

## 1. Bevezetés

A doktori kutatási téma címe, a témaválasztás indoklása, motiváció

A doktori téma címe: Épülettervezési és kivitelezési feladatok BIM és parametrikus tervezés alapú optimalizálása

Az épületek koncepcionális tervezése elsősorban az építésztervezők feladata, amely jellemzően más szakágak bevonása nélkül zajlik. Ennek eredményeként az épület geometriája, funkcionális elrendezése és tömege a vázlattevi fázis végére kialakul. Bár a részletes tervezés során bevonásra kerülnek a szakági tervezők (tartószerkezet, épületgépészet, belsőépítészet stb.), ebben az előrehaladott fázisban már jellemzően csak kisebb módosítások eszközölhetők. Több kutatás is igazolja [1,2], hogy egy épület teljesítményjellemzőit (pl. energia- és vízfogyasztását, fenntarthatósági mutatóit) túlnyomórészt a kezdeti tervezési fázisban meghozott döntések befolyásolják, a tervezés későbbi szakaszában már csekély hatást gyakorolhatunk rá. Ebből adódóan viszont éppen a koncepcionális tervezési fázis az a szakasz, ahol a különböző variációk létrehozása, elemzése és összehasonlítása a legnagyobb haszonnal járhat. Ugyanakkor a feladatot nehezíti, hogy a napjainkban elterjedt digitális eszközök elsősorban a részletes tervezést támogatják, ugyanis a különböző vizsgálatok (pl. energetikai analízis, tartószerkezeti számítás) elvégzéséhez részletes

---

<sup>1</sup> Szechenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola,  
Témavezető: Dr. Szép János, egyetemi docens, Vállalati szakértő: Krivarics Ádám,  
Munkáltató: West Hungária Bau Kft

modellre és pontos adatokra van szükség. Az előzővel analóg módon, az épületek kivitelezési folyamatainak hatékonysága, gyorsasága nagyban függ a projekt előkészítésének minőségétől [3]. A számos szakágat felvonultató megvalósítás során a térbeli és időbeli ütközések, kommunikációs problémák gyakran költség- és időbeli többletet okoznak. A feszes határidők miatt viszont általában nincs lehetőség különböző alternatívák vizsgálatára és a kivitelezési folyamat optimalizálására. Továbbá, a jelenlegi gyakorlatban nem áll rendelkezésre olyan eszköz vagy módszer, amely ezt hatékonyan lehetővé tenné. Tanulmányaim során számos digitális eszközzel és módszerrel találkoztam, melyekben jelentős potenciál rejlik és hozzájárulhatnak a fenti problémák megoldásához. A hazai és nemzetközi szinten is elterjedőben lévő BIM (Building Information Modeling) [4] módszer lehetővé teszi az információtartalommal ellátott 3D modell felhasználását a tervezéstől a kivitelezésen át, így a szakágak közötti együttműködést hatékonyan tudja támogatni. Továbbá, a parametrikus tervezés [5] segítségével lehetőségünk nyílik matematikai és logikai összefüggések mentén létrehozni az épület geometriáját, vagy meghatározni a hozzárendelt adatokat. Mivel az ilyen módon felépített algoritmus paramétereit változtathatók, így akár a tervezési, akár a kivitelezési feladatokban felhasználható alternatív megoldások gyors létrehozására. A BIM és a parametrikus tervezés integrálásával [6] pedig lehetőségünk nyílik a létrehozott variációk elemzésére és összehasonlítására, végső soron pedig az egyes feladatok optimalizálására [7].

## 2. Célkitűzés

A fentiek alapján a kutatás célja az épülettervezés során az építészeti és tartószerkezeti együttműködés, valamint a kivitelezési folyamat hatékonyságának növelése a BIM módszertan és a parametrikus tervezés segítségével. A kutatás két fő részre bontható. A kutatás első része a tervezési folyamatra fókuszálva az épületek formai, funkcionális és tartószerkezeti összefüggéseit vizsgálja esettanulmányok segítségével. Az építészeti tervezés során meghatározott peremfeltételek (funkcionális igények, formai elképzelések) mellett parametrikus tervezés segítségével vizsgálom a lehetséges alaprajzi elrendezéseket, tömegformálási lehetőségeket és tartószerkezeti megoldásokat. Az így létrehozott alternatív megoldásokat a BIM módszertan segítségével komplex szempontrendszer szerint értékelem, figyelembe véve a tartószerkezeti viselkedést, anyagfelhasználást, valamint a fenntarthatósági és kivitelezési szempontokat. A kutatás második részében a kivitelezési folyamat hatékonyságát vizsgálom, amely az első szakasz példáira és eredményeire épít. Esettanulmányok segítségével megvizsgálom a különböző tartószerkezeti rendszerrel, alaprajzi kialakítással rendelkező épületek kivitelezési folyamatát, illetve annak alternatíváit. A BIM módszertan segítségével térbeli és időbeli ütközésvizsgálatokat végzek, meghatározva a kivitelezési folyamat kritikus pontjait. A különböző alternatívákat komplex szempontrendszer szerint értékelem, figyelembevéve a gazdaságossági, fenntarthatósági, projektütemezési, munkavédelmi és technológiai szempontokat. A kutatást elsősorban esettanulmányok segítségével végzem, mely során egy meghatározott funkcióra (pl. irodaépület vagy egyéb középület) fókuszálok. E hosszútávú célok megvalósítása érdekében a

kutatás első lépéseként átfogó irodalomkutatást végeztem felmérve a kutatási trendeket, az alkalmazott módszereket és eszközöket, valamint a kihívásokat, nehézségeket.

### 3. Az irodalomkutatás módszere és eredményei

Az utóbbi években az építőiparban egyre hangsúlyosabban jelennek meg a digitális tervezési módszerek, különösen a parametrikus tervezés (parametric design; PD), a generatív tervezés (generative design; GD) és az épületinformáció-modellezés (Building Information Modeling; BIM). E technológiák gyakorlati és elméleti alkalmazhatóságát vizsgálja a *Generatív tervezés, parametrikus tervezés és BIM: lehetőségek az építőiparban* című tanulmányom (*Generative Design, Parametric Design and BIM: Opportunities in the Construction Industry*), amelyet az idei évben tervezek publikálni.

A tanulmány célja az volt, hogy feltérképezze a PD, GD és BIM technológiák jelenlegi tudományos feldolgozottságát, integrációs lehetőségeit, valamint rámutasson a jövőbeli kutatások potenciális irányaira. Az irodalomkutatás során a Scopus, Web of Science és Google Scholar adatbázisokat használtam, és a VOSViewer szoftver segítségével végeztem kulcsszóalapú hálózatelemzést. A kulcsszavak között dominánsan jelent meg a „building

information modelling”, „generative design”, „parametric design” és „optimization”, jelezve a kutatás főbb fókuszpontjait és kapcsolati szerkezetét.

Ebben a cikkben összesen 35 releváns szakcikket dolgoztam fel, amelyek a PD, GD és BIM módszerek alkalmazását vizsgálták a tervezési és részben a kivitelezési fázisban is. Az eredmények alapján kirajzolódott, hogy bár ezen technológiák külön-külön is komoly fejlődési utat jártak be, az integrált alkalmazásuk (különösen a gyakorlati (kivitelezési) fázisokban) még jelentős fejlesztési lehetőségeket tartogat.

Az elemzett szakirodalomban a legtöbb tanulmány a tervezési fázisban mutatott be eredményeket: szerkezeti és alaprajzi optimalizáció, energiahatékonyság, homlokzatmodellezés, valamint MEP-rendszerek elrendezésének javítása generatív algoritmusokkal és parametrikus megközelítésekkel. A mesterséges intelligenciára épülő rendszerek különösen ígéretesnek tűnnek a szerkezeti és energetikai teljesítményalapú tervezésben.

Ugyanakkor több olyan terület is azonosítható, amelyek a meglévő irodalom alapján lehetséges kutatási irányként javasolhatók:

1. Automatikus szerkezeti és építészeti optimalizáció építési szabványok figyelembevételével:

Az AI-alapú generatív modellek olyan továbbfejlesztése, amelyek automatikusan megfelelnek az egyes országok építési szabályzatainak és normáinak.

2. Moduláris építési rendszerek teljes körű optimalizálása generatív algoritmusokkal:

A térbeli elrendezés, szerkezeti stabilitás és építési hatékonyság optimalizálása AI és GD segítségével a moduláris építészetben.

3. Generatív design és BIM teljes integrációja a kivitelezhetőség szempontjából:

A jelenlegi generatív algoritmusok gyakran nem veszik figyelembe a kivitelezési korlátokat. Kutatásra van szükség olyan modellek kifejlesztésére, amelyek a tervezési optimalizációt a valós építési folyamatokkal összhangban végzik.

4. Parametrikus és generatív tervezési módszerek alkalmazása az építési organizáció és logisztika területén:  
Az anyagfelhasználás optimalizálása, az építési ütemezés és az erőforrás-kezelés parametrikus modellek segítségével történő fejlesztése, amely csökkentheti a költségeket és az építési időt.

5. BIM és mesterséges intelligencia integrációja a kivitelezési folyamatok valós idejű nyomon követésére:  
Az építkezések digitális ikermodelljeinek fejlesztése, amelyek gépi tanulási modellek segítségével folyamatosan frissülnek a helyszíni adatok alapján.

Egy másik tanulmányban a parametrikus modellezés és a BIM fenntarthatósági szempontú alkalmazási lehetőségeit vizsgáltuk az épületek teljes életciklusa során.

*Ajtayné Károlyfi, K., Semjén, Á. Á., & Szép, J. (n.d.). Framework for sustainable building design – utilizing parametric design and BIM in the conceptual design phase* című tanulmány célja, hogy feltárja a fenntarthatósági szempontok érvényesítésének lehetőségeit az épületek teljes életciklusa során, különösen a parametrikus tervezés és a BIM alkalmazásán keresztül a koncepcionális tervezési fázisban. A tanulmány bemutatja, hogy a tervezési döntések – például az épület elhelyezkedése, geometriája, anyaghasználata és gépészeti rendszerei – hogyan

befolyásolják az épület környezeti hatását, valamint javaslatot tesz az alternatív megoldások többszemponútú összehasonlítási módszerére a BIM és a parametrikus tervezés integrálásával.. Irodalmi áttekintéssel összegzi a jelenlegi gyakorlatokat, elérhető digitális eszköztárat, továbbá feltérképezi az aktuális kutatási irányokat, hiányosságokat és kihívásokat.

Az eddigi eredmények alapján a következő lépésként olyan keretrendszer kialakítását tűztem ki célul, amely ezen technológiákat nemcsak a tervezési fázisban, hanem a kivitelezés hatékonyságának növelése érdekében is hasznosítani tudja.

A kutatás hozzájárul ahhoz, hogy az építőipari digitalizáció során ne csupán elméleti modellek szülessenek, hanem a technológiák valóban gyakorlati, ipari környezetben alkalmazható eszközökké váljanak. A tanulmányok egyúttal megalapozzák a további kutatási irányokat, és lehetőséget teremtenek az interdiszciplináris együttműködés erősítésére a digitális tervezés és az építéstechnológia határterületein.

#### **4.Összefoglalás, jövőbeli célok**

Az irodalomkutatás során azonosítottam több olyan kevésbé feltárt területet, amelyek a BIM, a parametrikus és a generatív tervezési módszerek kivitelezési fázisban történő alkalmazását érintik. Különösen hiányos a kutatási háttér az építési logisztika, anyagmozgatás, moduláris rendszerek szervezése és az építési ütemezés parametrikus támogatása terén. Ezek az észrevételek hozzájárultak a kutatási tervem pontosításához: a figyelmem a

koncepcionális tervezéstől a tervezés és kivitelezés közötti átmenet, valamint a kivitelezési folyamatok hatékonyságnövelése felé fordult.

Ezzel párhuzamosan gyakorlati munkám során lehetőségem nyílt arra, hogy a kutatás eredményeit éles környezetben is teszteljem. Jelenleg munkahelyi mérnökként veszek részt kivitelezési projekteken, ahol BIM konténer is rendelkezésre áll. Aktívan közreműködöm művezetési és szervezési feladatokban, a BIM segítségével napi szinten alkalmazva digitális eszközöket. Egy újonnan induló projektben a kezdetektől részt vehetek ahol a tervezéstől a kivitelezésen át egészen az üzemeltetésig követhetem és támogathatom a folyamatokat. Ez kivételes lehetőséget nyújt a kutatásom gyakorlati alkalmazására.

A következő időszak fő célja a gyakorlati és elméleti tudás párhuzamos elmélyítése. Tervezem különböző szerkezeti szituációk létrehozását és elemzését BIM- és PD-környezetben (pl. Revit, Grasshopper), amelyeken keresztül összehasonlíthatóvá válnak alternatív kivitelezési megoldások és döntési hatások. Emellett szeretném tovább fejleszteni a szoftverhasználati ismereteimet, tudományos konferenciákon való részvétellel és újabb publikációk készítésével pedig erősíteni a kutatásom tudományos megalapozottságát.

Munkahelyi célom, hogy aktívan hozzájáruljak a kivitelezés digitális eszközökkel való optimalizálásához, valamint a vállalat tudásbázisának fejlesztéséhez a BIM-alapú folyamatok gyakorlatba ültetésével. A kutatás ezen alkalmazott szakasza várhatóan nemcsak tudományos, hanem szakmai, és anyagi szempontból is kézzelfogható eredményeket hoz, megerősítve a téma relevanciáját az ipari digitalizációban.



A leírásban felhasznált irodalmak:

[1] Wang, L.; Shen, W.; Xie, H.; Neelamkavil, J.; Pardasani, A. Collaborative conceptual design— State of the art and future trends. *Comput. Des.* 2002, 34, 981–996. [https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(01\)00157-9](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(01)00157-9)

[2] Kanyilmaz, A.; Tichell, P.R.N.; Loiacono, D. A genetic algorithm tool for conceptual structural design with cost and embodied carbon optimization. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 2022, 112, 104711. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104711>

[3] Durdyev, S. and Hosseini, M.R. (2020), "Causes of delays on construction projects: a comprehensive list", *International Journal of Managing Projects in Business*, Vol. 13 No. 1, pp. 20-46. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-09-2018-0178>.

[4] Sacks, R.; Eastman, C.; Lee, G.; Teicholz, P. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, John Wiley & Sons Inc., 2018, ISBN:9781119287568, DOI:10.1002/9781119287568

[5] Shah, J.J.; Mäntylä, M. *Parametric and Feature-Based CAD/CAM— Concepts, Techniques, and Applications*; John Wiley & Sons, Inc.: Etobicoke, ON, Canada, 1995; ISBN 978-0-471- 00214-7.

[6] Boeykens, S. *Bridging Building Information Modeling and Parametric Design, eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*; Taylor & Francis Group: London, UK, 2012.

[7] Holzer, D.; Hough, R.; Burry, M. Parametric Design and Structural Optimisation for Early Design Exploration. *Int. J. Arch. Comput.* 2007, 5, 625–643. <https://doi.org/10.1260/147807707783600780>.