

A BIM ÉS AZ LCA SZEREPE A HATÉKONY ÉPÜLETÜZEMELTETÉSBEN

Tóthné Szita Klára 

egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Világ- és Regionális Gazdaságtan Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: regszita@uni-miskolc.hu

Pintér Judit Mária 

tudományos főmunkatárs, Miskolci Egyetem, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: pinterjm@uni-miskolc.hu

Radomszki Levente 

Ipari termék- és formatervező mérnök, ÉMI Nonprofit Kft.
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: lradomszki@emi.hu

Absztrakt

A tanulmány arra keresi a választ, milyen szerepet tölthet be az épületinformációs modellezés (building information modelling, BIM) és az integrált életciklus-értékelés (life-cycle assessment, LCA) az épület üzemeltetés hatékonyabb megvalósításában. Ennek érdekében górcső alá vesszük külön – külön a BIM és LCA lényegi elemeit azok integrálási folyamatából származó előnyöket és azok épületüzemeltetésében játszott szerepét, a fenntartható fejlődés szempontjából. A kutatómunka várható eredménye, a középületek üzemeltetésének optimális megoldása a fenntarthatósági célkitűzések megvalósítására. Az eddigi kutatási eredmények egyértelműen rávilágítanak arra, hogy a korai és pontos döntések segíthetnek abban, hogy a fenntartható tervezés folyamata sokkal hatékonyabbá és költséghatékonyabbá váljon. Az életciklus-elemzés lehetővé teszi a tudományos értékelést, és megkönnyíti a lehetséges beavatkozási pontok feltárását, amelyek az életciklus különböző szakaszaihoz kapcsolódóan a környezeti profil javulását eredményezik. Bár az LCA egyre inkább jelen van az építőipari ágazat követelményeiben, a szakemberek még továbbra is keresik az ilyen módszertan legegyszerűbb beépítési lehetőségeit az épületek tervezési és építési folyamataiba. Ígéretesnek tűnik az építőelemek LCA-adatainak integrálása az épületinformációs modellezési platformba különböző szimulációk segítségével. Az LCA adatokat a GaBI szoftver épületelemeire vonatkozó adatbázisa szolgáltatja. Ez a tanulmány a három különböző szoftver integrálási lehetőségeit és kompatibilitási kérdéseit vizsgálja és az egyszerűsítések következményeit tárgyalja.

Kulcsszavak: LCA, BIM, épületüzemeltetés, fenntarthatóság

Abstract

Our study is searching the answer for the question that what is the role of BIM (building information modelling) integrated LCA (life-cycle assessment) in the implementation of a more efficient building management. In the interest of this, it investigates independently the main parts of BIM and LCA, the advantages of the integrating processes and their role in building management in the sustainable development point of view. The expected result of the research is the optimal management of public buildings to achieve the sustainability objectives. From the research work done so far it is clear that the

early and accurate decisions can help make the sustainable planning process more efficient and cost effective. The lifecycle analysis makes possible to perform scientific evaluation and makes easier to locate the possible points of action which results in an improvement of the environmental profile during the different periods of the lifecycle. However the LCA is more common in the requirements of construction industry, professionals are still finding the easiest ways of integrate such methods into the building design and construction processes. Integrating the LCA data of building materials with the help of simulations into the building information modeling platform is indeed looks promising. The LCA data is provided by the database related to building materials of the GaBI software. This study investigates the possibilities of integration and compatibility issues of three software and introduces the consequences of simplifications.

Keywords: LCA, BIM, Facility management, sustainability

1. Bevezetés

Az épületek környezeti hatásait csökkenteni kell az építőipar fenntarthatóságának javítása érdekében. Számos eszközt és módszertant fejlesztettek ki az épületek környezeti hatásának és az épületek környezetvédelmi szintjének és fenntarthatóságának értékelésére (Bilos et al., 2009; Braganca et al., 2010; Deutch, 2013). Egyre nagyobb az érdeklődés az életciklus-értékelés beépítésére az épülettervezési döntéshozatalba, mivel az LCA átfogó és rendszerszintű megközelítést alkalmaz a környezeti értékeléshez (Belic et al., 2010; Parrish et Chester 2014; Mohajerani et al., 2018). Az életciklus-értékelés a folyamatok és termékek környezeti hatását értékeli életciklusuk során. Azonban az LCA alkalmazása során a szakemberek számos kihívással szembesülhetnek, és számos korlátot is találhatnak. Ilyen korlátot jelentenek például az épületek életciklus értékelésével összefüggésben az építőipari ágazat sajátos jellege miatt, a szükséges adatok nagy mennyisége és a korai tervezési szakaszban az adatok hiánya is. A mai megközelítések és eszközök képesek áthidalni ezeket a problémákat. Az épületinformációs modellezés segítheti az építőipari közösséget a fenntarthatósági célok elérésében. A BIM egy olyan módszertan és eszköz, amely képes az épület adatainak kezelésére az építés életciklusa során (Eastman et al., 2011; Liu et al., 2021).

Az elmúlt évek során számos tanulmány integrálta a BIM-et az LCA-módszertannal, hogy megvizsgálja egy épületelem környezeti teljesítményét vagy egy épület egészének vizsgálatát. Egyrészt a BIM támogatja az integrált tervezést, és javítja az adatokat, az adatkezelést és a különböző érdekelt felek közötti együttműködést. Másrészt, az LCA megfelelő módszer az épületek környezeti teljesítményének értékelésére (Antón és Díaz, 2014). Ugyanakkor néhány módszertani kihívást is jelent a BIM-alapú LCA értékelés (Mannheim, 2022; Araszkiwicz, 2017). A szakirodalmi áttekintés alapján két különböző tendencia azonosítható. Az egyik jelenlegi BIM-LCA-megközelítés komplex modelleket használ a részletes tervezési fázisokban, amikor már késő a nagyobb változtatásokhoz. A másik megközelítésnél csak egyszerűsített, a korai tervezési szakaszokban alkalmazható modelleket használnak. Mint ilyen, egyik sem biztosítja a BIM-alapú LCA elvégzésének módját az egész az épület teljes tervezési folyamata során. Továbbá a legtöbb meglévő megközelítés a BIM-et csak az anyagok és alkatrészek mennyiségére vonatkozó információk tárolására használja az összes releváns LCA-adat BIM-en belüli implementálása helyett.

Cavalliere, 2018 viszont olyan módszert javasol, amely folyamatos LCA-t alkalmaz a teljes épülettervezési folyamat során a BIM adatainak minél pontosabb felhasználásával, a lehető legnagyobb pontossággal minden egyes tervezési szakaszban. A módszer különböző LCA-adatbázisokat használ különböző részletességgel a BIM-elemek adott fejlettségi szintjéhez (LOD). Mivel az épületelemek nem

azonos LOD-értékekkel modelleznek minden egyes tervezési fázisban, az LCA-t az adatbázisok következetes keverésével végzik, amely akkor lehetséges, amennyiben az adatbázisok azonos háttéradatokat használnak. A módszert egy többlakásos családi házra tesztelték. A keretrendszer segít információt szolgáltatni a döntéshozatalhoz a teljes tervezési folyamat során, mind a korai tervezési fázisokban, mind a későbbi, részletesebb BIM-ekkel végzett fázisokban. Mindazonáltal a teljes körű LCA további információkat igényel, amelyek nem csak az anyagok és alkatrészek mennyiségére vonatkoznak, hanem az összetételükre, gyártási idejükre és az esetleges felújítási vagy karbantartási műveletekre. Ehhez a szerző egy keretrendszert nyújt a környezeti hatásokért felelős összes változó feltérképezésére, amelyek BIM-paraméterekként alkalmazhatók. A környezeti hatásokért felelős tervezési paraméterek strukturálására pedig egy folyamatábrát javasol az épületek teljes életciklusa során. A javasolt paraméterek, amelyek egy esettanulmányon teszteltek, elegendőnek bizonyultak az LCA elvégzéséhez. Ebből következően, az azonosított paraméterek a BIM-környezetben történő alkalmazásukkal potenciálisan javíthatják az információmegosztási folyamat megbízhatóságát az épületinformációs modell és az LCA-eszköz között.

Célunk szisztematikus irodalomkutatás mind az LCA és épület környezeti teljesítményértékelés, a BIM valamint BIM és LCA integráció valamint az épületüzemeltetésben betöltött szerepük tekintetében. További kitűzött feladatunk a BIM és LCA integrációjára kifejlesztett modellek és szoftverek kompetenciájának vizsgálata, és a módszer alkalmazásából származó hasznok értékelése. Primer kutatásként meghatározott feladatunk egy referenciaként választott irodaépület BIM alapú LCA modellezése a GaBI LCA szoftver építéságazati adatbázisának alkalmazásával és az ezekre épített épületüzemeltetési egyszerűsített modell bemutatása.

2. Kutatási eredmények

2.1. Az LCA szerepe az épületek fenntartható teljesítményének értékelésében

Az életciklus-értékelés lehetővé teszi a tudományos értékelést, amely megkönnyíti a ciklus különböző szakaszaihoz kapcsolódó lehetséges változások meghatározását, ami a környezeti profil javulását eredményezi. Bár egyre inkább jelen van az építőipar követelményeiben az LCA, a szakemberek még mindig új utakat keresnek, hogy minél zökkenőmentesebben és egyszerűbben integrálják az épületek tervezési és építési folyamataiba. Az épületrendszerek LCA-adatainak funkcionális egységenkénti integrálása a BIM-platformokba az ilyen kérdések megoldása felé mutató mozgalom.

Az épületek életciklus-értékelése széles körben kutatott terület volt az elmúlt évtizedben, mivel ez az ágazat nagy környezeti hatást gyakorol. Az ágazat az egyik legnagyobb szén-dioxid-kibocsátó és energiafogyasztó. 1970 óta az üvegházhatást okozó üvegházhatású gázok (GHG) kibocsátása az építőipari ágazatban több mint kétszeresére nőtt az elmúlt években (Belic et al., 2010; Sing et al., 2011; Sartori et al., 2021).

Az épületek környezetterhelése mind energiafelhasználás, mind üvegházhatású gázkibocsátás, valamint hulladéktermelés szempontjából is jelentős. Különösen igaz ez akkor, ha az épület teljes életét (az építőanyag gyártástól, az építésen és használaton keresztül a bontásig) szemléljük. Az építőanyagok gyártása például önmagában 5-10%-át teszi ki a globális CO₂-kibocsátásnak (Habert et al., 2012). Európai viszonylatban a teljes energiafelhasználás 24,6 %-át és a hulladéktermelés 36,4 %-át teszi ki az ipari szektor, melyben jelentős szerepe van az építőiparnak. Emellett a teljes energiafelhasználás 27,2 %-a, az üvegházhatású gázkibocsátás 11 %-a és a hulladéktermelés 8,5 %-a a háztartásokból származik. Az épületek LCA-jával kapcsolatos publikációk száma az elmúlt években több mint kétszeresére nőtt: 2009-ben mintegy 14 áttekintő tanulmány jelent meg az épületek LCA-jával kapcsolatos kutatási

területen, 2014-2016 között pedig legalább 10 áttekintő tanulmány (Anand és Amor, 2017). 2015-ben csak az épületek LCA-jával foglalkozó több mint 250 tanulmány jelent meg (Anand és Amor, 2017). Az épületekre vonatkozó LCA-t a CEN/TC 350 műszaki bizottság határozza meg az EN 15643:2010 szabványban, amely négy részből áll. A szabvány első része leírja az általános kereteket, míg az utolsó három rész a környezeti, társadalmi és gazdasági szempontokról szól. A környezeti teljesítményre vonatkozó kereten belül az MSZ EN 15804 szabvány meghatározza a termékkategóriákra vonatkozó szabályokat (PCR), a környezetvédelmi terméknnyilatkozatokhoz (EPD). Az EPD ellenőrizhetően pontos, nem félrevezető környezeti információkat közöl a termékekről és azok alkalmazásáról, ezáltal támogatja a tudományosan megalapozott, tisztességes döntéseket, és ösztönzi a piac által vezérelt folyamatos környezeti javulás lehetőségét (MSZ EN 15804).

Az EPD-k alapvető fontosságúak lesznek az épületek környezeti teljesítményének értékeléséhez, mivel az építési termékek környezeti teljesítményét közlik, és szolgáltatások teljesítményét, megbízható és ellenőrizhető információk alapján (Passer et al., 2015). Az épületek életciklus-értékelése széles körben kutatott terület volt az elmúlt évtizedben, mivel ez az ágazat nagy környezeti hatást gyakorol. Az építési-ágazat az egyik legnagyobb erőforrás igényű és szén-dioxid-kibocsátó. 1970 óta az üvegházhatást okozó üvegházhatású gázok (GHG) kibocsátása az építőipari ágazatban több mint kétszeresére nőtt. Az épületekből származik az EU energiafogyasztásának 40 %-a, a hulladéktermelés 30 %-a, az építkezés adja a szénlábnyom 9,4 %-át (European Commission, 2022) az elmúlt években.

2.2. BIM

A BIM egy folyamatvezérelt technológia, amelyet egy épület fizikai aspektusainak feltérképezésére és számszerűsítésére használnak. A BIM az épülettervezéstől kezdve az építmény építésén át egészen a létesítmények karbantartásáig mindenben szerepet játszik. Az alapvető cél egyszerű: számszerűsíteni az épület minél nagyobb részét, és ezeket az adatokat felhasználni a létesítmények kezelésével kapcsolatos jobb döntéshozatalhoz.

A BIM a létesítmények digitalizálásának azon lépése, hogy számszerűsíthető információkat nyerjünk a fizikai környezetből. Az építészekről és vállalkozóktól kezdve a létesítménygazdáig és karbantartó szakemberekig mindenki használja a BIM-et. Ma a BIM az intelligens épületek, az irodai IoT kiépítések és a jobb létesítménygazdálkodás sarokköve (Buena et Fabriciob, 2018).

2.3. BIM és LCA integráció

Az elmúlt évek során számos tanulmány integrálta a BIM-et az LCA-módszertannal, hogy megvizsgálja egy épületelem környezeti teljesítményét vagy egy épület egészének vizsgálatát. Egyrészt a BIM támogatja az integrált tervezést, és javítja az adatokat az adatkezelést és a különböző érdekelt felek közötti együttműködést (Cavilliere, 2018). Másrészt, az LCA megfelelő módszer az épületek környezeti teljesítményének értékelésére (Antón és Díaz, 2014). Ugyanakkor néhány módszertani kihívást a BIM-alapú LCA-val kapcsolatban lehetett találni a szakirodalomban. Például a meglévő tanulmányok egy adott tervezési folyamat egy adott szakaszára vonatkoznak a BIM-alapú LCA-számítások elvégzésekor. Ebből adódóan, a szakirodalomban hiányosságként ismert, hogy nincsenek olyan tanulmányok, amelyek a teljes tervezési folyamat során a BIM-alapú LCA-ra vonatkozó módszereket javasolnak. Továbbá a BIM-et általában a mennyiségekre vonatkozó információk pusztán tárházaként alkalmazzák. Az LCA alkalmazások javítása érdekében a BIM-modelleknek több információt kell tartalmazniuk az adott LCA adatszerkezethez. Az épületek LCA elvégzéséhez szükséges kulcsfontosságú paraméterek megértése is jelentős nehézségként jelentkezik. A dolgozat e három szempontot veszi figyelembe, és módszereket

javasol a BIM-alapú LCA javítására. Az egyik javaslat az LCA alkalmazhatóságára vonatkozik a tervezési folyamat minden fázisában. A megközelítés a következőkre utal a BIM-modellben rendelkezésre álló információk lehető legpontosabb felhasználására annak érdekében, hogy elvégezhető legyen a LCA minden tervezési fázisban. A tervezési folyamat során minden egyes tervezési fázisban utal a különböző LOD-értékekkel modellezett összetevőkből álló BIM-re vonatkozóan. A javasolt módszer szerint, mivel minden egyes LOD egy adott adatbázis használatát jelenti, az LCA számítások ezek keverésén alapulnak minden tervezési fázisban. Ez lehetővé válik mivel az alkalmazott adatbázisok azonos háttér adatokon alapulnak. Másodszor, egy az LCA-számításokba bevont változók meghatározására szolgáló keretet javasolnak annak érdekében, hogy a BIM az összes releváns környezeti paraméterrel gazdagodjon. Egy információáramlás mátrix, az úgynevezett változók architektúrája, az épületek környezeti hatásaiért felelős paraméterek meghatározásával kerül kialakításra. Ezután az azonosított BIM-paramétereket kódolták a redundanciák elkerülése érdekében. A javasolt módszereket tesztelték egy épületes esettanulmányon.

2.4. BIM és létesítményüzemeltetés

A BIM szerepe, hogy számszerűsíthető betekintést nyújtson a létesítménygazdálkodásba (facility management, FM). Megbecsülhető, hogy mennyibe kerül a létesítmények karbantartása, milyen típusú szolgáltatás esedékes az adott évben, vagy milyen környezeti következményekkel jár bizonyos elemek cseréje, javítása rekordja ebben az évben. A BIM lehetővé teszi, hogy betekintszen a létesítmények élethű modelljébe, és szükség szerint elemezze az információkat. Egy dolog egy mérlegre nézni, és látni a létesítményekkel kapcsolatos költségeket és számadatokat - egy másik dolog egy épületmodellre nézni, és konkrétan látni, hogy ezek a költségek mit jelentenek, és hogyan jelentkeznek.

A vállalatok ma széles körben alkalmazzák a BIM-et, mert az a létesítmények fenntartásának minden fázisában hasznos. Proaktív betekintést nyújt a létfontosságú rendszerekbe, és képes modellezni a karbantartással, javítással vagy fejlesztéssel kapcsolatos hatásokat és változásokat. Gyakorlati értelemben valós idejű betekintést nyújt a létesítmények jelenlegi működésébe, egészen a rendszer szintjéig. Végül pedig ez egy olyan nyilvántartási rendszer, amely integrálható a létfontosságú menedzsment szoftverekkel, hogy adat alapú megoldásokhoz vezessen. Hasznos eszköz a létesítménygazdák számára a döntéshozatal minden szintjén.

A BIM eredményei a létesítménygazdák számára tagadhatatlanok. A kutatók évtizedeken át fejlesztették a BIM-et, hogy segítse az épületüzemeltetőket a költségek csökkentésében, az épületek megtérülésének javításában, a működés racionalizálásában, a munkavállalók elkötelezettségének javításában és a problémák megelőzésében. Az alábbiakban bemutatunk néhány olyan módot, amelyekkel a BIM konkrétan a létesítménygazdák számára előnyös a mindennapokban.

Kelly et al., 2013 szerint a BIM az FM-alkalmazásban még mindig feltörekvő területnek számít. Ebben a korai szakaszban alapvető fontosságú a BIM kihívásainak és értékteremtő potenciáljának megértése az FM-ben. A szakirodalmi áttekintésük eredményei azt bizonyítják, hogy egyetértés van a BIM értékét és potenciálját illetően az FM-ben. Kimutatták, hogy a BIM értéke az FM-ben főként a következőkből ered: az információátadás jelenlegi manuális folyamatainak javítása; az FM-adatok pontosságának javítása a munkamegrendelések végrehajtásának hatékonyságának növelése a gyorsaság, az adatokhoz való hozzáférés és a beavatkozások megtalálása tekintetében. Ez az érték a BIM azon képességéből ered, hogy adatgazdag vizuális és integrált adatkörnyezetet biztosít. Vannak azonban olyan kihívások, amelyek akadályozzák a BIM kiaknázását az FM-ben. A négy fő előnye a következő:

- Költségmegtakarítást eredményez a létesítmények fenntartása, karbantartása és fejlesztése terén.
- Javítja a projektek hatékonyságát és felgyorsítja az eredmények átadási idejét.

- Csökkenti a biztonsági kockázatokat és az összeütközéseket, ami csökkenti a passzív módosítási megbízásokat.
- Nagyobb kiszámíthatóságot biztosít a létesítmények karbantartása és fenntartása terén. Javítja a létesítménygazdák láthatóságát és felügyeletét a mindennapi karbantartás során nyilvántartási rendszert és átláthatóságot biztosít az épületen belüli létfontosságú rendszerek számára Integrálható a létesítménygazdálkodási szoftverekkel és rendszerekkel a folyamatok automatizálása érdekében.

A BIM túlmutat a létesítménygazdálkodáson is. A BIM által biztosított információk és modellezés segít a létesítményüzemeltetőknek abban, hogy az igényeket és elvárásokat kommunikálják a vállalkozókkal és a kézművesekkel. A BIM megkönnyíti az épület teljes körű irányítását a különböző csapatok között. A digitalizált épület és rendszereinek erőteljes adataiból bárki megbízható információkat nyerhet, hogy jobb, hatékonyabb és célzottabb eredményeket érjen el.

3. A BIM mint az intelligens munkahelyek jövője

Ahogy az épületek egyre intelligensebbé válnak, úgy fognak továbbra is a BIM szempontjából releváns információkat termelni. Minden IoT-érzékelő olyan kontextuális adatpontokat szolgáltat, amelyek az épület ökoszisztémájába beépülnek. Egy napon hamarosan a BIM képes lesz reprodukálni egy épület valós idejű dinamikus képét, az infrastruktúrától kezdve egészen a benne lévő emberekig. És mivel minden egyes új adatfolyamat a nagyobb BIM-sémába aggregálnak, a létesítménygazdák sokkal több információval kell majd dolgozniuk, miközben a lehető legjobb irányítási megközelítés kialakítására törekszenek (Buena and Fabricio, 2018).

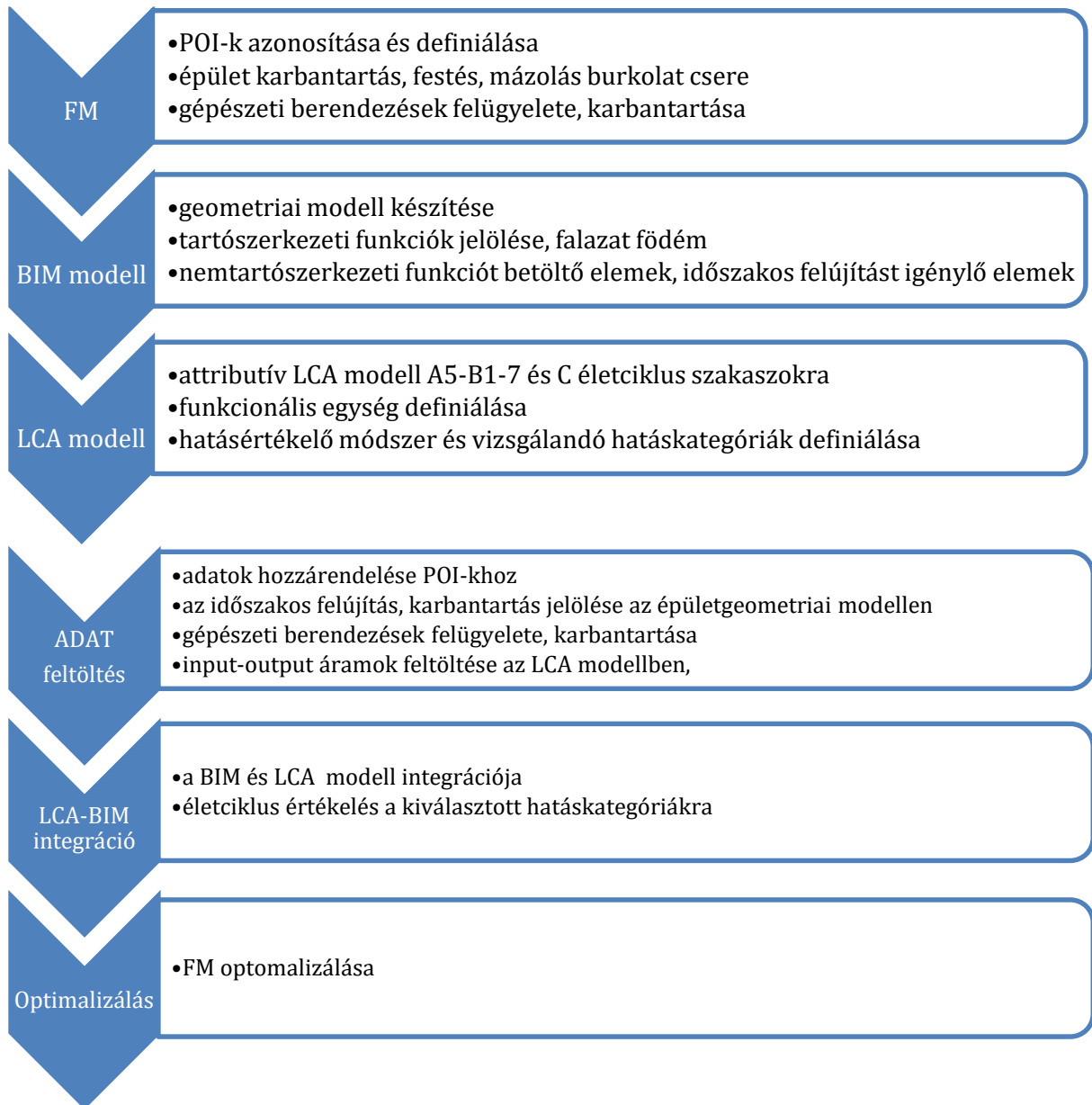
3.1. A kutatás fázisai

Kutatás során párhuzamosan folyt a BIM és LCA modellezés, valamint a FM POI-jainak feltérképezése. A legnagyobb időigényű folyamat az adatgyűjtés és a pontos leltár felvétel elkészítése volt. A kutatás folyamatát az 1. ábra szerint lehet összefoglalni.

3.2. Az irodaépület üzemeltetési BIM rendszerének kidolgozása

Az üzemeltetési BIM rendszer kidolgozásához szükséges kezdetleges modell készítése, mely tartalmazza az üzemeltetés szempontjából hasznosnak gondolt POI (point of interest)-kat egy-egy emblematikus elemmel jelölve. Az építőanyagok között megkülönböztetésre kerülnek a tartószerkezeti funkciót betöltött elemek, illetve amelyek nem sorolhatók ide, de az üzemeltetés szempontjából fontos elemek. A padló szerkezet esetében hasonlóan járunk el, a tartószerkezeti födémeket külön jelöljük a padozati rétegektől. A nyílászárók mérethelyesen, megfelelő pozícióba kerülnek modellezésre. A szaniterek is modellezve lesznek, de látványra nem fogja fedni a valóságot. Gépészeti, elektromos, közmű tájépítészeti, belsőépítészeti stb. elemeket nem kerülnek modellezésre ebben az első fázisban.

A modellezést az elérhető tervek alapján készítjük, és ellenőrző méréseket fogunk készíteni csak 5 cm-es pontosságot igyekszünk tartani. Az üzemeltetés szempontjából fontos elemeket azonosítjuk és egy-egy helykitöltővel (placeholder) jelöljük őket, az információ tartalomban felveszük annak típusát, amennyiben elérhető egyedi azonosítóját.

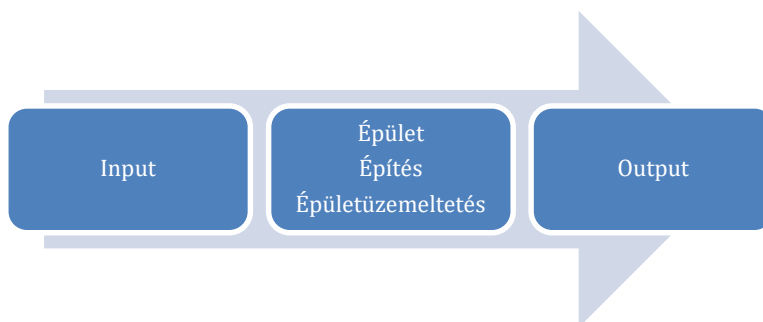


1. ábra. A primer kutatás folyamata (saját szerkesztés)



2. ábra. Az irodaépület előzetes BIM modellje (saját szerkesztés)

3.3. LCA modellezés az A5, B1-B7 életciklus szakaszokra

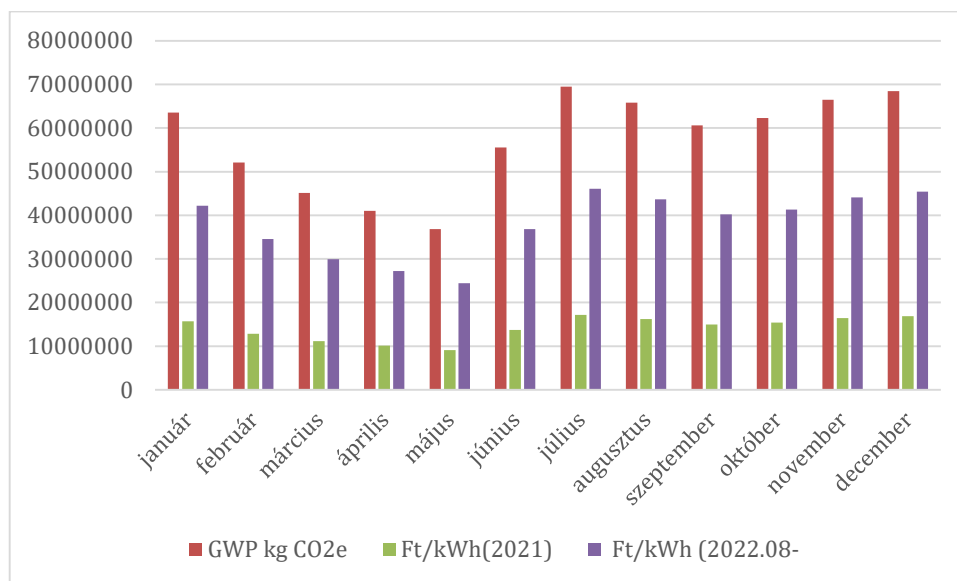


3. ábra. Az LCA modellezés alapja (saját szerkesztés)

Az életciklus-elemzés egy folyamat, termék, illetve szolgáltatás teljes életútja során vizsgálja a környezetre gyakorolt potenciális hatásokat. Az életút vizsgálata a „bölcstől a sárig” elméletre alapul: a termékhez szükséges nyersanyag bányászatától és előkészítésétől a termék gyártásán keresztül a termék használatáig és a használat után keletkező termékhez szükséges hulladék hasznosításáig vagy kezeléséig terjedő szakaszokat vizsgálja. Folyamat, illetve szolgáltatás esetén az anyag- és energiafelhasználásnak, illetve magának a folyamatnak a környezeti hatásait vizsgálja.

Az attributív LCA modellek követik az épület megépítésével és fenntartásával működtetésével összefüggő folyamatok anyagáramait, ennek a leírását az EN 15804 építőipari termék LCA szabvány tartalmazza. Az MSZ EN 15804 szerint A5: Építés - telepítési folyamat, B1: Használat, B2: Karbantartás, B3: Javítás, B4: Csere, B5: Felújítás, B6: Üzemeltetési energiafelhasználás, B7: Üzemeltetési vízfelhasználás. Addig, amíg az építés az épületben megtestesült karbon tartalmat reprezentálja (A5), addig a B1-B7 életciklus szakaszok input output áramai az épület működtetésével összefüggő folyamatokra vonatkozó áramokat vizsgálja, az erre vonatkozó adatok összegyűjtése alapján határozza meg azok környezeti hatását, elsősorban a karbon lábnyomot, és életciklus költséget, ami a FM érzékeny pontja, és az optimalizálás lehetőségének feltárását szolgálja.

A B6 szakasz LCA és LCC modellezés után az üzemeltetésre vonatkozó adatok birtokában a környezeti hatások értékelése a GaBi szoftver adatbázisából, KSH energia mérlegre vonatkozó, valamint az MVM ártájékoztató figyelembevételével kerültek meghatározásra.



4. ábra. Egy irodaépületre vonatkozó energiaadatok alapján számított karbonlábnyom és elektromos áram költségének alakulása (saját szerkesztés)

1.táblázat. A villamos áram fogyasztó berendezések és készülékek

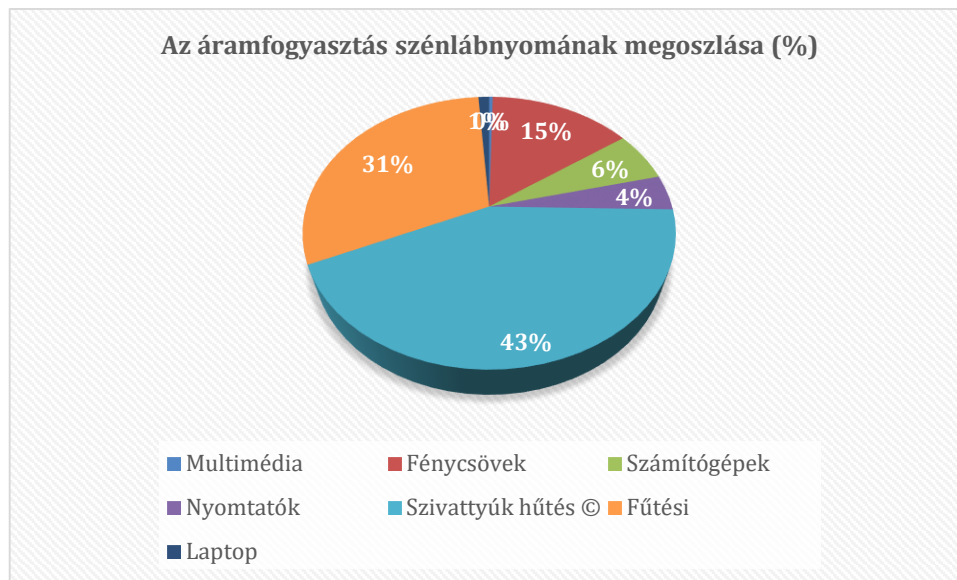
| Eszközök/készülékek | db | Teljesítmény (W/db) | Éves működési idő (óra) | Éves fogyasztás kWh |
|----------------------|-------|---------------------|---|---------------------|
| Multimédiás eszközök | 2 | 1500 | 120 | 360 |
| Fénycsővek | 492*2 | 18 | 100*8 | 14169 |
| Számítógépek | 40 | 180 | 200 * 4 | 5760 |
| Nyomtató | 10 | 910 | 220*2 | 4004 |
| Laptop | 120 | 50-90 | 50*2 | 1080 |
| Szivattyú (hűtés) | 3 | 26000 | 120*12 óra/nap 60*24 (10 %-os teljesítménnyel) | 41184 |
| Szivattyú (fűtés) | 2 pár | 18500 | 120*12 ó/nap 60*24 (10 %-os teljesítménnyel) | 29304 |

* A db és éves működési idő részben becslés adat

Az áramfogyasztó berendezések külön vizsgálata alapján meghatározhatók a kritikus pontok, hol szükséges a beavatkozás, hol lehet megtakarításokat elérni, ami mind környezeti és gazdasági nyereséggel járhat.

Az 5. ábra az áramfogyasztás szénlábnyomának megoszlását szemlélteti. Az elektromos áram fogyasztásában a legnagyobb szénlábnyoma a hűtéshez-fűtéshez és a világításhoz kapcsolódik. A világításnál minden helyiségben éves szinten csak 800 órás működést veszünk figyelembe, és mindenhol (18 W teljesítményű) LED világítótest működik. A második nagy áramfogyasztó az asztali számítógép és laptop. A környezeti teljesítmények optimalizálásánál ezekre a területekre kiemelt figyelmet érdemes

fordítani. De természetesen a teljes leltáradat felvétele és BIM rendszerbe történő integrálása tovább árnyalhatja a képet és az optimális működést a kritikus tényezők mentén kell kialakítani.



5. ábra. Az áramfogyasztás szénlábnyomának megoszlása

4. Összegzés

Az LCA adatok BIM rendszerbe történő integrációja jelentős mértékben megnöveli az épületüzemeltetés átláthatóságát, és a működtetés optimalizációját megkönnyíti. Ennek eredményeként költségmegtakarítás érhető el és a környezeti hatások is csökkenthetők. Ezek a szempontok különösen hangsúlyossá váltak a klímapolitikai célkitűzések teljesítése kapcsán és a jelenlegi energiakrízis idején. A megkezdett kutatómunkánk első lépéseként meghatároztuk a primer kutatás folyamatát és megkezdtük az épület POI-jainak feltérképezését. A legnagyobb időigényű folyamat az adatgyűjtés és a pontos leltár felvétel elkészítése. A kutatás során párhuzamosan folyik a BIM és LCA modellezés.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az "Intelligens középület és közinfrastruktúra üzemeltetési rendszer fejlesztése" című 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2021-00264 azonosítószámú projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával valósult meg, a 2020-1.1.2-PIACI KFI finanszírozási rendszer keretében.

Irodalom

- [1] Chirjiv, A., Amor, B. (2017). Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 408–416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.058>
- [2] Alvarez, A. L. et Diaz, J. (2014). Integration of Life Cycle Assessment in a BIM Environment. *Procedia Engineering*, 85, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.525>

- [3] Araszkievicz, K. (2017). Digital Technologies in Facility Management – The state of Practice and Research Challenges. *Procedia Engineering*, 196, 1034–1042. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.059>
- [4] Belic, M. M, Ries, R. J., Scott, M. H. (2010). Life Cycle Assessment Modeling of the Construction Process for Buildings. *J. Infrastruct. Syst.*, 16(3), 99–205. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000022](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000022)
- [5] Bragança, L., Mateus, R., Koukkari, H. (2010). Building Sustainability Assessment. *Sustainability*, 2(7), 2010–2023. <https://doi.org/10.3390/su2072010>
- [6] Buenoa, C., Fabricio, M. M. (2018). Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIMLCA plug-in. *Automation in Construction*, 90, 188–200. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.028>
- [7] Cavalliere, C. (2018). *BIM-led LCA: Feasibility of improving Life Cycle Assessment through Building Information Modelling during the building design process*. POLITECNICO DI BARI, PhD thesis. <https://www.bimportale.com/wp-content/uploads/2019/09/BIM-led-LCA.pdf>
- [8] Cavalliere, C., Dell’Osso, G. R., Pierucci, A., Iannone, F. (2018). Life cycle assessment data structure for building information modelling. *Journal of Cleaner Production*, 199(2018), 193–204. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.149>
- [9] Deutch, N. (2013). Az épületek fenntarthatóságának lehetséges értékelési módszerei. *Marketing & Menedzsment*, 2013(Különszám), 16–26.
- [10] Eastman, C., Teicholz, P. M., Sacks, R., Liston, K. (2008). *BIM for the construction industry in book: BIM handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. pp 263-304. John Wiley & Sons, Inc.
- [11] European Commission (2022). Revised Construction Products Regulation.
- [12] Guillaume, H., Arribe, D., Dehove, T., Espinasse, L., Le Roy, R., (2012). Reducing environmental impact by increasing the strength of concrete: Quantification of the improvement to concrete bridges. *J. Clean. Prod.*, 35, 250–262. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.028>
- [13] Graham, K., Serginson, M., Lockley, S., Dawood, N. & Kassem, M. (2013). BIM for facility management: a review and a case study investigating the value and challenges. *Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, 30-31 October 2013, London, UK.
- [14] Ziwen, L., Lu, Y., Shen, M., ChangPeha, L. (2021). Transition from building information modeling (BIM) to integrated digital delivery (IDD) in sustainable building management: A knowledge discovery approach based review. *Journal of Cleaner Production*, 291, 125223. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125223>
- [15] Mannheim, V. (2022). Életciklus-értékelési és épületinformációs modellek kidolgozása, integrálása. Megjelent: "OmegaSys – Élettartam tervező és meghibásodás előrejelző komplex döntéstámogató rendszer, facility management szolgáltatás kialakításához" Miskolc-Egyetemváros, Magyarország : Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar (2022) pp. 200-242., 43 p.
- [16] Abbas, M., Ukwatta, A., Setunge, S. (2018). Fired clay bricks incorporating biosolids: Comparative Life Cycle Assessment. *J. Mater. Civ. Eng. (ASCE)*, 30(7), 1–12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002308](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002308)
- [17] MSZ EN 15804:2012+A2 2020 Építmények fenntarthatósága. Környezetvédelmi terméknnyilatkozat. Építési termékek kategóriáját meghatározó alapvető szabályok.

- [18] Parrish, K., Chester, M. (2014). Life-Cycle Assessment for construction of sustainable infrastructure. *Pract. Periodical Struct. Des. Construct. (ASCE)*, 19(1), 89–94. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000187](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000187)
- [19] Passer, A., Lasvaux, S., Allacker, K., Spirinckx, C., Wittstock, B., Kellenberger, D., Gschösser, F., Wall, J. and Wallbaum, H. (2015). Environmental product declarations entering the building sector: critical reflections based on 5 to 10 years experience in different European countries. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20, 1199–1212. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0926-3>
- [20] Reed, R., Bilos, A., Wilkinson, S., Karl-Werner, S. (2009). International comparison of sustainable rating tools. *JOSRE*, 1(1), 1–22. <https://doi.org/10.1080/10835547.2009.12091787>
- [21] Thais, S., Drogemuller, R., Omrani, S., Lamari, F. (2021). A schematic framework for Life Cycle Assessment (LCA) and Green Building Rating System (GBRS). *Journal of Building Engineering*, 38(June), 102180. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102180>
- [22] Amanjeet, S., Berghorn, G., Joshi, S., and Syal, M. (2011). Review of Life-Cycle Assessment applications in building construction. *J. Archit. Eng. (ASCE)*, 17(1), 15–23. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000026](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000026)