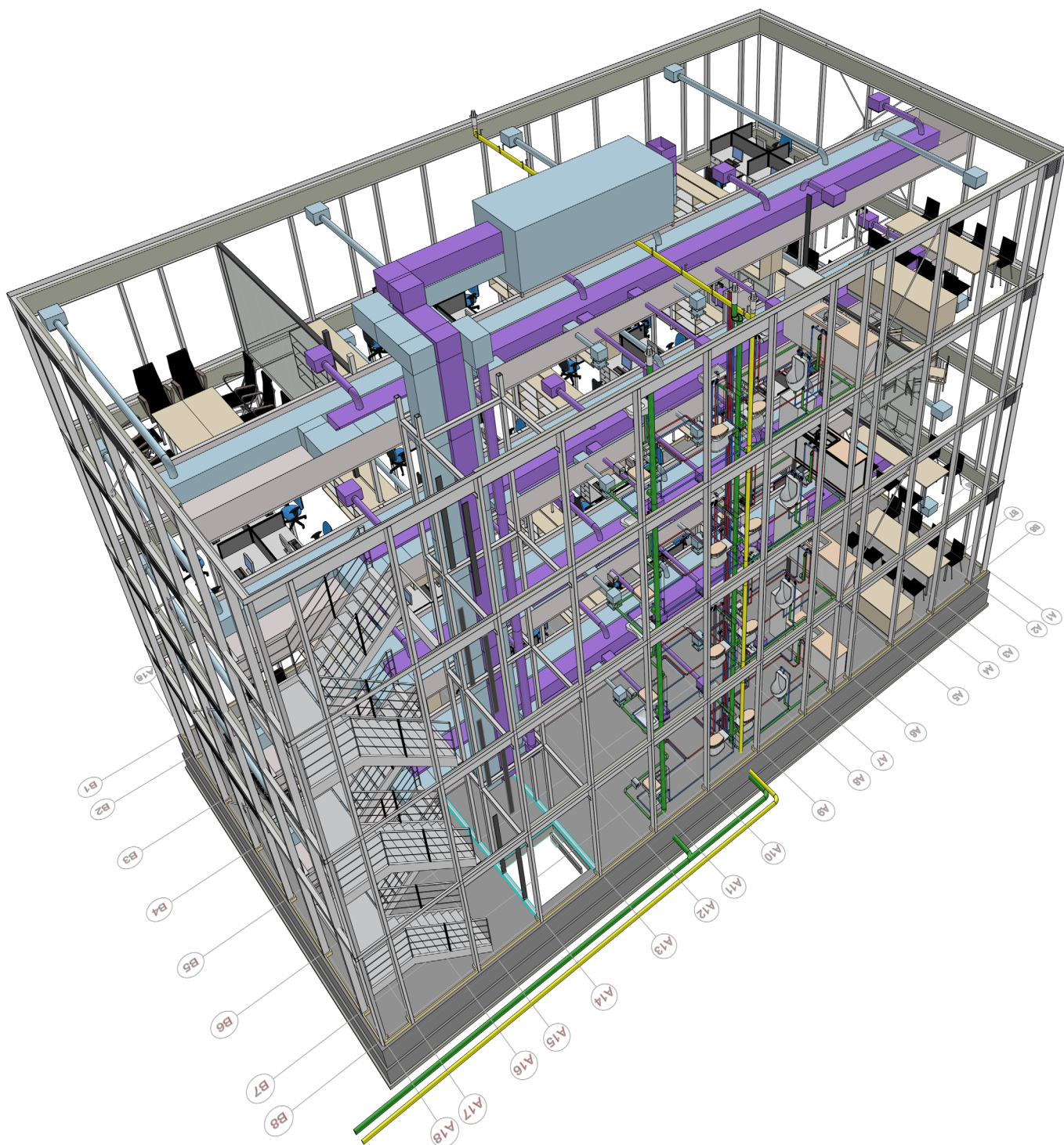




MAGYAR ÉPÍTŐIPAR

HUNGARIAN BUILDING INDUSTRY

LXXI. | 2022.2.



A Szerk. TISZTELT OLVASÓNK!



Horváth Tamás PhD
főszerkesztő

Ajánlom figyelmébe a Magyar Építőipar folyóirat második digitális lapszámát, melyet a <https://magyarepitoipar.com/> címen talál meg. Bár folyóiratunk már több mint 70 éves, a kiadó most mégis kissé rutintalan. Cikkeink weben történő megjelenítése újszerű feladatot állít elénk. Már most látszik, hogy sok fejlesztésre lesz még szükség ahhoz, hogy a megszokott tördelt forma mellett az elektronikus eszközökön praktikusabb weboldalszerű formátumban is elérhetővé tegyük tartalmainkat. E tekintetben szerzőink és olvasóink türelmét kérjük.

E számot nem szántuk tematikus lapszámnak, mégis a benne szereplő hat cikkből három az épületinformációs modellezésről, a BIM-ről szól. Az első cikkben láthatjuk, ahogy a részletes 3D modell, a megfelelő információ tartalommal társítva, átalakul egy épületfizikai modellé, és így válik egy tudományos igényű épületenergetikai kutatás hatékony eszközévé. A második cikkben az építőipar digitalizációjának eszközeiről és újszerű megoldásairól olvashatunk ismeretterjesztő jelleggel, melyek közül néhányat a szerzők be is mutatnak egy érdekes holland irodaépület példája segítségével. A harmadik cikk arról szól, hogy a digitális adatok miként segíthetik a tervezési munkát már a kezdetektől, és hogy a BIM modell hogyan nyújthat segítséget, ha alternatívákban kell gondolkodnunk.

További cikkeink is izgalmasak. Negyedik cikkünk a nagyfeszültségű távvezetékek emberlakta környezetben történő elhelyezésével foglalkozik, felhívva a figyelmet azok esetleges egészségkárosító hatására. Ugyan e téma feszegeti folyóiratunk kompetenciahatárait, mégis úgy véljük, településrendezési szempontból fontos kérdéseket vet fel. Ötödik cikkünk Ózd városát és egy emlékmű tervét mutatja be, mely egyszerre kíván emléket állítani a város egykori szívének, az acélgárnak és létrehozni egy helyet, mely később központi szerepet tölthet be a város átalakuló életében. Hatodik témánk valójában az 50 éve írtuk rovat cikkpárja, melyben most lehetőségünk van összehasonlítani azt, hogy miként viszonyultak a tervezők, kiterjesztve a korszellem, a történeti városmagok épített örökségéhez 50 éve, és miként viszonyulnak, kellene viszonyulniuk ma.

Bízom benne, hogy Ön is talál érdekes olvasnivalót második online számunkban, és hogy a jövőben is honlapunk látogatója lesz sok más új olvasóval együtt.



Magyar Építőipar | Hungarian Building Industry

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

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

A szerkesztőbizottság tagjai:

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

Molnár Tamás habil DLA – PTE, Pécs; **Stocker György habil DLA** – BME, Budapest;

Szabó Péter PhD – SE, Sopron; **Tóth Balázs** – ÉMI, Szentendre; **Vizi Gergely PhD** – ÓE, Budapest;

Völgly István PhD – BME, Budapest

Index: 25,553 HU ISSN 0025-0074

A folyóirat lektorált cikkeket tartalmaz. Megjelenik évente hat alkalommal.

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

e-mail: info@epitokiado.hu, internet: www.magyarepitoiparkiado.hu

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

Felelős kiadó: Dévai Zoltán | Kiadványszerkesztés: Horváth Tamás PhD

Címlap: A delfi irodaház tartószerkezeti modellje és az épületgépészete, Szűrös Zsolt és Géczy Nóra cikkének ábrája, az épületet tervezte Architectenbureau Cepezed, BIM rekonstrukció: Szűrös Zsolt.

2022.2. TARTALOM | CONTENTS

- BEVEZETŐ**
53 **HORVÁTH TAMÁS PHD**
A Szerk. Tisztelt Olvasónk!
The Editor. Dear Reader!
- TUDOMÁNY**
55 **PETRESEVICS FANNI, FÜRTÖN BALÁZS, NAGY BALÁZS**
Átszellőztetett homlokzatburkolat BIM-alapú épületfizikai modellezése
BIM-based building physical modelling of a ventilated façade cladding
- PRAXIS**
65 **SZÚRÖS ZSOLT, GÉCZY NÓRA PHD**
Az épített környezet létrehozásának és üzemeltetésének digitális eszköztársa
Digital tools for the design and management of the built environment
- 76** **FARKAS MÓNICA, RAGASITS PATRÍCIA,
AJTAYNÉ KÁROLYFI KITTI, SZALAI DÓRA**
Döntéstámogatás BIM módszerekkel egy sportcsarnok példáján keresztül
Decision support with BIM methods through the example of a sports hall
- VÁROS**
83 **DR. SOMFAI ATTILA**
Óvatossági ajánlások nagyfeszültségű távvezetékek
emberlakta épített környezetben történő elhelyezéséhez
*Precautionary recommendations for the placement of
high-voltage power lines in a populated built environment*
- ELFELEDETT**
91 **NYÁRAI FRUZZSINA, KULCSÁR DÁVID, CSONTOS GYÖRGYI**
ACÉL-EMLÉK-MŰ-TÉR
STEEL-MEMORIAL-PLACE
- 50 ÉVE ÍRTUK**
97 **ID. KOTSIS IVÁN**
Történelmi városmagokban épülő homlokzatokról
About façades built in historic city centres
- 105** **VEÖREÖS ANDRÁS**
Kommentár id. Kotsis Iván „Történelmi városmagokban
épülő homlokzatokról” című, 50 éve megjelent cikkéhez
*Commentary on the 50 years ago published article of
Kotsis Iván "About façades built in historic city centers"*

Petresevics Fanni¹, Fürtön Balázs², Nagy Balázs³

ÁTSZELLŐZTETETT HOMLOKZATBURKOLAT BIM-ALAPÚ ÉPÜLETFIZIKAI MODELLEZÉSE

BIM-BASED BUILDING PHYSICAL MODELLING OF A VENTILATED FAÇADE CLADDING

KIVONAT / HUN

Kutatásunkban egy többszintes épület átszellőztetett homlokzatburkolatának BIM-alapú épületfizikai modelljét készítettük el, amely segítségével meghatároztuk az épületburok hőtechnikai teljesítőképességét. Általunk kidolgozott, OpenBIM-alapú munkafolyamatot alkalmaztunk, melyet cikkünkben részletesen bemutatunk. Miután elkészült a megfelelően használható munkafolyamat és lefuttatuk az épületfizikai numerikus modelleket, meghatároztuk a tartókonzolok és a hőszigetelés tartó dübelek hőtechnikai hatását is. Annak érdekében, hogy kiértékeljük a BIM-alapú eredményeket, szabvány szerinti számításokkal és egyszerűsített módszerrel is meghatároztuk és összehasonlítottuk a BIM-alapú modellezéssel meghatározott hőátbocsátási tényezőket. Az eredményeink azt mutatták, hogy ugyan jelenleg az európai szabványok nem tartalmazznak a rögzítőrendszerek hatásait is figyelembe vevő egyszerűsített számítási módszereket, ezek elhanyagolásával jelentősen alábecsülhetjük a pontbeli hőhidak hatását és így a szerkezetre számított rétegtervi hőátbocsátási tényező értékét. Ezért javasoljuk, hogy átszellőztetett homlokzatburkolatok épületfizikai számítása során szükségszerűen alkalmazzunk numerikus modellezést az alátétszerkezet hatásainak számítására vagy numerikus modellezésen alapuló hőhidkatalógusokat.

Kulcsszavak: épületinformációs modellezés és menedzsment, épületfizika, épületenergetika, homlokzattervezés

ABSTRACT / ENG

In our research, a BIM-based building physics model of the ventilated facade cladding of a multi-story building was developed to determine the thermal performance of the building envelope. An OpenBIM-based workflow was created by us and is described in detail in this paper. After we had the workflow that we could appropriately use and performed the building physical analyses of the numerical models, we also determined the thermal performance of the supporting brackets and the dowels that hold the insulation in place. To evaluate the BIM-based results, we used a simplified method to compare the heat transfer coefficients obtained by BIM-based modelling. Our results showed that, although currently European standards do not include simplified calculation methods that consider the effects of anchoring systems, neglecting them can significantly underestimate the effect of point thermal bridges and thus the value of the thermal transmittance calculated for the building envelope. Therefore, it is recommended that numerical modelling for calculating the effects of the substructure or thermal bridging catalogues based on numerical modelling should be used as a necessary tool in the building physics calculation of ventilated facade claddings.

Keywords: building information modelling and management, building physics, energy in buildings, facade design

¹ építőmérnök, demonstrátor, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, e-mail: petresevics.fanni@edu.bme.hu

² okl. építészmérnök, doktorandusz, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, e-mail: furton.balazs@emk.bme.hu

³ okl. szerkezet-építőmérnök, PhD, adjunktus, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, e-mail: nagy.balazs@emk.bme.hu

1. | BEVEZETÉS

Jelenleg az építőipar az egyik legkevésbé digitalizált iparágak közé tartozik, továbbá az emberi károsanyag-kibocsátás egyik legjelentősebb forrása. Ennek kiküszöbölésére az elmúlt évtized során, valamint a 4. ipari forradalomnak köszönhetően az építőiparban egyre elterjedtebb az építmény-információs modellezés (BIM) használata, amely alapvető szerepet játszik a szektor digitalizációjában, így a tervezőasztal és az építési helyszín közötti hiányosságok áthidalásában is.

A szerelt, hátul szellőztetett homlokzatburkolati rendszerek tervezési folyamata a szakmában még szinte kizárólag CAD szoftverek felhasználásával történik, a komplex részletek kidolgozása legritkább esetekben valósul meg BIM alapon. Ezen részletek, illetve maga a homlokzati kialakítás épületfizikai tervezése leggyakrabban csak egyszerűsített módszerekkel, vagy ritkább esetben a részletek különálló numerikus modellezésével történik. Ezáltal a teljes átszellőztetett homlokzatburkolati rendszer együttes viselkedését nem modellezik, így a rögzítőrendszer optimális tervezése is nehezen képzelhető el, amennyiben nem készül kiegészítő BEM (Building Energy Modelling: épületenergetikai modell) a teljes szerkezetről.

Az átszellőztetett homlokzatburkolati rendszerek jelentős figyelmet kaptak az elmúlt években [1], ugyanis kedvező hőtechnikai tulajdonságaikon felül számos más előnyös tulajdonságokkal is bírnak, emiatt előszeretettel használják főleg energiahatékonysági célú felújítások, valamint új építésű irodaházak kivitelezésekor. Az **1. ábra** egy prágai technikum

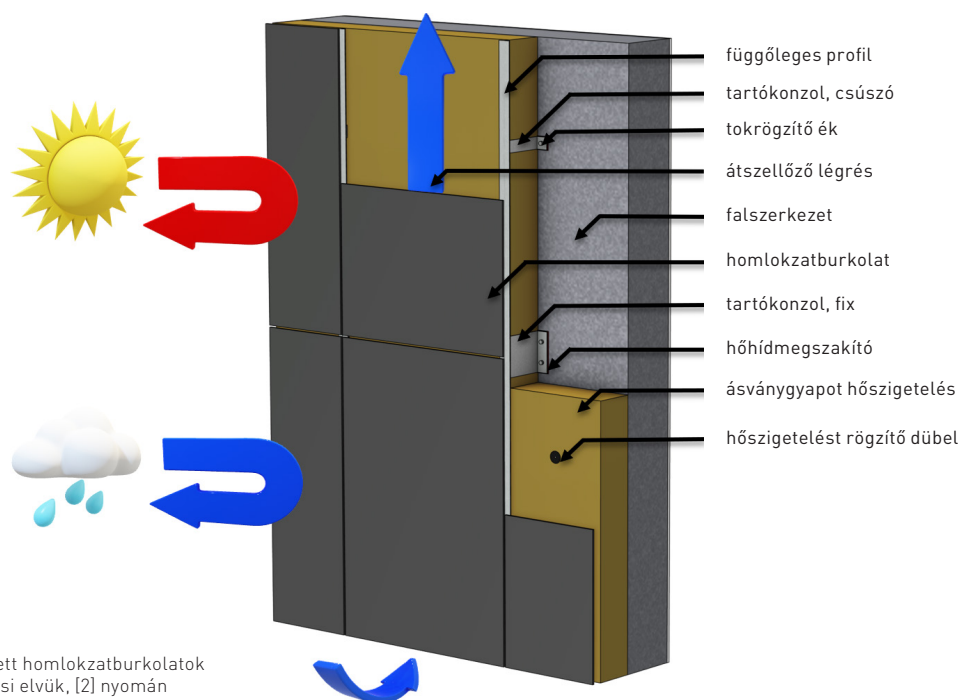
fenntartható energia- és karbon pozitív felújításánál alkalmazott átszellőztetett homlokzatburkolat kialakítást mutat be a rendszer illusztrációja végett. Az átszellőztetett homlokzatburkolatra ennél az innovatív felújítási projektnél is előnyei miatt esett a tervezők választása.

Az átszellőztetett homlokzatburkolat kialakítása révén védi és szárazon tartja az épület falait és hőszigetelését, csökkenti a falak hőigénybevételét és hőmozgását, ezáltal biztosítja az épület hosszabb élettartamát. A homlokzati burok konzollokkal való rögzítése által az épület mozgásából fakadó repedések is elkerülhetők. A „tömeg-rugó-tömeg” szerkesztési elvnek köszönhetően rendkívül előnyös akusztikai tulajdonságokkal rendelkezik, és száraz technológiával készül, így egész évben kivitelezhető, és kevés karbantartást igényel.

A külső kéreg tulajdonképpen napernyő-esernyő elven működik, melynek feladatai közé tartozik a külső mechanikai hatások, meteorológiai terhek felvétele, ezáltal a hőszigetelés és a belső tér védelme. A következő réteg maga az alul-felül nyitott kialakítású szellőző légrés, amelyben a levegő a kürtőhatás következtében alulról-felfelé áramlik, így télen az áramló levegő elszállítja a belső terekből diffundálódott páramennyiséget, míg nyáron hőpajzsként viselkedik, ezzel javítva a homlokzat hőcsillapítását. Ahhoz, hogy ez a hatás és ezáltal a kiszellőzés biztosítva legyen jellemzően minimum 4 cm vastagságú légrés felvétele szükséges, de ez függ többek között az épületmagasságtól és a homlokzati fal szélességétől is. A beszellőztési keresztmetszet kialakításánál törekedni kell a sávyszerű, ellenállásmentes, magával a szellőző keresztmetszettel azonos kialakításra, hiszen a megfelelő szellőztési intenzitás megakadályozza a nedvesség kicsapó-



1. ÁBRA:
Egy átszellőztetett homlokzatburkolattal kialakított épület, a Českobrodská Technikum felújított sportcsarnoka Prágában (fotó: NB)



2. ÁBRA: Az átszellőztetett homlokzatburkolatok komponensei és működési elvük, [2] nyomán

dását a burkolat belső oldalán, viszont a túl gyors hőáramlás hideg időben túl sok hőt szállít el a felfületekről, emiatt különösen ajánlott az optimális légréteg vastagság és kiszellőzési keresztmetszet meghatározása.

A légréteg mögött helyezkedik el a homlokzati hőszigetelés, amely anyaga legtöbb esetben ásványgyapot. A szálás hőszigetelések nyitott szálszerkezete miatt ajánlott nagyobb testsűrűségű változatot választani, hogy a hőszigetelésben található levegő az intenzíven kiszellőztetett légréteg mellett is nyugalomban maradjon, ezzel rontva a hőszigetelőképességét az anyagnak. A természetes konvekció hővezetési tényezőt növelő hatásának kiküszöbölésére ajánlott valamilyen kasírozással ellátott, kifejezetten átszellőztetett homlokzatburkolati rendszerekhez fejlesztett hőszigetelést választani vagy a légzáróságot biztosítani a hőszigetelő táblák mögött, ezért fontos, hogy az anyag hidrofobizált legyen. A kürtőhatás miatt nagy figyelmet kell szentelni a tűzvédelemnek, ugyanis a tűz sokkal könnyebben tud terjedni ezekben az átszellőző légrégekben a felfelé áramló levegő miatt. Fontos emiatt, hogy nem éghető, A1 tűzvédelmi osztályú hőszigetelést válasszunk és építsünk be. Az átszellőztetett homlokzatburkolat komponenseit és működési elvét a 2. ábra szemlélteti.

Belátható, hogy az átszellőztetett homlokzatburkolatok tervezése összetett és számos mérnöki szakterületet érintő feladat. Ezekből jelen tanulmányban a hőtechnikai számításokban mélyültünk el. Részletes számítások elvégzésére numerikus modellezés keretein belül van lehetőség, ugyanis jelenleg Európán belül nem létezik a tartókonzolok és homlokzat alátét szerkezet hatásait is figyelembe vevő egyszerűsített számítási módszer. Az energetikai szimulációk hagyományos módszere az építészeti adatok számszerű bevitele vagy többdimenziós modell készítése az adott szoftver integrált felhasználói felületének alkalmazásával [3, 4, 5, 6], azonban ez a folyamat igen időigényes és sok erőfeszítésbe kerül. A

manapság egyre inkább elterjedő építésművelődés / menedzsment (BIM: Building Information Modelling / Management) bevezetésével előtérbe kerül a háromdimenziós modellezés, mivel így az építészeti geometriák modellezéséhez szükséges idő jelentősen csökkenthető. A BIM alapú tervezés előnyei akkor használhatók a gyakorlatban leginkább, ha a 3D modell tükrözi a megvalósítani kívánt épületet és a modell elemei a projekt céljának megfelelő mennyiségű és minőségű információval vannak feltöltve [7]. A BIM által kínált lehetőségek azonban lehetővé teszik az épületenergetikai és épületfizikai számítások és modellezés integrálását közvetlenül az építészeti tervezési folyamatokba.

Az épületfizikai modellezés (BPM: Building Physics Modelling) – az épületenergetikaival ellentétben – jellemzően az épületszerkezeti részletek szintjét jelentő, makroszintű vizsgálatokra alkalmas. Ilyen lehet egy összetettebb csomópont 3D analízise, vagy termékfejlesztéshez szükséges vizsgálatok futtatása, azonban az épületszintű kiterjesztése az épületfizikai modellezésnek még várat magára. Ennek oka többért: a számítás kapacitás nagyjából eljutott arra a szintre, hogy a hordozható számítógépek is képesek belátható időn belül nagyobb modellek futtatására, illetve az autópárhuzamban, vagy más, sorozatgyártást jobban alkalmazó iparágakban használt tervezésmódszertan kezd az építőiparban is megvetni a lábát – ennek egyik előfutára a BIM, de a parametrikus modellezés is tekinthető ennek.

A következő lépés a homlokzatburkolati rendszerek pontosabb tervezését, esetleges optimalizálását lehetővé tevő modellezéshez a BIM, valamint az épületfizikai modellezés összehangolása, amely átjárhatóság előrelépést jelenthet a költségek, valamint tervezési idők csökkentésében. Kutatásunkban az általunk kialakított módszertant és munkafolyamatot mutatjuk be, valamint hasonlítjuk össze az iparban jelenleg többségében alkalmazott egyszerűsített számításokkal.

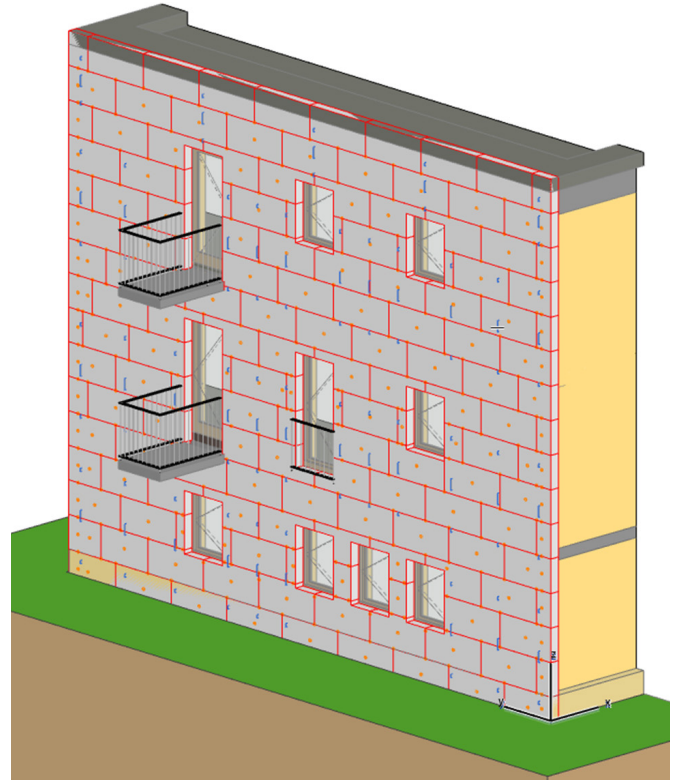
2. | MÓDSZERTAN

2.1. AZ ÁTSZELLŐZTETETT HOMLOKZATBURKOLAT FELÉPÍTÉSE

A kutatásunk során egy fiktív, háromszintes, lapostetőű irodaház egyik homlokzatán elhelyezett átszellőztetett homlokzatburkolat rögzítőrendszereinek hőtechnikai vizsgálatát végeztük el. A tervek alapján az épület teherhordó falai Wienerberger Porotherm 30 N+F üreges kerámia falazóelemek, amelyre 1-1 cm külső és belső légzáró vakolat, 15 cm ásványgyapot hőszigetelés, valamint átszellőztetett homlokzatburkolat került. A külső homlokzati fal hőátbocsátási tényezője korrekciók nélkül $0,175 \text{ W/m}^2\text{K}$ -re adódna. A függőleges tartóvázat fix, illetve csúszó pontokkal kell rögzíteni, ezekhez kis és nagy méretű konzolokat terveztünk be. A konzolokat a falazathoz rendszerazonos tokrögzítő ékekkel (pl. HILTI HRD-H 10) kell rögzíteni. A függőleges tartóvázat HILTI MFT-L profilok alkotják, melyek a homlokzati kiosztás során a hőszigetelő táblák illesztési vonalaira kerültek, hogy minél kevesebb hőszigetelő táblát kelljen megvágni, ezzel is csökkentve a hőhidak hatását. A vízszintes tartóvázat HILTI MFP-HT 200-as függesztőprofilok alkotják, ezekre rögzülnek a homlokzatburkoló táblák.

Fontos megjegyezni, hogy a homlokzat modellezése során a külső burkolatot elhanyagoltuk (**3. ábra**), melyre az MSZ EN ISO 6946:2017 [8] szabvány szerinti számítás lehetőségét ad. A kutatás célja a hőszigetelést átszűrő rögzítőelemek hőtechnikai hatásának vizsgálata, ehhez pedig elegendő a rögzítőelemekkel közvetlenül érintkező elemek, mint a tartófal, vakolat, hőszigetelés, konzolok és a düberek figyelembevétel.

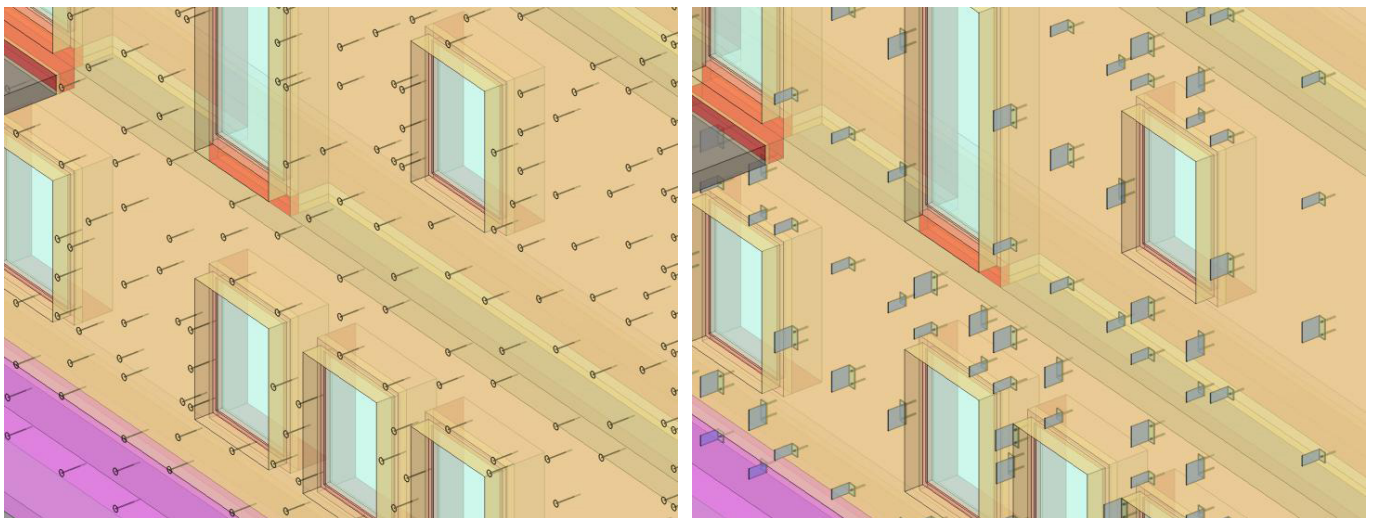
Az egyenes rétegrendű lapostető ($U_{it} = 0,151 \text{ W/m}^2\text{K}$) kialakítása a 20 cm vastag vasbeton födémén a vízszigetelő réteg alatt és a párazáró réteg felett elhelyezett 25 cm vastag EPS hőszigeteléssel történt. A 20 cm vastag vasbeton pincefödémre alulról 25 cm vastag hőszigetelés került, valamint 7 cm vastag esztrich réteg, így a rétegrendi hőátbocsátási té-



3. ÁBRA: Az épület homlokzatának Archicad 25-ben készült BIM modellje

nyező $0,148 \text{ W/m}^2\text{K}$ -re adódik. Az ablakok és ajtók háromrétegű üvegezéssel, low-E (alacsony emisszivitású) bevonattal, műanyag melegperemes távtartókkal és hőszigetelt műanyag keretekkel jelennek meg a modellben ($U_{ny} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$).

A tervezett átszellőztetett homlokzatburkolat külső homlokzati felülete $106,28 \text{ m}^2$ -re, míg belső felülete $70,06 \text{ m}^2$ -re adódott. A lapostető és pincefal csomópontoknál a csatlakozó lapostetőt és pincefalat $4,73 \text{ m}^2$, a nyílászárókat $13,10 \text{ m}^2$ belső felülettel vettük fel. A homlokzat modellezése után a BIM modell alapján meghatároztuk a hőszigetelés rögzítéséhez



4. ÁBRA: A hőszigetelést tartó düberek (balra) és a tartókonzolok (jobbra) a COMSOL Multiphysics numerikus multifizikai szoftverben készült modellben

felhasznált dübelek (444 db), a fix (69 db) és a csúszó (107 db) tartókonzolok, valamint a tartókonzolok rögzítéseinek (283 db) darabszámát. Ezek alapján a homlokzati hőszigetelés esetében $6,34 \text{ db/m}^2$, a fix tartókonzolok esetében $0,98 \text{ db/m}^2$, a csúszó konzoloknál pedig $1,53 \text{ db/m}^2$ dübelt vettünk figyelembe (4. ábra).

Az épületinformációs (BIM) és épületfizikai modellezést (BPM) összehangoló munkafolyamatot a [9] jelű szakirodalom alapján fejlesztettük ki. A geometriai modell Archicad 25-ben készült a lehető legnagyobb pontosság figyelembevételével (10^{-4} m), majd az OpenBIM elvei mentén az IFC formátum segítségével konvertáltuk az épületfizikai szimulációk lefuttatásához. Mivel a hőtechnikai modellezéshez használt szoftver jelenleg nem képes közvetlenül az IFC fájlformátum fogadására, így annak geometriai részét STEP formátumba kellett konvertálni a Rhinoceros 7 szoftver GeometryGym bővítményének segítségével. A folyamat során a nem-geometriai adatok jelentős részének maradéktalan megőrzése egyelőre nem bizonyult lehetségesnek, de a szilárdtest-modell vége-selemes hálózásához szükséges pontosság (10^{-8} m) biztosítható – annak ellenére, hogy ez jóval magasabb, mint amit a választott BIM környezet képes nyújtani. A STEP fájl ezután importálható a COMSOL Multiphysics 5.6 vége-selemes multifizikai szoftverbe, amelyben a hőtechnikai modellezést végeztük, az MSZ EN ISO 10211:2017 [10] szabványban leírt számítási módszertan alapján.

2.2. A MUNKAFOYAMAT LÉPÉSEI

Kutatásunkban az épületinformációs modell (BIM) épületfizikai modellé (BPM) alakítása a következő munkafolyamat szerint történt:

1. A geometria modellezése Archicad 25-ben történt. A felületek és fóliák használata a csoportosíthatóságot segíti később a vége-selemes modellezés során. Az IFC fordító ezért a pontos geometria megőrzése miatt szétrobbantott BREP modellt exportált, a parametrikus, kihúzott opció használata előnytelennek bizonyult. Az alkalmazott beállításokkal az épület egészét, vagy alrendszeit (pl. rögzítőelemek egyes csoportjai) is kimenthetjük.
2. Mivel az IFC jelenleg nem támogatott a BPM szoftverekben, ezért azt STEP fájlra kell alakítani, ami részleges metaadat elvesztésével jár. Ezt a Rhinoceros program GeometryGym pluginja segítségével tettük meg. A modell megfelelő pontosságának ellenőrzése szükséges, ez javarészt manuális javításokat, és szemrevételezés útján történő javítást jelent.
3. Az előkészített 3D modellt STEP fájlként exportáljuk: többféle formátum-opció is rendelkezésre áll (pl. IGES vagy DWG), de a STEP bizonyult a leginkább robusztus választásnak.
4. A STEP fájl már beolvasható a COMSOL-ba, ahol a különböző tartományok összevonása az első lépés, amely során kiderül, hogy a 2. pontban leírt szemrevételezés teljeskörű javítást eredményezett-e: a 10^{-6} m tolerancia nagyságrendekkel az Archicad által biztosított szerkesztési pontosság alatt van (10^{-4} m), emiatt előfordulhat, hogy az összevonás nem végezhető el. Ebben az esetben a 2-4. pontok ismétlése szükséges. Az eredeti BIM modell

felületei, illetve fóliái a BPM rendszerezésére remekül használhatóak, ezt ebben a lépésben tesszük meg.

5. A hálózást érdemes lefuttatni közvetlenül az importálást követően, mivel a geometriához köthetően még ekkor is akadhat problémánk a magas pontossági követelmények miatt – a legtöbb hiba ebben a lépésben jelentkezett a tapasztalataink alapján, a már említett toleranciakülönbségek következtében. Érdemes a vége-selemháló először automatikus, közepes sűrűségű beállítás mellett elkészíteni, majd az első futtatás után szükség szerint finomítani vagy lokálisan tovább sűríteni, esetleg adaptív hálósűrítést alkalmazni.
6. Amennyiben a vége-selemháló hiba nélkül elkészült, az építőanyagok tulajdonságait adhatjuk meg (esetünkben az állandósult állapotbeli hővezetés feltételezése miatt ez csak a hővezetési tényezőt jelentette), amit egyes tartományokhoz, vagy az importálás során létrehozott csoportokhoz rendelhetünk hozzá. Az épületfizikai anyag-tulajdonságok forrása az MSZ EN ISO 10456:2008 [11] szabvány volt.
7. Ezt követően a külső és belső oldali peremfeltételek hozzárendelését tettük meg az MSZ EN ISO 6946:2017 [8], valamint az MSZ 24140:2015 [12] szabvány alapján. A felületekről érdemes kiválasztást csinálni és elmenteni, kisebb modellmódosítások esetén ez jelentős időmegtakarítást jelent.
8. Mérési helyek meghatározása a modellben (domain probes), hogy értékelhető eredményeket nyerjünk ki a modelltől. Az erre használt szondák vonatkozhatnak tartományokra, felületekre, vonalakra vagy pontokra is. A szélsőértékek mellett átlagos, valamint hőmérséklet- vagy hőáram integrálok is lekérhetőek.
9. A numerikus modellezés lefuttatása, majd a mért eredmények további számítások számára történő exportálása, illetve különféle szimulált paraméterek (pl. hőmérséklet vagy hőáram) eloszlásának vizualizálása.
10. Jellemzően szükséges az eredmények utófeldolgozása és tisztítása, hogy áttekinthető, könnyen fogyasztható formában tálalhassuk az összefüggéseket. Ezt például Excelben tehetjük meg.

2.3. A NUMERIKUS MODELLEZÉS MÓDSZERTANA

A homlokzat eredő hőátbocsátási tényezőjének numerikus modellezéssel történő meghatározásához első lépésben a csatlakozó, termikus burkot alkotó szerkezetek hőátbocsátását határoztuk meg. Kiszámoltuk a falak, a lapostető, valamint a pince feletti födém U-értékét a vonatkozó MSZ EN ISO 6946:2017 [8] szabvány alapján, illetve figyelembe vettük a nyílászárók (ajtók és ablakok) U-értékét is.

Az átszellőztetett homlokzatburkolatot négy esetben modelleztük meg, hogy figyelembe vehessük az egyes inhomogenitásokat okozó rögzítőelemeket: a referencia modellben (Q1) sem a homlokzati hőszigetelő táblákat rögzítő tárcsák, sem a konzolok nem szerepeltek. A rögzítőrendszereket tartalmazó szimulációs esetek közül pedig az első esetben a homlokzati hőszigetelés rögzítését (Q2), a második esetben a konzolokat (Q3), míg a harmadik esetben mindent figyelembe vettünk, melyet teljes modellnek is nevezhetünk (Q4).

A numerikus modell minden esetben a BIM modellből származtatott geometriát használta. Az állandósult állapotbeli hővezetést leíró parciális differenciálegyenletet a COMSOL Multiphysics 5.6 oldotta meg az [1] egyenlet alapján. A peremfeltételeket a [2] és [3] egyenletek alapján határoztuk meg.

$$\nabla q = \nabla(\lambda_{eff} \nabla T) = 0 \tag{1}$$

$$-\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = d_z(h_{ci} + \varepsilon \cdot 4 \cdot \sigma \cdot T_{mi}^3) \tag{2}$$

$$-\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = d_z(h_{ce} + \varepsilon \cdot 4 \cdot \sigma \cdot T_{me}^3) \tag{3}$$

ahol a [2] egyenletben h_{ci} a belső felületi hőátadási tényező [2,5 W/m²K], ε a felület hosszúhullámú tartományra vonatkozó emissziós tényezője [0,9], σ a Stefan-Boltzmann állandó [5,67·10⁻⁸ W/m²K⁴] és T_{mi} a belső felület és a környezet átlagos termodinamikai hőmérséklete, 293,15 K értékkel felvéve az MSZ 24140:2015 [10] szabvány alapján. A [3] egyenletben $h_{ce} = 4 + 4 \cdot v$, ahol v a szélességség, 4 m/s értékkel felvéve [9] alapján, T_{me} a külső felület és a környezet átlagos termodinamikai hőmérséklete kelvinben, 268,15 K értékkel felvéve [11] alapján. A végeelemes hálót négyoldalú (tetraéder) elemekből építettük fel, minimális csomóponti távolságnak 1 mm-t, míg maximum 2,5 cm-t választva. A végeelemhálót a 5. ábra mutatja be a referencia és teljes modell esetében.

Ahhoz, hogy a homlokzat hőtechnikai teljesítményét meghatározhassuk, az eredő hőáramok összegzésére volt szükség mind a külső-, mind a belső oldali felületeken. Az eredő hőátbocsátási tényező egyszerűsített számítások során tartalmazza a rögzítőelemek hatását és a csatlakozási hőhidak hatását is, ezért így számítottuk ki az összehasonlíthatóság érdekében. A csatlakozási hőhidak hatását, ha lefuttatjuk a numerikus modell megoldását bármely rögzítőelem nélkül (referenciamodell), és kivonjuk az egydimenziós, kézi számítással meghatározott hőátbocsátási tényezőket a teljes épületburok esetében. Tehát szükségünk van a Q_1 teljes hőáramra [W] a modellből, mely tartalmazza a vonalmenti hőhidak hatását, a hővesztésre a lapostetőn keresztül ($A_{lt}U_{lt}$), a

pince feletti földemen keresztül ($A_{pf}U_{pf}$), a homlokzati falakon keresztül ($A_{hf}U_{hf}$), illetve az ajtókon és ablakokon keresztül ($A_{ny}U_{ny}$). Ha kivonjuk a termikus burok csatlakozó szerkezeiteinek kiszámított hővesztéseit a teljes, szimulált hővesztéséből [melyet a szimulált hőáram $\Delta T = 25$ K hőmérsékletkülönbséggel történő elosztásával kaphatunk meg], majd a termikus burkot alkotó homlokzati falak belső felületére (A_{fal}), fajlagosítjuk, akkor megkapjuk $\Delta U_{csh,sim}$ korrekciós tényezőt, mely kizárólag a geometriai csatlakozások okozta vonalmenti hőhidak hatását tartalmazza [4]:

$$\Delta U_{csh,sim} = ((Q_1/\Delta T) - A_{lt}U_{lt} - A_{pf}U_{pf} - A_{fal}U_{fal} - A_{ny}U_{ny}) / A_{fal} \tag{4}$$

Az egyes esetekre vonatkozó korrekciós tényezőket is meghatároztuk, hogy figyelembe vehessük a pontszerű hőhidak hatását a hőszigetelést rögzítő dübök esetében ($\Delta U_{düb,sim}$), a homlokzatburkolatot tartó konzolok esetében ($\Delta U_{konz,sim}$), valamint a teljes rögzítőrendszer esetében ($\Delta U_{rögz,sim}$), a négy különböző szimuláció felhasználásával az alábbi egyenletek alapján [5-7]:

$$\Delta U_{düb,sim} = (Q_2 - Q_1) / (A \cdot \Delta T) \tag{5}$$

$$\Delta U_{konz,sim} = (Q_3 - Q_1) / (A \cdot \Delta T) \tag{6}$$

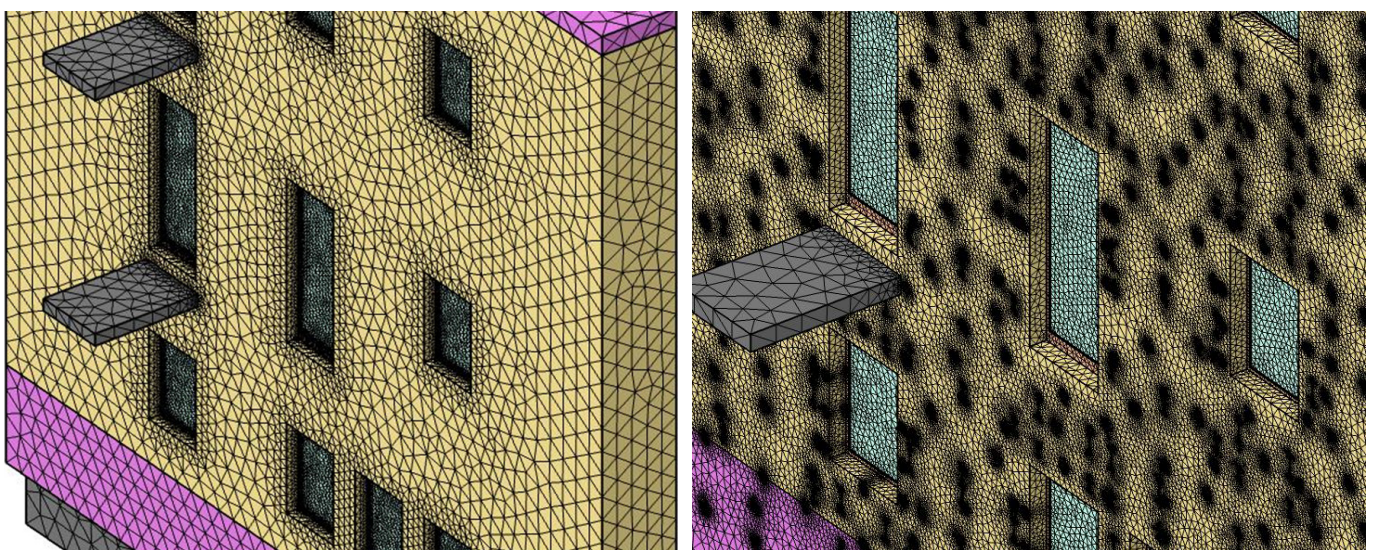
$$\Delta U_{rögz,sim} = (Q_4 - Q_1) / (A \cdot \Delta T) \tag{7}$$

A homlokzati falszerkezet eredő hőátbocsátási tényezője, mely figyelembe veszi a rögzítőelemek pontszerű, illetve a vonalmenti hőhidakat is, az alábbi egyenletek szerint számítható ki az egyes, rögzítőrendszert tartalmazó esetekre vonatkozóan [8-10]:

$$U_{fal,tot,sim,1} = U_{hf} + \Delta U_{düb,sim} + \Delta U_{konz,sim} + \Delta U_{csh,sim} \tag{8}$$

$$U_{fal,tot,sim,2} = U_{hf} + \Delta U_{rögz,sim} + \Delta U_{csh,sim} \tag{9}$$

$$U_{fal,tot,sim,3} = ((Q_4/\Delta T) - A_{lt}U_{lt} - A_{pf}U_{pf} - A_{ny}U_{ny}) / A_{fal} \tag{10}$$



5. ÁBRA: Az rögzítőelemek nélküli referencia modell (Q1, balra) és a teljes modell (Q4, jobbra) végeelemes hálója

2.4. BIM-ALAPÚ HŐTECHNIKAI MODELLEZÉS SORÁN SZÜKSÉGES EGYSZERŰSÍTÉSEK

BIM-alapú épületfizikai modellezés során a geometria ellenőrzése és a megfelelő formátumba való importálása egy összetett folyamat, emiatt több okból kifolyólag is előfordulhatnak hibák. A modell létrehozása során geometriai modellhibák léphetnek fel és a modell energetikai szoftverbe való exportálása során is problémák adódhatnak. A lehetséges hibák kiküszöbölése érdekében mind a geometriai, mind az épületfizikai modell felépítésekor a modellek egyszerűsítésére, limitációjára volt szükség. Ezen egyszerűsítések például a valóság és a BIM modell közötti egyszerűsítések (pl. geometriai egyszerűsítések, kivitelezési pontatlanságok elhanyagolása) vagy a BIM és az épületfizikai modellezés közötti egyszerűsítések (pl. végeselemes modellezéssel és peremfeltételek megadásával kompatibilis modell), vagy akár átfogó, a valóság és az épületfizikai modell közötti egyszerűsítések (pl. állandósult állapot, hőtechnikai modell figyelembevétele) voltak.

2.5. EGYSZERŰSÍTETT SZÁMÍTÁSOK AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEHOSSZOLÍTÁSÁHOZ

A homlokzati részlet eredő hőátbocsátási tényezőjét az eredmények összehasonlítása végett különböző, a tervezési folyamatok során gyakran alkalmazott egyszerűsített számításokkal is meghatároztuk, amelyhez a geometriai adatokat szintén a modell szolgáltatta. A csatlakozási hőhidak hatásait a 7/2006. TNM rendelet [13] egyszerűsített eljárása alapján vettük figyelembe. Az épületek energetikai tanúsítása során az egyszerűsített módszer szerint a hőhidak hatását a falsarkok, a nyílászáró beépítések, a lapostetők, valamint a közben-ső és pincefödémek csatlakozási hosszainak összegzésével vehetjük figyelembe. A csatlakozási hőhidak összes hossza 98,65 m a modellezett épületben, amelyet osztva a belső fal-felülettel 1,41 m/m² fajlagos érték adódott. Ez azt jelenti, hogy a hőszigetelt fal hőhidak hatását kifejező korrekciós tényezője $\chi = 0,3$, amely alapján a korrigált hőátbocsátási tényezőt (mely tartalmazza a dűbelek és tartókonzolok hatásait is) a csatlakozási hőhidak hatásai miatt további 30 %-kal növelni szükséges. A csatlakozási hőhidak korrekcióját megkaphatjuk, ha a megnövelt U-értékből kivonjuk a fal U-értékét:

$$\Delta U_{csh,egysz} = U_{fal,korr} \cdot (1 + \chi) - U_{fal,korr} \quad (11)$$

A hőszigetelést rögzítő dűbelek $\Delta U_{düb,egysz}$ hatását a MSZ EN ISO 6946:2017 [8] szabvány alapján, míg a tartókonzolok hőtechnikai hatását a Hilti hőhidkatalógusa [14] alapján határoztuk meg. A hőhidkatalógus alapján a fix tartókonzolok pontbeli hőátbocsátási tényezője $\chi_{fix} = 0,0534$ W/K, a csúszó tartókonzolok pontbeli hőátbocsátási tényezője $\chi_{csúszó} = 0,0336$ W/K. Az átlagos darabszámokkal szorozva megkaphatjuk a konzolok miatti korrekció értékét [12]. A homlokzat eredő hőátbocsátási tényezője egyszerűsített módszerrel számolva pedig a [13] képlet szerint adódik:

$$\Delta U_{konz,egysz} = n_{fix} \cdot \chi_{fix} + n_{csúszó} \cdot \chi_{csúszó} \quad (12)$$

$$U_{fal,tot,egysz} = U_{fal} + \Delta U_{csh,egysz} + \Delta U_{düb,egysz} + \Delta U_{konz,egysz} \quad (13)$$

3. | EREDMÉNYEK

3.1. NUMERIKUS MODELLEZÉS

A numerikus hőtechnikai modellezés során lehetőség van az eredmények ábrázolására 2D-s vízszintes és függőleges metszetek segítségével is, melyek nyomtatásban könnyebben értelmezhetőbbek, mint a 3D-s ábrák. A tervezett homlokzat hőmérsékleteloszlását a **6. és 7. ábrák** szemléltetik.

A **6. ábrán** a referenciamodell látható, amikor a rögzítőrendszer elemeit (dűbelek, tartókonzolok) elhanyagoltuk, így a pontbeli hőhidak hatásait egyáltalán nem vettük figyelembe. Azonban az is látható, hogy a csatlakozó épületburkolati elemek vonalmenti hőhidakat okoznak a födémek és a nyílászárók kerületei mentén. Ennek ellenére a belső felületek sajátléptékben mért hőmérséklete (f_{Rsi}) a modellen mindenhol 0,8 felett volt, így a szerkezetben nem várhatóak állagvédelmi problémák.

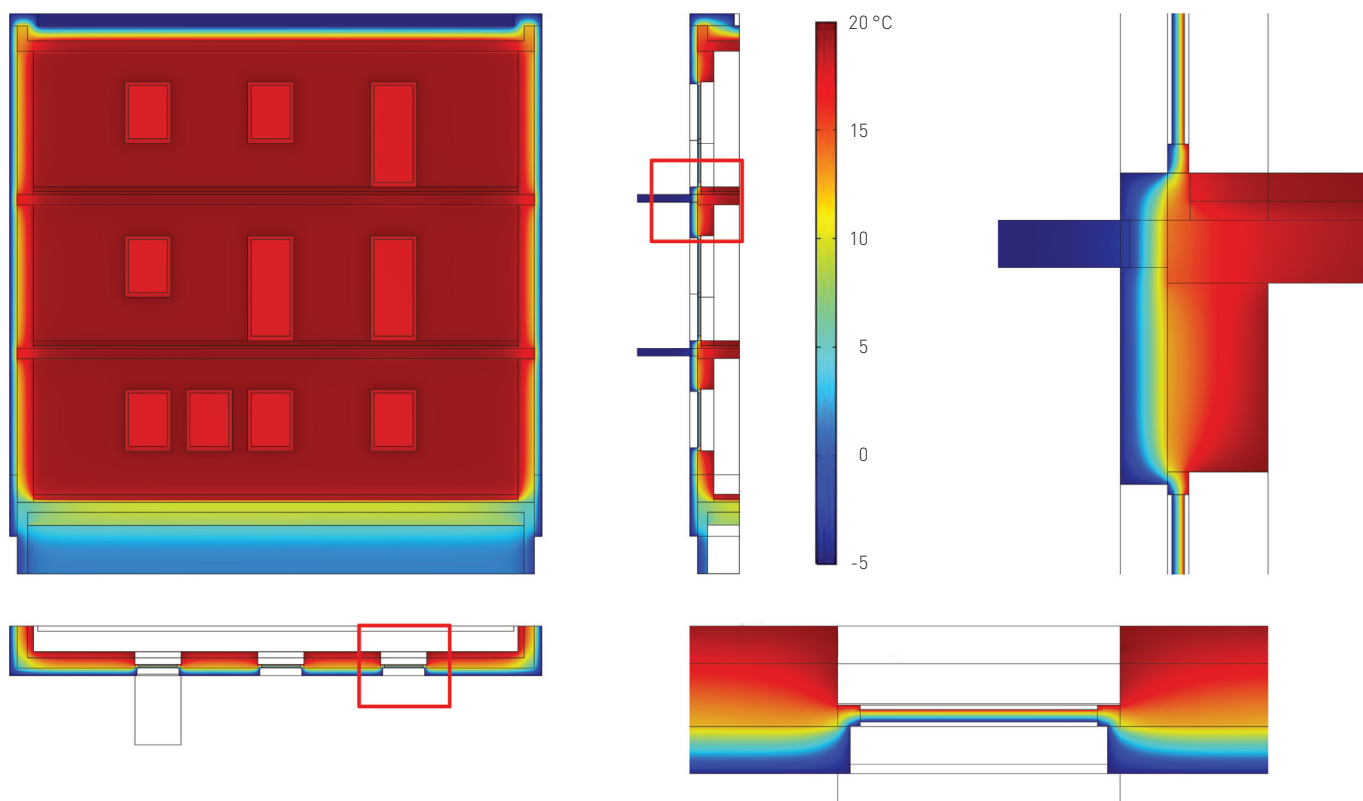
A **7. ábrán** a teljes modell látható, amikor a rögzítőelemeket is figyelembe vettük a modellezés során. Látható, hogy a dűbelek és a tartókonzolok által okozott pontbeli hőhidak megváltoztatják az épületburok hőmérsékleteloszlását, legfőképpen a hőszigetelésben és a falazóelemekben a rögzítőelemeken keresztül felvett metszetekben. Azonban a hőmérsékleteloszlás és a hőáramsűrűség csak a rögzítések körül változik, amelyek alapján elmondható, hogy a rögzítőrendszereknek csak csekély, szinte elhanyagolható hatásuk van a belső felületi hőmérsékletre, amelyek továbbra is 0,8 feletti hőmérsékleti tényezőt eredményeznek.

3.2. HŐÁTBOCSÁTÁSI TÉNYEZŐK

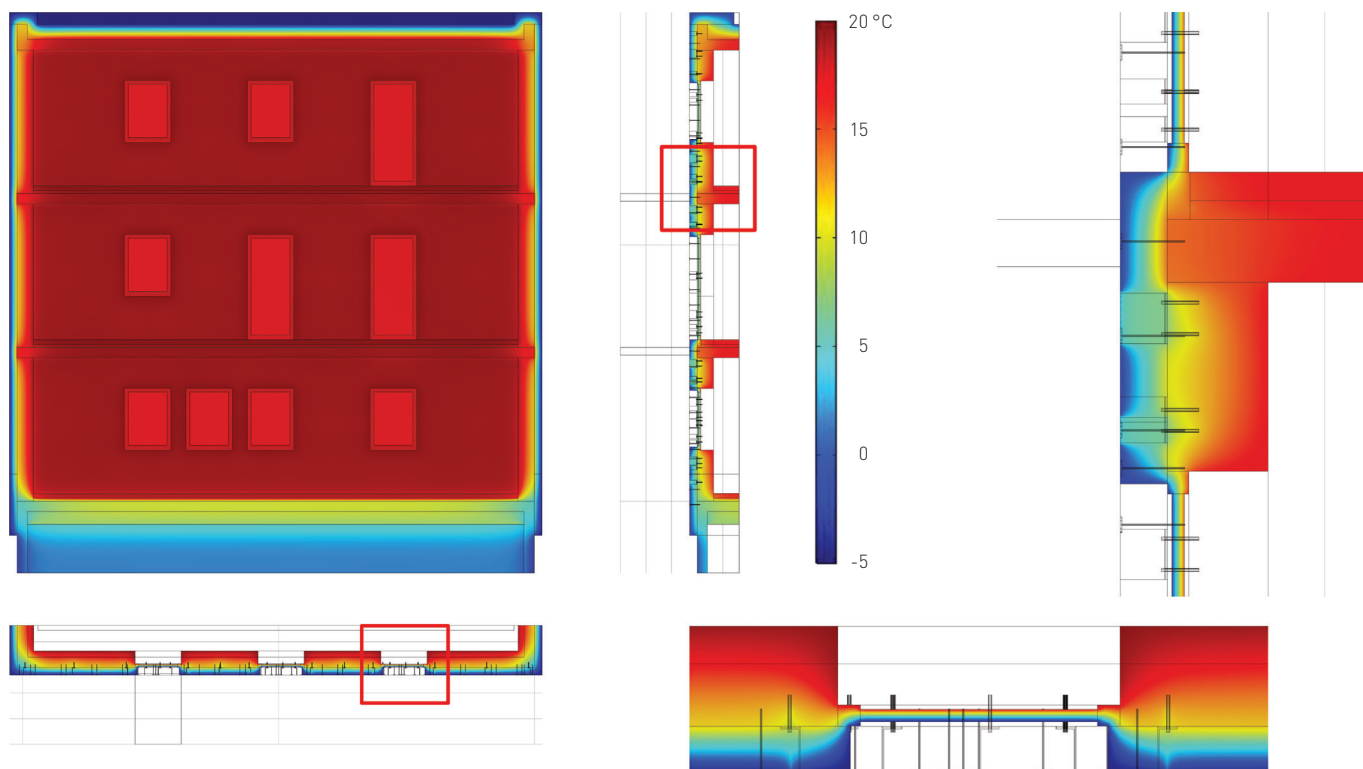
A szimuláció során a hőátbocsátási tényezőket a [8-10] egyenletek alapján határoztuk meg. Az eredő hőátbocsátási tényezőt a [13] egyenlet alapján egyszerűsített módszerek segítségével is kiszámítottuk. A BIM-alapú szimulációk, valamint az egyszerűsített számítási módszerek eredményeit az **1. táblázat** foglalja össze.

Eredményeink alapján, amennyiben a dűbelek és tartókonzolok korrekcióit egyenként határozzuk meg, akkor a rögzítések korrekciója 7%-kal nagyobbra adódik (0,0449 W/m²K), mint az együttes modellezésük esetében (0,0420 W/m²K). A különbség abból származik, hogy a hőhidak hatása alapvetően nem szuperponálható. Ez a különbség jelen esetben nem számottevő, valamint az eltérés a biztonság javára történik, így a számítási kapacitás csökkentésének érdekében ezek az eredmények is felhasználhatók. A modellek futtatása során ugyanis a teljes modell mintegy 5-6-szor több időt vett igénybe azonos számítógépen, mint a dűbeleket vagy konzolokat tartalmazó modellek külön-külön, ráadásul lényegesen kevesebb RAM-ot használtunk fel a futtatás során.

A teljes homlokzat a rögzítésekkel modellezve (Szim3) ugyanazt az eredményt adja, mint a második szimuláció (Szim2), ahol a hőhidak, illetve a mechanikai rögzítések más-más esetekből adódnak. Ez azt jelenti, hogy a vonalmenti hőhidak nem változtatták meg érzékelhető mértékben a dűbelek és konzolok által okozott pontbeli hőhidakat. A dűbelek kor-



6. ÁBRA: Hőmérsékleteloszlás a referencia modell (Q1) esetében, rögzítőelemek nélkül



7. ÁBRA: Hőmérsékleteloszlás a minden inhomogenitást okozó rögzítőelemet tartalmazó teljes modell (Q4) esetében

1. TÁBLÁZAT: Az eredő hőátbocsátási tényezők és összetevőik

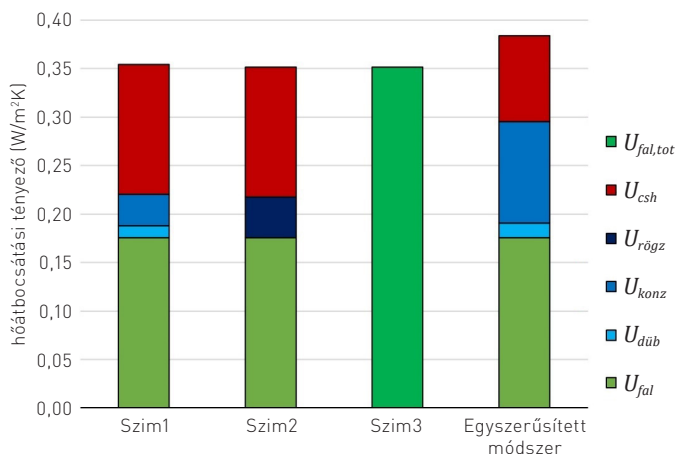
	Szimulációs eredmények			Egyszerűsített módszer (W/m ² K)
	Szim1 (W/m ² K)	Szim2 (W/m ² K)	Szim3 (W/m ² K)	
U_{fal}	0.1754	0.1754	-	0.1754
$\Delta U_{düb}$	0.0124	-	-	0.0151
ΔU_{konz}	0.0325	-	-	0.1047
$\Delta U_{rög}$	-	0.0420	-	-
$U_{fal,korr}$	0.2203	0.2174	-	0.2952
ΔU_{csh}	0.1340	0.1340	-	0.0886
$U_{fal,tot}$	0.3543	0.3514	0.3514	0.3838

rekciós értékét összehasonlítva a konzolokkal, azt láthatjuk, hogy utóbbi 2,6-szorosa az előbbinek, a tartókonzolok hatása jelentősebb.

A numerikus szimulációval meghatározott korrigált hőátbocsátási tényező 0,22 W/m²K-re adódott, ami megfelel a 7/2006. TNM rendeletben [13] meghatározott $U_{max,fal} = 0,24$ W/m²K követelményértéknek. Meg kell jegyeznünk, hogy ez lényegesen, mintegy 26%-kal több, mint a korrekció nélküli egydimenziós hőátbocsátási tényező. A dübelek és konzolok figyelembevétele a rétegtervi hőátbocsátási tényező értékében tehát nem elhanyagolható, hatásuk számottevő! A vonalmenti hőhidak hatását figyelembe vevő korrekciós tényező numerikus szimulációval figyelembe véve 0,134 W/m²K-re adódott a numerikus szimulációk során, így a tartófal eredő hőátbocsátási tényezője $U_{fal,tot,szim} = 0,35$ W/m²K.

A numerikus számításokkal meghatározott eredményeket összehasonlítva az egyszerűsített módszerrel, a dübelkorrekcióra 22%-kal kisebb értéket kaptunk numerikus a szimuláció esetében. Azonban az MSZ EN ISO 6946:2017 [8] alapján egyszerűsített módszerrel meghatározott eredmény a biztonság javára közelít, így véleményünk szerint felhasználható hasonló számítások során. A tartókonzolok korrekcióját a hivatkozott hőhidkatalógus [14] alapján figyelembe véve viszont háromszor nagyobb eredmény adódik, mint numerikus szimulációk esetében. Az eltérés abból adódhat, hogy a hőhidkatalógusban alkalmazott falazóblokk eltér a kutatásunkban használttól, valamint a katalógusban szereplő kialakítások modellezése egyszerűbb, és anyagok hővezetési tényezői sem egyeznek meg az általunk alkalmazott, szabványos értékekkel. Bár a tartókonzolok gyártói hőhidkatalógus szerinti korrekciója a biztonság javára közelít, ez esetben a jelentős különbség miatt nem javasoljuk az alkalmazását, főleg amennyiben a falazóblokkok nagyban eltérnek a katalógusban szereplőktől. A tartófal korrigált hőátbocsátási tényezője a rögzítőrendszerek nagyobb korrekciója miatt nem felel meg az itthon érvényben lévő szabályozásoknak, a számított érték közel 35%-kal magasabb, mint a numerikus szimuláció segítségével meghatározott eredmény (1. táblázat).

Összehasonlítva a vonalmenti hőhidak korrekcióját látható, hogy az egyszerűsített számítások nem a biztonság javára közelítenek, mivel a numerikus szimuláció 51%-kal magasabb korrekciós értéket eredményezett, mint az egyszerűsített



8. ÁBRA: Az eredő hőátbocsátási tényezők összetevői

számítás. A 7/2006 TNM rendeletben meghatározott módszertan és korrekciós tényezők 2006 óta változatlanok, emiatt ezek az értékek elavultak és nem alkalmasak a jelentősen hőszigetelt épületek számítására, így ezekben az esetekben részletes számítási mód vagy numerikus modellezés javasolt. Végezetül az egyszerűsített számítási módszer 10%-kal magasabb eredő hőátbocsátási tényezőket eredményezett, mint a numerikus szimulációval számított érték. Az eltéréseket a 8. ábrán is vizualizáltuk, melyen az eredő hőátbocsátási tényező egyes összetevői jól láthatók.

4. | ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunkban az átszellőztetett homlokzatburkolatok BIM modellen alapuló épületfizikai modellezését mutattuk be. Első lépésként létrehoztunk egy OpenBIM alapú munkafolyamatot, mely bármilyen épületfizikai probléma multifizikai modellezésére alkalmas, amit hőtechnikai kérdések vizsgálatával demonstráltunk is. Ezt követően numerikus hőtechnikai modellezés segítségével különböző modellezési eseteket vizsgáltunk a homlokzati falak hőátbocsátási tényezőjének meghatározásához. Ezekben a scénáriókban a homlokzati hőszigetelést rögzítő dübeleket, valamint a hátszerkezet konzoljait elhanyagoltuk, illetve külön, valamint együttesen is figyelembe vettük. A hőátbocsátási tényezőket kézi, egyszerűsített módszerekkel is kiszámoltuk a hatályos hazai jogszabályok, vonatkozó szabványok alapján.

Az eredményeink azt mutatták, hogy a numerikus modellezés alacsonyabb eredő hőátbocsátási tényezőt eredményezett, mint az egyszerűsített számítások. Megállapítottuk, hogy a rögzítőelemek hatásának elhanyagolása a rétegtervi hőátbocsátási tényezőben jelentős hibát eredményez, ezek hatását mindig figyelembe kell vennünk! Kijelenthetjük továbbá, hogy a rögzítőelemek figyelembevétele egyszerűsített módszerek alkalmazásával nagyobb eredményt adott, mely akár a hőveszteségek jelentős túlméretezéséhez is vezethet. Az általunk bemutatott BIM alapú numerikus hőtechnikai modellezés hiánypótló módszertant jelent a BIM alapú mérnöki tevékenységek folytatásához, legyen szó homlokzattervezésről vagy épületfizikai modellezésről.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült.
A kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült.

FORRÁSOK

- [1] Ibañez-Puy, M., Vidaurre-Arbizu, M., Sacristán-Fernández, J.A., Martín-Gómez, C. (2017). Opaque ventilated façades: Thermal and energy performance review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79(C), pp. 180-191. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.059>
- [2] Petresevics Fanni, Nagy Balázs (2022). FEM-based evaluation of the point thermal transmittance of various types of ventilated façade cladding fastening systems. *Buildings* 12(8), p. 1153. <https://doi.org/10.3390/buildings12081153>
- [3] Ujma, A., Pomada, M. (2019). Analysis of the temperature distribution in the place of fixing the ventilated facade. *E3S Web Conf.* 97, p. 01041. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199701041>
- [4] Šadauskienė, J., Ramanauskas, J., Šeduikytė, L., Buska, A. (2015). Assessment of buildings with ventilated facade systems and evaluation of point thermal bridges. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering* 11(2), pp. 59-71. <https://doi.org/10.5755/j01.sace.11.2.12606>
- [5] Levinskytė, A., Bliūdžius, R., Burlingis, A., Makaveckas, T. (2019). Dependencies of heat transmittance through the ventilated wall system on thermal conductivity of connectors crossing thermal insulation layer. *MATEC Web of Conf.*: 4th Central European symposium on building physics (CESBP 2019), Prága, 2019.09.2-5. Les Ulis : EDP Sciences. 2019, vol. 282, art. no. 2089, p. 1-7. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928202089>
- [6] Theodosiou, T., Tsikaloudaki, K., Tsoka, S., Chastas, P. (2019). Thermal bridging problems on advanced cladding systems and smart building facades. *Journal of Cleaner Production* 214, pp. 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.286>
- [7] Csapó Máté, Izrael Anna (2021). BIM alapú tervezés a gyakorlatban. *Magyar Építőipar* 2021.3-4, pp. 100-107. <https://doi.org/10.17168/MEIP.2021.70.100>
- [8] MSZ EN ISO 6946:2017 Épületszerkezetek és épületelemek. Hővezetési ellenállás és hőátbocsátás. Számítási módszerek (ISO 6946:2017, 2021. decemberi helyesbített változat), MSZT, Budapest
- [9] Fürtő Balázs, Nagy Balázs (2023). BIM based hygrothermal modelling of building constructions. *Acta Polytechnica CTU Proceedings* 38. <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/APP/article/view/8286>
- [10] MSZ EN ISO 10211:2017 Hőhidak az épületszerkezetekben. Hőáramok és felületi hőmérsékletek. Részletes számítások (ISO 10211:2017), MSZT, Budapest
- [11] MSZ EN ISO 10456:2008 Építési anyagok és termékek. Hő- és nedveségtechnikai tulajdonságok. Táblázatos tervezési értékek, illetve eljárások a közölt és tervezési hőtechnikai értékek meghatározására (ISO 10456:2007), MSZT, Budapest
- [12] MSZ 24140:2015 Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai, MSZT, Budapest
- [13] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról, <https://njt.hu/jogszabaly/2006-7-20-6F>
- [14] Hilti: Ventilated Facades: Technical Manual v1.0. 134 p. https://www.hilti.hu/content/dam/documents/pdf/e4/engineering/manuals/MFT_Technical%20Manual%20PRINTING%20V1.0%20low.pdf

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

ektorált tartalom

* 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 födécek, falak, oszlopok és a különféle tézáró 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 építészek 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 ígérik, 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

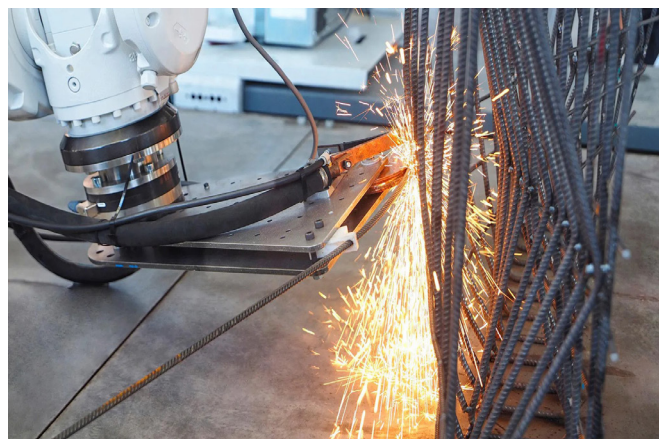
Egy hagyományos értelemben vett szemüveg azt a célt szolgálja, hogy javítsa látásunkat, ehhez képest napjainkban nem ritkán szemüvegeink lencséjét is virtuális tartalmakkal töltjük meg okos szemüvegek és virtuális valóságot tükröző VR (Virtual Reality) szemüvegekkel. A modern technológiák megváltoztatják 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 belemerülő 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 belemerülést biztosító technológiák, mint például a fejre helyezhető VR eszközök [Spiller, 2008] (2. ábra). A teljesen belemerülő 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.

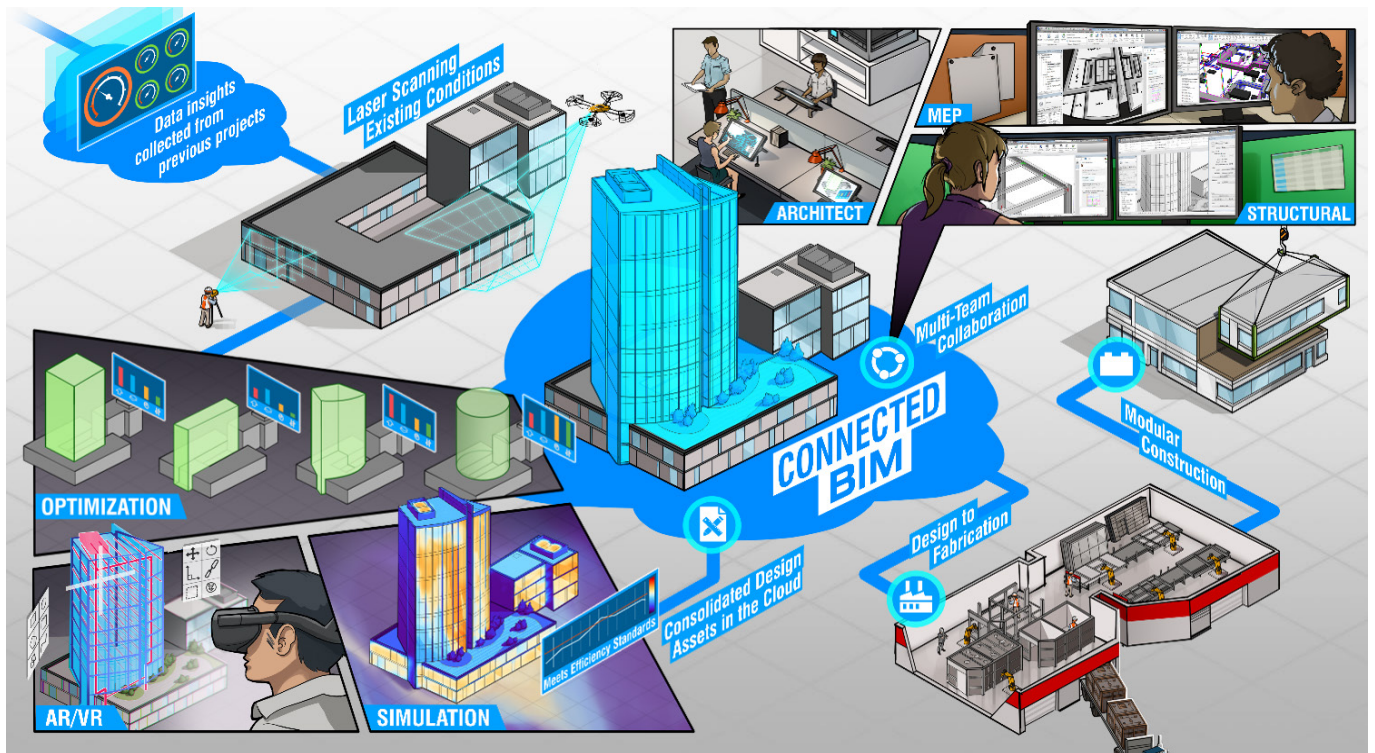
A 3D nyomtatott házak és technológiai karakterük kezd egyre nagyobb teret nyerni az építőiparban. Ennek legfőbb oka a gazdaságosság, ugyanis egy ilyen technológiai megoldás lényegesen kevesebb helyszíni élőmunka igényel jár, miközben a folyamat is felgyorsul. A technológia szerkezetileg két vezetőszínből, 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 szálak 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 lézershakkenes 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.

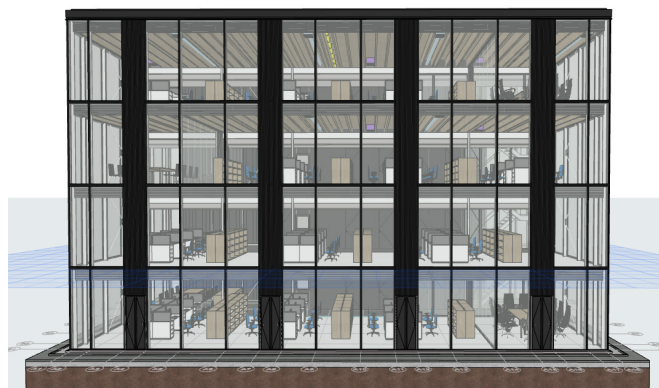
Az MI az AEC/FM szektorban már szinte minden szegletében megjelent, nem ritkán egész városnyi léptékben. A mesterséges intelligencia alkalmas egyes kognitív emberi feladatok reprodukálására, a folyamatos tanulásra, és az ismétlődő feladatok tanulmányozásával rendelkezik bizonyos mértékű problémamegoldó 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

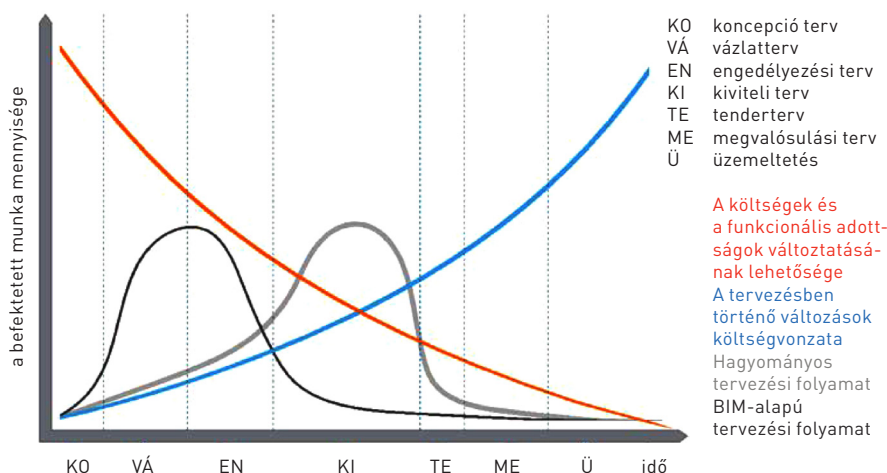
A technológiailag folyamatos fejlődésben lévő építőiparban egyre több olyan okos eszköz, gép, megoldás jelenik meg, amelyek hálózati kapcsolattal és közvetlen, gyors kommunikációval rendelkeznek. Ezek a technológiák hatalmas mennyiségű strukturálatlan és szerteágazó adatmennyiségeket generálnak, amelyeket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



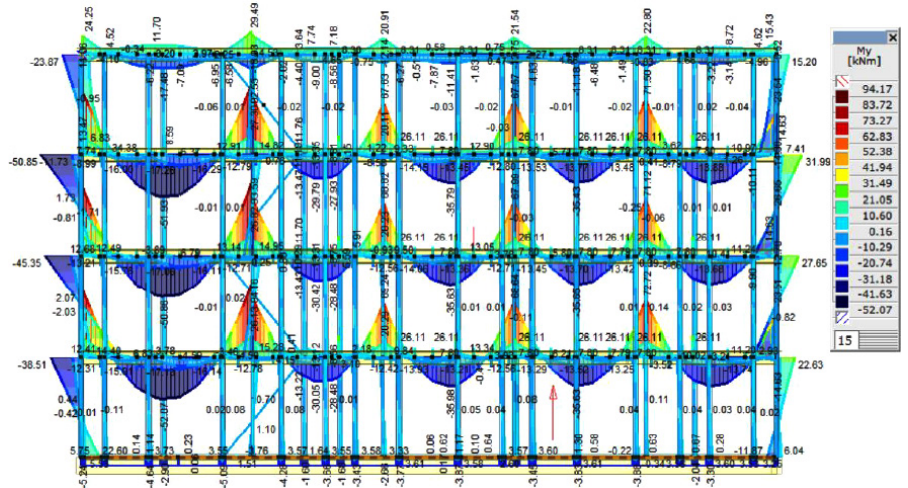
7. ÁBRA: A módosítások időigénye a projekt előrehaladásának függvényében (Zagorác, Szabó, 2018)

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 modelltől 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).

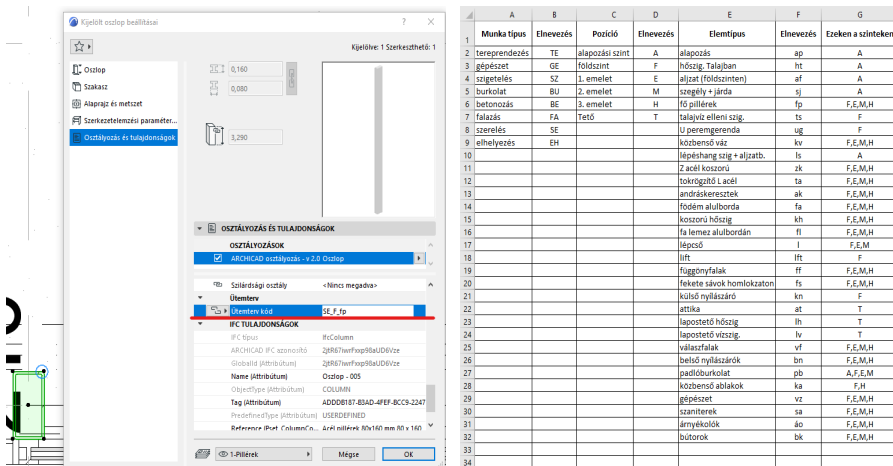
A példában látható, hogy a mesterséges intelligencia (MI) általi generatív tervezés lehetőséget nyújt a telek optimális kihasználásához és az épület kontúrján belüli megfelelő alaprajz kialakításához (12. ábra). Jelen esetben parametrikus adatként lehet megadni a közlekedők viszonyát a többi helyiséghez, 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

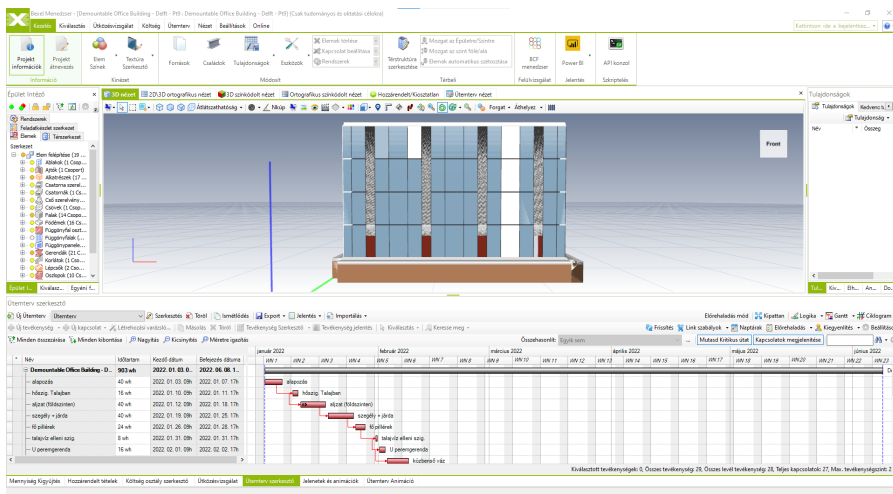
Nem meglepő, hogy az Internet, az IoT, az Ipar 4.0, a kibernetikai rendszerek (CPS), a BIM rendszer architektúrán alapuló javaslatok és kutatások száma jelentősen növekszik, mivel az AEC/FM szektor a feltörekvő BIM és IoT technológia közös kapcsolatában látja a fejlődéshez vezető utat. Ahhoz viszont, 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



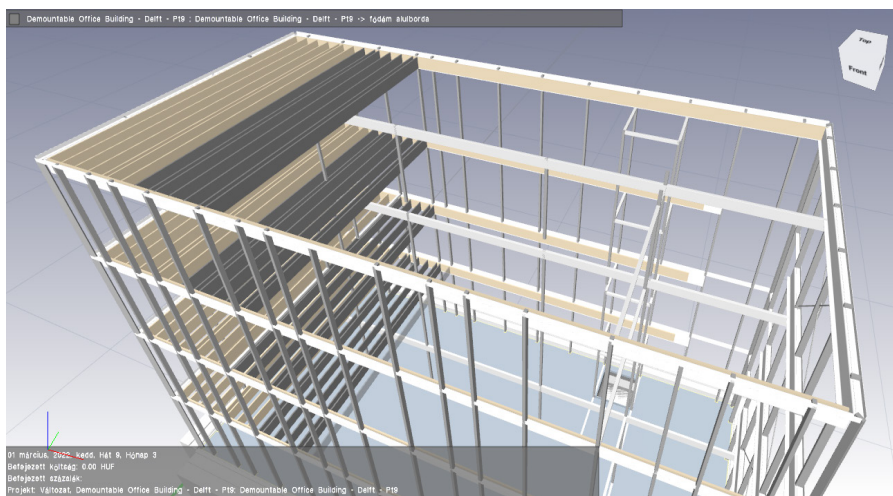
12. ÁBRA: Generatív tervezés: a földszint helyiség- és bútoroptimalizált kialakítása [forrás: SzZs]



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.

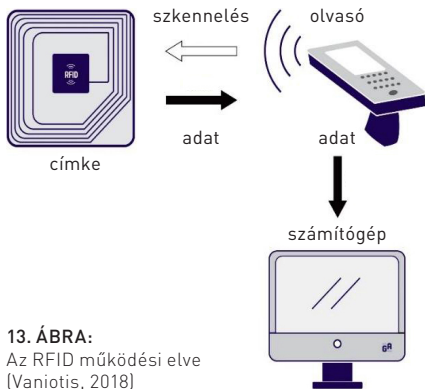
Az IoT adatok BIM központ felé történő továbbítására számos megoldás létezik. Az egyik legelterjedtebb megoldás az RFID (Radio-Frequency Identification) rövid hatótávolságú kommunikációs megoldás (13. ábra). Ezeket a kisméretű RFID címkéket vagy objektumokat az építőelemekbe integrálják, vagy a felületükre 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



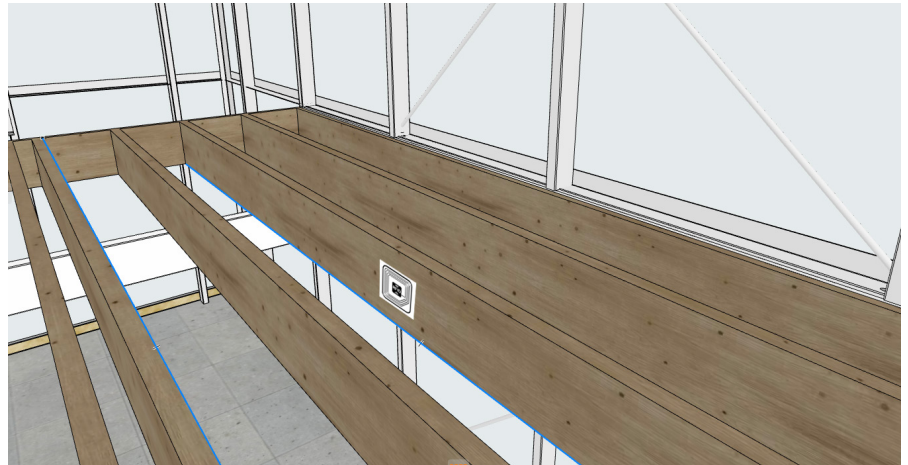
13. ÁBRA:
Az RFID működési elve
(Vaniotis, 2018)

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).

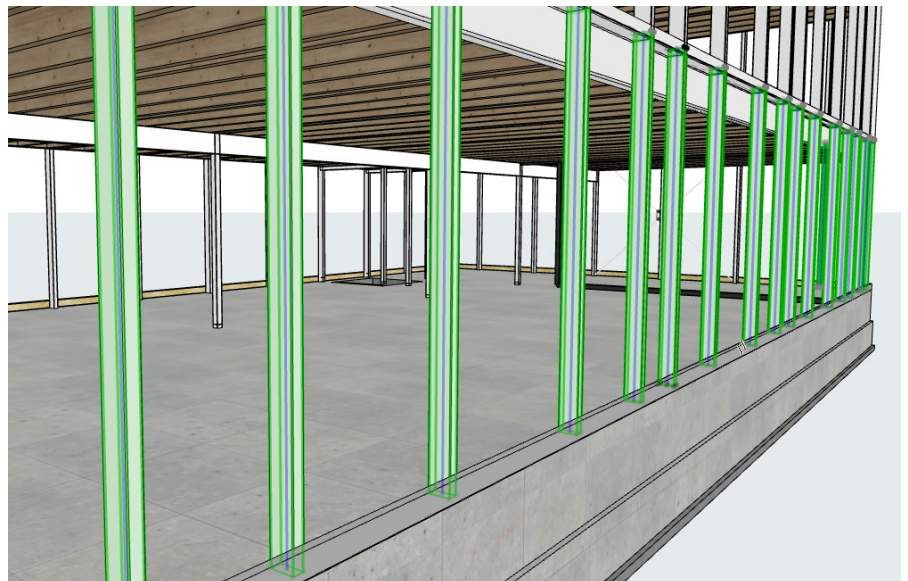
A VR, AR és MR technológiák a korábbi példában említett négy szakasz mindegyikében alkalmazhatók. Hasonlóképpen működnek a kivitelezésben is. Az építési munkafolyamatok előkészítési szakaszában van rájuk leginkább szükség, amikor a szerkezeti elemek és a gépészeti berendezések még nincsenek a helyükön, 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).



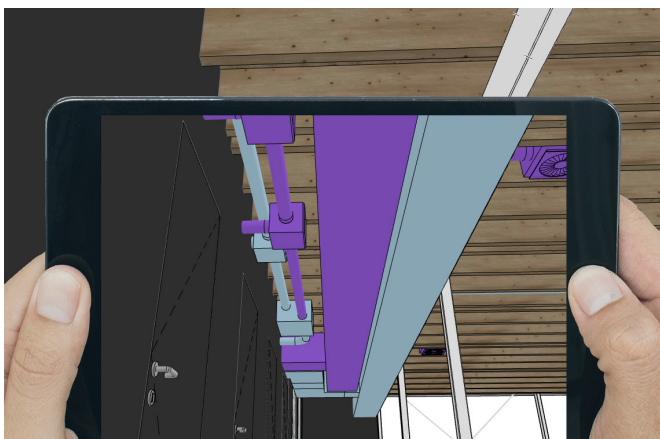
14. ÁBRA: RFID címké az acélszerkezet egyik elemén (forrás: SzZs)



15. ÁBRA: RFID címké 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 páratlan 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, az 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 helyezzük el előzetesen szabványosított IFC exportálási irányelveket és webes parsereket (elemzőket), akkor az IoT eszközök érzékelőadatai IFC objektumokra történő lekérése problémákat okozhat.

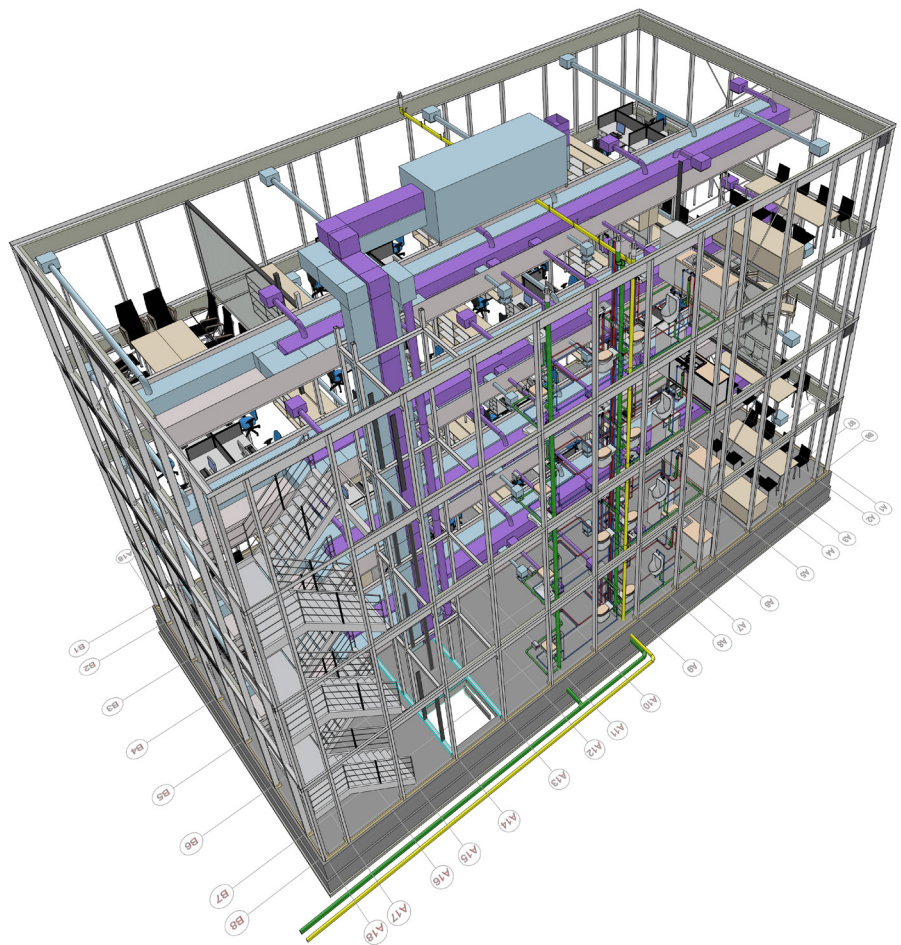


20. ÁBRA: ArchiFM: épületüzemeltetési- és létesítménygazdálkodási szoftver (Tungram, 2020)

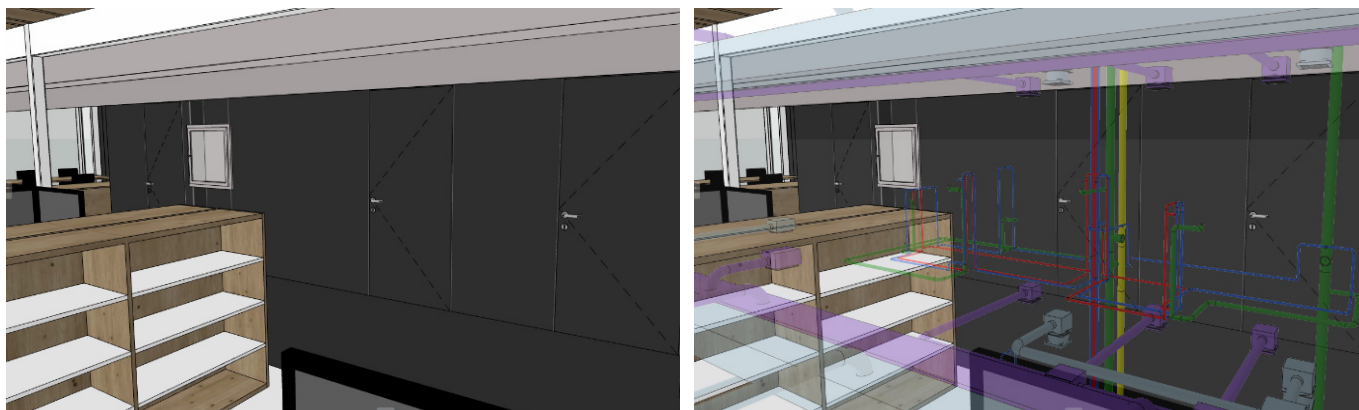
Az IoT – BIM modell fúziója más területeken is nagy felhasználási körnek örvend. Ilyen felhasználási kör például az épületüzemeltetésben az energiafelhasználás-menedzsment, az épületgépészeti rendszerek monitorozása, de még a beltéri komfortérzet nyomon követésére is kitűnően alkalmas (21. ábra). Ahhoz, 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

Mária 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>

Farkas Mónika¹, Ragasits Patrícia², Ajtayné Károlyfi Kitti³, Szalai Dóra⁴

DÖNTÉSTÁMOGATÁS BIM MÓDSZEREKKEL EGY SPORTCSARNOK PÉLDÁJÁN KERESZTÜL

DECISION SUPPORT WITH BIM METHODS THROUGH THE EXAMPLE OF A SPORTS HALL

KIVONAT / HUN

Napjainkban az épületinformációs modellezés, vagyis a BIM módszertan felhasználási lehetőségei egyre bővülnek, így alkalmazása jelentős szerepet játszik az építőipari beruházások során. Kutatásunk célja annak feltárása, miként alkalmazható a BIM módszertan döntéstámogató eszközként a koncepcionális építészeti tervezés során. Ennek keretében bemutatjuk azokat az adatgyűjtési lehetőségeket, melyek integrálhatóak a BIM munkafolyamatba és alkalmazhatóak egy projekt egész életciklusa során. Majd egy általunk tervezett sportcsarnok példáján keresztül megvizsgáltuk ezek gyakorlati alkalmazási lehetőségeit. A modellbe integrált adatok és az openBIM előnyeit kihasználva a sportcsarnok két alternatív lefedését elemeztük és hasonlítottuk össze elsősorban a kivitelezés szempontjából. Az összehasonlítás során kivitelezési organizációs videót készítettünk, melynek BIM alapú előállításához egy kódolási struktúrát alakítottunk ki és alkalmaztuk az általunk vizsgált épületen.

Kulcsszavak: BIM, szakági együttműködés, döntéstámogatás, adatintegráció

ABSTRACT / ENG

Nowadays, the possibilities of using Building Information Modeling (BIM) are increasing, its application plays a significant role in the architecture, engineering, and construction industry. The aim of our research is to explore how BIM methodology can be used as a decision support tool in conceptual architectural design. In this context, we have collected data resources that can be integrated into the BIM workflow in order to apply them throughout the entire life cycle of a project. Then, we examined their practical application on the example of a sport hall designed by us. By taking advantage of the data integrated in the model and openBIM, we analysed and compared two alternative coverage of the sport hall, mainly from the point of view of construction. In addition to the comparisons, we created a BIM-based construction organisation video, for which a coding structure was developed and applied on our building.

Keywords: BIM, cooperation of professions, decision support, data integration

¹ építészmérnök BSc hallgató, 4. évfolyam, Széchenyi István Egyetem, e-mail: f.monika1998@gmail.com

² építészmérnök hallgató, osztatlan képzés, 4. évfolyam, Széchenyi István Egyetem, e-mail: ragasitspatricia98@gmail.com

³ okl. építészmérnök, PhD, egyetemi adjunktus, Széchenyi István Egyetem, Építés-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar, Szerkezetépítési és Geotechnikai Tanszék, e-mail: karolyfi.kitti@sze.hu

⁴ okl. építészmérnök, BIM menedzser, szoftverfejlesztési csoportvezető, TSPC Kft., doktorandusz, Széchenyi István Egyetem, e-mail: szalaidory@gmail.com

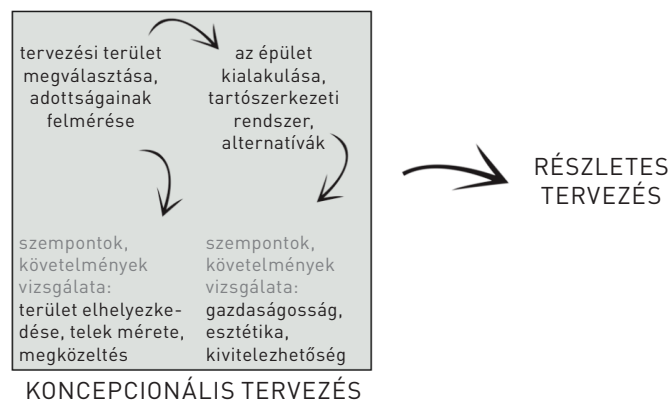
1. | BEVEZETÉS

Napjainkban egyre nagyobb az igény a BIM (Building Information Modeling) módszertan alkalmazására, amely számos előnnyel jár: a BIM alapú tervezés a hibák és ütközések korai fázisban történő detektálásával, az alternatív megoldások gyors elemzési és összehasonlítási lehetőségeivel jelentősen csökkentheti a kivitelezési költségeket és időt, valamint a műszaki megoldások optimalizálásával hozzájárulhat az épület gazdaságosabb, fenntarthatóbb kialakításához. A gyakorlatban számos jó példát találunk az alkalmazására, például gyakran alkalmazják költségvetéshez mennyiséggyűjtésre, ütközésvizsgálatok futtatására, modell alapú tervkészítésre stb. Azonban a BIM módszertan még nem általánosan elterjedt, jellemzően a kisebb irodák, kisebb léptékű tervezési feladatai esetében nem használják még ezt a módszert. A BIM munkamódszer segítségével egy hatékony döntéstámogató rendszer létrehozása is lehetséges, amely akár már a koncepcionális tervezés során is hasznos lehet, mivel a könnyed adatszere és információ integráció miatt különböző szempontok alapján az egyes alternatív megoldások és vizsgálandó esetek összevethetőek [1, 2, 3].

Ez a cikk egy Tudományos Diákköri Konferencia munkát, kutatást mutat be, annak tanulságait és fontos pontjait. A kutatás során feltártuk a BIM módszertan előnyeit és egy saját terven keresztül vizsgáltuk a felhasználási lehetőségeit a koncepcionális tervezés szintjén [4].

Az épülettervezés, és ezáltal a BIM modellezés folyamatát kutatás előzi meg, amihez jelentős mennyiségű információra kell szert tennünk. A koncepcionális építészeti tervezés mindig a megrendelői igényekből és a funkcióból fakad. Ennek pontosítását követi az épület elhelyezése a területen, amely általában adott, de néhány esetben nyitott kérdés is lehet. A helyszín adottságainak felmérését követő feladat az épület funkcionális kialakításának, anyagának, tartószerkezeti rendszerének megválasztása, melynek során általában több alternatív lehetőség is felmerül. Az optimális megoldás kiválasztása komplex feladat, melynek során mérlegelni kell többek között a tartószerkezeti, gazdaságossági, esztétikai, fenntarthatósági, kivitelezésbeli szempontokat [1. ábra].

Az ideális alternatíva kiválasztását nehezítő körülmény, hogy a koncepcionális tervezési fázisban jelentősen kisebb az

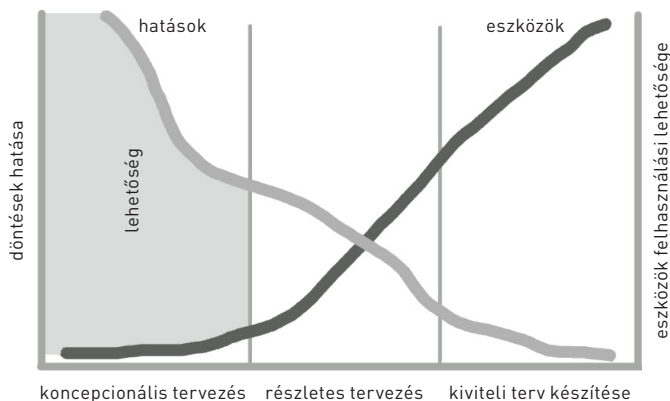


1. ÁBRA: A koncepcionális tervezés folyamata

elérhető tervezési eszközök és módszerek köre, mint a projekt későbbi szakaszaiban. Ezzel szemben, egy épület teljesítményjellemzőit, bekerülési és üzemeltetési költségeit, környezetre gyakorolt hatását túlnyomórészt a koncepcionális tervezés során meghozott döntések határozzák meg [2. ábra] [5]. A BIM módszer koncepcionális tervezésben történő alkalmazása új lehetőségeket nyithatna ezen a téren és hatékony eszközként segíthetné a döntéshozatalt.

A tervezési terület adottságai hatékonyan vizsgálhatók az önkormányzati térinformatikai rendszerek segítségével, melyek lehetővé teszik a helyrajzi szám alapú lekérdezést. A szűkebb és tágabb környezet társadalmi, gazdasági, építészeti, környezeti és infrastrukturális jellemzői vizsgálhatóak az Országos Területfejlesztési és Területrendezési Információs Rendszerbe (TeIR, www.teir.hu) integrált adatbázisok és az elérhető informatikai alkalmazások segítségével. Továbbá, az ingyenes OpenStreetMap (www.openstreetmap.org) meta-adatokkal ellátott térképi állomány letöltését teszi lehetővé, amely alaptérképként, illetve plusz információként szolgálhat a területről. A terep pontos modellje előállítható a geodéziai adatok alapján, vagy 3D felmérés (lézerszkennerek vagy fotogrammetria) alkalmazásával készített pontfelhő segítségével. A terepmodellhez hozzárendelhetők és vizualizálhatók a beépítési szabályok, amely megkönnyíti a tervezést és a modellezést. Az épületmodellhez rendelt információ tartalom teszi a 3D-s modellt BIM modellé. A felhasználásnak megfelelő információ, vagyis metaadat közvetlenül az objektumhoz rendelendő. A geometriából származó, számított adatok, valamint az általunk meghatározott tulajdonságok (anyagjellemzők, energetikai tulajdonságok, költség adatok stb.) segítségével különböző kimutatások, szimulációk készíthetők. A tervezéstől az üzemeltetésen át egészen a bontásig tarthat a BIM modell alkalmazása. Ez nem csak az építészeti modellt jelenti, hanem minden szakági modellt, adatbázisokat, információkat, számítási eredményeket stb. A BIM célja, hogy olyan virtuális 3D modell jöjjön létre, ahol minden egyes épületelem azonosítható és valós tulajdonságokkal rendelkezik [1, 2].

Az alternatív műszaki megoldások elemzése során is hatékonyan felhasználhatók a BIM, illetve az openBIM előnyei [6]. Az openBIM az iparági együttműködés modern megközelítése, mely különböző épületek létrehozása érdekében összeköti különböző szakterületeken dolgozó mérnököket, akik eltérő szoftvereket használnak a tervezéshez. A programok között



2. ÁBRA: Lehetőségek a korai tervezési fázisban

ti átmetet biztosító, szoftversemleges, nyílt szabványosított fájlformátum az IFC (Industry Foundation Classes). Alkalmazásával lehetőség nyílik a modellelemek és az információ-tartalom minimális veszteséggel történő továbbítására. Ez biztosítja a modellek platformfüggetlen felhasználását, így a modell felhasználható többek között ütközésvizsgálatra [7], tartószervezeti és energetikai analízisre [8], a kivitelezés szimulációjára [9], a fenntarthatóság vizsgálatára [10] vagy költségvetés készítésére is [11]. Ez megvalósítható már a koncepcionális tervezés fázisában is, így az alternatív lehetőségek közül kiválasztható az ideális megoldás [2, 3].

A döntéstámogatás BIM módszertan segítségével egyre elterjedtebb jelenség, számos szakirodalmat találhatunk a témában. 2015-ben Jung In Kim és mtsai. [12] foglalkoztak BIM-alapú döntéstámogató rendszer létrehozásával fenntartható, nagyléptékű fejlesztések esetében. A nagyszabású projektek fejlesztése átfogó hatással van a gazdasági, társadalmi és környezeti fenntarthatóságra, ezért ilyen esetekben kiemelkedően hatékony lehet ez a módszertan a döntéshozásban. Pawel Nowak és mtsai. [13] foglalkoznak cikkükben a döntéshozatal fontosságával az épületek teljes életciklusa során. Ezáltal párhuzamot lehetünk a BIM módszertannal, ami szintén az épület egész életciklusát kezelni tudja. A szerzők végigveszik, hogy az egyes fázisokban milyen döntések meghozatalára van szükség, és ezeket a BIM miként tudja segíteni, alátámasztani.

Tan Tan és mtsai [14] az MCDM (multi-criteria decision making), azaz többszemponútú döntéshozatal és a BIM összekapcsolásának lehetőségeit vizsgálják. A szerzők alapján a BIM módszer lényegében egy nagy adathalmazt jelent, amit az MCDM, mint technika kezelni és hasznosítani tud. BIM alapján alkalmazhatóak különböző döntéstámogató rendszerek, amik segítik a tervezést, kivitelezést, fenntartást. Egy jól felépített BIM modellben rögzíthetünk például gyártói, karbantartásbeli adatokat, amik segítik a karbantartás végrehajtását és időbeli ütemezését, a különböző lehetőségek szimulálhatóak, a beavatkozások tervezhetőek, az előnyök és hátrányok megismerhetőek, ezáltal könnyebb a döntéshozás. Ez a helyzet igaz a kivitelezés során is, többek között anyagválasztásban történő döntés meghozatalának segítésére is, például a kivitelezési idő lemodellezésével megállapíthatóak a különbségek – ahogy mi is tettük saját példánkon.

A kivitelezés során, a szállítási feladatok esetében is szóba kerülhet a BIM alkalmazása, a szállítási útvonalak optimalizálása és az üldözőgörbék tervezése során (pl. Autoturn, Vehicle Tracking stb.). Ezzel a témával foglalkozik Ankan Karmakar és mtsai. tanulmánya [15]. Az építőiparban használt járművek útvonaltervezése az építési területtervezés fontos része. Jelenleg az építőipar nem rendelkezik egységes módszerrel a járművek irányítására, ami károszt eredményez a munkaterületen. A tanulmány az optimalizálási technikák és az épületinformációs modellezés (BIM) kombinálását javasolja megvalósítható utak létrehozása érdekében, figyelembe véve az építési projektek dinamikus természetét.

Frissebb példaként szeretnénk említeni Hamidreza Alavi és mtsai. [16] tanulmányát, amely az épületek állapotfelmérésével foglalkozott, szintén BIM alapú döntéshozattal. Az épület állapotfelmérése különböző típusú adatok, például az épület jellemzői, az elemek és rendszerek tulajdonságai, valamint a karbantartási nyilvántartások integrálását igényli. Ezekből

kiindulva a tanulmány szerzői adatmodelleket készítettek a projekt hatékonyabbá tétele érdekében.

A téma kapcsán fontos megjegyezni, hogy a döntéstámogatáson kívül egyéb területeken is szóba kerül a BIM módszertan. Többek között a hazai és nemzetközi szakirodalomban egyaránt számos törekvést találunk a BIM és a GIS integrálására. Az épületinformációs modellezés (BIM) és a földrajzi információs rendszerek (GIS) az épület- és környezeti elemek digitális ábrázolását biztosítják. A BIM magára az épület mikroteljesítményére összpontosít, míg a GIS az épület külső környezetének makroteljesítményét biztosítja. E kettő kombinációja integrált adatokon alapuló átfogó képet nyújthat az épített környezetről, támogatva az építészeti, mérnöki és építőipari fejlesztéseket a digitális korban. Hao Wang és mtsai. tanulmánya átfogó áttekintést nyújt a BIM-GIS integrációjáról a fenntartható építési környezetekben [17]. A két rendszer közötti közvetlen kapcsolat lehetővé tenné a beépítési szabályok automatikus ellenőrzését, az épületek szűkebb és tágabb környezetre gyakorolt hatásának elemzését, valamint különböző szimulációk, például szélcsatorna és vízfolyás vizsgálatok elvégzését is [18, 19].

2. | ADATGYŰJTÉSI LEHETŐSÉGEK A SPORTCSARNOK TERVEZÉSÉHEZ

A következőkben az általunk alkalmazott BIM alapú döntéshozatali folyamatot mutatjuk be egy esettanulmányon keresztül. Az általunk tervezett épület egy sportközpont, amelyet Győrbe, az Ifjúsági körút és a Szigethy Attila út találkozásánál lévő telekre terveztük. Lakótelepi környezetben található a telek, egymás mellé sorolt, szinte egyforma panel épületekkel szomszédos. A telekkel átellenben, az Ifjúsági körút másik oldalán található a Barátság park, ami funkciója tekintetében szorosan kapcsolódik a sportközponthoz.

Az épület tervezését és a modell elkészítését jelentős kutatás előzte meg. Fontos, hogy információt szerezzünk a tervezési telek elhelyezkedésével, szűkebb és tágabb környezettel kapcsolatban sok szempontból, ilyen például a közlekedési infrastruktúra vagy a társadalmi környezet, különös tekintettel a funkcióval érintett korosztályra. A **3. ábra** az OpenStreetMap nyilvánosan elérhető adataiból generált úthálózat elemzést mutatja a tervezési területre vonatkozóan. A terület vizsgálatához felhasználtuk továbbá a TelR alkalmazást, melynek segítségével a demográfiai adatokat, a népesség korosztály szerinti eloszlását vizsgálhattuk [20]. A tervezési folyamat során a győri térinformatikai rendszer [21] segítségével ellenőriztük, hogy milyen beépítettségi szabályok vonatkoznak a területre, milyen szempontokra kell odafigyelni. A környék felmérésére fényképeket készítettünk, valamint különböző műhold és StreetView alkalmazásokat is [22] használtunk, melyekkel jól vizsgálható például a beépítettség vagy a növényzet mértéke a terület tágabb környezetében. Az Ifjúsági körút többi részén paneles lakótelepi épületek találhatóak, azok monoton módon sorakoznak egymás mellett. Emiatt építészeti szempontból fontos volt, hogy egy kevésbé egyhangú épülettömeg alakuljon ki, ugyanakkor az Ifjúsági körút felé megmaradjon valamilyen szintű zártság, az utcakép megtartása érdekében.

3. ÁBRA:
Az OpenStreetMap adatai alapján, QGIS segítségével készített tematikus térkép a tervezési terület megközelíthetőségéről



3. | A BIM ALKALMAZÁSA A SPORTCSARNOK TERVEZÉSE SORÁN

A kutatás során a tervezett sportcsarnokot BIM módszerrel dolgoztuk fel, ami azért előnyös, mert számos információt tudunk integrálni a modellbe, ami a tervezés, kivitelezés, sőt az épületfenntartás során is hasznunkra lehet. A 3D BIM modell segítségével költségkimutatások, ütemtervek, időbeli és térbeli organizáció is készíthető. Szintén fontos előnye a módszernek, hogy áthidalja a platformfüggőséget, vagyis az IFC adatcsere segítségével a különböző platformokon készített tervek összekapcsolhatóak.

Kutatásunk során a sportközpont legnagyobb fesztávolságú épületrészeivel, a sportcsarnokkal foglalkoztunk, ezért a továbbiakban annak a szerkezetét, felépítését részletezzük (4. ábra). A sportcsarnok 64,30×37,80 m befoglaló méretekkel rendelkezik, melybe beletartozik egy nagy méretű játéktér az ahhoz szükséges lelátóval, ami 300 fő befogadására alkalmas. Az épület pillérvázás szerkezetű, előregyártott vasbeton pillérek alkotják a tartószerkezetét, melyek között vázkitöltő falazat található. Az épület pontalapokon, valamint az azokat összekötő talpgerendákon nyugszik. Az előregyártott vasbeton pillérek a csarnok hossziránya mentén 30×100 cm keresztmetszetűek, rövidebbik oldala mentén 30×30 cm keresztmetszetűek. Ezekre fekszenek fel a főtartók, melyeknek 36,80 m fesztávot kell áthidalniuk.

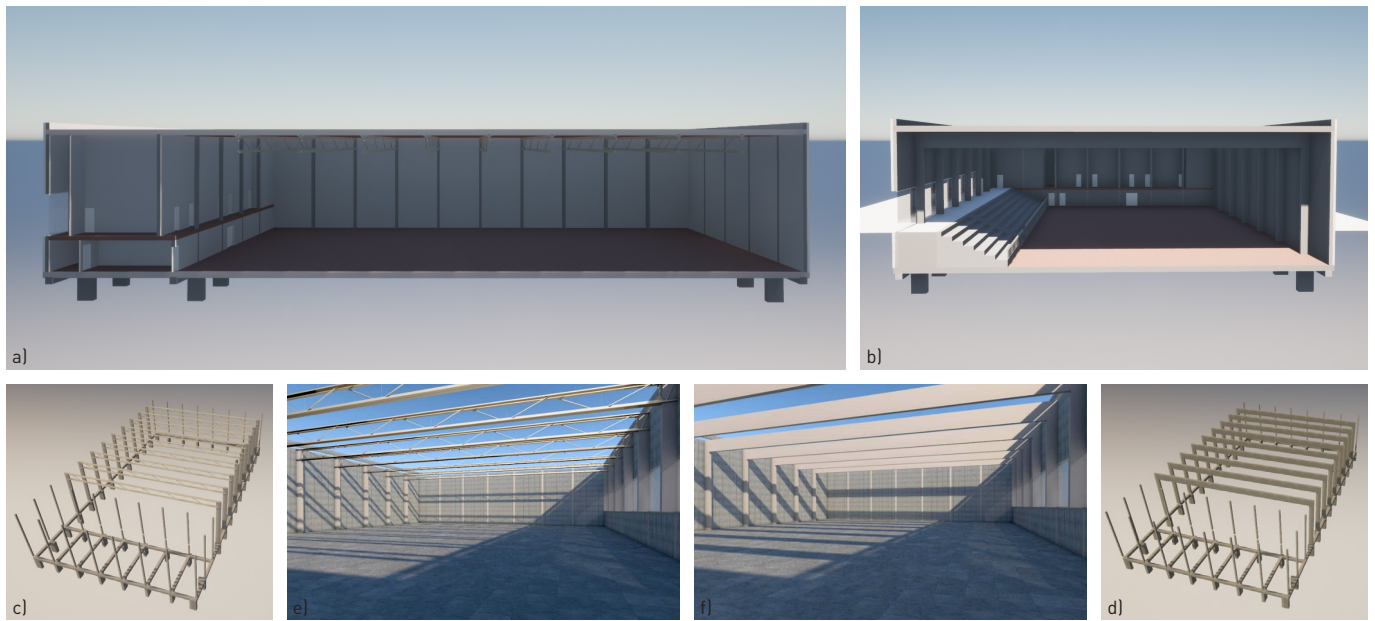
A sportcsarnok könnyű szerkezetű, trapézlemezes, lapostetős fedést kapott, PIR anyagú hőszigeteléssel, műanyaglemez fedéssel, nem járható, egyenes rétegrenddel. A homlokzaton 20 cm kőzetgyapot homlokzati hőszigetelés található, a 4 mm vastag PREFA alumínium kompozit lap burkolat mögött. A táblák mérete: 1500×4010 mm, színe ezüstmetál, RAL9006 színkóddal.

A főtartók tekintetében két alternatív megoldást vázoltunk fel: az első variációban előregyártott feszített vasbeton gerendákat, míg a második variációban acél rácsos tartót terveztünk és hasonlítottunk össze. Az összehasonlítást az alábbi szempontok alapján végeztük el:

- kivitelezési idő és nehézség,
- szerkezeti önsúly,
- tűzvédelem,
- épületgépészet kialakíthatósága,
- karbantartási igény,
- esztétika.

A BIM modellt Archicad 24 program segítségével készítettük el. Az első lépésünk az volt, hogy egy jól átgondolt és egyszerű fóliastruktúrát hoztunk létre. Definiáltuk a szintek magasságát és a tartószerkezetek paramétereit. A folyamat során LOD [Level of Development] [23] 300-as részletesség elérésére törekedtünk. A modellezés az építkezés sorrendjében történt, az alaptestek modellezésével kezdtük, majd a fő pillérek elhelyezésével, főtartók elkészítésével folytattuk, és végül a többi külső elemet illesztettük a helyükre. Voltak olyan elemek, amiket réteges szerkezettel vagy profilelemek készítésével oldottunk meg. A réteges szerkezetek megadásánál definiálható az egyes rétegek szerkezeti szerepe, hogy az tartószerkezeti mag legyen vagy burkolat. Így a program el tudja különíteni a különböző funkciójú rétegeket, amikor különböző részleges szerkezetmegjelenítési lehetőségeket alkalmazunk. Profil elemeket az attika modellezésénél alkalmaztuk, amely jelentősen megkönnyítette a csomópont kialakítását.

A tartószerkezeti elemek modellezése esetében az előregyártott vasbeton főtartó gerendaként modellezhető volt, míg a rácsos tartót az Archicad csak tárgyként tudja kezelni, így itt felhasználtuk az openBIM előnyeit és AxisVM-ben hoztuk létre a rácsostartót, amit IFC-ben importáltuk az Archicad-be.



4. ÁBRA: A tervezett sportcsarnok BIM modellje: a) hosszszelvényben acél főtartókkal, b) keresztmetszetben vasbeton főtartókkal, c) a tartószerkezeti váz acél főtartókkal, d) a tartószerkezeti váz vasbeton főtartókkal, e) a csarnok belső tere acél főtartókkal, f) a csarnok belső tere vasbeton főtartókkal

A gyors importálás lehetővé tette azt is, hogy a főtartók önsúlyát is meg tudjuk vizsgálni, ami elemzési szempont a döntéshozatal során.

A modell felépítése után következett, hogy egy olyan fájl formátumba kellett kimentenünk, amit a Bexel [24] program is felismer, ez a későbbi munkánkhoz volt szükséges, amikor organizációs videót készítettünk. Ez a formátum az IFC. Az IFC import legnagyobb előnye, hogy a modell elemeket és a hozzájuk rendelt további adatokat is megtartja, így jelentősen lecsökkenti a tervezési időt. Ahhoz, hogy ezeket az adatokat megfelelően tudjuk kimenteni, egy fordítót kellett alkalmaznunk. Az Archicadben előre beállított, alapértelmezett IFC fordítók találhatók, melyek beállításait az adott importálási/exportálási feladatnak megfelelően módosítottuk.

4. | A TÉRBELI ORGANIZÁCIÓ SZIMULÁCIÓJA

Saját példánkon keresztül vizsgáltuk a döntéstámogatás lehetőségeit, ehhez pedig térbeli organizációt készítettünk. Célunk volt, hogy két típusú szerkezet beépítését szimulálni tudjuk, majd az abból következő tanulságokat levonhassuk. Az organizációs videó segítségével információt kaptunk a kivitelezési időintervallumokról, kivitelezésbeli folyamatokról, amik alapján előnyöket és hátrányokat tudtunk megfogalmazni az egyes esetek mellett és ellen, így a döntéstámogatás meg tudott valósulni. Az organizációs videó készítéséhez szükséges ütemtervet Bexelben készítettük el, törekedve arra, hogy a legvalóságosabb időintervallumokat adjuk meg. A döntéstámogatást ez a módszer elő tudta segíteni, mivel az időbeli ütemterv információt tudott szolgáltatni a kétfajta épületlefedés technológiai, időbeli különbségeiről. Ezek alapján azok előnyei és hátrányai is felismerhetőek és rögzíthetőek voltak. Ez egy példa arra, hogy a BIM módszertan által mi-

ként lehet például az épület kivitelezését szimulálni, aminek köszönhetően valós adatok nyerhetőek és összehasonlítások végezhetőek.

Az OID, vagyis Object Identifier objektumazonosítót jelent. A BIM modellben minden objektumot egyedi azonosítóval kell megjelölni. Ezt a kódrendszert magunk is kitalálhatjuk, lehet egy könnyen értelmezhető kód vagy olyan klasszifikációs hivatkozás, amely párhuzamban áll az egyes termékadatbázisokkal. Az organizációs videó készítéséhez elengedhetetlen volt egy kódolási rendszer kitalálása, ami alapján az ütemterv egyes lépései azonosíthatóak, valamint a két program közötti adatcsere biztosítható. A rendszer úgy alakult ki, hogy először főkategóriákat hoztunk létre a munkafolyamatok alapján, ezt követően meghatároztuk a lehetséges pozíciókat (szinteket), végül meghatároztuk az elemtípusokat. Minden kategóriának egyedi azonosítója van, így az egyes elemek ütemtervi kódja ezen kategóriák azonosítóinak kombinációjából áll össze (5. ábra).

A kódolási rendszerünk szerint például a zárófödém szinten elhelyezkedő acél rácsostartó az „SE_Z.á” kódot kapja. E módszerrel az összes elemhez egyedi azonosítót tudunk rendelni, ami alapján az ütemterv és a modell elemek összekapcsolhatóak, majd az organizációs videó elkészíthető. Ehhez a modellt IFC formátumban importáltuk a Bexelbe. Az ütemterv elkészítése után kiválasztási készleteket hoztunk létre az ütemezési kódok segítségével, hogy az ütemtervben megadott, egyes munkafolyamatokhoz tartozó kódokkal összekapcsolhatóak legyenek a logikai műveletek. A modellelemek és munkafolyamatok összekapcsolását követően az organizációs videó elkészíthető, így a kivitelezés 3 dimenziós térben szimulálható. Az elkészült organizációs videó tanulságos volt, látványos módon tudtuk vele reprezentálni a kivitelezés ütemtervének egy-egy lépését, a pontos épületszerkezeti elemeket. Ez az animáció volt segítségünkre a két típusú lefedés kivitelezési idejének összehasonlítása esetében is.

5. ÁBRA:

A térbeli organizáció elkészítéséhez felállított kódolási rendszer

munkanem	elnevezés	pozíció	elnevezés	elemtípus	elnevezés
zsaluzás	ZS	alapozási szint	A	pillérek	p
tereprendezés	TE	pinceszint	P	vb. falpanel	f
gépészet	GE	földszint	F	alapozás	a
szigetelés	SZ	első emelet	E	válaszfal	v
burkolat	BU	zárófödém szint	Z	légtechnika	l
vasalás	VA	nem meghatározott pozíció	X	hőszigetelés	h
betonozás	BE			vízszigetelés	i
falazás	FA			közmű	k
szerezés	SE			vb. födémpanel	m
festés	FE			nyílászárók	n
				lelátó	o
				lépcső	c
				vb. főtartó	ő
				acél rácsostartó	á
				vb. talpgerenda	t
				vb. alapgerenda	g
				aljzatbeton	z
				homlokzatburkolat	b
				tető	ű
				talaj	j

5. | AZ ALTERNATÍV LEFEDÉSEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A főtartókat a kivitelezési idő és nehézség szempontjából vizsgálva megállapítható, hogy csak kismértékű különbség tapasztalható a két típus kivitelezése között a vasbeton főtartó javára. Az acél rácsostartó kivitelezése valamivel több időt vesz igénybe a vasbeton tartóval szemben. Amikor a helyszínre érkezik egy acél tartó, plusz egy napra van szükség az elemek összeszereléséhez, mivel nem egy darabban gyártják azt, hanem az egyes darabokat a helyszínen illesztik össze. További egy nap, amíg tűzálló bevonattal látják el és az megszárad. Ezen kívül, amikor az acél tartó már a helyére került, a csavarokat még meg kell húzni és mindez csak műszaki ellenőr jelenlétében történhet. Ezzel szemben a vasbeton tartókat daru segítségével emelik be a helyükre, majd rögzítik őket. A vasbeton tartókat lehet közúton szállítani a 36/2017. (IX. 18.) NFM rendelet alapján [25]. A szállítás egy ilyen méretű gerenda esetében azonban több plusz feladattal jár. A gerenda szállításához külön erősítési rendszert kell általában tervezni, amely növeli a gerenda keresztirányú merevségét és ellenáll a forduláskor fellépő centripetális erőnek. A megerősítő rendszert előre megtervezik, általában egy feszítőhuzalt helyeznek el, amit a gerenda mindkét végén rögzítenek. A feszítés előnye, hogy kevesebb alátámasztást igényel a tartó, az előfeszítésnek köszönhetően azonnal működik. Ezen kívül az adott szállító cég lehetőségeiről is tájékozódni kell, általában meg van adva, hogy naponta hány darab gerenda szállítását tudják vállalni. A BIM rendszer itt is segítségünkre van, mert így az ütemterv is egyértelműbbé tud válni a kódolási rendszer segítségével.

Vizsgálati szempont lehet még a kétféle tartó magassága is, mivel ez befolyásolja a belmagasságot, ami pedig számos épületfenntartási folyamatra van hatással, például a fűtésre. Ezen kívül az acéltartók között a gépészet könnyen elve-

zethető, míg a vasbeton tartó esetében előre megtervezett áttörések készítése szükséges. Itt is jelen van a BIM, mint lehetőség, mivel az ütköztetésvizsgálat során előkerülnek a lehetséges problémák a gépészet szerelésével kapcsolatban.

A BIM modellezés során előnyként ki kell emelni, hogy a megmodellezett főtartókat szerkezeti analízisre alkalmas programba (pl. AxisVM) átmportálva analízist lehet rajta végezni, illetve az önsúlyt is ki lehet nyerni az adott tartóra vonatkoztatva. Önsúly szempontjából az acélszerkezet előnyösebb, tűzvédelmi szempontokat vizsgálva pedig a vasbeton a kedvezőbb. A BIM módszertan segítségével előrébb juthatunk a döntéstámogatásban, amikor ilyen szempontokat vizsgálunk, mivel a könnyed adatcsere miatt gyorsabban kapunk információt például egy adott elem önsúlyáról vagy szerkezeti paramétereiről.

Az építészeti szempontok is meghatározóak az ideális megoldás kiválasztása során, e tekintetben a vasbeton tartót ítéltük kedvezőbbnek. A karbantartási igényt is érdemes vizsgálni mindkét tartó esetében. A vasbeton főtartó esetében ez nem jelentős, esetleg portalanítás szükséges időnként. Az acél rácsostartón ezzel szemben 5-10 évente meg kell újítani a tűzvédő bevonatot, illetve a korrózióvédelem megfelelőségét is ellenőrizni kell. Természetesen számos egyéb szempont is közrejátszik egy valós projekt esetében, mint gazdaságosság, üzemeltetési költségek, fenntarthatóság, amely szempontok vizsgálatára jelen tanulmányunk nem terjedt ki.

6. | KONKLÚZIÓ

Kutatásunk során sikerült elsajátítanunk a BIM alapú modellezést, megtapasztalva, hogy ennél a rendszernél sokkal tudatosabban kell elvégezni a modellezést már a letelejtől kezdve. Egy BIM modell lényege az adattartalom, ez külön-

bözteti meg egy egyszerű 3D-s épületmodellről. Fontos kiemelnünk, hogy az adatgyűjtés során olyan információkat kaptunk az egyes források és eszközök segítségével, amik különbözőképpen integrálhatóak voltak a BIM modellbe, ezáltal segítségünkre voltak a tervezési terület elemzésében, a koncepcionális tervezésben, valamint az ideális tartószervezeti megoldás kiválasztásában. A plusz adatok egy része a modellelemekhez hozzárendelve ad többletinformációt, míg a térképi állományok, mint például az OpenStreetMap-ről letöltött téradatok közvetlenül felhasználhatóak a modellezés, tervezés során is. Kutatásunk során bebizonyosodott számunkra, hogy a BIM módszertan hatékonyan felhasználható az alternatív műszaki megoldások elemzéséhez és összehasonlításához már a koncepcionális tervezés során. A döntéstámogató módszerek fejlesztése érdekében hosszútávra tekintve fontos, hogy a BIM és a GIS rendszerek, valamint a különböző adatbázisok között az adatátvitel minél könnyebb legyen, amire már láthatóak törekvések a hazai és nemzetközi szakirodalomban is.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Ajtayné Károlyfi Kitti:** Korszerű módszertanok az építészetben. Előadás, Széchenyi István Egyetem, 2021.
- [2] **Lechner Tudásközpont Területi, Építészeti és Informatikai Nonprofit Kft.:** Okos város fejlesztési modell módszertani útmutató, 2017. november, <https://lechnerkozpont.hu/doc/okos-varos-okos-varos-fejlesztési-modell-módszertani-utmutato-20171130.pdf>
- [3] **Zagorác Márk, Szabó Beatrix:** BIM-kézikönyv Bevezetés az épületinformációs modellezésbe, Lechner Nonprofit Kft., 2018, <https://lechnerkozpont.hu/doc/terbeli-szolgáltatások-attekintés/lechner-tudaskozpont-bim-kezikonyv-1-kötet-1-kiadás.pdf>
- [4] **Farkas Mónika, Ragasits Patrícia:** Sportcsarnok lefedés alternatív megoldásainak összehasonlítása BIM alapokon, TMDK dolgozat, Tudományos és Művészeti Diákköri Konferencia, Épített környezet szekció, Győr, Széchenyi István Egyetem, 2021. november 24.
- [5] **Lihui Wang, Weiming Shen, Helen Xie, Joseph Neelamkavil, Ajit Pardasani:** Collaborative conceptual design – state of the art and future trends. *Computer-Aided Design*, 34(13), 2002, pp. 981-996, [https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(01\)00157-9](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(01)00157-9)
- [6] **Rafael Sacks, Chuck Eastman, Ghang Lee, Paul Teicholz:** BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers and Contractors, and Facility Managers. John Wiley & Sons, 2018, 688 p.
- [7] **Maarten Albert van Eldik, Faridaddin Vahdatikhaki, João Miguel Oliveira dos Santos, Maarten Visser, Andre Doree:** BIM-based environmental impact assessment for infrastructure design projects. *Automation in Construction* 120, 2020, 103379, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103379>
- [8] **Asser Elsheikh, Tewodros Temede Baza, Gizachew Megersa Dabi, Lami Sileshi Dereje:** Energy analysis of building structures using bim: a review. *System Technologies* 1(38), 2021, pp 77-81, <https://cyberleninka.ru/article/n/energy-analysis-of-building-structures-using-bim-a-review>
- [9] **Sungjin Kim, Matthew Peavy, Pei-Chi Huang, Kyungki Kim:** Development of BIM-integrated construction robot task planning and simulation system. *Automation in Construction* 127, 2021, 103720, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103720>
- [10] **José Pedro Carvalho, Luís Bragança, Ricardo Mateus:** Sustainable building design: Analysing the feasibility of BIM platforms to support practical building sustainability assessment. *Computers in Industry* 127, 2021, 103400, <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103400>
- [11] **Seul-Ki Lee, Ka-Ram Kim, Jung-Ho Yu:** BIM and ontology-based approach for building cost estimation. *Automation in Construction* 41, 2014, pp. 96-105, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.020>
- [12] **Jung In Kim, Jonghoon Kim, Martin Fischer, Ryan Orr:** BIM-based decision-support method for master planning of sustainable large-scale developments. *Automation in Construction* 58, 2015, pp. 95-108, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.003>
- [13] **Pawel Nowak, Mariola Książek, Marcin Draps, Jacek Zawistowski:** Decision making with use of building information modeling. *Procedia Engineering* 153, 2016, pp 519-526, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.177>
- [14] **Tan Tan, Grant Mills, Eleni Papadonikolaki, Zhening Liu:** Combining multi-criteria decision making (MCDM) methods with building information modelling (BIM): A review. *Automation in Construction* 121, 2021, 103451, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103451>
- [15] **Ankan Karmakar, Abhishek Raj Singh, Venkata Santosh Kumar Delhi:** Automated route planning for construction site utilizing building information modeling. *Journal of Information Technology in Construction* 27, 2022, pp. 827-844, <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.040>
- [16] **Hamidreza Alavi, Rafaela Bortolini, Nuria Forcada:** BIM-based decision support for building condition assessment. *Automation in Construction* 135, 2022, 104117, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104117>
- [17] **Hao Wang, Yisha Pan, Xiaochun Luo:** Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis. *Automation in Construction* 103, 2019, pp. 41-52, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.005>
- [18] **Junxiang Zhu, Peng Wu:** BIM/GIS data integration from the perspective of information flow. *Automation in Construction* 136, 2021, 104166, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104166>
- [19] **Massimiliano Pepe, Domenica Costantino, Vincenzo Saverio Alfio, Alfredo Garofalo Restuccia, Nicola Massimiliano Papalino:** Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural heritage site. *Journal of Cultural Heritage* 50, 2021, pp. 115-125, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.05.006>
- [20] **Győr-Moson-Sopron megye Területrendezési terve,** http://gis.teir.hu/rendezes_gyms_trt_ov
- [21] **Győr PH - Térinformatikai rendszer,** <http://195.228.178.212/mapguide/gyor/internet.php>
- [22] **Google Street View,** <https://www.instantstreetview.com>
- [23] **BIM Forum:** Level of Development (LOD) Specification, 2021, <https://bimforum.org/resource/%EF%BF%BC%EF%BF%BClevel-of-development-specification/>
- [24] **Bexel Manager:** Building the future of digital construction together, <https://bixelmanager.com>
- [25] **36/2017. (IX. 18.) NFM rendelet** a meghatározott összetömeget, tengelyterhelést, tengelycsoport-terhelést és méretet meghaladó járművek közlekedéséről, <https://njt.hu/jogszabaly/2017-36-20-2W>

Dr. Somfai Attila*

ÓVATOSSÁGI AJÁNLÁSOK NAGYFESZÜLTSGŰ TÁVVEZETÉKEK EMBERLAKTA ÉPÍTETT KÖRNYEZETBEN TÖRTÉNŐ ELHELYEZÉSÉHEZ

PRECAUTIONARY RECOMMENDATIONS FOR THE PLACEMENT OF HIGH-VOLTAGE POWER LINES IN A POPULATED BUILT ENVIRONMENT

KIVONAT / HUN

Az írás kitér a nagyfeszültségű távvezetékek által keltett extrém alacsony frekvenciájú elektromágneses erőtterekre, köztük különös tekintettel a mágneses erőtterekre, mivel azok aggályosabbak lehetnek az egészségre, leginkább gyermekekre és magzatokra. Bár a statisztikai eredmények elgondolkodtatók, tudományosan még nincs kielégítő magyarázat az epidemiológiai eredményekre a mágneses tér ok-okozati összefüggés tekintetében, és a megállapításokat nem támasztják alá laboratóriumi adatok vagy elfogadott biológiai mechanizmusok.

Ez a téma több tudományág együttműködését igényli. Az írás kitér a hazai jogszabályi háttérre, műszaki kérdésekre, a környezetre gyakorolt hatásokra, az orvostudományi kutatásokra, a WHO által ajánlott óvatossági intézkedésekre, valamint arra, hogy számos ország a mágneses indukciós erőtérre vonatkozó egészségügyi határérték lecsökkentését fontolgatja az állampolgárai egészségének védelmében. Számos országban megfigyelhető az egészségügyi határértékek szigorodása, ajánlásként. Ezen felül további kihívást jelent a nagyfeszültségű távvezetékek kialakításmódja, különös tekintettel az érintett ingatlanok és a települések megfelelőbb védelmére. Az írás rámutat arra is, hogy a légkábelek helyett előnyösebb lenne a földkábelek használata, és hogy a transzformátorokat lehetőleg ne az épületekbe, hanem azoktól távolabb lenne célszerű elhelyezni.

Kulcsszavak: nagyfeszültségű távvezetékek, elektromágneses erőtterek, egészségügyi kockázat, biztonsági övezet, várostervezés

ABSTRACT / ENG

The paper covers extremely low-frequency electromagnetic fields generated by high-voltage power lines, including magnetic fields in particular, as they can be more of a health concern, especially to children and fetuses. Although the statistical results are thought-provoking, there is no accepted biological mechanism to explain the epidemiological results; indeed, the relation may be due to chance or confounding. This topic requires the collaboration of several disciplines. The paper covers the legal background in Hungary, technical issues, the effects on the environment, medical research, the precautionary measures recommended by the WHO, and the fact that many countries are considering lowering the health limit for magnetic induction fields to protect the health of their citizens. The tightening of health limit values as a recommendation can be observed in many countries. In addition, an additional challenge is the design of high-voltage transmission lines, especially with regard to the better protection of the properties and settlements concerned. The paper also points out that a ground cable would be preferable to overhead cables. Finally, it noted that transformers should preferably be located not in buildings but further away from them.

Keywords: high-voltage power lines, electromagnetic fields, health risk, safety zone, urban planning

* okl. építészmérnök, PhD, egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem, Győr, e-mail: somfai@sze.hu

Megjegyzés a Magyar Építőipar szerkesztőbizottságának elnökétől:

Az cikk témája ugyan nem tartozik lapunk szigorúan vett kompetenciájába, de a szerkesztőbizottság hosszú vita után úgy döntött, hogy a szaklektorok észrevételei alapján több részletében átdolgozott írást az abban található építési-városrendezési összefüggései, az esetleges veszélyekre való figyelemfelhívás miatt közzé teszi azzal a megjegyzéssel, hogy nem minden megállapítását vélte igazoltnak. A szerzővel együtt örömmel vennénk, ha a téma körül egyfajta szakmai vita bontakozna ki, szívesen közölnénk a cikkhez érkező hozzászólásokat!

1. | BEVEZETÉS

Bár nincs elégséges, mindent kizáró bizonyíték arra, hogy az ún. extrém alacsony frekvenciájú elektromágneses tér (ELF-EMF: extremely low-frequency electromagnetic field) biztosan rákot okoz, a címben felvetett téma mégis időszerű. Az utóbbi években ugyanis a fejlett világ országainak jó része ún. óvatossági ajánlásokat – sőt Kaliforniában miniszteri rendeletet – vezetett be a kórházak ill. gyermeknevelési intézmények építéskor a nagyfeszültségű távvezetésektől való megfelelő védőtávolságok betartására annak érdekében, hogy a tartós mágneses indukciós kitettség az ajánlott határértéknél ne legyen magasabb. Ez az ajánlott egészségügyi határérték az 50 Hz-es villamoshálózatra számos országban 0,4 μ T-ra szigorodott, azonban hazánkban ennek 250-szerese maradt, azaz 100 μ T (mikrotésla).

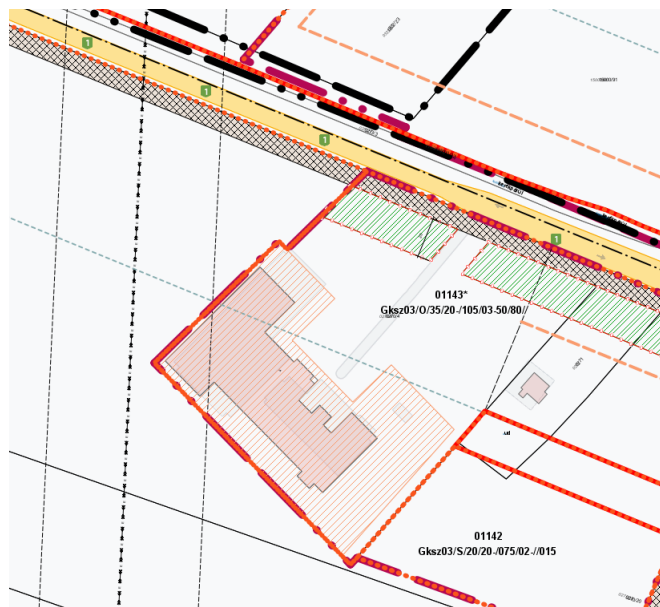
A távvezetékek és gigantikus tartóoszlopaik esztétikai megjelenése – és vele az emberi pszichére gyakorolt hatása – előnytelen környezetünkben, ha a távvezeték légvezetéként építették ki, és nem földkábelként, bár az utóbbi költségesebb [1. és 2. ábra]. Még lényegesebb, hogy a nagyfeszültségű távvezetékek, alállomások, transzformátorok túlzott közelsége számos átfogó orvostudományi kutatómunka szerint aggályos életlenül is, ha tartós kitettségről van szó (közelben lakás, tartós munkavégzés). Van olyan betegségtípus, amelynek statisztikai korrelációt mutatnak a keltett jelentősebb mágneses erőterrel, amely erőteret azonban nem csak nagyfeszültségű távvezetékek, hanem közép- és kisméretű létesítmények és berendezések is kelthetnek. A Nemzeti Népegészségügyi Központ Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztály által írt „Veszélyes-e az elektromágneses tér az egészségre?” című lakossági tájékoztatóban – amely az



1. ÁBRA: A jelenleg is érvényes védőtávolság-előírások negligálása: 400kV-os légtávvezeték szélső szála a 2004-ben épült Győr, Bécsi úti ipari csarnoktól mindössze kb. 8 m-re, az előírt 28 m helyett [a szerző mérése, Google Earth [1]]

Európai Bizottság SCENIHR nevű tudományos bizottságának 2015. évi elemzéseit tekinti át – az olvasható, hogy ilyenféle statisztikai összefüggés bár kimutatható, de a jelenség tudományos magyarázatával adós a tudomány (így az összefüggés nem tekinthető ok-okozati összefüggésnek): „Epidemiológiai (járványtani) tanulmányok az extrém alacsony frekvenciájú terek (ELF) expozíciójához – amely származhat például abból, hogy valaki hosszabb időn keresztül egy nagyfeszültségű távvezeték közvetlen környezetében él – kötik a gyermekkori leukémia (egy ritka vérrák fajta) nagyobb gyakoriságát. Ezt az összefüggést nem magyarázzák és támasztják alá az állatokon és a sejteken végzett kísérletek. Az eddigi kutatási eredmények nem találták meg azt a lehetséges mechanizmust, amely megmagyarázná ezt az összefüggést. További kutatások kellene, hogy a lehetséges ok-okozati összefüggést megerősítsék, vagy cáfolják. (...) Az eddigi adatok teljes vizsgálata nem szolgáltatott semmilyen peröntő bizonyítékot az elektromágneses tér (EMF) veszélyességére. Ennek ellenére ajánlatos további vizsgálatokat végezni, különösen a nagyon hosszú idejű és a több forrásból származó expozíciók lehetséges kockázataival kapcsolatban” [3, 4].

Megjegyzendő, hogy az említett SCENIHR (Újjonnan felmerülő és újabban azonosított egészségi kockázatok tudományos bizottsága) utódja 2016-tól a SCHEER (Egészségügyi, környezeti és újjonnan felmerülő kockázatok tudományos bizottsága) lett. A SCHEER a 2022. augusztus 16-án kiadott munkaközi előzetesében a korábbi EU-direktívák felülvizsgálatának általános szándékát fogalmazta meg. A részleteket illetően az extrém kisméretű elektromágneses terek (ELF-EMF) vizsgálatai mellett a hangsúly érzékelhetően áttolódik a 100 kHz – 3 GHz frekvenciájú ún. rádiófrekvenciás elektromágneses terek (RF-EMF) vizsgálatára, mivel a jelenlétük egyre fokozódik életünkben – a rádióadó-tornyokon túlme-



2. ÁBRA: Rendezési terv részlet [2], melyen szembetűnően látszik, hogy a bécsi úti 400 kV-os Bős-Győr távvezeték védőtávolsága sajnos erősen ráharap a kereskedelmi szolgáltató övezetben elhelyezett csarnoképületre. A rendezési terv nem mutatja a 400KV távvezeték szélső szálait, csak a tengelyét, és a tengely mindkét oldalán 38 m sávot jelöl, mint védőtávolságokat.

nően a mobiltelefonía és wifi-berendezések formájában – így borítékolható, hogy lényeges újdonságok várhatók a SCHEER jövőbeli állásfoglalásaiban is. De jelen írásban visszakanyarodunk az ELF-EMF témakörhöz, benne különös tekintettel a nagyfeszültségű távvezetésekre.

2. | A HAZAI VEZETÉKHÁLÓZATRÓL ÉS AZ ÚN. VEZETÉKJOGRÓL

A hazai nagyfeszültségű villamosenergia-hálózat ún. átviteli hálózata 1 db 750 kV-os távvezetékéből és jónéhány 400 kV-os, valamint 220 kV-os távvezetékéből áll. A főelosztó hálózat nagyszámú 132 kV-os (korábban 120 kV-os) nagyfeszültségű távvezetékéből áll [5], az elosztóhálózat pedig 35, 20 és 10 kV-os távvezetésekből. Fogalmilag 35 kV felett beszélünk nagyfeszültségről (NAF), 35 és 1 kV között középfeszültségről (KÖF), 1 kV alatt pedig kisméretű feszültségről (KIF).

A hazai földhivatali nyilvántartásba – törvényi szabályozás alapján, a lakosok akaratától is függetlenül – be kell jegyezni a telkekre a távvezeték-jelenlételet ún. vezetékjog formájában. A vezetékjog egyfajta szolgalmi jog, amelynek a jogosultja – a villamoshálózat üzemeltetője – a vezetékjoggal megterhelt ingatlanon föld feletti vagy föld alatti vezeték építhet, valamint szükség esetén használhatja az ingatlan tulajdonos engedélye nélkül is. Hazai specialitás, hogy „a villamosenergia-ipari építésügyi hatósági engedélyezési eljárásokról” szóló 382/2007. (XII. 23.) Kormányrendelet [6] még arra is lehetőséget biztosít, hogy a már meglévő vezeték esetében is be lehessen jegyeztetni a vezetékjogot, ha ez a korábbi időkben még nem történt meg – erre ugyanis a hálózatüzemeltetőknek még mindig lehet fennmaradási engedélyt kérniük. A vezetékjog gyakorlása ingatlanérték-csökkenéshez vezet, ezért kártalanításra tarthat igényt a tulajdonos, kivéve sajnos, ha már egy meglévő vezetékre jegyeznek be utólag vezetékjogot [7]. Leendő nagyfeszültségű távvezeték létesítése esetén az építési engedélyezési eljárás során jogorvoslattal lehet élni az engedélykiadás ellen, pl. ha az ingatlanból túl nagy terület foglalna el a tervezett vezeték, a telek rendeltetészerű használatát is akadályozva, kártalanítás helyett az ingatlan kisajátítását kérve. Mivel a kisajátítás jóval költségesebb, mint a kártalanítás, így a hálózat-üzemeltetők arra törekednek, hogy még az eljárás előtt megkeressék az érintett ingatlanok tulajdonosait és megállapodást köthessenek velük a kártalanításról.

3. | AZ ÚN. BIZTONSÁGI ÖVEZETRŐL

„A villamosművek, valamint a termelői, magán- és közvetlen vezeték biztonságai övezetéről” szóló 2/2013. (I. 22.) NGM rendelet határozza meg a távvezeték mentén az ún. biztonsági övezet méretét [8].

Föld feletti szabadvezeték – azaz szigetetlen légkábél – esetén a biztonsági övezet a vezeték mindkét oldalán, a szélső áramvezető kábeltől – vízszintesen és a kábelnyomvonalra merőlegesen – mért, következő távolságokra lévő függőleges síkokig terjed: 500 kV-ot meghaladó névleges feszültségű

felett 40 m, 300-500 kV között 28 m, 200-300 kV között 18 m, 35-200 kV között 13 m, 1-35 kV névleges feszültségszint között pedig 5 m [de az utóbbi vezeték azon szakaszán, amely a belterületre és a fokozott biztonságra vonatkozó előírásainak megtartásával létesült, csak 2,5 m]. Ha azonban nem szigetetlen légkábélről hanem – a közvetlen érintésvédelem követelményeit is teljesítő – szigetelt légkábélről van szó, akkor a szélső áramvezetőktől mindössze 0,5 m-re kell legyen biztonsági övezet szélét képező függőleges sík. Ha pedig ún. burkolt légkábélről van szó, amelynek bevonata nem elégíti ki a közvetlen érintésvédelem követelményeit – akkor a vezeték-től 2,5 m-re van a biztonsági övezet szélét képező függőleges sík [de az utóbbi vezeték azon szakaszán, amely a belterületre és a fokozott biztonságra vagy a különleges biztonságra vonatkozó előírásoknak megtartásával létesült, csak 1,25 m]. A föld alatti vezeték előírt biztonsági övezete kisebb, mint a légkábélké. A legfeljebb 35 kV-os föld alatti vezeték esetén a vezeték-től 1 m-re kell legyen biztonsági övezet szélét képező függőleges sík, 35 kV feletti feszültség esetén pedig 1,5 m-re. Még kedvezőbb a védőcsővel / kábelcsatornával védett szigetelt földkábel esete, ahol a védőszerkezet szélétől mért 0,2 m-re van a függőleges sík [több védőszerkezet esetén a távolságot csak a szélső szerkezettől kell megtartani]. Falra szerelt szigetelt vezeték biztonsági övezete a vezeték köpenyétől a légtér felé mért 0,5 m-ig terjed, ha alépítményben, vagy építményben belül (de elkülönített légtérben) van, akkor csak a vezeték légtérét határoló falak külső felületéig terjed a biztonsági övezet.

A jogszabály kiterjed még a szabadtéri átalakító- és kapcsoló berendezésekre (pl. transzformátorokra) a névleges feszültségtől függően 5-től 15 m-ig terjedő védőtávolságaira valamint arra is, hogy föld feletti vagy föld alatti épületben / építményben elhelyezett átalakító és kapcsoló berendezés biztonsági övezetét a berendezés falainak külső felületei határolják.

4. | AZ ÉPÍTÉSI ÉS MÁS TEVÉKENYSÉGEK KORLÁTOZÁSA TÁVVEZETÉKEK KÖZELÉBEN

A jelenleg érvényes szabályozás szerint a nagyfeszültségű távvezeték vonalát követő, a távvezeték névleges feszültségétől függő szélességű kísérő zónában – néhány tíz méteres ún. biztonsági övezetben – korlátozzák az építési tevékenységet, de egyértelműen csak az 500 kV feletti feszültségű biztonsági zónájában tiltott a huzamosabb emberi tartózkodásra szolgáló létesítmények építése. A baj ott van, hogy a kisebb névleges feszültségű távvezeték esetén országosan nem egységes a korlátozás. Dr. Hajász Bertalan szegedi jogász már 2008-ban felhívta a figyelmet arra [9], hogy a 120 kV-os (újabbán 132 kV-os) távvezeték esetében Kazincbarcika, Miskolc vagy Pécs építési szabályzatával szemben Szegeden nem tiltott, hogy bárki a 132 kV-os légtávvezeték biztonsági zónáján belülre építkezzen, így 2-4 m-re is állnak házak a vezeték-től. Ez a fajta engedékenység hibának tekinthető a helyi jogszabályalkotók részéről, tekintettel arra is, hogy egy ilyen hálózat a mai előírások értelmében már nem is épülhetne meg szabad légvezeték-ként, hanem csak földkábelként.

A már említett 2/2013. (I. 22.) NGM rendelet [8] a föld feletti távvezetékek biztonsági övezetében – többek között – tiltja az oszlopok és toronyszerű építmények, szerkezetek, daru vagy állványzat létesítését, mint ahogy a gémeskút, benzin-kút, vagy tűzveszélyes anyagot tartalmazó tartály létesítését is. A növénytelepítést is korlátozza, hiszen 5 m-nél magasabb növényzet nem lehet a biztonsági övezetben, és erdő / gyümölcsös is csak a MAVIR Zrt. hozzájárulásával telepíthető a távvezeték közelébe. A jogszabály kiter az anyagátrolás, munkagépek, táblák elhelyezésének korlátaira, sőt még a repülő alkalmatosságokkal való megközelítés tilalmára, ill. a jogosulatlan felmérés tilalmára is. A jogszabály előírja az antennák és villámhárítók legkisebb megengedett távolságát is a távvezetésektől. Tábor, kemping, vásártér, sportpálya, játszótér, gyakorlótér, karám, kijelölt autóparkoló, tömegközlekedési járművek megállóhelye 100-500 kV közötti névleges feszültségű vezeték esetében csak akkor létesíthető, ha az említett védőtávolságokra vonatkozó előírások megtarthatóak.

A jogszabály szerint a föld alatti távvezetékek biztonsági övezetében is tilos bármilyen olyan építményt, berendezést építeni, elhelyezni, üzemeltetni, amely a vezeték-üzemeltető hozzájárulása nélkül történne, vagy rontja a vezeték hűlési viszonyait, vagy megnehezíti a vezeték üzemeltetését, karbantartását vagy az üzemzavarok elhárítását. A jogszabály üzemeltetői hozzájáruláshoz köti a robbantást, útfelbontást, árok- és gödörásást, tűz- és robbanásveszélyes anyagok tárolását stb.

5. | AZ ÉPÍTETT KÖRNYEZETRE ÉS AZ EGÉSZSÉGRE GYAKOROLT KÁROS HATÁSOKRÓL

Sajnos arra is voltak példák a múltban, hogy – városfejlesztési kényszer okán – oly módon építették ki a nagyfeszültségű légtávvezeték légkabelét sűrűn lakott településrészekben, hogy a vezeték egyes helyeken a meglévő épületek fölé került be utólagosan (3. ábra). Mindez az előnytelen esztétikai megjelenésen túlmenően fokozott pszichés terhet is jelent a lakosság számára.

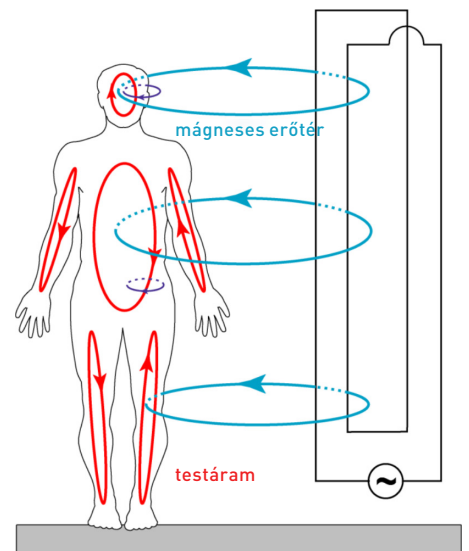


3. ÁBRA: 132 kV-os távvezeték Győr sűrűn lakott részén, a nádorvárosi városárcsarnoknál, amely a közeli Tihanyi Árpád utcai lakóházak felett is áthalad (fotó: Google Earth [10])

A nagyfeszültségű távvezetékek ún. extrém kismagfrequentiajú elektromágneses erőtereket (ELF-EMF) keltenek. A nagyfrequentiajú elektromágneses sugárzástípusokkal (ionizáló sugárzás, látható fény, nem ionizáló sugárzás) szemben az extrém kismagfrequentiajú erőterek jellemzője, hogy a keltett villamos erőter és a keltett mágneses erőter jól különválasztható [11]. A nagyfeszültségű távvezetékek által keltett villamos erőter (elektromos mező), valamint a keltett mágneses erőter (mágneses mező) hatásai eltérőek az élő szervezetre. A kettő közül a keltett mágneses mező tűnik károsabbnak az egészségre, azonban ezt még nem tekinthetjük tudományosan bebizonyítottnak. Bár az Egészségügyi Világszervezet (WHO) már 1998-ban úgy vélekedett, hogy a villamos erőter egészen 20 kV/m térerősségig nem jelent veszélyt az egészségre, azonban a mágneses erőteret a gyermekkori leukémiás esetek alapján „lehetséges emberi rákkeltőnek” sorolta be, azzal a megjegyzéssel, hogy e kérdésben további kutatások szükségesek [12]. Ez a besorolás a legenyhébb a három kategória közül (”emberi rákkeltő”, ”valószínű emberi rákkeltő” és ”lehetséges emberi rákkeltő”), amelyet a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség (IARC) használ a lehetséges rákkeltőknek a közzétett tudományos bizonyítékokon alapuló osztályozására (ilyen „lehetséges emberi rákkeltő” ágens például: a kávé, a benzinmotor kipufogó gáza, az ELF mágneses tér).

Lényeges szempont az is, hogy a nagyfeszültségű távvezetékek által keltett mágneses erőter változó (pulzáló) mivolta is egészségkockázati szempont, szemben például a Föld mágneses terével, amelynek erőssége bár 54 µT, azonban az nem szinuszosan változó erőter, hanem állandó erőter, ezért nem indukál ún. testáramot (4. ábra) [11].

Később a WHO 2001-ben és 2007-ben is lehetséges emberi rákkeltőnek minősítette a nagyfeszültségű vezeték által keltett elektromágneses tereket [9]. Szente Magdolna, az SZTE Élettani, Szervezettani és Idegtudományi Tanszék tanára szerint az élő szervezetre gyakorolt további káros hatások közé tartozhatnak az idegi panaszok, krónikus fáradtságtünetek, mozgásszervi gyengeség, fejfájás, szorongásos állapotok és alvászavarok is [14, 15]. Bár ezen tünetek valóságosak, pillanatnyilag semmilyen bizonyíték nincs arra, hogy ezeket valóban az EMF okozza.



4. ÁBRA: A változó mágneses erőter által indukált rendellenes örvényáramok, az ún. testáramok [13]

1. TÁBLÁZAT: Különbéle ráktípusok relatív kockázata 0-14 évesek között, a születés kori lakóhely és a nagyfeszültségű légtávvezetékek között mért távolság függvényében, az azonos lakóhelyeken született gyermekekből álló kontrollcsoport adataihoz képest, [16] alapján. Piros számok emelik ki a gyermekleukémia kiugróan magas kockázati értékeit.

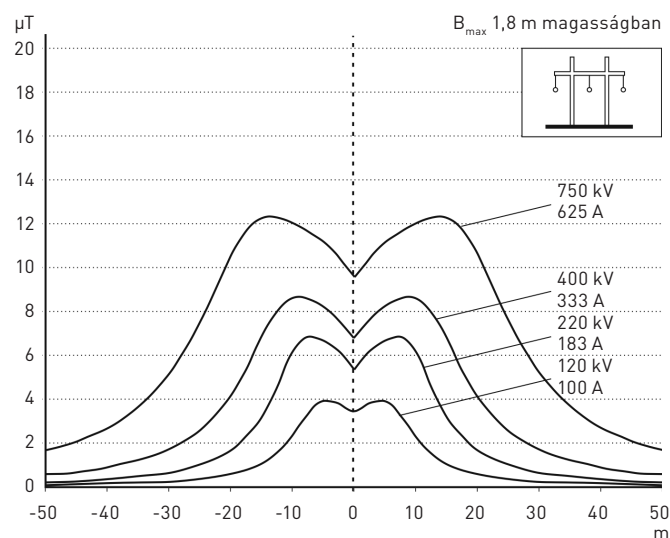
távolság a vezetéktől (m)	leukémia			központi idegrendszeri / agyi daganat			egyéb diagnózisok		
	eset	kontroll	rel. kockázat	eset	kontroll	rel. kockázat	eset	kontroll	rel. kockázat
0-49	5	3	1,67	3	7	0,44	7	6	1,17
50-99	19	11	1,79	4	6	0,69	15	16	0,91
100-199	40	25	1,64	26	32	0,82	37	45	0,81
200-299	44	39	1,16	38	28	1,35	66	75	0,87
300-399	61	54	1,15	35	30	1,19	79	65	1,21
400-499	78	65	1,23	40	42	0,96	80	97	0,82
500-599	75	56	1,36	54	41	1,33	86	85	1,01
≥600 (kontrollcsoport)	9378	9447	1,00	6405	6419	1,00	12406	12386	1,00
összesen	9700	9700		6605	6605		12776	12776	

Az egészségkárosodás kockázatának gyanúját mutatták ki 2005-ben a tudományos összehasonlító vizsgálatok is, amely során a – főként 275 kV-os és 400 kV-os, elvétve 132 kV-os – távvezetékek közelében lakók egészségromlási statisztikáit vetették össze a távvezetésektől távolabb lakókéval. A British Medical Journalban közzétett publikáció [16] nagyszámú (29 ezer) 0-14 éves angliai és Wales-i daganatos gyermek adatai alapján végzett összehasonlító vizsgálatának táblázatában kimutatta, hogy a nagyfeszültségű távvezetékek 200 m-es körzetén belül lakó gyermekek körében 69%-kal nagyobb az akut limfoid leukémia (ALL) kockázata, de még 200-600 m-es távolságban is 23%-kal nagyobb a rizikó, a 600 m-nél tovább lakó kontrollcsoport adataihoz képest (**1. táblázat**). Fontos leszögezni azonban, hogy a gyermekleukémiával szemben az egyéb gyermekkori rosszindulatú daganatok vonatkozásában az említett táblázat nem mutat kapcsolatot a távvezeték távolsága és a kockázat között [17]. Mivel a BMJ-publikációban ismertetett kutatás során nagyszámú beteget vizsgáltak meg – a 29081 daganatos gyermek harmada (9700 fő) szenvedett akut limfoid leukémiában – így a gyermekleukémiás megbetegedéseknek a nagyfeszültségű távvezeteki távolságtól függő előfordulási valószínűségi eredményei figyelmet keltettek. Bár a 2005-ös BMJ-publikáció úgy fogalmazott, hogy „nincs még kielégítő magyarázat az eredményekre a mágneses térrel való ok-okozati összefüggés tekintetében, és a megállapításokat még nem támasztják alá laboratóriumi adatok vagy felismert biológiai mechanizmusok”, mégis az eredmények később sok hasonló statisztikai vizsgálat elvégzésére ösztönözték a kutatókat (maga a BMJ-publikáció is alapozott hasonló korábbi eredményekre, mivel kitér arra is, hogy a 2005. évnél korábban kanadai és svédországi kutatók tanulmányai is hasonló eredményre jutottak, amikor a gyermekleukémia fokozott előfordulását mutatták ki a nagyfeszültségű távvezetékek közelében, miközben másfajta gyermekkori ráktípusoknál ők sem tapasztaltak fokozott előfordulást).

Annak ellenére, hogy az IARC (a WHO rákkutatásra specializálódott nemzetközi ügynöksége) az ún. ELF mágneses teret lehetséges emberi rákkeltőként sorolta be, a lehetőség megmaradt, hogy más a magyarázata az ELF mágneses téri expozíció és a gyermekkori leukémia között mutatkozó statisztikai összefüggéseknek. Mivel az újabb keletű kutatások nem tudták megcáfolni az említett BMJ-publikációnak a statisztikákra alapozott aggályait – de a tudománytól elvárható szintű bizonyosság sem született meg – ezért a fejlett világ

országainak jó része ajánlásokat készített, benne ún. óvatossági határértékekkel a mágneses indukciót illetően. Erre bővebben is kitérek még jelen írásban, előrebocsátva azon elgondolkodtató tény, hogy Magyarországon sok éve rendíthetetlenül 100 μT az elfogadott határérték, miközben sok fejlett országban az ún. óvatossági határértéket 0,4 μT -ra csökkentették le, épp az említett 2001-es és 2007-es WHO-tanulmányok hatására [9].

Az 50 Hz-es villamoshálózat által keltett mágneses indukcióra vonatkozó ominózus 100 μT -ás hazai egészségügyi határérték története még 1999-re nyúlik vissza. A különféle egészségügyi határértékeket az Európai Tanács 1999/519/EC irányelve foglalta egységbe, később a 2004/40/EC irányelv vette át, ez utóbbira alapozva került bevezetésre hazánkban a „0 Hz – 300 GHz közötti frekvenciatartományú elektromos, mágneses és elektromágneses terek lakosságra vonatkozó egészségügyi határértékeiről” szóló 63/2004. (VII. 26.) ESzCsM rendelet [18]. A rendelet frekvenciatartományonként eltérő szabályozást tartalmaz, az 50 Hz-es (azaz 0,05 kHz-es) frekvenciájú (f) villamoshálózat a 0,025-0,8 kHz-es rendeleti kategóriába esik. E kategóriában a mágneses indukcióra vonatkozó egészségügyi határérték az 5/f képlettel



5. ÁBRA: Különböző névleges feszültségű távvezetékek mágneses indukció görbéje a földtől 1,8 m-es magasságban, a vezetékre merőlegesen mért távolság függvényében [12]

számítandó, ami az 50 Hz-es villamoshálózatra vonatkozólag $5/0,05=100 \mu\text{T}$ -t ad ki [11].

Az **5. ábrán** látható Dr. Varjú György professzor úr ábrája a különböző feszültségű távvezetékek által keltett mágneses indukcióról [12], a vezetékre merőlegesen mért távolság függvényében. Az ábrán eltűnődve megállapítható, hogy a nagyfeszültségű légtávvezetékeknél a jelenlegi hazai szabályozás szerinti ún. biztonsági övezetek szélességi méreteihez képest sajnos jóval szélesebb kitétségi területen lehet számítani arra, hogy a több ország által óvatossági határértékként figyelembe vett $0,4 \mu\text{T}$ értéket is meghaladó lesz a mágneses indukció mértéke és vele a lehetséges egészségkárosodási kockázat. E lehetséges emberi rákkeltő kockázatot egy 2007-es átfogó WHO-tanulmány adatai alapján feltételezhetjük [19]. Az 50 Hz-es nagyfeszültségű villamoshálózat által keltett ún. extrém kisméretű (ELF) erőterek környezeti hatásaival foglalkozó 543 oldalas említett WHO-tanulmány ugyanis lehetségesnek tartja a tartós mágneses indukciós erőter gyermekek leukémiát keltő hatását, még ha tudományosan nem is tekinti ezt bizonyítottnak. A WHO-tanulmány 262. oldalán a számos átfogó kutatómunkát összefoglaló **2. táblázatban** a relatív kockázati adatok kiugróak, különösen a $0,4 \mu\text{T}$ -t meghaladó tartós mágneses indukciós kitétségi oszlopában. Többek között ez a 2007-es WHO-tanulmány ösztönzött később számos országot arra, hogy a $0,4 \mu\text{T}$ -nál nagyobb kitétséget aggályosnak tekintse a kiadott ún. óvatossági ajánlásaiban.

Bár nem tekinthető tudományosan bebizonyított ténynek, mégis a nagy mintán alapuló orvostudományi összehasonlító vizsgálatok alapján az akut limfoid leukémia (ALL) fokozott előfordulása összefügghet a nagyfeszültségű légtávvezeték-től mért távolsággal és vele a mágneses indukciós kitétségi intenzitásával, valamint a kitétségi tartósságával, sőt a betegek életkorával is, mivel gyermekek esetén fokozottabbnak mutatkoznak a kockázati adatok [16, 17, 19].

Megjegyzendő, hogy nem csak a nagyfeszültségű létesítmények, hanem a kisméretű háztartási eszközök (por szívó, villanyborotva, hajszárító) is kelhetnek meglepően jelentős mágneses indukciót, azonban a készüléktől 1 m-nél nagyobb távolságban az indukció már csak kb. századrésze

a készülékközeli értéknek [12], ráadásul az otthoni használati eszközök java része csak alkalmi terhelést jelent az emberre, szemben a nagyfeszültségű légtávvezetékek által keltett tartós mágneses indukciós expozícióval (mágneses indukciós kitétséggel). Sajnos a háztartási eszközökhöz képest is jóval nagyobb a kitétségi bizonyos elektromos munkaeszközök közelében, vagy bizonyos tevékenységi körökben. Ezekre az "A fizikai tényezők (elektromágneses terek) hatásának kitett munkavállalókra vonatkozó minimális egészségi és biztonsági követelményekről" szóló 33/2016. (XI. 29.) EMMI rendelet [20] nevez meg határértékeként ún. beavatkozási szinteket a napi kitétségi időtartamától is függően. A beavatkozási szint túllépése esetére ún. cselekvési terv elkészítését és végrehajtását írja elő a rendelet. A 4. melléklet sorolja fel a kockázattértékelés jóváhagyásának kötelezettségével érintett tevékenységi köröket: 1. Villamoshálózatok üzemeltetése (100 kV fölött, ill. 100 A nominális terhelés fölött); 2. Dielektromos fűtés, illetve dielektromos hegesztés; 3. Indukciós fűtés, ill. indukciós forrasztás; 4. Rádiófrekvenciás plazmaeszközök használata; 5. Ipari elektrolízis alkalmazása; 6. Ívolvasztó kemencék üzemeltetése; 7. Indukciós olvasztó kemencék üzemeltetése; 8. Mikrohullámú szárítás; 9. Fizioterápiás diatermiás készülékek használata; 10. MRI berendezések üzemeltetése; 11. Polgári célú légiforgalmi és meteorológiai radarok üzemeltetése; 12. Villamos vasúti és városi közlekedés; 13. Rádió- és televízió műsorszórás; 14. Mikrohullámú telekommunikációs berendezések karbantartása.

6. | EGÉSZSÉGÜGYI HATÁRÉRTÉK SZIGORÍTÁSA, LÉGKÁBELEK CSERÉJE FÖLDKÁBELRE

Az újabb vizsgálati eredmények tükrében jelen cikk felveti, hogy a mágneses térerősség egészségügyi határértéke – ami hazánkban jelenleg $100 \mu\text{T}$ – felülvizsgálatra szorul és az egészség védelmében legalább ún. óvatossági határértékként szigorítandó (azaz lecsökkentendő) más fejlett országok megvalósult példáit követve.

2. TÁBLÁZAT: A gyermekek leukémia relatív kockázata a különféle erősségű mágneses indukciós erőternek való tartós kitétségi esetén, a $0,1 \mu\text{T}$ alatti erőternek kitett gyermekekből álló kontrollcsoport adataihoz képest, [19] alapján. Piros számok emelik ki a $0,4 \mu\text{T}$ -s kitétséghöz tartozó kiugróan magas értékeket.

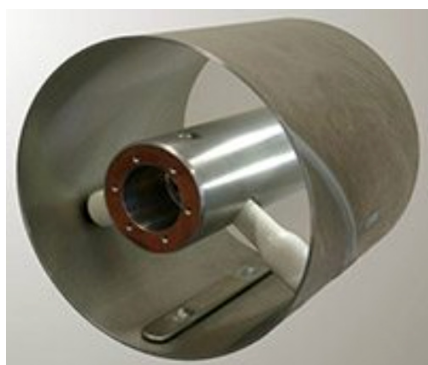
szerzők	0,1-<0,2 μT	0,2-<0,4 μT	>0,4 μT	megfigyelt	várt	folyamatos elemzés
mérés alapú tanulmányok						
Kanada, McBride és mtsai, 1999	1,3 [0,84-2,0]	1,4 [0,78-2,5]	1,6 [0,65-3,7]	13	10,3	1,2 [0,96-1,5]
Németország, Michaelis és mtsai, 1998	1,2 [0,58-2,6]	1,7 [0,48-5,8]	2,0 [0,26-15]	2	0,9	1,3 [0,76-2,3]
Új-Zéland, Dockerty és mtsai, 1998, 1999	0,67 [0,20-2,2]	4 eset, 0 kontroll	0 eset, 0 kontroll	0	0	1,4 [0,40-4,6]
Egyesült Királyság, UKCCSI, 1999	0,84 [0,57-1,2]	0,98 [0,50-1,9]	1,0 [0,30-3,4]	4	4,4	0,93 [0,69-1,3]
Amerikai Egyesült Államok, Linet és mtsai, 1997	1,1 [0,81-1,5]	1,0 [0,65-1,6]	3,4 [1,2-9,5]	17	4,7	1,3 [1,0-1,7]
számításon alapuló tanulmányok						
Dánia, Olsen, Nielsen és Schulgen, 1993	2,7 [0,24-31]	0 eset, 8 kontroll	2 eset, 0 kontroll	2	0	1,5 [0,85-2,7]
Finnország, Verkasalo és mtsai, 1993	0 eset, 19 kontroll	4,1 [0,48-35]	6,2 [0,68-57]	1	0,2	1,2 [0,79-1,7]
Norvégia, Tynes és Haldorsen, 1997	1,8 [0,65-4,7]	1,1 [0,21-5,2]	0 eset, 10 kontroll	0	2,7	0,78 [0,50-1,2]
Svédország, Feychting és Ahlbom, 1993	1,8 [0,48-6,4]	0,57 [0,07-4,7]	3,7 [1,2-11,4]	5	1,5	1,3 [0,98-1,7]
összegzés, Ahlbom és mtsai, 2000 alapján						
mérés alapú tanulmányok	1,1 [0,86-1,3]	1,2 [0,85-1,5]	1,9 [1,1-3,2]	36	20,1	1,2 [1,0-1,3]
számításon alapuló tanulmányok	1,6 [0,77-3,3]	0,79 [0,27-2,3]	2,1 [0,93-4,9]	8	4,4	1,1 [0,94-1,3]
minden tanulmány	1,1 [0,89-1,3]	1,1 [0,84-1,5]	2,0 [1,3-3,1]	44	24,2	1,2 [1,0-1,3]

A WHO már 2002-től szorgalmazza különféle óvatossági intézkedések szükségességét. Egy 2019-es francia összefoglaló tanulmány szerint Franciaországban miniszteri ajánlás, hogy kórházak és gyermekgondozási létesítmények ne épüljenek olyan helyre, ahol $1 \mu\text{T}$ -nál nagyobb a tartós kitétség [21]. Hollandiában $0,4 \mu\text{T}$ az ún. óvatossági határérték, ami azonban nem jogszabályban előírt határérték [22]. Számos további ország szerint nem ajánlott iskola, kórház, lakóépület építése oda, ahol tartós mágneses indukciós kitétség $0,4 \mu\text{T}$ értéknél magasabb – ilyen értelmű ajánlás van érvényben Dániában, Finnországban, Norvégiában – sőt Belgiumban és Izraelben már mindez előírt követelményé is vált [21]. A kaliforniai oktatási minisztérium pedig rendeletben írt elő a nagyfeszültségű távvezetésektől mért növelt védőtávolságokat új iskolák építése esetére [21].

Felmerülhet hazánkban is a nagyfeszültségű távvezetékhez előírt ún. biztonsági övezetek méreteinek a megnövelése is, különösen légtávvezeték kiépült távvezeték esetén, amelyek kiterjedtebb mágneses erőteret keltenek, mint a földkábelként kiépült távvezeték. A biztonsági övezetek utólagos megnövelése külterületen javarészt megvalósítható lenne, viszont akadályokba ütközne a megnövelés lakott területen, különösen meglévő légtávvezeték esetén.

A biztonsági övezetek utólagos megnöveléséhez képest hatékonyabb lenne – egészségvédelmi, ingatlan-értéki, helyfoglalás-csökkentési, környezetvédelmi, környezet-esztétikai és vezeték-fenntartási szempontokból is – az, ha a meglévő nagyfeszültségű légtávvezeték lévkábeleit fokozatosan földkábelekre cserélnék ki, legalább a sűrűn lakott településrészekben, vállalva ennek kilométerenkénti 100 milliós (két rendszerű vezeték esetén 200 milliós) nagyságrendű költségét [23], mégis lecsökkentve így az egészségügyi aggályoknak alapot adó mágneses indukció mértékét. A mágneses indukció mértéke ugyanis annál kisebb, minél közelebb futnak egymással párhuzamosan a vezetők (a földkábelben csak néhány centiméterre futnak egymástól). Földkábelek esetére jóval kisebb szélességű biztonsági övezetet írnak elő a lévkábelekéhez képest, ráadásul sok helyen már csak a földkábel mint korszerű megoldást engedélyezik lakott területen belül [9].

A nagy- közép- és kisfeszültségű vezetékekből álló magyar villamosenergia-hálózat 78%-a lévkábel (ún. szabadvezeték), 22%-a pedig földkábel volt 2017-ben. Lakott területen kívül szinte kizárólag lévkábeleket használnak, egyes – főként természetvédelmi indokoltaságú – esetekben fordul elő földkábel. Lakott területen belül viszont vegyes a kép, folyamatosan



6. ÁBRA: GIL rendszerű nagyfeszültségű vezeték kialakítása [25]



7. ÁBRA: Zord időjárás miatt egy 400 kV-os távvezetéken 14, egy 220 kV-oson 6 oszlop dőlt ki, és 87 oszlop megsérült Kelet-Magyarországon 2014-ben [26]

nő a földkábelek aránya, de egyelőre csak a kis- és közepfeszültségű hálózatra jellemző ez [24]. Földkábel esetén az elektromos tér elhanyagolható, a mágneses tér pedig jelentősen kisebb a kábel tengelyétől távolodva a légtávvezetékkel összehasonlítva. Mégis, a földkábel tengelyvonala fölötti szűk sávban a kelletnél nagyobb is lehet a mágneses indukció, mivel a földkábelek relatíve kis mélységben futnak a földben. Azonban e probléma is kiküszöbölhető, mivel már használnak gáz szigetelésű (GIL) rendszert is föld alatti hálózat esetében, amely egy alumínium csőbe szigetelő távtartók segítségével központosan elhelyezett alumínium vezetőből és a közéjük töltött nem gyúlékony szigetelő gázból áll [6. ábra] [25].

Összességében egy nagyfeszültségű földkábel létesítése költségesebb egy légtávvezeték építéséhez képest, azonban jóval keskenyebb biztonsági övezet hasít csak ki az értékes településterületből, ráadásul a földkábellel eleve megelőzhető a légtávvezetékkel időnként előforduló veszélyes tönkremenetek is, amelyeket szélsőséges szél- és jégterhek okozhatnak. Bár egy szabványváltozásnak köszönhetően 2014 után már nagyobb teherbírású légtávvezetéseket és oszlopokat terveznek, azonban a szakemberek szerint a légtávvezeték-rendszerek építésénél még további teherbírás-növelésre lenne szükség – további költségek árán –, figyelemmel a lokális domborzatra és jelentősebb lokális szelekre is [7. ábra] [26]. A földkábel viszont nem igényli e többletköltségeket, sőt a földkábel mellett környezetvédelmi érvek is szólnak. A Kiskunsági Nemzeti Park területén például 35 km-es távolságban váltották ki földkábellel a légtávvezeték az ún. Akadálymentes Égbolt megállapodás részeként, az áramütés vagy ütközés miatti madárpusztulás megelőzésére [27].

7. | VÉDEKEZÉS ÉPÜLETEINKEN BELÜL

A cikk elején említettem, hogy a nagyfeszültségű távvezeték által keltett kisfrekvenciájú erőterek jellemzője az, hogy a keltett villamos erőter és a keltett mágneses erőter jól választható egymástól:

A) A külső villamos erőterrel szemben árnyékolással aránylag könnyű védekezni belső térben, mivel egy vékony fém fóliaborítás – ami gipszkartonnal eltakarható – is teljes védelmet tud adni épületek belterében akkor, ha legalább egy ponton földelt [12]. Még az ablakok esetén is jelentős csillapítás érhető el, például rendkívül finomszövésű rozsdamentes fémhálóval, ami a fény kb. 70%-át átengedi.

B) Sajnos más természetű a külső mágneses erőter, mert ellene az épületek belső tereit még nagy költségek árán is csak részben lehetséges megvédeni. Bár eladásra kínálnak mágneses árnyékoló filmrétegeket is, azonban a nagyfeszültségű távvezetékek által keltett mágneses erőter ellen teljesen leárnyékolni valójában csak kisméretű forrásokat lehet, ferromágneses anyagból készült teljes tokozással [12]. Ennélfogva lakások, nagyobb terek megfelelő árnyékolása gyakorlatilag nem lehetséges a mágneses erőter ellen, mivel ablakok is vannak rajta. Ezért is lenne célszerűbb inkább a külső mágneses erőteret enyhíteni olymódon, hogy településen belül a meglévő nagyfeszültségű légtávvezetéseket földkábelekre cseréljük, az új távvezetéseket pedig eleve földkábelként építjük ki, mivel a földkábelnél kisebb a keltett mágneses indukció mértéke, a kábel belsejében futó vezetők közelségének köszönhetően.

A nagyobb épületekben további specialitás, hogy a legnagyobb tartós mágneses erőtereket nem is a nagyfeszültségű, hanem éppen hogy a kisfeszültségű – viszont annál nagyobb áramerősségű – létesítmények közelében találjuk: egészségtelen az, ha épületen belül, ráadásul közvetlenül az emberi tartózkodásra szolgáló helyiségek alatt (vagy mellett) üzemel transzformátor. Az épületen belüli transzformátorkamrában ugyanis a nagyobb teljesítményű, például 1 MVA vagy 1,6 MVA (utóbbi névleges áramerőssége 2300 A) teljesítményű transzformátortól indulóan egészen a kisfeszültségű elosztószekrényekig kiépített kapcsolat – a mennyezethez rögzített ún. csatlakozó sínezés – által létrehozott tartós mágneses erőter indukciója a közvetlenül szomszédos terekben a 100 μ T-t is megközelítheti [12]. Az egészségünk védelmében az épületen belüli transzformátor-telepítés helyett az épülettől különálló megoldások ajánlatosak: utcai légtávvezeték esetén oszloptranzformátor-állomás, utcai földkábel esetén pedig építettházas transzformátor-állomás, vagy akár a földfelszín alá süllyesztett transzformátor-állomás, amely utóbbi műemléki környezetben sem zavaró [28].

FORRÁSOK

- [1] **Google Earth** légifelvétel, <https://earth.google.com/web/@47.67939664,17.57896376,109.93196897a,510.02696775d,35y,0h,0t,0r>
 [2] **Győr** rendezési terve, <http://195.228.178.212/mapguide/gyor/internet.php>
 [3] **Szerző nélkül**: Veszélyes-e az elektromágneses tér az egészségre? Nemzeti Népegészségügyi Központ, Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztály oldala, <http://www.osski.hu/info/emfph/emfph7/emfph7.html>
 [4] **SCENIHR**: Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, 2015, p. 288. https://health.ec.europa.eu/system/files/2016-11/scenihr_o_041_0.pdf
 [5] **MAVIR**: A Hálózatfejlesztési Terv kiindulási adatai 2021. Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt., Budapest, 2021. p. 76. https://www.mavir.hu/documents/10258/239341965/HFT2021_A+HFT+kiindul%C3%A1si+adatai_kivonatolt.pdf

- [6] **382/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet** a villamosenergia-ipari építésiügyi hatósági engedélyezési eljárásokról. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700382.kor>
 [7] **Szerző nélkül**: Mi is az a vezetékjog? szakmai cikk, 2021. március 24. <https://das.hu/jogi-esetek-es-hirek/vezetekjog-mi-is-az/>
 [8] **2/2013. (I. 22.) NGM rendelet** a villamosművek, valamint a termelői, magán- és közvetlen vezetékek biztonsági övezetéről. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1300002.ngm>
 [9] **Pintér M. Lajos**: Nagyfeszültség: a lét a tét. Szeged!Ma Hírmagazin, 2008. június 19, <https://szegedma.hu/2008/06/nagyfeszultseg-a-let-a-tet>
 [10] **Google Earth** utcakép, <https://earth.google.com/web/@47.67853241,17.64600545,114.83041382a,0d,60y,252.49960852h,104.53040609t,0r/>
 [11] **Varjú György**: Milyen hatással van a villamos hálózat mágneses tere az egészségünkre? lakossági konzultáció, Pitilisszántó, 2017. március 7. <https://docplayer.hu/106105539-Milyen-hatással-van-a-villamos-halozat-magnesses-tere-az-egeszsegunkre.html>
 [12] **Varjú György**: Kisfrekvenciás erőterek egészségi és elektromágneses összeférhetőségi kérdései. Magyar Tudomány, 2002/8. pp. 1048-1064. http://epa.oszk.hu/00700/00775/00045/pdf/EPA00691_magyar_tudomany_2002-08_1048-1064.pdf
 [13] **Peter Jeschke, Carsten Alteköster**: Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz – Regelungen und praktische Beispiele, Karlsruhe, 2019. július 3. https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/731821/7_Elektromagnetische+Felder+am+Arbeitsplatz.pdf
 [14] **Pintér M. Lajos**: Növekvő feszültség a nagyfeszültség árnyékában. Szeged!Ma Hírmagazin, 2008. június 10, <https://szegedma.hu/2008/06/novekvo-feszultseg-a-magasfeszultseg-arnyekaban>
 [15] **Nagy Szilvia**: Részletek a 400 kV-os távvezetésekről. 2007. november 5, <http://www.pomazicseresznye.hu/reszletek-a-400-kv-os-tavvezetekrol/>
 [16] **Gerald Draper, Tim Vincent, Mary E. Kroll, John Swanson**: Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. British Medical Journal, BMJ 2005;330:1290-1293. <https://www.bmj.com/content/bmj/330/7503/1290.abridgement.pdf>
 [17] **Szerző nélkül**: Leukémiát okoz a távvezeték. Magyar Nemzet Online, 2005. július 13, <https://magyarnemzet.hu/tudomany-es-technika/2005/07/leukemi-at-okoz-a-tavvezetek>
 [18] **63/2004. (VII. 26.) ESzCsM rendelet** a 0 Hz – 300 GHz közötti frekvenciatartományú elektromos, mágneses és elektromágneses terek lakosságra vonatkozó egészségügyi határértékeiről. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0400063.esz>
 [19] **WHO**: Extremely Low Frequency Fields – Environmental Health Criteria Monograph No.238. Technical document, WHO, 2007. márc. 13, <https://www.who.int/publications/i/item/9789241572385>
 [20] **33/2016. (XI. 29.) EMMI rendelet** a fizikai tényezők [elektromágneses terek] hatásának kitett munkavállalókra vonatkozó minimális egészségi és biztonsági követelményekről. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1600033.emm>
 [21] **Szerző nélkül**: Reduce exposure to children: French Health Agency Issues 2019 report on health effects of low frequency electromagnetic fields. Environmental Health Trust, 2019. augusztus 8, <https://ehtrust.org/reduce-exposure-to-children-french-health-agency-issues-2019-report-on-health-effects-of-low-frequency-electromagnetic-fields>
 [22] **Szerző nélkül**: Messung und Grenzwerte. 2022. máj. 15, <https://www.tennet.eu/de/stromnetz/unsere-stromnetz/netzausbau>
 [23] **Szerző nélkül**: Baj van a Dunakeszi feletti nagyfeszültségű vezetékkel. Budapest Környéke, 2019. október 3, <https://budapestkornyeke.hu/csak-a-baj-van-a-dunakeszi-feletti-nagyfeszultsegu-tavvezetekkel/>
 [24] **FICÉP**: A magyarországi villamosenergia-ellátás éghajlati szempontú értékelése. FICÉP Építőipari Kereskedelmi és Szolgáltató Kft, Budapest, 2019, 58 p. https://nater.mbfz.gov.hu/sites/nater.mfqi.hu/files/files/FICEP_NATeR_villamosenergia_serulekenyseg_tanulmany.pdf
 [25] **Vizi Gergely Norbert**: Épületszerkezetek hatása a beltéri elektromágneses terekre. Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, 2018, p. 101, https://archive2020.szie.hu/sites/default/files/vizi_gergely_ertekezés.pdf
 [26] **Kovács Gábor, Tárczy Péter**: A nagyfeszültségű átviteli hálózat klímaváltozással kapcsolatos kockázatainak felmérése és menedzselése. Meteorológiai Tudományos Napok, 2018. november 22-23. <https://www.met.hu/doc/rendezvenyek/metnapok-2018/19-Kovacs-Tarczy.pdf>
 [27] **Szerző nélkül**: Föld alá viszi a villanyvezetéseket az állami közműcég. NRRReport, 2019. április 10, <https://nrrreport.com/cikk/2019/04/10/fold-ala-viszi-a-villanyvezeteket-az-allami-kozmuceg/>
 [28] **Filetőth Levente**: Épületek villamos ellátása (tervezési segédlet), BMGE Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék, Budapest, 2017, <https://adoc.pub/komplex-1-es-diploma-tervezesi-segedlet.html>

Nyarai Fruzsina¹, Kulcsár Dávid², Csontos Györgyi DLA³

ACÉL-EMLÉK-MŰ-TÉR

STEEL-MEMORIAL-PLACE

KIVONAT / HUN

Magyarországon az ipari örökségvédelem nem kapja meg a méltó megbecsülését, pedig ezen értékeink megóvására nagyobb figyelmet kellene fordítanunk. A helyszínünk Ózd, mely az acélgyár köré épült 1847-től és Magyarország egyik legmeghatározóbb nehézipari termelését bonyolította le. A gyár növekedésével a városkép is folyamatosan változott. A számtalan kémény közül azonban a Gyár utcai kéménysor híresült el a legjobban, mely hamar Ózd szimbólumává vált. A szimbolikus épületegyüttes bontása 2000 szeptemberében elkezdődött. Az Ózdi Ipari Örökségvédők Baráti Köre pályázatot hirdetett ki, melynek célja egy méltó emlékmű tervezése a hajdani acélgyár jellegzetes kéménysorának. A tervezés helyszíne a Gyár utcai parkoló, melyen egykor az ikonikus kéménysor állt. A környezetanalízis készítése közben feltártuk a város és a kémények múltját, minek következtében megfogalmazódott bennünk ezek jelentősége. Mindezen ismeretek tudatában álltunk hozzá a tervezési feladathoz.

Kulcsszavak: ipari örökség, örökségvédelem; acél, emlékmű, tér, Ózd

ABSTRACT / ENG

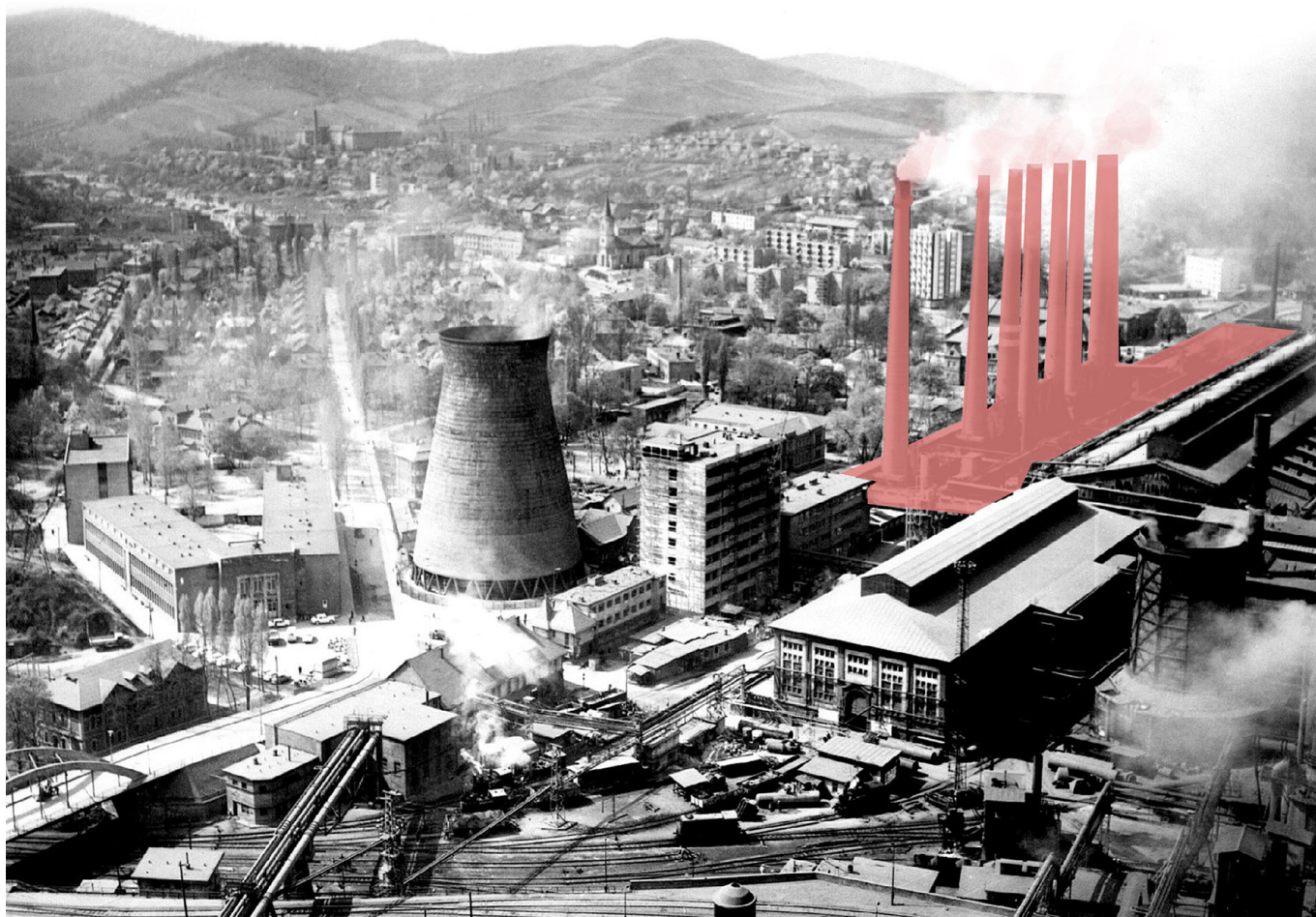
In Hungary, the industrial heritage doesn't have enough attention. Our project is trying to focus on this problem, and we want to draw attention to the importance of these industrial buildings. The plan is situated in Ózd which city was built around a steel factory from 1847. This city was known as one of the biggest heavy industrial areas in Hungary. As the factory grew the cityscape has changed a lot. Countless chimneys were built but the chimneys of Gyár street became the symbol of Ózd. In the early 2000s the city lost its symbol. The local Industrial Heritage Protectors invited tenders for a memorial for the steel factory and its huge chimneys. The planning site is in Gyár street where the original chimneys were located. At first, we had to make an environmental analysis so we realised the importance of the factory for the local people, and we could start planning wisely.

Keywords: industrial heritage; heritage protection, steel, memorial, place, Ózd

¹ építész szakos egyetemi hallgató (MSc), Óbudai Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar, e-mail: nyarai.fruzsina96@gmail.com

² építőművész szakos egyetemi hallgató (MA), Moholy-Nagy Művészeti Egyetem, e-mail: davidkulcs@gmail.com

³ okl. építész, egyetemi docens, Óbudai Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar, vezető tervező, MIXA Stúdió, e-mail: csontosgyorgyi.dla@gmail.com



1. ÁBRA: Gyár utcai kéménysor, Ózd [1]

1. | BEVEZETÉS

Ózd: egy város, ami egykoron nehézipari fellegvár volt. Egy város, melynek identitását a kohászat és a büszke munkástudat adta. A vaskohászat egy olyan összetartó erőt biztosított, ami egyedi helyzetet teremtett, létrehozva egy ipari társadalmat és egy sajátos kultúrát (1 és 2. ábra).

Ózd szíve az acélgyár volt és az egész város köré szerveződött. A dombos táj miatt a városszerkezet nyúlványokban elterül, de így is minden út és fő tengely a kohászati üzemek felé irányul. A legtöbb közintézmény, legyen kulturális, sport, vagy iskola szintén a gyár mecénási támogatásával jött létre, mint például az Olvasó Egylet Székháza, a Tiszti Kaszinó, vagy a Gyártelepi Társulati Elemi Népiskola és Gyári Uszoda. Az acélgyár nem csak megélhetést biztosított a város lakóinak, ha-



2. ÁBRA: Az éjszakai acélgyár [1]



3. ÁBRA: Az acélkohó [1]

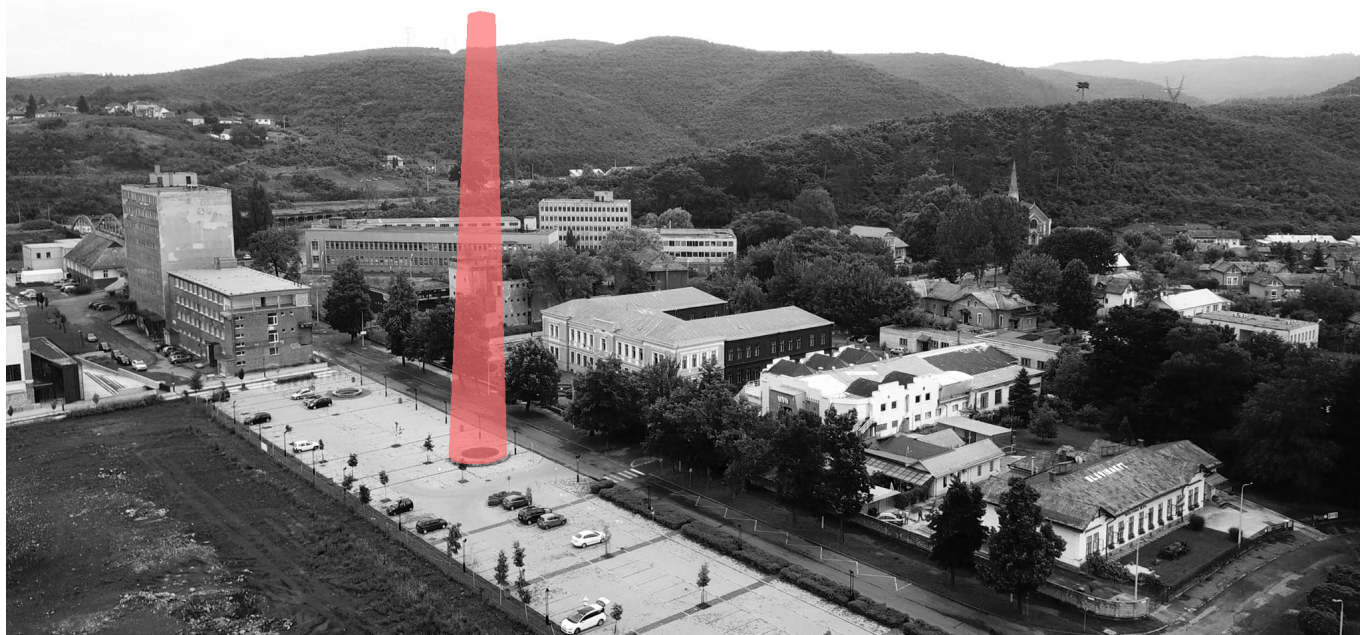
nem otthont, közösséget és biztonságot is (3. ábra). Ózd fénykorában egy olyan helyi család sem volt, ahol legalább egy ember nem a gyárban dolgozott volna. A 80-as években a vasgyár 14-16 ezer főt foglalkoztatott. A város már messziről felismerhető volt a festői Gömöri-Hevesi-dombság látványából kiálló kémények miatt, mely monumentális objektumok idővel Ózd szimbólumává is váltak [2].

A rendszerváltás után az Ózdi Kohászati Üzemek (ÓKÚ) gazdasági pozíciója jelentősen romlott, így a gyár, a város szíve kezdett megszűnni dobogni és a város mély depresszióba zuhant. A folyamatos állapotromlás és a gyár épületeinek üzemem kívül hagyása, lebontása, felemésztette az egykor pompázó, életteli kohászati üzem emlékét. A város elvesztette vaskohászati identitását és a nagy munkanélküliség miatt jel-



4. ÁBRA: A kémények bontása [4]

lemző lett az elvándorlás. A munkások helyére új, szegényebb, alulképzettebb társadalmi réteg vándorolt be. Hosszú tiltakozás és a városi közösség összefogása ellenére, 2000 szeptemberében Ózd elvesztette szimbólumát is a Gyár utcai kéménysor lebontásával (4. ábra). Ózd középpontja a gyár, immár tátongó pusztaság lett. Pár megmaradt épület és néhány félig elbontott épülettorzó idézi meg a régi törzsgyárat [3].



5. ÁBRA: A tervezési helyszín [5]

2. | EMLÉKEZÉS

A helyi lakosok többségének még mindig fontos az egykori összetartozás, identitás és az acélgvár emléke, ezért az ipari örökségvédelem nagy fontossággal bír Ózdon. A gyár területén belül sikerült megmenteni pár kiemelt fontosságú épületet, és 2013-ban nagy jelentőségű rehabilitáció is történt a területen. Ennek keretén belül újjátótták fel a Fűvógépházat (Nemzeti Filmtörténeti Élménypark) és az Erőmű (Digitális Erőmű) épületét is, illetve az egykori Gyártelepi Társulati Elemi Népiskolát (Ózdi Muzeális Gyűjtemény és Gyártörténeti Emlékpark).

Az Ózdi Ipari Örökségvédők Baráti Köre (melynek tagjai maguk is a gyárban dolgoztak) pályázatot hirdettek ki a kéménysor elbontásának 20. évfordulójára. A pályázat célja, hogy méltó emléket állítsanak a város egykori szimbólumainak és megújítsa, erősítse és fenntartsa Ózd kollektív emlékezetét a gyár iránt (5. ábra).

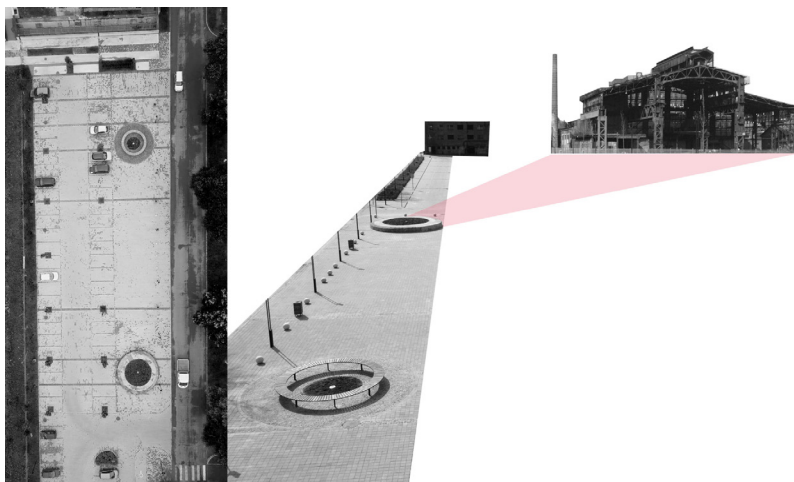
3. | A TERV

A feladat nem szokványos építészeti kihívás. Egy emlékmű tervezéséhez új szemléletre és perspektívára van szükség, valamint kívülálló szemlélként meg kell érteni, hogy minek állít az ember emléket, és mit jelent az ott élők számára. Fontos volt a tervezés szempontjából az is, hogy ne csak egy emlékművet, önmagában álló objektumot, szobrot hozzunk létre, hanem közösségformáló beavatkozás is legyen (6. ábra). Ózd középpontja mindig is a gyár volt és a megszokott városi főtér ezért nem tudott létrejönni. A koncepciónkban fontosnak véltük, hogy teret tudjunk adni a közösségnek és a Gyár utca új szerepet betöltve városi főtér lehessen. A projektnek figyelemfelhívó szerepe is van az ipari örökségek fontosságára és a bennük rejlő lehetőségekre (7. ábra).

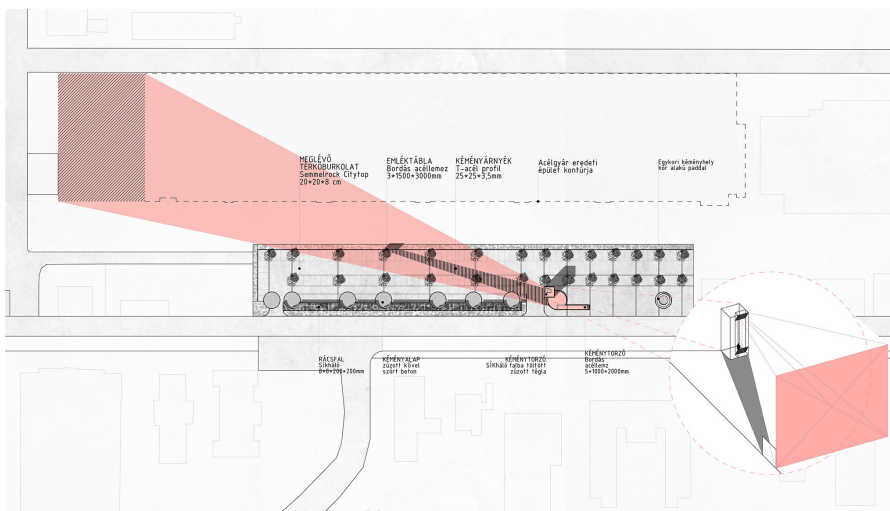
Az emlékmű tervezési helyszíne a Gyár utcai parkoló, ami eredetileg a törzsgyár területéhez tartozott, itt helyezkedtek el Ózd szimbólumai a 80 méter magas kémények. A parkoló 157 férőhellyel rendelkezik, 190 méter hosszú és 30 méter széles. Ez a tér az út túl-



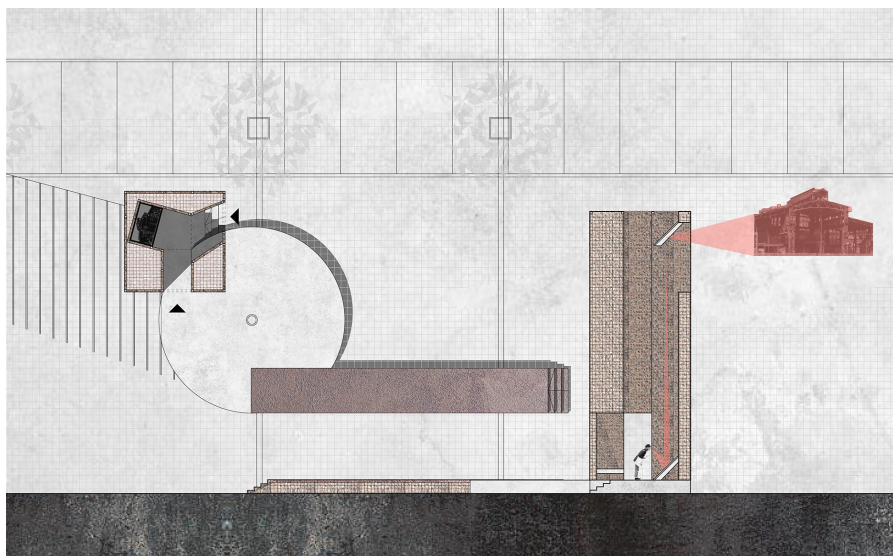
6. ÁBRA: Koncepció makett



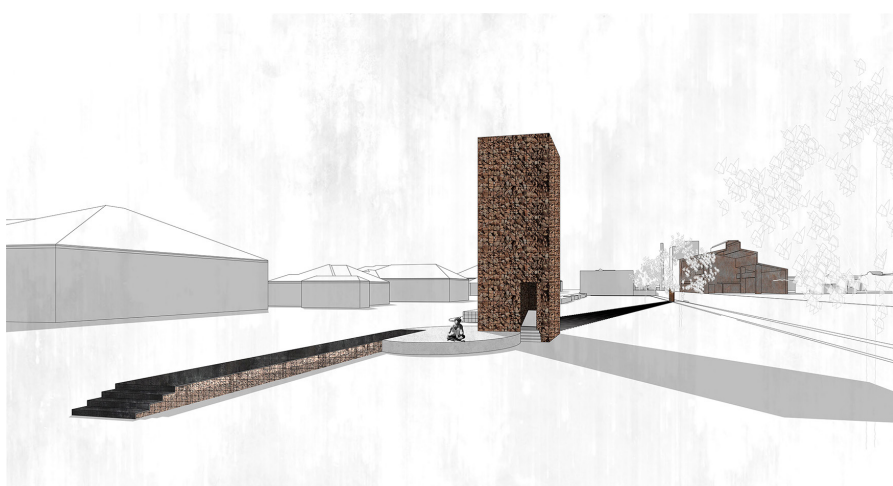
7. ÁBRA: A tervezési hely, fotókollázs



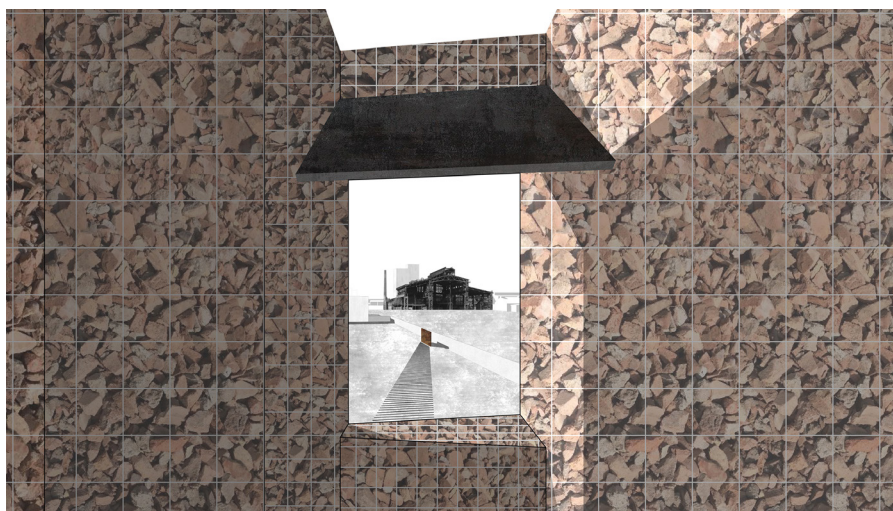
8. ÁBRA: Helyszínrajz



9. ÁBRA: Alaprajz és metszet



10. ÁBRA: Látványterv, az emlékmű bejárata



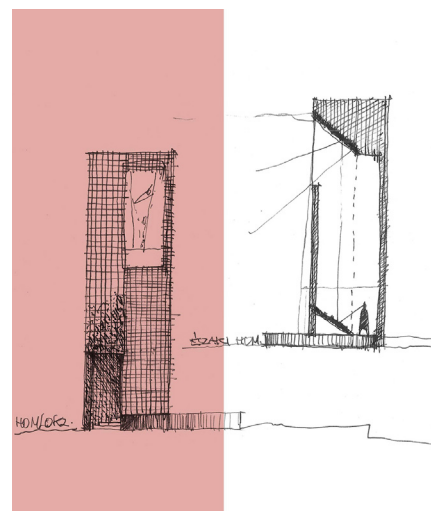
12. ÁBRA: Látványterv, kilátás a periszkópból

oldalán álló múzeumot és a Digitális Erőművet szolgálja ki, ami a környék rehabilitációja során az épületekkel együtt szintén felújítottak (8. ábra).

A felújítások során lebontották az egykori traverzsort és a gyárat körülvevő betonkerítést, így egy új teresedés jött létre a városszövetben [6]. Egy emlékmű létrehozása nem mondható éppen túl magasztosnak és a feladathoz mérten kellően méltónak, ha egy parkolóban kell ezt megtenni. Azonban a koncepciónkban úgy alakítottuk ki az emlékművet, hogy a parkolót ne zavarja, de a teljes terület bevonásával lehetőséget teremtünk egy új funkció kialakulására. Arra törekedtünk, hogy a Gyár utcai parkolóból finom beavatkozások segítségével városi főtér is kialakulhasson, melynek centrumában az emlékmű áll (9. ábra).

A kéménysor bontása során egy kéményalapöt meghagytak, ezen helyeztük el a koncepciónk fő tömegét, egy kéménytorzót. A kéménytorzó elnevezés már előzetesen utal a tömegalakításra. Ez a vertikális elem jelképesen idézi az egykori kémények gigantikus léptékét, de nem akarja visszaadni az eredeti magasságukat. A torzó formai szempontból elrugaszkozik a hagyományos kémény megjelenésétől. Modern, újraértelmezett formába öntöttük. Kívülről egy hasáb formájú tömeg jelenik meg, ami csak a belső tereiben viselkedik kéményszerűen (10. ábra).

A torzó belsejét olyan negatív térként alkottuk meg, mintha egy kémény vastag, lekerekített falában találná magát az ember. Ebben az érdekes, szűkös



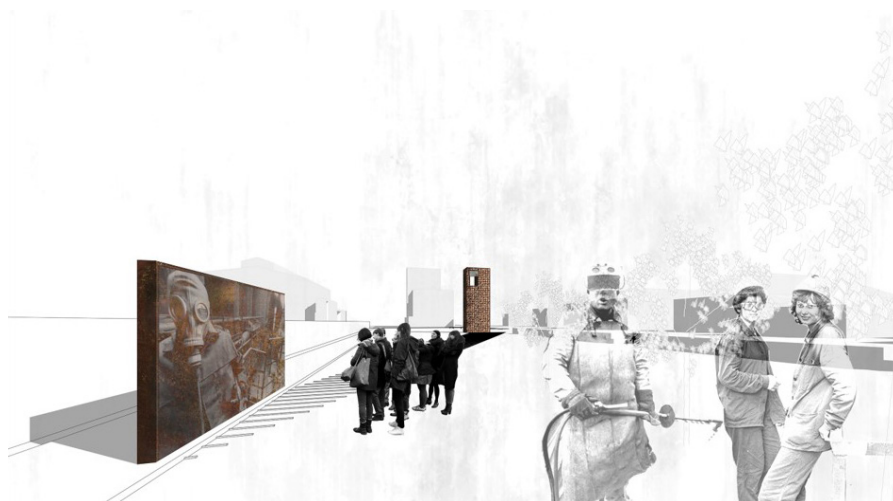
11. ÁBRA: A periszkóp működési elve

térben, elszeparálva a külvilágtól egy periszkóp található (11. ábra). Ez létrehoz egy irányított látványt. Egy látványt, amiben nincsenek kerítések, távolságok, akadályok. A periszkópba nézve kapcsolat jön létre az egykori acélmű csarnoka és a kémény között, ami eredetileg is összeköttetésben állt. Az acélmű csarnok épületcsonkjá reprezentálja az elmúlást és a gyár hányattott sorsát. Ez a kapcsolat az emlékmű legfontosabb eleme (12. ábra).

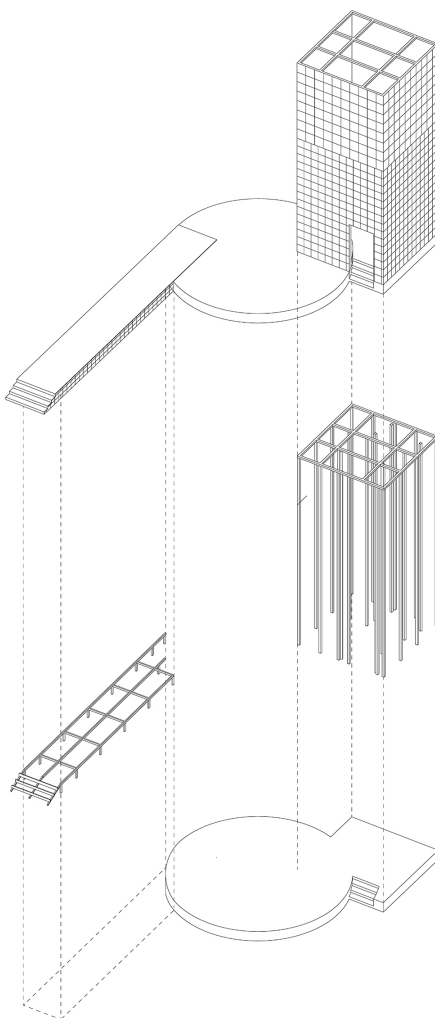
A tervezés során fontosnak véltük, hogy a kéménysor hatalmas léptéke, ne csak a torzó tömege által legyen megidézve. Teljes egészében szerettük volna megmutatni a szemlélődőnek, hogy a tér közepén meghagyott kéményalapon milyen hatalmas építmény állt eredetileg. A 80 méter magas kémény monumentalitását egyszerű, gazdaságos építészeti megoldással alakítottuk ki: a parkoló burkolatának fugáiban acél T profil szelvényeket helyeztünk el, úgy hogy az kirajzolja a hajdani kémény árnyékát. Az emlékmű ezen elemét nevezzük „árnyékfugának”. Az árnyékfuga tengelye megegyezik a kéménytorzó belsejében működő periszkóp irányával. Ez a tengely látványában szintén az acélmű csarnokát köti össze a kéménytorzóval, így a kültérben is létre tud jönni egyfajta kohézió a gyár és az emlékmű között (13. ábra).

A Gyár utcai kéménysor kilenc darab kéményből állt, ezért fontosnak véltük, hogy ne csak a megmaradt alappal foglalkozzunk, hanem a maradék 8-at is feltárjuk, és jelzés értékűen kirajzoldjanak a parkoló területén. Ezek a kémény körvonalak a parkoló szélén egy vonalba rendeződnek és a terület teljes hosszában megjelennek. Ezeken a kijelölt helyeken hoztuk létre a koncepció közösségi felületeit, ahol padokat, pihenő helyeket terveztünk. Ezeket a felületeket is olyan irányba forgattuk el, hogy a padon ülve a gyár látványa legyen az ott megpihenők előtt.

Az emlékmű tervezésénél az anyaghasználat átgondolása elsődleges szempont volt. A felhasznált anyagok az acélgár múltjából inspirálódtak, új formában megjelenítve azokat. A nyers, ipari anyaghasználat a saját textúráival szeretné a gyár emlékét a közönség elé tárni. A kéménytorzó tartószerkezetét acél zártszelvényekből alakítottuk ki, és kívül belül acél síkháloval borítottuk (14. ábra). Így létrejött



13. ÁBRA: Látványterv, az emlékezet tere



14. ÁBRA: Szerkezet

egy „gabionfal”. Ezt a falat az acélgárból származó téglazúzalékkal töltöttük fel. Az emlékmű ezzel a megoldással ugyanazokból az anyagokból épül fel, mint az eredeti kémények. Az eddig elmozdíthatatlan, szilárd óriási tömeg helyett, ezzel a gesztussal egy transzparens, töredezett mementó állna itt. A többi kémény körvonalának megjelenítése a tervek szerint burkolatváltással történik. Ezeken a helyeken sötét színű „kohósalakra” emlékeztető zúzott követ alkalmazunk.

4. | ÜZENET

Ózd identitása már nem a kohászat, hanem annak emléke. A terv arról szól, hogy ezeknek az emlékeknek teret tudjon adni és újra köztudatba hozza azokat. Fontos számunkra, hogy a Gyár utca, ami egykoron Ózd szimbólumainak adott helyet, most a közösség számára biztosítsa azt.

FORRÁSJEGYZÉK

- [1] Archív fotó, Ózdi Városi Múzeum, Fotótár
- [2] Csontos Györgyi: Ózdi középületek. Kézirat, Budapest, 2003.
- [3] Baranyai Zsolt: Ózd – A gyár köré épület város. Összkép az inspiráló tudásért, 2016.10.11, <https://osszkep.hu/2016/10/ozd-a-gyar-kore-epult-varos/>
- [4] Dobosy László fotója, 2000.
- [5] Gál Bence drónfelvétele alapján, 2019.
- [6] Adorján Anna: Gyári úti parkoló és díszter építés. Kertépítészeti műleírás, 2014.

Történelmi városmagokban épülő homlokzatokról

id. KOTSIS IVÁN

A múltból származó városbelső harmoniájának megtartásához kétféle ténykedés szükséges. Az egyik az újonnan készülő és többnyire foghíj-beépítések homlokzatainak helyes kialakítása, a másik a meglévő kedvezőtlen és a városképben zavaró homlokzatok megjavítása.

Az elsőt illetően alapelv legyen, hogy az új beépítések ne bontsák meg az utcaképek harmoniáját, hanem az alaprajzi igények maradéktalan kielégítése mellett illeszkedjenek a környezet hangulatához. Ezt történelmi környezetben nem szükségszerűen a múlt formáinak felhasználásával érjük el, – bár megfelelő mértéktartás és nem utolsó sorban kellő stílusismeret mellett ez sem járhatatlan út – hanem azzal is, hogy a tömeget, nyíláselosztásokat, tetőket, a homlokzatok anyagait, színezéseit, és mindennemű egyéb kialakításait a környezethez illeszkedően úgy oldjuk meg, hogy hangulatát a megváltozott felfogásból eredő formai eltérések dacára is átvegye, mindezek felett szerény fogalmazásban, és tartózkodva mindennemű mesterkelt megjelenéstől.

A második teendő a meglévő bántó homlokzatok átépítése esztétikai megjavításukkal. Ez utóbbi ténykedés állandóan napirenden van, mert régi homlokzatok tatarozása mindig esedékes, amely alkalmakat fel kell használni esztétikai megjavításukra is. Az utcaképben nem zavaró jó homlokzatokat tatarozásuk során függetlenül stílusuktól változatlanul meg kell tartani; a kedvezőtleneket avatott kézzel át kell tervezni, általában lecsen-

desíteni, a zavaró, nyugtalanságot keltő, és értelem nélküli díszítésektől megtisztítani. Túlsúfolt eklektikus homlokzatokból, anélkül hogy eredeti jellegükből kivetkőztetnők őket, ily lecsendesítő áttervezések révén egészen kedvező alakok állíthatók elő.

Székesfehérvárott a két világháború között megkezdődött a belső városmag esztétikai gondozása a már említett mindkét fajta módon. Az akció a városháza átépítésével indult meg, és folyamatosan kiterjedt a Várkörút – Liszt Ferenc utca – Piac tér – Vörösmarty tér által körülhatárolt belső utcákra. A tevékenységet Schmidl Ferenc, a város akkori műszaki tanácsnoka, utóbb műegyetemi tanár irányította, és intencióit Csitváry G. Emil akkori polgármester teljes mértékben megértette és támogatta. Ez a példamutató városképgondozás a második világháború után néhai Karsay Ivánnak, a Fejér megyei Beruházási Vállalat főmérnökének irányítása mellett folytatódott. Ezek keretében néhány tervem szerint épült lakóházhomlokzatot mutattunk be, mint megvalósult példáit a sok hasonló, de kivitelre sajnálatosan nem került elgondolásnak.

1. Székesfehérvár, Március 15. u. – Gagarin tér (1941–42)

A múlt század végén épült túlsúfolt eklektikus homlokzatot – jellegének megtartása mellett – leegyszerűsítettük.





2. Székesfehérvár, Március 15. u. és Velinszki László u. sarkán álló épület

A századfordulóból való és szecessziós részletekkel tarkított neobarokk homlokzatot le kellett csendesíteni azért, hogy az utca meglevő és a továbbiakban is megőrizendő jellegét ne zavarja.



3. Székesfehérvár, Március 15. u. 19. (1962)

Az épület jobb oldalán egy biedermeier időből származó kedves homlokzat áll, baloldalát pedig az imént bemutatott szecessziós neobarokk ház szegélyezte, amelyet megelőzőleg csendesebb hangnemre terveztünk át; a most bemutatott összekötő homlokzat fegyelmezett, szinte semleges rendszerével most már megnyugtató együttes állott elő.





4. Székesfehérvár, Népköztársaság útja 1/a. (1959)

Az épület három oldalról szabadon áll, és két zárt-sorú végében azonos magasságú főpárkány csatlakozik a szomszéd épületekhez. A térségre néző

főhomlokzat két sarkán a Székesfehérvárott hagyományos sarokzárterekélyek állanak. A földszinten a Beruházási Bank helyiségei vannak a tengelyben a bejárattal, míg a lakások bejárata az egyik oldalutcaiba került.



5. Székesfehérvár,
Vörösmarty tér 3. (1957)

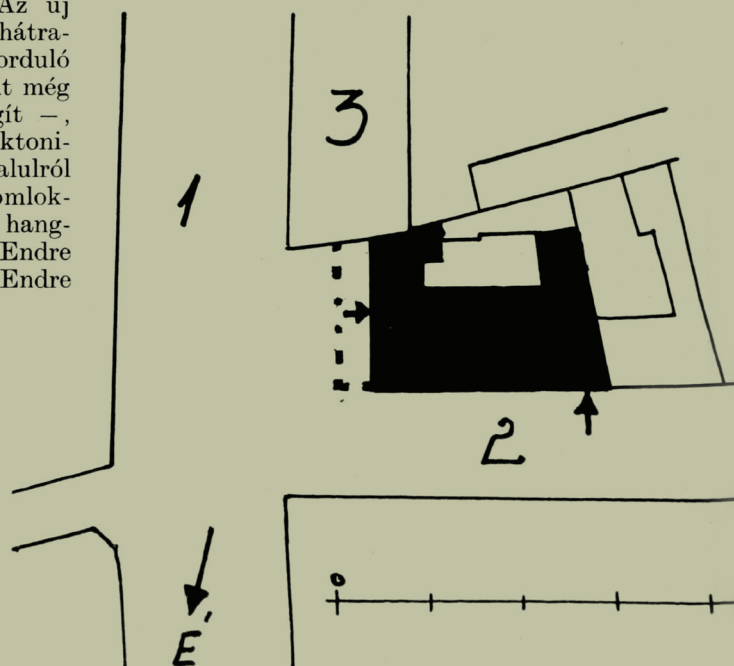
Három oldalról szabadon álló bérház, a negyedik oldalon azonos főpárkánymagassággal csatlakozik a szomszédos kétemeletes lakóházhoz. A homlokzati kiképzés kizárólagos eszközei az ablakritmusok és a dalsík erősen plasztikus vakolata.

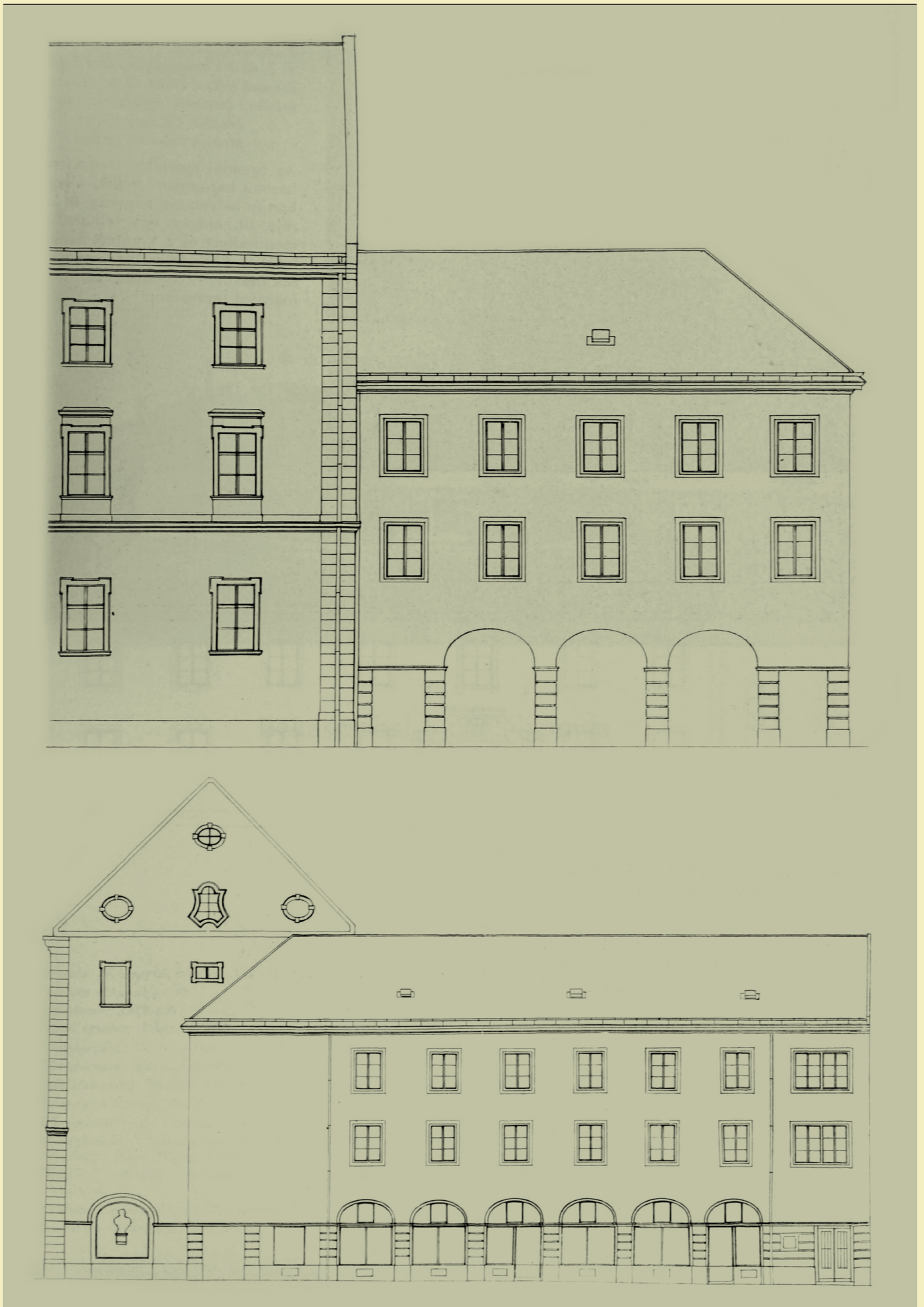




6. Székesfehérvár, Ady Endre u. 3. és Március 15. utca sark (1962)

A Március 15. utcára, vagyis a főútvonalra néző volt Cisterci rendház komoly, késői barokk homlokzatához az Ady Endre utca felől csatlakozó sarokbérház az ostrom alatt elpusztult. Az új sarokbeépítésnél a főútvonaltól 5 m-rel hátraleptünk egyrészt azért, hogy a sarkon beforduló közlekedést gördülékenyebbé tegyük – amit még a földszintnek árkádos kialakítása is elősegít –, másrészt, hogy a volt rendháznak architektonikus oromzattal lezárt eredeti tűzfala már alulról kezdődően kibontakozhassék. Az épület homlokzataiban a volt rendház jellegét lehalkított hangnemben folytatja, illetve vezeti át az Ady Endre utcába. (1. Március 15. utca. – 2. Ady Endre utca. – 3. Volt Cisterci rendház.)

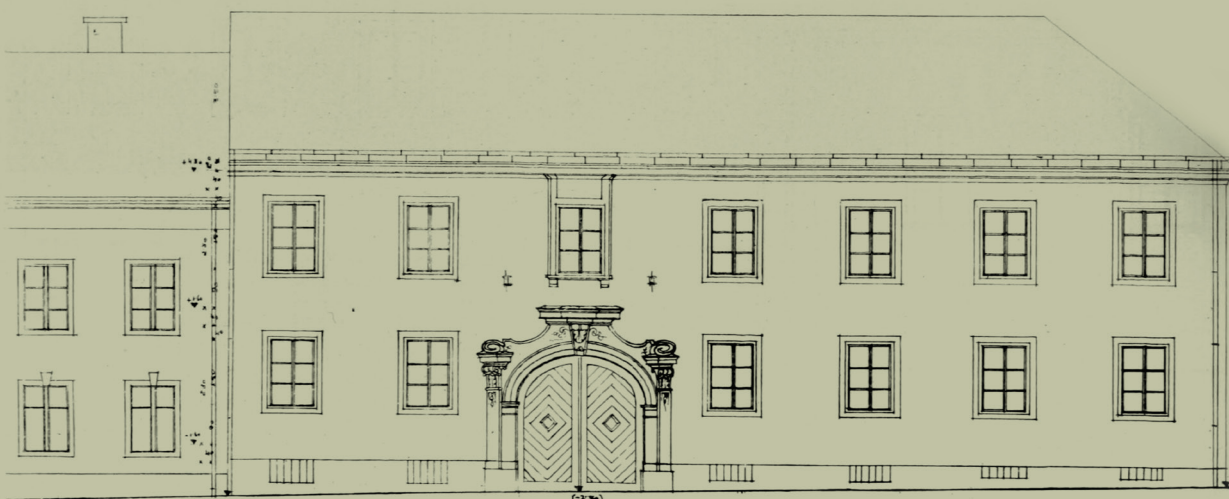






7. Székesfehérvár, az Arany János u. 7. és a Vármegyeház utca közötti átmenő telken állott, és lebombázott lakóház tervezett újjáépítése során készült Vármegyeház utcai homlokzat terve

Az egyedül épségben megmaradt barokk kapuzatot eredeti állagában és helyén meghagytam és köréje, ill. mögéje egy teljesen lecsendesített és a korabeli hangulatot – különleges tagozatképzések nélkül – visszatükröző homlokzatot terveztem.



Veöreös András*

KOMMENTÁR KOTSIK IVÁN „TÖRTÉNELMI VÁROSMAGOKBAN ÉPÜLŐ HOMLOKZATOKRÓL” CÍMŰ, 50 ÉVE MEGJELENT CIKKÉHEZ

COMMENTARY ON THE 50 YEARS AGO PUBLISHED ARTICLE OF KOTSIK IVÁN
“ABOUT FAÇADES BUILT IN HISTORIC CITY CENTRES”

A Magyar Építőipar 1972. évi 2-3. számában jelent meg Kotsik Iván: Történelmi városmagokban épülő homlokzatokról című cikke. A tanulmány székesfehérvári homlokzat-felújítások és foghíjbeépítések példáján mutatja be a korszak építészeti gondolkodásmódját, a történelmi települési szövethez való illeszkedés jellegzetességeit. A tanulmány szerzője, Kotsik Iván építészeti alkotótevékenysége az építészettörténet talán legizgalmasabb időszakára esett. Az építészet a két világháború közötti időszakban hagyta el tudatosan a történelmi formákat, és fordult a tisztán funkcionalista, díszítéstől mentes modern stílus felé. Kotsik Iván egyéni munkássága is jól reprezentálja ezt a korszakot, elég csupán templomait megemlíteni: a zalaegerszegi ferences templom (1925-27) még neobarokk, a pesti Regnum Marianum templom (1926-30) még neoromán stílusban fogant, a balatonboglári, ma műemlékként védett temploma (1931-32) azonban már a modern építészeti kiemelkedő alkotása. Modern építészetére külföldi, első sorban itáliai tanulmányútja nyomta rá bélyegét, alkotásai a „római iskola” szellemiségében születtek.

A Magyar Építőipar hasábjain megjelent tanulmányban Székesfehérvár belvárosának példáján keresztül, saját tervezésű épületek segítségével mutatja be néhány történelmi épület homlokzatának felújítását, illetve foghíjbeépítések homlokzatának építészeti kialakítását. Figyelemre méltó, hogy a bevezetés mindkét feladatot a kedvező városkép megőrzésének eszközeként értékeli – noha az új építések és a meglévő épületek homlokzatának átalakítása is egyéb építési vagy felújítási igényen alapszik.

A bemutatott, ötvenes évek végén, hatvanas évek elején épült foghíjbeépítések, mint új épületek értelemszerűen a korszak építészeti jellegzetességeit viselik magukon. A homlokzatokon plasztikus díszítés már nem látható, de az ablakok általában álló téglány alakúak, kőkeretekesek, kiosztásuk ritmusa követi a történelmi épületekét, a földszinten megjelennek íves árkádok, az egyik épület sarkán kiugró zárterkély, a földszinti homlokzatszakasz az egyik

épület esetében vízszintes sávozást kap és a homlokzatokat hangsúlyos főpárkány zárja le. Ezek a történelmi építészettől származó elemek az ötvenes évek szocreál építészetének általánosan használt megoldásai voltak, melyek a két háború között már kialakult és általánosan használt modern stílus után politikai nyomásra kerültek vissza az építészetbe. A XX. századi historizálás gyökereit a harmincas évek görög-, olasz- vagy éppen hitleri és szovjet monumentalitásra törekvő építészeten kell látnunk, melyet a háborút követően a szovjet diktatúra terjesztett a szocialista országokban. Itt ezeken a házakon ennek az irányzatnak egy kései megnyilvánulásával találkozunk. Az épületek szerkezetei, funkcionális elrendezése ugyanakkor modern, homlokzati kialakításuk a történelmi elemeknek és hagyományos anyaghasználatnak köszönhetően kiválóan illeszkedik a műemléki környezetbe, az építészeti viselkedésüket ma is helyénvalónak tekinthetjük, a történelmi formák visszafogott használatát a belvárosi környezet teljes mértékben indokolja.

Az új épületekkel ellentétben a történelmi épületek homlokzat-felújításának módszertana a mai elveinktől jelentősen eltérő módon valósult meg. A szöveg több helyen is túlszűfolttnak nevezi a XIX. század végéről való historizáló, vagy éppen a századforduló környékén épült neobarokk-szecessziós homlokzatokat, melyekkel kapcsolatban a tervező feladata azok „lecsendesítése”. A gondolkodásban a közeli múlt és a távoli múlt megkülönböztetésének általános emberi megközelítése érhető tetten. A cikkben bemutatott két homlokzat-felújítás közül az egyik 1941-42-ben valósult meg, a másikkal kapcsolatban nem tudjuk meg a kivitelezés időpontját, de szellemisége alapján a többi bemutatott példa kortársának tekinthető. A historizáló épületekkel való bánásmódot meghatározza egyrészt, hogy ebben a korszakban, a negyvenes évek elején a historizmus késői szakaszában létrehozott épületek mindössze néhány évtizedes múlttal rendelkeztek, a riegli értelemben vett történelmi érték hiányzott belőlük;

* egyetemi docens, tanszékvezető, Széchenyi István Egyetem Építészettörténelmi és Városépítési Tanszék, andras.veoreos@gmail.com

másrészt az érintett épületek egy közvetlenül az akkori társadalmi rendet megelőző, meghaladottnak gondolt rendszerben születtek. A hazai építéstartótnet csupán a század második felének közepe táján fordult a XIX. századi építészet értékelése, elemzése felé; néhány rendkívül jelentős kivételtől eltekintve ekkortól kerültek be a korszak fontos épületei a műemlékjegyzékekbe. Székesfehérvár esetében – ahogy a vidéki városok többségében – a középkori vagy barokk előzménnyel nem rendelkező historizáló épületek műemléki védelme jellemző módon a kilencvenes években történt meg.

Ahogy az új épületek esetében is láttuk, a hatvanas évek elején természetes volt az a gondolkodás, amely a modern építészet vívmányait – kényszerűségből, avagy a történeti környezethez való illeszkedés szándékától vezérelve – leegyszerűsített formában alkalmazott historizáló elemekkel vegyítette. Ebben az időszakban a gazdagon díszített, valóban zsúfolt késő-historizáló homlokzatok sem történeti, sem esztétikai szempontból nem tartoztak a megőrzendő építészeti alkotások közé, magától értetődő volt tehát, hogy a felújítás során a meglévő épületek homlokzatairól is eltávolították a feleslegesnek ítélt díszítéseket, és így ezek az épületek is jóval visszafogottabb, egyszerűbb megjelenést kaptak. A bemutatott két épület esetében is lekerültek a homlokzatokról az edikulás nyíláskeretetések, a vakolatkváderezés. A Március 15. utca – Gagarin tér (ma Fő utca – Dr. Koch László utca) sarkán álló épület esetében lényegében csupán a nyíláskeretek, a földszinti sávózás és a főpárkány maradt meg, a földszinti portálok helyét félköríves nyílások foglalták el, ezzel a homlokzat klasszicizáló jellegét kapott. Az épület megjelenése mára tovább egyszerűsödött, eltűnt a földszinti részen a vízszintes sávózás és a nyílások kváderezett keretelése. Mai szemmel azt mondanánk, hogy a homlokzat értékeit jelentős mértékben elvesztette, felújítás során ajánlott az eredeti architektúrát helyreállítani. A Március 15. utca – Velinszki László utca (ma Fő utca – Marosi Arnold utca)

sarkán álló neobarokk homlokzatú ház felújítása során eltávolították a homlokzati plasztika jelentős részét, a homlokzat lecsupaszítva, torzóként áll előttünk, az egykori gazdag díszítésre csupán a sarkon levő zárterkély konzoljainak finom megmunkálása emlékeztet.

Mai gondolkodásunkhoz sokkal közelebb áll a Vármegegyház utca (ma Megyeház utca) háborúban elpusztult Posgay-házának a helyére tervezett új épület, mely a megmaradt barokk kapuzatot belefoglalta az új épületbe, a kapu feletti ablak finom keretezésével erősítve a homlokzat aszimmetrikusan elhelyezkedő főtengelyét. A terv nem valósult meg, a kapu-torzó a mai napig önmagában áll, műemléki védettséget élvez.

Kotsis Iván cikke rendkívül izgalmas dokumentuma a második világháborút követő évtized építészeti gondolkodásának, a korszak történeti épített környezethez való viszonyulásának. Azt kell látnunk, hogy az építész-műemlékvédő szakma gondolkodása ma is hasonló ehhez. Természetesen megváltozott a historizáló épületek megítélése, de nem változott meg a mai közvetlenül megelőző korszakban, a rendszerváltás előtt született épületeké. A szűk szakma ugyan felismerte a hosszú hatvanas években létrehozott épületek védelmének a fontosságát, de az építészek jelentős része és a társadalom oldaláról meglehetősen nagy a meg nem értés. Szakmai körökben nem változott az a felfogás sem, hogy történeti környezetben a meglévő épületekhez finom eszközökkel igazodó, de a kortárs építészet szellemiségében megfogalmazott épületek alkotása kívánatos, ugyanakkor számos példát látunk arra, hogy XXI. századi épületeket hoznak létre historizáló formák alkalmazásával.

A műemléki környezetbe, történeti belvárosi szövetbe való tervezés ma is minden esetben kihívás elé állítja a tervezőket, illetve a terveket bíráló hatóságot, tervzsúrit. Az optimális megoldás megtalálásához az illeszkedés építészeti eszközeinek (tömeg, lépték, anyaghasználat, arányok, színek) megfelelő összehangolására van szükség.



1. ÁBRA: Belvárosi épület bővítése tervezési fázisban Győrött. A tervezőnek számos megoldást kell papírra vetnie az ideális megoldás megtalálásához. A változatok között archaizáló és modern hangvételű egyaránt megtalálható. Terv: CAN Architects, Élő József, 2019