



Algoritmussal támogatott BIM alapú tevékenységek az építőipar megvalósulási és megvalósítási folyamataiban

Ph.D. téziszfüzet

Máder Patrik Márk
okleveles szerkezettervező építészmérnök

Témavezető:

Dr. Háber István Ervin Ph.D.
Prof. Dr. Zoboki Gábor DLA

Szakmai konzulens:

Dr. Zagoráczy Márk Balázs Ph.D.

Pécs
2021



Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	4
1.1	Kutatási tevékenységem megalapozása	4
2	Kutatási tevékenység	5
2.1	Kutatási irány kijelölése és célkitűzés megfogalmazása.....	5
2.2	Építészet és programozás.....	6
2.2.1	Hipotézis, a kutatás célja, témaismertetés.....	6
2.2.2	A modern építészet és építész oktatás lehetőségei és problémái.....	7
2.2.3	Szakterületi analízis.....	8
2.2.4	Következtetések, tézis	9
2.2.4.1	Következtetések	9
2.2.4.2	1. Tézis	9
2.3	Algoritmusok szerepe az építészeti felmérés munkafolyamataiban	10
2.3.1	Hipotézis, a kutatás célja, témaismertetés.....	10
2.3.2	Alkalmazott módszertan	11
2.3.2.1	Koncepció ismertetés	11
2.3.2.2	Hardveres kialakítás	12
2.3.2.3	Algoritmus alapú adatfeldolgozás.....	12
2.3.2.4	Formatervezés.....	13
2.3.2.5	Felmérés és felmérési eredmények	13
2.3.3	Következtetések, tézis	13
2.3.3.1	Következtetések.....	13
2.3.3.2	2. Tézis	15
2.4	Magasabb szintű tervezéstámogatás és tervellenőrzés algoritmusok segítségével .	15
2.4.1	Hipotézis, a kutatás célja, témaismertetés.....	15
2.4.2	Alkalmazott módszertan	16
2.4.2.1	Kutatás-fejlesztési alterületek.....	16
2.4.3	Következtetések, tézis	18
2.4.3.1	Következtetések.....	18
2.4.3.2	3. Tézis	19
2.5	Kivitelezés és műszaki előkészítés folyamatainak algoritmus alapú támogatása.....	19
2.5.1	Hipotézis, a kutatás célja, témaismertetés.....	19
2.5.2	Alkalmazott módszertan	20
2.5.2.1	Algoritmussal támogatott DWG alapú mennyiségkalkuláció	20

2.5.2.1.1	A munkafolyamat főbb lépései	21
2.5.3	Következtetések, tézis	22
2.5.3.1	Következtetések	22
2.5.3.2	4. Tézis	23
3	Összegzés és jövőbeli célok	23
4	Irodalomjegyzék	24
5	Saját tudományos tevékenységek, publikációk	26

1 Bevezetés

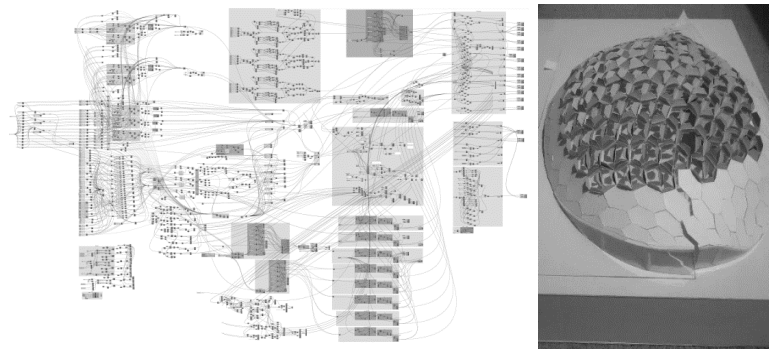
1.1 Kutatási tevékenységem megalapozása

2015-ben, doktori tanulmányaim kezdetén, az algoritmus alapú építészeti munkafolyamatok (úgynevezett parametrikus, generatív építészet és tervezés) és az épületinformációs modellezés (továbbiakban BIM) tervezéstámogatás célú alkalmazása Magyarországon nem volt elterjedt. Természetesen található Magyarországon ezt megelőző időszakban a módszertanok együttes felhasználásával megvalósuló beruházás (például: Budapest, Bálna (Bálna 2021)), azonban a hazai tervezőirodák jellemzően még a hagyományos számítógéppel támogatott tervezés (Computer-aided design - CAD) módszertana szerint teljesítették feladataikat. A legnagyobb, nemzetközi projektekben is résztvevő mérnökirodák esetén azért ennél jobb volt a helyzet, de általánosságban tekintve a BIM leginkább a tervezési folyamat lezárását követő, a kiviteli terveknek megfelelő, azokat ellenőrző modellépítés formájában volt hazánkban jellemző. Néhány előre mutató esetben, leginkább nagy beruházás során (például: Budapest, Telekom székház (Octogon 2018)) már ezekben az években is megfogalmazódott a BIM tervezési folyamatba történő integrációjának igénye. Ugyan ez hazánkban algoritmus alapú tervezés esetén a bútorok és berendezési tárgyak tervezése során, a belsőépítészet területén jelentkezett először. Ezzel szemben külföldön egészen más volt a helyzet. A BIM és az algoritmus alapú tervezéstámogatás is sokkal kitüntetettebb helyzetben volt.

A BIM módszertan kezdeti szakaszában önmagában is elegendőnek bizonyult az igények kielégítésére, azonban a digitális generatív, parametrikus építészet térnyerése és az egyre fokozódó gazdasági elvárások speciális módszertani összefonódásokat indukáltak.

Olyan megoldásokra volt szükség, amelyek az épületszerkezeti változásokat és az épületelemek ismétlődését hatékonyan képesek kezelni. Kialakult az algoritmus alapú tervezés, majd az algoritmus alapú épületinformációs modellezéssel (AAB) támogatott tervezésmódszertan (Humppi 2015). Utóbbi esetén az algoritmusok kezelését lehetővé tévő együttműködési környezetek segítségével vált lehetővé a BIM modellek elkészítése és fejlesztése. Ezzel egy időben a programozás módszertana még inkább szerves részévé vált az építészeti tervezésnek és kivitelezésnek. A fejlődési folyamat új, a korábbi ismeretekhez kapcsolódó speciális kompetencia szükségességét irányozta elő.

A 2000-es évek algoritmus alapú tervezés és modellezés, a generatív tervezés (Generative Design) egyik, ha nem a legismertebb képviselője és úttörője Zaha Hadid és építészirodája volt („Zaha Hadid Architects” 2021). Ugyan a korábbi évszázadban is megjelent a fogalom és a módszertan a maga formájában hasonló innovációt eredményezve, elég csak például Felix Candela vagy Pier Luigi Nervi hiperbolikus paraboloid vasbeton héjlefedéseire gondolni (Nast 2021), (Pendás 2018), (Pesti 2021), de a Zaha Hadid Architects digitális eszközök segítségével megvalósított komplex épület-, város-, és tájterveinek jelentősége sem kérdőjelezhető meg véleményem szerint. Kreatív formatervezés, egyedi számítógépes megoldások, paramétervezérelt kialakítás jellemzi az általuk tervezett épületeket és azok környezetét. Mindez rám is nagy hatást gyakorolt. 2015-ben már a diplomatervem is az algoritmus alapú BIM módszertan szellemiségében valósult meg (1.1-1. ábra), amely elkészítése során szerzett tapasztalataim is hozzájárultak a később megfogalmazott kutatás-fejlesztési céljaim kialakításához.

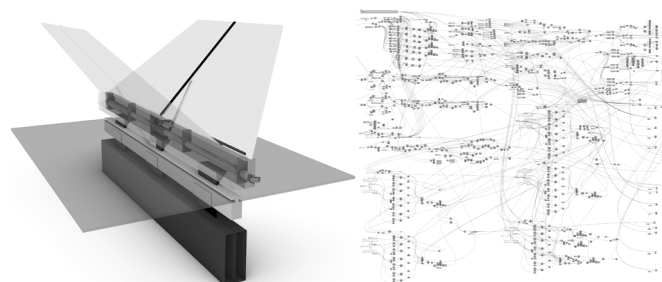


1.1-1. ábra: Diplomatervem mögöttes algoritmus (bal oldalon) és eredményeként generált (részben 3D nyomtatással előállított) makett (jobb oldalon).

2 Kutatási tevékenység

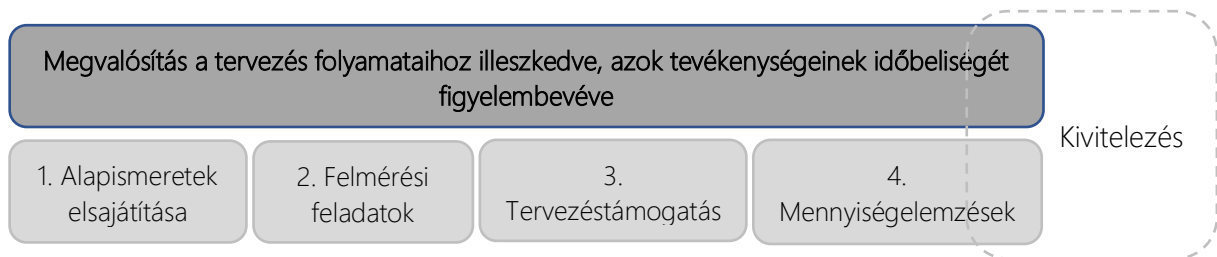
2.1 Kutatási irány kijelölése és célkitűzés megfogalmazása

A Ph.D. képzésem és kutatási folyamataim megkezdését követően, a szakirodalmi analízis egyértelművé tette számomra, hogy a korábban általam is képviselt algoritmizálási irány (geometriai leképezések, dinamikus csomóponti modellelemek (2.1-1. ábra), matematikai függvények vizualizációja, szerkezeti analízisek) képezik az építészeti gyakorlatban és az elérhető szakirodalomban is megjelenő kutatás-fejlesztési projektek és összeállított algoritmusok többségének alapjait. Nyilvánvalóvá vált számomra, hogy a BIM módszertan alkalmazása során a modellelemekbe eltárolásra kerülő műszaki adatok és információk kezelésével, felhasználásával elérhető előnyök háttérbe szorúlnak. Leginkább a geometriai transzformációkkal és elemzésekkel elérhető gazdasági megtakarítások és szerkezeti optimalizációk foglalkoztatták és foglalkoztatják a szakembereket. Véleményem szerint azonban, legalább ennyire lényeges a műszaki adat-, és információkezelés (a modellben és tervállományokban eltárolt adatok és információk helyes felhasználása), például a kiindulási állapot rögzítések továbbtervezés célú tevékenységének, a dokumentálástámogatásnak, a modell és modellelemek adatmenedzsmentjének, az ellenőrzési folyamatoknak, valamint a kivitelezés és műszaki előkészítéstámogatásnak területén is.



2.1-1. ábra Diplomatervem kidolgozása során kizárólag algoritmussal létrehozott, dinamikusan mozgatható árnyékoló szerkezet geometriai elemei (ball oldalon) és a kialakításért felelős algoritmus (jobb oldalon)

Ennek felismerését követően igyekeztem a célkitűzéseimet megfogalmazni és a kutatási tevékenységemet az egyes építőipari folyamatokban megjelenő BIM módszertani sajátosságokhoz is kapcsolható algoritmus alapú megoldások irányába rendezni, ennek megfelelő struktúra szerint összeállítani. Alapelvként figyelembe vettem továbbá a tervezés folyamatainak, tevékenységeinek időbeliségét, egymásra épülését (2.1-2. ábra).



2.1-2. ábra Kutatás-fejlesztési tevékenység rendezése a tervezési folyamatok időbeliségének megfelelően

Mindezt, az általam tartott egyetemi kurzusok és a részvételemmel zajló kutatási pályázatok tapasztalatait, valamint az építészmérnök végzettségemet is figyelembe véve, az építőipari megvalósulási és megvalósítási folyamatokra fókuszáltnan az alábbi bontásban valósítottam meg. Ezek részleteinek kidolgozásában a témában összeállított kérdőívem is segítségemre volt:

- az építészeti informatikához és programozáshoz szükséges kompetenciák elsajátítási módjainak és a különálló szakterületi ismeretanyagok kapcsolódási lehetőségeinek vizsgálata (2.2 fejezet → 1. tézis),
- az építészeti felmérés tervezéstámogató BIM modell alapú lehetőségeinek feltérképezése és megoldás kidolgozása a felmérési állományok egyszerű, algoritmizált, automatizált modellé alakítására (2.3 fejezet → 2. tézis),
- a képzések és a valós gyakorlati tapasztalatok során megszerezhető szaktudás alkalmazhatóságának analízisa a magasabb szintű tervezéstámogatás és tervellenőrzés munkafolyamatai során, valamint ezekhez kapcsolódóan algoritmus alapú háttértámogatás megteremtése (2.4 fejezet → 3. tézis),
- a kivitelezéshez és a műszaki előkészítéshez kapcsolódó építőanyag-mennyiségkimutatás meghatározásához szükséges munkaidő elemzése és a munkafolyamat gazdaságosabbá tételének, valamint hatékonyságnövelésének megvalósítása algoritmusok felhasználásával (2.5 fejezet → 4. tézis).

A területek részleteinek ismertetése és a kutatás-fejlesztési folyamat eredményeinek bemutatása az előző felsorolás logikai sorrendjének megfelelően a következő fejezetekben valósul meg.

2.2 Építészet és programozás

2.2.1 Hipotézis, a kutatás célja, témaismertetés

Hipotézis: Az iskolarendszerben elsajátítható építészeti kompetenciák jellemzően a hagyományos technikákra és módszertanokra (alapszinű és emeltszinű műszaki ismeretekre, alapvető szoftveres kompetenciákra) terjednek ki. A modernkori digitalizációs technológiák és eszközök ismereteinek átadása a BIM módszertanhoz kapcsolódó parametrikus, algoritmus alapú sajátosságok értelmében csupán érintőlegesnek és szemléletformálásnak tekinthető. Az építészeti informatika és programozás ilyen irányú speciális területe nem képezi szerves részét a magyarországi egyetemi oktatásnak.

A kutatás célja: Alátámasztani, hogy a jelen kor tervező építész szakemberei a tervezési folyamatok multidiszciplináris területté fejlődésének következtében, az évezredek gyakorlattal szemben (egy mesterember az építész szakma teljes ismerője lehetett) nem rendelkezhetnek

minden szükséges tudás mélyreható ismeretével. Minden szakterület, így az építészeti informatika és programozás is saját specialistákat igényel, amely alapvető ismeretei az egyetemi mérnöki oktatás során megszerezhetők, viszont átfogó ismerete specializálódást követően biztosítható.

A számítógéppel segített tervezés (Computer Aided Design – CAD (Schoonmaker 2002)) megjelenésével és tovább fejlődésével (Building Information Modeling / Management – BIM (Eastman és mtsai. 2008)) az építőipar, az építészet és az informatika tudományágak egyre szorosabb összefonódása figyelhető meg. Egyre több probléma hatékony megoldása informatika programsorokon alapuló módszerek, algoritmusok, célszoftverek segítségével valósítható meg.

2.2.2 A modern építészet és építész oktatás lehetőségei és problémái

A történelem során az építészet számos definícióval, tudományági, illetve művészeti besorolással rendelkezett. Ezek továbbra is érvényesek, azonban az építészet jelenlegi komplexitását nem képesek kellő mértékben érzékeltetni.

Mint minden területre, úgy az építészetre, a kortárs építészetre is igaz, hogy megfelelő színvonalú oktatás szükséges a megfelelő szaktudással rendelkező mérnökök és szakértők képzéséhez. Ez jelenleg annyival mutatkozik komplexebbnek, mint korábban, hogy az építészet informatikai vonatkozásainak oktatása is szükségessé vált. Nélkülözhetetlen többek között az épületinformációs modellezés és menedzsment (BIM), az algoritmus alapú módszertanok és az objektum-orientált -, illetve vizuális programozási nyelvek egyetemi keretek közötti összekapcsolt oktatása.

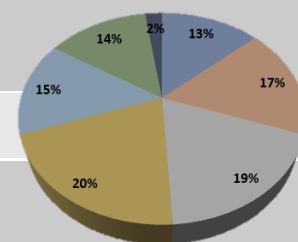
Amennyiben a BIM szemszögéből vizsgáljuk a problémát, látható, hogy már évek óta a külföldi projektek nagy számában, Magyarországon pedig leggyakrabban a nagyobb beruházások esetén megrendelői elvárás a módszertan alkalmazása. Ezzel szemben egyetemi oktatása Magyarországon néhány éve vette csak kezdetét, aminek eredményeként még nem hagyta el az egyetemet a piaci keresletet kielégítő mennyiségű, megfelelő egységes szaktudással rendelkező szakember. A helyzet a parametrikus tervezés és algoritmus alapú modellezés, valamint modell feldolgozás esetén még inkább hátrányosabbnak tekinthető. Ez, a BIM általános értelmezésétől is újabb és még szűkebb körben ismert és gyakorolt terület, így oktatásában még nagyobb mértékű lemaradás tapasztalható. A lemaradás ebben az esetben is leginkább a piaci szektortól való lemaradást jelenti, ahol az ezen a területen jártas szakemberek iránti igény is megjelent.

Azt tapasztaltam, hogy nincs olyan BIM alapú építészeti tervezést támogató parametrikus, algoritmus alapú kurzus, amely az építész szakma eszközeit felhasználva tenne lehetővé BIM módszertan szerinti, újszerű megközelítést, természetesen a programozással kapcsolatba hozható feladatokat is szükséges mértékben magába foglalóan. Ezért amikor a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai karon 2019/2020 tavaszi szemeszterben elindításra került az „Építészeti informatika MSc specializáció” elnevezésű képzés, akkor ennek szellemiségét képviselve a tematika és a parametrikus tervezés tananyagának kidolgozásában, valamint oktatásában is közreműködtem. Csak úgy ahogyan a BIM szakmérnök képzésben is.

2.2.3 Szakterületi analízis

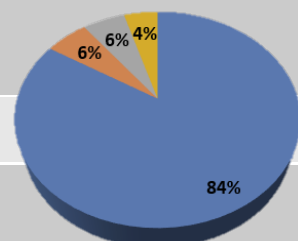
A fejezetben leírtakkal kapcsolatban online kérdőív segítségével országos kutatást is végeztem. Kérdőívem a PTE – MIK és a BME egyetemi csatornáin felül, a Magyar Mérnöki Kamara (MMK), a Magyar Építész Kamara (MÉK), a Magyar BIM Épület Információs Szövetség (MABIM), a TERC Kft különböző hírforrásaiban, a Lechner Tudásközpont belső körlevelében és egyéb kisebb műszaki érdeklődésű közösségi csoportokban is megjelentetésre került. Ezek segítségével számos műszaki szakembert és műszaki felsőoktatásban tanuló hallgatót sikerült elérnem a 18-68+ év közötti korosztályból. A kiértékelés rövid kivonata a következő táblázatokban látható (szakmagyagorlók - 2.2-1. táblázat, hallgatók - 2.2-2. táblázat).

Kérdés	Jellemző válasz
Tanulmányai során került kapcsolatba algoritmus alapú lehetőségekkel?	66% - nem
Részt venne algoritmus alapú oktatáson?	88% - igen
Munkavégzése során került kapcsolatba BIM módszertannal?	30% - nem
Munkavégzése során került kapcsolatba algoritmus alapú lehetőségekkel?	74% - nem
Véleménye szerint melyik munkafolyamataiban alkalmazhatna sikeresen parametrikus / algoritmus alapú folyamatokat?	Dokumentálás támogatás, ellenőrzések, tervezés előkészítés és tervezés támogatás, műszaki előkészítés
A jelenkori és a jövő mérnöki kompetencia részét kell képezze programozói tudás?	51% Igen, de csak alapszinten (problémák megfogalmazásának képessége)



2.2-1. táblázat Szakmagyagorlói válaszok kiértékelésének részlete.

Kérdés	Jellemző válasz
Tanulmányai során került kapcsolatba algoritmus alapú lehetőségekkel?	84% - nem
Részt venne algoritmus alapú oktatáson?	91% - igen
Tanulmányai során került kapcsolatba BIM módszertannal?	38% - nem
Gyakornoki pozíciója alatt találkozott algoritmus alapú lehetőségekkel?	79% - nem
Gyakornoki pozíciója alatt találkozott BIM módszertannal?	49% - nem
A jelenkori és a jövő mérnöki kompetencia részét kell képezze programozói tudás?	43% Igen, de csak alapszinten (problémák megfogalmazásának képessége), VISZONT 39% problémák önálló megoldása



2.2-2. táblázat Hallgatói válaszok kiértékelésének részlete.

2.2.4 Következtetések, tézis

2.2.4.1 Következtetések

Az online kérdőív, a korábbi tanulmányaim, a Ph.D. képzés során teljesített demonstrátori és oktatói tevékenységem során gyűjtött tapasztalatok alapján kijelenthetem, hogy a hallgatók egyre nagyobb százaléka érdeklődik komolyan az algoritmus alapú tervezés és adatmenedzsment iránt. Jellemzően ezeknek a hallgatóknak száma egy 15 fős csoportot alapul véve 1-3 fő, amely a teljes létszám megközelítőleg 7-20%-ának felel meg. Építésirodai tapasztalataim és a kitöltött kérdőív alapján ez az arány elegendő a BIM módszertanon belüli speciális algoritmus alapú terület jelenlegi piaci igényének kielégítésére, mivel egy-egy tervezőcsapatban többnyire 1-2 fő elegendő az algoritmussal elvégzendő feladatok ellátására. A jövőben az építészeti trendeket alapul véve, valószínűsíthetően az építész programozók iránti igény növekedni fog, így a terület népszerűsítése és a tananyagok továbbfejlesztése fontos jövőbeli célként fogalmazódik meg bennem. Az algoritmus alapú feladatokhoz kapcsolódó ismertanyagokat vizsgálva, az is kijelenthető, hogy annak ellenére, hogy kiváló mérnökinformatikus és programozó főiskolai és egyetemi képzések is elérhetők, az építész, esetleg BIM képzés kibővítése szükséges az alapvető programozói tudásanyaggal és nem fordítva. Mindemellett azt a megállapításomat is fenntartom, hogy az építésznek nem kell teljesértékű programozónak lenniük, viszont egy specializációs folyamat során elsajátíthatók az új szakmához szükséges ismeretek. Éppen ezért a folyamat kizárólag az alapvető építészeti kompetenciákkal, különböző tervező és modellező szoftverek ismeretével rendelkező és a BIM technológiát, valamint módszertant mélyrehatóan ismerő szakemberek részvételével működhet. Mivel a felsorolt kompetenciák szoros és elválaszthatatlan kapcsolatban állnak egymással az erre irányuló speciális képzések kialakítása, illetve egyetemi keretek közötti oktatása csak az említett feltételek teljesülésével valósítható meg. Ennek előremutató kezdeményezése lehet a PTE-MIK képzési kínálatában megjelent „Építészeti informatika MSc specializáció” és a 2021/2022 tavaszi félévében indított BIM szakmérnöki képzés is. Ezek során kollégáimmal igyekszünk megfelelő felkészültséget biztosítani a BIM módszertanon belüli vagy ahhoz kapcsolódó jövőbeli specializálódáshoz is.

2.2.4.2 1. Tézis

1. Tézis - A jelenleg elérhető hazai egyetemi képzések nem biztosítják a BIM módszertanhoz is kapcsolódó algoritmus-alapú mérnöki kompetencia megszerzését, annak ellenére, hogy a nemzetközi trendeket elemezve erre a tudásra a közeljövőben a magyarországi piaci környezetben is igény fog mutatkozni. Az algoritmusok BIM munkafolyamatokban történő magyarországi alkalmazhatóságát, a megfelelő módszertan segítségével elérhető hatékonyságnövekedést és az ezekhez szükséges kompetenciák hiányát a témában összeállított kérdőívem kiértékelése is igazolta. A kérdőívre érkezett válaszok alapján definiáltam a speciális tématerületre fókuszáló, gyakorlati tudást biztosító egyetemi képzések kialakítására vonatkozó igényt és megkezdtem a kapcsolódó ismeretanyag integrálását és alkalmazását a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar, Építészeti informatika MSc specializáció, valamint BIM szakmérnök képzések keretei között.

Kapcsolódó tudományos megjelenések: 5. fejezet – 12. sorszámú hivatkozás.

2.3 Algoritmusok szerepe az építészeti felmérés munkafolyamataiban

2.3.1 Hipotézis, a kutatás célja, témaismertetés

Hipotézis: Lehetővé tehető az építészeti felmérési folyamat során olyan felmérési állományok előállítása, amelyekben a felmért szerkezetekhez kapcsolatosan, a sajátosságaikra vonatkozóan tetszőleges információk tárolhatók el és az így előállított információgazdag állapot rögzítő állományok automatizált utófeldolgozás eredményeként natív 3D modellelemek formájában közvetlenül építészeti tervezőszoftverben megjeleníthetők és kezelhetők.

A kutatás célja: Alátámasztani, hogy összeállítható olyan a professzionális felmérő eszközökhöz hasonló, de egyedi felépítéssel bíró belső tér állapot rögzítésére alkalmas felmérő eszköz és hozzá kapcsolódó adatfeldolgozási módszertan, amely a BIM lehetőségeit is figyelembe véve biztosítja a felmérés alapjául szolgáló épületszerkezetek építészeti tervezőszoftverben natív 3D modellelemek formájában történő algoritmus alapú leképezését és megteremti a magasabb szintű építészeti tervezési folyamatokban való felhasználást. Mindezt olyan módon, hogy a szakirodalmi kutatás során feltárt algoritmus alapú lehetőségeken (pl.: Zarzycki 2012, Kociecki és Adeli 2015, Oti és mtsai. 2016, Vandervaeren és mtsai. 2021, Rodrigues, Gaspar, és Gomes 2014) túlmutatóan, újszerű megoldásokat és megközelítést képviseljen.

Az építészeti felmérés az építőipari folyamatok egyik legintenzívebb munkafolyamata. Jelenléte az építési, felújítási és bontási fázisok mindegyikében felfedezhető. A tervezés előkészítő felméréstől kezdve, az építés közben elvégzett ellenőrző méréseken és az aktuális állapotok rögzítésén keresztül, egy egyszerű belső tér falainak átfestéséhez szükséges anyagmennyiség meghatározásig minden feladat alapja.

Ez a sokszínűség a kereskedelmi forgalomban elérhető eszközök kínálatában is megmutatkozik, azonban általánosságban elmondható, hogy az alkalmazott technológiai megoldások alapján a termékek kategorizálhatók. Ezeket is figyelembe véve, az eszközöket hagyományos és korszerű csoportba rendezve kiemelhetők az általános előnyök és hátrányaik.

A konvencionális eszközök (többek között a mérőszalag és a mérőléc, valamint manapság már az egyszerű lézeres távolságmérő) az átlagemberek számára is elérhetőek. Egyszerű használhatóságuk miatt alkalmazásuk gyakori és közkedvelt, azonban használatuk során számos kompromisszum jelentkezik. Az elérhető pontosságot és a folyamat gazdaságosságát a felmérést végző személy tapasztalata és szakértelme, valamint a felméréndő építészeti kialakítás nagymértékben befolyásolja. Adataik megfelelő minőségű szoftveres feldolgozása is időigényes folyamat. Manapság többnyire egyszerű távolságmérésekhez és kisebb léptékű épületek, épületrészletek méreteinek feltérképezésére, valamint más technológiával történő mérések kiegészítő méréseihez kerülnek felhasználásra.

A hagyományosnak tekinthető eszközökön túl újszerű, professzionális, a mai kor igényeinek megfelelő képességekkel felruházott készülékek és megoldások is rendelkezésre állnak. Ebbe a csoportba tartoznak a tabletek és okostelefonok segítségével elérhető kiterjesztett valóság (AR) alapú programok, a vezeték nélküli kapcsolatot és intelligens megoldásokat (pl.: szögszámítás, elfordulásmérés) lehetővé tévő lézeres távolságmérők, amelyek többnyire saját szoftverkörnyezetükben képesek 2D, illetve 3D mérési eredmények megjelenítésére, valamint a

lézerszkennerek, amelyek pedig a valóság digitális leképezéseként pontfelhő állományok előállítására alkalmasak. Az „okos” („Smart”) világban ezekkel a berendezésekkel szemben alapvető elvárás a mobil eszközökkel történő kapcsolat lehetővé tétele, amelyeknek a gyártók igyekeznek is megfelelni különböző rádiófrekvenciás megoldások (Bluetooth protokoll vagy Wi-Fi szabványok) használatával. Ezek a felsorolt technológia megoldások azonban bizonyos szempontból hátrányként is azonosíthatók. Az eszközök kezelése magas szaktudást, költséges gépeket, zárt rendszert, mélyreható mobil és számítógépes szoftver ismeretet, valamint sok esetben átlag feletti informatikai hardver kapacitást igényel.

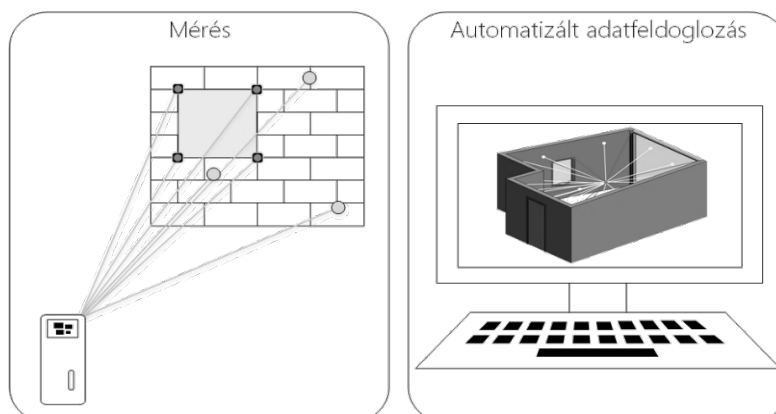
Ezek alapján is kijelenthető, hogy a hagyományos és a korszerű megoldások alkalmazása is kompromisszumokat igényel, viszont véleményem szerint a két kategória közelíthető egymáshoz és a többnyire saját zárt szoftverkörnyezet helyett a magasabb funkcionalitást biztosító építészeti tervezőszoftverekkel történő közvetlen, szoros együttműködés, akár automatizált utófeldolgozás is lehetővé tehető. Jelenleg ez a terület korlátozottan tekinthető.

2.3.2 Alkalmazott módszertan

2.3.2.1 Konceptió ismertetés

A 2.3.1 fejezetben összefoglalt megállapítások képezték a kutatás-fejlesztési folyamatom alapjait. Meggyőződésem, hogy a hagyományos és a modern technológia által kínált lehetőségek közötti technológia rés, miszerint az egyszerű eszközök felhasználása manapság csak kis léptékben gazdaságos, a modern technológia által kínált lehetőségek használata pedig magas szaktudást és költségbefektetést igényel, köztes megoldások alkalmazásával áthidalható. Céloommá vált egy olyan környezet megalkotása, amely az egyszerű kezelés lehetősége mellett gyors és pontos mérések elvégzését teszi lehetővé, valamint támogatja a BIM alapú építészeti felújítás és továbbtervezés lehetőségét. A koncepcióm egyik alapvető eleme, hogy mindez algoritmus segítségével automatizált utófeldolgozás során az építészeti tervezőszoftverek natív környezetében valósul meg, melynek eredményeként tetszőleges információkkal is felruházott 3D épületmodellek, vagy 3D épületrészmodellek állnak elő.

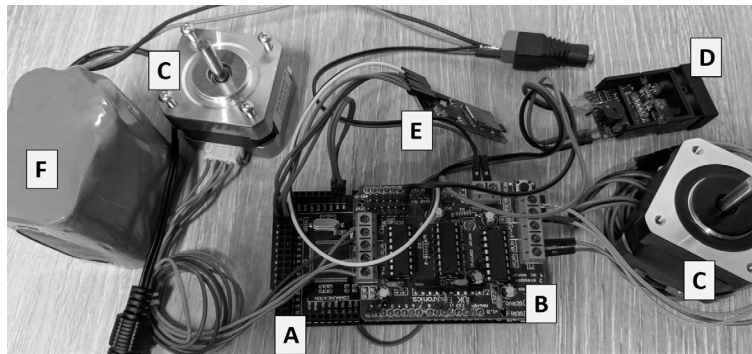
A műszerem és a felmérési módszertanom kialakítása tulajdonképpen a földi lézerszkennerek (TLS) (Shan és Toth 2018) működési elvének egyszerűsített, átalakított megvalósításán alapul. Egy lézer modul segítségével felületenként, vagy élek mentén néhány jellemző pont mérését követően egy „ultraritka pontfelhő” kerül előállításra, amely egy feldolgozó algoritmus segítségével építészeti tervezőszoftverekben is értelmezhető modellelemekké konvertálható (2.3-1. ábra).



2.3-1. ábra Működési koncepció

2.3.2.2 Hardveres kialakítás

A végső megoldás, amely a 3. eszközverzió elektronikai alapegységét jelentette, az Arduino fejlesztői környezet alkalmazását tette lehetővé. A korábbi Arduino Uno R3 eszközt felváltotta egy speciális (RobotDyn) Arduino Mega alaplap (RobotDyn 2021). Ez nem csak nagyobb feldolgozó kapacitással, de több porttal is rendelkezik és integrált formában tartalmaz egy ESP8266 wifi modult (2.3-2. ábra – A). Így egy eszközben teremtette meg lehetőségét a motorvezérlő modul (2.3-2. ábra – B) csatlakoztatásának, a léptetőmotorok (2.3-2. ábra – C), a lézermódul (2.3-2. ábra – D), a kártyaolvasó (2.3-2. ábra – E), a külső akkumulátor (2.3-2. ábra – F) és minden egyéb kiegészítő egység kezelésének, valamint a Wi-Fi protokollon keresztüli megbízható vezeték nélküli kommunikációnak és az információk, utasítások megfelelő sebességű továbbításának.

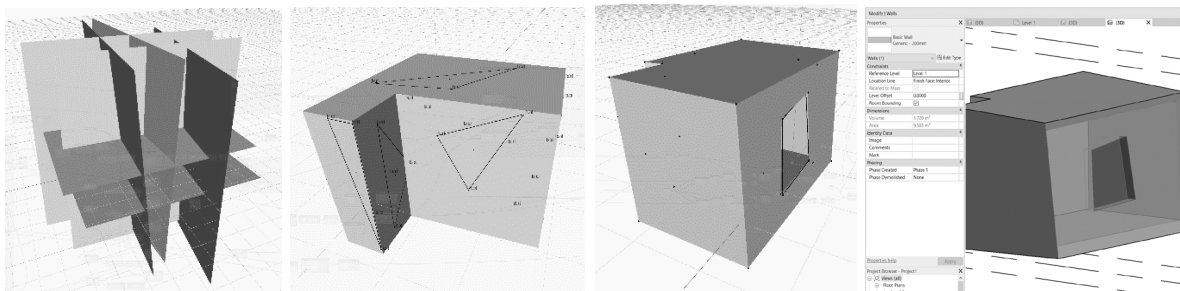


2.3-2. ábra A 3. prototípus főrendszerének összetevői

2.3.2.3 Algoritmus alapú adatfeldolgozás

Az algoritmus alapú feldolgozás folyamata során, 3 darab egymásra épülő lépésben valósul meg a tervezőszoftver számára is értelmezhető geometriák előállítása. Ezek során végbemegy a felmért szerkezetekhez kapcsolódó síkalkotás, felületalkotás, felülettisztítás és a natív modellelemek generálása (2.3-3. ábra). Az algoritmusok a nyílt szoftveres fejlesztői környezet miatt Autodesk Revit tervezőszoftver Dynamo kiegészítőjében készültek el.

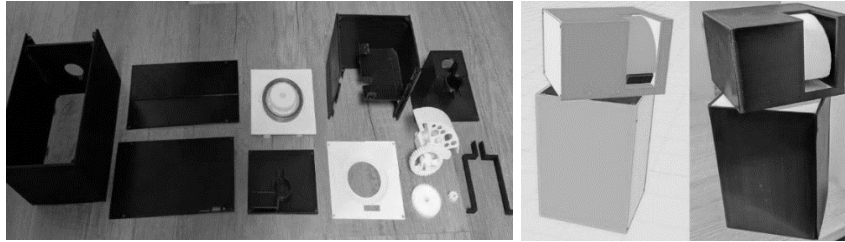
A folyamatot a helyiség síkokkal határolt befoglaló formájának elkészítésével szükséges indítani. Ennek során egy úgynevezett „Mass”, azaz tömegmodell készül el elemcsaládként (Conceptual Mass Family), amely ezt követően betölthető a tervezéshez használandó projektfájlban. A munkafolyamat második lépésében a felmérés során rögzített nyílások geometriai leképezése valósul meg, az első lépéshez hasonló módszer szerint. Végül a harmadik lépés során a tervezőszoftver eszköztára szerinti natív modellelemek kerülnek a tömegmodell által meghatározott geometriákon elhelyezésre.



2.3-3. ábra Síkalkotás, felületalkotás, modellalkotás folyamata

2.3.2.4 Formatervezés

A programozáson felül nagy hangsúlyt fektettem az eszközváz tervezésére is. Annak érdekében, hogy pontosan meg tudjam határozni a felmérő egység befoglaló méretét, legyártottam a beszerelni szükséges hardverek egyszerűsített modellelemeit valós méretüknek megfelelően. Ezeket az előírányzott formában elhelyeztem és a szükséges helyigényeknek megfelelően a befoglaló testet és a rögzítési pontokat módosítottam. A változtatásokat követően minden esetben 3D tesztnyomtatások váltak szükségessé a különböző burkolóelemek illeszkedéseinek, a rögzítési elképzeléseknek és a hardverelemek pozíciójának vizsgálata érdekében (2.3-4. ábra).



2.3-4. ábra Kinyomtatott eszközváz alkotóelemei és az összeszerelt felmérőeszköz virtuális és valós állapotban

2.3.2.5 Felmérés és felmérési eredmények

Az eszköz és a módszertan hatékonyságának alátámasztása érdekében, a felmérési folyamathoz és az utófeldolgozáshoz szükséges munkaidők is vizsgálatra kerültek. Elsődleges vizsgálati szempontként tekintettem a helyszíni felmérés és adatrögzítés tevékenységének pontosságára, valamint a felmérés során előállított állományok 3D modellként történő elkészítésének hatékonyságára. Másodlagos szempontként a felhasznált eszközök beszerzési árát is figyelembe vettem.

A vizsgálat során a saját eszközömon felül referencia méréseket végeztem a Leica 3D Disto (Leica 2021) professzionális berendezéssel is, ami lehetővé tette az általam kialakított felmérési módszertan (felületenként 3 db mérési pont rögzítése) részbeni elvégzését. Ezt figyelembe véve nagyon jó viszonyítási alapot képezett. A munkaidők összesítésének eredményeit a következő táblázat tartalmazza:

Leica 3D Disto ↑↓ Saját eszköz	Utófeldolgozás időmegtakarításának átlagolt értéke a fejlesztett módszertan esetén	72,09%
	Felmérési időtöbblet a fejlesztett eszköz és módszertan alkalmazása során	46,96%
	Teljes folyamatra vetített időmegtakarítást saját eszköz és módszertan használata esetén	25,13%

2.3-1. táblázat Összesített hatékonysági mutatók.

2.3.3 Következtetések, tézis

2.3.3.1 Következtetések

A felmérési tevékenység és az utófeldolgozás során gyűjtött tapasztalatok, valamint az időkimutatások összehasonlítása közötti párhuzamok is támogatják egyértelmű következtetések

megfogalmazását. Ahogyan 2.3-1. táblázatban is láthatóvá vált, a felmérési időkülönbség és precizitásbeli elmaradás leginkább a saját eszközőm nehezebb irányításból adódik, amit az algoritmus alapú feldolgozás kompenzálni képes. Előbbi hardverfejlesztéssel nagymértékben javítható és szinte garantálható volt a professzionális eszköz kiforrott felépítéséből, kialakításából és ezekhez párosuló magas bekerülési költségéből adódóan. Utóbbi eredménye is a várakozásoknak megfelelően alakul, hiszen ahogyan a téziszfüzet 2.4 fejezeteiben is láthatóvá válik, a manuális munkavégzés algoritmizálása jelentős időmegtakarítást eredményezhet. Ez, ebben az esetben sem volt máshogy.

A felmérési folyamatok esetén tapasztalt lemaradások megkívánják, hogy az eszközök bekerülési költsége is megemlítsenre kerüljön. Megállapíthatóvá vált, hogy amíg a saját felmérő eszközőm néhány tízezer forint anyagköltségből elkészíthető, addig a Leica 3D Disto eszköz ára több millió forint. Ez az ár tartalmaz több kiegészítő elemet (például: célzást és pozicionálást támogató táblák és eszközök), egy távirányítót, a felmérő szoftvert és egy fél napos betanítást is) (2.3-2. táblázat).

	Eszköz bruttó bekerülési költsége 2021.08.16 díjszabás szerint	Megtakarítás Leica 3D Disto eszközhöz viszonyítva
Saját felmérő eszköz	~ 35 000 Ft	- 2 325 000 Ft
Leica 3D Disto	~2 360 000 Ft (6700 EUR)	-

2.3-2. táblázat Eszköz bekerülési költség kimutatás

A költségkülönbség, még a jelenleg elmaradott precizitás, valamint a körülményesebb irányítás ellenére is figyelemre méltó és kedvező számomra, ugyanis az eltérés lehetővé teszi a tervezett jövőbeli optimalizálására irányuló fejlesztések megvalósítását és az eszköz tökéletesítését.

Ettől függetlenül is, megítélésem szerint a felmérőeszköz és a hozzá kapcsolódó módszertan egyaránt teljesíti az előirányzott elképzeléseket, így a kutatás-fejlesztési tevékenység eredményei pozitívnak nevezhetők.

A tervezőszoftverrel való közvetlen kapcsolata növeli a műszer felhasználóinak körét és hatékonyabb, gazdaságosabb folyamatokat eredményez akár kisléptékű felmérési munkafolyamatok során is. Akár amatőr, magas műszaki, építészeti, informatikai tudással nem rendelkező felhasználók is elvégezhetik elsősorban panellakásuk, vagy kevésbé bonyolult belső felépítéssel bíró épületük, épületszerkezeteik egyszerűsített belső felmérését. Ennek során előállított állományok, pedig az építészek számára biztosíthatnak alacsony részletességű kiindulási 3D modellt, amely a tovább tervezés alapjaként felhasználható az alkalmazott tervezőszoftver natív környezetében.

Hosszútávú céljaim között számos továbbfejleszhető részlet, az eszköz köré építhető szolgáltatás koncepciójának kidolgozása, valamint a beszerezhető piaci felmérőeszközök képességeinek kiszolgálása fogalmazódott meg bennem. Utóbbi segítségével lehetővé válhatna a kifinomultabb berendezések valós BIM alapú támogatása, tervezőszoftver alapú kapcsolata.

Összességében indokoltnak tartom a műszer és a módszertan további optimalizációját és bővített funkcionalitására irányuló jövőbeli fejlesztési elképzelések megvalósítását.

2.3.3.2 2. Tézis

2. Tézis - A forgalomban lévő felmérő eszközök és az építészeti tervezőszoftverek közötti információcsere lehetőségei miatt, a felmérési adatok manuális modellezése jelentős munkaidőráfordítást igényel, az automatizált utófeldolgozás pedig jelenleg komoly korlátokba ütközik. A probléma megoldására saját felmérő eszközt és adatstruktúrát fejlesztettem, az előállított adatok feldolgozását pedig egyedi, könnyen továbbfejleszhető algoritmus-alapú módszertan segítségével oldottam meg. Az így létrehozott eszközök (hardver és szoftver) együttes alkalmazásával igazoltam, hogy automatizáltan, a manuális modellezési munkaidő töredéke alatt előállítható olyan, adott helyiség határoló szerkezeteit tartalmazó alacsony részletességű 3D BIM felmérési modell, amely építészeti tervezőszoftver számára, tetszőleges információkkal rendelkező natív, további szerkesztésre alkalmas modellelemeket tartalmaz.

Kapcsolódó tudományos megjelenések: 5. fejezet – 7., 8., 9., 30. sorszámú hivatkozás.

2.4 Magasabb szintű tervezéstámogatás és ter Ellenőrzés algoritmusok segítségével

2.4.1 Hipotézis, a kutatás célja, témaismertetés

Hipotézis: Algoritmussal és programsorokkal támogatott BIM alapú tervezéshez kötődő munkafolyamatok nem csupán az építészeti felmérés, a geometriai transzformációk és elemzések, valamint szerkezeti optimalizációk esetén alkalmazhatók nagy hatékonysággal, hanem a modellelemek információinak megfelelő felhasználása mellett a tervezési, ellenőrzési és dokumentálási folyamatokkal szorosan összefüggő tevékenységek esetén is.

A kutatás célja: Alátámasztani, hogy a 2D-3D modellelemek és a bennük eltárolható információk helyes algoritmus alapú felhasználása hatékony, magasszintű dokumentálástámogatást, modell és modellelem adatmenedzsmentet, tervezési elvek ellenőrzését és időszakos mennyiségkigyűjtések segítségével építőanyagkalkulációt biztosítanak. Mindezt olyan módon, hogy a szakirodalmi kutatás során feltárt algoritmus alapú lehetőségeken (pl.: Feist és mtsai. 2016, Abrishami és mtsai. 2014, Kula, Ilter, és Ergen 2018, Cabrinha, Testolini, és Korman 2019, Khosakitchalert 2020, Rahmani Asl és mtsai. 2015, Mirtschin 2011) túlmutatóan, újszerű megoldásokat és megközelítést képviseljenek.

Ahogy az értekezés bevezetése és a kutatási irányok tárgyalása során már megemlítsre került, tapasztalataim szerint az algoritmus alapú geometriai transzformációkkal és elemzésekkel elérhető szerkezeti optimalizációk és ezek műszaki, gazdasági vonatkozásai foglalkoztatják leginkább a mérnököket, kutatókat. A koncepcionális tervezési lépések eredményeként létrejövő 3D BIM modellek alapmodellként szolgálhatnak a szakági tervezők számára, akik a részletek kialakításával a tervezés következő fázisába léphetnek. Kialakítható többek között az épület tartószerkezete, homlokzatképzése, a belső tér megvilágítási módja, vagy akár a méretezett épületgépészeti rendszere, amelyek felhasználásával különböző szimulációk és szerkezeti, valamint energetikai optimalizációk futtathatók le. Ezekre nagy hatást gyakorolnak többek között a fenntartható tervezési elvek is, amelyek manapság egyre fontosabb szerepet töltenek be az építőipar munkafolyamataiban. Ezek a szabályok az ipari ág alapjait határozzák meg.

Alapvető építésügyi, energetikai (pl.: LEED), környezetvédelmi, épületszerkezeti és ergonómiai előírásoknak kell megfelelni, így teljesen érthető a terület algoritmus alapú hangsúlyos továbbfejlődése. Azonban a BIM módszertan alkalmazása során a modellelemekbe és a rajzi objektumokba eltárolásra kerülő információk más célú (például: ellenőrzési és dokumentálástámogatású) felhasználása csak az elérhető szakirodalom kis részében, esetleg valamelyik fő folyamat kiegészítéseként kerül tárgyalásra. Ez annak ellenére történik így, hogy véleményem szerint ezek gyakorlati megvalósítása során is nagy jelentőséggel bír a munkafolyamat-optimalizáció és az ezekhez szükséges, sok esetben kiterjedt, nehezen értelmezhető, táblázatos értékek és különböző írásos segédletek formájában rendelkezésre álló dokumentumok alkotta információbázisok felhasználása.

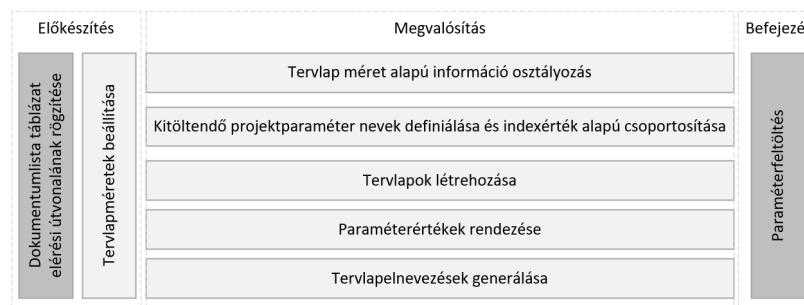
2.4.2 Alkalmazott módszertan

2.4.2.1 Kutatás-fejlesztési alterületek

1. Automatizált tervlapcsomag létrehozás, tervlapfejléc kitöltés

Tervlapgenerálás és paraméterfeltöltés

A dokumentálási tevékenységhez kötődő és hatékonyság szempontjából javítható háttér folyamatok egyike a tervezőszoftverekben történő tervlapkészítés folyamata. Ennek algoritmus alapú támogatása a tervezőszoftverek által kínált lehetőségeket figyelembe véve eltérő, így a saját kutatási és fejlesztési folyamataim során is a legnagyobb hatékonyságot biztosító Autodesk Revit + Dynamo szoftverkörnyezetben dolgoztam. Az algoritmus kialakítása során elsődleges céлом volt, hogy a Revit programban dolgozó mérnökirodák számára a tervezőirodai tevékenységeim tapasztalatait felhasználva, olyan megoldást kínálják, amely a már kialakult, általánosságban alkalmazott munkafolyamatokhoz illeszkedően nyújt háttértámogatást. A folyamat főbb lépéseit a 2.4-1. ábra szemlélteti.



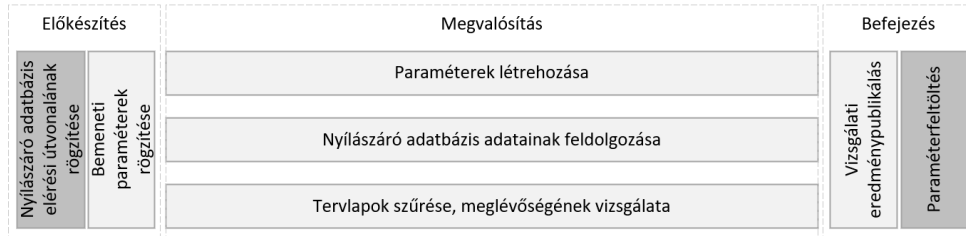
2.4-1. ábra Főbb műveleti csoportok

2. Konzignációk aktualizációjának támogatása

Információval feltöltött nyílászáró konzignációs lap kezelése

A következő terület, amely a dokumentálási tevékenységgel kapcsolatba hozható és algoritmus alapú munkafolyamatokkal támogatható, az a tervezőszoftverekben elkészített konzignációk (például nyílászáró, és lakatos konzignációk) tartalmi frissítése. Erre a tervezési folyamat során számos alkalommal szükség van, hiszen mindennapos esemény például egy ajtó típus kilincsének, tokjának, felületkezelésének, vagy zárkialakításának változása.

Az előző alterület esetén bemutatott módszertanhoz hasonlóan és részben arra épülően, ebben az esetben is a legtöbb lehetőséget biztosító Autodesk Revit + Dynamo szoftverkörnyezetben dolgoztam és ugyancsak célom volt, a már kialakult és alkalmazott munkafolyamatokhoz illeszthető, ugyanakkor könnyen más környezetre is formálható megoldás létrehozás. A folyamat főbb lépéseit a 2.4-2. ábra mutatja be.



2.4-2. ábra Főbb műveleti csoportok

3. BIM modellel kapcsolatban álló költségvetési tételkiírás és a modellelem tartalom egyezőségének vizsgálata

Elemparaméter ellenőrzés és összehasonlítás

Azzal, hogy kialakult a tervezési és kivitelezési folyamatok átfedése (Design & Build), a kivitelezők, beruházók és megrendelők a BIM módszertannal szemben is új igényeket támasztottak. Mivel a tervezési és kivitelezési folyamatok is a modellépítéssel párhuzamosan haladnak, a modellek többek között alkalmasak lehetnek egy adott pillanatnak megfelelő, a kapcsolódó projektmérföldkövek döntéstámogatását segítő költségkimutatások készítésére. Mivel ebben az esetben a hagyományos költségbecslések, költségvetések elkészítésétől eltérő folyamatok alakulnak ki, fontos szempont a minél rendszerezettebb és pontosabb végeredmény előállítása. A folyamatok alapját BIM módszertan alkalmazása során minden esetben a már lehelyezett modellelemek és azokhoz kapcsolt metaadatok képezhetik, amelyek ideális esetben szabályozott módon kerülnek eltárolásra és egy úgynevezett tartalomtervként generálható listát is eredményezhetnek. Ez attól függetlenül is igaz, hogy koncepciótervezés fázisban viszonylag kevés elem elhelyezése történik, így a modell alapú költségkimutatás erősebb becslésnek minősül, mint egy kiviteli tervnek megfelelően felépített modell esetében, ahol a modellelemek száma a több tízezret, vagy akár a több százezret is elérheti.

4. BIM módszertannal érintett projekt építész tervezési program szerinti automatizált paraméterellenőrzése

Elemparaméter ellenőrzés

Ahogy korábban is említésre került, a BIM manapság már a menedzsment folyamatokat is magába foglalja, ami az ellenőrzési folyamatok magasabb szintű lefolytatását is megkívánja. Szükséges a modellelemek szerződéses dokumentumokban rögzített értékek alapján történő vizsgálata. Az említett dokumentumok közül az építész tervezési program ellenőrzése egyike a legfontosabb feladatoknak, ugyanis sok esetben már a kivitelezés elkezdése, valamint befejezése előtt a dokumentumban rögzített paraméterekkel értékesítik az épületekben található ingatlanokat, lakásokat.

Kutatásom során a helyiségekhez kötődő főbb paraméterek (belmagasság és alapterület) ellenőrzését valósítottam meg, ugyanis ezek egyike a legjelentősebb

kivitelezési költségbefolyásoló tételeknek. Természetesen ezeken felül bármelyik másik, modellelemhez kapcsolható tényező megfelelése is ellenőrizhető algoritmusok segítségével, azonban jelen kutatás az előbbiekre fókuszál (2.4-3. ábra).



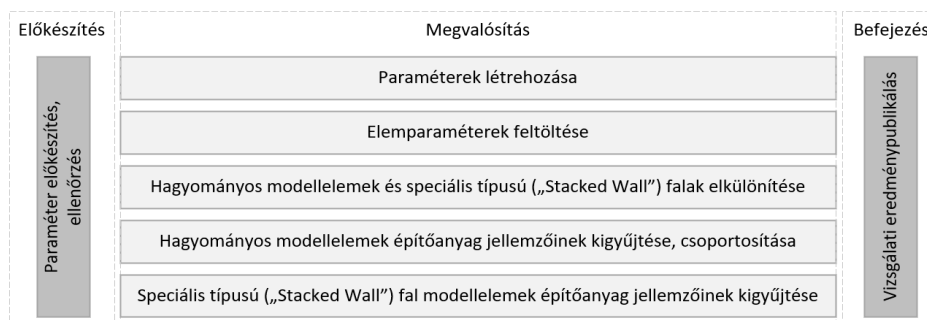
2.4-3. ábra IfcSpace modellemek Revit szoftverben történő megjelenítése

5. Építőanyagmennyiség monitoring

Objektumonkénti építőanyagmennyiség kimutatás és összehasonlítás

Napjainkban egyre fontosabb a gazdaságos kivitelezési folyamatok és a kiszámítható építési költségkontroll kialakítása, amely támogatására a technológia jelenlegi fejlettségi szintje számtalan, még kidolgozatlan lehetőséget is kínál. A tervezési folyamatok eredményeként elkészült, BIM elvek alapján felépített 3D modellek és hozzájuk kapcsolódó épületre jellemző adatbázisok, megfelelő kiindulási alapot nyújthatnak a hasonló igények kielégítésére.

A jelenleg tapasztalható beszerzési árnövekedést is figyelembe véve, ezek közül az egyik legfontosabb az építőanyagok mennyiségi kalkulációja és a tervezési, illetve a kivitelezési folyamatok közbeni követése. Ennek akár a tervezőirodában, akár az építés helyszínén történő megvalósításában is támogatást nyújthatnak az algoritmusok, amelyek a BIM modellek információtartalmát felhasználva kínálhatnak folyamatosan frissülő adatbázisokat. A folyamat főbb lépéseit a 2.4-4. ábra szemlélteti.



2.4-4. ábra Főbb műveleti csoportok

2.4.3 Következtetések, tézis

2.4.3.1 Következtetések

A korábbi feltevéseim, miszerint az algoritmus alapú tevékenységek a hagyományosak tekinthető munkafolyamatokkal szemben jelentős hatékonyságnövekedést eredményezhetnek,

a fejezetben tárgyalt tevékenységeken keresztül is megerősítést nyertek. Bizonyítottá vált, hogy a magasabb szintű tervezéstámogatás és tervellenőrzés munkafolyamatai helyes, részben vagy egészben automatizált adatmenedzsment folyamatokkal is segíthetők. Az algoritmusok hasznosíthatósága nem kizárólag a geometriai transzformációkra, elemzésekre és szerkezeti optimalizációkra korlátozódik és a legtöbb projektszereplő számára hozzáadott értékkel bír. A tervezők, rajzoló, projektmenedzserek, de akár a beruházók, megrendelők számára is létrehozhatók olyan megoldások, amelyek a tervezési folyamat során többletinformációt közölnek, vagy egyszerűen csak a hagyományos folyamatokhoz képest töredék idő alatt kimutatásokat generálnak (~407–1364x gyorsulás figyelhető meg, például: 5,4 másodperc \leftrightarrow 1,4 óra (0.107%)). Utóbbi eredményeként, többek között ellenőrzési tevékenységek többszöri elvégzése is lehetővé tehető jóval a korábbi folyamatok időszükséglete alatt. Ez a részfolyamatok minőségi javulásához is vezethet, az mellett, hogy az alkalmazandó humán erőforrásszükséglet csökkenése is elérhető a bemutatott, nagymértékben időigényes (például: egyszerű adatfeltöltés, vagy paraméterellenőrzés) tevékenységekben.

A kimutatott eredményeket és a következtetéseket is szem előtt tartva, jövőbeli céljaim között szerepel a kidolgozott algoritmusok további tervezőszoftverek (pl. Graphisoft Archicad) környezetére való átalakítása (a programkorlátok figyelembevételével), Python programnyelvre történő lefordítása, valamint további olyan területek kutatása, amelyben az algoritmusok hasonló sikeresség mellett hasznosíthatók.

2.4.3.2 3. Tézis

3. Tézis - A szakirodalomban fellelhető tervezési és mérnöki munkát segítő, algoritmus-alapú megoldások leginkább a formakeresés, a geometriai transzformációk, valamint az analízisek és az optimalizáció támogatására fókuszálnak. A műszaki dokumentálás, a modellek adatmenedzsmentje, a tervezési elveknek való megfelelés felülvizsgálata, illetve az időszakos mennyiséganalízisek nem képezik részét a nemzetközileg vizsgált kutatási területeknek, annak ellenére, hogy hatékonyság szempontjából jelentős mértékben javítható munkafolyamatokként azonosíthatók. Ezt a hiányt felismerve a műszaki adat-, és információkezelés felsorolt területein saját eljárásokat dolgoztam ki, amelyeket sikeresen alkalmaztam. Az új algoritmus-alapú módszerekkel igazoltam, hogy a hatékonyság nagymértékben növelhető ezeken a területeken a jelenlegi mérnökirodai gyakorlatban használt tevékenységekhez képest.

Kapcsolódó tudományos megjelenések: 5. fejezet – 6., 11., 13., 16., 17., 20. sorszámú hivatkozás.

2.5 Kivitelezés és műszaki előkészítés folyamatainak algoritmus alapú támogatása

2.5.1 Hipotézis, a kutatás célja, témaismertetés

Hipotézis: A jelenlegi hagyományos, illetve 2D alapú digitális mennyiségbecslési munkafolyamatok hatékonysága algoritmusok és generált, alacsony részletességű 3D épületmodellek alkalmazásával növelhető.

A kutatás célja: Alátámasztani, hogy a szakemberek kivitelezés és műszaki előkészítés mennyiségbecslése során használatos napi gyakorlata a modern technológiák és lehetőségek (algoritmus alapú folyamatok) bevonása esetén munkaidő megtakarítást és egyszerűsített modellel támogatott építőanyag mennyiségi kimutatások készítését eredményezi. Ezáltal a költségbecslések, költségvetések készítése és a vállalkozási, beszerzési folyamatok eredményesebb lefolytatása pozitív hatást gyakorolhat a projektek műszaki előkészítő és menedzsment tevékenységeire. Mindezt olyan módon, hogy a szakirodalmi kutatás során feltárt algoritmus alapú lehetőségeken (pl.: Borhani és mtsai. 2019, Abanda, Kamsu-Foguem, és Tah 2017, Yin, Wonka, és Razdan 2009, Gimenez és mtsai. 2015) túlmutatóan, újszerű megoldásokat és megközelítést képviseljen.

Napjainkban egyre fontosabb a gazdaságos kivitelezési folyamatok kialakítása és a kiszámítható bekerülési költségek meghatározása. Ezek támogatására a technológia jelenlegi fejlettségi szintje számtalan, még akár kidolgozatlan lehetőséget is kínál. A tervezési folyamatok eredményeként létrejövő BIM modellek és a hozzájuk kapcsolt adatbázisok, megfelelő kiindulási alapot nyújthatnak a hasonló igények kielégítésére. Azonban mivel ennek alapfeltételei az összes tervezési tevékenység csekély részében, néhány kivételt leszámítva leginkább a legnagyobb beruházások esetén állnak rendelkezésre, a hagyományos továbbyszerkeszthető vektoros állományok (pl.: .dwg) által nyújtott lehetőségek is vizsgálandók.

2.5.2 Alkalmazott módszertan

2.5.2.1 Algoritmussal támogatott DWG alapú mennyiségkalkuláció

Az említett módszertani sajátosságok miatt számos élethelyzetben kizárólag .pdf és .dwg formátumú tervlapok állnak rendelkezésre. Mivel a .pdf állományok rajzi információtartalma tervezőprogramokhoz kapcsolható algoritmus alapú felhasználás esetén korlátosnak és hiányosnak nevezhető, valamint a rajzi elemek leképezésének módja is sajátos (például: *a korábban szaggatott vonal nem egybefüggő vonalként, hanem számos különálló rövid folytonos vonalként kerül értelmezésre*) nem tesz lehetővé hatékony algoritmizált feldolgozást. Ezzel a szemben a .dwg állományok és objektumaik sokkal gazdagabb (BIM modellhez képest viszonyítva azonban csak elenyésző) információtartalommal bírnak, amelyek közé a grafikus elemek alapvető sajátosságai közül a legfontosabbak tartoznak (például: vonaltípus, vonalszín, fólianév, blokktulajdonságok, kitöltésnév). Véleményem szerint ezek segítségével (képfeldolgozó és dokumentum analízáló programok nélkül is) olyan, különböző feltételeken alapuló szabályrendszerek és szűrések definiálhatók, amelyek lehetővé tesznek algoritmus alapú feldolgozást. Éppen ezért a kutatás-fejlesztési tevékenységem során ennek megvalósítására törekedtem.

Mérnökirodai megoldásokat tanulmányozva egyértelművé vált számomra, hogy a mennyiségbecslési folyamatok jellemzően manuális (digitális környezetben, de rajzi elemenként, szakaszonként, területenként végzett) mérési tevékenységek és minden projekt esetén másként kezelendők. Ennek oka az építmények eltérő típusain (lakóépület, középület, irodaépület, csarnoképület) és méretén felül, a rendelkezésre álló, illetve szükséges időkeret (jellemzően 2-14 munkanap), valamint a projektállományok forrása (közbeszerzési dokumentumcsomag, vállalaton kívüli tervállomány, vagy vállalaton belül előállított műszaki tervek).

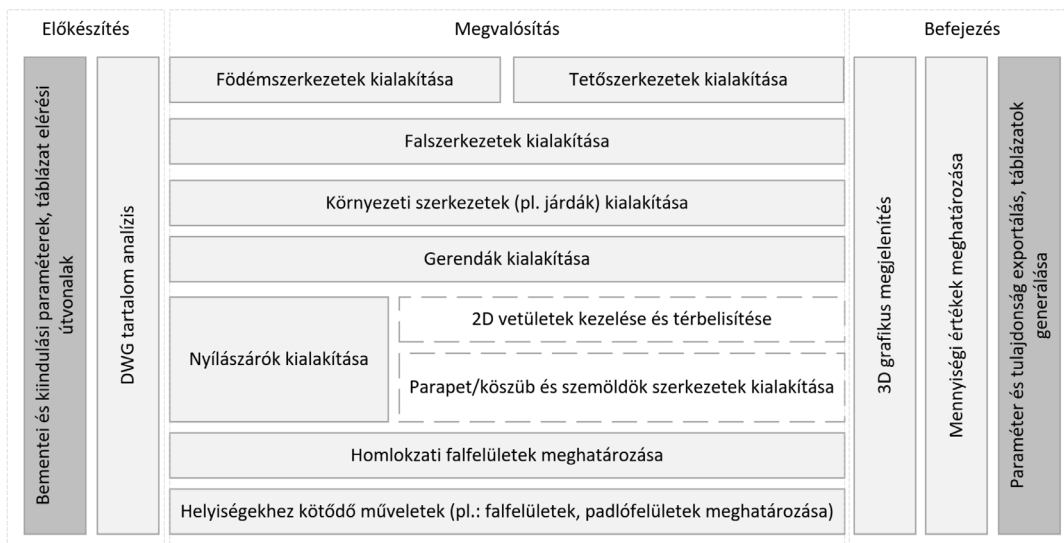
2.5.2.1.1 A munkafolyamat főbb lépései

A rögzített célokat szem előtt tartva olyan algoritmus kidolgozását kezdtem meg, amely egy meghatározott szabályrendszer szerint előállított családiház léptékű .dwg formátumú műszaki tervlap információtartalmát feldolgozva, képes 3D modell, és az adattartalommal összefüggésben alapmennyiség (például: köbméter, hossz, négyzetméter) alapú kalkuláció generálására.

A szabályozottság az jelenti, hogy jelenleg sablonizálható módszertani lépések és állományok szükségesek a teljeskörű megoldás érdekében, amelyek a jövőben kiterjeszthetők univerzálisabb megoldások irányába is.

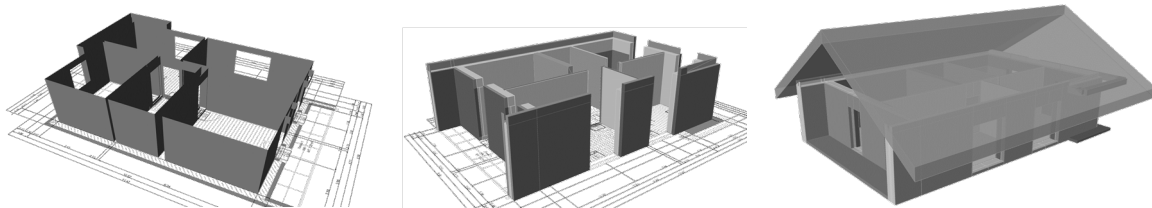
A kutatás-fejlesztési folyamat során felhasznált tervező és modellező szoftver, illetve az algoritmus környezetét megteremtő program, ellentétben a téziszüzetben eddig szereplő Revit és Dynamo párossal, ebben az esetben a Graphisoft ArchiCAD 22 tervezőprogram és a Rhinoceros 6 (továbbiakban Rhino) környezetben működő Grasshopper parametrikus kiegészítő volt. Ezekon felül az Autodesk AutoCAD szoftver volt segítségemre a .dwg fájlok szerkesztése során.

Az algoritmus működési logikáját tekintve, a 2.5-1. ábrán látható főbb műveletcsoportokból épül fel.



2.5-1. ábra Algoritmus főbb műveleti csoportjai

A folyamat során mennyiségbecslésre is alkalmas, egyszerűsített 3D modellek generálása valósul meg (2.5-1. ábra).



2.5-2. ábra 2D objektumokból generált 3D elemek

2.5.3 Következtetések, tézis

2.5.3.1 Következtetések

A kezdeti megállapításaim alátámasztásra és céljaim megvalósításra kerültek. Összeségében a terveimnek megfelelően létrehoztam egy olyan szabályozható és meglévő gyakorlatokba illeszthető munkafolyamatot, valamint ezt kiszolgáló algoritmust, amely a jelenlegi kalkulációs tevékenységeknek és piaci sajátosságoknak (pl.: kevés rendelkezésre álló munkaidő) megfelelően képes támogatni a mennyiségbecslési és ezáltal a költségbecslési munkafolyamatokat. Az algoritmus működésének vizsgálatai során az is kijelenthetővé vált, hogy családiház méretben a megfelelően előkészített állományok felhasználása esetén, a manuális BIM modell alapú feldolgozásnál kedvezőbb időráfordítás érhető el (2.5-1. táblázat) és közel azonos szerkezeti mennyiség generálható (2.5-2. táblázat). Utóbbi kifejezetten pozitív eredmény a jövőbeli továbbfejlesztés indokoltságára nézve.

Módszertan időszükséglete	Algoritmussal támogatott modellkészítés és mennyiségkigyűjtés	Hagyományos alacsonyabb részletességű BIM modellezéssel támogatott modellkészítés és mennyiségkigyűjtés	Hagyományos magasabb részletességű BIM modellezéssel támogatott modellkészítés és mennyiségkigyűjtés
Átlagolt munkaidő ráfordítás	67,1 min	233,5 min	371,5 min
Többletidő az algoritmus alapú feldolgozáshoz képest	-	171,3 min	309,3 min
Munkaidő szükséglet	(100 %)	347,98 %	553,65 %

2.5-1. táblázat Módszertan időszükséglete.

Vizsgált építőanyagmennyiségek és eltéréseik átlagolt értéke	Algoritmusból generált mennyiségek abszolútértékben vett eltérése BIM modellhez képest			
Falszerkezetek	3,41 % (m3 eltérés)		3,38 % (m2 eltérés)	
Homlokzati felületek	2,38 % (m2 eltérés)			
Helyiségek értékei	3 % (m3 eltérés)	5,23 % (m2 eltérés)		1,9 % (m eltérés)
Padlószervezetek	6,72 % (m3 eltérés)		6,45 % (m2 eltérés)	
Nyílászárók és áthidalók	Nyílászáró darabszám (db) eltérése egyszerű és részletes BIM modellhez képest		Áthidaló darabszám (db) eltérése egyszerű és részletes BIM modellhez képest	
	0 %	0 %	100 %	0 %

2.5-2. táblázat Vizsgált építőanyagmennyiségek és eltéréseik átlagolt értéke.

Ezekon túlmenően megvalósítható az algoritmus alkalmazásához kapcsolódó csapatösszeállítás optimalizálása és munkafolyamat megosztása, amelyben a kompetenciáknak megfelelően építhetők fel a műveletek. Felszabadíthatóvá válik a képzett vállalozási és beszerzési mérnökök kapacitása a kalkulációs folyamatok kezdeti és közbelső tevékenységei közben. Egyes projektek ilyen jellegű folyamatai során koncentrálhatnak a kimutatások értelmezésére és ellenőrző mérések elvégzésére, amivel a korábbi időráfordításuk egy-egy projekt esetén a töredéke lehet a korábbiaknak.

Pozitívként értékelhető továbbá, hogy az algoritmusok által biztosított testreszabhatóságból kifolyólag, olyan összefüggésben is elemezhető, csoportosítható és exportálható az építőanyag információk, amelyek a tervezőszoftverek kötöttségeiből adódóan nem megvalósíthatók. Éppen ezért tervezem az elkészült megoldást és a módszertant alkalmassá tenni például csarnoképületek, középületek, irodaépületek, sportlétesítmények és bonyolultabb kialakítású lakóépületek állományainak mennyiségbecslés szempontú feldolgozására, valamint a szabályozott környezetben kívülről érkező .dwg állományok kezelésére.

2.5.3.2 4. Tézis

4. Tézis – A kivitelezés, illetve az ahhoz kapcsolódó műszaki előkészítés során a jelenlegi magyarországi gyakorlat szerint a mennyiségek számítása elsősorban a digitális 2D tervdokumentáción végzett mérések és elemzések segítségével történik. A nagyobb munkaidőszükséglet és a rövid rendelkezésre álló határidők ellentmondása miatt csak ritkán, elsősorban nagyberuházások és jelentős gazdasági szereplők részvétele esetén fordul elő, hogy a műszaki előkészítést és mennyiségek meghatározását támogató, részletes BIM modell készül. A gazdaságosabb, a projekt kezdetétől deklaráltan több felhasználási célra (pl. tervezéstámogatás, tervdokumentáció előállítás, mennyiségszámítás) épített BIM modellek esetében viszont nagyon átgondolt előkészítésre, precíz modellezésre és rendkívül mély szakértelemre van szükség. A felsorolt nehézségek és problémák megoldása érdekében létrehoztam egy olyan algoritmust, amely az elterjedt tervszolgáltatáshoz és az általánosabb kompetenciákhoz illeszkedve képes szabályozott folyamat eredményeként előálló 2D DWG tervállományok információtartalmának elemzésére, értelmezésére és így belőlük egyszerűsített 3D modell generálására. Az általam létrehozott eljárást sikeresen alkalmaztam családi ház léptékű épületek 2D DWG terveinek feldolgozása során, így jelentősen gyorsítottam a mennyiségszámítás és a térbeli tervellenőrzés folyamatát.

Kapcsolódó tudományos megjelenések: 5. fejezet – 5., 18., 21., 22., 23. sorszámú hivatkozás.

3 Összegzés és jövőbeli célok

A disszertáció fő célja, hogy az algoritmusok építőipari megvalósulási és megvalósítási folyamatokban történő alkalmazásának hatékonyságát alátámassza olyan területeken is, amelyek nem minden esetben kapcsolódnak 3 dimenziós objektumokhoz, illetve amelyek a megfelelő információ-, és adatmenedzsment eredményeként válnak értelmezhetővé. Mindezt olyan formában, hogy ne igényeljenek teljes munkamódszer váltást, hanem a lehetőségekhez mérten a már kialakult irodai tevékenységekhez, munkafolyamatokhoz illeszthető, szabályozott,

korszerű megoldások jöjjenek létre. Véleményem szerint, a tézisekhez kapcsolódó kimutatások eredménye alapján a megállapításaim alátámasztásra kerültek.

A jelenlegi szokásokról és gyakorlatokról, illetve a jövőbeli lehetőségekről a szakmai célközönség által kitöltött kérdőívem is átfogó képet ad. Amennyiben ennek összefoglaló konklúzióját szeretném megfogalmazni, elmondható, hogy a BIM és az algoritmus alapú területeken a hazai szakma megindult a fejlődés útján. Egyre nagyobb érdeklődés övezi mindkét területet külön-külön és együttes alkalmazás esetén is. Azt is fontos megemlíteni, hogy leginkább a nagyobb tervezőirodák és kivitelezői csapatok (illetve BIM tevékenységekre specializálódott cégek) haladtak előre a technológiai lehetőség kihasználásában, azonban néhány kivétellel még így is többnyire a BIM és az algoritmusok legáltalánosabb felhasználási módjai kerülnek alkalmazásra. Főleg a geometriai műveletekkel érintett tevékenységeket (például: térbeli koordinációt, modell alapú műszaki dokumentáció készítést, objektumkészítést, koncepcióvázlatok elkészítését és vizsgálatát, analízisek lefolytatását, automatizált energetikai optimalizációkat) támogatják. Természetesen több esetben sokkal magasabb szintű integráltság is megmutatkozik, ami a teljes szakmára nézve is előremutató. Éppen ezért tervezem a kérdőív néhány év múlva történő ismételt közzétételét és a jelenlegi eredmények alapján azt prognosztizálom, hogy annak kiértékelése jóval nagyobb mértékű módszertani és technológiai elterjedést, mélyebb szintű gyakorlati felhasználást fog mutatni.

Az elért eredményeket figyelembe véve és tekintettel az egyre növekvő gazdaságosságra, valamint hatékonyságra való törekvésre, meggyőződésem, hogy a jövőben alkalmazandó BIM munkafolyamatok nélkülözhetetlen összetevőjévé válnak az adatközpontú algoritmus alapú tevékenységek. Éppen ezért és az elterjedés elősegítése érdekében a 2.2 fejezetben is tárgyalt célspecifikus oktatás nélkülözhetetlené válik. Bármennyire is felhasználóbaráttá tehető az algoritmusok kezelése (például: Dynamo Player), az esetleges módosítások végrehajtásához (és új megoldások készítéséhez) speciális szaktudás szükséges. Az ilyen helyzetekben megbízott építészeti programozásban is jártas szakember, optimális esetben képes hosszútávon is fejleszthető és az eredeti koncepcióhoz kapcsolódó jövőbeli elképzelés beépítésére is alkalmas programokat összeállítani. Tapasztalataim szerint, a folyamatok kezdetén jelentkező többletidő befektetés többszörösen megtérül az algoritmusok felhasználása során.

A leírtakon, és így az értekezésben található alkalmazási területekhez kapcsolódóan bemutatott algoritmusok optimalizációján felül, a tématerület további építőipari irányokba való kiterjesztése (például: a kutatás-fejlesztési folyamatok során felfedezett építéshelyi balesetvédelem lehetőségeinek algoritmus, valamint BIM alapú kiaknázása) még jövőbeli terveim között szerepel.

4 Irodalomjegyzék

- Abanda, F. H., B. Kamsu-Foguem, és J. H. M. Tah. 2017. „BIM – New Rules of Measurement Ontology for Construction Cost Estimation”. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 20 (2): 443–59. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.01.007>.
- Abrishami, Sepehr, Jack Goulding, Farzad Pour Rahimian, és Abdulkadir Ganah. 2014. „Integration of BIM and Generative Design to Exploit AEC Conceptual Design Innovation”. *Information Technology in Construction* 19 (szeptember): 350–59.

- Bálna. 2021. „A budapesti Bálna kulturális központ morfológiai elemzése”. 2021. <https://tervlap.hu/cikk-nezet/a-budapesti-balna-kulturalis-kozpont-morfologiai-elemzese>.
- Borhani, Alireza, Carrie Sturts Dossick, Christopher Meek, Devin Kleiner, és John Haymaker. 2019. „Adopting Parametric Construction Analysis in Integrated Design Teams”. In *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*, szerkesztette Ivan Mutis és Timo Hartmann, 351–58. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00220-6_42.
- Cabrinha, Mark, Dante Testolini, és Ben Korman. 2019. „Lattice Shell Methodologies: Material Values, Digital Parameters”. In *Digital Wood Design: Innovative Techniques of Representation in Architectural Design*, szerkesztette Fabio Bianconi és Marco Filippucci, 195–220. Lecture Notes in Civil Engineering. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03676-8_6.
- Eastman, Charles M, Paul Teicholz, Rafael Sacks, és Kathleen Liston. 2008. *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. John Wiley & Sons, Inc.
- Feist, Sofia, Guilherme Barreto, Bruno Ferreira, és António Leitão. 2016. *Portable Generative Design for Building Information Modelling*. At: Melbourne, Australia: Conference: 21st International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2016 Conference).
- Gimenez, Lucile, Jean-Laurent Hippolyte, Sylvain Robert, Frédéric Suard, és Khaldoun Zreik. 2015. „Review: Reconstruction of 3D Building Information Models from 2D Scanned Plans”. *Journal of Building Engineering* 2 (június): 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2015.04.002>.
- Humppi, Harri. 2015. „Algorithm-Aided Building Information Modeling: Connecting Algorithm-Aided Design and Object-Oriented Design”. <https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/23492>.
- Khosakitchalert, Chavanont. 2020. „Development of Quantity Takeoff Methods for Compound Elements Based on Building Information Modeling (BIM)”, július. <https://doi.org/10.18910/77497>.
- Kociecki, Maggie, és Hojjat Adeli. 2015. „Shape Optimization of Free-Form Steel Space-Frame Roof Structures with Complex Geometries Using Evolutionary Computing”. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 38: 168–82. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2014.10.012>.
- Kula, Behlül, Deniz Artan Ilter, és Esin Ergen. 2018. *Building Information Modelling for Performing Automated Quantity Take-Off*. Cyprus International University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Catalkoy, Kyrenia, North Cyprus: Conference: 5th international Project and Construction Management Conference (IPCMC2018).
- Leica. 2021. „Leica 3D Disto”. 2021. <https://shop.leica-geosystems.com/global/buy/3d-disto/3d-disto>.
- Mirtschin, Jonathan. 2011. „Engaging Generative BIM Workflows”. *Geometry Gym Ltd*, 8.
- Nast, Condé. 2021. „FÉLIX CANDELA, el arquitecto de las parábolas”. *Architectural Digest España*. 2021. de enero de. <https://www.revistaad.es/disenio/iconos/articulos/felix-candela-arquitecto-parabolas/28550>.
- Octogon. 2018. „A Telekom És a T-Systems Közös Székháza”. *Octogon Architecture and Design* (Melléklet special edition 2018). <https://issuu.com/tiba-studio/docs/telekom>.
- Oti, A. H., W. Tizani, F. H. Abanda, A. Jaly-Zada, és J. H. M. Tah. 2016. „Structural Sustainability Appraisal in BIM”. *Automation in Construction* 69 (szeptember): 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.019>.

- Pendás, María González. 2018. „Fifty Cents a Foot, 14,500 Buckets: Concrete Numbers and the Illusory Shells of Mexican Economy”. *Grey Room* 71 (június): 14–39. https://doi.org/10.1162/grey_a_00240.
- Pesti, Monika. é. n. „A Logika Esztétikuma - 40 Éve Hunyt El Pier Luigi Nervi”. <https://www.epiteszforum.hu>. Elérés 2021. augusztus 5. <https://epiteszforum.hu/a-logika-esztetikuma-40-eve-hunyt-el-pier-luigi-nervi>.
- Rahmani Asl, Mohammad, Saied Zarrinmehr, Michael Bergin, és Wei Yan. 2015. „BPOpt: A Framework for BIM-based Performance Optimization”. *Energy and Buildings* 108: 401–12. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.011>.
- RobotDyn. 2021. „RobotDyn - MEGA+WiFi R3 ATmega2560+ESP8266, Flash 32MB, USB-TTL CH340G, Micro-USB”. 2021. <https://robotdyn.com/mega-wifi-r3-atmega2560-esp8266-flash-32mb-usb-ttl-ch340g-micro-usb.html>.
- Rodrigues, Eugénio, Adélio Rodrigues Gaspar, és Álvaro Gomes. 2014. „Improving Thermal Performance of Automatically Generated Floor Plans Using a Geometric Variable Sequential Optimization Procedure”. *Applied Energy* 132: 200–215. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.068>.
- Schoonmaker, Stephen J. 2002. *The CAD Guidebook: A Basic Manual for Understanding and Improving Computer-Aided Design*. Marcel Dekker Ltd. <https://hdl.handle.net/103322/a1a60a>.
- Shan, Jie, és Charles K. Toth. 2018. *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing, Second Edition*. CRC Press.
- Vandervaeren, Camille, Francois Denis, Waldo Galle, és Niels Temmerman. 2021. „Challenging Architectural Design Choices with Quantified Evaluations of the Generality and Adaptability of Plan Layouts”. In *Sustainability in Energy and Buildings 2020*, 2021. kiad., 161–71. Smart Innovation, Systems and Technologies, Volume 203. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8783-2_13.
- Yin, Xuetao, Peter Wonka, és Anshuman Razdan. 2009. „Generating 3D Building Models from Architectural Drawings: A Survey”. *IEEE Computer Graphics and Applications* 29 (1): 20–30. <https://doi.org/10.1109/MCG.2009.9>.
- „Zaha Hadid Architects”. é. n. Elérés 2021. augusztus 5. <https://www.zaha-hadid.com/>.
- Zarzycki, Andrzej. 2012. *Parametric BIM as a generative design tool*. At: Boston: Conference: ACSA 2012.

5 Saját tudományos tevékenységek, publikációk

Folyóiratpublikációk, konferenciaközlemények (absztrakt) és előadások:

- 1) Nándor, BAKAI; Olivér, RÁK; Patrik Márk, MÁDER; Márk, ZAGORÁCZ; (Research Group 'BIM SKILL LAB'): *Identifying Focus Areas for Reducing Greenhouse Gas Emissions in the Construction Industry*; 225 p. Paper: Paper 25; In: Prof. Dr. Péter, IVÁNYI (szerk.) 17th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium - Abstract Book: Architectural, Engineering and Information Sciences; Pécs, Magyarország: Pollack Press, (2021); Nyelv: Angol (ISBN: 978-963-429-811-3)

- 2) BAKAI Nándor; **MÁDER Patrik Márk**; HORKAI András; ETLINGER József; ZAGORÁCZ Márk Balázs; RÁK Olivér; CEBEI Márk Dániel; BACHMANN Bálint; (Research Group 'BIM SKILL LAB'): *Az építőipari munkabalesetek megelőzésére és csökkentésére irányuló beavatkozási területek – statisztikai adatelemzéssel történő – meghatározása*; Beadva, befogadási visszajelzésre vár: *Építés – Építészettudomány folyóirat*; (várható megjelenés 2022); Budapest, Magyarország; Nyelv: Magyar
- 3) **Patrik Márk, MÁDER**; Nándor, BAKAI; András, HORKAI; József, ETLINGER; Márk Balázs, ZAGORÁCZ; Olivér, RÁK; (Research Group 'BIM SKILL LAB'): *Defining Focus Areas for Digitization to Reduce Construction Industry Generated CO2 Emissions*; Befogadva, megjelenés előtt: 6th World Multidisciplinary Civil Engineering - Architecture - Urban Planning Symposium; IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (várható megjelenés 2021); Prague, Czech Republic; Nyelv: Angol
- 4) Olivér, RÁK; Nándor, BAKAI; József, ETLINGER; Márk Balázs, ZAGORÁCZ; **Patrik Márk, MÁDER**; Réka, GULYÁS; Alexandra, PETŐ; Balázs, KOKAS; Ágnes, BORSOS; Péter, IVÁNYI: *Refurbishment Optimization Of Prefab Buildings Focusing On Surveying Processes With The Help Of Bim - Beadva, befogadási visszajelzésre vár: Építés – Építészettudomány*; (várható megjelenés 2022); Budapest, Magyarország; Nyelv: Angol
- 5) **Patrik Márk, MÁDER**; Olivér, RÁK; Nándor, BAKAI; József, ETLINGER; István Ervin, HÁBER: *Use of algorithms in building construction preparation*; Befogadva, megjelenés előtt: In: *Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences*; (várható megjelenés: vol. 17, 2022) Pécs, Magyarország; Nyelv: Angol
- 6) **Patrik Márk, MÁDER**; Olivér, RÁK; Nándor, BAKAI; József, ETLINGER; István Ervin, HÁBER: *Use of algorithms in BIM-based audit processes*; Befogadva, megjelenés előtt: In: *Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences*; (várható megjelenés: vol. 17, 2022) Pécs, Magyarország; Nyelv: Angol
- 7) **MÁDER, Patrik Márk**; SZILÁGYI, Dorottya; RÁK, Olivér; HÁBER, István Ervin: *Lézeres felmérő eszköz és felmérési módszertan közvetlen építészeti tervezőszoftver kapcsolattal*; p. 122-125; In: Bitay, Enikő; Maté, Márton (szerk.) *Műszaki Tudományos Közlemények (Papers on Technical Science)*; vol. 13: Issue 1 (2020); Kolozsvár, Románia; Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya (EME MTSZ); Nyelv: Magyar; (ISSN: 26015773) <http://doi.org/10.33895/mtk-2020.13.22>
- 8) **Patrik Márk, MÁDER**; Dorottya, SZILÁGYI; Olivér, RÁK; István Ervin, HÁBER: *Laser survey tool and survey methodology for direct architectural CAD software connection*; p. 122-125; In: Bitay, Enikő; Maté, Márton (szerk.) *Műszaki Tudományos Közlemények (Papers on Technical Science)*; vol. 13: Issue 1 (2020); Kolozsvár, Románia; Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya (EME MTSZ); Nyelv: Angol; (ISSN: 2668-1390) <http://doi.org/10.33894/mtk-2020.13.22>

- 9) **Patrik Márk, MÁDER;** Dorottya, SZILÁGYI; Olivér, RÁK: *Tools and methodologies of 3D model-based building survey*; p. 169–176; In: *Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences*; vol. 15: Issue 1 (2020); Pécs, Magyarország; Nyelv: Angol <http://doi.org/10.1556/606.2020.15.1.16>
- 10) Olivér, RÁK; **Patrik Márk, MÁDER;** József, ETLINGER; Mária, EÖRDÖGHNÉ Miklós; Márk Balázs, ZAGORÁCZ: *Case study of a BIM-based pool design project focusing on hydraulic engineering*; p. 127; In: Prof. Dr. Péter, IVÁNYI (szerk.) 15th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium - Abstract Book: Architectural, Engineering and Information Sciences; Pécs, Magyarország: Pollack Press, (2019); Nyelv: Angol (ISBN:978-963-429-449-8)
- 11) József, ETLINGER; Olivér, RÁK; Márk Balázs, ZAGORÁCZ; **Patrik Márk, MÁDER:** *Revit add-on modification with simple graphical parameters*; p. 73-81; In: *Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences*; vol. 13: Issue 3 (2018); Pécs, Magyarország; Nyelv: Angol <http://doi.org/10.1556/606.2018.13.3.8>
- 12) **Patrik Márk, MÁDER;** Olivér, RÁK; István Ervin, HÁBER: *Contemporary architecture based on algorithms*; p. 53-60; In: *Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences*; vol. 13: Issue 3 (2018); Pécs, Magyarország; Nyelv: Angol <http://doi.org/10.1556/606.2018.13.3.6>
- 13) Márk Balázs, ZAGORÁCZ; Dániel, KÓCSÓ; **Patrik Márk, MÁDER:** *The necessity of defining BIM contractual documents in Construction Industry*; p. 142; In: Dr. Attila FÜLÖP; Prof. Dr. Péter, IVÁNYI (szerk.) 13th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium - Abstract Book: Architectural, Engineering and Information Sciences; Pécs, Magyarország: Pollack Press, (2017); Nyelv: Angol (ISBN:978-963-642-780-1)
- 14) Olivér, RÁK; József, ETLINGER; **Patrik Márk, MÁDER:** *The current state of the panel buildings focusing on Pécs*; p. 111; In: Dr. Attila FÜLÖP; Prof. Dr. Habil. Péter, IVÁNYI (szerk.) 13th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium - Abstract Book: Architectural, Engineering and Information Sciences; Pécs, Magyarország: Pollack Press, (2017); Nyelv: Angol (ISBN:978-963-642-780-1)
- 15) **Patrik Márk, MÁDER;** Márk Balázs, ZAGORÁCZ; Olivér, RÁK: *Analyzing the requirements and the solutions for a point cloud based BIM model*; p. 81; In: Prof. Dr. Habil. Péter, IVÁNYI (szerk.) 12th Miklós Iványi International PhD and DLA Symposium - Abstract Book: Architectural, Engineering and Information Sciences; Pécs, Magyarország: Pollack Press, (2016) Nyelv: Angol (ISBN:978-963-429-094-0)
- 16) József, ETLINGER; Márk Balázs, ZAGORÁCZ; **Patrik Márk, MÁDER:** *High detailed BIM object creation with graphical parameters*; p. 43; In: Iványi, Péter (szerk.) 11th International Miklós Iványi Phd & DLA Symposium - Abstract Book: Architectural, Engineering and Information Sciences; Pécs, Magyarország: University of Pécs Pollack Mihály Faculty of Engineering and Information Technology, (2015) Nyelv: Angol (ISBN:978-963-642-876-1)

- 17) **Patrik Márk, MÁDER;** Márk Balázs, ZAGORÁCZ; József, ETLINGER: *The usage of ArchiCAD model in IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) program*; p. 79; In: Iványi, Péter (szerk.) 11th International Miklós Iványi PhD & DLA Symposium - Abstract Book: Architectural, Engineering and Information Science; Pécs, Magyarország: University of Pécs Pollack Mihály Faculty of Engineering and Information Technology, (2015) Nyelv: Angol (ISBN:978-963-642-876-1)
- 18) József, ETLINGER; Márk Balázs, ZAGORÁCZ; **Patrik Márk, MÁDER:** *Comparison of DWG and IFC based information exchange with highly detailed compound BIM models*; p. 34; In: Ivanyi, Peter (szerk.) 10th International Miklós Iványi PhD & DLA Symposium - Abstract Book: Architectural, Engineering and Information Science; Pécs, Magyarország: Pollack Mihály Műszaki Kar, Pollack Press, (2014) Nyelv: Angol (ISBN:978-963-7298-56-1)
- 19) ETLINGER, József; ZAGORÁCZ, Márk Balázs; KÓCSÓ, Dániel; **MÁDER, Patrik Márk:** *Az épületinformációs modellezés bemutatása két AEC CAD szoftver alkalmazásának összehasonlításával*; p. 110, Paper: O14.1; In: Kósa, Balázs; Springó, Zsolt (szerk.) III. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia 2014: Abstract; Pécs, Magyarország: Pécsi Tudományegyetem Doktorandusz Önkormányzat, (2014) Nyelv: Magyar (ISBN:978-963-642-597-5)
- 20) KÓCSÓ, Dániel; ETLINGER, József; **MÁDER, Patrik Márk;** KISS, Szabolcs; ZAGORÁCZ, Márk Balázs: *QA és RFI dokumentációk előállítását közvetlenül az épületinformációs modellből Microsoft Excel VBA feladat automatizálással*; p. 112, Paper: O14.3; In: Kósa, Balázs; Springó, Zsolt (szerk.) III. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia 2014: Abstract; Pécs, Magyarország: Pécsi Tudományegyetem Doktorandusz Önkormányzat, (2014) Nyelv: Magyar (ISBN:978-963-642-597-5)
- 21) **MÁDER, Patrik Márk;** ETLINGER, József; ZAGORÁCZ, Márk Balázs; KÓCSÓ, Dániel; KISS, Szabolcs: *Az építőipari Anyagjelölés fejlődése és kiterjesztett funkciója az épületinformációs modellezésben*; p. 113, Paper: O14.4; In: Kósa, Balázs; Springó, Zsolt (szerk.) III. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia 2014: Abstract; Pécs, Magyarország: Pécsi Tudományegyetem Doktorandusz Önkormányzat, (2014) Nyelv: Magyar (ISBN:978-963-642-597-5)
- 22) **Patrik Márk, MÁDER;** József, ETLINGER; Márk Balázs, ZAGORÁCZ: *IFC based archiving process for low detailed BIM models*; p. 75; In: Ivanyi, Peter (szerk.) 10th International Miklós Iványi PhD & DLA Symposium - Abstract Book: Architectural, Engineering and Information Science Book; Pécs, Magyarország: Pollack Mihály Műszaki Kar, Pollack Press, (2014) Nyelv: Angol (ISBN:978-963-7298-56-1)
- 23) ZAGORÁCZ, Márk Balázs; ETLINGER, József; KISS, Szabolcs; KÓCSÓ, Dániel; **MÁDER, Patrik Márk:** *Építőipari anyagnormák mennyiségi tényezőjének vizsgálata épületinformációs modellezési (BIM) eljárással*; p. 114, Paper: O14.5; In: Kósa, Balázs; Springó, Zsolt (szerk.) III. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia 2014: Abstract; Pécs, Magyarország: Pécsi Tudományegyetem Doktorandusz Önkormányzat, (2014) Nyelv: Magyar (ISBN: 978-963-642-597-5)

Egyéb publikációk

Tananyag:

24) Lektorálási tevékenység – SÁRKÖZI, Réka: *Parametrikus tervezés: Grafikus algoritmuszerkesztés építésznek Grasshopper-ben*; Pécs, Magyarország: Pécsi Tudományegyetem - Műszaki és Informatikai Kar; (2019) Nyelv: Magyar (ISBN: 978-963-429-386-6)

Vállalati szabvány:

25) MÁDER, Patrik Márk; RÁK, Olivér; dr. ZAGORÁCZ, Márk: *BIM.Group Vállalati BIM kézikönyv és kapcsolódó ISO szabvány alapú szerződésmelléletek (2021)*; Budapest, Magyarország

Szakmai továbbképzés, kamarai oktatás:

26) MÁDER, Patrik Márk; BAKAI, Nándor: *Innovatív technológiák a mérnöki tervezésben - BIM módszertan és gyakorlati alkalmazása*; (2019); Magyar Mérnöki Kamara, Fürdő és Uszoda Létesítmények Szakosztály szakmai nap, Budapest, 2019. november 12., Magyarország

27) MÁDER, Patrik Márk; RÁK, Olivér: *Innovatív technológiák az építőiparban - BIM gyakorlati alkalmazása valós projekteken*; (2018); Építőipari Technológiai Klaszter; Pécs, 2018.04.18., Magyarország

Ismeretterjesztő előadás:

28) MÁDER, Patrik Márk: *BIM menedzser, BIM menedzsment*; (2021); MIK PARTNERS' Szakmai Nap; Pécs, 2021. október 07., Magyarország

29) MÁDER, Patrik Márk: *BIM és LECHNER 10 percben*; (2021); Lechner Tudásközpont; Budapest, 2021.07.19, Magyarország

30) MÁDER, Patrik Márk: *Lézeres felmérő eszköz és felmérési módszertan közvetlen építészeti tervezőszoftver kapcsolattal*; (2020); XXV. Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszaka konferencia; Kolozsvár; 2020.03.26; Románia; Nyelv: Magyar

31) MÁDER, Patrik Márk: *Létesítményüzemeltetési BIM modellek készítése - Modellkészítés alapjául szolgáló információk hatékony felhasználása, célspecifikus modellek készítése és használata*; (2019); MIK PARTNERS' Szakmai Nap; Pécs, 2019. október 17-18., Magyarország

32) ZAGORÁCZ, Márk; MÁDER, Patrik Márk; RÁK, Olivér: *Hatékonyág növelése a tervezési folyamatokban a BIM segítségével – magyarországi esettanulmányok*; (2018); Plenáris előadás a Pollack Expo rendezvényen; Pécs, 2018.03.01., Magyarország

33) MÁDER, Patrik Márk; RÁK, Olivér: *BIM hatékonysága a mérnöki tervezésben – magyarországi esettanulmányok*; (2017); Digitális-Építőipar 2017 konferencia; Kecskemét; 2017.11.28-29.; Magyarország