO₂/m²

- alapozás: vasbeton lemezalap, EPS hőszigetelés, aljzatbeton
- fal: monolit vasbeton fal, EPS hőszigetelés
- födém: monolit vasbeton lemez, EPS úsztatás, aljzatbeton
- tető: monolit vasbeton koporsófödém, ásványgyapot hőszigetelés



4. ÁBRA: Az épületváltozatokhoz tartozó fajlagos beépített karbonkibocsátás értékek és a fajlagos építőanyag bekerülési költség összefüggései

Átlagos kibocsátás: 292 kgCO₂/m²

- alapozás: vasbeton lemezalap, EPS hőszigetelés, aljzatbeton
- fal: vázkerámia, EPS hőszigetelés
- födém: CLT fapaneles födém, EPS úsztatás, szárazaljzat
- tető: ácsszerkezet, ásványgyapot hőszigetelés

5. | ÉPÍTŐANYAGOK BEKERÜLÉSI KÖLTSÉGÉNEK ÉS KARBONKIBOCSÁTÁSÁNAK ÖSSZEFÜGGÉSE

Ha az épületek környezeti hatáselemzése párhuzamos költségelemzéssel jár, az segít megérteni a „környezeti” és pénzübeli költségek összefüggését. Az elemzésben 2023 novemberi tervezési munkák költségvetési kiírásainál használt építőanyag árakat használtam fel. Az 4. ábra diagramjának vízszintes tengelyén az épületváltozatok összesített építőanyag bekerülési költségének értékei szerepelnek, míg a függőleges tengelyen a hozzájuk tartozó összesített karbon kibocsátásértékek.

Azt láthatjuk, hogy a teljes tervezési spektrumra jellemző, hogy adott költség-szinthez tartozó karbonszintekben nagy eltérések adódnak. Ez azt jelenti, hogy a környezetbarát szemléletű ter-

vezés nem jelent automatikusan költségesebb tervezést, illetve azt is mutatja, hogy érdemes különböző műszaki megoldásokat mérlegelni, hiszen a kibocsátásokban jelentős csökkentések érhetők el az épület drágítása nélkül.

6. | ÖSSZEFOGLALÁS

Az ismertetett elemzési módszer nyilvánosan elérhető Környezetvédelmi Terméknyilatkozatok adataira épülő egyszerűsített megközelítése a lakóépületek beépített karbonszint szerinti értékelésének, rangsorolásának. A magyar tervezési gyakorlatban előforduló műszaki megoldásokból kombinált virtuális épületadatbázis elemzése bemutatta a különböző megoldások környezeti hatásaiban jelentkező jelentős különbségeket. A favázás épületek kiugróan alacsony kibocsátásúak, ezt követik a CLT fapaneles kialakítások, a különböző falazatok, vázkerámiák, pórusbetonok, mészhomoktéglák és végül a vasbeton szerkezetek.

Azért, hogy a normál tervezési gyakorlatban rejtőző lehetőségeket bemutassuk az elemzett szerkezetek szándékosan nem szűk körben használt speciális környezettudatos (pl. döngölt

fal, vályog, szalmabála fal) kialakítások voltak, hanem a kivitelezésben általánosan elterjedt megoldások. Az elvégzett elemzés azt mutatta, hogy a tervezés szerepe kiemelten fontos a kibocsátáscsökkentésben, és minden mérnök előtt nyitva áll a lehetőség, hogy a klímaváltozással szemben érzett egyéni felelősségérzetétől vezérelve, elemezze műszaki megoldásainak beépített karbonkibocsátását, és ennek eredményeit figyelembe vegye munkája során.

HIVATKOZÁSOK

- [1] EPD-Online Platform: Institut Bauen und Umwelt e.V (IBU), <https://epd-online.com>
- [2] O. P. Gibbons, J. J. Orr, C. Archer-Jones, W. Arnold, D. Green: How to calculate embodied carbon, The Institution of Structural Engineers, 2022, <https://www.istructe.org/resources/guidance/how-to-calculate-embodied-carbon/>
- [3] oneClickLCA: Regulations and policies driving embodied and whole life carbon, weboldal, <https://www.oneclicklca.com/regulations-and-policies-driving-embodied-and-whole-life-carbon/>
- [4] Will Hawkins: Timber and carbon sequestration, The Structural Engineer 99 (1), 2021, 18-20, <https://doi.org/10.56330/ALFK4016>
- [5] Mahsa Torabi, Ralph Evins: Towards net-zero carbon buildings: Investigating the impact of early-stage structure design on building embodied carbon. The International Journal of Life Cycle Assessment (2024), <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02287-w>
- [6] Grasshopper Community, Forum, Grasshopper Algorithmic Modelling, <https://www.grasshopper3d.com/>

Szecskő Heléna¹, Horváth Tamás²

ALACSONY ENERGIAIGÉNYŰ LAKÓÉPÜLET KOMPLEX TERVEZÉSE: ÉPÜLETSZERKEZETEK, ENERGETIKA ÉS ÉLETCIKLUS ELEMZÉS

COMPLEX DESIGN OF A LOW-ENERGY RESIDENTIAL BUILDING:
BUILDING STRUCTURES, ENERGY AND LIFE CYCLE ANALYSIS

KIVONAT / HUN

Az építés jelentős környezeti hatásokkal bír, melyekre egyre nagyobb figyelemmel kell lennünk a globális klímaváltozás kihívásai közepette. Cikkünkben egy alacsony energiaigényű lakóépület tervezési folyamatához kapcsolódóan szeretnénk megmutatni, hogy az építészeti és épületszerkezeti tervezés szempontjaihoz miként társulhat a környezeti hatások elemzése a teljes életciklus elemzés (LCA) módszerének használatával. A tervezett lakóépület esetén kétféle tartószerkezeti kialakítást hasonlítottunk össze, a falazott, vasbeton födémes megoldást és a CLT fapaneles építést. A homlokzati hőszigetelés tekintetében megvizsgáltuk a polisztirolhab, az ásványi hab és az ásványgyapot anyagok alkalmazását. Vizsgálatunkat BIM környezetből kiindulva a One Click LCA szoftver segítségével végeztük el. Az alkalmazott módszer és a vizsgálat eredményei érdekesek lehetnek mindazok számára, akik a környezeti hatások figyelembevételével szeretnék döntést hozni tervezett épületük anyaghasználatát illetően.

Kulcsszavak: épületszerkezet-tervezés, épületenergetika, életciklus elemzés, környezeti hatások, LCA, BIM

ABSTRACT / ENG

Construction has significant environmental impacts, which need to be increasingly taken into account in the face of global climate change challenges. In this article, we would like to show how the aspects of architectural and structural design can be combined with the analysis of environmental impacts using the method of total life cycle analysis (LCA) in connection with the design process of a residential building with low energy demand. In the case of the planned residential building, two types of structure designs were compared, the masonry, reinforced concrete slab solution and the CLT wood panel construction. With regard to thermal insulation, we examined the use of polystyrene foam, mineral foam and mineral wool materials. Our study was conducted starting from a BIM environment using One Click LCA software. The method and our results may be interesting for all those who would make a decision regarding the material use of their planned building taking into account the environmental impacts.

Keywords: structural design, building energy, life cycle analysis, environmental impacts, LCA, BIM

¹ okl. építészmérnök, doktorandusz, Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkezettani Tanszék, e-mail: helenaszecsko@gmail.com

² okl. építészmérnök, PhD, egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkezettani Tanszék, e-mail: htms@ga.sze.hu

1. | TÉMAFELVETÉS

A globális felmelegedést az üvegházhatású gázok kibocsátásának növekedése olyan mértékűre fokozta, amelyet a bolygó biokapacitása talán már nem képes visszafordítani. A népességszám és az életszínvonal növekedése egyre több erőforrást igényel, amit a természet hosszú távon nem tud biztosítani. A környezettudatos megközelítés minden területen sürgető.

Az energiafelhasználás és a szén-dioxid kibocsátás jelentős része az építőiparhoz köthető. Az épületek építéséhez, karbantartásához és használatához szükséges energia mennyisége nagyon magas, a világ energiafogyasztásának 40%-a. Az épületek energiatakarékos létesítése és működtetése érdekében az építéshez szükséges energia- és nyersanyag-felhasználás mérséklése szükséges, melyhez komplex tervezői megközelítés szükséges [1].

Cikkünkben egy alacsony energiafelhasználású családi lakóház tervezése kapcsán, arra a kérdésre keressük a választ, hogy a szerkezetek anyagválasztása milyen hatással van az épület teljes életciklus alapú CO₂ kibocsátására. Az eltérő szerkezeti anyagok hatásának vizsgálata mellett a jellemző épületszerkezeti egységek részarányára vonatkozóan is szeretnénk következtetéseket megfogalmazni. A vizsgálathoz szükséges módszertani háttér összegzése mellett, bemutatjuk az épületszerkezeti, épületenergetikai és teljes életciklus alapú elemzés eredményeit is.

2. | AZ ÉLETCIKLUS ELEMZÉS KERETRENDSZERE ÉS LÉPÉSEI

Az építőiparban a teljes életciklus elemzés (LCA: Life Cycle Analysis vagy Assessment) keretrendszerét az MSZ EN 15978:2012 magyar szabvány definiálja, amely az elemzés minden aspektusára iránymutatást ad. A szabvány szerint az építési termékek és épületek életciklusa négy fő szakaszra osztható **(1. ábra)** [2]:

A1-A3 Termék szakasz: Magában foglalja a nyersanyag kitermelését, szállítását és a gyártási folyamatokat az energiaáramokkal és emissziókkal.

A4-A5 Építési folyamat: Az építési termékek helyszínre szállítása és a kivitelezési folyamat szintén energiát igényel és hulladékképződéssel is jár.

B1-B7 Használat: Lefedi az épület / építési termék használatát, a karbantartását, javítását, felújítását. Az épület élettartama (pl. 50 év) alatt ezek a műveletek bizonyos időnként ismétlődnek (5, 10, 15 évente). A használati fázisban jelentős környezetterhelést jelent az üzemeltetéshez szükséges energiafelhasználás és vízfogyasztás. A közel nulla energiaigényű épületek létesítése nagy kihívás az ágazat számára.

C1-C4 Életút végi szakasz: Magában foglalja a bontást, szállítást, hulladékfeldolgozást és lerakást. Ez a szakasz por-szennyezéssel és zajjal jár. A környezetterhelések csökkentése érdekében a bontott anyagok szelektív elkülönítése, a helyszíni aprítási műveletek hozzájárulnak az újrahasznosításhoz és a lerakás minimalizálásához.

D Az épület életciklusán túli szakasz: A rendszerhatáron kívül eső előnyök és terhelések szakasza, amibe beleértendő az újrahasználat, az újrahasznosítás vagy az energetikai célú hasznosítás. Ez a szakasz, a körforgásos megoldások számára nyújt innovációs lehetőségeket. Potenciális haszonnal jár, ha már a tervezési fázisban a hulladékképződés elkerülésére törekszünk.

Az MSZEN15978 szabvány alapján az LCA az alábbi lépések szerint történik [2] [3] [4]:

- Az elemzés céljának meghatározása.
- Az elemzés tárgyának, az épület modelljének létrehozása.
- Szenáriók meghatározása az épület életciklusára vonatkozóan (például: nincs felújítás, részleges felújítás, bontás és új építés).
- Anyagmennyiségek meghatározása a modell segítségével.
- Környezeti hatások beszerzése hiteles adatforrásokból vagy független termékadatokból (pl. EPD-k).
- A fajlagos környezeti hatások multiplikációja az anyag- és energiafelhasználás függvényében a különböző szenáriók szerint.

Az elemzés eredményének pontosságát elsősorban két tényező határozza meg: az épület anyagkimutatásában szereplő anyagmennyiségek részletessége és a környezeti hatásadatok hitelessége. Az építőiparban az LCA-t termékfejlesztésre, környezetvédelmi terméknnyilatkozatok (EPD) elkészítésére és épületminősítő rendszerek (pl. LEED, BREEAM, DGNB) részeként használják.

ÉPÜLET ÉRTÉKELÉSE														
épület életciklusa													életcikluson túl	
A1-3			A4-5		B1-7					C1-4				D
termék szakasz			építési szakasz		használati szakasz					életút vége szakasz				rendszerhatárokon kívüli előnyök és terhelések
nyersanyag kitermelése	szállítás	gyártás / előállítás	szállítás	építés / kivitelezés	használat	karbantartás	javítás	csere	felújítás	bontás	szállítás	hulladék-feldolgozás	deponálás	újrahasználat / újrahasznosítás / energetikai hasznosítás
					üzemeltetési energiafelhasználás									
					használati víz felhasználás									

1. ÁBRA: Az életciklus elemzés szokásos keretrendszere [2]

3. | A BIM MODELL ALAPÚ TERVEZÉS LEHETŐSÉGEI

Az építményinformációs modellezés (BIM: Building Information Modeling vagy Management) napjainkban egyre fontosabb szerepet játszik a hatékony tervezési és építési folyamatokban, ez részben a gyorsuló gazdaság miatt kialakuló építőipari turbulenciának, részben pedig az egyre bonyolultabb projekteknek köszönhető. A tervezési, kivitelezési és üzemeltetési folyamatok hatékonyságának fokozása mellett, a BIM alapú modellezés az épület teljes életciklusának kezelésére is kiválóan alkalmas.

A Lechner Tudásközpont BIM kézikönyve [5] így határozza meg a BIM lényegét: „A BIM olyan CAD-alapú tervezési módszerek és irányelvek összessége, amely lehetővé teszi az építmények létrehozásában és üzemeltetésében részt vevő szereplők (építetők, tervezők, kivitelezők, üzemeltetők) számára a valóságnak megfelelő virtuális térben történő együttműködést és információmegosztást, valamint a releváns adatok gyors megjelenítését”. A BIM modell részletesen tartalmazza az épület minden elemét, megkönnyítve a projekt résztvevőinek az épület előzetes megismerését és megértését, még mielőtt megépülne. A BIM és a hagyományos 3D modellezés közötti lényeges különbség abban rejlik, hogy a BIM modell számos információval egészül ki. Ezek az információk meghatározzák, hogy milyen széles körben és részletesen használható fel később a modell. A BIM-modellezés lehetőséget ad arra is, hogy a projektben résztvevő szakemberek megosz- szák és feltöltsék saját területük adatait, hozzájárulva ezzel a teljes modell pontosításához.

A BIM modell segíthet megérteni az épület energetikai működését is, támogatva az energiahatékony tervezést. A modell lehetővé teszi a tájolás, a szerkezeti megoldások és a beépített anyagok elemzését, így segít abban, hogy a tervezés során az optimális energetikai döntések születhessenek meg.

A BIM alapú tervezés és az LCA integrációja

Az épületek teljes életciklusban vizsgált környezeti hatásainak növekvő jelentősége miatt egyre nagyobb igény van arra, hogy már a tervezés korai szakaszában elvégezzék az életciklus elemzést. Ehhez biztosítani kell a különböző szoftverek közötti hatékony adatátvitelt. Különböző LCA-BIM integrációs stratégiákat ismerünk, melyek a gyakorlati használhatóságra fókuszálnak. Az integráció szintjei a félig manuális módszerektől egészen a BIM szoftverekhez kapcsolódó speciális LCA szoftverekig terjednek, ahol a manuális adatbevitel minimális.

Az életciklus elemzés lépései BIM környezetben:

- **Modellezés:** a BIM modell felépítése az épület geometriájával és a kapcsolódó információkkal;
- **Mennyiségkimutatások:** a BIM modell alapján elkészül az elemek és anyagok listája a megfelelő mennyiségekkel.
- **LCA-profilok létrehozása:** a modellben használt anyagok környezeti hatásainak összegyűjtése LCA adatbázisokból.
- **Összekapcsolás:** az anyagmennyiségeket össze kell kapcsolni a megfelelő LCA-profilokkal.
- **Számítás:** a környezeti hatások kiszámítása az anyagmennyiségekhez rendelt LCA adatok alapján.
- **Vizualizáció és elemzés:** az LCA számítás eredményeinek megjelenítése és elemzése.

A BIM és az LCA több különböző stratégiát követő integrációs módszere is jelen van a piacon [6] [7] [8]:

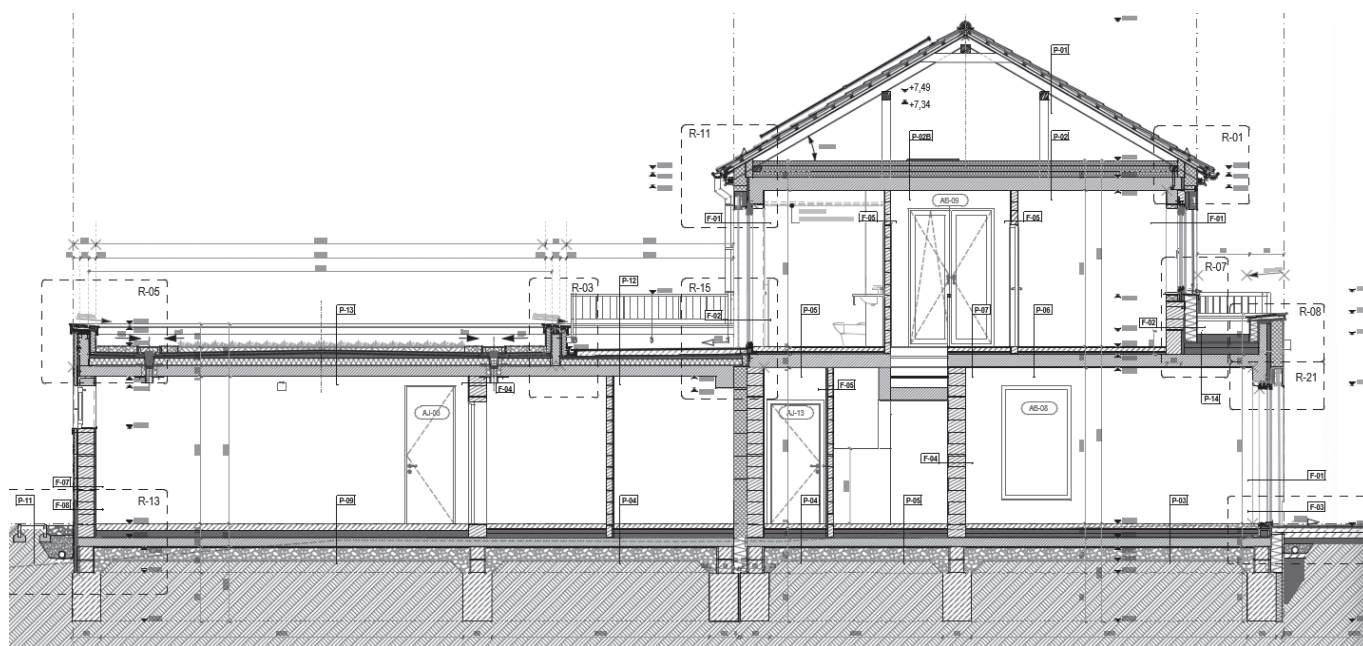
- **Bill of Materials (BoM) exportálása:**
Ebben a módszerben az anyagkimutatást a BIM modellből táblázatos formában nyerik ki, majd egy LCA szoftverbe importálják, ahol az LCA számításokat el tudják végezni. Ez egy alapvető integrációs forma, ahol a BIM modell csak a mennyiségi adatokat szolgáltatja, a számításokat pedig egy független szoftver végzi.
- **IFC formátumú modell importálása:**
Ebben a folyamatban a BIM modell geometriáját és anyagmennyiségeit IFC formátumban importálják az LCA szoftverbe. Ez a módszer több adatot visz át a szoftverek között, például a globális egyedi azonosítókat is, így az LCA profilok megőrződnek a modell frissítésekor.
- **BIM viewer alkalmazása:**
Ebben a módszerben a BIM modellt egy BIM viewer programba importálják, amely már tartalmazza az LCA profilokat. Ez a köztes lépés megkönnyíti az LCA profilok hozzárendelését az anyagokhoz, majd a modellt továbbítják a számítások elvégzéséhez.
- **BIM szoftverekhez fejlesztett LCA plugin:**
A BIM modellhez integrált LCA plugin segítségével az LCA számításokat közvetlenül a BIM szoftveren belül végezhetik el. Az adatok kevesebb veszteséggel, gyorsabban és hatékonyabban kezelhetők. Az eredmények 3D-ben is megjeleníthetők, ami közvetlen betekintést nyújt a legfontosabb hatásokba. Például az Archicad programhoz ilyen plugint biztosít a One Click LCA, vagy a Revit programhoz a Tally plugin használható e célra.
- **BIM objektumok LCA profilokkal:**
Ez a módszer az egyik legfejlettebb integrációs forma, amelynél az LCA információk már a BIM objektumok részei. Így a modell építése közben az LCA profilok automatikusan társulnak a geometriai és anyagadatokhoz. Az LCA számításokat vagy a BIM szoftver beépülő moduljával, vagy az adatok exportálása után egy dedikált LCA szoftverrel végzik.

Az LCA és BIM integrációja lehetővé teszi, hogy már az építési projektek korai szakaszában számszerűsítsük a betervezett építési termék környezeti hatásait. A BIM modell használata az engedélyezési terv és a kiviteli terv szakaszaiban különösen előnyös, mivel ekkor már rendelkezésre állnak a jövőbeli épületet jellemző konkrét információk [9]. A vizsgálat lehetőséget ad arra, hogy a tervezés korai fázisában változtatásokat hajtsunk végre, illetve összehasonlíthassunk különböző tervezési alternatívákat a környezeti hatások szempontjából.

Az életciklus elemzés lehetőséget kínál komplexebb vizsgálatokra is, mint például:

- a Life Cycle Cost Assessment, melyben az életciklusra vonatkozó költségek meghatározása a cél;
- a Life Cycle Sustainability Assessment [], melyben a fenntarthatósági szempontok értékelése a cél;
- a Social Life Cycle Assessment, melyben a társadalmi hatások értékelhetők.

A következőkben egy esettanulmányon keresztül mutatjuk be a BIM alapú életciklus vizsgálatot. Egy lakóház esetében fogjuk megnézni, hogy a tartószerkezeti és hőszigetelő anyagok megválasztása milyen környezeti hatásokkal jár.



2. ÁBRA: A tervezett lakóház metszete [11]

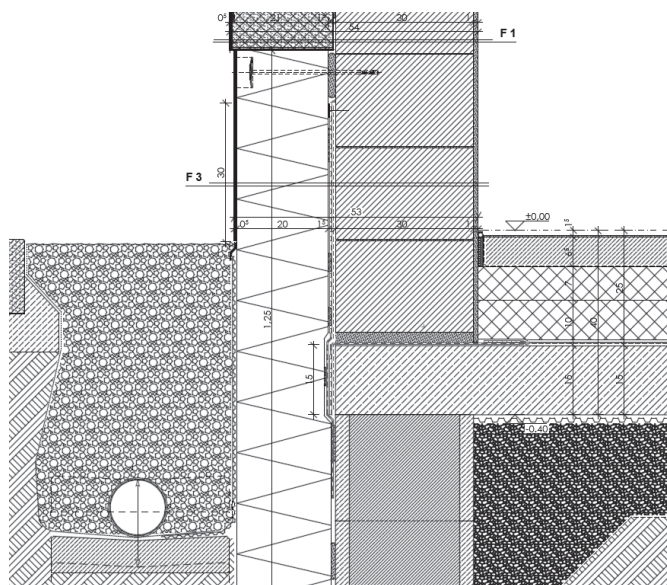
4. | EGY ALACSONY ENERGIAIGÉNYŰ LAKÓÉPÜLET TERVEZÉSE ÉS ELEMZÉSE

4.1. ÉPÜLETSZERKEZETI KONCEPCIÓ

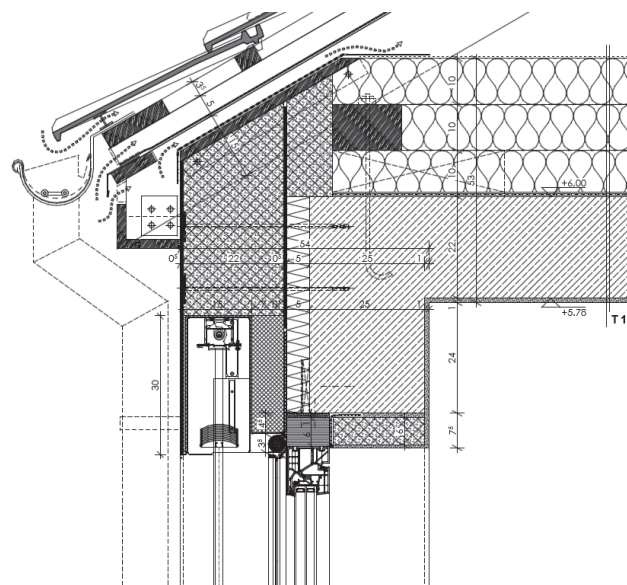
Meglévő lejtős telken új egyalakú családi lakóház építésének igénye merült fel [11]. A tervezett épület falas rendszerű, magas és lapos tetővel fedett, földszint plusz egyemelet kialakítású, alapciszteletlen. Az építészeti koncepcióterv szerint kerámia cserépfedésű magastetővel készül, vakolt

homlokzattal. Az épület két részre osztható: a lakótérre és a garázs, illetve a tárolók számára kialakított épületegységre. A lakórészrel ellentétben a garázs épületegysége nem fűtött, csak temperált.

A beruházói igénynek megfelelően egy alacsony energiafelhasználású és környezeti terhelés szempontjából is kedvező hatású épület tervezése volt a cél. Komplex tervezési szemlélet szükséges, mert önmagában az energetikai megfelelés vizsgálata nem elégséges, az anyagok kiválasztásánál is meghatározó szempont az épületbe vitt energiák mennyiségének monitorozása. Az épület tervezése a vonatkozó energetikai előírások figyelembevételével történt, a fűtött teret



3. ÁBRA: Épületszerkezeti részlet: lábazatkialakítás [11]



4. ÁBRA: Épületszerkezeti részlet: ereszkialakítás, nyílászáró beépítés [11]

határoló szerkezetek tervezése során figyelembe vettük a hatályos épületenergetikai előírásokat [12] [13], különös tekintettel a határoló szerkezetek hőátbocsátási tényezőjére vonatkozóakat [2. ábra].

Az épület alapozása a főfalak alatt a teherhordó talajig, illetve a fagyhatárig lemenő sávalap [3. ábra]. A beton zsaluzóelem lábazati falak kitöltőbetonnal és vasalással készülnek, amire vasalt aljzat kerül. A tömörített kőzúzalékon dombornyomott lemez szerelőréteg és 15 cm vasalt aljzat készül, amire talajnedvesség elleni védelem miatt poliészter fátyol hordozórétgű, SBS modifikált bitumenes lemez vízszigetelés készül, kellőstített aljzatra fektetve. A padlóba fokozott teherbírású expandált polisztirolhab hőszigetelés kerül.

A lakóház külső és belső teherhordó falszerkezetére vonatkozóan több lehetőséget is megvizsgáltunk, a hagyományosnak tekinthető szilikát szerkezet és a terjedőben lévő rétegelt ragasztott fa[CLT] építéstechnológia alkalmazása is felmerült. A külső falazatokra hőszigetelő rendszerű vakolat készül. A főépület (lakótér) esetében a falszerkezetre 22 cm hőszigetelés, a lábazati zónában 20 cm lábazati hőszigetelés kerül. A garázs épületegységénahőszigetelés mindenhol, a lábazati zónában is 6 cm-es.

A korszerű, hőszigetelt nyílászárók a külső teherhordó mészhomok blokk téglafal külső síkján, a homlokzati hőszigetelés mögött közvetlenül, hőhidmentes beépítéssel készülnek [4. ábra].

Az átszellőztetett magastetőn kerámia cserépfedés készül, a fedélszék tartószerkezete szelemenés ácsszerkezet. A nyeregtetős padlástér fűtetlen, a szűlő hőszigetelés vonalvezetése a padlástér födém vonalában fut.

Az épülethez egy nem járható terasz, egy járható greslap burkolatú lapostető, és ehhez kapcsolódóan zöldtető tartozik [5. ábra], illetve az emeleti közlekedőről erkély nyílik [6. ábra]. A lapostető egyenes rétegfelépítésű belső vízelvezetésű lapostető, a hőszigetelés 12 cm PIR hab hőszigetelés, a lejtést adó réteg változó vastagságú 2%-os lejtéssel kialakított, expandált polisztirolhab anyagú. A vízszigetelés 1,8 mm

vastag, poliészterszövet erősítésű, FPO lemezből készül, egy rétegben, amire a zöldtető rétegei kerülnek. Járható terasz esetében a burkolat alá vasbeton aljzat kerül, az aljzatbetonon vízszigetelő, feszültségleépítő, elválasztó és repedésát-hidaló lemez készül.

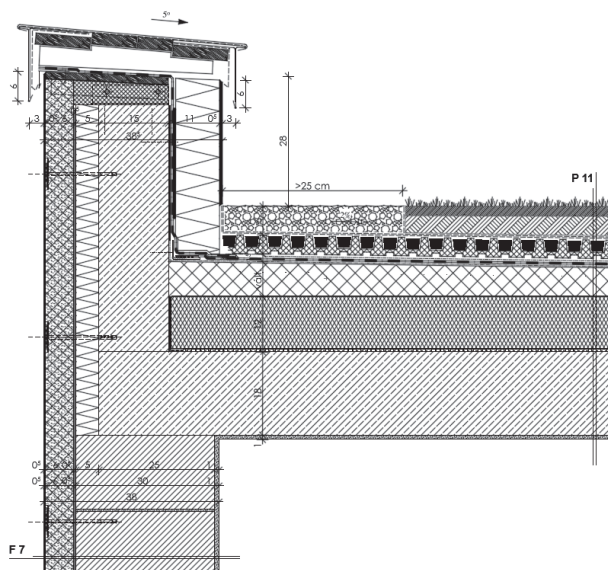
A tervezés során az Archicad szoftver 27-es verziójában építettük fel az épület BIM modelljét. A falszerkezeteket, illetve a padló rétegrendjeit réteges szerkezetként modelleztük, a réteges szerkezeteket külön definiáltuk a „réteges szerkezetek” menüpont alatt, a későbbi építési termék változtatások megkönnyítése érdekében.

4.2. ENERGETIKAI VIZSGÁLAT

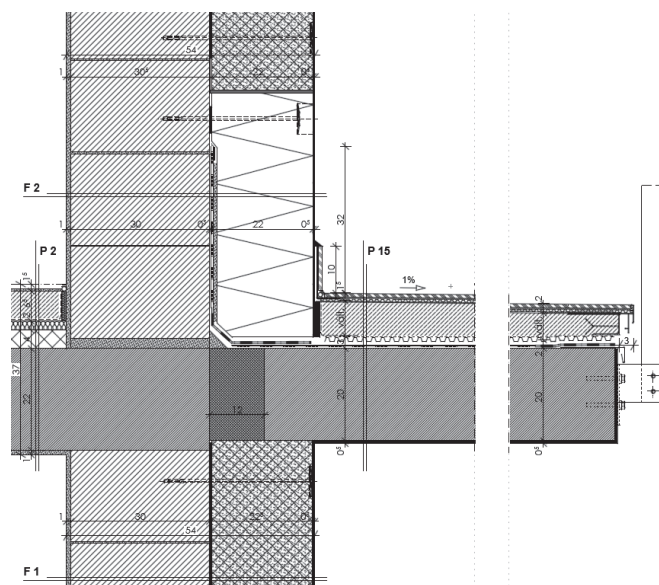
Az épületek energetikai megfelelőségét a 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet szabályozza [12] [14]. A réteges szerkezetekre vonatkozó hőátbocsátási tényezők követelményeinek betartása kötelező, ezért a tervezés során ennek megfelelően terveztük meg a réteges épülethatároló szerkezeteket és hőszigetelésüket. Az épület fűtési energiaigényének csökkentése érdekében, az energetikai elemzés eredményei alapján a külső falszerkezeteket 22 cm hőszigeteléssel terveztük meg. A fal hőátbocsátási tényezője közel azonos maradtak különböző hőszigetelő anyagok használata esetén is. Az összesített energetikai jellemzőben ezért nem okoz jelentős különbséget az eltérő anyagválasztás. Az épület fűtése a tervek szerint elektromos üzemű levegős hőszivattyúval, felületi hőleadókkal, padló-, fal-, mennyezetfűtéssel készül.

Az épület energetikai méretezése a WinWatt szoftverben készült, a számítás legfontosabb eredményei:

- összesített energetikai jellemző:	62,98 kWh/m ² év,
- ennek követelményértéke:	76,00 kWh/m ² év,
- eszerinti besorolás:	A+ ₂₀₂₃ (82,9%),
- fajlagos szén-dioxid kibocsátás:	13,06 kg/m ² év,
- ennek referenciaértéke:	25,00 kg/m ² év,
- eszerinti besorolás:	A+ ₂₀₂₃ (65,3%).



5. ÁBRA: Épületszerkezeti részlet: lapostető attika kialakítása [11]



6. ÁBRA: Épületszerkezeti részlet: erkély lábazat kialakítása [11]

4.3. ÉLETCIKLUS ELEMZÉS

Az EN15978 szabványnak [2] megfelelően a tervezett épületre vonatkozóan elkészített életciklus elemzés lépései a következőképpen foglalhatóak össze:

Elemzés célja: meghatározni a lehetséges falszerkezeti kialakítások közül a környezeti hatások alapján kedvezőt.

Elemzés tárgya: egy tervezés alatt lévő alacsony energiaigényű lakóház Archicad 27 szoftverrel létrehozott épületmodellje többféle szerkezeti kialakítással.

Szenáriók az épület életciklusaira:

1. Mészhomok teherhordó falszerkezet, monolit vasbeton szerkezetű födémmel, vasbeton sávalappal, falazott szilikát válaszfalakkal, a külső falakon hőszigetelés:

- 1A: expandált polisztirolhab hőszigetelés
- 1B: ásványi hab hőszigetelés
- 1C: ásványgyapot hőszigetelés

2. Teherhordó CLT (Cross Laminated Timber: keresztrétegelt fapanel) fal- és födém szerkezet, vasbeton sávalappal, CLT válaszfalakkal, a külső falakon hőszigetelés:

- 2A: expandált polisztirolhab hőszigetelés
- 2B: ásványi hab hőszigetelés
- 2C: ásványgyapot hőszigetelés

Mennyiségek meghatározása: a mennyiségeket a BoQ (Bill of Quantities) módszer használatával importáltuk a a One Click LCA célszoftverbe.

Környezeti adatok gyűjtése: a szükséges adatokat a program adatbázisából rendeltük hozzá a felhasznált építőanyagokhoz.

Környezeti hatások számszerűsítése: a számításokat a szoftverrel végeztük el, szabványos módszerrel.

Jelentés elkészítése: az elemzőszoftverben készítettük el az eredmények publikálását.

Az életciklus elemzés során leggyakrabban használt mérőszám a globális felmelegedési potenciál (GWP: Global Warming Potential), melyet szén-dioxid egyenérték egységben (CO_2e) fejezünk ki. A GWP hivatalos meghatározása szerint „egy adott anyag egységnyi tömegű kibocsátását követő, egy választott időhorizonton felhalmozott sugárzási erősséget mérő index, a referenciaanyag, a szén-dioxid (CO_2) kibocsátásához viszonyítva”. A GWP így az anyagok légkörben való eltérő tartózkodási idejének és a sugárzási kényszer okozásában való hatékonyságának együttes hatását mutatja [15].

Az életciklus elemzést a One Click LCA segítségével végeztük el, amely egy web-alapú, automatizált program, ami az épületek környezeti hatásainak kiszámítására és optimalizálására használható, az anyagmennyiségeket manuálisan vagy különböző fájlformátumok (Excel, Revit, IFC, gbXML stb.) segítségével lehet importálni a szoftverbe. Az elemzés során a világ legnagyobb EPD adatbázisának adatait használhatjuk, mely szabványos adatokat és gyártóspecifikus információkat egyaránt tartalmaz. Az életciklus elemzést az egyes anyagokhoz társított környezeti adatok pontossága teszi megbízhatóvá. Az adatbázisban nagy mennyiségű EPD található, de ezek részletezettsége, a felhasználási terület definiálása nem minden esetben pontos, a megfelelő EPD-k kiválasztása kutatómunkával történik, a magyar EPD-k korlátozott számban érhetőek el [16]. Mivel az EPD-k az életciklus-elemzés (LCA) során figyelembe veszik az energiaszolgáltatásból származó kibocsátásokat, az adott ország energiamixe közvetlenül meghatározza a termék környezeti terhelését. A vizsgálat so-

rán a felhasznált EPD-k a hazai gyártási és ellátási lánc sajátosságaihoz igazodnak, magyar EPD-kel dolgoztunk.

Jelen vizsgálat során a bemutatott épület különböző szerkezeti kialakítási lehetőségeire koncentrálnunk, a fal- és födém szerkezetek, valamint a homlokzati hőszigetelés anyagához kapcsolódó környezeti hatások vizsgálatát végezzük el. Az üzemeltetés energiaigényét az összehasonlító LCA számításnál annak megközelítő állandósága miatt nem vettük figyelembe.

Eltérő anyagú fal- és födém szerkezetek összehasonlító elemzése

A fal- és födém szerkezetek anyaghasználatát illetően két eltérő építéstechnológiára vonatkozó scenáriót vizsgáltuk:

- az első esetben az épület teherhordó falai 30 cm vastag mészhomok falazattal, válaszfalai 10 cm vastag falazott szilikát szerkezettel, födémei pedig 22 cm vastag monolit vasbeton szerkezettel készültek.
- a második esetben az épület teherhordó falai, válaszfalai és födém szerkezetei is CLT, rétegelt ragasztott fapanelekkel készültek, a teherhordó falak vastagsága 14 cm, a válaszfalak vastagsága 10 cm, a födémek vastagsága 20 cm volt.

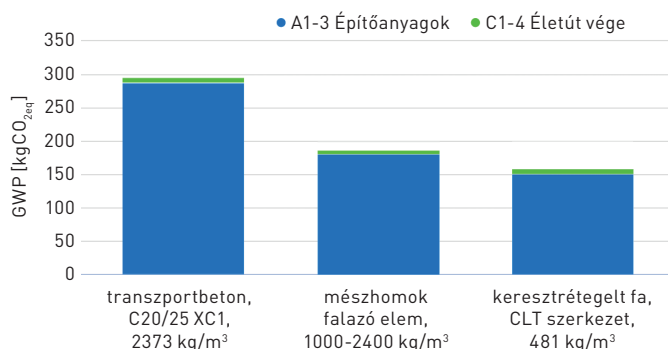
A **7. ábra** és az **1. táblázat** az épület szerkezetépítési munkáihoz használt három legfontosabb anyag globális felmelegedési potenciálját (GWP) mutatja, egységnyi (1 m^3) anyagra vonatkozóan az életciklus A1-A3 és C1-C4 szakaszaiban, vagyis az építőanyagok előállításának és semlegesítésének szakaszaiban. A környezeti határadatok alapján, egységnyi térfogatot tekintve a beton alkalmazása a leginkább előnytelen, a mészhomok téglák alkalmazása kedvezőbb, és a CLT anyag alkalmazása a leginkább előnyös. Utóbbi esetén vegyük azt is figyelembe, hogy a CLT technológia vékonyabb szerkezetekkel, vagyis kevesebb anyagfelhasználással dolgozik. Az anyagok összehasonlításának alapjaként szolgáló funkcionális egység m^3 -ben határozható meg.

Eltérő anyagú homlokzati hőszigetelések összehasonlító elemzése

Az energetikai megfeleléshez igazodva a főépület falszerkezetre 22 cm vastag hőszigetelést, a garázs épületegység falazata 6 cm szigetelést kapott. Az épületen elhelyezett összes homlokzati hőszigetelés 55 m^3 -re adódik.

A vizsgálat során a hőszigetelő anyagok A1-A3 és C1-C4 rendszerhatáron belüli környezeti hatásait hasonlítottuk össze, vagyis az anyag gyártásával és az életút végén történő hulladék kezelésével keletkező környezeti hatásokat. A három hőszigetelő anyag volt: ásványi hab, expandált polisztirolhab, ásványgyapot hőszigetelés.

A **8. ábra** a felhasznált hőszigetelő anyagok együttes globális felmelegedési potenciálját (GWP) mutatja, a **2. táblázatban** pedig a számításhoz felhasznált fajlagos értékeket láthatjuk. Az A1-A3 szakaszban azonos mennyiségű hőszigetelés előállítása esetén az ásványi hab szigetelő anyag környezeti terhelése a legmagasabb. Az életút végi C1-C4 szakaszt is figyelembe véve a legrosszabb választás az expandált polisztirolhab hőszigetelés lesz, a legjobb választás pedig az ásványgyapot hőszigetelés.



7. ÁBRA: A primer szerkezetek kialakításához alkalmazott anyagok (beton, mészhomok falazat, CLT fapanelek) fajlagos GWP értékei az életciklus A1-A3 és C1-C4 szakaszaiban

1. TÁBLÁZAT: A primer szerkezetek kialakításához alkalmazott anyagok (beton, mészhomok falazat, CLT fapanelek) fajlagos GWP értékei az életciklus A1-A3 és C1-C4 szakaszaiban

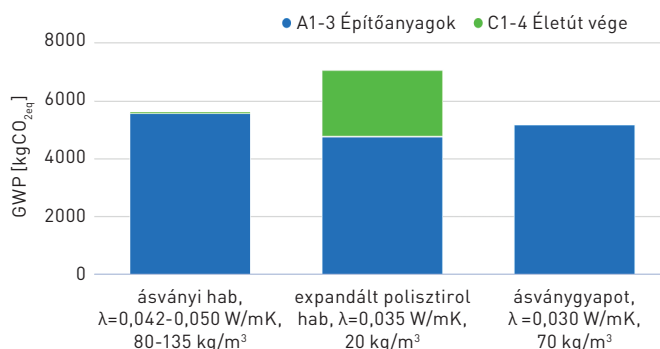
fal- és födém szerkezetek típusai (One Click LCA adatbázis)	globális felmelegedési potenciál, GWP [kgCO _{2eq} /m ³]	
	A1-A3 alapanyag / termék gyártás	C1-C4 bontás, semlegesítés
transzportbeton, C20/25 XC1, 2373 kg/m ³	288,15	7,76
mészhomok falazó elem, 1000-2400 kg/m ³	181,37	5,89
keresztrétegelt fa, CLT szerkezet, 481 kg/m ³	151,02	8,03

A kiválasztott hőszigetelések eltérő alapanyagigényekkel és gyártástechnológiával készülnek:

Az *expandált polisztirolhab* alapanyaga polimerizált sztirolgyöngy, amely pentán hajtógázt és egyéb adalékanyagokat tartalmaz. A gyártási folyamat során az első lépés az előhabosítás, melynek során a gyöngyök térfogata 20-50-szeresére növekszik, zárt cellaszerkezetet kialakítva. Ezt követi a pihentetés, szükség esetén utóhabosítás, majd a tömbhabosítás, ahol a gyöngyöket egy zárt formába töltik, és 110-120 °C közötti hőmérsékletű gőzzel ismételt duzzasztják. A gyöngyök képlékennyé válása és a belső nyomás hatására homogén szerkezetű tömb alakul ki. A kész blokkok pihentetése után izzószálas vágóberendezésekkel méretre vághatóak, vagy egyedi igények szerint formázhatóak.

A *kőzetgyapot* alapanyaga főként bazaltkő, amelyhez gyakran mészkövet vagy dolomitot is adnak. A megolvasztott bazaltot 1200-1500 °C hőmérsékleten centrifugahengerekkel szálalítják, majd a szálakat egyenletes vastagságú, vattaszerű táblákká préselik. Építészeti célra elsősorban műgyanta kötőanyagossal változtatnak, amelyet forró légáram alkalmazásával keményítenek ki.

Az *ásványi hab* hőszigetelő lapok gyártása egy több lépésből álló folyamat, az alapanyagok – homok, cement, mész, víz és pórusképző anyag, pl. alumíniumpor – gondos keverésével biztosítják a könnyű, porózus szerkezet kialakulását. A formázás és előedzés után a lapokat méretre szabják, majd autoklávban magas hőmérsékletű és nyomású gőzkezelésnek vetik alá, amely garantálja a végleges szilárdságot.



8. ÁBRA: A homlokzati hőszigetelések kialakításához alkalmazott anyagok (ásványi hab, EPS hab, ásványgyapot) GWP értékei az életciklus A1-A3 és C1-C4 szakaszaiban, a teljes anyagfelhasználásra vonatkozóan

2. TÁBLÁZAT: A homlokzati hőszigetelések kialakításához alkalmazott anyagok (ásványi hab, EPS hab, ásványgyapot) fajlagos GWP értékei az életciklus A1-A3 és C1-C4 szakaszaiban

hőszigetelő anyagok típusai (One Click LCA adatbázis)	globális felmelegedési potenciál, GWP [kgCO _{2eq} /m ³]	
	A1-A3 alapanyag / termék gyártás	C1-C4 bontás, semlegesítés
ásványi hab, λ=0,042-0,050 W/mK, 80-135 kg/m ³	101,00	0,64
expandált polisztirol hab, λ=0,035 W/mK, 20 kg/m ³	86,18	41,38
ásványgyapot, λ=0,030 W/mK, 70 kg/m ³	93,76	0,39

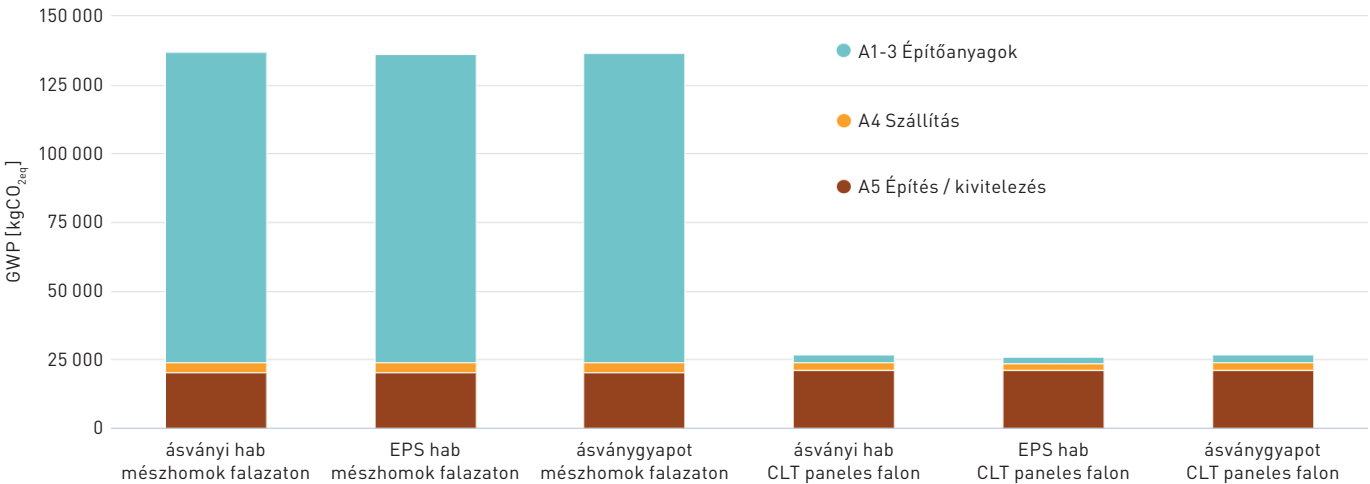
A teljes épület életciklus eredményei

Az eltérő építési módok összehasonlításához két Archicad modell és anyagadatbázis létrehozására volt szükség. Az egyik épület mészhomok téglá falazattal és vasbeton födém szerkezettel, a másik teljes egészében CLT fapaneles szerkezettel készült. Az alapozás, a lapostető szigetelési rendszere és magastető kialakítása, a nyílászárók, a burkolatok minősége egységes mindkét épületverzió esetében.

A kétféle szerkezetépítési és háromféle hőszigetelési megoldás együtt hat különböző épületverziót, vagyis hat életciklus scenáriókat adott. A homlokzati falakra vonatkozó vizsgálatunk eredményeit a **9. ábra** és a **3. táblázat** mutatja. Jól látható, hogy a falszerkezet megválasztása meghatározó a A1-A5 rendszerhatáron belüli vizsgálatkor, vagyis az építőanyag gyártás és az építkezés környezeti hatásainak vizsgálatakor.

Az életciklus elemzésben az épület üzemeltetési életszakaszát nem vettük figyelembe, hiszen az üzemeltetéshez felhasznált energia mindegyik vizsgált esetben közel azonos mértékű lenne, kutatásunk célja nem az épület használatának optimalizációja.

Az A5 szakaszról általános, a One Click LCA szoftver által meghatározott, építési adatot vettük csak figyelembe, mely csak nagyságrendileg mutat helyes értéket a többi szakaszhoz viszonyítva, nem a konkrét építési folyamatok részletes adatain alapszik a feltüntetett érték. A CLT panelek, illetve más fa szerkezetek esetében az A1-A3 szakaszban negatív CO₂ kibocsátásról beszélhetünk, hiszen a szerves anyag felnövekedése során megköti és tárolja a szén-dioxidot életcik-



9. ÁBRA: Homlokzati falszerkezetek variációinak GWP értékei az életciklus A1-A5 szakaszában

3. TÁBLÁZAT: Homlokzati falszerkezetek variációinak GWP értékei az életciklus A1-A5 szakaszában

homlokzati falszerkezet kialakítása		globális felmelegedési potenciál, GWP [kgCO _{2eq} /m ³]		
		A1-A3 alapanyag / termék gyártás	A4 közlekedés, szállítás	A5 építési folyamat
mészhomok falazat	+ ásványi hab	113011,85	3798,72	20267,73
	+ EPS hab	112193,69	3802,31	20100,11
	+ ásványgyapot	112617,44	3793,01	20234,63
CLT paneles falszerkezet	+ ásványi hab	2953,82	2627,84	21107,35
	+ EPS hab	2420,57	2631,44	20951,12
	+ ásványgyapot	3086,50	2622,13	21116,41

lusa végéig. A C3 szakaszban azonban ugyanez a mennyiség fel is szabadul, így a két érték GWP szempontból együttesen nullának tekinthető, emiatt ezt az adatot nem szerepeltettük a kimutatásban.

A hat épületverzió között a globális felmelegedési potenciál tekintetében a lényegi különbség az A1-A3-as szakaszban tapasztalható: A vasbeton, illetve a falazóelemek előállítás okozza a legnagyobb környezeti terhelést, jóval nagyobb, mint a faszervezetek. A hőszigetelés minősége ehhez képest kisebb hatással van az épület teljes GWP értékére. Nagyobb különbségeket ez alapján a tartószerkezeti alapkoncepció meghatározásakor érhetünk el. Megfelelő energetikai kialakítás mellett a hőszigetelés típusának megválasztása is befolyásolja az üvegház hatású gázok kibocsátásának mennyiségét, azonban lényegesen kisebb mértékben, mint egy kedvezőbb tartószerkezeti koncepció kidolgozása.

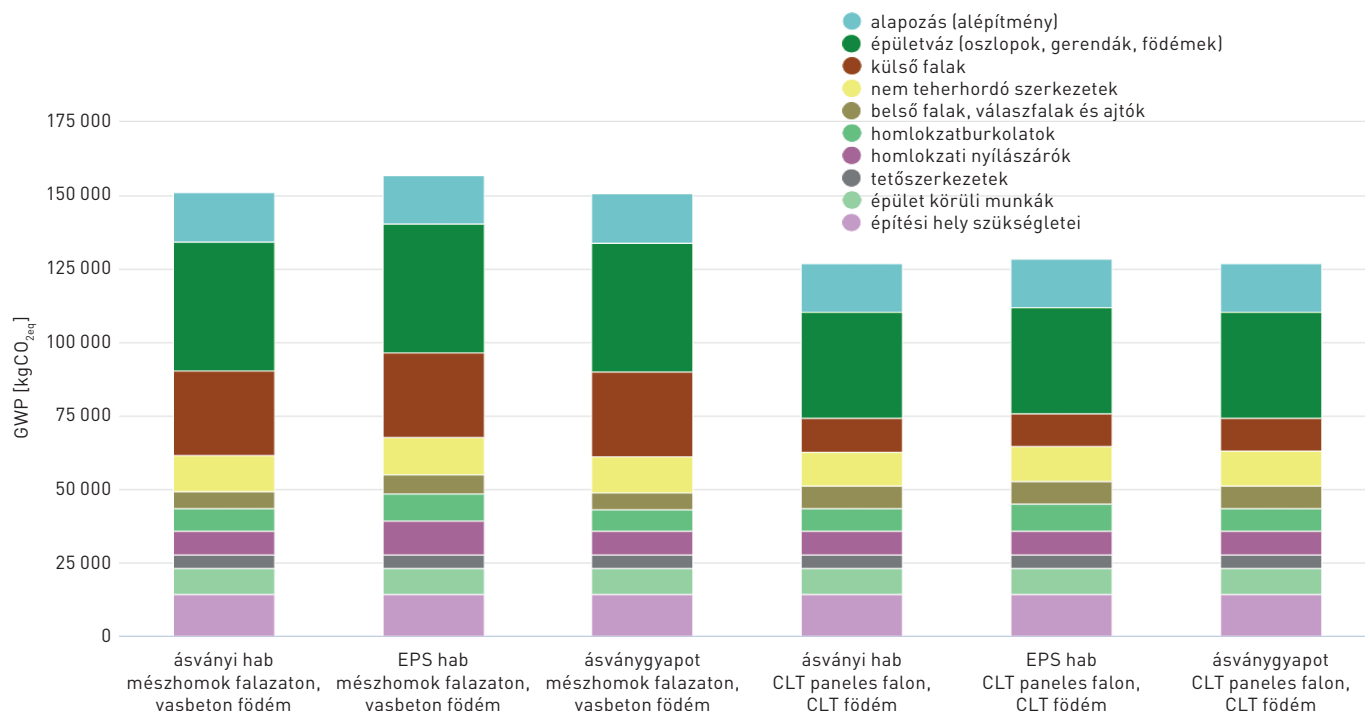
Az egyes épületszerkezetekhez köthető CO₂ eloszlás vizsgálatakor jól látszik (10. ábra), hogy a fő tartószerkezeti rendszer, az alapozás, a függőleges és vízszintes teherhordó szerkezet, a falazat és a födém szerkezetek a legjelentősebb tényezők. A vizsgált nehézszerkezetes megoldás esetén a falszerkezetek a teljes kibocsátás 18-19%-át, a vizsgált CLT szerkezet alkalmazása esetén ugyanez az érték 8-9%.

5. | ÖSSZEGRÉS

A cikkben bemutatott épületterv egy alacsony energiaigényű lakóház terve. Az épület hőtermelője elektromos üzemű levegős hőszivattyú, felületi hőleadókkal. Az épület hatályos szabályozás szerinti energetikai besorolása A+ osztályra adódik. A tervezett lakóépület szerkezeti anyagainak megválasztásakor a szokásos épületszerkezeti és épülete-nergetikai szempontokon túl szerettünk volna megalapozott döntést hozni az anyaghasználat fenntarthatóságát illetően is. Az életciklus elemzés olyan módszertant kínál, mely az építőipari folyamatok környezeti hatásainak számszerűsítésére is alkalmas. A módszer egyszerűen integrálható a BIM alapú épülettervezésbe, melyet az épülettervezés során alkalmaztunk.

Vizsgálatunkhoz Archicad környezetben készítettük BIM modellt, és a One Click LCA célszoftvert használtuk az elemzéshez. Az Archicadban tervezett épület modell alapú feldolgozása lehetővé tette az építési anyagok és termékek mennyiségének pontos kimutatását, a számszerűsített adatok One Click LCA szoftverbe történő exportját. A szoftver tartalmaz egy környezeti adatokra vonatkozó szabványos adatbázist. Az épület anyagkimutatásában szereplő anyagmennyiségek és az anyag típusok környezeti adatainak pontossága együttesen befolyásolják a számítási eredmények megbízhatóságát. Az építési termékek mennyiségének és típusának pontos meghatározása körültekintő munkavégzést kíván.

A vizsgálat eredményei szerint a betervezett anyagok közül az alapozás, a fal- és födém szerkezetek környezeti hatása a legjelentősebb. A betervezett építési termékek alapanyagának környezettudatos megválasztásával csökkenthető az épület CO₂ terhelése. Az alapozási rendszer tekintetében nem kerestünk alternatívákat, mindkét építési mód vizsgálatra alkalmas megoldással készült. A függőleges és vízszintes tartószerkezeti rendszer tekintetében viszont megvizsgáltunk két eltérő építéstechnológiát is, és összehasonlítottuk a mészhomok falazatos, monolit vasbeton födém építést a CLT fa-paneles építéssel. A homlokzati szerkezetek hőszigetelése tekintetében megvizsgáltuk az ásványi hab, az EPS hab és az ásványgyapot anyagú hőszigetelések környezeti hatásait.



10. ÁBRA: Épület alkotó fő épületszerkezetek feleleltedési potenciálja az életciklus A1-A5 szakaszában vizsgálva

Vizsgálatunkban a legkedvezőbb megoldást a CLT fal- és födém szerkezet adta, ásványi hab homlokzati hőszigetelés használata mellett. A hat épületverzió közötti globális felmelegedési potenciál (GWP) szempontjából a legjelentősebb eltérés az A1-A3 szakaszban figyelhető meg, amely elsősorban a vasbeton és a falazóelemek és CLT gyártásából adódik, a hőszigetelés minősége kisebb hatást gyakorol az épület teljes GWP értékére. A számítások alapján a legnagyobb különbségek a tartószerkezeti alapkoncepció meghatározásával érhetők el. Bár a megfelelő energetikai kialakítás mellett a hőszigetelés típusa is befolyásolja az üvegházhatású gázok kibocsátását, annak mértéke elmarad a kedvezőbb tartószerkezeti megoldások alkalmazásából származó hatások mögött. Környezeti szempontból a CLT alacsonyabb szénlábnnyal rendelkezik, mivel gyártása kevesebb üvegházhatású gázt bocsát ki, ráadásul a fa természetes módon megköti a szén-dioxidot, megújuló nyersanyagként fenntarthatóbb alternatívát kínál a betonnal szemben. Építési hatékonyság tekintetében a CLT gyorsabb kivitelezést tesz lehetővé az előregyártott elemek révén, csökkentve a helyszíni munkát és az építési hulladék mennyiségét. Szerkezeti előnyei közé tartozik a kisebb súly, amely mérsékli az alapozás anyagszükségletét.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Sophie Boehm és mtsi: State of Climate Action 2023, BEF – CAT – CA – CWF – NCI – UNCCHL – WRI. <https://doi.org/10.46830/wriipt.23.00010>
- [2] MSZ EN ISO 15978:2012 Építmények fenntarthatósága. Épületek környezeti értékelése. Számítási módszer
- [3] ÉMI: 10_2022. ÉPMI (v1_2022. IX. 16.). Építésügyi műszaki irányelv Az életciklus-elemzés lehetséges módszerei és értékelési szempontjai. Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft., Szentendre, 2022. [https://www.emi.hu/EMI/web.nsf/Pub/ZLJ8SA/\\$FILE/ELETCIKLUS_iranyelv_0908.pdf](https://www.emi.hu/EMI/web.nsf/Pub/ZLJ8SA/$FILE/ELETCIKLUS_iranyelv_0908.pdf)
- [4] Shpresa Kotaji, Agnes Schuurmans, Suzy Edwards: Life-cycle assessment in building and construction: a state-of-the-art report, 2003. Society of

Environmental Toxicology and Chemistry, 2003. https://cdn.ymaws.com/www.setac.org/resource/resmgr/books/lca_archive/life_cycle_assessment.pdf

- [5] Zagorács Márk, Szabó Beatrix: BIM kézikönyv 1.kötet – Bevezetés az épületinformációs modellezésbe. Lechner tudásközpont, 2018. <https://lechnerkozpont.hu/doc/terbeli-szolgáltatások-attekintes/lechner-tudaskozpont-bim-kezikonyv-1-kotet-1-kiadas.pdf>
- [6] L. Wastiels, R. Decuyper: Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 323, Sustainable Built Environment D-A-CH Conference, Graz, 2019.09.11-14. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012101>
- [7] Farshid Shadram, Tim David Johansson, Weizhuo Lu, Jutta Schade, Thomas Olofsson: An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design. Energy and Buildings 128 (2016), 592-604. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.007>
- [8] Ahmad Jade, Raidan Abdulla: Integrating building information modeling and life cycle assessment tools to design sustainable buildings. In: Proceedings of the CIB W78: 29th International Conference, Beirut, 2012.10.17-19. <https://itc.scix.net/pdfs/w78-2012-Paper-24.pdf>
- [9] Nagy Mercédesz Mirella, Szalay Zsuzsa, Nagy Balázs: Környezettudatos épületfelújítás BIM technológiákkal. TDK dolgozat, BME Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, 2020.
- [10] Carmen Llatas, Bernardette Soust-Verdaguer, Alexander Passer: Implementing Life Cycle Sustainability Assessment during design stages in Building Information Modelling: From systematic literature review to a methodological approach. Building and Environment 182 (2020), 107164. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107164>
- [11] Szecskő Heléna: Családi lakóház kiviteli terve, pallérterv és épületszerkezeti munkarész, 2024.
- [12] 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról. <https://njt.hu/jogszabaly/2023-9-20-8X>
- [13] 176/2008. (VI. 30.) Korm. rendelet az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról. <https://njt.hu/jogszabaly/2008-176-20-22>
- [14] Csoknyai Tamás, Szalay Zsuzsa, Nagy Balázs, Horváth Miklós és mtsi: Alkalmazott épületenergetika, ITM – MMK – BPMMK, 2024. <https://www.e-gepesz.hu/letoltes/alkalmazott-epuletenergetika-isbn.pdf>
- [15] []: Globális felmelegedési potenciál. Wikipédia szócikk, https://hu.wikipedia.org/wiki/Globális_felmelegedési_potenciál
- [16] Panu Pasanen, Anastasia Sipari, Erica Terranova, Rodrigo Castro, Tytti Bruce-Hyrkäs, Anna Katasonova: The embodied carbon review. Embodied carbon reduction in 100+ regulations & rating systems. One Click LCA Ltd, 2018. <https://oneclicklca.com/resources/ebooks/the-embodied-carbon-review>
- [17] Bozsaky Dávid: Építési hőszigetelő anyagok. TERC, Budapest, 2017.

Az Építéstudományi Egyesület sajtóközleménye alapján

A 2024-ES ÉPÍTŐK NAPJA SZAKMAI ELISMERÉSEI

PROFESSIONAL RECOGNITIONS OF BUILDERS' DAY 2024

Hagyományosan minden év június első vasárnapja az Építők Napja. Az Építéstudományi Egyesület főszervezésében, a közreműködő tagszervezetekkel közösen idén június 7-én megtartott központi ünnepségen kerül sor a szakmai sikerek elismerésére, kitüntetések átadására, az ágazatban dolgozó 380 ezer foglalkoztatott köszöntésére a Lechner Rendezvényközpontban.

A köztisztviselők kamarák, a munkaadói és munkavállalói érdekképviseletek és tudományos egyesületek, a kormányzat építésért felelős képviselőivel közösen köszöntötték ezen a napon az építésgazdasági értéklánc minden résztvevőjét.

Nagy megtiszteltetésnek tarjuk, hogy az idei évben magas szintű kormányzati képviselőket köszönthettünk eseményünkön. Velünk ünnepelt és beszédet mondott: *Lánszki Regő* államtitkár (Építési és Közlekedési Minisztérium), *Dr. Rétvári Bence* miniszterhelyettes (Belügyminisztérium), *Latorcai Csaba* miniszterhelyettes (Közigazgatási és Területfejlesztési Minisztérium) és *Czepek Gábor* államtitkár (Energiaügyi Minisztérium).

A rendezvényen megnyitóbeszédet mondott *Wagner Ernő* a Magyar Mérnöki Kamara elnöke.

Koji László, az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének elnöke, ünnepi beszédében kitért az építőiparban foglalkoztatottak csaknem 500 ezer fős létszámára. Elmondta, hogy a hazai ágazat egy évben 25 ezer lakás felépítésére és több mint 200 ezer felújításra volna képes. A teljes építőipari értéklánc pedig az országban évente 8000 milliárd forintnyi érték megteremtéséhez járulhatna hozzá.



Wagner Ernő a Magyar Mérnöki Kamara elnöke megnyitja a programot



A szakmai sikereket rangos díjakkal ismerték el a szervezők



Bálint Péter
miniszteri elismerő oklevelet kapott



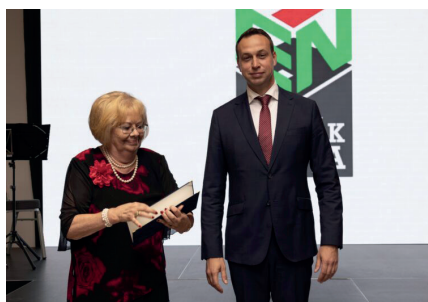
Dr. Máté János Krisztiánné Klára
miniszteri elismerő oklevelet kapott



Wéber László
miniszteri elismerő oklevelet kapott



Dr. Horváth Tamás
miniszteri elismerő oklevelet kapott



Dr. Hrapka Ilona
miniszteri elismerő oklevelet kapott



Helfrich Szabolcs
belügyminiszteri elismerő oklevelet kapott



Magas szintű kormányzati képviselőket köszönthettünk eseményünkön

Dr. Nagyunyomi-Sényi Gábor az Építéstudományi Egyesület elnöke ünnepi beszédében a szakmán belüli tolerancia és egymás iránti tisztelet fontosságát emelte ki.

Az eseményen számos díjat és szakmai elismerést adtak át:

Lázár János építési és közlekedési miniszter közreműködésével elismerő oklevelet vehetett át a tárca képviselőjétől, Lánszki Regő államtitkártól:

- Bálint Péter,
- Budavári Zoltán,
- Dr. Csoknyai Tamás,
- Hidasi Tibor,
- Dr. Horváth Tamás,
- Juhász Attila,
- Kemény Péter,
- Krebsz Gábor,
- Dr. Máté János Krisztiánné,
- Pap Zoltán,
- Szemán Róbert,
- Tombor Sándor,
- Werner Sára,
- Wéber László,
- Dr. Wojnárovits László Istvánné
- Dr. Hrapka Ilona.

Pintér Sándor belügyminiszter elismerő oklevelét vehette át a tárca képviselőjétől, Dr. Rétvári Bence miniszter-helyettétől:

- Bakos Ferenc József,
- Benczik Zoltán,
- Helfrich Szabolcs,
- Kóthay László,
- Szóts Gábor.

Az Építéstudományi Egyesület díját kapta tevékenysége elismeréséül:

- Kovács János,
- Semmelweis Tamás,
- Vízy László.

ÉTE Érdeméremben részesült:

- Kiss Julianna,
- Kovács Ádám Tamás,
- Uhrinyi Balázs.

Az Alpár Ignác díjat idén Lekics Gábor kapta az ÉTE győri szervezetében végzett aktív munkájáért.

Az ÉTE tiszteletbeli tag díjat kapott Dr. Becker Gábor.

Az ÉTE diplomadíj pályázatán Diplomadíjat kapott:

- Török Péter a „H2Zoo Állatkerti vízügyrahasznosító” című munkájáért.

Dicséretben részesült:

- Horváth Martina az „Állatmenhely-Győr” című munkájáért és
- Bánkúti Eszter az „Anyaoththon-Zalaegerszeg” című munkájáért.



Simmelweis Tamás
ÉTE díjat vehetett át



Kovács János
ÉTE díjat vehetett át



Lekics Gábor
Alpár Ignác díjat vehetett át



Uhrinyi Balázs
ÉTE Érdeméremben részesült



Kiss Julianna
ÉTE Érdeméremben részesült



Dr. Bozsaky Dávid
ÉTE Érdeméremben részesült



Bánkúti Eszter
diplomamunkája dicséretben részesült



Török Péter
ÉTE diplomadíjat vehetett át



Horváth Martina
diplomamunkája dicséretben részesült

Az idei Építők Napja alkalmából vette át a 2023-ban kapott Érdemérem kitüntetését Dr. Bozsaky Dávid a győri szervezetben végzett munkájáért.

A Magyar Mérnöki Kamara Kardos András díját Zsigmondi Andrásnak adományozták.

Az Építő-, Fa-, és Építőanyagipari Dolgozók Szakszervezeteinek Szövetsége elismerő oklevelét

- Deckertné Balázs Margit,
- Gorisek Ferenc,
- Gyulai Ferenc és
- Semey Attila kapta meg.

A Szilikátipari Tudományos Egyesület emlékérmét Péli György vehette át.

A rendezvény zenei aláfestéséről a Szent István Kwartett gondoskodott, akik színvonalas műsorukkal hozzájárultak a rendezvény nívós megvalósításához.

Az esemény végén az érdeklődőknek lehetősége volt Lechner Rendezvényközpont, illetve a hozzá tartozó sörfőzde megtekintésére egy vezetett bejárás keretében. A díjátadót követő jó hangulatú fogadáson pedig nem maradhatott el a hagyományos sör-virslis elfogyasztása sem.

A közlemény fotóit Koji Melinda és Csényi Sándor készítette.

Tetőfelületek felmérése fotogrammetriai eljárással

DOMOKOS GYÖRGY NÉ dr.

Bevezetés

Az épületfenntartási munkák (felújítás, karbantartás) volumene és igénye világviszonylatban megnőtt és egyre nagyobb súllyal terheli az egyes országok építőiparát.

Az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága 1963-ban Genfben, a KGST államok szervezete 1967-ben Varsóban felhívta a figyelmet, hogy meg kell keresni az optimális egyensúlyt az új építkezések és az épületfenntartási költségek között. Hasonló problémáról folyt a vita 1967-ben az angliai Boiling Centre Forum-ban is. A Szovjetunió 1967-ben minisztertanácsi határozatot hozott megfelelő profilú kutatóintézet felállítására.

Mindenütt megállapították, hogy a meglevő épületek állagvédelmét elhanyagolták. Ennek következtében egyre gyakrabban és törvényszerűen jelentkeznek a fokozott állagromlás következményei. A környezetvédelem egyik feladata a lakóépületek külső, belső jó állapotban való tartása és az egészséges lakáskörülmények biztosítása.

Számos kutatóintézet foglalkozik a karbantartási költségek szükséges mértékének megállapításával. Az épületek újra előállítási értékének hányadaként vizsgálva a nagyságrendiséggel az ENSZ — EGB 1963. évi jelentése szerint az egyes országokban igen eltérő adatokat találunk [1].

Szovjetunió	2,5%
NDK	2,0%
Hollandia	1,2%
Franciaország	1,3%
USA	0,9%
NSZK	1,2%

Magyarországon a tanácsi kezelésben levő épületállomány — 1970. évi adat szerint — *újraelőállítási értéke 124 milliárd Ft.* Karbantartásra, felújításra és üzemeltetésre az említett érték 1,4%, 1,6 százalékat fordítják, ez azonban a szükségletnél mintegy 1%-kal kisebb érték. A szükséglet nem kielégítése miatt a meglevő felújítási munkák ellenére az épületek, vagy azok egyes szerkezetei idő előtt tönkremennek és a halmozódó fenntartási lemaradások — kapacitás hiányában — egyre nehezebben pótolhatók.

Különböző vizsgálatok azt igazolják, hogy a meglevő épületállomány karbantartása kifizetődő, alapvető szükséglet, (mert az épületek belátható időn belül nem pótolhatók), ezért az *új és felújított épületeknél* a TMK következetesen végrehajtandó feladat [2].

A zavartalan épülethasználat és a gyors állagromlás szempontjai azonban az épület TMK-val párhuzamosan szükségessé teszik az *összes lakóépületeknél a kritikus szerkezetek TMK-ját*. Ezek közül az első feladat a *tetők TMK-ja*, hogy az épületek beázásmentessége biztosítható legyen.

Ahhoz, hogy a szükséges előmunkálatok megtervezhetők legyenek, a tetőfelületeket fel kell mérni.

Ez a felmérés több emeleten, sok idomból összetett, tornyokkal díszített régi épületeknél földről becsléssel nem végezhető el megbízhatóan. Földszintes épületeknél vagy egyszerűbb szerkezetű tetőknél a hagyományos felmérés megoldható, de minden esetben komoly szakember-kapacitást igényel.

Kézenfekvő volt egy olyan módszer keresése, amelyik a jelzett feladatot leegyszerűsíti és a nehezen megközelíthető felületek jellemzőinek meghatározását lehetővé teszi anélkül, hogy ehhez ingatlankezelő szakember kapacitását venné igénybe.

A vázolt feladat korszerűen a légifotogrammetria alkalmazásával oldható meg. A sztereomodellekből meghatározható műszaki adatok a tetőfelületek nagysága és a tetőelemek hajlásszöge. Kiegészítő interpretációs adatszolgáltatást ad még a tetőhéjazatok fajtáinak minősítésére és szükség szerint a tető minőségi állapotára is.

Az új eljárás

A Fővárosi Ingatlankezelő Vállalat Műszaki Fejlesztési Osztályának megbízása alapján a Budapesti Műszaki Egyetem Fotogrammetriai Tanszékén a szerző elgondolása és útmutatása szerint egy olyan légifotogrammetriai felmérő eljárás került kialakításra, melynek eredménye épületenként olyan tetőkataszter (tetőnyilvántartó lap), amelyik az 1. ábra szerint a tető TMK előkészítéséhez szükséges fontosabb műszaki adatokat tetőidomokra bontva, készen szolgáltatja.

Az eljárás kialakítását a városokról készített légifényképek azon legjellegzetesebb tulajdonsága, hogy rajtuk az épületek tetőszerkezetei nagyon élesen és jól felismerhetően képződnek le, tette lehetővé. A feladat nagyjából számszerű adatmeghatározás, részben pedig szemléletes interpretációs feladat.

A feladat megoldása klasszikus (univerzális) fotogrammetriai feladat, amikor is a fényképen tárolt információk nagy részét egy cél érdekében tudjuk hasznosítani. A megfelelően tervezett légifényképezés szolgáltatja, általában 60%-os képek és 30 százalékos sorok közötti átfedéssel készített nagyméretarányú légifényképek sztereofotogrammetriai úton történő feldolgozásával lehetővé válik a tetőfelületek jellemző adatainak korszerű, esetleg programozott meghatározása.

A feladat megoldása általánosságban a következők szerint történik. Meglevő vagy külön a tetőfelmérés céljára tervezett és végrehajtott légifényképezés felvételeiből szabályos sztereofotogrammetriai kiértékeléssel elkészítjük a kijelölt terület — $M = 1:1000$ -es tetőtérképét, amelyen a tetőszerkezetek vízszintes vetületét ábrázoljuk. A vízszintes térképre örkeresztekkel ellátott magassági oleátát borítunk és a tetőszerkezetek jellemző idom-pontjait számszerű magassági adatokkal látjuk el, a

Kerület: BP. XIV. Utca, tér: Cserei Ilka Házszám: 12
9

Tetőnyilvántartó lap

Idom- szám	Tető- felület nagys: m ²	T. haj- lásszöge	T. héja- zat faj- tája	TMK idő- pontja			
1	303	50°	cserép				
2	15	24°	cserép				
3	17	22°	cserép				
4	16	23°	cserép				
5	16	23°	cserép				
6	9	43°	cserép				
7	209	50°	cserép				
8	15	22°	cserép				
9	15	22°	cserép				
10	161	29°	cserép				
11	196	35°	cserép				
12	13	40°	cserép				
13	58	52°	cserép				
14	129	41°	cserép				
15	101	40°	cserép				
16	110	38°	cserép				
17	47	30°	cserép				
Össz:	1430 m ²						

Kerület: V. Utca, tér: Váci Házsz: 79.
Felv. kelte: 1969. 09. 09.

Tetőnyilvántartó lap

Idom- szám	Tetőfe- lület nagys. m ²	T. haj- lásszöge	T. héja- zat faj- tája	TMK idő- pontja			
1	266,2	21°	cserép				
2	12,9	17°	cserép				
3	240,1	22°	cserép				
4	140,6	31°	cserép				
5	110,5	39°	cserép				
6	80,7	33°	cserép				
7	87,6	29°	cserép				
8	18,0	1°	bádog				
9	28,3	1°	bádog				

1.a ábra

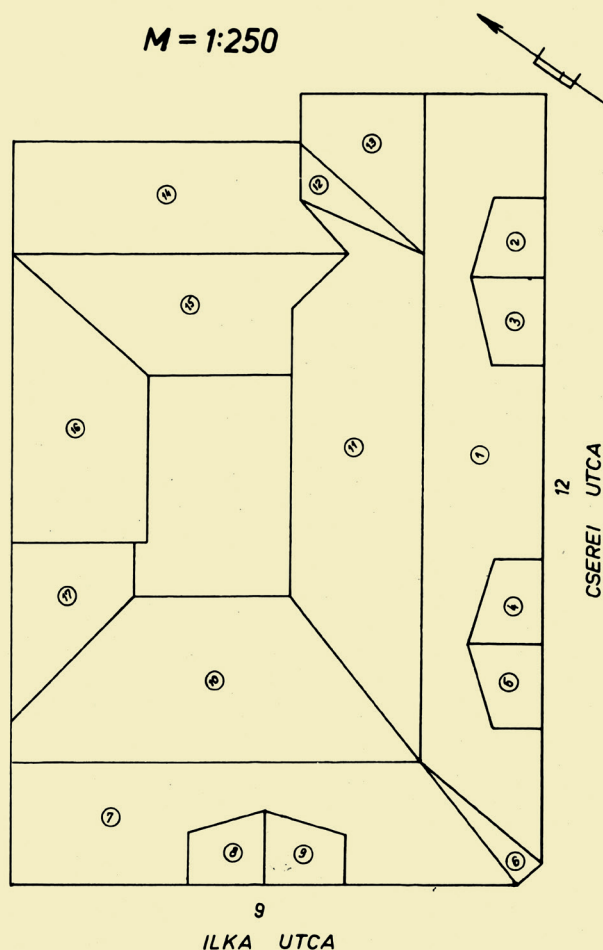
modellen végzett pontraállítások megfelelő magassági értékeinek leolvasásából.

A kiértékelés eredménye tehát egy vízszintes adatokat tartalmazó tetőtérkép — célszerűen tömbönként külön lapon ábrázolva — és egy magassági oleáta eresz és gerinc magassági adatokkal megírva, lásd 2. ábrán összesítve. A tetők vízszintes vetületét tartalmazó térképről levezethetők a tetőterületek meghatározásához szükséges adatok, a magassági értékekből a magasságkülönbségeket (a tetőtér magasságot) számíthatjuk. A kiértékelés nagyításán számítási vázlatot készítünk, a tetőfelületeket olyan elemekre bontva, melyek területei egyértelműen számíthatók.

A tetőelemek hajlásszögét a 3. ábra szerint a térképről levett megfelelő vetületi hosszából „v” az eresznél és a gerincen kapott magassági értékek különbségéből „m” a

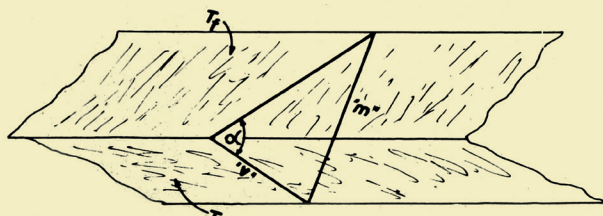
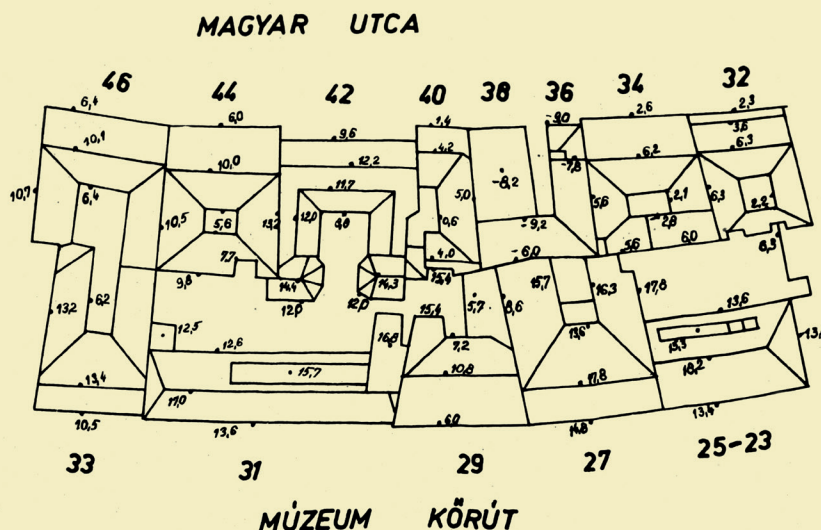
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m}{v}$$

M = 1:250



1b. ábra

2. ábra. Tetőtérkép



3. ábra

képlettel számíthatjuk. A vízszintes tetőfelületeket grafikus területszámítással határoztuk meg, majd az „ α ” ismeretében a ferde tetőfelületek nagysága m^2 pontossággal meghatározhatók. Az alkalmazott képlet:

$$T_f = \frac{T_v}{\cos \alpha} = \frac{T_v}{V} \sqrt{m^2 + v^2},$$

ahol T_f a ferde tetőfelület, T_v a tető vízszintes vetülete;
 α a tető hajlásszöge.

A számítás táblázatos alakban végezhető. A számítás pontosságát az szabja meg, hogy a tetőfelületeket $1 m^2$, a hajlásszögeket 1° pontossággal kívánjuk megállapítani. Tehát keressük az

$$\alpha = \arctg \frac{m}{v} \text{ függvény}$$

$\Delta \alpha$ változásánál „ m ” és „ v ”, illetve „ Δm ” és „ Δv ” függvényében. A megfelelő műveletek elvégzésével:

$$\begin{aligned} \Delta \alpha^2 &= (\alpha' \Delta m)^2 + (\Delta v' \Delta v)^2 = \\ &= \left(\frac{1}{1 + \frac{m^2}{v^2}} \times \frac{\Delta m}{v} \right)^2 + \left(\frac{-1}{1 + \frac{m^2}{v^2}} \times \frac{m \Delta v}{v^2} \right)^2 = \\ &= \left(\frac{v^2}{m^2 + v^2} \times \frac{\Delta m}{v} \right)^2 + \left(\frac{m}{m^2 + v^2} \times \Delta v \right)^2 \\ \Delta \alpha &= \frac{1}{m^2 + v^2} \sqrt{(v \Delta m)^2 + (m \Delta v)^2}. \end{aligned}$$

Legyen $m = 5 m$, $v = 5 m$, $\Delta m = 0,1 m$ és $\Delta v = 0,1 m$ akkor

$$\begin{aligned} \Delta \alpha &= \frac{1}{50} \sqrt{(5 \cdot 0,1)^2 + (5 \cdot 0,1)^2} = \\ &= \frac{1}{50} \sqrt{2 \cdot 0,25} = \frac{0,5}{50} \sqrt{2} = \\ &= \frac{\sqrt{2}}{100} \end{aligned}$$

$$\Delta \alpha = 0,0141 = 0,8^\circ.$$

Tehát ha „ v ” és „ m ” értékét $0,1 m$ pontosan ismerjük, akkor „ α ”-t $0,8^\circ$ pontosan tudjuk meghatározni. Az „ m ” és „ v ” kívánt pontossága biztosítható, ugyanis „ v ” leolvasása léptékkel történik $\pm 0,05 mm$ pontossággal és ez a feldolgozás 1000-es méretarányban a legkedvezőtlenebb esetben $0,1 m$. A magasságmérés várható pontossága a repülési magasság $1/10000$ -ed része.

A tetőfelmérés feladatához, nagy képméretarány biztosítása érdekében, a repülési magasság $500-1000$ méter között kerül megválasztásra. A magasságmérés várható hibája tehát $5-10 cm$ között fog mozogni. Ha azonban figyelembe vesszük, hogy a számításnál magasságkülönbségekkel dolgozunk, akkor kedvező esetben ez a hiba kiesik, kedvezőtlen esetben összegződik. A $0,1$ méteres leolvasás tetőfelületek számításához elegendő pontosságú, mivel

$$T_{f \text{ átl}} = 50 m^2,$$

tehát az adatlevételben elkövetett $0,1 m$ -es hiba közelítőleg

$$\Delta T_f = 1 m^2$$

hibát okoz.

A számított adatokon kívül a légifelvételből a tetőhéjazat fajtáit és állagát is meg kell állapítani és az 1. ábra szerint részletezni. Ez a kimutatás kiegészítő, vagy vagylagos adatszolgáltatás.

A tetőhéjazat fajtáit a kontraktmásolatok sztereoszkopikus szemlélése útján interpretációval, vagy összehasonlító módszerrel lehet megállapítani. Az összehasonlító módszernél helyszíni minősítéssel típus-skálát készítünk és a továbbiakban ez képezi a szobai interpretálás segédeszközét.

A megállapítás biztosabban hajtható végre, ha fényképnagyításokon végezzük az értékelést, de ez költségesebb.

A műszaki állapotmeghatározás többféle módszerrel történhet a költség-lehetőségek, illetve a szükséges pontosság figyelembevételével.

1. Egyszerű interpretáció fekete-fehér, vagy színes felvételekből.
2. Rétegvonalas módszer.
3. Mikrofotogrammetriai eljárással, denzitás méréssel.

1. Az egyszerű interpretációs módszernél a tetőhéjazat fajtainak megállapításánál mondtak szerint kell eljárni.

2. A rétegvonalas módszernél a tetőelemeket szintvonalasan értékeljük ki. A szintvonalak 20 cm-enként kerüljenek megrajzolásra. A vonalrendszer szabálytalan alakzatai a tetőfelület állapotát jellemzik. A pontos értékeléshez ebben az esetben szükséges az összehasonlító módszer alkalmazása.

3. A mikrofotogrammetriai módszert a szerző felkérésére Gerencsér Miklós adjunktus dolgozta ki. Az eljárás lényege, hogy a légifényképen az ép tetőrészekről másféle denzitás-adatokat mérhetünk mint a hibás, már károsodott felületről. A módszert egy külön cikk keretében fogjuk ismertetni.

A tetőműtárgyak minősítését is elvégezhetjük, bár ez külön feladat.

Kísérleti munkák

Az új eljárás hazai alkalmazásának megszervezésére a Fővárosi Ingatlankezelési Főigazgatóság Műszaki Fejlesztési Osztálya a BME Fotogrammetriai Tanszékét kérte fel. Hároméves kutatási keretszerződés értelmében az első évben két kísérleti tömb, a második évben a Belváros és a harmadik évben egy laza beépítési kerületben terveztük az eljárás kipróbálását. A kísérleti időszak 1970–72 között volt.

1. 1969 őszén az első kísérlet céljára külön légifényképezést végeztünk. A légifényképezés WILD RC8-as kamarával történt (Universali Avio-gon F = 152,25 mm), 500 méter relatív repülési magasságból. Az expozíciós idő 1/600 mp., az alkalmazott filmanyag Kodak Plus X estar. A közelítő képméretarány $M_k \approx 1 : 3300$. A kísérleti terület két tömb melyből az egyik 16 épületből, a másik 6 épületből állt. A két tömb két különböző modellen helyezkedett el.

A modellek beállításához a vízszintes illesztőpontokat az $M = 1 : 1000$ -es városmérési térképről, — a jól azonosíthatóságot szem előtt tartva — grafikusán vettük le, a szükséges magassági pontokat szintezéssel határoztuk meg. A fotogrammetriai kiértékelés (a tetőtérképek készítése) a Jenai Zeiss gyár sztereometrográfján történt. A modell méretarány $M_m = 1 : 2000$ -es, a rajzi méretarány $M_r = 1 : 1000$ -es volt. A kiértékeléshez felhasználtuk a helyszíni minősítési vázlatot (utcanevekkel, házszámokkal megírt $M_{kép} \approx 1 : 1000$ -es fénykép nagyítás). A kiértékelés alapegysége egy-egy tömb volt. Természetesen a kísérleti munka során sokféle nehézség merült fel, a kidolgozást három, négy

variációban próbáltuk ki, amíg a legkedvezőbb technológia kialakult.

A fotogrammetriai mérőeljárás tetőfelméréshez való alkalmazása világviszonylatban új megoldás. Bár hagyományosan fotogrammetriai alaplívele-tekre építhető fel, mégis sok apró buktató volt és csak sokirányú szakmai tapasztalat birtokában sikerült ezt az életképes, gyors és gazdaságos módszert kialakítani. A fotogrammetriai és geodéziai ismeretek szellemes alkalmazásából áll az eljárás.

2. A második kísérleti munka Budapest zárt beépítésű V. kerület állami kezelésben levő tetőinek felmérése volt. A Budapest V. kerületben 762 jegyzék szerinti, állami kezelésben levő lakóépület és közel 20 nagyon jelentős középület (Technika Háza, MŰV. MIN, MEM, Vigadó, Interkontinentál, Bíróság, Fővárosi Tanács stb.) található. A megbízás sajnos csak az állami lakóépületekre vonatkozott, így a középületekkel nem foglalkozhattunk, de a felhasznált információmennyiség bármikor utólagosan feldolgozható, az érdeklődők szíves figyelmébe ajánljuk, hogy az alapadatok birtokunkban vannak. A légifényképanyag 1970-ben készült közelítő méretaránya $M_k \approx 1 : 6000$ -es, a modellméretarány $M_m = 1 : 2000$ -es és a rajzi méretarány $M_r = 1 : 1000$.

A teljes feldolgozáshoz 15 modell kiértékelése vált szükségessé. A 762 épület 162 tömböt alkot. Egyes tömbökben 4—18-ig épületszám fordul elő. Az egyes tetők 8—20 tetőidomból tevődtek össze. A modellek tájékozáshoz a vízszintes illesztési adatokat a városmérési térképről vettük le, a magassági adatokat utcaszintezéssel határoztuk meg.

A teljes feldolgozás nem üzemszerű körülmények között 10 munkahónapot igényelt 2 műszaki fő részére. A leadásra került munkarészek a következők: áttekintő tömbvázlat, 762 tetőnyilvántartó lap tömbönkénti csoportosításban, tömbönkénti fényképi manuálé, a tetőnyilvántartó lapokon pedig tetőrajz a sorszámozott tetőelemekkel és a számszerű adatok. A teljes dokumentáció két példányban készült és a munka menetét ismertető „Műszaki leírás” egészítette ki.

3. A harmadik kísérleti feladat egy laza beépítésű terület rész tetőinek felmérése volt. Budapest XIV. kerület Népstadion, Thököly út, Francia út, — Kerepesi út által határolt részen 25 tömb 444 épületének tetőfelmérését végeztük el. Ez a terület az előző feladattól eltérően ipari létesítményekkel, földszintes családi házakkal, emeletes házakkal tarkított, változó sűrűségű, fotogrammetriai kiértékelés szempontjából nehéz volt. A légifelvételek 1972. májusában Wild RC-8, $f = 152,36$ mm kamerával, 720 m tengerszint feletti magasságból készültek. Az alapanyag mérettartó, közelítő képméretarány $M_k \approx 1 : 5000$, modell méretarány $M_m = 1 : 2500$, a kiértékelés méretaránya $M_T = 1 : 1000$, vízszintes illesztési alapadatként a városmérési szelvényeket és a magassági adatokhoz a topográfiai alaptérképet használtuk fel. Az egyes tömbökben 1—34-ig épületszám fordult elő. A feldolgozott tetőknél 1—40 db tetőidom fordult elő. A teljes feldolgozás 3 hónapot igényelt 3,5 műszaki főnek. A dokumentáció az V. kerületnél ismertetett anyaggal

70%-ban megegyező. Az eltérés a fényképi manuálék hiánya és ezek helyett vonalas tömbrajzokat jelent. A tetőnyilvántartó lapokon 40%-ban pedig mérethelyes tetőrajz található. A „Műszaki leírás” a szokásosnál több részletre terjedt ki, mert a laza beépítés sok problémát jelentett.

A kísérletek értékelése

Az általános ismertetésből kitűnik, hogy a tető TMK-hoz szükséges műszaki adatok viszonylag egyszerű eljárással határozhatók meg. Az alkalmazott eljárás 90%-ban irodai feldolgozást kíván, tehát évszaktól, időjárástól független, amit a hagyományos eljárásnál nem mondhatunk el. Nem igényel ingatlankezelő szakember-kapacitást, sőt egy kis ügyes szervezéssel összekapcsolható a Budapestben folyó városméréssel ill. helyesbítési térképészeti munkákkal, amelyeket ugyancsak fotogrammetriai eljárással végeznek. Költségigénye meglehetősen alacsony, az elvégzett kísérletek alapján, nem üzemszerű rutin és adottságok mellett, épületenként a tetőfelület-elem számától függően 250–350 Ft összegért előállítható az összes műszaki adat és a rajzi dokumentáció. A kísérleti munkáknál az V. kerület tetőit 200 Ft-ért a XIV. kerület tetőit 250 Ft egységárért mértük, illetve dolgoztuk fel.

Az egész módszer legfárasztóbb mozzanata a számítási munka. A főproblémát a viszonylag egyszerű számítási metodika mellett a nagy tömegű adat kezelése és feldolgozása jelenti. Az épületeknél általában 15 tetőelemmel számolhatunk, tetőelemenként 5 adatot kell részben térképről levenni, részben számítani, ez épületenként 75 adat és a 2, 3.

kísérleti munka során közel 90 000 adatot jelent. A 90 000 adat egy része számítási munkába került, bár egyszer, de inkább kétszer le is kellett írni, az adatok egy nagy része pedig a Tetőnyilvántartó lapokra bejegyzésre kerül. A 2., 3. munka során legépelt adatok száma 22 000.

Meg kell említenem még, hogy a fenti adatokat ellenőrzés formájában a feldolgozón és gépelőn kívül még egy személy végigforgatta.

Az eljárás az említett nehézségek ellenére vitathatatlanul jól használható, olcsó, gyors és nagy összefüggő területek feldolgozására pusztán irodai munka alapján képes.

Az eljárás a tető TMK feladatain túl a műemlék jellegű városrészek, épületek teljes felmérésénél és rekonstrukciójánál jelent komoly műszaki előnyt.

Az eljárás továbbfejlesztését két irányban indítottuk be. Egyik a számítások programozása, amely a fotogrammetriai kiértékelés módszerét is megváltoztatja (numerikus modellen belüli pontsűrítést kíván). A másik terület az információ-mennyiség növelése a tetőfelületeken mérhető denzitásváltozások interpretálásával. A denzitásváltozás a tetőszerkezet belső állapotáról ad felvilágosítást és a tetőhéjázat minőségi jellemzői szerint alakul.

IRODALOM

- [1] United Nations Economic Commission For Europe 1963
- [2] Az építőipar fejlesztési koncepciója a IV. ötéves tervben ÉGSZI 1968 (Tanulmány).
- [3] M. Domokos: Datenlieferung durch Luftbildungsmessung für die Fotogrammetrische Instandhaltung von Dachflächen (Periodica Polytechnica, Vol. 16 No 1—2 Budapest 1972).

Horkai András*

KOMMENTÁR DOMOKOS GYÖRGYNÉ „TETŐFELÜLETEK FELMÉRÉSE FOTOGRAMMETRIAI ELJÁRÁSSAL” CÍMŰ 50 ÉVE MEGJELENT CIKKÉHEZ

COMMENTARY ON THE 50 YEARS AGO PUBLISHED ARTICLE OF
DOMOKOS GYÖRGYNÉ “SURVEYING ROOF SURFACES USING PHOTOGRAMMETRY”

Domokos Györgyné *Tetőfelületek felmérése fotogrammetriai eljárással* c. cikke az 1970-es évek egyik kutatását mutatja be, mely egy világviszonylatban is új megoldást, a légifotogrammetriát alkalmazza épületfenntartási céllal, épületek tetőszerkezeteinek felmérésére. Az általa bemutatott módszer akkoriban újdonságnak számított, hiszen lehetővé tette a bonyolult tetőformák gyors és viszonylag pontos felmérését anélkül, hogy nagy számú szakembert vontak volna be a helyszíni munkába. A fotogrammetria jelentősége már akkor is nyilvánvaló volt az építőipar számára, hiszen gyorsabb és hatékonyabb adatgyűjtést tett lehetővé a hagyományos méréseknél.

Mi a fotogrammetria?

A Nemzetközi Fotogrammetriai és Távérzékelési Társaság meghatározása szerint: „A fotogrammetria és távérzékelés az a művészet, tudomány és technológia, amelynek célja, hogy a Földről és környezetéről, valamint más fizikai objektumokról és folyamatokról megbízható információkat nyerjünk érintésmentes képalkotó és egyéb érzékelőrendszerek segítségével, rögzítés, mérés, elemzés és ábrázolás útján.”[1]

A fotogrammetria tehát mindazon technikák összessége, amelyek fizikai világunk objektumainak és terepjellemzőinek képekből történő mérésével foglalkoznak. Ezek a képek lehetnek földfelszíni vagy légifelvételek, készítésüket tekintve leggyakrabban digitális kamerákkal készülnek kézből, állványról, légijárműről vagy űrhajóról. A kép-alapú mérések segítségével lehetséges többek között a koordináták mérése, a távolságok, magasságok, területek és térfogatok meghatározása, to-

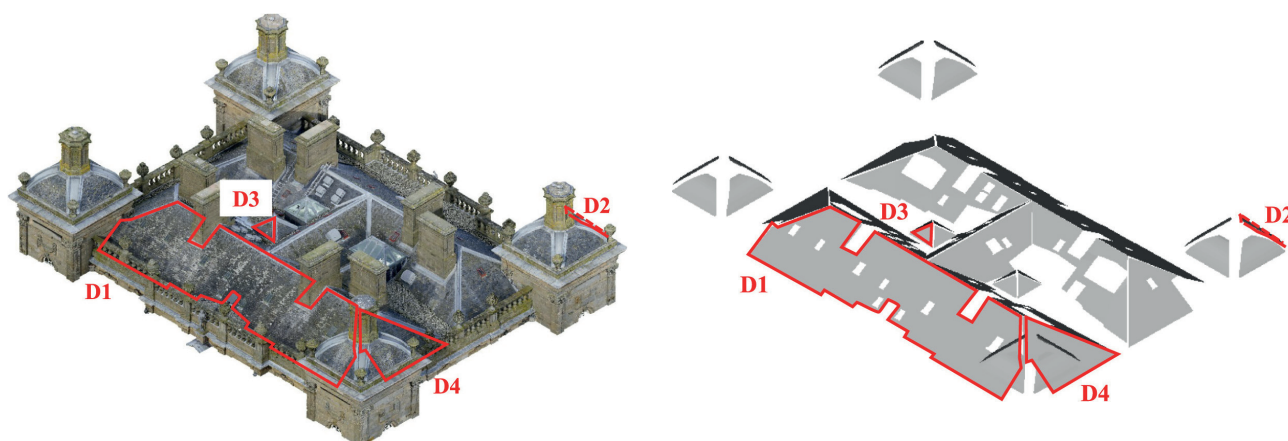
pográfiai térképek készítése, valamint digitális domborzati modellek és ortofotók készítése [2]. Az eredmények felhasználhatóak pl. az épített környezet, bányák, erdők felmérésére, régészeti dokumentálásra, légi térképészeti feladatokra.

Fotogrammetria napjainkban

Az 1974-es cikk óta a technológia rendkívül sokat fejlődött, és a fotogrammetria ma már alapvető eszközzé vált nemcsak a tetőszerkezetek, hanem teljes épületek, műemlékek és városrészek dokumentálásában is. A drónok (pilóta nélküli légi járművek) megjelenése jelentős előrelépést hozott, hiszen a légi fotogrammetria már nem igényli nagy költségű repülőgépek vagy helikopterek használatát. A manapság alkalmazott drónok képesek alacsony magasságban (akár a felmért objektumtól néhány méterre), nagy pontossággal rögzíteni a szükséges adatokat, így még pontosabb és részletesebb 3D modellek készíthetők. A fotogrammetria és a napjainkban szintén széles körben elterjedt épületinformációs modellezés (BIM) összekapcsolásával pontos és részletes „digitális ikrek” hozhatók létre épületeinkről, amelyek támogatják az épület fenntartását és a hatékonyabb tervezési döntéshozatalt.

Épületek esetében a módszer lehetővé teszi az épületburok: homlokzatok, tetők és akár belső terek felmérését és ez alapján 3D modellezését is, amely hasznos lehet karbantartási munkákhoz, felújítások tervezéséhez, vagy akár az épített örökség dokumentálásához, a digitális műemlékvédelemhez is. A 3D modellek készítése mellett a technológia alkalmas arra, hogy a tetőszerkezetek hajlásszögét, anyagi minőségét és állapotát is felmérje.

* okl. építészmérnök, PhD, egyetemi adjunktus, Óbudai Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar, e-mail: horkai.andras@ybl.uni-obuda.hu



Fotogrammetriai rekonstrukció (3D pontfelhő) és a tetőfelületek geometriája [3]

A közelmúlt esettanulmányait vizsgálva, Li és munkatársai [2024] szintén fenntartási céllal vizsgálták a tetőfelületek fotogrammetria alkalmazásával. Módszerük előnyeként kiemelik (amit eredeti szerzőnk is), hogy csökkenti a tetők hagyományos állapotfelmérésével kapcsolatos időráfordítást, a költségeket és kiküszöbölik a magasban végzett munka veszélyeit. Módszerük három fő lépésből áll: 1) automatikus tető-ortofotók előállítás 3D rekonstrukció és fotogrammetria alapján, 2) ortofotók szemantikai szegmentálása mélytanulási algoritmusokkal és 3) a hibák és károsodások észlelése a tetőn. A módszert három esettanulmányban validálták palatetős történelmi épületeken [3].

Lambarki és munkatársai [2025] marokkói mintaterületen zöldtetők létesítésének megvalósíthatóságát vizsgálták urbanizált környezetben. Lézerszkenneléssel és fotogrammetriai eljárással létrehozták a vizsgált terület (cca. 336 hektár) 3D modelljét. A tetők „zöldítésének” alkalmasságát egy összetett, Boole-alapú többkritériumos elemzés segítségével értékelték, amely figyelembe vette a minimális tetőméretet, a tető dőlésszögét és a napsütéses órák számát is. Ezen kritériumok vizsgálatával határozták meg, mely felületek alkalmasak a zöldtetők telepítésére a városi környezetben. Eredményeik szerint a tetőfelületek 64%-a alkalmas lehet ilyen hasznosításra [4].

A fotogrammetria előnyei a hagyományos módszerekkel szemben

Míg az eredeti cikkben bemutatott hagyományos felmérési módszerek – bár korukban úttörőnek számítottak – sok időt és emberi erőforrást igényeltek (a 3. kísérletben 444 épület felmérése, az eredmények értékelése

és dokumentálása 3,5 fő 3 hónapnyi munkájába került), addig a mai fotogrammetria sokkal hatékonyabbá és gazdaságosabbá vált. Az automatizált kiértékelési folyamatok, a mesterséges intelligencia és a gépi tanulás is integrálható a fotogrammetriai rendszerekbe, így a kiértékelés során egyre kevesebb emberi beavatkozásra van szükség. A modern rendszerek képesek nagyszámú képet feldolgozni, így gyorsan tudunk előállítani részletes és pontos 3D modelleket.

Domokos Györgyné munkája jól mutatja a fotogrammetria alkalmazásának alapvető fontosságát az építőiparban, különösen a tetőszerkezetek felmérésében. A módszer azóta rendkívüli mértékben fejlődött, és ma már kulcsszerepet játszik az építőipar különböző területein. A digitális korszak technológiai fejlesztései, mint a drónok és az automatizált adatelemzés, jelentősen növelték a fotogrammetria hatékonyságát, így még szélesebb körű alkalmazásra vált alkalmassá.

FORRÁSOK

- [1] International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. ISPRS Historical Background. <https://www.isprs.org/society/history.aspx>
- [2] J. S. Aber, I. Marzolff, J. B. Ries: Chapter 3 - Photogrammetry. In: Small-Format Aerial Photography, in: J. S. Aber, I. Marzolff, J. B. Ries (szerk.), Elsevier, Amsterdam, 2010, 23-39. o.
- [3] J. Li, B. Tao, F. Bosché, C. X. Lu, L. Wilson: Automated generation and semantic segmentation of roof orthophoto for digital twin-based monitoring of slated roofs. *Automation in Construction*, vol. 167, p. 105725, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105725>
- [4] R. Lambarki, A. Elmostafa, M. Maanan, H. Rhinane: Assessing the potential of green roofs in urban areas: A multicriteria Boolean analysis utilizing GIS and remote sensing data in the city of Nador, Morocco. *Green Technologies and Sustainability*, vol. 3, p. 100171, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100171>