

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 vázlattervi 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 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

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

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 paraméterei 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. A kutatás következő lépéseként pedig egy olyan értékelési keretrendszert állítottam fel aminek mentén értékelhetőek az egyes Iroda és Ipari/logisztikai épületek kialakítása, ami nagyban hozzájárul a korai döntéshozatalban.

3. Előrehaladás

Az elmúlt két félévben a kutatás fókuszja az irodalomkutatás által megalapozott általános BIM-, parametrikus és generatív tervezési irányoktól a korai fázisú épülettervezési döntések módszertani értékelése felé irányult. A korábbi kutatási szakaszban vizsgált digitális tervezési módszerek alapján egyértelművé vált, hogy a BIM és a parametrikus modellezés nem kizárólag részletes tervezési vagy dokumentációs eszközként értelmezhető, hanem alkalmas lehet a korai döntési alternatívák strukturált előállítására, adatkinyerésre és összehasonlító értékelésre is.

Az előző időszakhoz kapcsolódóan elkészült, illetve megjelent kutatási eredményeim közé tartozik a *Generative Design, Parametric Design and BIM: Opportunities in the Construction Industry* című tanulmány, továbbá az *Integration of BIM and Parametric Modeling for Sustainable Building Design* című, a *Chemical Engineering Transactions* folyóiratban megjelent publikáció, valamint a *Framework for sustainable building design – utilizing parametric design and BIM in the conceptual design phase* című, az *IET Conference Proceedings* kiadványban megjelent tanulmány.

A mostani kutatási időszak fő irányát a „BIM- és parametrikus modellalapú korai fázisú értékelési keret ipari/logisztikai és irodaépületek tér- és szerkezeti döntéseinek vizsgálatára” című kutatás jelentette. A munka alapfeltevése, hogy az épületek korai tervezési döntései — különösen a térstruktúra, a szerkezeti raszter, a fesztáv, a belmagasság és az alapvető szerkezeti rendszer — jelentős hatást gyakorolnak az anyagfelhasználásra, a funkcionális rugalmasságra, a kivitelezhetőségre és a későbbi módosíthatóságra. Ezek a döntések azonban jellemzően olyan fázisban születnek, amikor a rendelkezésre álló információ még korlátozott, az alternatívák összehasonlítása pedig sok esetben nem egységes, mérhető és visszakövethető teljesítménykritériumok alapján történik.

A kutatás célja egy olyan BIM- és parametrikus modellalapú módszertani keret kidolgozása volt, amely támogatja irodaépületek és ipari/logisztikai csarnokok korai fázisú tér- és szerkezeti alternatíváinak összehasonlítható értékelését. A módszer nem egyetlen optimális megoldás kijelölésére törekszik, hanem a döntési tér strukturált feltérképezésére, összehasonlítható alternatívák előállítására, valamint a fő teljesítménydimenziók mérhető bemutatására. E teljesítménydimenziók közé tartozik a geometriai hatékonyság, az anyagfelhasználás, a beépített környezeti hatás, a tipizáltság, valamint a kritikus és tiltott zónákkal való konfliktus vizsgálata.

A módszertani keret egyik lényeges eleme a tipológia-specifikus paraméterter meghatározása. Irodaépületek esetében a vizsgálat középpontjában a szintenkénti térszervezés, a közlekedőmag, a szerkezeti raszter, a bérleti egységek alakíthatósága, valamint a nettó/bruttó területi viszonyok állnak. Ipari és logisztikai csarnokoknál ezzel szemben a fő fesztáv, a szabad belmagasság, az oszlopsorok pozíciója, a működési sávok pillérmentessége, valamint az ismétlődő szerkezeti rendszer kerül előtérbe. A két épülettípus eltérő működési logikája ellenére közös értékelési rendszer alakítható ki, amely lehetővé teszi a korai döntési alternatívák azonos módszertani logika szerinti vizsgálatát.

A kutatás során meghatároztam azt a minimum KPI-réteget, amely korai fázisú BIM- vagy proxy-modellből is előállítható. Ide tartozik többek között a bruttó alapterület, a tipikus szintterület, az épülettérfogat, a külső burokelület, a burokelület-térfogat viszony, az oszlopsűrűség, a pillér-zóna konfliktusok száma vagy minősége, a fajlagos anyagmennyiség, a beépített CO₂ proxy, az elemtípusok száma és az ismétlődési arány.

A módszer fontos része a hard és soft korlátok megkülönböztetése. Hard korlátnak tekinthető minden olyan feltétel, amelynek megsértése az adott változat érvénytelenségét eredményezi, például ha egy pillér tiltott funkcionális vagy technológiai zónába kerül. Soft korlát esetén a változat nem feltétlenül zárandó ki, de az adott megoldás kedvezőtlenebb minősítést kap, például ha a szerkezeti elemek elhelyezkedése rontja a térhasználati rugalmasságot vagy a logisztikai működést. Ez a megközelítés lehetővé teszi, hogy a korai tervezési döntések ne kizárólag narratív módon, hanem szabályalapú és adatalapú rendszerben legyenek értékelhetők. A módszertan publikációja folyamatban van.

A fentiek mellett folyamatban van egy további, kapcsolódó publikáció előkészítése is, amelynek témája az építési megoldások fejlesztése, különös tekintettel a szétszerelhető és újraépíthető, demountable épületek hazai alkalmazhatóságára.

Az eddigi eredmények alapján a kutatás egyre inkább olyan módszertani irányba halad, amely a BIM-et és a parametrikus modellezést nem önálló szoftveres eszközként, hanem korai fázisú döntéstámogató rendszerként értelmezi. A kutatás hozzájárulhat ahhoz, hogy az épülettervezés és a kivitelezés közötti átmeneti szakaszban a döntések átláthatóbbá, mérhetőbbé és visszakövethetőbbé váljanak.

4. Gyakorlati tapasztalat és a kutatás folytatásának irányai

Az irodalomkutatás és az elmúlt két félév kutatási munkája során több olyan területet azonosítottam, amelyek a BIM, a parametrikus modellezés és a digitális döntéstámogatás építőipari alkalmazását érintik. Különösen fontosnak tartom a korai tervezési döntések és a későbbi kivitelezési, fenntarthatósági és üzemeltetési következmények kapcsolatának vizsgálatát. A kutatás jelenlegi iránya ezért a koncepcionális tervezés, a tervezés és kivitelezés közötti átmenet, valamint a kivitelezési folyamatok hatékonyságnövelése közötti kapcsolódási pontokra fókuszál.

Gyakorlati munkám során lehetőségem van arra, hogy a kutatás során szerzett tapasztalatokat és szemléletmódot a mindennapi mérnöki feladataimban is hasznosítsam. Munkám során kivitelezési projektekhez kapcsolódó szervezési, művezetési és koordinációs feladatokban veszek részt, ahol a digitális eszközök, a BIM-alapú gondolkodás és az adatközpontú megközelítés közvetlen gyakorlati jelentőséggel bír. Töreksem arra, hogy a kutatás alatt megszerzett elméleti és módszertani tapasztalatokat a napi munkavégzés során is alkalmazzam, különösen a tervezési információk értelmezése, a kivitelezhetőségi szempontok azonosítása és az alternatív megoldások összehasonlítása során.

A következő időszak egyik fő célja a kidolgozott módszertani keret gyakorlati tesztelésének előkészítése. Ehhez olyan épületpéldák és tervadatok szükségesek, amelyek lehetővé teszik a parametrikus változók, a BIM-ből kinyerhető adatok és a minimum KPI-réteg vizsgálatát. A tervezett esettanulmányokban különösen fontos lesz a szerkezeti raszter, a fesztáv, a belmagasság, az oszloppozíciók, a kritikus zónák, az anyagmennyiségek és az elemtípusok következetes rögzítése.

A kutatás folytatásaként különböző szerkezeti és térszervezési szituációk létrehozását és elemzését tervezem BIM- és parametrikus környezetben. Ezeken keresztül összehasonlíthatóvá válhatnak az alternatív tervezési és kivitelezési megoldások, valamint azok döntési következményei.

Emellett továbbra is célom a szoftverhasználati és módszertani ismeretek fejlesztése, különösen a, Rhino Grasshopper és BIM tervezési környezetek alkalmazásában. Tudományos szempontból a következő időszak feladata a meghatározott értékelési módszerek tesztelése valós iroda és ipari/csarnok épületeken, folyamatban lévő publikációk lezárása, újabb konferencia- és folyóiratcikkek előkészítése, valamint a kutatási eredmények olyan formában

történő bemutatása, amely mind tudományos, mind ipari szempontból értelmezhető és hasznosítható.

Munkahelyi célom, hogy aktívan hozzájáruljak a kivitelezés digitális eszközökkel való támogatásához, valamint a vállalati tudásbázis fejlesztéséhez a BIM-alapú és adatvezérelt folyamatok gyakorlatba ültetésével. A kutatás alkalmazott jellege lehetőséget ad arra, hogy az elméleti eredmények ne csupán tudományos publikációkban jelenjenek meg, hanem a gyakorlati mérnöki munkában is közvetlenül hasznosuljanak.

A leírásban felhasznált irodalmak:

- [1] Dunant, C. F., Drewniok, M. P., Orr, J. J., & Allwood, J. M. (2021). Good early stage design decisions can halve embodied CO₂ and lower structural frames' cost. *Structures*, 33, 343–354. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.04.033>
- [2] Love, P. E. D., Irani, Z., & Edwards, D. J. (2004). A rework reduction model for construction projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 51(4), 426–440. <https://doi.org/10.1109/TEM.2004.835092>
- [3] Succar, B., Sher, W., & Williams, A. (2012). Measuring BIM performance: Five metrics. *Architectural Engineering and Design Management*, 8(2), 120–142. <https://doi.org/10.1080/17452007.2012.659506>
- [4] ISO. (2018). *ISO 19650-1:2018: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles*. International Organization for Standardization.
- [5] Ashworth, S., Dillinger, M., & Körkemeyer, K. (2022). BIM guidance to optimise the operational phase: Defining information requirements based on ISO 19650. *Facilities*, 41(5/6), 337–356. <https://doi.org/10.1108/F-08-2021-0074>
- [6] Solihin, W., & Eastman, C. (2015). Classification of rules for automated BIM rule checking development. *Automation in Construction*, 53, 69–82. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.003>
- [7] Monteiro, A., & Poças Martins, J. (2013). A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design. *Automation in Construction*, 35, 238–253. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.005>
- [8] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- [9] Soust-Verdaguer, B., Llatas, C., & García-Martínez, A. (2017). Critical review of BIM-based LCA method to buildings. *Energy and Buildings*, 136, 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.009>

- [10] Hammond, G. P., & Jones, C. I. (2008). Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Energy*, 161(2), 87–98. <https://doi.org/10.1680/ener.2008.161.2.87>
- [11] Marler, R. T., & Arora, J. S. (2004). Survey of multi-objective optimization methods for engineering. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 26, 369–395. <https://doi.org/10.1007/s00158-003-0368-6>
- [12] Nguyen, A.-T., Reiter, S., & Rigo, P. (2014). A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. *Applied Energy*, 113, 1043–1058. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.061>
- [13] Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., Saisana, M., & Tarantola, S. (2008). *Global Sensitivity Analysis: The Primer*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470725184>
- [14] 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)
- [15] 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>
- [16] 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>.