

Fenntarthatóság a hídgazdálkodásban

Dema Munef Ahmad¹ – Bencze Zsolt² – Gáspár László^{3*}

¹Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék, Győr

²PhD, Ferrobeton Zrt., Dunaújváros

³DSc, Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék, Győr
és KTI Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet Nonprofit Kft. Budapest

*felelős szerző

e-mail: demamunahmad@gmail.com, bencze.zsolt@ferrobeton.hu, gaspar@kti.hu

Absztrakt

A közutak egy ország gazdasági életének meghatározó jelentőségű elemét képezik. Azokon belül a hidak megfelelősége kiemelt fontosságú a nemzetgazdaság szempontjából. Újabban egyre nagyobb szerephez jutnak a fenntarthatóság (sustainability) szempontjai. Az irodalomkutatás eredményeire támaszkodva áttekintik a közúti hidakkal kapcsolatos gazdálkodás (Bridge Management) fenntarthatósági kérdéseit, kitérve az Épületinformációs Modellezés (BIM) szempontjaira. Bemutatják, hogy ezeken a területeken világszerte milyen fontosabb eredményeket értek el, illetve melyek a fő fejlesztési irányok.

Kulcsszavak: fenntarthatóság, kockázatelemzés, hídügy, hídgazdálkodás, Épületinformációs Modellezés (BIM)

DOI:<https://doi.org/10.24228/KTSZ.2025.4.1>

1. BEVEZETÉS

A közutak egy ország gazdasági életének meghatározó jelentőségű elemét képezik. Ezen belül a hidak megfelelősége is kiemelt fontosságú a nemzetgazdaság szempontjából. Újabban egyre nagyobb szerephez jutnak a fenntarthatóság (sustainability) szempontjai. Cél, hogy egy készülő PhD-értekezés (Ahmad, 2025) kutatási eredményeire támaszkodva a közúti hidakkal kapcsolatos gazdálkodás (Bridge Management) fenntarthatósági kérdéseit tekintsék át, kitérve az Épületinformációs Modellezés (BIM) egyes, a tárgykörben elért, nagyrészt külföldi eredményeire.

2. FENNTARTHATÓSÁG

2. 1. A fenntarthatóságról általában

A globális fenntarthatósági válság a 21. század egyik leginkább kritikus kihívása, amelyet olyan összefüggő problémák váltanak ki, mint az éghajlatváltozás, a biológiai sokféleség csökkenése, a környezetszennyezés és az erőforrások kimerülése. Ezek mindegyike fenyegeti a hosszú távú fejlődést és a bolygónk stabilitását (Arora et al., 2018). Ezek a környezeti kihívások – a gazdasági egyenlőtlenségekkel és a társadalmi igazságtalanságokkal együtt – válságok egész sorát hozzák létre, amelyek a fenntarthatóságra irányuló globális erőfeszítéseket aláássák (An-sori & Yusuf, 2023).

A legújabb tanulmányok olyan "poliválság" forgatókönyvekre is rávilágítanak, ahol több globális válság – például éghajlati vészhelyzetek, geopolitikai instabilitás és világjárványok – kölcsönhatásba lép egymással, növelve a kockázatokat és megnehezítve a fenntarthatósági erőfeszítéseket (Lawrence et al., 2024). A globalizáció növelte a kihívásokat, felgyorsítva az erőforrások kimerülését, a gazdasági egyenlőtlenségeket és a környezet romlását, ami kiemeli a globálisan koordinált fenntarthatósági politikák szükségességét (Liu et al., 2014). Ezek az összefüggések azt mutatják, hogy a gazdasági zavarok, a környezetromlás és a társadalmi instabilitás mélyen összefonódnak, és holisztikus és integrált fenntarthatósági stratégiákat igényelnek (Moallemi et al., 2022). A globális fenntarthatósági kihívásokhoz jelentősen hozzájáruló ágazatok közül az építőipar kiemelkedik jelentős környezeti lábnyoma, gazdasági befolyása és társadalmi hatása miatt (Moshood et al., 2024). Az ágazat felelős a globális energiafogyasztás 40%-áért, a CO₂-kibocsátás 39%-áért és a teljes erőforrás-kitermelés közel 30%-áért, így a fenntarthatósági beavatkozások kulcsfontosságú területe (Ayarkwa et al., 2022). A fenntartható építési gyakorlatra való áttéréshez a zöld technológiák, az energiahatékony anyagok és a körforgásos gazdaság elveinek átvételére van szükség, biztosítva az egyensúlyt a gazdasági rugalmasság, a környezeti felelősségvállalás és a társadalmi befogadás között (Moshood et al., 2024). Ezenkívül a fenntarthatóság integrálása az építőiparba javítja az egészségesebb lakókörnyezetet, a közösség jólétét és az infrastruktúra hosszú távú rugalmasságát (Yilmaz et al., 2015).

Míg a fenntarthatósággal kapcsolatos kihívások továbbra is fennállnak, a válságok katalizátorként működhetnek az átalakuló változásokban és a politikákban, addig a vállalati stratégiákban és az intézményi keretekben a fenntarthatóság-vezérelt megoldások irányába történő eltolódást idézhetnek elő (Pahl-Wostl et al., 2023). A tudósok azzal érvelnek, hogy a rendszerszintű reformok, – amelyek a gazdasági növekedés, a környezetvédelem és a társadalmi méltányosság egyensúlyára összpontosítanak – elengedhetetlenek a jövőbeni fenntarthatósági kockázatok mérsékléséhez (Arora et al., 2018). Ezeknek az egymással összefüggő kihívásoknak a kezelése összehangolt

globális erőfeszítéseket igényel, a tudományos kutatás és a technológiai innovációk kulcsszerepet játszanak a fenntartható fejlődési utak irányításában (Molnár et al., 2002).

A következőkben a három fenntarthatósági pillért érintjük.

2. 1. 1. Gazdasági fenntarthatóság

A gazdasági fenntarthatóság és a fejlődés egyik alappillére, amely hangsúlyozza a hosszú távú gazdasági növekedés fenntartásának képességét, miközben a környezeti, társadalmi és kulturális felelősségek között egyensúlyt teremt (Elsawy et al., 2023). Hatékony erőforrás-allokációt, a gazdasági ingadozásokkal szembeni ellenálló képességet és a jövő generációit támogató pénzügyi rendszereket igényel (Caldarola et al., 2023). A fenntartható gazdaságok biztosítják, hogy a pénzügyi növekedés hozzájáruljon a társadalmi jóléthez, miközben összhangba hozza a jövedelmezőséget a környezeti és társadalmi szempontokkal (Gaikwad, et al., 2024).

Az építőipar kulcsfontosságú szerepet játszik a gazdasági fenntarthatóságban, a globális GDP hozzávetőlegesen 13%-át adja, és milliárdok foglalkoztat világszerte (Yilmaz et al., 2015). A költségátültérések, a nem hatékony erőforrás-gazdálkodás és a projektek késése azonban gyakran aláássák a fenntartható gazdasági növekedés lehetőségeit (Ayarkwa et al., 2022). E kihívások mérséklése érdekében az építési projekteknek életciklus-költségszámítási (LCC) módszertant kell alkalmazni, előtérbe kell helyezni az energiahatékony tervezést és a fenntartható beszerzési gyakorlatot (Tunji-Olayeni et al., 2018). Ezek a stratégiák nemcsak a működési költségeket csökkentik, hanem növelik az infrastruktúra hosszú távú gazdasági értékét, miközben minimalizálják a környezeti hatásokat (Eklová, 2020).

Ezen túlmenően a fenntartható építés a megújuló anyagok, a moduláris építési módszerek és a zöld technológiák használatának elősegítésével növeli a piac ellenálló képességét (Moshood et al., 2024). Ezek az innovációk csökkentik az építési költségeket, kibővítik a piaci lehetőségeket és nagy értéket előállító munkahelyeket teremtenek, támogatva a gazdasági diverzifikációt (Pahl-Wostl et al., 2023).

A fenntartható infrastruktúrába való befektetés erősíti a gazdasági stabilitást, az összekapcsolhatóságot és az életminőséget, megerősítve a hosszú távú fejlesztési célkitűzéseket (Elsawy et al., 2023). A szakpolitikai keretek kritikus szerepet játszanak a gazdasági fenntarthatóság előmozdításában a zöld befektetések ösztönzése, a megújuló energiával kapcsolatos projektek támogatása és a fenntarthatóság-vezérelt szabályozások betartatása révén (Moshood et al., 2024). A kormányoknak, az iparági vezetőknek és a közösségeknek együtt kell működniük olyan szabályozási keretek létrehozásában, amelyek elősegítik a pénzügyi rugalmasságot, miközben fenntartják a környezeti felelősséget (Ayarkwa et al., 2022).

2. 1. 2. Környezeti fenntarthatóság

A környezeti fenntarthatóság a természeti erőforrások megőrzésére, a szennyezés csökkentésére és az éghajlatváltozás mérséklésére összpontosít, az ökológiai egyensúly fenntartása érdekében a jövő generációi számára (Arora et al., 2018). Hangsúlyozza az alapvető erőforrások – köztük a víz, a levegő és a talaj – kimerülésének minimalizálását, miközben a biológiai sokféleséget előmozdítja és az üvegházhatású gázok kibocsátását csökkenti (Moshood et al., 2024). A környezeti fenntarthatóság eléréséhez szükség van a hulladékcsökkentésre, a szénlábnyom minimalizálására és a megújuló energiaforrások támogatására, biztosítva, hogy a fejlesztés az ökológiai egészséget ne veszélyeztesse (Ayarkwa et al., 2022). Az építőipar nagy energiafogyasztása, anyagfelhasználása és szén-dioxid-kibocsátása miatt jelentős hatással van a környezeti fenntarthatóságra (Eklová, 2020). Az a globális energiafelhasználás 36%-áért és az energiával összefüggő CO₂-kibocsátás 39%-áért felelős, így jelentős mértékben hozzájárul a klímaváltozáshoz (Moshood et al., 2024). A hagyományos építési módszerek gyakran az élőhelyek pusztulásához, túlzott hulladéktermeléshez és az erőforrások elégtelenségéhez vezetnek, tovább súlyosbítva a környezet tönkretételének folyamatát (Ayarkwa et al., 2022). E kihívások mérséklése érdekében az iparnak fenntartható építési technológiákat kell alkalmaznia, például környezetbarát anyagok felhasználásával, energiahatékony épülettervek elfogadásával és az építési hulladék minimalizálásával (Tunji-Olayeni et al., 2018).

A fenntartható építési gyakorlatok nemcsak csökkentik a környezeti károkat, hanem javítják a hosszú távú erőforrás-hatékonyt is. Az olyan innovációkat, mint a zöldtetők, nap-elemek és energiahatékony fűtési, szellőzési és hűtési rendszerek, beépítik a modern építési projektekbe a fenntarthatósági teljesítmény fokozása érdekében (Moshood et al., 2024). Ezenkívül az életciklus-értékelési (LCA) módszerek lehetővé teszik az építőipari szakemberek számára a környezeti hatások értékelését a projekt minden szakaszában – a tervezéstől a bontásig –, ami megalapozottabb fenntarthatósági döntésekhez vezet (Yilmaz et al., 2015).

A környezeti fenntarthatóság elérése az építőiparban a kormányok, az iparági szereplők és a közösségek együttműködését igényli. A fenntartható építési módszerek elfogadásával, a fejlett technológiák kihasználásával és a környezetvédelmi előírások betartásával az iparág jelentősen csökkentheti ökológiai hatását, miközben támogatja a hosszú távú fenntarthatósági célkitűzéseket (Moshood et al., 2024).

2. 1. 3. Társadalmi fenntarthatóság

A társadalmi fenntarthatóság a jólét, a méltányosság és az életminőség javítására összpontosít mind a jelen, mind a jövő generációi számára (Gaikwad et al., 2024). A fejlesztési kezdeményezéseknek figyelembe kell venniük a lakosság sokszínű szükségleteit, biztosítva a társadalmi kohéziót, csökkentve az egyenlőtlenségeket és elő kell segíteniük a közösségi részvételt (Eklová, 2020).

Az építőipar kulcsszerepet játszik a társadalmi fenntarthatóság alakításában, mivel közvetlenül befolyásolja a városi környezetet, a munkaerőpiacokat és a közforgalmú infrastruktúrát. Az infrastruktúra-fejlesztésen, a lakásprojekteken és a közforgalmú tereken keresztül, az építkezés hatással van arra, hogy az emberek hogyan élnek, dolgoznak és hogyan lépnek kapcsolatba közösségeikben (Ayarkwa et al., 2022). Az iparág azonban sürgető társadalmi kihívásokkal is szembesül, mint például a rossz munkakörülmények, a foglalkozás-egészségügyi kockázatok és az érintettek nem megfelelő bevonása (Tunji-Olayeni et al., 2018). E problémák enyhítése érdekében az építési projekteknek előtérbe kell helyezniük a tisztességes munkavégzést, a munkahelyi biztonságot és az aktív közösségi részvételt (Moshood et al., 2024).

A társadalmi fenntarthatósági elvek építkezésbe való integrálása nemcsak a közösségek javát szolgálja, hanem javítja a projektek eredményeit is. Az érintettek erős elkötelezettsége bizalmat épít, csökkenti a konfliktusokkal kapcsolatos késéseket és hosszú távú társadalmi előnyöket biztosít.

A társadalmi fenntarthatóság elérése az építőiparban együttműködési megközelítést igényel a kormányok, a kutatók, valamint a helyi közösségek között. A társadalmi méltányossággal, az érintettek bevonásával és a kulturális érzékenységgel projektekbe ágyazásával az iparág rugalmas, befogadó társadalmakat hozhat létre, amelyek támogatják a hosszú távú jólétet és fejlődést (Ayarkwa et al., 2022).

2. 2. Fenntarthatóság a hídügyi projektekben

A hidak a közlekedési infrastruktúra kritikus elemei, mivel megkönnyítik az utasok és az áruk mozgását, közben leküzdik a természetes és a mesterséges akadályokat. Fejlődésük felgyorsult az elmúlt években a gazdasági növekedés és az urbanizáció következtében, ami a hídépítések felfutásához vezetett világszerte (Jeong et al., 2018), (Wan et al., 2019), (Zhao et al., 2019). Alapvető funkciójuk ellenére azonban a hidak jelentős környezeti, gazdasági és társadalmi kihívásokat jelentenek. Hozzájárulnak az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásához, és életciklusuk során jelentős anyag- és energiaforrások felhasználását igényelik. Ezenkívül a tervezési fázis hibái és az építési utómunkálatok tovább súlyosbíthatják az erőforrások felhasználását és a környezeti hatásokat (Du et al., 2013). A sok előregedett, rehabilitációt vagy újjáépítést igénylő híd mellett az infrastrukturális igények növekedésével is számolni kell, ezért elengedhetetlen a hídprojektekkel kapcsolatos kockázatok feltárása és mérséklése (Fang et al., 2023).

A fenntarthatóság kezelése a hídprojektekben a hosszú távú környezeti, gazdasági és társadalmi következményeik miatt prioritássá vált. A hidaknak jelentős környezeti lábnyomuk van, elsősorban az alapanyagok kitermeléséből, az energiafogyasztásból és az építés, az üzemeltetés és a karbantartás során keletkező károsanyag-kibocsátásból (Milić et al., 2024). Ezért e hatások csökkentése érdekében a

fenntarthatósági elvek integrálása alapvető fontosságú a híd teljes életciklusa során, miközben a jövő generációi számára, a funkcionalitást, a biztonságot és a hatékonyságot biztosítják (Navarro et al., 2021). A fenntartható hídprojektek életciklus-értékelést (LCA), kockázatkezelési stratégiákat és fejlett technológiákat, például épületinformációs modellezést (BIM) tartalmaznak a teljesítmény fokozása és az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére, az energiafogyasztásra és az erőforrások kimerülésére összpontosítva (Nahangi et al., 2021). Az életciklus-értékelés (LCA) kulcsfontosságú eszköz a hidak környezeti hatásainak értékelésében, az anyagkitermeléstől az életciklus végén történő ártalmatlanításig (Du et al., 2013). A legfontosabb fenntarthatósági intézkedések közé tartozik a megújuló anyagok beépítése, az energiahatékonyság javítása az építési folyamatokban, valamint a környezetbarát fenntartási technológiák alkalmazása (Venkateswaran, 2021). Ezenkívül a BIM-technológiák integrációja pontos adatkezelést és megalapozott döntéshozatalt tesz lehetővé, megtartva a kedvezőbb és fenntarthatóbb anyagválasztást és a hídtervek optimalizálását, a hosszú távú környezeti előnyök érdekében (Wan et al., 2019).

A környezetvédelmi szempontokon kívül, a gazdasági fenntarthatóság elengedhetetlen a hidak hosszú távú funkcionalitásának biztosításához. A hídprojektek gazdasági fenntarthatósága magában foglalja a költségek optimalizálását a teljes életciklus során, beleértve az építést, az üzemeltetést, a fenntartást és az élettartam végi bontást. A többkritériumú döntéshozatali (MCDM) módszereket a költségek, a teljesítmény és a fenntarthatósági célok közötti kompromisszumok értékelésére gyakran használják (Penadés-Plà et al., 2016). A fenntartható hídtervezési megközelítés a pénzügyi megvalósíthatóságot a fenntartási költségek minimalizálásával és az élettartam meghosszabbításával biztosítja. A kockázatkezelési keretrendszerek bevezetése a gazdasági fenntarthatóságot támogatja azáltal, hogy a környezetromlással és a szerkezeti kudarcokkal kapcsolatos pénzügyi kockázatokat feltárja, segítve a megalapozottabb befektetési döntéseket (Feghhi et al., 2024).

A fenntarthatóság a hídprojektekben a társadalmi szempontokra is kiterjed, a közösség jólétére, biztonságára és hozzáférhetőségére

összpontosítva. A hidak jelentősen alakítják a tájat az összeköttetés javításával, a gazdasági lehetőségek előmozdításával és az alapvető közlekedési kapcsolatok megteremtésével (Venkateswaran, 2021).

A technológiai fejlesztések, különösen a BIM és a digitális építési eszközök a hídprojektek fenntarthatóságának javításában kulcsszerepet játszanak (Wan et al., 2019). A BIM megkönnyíti a valós idejű adatmegosztást, az érdekelt felek közötti együttműködést és a fenntarthatósági értékeléseket az életciklus minden szakaszában (Nahangi et al., 2021). Az LCA (Életciklus-értékelés) módszerekkel integrálva a BIM-et, lehetővé válik a környezeti hatások számszerűsítése, segítve a fenntartható anyagválasztást és a hatékony építési technikákat (Du et al., 2013). Ezek a technológiák hozzájárulnak a fenntartási költségek csökkentéséhez és a fenntarthatósági szabványoknak való megfeleléshez. Ezenkívül a kockázatalapú menedzsment megközelítések támogatják a fenntarthatóságot azáltal, hogy kezelik a környezet romlásával, a szerkezeti hibákkal és a pénzügyi bizonytalanságokkal kapcsolatos potenciális veszélyeket. A proaktív kockázatkezelési stratégia biztosítja, hogy a fenntarthatósági szempontok beépüljenek a tervezési, a kivitelezési és a fenntartási szakaszokba, csökkentve a váratlan költségeket és mérsékelve a hosszú távú környezeti következményeket. A gazdasági, a környezeti és a társadalmi tényezők közötti kölcsönhatások megértése kiegyensúlyozottabb megközelítést tesz lehetővé, amely támogatja a hosszú távú fenntarthatósági célkitűzéseket (Milić et al., 2024). A hidépítés fenntarthatósága holisztikus megközelítést igényel, amely integrálja a környezeti, a gazdasági és a társadalmi tényezőket a teljes életciklus során. Az életciklus-értékelés végrehajtása, a fejlett technológiák, például a BIM és az átfogó kockázatkezelési stratégiák alkalmazása révén a hídprojektek javíthatják a hosszú távú teljesítményt, minimalizálhatják a környezeti hatásokat és társadalmi előnyöket generálhatnak.

2. 3. Kockázat a hídügyi projektekben

Ahogy a városok urbanizálódnak és fenntartható fejlődésre törekednek, úgy a gazdasági növekedés, a társadalmi jólét és a környezeti fenntarthatóság egyensúlya egyre fontosabbá válik. Ebben az összefüggésben – a mobilitás, a

kereskedelem és a gazdasági terjeszkedés lehetővé tételében – a közlekedési szektor létfontosságú szerepet játszik (Ivanova et al., 2013). Bár a hidak elengedhetetlenek az összeköttetéshez, jelentős kockázatokat és kihívásokat jelentenek, különösen a környezeti fenntarthatóság, az erőforrás-gazdálkodás és a gazdasági megvalósíthatóság terén. A közlekedési infrastruktúra bővítése hozzájárul az üvegházhatású gázok kibocsátásához, az erőforrások kimerüléséhez és a termőföldek feldarabolódásához, ami hatással van a biológiai sokféleségre és az ökoszisztéma stabilitására (Marzouk et al., 2014). E kihívások ellenére a fenntarthatósági intézkedéseket – az éghajlati viszonyokkal, a talaj stabilitásával és a helyspecifikus korlátokkal kapcsolatos költségek és bizonytalanságok miatt – gyakran figyelmen kívül hagyják (Lee et al., 2025). A hídprojektek összetettsége több, egymással összefüggő kockázatnak teszi ki azokat, amelyek befolyásolják a költségeket, az ütemezést, a minőséget és az általános fenntarthatóságot is. A kockázat, tágabb értelemben, ismert bizonytalansággal járó esemény, amelyet a hatás valószínűsége és súlyossága alapján mérnek (Renault et al., 2016). Míg a kockázat és a bizonytalanság központi szerepet játszik a fenntartható infrastruktúra-fejlesztésben, a fenntarthatósági elemzésekben gyakran alábecsülik azokat (Krysiak, 2009).

Az egyik tanulmány (Du et al., 2013), három kategóriába sorolja a hídügyi projektek kockázatait:

- környezeti kockázatok (anyagválasztás, szénlábnyom-kezelés, szélsőséges időjárási események és természeti katasztrófák),
- gazdasági kockázatok (költségtúllépés, ellátási lánc zavarai, pénzügyi bizonytalanság, termelékenységi problémák),
- társadalmi kockázatok (biztonsági aggályok, az érintettek bevonása és a munkakörülmények).

26 tanulmány szisztematikus áttekintésével, azonosították a BIM segítségével kezelhető kulcsfontosságú kockázatokat, beleértve az információkezelést, a dokumentumautomatizálást, az erőforrások elosztását és a szerkezetit karbantartást (Ahmad et al., 2024). Huszonegy kínai tanulmány metaelemzése megállapította, hogy a biztonsági kockázatok gyakran a környezeti feltételekből, az anyagminőségből, a műszaki

problémákból, a vezetési gyakorlatból és a munkaerő kompetenciájából fakadnak. Az extrém időjárás, a tervezési hibákat és a rossz tervezést határozták meg a projekt késések és a költségek növekedésének fő okaként (Shan et al., 2024).

A további kutatások a kockázatokat belső (projektspecifikus) és külső (kontextusfüggő) kockázatokba sorolják, amelyek hatással vannak az érintettek elégedettségére, a strukturális teljesítményre és a projekt rugalmasságára (Nugroho et al., 2020). A belső kockázatok közé tartozik a menedzsment elégtelensége és az építkezések késése, míg külső kockázat, például, a politikai instabilitás, a zsúfoltság, a földvásárlási viták és a szabályozási korlátok. Tekintettel a hídügyi projekteket érintő kockázatok széles skálájára, átfogó kockázatkezelési stratégiákra van szükség a kihívások azonosításához, számszerűsítéséhez és mérsékléséhez (Agárdy et al., 2000).

A kockázatkezelés a hídügyi projektekben a költséghatékonyság, a biztonság, a minőség és a környezeti fenntarthatóság elérésében kritikus szerephez jut. Több kutatási munka a kockázatokat a nemzeti és a nemzetközi tényezők, a pénzügyi stabilitás, a piaci feltételek, a tervezés bonyolultsága és az építésszervezési kihívások alapján tovább osztályozza (Srinives, 2019).

A kockázatkezelés és a fenntarthatósági stratégiák integrálásával a hídügyi projektek a bizonytalanságokkal szemben ellenállóbbá válhatnak, biztosítva a tartósságot, a költséghatékonyságot és a minimális környezeti hatást. Ez a proaktív megközelítés elengedhetetlen ahhoz, hogy az infrastrukturális projektek a változó globális igényeknek megfeleljenek, miközben az éghajlatváltozással, a gazdasági ingadozásokkal és a társadalmi kihívásokkal kapcsolatos kockázatok visszaszoríthatók.

3. ÉPÜLETINFORMÁCIÓS MODELLEZÉS (BIM)

3.1. A BIM-ről általában

Az Épületinformációs Modellezés (BIM) olyan digitális módszertan, amely a projektdatákat, a vizualizációt és a létesítménykezelési eszközöket integrálja, a tervezési, az építési és a fenntartási folyamatok javítása érdekében. Legújabban

a BIM-et termékként, együttműködési folyamatként és a létesítmény életciklus-kezelésének nagy jelentőségű eszközeként ismerik el. Elsődleges célja a projektinformációk rögzítése és rendszerezése, hogy megkönnyítse a hatékony döntéshozatalt az eszköz életciklusának minden szakaszában (Wei et al., 2021).

Az évek során a kormányok, a cégek és a szervezetek egyre szélesebb körben alkalmazzák a BIM-et, annak számos előnye miatt. A BIM néhány elterjedt meghatározása:

- valamely létesítmény fizikai és funkcionális jellemzőinek digitális reprezentációja, amely a létesítményről szóló információkhoz tudásforrásként szolgál, és megbízható alapot képez az életciklus kezdeti döntésekhez (NIBS, 2015);
- olyan integrált folyamat, amely a projektek megértését nagymértékben javítja, és előrelátható eredményeket tesz lehetővé; ennek a láthatóságnak a következtében javul a pontosság, csökken a pazarlás, és megalapozott döntéseket lehet hozni a folyamat korai szakaszában (Autodesk, 2012);
- az épületadatok előállítására és hasznosítására szolgáló üzleti folyamat, az épület tervezéséhez, megépítéséhez és üzemeltetéséhez annak teljes életciklusa során; ez lehetővé teszi az összes érdekelt számára, hogy – a technológiai platformok interoperabilitása révén – ugyanahhoz az információhoz egyidejűleg hozzáférjenek (NBS, 2021).

A 3D modellezés és az adatintegráció révén, a BIM javítja a projektkoordinációt és együttműködést, megkönnyíti a valós idejű kommunikációt a tervezők, a vállalkozók és a tulajdonosok között, csökkenti a hibákat (Huang, et al., 2021).

Előnyei ellenére, a BIM bevezetése jelentős akadályokba ütközik, beleértve a pénzügyi, a műszaki és a szabályozási kihívásokat (Ullah et al. 2019). Számos tanulmány kiemeli az akadályokat: a nagy bevezetési költségek, a korlátozott szakértelem és a műszaki készségek, a változásokkal szembeni ellenállás, valamint a kihasználatlanság a fenntartási fázisban (Hoang et al., 2020).

A BIM az előzőek ellenére forradalmasította az építőipart, jelentős hatékonysági, fenntarthatósági és együttműködési előnyöket biztosítva.

A kutatás és a technológiai fejlődés előrehaladtával a BIM infrastrukturális projektekbe történő integrálása – a hosszú távú fenntarthatóság és hatékonyság eléréséhez – kulcsfontosságú lesz.

3. 2. BIM alkalmazások a hídgazdálkodásban

Az épületinformációs modellezés (BIM) viszonylag új technológia a hídépítésben, de – a szerkezeti elemek pontos, numerikus ábrázolását biztosító 3D modellek használatával – a tervezési pontosságot, az együttműködést és a megépíthetőséget jelentős mértékben javíthatja (Rolfen et al., 2021). Számos tanulmány igazolta, hogy a BIM az előző tényezők érvényesülése esetén képes javítani az infrastruktúrát, különösen nagy mértékű részletességet és összetettséget igénylő hídprojekteket. A több életciklus-fázis közötti interoperabilitás elősegítése érdekében bővíthető hídinformációs sémát fejlesztettek ki, amely a tervezési, az építési és a fenntartási folyamatokat javítja (Marzouk, 2014).

Kanadai kutatók bevezették a BrIM (Bridge Information Modeling, Híd Információs Modellezés) keretrendszert, amely a Bridge Management System (BMS), a Hídgazdálkodási Rendszer olyan funkcionális elemeit kapcsolja össze, mint az adatbázisok, az ellenőrzési modulok és az állapotértékelési eszközök. Később automatizált költség- és időgazdálkodási rendszert fejlesztettek ki a hidakhoz, amely lehetővé teszi teljesítményük nyomon követését, a költségbecslést és a projekt valós idejű megfigyelését előre meghatározott vagy pedig a felhasználó által beállítható paraméterek segítségével (Marzouk, 2014).

Újabb fejlesztési lépésként, az elvi és a részletes hídtervezés optimalizálásához, az építkezések sorrendjéhez, az építésmenedzsmenthez, az ütemezéshez és a valós idejű folyamatfigyeléshez BIM-alapú megoldásokat vezettek be, biztosítva a jobb hatékonyságot a projekt teljes életciklusa alatt. A BIM és a modern képalkotási és -számítási technológiák integrálásával keretrendszert javasoltak a híd vagyongazdálkodásának javítására, különösen a lézeres szkennelés és a modern textúrafelismerés felhasználásával, a szerkezeti hibák, például repedés, süllyedés és korrózió kimutatására (Chan et al., 2016).

A BIM-et a hídfenntartási és -javítási programok fejlesztésére is hasznosítják. Vizuális keretrendszert dolgoztak ki a betonhídelemek állapotának nyomon követésére, az Excel segítségével a számszerű elemzéshez és a Revit segítségével a vizualizációhoz, emellett automatizált valós idejű információcsere-platfomot hoztak létre a romlási arányok nyomon követésére és a karbantartási ütemezés optimalizálására (Dawood, 2018). Kialakították a hidak életciklus-kezelési stratégiáját, amely integrálja a BIM-et az IoT (Dolgok Internetje) technológiával és az adatelemzésekkel, lehetővé téve az automatizált szerkezeti értékeléseket és a prediktív (előrejelző) fenntartást (Zhao et al., 2019).

Kínában egyesítették a BIM-et és a GIS-t (Térinformatikai Rendszert), döntéstámogató platfomot biztosítva a hídkarbantartáshoz. Megközelítésük abból állt, hogy az IFC formátumú BIM modelleket térelemzés céljából térinformatikai modellekké alakították át. Ezt a megközelítést aztán webalapú, térinformatikai rendszerbe integrált, hídkézelő rendszerbe alkalmazták, amelyekkel a BIM-modellek valós hídfelügyeleti alkalmazásokhoz módosíthatók (Wan et al., 2019).

A biztonsági ellenőrzés és a fenntartási döntéshozatal javítása érdekében, a hídinformáció-kezelés integrált keretrendszerét is javasolták, biztosítva a szerkezet biztonsági előírásainak betartását (Cicone et al., 2022). Ezt kibővítve, intelligens hídkézelési és -karbantartási rendszert vezettek be, amely a szerkezeti problémák proaktív észlelésére és megoldására valós idejű megfigyelő eszközöket használ, csökkentve ezzel a leromló hidakon a balesetek bekövetkezésének valószínűségét (Zhou, 2022).

Újabb BIM-alapú Bridge Maintenance System (BMS) rendszert fejlesztettek ki a hibakezelés digitalizálására. Módszerük 3D-s hídhiba-könyvtár (BIM3D) létrehozását, a hibainformációk osztályozását és kódolását, és ezen adatok átfogó vizsgálati adatbázisba történő integrálását foglalta magában. Ez a digitalizált megközelítés lehetővé teszi a gyorsabb hibaaazonosítást, a strukturált karbantartási tervezést és – végeredményben – a híd hosszabb élettartamát.

Míg számos tanulmány tárta fel a BIM-alkalmazásokat a hídkezelésben, még további kutatásokra van szükség a gyakorlati megvalósítási stratégiák finomítása, a BIM és más digitális eszközök közötti interoperabilitás javítása, valamint a BIM hídprojektekben történő alkalmazásakor a hosszú távú költséghatékonyság felmérése érdekében. E területek kezelése hozzájárul a BIM-technológia fejlesztéséhez és a fenntartható infrastruktúra-fejlesztésben betöltött szerepének optimalizálásához.

4. NÉHÁNY ÖSSZEFOGLALÓ MEGJEGYZÉS

Az előbbieken a fenntarthatóságnak egyik lényeges és időszerű alkalmazási területével, a közúti hidakkal foglalkoztunk. A közlekedési infrastruktúrának ezen nagy jelentőségű eleme sok kutatási munka témáját adta, rámutatva a nemzetgazdaságban betöltött szerepére, az általa nyújtott gazdasági előnyökre, valamint azokra a veszteségekre, amelyekkel a forgalomból való időleges kiesése vagy funkcióinak kényszerű korlátozása esetében kell számolnunk. Újabbban világszerte egyre sokasodnak azok a vizsgálatok, illetve azok eredményei alapján kifejlesztett modellek, amelyek a jelen gazdasági előnyeivel akár szembe állítva, a fenntarthatóság kérdését vetik fel, mint az utánunk következő nemzedékek irányában megnyilvánuló társadalmi felelősségérzetet. Jelen cikk ez utóbbi területen nyújt nemzetközi szakirodalmi szemlét, a közúti hidak szakterületére összpontosítva, külön kiemelve a BIM jelentőségét ezen a területen.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Ahmad, D.M. (2025). Development of a Sustainable Bridge Management Model (SBMM) integrating Risk Management, BIM, and LCSA. PhD Thesis. Doctoral School of Multidisciplinary Engineering Sciences, Széchenyi István University, Győr (under review)
- [2] Arora, N. K., Fatima, T., et al. (2018). Environmental sustainability: Challenges and viable solutions. *Environmental Sustainability*, 1, 309–340. <https://doi.org/10.1007/s42398-018-00038-w>
- [3] Ansori, S., Yusuf, R. (2023). Addressing the global environmental crisis: Strategies for sustainable development. *West Science Social and Humanities Studies*, 1(02), 63–75. <https://doi.org/10.58812/wsshs.v1i02.190>
- [4] Lawrence, M., Homer-Dixon, T., et al. (2024). Global polycrisis: The causal mechanisms of crisis entanglement. *Global Sustainability*, 7, 1–36. <https://doi.org/10.1017/sus.2024.1>
- [5] Wenping, L., Hongling, G. (2014). Improve the Design and Construction of Bridge Projects: A Case Study of a Long-Span Steel-Box Arch Bridge Project. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. <https://doi.org/10.5772/58442>
- [6] Enayat, A. M., Sibel, E., Lei, G., Hadjidakou, M., Liu, Q., Kwakkel, J., Reed, P. M., Obersteiner, M., Guo, Z., Brett, A. B. (2022). Early systems change necessary for catalyzing long-term sustainability in a post-2030 agenda. *One Earth*, 5, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.06.003>
- [7] Moshood, T.D., Rotimi, J.O., Shahzad, W. (2024). Enhancing sustainability considerations in construction industry projects. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04946-2>
- [8] Ayarkwa, J., Opoku, D.-G. J., Antwiafari, P., Yi Man Li, R. (2022). Sustainable building processes' challenges and strategies: The relative important index approach. *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100455. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100455>
- [9] Global Alliance for Buildings and Construction. (2022). 2022 Global Status Report for Buildings and Construction. United Nations Environment Programme.
- [10] Pahl-Wostl, C., Odume, O. N., Scholz, G., De Villiers, A., Amankwaa, E. F. (2023). The role of crises in transformative change towards sustainability. *Ecosystems and People*, 19(1). <https://doi.org/10.1080/26395916.2023.2188087>
- [11] Molnár, I., Gáspár, L., Lublós, L., Bakó, A., Kolozsi, Gy. (2002). Hungarian 5-year Bridge Maintenance and Rehabilitation Program, as a part of Asset Management. IABSE Symposium Report. 86, 34-42. <https://doi.org/10.2749/222137802796336180>

- [12] Elsaywy, M., Youssef, M. (2023). Economic Sustainability: Meeting Needs without Compromising Future Generations. *International Journal of Economics and Finance*, 15(10), 23–31. <https://doi.org/10.5539/ijef.v15n10p23>
- [13] Caldarola, B., Mazzilli, D., et al. (2023). Economic complexity and the sustainability transition: A review of data, methods, and literature. *arXiv preprint arXiv:2308.07172*. <https://arxiv.org/abs/2308.07172>
- [14] Tunji-Olayeni, P. F., Mosaku, T. O., Oyeyipo, O. O., Afolabi, A.O. (2018). Sustainability strategies in the construction industry: Implications on Green Growth in Nigeria. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 146(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/146/1/012004>
- [15] Jeong, Y., Kim, W., Lee, I., Lee, J. (2018). Bridge inspection practices and bridge management programs in China, Japan, Korea and U.S. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 3 126-135. <https://doi.org/10.1080/24705314.2018.1461548>
- [16] Wan, C., Zhou, Z., Li, S., Ding, Y., Xu, Z., Yang, Z., Xia, Y., Yin, F. (2019). Development of a Bridge Management System Based on the Building Information Modeling Technology. *Sustainability*, 11, 4583. <https://doi.org/10.3390/su11174583>
- [17] Zhao, Z., Gao, Y., Hu, X., Zhou, Y., Zhao, L., Qin, G., Guo, J., Liu, Y., Yu C., Han D. (2019). Integrating BIM and IoT for smart bridge management. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 371 (022034), <https://doi.org/10.1088/1755-1315/371/2/022034>
- [18] Du, G. Karoumi, R. (2013) Life cycle assessment of a railway bridge: comparison of two superstructure designs, *Structure, and Infrastructure Engineering*, 9(11), 1149-1160, <https://doi.org/10.1080/15732479.2012.670250>
- [19] Fang, Z.; Yan, J. et al. (2023) Systematic Literature Review of Carbon Footprint Decision-Making Approaches for Infrastructure and Building Projects. *Appl. Energy* 335, 120768. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120768>
- [20] Milić, I., Bleiziffer, J. (2024). Life cycle assessment of the sustainability of bridges: methodology, literature review and knowledge gaps. *Frontiers in Built Environment*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1410798>
- [21] Navarro, I., J., Yepes, V., Martí J. V. (2021). Sustainability life cycle design of bridges in aggressive environments considering social impacts. *International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements*, 9(2) 93-107. <https://doi.org/10.2495/CMEM-V9-N2-93-107>
- [22] Nahangi, M., Guven, G., Olanrewaju, B., Saxe, S. (2021). Embodied greenhouse gas assessment of a bridge: A comparison of preconstruction. *Building Information Model and Construction Records. Journal of Cleaner Production*, 295, 126388. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126388>
- [23] Venkateswaran, B. (2021). Sustainable practices in bridge construction. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 1(6), 24–28. <https://doi.org/10.29187/jscmt.2021.56>
- [24] Penadés-Plà, V., García-Segura, T., Martí, J., V., Yepes, V. (2016). A Review of Multi-Criteria Decision-Making Methods Applied to the Sustainable Bridge Design. *Sustainability*, 8, 1295. <https://doi.org/10.3390/su8121295>
- [25] Feghhi, M., Khedmatgozar Dolati, S. S., Mehrabi, A., Malla, P., Tabiatnejad, D. (2024). A New Framework for Condition and Risk Assessment for Sustainable Management of PT Bridges. *Sustainability*, 16(22), 9703. <https://doi.org/10.3390/su16229703>
- [26] Bahamid, R.A. Doh, S.I. (2017). A Review of Risk Management Process in Construction Projects of Developing Countries. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 271, 012042. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012042>
- [27] Agárdy, G., Gáspár, L., et al. (2000). Adaptation of PONTIS BMS to Hungarian conditions. 4th Bridge Engineering Conference, Adelaide, Australia, 61-70.
- [28] Wei, J., Chen, G., Huang, J, Xu, L., Yang, Y., Wang, J., Sadick, A.-M. (2021). BIM and GIS Applications in Bridge Projects: A Critical Review. *Applied Science*, 11, 6207. <https://doi.org/10.3390/ap11136207>

- [29] National Institute of Building Sciences (NIBS). (2015). National BIM Standard – United States (NBIMS-US). URL: <https://www.nationalbimstandard.org/>
- [30] National Building Specification (NBS). (2021). URL: <https://www.thenbs.com>
- [31] Huang, Z., Tu, C., Li, G. (2021). Application of BIM Technology in Bridge Engineering and Obstacle Research. 7th International Conference on Environment and Renewable Energy, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 798 (012013). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/798/1/012013>
- [32] Ullah, K., Lill, I., Witt, E. (2019). An Overview of BIM Adoption in the Construction Industry: Benefits and Barriers. 10th Nordic Conference on Construction Economics and Organization (Emerald Reach Proceedings Series), Vol. 2, 297-303. Emerald Publishing Limited, Bingley, <https://doi.org/10.1108/S2516-285320190000002052>
- [33] Hoang, G., Vu, D., et al. (2020). Benefits and challenges of BIM implementation for facility management in operation and maintenance face of building in Vietnam. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 869, 022032. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/2/022032>
- [34] Rolfsen, C, N., Lassen, A, K., et al. (2021). ECPPM 2021 - eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Constructions. Chapter: The use of the BIM-model and scanning quality assurance of bridge constructions. 1st edition, Taylor & Francis group.
- [35] Shim, C., Yun, N., Song, H. H. (2011). Application of 3D Bridge Information Modeling to Design and Construction of Bridges. Procedia Engineering, 14, 95-99. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.010>
- [36] Marzouk, M. M., Hisham, M. (2014). Implementing earned value management using bridge information modeling. KSCE Journal of Civil Engineering, 18, 1302–1313. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0455-9>
- [37] Chan, B., Guan, H., Hou, L., Jun, J., Blumenstein, M., Wang, J. (2016). Defining a conceptual framework for the integration of modelling and advanced imaging for improving the reliability and efficiency of bridge assessments. J Civil Struct Health Monit 6, 703–714. <https://doi.org/10.1007/s13349-016-0191-6>
- [38] Dawood, M. (2018). BIM Based Bridge Management System. In: Şahin, S. (eds) 8th International Conference on Engineering, Project, and Product Management (EPPM 2017). EPPM 2017. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74123-9_17
- [39] Ciccone, A., Suglia, P., Asprone, D., Salzano, A., Nicoletta, M. (2022). Defining a Digital Strategy in a BIM Environment to Manage Existing Reinforced Concrete Bridges in the Context of Italian Regulation. Sustainability, 14, 11767. <https://doi.org/10.3390/su141811767>
- [40] Zhou, Z. (2022). An Intelligent Bridge Management and Maintenance Model Using BIM Technology. Mobile Information Systems, 2022, 7130546, 9 p. <https://doi.org/10.1155/2022/7130546>
- [41] Li, S., Zhang, Z., Lin, D., Zhang, T., Han, L. (2023). Development of a BIM-based bridge maintenance system (BMS) for managing defect data. Sci Rep 13, 846. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-27924-6>



Sustainability in Bridge Management

Keywords: sustainability, risk analysis, bridges affair, bridge management, Building Information Modelling (BIM)

Public roads are a key element of a country's economic infrastructure. Within this context, the conformity of bridges is of utmost importance to the national economy. Recently, sustainability considerations have been playing an increasingly important role. Drawing on the results of the literature re-view, the sustainability issues in the field of bridge management are reviewed. The main achievements in these areas worldwide and the main directions for improvement are presented.