

Szűrös Zsolt*, Géczy Nóra PhD**

AZ ÉPÍTETT KÖRNYEZET LÉTREHOZÁSÁNAK ÉS ÜZEMELTETÉSÉNEK DIGITÁLIS ESZKÖZRENDSZERE

DIGITAL TOOLS FOR THE DESIGN AND MANAGEMENT OF THE BUILT ENVIRONMENT

KIVONAT / HUN

A globális digitális fejlődés és transzformáció már az összes kontinensen jelen van, és passzívan vagy aktívan formálják életünket. Ugyanez elmondható a legfrissebb generációk esetében is. Már kisgyermekként egy digitalizált társadalomban szocializálódnak az emberek, mely számukra teljesen természetessé válik. Hasonló a helyzet az építészetben, építőiparban is. A technológiai vívmányok, melyekkel építészeti tereinket digitálisan, virtuális módon vagyunk képesek érzékelni, észlelni, nem csak jelentősen megkönnyítik dolgunkat, de még az épület későbbi életciklusainak monitorozásában is segítenek. Az AEC/FM (Architecture, Engineering, Construction és Facilities Management) szektor csúcstechnológiáihoz az építészet és építőipar legmagasabb szintű digitalizáltsága szükséges. Fontos belátni, hogy bár ezek a modern megoldások elsőre költségesnek és időigényesnek tűnnek, hosszútávon az épület életciklusában megtérülnek, valamint tudatos tervezés mellett környezetkímélő megoldásokkal is szolgálnak.

Kulcsszavak: építészeti tér; digitalizáció; technológia; BIM; mesterséges intelligencia; létesítménygazdálkodás

ABSTRACT / ENG

Global digital development and transformation is already happening on all continents, passively or actively shaping our lives. The same can be said for the latest generations. From a very young age, people are socialised in a digital society that is becoming completely natural for them. It is the same in architecture and in the construction industry. The technological advances that enable us to sense and perceive our architectural spaces in a digital, virtual way not only make our work much easier, but also help us to monitor the building's future life cycle. The cutting-edge technologies of the AEC/FM (Architecture, Engineering, Construction and Facilities Management) sector require the highest level of digitalisation of architecture and construction. It is important to realise that although these modern solutions may seem costly and time-consuming at first, they pay for themselves in the long term over the life cycles of the building and provide environmentally friendly solutions with conscious design.

Keywords: architectural space; digitisation; technology; BIM; artificial intelligence; facility management

* építészmérnök BSc szakos hallgató, Széchenyi István Egyetem, Győr, e-mail: szuroszs98@gmail.com

** okl. építész tervezőművész, egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem, Épülettervezési Tanszék, e-mail: nora@sze.hu

1. | BEVEZETÉS

A digitális szimuláció rendkívüli hatással van jelenkorunk építészetére, és további jelentős átalakulás prognosztizálható a jövőbeli tervezési módszerekben. A technológiai átalakulás azonban nemcsak átírja a tervezői folyamatokat, hanem megváltoztatja az építészet minden komponensét és rétegét. Az építészetben létezik egy általánosan használt, paradox fogalom: téralakítás. A 'tér' fizikai alapfogalom, s miképp az időt, úgy a teret sem tudjuk alakítani. A szerkezetet és azt az anyagot, mely a tér határait definiálja viszont igen. A belső tér alakítását a szerkezeti megoldások határozzák meg, a födémekek, falak, oszlopok és a különféle térszáró és tértagoló szerkezetek végtelen variációi [Géczy, 2019]. Az építészeti térelemzés a XIX. és XX. század folyamán emelkedett tudományos szintre, és alapvetően a tér filozófiai, pszichológiai és művészettörténeti analizálására fókuszált. Jelentős mértékben befolyásolta Le Corbusier, Frank Lloyd Wright és Ludwig Mies van der Rohe munkássága, akik az építészeti téralakításban a belső terek feszességének és kötöttségének feloldására törekedtek, meghonosítva – többek között – a „szabad alaprajz” és az „áramló tér” fogalmát. A modernizmus innovatív megoldásai viszonylagos tervezői szabadságot adtak az építésznek számára.

A virtuális környezetben szocializálódó társadalmunkban alapvetően átformálódni látszik az épületek térérzékelése és a belső terek, útvonalak értelmezése [Düll, 2010]. A digitalizált technológiai megoldások napjaink új építészeti forradalmát ígérnek, és újraírják az analóg, hagyományos építészeti tér érzékelést.

A jelenléten alapuló, multiszenzoros tér szerkezetből, fényből, színből, anyagból, illatból és megannyi más fizikai és kémiai alkotóelemből áll. Ezek érzékelése nemcsak fiziológiai értelemben történik, hanem mentális, pszichodinamikai síkon is. A valós terek érzékelése időbeli folyamat, mely az érzetek komplexitásából adódóan strukturált [Pallasmaa, 2018]. A számítógépen szimulált terek azonban az érzékelés összetettségét figyelmen kívül hagyják, és kizárólag okulárcentrikus paradigmát képviselnek. A digitális

világunk jellemzője a multiszenzorális érzékelés hiánya. A virtuális tér megfoszt a teljes spektrumú érzékelés lehetőségétől, mégis térélményt kínál, csak hogy mindezt az érzékszervektől megfosztva, kizárólag a vizualitás eszközével.

2. | A PSZUDOTEREK ÉS A DIGITÁLIS VILÁG

A digitális eszközök és technológiák sokasága, az utóbbi 15 évben egyre nagyobb teret hódító közösségi médiák felületei, a felhő alkalmazások, az Internet, a robotika, a mesterséges intelligencia egyre gyakrabban jelennek meg mindennapjainkban. Lassan teljes részévé válnak az életünknek, és munkahelyeinken is egyre kiemelkedőbb szerepet kapnak. A digitális transzformáció folyamata azt eredményezi, hogy egyes esetekben a magánszférákban sokkal erőteljesebben érzékelhetők a digitális változások, illetve az is előfordul, hogy sokkal fejlettebb technológiákat alkalmaznak, mint munkahelyi környezetekben. Ezeknek az átalakításoknak köszönhető az is, hogy egyre nagyobb és általánosabb elvárás, követelmény a munkahelyeken mind az alkalmazottaktól, mind a fogyasztók részéről a digitális technológiák ismeretének megléte és alkalmazása.

Folyamatosan nő a nyomás a versenyszférában, hogy az üzleti szervezetek ne hagyják lemaradjanak a technológiai és digitális átalakulásban.

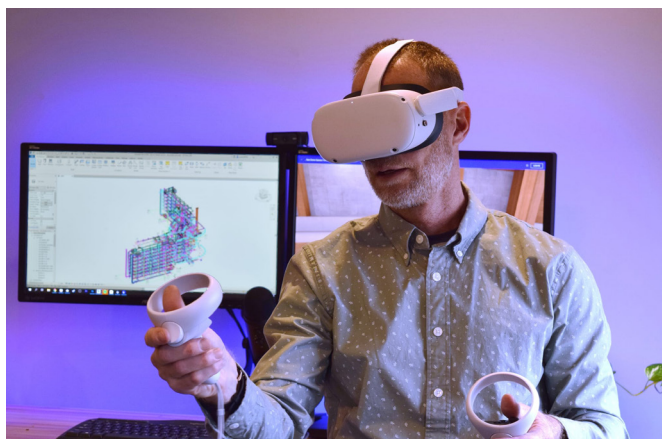
A digitalizáció önmagában nem csupán azt jelenti, hogy digitális eszközöket használunk, hanem e mögött egy sokkal komplexebb tény, a gondolkodásmódbeli megváltozás áll. Az élet sok területére kiterjedő digitalizáció számtalan új lehetőséget hordoz magával. Új eszközök, új eljárások, új eredmények születtek. Napjainkban folyamatosan digitális eszközökkel vesszük magunkat körül, melyek informálnak, segítenek, oktatnak, meggyorsítanak számtalan folyamatot, vagy csupán szórakoztatnak (1. ábra). Ebből kifolyólag ezeket az eszközöket vagy lehetőségeiket egy részét magunknál is hordjuk, például egy mobiltelefon keretein belül.

3. | OPTIKAI KIEGÉSZÍTŐK: LÁTNI A LÁTHATATLANT

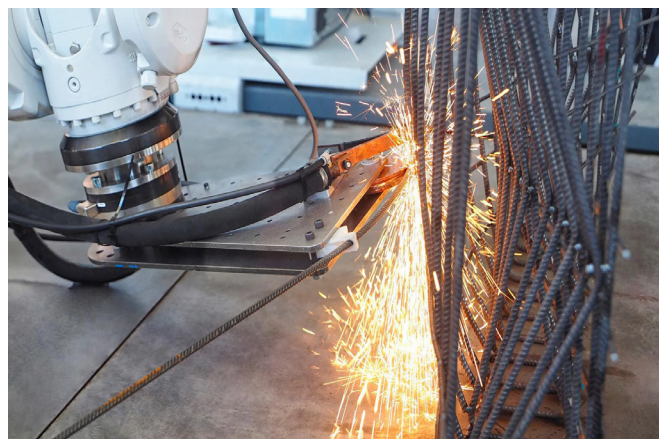
Egy hagyományos értelemben vett szemüveg azt a célt szolgálja, hogy javítsa látásunkat, ehhez képest napjainkban nem ritkán szemüvegeink lencséjét is virtuális tartalmakkal töltjük meg okos szemüvegek és virtuális valóságot tükröző VR (Virtual Reality) szemüvegekkel. A modern technológiák megváltoztatják az emberekben



1. ÁBRA: MaxWhere virtuális tér, SZE hallgatói innovációs projekt, 2021 (forrás: GN)



2. ÁBRA: XR (Extended Reality) technológiák [Baker, 2022]



3. ÁBRA: Vasalat hegesztő robot [Gyártástrend, 2021]

a tér érzékelésének jelentőségét, elnyomják azt és inkább virtuális tartalmakkal töltik fel. Ez nem csak a fizikai terek fontosságát, de az emberi közöség jelentőségét is degradálja. A cél a tér áthidalása digitális eszközök segítségével. Ennek köszönhetően még közelebb kerülünk az ismerőseinkkel, vagy éppen egy háztartáson belül is egyre gyakoribb a digitális eszközökön, online platformokon történő kommunikálás.

Egy virtuális, kognitív érzékekre ható térélményt kétféleképpen demonstrálhatunk. Egyrészt léteznek a mindennapi használatú asztali, vagy nem belememülő virtuális valóságot tükröző eszközök, mint például egy telefon, vagy egy számítógép monitorja, melyek képernyőin keresztül képesek 3D térélményt érzékelteni. Másrészt léteznek az érzékszerveinkre jobban ható és komplexebb téri élményt közvetítő teljes belememülést biztosító technológiák, mint például a fejre helyezhető VR eszközök [Spiller, 2008] (2. ábra). A teljesen belememülő virtuális tér érzékelésnél a technológia a kognitív érzékelésünket befolyásolva valóságnak érzékelhető virtuális leképezést hoz létre testünkről, ebből kifolyólag teljessé válik a szubjektív jelenlétünk a virtuális térben.

4. | AZ AUTOMATIZÁCIÓ ÉS AZ MI

A digitális transzformáció kapcsán fontos megemlíteni az automatizációt, mint fogalmat. Az automatizáció lényege, hogy az emberi jelenlétet és az ember által elvégzett feladatköröket teljesen, vagy részben kiváltsa, ez-

zel minimalizálva a humán munkaerő szükségességét (3. ábra). Napjainkban egyre gyakrabban használjuk az automatizáció szó helyett a robotizáció szót, ami elsősorban fizikai és szoftver alapú robotok segítségével valósul meg, melyekhez még szorosabban kapcsolódik a digitalizáció megléte.

Az egyik legkiemelkedőbb előny az egyenletes minőség, hiszen az automatizálásnak köszönhetően jelentősen lecsökken a minőségi és az alkalmassági vizsgálatok során elkövetett hibák száma. Ez főleg a rutinszerű feladatoknál fontos, hiszen a gépek előre meghatározott szabályok szerint dolgoznak, így az embernél kevesebbszer követnek el hibákat. Másik meghatározó előnye a robotoknak a feláldozhatóság, így az emberre veszélyes munkakörnyezetben való alkalmazásuk.

Az automatizált technológiák és a robotok egyre szélesebb körben váltják fel a gondolkodást kevésbé igénylő, monoton és rutinszerű munkafolyamatokat, mely lehetővé teszi az eddigi humán erőforrás kreatívabb munkavégzésének lehetőségét. Ugyanakkor egyre jobban elterjednek az automatizált gépek a gondolkodást igénylő, összetettebb munkafolyamatok körében is, amihez köze van a mesterséges intelligenciának (MI). A robotok már lassan az élet minden területén fellelhetők. A mesterséges intelligenciának köszönhetően egyes szakértők szerint a robotok 30-50 év múlva, vagy akár hamarabb, képesek lesznek az emberi intelligencia vonatkozásainak tökéletes utánzására és tanulására. Az MI és a robottechnológiák széleskörben alkalmazhatók, szakmától, munkakörnye-

zettől függetlenül. Még vezérgazgatói munkakörben is képesek a feladatok 1/5-ödét ellátni, mint például az adatok elemzését vagy a jelentések áttekintését. A mesterséges intelligencia egyes esetekben sokkal gyorsabban tud reagálni az emberekhez képest, azonban ezek az észlelések és reakciók felülbírálandók emberek által.

Az automatizációnak és a mesterséges intelligenciának nem csak az építészetben és kivitelezésben van egyre nagyobb jelentősége, hanem magában a megépített épületek üzemeltetésében is. Ezek az úgynevezett automatizált házak vagy okosotthonok folyamatosan ágyazódnak be hétköznapi életünkbe, hiszen főleg nagyobb léptékű épületeknél, középületeknél és szociális épületeknél alkalmazzák ezt az összetett technológiát. Ez a fejlett módszer kiéleződik az energiatudatosságra, a fenntarthatóságra és az emberi mulasztásokból fakadó korrigálásokra. Ilyen mulasztás például egy ablak becsukásának vagy egy lámpa lekapcsolásának a hiánya a ház elhagyását megelőzően. Ezek az épületek a rendszerüknek köszönhetően képesek a felhasználók, tehát az épületben lakók, vagy tartózkodók életkörülményeire és igényeire reagálni és ezeket a lehető legtökéletesebben kielégíteni [Bencze, 2020]. A technológia automatikusan tudja szabályozni a levegő hőmérsékletét, figyel az adott helyiségekben a megvilágításra, automatikusan képes az ablakokat kinyitni, illetve távozáskor azokat bezárni. Ezek természetesen felhasználói beállítástól függő mechanizmusok, melyekkel személyre lehet szabni az épület automatizáltságának fokát.

5. | VIRTUÁLISBÓL VALÓSÁG

A digitális technológiák rohamos fejlődésének köszönhetően az AEC/FM (Architecture, Engineering, Construction és Facilities Management) szektorban számos technológiai újítás jelent meg, melyekkel digitálisan feldolgozhatóvá tesszük épületeinket és kezeljük azok információt- és adathalmazait (4. ábra). Mind a tervezésben, mind a konstruálásban nagy előrelépések valósultak meg, melyeknek eredményeként fenntartható, gazdaságos és monitorozható épületeket hozhatunk létre.

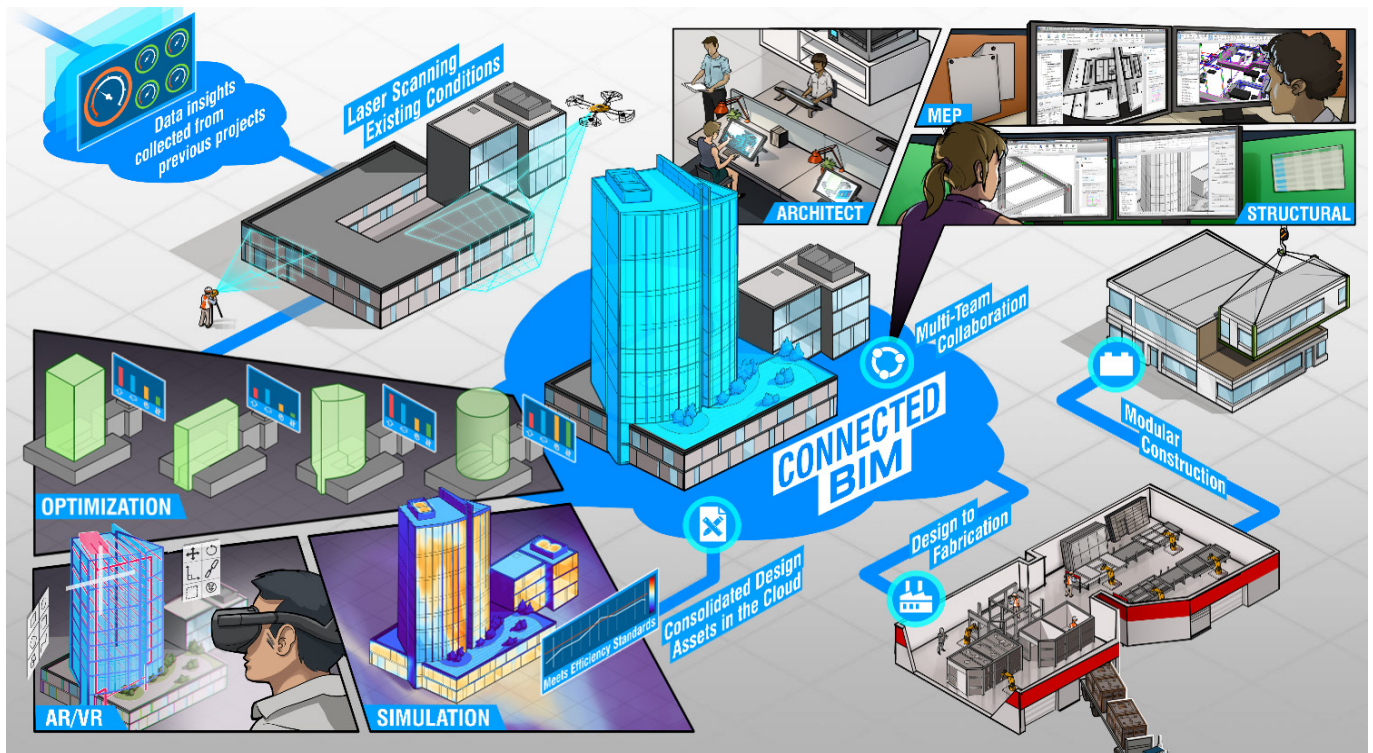
A 3D nyomtatott házak és technológiai karakterük kezd egyre nagyobb teret nyerni az építőiparban. Ennek legfőbb oka a gazdaságosság, ugyanis egy ilyen technológiai megoldás lényegesen kevesebb helyszíni élőmunka igényel jár, miközben a folyamat is felgyorsul. A technológia szerkezetileg két vezetőszínből, két oszlopból és egy egész házat áthidaló vezetőgerendából áll, amin a nyomtatófej mozog. A nyomtatófej precíziós koordinálásában egy lézér érzékelő segít. Ezzel a szerkezeti kialakítással három tengely (x, y, z) mentén képes mozogni, amivel szinte bármilyen

geometriájú szerkezetet el tud készíteni. A szerkezetek nyomtatásához használt anyag aprószemcsés betonból, gipszből és különféle rostanyagokból, szálakból tevődik össze. A kinyomtatott falszerkezeteket polisztirolgolyókkal vagy szálal hőszigeteléssel szokták kitölteni.

Meglévő épületek 3D digitális feldolgozásában is folyamatos fejlődés figyelhető meg. A pontfelhő technológiájának köszönhetően a valós épület pontjait 3D koordináta rendszerben tudjuk digitálisan leképezni. Alapvetően a pontfelhők elkészítéséhez kétféle technológiai eljárás létezik. Készülhet lézerszenzoros felméréssel, illetve fotogrammetria felmérés módszerével. Mindegyik pont saját koordinátával rendelkezik, ezek pontthalmazokat alkotnak, majd a pontthalmazok együttesen kirajzolják az épület digitális mását. Ahhoz, hogy egy pontfelhő a lehető leginformatívabb és részletesebb legyen, ahhoz a pontok millióira vagy milliárdjaira van szükség. Ez a mennyiség azonban nagy tárhelykapacitást igényel, ugyanis ezek az adatmennyiségek a 10-100 GB nagyságrendet is elérhetik. A méret a technológiai eljárástól is függ, amivel a pontfelhő készült.

Építész tervek prezentálásához egyre gyakrabban használják az AR, VR és MR technológiát (Augmented, Virtual és Mixed Reality). Ezek a betűszók napjainkban nem számítanak ismeretlen fogalmaknak. Főleg a VR elnevezés vált hamar közismertté. Ezeket a technológiákat először a videójáték iparban alkalmazták a virtuális térérzékelés és a felhasználói élmény fokozására. A többi iparág is felfedezte a bennük rejlő megannyi lehetőséget, beleértve az építőipart is. Mind irodai, mind helyszíni munkakörnyezetben segítik a virtuális tervprezentálást, illetve a helyszíni épületbejárást. A VR, az AR és az MR között virtuális érzékelésbeli különbségek vannak.

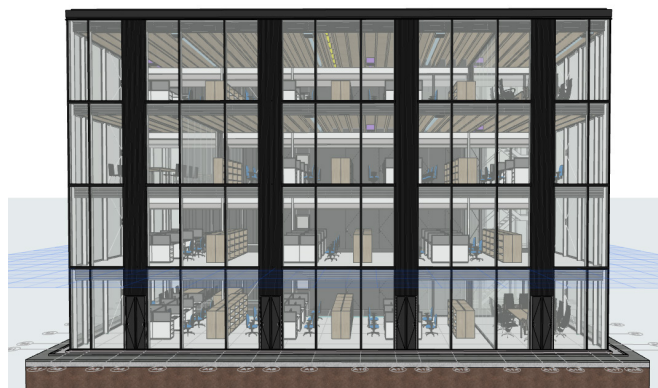
Az MI az AEC/FM szektorban már szinte minden szegletében megjelent, nem ritkán egész városnyi léptékben. A mesterséges intelligencia alkalmas egyes kognitív emberi feladatok reprodukálására, a folyamatos tanulásra, és az ismétlődő feladatok tanulmányozásával rendelkezik bizonyos mértékű problémamegoldó képességgel is. Képes a környezeti interakciókból adatokat gyűjteni, azokat elemezni, értelmezni, majd megfelelően reagálni mindezekre. Az építőiparban ez a



4. ÁBRA: Központi BIM modell és kapcsolatrendszere (Németh, 2018)



5. ÁBRA: Az eredeti épület Delftben (fotó: Lucas van der Wee)



6. ÁBRA: Az épület digitális ikertestvére (modell: SzZs)

mechanizmus különösen fontos a gépi tanulás tekintetében. Ezek a gépek MI-motorokkal vezérelt programokat használnak. Üzemeltetésük közben hatalmas mennyiségű adatot dolgoznak fel, végül kiszűrik a felesleges információkat. Az MI-motorokat használó programok gyakran Internet of Things (IoT) eszközökkel állnak kapcsolatban, mivel ezek az eszközök képesek egymással kommunikálni és naprakész adatokkal szolgálni, amiből az MI statisztikákat és megoldásokat tud generálni (Ghalwash és mtsai, 2020). Az IoT magyar megfelelője a Dolgok Internete. Ez például egy okosváros keretén belül lehet mérvadó, de épületek esetében is lehet alkalmazni. Ugyancsak a mesterséges intelligenciának köszönhetően képesek vagyunk logikai műveleteket is elvégezni a tervezés kezdeti fázisaiban generatív tervezés formájában. A generatív tervezés egy parametrikus adatokon ala-

poló formakereső folyamat. Egy adott tervezési területre a rendszer képes a parametrikus adatok, igényei vonatkozásában konkrét épületgeometriákkal, alaprajzi kialakításokkal, de akár még bútorozási tervvel is előállni.

6. | SZIMULTÁN RENDSZEREK BEMUTATÁSA EGY ESETTANULMÁNYON KERESZTÜL

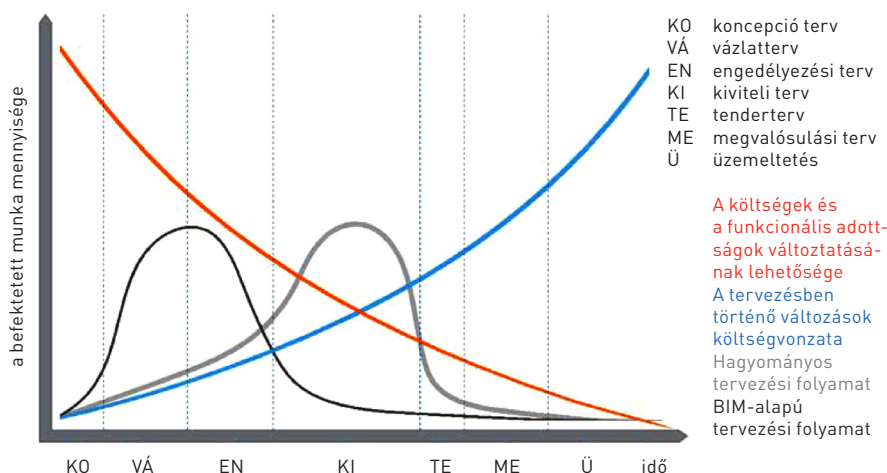
A technológiailag folyamatos fejlődésben lévő építőiparban egyre több olyan okos eszköz, gép, megoldás jelenik meg, amelyek hálózati kapcsolattal és közvetlen, gyors kommunikációval rendelkeznek. Ezek a technológiák hatalmas mennyiségű strukturálatlan és szerteágazó adatmennyiségeket generálnak, amelyeket a Big Data összegyűjt, rendszerez és elemez, majd

levonja belőlük a következtetéseket, melyek által gazdaságossá, koordinálhatóvá teszi a tervezési, építési munkafolyamatokat. A következőkben egy megépült irodaépületről készített egyetemi tanulmány modellt használunk, amin keresztül bemutatjuk és felvázoljuk az ismertett technológiák szerepét a tervezésben, előregyártásban, kivitelezésben és az épületüzemeltetésben. A kiválasztott épület Hollandiában található, azon belül is Delftben. Ez az épület a Cepezed Office Building által tervezett Demountable Office Building (5. ábra) (González, 2020).

6.1. DIGITALIZÁLT TERVEZÉS

A Digital Twin technológia lényegében egy adathalmazból felépülő információs modell. Az építőiparban azokról az épületeknél használják az elnevezést, amelyekről készült egy tökéletes leképezés digitális modell formájában (6. ábra). A digitális ikertestvér, azaz a valós épület virtuális rendszerekben felépített modellje, hatalmas adattal rendelkezik, amelyben a részletes és pontos geometriai forma mellett a modellelemekben tárolt, rögzített és folyamatosan frissülő adatok is nélkülözhetetlenek. A megépült épület adatokat tárol a digitális ikertestvérről, ami információkkal tud szolgálni a megépült épület részére és ezzel egy folyamatos adat- és információcsere alakul ki közöttük.

A Digital Twin technológia nem csak épület és különböző infrastrukturális elemek esetében jelent nagy előnyt, de akár még összetettebb, nagyobb rend-



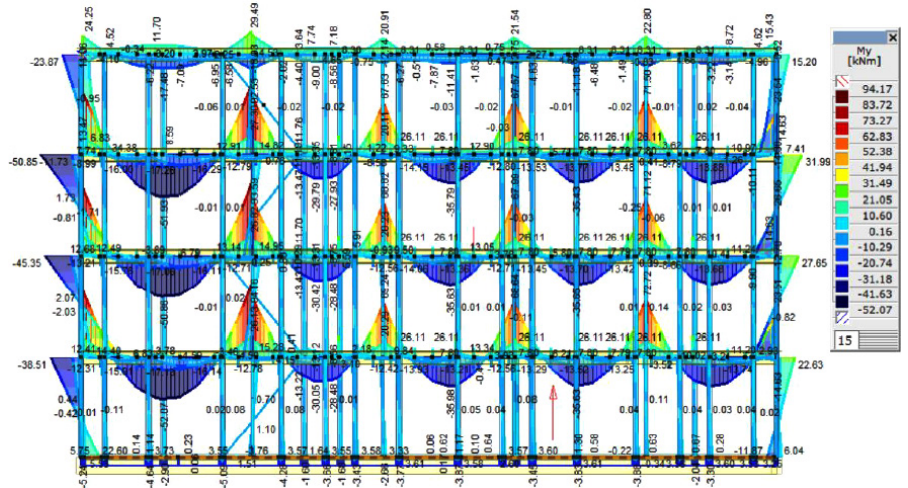
7. ÁBRA: A módosítások időigénye a projekt előrehaladásának függvényében (Zagorác, Szabó, 2018)

szert alkotó hálózatok esetében is, mint például vasúthálózatok vagy akár városok. A technológia alkalmas számos információ hatékony feldolgozására, amelyekhez az IoT eszközök és szenzorok, a modellbe ágyazott metaadatok és különböző épületgépészeti, villamossági (HVAC, MEP) rendszerek biztosítanak óriási méretű adatállományt (Big Data). Mindez az épület későbbi életciklusában, az üzemeltetésben és fenntartásban bír meghatározó szereppel.

A BIM (Building Information Modelling) egy olyan interaktív tervezési folyamat, melynek köszönhetően 3D BIM modelleket készítünk. Ehhez megfelelően magas részletzettségű BIM modell szükséges, amihez már nem kell 2D-s vonalakat és kitöltéseket alkalmazni. Ebből a modellből származtatjuk az összes alaprajzot, metszetet, homlokzatot, csomóponti részletrajzot, és még a látványtervhez is ezt a modellt alkalmazzuk. A részletes BIM modell elkészítése a tervezés kezdeti fázisában sok időt vesz igénybe, de a későbbi munkafolyamatokat gördülékenyebbé teszi, és egyszerűbbé válik a tervfeldolgozás is, amellyel rengeteg idő megtakarítható (7. ábra).

Az építőipar rendkívül széleskörű szektor és rengeteg különféle szakágból tevődik össze, amelyek egymástól eltérő tervezőszoftvereket alkalmaznak. Az IFC (Industrial Foundation Classes) a 3D-s modellelemek klaszifikációit, metaadatait dolgozza fel, melyekből geometriájában és információjában helyes BIM modellt generál, amit más tervezőszoftverek is képesek értelmezni, definiálni [Zagorác és Szabó, 2018]. Az IFC az Open BIM alapvető fájlformátumaként szolgál, segítségével számos eltérő CAD alkalmazással készíthető el egy adott projekt BIM kompatibilisen. A Closed BIM abban különbözik az Open BIM-től, hogy itt minden tervező egy adott programcsaládon belül dolgozik ugyanazon a projekten. Ennek számos előnye van az Open BIM-hez képest, például az adatvesztés kisebb valószínűsége és a gyorsabb tervfeldolgozás, hiszen nem kell sok időt eltölteni adatszolgáltatással és az IFC-k mentésével.

Mivel a vizsgált épületről is BIM alapú modell készült, ezért egy IFC file-t kimentve könnyedén lehetett a modellt más programokban is felhasználni. Ilyen programok például a tartószer-



8. ÁBRA: Tartószerkezeti analízis AxisVM-ben a BIM modell alapján [forrás: SzZs]

kezetek analíziséhez használt AxisVM (8. ábra), a tartószerkezetek tervezéséhez használatos Allplan és Consteel, vagy az építési folyamat modellezésére alkalmas Bexel (9, 10. és 11. ábra).

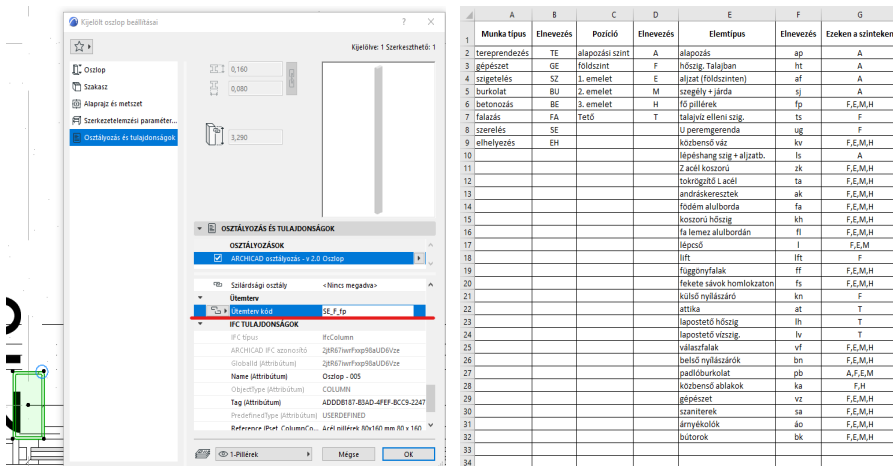
A példában látható, hogy a mesterséges intelligencia (MI) általi generatív tervezés lehetőséget nyújt a telek optimális kihasználásához és az épület kontúrján belüli megfelelő alaprajz kialakításához (12. ábra). Jelen esetben parametrikus adatként lehet megadni a közlekedők viszonyát a többi helyiséghez, a vertikális közlekedőhöz (lépcső) és a horizontális közlekedőhöz viszonyított kapcsolatát, a lift pozícióját a lépcsőhöz képest, a teakonyha és az irodatér helyzetét, az irodatér és tárgyalók összefüggéseit, az illemhelyiségek, a raktár, a gépészeti helyiségek kapcsolódási formáit, valamint mindezek szükséges méretét.

6.2. DIGITALIZÁLT ELŐREGYÁRTÁS

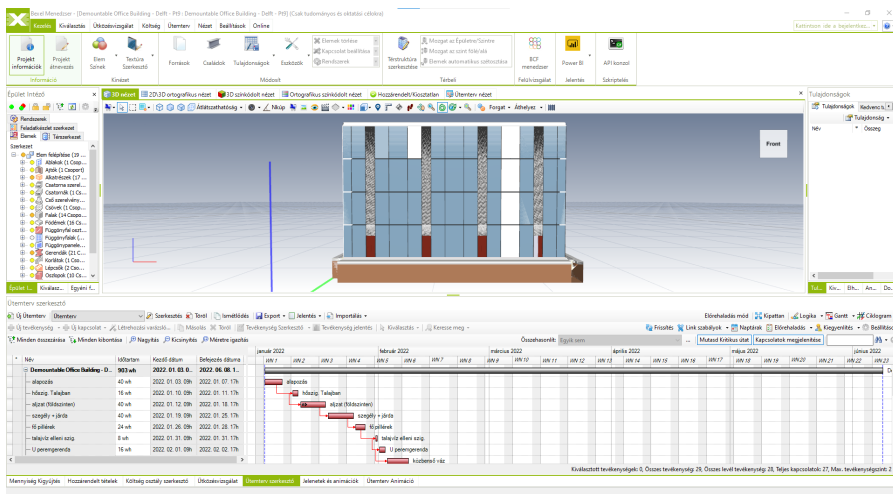
Nem meglepő, hogy az Internet, az IoT, az Ipar 4.0, a kibernetikai rendszerek (CPS), a BIM rendszer architektúrán alapuló javaslatok és kutatások száma jelentősen növekszik, mivel az AEC/FM szektor a feltörekvő BIM és IoT technológia közös kapcsolatában látja a fejlődéshez vezető utat. Ahhoz viszont, hogy a BIM-IoT rendszer tökéletesen tudjon működni, a hálózatba csatlakozó fizikai egységek sokaságára van szükségünk. Az IoT technológia egy olyan digitális jövőt vetít elénk, ahol a digitális eszközök és a fizikai gépek együtt tudnak dolgozni megfelelő kommunikációs és információs eszközök segítségével, ezáltal lehetőségek sokaságát tárva elénk [Teizer és mtsai, 2017]. Azáltal, hogy ezek az IoT eszközök, gépek, épületelemek a hálózaton belül érzékelhetővé



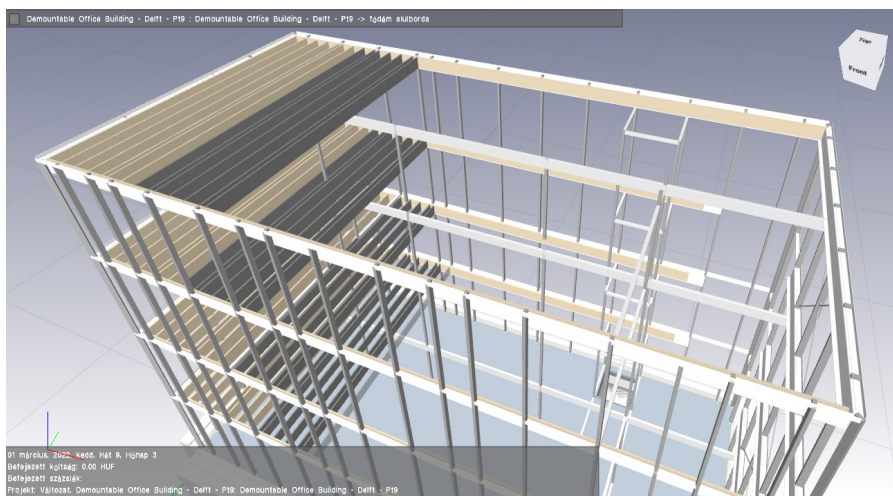
12. ÁBRA: Generatív tervezés: a földszint helyiség- és bútoroptimalizált kialakítása [forrás: SzZs]



9. ÁBRA: Építésütemezés előkészítése: a pillér ütemterv kódot kap ArchiCAD-ben (balra), a kódolás felvezetése Excelben (jobbra) (forrás: SzZs)



10. ÁBRA: Építésütemezés: a Bexel ütemterv tervező programban felvezetett ütemidők logikai műveletek alapján (forrás: SzZs)



11. ÁBRA: Építésütemezés: a Bexel program által készített animáció pillanatképe (forrás: SzZs)

valnak, adatokat nyerhetünk ki belőlük, környezetükről, majd ezek az adatok továbbítódnak a hálózaton keresztül a BIM alapú Middleware rétegekhez.

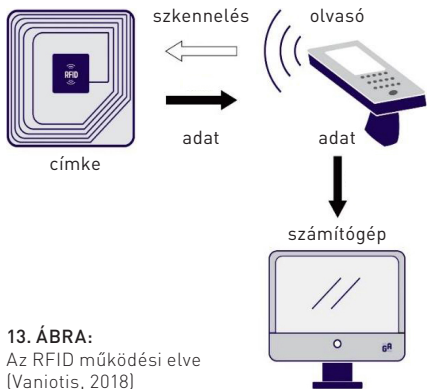
Az IoT adatok BIM központ felé történő továbbítására számos megoldás létezik. Az egyik legelterjedtebb megoldás az RFID (Radio-Frequency Identification) rövid hatótávolságú kommunikációs megoldás (13. ábra). Ezeket a kisméretű RFID címkéket vagy objektumokat az építőelemekbe integrálják, vagy a felületükre ragasztják, majd azokat RFID olvasó eszközökkel olvassák le és továbbítják információként.

Előfordulhat, hogy a kivitelezés helyszínén a hasonló, bár kicsiben mégis eltérő előregyártott szerkezeti elemek felcserélődnek és ezáltal a rögzítési, csatlakozási pontok nem stimmelnek. Ez a veszély főleg moduláris épületeknél áll fenn. Erre a problémára nyújtanak segítséget az RFID címkék, amiket a helyszínen egy RFID leolvasóval képesek vagyunk az elem pontos helyzetét megállapítani a BIM modell felhasználásával. A delfti irodaház esetében az acél vázszerkezeti elemek, illetve a fa alulbordás födém panelek esetében alkalmazható ez a technológia, hiszen, bár azonosnak tűnnek az egyes szinteken elhelyezkedő tartószerkezeti elemek, kisebb különbségek mégis adódnak (14. ábra).

Másik úttörő, hálózatot használó megoldás a BLE (Bluetooth Low Energy). A BLE-t a Bluetooth Special Interest Group fejlesztette ki elsősorban egészségügyi, fitness és otthoni szórakoztatási eszközök részére, de a kísérletek és az esettanulmányok azt bizonyítják, hogy építőipari felhasználásra is tökéletesen alkalmas, ezen belül is elsősorban biztonsági funkciókat betöltve (González, 2019). Ha ezt a technológiát BIM modellbe integrálva használjuk, akkor például a munkások sisakjára erősített IoT érzékelők és jeladók segítségével valós idejű tartózkodási helyükről és a környezeti feltételekről tudunk informálódni.

6.3. DIGITALIZÁLT KIVITELEZÉS

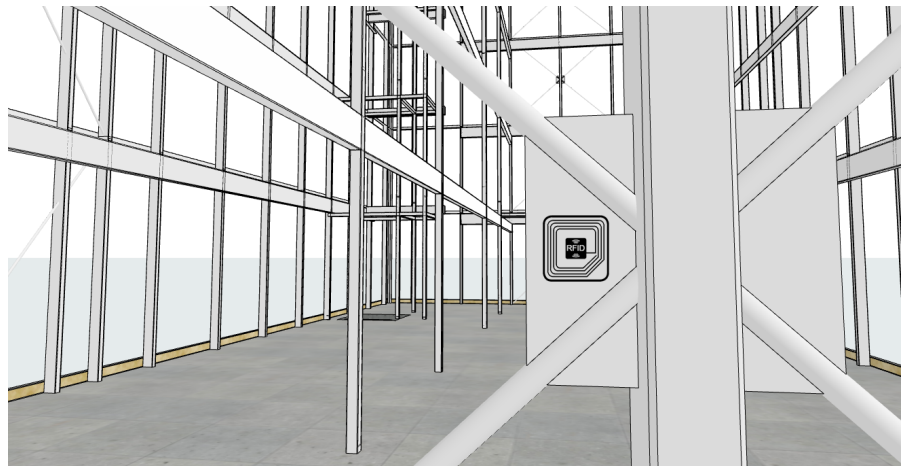
Egy építkezésen a legfontosabb tényező a logisztika, hogy az egyes beépítendő anyagok, előregyártott szerkezetek pont akkor érkezzenek meg a kivitelezés helyszínére, amikor azok



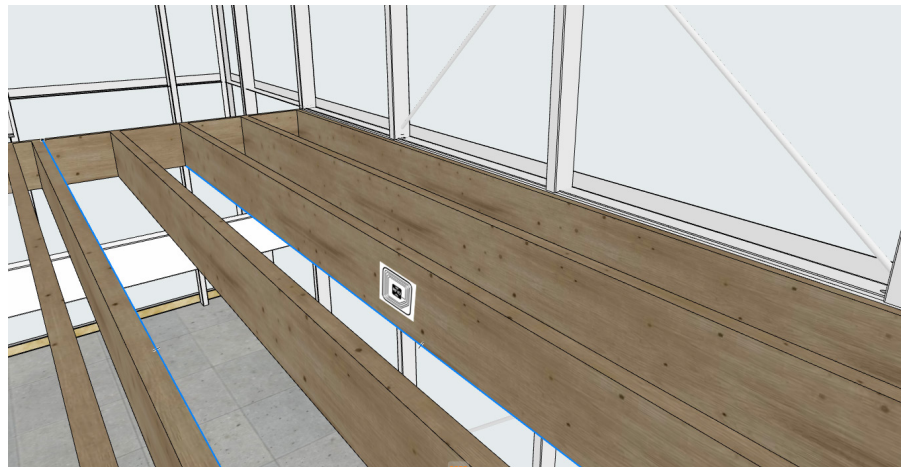
13. ÁBRA:
Az RFID működési elve
(Vaniotis, 2018)

beépítésre is kerülnek. Ezekkel a helyszíni munkálatokat és a termelékenységet tudják maximalizálni, valamint az utómunkákat minimalizálni. A koordinációs feladatokban nagy segítséget jelentenek a digitális eszközök és rendszerek, amelyek által központilag, a háttérből figyelemmel kísérhetők és irányíthatók a helyszíni tevékenységek. Az előzőekben említett RFID technológia, melyeket már az előregyártáskor elhelyeznek, nem csak abban segít, hogy az épületen belül megmutatja az egyes elemek pontos helyét, hanem ellenőrzi azt is, hogy a megfelelő szerkezeti elemek érkeztek-e a helyszínre, tehát leltározási céllal is alkalmazható az építkezés helyszínén (15. ábra).

A VR, AR és MR technológiák a korábbi példában említett négy szakasz mindegyikében alkalmazhatók. Hasonlóképpen működnek a kivitelezésben is. Az építési munkafolyamatok előkészítési szakaszában van rájuk leginkább szükség, amikor a szerkezeti elemek és a gépészeti berendezések még nincsenek a helyükön, de egy okoseszköz és az AR technológiának köszönhetően pontosan látható és ellenőrizhető a kijelölt pozíciójuk a kijelzőn. Az AR technológia és a digital twin kapcsolata által az elhelyezési munkafolyamatok is megkönnyíthetők, hiszen az elemek pontos helyét is ki lehet terjeszteni a valóságba, majd az eszköz képes vizuális jelzésekkel közölni, ha jó az elemek elhelyezési pozíciója. A delfti irodaház esetében ez különösen hasznos funkció, hiszen az épület előregyártott acél vázszerkezeti elemekből áll össze, ahol minden elemnek milliméter pontosan kell illeszkednie. Ez az AR technológia az acél pillérek vagy a gépészeti berendezések elhelyezésénél kiválóan alkalmazható (16. és 17. ábra).



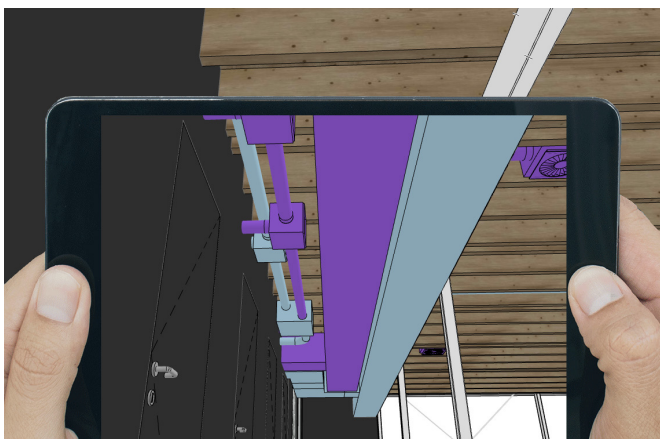
14. ÁBRA: RFID címke az acélszerkezet egyik elemén (forrás: SzZs)



15. ÁBRA: RFID címke a fa födémgerendán (forrás: SzZs)



16. ÁBRA: Acél előregyártott pillérek pontos pozicionálása AR technológia segítségével (forrás: SzZs)



17. ÁBRA: AR technológia az épületgépészet elhelyezéséhez [forrás: SzZs]



18. ÁBRA: Projektkoordinálás helyszínen okos eszközről [González, 2019]

A példánkban szereplő irodaház esetében a szerkezeti váz összeszerelését követően a többi szakág is párhuzamosan megjelenik az építési területen. A különböző szakágak által szolgáltatott építési adatok rengeteg strukturálatlan adathalmazzal eredményeznek (Big Data), melyeknek összefogásában és rendszerezésében a mesterséges intelligencia segít. Elemzi a digitális építési naplót, majd következtetéseket von le. Ezzel megkönnyíti az építkezés koordinálását, a műszaki ellenőri tevékenységeket, költséghatékony, és megelőzi a problémákat, baleseteket. Az okos eszközökkel mindezek a kivitelezés helyszínén koordinálhatóvá válnak (18. ábra).

6.4. DIGITALIZÁLT ÉPÜLETÜZEMELTETÉS

Felgyorsult világunk építőipari szektorát pontos határidők, hatalmas pénzügyi nyomás, gyors változáskezelés, megosztott munkacsoportok és jelentős költségvetési kölcsönök jellemzik. Ahhoz, hogy egy vállalkozás (építésziroda, generálkivitelező) jövedelmező legyen, elengedhetetlen fontosságú a pontos és precíz tervezés mindenre vonatkozóan. A legkisebb munkagépnek is meg kell tervezni a pontos időbeni és térbeli elhelyezkedését az ütemterven belül, máskülönben hatalmas összegektől eshet el a vállalat. Ezekre pártatlan megoldást biztosít a BIM felhasználói szintű alkalmazása.

A BIM a jövőben sokkal inkább az épület megépítése utáni időtartamra

fog fókuszálni, a fenntartásra, üzemeltetésre, karbantartásra, felújításra, bontásra, illetve az adott épület egész élettartamára vonatkozó vizsgálatokra (Eastman és mtsai, 2008). A jövőben a BIM hegemoniáját és fejlődését az adott ország gazdasági háttere, versenyképessége fogja jelentősen befolyásolni. Minél nagyobb nyomás terheli az építőipart a megrendelők részéről, annál szükségesebbé válnak a fejlesztések, a fejlődés, az automatizálás, az „up to date” a szektoron belül.

Ennek egyik előszele az okosházakban található eszközök sokasága, melyekkel képesek arra, hogy adott környezetben, adott feltételek mellett érzékelni tudják a változásokat, majd arra önállóan vagy csoportosan reagáljanak, külső emberi behatás nélkül. Az okosház rendszer három fő elemből épül fel, melyek között folyamatos az adatcsere és a visszajelzések. Ez a három fő elem a központ, az érzékelők és a beavatkozók.

Azokat a rendszereket, melyekben a gépek egymás között képesek kommunikálni M2M-nek, azaz Machine to Machine-nak nevezzük. Ezek az okosház rendszerek épületüzemeltetési szempontból már kisebb családi ház léptékben is gazdaságosabbá tehetik az energiafelhasználást, de nagyobb épület léptékben válik igazán érezhetővé a meglátuk. Például egy középületben vagy egy nagyobb irodaépületben, ahol rengeteg helyiség és gyakran változó emberlétszám a jellemző, ott válnak igazán hasznossá az okos gépészeti rendszerek. Egyre több nagyvállalat alkalmazza épületein ezt a technológiát

az évről-évre egyre szigorodó energiafelhasználási jogszabályok miatt (Simon, 2014). A Smart Building rendszer elvén működő berendezéseket és smart eszközöket nagyüzemi gépek energia-monitorozására is használják. Céljuk a tudatos energiafelhasználás. Az okosházak technológiájának nagyléptékben való alkalmazása javítja az épületek energiagazdálkodását és fenntarthatóbbá tételét, mindamelllett, hogy figyel az emberek komfort- és biztonságáért is. Mindennek nélkülözhetetlen alkotóelemei az IoT berendezések és eszközök.

Mind a BIM modell, mind az IoT technológiával felszerelt okosépületek nagymértékben tudják kényelmesebbé, fenntarthatóbbá, üzemeltethetőbbé tenni napjaink és a jövő modern épületeit. A Smart BIM Building (SBB) egy fiktív, általam kitalált fogalom mindezek fúziójára (19. ábra).

Egyes becslések szerint az épületek költségének közel 80%-a a létesítményüzemeltetés fázisaiban jelentkezik. Ezek a problémák, illetve az épületüzemeltetéssel járó költségek nagy mértékben csökkenthetők, ha az épületet már a tervezés fázisában úgy modellezzük meg, hogy abból minden hasznos információ kinyerhető legyen, melyek kellőképp hozzájárulnak az épület költségoptimalizált üzemeltethetőségéhez (Szalai, 2021). Tanulmányok alapján a jövőben sokkal nagyobb hangsúly fog kerülni a BIM és az IoT alapú épületkivitelezési munkálatok koordinálási feladataira és a létesítményüzemeltetési- és gazdálkodási feladatkörökre (20. ábra).



19. ÁBRA: Smart – BIM – Building arculat (SzZs)

A digitális ikertestvér életciklus elemzéséhez IoT eszközök sokaságára van szükség. Az IoT okoseszközökből és érzékelők sokaságából álló rendszer, melyek hálózati összeköttetésben állnak egymással, valós idejű adatokat szolgáltatnak, melyeket felhőben fel lehet dolgozni. A felhő alapú szolgáltatások a BIM modell felhasználásával segítenek az információk leghatékonyabb átadásában, partnerekkel való közlésében. Létezik olyan épületgépészeti rendszer, ami például a vízvezetékek esetében képes azonnal jelezni a csőtöréseket vagy a szivárgásokat. Ebben az esetben a csővezetékekre hangérzékelőket helyeznek, amik rögzítik a csövek áramlási frekvenciáit. Az adatokat egy felhőalapú adatbázisban tárolják, melyeket egy adatelemző alkalmazás tud kiolvasni, és amennyiben a frekvencia megváltozik, akkor jelzi azt. A felhőalapú szolgáltatás lényege, hogy a BIM modell a felhőben tárolódik egy szoftvergyártótól függő platformon, így az épületen dolgozó AEC/FM szektoron belüli munkatársak, valamint a projektben résztvevő személyek számára elérhetővé válik (Gobesz, 2020). Ez az egységes platform megszünteti a VPN (Virtual Private Network) használatakor felmerülő problémákat, tehát nincs szükség saját szerveren való tárolásra, sőt szinte korlátlan tárhely áll így rendelkezésre. Ilyen felhő alapú szolgáltatás például a Graphisoft BIMcloudja.

Az egyik leggyakrabban előforduló kihívás, hogy míg a BIM alapú CAD alkalmazásoknak van egy közös, jól elfogadott átjárója, az IFC, addig az IoT eszközöknek saját sémájuk van, melyek az esetek többségében nem IFC kompatibilisek. Ezzel szakadék keletkezik a két technológia között. Ha a rendszer architektúrájába nem helyezünk el előzetesen szabványosított IFC exportálási irányelveket és webes parsereket (elemzőket), akkor az IoT eszközök érzékelőadatai IFC objektumokra történő lekérése problémákat okozhat.

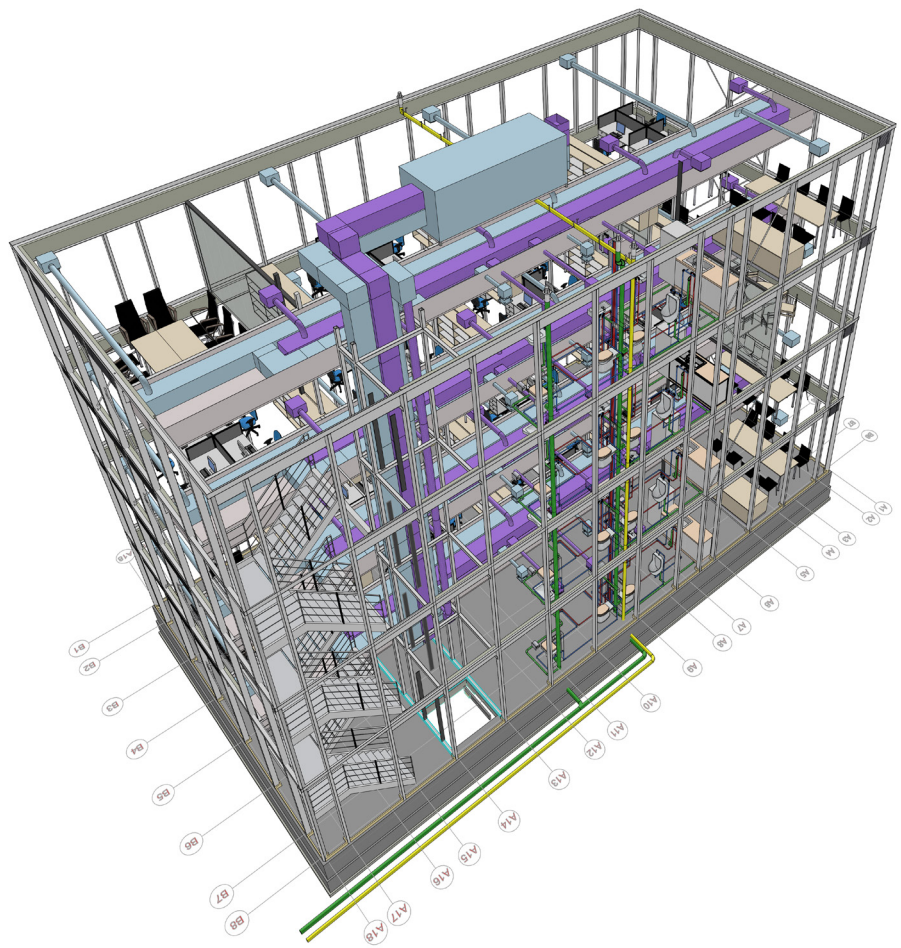


20. ÁBRA: ArchiFM: épületüzemeltetési- és létesítménygazdálkodási szoftver (Tungsram, 2020)

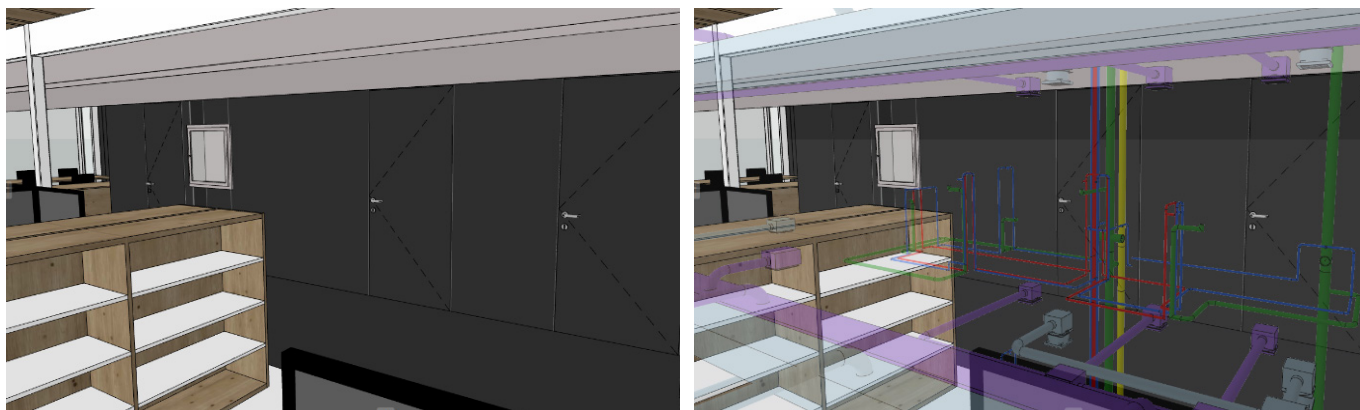
Az IoT – BIM modell fúziója más területeken is nagy felhasználási körnek örvend. Ilyen felhasználási kör például az épületüzemeltetésben az energiafelhasználás-menedzsment, az épületgépészeti rendszerek monitorozása, de még a beltéri komfortérzet nyomon követésére is kitűnően alkalmas (21. ábra). Ahhoz, hogy ezeket az épületüzemeltetési feladatokat tökéletesen el tudja látni a BIM modell, ahhoz az egész épületről egy tökéletes virtuális leképezés szükséges, amit a Digital Twin biztosít (Shahinmoghadam és Motamedi, 2019). A Digital Twin az épület

különböző aspektusainak megértését és tanulmányozását teszi lehetővé virtuálisan, valós idejű adatcsere folyamaton keresztül.

A BIM modell és a digital twin minden információt tartalmaz, ami az épület egészére és azok elemeire vonatkozik. Ilyen adatok például az egyes beépített rendszerek karbantartási- és élettartam ideje is. Ezek metaadatként szerepelnek a BIM modellben, ami felhő alapú szolgáltatások alkalmazásával egyszerűen lekérdezhető az üzemeltetők számára. Az épületelemek életciklus adatainak elérési nélkülöz-



21. ÁBRA: A delfti irodaház elsődleges tartószerkezeti modellje és az épületgépészete (forrás: SzZs)



22. ÁBRA: A takart épületgépészet (balra) AR szemüveggel érzékeltethető (jobbra) a BIM adatok alapján (forrás: SzZs)

hetetlenek az előrendelések, karbantartási időpontok számontartása és a költségek kalkulálása szempontjából. Az irodaház esetében főleg a lift- és más gépészeti berendezés karbantartási időpontjainak figyelembevétele a mérvadó. A gépészeti berendezések szenzorokkal való ellátása lehetővé teszi továbbá, hogy pontosan meg tudjuk határozni a meghibásodások pontos helyzetét. Mivel a gépészeti berendezések általában takart szerkezetek, ezért a kiterjesztett valósággal (AR) könnyedén meg tudjuk jeleníteni ezek pontos pozícióit (22. ábra). Nem csak meghibásodás, de átalakítás, utómunkálatok esetén is hasznos egy ilyen rendszer megléte, hiszen elkerülhetjük az esetleges nem látszó gépészeti berendezések rongálását.

7. | KITEKINTÉS

A cikkben bemutatott digitális építőipari megoldások már jelen vannak a gyakorlatban, de a jövőben még jelentősebb potenciállal fognak rendelkezni. A kombinált hibrid rendszerek különösképpen a nagyobb léptékű projektek esetében lesznek meghatározók. Azonban ezeknek az innovatív technológiáknak, megoldásoknak, a valós projektekbe integrálása ma még korántsem mondható zökkenőmentesnek. Felmerül ugyanis számos kényes hátráltató tényező is, mint például a magánélet védelme. Ezekkel az eszközökkel ugyanis az emberek pozícióját és tevékenységét is nyomon lehet követni, még ha az biztonsági vagy statisztikai adatok készítését is látja el. Másik je-

lentős problémafaktor az IoT eszközök és a BIM témakörében az az üzleti titok és az adatvédelem kérdése. Az építőiparra jellemző széttagoltság miatt az egyes projekteken több résztvevő is jelen van és egy adott BIM modellben összpontosulnak az információk. Üzleti szempontból nézve joggal merülhet fel a konfliktus lehetősége az adatok tulajdonjogával, felhasználási jogával kapcsolatban. Szerencsére a konzorciumokban a projektek sikeres előmenetelének kölcsönös támogatása miatt csak ritkán jelennek meg az ebből fakadó összetűzések.

FORRÁSOK

- Géczy Nóra:** Design – Tér-és formakultúra, Scolar Kiadó, Budapest, 2019, 256 p. ISBN: 9789632449753
- Dúll Andrea:** A környezetpszichológia alapkérdései - Helyek, tárgyak, viselkedés, L'Harmattan Kiadó, Budapest, 2010, 371 p. ISBN: 2399997050005
- Juhani Pallasmaa:** A bőr szemei - Építészet és érzékek, Typotex Kiadó, Budapest, 2018, 108 p. ISBN: 9789632799483
- Neil Spiller:** Digitális építészet ma – Globális vizsgálat egy újfajta tehetségről, TERC, Budapest, 2008, 400 p. ISBN: 9789639535794
- Austin Baker:** Getting started with VR for your architecture & design team in 2022, online cikk, 2022.01.31, <https://thewild.com/blog/architect-getting-started-with-vr>
- Gyártástrend** (szerző nélkül): Az automatizálás térnyerése az építőiparban, online cikk, 2021.05.20, http://gyartastrend.hu/robotech/cikk/az_automatizalas_ternyerese_az_epitoiparban
- Bencze Áron:** Digitalizálódó építőipar, online cikk, 2020.02.03, https://www.innoteka.hu/cikk/digitalizalodo_epitoipar.2042.html
- Németh Zoltán:** Mesterséges intelligencia az építőiparban, online cikk, 2018.05.30, <https://www.hungarocad.hu/mesterseges-intelligencia-az-epitoiparban>
- Atef Zaki Ghalwash, Nashaat El Khameesy, Dalia A. Magdi, Amit Joshi** (szerkesztők): Internet of Things – Applications and Future,

Springer Singapore, Szingapúr, 2020, 468 p. ISBN: 9789811530753

Maria Francisca González: Building D(emountable) / architectenbureau cepezed, online cikk, 2020.03.28, <https://www.archdaily.com/936389/building-d-emountable-architectenbureau-cepezed>

Zagorác Márk, Szabó Beatrix: BIM-kézikönyv – Bevezetés az épületinformációs modellezésbe, Lechner Nonprofit Kft., Budapest, 2018, 128 p.

Jochen Teizer, Mario Wolf, Olga Golovina, Manuel Perschewsk, Markus Propach, Herms-Matthias Neges, Markus König: Internet of Things (IoT) for Integrating Environmental and Localization Data in Building Information Modeling (BIM): 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2017. július, Taipei (Taiwan), pp. 1-6. <https://doi.org/10.22260/ISARC2017/0084>

George Vaniotis: Everything you need to know about RFID technology, online cikk, 2018.06.21. <https://blog.labtag.com/everything-you-need-to-know-about-rfid-technology>

Charles M. Eastman, Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston: BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey (USA), 2008. 490 p. ISBN: 9780470185287, 9780470185285

Simon János: A tárgyak internete – Internet of Things (IoT): A Magyar Tudomány Napja a Délvidéken 2014, Novi Sad (Szerbia), Szabadkai Műszaki Szakfőiskola, Informatikai Tanszékcsoport, 2014. pp. 1-8.

Szalai Dóra: FM rendszerek, parametrikus tervezés, szimulációk, minősítések. BIM menedzsment előadás, 2021. december 3., Győr, Széchenyi István Egyetem, pp. 1-14.

Tungsrám (szerző nélkül): Tungsrám Innovative Solutions – A létesítménygazdálkodás következő szintje, online kiadvány, https://archifm.net/wp-content/uploads/2020/09/ArchiFM_brossura_A4_8old_online_v4_1014.pdf

Gobesz, Ferdinánd-Zsongor: A BIM gyökerei. A XX. Műszaki Tudományos Ülésszak előadásai, 2019. november 23., Kolozsvár (Románia), Erdélyi Múzeum-Egyesület, 2020. pp. 42-49.

Mehrzad Shahinmoghdam, Ali Motamedi: Review of BIM-centered IoT deployment: State of the Art, Opportunities, and Challenges: 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), 2019. május, Banff (Kanada), pp. 1-9. <https://doi.org/10.22260/ISARC2019/0170>