

A digitális közútkezelés aktuális kérdései – Digitális iker alkalmazások a közúti közlekedés területén

Tomaschek Tamás Attila^{1,*} – Verdes Máté²

¹mobilitáskutató csoportvezető, Magyar Közút Nonprofit Zrt., 1024 Budapest, Fényes Elek u. 7-13. / PhD hallgató, BME Gépjárműtechnológia Tanszék, 1111 Budapest, Stoczek u. 6. J. épület V. emelet

²osztályvezető, Magyar Közút Nonprofit Zrt., 1024 Budapest, Fényes Elek u. 7-13.

*felelős szerző

e-mail: tomaschek.tamas@kjk.bme.hu, verdes.mate@kozut.hu

Absztrakt

A közlekedési rendszerek világszerte egy olyan átalakulási folyamat középpontjába kerültek, amelynek léptéke és mélysége a korábbi ipari-technológiai változásokkal nem vethető össze. Ezt az átalakulást három, egymást erősítő megatrend hajtja: a digitalizáció, az automatizáció és az urbanizáció. A digitalizáció a közlekedési rendszerekben elsősorban az adat keletkezésének, megosztásának és hasznosításának radikális átalakulását jelenti. Szenzorok, IoT-eszközök, fedélzeti járműrendszerek, intelligens infrastruktúraelemek és felhasználói eszközök révén korábban elképzelhetetlen mennyiségű és részletességű adat válik elérhetővé valós időben. A cikk ezen adatok lehetséges jövőben felhasználásának módjára keresi a válaszokat.

Kulcsszavak: Digitalizáció; Közútkezelés; Digitális iker; Intelligens Közlekedési Rendszer; Építményinformációs Modell

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2026.1.3>

1. BEVEZETÉS

Az építőipar digitalizációja jelentős lemaradásban van a többi ágazathoz képest, ami globális jelenség. A hazai építőipar emellett termelékenységben is jócskán elmarad a nyugati országokhoz képest. A helyzet az útépités területén sem sokkal jobb, annak ellenére, hogy a tervek már nagyon régóta digitálisan készülnek, és a kivitelezésben megjelent az automatizáció is a gépek vezérlésében. Az elkészült digitális megvalósulási tervek az üzemeltetőnél nem hasznosulnak, és nem tudják támogatni az adat alapú folyamatokat. A közeljövőben ebben jelentős változás várható, mert a 31/2024. (VIII. 22.) ÉKM rendelet előírásai alapján egyre több útépítési projekt során készül építményinformációs modell (BIM). A BIM állományok naprakészen tartása a létesítményeket üzemeltetésre

áttevő szervezetek jogszabályban rögzített kötelessége, de egyben elemi érdeke is, hiszen az segítségükre lehet a rendszeres karbantartások és felújítások tervezésekor, ütemezésekor és az elvégzett beavatkozások megfelelő dokumentálásában. A térinformatikai adatbázisok és az építményinformációs modellek nagyon fontos alapjai a digitális közútkezelésnek, de ezen túl is akadnak komoly kihívások, mint a jövő forgalomszervezése a hálózatba kapcsolt járművek és az integrált (intermodális) közlekedési láncok kezelésével, valamint a modern infrastruktúra üzemeltetés BIM állományok és IoT szenzorok felhasználásával, amelyeket a CEDR (Conference of European Directors of Roads) 2024-ben kiadott Dublini nyilatkozata (CEDR, 2024) is megemlíti. A CEDR ezzel párhuzamosan DROIDS (Digital Road Operator Information and Data Strategy) néven elindított egy kutatási

projektet. A kutatás középpontjában az egyes tagállamokban működő közútkezelő szervezetek folyamatban lévő digitális átalakulása áll, legfőbb célja, hogy a közúti hatóságok számára átfogó ismereteket és támogatást nyújtson a digitalizációból származó előnyök kiaknázásához (DROIDS, 2023). Természetesen ahhoz, hogy az üzemeltető teljes mértékben kihasználja a digitalizációban rejlő lehetőségeket, a műszaki fejlesztések mellett teljes szemléletváltásra is szükség lesz.

2. TÉRADATOK A KÖZLEKEDÉSBEN

A térinformatikai rendszerek (GIS) lehetővé teszik, hogy a helyadatok segítségével összekapcsoljuk a korábban külön álló információkat, így megértve a földrajzi összefüggéseket. A vonalas létesítmények esetén már évtizedek óta használnak ilyen rendszereket, amelyek kiválón alkalmasak nagy kiterjedésű hálózatokra és a környezetükre vonatkozó adatok, információk tárolására, megjelenítésére. A hazai gyakorlatban is először a GIS alapú adatbázisok jelentek meg, de egyre több példát látunk BIM alkalmazásokra is.

2. 1. Közüti térinformatikai adatbázisok

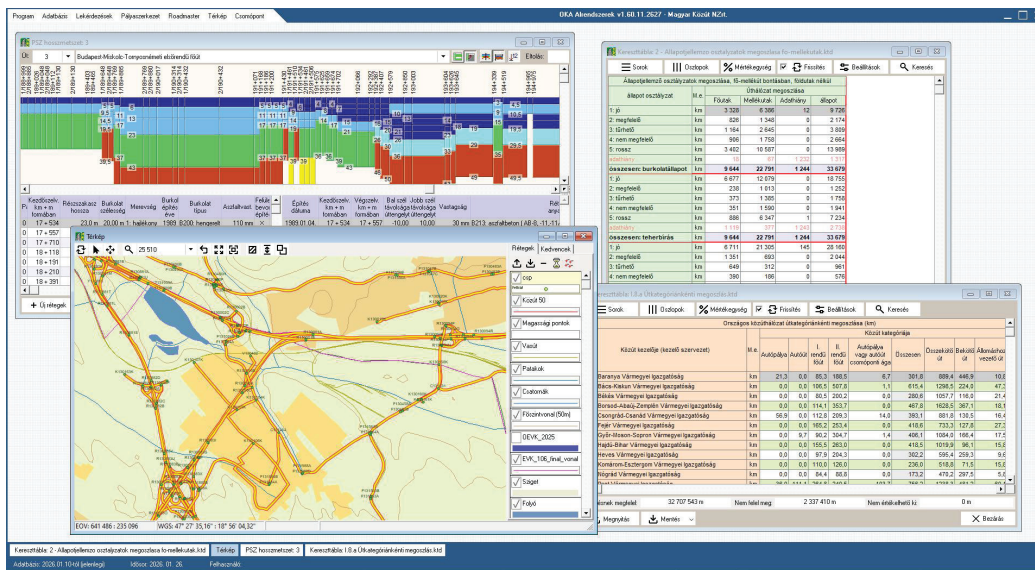
A Magyar Közút Nonprofit Zrt. közútkezelői tevékenységét támogató alapnyilvántartása az OKA, illetve később OKA2000 alkalmazás. Az OKA jogszabályi háttérét a közúti közlekedésről szóló 1988. évi I. törvény biztosítja, amelynek 34 § (3) szerint „A közutat, annak műszaki, minőségi, forgalmi, baleseti adatait, valamint a forgalmi rendjét meghatározó jelzéseket, továbbá a közút üzemeltetésére, fenntartására és fejlesztésére fordított költségeket a kezelőnek nyilvántartania kell tartania”. A nyilvántartás a közutak, a kapcsolódó műtárgyak, úttartozékok, ill. egyéb eszközök műszaki és térinformatikai adatait tárolja, ezzel támogatva a különböző szakterületek napi operatív munkavégzését. A rendszer alapfunkciói:

- közúti topológia karbantartása és verzió alapú idősoros kezelése,
- térképi megjelenítés, általános térinformaticai funkciók,
- közúti és térbeli helyazonosítás, valamint helyazonosítás konvenciók,
- adat lekérdezések táblázatos és grafikonos formában,
- közúti útállapot mérések támogatása,
- útpálya szerkezetek komplex, idősoros kezelése,
- forgalomtechnikai funkciók,
- multimédiás állományok csatolása, kezelése,
- adatszolgáltatások támogatása, export funkciók.

Az OKA2000 alapfunkciója az adatok időbeli változásának folyamatos rögzítése és időhöz rendelt tárolása (Forrainé, 2004). A rendszer „időgépként” működik, azaz szabadon megadható időpontban előállítja az adatbázis akkori aktuális állapotát. Az időpontokat változtatva folyamatosan nyomon követhetjük a hálózat változásait. A rendszerben minden adatértékhez egyaránt tárolásra kerül az adat aktualitása, feltöltésének ideje. Így minden adatváltozás nyomon követhető, ezekről a változásokról kimutatás, statisztika készíthető.

Az OKA2000 az ún. „kettős helyazonosítást” használja az adatok és objektumok pontos helyének a meghatározására. Ez azt jelenti, hogy az útszám mellett vagy az azonosító pontoktól mért távolsággal, vagy az utolsó felvett kilométerjeltől mért távolsággal adja meg a pont helyét. A két módszer közti átváltást a rendszer automatikusan végzi. Az úthálózat alapját a szakaszok adják (amelynek szelvényezési iránya van).

A X4ITS projekt (Magyar Közút, 2023) keretén belül folyamatban van a Komplex Infrastruktúra Adattár (KIA) megvalósítása, ami két évtized után új alapokra helyezi a Magyar Közút térinformatikai rendszereit, kiváltva az elavult OKA2000-t. A KIA rendszerrel szemben elvárás, hogy integráltan tartalmazza az országos és önkormányzati kezelésű közutak, kerékpáros létesítmények, közúti és vasúti hidak műszaki nyilvántartását, és valósítsa meg a közutak baleseteinek és forgalmi rendjének meghatározott szakmai adatainak kezelését. Az új rendszer elsődleges szakmai célja az Országos Közüti



1. ábra: OKA2000 alkalmazás (forrás: Magyar Közút)

Adatbank (OKA) rendszerének, valamint az ezen alapuló Hídnnylvántartás rendszerének a megújítása. A megvalósítás során megtörténik a közúthálózat topológiai, műszaki és állapot információinak, a hídnnylvántartási és hídgazdálkodási adatoknak, valamint az önkormányzati úthálózati és kerékpáros infrastruktúra adatok kezelésének integrációja, ezzel kiküszöbölve a jelenlegi heterogén nyilvántartások közötti adatáramlás és adatszinkronizáció nehézségeit és időbeli korlátait. A KIA esetén az egyik legfontosabb újítás az úttengely felől a sávtengely szintű geometriai és topológiai nyilvántartás felé történő elmozdulás, illetve a BIM állományok integrációja. A fejlesztés eredményeképpen a rendszer lehetővé teszi a sávok geometriájára épülő topológia nyilvántartását. A BIM állományok integrációja alatt pedig a harmadik féltől érkező állományok tárolási lehetőségét kell megteremteni, ill. biztosítani kell IFC szabványú állományok letárolását a dokumentumtárban és ezeknek a topológiai pontokhoz rendelkezésére álló. A BIM állományok megjelenítését a felhasználó gépére telepített külső szoftver oldja majd meg.

2. 2. Fejlesztés irányok a téradatok nyilvántartásában (BIM-GIS integráció)

A létesítmény üzemeltetés (Asset Management) folyamatai esetén általában a 3D geometria kevésbé releváns, mint az eszközzel kapcsolatos nem geometriai adatok, pl. garanciák, beépítési dátumok stb. Hasonló a helyzet az infrastruktúra-üzemeltetők esetében is, a különbség, hogy az infrastruktúra-kezelő szervezetek egyszerre többféle létesítménnyel is foglalkoznak, a kisebb földrajzi kiterjedésű épületektől vagy műtárgyaktól, a jelentős kiterjedésű nyomvonalas létesítményekig. Az infrastruktúra-üzemeltetők elsősorban a nagyobb kiterjedésű hálózatra fókuszálva, döntően földrajzi információs rendszereket (GIS) alakítottak ki a téradatok tárolására és megjelenítésére. Nem életszerű, hogy az infrastruktúra-üzemeltetők a jövőben több különböző rendszert és platformot tartsanak fenn a különböző adatok nyilvántartására, éppen ezért pont ők profitálhatnak a legtöbbet a BIM/GIS integrációból. Amíg a BIM részletes adatokat szolgáltat magáról a létesítményről vagy műtárgyról, addig a GIS kiegészíti azt a nagyobb léptékű adatok ábrázolásával. A két technológia között akadnak ugyan hasonlóságok, de azok sokkal inkább kiegészítik egymás, és nem egymás alternatívái. Éppen

ezért az integrációjuk sem egy triviális feladat, de a várható előnyök miatt mégis érdemes foglalkozni a kérdéssel.

2. 2. 1. Az integráció előnyei

A BIM mára egy széles körben elfogadott módszertan, amely lefedi az építőipari szektor teljes vertikumát, és felöleli az építmények teljes életciklusát. A BIM célja a szakágak közötti együttműködési folyamatok előmozdítása és a létesítmény életciklusa során az információvesztés megelőzése (elsősorban az építés és az üzemeltetés időszaka között). A parametrikus 3D modellek, valamint a szabványosított munkafolyamatok és információcsere révén a BIM lehetővé teszi a digitális, épített környezeti eszközgazdálkodás megvalósítását.

Ezzel szemben a GIS grafikus és leíró adatokat tartalmazó adatbázis, amely a GIS funkciók felhasználásával képes az adatok transzformálására, szemléltetésére, szelektálására, összekapcsolására, elemzésére, ill. összetett lekérdezések végrehajtására. A GIS összekapcsolja az adatokat azok pozíciójával, integrálva a helyadatokat (hol?) többféle leíró információval (mi?/milyen?). Ez olyan térképkészítési és elemzési alapot biztosít, amelyet a tudományban és szinte minden iparágban általánosan használnak. Összefoglalva: a térinformatikai rendszerek kiválóan segítenek megérteni, és ábrázolni a földrajzi összefüggéseket.

A két, egymást kiegészítő technológia integrációjával széles körben foglalkoznak, számtalan tudományos cikk és gyakorlati alkalmazás született már a témában (Krischler, et al., 2024 és Wan Nor Fa'aziah et al., 2023).

A BIM/GIS integráció előnye, hogy lehetővé teszi a különböző forrású és formátumú téradatok összekapcsolását, megkönnyíti azok zökkenőmentes megosztását, kezelését és megjelenítését. Az integráció a BIM részletes geometriai és attribútumadatait és a GIS térbeli elemzési képességeit használja, hogy átfogóbb képet alkosson az építkezésről és annak környezetéről. Vonalas létesítmények tervezésekor például a közlekedési hálózat nagyobb részét kell figyelembe venni, hogy a szomszédos közlekedési csomópontokra gyakorolt hatások

is értékelhetők legyenek, illetve azonosítani kell minden olyan építményt, amelyet az esetleges építési vagy karbantartási tevékenységek érinthetnek.

A szakirodalom említ még esettanulmányokat, amelyekben hidak (Krischler, et al., 2024), föld alatti közművek modelljeit integrálták GIS álműanyagba, de vannak példák építés alatti zajcsökkentésre/monitorozásra, kockázati modellek készítésére, az organizáció és ütemezés hatékonyabb szervezésére vagy árvízi elöntések szimulációjára is (Wan Nor Fa'aziah et al., 2023 és Castonguay, et al. 2024). A későbbiekben pedig az integráció szerepe még tovább nőhet az intelligens városok és a digitális ikrek megjelenésével, elterjedésével (Šamanović, et al. 2024).

2. 2. 2. Az integráció kihívásai

A BIM-GIS integráció számos kihívást jelent, a különböző léptékek, a granularitás, az ábrázolási módszerek, az archiválás és hozzáférés, illetve a két rendszer közötti szemantikai eltérések tekintetében (Zhu, et al. 2022). A szakirodalomban azonosított egyik fő kihívás a merőben eltérő céllal kifejlesztett információtartalom és adatszerkezetek közötti jelentős eltérés. A BIM komoly hangsúlyt fektet az objektumkapcsolatokra, míg a GIS a térbeli kontextust modellezi, ahol a georeferálás döntő szerepet játszik, ami nehézségeket okozhat a két szabvány integrálásában, de itt érdemes megjegyezni, hogy a két szakterület mögött álló szabványosítási szervezetek – az Open Geospatial Consortium (OGC) és a buildingSMART – az adatmodellek, pl. a CityGML és az IFC (Industry Foundation Classes) harmonizálásán dolgoznak, annak érdekében, hogy az adatok szintjén biztosítsák a kompatibilitást (Gilbert, et al. 2020).

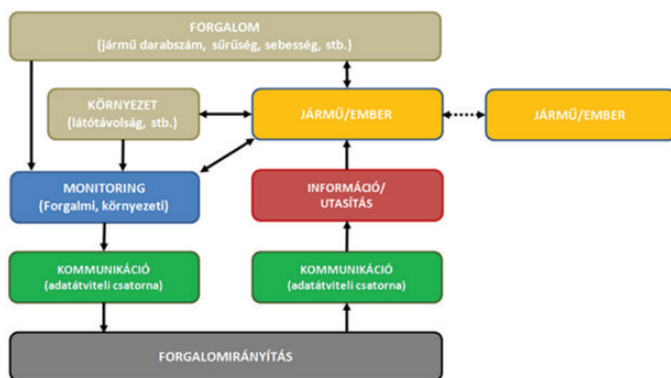
Egy másik jelentős kihívás a geometriai adatok ábrázolásával kapcsolatos. Amíg a BIM több módszert kínál a geometria háromdimenziós ábrázolására (pl. constructive solid geometry (CSG), határábrázolás (B-rep), sweep, stb.), addig a GIS elsősorban a B-rep megközelítésre támaszkodik, ahol a határokat egyenes vonalakkól és síkfelületekből vezetik le. A két szabvány közötti kétirányú transzformáció továbbra is kérdéses, különösen a B-rep-ről sweepre, vagy CSG-re történő átváltáskor. Különbözik még a részletesség (LOD) meghatározásának definíciója is a BIM és a GIS között (Piras, G., et al. 2024). A két szabvány integrációjának további akadály a eltérő koordináta-rendszerek használata. A BIM kontextusában az abszolút koordináták csak korlátozott jelentőséggel bírnak. A modellben jellemzően egy tervezést támogató lokális derékszögű koordináta-rendszert használnak. A GIS ezzel ellentétben a földrajzi koordináta-rendszert (GCS) használja, minden objektumot a földrajzi szélesség, a földrajzi hosszúság és a tengerszint feletti magasság segítségével határoz meg.

3. A FORGALOMSZERVEZÉS KÉRDÉSEI

A jövő forgalomszervezése is számos kihívást tartogat, a közútkezelőknek fel kell készülni az együttműködő, összekapcsolt és automatizált járművek megjelenésére és a kínáló új lehetőségekre. Először is ki kell használni a járművek azon képességét, hogy képesek adatokat cserélni az infrastruktúrával, illetve egymással. Ez komoly előrelépés, amelynek a hatásait a 2. ábra szemlélteti. A forgalomszabályozás korábban teljesen zárt és döntően egyirányú folyamata kinyílik, és megjelennek benne külső szereplők, például más közlekedők, ill. piaci szereplők.

A járművek az adatkapcsolatnak köszönhetően képesek valós idejű adatokat közvetíteni a környezetük felé pl. a haladási irányukról, illetve a sebességükről (Tóth & Bíró, 2024), de képesek az infrastruktúra szenzorok vagy más

járművek érzékelői felől érkező adatok közvetlen fogadására is. Ezzel együtt a központi forgalomirányítás is lényegesen több információhoz juthat majd, amivel tovább javíthatók a jelenlegi forgalmi modellek és rövid távú előrejelzések. További kihívást jelent majd a magasan automatizált járművek megjelenése. A felkészülés szempontjából az optimális az lenne, ha az önvezetés és a központi irányítás fejlesztése kéz a kézben haladna, de természetesen ennek vannak akadályai. Az autóiipari cégek és beszállítók nem szeretik megosztani a fejlesztési terveiket, ezért a Magyar Közút igyekszik részt venni olyan K+F projektekben, ahol magasan automatizált járművek közúti tesztelése, szcenáriók megvalósítása a cél. Az automatizáláshoz szorosan kapcsolódik a járművek szenzorozottsága és a járműben lévő intelligens eszközök, amely tényezők jelentősen befolyásolják a gépjárművek árát, figyelemmel arra is, hogy mindig lesz olyan helyzet, amit a jelenleg használt csúcstechnológiás szenzorokkal se lehet majd észlelni. Ennek megfelelően előtérbe kerülhetnek a felhő alapú integrációs platformok, ahol a különböző forrásból érkező szenzoradatok fúziója valós időben megtörténhet. Ezek a platformok akár járműszintű vezérlést is elláthatnak bizonyos szakaszokon.



2. ábra: A forgalomszabályozás aktuális elemei és kapcsolati rendszere (forrás: saját szerkesztés)

3. 1. C-ITS szolgáltatások

A kooperatív ITS (C-ITS) olyan technológiák és alkalmazások összessége, amelyek lehetővé teszik a hatékony és közvetlen adatcserét vezeték nélküli kommunikációs csatornákon keresztül a közlekedési rendszer elemei és szereplői

között, leggyakrabban a járművek között (jármű-jármű vagy V2V) vagy a járművek és az infrastruktúra között (jármű-infrastruktúra vagy V2I). A C-ITS rendszerek és szolgáltatások kiépítése Magyarországon 2015-ben kezdődött, a bevezetésüket elősegítő egyik fő mozgatórugó a CROCODILE európai projektben való részvétel volt (Tóth & Bíró, 2024). A projekt elsődleges célja a közlekedési adatok minőségének és elérhetőségének javítása, valamint minőségi közlekedési információs szolgáltatások nyújtása a járművezetők számára. Különös figyelmet kapott a közúti biztonság, és azon belül is a munkaterületek biztonságának javítása.



3. ábra: Járművön belüli jelzés az M7-en Kőrös-hegy térségében (In-vehicle signage – IVS) *(forrás: saját felvétel)*

A korábban említett célkitűzésekkel összhangban a Magyar Közút Zrt. az M1-es autópálya 136 km hosszú, Budapest és Hegyeshalom közötti szakaszát választotta ki a C-ITS szolgáltatások kiépítésére. A rendszer 2015 decembere óta üzemel. A kísérleti rendszer a következők un. „Day-1 szolgáltatásokat” fedte le: Forgalmi dugó előre figyelmeztetés, Veszélyes helyről szóló értesítés, Útépítési figyelmeztetés, Időjárási körülmények, Járművön belüli jelzés (3. ábra) és Járművön belüli sebességhatárkorlátozás. Az RSU-k és az OBU-k közötti kommunikáció eddig az ITS G5-ön alapult. („Az ITS-G5 technológia támogatja a jármű-jármű, jármű-mindennel rövid hatótávolságú, ad hoc kommunikációt (Wippelhauser, et al., 2023). A kommunikációs stack meghatározott hozzáférési réteget együttesen ITS-G5-nek nevezik”).

3. 2. Járműipari tesztek

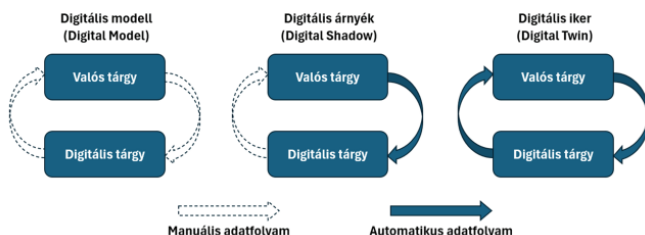
Azt követően, hogy a kísérleti járművek, vezetéstámogató funkciók ellenőrzött tesztkörnyezetben jól teljesítettek, a következő lépés a korlátozott közúti tesztkörnyezetben, illetve a valós körülmények között történő bizonyítás. Ez mind a személy-, mind a haszongépjárművekre vonatkozik. Néhány ország megnyitotta a teljes úthálózatát az önvezető járművek tesztelésére. Ezzel összhangban több ország is kialakított C-ITS szolgáltatásokat a V2X-kommunikáció tesztelésére, számos okosút/autópálya projekt is megépült, de csak néhány olyan helyszín van, ahol az önvezető autók nyílt útszakaszokon történő tesztelését elősegítő szenzor-infrastruktúrát valósítottak meg. Ezekben a projektekben van néhány közös jellemző, pl. nagy pontosságú digitális térképek, radar/LiDAR infrastruktúrális érzékelők vagy digitális iker. Egy nemrégiben készült irodalomkutatás három különböző célú és léptékű teszt-ökoszisztémát vizsgált (Tomaschek & Tihanyi, 2022). Két kisebb léptékű, 2017 óta működő európai teszt helyszínt, illetve egy nemrégiben Kínában megvalósult projektet mutat be. A különbségek mellett megfigyelhetünk néhány közös vonást az említett helyszínek között *(lásd az 1. táblázatot)*.

Jellemző	Helyszín		
	Providentia++ (Németország)	Aurora (Finno./ Norvégia)	Vehicle- road-cloud (Kína)
Útmenti szenzor infrastruktúra	+	+	+
HD térkép	+	+	+
Digitális iker	+		+
Szenzorfüzión	+	+	+
Nyílt teszt ökoszisztéma	+	+	
Felhő alapú járműirányítás			+

1. táblázat: Közúti teszt helyszínek jellemzői *(forrás: Tomaschek & Tihanyi, 2022)*

4. A DIGITÁLIS IKER SZEREPE A KÖZLEKEDÉS TERÜLETÉN

A digitális ikreknek nincs elfogadott definíciója; sőt a tartalom is változhat tudományáganként: például az építőmérnöki szakterületnél a BIM-eket általában digitális ikernek tekintik (Sepsasgozar, 2021). Az utóbbi időben több tanulmány is született a területen, amelyeknél a leggyakrabban az alábbi digitális iker altípusokat különböztetik meg:



4. ábra: Digitális iker fajták az adatáramlás szempontjából
(forrás: Fuller et. al., 2020)

- digitális modell (DM)
- digitális árnyék (DS) és
- digitális iker (DT).

A fő különbség a különböző DT-típusok között az adatáramlás típusa (kézi vagy automatikus) a valóság és a digitalizált objektumok között. A DM egy fizikai objektum, struktúra vagy munkafolyamat virtuális bemutatása, a virtuális és a valós példányok közötti automatikus adatáramlás nélkül. A közlekedésben ez lehet magának az infrastruktúrának egy tervezőprogramban elkészített CAD-es állománya, vagy egy (statikus) forgalmi modell, amelyet általánosságban a közlekedéssel kapcsolatos problémák jobb megértésére használnak. A digitális modellek lehetővé teszik a tárgyak vagy rendszerek vizualizálását, elemzését és manipulálását digitális környezetben, segítve azok megtervezését, optimalizálását és tesztelését. A modell azt is előre vetítheti, hogy a rendszer vagy a folyamat hogyan működhet a jövőben. A DS egy szerkezet vagy rendszer naprakész ábrázolása. A másolatot szenzorhálózaton vagy más online forrásokon keresztül szerzett információkkal táplálják. A DS-ek jellemzően matematikai modellek, de lehetnek 3D-s ábrázolások is, és gyakran bizonyos szempontokra összpontosítanak, lehetővé téve a nyomon

követést, a döntéshozatalt, az elemzést és előrejelzések készítését. A DT-k esetében a virtuális és a fizikai másolatok teljes mértékben összekapcsolódnak, lehetővé téve az élő visszacsatolási hurkokat és megkönnyítve a megértést a teljesítmény, a hatékonyság és a megbízhatóság javítása érdekében (Mashaly, 2021).

A korszerű forgalomirányítás is a hálózatot és a folyamatokat leíró forgalmi modelleken alapul, amelyek lehetővé teszik a rövid távú prognó-

zisek készítését is. Ez utóbbi nagyon fontos abból a szempontból, hogy az irányítás elmozduljon a reaktív felől a proaktív, illetve preventív irányba. A digitális ikrek jelenthetik a következő lépcsőfokot, a modellek következő szintjét, amelyek lehetővé teszik a közlekedési rendszer valós idejű állapotainak pontos és megbízható értelmezését, de képesek lehetnek akár a beavatkozásra is.

4. 1. A Geo-Digital Twin koncepció

A Geo-Digital Twin (Geo-DT) koncepció jelentős előrelépést jelent a BIM modellek és a GIS adatok integrációjában, és egyedülálló lehetőséget kínál az infrastruktúra és az épített környezet intelligens és dinamikus szabályozására. A Geo-Digital Twin olyan digitális egység, amely a térinformatikai adatok, a BIM-modellekből származó információk és az IoT-eszközökből származó valós idejű adatok integrálásával képes leképezni egy fizikai környezetet vagy infrastruktúrát. Ez lehetővé teszi a valós idejű szimulációt, elemzést és irányítást.

A Geo-DT megvalósítása új lehetőségeket kínál a várostervezés, az infrastruktúra-tervezés és a városi hálózatok hatékonyságának növelésére. Integrálja az infrastrukturális elemekről, illetve más forrásokból származó valós idejű adatokat, hogy átfogó és dinamikus képet adjon az épített környezetről. A DT így lehetővé teszi az érdekeltek számára a városi környezet virtuális felületen keresztül történő megjelenítését és elemzését. Lehetőség van továbbá szimulációk elvégzésére, hogy meghatározzuk a különböző döntések és forgatókönyvek hatását az infrastruktúrára és annak környezetére. Az infrastruktúra irányítása és karbantartása szempontjából a Geo-DT

fejlett felügyeleti és ellenőrzési rendszert biztosíthat, amely lehetővé teszi az anomáliák vagy problémák valós idejű észlelését és a korrekciós intézkedések időben történő végrehajtását, ami a gyakorlatban folyamatos és proaktív nyomon követést jelent. Ennek az új technológiának már itthon is vannak előfutárjai. Az egyik a Monostori Duna-híd komplex hídmonitoring rendszerére felépített digitális iker (Szinyéri, et al., 2023), a másik pedig az M1-M7 autópályák közös szakaszán létrehozott Central system projekt (Tihanyi, et. al. 2021/1).

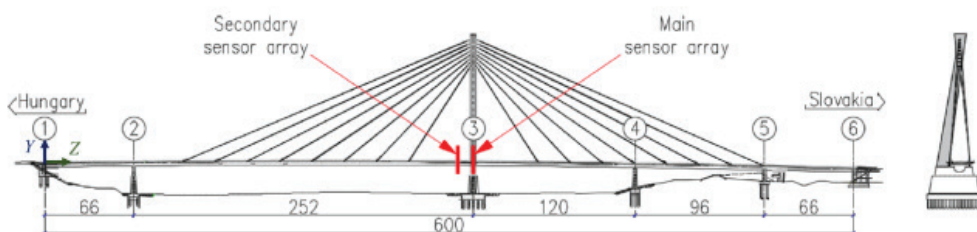
4. 1. 1. Monostori Duna-híd BWIM (Bridge Weigh-In-Motion) rendszer

A járműforgalom az egyik legfontosabb igénybevétel a hidak életciklusa során. Az áthaladó járművek, különösen a nehéz tehergépjárművek tengelyterhelésének és összterhelésének ismeretében a modellek előre jelzik a várható fáradási károkat. Az áthaladó járművek ilyen paramétereit mérő rendszereket Bridge Weigh-In-Motion (BWIM) rendszereknek nevezik. A kísérlet célja egy olyan BWIM rendszer megvalósítása, amely alkalmazható a forgalomáramlás megfigyelésére a komáromi Monostori hídon. A bemeneti adatokat a hídpálya alatt elhelyezett nyúlásmérők szolgáltatják. Mivel a szenzorok így könnyen hozzáférhetők, a rendszer könnyen telepíthető az útbur-

még mindig vizsgálják a kutatók. Ezeknek az adatvezérelt BWIM-rendszereknek két feladatot kell teljesíteniük: az első a hídon áthaladó járművek tengelyeinek észlelése, a második a tengelysúlyok becslése.

A BWIM rendszer bemenő adatait szolgáltató egytengelyű nyúlásmérők a pilon közelében az ortotróp lemezen, a trapéz alakú hosszirányú merevítők alján helyezik el a keresztgerendák középvonalában, két keresztmetszetben, egymástól 6000 mm távolságban (5. ábra). Az egy keresztmetszetben elhelyezett érzékelőket szenzorcsoporthoz nevezzük. Két szenzorcsoporthoz van a hídon, ú.m. a fő- és a másodlagos érzékelőcsoporthoz. Tíz (T201-T205 és T212-T216), illetve tizenhat nyúlásmérő (T1-T16) van a másodlagos és a fő szenzorcsoporthoz. A távolságuk 310,5 m, illetve 316,5 m az 1. támasztól. A másodlagos érzékelők csak a jármű sebességének meghatározására szolgálnak. Az érzékelők 100 Hz-es mintavételi frekvenciával szolgáltatnak adatokat. A nyúlásmérők jeleit numerikus módszerekkel lehet szimulálni, ha a tengelyek súlya, a jármű sebessége, a gumiabroncsok helyzete és a gumiabroncsok érintkezési felülete adottak.

A Monostori hídon telepített komplex BWIM rendszer mellett országosan több hídon is működik hídmonitoring, amelyekből szintén lehet valós idejű mérési adatokkal digitális ikreket létrehozni.



5. ábra: A Monostori híd metszete a szenzorok helyével (Forrás: Szinyéri, et al., 2023)

kolat megbontása és a forgalom zavarása nélkül, így a rendszer széles körben alkalmazható. A rendszer telepítésének és karbantartásának költségei a tartósság és a hordozhatóság miatt gyakran alacsonyabbak. Ezeket a rendszereket NOR-rendszereknek (Nothing-On-Road) is nevezik. A NOR-rendszerek azonban nem olyan pontosak, mint az invazív rendszerek. Ezért a híderzékelők adatainak feldolgozását

4. 1. 2. Central system projekt

A Central System / Központi rendszer az automatizált járművek tesztelésének és működésének támogatásához (2020-1.2.3-EU-REKA-2021-00001) projekt célja egy olyan központi rendszeren alapuló közlekedési ökoszisztéma kidolgozása, amely a legkorszerűbb state-of-the-art technológiákat integrálva az

infrastruktúrába kihelyezett szenzorok nyers és magasabb szintű adatait felhasználva támogatja az autonóm járművek tesztelését és üzemeltetését, különös tekintettel a környezetérzékelésre és a járművek központi irányítására (Tihanyi, et al. 2021/2).

A központi rendszer kezdetekben a hálózatba kapcsolt automatizált járművekkel szoros összefüggésben különféle tesztek és funkciók érvényesítésének támogatására használható, hosszú távú vízióként – a rendszer további fejlesztésével – a közlekedés üzemeltetésének és irányításának felhő alapú támogatását is képes lehet majd ellátni. Ezzel szoros összefüggésben ugyancsak a projekt egyik kiemelt célkitűzése a különféle típusú szenzorokból (kamera, radar, LiDAR) álló 5G lefedettséggel rendelkező infrastruktúra kiépítése az M1-M7 autópálya közös szakaszán, az Eger út és a TESCO csomópont között, amely a kidolgozandó központi felhő alapú környezetérzékelő rendszer segítségével különféle – a magasan automatizált járművekhez szorosan kapcsolódó – tesztek, illetve validációs kísérletek elvégzésére ad lehetőséget.



6. ábra: Szenzorsziget az M1-M7 közös szakaszán
(forrás: Magyar Közút)

Az 1,2 km hosszú szakaszon jelenleg három portálon már működnek (6. ábra), és 2026 tavaszáig még további 2 helyszínen kihelyezésre kerülnek a szenzorszigetek az alábbiak szerint:

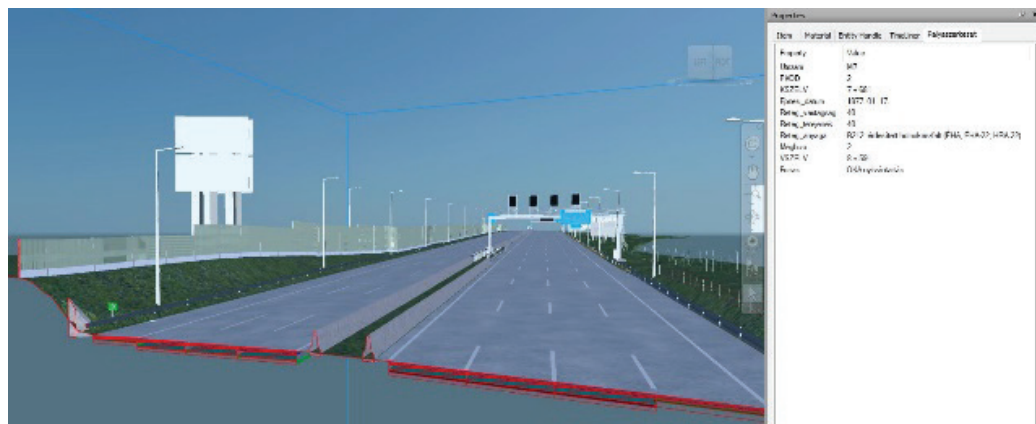
- 2 keskeny látószögű (~30°) kamera (irányonként 1 db),
- 2 nagy látószögű (~60°) kamera (irányonként 1 db),
- 1 halszem-optikás kamera,
- 2 hőkamera (irányonként 1 db),
- 2 kis hatótávolságú LiDAR (irányonként 1 darab),
- 2 nagy hatótávolságú LiDAR (irányonként 1 db),
- 2 radar (irányonként 1 db).

Az autonóm járművek megbízható üzemeltetéséhez és irányításhoz nélkülözhetetlen a jármű környezetéről alkotott modell megléte, amelyet napjaink magasan automatizált járműveiben a jármű környezetérzékelő rendszere generál, amelyhez a saját szenzorain túlmenően egyéb külső forrásból érkező adatot is felhasznál. A projekt keretében elkészült felhő alapú rendszer elsődleges funkciója az automatizált járműveket támogató globális (statikus és dinamikus objektumokat is tartalmazó) környezeti modell valós idejű előállítása. A felhőben valós időben folyamatosan aktualizált környezeti modellt a járművek és az infrastruktúrába ki-

helyezett szenzorok által szolgáltatott nyers vagy magasabb szintű adatok fűzőjával állítja elő, a valóságot jól reprezentáló digitális iker formájában. A megvalósult rendszer jellemzői:

- jármű és infrastruktúra szenzoradatok valós idejű fűzőja,
- adatok rögzítése,
- nemzetközi szabványok alkalmazása,
- járművek valós idejű környezeti modellel való támogatása,
- infrastruktúra elemek és járművek központi irányításának lehetősége,
- autonóm járművek tesztelési eljárásainak támogatása,
- skálázható architektúra.

A digitális iker számára a statikus objektumok felmérése korábban megtörtént lézerszkenneléssel, a pontfelhő felhasználásával pedig BIM állomány is készült az OKA-ból átvett attribútum adatok feltöltésével (7. ábra).



7. ábra: M1-M7 közös szakasz BIM állomány (forrás: Bimfra Kft.)

5. ÖSSZEGZÉS

A digitális közútkezelés alapja a részletes, és naprakész infrastruktúra adatbázis. A GIS rendszerek szinte minden iparágban használják, mert helyadatok segítségével lehetővé teszik különböző információk összekapcsolását, ezzel segítve megérteni a földrajzi összefüggéseket. Az infrastruktúra-üzemeltetésben is elég elterjedten használják ezt a technológiát a hálózatok jelentős földrajzi kiterjedése miatt. A BIM inkább a kisebb léptékű építmények, esetleg városi területek esetében használatos. Ha ötvözzük a két technológiát, felhasználva a BIM részletes geometriai és attribútumadatait és a GIS térbeli elemzési képességeit, akkor sokkal átfogóbb képet tudunk alkotni a világról. Ebből elsősorban ott lehet profitálni, ahol heterogén a kezelt létesítmények állománya, mint például az infrastruktúra üzemeltetésben és az okos városok esetében. A két egymást kiegészítő technológia együttes alkalmazása elég gyakori kutatási terület. Számítalan friss publikáció született az elmúlt néhány évben a témában, és a szabványok közötti átjárhatóságot illetően is történtek már előrelépések, de azért még messze nem triviális folyamat a BIM-GIS integráció. Hasonló integráció van előkészítés alatt a Magyar Közútnál, ahol folyamatban van az Országos Közúti Adatbank szoftverének kiváltása KIA néven.

A Geo-Digital Twin (Geo-DT) koncepció pedig további jelentős előrelépést jelent a BIM modellek és a GIS adatok integrációjában, és egyedülálló lehetőséget kínál az infrastruktúra és az épített környezet intelligens és dinamikus

szabályozására, megalapozva ezzel a digitális közútkezelést. A Geo-Digital Twin olyan digitális egység, amely a térinformatikai adatok, a BIM-modellekből származó információk és az IoT-eszközökből származó valós idejű adatok integrálásával képes leképezni egy fizikai környezetet vagy infrastruktúrát. Ez lehetővé teszi a valós idejű szimulációt, az elemzést és az irányítást.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Castonguay, N., Valinejadshoubi, M., Corneau-Gauvin, C., Valdivieso, F., Le Guen, A. (2024) Maximizing the Project Efficiency Through Comprehensive BIM Coordination and GIS Integration. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 13(9) <https://doi.org/10.17577/IJERTV13IS090046>
- [2] CEDR (2024) Dublin Declaration. <https://cedr.eu/news-data/4039/CEDR-Dublin-Declaration-signed> (2025.08.01.)
- [3] Droids Project (2023) Work Packages. <https://www.droids-project.eu/work-packages> (2025.08.01.)
- [4] Forrainé, H. V. (2004). Az Országos Közúti Adatbank (OKA2000) bemutatása. Közúti és mélyépítési szemle, 54/7
- [5] Fuller, A., Fan, Z., Day, C., Barlow, C. (2020) Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. IEEE Access, 8, 108952-108971, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358>

- [6] Gilbert, T., Rönsdorf, C., Plume, J., Simons, S., Nisbet, N., Gruler, H.-C., Kolbe, T. H., van Berlo, L., Mercer, A. (2020) Built Environment Data Standards and Their Integration: An Analysis of IFC, CityGML and LandInfra. Version 1.0, 02 March 2020.
- [7] Krischler, J., Schuler, P.-C., Taraben, J., Koch, C. (2024). Using ICDD for BIM and GIS Integration in Infrastructure. LDAC2024: 12th Linked Data in Architecture and Construction Workshop, Bochum, 2024. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-824/paper9.pdf> (2025.08.01.)
- [8] Magyar Közút (2023) 22-EU-TG-X4ITS – X4ITS (Cross for ITS) – nemzetközi ITS projekt. URL: <https://internet.kozut.hu/intelligens-kozlekedesi-rendszerek/x4its/> (2025.08.01.)
- [9] Mashaly, M. (2021) Connecting the Twins: A Review on Digital Twin Technology & its Networking Requirements, Procedia Computer Science, 184, pp. 299-305. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.039>
- [10] Piras, G., Muzi, F., Zylka, C. (2024). Integration of BIM and GIS for the Digitization of the Built Environment. Applied Sciences, 14(23), 11171. <https://doi.org/10.3390/app142311171>
- [11] Sepasgozar, S.M.E. (2021) Differentiating Digital Twin from Digital Shadow: Elucidating a Paradigm Shift to Expedite a Smart, Sustainable Built Environment. Buildings 11(4), 151. <https://doi.org/10.3390/buildings11040151>
- [12] Šamanović, S., Oršulić, O., B., Cetl, V. (2024) Challenges and Opportunities for BIM-GIS Integration – BIRGIT Case Study. Tehnički glasnik, 18 (si1), pp. 75-83. <https://doi.org/10.31803/tg-20240910124250>
- [13] Szinyéri, B., Kóvári, B., Völgyi, I. Kolár, D., Joó A. L. (2023) A strain gauge-based Bridge Weigh-In-Motion system using deep learning. Engineering Structures, 277, 115472. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115472>
- [14] Tihanyi, V., Tettamanti, T., Csonthó, M., Eichberger, A., Ficzer, D., Gangel, K., Hörmann, B., Klaffenböck, M. A., Knauder, C., Luley, P., Magosi, Z. F., Magyar, G., Németh, H., Reckenzaun, J., Remeli, V., Rövid, A., Ruether, M., Solmaz, S., Somogyi, Z., Soós, G., Szántay, D., Tomaschek, T. A., Varga, P., Vincze, Zs., Wellershaus, C., Szalay, Zs. (2021/1) Motorway Measurement Campaign to Support R&D Activities in the Field of Automated Driving Technologies. Sensors, 21(6), 2169. <https://doi.org/10.3390/s21062169>
- [15] Tihanyi, V., Rövid, A., Remeli, V., Vincze, Zs., Csonthó, M., Pethő, Zs., Szalai, M., Varga, B., Khalil, A., Szalay, Zs. (2021/2) Towards Cooperative Perception Services for ITS: Digital Twin in the Automotive Edge Cloud. Energies, 14(18), 5930. <https://doi.org/10.3390/en14185930>
- [16] Tomaschek, T. A., Tihanyi, V. (2022). An Overview of Test Infrastructure Investments on Open Roads to Test Connected and Automated Vehicles. Perner's Contacts, 17(2). DOI: <https://doi.org/10.46585/pc.2022.2.2364>
- [17] Tóth, R. P., Bíró, T. (2024) Magyarországi C-ITS megoldások a biztonságos közlekedésért, SZIE Közlekedési Tanszék & KTE & KTI II. Közlekedésbiztonsági Konferencia/II. Transport Safety Conference, Győr, 2024. URL: <https://tsc.sze.hu/download-manager/download/nohtml/1/id/48648> (2025.08.01.)
- [18] Wan Nor Fa'izah Wan Abdul Basir, Uz-nir, U., Zulkepli, M. (2023) Adaptation 4D and 5D BIM for BIM/GIS data integration in construction project management. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 1274 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1274/1/012002>
- [19] Wippelhauser, A., Tomaschek, T. A., Verdes, M., Bokor, L. (2023) Real-Life Traffic Data Based ITS-G5 Channel Load Simulations of a Major Hungarian C-ITS Deployment Site. Applied Sciences, 13(14), 8419. <https://doi.org/10.3390/app13148419>
- [20] Zhu, J., Chong, H.-Y., Zhao, H., Wu, J., Tan, Y., Xu, H. (2022). The Application of Graph in BIM/GIS Integration. Buildings, 12(12), 2162. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12122162>



Current Issues in Digital Road Management – Digital Twin Applications in Road Transport

*Keywords: Digitalization; Road
management; Digital twin; Intelligent
Transportation System; Building
Information Modelling*

Transportation systems all around the world are undergoing a transformation process whose scale and depth cannot be compared to previous industrial and technological changes. This transition is driven by three parallel global megatrends: digitalization, automation, and urbanization. In transportation systems, digitalization primarily means a radical transformation in the generation, sharing, and use of data. Sensors, IoT devices, in-vehicle systems, smart infrastructure components, and user devices provide access to previously unimaginable amounts and levels of detail of data in real time. This article seeks to answer the question of how this data could be used in the future.

