



GEODÉZIA és KARTOGRÁFIA

2026 / 2
LXXVIII. ÉVFOLYAM



GNSSnet.hu koordináták újraszámítása

Vonalas létesítmények életciklus-menedzsmentje GIS és BIM alapokon

Földhasználat változásának vizsgálata Kenyában

Térinformatikai módszerek a budapesti forgalomirányításban

Rendezvények

Nekrológ

Könyvismertetés



MI IRÁNYELVEK

a **Geodézia és Kartográfia**
folyóiratba leadott cikkek esetében

ENGEDÉLYEZETT MI HASZNÁLAT

- Nyelvtan vagy stílus ellenőrzése ✓
- Képek javítása a tartalom megváltoztatása nélkül ✓
- Kutatás fókuszaként való használat ✓
- Mindig meg kell adni az alkalmazás nevét és verzióját ✓
- A promptokat listászerűen fel kell tüntetni a cikk függelékében ✓



NEM TÁMOGATOTT MI HASZNÁLATT

- ✗ A szakirodalmi elemzés vagy más részek megírására
- ✗ Adatok gyártására vagy elemzésére
- ✗ Vizualizációk (e.g. táblázatok, képek, ábrák) készítésére
- ✗ Az alkalmazás vagy a promptok feltüntetése nélküli használat



További kérdések esetén keresse a szerkesztőbizottságot.

AI POLICY

for the papers submitted towards
Geodesy and Cartography

PERMITTED AI USAGE

- To check the grammar or style ✓
- To enhance images without changing the content ✓
- To utilize it as a focus of research ✓
- Always provide the name and version of the tool ✓
- Prompts should be included as an appendix of your paper ✓



NOT SUPPORTED AI USAGE

- ✗ Writing the literature review or any further sections
- ✗ Creating or analysing data
- ✗ Creating visuals (e.g. tables, images, charts)
- ✗ Not providing the application or the prompts



With further enquiries please reach out to the editorial board.

MAGYAR FÖLDMÉRÉSI,
TÉRKÉPÉSZETI ÉS TÁVÉRZÉKELÉSI
TÁRSASÁG/
HUNGARIAN SOCIETY OF SURVEYING,
MAPPING AND REMOTE SENSING



AZ ÁGRÁRMINISZTERIUM FÖLDÜGYI ÉS
TÉRIINFORMATIKAI FŐOSZTÁLY ÉS A MAGYAR
FÖLDMÉRÉSI, TÉRKÉPÉSZETI ÉS TÁVÉRZÉKELÉSI
TÁRSASÁG LAPJA/MONTHLY OF THE DEPARTMENT
OF LAND ADMINISTRATION IN THE MINISTRY OF
AGRICULTURE AND THE HUNGARIAN SOCIETY OF
SURVEYING, MAPPING AND REMOTE SENSING

SZERKESZTŐSÉG/EDITORIAL OFFICE:

1111 Budapest, Budafoki út 59.
E-mail: mfttt.titkarsag@gmail.com;
Web: https://www.mfttt.hu/

FŐSZERKESZTŐ/EDITOR-IN-CHIEF:

Dr. Földváry Lóránt

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG/EDITORIAL BOARD:

Böröcz Balázs, Dr. Bozsó István, Dr. Busics
György, Dr. Cserép Máté, Dr. Gercsák Gábor, Iván
Gyula, Dr. Jung András, Dr. Karátsón Dávid, Dr.
Kovács Péter, Dr. Kristóf Dániel, Dr. Lovas Tamás,
Dr. Molnár Gábor, Dr. Olasz Angéla, Dr. Szabó
Gergely, Szrogh Gabriella, Dr. Takács Bence, Dr.
Tarsoly Péter, Dr. Toronyi Bence, Dr. Tóth Gyula

SZERKESZTŐI TANÁCSADÓ TESTÜLET/ EDITORIAL ADVISORY BOARD:

Dr. Biró Péter, Dr. Rakonczai János, Dr. Rózsa
Szabolcs, Dr. Tóth Károly, Dr. Varga Péter, Dr.
Zentai László

OLVASÓSZERKESZTŐK/PROOF-READERS:

Ambrus Bence, Hegyesi Dóra

TECHNIKAI SZERKESZTŐ, TÖRDELŐ/ TECHNICAL-EDITOR: Pongrácz Dániel

KIADJA/PUBLISHER:

A Magyar Földmérési, Térképészeti és
Távérzékelési Társaság/ Hungarian Society of
Surveying, Mapping and Remote Sensing
HU ISSN 0016-7118; eng.szám/ registry no.:
B/SZI/280/1/1995

FELELŐS KIADÓ/RESPONSIBLE FOR PUBLISHING: Dobai Tibor

A kiadást a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi
Egyetem Általános- és Felsőgeodézia Tanszéke
támogatja/Supported by the Department of Geodesy
and Surveying of the Budapest University of
Technology and Economics

SOKSZOROSÍTJA/PRINTING:

HM Zrínyi Nonprofit Kft./MoD Zrínyi Nonprofit
Ltd.
Megjelenik: 1000 példányban/Printed in: 1000
copies

A folyóiratban megjelenő cikkek tartalma nem feltétlenül
tükrözi a szerkesztőség álláspontját. Három hónapnál
régebbi kéziratokat nem őrzünk meg és nem küldünk
vissza. / The content of the papers published in the sci-
entific review does not reflect necessarily the Editorial
Board's standpoint. After three months, papers will not be
kept, neither sent back.



Tartalom

TÓTH Sándor, KENYERES Ambrus : A GNSSnet.hu permanens állomáshálózat koordinátáinak újraszámítása ITRF2020 alapokon	» 4
NAGY Zoltán, SOMOGYI József Árpád : Vonalas létesítmények életciklus-menedzsmentje térinformatikai és BIM alapokon	» 13
Japheth OMINDE, Amani SANGA, Zsófia VARGA: Assessing Urban Growth, Land Consumption, and Natural Landscape Transformation in Kakamega Central Region, Kenya	» 21
FARKAS-NÉMETH Zoltán, TÖRÖK Zsolt Győző: Térinformatikai módszerek alkalmazása a budapesti forgalomirányítási rendszerben	» 31
Ki volt Bogdanich Imre Dániel és miért méltó az utókor tiszteletére?	» 37
60 év a GEODÉZIA (BGTV) szolgálatában	» 40
Rendezvények	» 41
Könyvismertetés	» 42
Nekrológok	» 44

Contents

Recomputing coordinates of the GNSSnet.hu permanent station network based on ITRF2020 (Sándor TÓTH, Ambrus KENYERES)	» 4
Life cycle management of linear infrastructure based on geoinformatics and BIM (Zoltán NAGY, József Árpád SOMOGYI)	» 13
Assessing Urban Growth, Land Consumption, and Natural Landscape Transformation in Kakamega Central Region, Kenya (Japheth OMINDE, Amani SANGA, Zsófia VARGA)	» 21
Application of GIS methods in the Budapest traffic management system (Zoltán FARKAS-NÉMETH, Zsolt Győző TÖRÖK)	» 31
Who was Imre Dániel Bogdanich, and why does he deserve the respect of future generations?	» 37
60 years at Geodézia Zrt. (BGTV)	» 40
Events	» 41
Book review	» 42
Obituaries	» 44

Címlapon: A Budapest Közút által fejlesztett, nagy pontosságú térinformatikai adatokra alapuló digitális infrastruktúra szemléltetése - KAPU (a képet a Budapest Közút Zrt. jóvá hagyásával használjuk). Kapcsolódó cikkünket lásd a 31. oldalon.

On the Cover Page: Visualization of the digital infrastructure developed by Budapest Közút, based on high-precision geospatial data - KAPU (the image is used in courtesy of the Budapest Közút Zrt. company). See the related article on page 31.

A GNSSnet.hu permanens állomáshálózat koordinátáinak újraszámítása ITRF2020 alapokon

TÓTH Sándor^{1, 2}, KENYERES Ambrus¹

¹Lechner Nonprofit Kft., Kozmikus Geodéziai Observatórium

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Általános- és Felsőgeodézia Tanszék

E-mail: ambrus.kenyeres@lechnerkozpont.hu

DOI: [10.30921/GK.78.2026.2.1](https://doi.org/10.30921/GK.78.2026.2.1)

Absztrakt

A Nemzetközi Földi Vonatkoztatási Rendszer (ITRS) legújabb ITRF2020 kerethálózati megoldása 2022 év végén került publikálásra. A meghatározásába bevont műholdas helymeghatározásból (GNSS) származó több évtizednyi adat újrafeldolgozási módszertana számos továbbfejlesztett modellen és finomított paraméterkészleten alapul. Ezek közül kiemelendő egyrészt az egyedi antennamodellek helyett a frissített típus antennamodellek használata, másrészt a több-műholdas rendszer (GPS, GLONASS, Galileo) mérési adatainak egységes feldolgozása. A kerethálózat mellett, ezen új feldolgozási alapelvek megjelentek a hazai GNSSnet.hu állomáshálózat rendszeres napi szintű, tudományos igényű koordináta meghatározásaiban is, illetve 2006-ig visszamenően megtörtént a hálózat majd két évtizednyi mérési anyagának újrafeldolgozása is. A napi hálózati megoldások normálegyenleteinek összegzése szolgáltatja a végleges, egy referencia epochára vonatkoztatott, kombinált állomáskoordináta és sebesség megoldást. A normálegyenletek ranghiányának feloldása és egyúttal az ITRF2020-hoz való illesztése, minden esetben a feltétlenül szükségesnél nem nagyobb számú kényszerfeltétellel történt. Az eredmények értékelésének részét képezte az EPN (European Permanent Network) legfrissebb hálózati megoldásával (C2370) való összevetés. A két megoldás között számított Helmert-transzformáció paraméterei közül az eltolások maximum 4.9 mm, míg az elforgatások maximum 0,212 milliszögmásodperc értékűek, amelyek a hálózatok elhelyezésének és tájékozásának összhangját támasztják alá. A transzformáció utáni koordináta maradék ellentmondások milliméter körüliek és szabályos hibától mentes térbeli mintázatot mutatnak. Valamennyi napi megoldás és a végleges kombinált eredmény közötti koordináta eltérésekből számítható súlyozott négyzetes közép (RMS) értékek vízszintesen 1-2 mm, míg magassági értelemben 3-5 mm előzetesen várt nagyságrendűek. Az ETRS89-ETRF2000 rendszerbe transzformált eredményekkel előbb 2025-ben, majd a kombinálást még egy évnnyi adattal kiegészítve második alkalommal 2026 februárjában frissültek az állomások koordinátái. A 2025 előtti koordináta megoldással összevetve az átlagos koordináta eltérések centiméteres nagyságrendűek, amely eltérések elsődlegesen az új, fejlesztett feldolgozási módszertan és így a pontosabb hálózati megvalósítás eredményei. A 2026-os frissítés átlagosan vízszintesen 1 mm, míg magassági értelemben 2 mm-es koordináta váltásokat eredményezett. Felhasználói szempontból a koordináta frissítések mértéke valós idejű helymeghatározásnál a gyakorlati pontossági követelményeken belül marad. A hálózatra támaszkodó, a 2025-ös koordináta váltás előtt megkezdett, hosszútávú, centiméter alatti pontosságú helymeghatározási feladatok esetén (pl.: utófeldolgozáson alapuló mozgás- és geodinamikai vizsgálatok) indokolt lehet a megkezdett feldolgozás felülvizsgálata.

Abstract

Published in 2022, ITRF2020 is the most recent realisation of the International Terrestrial Reference System (ITRS). The GNSS (Global Navigation Satellite System) contribution to ITRF2020 was derived from the International GNSS Service (IGS) reprocessing (Repro3) campaign, which introduced multi-GNSS processing, updated type mean antenna calibration models and other refined environmental modelling. These improved models and strategies are implemented in the daily processing of the Hungarian GNSSnet.hu station network. To fully exploit these improvements, the complete observation dataset of the network starting from 2006 to 2022 was also reprocessed using the ITRF2020/IGS Repro3 standards. The generated daily network solutions (from 2006 initially up to 2024 and subsequently up to 2026) were combined through normal equation stacking to derive a consistent long-term realization of station coordinates and velocities. The datum definition was established using a minimum-constraints approach based on selected reference stations and a no-net-translation condition with respect to ITRF2020. The resulting coordinate and velocity solution was validated against the latest European Permanent Network (EPN) combined solution (C2370). The estimated Helmert transformation parameters between the two solutions are statistically insignificant, indicating excellent agreement in network origin, orientation, scale, and station velocity realization. Residuals are typically at the millimetre level and show no systematic spatial patterns. The time series

of weighted root mean square (RMS) values derived from daily, and the combined solution exhibited the expected behaviour, with horizontal components remaining at the 1-2 mm level and the vertical component at 3-5 mm. The reprocessing results were introduced into operational service through station coordinate updates in ETRS89-ETRF2000 published in 2025 and 2026. While coordinate differences relative to the prior 2025 published values reached the centimetre level at some stations, these changes primarily reflect the adoption of the improved ITRF2020/Repro3 processing standards. From the perspective of the user, the magnitude of the coordinate updates remains within the practical accuracy requirements for real-time positioning. In the context of long-term position monitoring applications based on the network, users may pay close attention to the coordinate offsets caused by the updates.

1. Bevezetés, háttér

A modern térbeli geodéziai vonatkoztatási rendszereink alapját a műholdas technológiák jelentik. A több évtizedes múltta visszatekintő megoldás szerint az SLR (Satellite Laser Ranging), a VLBI (Very Long Baseline Interferometry), a GNSS (Global Satellite Navigation Systems) és a DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) technikák hosszútávú mérési sorozatainak integrálásával áll elő az ITRS (International Terrestrial Reference System) aktuális megvalósítása, azaz valamelyik ITRF kerethálózati megoldás (International Terrestrial Reference Frame) koordinátasora. Míg az SLR a keretrendszer kezdőpontjának és részben méretarányának, a VLBI elsősorban a méretarányának definiálását adja, addig a GNSS az IGS (International GNSS Service) hálózatán keresztül a többi műholdas technológiától lényegesen nagyobb pontsűrűség mellett az ITRF-y könnyű és általános elérését teszi lehetővé (yy a megoldásba bevont mérési adatok utolsó éve).

Az ITRS megvalósításait kezdetektől Zuheir Altamimi vezetésével a ITRS Központ végzi és az eredményeket az IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) teszi közzé. Az ITRS-nek eddig 13 megvalósítása került publikálásra az ITRF88-tól az ITRF2020-ig (1. táblázat). Gyakorlati szempontból egy kerethálózati megoldás egy olyan koordináta-jegyzéket jelent, amely a hálózatot alkotó állomások koordinátái mellett, azok lineáris mozgását leíró sebesség adatokat tartalmazza. Az ITRF2020 esetében első alkalommal, ez kiegészül a nemlineáris szezonális elmozdulások leírására szolgáló együtthatókkal, valamint földrengéssel érintett állomások esetén a posztseizmikus deformációs modell paramétereivel (Altamimi 2016, 2023a).

Az ITRF2020 esetében a koordináta-rendszer origójának pontossága (± 5 mm és 0.5 mm/év időbeli változás), valamint az SLR és VLBI rendszerek által meghatározott méretarányok 1-2 mm-es összehangja azt mutatja, hogy a számításokhoz és az adatfeldolgozáshoz használt modellek kidolgozottsága már olyan szintű, hogy az az új megvalósítás érvényességét hosszú időtávon biztosítani tudja (Altamimi et al. 2023a). Annak érdekében viszont, hogy a 2020-at követő időszak növekvő extrapolációs hibáját csökkentsék, továbbá, hogy az egyes referenciaállomások helyzetében később bekövetkező változásokat (például földrengések vagy műszereserék miatt) figyelembe vegyék, a megoldást 2023-at követően, új mérési anyaggal, nagyságrendileg évente frissítik. Ennek megfelelően eddig kettő újabb változat az ITRF2020-u2023 és az ITRF2020-u2024 került publikálásra. Mivel az origó helyzete és a hálózat tájékozása a frissített és az eredeti ITRF2020 között változatlan

(mind a hét Helmert-transzformációs paraméter zérus), ezért a frissítések nem tekinthetők önálló új ITRS megvalósításoknak.

Táblázat 1. Az ITRS eddigi kerethálózati megoldásai

ITRS kerethálózat	Érvényesség [GPS hét]	Bevezetés időpontja
ITRF88	0512 – 0586	1989.11.01
ITRF89	0587 – 0620	1991.04.01
ITRF90	0621 – 0664	1991.12.01
ITRF91	0665 – 0729	1992.10.01
ITRF92	0730 – 0781	1994.01.02
ITRF93	0782 – 0859	1995.01.01
ITRF94	0860 – 1064	1996.06.30
ITRF97	1065 – 1142	2000.06.04
ITRF2000	1143 – 1399	2001.12.02
ITRF2005	1400 – 1631	2006.11.05
ITRF2008	1632 – 1933	2011.04.17
ITRF2014	1934 – 2237	2017.01.29
ITRF2020	2238 – 2351	2022.11.27
ITRF2020-u2023	2352 – 2400	2025.02.02
ITRF2020-u2024	2401 –	2026.01.11

Bizonyos esetekben két egymást követő ITRF megoldás között a különböző műholdas technológiák modellezési lehetőségei és feldolgozási paraméterei olyan szinten finomodnak és változnak, hogy azok megkövetelik az elérhető teljes mérési anyag újrafeldolgozását (angolul Reprocessing vagy röviden Repro), ezzel javítva az adatok összhangját és minőségét. Más esetekben csupán a kerethálózati megoldások között keletkező új mérési anyag kiértékelése történik. A globális IGS hálózat teljes mérési anyagát harmadik alkalommal (Repro3), az ITRF2020 előkészítéseként dolgozták fel.

Az IGS Repro3 esetében a GNSS adatok elemzésének és a paraméterek becslésének folyamata számos újítást foglalt magában. Többek között ilyen a GPS, GLONASS és Galileo műholdrendszerek elérhető adatainak teljes körű feldolgozása, a típusközép (type mean) antenna modellek használata, vagy éppen az északi iránytól eltérően orientált antennák fáziscentrum korrekcióinak megfelelő elforgatása is. Emellett korszerűbb modellek kerültek alkalmazásra a troposzféra okozta késleltetések leképezésére (VMF3 - Vienna Mapping Function 3), illetve az óceánok és tengerek árapály okozta tömeg-átrendeződés rugalmas földkéregre gyakorolt hatásának leírására (Reibschung et al. 2024).

Az új korszerű modelleket és konvenciókat az európai EUREF Permanent Network (EPN) is átvette, és az ITRF2020 publikálásával egyidőben, a 2238. GPS héttől kezdődően előírta azok használatát az európai kontinensre koncentrált állomáshálózat esetében. Az EPN Analízis Központjai ezen egységes konvenciók és modellek alapján végzik a hálózat egyes részeinek rutin feldolgozását. Annak érdekében, hogy a feldolgozáshoz használt modellek és paraméterek változása ne eredményezzen mesterséges ugrásokat az állomások koordináta-idősoraiban, az EPN Repro3 keretében a teljes európai GNSS mérési archívumot is az ITRF2020-ra támaszkodva ismételtelen feldolgozták. A többéves munka, amelyben a Kozmikus Geodéziai Obszervatórium (KGO) is részt vett, 2025-ben zárult le (Völksen et al. 2026).

A KGO Analízis Központ az EPN hálózatarabja mellett a hazai GNSSnet.hu permanens állomáshálózat mérési adatainak napi rutin feldolgozását is végzi. Az EPN-nel összhangban a feldolgozás a 2238. GPS héttől az IGS által alkalmazott korszerű modellekre és konvenciókra épül. A feldolgozási stratégia fejlődéséből adódó lehetőségek kihasználása érdekében, a hazai adatok esetében is megtörtént egy teljes újrafeldolgozás (Repro3). Ennek során a napi mérési archívum a 1400. GPS héttől (2006 év vége) a 2237. GPS hétig (az ITRF2020 bevezetéséig) ismételtlen feldolgozásra került. Az eredményeket előbb a 2340. GPS hétig (2024 év vége), majd a 2399. GPS hétig (2026 év eleje) terjedő újabb feldolgozásokkal kiegészítve került sor a teljes, közel két évtizednyi mérési anyag végleges kiegyenlítésére. Az így meghatározott koordinátákkal előbb 2025, majd 2026 februárjában frissültek a jelenlegi aktív permanens állomások az RTK szolgáltatásban és a pontleírásokon.

Fontos hangsúlyozni, hogy az új koordináták bevezetése nem érinti a hazai geodéziai vonatkoztatási rendszerek definícióját. A változás csupán a korszerűbb modellekre és konvenciókra való átállást, valamint a – bővülő mérési adatoknak köszönhető – további pontosságjavulást tükrözi.

A cikk további részében a feldolgozott hálózatot, az alkalmazott feldolgozási módszertant, annak matematikai hátterét, a nemzetközi vonatkoztatási rendszerek hazai vonatkozásának témakörét, valamint az elért eredményeket ismertetjük.

2. A hálózat tulajdonságai

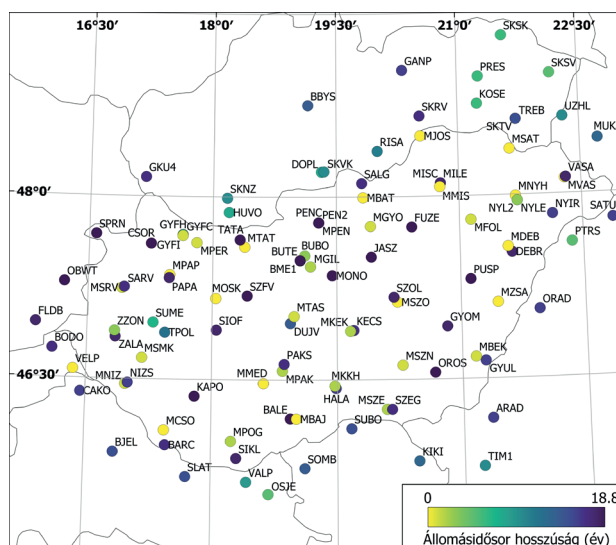
A hazai aktív GNSS hálózat kiépülése PENC állomás beüzemelésével 1996 márciusában kezdődött. A folyamat egy nagyobb időugrással 2000-2001-ben BUTE (Budapest) és OROS (Orosháza), egy évvel később NYIR (Nyírbátor), majd 2003-ban SZFV (Székesfehérvár) állomás elindításával folytatódott. A geodéziai infrastruktúra a követő két évben további nyolc állomással egészült ki, majd 2006-tól kezdődően jelentősebb léptékű bővüléssel érte el végleges formáját, megteremtve a GNSSnet.hu permanens állomáshálózatot. Éppen ezért a 2006-os esztendő, az első jelentősebb állomásszámot magában foglaló év, képezi a hazai újrafeldolgozás kezdődátumát.

A GNSSnet.hu állomások mellett az újrafeldolgozásba több külföldi, köztük IGS permanens állomás megfigyelései is bevonásra kerültek annak érdekében, hogy javuljon a hálózat geometriai stabilitása és biztosított legyen a ITRF2020 keretekhez való megfelelő kapcsolódás. Köszönhetően az alkalmazott feldolgozási eljárásnak – a hagyományos geodéziai gyakorlattól eltérően – könnyedén kialakíthatóak akár több ezer km hosszú bázisvonalak is. Éppen ezért a hálózatnak része minden környező IGS állomás, amelyek geofizikai stabilitása biztosított (1. ábra).

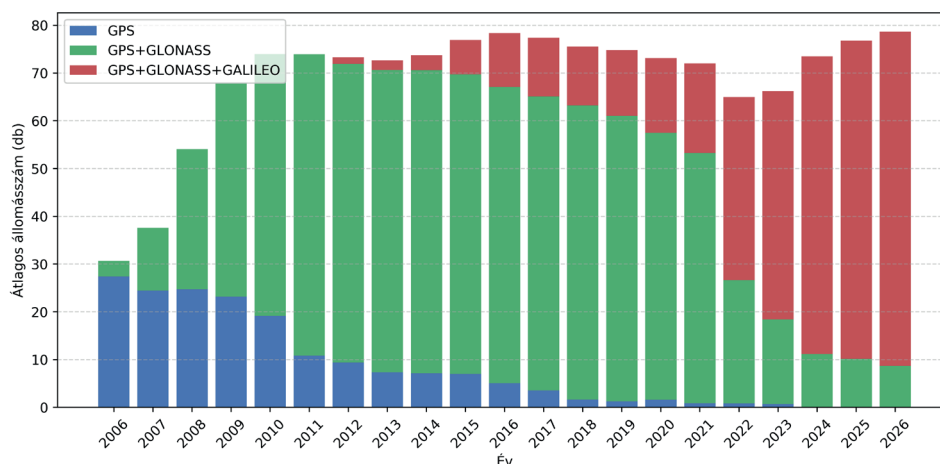


1. ábra A feldolgozott állomáshálózat pontjai pirossal. A kék karikák az IGS állomások helyét jelölik, melyek közül 13 db része a feldolgozásnak

A majd két évtizednyi intervallumot lefedő feldolgozásban összességében 126 darab állomás vett részt. Ezen állomások közül 13 az IGS-, míg átfedéssel 25 darab az EPN hálózatnak is a része. A hazai és környező országok állomásainak észlelési időtartalmát a 2. ábra mutatja be, ahol a pontjelölések színárnyalatai a mérési adatok hosszára vonatkoznak.



2. ábra A feldolgozásba bevont hazai és környező országokbeli állomások észlelési idősorának hosszúsága



3. ábra A feldolgozás átlagos állomásszáma és a műholdas rendszerek észlelési arányának alakulása

A hosszabb időszorral rendelkező, folyamatosan üzemelő állomások kulcsszerepet játszanak a trendszerű elmozdulásokat leíró sebességek megbízható becslésében és a referenciarendszer stabil megvalósításában. Ezzel szemben a rövidebb idősorú állomások egyelőre a hálózat geometriai megerősítéséhez és sűrítéséhez járulnak hozzá.

A feldolgozásba bevont állomások átlagos számának és a különböző műholdas rendszerek (GPS, GLONASS, Galileo) észlelési arányának évenkénti alakulását a 3. ábra szemlélteti. Ezen megfigyelhető, hogy a hálózat mérete az idő előrehaladtával 2010-ig fokozatosan növekedett, majd ezt követően átlag 70 darab körül váltakozott.

A több műholdrendszeres megfigyelések arányának változása szintén jól követhető. Míg a korai időszakban a feldolgozás túlnyomórészt GPS megfigyelésekre támaszkodott, később fokozatosan megjelentek a GLONASS, majd a Galileo rendszerekből származó mérések is. A több GNSS rendszer használatának előnye, hogy növeli a feldolgozható észlelések számát, javítja a műholdgeometriát, így végső soron a megbízhatóságot. Ugyanakkor ez az adatvolumen jelentős növekedésével is együtt jár, amely a feldolgozás számítási igényét jelentősen növeli.

3. GNSS feldolgozás

A napi GNSS hálózati feldolgozás alapvető bemenő adatai a műholdak és az állomásokon elhelyezett vevők között végzett kód- és fázismérések, valamint a műholdak precíz pályaadatokai és a földforgási paraméterek (2. táblázat). Ezekből a megfigyelésekből kerülnek becslésre a feldolgozás ismeretlen paraméterei, többek között az állomások koordinátái, a ciklustöbbsértelműségek, a troposzférikus késleltetés paraméterei, valamint a vevő- és műholdórák javításai.

Az adatok feldolgozása a mérési állományok minőségellenőrzésével kezdődik. Ennek során történik meg a hibás vagy hiányos megfigyelések detektálása, valamint egy kód mérésen alapuló előzetes abszolút helymeghatározás, amely elsősorban a durvahibák szűrését szolgálja. Ezt követően kerül

sor az állomáspárok kiválasztására és a bázisvonal hálózat kialakítására. A differenciális feldolgozás során a megfigyelésekből először egyszeres, majd kétszeres különbségek képződnek, amelyek lehetővé teszik a mérési hibák további szűrését, valamint a műhold- és vevő órahibák kiküszöbölését. A kétszeres különbségekből előbb egy előzetes hálózati megoldás készül, majd a fázismérések ciklustöbbsértelműségeinek feloldását követően kerül sor a végleges hálózati kiegyenlítésre és az ismeretlen paraméterek meghatározására.

Táblázat 2. A napi feldolgozás paramétereinek főbb jellemzői

Paraméter	Leírás
Bemenő mérési adatok	kód- és fázistávolságok
Formátum	24 órás RINEX 2 és RINEX 3
Műholdas rendszerek	GPS, GLONASS, GALILEO
Kitakarási szög	3°
Mintavételezési intervallum	30 s
Közvetett/levezt mérési eredmények	Egyszeres-, kétszeres különbségek, L5, L3, L6 lineáris kombinációk
Állomás- és műhold antenna fáziscentrum (PCO, PCV) modell	Abszolút antenna fáziscentrum modell (igs20.atx), az állomások esetében a radome típus figyelembevételével.
Troposzféra	A feldolgozás során állomásonként órás felbontású zenit irányú troposzféra késleltetés (ZTD) kerül becslésre, VMF3 leképezési függvényrel.
Ionoszféra	A ciklustöbbsértelműség feloldásához CODE (Center for Orbit Determination in Europe) ION modell.
Óceáni tömegterhelés hatása	FES2014b modell
Atmoszférikus árapály	Nem alkalmazzuk
Földkéreg árapály	IERS 2010 Egyezmény szerint
Műholdpálya- és óra adatok	Végleges (final) CODE adatok
Földforgási paraméterek	A pályával konzisztens CODE adat
Geopotenciál modell	EGM2008
Vonatkoztatási kerethálózat	ITRS-ITRF2020
Szoftver	Bernese 5.4

4. Paraméter becslés

A GNSS megfigyelésekből felírt legkisebb négyzetes kiegyenlítési feladat normál egyenletrendszere általánosan az 1. egyenlet alakjában írható fel.

$$N(x_i - x_0) = n \quad (1)$$

Az egyenletben $N = A^T P A$ ($m \times m$) a normálmátrix, x_i ($m \times 1$) az i -edik napi feldolgozás ismeretlen paramétereinek (elsősorban a napi állomáskoordinátáknak) a vektora, x_0 ($m \times 1$) azok előzetes értékei, míg $n = A^T P l$ ($m \times 1$) a megfigyelésekből származtatott tag. Az A alakmátrix a közvetítő egyenletek ismeretlen paraméterekre vonatkoztatott parciális deriváltjait (Taylor-sor elsőrendű tagjait) tartalmazza, míg az l tisztatag vektor a mérési eredmények és azok matematikai modellből számított értékeinek (Taylor-sor konstans tagjai) különbségét tartalmazza, P ($n \times n$) pedig a súlymátrix.

Mivel a GNSS technika önmagában csak relatív geometriát határoz meg, a rendszer ranghiányos, vagyis N rangja kisebb a meghatározandó paraméterek m számánál (Sillard–Boucher 2001). Geometriai értelemben ez azt jelenti, hogy a hálózat abszolút helyzete a mérési eredményekből közvetlenül legfeljebb csak a műholdpályák pár centiméteres pontosságával határozható meg. Ennek következtében a megoldás egy szabad hálózatként értelmezhető, amely csak a pontok egymáshoz viszonyított helyzetét határozza meg.

A ranghiány feloldása bármely állomás előzetes koordinátáinak megköltése helyett, a hazai kiegyenlítési irodalomból ismert IV. kiegyenlítési csoport alapján, a feltétlenül szükségesnél nem nagyobb számú kényszerfeltétellel (angolul minimum constraints) történik. Ennek lényege, hogy r darab kiválasztott állomás esetében a hálózati megoldásból kapott $\hat{X}$ ($3r \times 1$) és az ITRF2020 megvalósításból ismert X ($3r \times 1$) koordináták közötti Helmert-transzformáció bizonyos (eltolás, forgatás vagy méretarány) paramétereit zérus (vagy súlyok felvételével ahhoz közeli) értéként megköltjük (Kotsakis 2013, 2018). Megjegyzendő, hogy $X = X(t) + \dot{X}(t - t_0)$, azaz az állomások ismert $\dot{X}$ sebességével a t_0 központi epocháról, a feldolgozás t epochájára számított koordináta értékeket jelent. A két koordinátahalmaz közötti kapcsolatot kis forgatási szögek feltételezése mellett lineáris alakban a 2. egyenlet írja le.

$$\hat{X} = X + B\xi \quad (2)$$

Az egyenletben ξ (7×1) a transzformáció paramétereinek a vektora, míg B ($3r \times 7$) a kiválasztott állomásonként egymás alá rendezett Helmert-transzformáció egyenleteinek a Jacobi-mátrixa. Az egyenletnek az ismeretlen paraméterek szerinti megoldása a 3. egyenlet szerint történik.

$$\xi = (B^T B)^{-1} B^T (\hat{X} - X) \quad (3)$$

Amennyiben azt szeretnénk, hogy a kiválasztott állomások esetében valamennyi transzformációs paraméter zérus legyen, akkor bevezetve a $H = (B^T B)^{-1} B^T$ ($7 \times 3r$) jelölést a következő kényszerfeltételt írhatjuk fel: $H(\hat{X} - X) = 0$. Mivel azonban a kiegyenlítés ismeretlen paraméter vektora x nemcsak az r darab

kiválasztott állomás koordinátáit tartalmazza, a H mátrixot a nem referenciaállomások koordinátáihoz tartozó oszlopokban nullákkal egészítjük ki. Így a teljes rendszerre ($m \times m$) vonatkozó kényszerfeltételi egyenlet $H(x_i - x_0) = 0$ alakú lesz.

Végezetül a normál egyenletrendszer a kényszerfeltételekkel kiegészítve a 4. egyenlet alakjában írható fel.

$$(N + H^T H)(x_i - x_0) = n \quad (4)$$

Az egyenletnek így már képezhető az inverze (teljes rang), miközben a meghatározott hálózat belső geometriája változatlan marad (Altamimi 2003).

Érdemes megjegyezni, hogy a bemutatott módszer alkalmazásakor nem szükséges minden Helmert-transzformációs paraméterre kényszer felírni. Jelen feldolgozásban csak a három eltolási paraméter került megköltésre, ami az ún. „no-net-translation” feltételt jelenti. Ez különösen regionális GNSS-hálózatok esetében indokolt, amikor a hálózat tájékozását és méretarányát a műholdpályák és a feldolgozás során használt modellek már megfelelően meghatározzák, míg a hálózat abszolút helyzete továbbra is bizonytalan (Dach et al. 2015).

5. Állomások koordináta- és sebesség értékeinek számítása

A napi megoldások pontos pillanatképet adnak a hálózat állapotáról, azonban a hosszútávú folyamatok jellemzéséhez ezen eredmények konzisztens összekapcsolása szükséges. Ehhez az elméleti háttér az a szekvenciális kiegyenlítés témaköréhez tartozó, számos szerző (Detrekői 1991, Koch 1999) által bizonyított tétel szolgáltatja, hogy egy nagy, egyszeri globális kiegyenlítés eredményével matematikailag mindenben azonos eredményhez vezet az egymástól független napi normálegyenletek összegzése (angol kifejezéssel stacking). Vagyis a majd két évtizednyi mérési anyag által definiált, egy időpontra vonatkoztatott állomás koordinátákhoz jutunk, ha a napi feldolgozásból kapott normálegyenleteket (4. egyenlet) megfelelően kombináljuk.

A módszer előnye, hogy a legkisebb négyzetes megoldásba új, az eredeti napi normál egyenletrendszerekben nem szereplő ismeretlen paraméterek is bevonhatunk. Ez különösen hasznos, ha időben konzisztens koordináta megoldáshoz szeretnénk jutni. Jól ismert ugyanis, hogy az állomások helyzete számos tényező miatt (pl.: lemez-, felszín- és sajátmozgás, tektonikai aktivitás, árapály hatások, stb) az időben nem állandó. Ennek az időbeli változásnak a matematikai kezelése, vagyis az X (3×1) állomás koordináták leírása egy tetszőleges t időpontban, legegyszerűbben egy lineáris modellel történhet (Rebischung 2014):

$$X(t) = X(t_0) + \dot{X}(t - t_0) \quad (5)$$

ahol $X(t_0)$ (3×1) egy referencia epochára (esetünkben $t_0 = 2025.5$) vonatkoztatott állomás pozíció, míg $\dot{X}$ (3×1) az állomás sebessége. Ez az alapösszefüggés alkalmazható a kombinált

kiegyenlítés feltételi egyenleteként. Ha a modellt az összes (k darab) állomásra kiterjesztjük, a következő mátrixos alakot kapjuk:

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{J}_i \mathbf{x} \quad (6)$$

Ebben az egyenletben $\mathbf{x}_i$ ($3k \times 1$) az i -edik napi megoldásban szereplő állomások koordináta vektora a t_i epochában, míg a meghatározandó $\mathbf{x} = [\mathbf{X}_1(t_0), \dot{\mathbf{X}}_1, \dots]^T$ ($6k \times 1$) paramétervektor az összes állomás t_0 -ra vonatkozó pozícióját és sebességét foglalja magában. A $\mathbf{J}_i = [\mathbf{I}, (t_i - t_0) \mathbf{I}]$ ($3k \times 6k$) mátrix közvetlenül az 5. egyenletből adódik, ahol $\mathbf{I}$ egy $3k \times 3k$ méretű blokk-diagonális egység mátrix.

Ezen összefüggés segítségével teremthető meg a kapcsolat a napi megoldások normálegyenletei (1. egyenlet) és a kombinálás ismeretlen paraméterei ($\mathbf{X}_i(t_0), \dot{\mathbf{X}}_i$) között. További levezetést nélkül az összegzett normálegyenlet rendszer:

$$\sum_i \mathbf{J}_i^T \mathbf{N}_i \mathbf{J}_i (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) = \sum_i \mathbf{J}_i^T \mathbf{n}_i \quad (7)$$

Látható, hogy a végleges megoldásnak valamennyi napi feldolgozási eredmény ($\mathbf{N}_i$ és $\mathbf{n}_i$) a részét képezi. Éppen ezért a számítás megkezdése előtt különös figyelmet igényel a koordináta idősorok kiugró értékeinek szűrése, ill. az állomás vevő- vagy antenna cseréje okozta koordináta ugrások kezelése. Ezek figyelembevételével az egyes állomások idősorai szakaszokra bonthatók, amelyek külön megoldási egységként, új ismeretlen paraméterként kerülnek be a kombinációs eljárásba, biztosítva ezzel a becsült paraméterek egységét és megbízhatóságát.

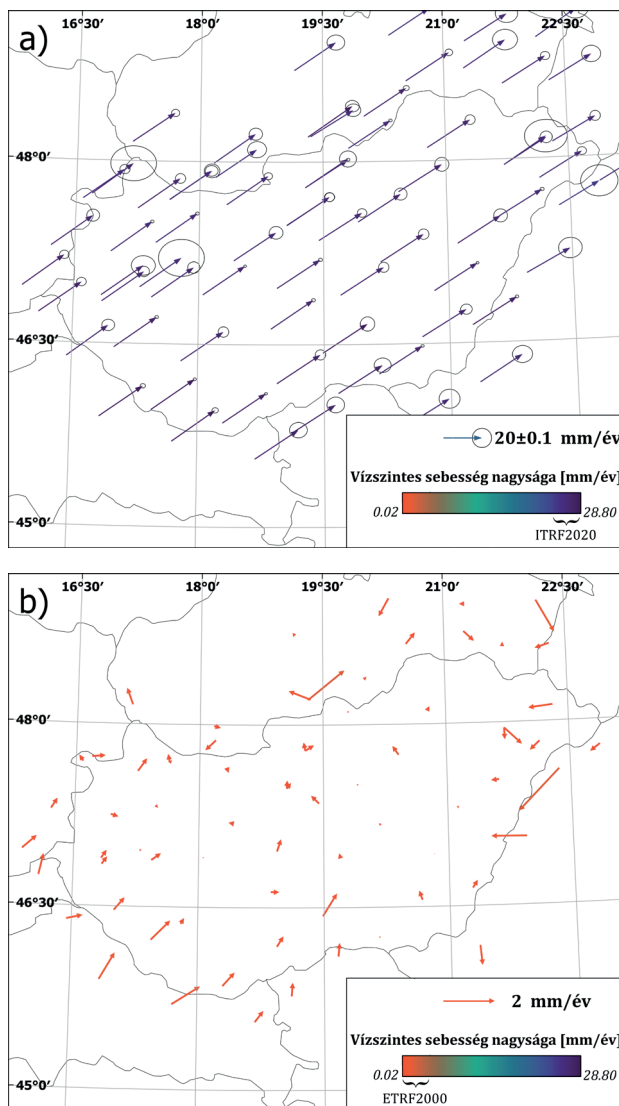
Végezetül megjegyzendő, hogy a napi hálózati feldolgozáshoz hasonlóan a kombinációs megoldás normál mátrixa is ranghiányos, vagyis a hálózat abszolút elhelyezése nem triviális. A ranghiány megszüntetése ebben az esetben is, kiválasztott IGS állomások segítségével, az állomások ITRF2020 megvalósításából ismert és a kombináció eredményeként kapott koordináták, valamint sebesség értékek közötti Helmert-paraméterekre felírt kényszerfeltételekkel történik. Ennek köszönhetően a végleges hálózati megoldás bármely állomás koordinátájának megkötése nélkül, a belső relatív geometria megőrzése mellett az ITRF2020 kerethálózatba illeszkedik.

6. Koordináták az európai és hazai geodéziai vonatkoztatási rendszerekben

Az ITRS definíciójából adódóan az ITRFyy-ben kifejezett koordináták a tektonikai kőzetlemezekkel együtt folyamatos mozgásban vannak (4. a. ábra). Az Eurázsiai (EURA) lemez esetében ez mintegy 2.6 cm/év elmozdulást jelent észak-keleti irányba. Bár ezt az elmozdulást a permanens állomások becsült sebességei leírják, a napi geodéziai gyakorlat számára szükséges relatív stabilitást ez a vonatkoztatási rendszer nem biztosítja. Szemléletes példa erre, egy ebben a rendszerben t_1 időpontban (epochában) felmért pont, amelyet pár évvel később t_2 időpontban ki szeretnénk tűzni. A két időpont között a felmért

fizikai pont, a lemezzel együtt több centiméterre elvándorol, így a korábbi t_1 koordináta kitűzése már az eredeti fizikai pont „hült helyére” fog vonatkozni.

A felvázolt gyakorlati nehézség orvoslása lemezekhez kötött vonatkoztatási rendszerek bevezetésével történik. Európában ilyen rendszer az ETRS89, amelynek alapja, hogy a lemezmozgás irányának és mértékének ismeretében az ITRS koordinátákat egy transzformáció keretében közös epochára ($t=1989.0$, innen a név) mozgatja, így létrehozva egy kvázi statikus rendszert. Kvázi, hiszen a lemezmozgáson túli esetleges sajátmozgásokat a transzformáció nem küszöböli ki (4. b. ábra).



4. ábra a) A kombináció eredményéből kapott, három évnél hosszabb idősorból levezetett vízszintes értelmű állomás sebességek ITRS-ITRF2020 rendszerben. b) ugyanez ETRS89-ETRF2000 rendszerben.

Valamennyi ITRFyy kerethálózati megoldáshoz definiálásra kerül egy párba állítható ETRFyy megoldás. A definiálás jelen esetben a két rendszer közötti transzformációs paramétereknek a meghatározását jelenti. Az idők során a transzformációs modell folyamatosan változott és fejlődött. A forgatási paraméterek, vagyis a lemezmozgás irányának és mértékének a becslése előbb

geofizikai modelleken, majd az állomások sebességein alapult (Altamimi et al. 2023b).

Jelenleg a geodéziai gyakorlatban legelterjedtebben használt változat az ETRF2000, amely a hazai rendszer referenciáját is jelenti. Ez a klasszikus megközelítésen alapuló kerethálózati megoldás az ETRS89 definíciós szándékával szemben valójában nem geocentrikus, mert a majd 40 évvel korábbi pontossági képességek miatt mintegy 11 cm-rel külpontos az ITRF2020 által szub-cm-es pontossággal reprezentált origótól.

Az ITRF2014 publikálásától kezdődően viszont már mind az ETRF2014, mind pedig az ETRF2020, az ITRFyy megoldás párukkal összhangban geocentrikusak. Emiatt az ETRF2000 és ETRF2014-2020 megoldásokban az állomáskoordináták ~11 cm-rel eltérőek. Utóbbiak kutatási, modellezési feladatokra alkalmasabbak, de a legtöbb európai országban továbbra is az ETRF2000-et, illetve elődjait alkalmazzák a földmérési és geodéziai gyakorlatban. Ennek oka elsősorban a kerethálózati váltás miatt jelentkező alkalmazói bizonytalanság elkerülése (pl.: jogszabályi változtatások, új felhasználói transzformációs megoldások elterjesztése, a majd deciméteres koordináta ugrások gyakorlati következményei). Emiatt a gyakorlat kitart a tudományos tekintetben már elavult, majd négy évtizedes technológiai pontosságot tükröző ETRF2000 mellett.

A hazai geodéziai rendszerekbe történő illesztés érdekében a normálegyenletek összegzésével kapott kombinációs megoldás ITRF2020 eredményeit (koordinátákat és sebességeket egyaránt) az ismert transzformációs paraméterekkel (Altamimi–Collilieux 2024) ETRF2000 rendszerbe transzformáltuk. Ezen koordináták képezik a GNSSnet.hu RTK szolgáltatásának frissített alapját. Végezetül a VITEL2014 transzformációs eljárással levezettük a pontokhoz tartozó EOV síkvetületi koordinátákat, valamint az EOMA tengerszint feletti magasságokat, amelyek a publikált pontleírások részét képezik.

7. Eredmények

A 1400-2399 GPS hét adataiból levezetett végleges megoldás ellenőrzésének első lépéseként, a meghatározott koordináta- és sebesség értékeket összevetettük az EPN állomáshálózat legfrissebb, 2026 év elején közzétett C2370 jelzésű kombinációs megoldásával (Bruyninx et al. 2019). A C2370 már a Repro3 adatain alapul, vagyis a feldolgozási stratégia és a referencia kerethálózat (ITRS-ITRF2020) a két megoldás között megegyezik. Az összevetés a 25 darab közös állomás segítségével számított Helmert-paraméterek meghatározásán, valamint pontonként a maradék ellentmondások vizsgálatán alapul. A közös epochán ($t=2020.0$) számított hét transzformációs paramétert, az állomás sebességekből meghatározható időbeli változásaikkal együtt a 3. táblázat tartalmazza.

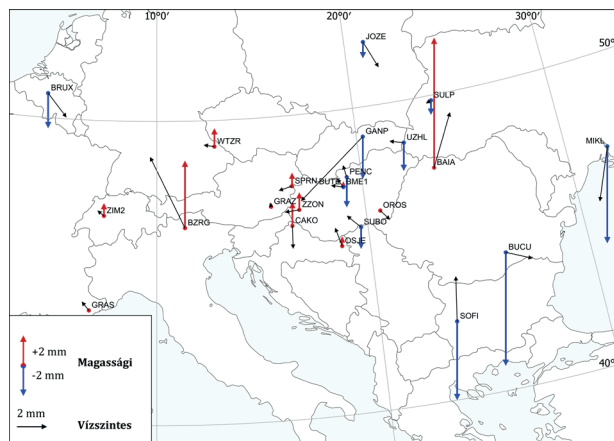
Az eltolás paraméterek (T_x , T_y és T_z) kis nagyságrendje arra utal, hogy nincs jelentős eltérés a két hálózati megoldás abszolút elhelyezése között. A millisögmásodperc (mas) mértékegységben megadott forgatási paraméterek (R_x , R_y és R_z)

Táblázat 3. A végleges hálózat és az EPN C2370 megoldás közös állomásai között számított 14 Helmert-transzformáció paraméter

Paraméter	Érték $\pm$ középhiba (1σ)	Paraméter időbeli változása	Érték $\pm$ középhiba (1σ)
T_x (mm)	-4.9 ± 38.4	dT_x (mm/év)	0.77 ± 3.77
T_y (mm)	1.5 ± 36.2	dT_y (mm/év)	0.04 ± 3.64
T_z (mm)	3.6 ± 35.9	dT_z (mm/év)	0.08 ± 3.54
m (ppb)	0.041 ± 1.478	dm (ppb/év)	-0.096 ± 0.144
R_x (mas)	0.057 ± 0.924	dR_x (mas/év)	0.003 ± 0.094
R_y (mas)	0.212 ± 1.662	dR_y (mas/év)	-0.016 ± 0.162
R_z (mas)	-0.002 ± 0.830	dR_z (mas/év)	0.007 ± 0.083

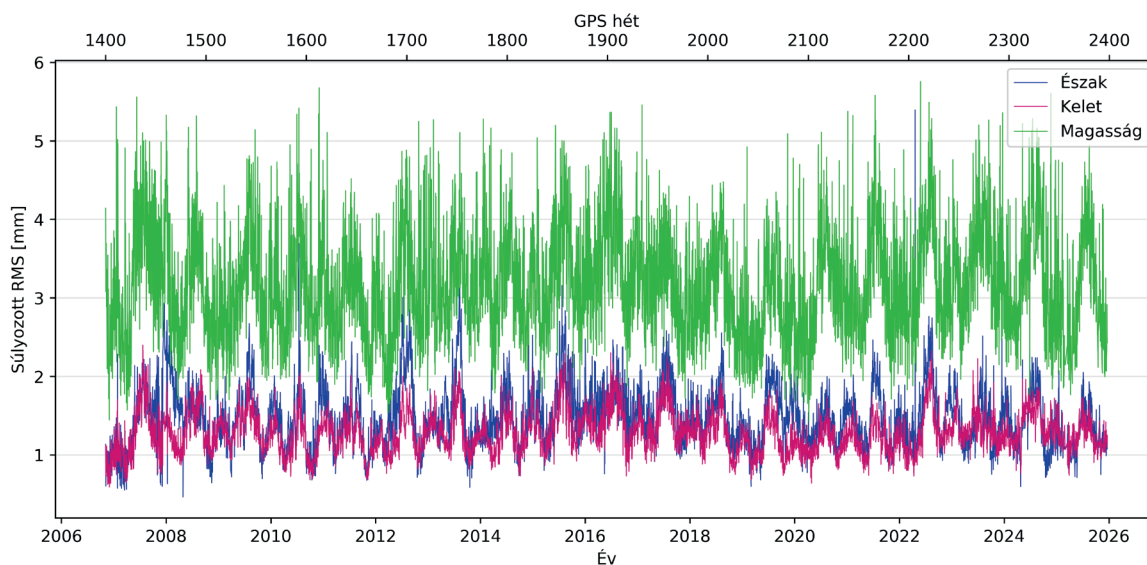
zérus közeliek, vagyis a levezetett hálózat tájékozása is az EPN-nel és azon keresztül az ITRF2020-al azonosnak tekinthető. Továbbá a méretaránytényező (m) is elhanyagolhatóan kis szám. A 0.041 ppb gyakorlati értelemben csupán 0.041 mm/1000 km méretarány eltérést jelent. A transzformációs paraméterek időbeli változásainak kis értékei pedig a két megoldás állomás-sebesség becsléseinek összhangját támasztják alá.

Megfigyelhető, hogy a becsült eltolási, forgatási és méretaránytényezők középhibái rendben nagyságrenddel nagyobbak maguknál a meghatározott értékeknél. Ez a jelenség megszokott a regionális kiterjedésű hálózatok között végzett transzformációs paraméterbecslés esetén. A közös állomások globálishoz viszonyított rosszabb térbeli eloszlása ugyanis nagy korrelációt eredményez a paraméterek között, amely végső soron gyengébb középhibákhoz vezet (Ampatzidis et al. 2022).



5. ábra A végleges hálózat és az EPN C2370 megoldás közös állomásai között számított transzformáció koordináta maradék ellentmondásai topocentrikus rendszerben (fekete vízszintes, piros/kék magassági komponens)

Érdeemesnek tartottuk továbbá megvizsgálni a transzformáció utáni maradék koordináta-hibák értékeit és azok térbeli eloszlását (5. ábra). A jellemzően milliméteres nagyságrendű, topocentrikus rendszerben értelmezett vízszintes értelmű eltérések (az 5. ábrán feketével jelzett vektorok) irányai véletlenszerűek, nem mutatnak szisztematikus térbeli mintáza-



6. ábra A napi megoldások kombinált eredményéhez viszonyított súlyozott RMS értékei

tot. A magassági komponens maradék hibái (az 5. ábra piros és kék vektorai) jellemzően nagyobbak, de csak néhány állomás esetén lépik túl a 10 mm-t. Emellett a véletlenszerű térbeli elrendezésük nem utal a hálózat elhelyezésének vagy tájékoztatójának szabályos hibájára. Megjegyzendő, hogy a hazai EPN állomások esetén a maradék ellentmondások jellemzően 2 mm alattiak.

Egy másik fontos minőségellenőrzési lehetőséget kínálnak a kombinált- és a napi megoldások közötti koordináta komponensek (észak, kelet, magasság) eltéréseiből számítható súlyozott négyzetes közép (RMS) értékek. Az adott napi megoldáshoz tartozó RMS számításánál a súlyozás az adott koordináta érték varianciájának reciprokával történt, így nagyobb súlyt rendelve a jobb megbízhatósággal levezetett állomás-pozíciók mellé. Az eredmény RMS értékek időszora a 6. ábrán látható. A vízszintes észak-déli (Észak), valamint kelet-nyugati (Kelet) komponensek RMS értékei átlagosan kisebbek a vertikálistól (Magasság). Előbbiek nagyságrendje 1-2 mm, míg utóbbié 3-5 mm körüli, amelyek jó összhangot mutatnak más hasonló feldolgozás eredményeivel (Kenyeres et al. 2019). A gyengébb magassági pontosság a GNSS technológia sajátja, amelynek elsődleges forrása a műholdgeometria, illetve a légköri hatások korlátozott modellezhetősége. Optimális elrendezés esetén szükség volna a horizont alatt lévő műholdak észleléseire is, amelyek értelemszerűen fizikai korlátok miatt nem elérhetőek.

Az RMS idősorokban szabályos trendszerűség nem látható. Ez arra enged következtetni, hogy az észlelési adatmennyiség és minőség, valamint a feldolgozási módszertan konzisztens koordináta megoldásokat eredményezett a majd 20 éves időtartamban. Az idősor periodikusságát a különböző évszakos hatások magyarázzák.

Végezetül az eredmények értékelésénél érdemes megvizsgálni, hogyan változtak a hazai állomások koordinátái a korábbi meghatározásukhoz viszonyítva. Ez hálózat-felhasználói szempontból különösen érdekes, hiszen a változások közvetlenül

jelentkeznek az állomásokra támaszkodva végzett valamennyi helymeghatározás esetén.

Ahogy az korábban említésre került, az állomások koordinátái mind a GNSSnet.hu szolgáltatásában, mind a pontleírásokon az utóbbi időszakban két alkalommal frissültek. Előbb a 2006-tól 2024 év végéig tartó időszak adataival történt feldolgozás eredményeivel 2025 februárjában, majd még egy évnnyi észlelési adattal kiegészítve 2026 februárjában.

Az évenkénti koordináta frissítéseket – amelyekre a felhasználók a következő években is számíthatnak – elsősorban a hálózat új IMMA állomásokkal történő bővítése indokolja. Az új állomások koordinátáinak meghatározása ugyanis az idő előrehaladtával egyre hosszabb mérési időszorra támaszkodhat, ami növeli a megbízhatóságot és a stabilitást. Ez a minőségi javulás pedig a koordináták rendszeres felülvizsgálatával és megváltoztatásával érvényesíthető.

Az utóbbi két koordináta-frissítés során jelentkező változások főbb statisztikai jellemzőit a 4. táblázat tartalmazza. Az eredmények értelmezésénél fontos hangsúlyozni, hogy az eltérések nem a korábbi hálózat hibáiból, hanem a fejlődött feldolgozási módszerből és a hozzá kapcsolódó új paraméter- és modell készletből származnak, amelyek együttesen a hálózat pontosabb megvalósítását teszik lehetővé.

Táblázat 4. A GNSSnet.hu szolgáltatásában lévő hazai állomások koordináta változásai az új feldolgozási eredmények 2025 februári bevezetésével, majd a 2026 februári frissítéssel

	2025-korábbi (mm)			2026-2025 (mm)		
	Kelet	Észak	Magasság	Kelet	Észak	Magasság
min.	2	-11	-30	-3	-6	-4
max.	20	12	-6	15	2	5
átlag	10	4	-19	1	1	2

A korábbi megoldáshoz viszonyítva a 2025. évben bevezetett koordináták átlagos eltérései rendre a következők: 10 mm a keleti, 4 mm az északi, valamint -19 mm a magassági

komponensekben. Ezzel szemben a 2025. és 2026. évi koordináták közötti eltérések lényegesen kisebbek, az átlagos koordináta-változás valamennyi komponensben 1-2 mm nagyságrendű. Mivel ez utóbbi két feldolgozás módszertana és referenciahálózata mindenben megegyezik, a közöttük tapasztalható milliméteres eltérések elsősorban az egy évvel hosszabb megfigyelési időszakból származó pontosságnövekedést tükrözik.

Összességében az eltérések nagysága jellemzően a korszerű valós idejű GNSS helymeghatározás gyakorlati pontossági követelményein belül marad. A frissítések hatása elsősorban olyan alkalmazásokban lehet releváns, ahol különböző időpontokban (pontosabban 2025 február előtt és után) meghatározott koordináták centiméteres vagy annál jobb pontosságú összehasonlítása történik. Ideértve a nagy pontosságú utófeldolgozáson alapuló hosszú távú mozgás- és geodinamikai vizsgálatokat, amelyek esetében az eltérések hatásának figyelembevétele már ajánlott lehet.

8. Összefoglalás

Új nemzetközi ajánlásokon és gyakorlaton alapulva, az ITRF2020-ra támaszkodva sikeresen megtörtént a GNSSnet.hu permanens állomáshálózat koordinátáinak a meghatározása. Az eredmény a 2006 és 2026 közötti időszak teljes GNSS mérési anyagának napi hálózati feldolgozásán alapul. A napi megoldások normálegyenlet szintű kombinálása szolgáltatja a végleges, egységes koordináta- és sebességmegoldást.

A levezetett eredmények összehasonlítása az EPN megoldásával igazolta a referenciarendszer megvalósításának helyességét és konzisztenciáját. A két megoldás közötti Helmert-transzformáció paraméterei statisztikailag nem bizonyultak szignifikánsnak, a maradék koordináta ellentmondások pedig milliméteres nagyságrendűek és földrajzilag véletlenszerűek.

A korábban publikált állomáskoordinátákhoz viszonyított, helyenként centiméteres nagyságrendű koordinátaváltozások elsődlegesen az ITRF2020 és az IGS Repro3 által bevezetett korszerűbb modellek és feldolgozási stratégiák, valamint a hosszabb megfigyelési idősor alkalmazásának következményei. A kapott eredmények egy korszerű, homogén és hosszú távon fenntartható térbeli referenciát szolgáltatnak a hazai nagy pontosságú GNSS helymeghatározási alkalmazások számára.

Irodalomjegyzék

- Altamimi, Z. – Collilieux, X. (eds.) 2024. Relationship and Transformation between the International and the European Terrestrial Reference Systems. EUREF Technical Note 1. France, Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN). p. 15
- Altamimi, Z. – Métivier, L. – Rebischung, P. – Collilieux, X. – Chanard, K. – Barnéoud, J. 2023b. ITRF2020 plate motion model. *Geophysical Research Letters*, 50 (24). <https://doi.org/10.1029/2023GL106373>
- Altamimi, Z. – Rebischung, P. – Collilieux, X. – Métivier, L. – Chanard, K. 2023a. ITRF2020: an augmented reference frame refining the modeling of nonlinear station motions. *Journal of Geodesy*, 97 (47). <https://doi.org/10.1007/s00190-023-01738-w>
- Altamimi, Z. – Rebischung, P. – Métivier, L. – Collilieux, X. 2016. ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121 (8), pp. 6109–6131. <https://doi.org/10.1002/2016JB013098>
- Altamimi, Z. 2003. Discussion on How to Express a Regional GPS Solution in the ITRF. EUREF Publication, 12, pp. 162–167.
- Ampatzidis, D. – Thaller, D. – Wang, L. 2022. The Correlations of the Helmert Transformation Parameters as an Additional Auxiliary Diagnostic Tool for Terrestrial Reference Frames Quality Assessment. In Freymueller, J.T., Sánchez, L. (eds.): *Geodesy for a Sustainable Earth*. International Association of Geodesy Symposia, vol 154. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/1345_2022_164
- Bruyninx, C. – Legrand, J. – Fabian, A. – Pottiaux, E. 2019. GNSS metadata and data validation in the EUREF Permanent Network, *GPS Solutions*, 23 (106). <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0880-9>
- Dach, R. – Lutz, S. – Walser, P. – Fridez, P. (eds.) 2015. *Bernese GNSS Software Version 5.2*. Astronomical Institute, University of Bern, Bern Open Publishing. <https://doi.org/10.7892/boris.72297>
- Detrekői Ákos 1991. *Kiegyenlítő számítások*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Kenyeres, A. – Grau Bellet, J. – Bruyninx, C. – Caporali, A. – Doncker, F. – Droschak, B. – Duret, A. – Franke, P. – Georgiev, I. – Bingley, R. – Huisman, L. – Jivall, L. – Khoda, O. – Kollo, K. – Kurt, A. – Lahtinen, S. – Legrand, J. – Magyar, B. – Mesmaker, D. – Weber, M. 2019. Regional integration of long-term national dense GNSS network solutions. *GPS Solutions*, 23 (122). <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0902-7>
- Koch, K.-R. 1999. *Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin.
- Kotsakis, C. 2013. Anatomy of minimum constraints in geodetic network adjustment. Thales, in honor of Prof. Emeritus Michael E. Contidakis. Manuscript. pp. 226–247.
- Kotsakis, C. 2018. Datum Definition and Minimal Constraints. In Grafarend, E. (ed.): *Encyclopedia of Geodesy*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02370-0_157-1
- Rebischung, P. – Altamimi, Z. – Métivier, L. – Xavier, C. – Gobron, K. – Chanard, K. 2024. Analysis of the IGS contribution to ITRF2020. *Journal of Geodesy*, 98 (49). <https://doi.org/10.1007/s00190-024-01870-1>
- Rebischung, P. 2014. Can GNSS contribute to improving the ITRF definition? PhD thesis. Ecole Doctorale Astronomie et Astrophysique d'Ile-de-France. p. 203
- Sillard, P. – Boucher, C. 2001. A review of algebraic constraints in terrestrial reference frame datum definition. *Journal of Geodesy*, 75, pp. 63–73. <https://doi.org/10.1007/s001900100166>
- Völksen, C. – Liwosz, T. – Legrand, J. – Lidberg, M. – Araszkiewicz, A. – Bruyninx, C. – Hidalgo, M. – Imrišek, M. – Jean-Louis, L. – Kempe, T. – Männel, B. – Leclercq, J. – Pacione, R. – Papco, J. – Toth, S. – Wang, L. – Xue, J. – Zurutuza, J. 2026. EPN-Repro3: Improved Maintenance of Regional Reference Frames Through Standardized and Complete Reprocessing of all Available GNSS Data (1996–Present). In Freymueller, J. T. (ed.): *International Association of Geodesy Symposia*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/1345_2026_371

Vonalas létesítmények életciklus-menedzsmentje térinformatikai és BIM alapokon

NAGY Zoltán¹, SOMOGYI József Árpád¹

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék

E-mail: nagy.zoltan@edu.bme.hu

[DOI: 10.30921/GK.78.2026.2.2](https://doi.org/10.30921/GK.78.2026.2.2)

Absztrakt

A magasépítés területén a digitális megoldások és az építmény-információs menedzsment (BIM) alkalmazása az elmúlt években a mindennapi gyakorlat szerves részévé vált. Bár a vonalas létesítmények esetében ez a fejlődési ív egyelőre csak követi a magasépítés tendenciáit, a technológiák és eljárások bevezetésére mutató igény – tekintve, hogy az infrastruktúrához kapcsolódó műtárgyak többsége nagy kiterjedésű és komplex mérnöki létesítmény – ezen a területen is megkérdőjelezhetetlen. Jelen tanulmány a hazai közlekedési infrastruktúra-fejlesztésben érdekelt szereplők igényeit és helyzetét vizsgálja, valamint elemzi az átalakulóban lévő jogszabályi környezetet, összevetve azt az iparág aktuális állapotával. A BIM-szemlélettel összhangban a tervezés, a kivitelezés és az üzemeltetés folyamatai nem vizsgálhatók izoláltan, azok egységes kezelése elengedhetetlen. A publikáció célja, hogy a feltárt igények és lehetőségek mentén egy olyan megoldási javaslatot vázoljon fel, amely interoperábilis szoftverkönyezetek segítségével képes támogatni a vonalas létesítmények teljes életciklusát lefedő mérnöki folyamatokat.

Abstract

In the building construction sector, the application of digital solutions and Building Information Management (BIM) has become an integral part of daily practice in recent years. For linear facilities, this development currently follows the trends observed in high rise construction; however, there is a distinct demand for the implementation of these technologies and methodologies in this sector as well, given that most infrastructure assets are extensive and complex engineering structures. This paper investigates the requirements of stakeholders involved in domestic transportation infrastructure development within a defined scope. It examines the current status of the sector and analyzes evolving legislative regulations in comparison with the prevailing state of the industry. Consistent with the BIM philosophy, the processes of design, construction, and operation cannot be analyzed in isolation; rather, they require holistic management. The objective of this study is to propose a solution based on identified needs and opportunities that support engineering processes across the entire lifecycle of linear facilities through the use of interoperable, collaborative software environments.

1. Bevezetés

Az építőiparban zajló digitalizációs folyamatok és az építményinformációs rendszerek egyre szélesebb körű alkalmazása alapjaiban változtatja meg a mérnöki létesítmények menedzselését. Ez a technológiai váltás lehetővé teszi, hogy egy építmény teljes életciklusát – a koncepcióalkotástól a tervezésen és kivitelezésen át egészen az üzemeltetésig – hatékonyan, egy integrált rendszerben lehessen felügyelni. A szereplők közötti szorosabb együttműködés révén létrejövő folyamatokban az információ áramlása szabályozottá és folyamatossá válik, minimalizálva az adatvesztést, növelve a hatékonyságot és csökkentve a hibák előfordulását.

Míg a magasépítés területén a digitális megoldások és a BIM (Building Information Modeling) alkalmazása az elmúlt években már a mindennapi gyakorlat részévé vált, addig a vonalas létesítmények (utak, vasutak, közművek) esetében ez a fejlődés

egyelőre inkább követi a magasépítési trendeket, semmint diktálná azokat. Ugyanakkor az igény ezen a területen is megkérdőjelezhetetlen, tekintve, hogy az infrastruktúrával kapcsolatos építmények jellemzően nagy kiterjedésű, komplex mérnöki létesítmények, amelyek kezelése jelentős térbeli adatmennyiséget igényel.

Jelen tanulmány célja, hogy a hazai közlekedési infrastruktúra-fejlesztésben érdekelt szereplők igényeinek és jelenlegi helyzetének feltárásával, valamint a gyorsan változó jogszabályi környezet elemzésével egy olyan megoldási javaslatot vázoljon fel, amely a térinformatikai rendszerek (Geographic Information System – GIS) és a BIM integrációjára építve támogatja a teljes életciklus-menedzsmentet. A BIM szemléletmódjának megfelelően a tervezés, kivitelezés és üzemeltetés folyamatait nem izoláltan, hanem egységes eszközként, a térbeli adatok folytonosságát biztosítva szükséges kezelni.

2. Vonalas létesítmények térbeli sajátosságai és hálózati jellemzői

A vonalas létesítmények legfontosabb megkülönböztető jegye a magasépítési szerkezetekkel szemben a nagy földrajzi kiterjedés és a hálózatos jelleg. Ezen létesítmények tervezése, nyilvántartása és üzemeltetése elképzelhetetlen a pontos térbeli adatok és a geometriai paraméterek integrált kezelése nélkül.

2.1. Közúti infrastruktúra

A közlekedési hálózatok fejlődése a történelem során mindig szorosan követte a társadalmi és gazdasági igényeket. A modern úthálózatok kialakítása során a mérnöki tervezés már nem csupán a járhatóság biztosítására törekszik, hanem a költséghatékony, környezetkímélő és fenntartható üzemeltetés szempontjait is figyelembe veszi.

Az utak vonalvezetésének tervezésekor számos, egymással összefüggő térbeli és műszaki szempontot kell érvényesíteni, így a nyomvonal kijelölése során a műszaki és költségvetési korlátok mellett a környezeti hatások, a jogszabályi előírások, valamint a menetdinamikai biztonság és az esztétika is meghatározó tényező. A térbeli vonalvezetés a vízszintes és magassági elemek összehangolásából jön létre; a vízszintes geometria egyenesek, körívek és átmeneti ívek sorozatából épül fel, ahol a tervezés során kritikus a biztonság – például a figyelemvesztés elkerülése hosszú egyeneseknél – és a tájba illeszkedés biztosítása. Ezzel szoros egységben a magassági vonalvezetést a hossz-szelvényi tervekben ábrázolt egyenesek és domború vagy homorú lekerekítések alkotják, melyeknél az építési és közlekedési költségek optimalizálása érdekében a kis emelkedésű, minimális törést tartalmazó pályák kialakítása a cél (MAÚT, 2008).

A kereszt-szelvényi tervezés során a téradatok szintjén is elkülönítjük az útkoronán belüli (pl. forgalmi sávok, padka, burkolat) és az útkoronán kívüli (pl. rézsűk, árkok) elemeket. Ezen elemek pontos geometriai leírása és térbeli elhelyezése alapvető feltétele a későbbi mennyiségszámításoknak és a gépi vezérlésű kivitelezésnek.

Magyarország közúthálózata jelentős térbeli kiterjedéssel bír. Az országos közutak hossza 32 552 km, amelyhez mintegy 1000 km kerékpárút is társul a Magyar Közút kezelésében. A helyi közutak hossza ezt is meghaladja, eléri a 183 988 km-t. A hálózat térinformatikai szempontból is komplex, hiszen 8216 hidat és 1853 közúti-vasúti keresztezést foglal magában, amelyek pontszerű objektumként jelennek meg a vonalas hálózaton. Ezen adatok nyilvántartása és térképi megjelenítése már jelenleg is digitális formában, térinformatikai rendszerekben történik.

2.2. Vasúti infrastruktúra

A vasúti pályák esetében a kötöttpályás jelleg még szigorúbb geometriai és térbeli megkötéseket jelent. A tervezésnél a terep adottságait maximálisan figyelembe véve kell a nyomvonalat vezetni (lehetőleg a semleges vonalat követve), hogy az állandó

esés és a hatékony energiafelhasználás biztosított legyen (Kazinczy, 2004).

A vasúti pálya vízszintes vonalvezetése állandó görbületű elemekből (egyenesek, tiszta körívek) és változó görbületű átmeneti ívekből áll. A magassági vonalvezetést az ezrelékben meghatározott esések és emelkedések, valamint a lejtőtöréseknél alkalmazott lekerekítő ívek határozzák meg. A térbeli tervezés során kritikus szempont, hogy a magassági lejtőtörések nem eshetnek egybe átmeneti ívekkel, kitérőkkel vagy hidakkal. A pályatest és a környező terep kapcsolatát a kereszt-szelvények határozzák meg, amelyek méreteit a nyomtávolság, vágányok száma, az ágyazat és a rézsűk geometriája definiálja.

A hazai vasúthálózat gerincét a MÁV Zrt. által kezelt mintegy 7200 vonalkilométer adja, amelyből 1233 km kétvágányú és 2810 km villamosított. A hálózat nemzetközi jelentőségét a rajta áthaladó páneurópai korridorok (IV., V., VII., X.) adják. A téradatok kezelése szempontjából kiemelt jelentőségű a 639 állomás, a 762 megállóhely és a több mint 2500 útátjáró nyilvántartása (MÁV, 2021). A helyi kötöttpályás közlekedés (villamos, metró, HÉV) további jelentős, főként városi környezetben elhelyezkedő hálózati elemeket jelent.

2.3. Egyéb infrastruktúra elemek

Bár a cikk fókuszja a közlekedési infrastruktúra, az életciklusalapú rendszerszemlélet megköveteli az egyéb vonalas létesítmények (közművek) említését is, mivel ezek gyakran osztják meg a fizikai teret az utakkal és vasutakkal. A villamosenergia-hálózatok, gáz- és köolajvezetékek, valamint a vízi közművek mind olyan hálózatos struktúrák, amelyek térbeli elhelyezkedése és védőtávolságai közvetlen hatással vannak a közlekedési infrastruktúra tervezésére és üzemeltetésére. Lakott területen belül ezen hálózatok leggyakrabban a közúthálózattal integráltnak kerülnek megtervezésre.

3. Iparági igények vizsgálata a térinformatika tükrében

Az életciklus-menedzsment három fő szakaszában – tervezés, kivitelezés, üzemeltetés – eltérő módon és mértékben jelenik meg a digitalizáció és a téradatok felhasználása. A cikk főként a hazai sajátosságokat mutatja be, azonban a feltárt minták, megoldások és problémák a világon mindenhol jelen vannak (Jang et al., 2021). Különböző fejlettségi szinteket lehet felfedezni, azonban az kijelenthető, hogy a közlekedési infrastruktúrák követik a magasépítésben megjelenő megoldásokat, több-kevesebb sikerrel alkalmazva azokat a vonalas létesítményekre.

3.1. Tervezés

A tervezési fázis tekinthető az egyik leginkább digitalizált területnek, ahol a folyamatok már jellemzően szoftveres környezetben zajlanak. A generáltervezés során azonban a különböző szakágak (út, vasút, közmű, híd) gyakran különálló egységekként, elszigetelt szoftverkörnyezetben dolgoznak. Ez a

munkamódszer megnehezíti a térbeli ütköztésvizsgálatok elvégzését és a folyamatos információáramlást.

Bár az igény megvan a BIM alapú megoldásokra, a tapasztalatok azt mutatják, hogy a magasépítésben bevált szoftverek nem minden esetben képesek hatékonyan kezelni az infrastruktúra-tervezés speciális geometriai feladatait, mint például a hossz- és keresztmetszvények automatikus generálása. A tervezőirodánál a BIM-re való áttérés, az új szoftveres megoldások és a közös adatkörnyezetek kialakítása jelenleg is zajló, erőforrásigényes folyamat. A téradatok átadása sok esetben még mindig "hagyományos" formában (pl. PDF), nem pedig intelligens, adatbázis-alapú modellként történik.

3.2. Kivitelezés

A kivitelezés során a térbeli információk pontos és gyors áramlása közvetlen hatással van a költségekre és a határidőkre. Az előre nem tisztázott adatstruktúrák és formátumok gyakran információvesztést okoznak a tervező és a kivitelező között.

Ugyanakkor ezen a területen is megjelentek az innovatív, téradatokra épülő megoldások. A mérőállomásokkal vagy GNSS (Global Navigation Satellite System) technológiával vezérelt munkagépek (pl. gréder, finisher) alkalmazása kiváló példa a BIM és a térinformatika gyakorlati integrációjára. Itt a manuális kitűzést és adatbevitelt felváltja a modellalapú, automatizált kommunikáció, mely jelentős munkaidő-megtakarítást és pontosságnövekedést eredményez. A kivitelezés monitorozása során szintén előtérbe kerülnek a térbeli technológiák: a pontfelhők és a 3D modellek segítségével már az irodában ellenőrizhető a munkafolyamatok térigénye és megvalósíthatósága, optimalizálva a helyszíni folyamatokat.

3.3. Üzemeltetés

Az üzemeltetési szakaszban a GIS alkalmazása már jelenleg is elterjedtnek mondható, gyakran megelőzve a BIM bevezetését. Az üzemeltetők számára a legnagyobb feladatot a létesítmények folyamatos vizsgálata, az állapotmegővítés és a forgalomszervezés jelenti.

Jelenleg több jól működő, térinformatikai alapú nyilvántartó és döntéstámogató rendszer üzemel, így például a MÁV a PÁTER (Pályadiagnosztikai Térinformatikai Rendszer) szoftvert alkalmazza, mely támogatást nyújt a szakembereknek a pályaalapot elemzésében és a karbantartások tervezésében; a Budapest Közút pedig a KAPU (Közüti Adatgyűjtő Rendszer) rendszert használja, mely egy olyan komplex térinformatikai adatbázis, ami nemcsak a forgalmi rendet és az úthálózat adatait tartja nyilván, hanem a kezelői határokat és az állapotadatokat is integrálja, miközben képes más ügyviteli rendszerekkel való kapcsolattartására is (Budapest Közút, 2023). Azonban a digitalizáció szintje nem egységes, ugyanis a hatóságok sok esetben még mindig ragaszkodnak a papír alapú, hitelesített mérési jegyzőkönyvekhez, ami gátolja a teljesen digitális munkafolyamatok kialakulását, ráadásul az adatok rögzítése gyakran nem egységes adatbázisban, hanem elszigetelt táblázatkezelőkben vagy szöveges dokumentumokban történik,

ami megnehezíti a komplex, térbeli lekérdezéseket és az automatizált döntéstámogatást.

4. Az életciklus fázisai és az információáramlás

A BIM szemléletmód egyik alapvetése, hogy a létesítményt nem statikus állapotként, hanem egy folyamatosan változó, információban gazdagodó rendszerként kezeli. A vonalas létesítmények esetében ez az időbeliség különösen hangsúlyos a térbeli adatok (nyomvonal, környezet, földrajzi viszonyok) állandó jelenléte miatt.

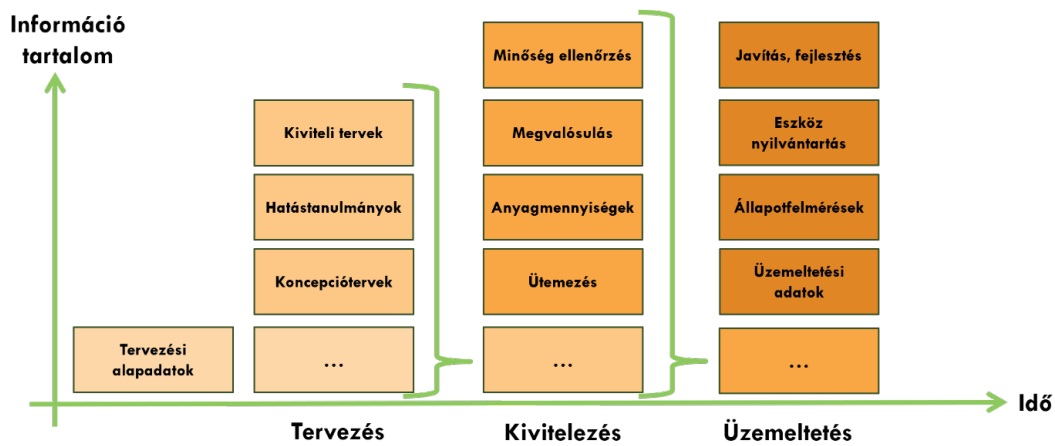
4.1. Az információtartalom növekedése és a kritikus pontok

Egy építmény életciklusa során az információtartalom ideális esetben folyamatosan növekszik. A tervezési alapadatokból koncepciótervek, majd kiviteli tervek születnek. A kivitelezés során ehhez hozzáadódnak az anyagmennyiségek, a beépített eszközök adatai és a megvalósulási dokumentáció. Végül az üzemeltetés során az állapotfelmérések, karbantartási adatok és a javítások története gazdagítja az adatbázist (1. ábra).

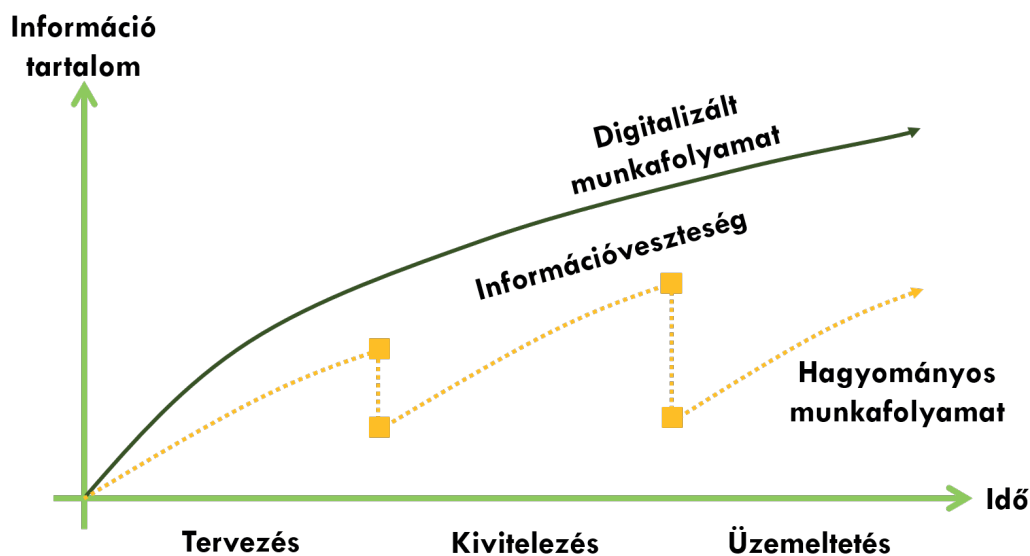
Azonban a jelenlegi gyakorlatban ez a görbe nem töretlen, mivel a fázisok közötti átadások (tervezés → kivitelezés → üzemeltetés) során jelentős információvesztés lép fel, aminek oka gyakran az inkompatibilis adatformátumok, a tisztázatlan adatátadási követelmények és a nem megfelelő digitalizáltság (MAÚT, 2022). A tervezés-kivitelezés átmenetnél a digitális tervek sokszor nyomtatott vagy PDF formátumban kerülnek átadásra, így a kivitelezőnek újra fel kell építenie a modellt (például az automatizált gépvezérléshez), ami idővesztéssel, többletköltséggel és hibalehetőséggel rejt, míg a kivitelezés-üzemeltetés átmenet során az üzemeltető gyakran nem kapja meg a létesítmény valós, térbelileg pontos „megvalósulási modelljét”, csupán statikus dokumentumokat, így a térinformatikai rendszerek feltöltése manuális, költséges utómunkát igényel (2. ábra). A cél az információvesztés minimalizálása egy olyan digitális munkafolyamat kialakításával, ahol az adatok strukturált formában, georeferáltan öröklődnek át az egyik fázisból a másikba.

4.2. A visszacsatolás fontossága

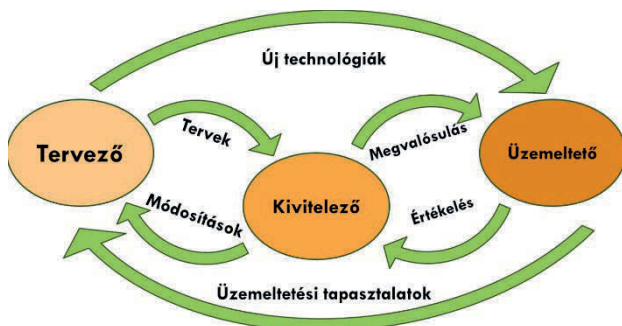
Az információáramlás nem lehet egyirányú, hiszen a hatékony életciklus-menedzsment egyik kulcsa a visszacsatolás lehetősége, melynek keretében a kivitelező visszajelzést adhat a tervezőnek a tervek megvalósíthatóságáról és a helyszíni tapasztalatokról, míg az üzemeltető – aki a leghosszabb ideig kezeli a létesítményt – értékes adatokat szolgáltathat a tervezőknek és kivitelezőknek a típushibákról, az alkalmazott technológiák tartósságáról vagy a karbantartási igényekről. Ez a körkörös információáramlás, amelyet az egységes építményinformatikai rendszerek tesznek lehetővé, végső soron javítja a jövőbeli beruházások minőségét és költséghatékonyságát (3. ábra).



1. ábra Információtartalom növekedése az építmény életciklusa során



2. ábra Információ veszteség és annak megakadályozása (MAÚT, 2022)



3. ábra Információ áramlás a szereplők között

digitális átállás sikeréhez elengedhetetlen, hogy a jogi környezet is támogassa, sőt megkövetelje a korszerű technológiák alkalmazását.

5.1. Az állami építési beruházások rendjéről szóló törvény

Jelentős mérföldkő a hazai szabályozásban az állami építési beruházások rendjéről szóló törvény (Építési és Közlekedési Minisztérium, 2023), amely alapjaiban reformálja meg a közösségi forrásból megvalósuló projektek menedzselését, egyik kiemelt céljaként pedig a hatékonyság és megbízhatóság növelését, valamint egy egységes szabályozási rendszer megteremtését tűzi ki a teljes életciklusra. A törvény térinformatikai és BIM szempontból legfontosabb elemei közé tartozik a BIM alapú rendszer kötelezővé tétele, mivel a jogszabály előírja az egységes BIM alapú rendszer alkalmazását a közbeszerzési értékhatárt elérő beruházásoknál, valamint a

5. Törvényi szabályozások és szabványok

A vonalas létesítmények méretükből és közösségi funkciójukból adódóan szigorú jogi és műszaki szabályozás alatt állnak. A

CDE (Common Data Environment) bevezetése, ugyanis a törvény definiálja az BIM fogalmát és előírja a CDE használatát, amely lehet felhőalapú megoldás vagy helyi szerveren megvalósított megoldás is, ahol biztosítani kell a modell alapú műszaki megvalósítás nyomonkövetését. Emellett követelmény az ütköztetésvizsgálat és nyomonkövetés, tehát a rendszernek képesnek kell lennie az ütköztetésvizsgálatok elvégzésére – amely térbeli koordinációt feltételez – és a megvalósulás folyamatos monitorozására, illetve érvényesül a teljes életciklus szemlélet, hiszen a törvény nemcsak a kivitelezésre, hanem az üzemeltetésre is kiterjeszti a BIM alkalmazását, biztosítva a szorosabb együttműködést a szereplők között; végezetül a törvény létrehozza az Állami Beruházási Érdekegyeztető Tanácsot, amelynek feladata a BIM rendszer feltételeinek megteremtése és kétévenkénti felülvizsgálata a nemzetközi trendek alapján, biztosítva a folyamatos technológiai felzárkózást. A törvényhez több későbbi rendelet is kapcsolódik, amelyek lényeges műszaki tartalommal bírnak. Ezek közül a 25/2024. (VIII. 8.) ÉKM rendelet (Építési és Közlekedési Minisztérium, 2024a) az, amely a kapcsolódó tervezői szolgáltatások rendszerét szabályozza, lefedve az építmények teljes életciklusát az előkészítéstől egészen az üzemeltetésig. Részletesen meghatározza a beruházásban résztvevő kulcsszereplők (például projektvezető, beruházás-lebonyolító, tervező, költségszakértő) feladatait és a velük szemben támasztott szakmai követelményeket. A folyamatot jól elkülöníthető szakaszokra (programozási, előkészítési, megvalósítási fázisok) bontja, amelyek közé úgynevezett „kiszállási pontokat” iktat be, ahol a költségek és tervek alapján dönteni kell a projekt folytatásáról, módosításáról vagy leállításáról. A minőségbiztosítás érdekében bevezeti a műszaki tervszűri intézményét a tervek szakmai felülvizsgálatára, valamint szabályozza a dokumentációs követelményeket. A másik pedig a 31/2024. (VIII. 22.) ÉKM rendelet (Építési és Közlekedési Minisztérium, 2024b), melyben kötelezően alkalmazandó építményinformációs modell alapú tervezés és megvalósítás részletes műszaki és szakmai feltételrendszerét rögzíti, előírva a nemzetközi szabványok, különösen az MSZ EN ISO 19650 szabványsorozat használatát a teljes információkezelési folyamatban. Meghatározza az adatsere technikai követelményeit, kötelezővé téve a nyílt szabványú, gyártófüggetlen fájlformátumok használatát a szoftverek közötti átjárhatóság biztosítása érdekében. Részletezi a BIM projektek kulcsfontosságú dokumentumait, mint például a BIM kézikönyvet és az EIR-t (Információcsere vonatkozó követelményeket), valamint definiálja a speciális szerepköröket, például a BIM menedzser feladatait. Szabályozza a CDE funkcionális követelményeit, amely biztosítja az összes projektszereplő számára a kontrollált hozzáférést a tervekhez és adatokhoz. Bevezeti az egységes magyar állami építési tételrend alkalmazását is, amely a költségtervezés és a mennyiségi kiírások rendszerezését szolgálja.

5.2. BIM tételrendek és címkék

A rendeletekhez kapcsolódóan készültek ágazati tételrendek, ezek olyan szabványosított, kódrendszerrel ellátott adatbázisok, amelyek az infrastrukturális beruházások során felmerülő összes

lehetséges munkatípust, technológiát és anyagot egységes szerkezetbe foglalják. Elsődleges céljuk, hogy a költségvetés-kiírások és az árajánlatok minden szereplő (tervező, kivitelező, beruházó) számára egyértelműek és teljesen összehasonlíthatók legyenek, biztosítva ezzel az átláthatóságot a közbeszerzési eljárásokban. A tételrendeket nemcsak a költségvetés elkészítése közben szükséges használni, hanem egy kötelezően teljesítendő alapot adnak a modell létrehozásához, mivel azt úgy kell létrehozni, hogy az egyes tételek számíthatók, hozzárendelhetők és lekérdezhetők legyenek az építményinformációs modellből.

A tételeken kívül bevezetésre kerül egy úgynevezett „címkrendszer” is, amelynek célja a beruházások minőségének, fenntarthatóságának és társadalmi hasznosságának növelése. Három fő kategóriában határoz meg minősítéseket: fenntarthatósági és környezetvédelmi, digitalizációs, valamint közösségi szerepvállalás címke, amelyek alap- és kiemelt szinten szerezhetők meg. A szabályozás kiterjed a törvény hatálya alá tartozó építetők, tervezőkre és kivitelezőkre, ösztönözve őket az innovatív és környezettudatos megoldások alkalmazására (Építési és Közlekedési Minisztérium, 2025).

5.3. Szakági előírások és irányelvek

A rendeletekhez kapcsolódóan ágazati tételrendek készültek; ezek olyan szabványosított, kódrendszerrel ellátott adatbázisok, amelyek az infrastrukturális beruházások során felmerülő összes lehetséges munkatípust, technológiát és anyagot egységes szerkezetbe foglalják. Elsődleges céljuk, hogy a költségvetés-kiírások és az árajánlatok minden szereplő (tervező, kivitelező, beruházó) számára egyértelműek és teljesen összehasonlíthatók legyenek, biztosítva ezzel az átláthatóságot a közbeszerzési eljárásokban. A tételrendeket nemcsak a költségvetés elkészítése közben szükséges használni, hanem egy kötelezően teljesítendő alapot adnak a modell létrehozásához, mivel azt úgy kell létrehozni, hogy az egyes tételek számíthatók, hozzárendelhetők és lekérdezhetők legyenek az építményinformációs modellből.

A tételeken kívül bevezetésre kerül egy úgynevezett „címkrendszer” is, amelynek célja a beruházások minőségének, fenntarthatóságának és társadalmi hasznosságának növelése. Három fő kategóriában határoz meg minősítéseket: fenntarthatósági és környezetvédelmi, digitalizációs, valamint közösségi szerepvállalás címke, amelyek alap- és kiemelt szinten szerezhetők meg. A szabályozás kiterjed a törvény hatálya alá tartozó építetők, tervezőkre és kivitelezőkre, ösztönözve őket az innovatív és környezettudatos megoldások alkalmazására (Építési és Közlekedési Minisztérium, 2025).

6. A téradatok kezelését és integrációját támogató technológiák

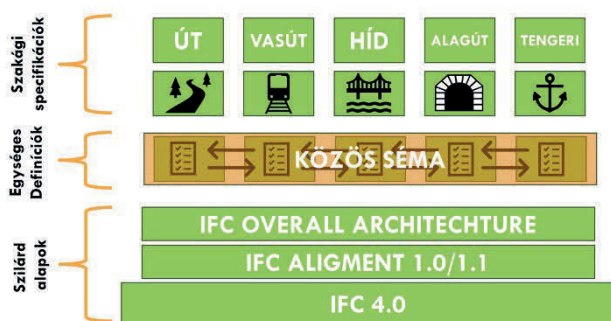
A vonalas létesítmények teljes életciklusát lefedő menedzsmentrendszer kialakításához elengedhetetlen a megfelelő technológiai háttér biztosítása. A térinformatikai rendszer (GIS) és az építményinformációs modellezés (BIM) konvergenciáját számos korszerű adatgyűjtési és adatkezelési technológia támogatja.

6.1. Tömeges adatgyűjtés: a valóság digitális leképezése

A pontos térbeli modell alapfeltétele a megbízható geometria, ezért a hagyományos geodéziai módszerek mellett ma már olyan nagy hatékonyságú technológiák állnak rendelkezésre, amelyekkel rövid idő alatt teljeskörű geometriai információ nyerhető az infrastruktúráról. Ezen technológiák sorába tartozik a lézeres távérzékelés (Light Detection and Ranging – LiDAR), amely lehetővé teszi nagy sűrűségű pontfelhők előállítását, származzanak azok légi (Unmanned Aerial Vehicle – UAV) vagy földi, járműre szerelt mobil térképező rendszerekből (Mobile Mapping System – MMS). Ezek a pontfelhők nem csupán vizualizációra alkalmasak, hanem részletes geometriai vizsgálatokra is, hiszen az útburkolatról készült felmérések alapján centiméteres pontossággal kimutathatók a hibák (Égető et al., 2020), valamint tetszőleges sűrűségben vizsgálható a burkolat tényleges oldalesése és a tervezett értéktől való eltérése. A vasúti infrastruktúra területén pedig a szenzorrendszerekkel felszerelt mérővonatok képesek a pályaállapot és a kitérők folyamatos, nagy sebességű diagnosztikájára, kiváltva ezzel az időigényes manuális méréseket (Plasser&Theurer, 2021).

6.2. IFC szabvány: az interoperabilitás alapja

Az adatok szoftverfüggetlen cseréjét az Industrial Foundation Class (IFC) biztosítja (ISO 16739-1:2018). Ez a nyílt szabvány nemcsak a fizikai elemeket (pl. oszlopok, ágyazat), hanem az absztrakt fogalmakat (pl. nyomvonal, folyamatok) és a térbeli kapcsolatokat is képes leírni (BuildingSMART International, 2025). A szabvány nem csak elterjedtsége miatt fontos, hanem a 31/2024. (VIII. 22.) ÉKM rendelet nevesítve is említi, mint elsődleges nyílt, gyártófüggetlen adatcseré formátumot.



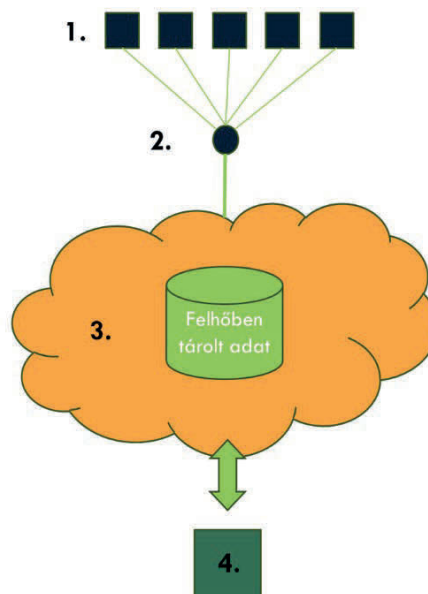
4. ábra IFC szabvány az infrastrukturális létesítmények leírásához (BuildingSMART, 2025).

A vonalas létesítmények szempontjából kritikus jelentőségűek az IFC Road és IFC Rail kiegészítések. Ezek a fejlesztések az IFC 4.0 alapjaira és az IFC Alignment (nyomvonal-kezelés) szabványra épülve teszik lehetővé az utak és vasutak specifikus geometriájának és szemantikájának kezelését (Floros et al., 2019; Soilán et al., 2021). A közös séma biztosítja, hogy a különböző szakági modellek (út, vasút, híd, alagút) egy egységes

koordináta-rendszerben, platformfüggetlen módon jelenjenek meg (4. ábra).

6.3. IoT és valós idejű téradatak

Az IoT (Internet of Things – IoT), vagyis a „dolgok internete” technológia teszi lehetővé, hogy a statikus modellek dinamikus, élő rendszerekké váljanak (Villamil et al., 2020) (5. ábra).



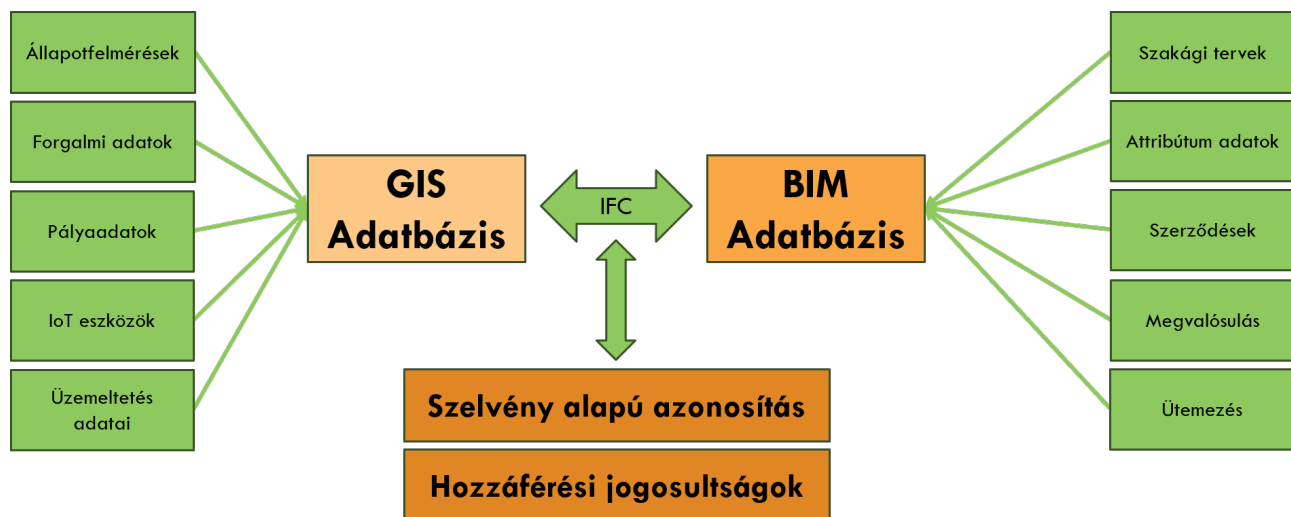
5. ábra IoT rendszer felépítése és működése

A hálózatba kötött szenzorok (1. elem) folyamatosan gyűjtenek adatokat, amelyeket hálózaton keresztül (2. elem) felhőalapú rendszerekbe (3. elem) továbbítanak elemzésre, végül pedig az információ kerül átadásra a végfelhasználó (4.) számára (Villamil et al., 2020).

A közlekedési infrastruktúrában az IoT alkalmazása közvetlen térinformatikai haszonnal jár, hiszen a tervezés során a felhasználók celladatai alapján forgalmi modellek készíthetők; a kivitelezés fázisában a munkások és a gépek pozíciójának valós idejű követése – például a közeledő szerelvény jelzésével – növeli a munkabiztonságot; az üzemeltetés alatt pedig okostelefonok szenzoradatai vagy beépített érzékelők segítségével folyamatosan megfigyelhető a pályaállapot (Kopitkó, 2019).

6.4. Adatbiztonság: CDE és Blockchain

A nagyméretű, sokszereplős projektek adatkezelését az közös adatkörnyezet és a Blockchain (blokklánc) technológia támogatja. A CDE biztosíthatja a felhőalapú, szabályozott hozzáférést és a verziókövetést (Patacas et al., 2020). A blokklánc technológia – a tranzakciók és triggerek adatbázis-konceptiójával kiegészítve – garantálja az adatok megmásíthatatlanságát és hitelességét, ami jogi szempontból (pl. teljesítésigazolás) elengedhetetlen egy decentralizált, több alvállalkozót foglalkoztató beruházásnál (Turk & Klinc, 2017).



6. ábra GIS-BIM rendszerstruktúra

7. Javasolt GIS-BIM rendszerstruktúra

A kutatás egyik fő eredménye egy olyan integrált rendszerstruktúra javaslata, amely összeköti a GIS és az BIM adatbázisokat, biztosítva a teljes életciklus támogatását (Cepa et al., 2023; Garramone et al., 2020).

7.1. A rendszer felépítése

A javasolt modellben a két adatbázis nem olvad össze teljesen, hanem funkciójuknak megfelelően, összeköttetésben működnek: a makroszintű GIS adatbázis kezeli a hálózati szintű, nagy kiterjedésű adatokat – úgymint az állapotfelmérések eredményeit, forgalmi adatokat, pályaadatokat, IoT eszközök jeleit, valamint az üzemeltetés során keletkező egyéb információkat –, amelynek fő felhasználói az üzemeltetők, hatóságok és döntéshozók, míg a mikroszintű BIM adatbázis tárolja a létesítmény részletes műszaki, geometriai és attribútum adatait, beleértve a szakági terveket, térbeli modelleket, anyagjellemzőket, szerződéseket, megvalósulási dokumentációt és ütemezési adatokat, elsősorban a tervezők és kivitelezők számára. A két rendszer közötti átjárást a szabványos adatcsere (IFC) és a szelvény alapú azonosítás (chainage) biztosítja, ami lehetővé teszi, hogy a GIS rendszerből lekérdezhető legyen egy adott útszakaszhoz vagy vasúti szelvényhez tartozó részletes BIM modell, illetve a BIM adatbázisba visszacsatolható legyenek a térinformatikai rendszerben rögzített üzemeltetési tapasztalatok (6. ábra).

7.2. Fejlődési ütemterv

Az átállás sikeres megvalósítása érdekében a rendszer bevezetését négy, egymásra épülő lépcsőben célszerű végrehajtani. Az első lépés a teljes körű digitalizáció, melynek során biztosítani kell, hogy minden adat – legyen szó tervekről vagy jegyzőkönyvekről – digitális, kereshető formában kerüljön

tárolásra, megszüntetve a papír alapú vagy nem strukturált adathalmazokat. Ezt követi a második szint, a CDE kialakítása, ahol a szereplők a saját feladatkörükön és rendszereiken belül valósítják meg a közös adattárolást. A harmadik lépcsőfok a szabványosított információcsere megteremtése, mely már szoros együttműködést követel meg a résztvevőktől az információvesztés nélküli adatátadás érdekében, például IFC alapú megoldások alkalmazásával. A folyamat végcélja, a negyedik szint, a „Digitális Iker” létrehozása, ahol a manuális információcserét felváltja az automatikus, folyamatos adatmegosztás, integrálva az IoT eszközöket és a mesterséges intelligenciát, ezáltal folyamatos, kétirányú kapcsolatot teremtve a digitális modell és a valóság között (Tchana et al., 2019).

8. Összefoglalás

A vonalas létesítmények életciklus-menedzsmentje terén a hazai közlekedési infrastruktúra-fejlesztés jelentős átalakulás előtt áll. Bár a GIS alapú üzemeltetői rendszerek (pl. KAPU, PÁTER) már jelenleg is magas színvonalon működnek, a BIM integrációja még várat magára.

A kutatás rávilágított, hogy a technológiai háttér (IFC szabványok, felhőalapú megoldások, nagypontosságú adatgyűjtés) rendelkezésre áll. A legfontosabb feladat jelenleg a szabályozási környezet és a folyamatok összehangolása. Szükséges egy átfogó, de rugalmas állami infraBIM előírás, amely nem a technológiát, hanem az adatátadás tartalmát és formátumát (pl. térbeli pontosság, attribútumok) szabályozza.

Kiemelendő, hogy a projekt lezárultával a modell nem maradhat „gazdátlanul”: tisztázni kell, ki viseli a BIM adatbázis üzemeltetésének költségeit és felelősségét az átadás-átvétel után. A cél egy olyan integrált rendszer, ahol a tervezők, kivitelezők és üzemeltetők érdekei közösen érvényesülnek, és ahol a térinformatika nem csupán nyilvántartó eszköz, hanem a teljes életciklus alapja.

Köszönetnyilvánítás

A cikk a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-2-III-BME-290 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

- Budapest Közút 2023. KAPU – Adatpublikáció <https://www.budapestkozut.hu/informatikai-igazgatosag/nyilvantartas-es-adatszolgaltatas/kapu-adatpublikacio/>, utolsó elérés: 2026. július 09.
- BuildingSMART International 2025. IFC 4.3 <https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/>, utolsó elérés: 2026. július 09.
- Cepa, J. J. – Pavón, R. M. – Alberti, M. G. – Caramés, P. 2023. Towards BIM-GIS Integration for Road Intelligent Management System. *Journal of Civil Engineering and Management*, 29(7), pp. 621–638. DOI: 10.3846/jcem.2023.19514
- Égető Csaba – Gherman Sámuel – Hrutka Bence Péter – Nagy Nándor Antal – Takács Bence 2020. Pontfelhő az útépitésben. *Geodézia és Kartográfia*, 72. évf. 5. sz. pp., 13–17. DOI: 10.30921/GK.72.2020.5.2
- Építési és Közlekedési Minisztérium 2023. 2023. évi LXIX. törvény <https://njt.jog.gov.hu/jogszabaly/2023-69-00-00>, utolsó elérés: 2026. július 09.
- Építési és Közlekedési Minisztérium 2024a. 25/2024. (VIII. 8.) ÉKM rendelet <https://njt.jog.gov.hu/jogszabaly/2024-25-20-8X>, utolsó elérés: 2026. július 09.
- Építési és Közlekedési Minisztérium 2024b. 31/2024. (VIII. 22.) ÉKM rendelet <https://njt.jog.gov.hu/jogszabaly/2024-31-20-8X>, utolsó elérés: 2026. július 09.
- Építési és Közlekedési Minisztérium 2025. 28/2025. (IX. 11.) ÉKM rendelet <https://njt.jog.gov.hu/jogszabaly/2025-27-20-8X>, utolsó elérés: 2026. július 09.
- Floros, G. S. – Boyes, G. – Owens, D. – Ellul, C. 2019. Developing IFC for infrastructure: A case study of three highway entities. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(4/W8), pp.59-66. DOI: 10.5194/isprs-annals-IV-4-W8-59-2019
- Garramone, M. – Moretti, N. – Scaioni, M. – Ellul, C. – Re Cecconi, F. – Dejacó, M. C. 2020. BIM and GIS Integration for Infrastructure Asset Management: A Bibliometric Analysis. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, VI-4/W1-2020, pp. 77–84. DOI: 10.5194/isprs-annals-VI-4-W1-2020-77-2020
- Jang, K. – Kim, J. W. – Ju, K. B. – An, Y. K. 2021. Infrastructure BIM platform for lifecycle management. *Applied Sciences*, 11(21). DOI: 10.3390/app112110310
- Kazinczy László 2004. Vasúti pályák BMEEOUVAT22 segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére http://www2.uvt.bme.hu/kazinczy/1.%20Oktat%C3%A1si%20anyagok_/1.2.%20Jegyzetek_/1.%20Vas%C3%BAti%20p%C3%A1ly%C3%A1k_.pdf, utolsó elérés: 2026. július 09.
- Kopitkó Tünde 2019. Közúti vasúti járművek összehasonlító futástechnikai vizsgálata okostelefonok inerciális szenzoradatainak mérés technikai alkalmazásával *Építőmérnöki Kari TDK; Mérnökgeológia, geotechnika és közlekedésépítőmérnöki szekció* <https://tdk.bme.hu/conference/EMK/2019/sessions/geo1/paper/Kozuti-vasuti-jarmuvek-osszehasonlito>, utolsó elérés: 2026. július 09.
- MAÚT 2008. Útügyi Műszaki Előírás ÚT 2-1.201 <https://ume.kozut.hu/dokumentum/1490>, utolsó elérés: 2026. július 09.
- MAÚT 2022. Az Útépités Digitalizációjának Magyarországi Menetrendje https://portal.maut.hu/dokument/dim/maut_dim_a_magyarorszagi_utepites_digitalizaciojanak_menetrendje.pdf, utolsó elérés: 2026. július 09.
- MÁV 2021. MÁV Zrt. bemutatkozás. <https://www.mavcsoport.hu/mav/bemutakozas>, utolsó elérés: 2026. július 09.
- Patacas, J. – Dawood, N., – Kassem, M. 2020. BIM for facilities management: A framework and a common data environment using open standards. *Automation in Construction*, 120, pp. 103366. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103366
- Plasser&Theurer 2021. The highly versatile machine for predictive maintenance. <https://www.plassertheurer.com/en/infrastructure/measuring-and-inspection/em-vt-fleet>, utolsó elérés: 2026. július 09.
- Soilán, M. – Nóvoa, A. – Sánchez-Rodríguez, A. – Justo, A. – Riveiro, B. 2021. Fully automated methodology for the delineation of railway lanes and the generation of IFC alignment models using 3D point cloud data. *Automation in Construction*, 126, pp. 103684. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103684
- Tchana, Y. – Ducellier, G. – Remy, S. 2019. Designing a unique Digital Twin for linear infrastructures lifecycle management. *Procedia CIRP*, 84, pp. 545–549. DOI: 10.1016/j.procir.2019.04.176
- Turk, Ž. – Klinc, R. 2017. Potentials of Blockchain Technology for Construction Management. *Procedia Engineering*, 196, pp. 638–645. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.08.052
- Villamil, S. – Hernández, C. – Tarazona, G. 2020. An overview of internet of things. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 18(5), pp. 2320–2327 DOI: 10.12928/TELKOMNIKA.v18i5.15911

Assessing Urban Growth, Land Consumption, and Natural Landscape Transformation in Kakamega Central Region, Kenya

Japheth OMINDE¹, Amani SANGA¹, Zsófia VARGA¹

¹Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Informatikai Kar, Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet

E-mail: omindejapheth@yahoo.com

[DOI: 10.30921/GK.78.2026.2.3](https://doi.org/10.30921/GK.78.2026.2.3)

Absztrakt

A földhasználat és a földborítás (LULC) változásai továbbra is kritikus kihívást jelentenek a fenntartható városfejlesztés szempontjából, különösen a gyorsan növekvő közbelső városokban és környezetükben. Ez a tanulmány a következő célokat tűzte ki maga elé: (i) a LULC-átalakulásokban megfigyelhető mintázatok felmérése Kakamega városában és közvetlen almegyéiben, (ii) a földfelhasználási ráta (LCR) és a földfelhasználási együttható (LAC) trendjének vizsgálata, és (iii) a városi növekedés természeti tájra gyakorolt hatásának értékelése LCR és LAC mérőszámok segítségével 2003 és 2023 között. A 2003-as, 2013-as és 2023-as Landsat felvételeket használtuk a vizsgálati területen öt fő földborítási típus, nevezetesen a beépített területek, a szántóföldek, a gyepek, az erdők és a víztestek térbeli és időbeli változásainak elemzésére. Az Orfeo Toolbox (OTB) gépi tanuláson alapuló Random Forest algoritmusát használó felügyelt osztályozási módszert alkalmaztuk. Az összes földborítási osztály teljes pontossága meghaladta a 85%-ot az összes elemzett évben. Az osztályozás utáni változáselemzés változó mintázatokat tárt fel a földborítás átmeneteiben. A tanulmány kimutatta, hogy a beépített terület gyorsan, 451,4%-kal bővült 2003 és 2013 között, illetve 130,9%-kal 2013 és 2023 között, aminek fő oka a gyepek és a szántóföldek voltak. A teljes vizsgálati időszak alatt a szántóföldek területe 148%-kal nőtt, míg a gyepek és a víztestek területe 73,8%-kal, illetve 30%-kal csökkent. Mind a beépített terület (LCR), mind a LAC jelentős növekedési pályát mutatott a vizsgálat időtartama alatt, ami a nem hatékony földhasználatra utal, ami hatással van a természeti tájra. Ezek az eredmények alapvető betekintést nyújtanak a városi növekedés fenntarthatósági állapotába, empirikus bizonyítékokkal felvértezve a döntéshozókat a megalapozott politikaalkotáshoz és a régió természeti tájának megőrzéséhez.

Abstract

Changes in Land Use and Land Cover (LULC) remain a critical challenge for sustainable urban development, especially in rapidly growing intermediate towns and their surroundings. This study aims to: (i) assess the patterns in LULC conversions in Kakamega town and immediate sub-counties, (ii) examine the trend in Land Consumption Rate (LCR) and Land Absorption Coefficient (LAC), and (iii) evaluate the implications of urban growth on natural landscape using LCR and LAC metrics between 2003 and 2023. Landsat images of 2003, 2013, and 2023 were used to analyze spatiotemporal changes in five major land cover types in the study area namely: built-up, cropland, grassland, forest, and water bodies. A supervised classification method using the machine learning Random Forest algorithm in Orfeo Toolbox (OTB) was employed. The overall accuracy for all land cover classes exceeded 85% across all the years analyzed. Post-classification change analysis revealed varying patterns in land cover transitions. The study noted that the built-up area expanded rapidly by 451.4% between 2003 and 2013 and by 130.9% between 2013 and 2023, with grassland and cropland as the principal contributors. Throughout the entire study period, cropland increased by 148%, while grassland and water bodies declined by 73.8% and 30%, respectively. Both LCR and LAC exhibited a notable upward trajectory throughout the study duration, indicating inefficient land use with implications for the natural landscape. These findings offer foundational insights into the sustainability status of urban growth, equipping decision-makers with empirical evidence to drive informed policy development and conserve the region's natural landscape.

1. Introduction

Population growth and urbanization stand out as mutually interacting factors accelerating LULC transformation worldwide (Rimal et al., 2025). Specifically, population growth exerts pressure on land for settlement and infrastructure development, resulting in built-up landscapes (Eludoyin et al., 2025; Kipkulei et al., 2022). Similarly, urbanization promotes rural-urban migration, enabling settlement concentration in cities (Amal & Sabyasachi, 2025). Ultimately, both population growth and urbanization increase impervious surfaces, which consume areas previously covered by farmlands and natural ecosystems (Albalawi, 2025; Peng et al., 2024). The anticipated growth of the world population to nearly 10 billion by 2050 underscores the inevitable intensification of terrestrial modification, especially in the global south (UNDESA, 2022). Therefore, accurate data on land consumption commensurate with demographic expansion is pivotal for achieving Sustainable Development Goal (SDG) 11 (sustainable cities for human settlement) (UN-Habitat, 2018).

Like other African countries, Kenya's rapid population growth, particularly in urban areas, in recent decades has driven changes in LULC (Chepkorir et al., 2025). This period coincides with the implementation phase of the 2010 constitution, which decentralized functions to county governments (Muwonge et al., 2022). As anticipated, county governments have reported significant achievements, including the establishment and expansion of municipal infrastructure such as roads, hospitals, and markets (Anami, 2023; Oyugi & Onwonga, 2024). The viability of vulnerable habitats is progressively compromised by a bilateral expansion: private sector and government initiatives are competing for high-value ecosystems, while the swift proliferation of emerging small towns precipitates a demographic influx, catalyzing the transition of formerly pristine areas into impervious residential and commercial landscapes (Muriithi, 2024; Splinter & Van Leynseele, 2019).

The management of expanding built-up areas is intrinsically complex and context-dependent, demanding positioned benchmarks to evaluate spatial footprints relative to demographic shifts (Laituri et al., 2025; Oseni et al., 2020). With the gradual and sometimes unnoticeable increase in built-up extension, developing regions are challenged by the scarcity of data that can aid urban planning (Solarin et al., 2021). Luckily, the recent advancement in remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) presents an alternative source of data (Phan et al., 2021). More importantly, the Landsat satellite sensor products have enhanced long-term monitoring of urbanization and LULC dynamics. The Landsat series provides multispectral data at regular intervals, allowing the detection of changes in different LULC types over time (Chowdhury, 2024; Hemati et al., 2021). Beyond data provision, geospatial technology has enabled faster and near real-time detection of LULC changes at reduced cost (Brown et al., 2022).

Even so, integrating LULC change detection with quantitative models in evaluating urbanization dynamics offers valuable insights for urban planning (Kipkulei et al., 2022; Ologunde et al., 2025). Specifically, LCR and LAC are widely recognized metrics for sustainability in urban expansion, especially in monitoring SDG 11 (UN-Habitat, 2018). LCR measures the expansion of built-up areas into previously non-urban ecosystems such as wetlands, grasslands, or forests, over time (Aduloju et al., 2026). On the other hand, LAC evaluates the change in consumption of recently built-up area per unit increase in population (Olagunju et al., 2023). While they generate important information, the application of these metrics in studies conducted in Kenya consistently shows that built-up areas are increasing at the expense of natural ecosystems (Mwathi, 2016; Omollo et al., 2018; Oyugi et al., 2017). For example, Oyugi et al. (2017) combined land cover change analysis and land consumption metrics to examine the implications of urban growth on the quality of the environment in Nairobi city between 1988 and 2015. The study reported a steady increase in forest, built-up, and transitional areas, and a decline in grassland, wetland, and agricultural lands. The trends in LCR and LAC revealed that in about half of the study duration, the built-up area grew through internal densification. The latter period recorded a simultaneous rise in LCR and LAC, indicating the extension of the urban area to the eastward peripheries of Nairobi city, thereby reflecting urban sprawl. Comparable trends in built-up expansion with characteristics of haphazard distribution were also observed in other areas (Babu et al., 2014; Hind et al., 2022; Oire et al., 2022; Salghuna et al., 2018).

The previous studies above have quantified population and commercially driven urbanization; however, they have primarily focused on the spatial context within major town boundaries. Additionally, these urban environments are mostly covered by savanna grasslands, cultivated trees, or dry forests (Omollo et al., 2018; Oyugi et al., 2017; Salghuna et al., 2018). Despite extensive research on the sustainability of urban expansion in Kenya's biodiversity-rich landscape, the peripheries of vestige tropical forests like Kakamega remain understudied. As a result, policymakers are left with generalized evidence that often fails to adequately inform sustainable intervention strategies, delaying the realization of SDG 11. Against this backdrop, this study leverages open-source Landsat imagery and land consumption metrics to assess the sustainability of urbanization in the vicinity of Kakamega town, thereby addressing this research gap.

This study aims to achieve the following objectives: (i) to assess the patterns in LULC conversions in Kakamega town and its immediate sub-counties, (ii) to examine the trend in LCR and LAC, and (iii) to evaluate the implications of urban growth on natural landscape between 2003 and 2023 using LCR and LAC metrics. The findings of this study provide a framework for analyzing the ramifications of sprawl on sustainability and generate practical recommendations for strengthening compact urban development policies in developing regions.

2. Materials and methods

2.1. Study Area

The Kakamega town is located in Kakamega County, western Kenya. Its area combined with the surrounding sub-counties included in this study is 1,394.2 km², extending from latitudes 0° 08' and 0° 36' north and longitudes 34° 05' and 34° 58' east. According to urban plan records of the County Government of Kakamega (CGK), the area initially formed Kakamega district, with Kakamega municipality as its headquarters (CGK, 2013). Currently, it is divided into five sub-counties: Lurambi, Shinyalu, Malava, Navakholo, and Ikolomani, forming Kakamega Central Region (Figure 1). The municipality now serves as the county and western region headquarters. The eastern part of the study area is covered by Kakamega Forest, considered the only remaining natural tropical forest in Kenya. The forest is a habitat for numerous endemic wildlife species, including birds, primates, and reptiles (Osewe et al., 2022). Besides the forest, the area has extensive agricultural land, grassland, and permanent rivers Nzoia, Isikhu, and Yala. The area has high population density, with the 2019 census reporting a population of 0.77 million, which is approximately half the county's total. Urbanization is a trend in this region, particularly in the extended municipality and its satellite towns. The new municipality alone hosts about 285,882 inhabitants (Shikoli et al., 2024), with projections indicating that the figure will rise to 353,989 by 2029 (Kenya National Bureau of Statistics, 2019). The high urban population density is attributed to the presence of universities and the impact of devolved governance (Anami, 2023; CGK, 2023). Figure 1 shows the map of the study area.

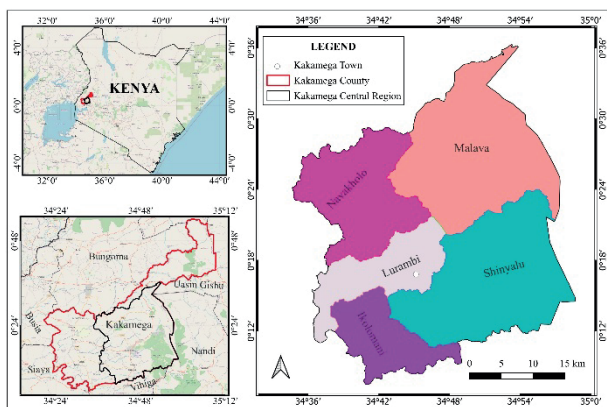


Figure 1. Map of the study area

2.2. Data collection

In studies involving historical analysis of LULC dynamics, Landsat satellite imagery sourced from the United States Geological Survey (USGS) Earth Explorer website (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) is the preferred data source. This preference is guided by the advantageous qualities of Landsat data, including their spatiotemporal availability and near-zero cost (Hemati et al., 2021). In this study, Landsat satellite imagery products and demographic data of 2003, 2013,

and 2023 were used to assess the LULC dynamics and land consumption patterns in Kakamega town and its outskirts. The 2003-2023 time frame is essential for this study as it captured accelerated transformations in LULC driven by regime changes and Kenya's 2010 constitutional shift. The latter reform devolved key urban growth and planning functions to Kenyan County, significantly reshaping the region's spatial development (Muwonge et al., 2022). The study utilized LULC datasets developed in our previous study (Ominde et al., 2026), which entails a full description of data collection, pre-processing, and classification procedures applied.

In summary, the Landsat images covering the study area and captured during the dry season (January and February) were downloaded from the USGS archive. These conditions were maintained throughout the study period to ensure consistency, minimal cloud effects, and comparability of classification outputs. Population data for the study area were extracted from the County Government of Kakamega's integrated development plans and national census reports (CGK, 2023; Kenya National Bureau of Statistics, 2019). These data sources provide the exact population for each census from which projections for the presented years were calculated using the consecutive county annual population growth rates of 2.12%, 2.5%, and 1.2%. The population projections were used to calculate LCR and LAC.

2.3. Pre-processing and image classification

This stage involved radiometric calibration, which enabled conversion of Landsat Level-1 datasets to Top of Atmosphere reflectance. Atmospheric correction was also applied to minimize absorption and scattering effects. Other pre-processing steps included layer stacking and sub-setting the imagery to the extent of the study area boundary. Layer stacking was performed by ordering spectral bands in accordance to their wavelengths thereby generating multispectral composites. This process generates color composites that increase accuracy in multi-temporal land cover analysis (Bui & Mucsi, 2022). The stacked raster datasets were clipped to the study area to enable consistent spatial comparison across the study period.

The pre-processed images were further classified into cropland, built-up, forest, grassland, and waterbody categories. This was achieved by employing a supervised classification technique using a random forest algorithm. The classified maps were further used to compute transitions in land cover and land consumption indicators.

2.4. Training data and validation

Reference samples for each land cover type were manually extracted from representative false color composites of the stacked images (Oseni et al., 2020). The sample pixels were authenticated by comparing them against high-resolution Google Earth imagery and corroborating with the researchers' expert knowledge of the study area. We used a stratified random sampling approach to select ninety samples of each land cover category. The selection of sample points was confined to areas

where each land cover type was distinctly prominent and remained spatially consistent throughout the observation periods. In situations where high-resolution data were unavailable for the initial years, samples were collected across consecutive years demonstrating stable land cover transitions. The collected samples were then divided into two subsets for independent training the classifier (70%) and validating classified maps (30%). The LULC classification output was evaluated using a confusion matrix (Seyam et al., 2023) in the OTB infrastructure.

2.5. Accuracy assessment

The classification of LULC from satellite images is always confronted with inaccuracies arising from the classification of thematically related pixels (Mahamba et al., 2022). The classification performance was evaluated by comparing classified maps with independent validation samples. This process generated a confusion matrix that is widely used in assessing the reliability of classification in LULC change research (Seyam et al., 2023). The overall accuracy and kappa coefficients computed from the confusion matrix were used to evaluate the overall performance of the classification process. Our reliability evaluation yielded precise results that conform to the accuracy thresholds set by Anderson et al. (1976). Table 1 displays a summary of the LULC change accuracy assessment.

Table 1. Summary of LULC change accuracy assessment.

LULC Category	2003	2013	2023
Kappa	83.0	84.0	82.0
Overall Accuracy	86.7	87.3	85.3

2.6. LULC change detection and consumption analysis

At this point, temporal changes in LULC in the study area were assessed by comparing classified maps in successive time frames. Change detection on classified maps was performed in QGIS using the Semi-automatic Classification Plugin (SCP) (Ahmad et al., 2023). The plugin enables post-processing of classified LULC images, including change detection and land cover conversions (Ahmad et al., 2023). The process yielded quantitative data containing gains and losses in each LULC type and transition matrices, indicating how each land cover changed across the study period. Finally, the land area under built-up for each year and the corresponding populations were used to calculate LCR and LAC.

The calculation of LCR and LAC utilized the formula:

$$LCR = A/P \quad (1)$$

where

LCR Land Consumption Rate,

A Areal extent of the city under a given LULC [ha],

P Population of the city at a particular date.

$$LAC = (A_2 - A_1) / (P_2 - P_1) \quad (2)$$

where

LAC Land Absorption Coefficient,

*A*₁, *A*₂ are the areal extents of the city under a given LULC in hectares for the early and later years,

*P*₁, *P*₂ are population figures of the city for the early and later years (Yeates & Garner, 1976).

LCR is a measure of the growth of built-up areas over time, often linked to population growth or urbanization. It is widely used to assess the sustainability of land-use activities in cities and emerging towns, including adjacent areas that were previously non-urban such as forests, grasslands, or croplands (Ipadeola & Babalola, 2025). According to Olagunju et al. (2023), a high LCR indicates greater land consumption per person, suggesting urban sprawl or unsustainable land use, whereas a low LCR indicates compact growth of the built-up area or sustainable development. On the other hand, LAC is a measure of how newly built-up land is consumed per unit increase in population (Yeates & Garner, 1976). A low LAC suggests compactness or concentration of growth of population within city or town limits, while a high LAC implies expansion of built-up area beyond the limits of a city or town (Orire et al., 2022; Salghuna et al., 2018). While population density merely reflects spatial crowding, land consumption metrics gauge land use intensity, making them crucial tools for assessing sustainability in urban growth (Sharma & Kumar, 2023). The analysis workflow is outlined in Figure 2.

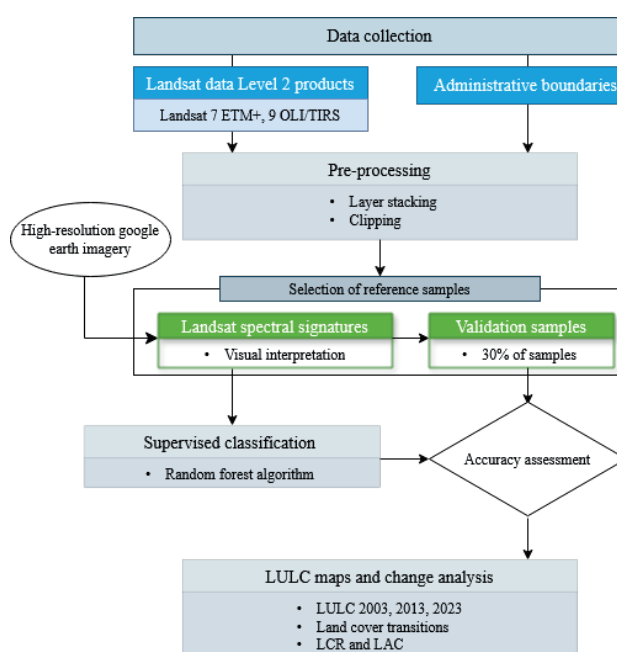


Figure 2. Study workflow

3. Results

3.1. LULC classification and transitions

The classification output revealed the five main LULC types in Kakamega town and the immediate hinterland, which are Cropland, Grassland, Forest, Built-up, and Water body (Figure 3). Analysis of the classified maps revealed a significant conversion in LULC across the study period (Table 2).

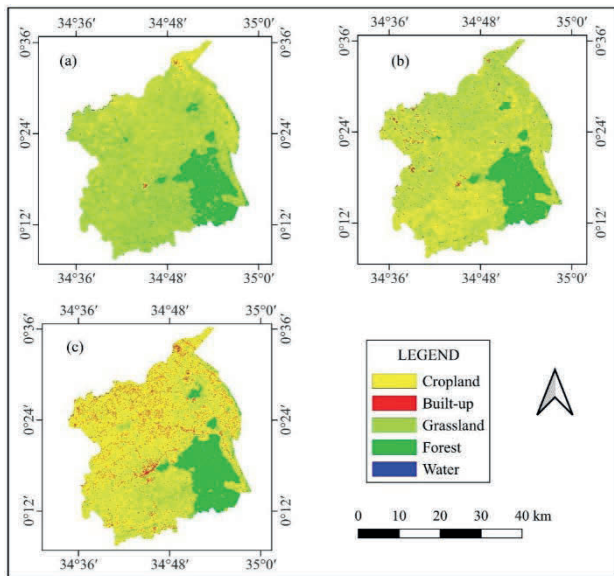


Figure 3. LULC maps of the study area: (a) 2003, (b) 2013, and (c) 2023

The grassland coverage in the study area declined substantially, falling by 611.16 km² between 2003 and 2023 (Figure 4). The transition matrix indicates that cropland was the principal beneficiary of grassland conversion, receiving 483.25 km² (58.39%) and 436.63 km² (82.28%) of 2003 and 2013 grassland, respectively, as shown in Table 2. In total, cropland recorded a consistent upward trend, increasing by about 148.4% (542.9 km²) over the study period. The built-up area grew by 451.4% (24.8 km²) between 2003 and 2013 and by 130.9% (39.7 km²) between 2013 and 2023. The growth shows an upward trend, recording an increase of 1172.8% between 2003 and 2023. A larger area of conversion from non-built-up to built-up cover occurred in the second decade of the study (Table 2b). Conversions were mostly from cropland and grassland, suggesting extensive urban growth into non-built areas and forest buffers.

Forest areas experienced minor disruptions during the study period, but huge losses of grass cover that buffers them signalled increasing threats. In the pre-2013 period, a slight gain in forest cover was noted, partly from Cropland (0.75 km²) and Grassland (27.36 km²) conversions (Table 2a). However, stability was slightly shaken between 2013 and 2023 due to the transition of some forest areas into grassland, built-up areas, and cropland (Table 2b). Surface water area declined by 68.5% compared to 2003 levels during the first decade. However, the second decade saw some restoration with 121.9% of its 2013 cover, driven by the conversion of grassland and cropland to water areas (Table 2b). This recovery, however, did not match the initially recorded coverage of 1.58 km² in 2003. In total, the water area declined by 30% during the 2003-2023 study period. Figure 4 shows the

Table 2. Transition matrix for: (a) 2003-2013, and (b) 2013-2023

(a)		2003										
	LULC	Forest		Grassland		Cropland		Built-up		Water		Total 2003
		Area	%Area	Area	%Area	Area	%Area	Area	%Area	Area	%Area	Area
2013	Forest	170.91	88.81	27.36	3.31	0.75	0.21	0.02	0.38	0.00	0.00	199.04
	Grassland	2.90	1.51	303.48	36.67	221.32	60.52	2.74	49.73	0.25	16.01	530.68
	Cropland	18.43	9.58	483.25	58.39	128.59	35.16	1.20	21.86	0.82	52.01	632.30
	Built-up	0.19	0.10	13.54	1.64	15.03	4.11	1.54	28.00	0.01	0.34	30.31
	Water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	31.33	0.50
Total		192.43	100	827.62	100	365.70	100	5.50	100	1.575	100	
(b)		2013										
	LULC	Forest		Grassland		Cropland		Built-up		Water		Total 2013
		Area	%Area	Area	%Area	Area	%Area	Area	%Area	Area	%Area	Area
2023	Forest	179.17	90.66	3.24	0.61	14.13	2.23	0.05	0.15	0.00	0.00	196.58
	Grassland	15.04	7.61	46.78	8.81	153.84	24.33	0.80	2.63	0.00	0.00	216.46
	Cropland	3.32	1.68	436.63	82.28	446.56	70.62	20.88	68.89	0.03	5.07	907.42
	Built-up	0.08	0.04	43.95	8.28	17.25	2.73	8.59	28.32	0.00	0.00	69.87
	Water	0.00	0.00	0.08	0.01	0.52	0.08	0.00	0.01	0.47	94.93	1.08
Total		197.62	100	530.68	100	632.30	100	30.31	100	0.50	100	

overall proportions of lost and gained LULC in the study area, while Table 2. presents the transition matrices for 2003-2013 and 2013-2023.

3.2. LCR and LAC

The LCR increased from 0.0008 in 2003 to 0.0078 in 2023. Likewise, LAC rose from 0.0131 between 2003 and 2013 to 0.0710 between 2013 and 2023 (Table 3). Rising LCR and LAC values indicate inefficient land use and unregulated urban expansion in Kakamega town and its peri-urban area. These observations delineate a path of unsustainable territorial growth that contributes to sprawl and exerts excessive strain on local natural ecosystems such as forests, grasslands, and water resources. The trend threatens the safety and resilience of the region, thereby limiting its capacity to provide a secure environment for its expanding urban population. Table 3. displays land consumption and absorption statistics.

Table 3. Land consumption and absorption statistics in the study area.

Year	Gain/ Loss (km ²)	Built-up area (ha)	Popu- lation	LCR	LAC	
2003	5.5	550	656243	0.0008	2003 - 2013	0.0131
2013	30.31	3031	846298	0.0036	2013 - 2023	0.0708
2023	69.87	6987	902162	0.0077		

4. Discussion

4.1. Land cover conversions and consumption indicators

Analysis reveals that the natural landscape of Kakamega town and its fringes in Kakamega County has undergone radical restructuring, driven by substantial LULC changes between 2003 and 2023. The most overt transformations were the acute diminution of grassland, the substantial escalation in built-up area, and the agricultural extensification over the study duration. An inter-year comparison between 2003-2013 and 2013-2023 revealed profound trends in LULC changes. Grassland experienced consistent loss, while cropland and built-up areas showed persistent gains over the two decades. However, major declines for grassland, and gains for cropland and built-up cover were higher in the second decade in comparison to the first one. Water bodies showed an irregular trend, characterized by a marked contraction in the first decade, followed by a marginal recovery in the second. The substantial decline in natural ecosystems, compounded with cropland expansion in this rapidly urbanizing rural region, exemplifies LULC changes reported in other parts of the world (Peng et al., 2024; Yasin et al., 2025; Zhang et al., 2025).

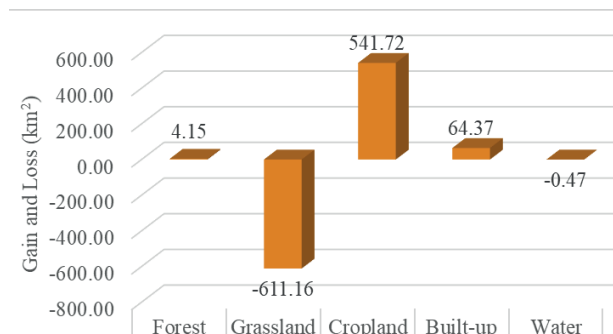


Figure 4. Proportions of gains and losses in LULC between 2003 and 2023

Particular attention should be paid to the extensive loss of grassland and gains in agricultural areas, which can be linked to both land-cover conversions and spectral mixing effects. Analysis of the transition matrix reveals that grassland was extensively converted to agricultural land, coupled with a drastic decline in water areas. This aligns with the region's demographic growth and urban sprawl which heighten the pressure for both housing and agricultural productivity in Kakamega's landscape (Shikoli et al., 2024; Shilibwa et al., 2022). This finding however, should be interpreted cautiously for the following reason. The medium-resolution Landsat images captured at the beginning of the year coincide with the dry season when land in the region is under primary tillage (CGK, 2023; Evans et al., 2020). In such circumstances, tilled lands often appear as dry grassland, leading to spectral mixtures between the two classes (Muthoka et al., 2025; Zhang et al., 2025). Thus, the substantial disparities in cropland and grassland may be attributed to a convergence of land-cover transformation and inherent seasonal spectral classification. However, the high overall accuracy and kappa coefficients validate the classification output, reinforcing the credibility of the derived inferences.

Cropland and developed area expansion in Kakamega illustrate the interplay between the two land cover categories in developing regions. Urban growth tends to exert pressure on land for food and space, leading to the extension of cropland into adjacent uncultivated areas (Ben-Said et al., 2025; Gabisa et al., 2025). At the same time, high urban density, land costs, development triggers, and land-use policies influence the growth of built-up areas (Aduloju et al., 2026; Ndung'u & Zentai, 2025). In the present study, extensive growth in cropland and built-up areas, with grassland as the main contributor, is consistent with several studies in western Kenya (Kogo et al., 2021; Mutenyi et al., 2024; Shilibwa et al., 2022). For instance, a recent study in the adjacent Khwisero sub-county by Mutenyi et al. (2024) highlights a significant trend of converting non-built-up land to urban use. These conversions are largely driven by socioeconomic and governance factors, including increasing settlement, agricultural extension, urban policies, and institutional challenges (Shikoli et al., 2024; Shumila et al., 2024).

While the aforementioned studies in this section support the observed dynamics of land cover, we note a higher rate of built-up area growth resulting from natural landscape conversions

over the study period (Table 2). Such developments continue notwithstanding the study area's historical status as a regional headquarters and a strategic command centre for western Kenya (Anami, 2023). It is anticipated that such areas would have benefited from proactive land use regulatory frameworks and controlled growth (Splinter & Van Leynseele, 2019; Van Oostrum, 2024). Building on this anticipation, we further evaluated the sustainability of land utilization using LCR and LAC. This multifaceted analysis provides quantitative evidence of a rapid urbanization trend within Kakamega town and surrounding sub-counties. In particular, the rise in LCR and LAC between 2003 and 2023, as illustrated in Table 3, indicates that the expansion of the urban area outpaced population growth in the study area. According to Salghuna et al. (2018), an increase in LCR and LAC suggests intensified conversion of non-urban land into built-up areas and subsequently, urban sprawl. This pattern of development, characterized by low density and sparse development, is often associated with the degradation of forest, grassland, and water resources (Aduloju et al., 2026). Subsequently, the steady encroachment of unplanned development in the study area renders the tropical Kakamega forest's biodiversity increasingly precarious.

4.2. Emerging trends and implications on the natural landscape and policy

The observed increasing trend in LCR and LAC typically indicates rapid urban development relative to population growth in the Kakamega landscape. This finding corroborates the proliferating urban sprawl and the resultant pressure on land resources for residential, commercial, and agricultural development as documented in Kakamega County development reports (CGK, 2013, 2023). Contrary to similar studies that report standard increases in LCR and LAC (Mwathi, 2016; Omollo et al., 2018), our findings reveal a notable deviation. We note a persistent and aggressive rise in both LCR and LAC throughout the study duration. This trend illustrates a fragmented urbanization pattern with growth tethered to major transit networks, reflecting a corridor-driven expansion. The simultaneous increase in land consumption indicators shows that in the Kakamega and its fringes, urban land is expanding faster than population growth, and land use is becoming less efficient.

In contrast, the upward trend in LCR and LAC underscores the complex urban-rural nexus. The terrain encompasses essential agrarian tracts alongside critical biodiversity corridors, particularly the unique grasslands and the last eastern vestiges of the Guineo-Congolian rainforest (CGK, 2023; Osewe et al., 2022). Whereas Nairobi and Kisii exhibit sprawl driven by densification and accelerating economic transitions in the rural-urban fringe (Omollo et al., 2018; Oyugi et al., 2017), the Kakamega area follows a different trajectory. The scattered nature of its growth has fuelled a proliferation of farming activities, exerting substantial pressure on sensitive systems. These divergent findings stress the urgency of context-specific policy interventions to regulate the accelerating informal growth of peri-urban areas. The occurrence of scattered urban development potentially exposes natural landscapes to higher

degradation risks and consequent livelihood vulnerability, especially in economically challenged rural areas. Therefore, sustainable development plans should prioritize the existing pattern of urban growth and the unique challenges it poses to the local natural landscape.

The natural landscape comprising forests, grasslands, and water bodies in this study offers significant benefits not only to the Kakamega residents but also to the global community through climate regulations (Osewe et al., 2022). The observed non-linear LCR and surging LAC, with associated inefficiencies, in Kakamega can be managed by transforming urban land-use planning through strong policy interventions that promote sustainable agriculture, including agroforestry and conservation farming (Olagunju et al., 2023). While policy implementation has been a challenge in Kakamega (Shikoli et al., 2024), strict enforcement of land-use regulations should be revisited to conserve the natural landscape from destruction and loss. To address accelerating urban growth, it is pivotal to embrace compact growth models that set minimum floors for new buildings, target interventions in zones with LAC bursts, and continuously monitor population-related LULC dynamics. The urgent implementation of the proposed policy interventions can reverse ecological losses and guarantee a safe and resilient lifestyle for residents in the rapidly urbanizing Kakamega Central Region.

4.3. Study limitations

Due to its reliance on satellite-based observations, this study is limited in its ability to capture the socio-economic dimensions driving land use and LULC changes in Kakamega County. Consequently, a comprehensive understanding of human-environment interactions remains constrained without the integration of remote sensing data with complementary socioeconomic datasets. The dependence on medium-resolution Landsat imagery in conjunction with a lack of high-resolution validation data such as Google Earth datasets for earlier periods may introduce increased classification uncertainties. Nonetheless, the study provides a valuable framework based on satellite observations and demographic data, offering a robust foundation for policymakers to support evidence-based sustainable land-use planning.

5. Conclusion

This study investigated LULC shifts and urbanization trends in the Kakamega Central Region of Kenya between 2003 and 2023 with a focus on land consumption patterns providing critical insights into the resulting fragmentation of natural ecosystems. Additionally, it demonstrates how merging geospatial technologies with land consumption metrics provides a comprehensive analytical structure for assessing urbanization transformation intensity and the consequent ecological degradation. The findings further reveal significant transformations in the built-up area which experienced a consistent increase during the study duration. Simultaneously, agricultural expansion intensified, largely facilitated by the

transition of grassland habitats. Substantial decline in water bodies and slight fluctuations in forest area were also observed. The trend in land consumption metrics indicated scattered urban sprawl with profound implications for the natural landscape. If left uncontrolled, the rapid proliferation of built-up and cropland will likely precipitate in further irreversible ecological degradation of the natural landscape in Kakamega, thereby derailing efforts to achieve SDG 11. These findings provide essential perspectives for policymakers charged with formulating ecosystem restoration frameworks and cultivating sustainable urban development within peri-urban landscapes. To augment these findings, further empirical research is essential in determining fundamental socioeconomic drivers that dictate the rate and trajectory of fragmented urban development in Kakamega Central Region.

References

- Aduloju, O. T., Anofi, A. O., Atolagbe, A. A., Raheem, W. M., & Ade, M. A. (2026). Space-Time Estimation of Built-Up Landscape of Ilorin Metropolis, Nigeria. *Papers in Applied Geography*, 12(1), 45–68. <https://doi.org/10.1080/23754931.2025.2480101>
- Ahmad, M. N., Shao, Z., Javed, A., Islam, F., Ahmad, H. H., & Aslam, R. W. (2023). The Cellular Automata Approach in Dynamic Modelling of Land Use Change Detection and Future Simulations Based on Remote Sensing Data in Lahore Pakistan. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 89(1), 47–55. <https://doi.org/10.14358/PERS.22-00102R2>
- Albalawi, B. F. A. (2025). Urbanization and habitat loss: An overview of rapidly growing cities in Saudi Arabia. *Frontiers in Sustainable Cities*, 7, 1636228. <https://doi.org/10.3389/frsc.2025.1636228>
- Amal, N., & Sabyasachi, T. (2025). Determinants of Urbanization: A Comparative Analysis Across Global Cities. *Munich Personal RePEc Archive* (2025), Article 124672.
- Anami, A. K. (2023). Devolved Governance System and its Economic Development Impact to Rural Counties in Kenya: Case Study Kakamega County, Kenya. *Saudi Journal of Economics and Finance*, 7(11), 515–524. <https://doi.org/10.36348/sjef.2023.v07i11.006>
- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., & Witmer, R. E. (1976). A land use and land cover classification system for use with remote sensor data (Vol. 964). Washington, DC.
- Babu, T., Padma, V., & Suneetha, P. (2014). Impact of urban sprawl and land use pattern in and around Vizianagaram City, using remote sensing and GIS. *American Journal of Sustainable Cities and Society*, 1(3), 728–741.
- Ben-Said, M., Chemchaoui, A., Etebaai, I., & Taher, M. (2025). Land use and land cover changes in Morocco: Trends, research gaps, and perspectives. *GeoJournal*, 90(1), 44. <https://doi.org/10.1007/s10708-024-11214-3>
- Brown, C. F., Brumby, S. P., Guzder-Williams, B., Birch, T., Hyde, S. B., Mazzariello, J., Czerwinski, W., Pasquarella, V. J., Haertel, R., Ilyushchenko, S., Schwehr, K., Weisse, M., Stolle, F., Hanson, C., Guinan, O., Moore, R., & Tait, A. M. (2022). Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data*, 9(1), 251. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4>
- Bui, D. H., & Mucsi, L. (2022). Comparison of Layer-stacking and Dempster-Shafer Theory-based Methods Using Sentinel-1 and Sentinel-2 Data Fusion in Urban Land Cover Mapping. *Geo-Spatial Information Science*, 25(3), 425–438. <https://doi.org/10.1080/10095020.2022.2035656>
- CGK. (2013). Kakamega County Integrated Development Plan 2013–2017. County Government of Kakamega. <http://10.0.0.19/handle/123456789/1131>
- CGK. (2023). Kakamega County Integrated Development Plan 2023–2027. County Government of Kakamega. <https://repository.kippira.or.ke/handle/123456789/4211>
- Chepkorir, R., Szilassi, P., & Fabula, S. (2025). Demographic causes and environmental consequences of land use change in Nairobi (Kenya). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 20(1), 5–17. <https://doi.org/10.26471/cjees/2025/020/309>
- Chowdhury, Md. S. (2024). Comparison of accuracy and reliability of random forest, support vector machine, artificial neural network and maximum likelihood method in land use/cover classification of urban setting. *Environmental Challenges*, 14, 100800. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100800>
- Eludoyin, A. O., Akinsiku, O. O., & Adetoro, O.-I. O. (2025). Land Cover/Use Change and Impact on Land Surface Temperature in a Commercial Town in Southwestern Nigeria. In W. Leal Filho, G. J. Nagy, & D. Y. Ayal (Eds.), *Handbook of Nature-Based Solutions to Mitigation and Adaptation to Climate Change* (pp. 1–19). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98067-2_43-1
- Evans, W. O., Mukhovi, S. N., & Nyandega, I. A. (2020). The Spatial and Temporal Characteristics of Rainfall over the Lake Victoria Basin of Kenya in 1987–2016. *Atmospheric and Climate Sciences*, 10(02), 240–257. <https://doi.org/10.4236/acs.2020.102013>
- Gabisa, M., Kabite, G., & Mammo, S. (2025). Land use and land cover change trends, drivers and its impacts on ecosystem services in burayu sub city, Ethiopia. *Frontiers in Environmental Science*, 13, 1557000. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1557000>
- Hemati, M., Hasanlou, M., Mahdianpari, M., & Mohammadimanesh, F. (2021). A Systematic Review of Landsat Data for Change Detection Applications: 50 Years of Monitoring the Earth. *Remote Sensing*, 13(15), 2869. <https://doi.org/10.3390/rs13152869>
- Hind, M., M'hammed, S., Djamal, A., & Zoubida, N. (2022). Assessment of land use–land cover changes using GIS, remote sensing, and CA–Markov model: A case study of Algiers, Algeria. *Applied Geomatics*, 14(4), 811–825. <https://doi.org/10.1007/s12518-022-00472-w>
- Ipadeola, O. A., & Babalola, A. (2025). MODELING FUTURE URBAN GROWTH AND GREEN INFRASTRUCTURE INTEGRATION IN ILORIN METROPOLIS USING INTEGRATED CA–MARKOV AND GIS APPROACHES. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.17130561>
- Kenya National Bureau of Statistics (Ed.). (2019). 2019 Kenya population and housing census: Volume I: Population by County

- and Sub-County. Kenya National Bureau of Statistics. <http://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/160974>
- Kipkulei, H. K., Bellingrath-Kimura, S. D., Lana, M., Ghazaryan, G., Boitt, M., & Sieber, S. (2022). Modelling cropland expansion and its drivers in Trans Nzoia County, Kenya. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(4), 5761–5778. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01475-7>
- Kogo, B. K., Kumar, L., & Koech, R. (2021). Analysis of spatio-temporal dynamics of land use and cover changes in Western Kenya. *Geocarto International*, 36(4), 376–391. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1608594>
- Laituri, M., Cardenas-Ritzert, O. S. E., Vogeler, J. C., Shah Heydari, S., & McHale, M. R. (2025). The last urban frontier—Assessing hotspots of urban change associated with LCLUC in Africa. *Frontiers in Sustainable Cities*, 7, 1529440. <https://doi.org/10.3389/frsc.2025.1529440>
- Mahamba, J. A., Mulondi, G. K., Kapiri, M. M., & Sahani, W. M. (2022). Land Use and Land Cover Dynamics in the Urban Watershed of Kimemi River (Butembo/D.R.C). *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 10(06), 204–219. <https://doi.org/10.4236/gep.2022.106013>
- Muriithi, J. K. (2024). Dynamics Shaping Rural Transformation in Rapidly Urbanising Rural Areas in Central Kenya. *People, Place and Policy Online*, 18(1), 1–25. <https://doi.org/10.3351/ppp.2024.1541056304>
- Mutenyi, S. P., Nzisa, M. I., & Mutama, M. D. (2024). The Driving Forces that Influence Land Use Land Cover Changes in Khwisero Sub County, Kakamega County, Kenya. *The American Journal of Social Science and Education Innovations*, 6(7), 38–73. <https://doi.org/10.37547/tajssei/Volume06Issue07-05>
- Muthoka, J. M., Rowhani, P., Salakpi, E. E., Balzter, H., & Antonarakis, A. S. (2025). Classification of grassland community types and palatable pastures in semi-arid savannah grasslands of Kenya using multispectral Sentinel-2 imagery. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1543491. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1543491>
- Muwonge, A., Williamson, T. S., Owuor, C., & Kinuthia, M. (2022). Making Devolution Work for Service Delivery in Kenya. *The World Bank*. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1726-7>
- Mwathi, P. M. (2016). Effects of land use and land cover dynamics on environmental quality of Nairobi city and its environs. Doctoral Dissertation, University of Nairobi.
- Ndung'u, L. M., & Zentai, L. (2025). Changes in Land Use Land Cover in Equatorial Coastal Forest of Kilifi County, Kenya. *GEODÉZIA ÉS KARTOGRAFIA*, 77(4), 11–21. <https://doi.org/10.30921/GK.77.2025.4.2>
- Olagunju, R. E., Nsofor, G. N., Galadima, M., Ighalo, J. I., & Abalaka, A. E. (2023). Spatio-Temporal Analysis of Land use and Land Cover Change of Birnin Kebbi for Sustainable Development. *Centre for Human Settlements and Urban Development Journal*, 9(1).
- Ologunde, O. H., Kelani, M. O., Biru, M. K., Olayemi, A. B., & Nunes, M. R. (2025). Land Use and Land Cover Changes: A Case Study in Nigeria. *Land*, 14(2), 389. <https://doi.org/10.3390/land14020389>
- Ominde, J., Sanga, A., Meriem, K., & Zsófia, V. (2026). Spatial-temporal urban sprawl and landscape fragmentation in secondary towns in western Kenya: Multi-Scale landscape metrics from Kakamega central region. *Environmental Challenges*, 23, 101485. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2026.101485>
- Omollo, W. O., Hayombe, P. O., & Owino, F. O. (2018). Spatio-Temporal Implications of Land Use Change in Kisii Town, Kenya. *American Journal of Geographic Information System*, 7(2), 49–57. <https://doi.org/10.5923/j.ajgis.20180702.01>
- Orire, A. M., Huang, X., Oloyede, O. I., Ayo, B., Raheem, W. A., & Chukwu, M. (2022). Spatio-Temporal Change Detection of Built-up Areas in Ilorin Metropolis and Implications for Green Space Conservation. *Papers in Applied Geography*, 8(3), 357–374. <https://doi.org/10.1080/23754931.2022.2062574>
- Oseni, A. E., Ode, G. O., & Kosoko, A. T. (2020). Land use/ land cover classification and change detection mapping: A case study of Lagos state, Nigeria. *International Journal Of Rural Development, Environment And Health Research*, 4(4), 126–144. <https://doi.org/10.22161/ijreh.4.4.2>
- Osewe, E. O., Niță, M. D., & Abrudan, I. V. (2022). Assessing the Fragmentation, Canopy Loss and Spatial Distribution of Forest Cover in Kakamega National Forest Reserve, Western Kenya. In *Forests* (Vol. 13, Number 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/f13122127>
- Oyugi, M. O., Odenyo, V. A. O., & Karanja, F. N. (2017). The Implications of Land Use and Land Cover Dynamics on the Environmental Quality of Nairobi City, Kenya. *American Journal of Geographic Information System*, 6(3), 111–127. <https://doi.org/10.5923/j.ajgis.20170603.04>
- Oyugi, M. O., & Onwonga, G. M. (2024). An exploration of sustainable urban development policy for Kenya. *Journal of Geography and Regional Planning*, 17(4), 63–77. <https://doi.org/10.5897/JGRP2024.0868>
- Peng, L., Huang, K., Zhang, H., & Sun, W. (2024). Exploring the impacts of urbanization on vegetation growth from the perspective of urban expansion patterns and maturity: A case study on 40 large cities in China. *Sustainable Cities and Society*, 115, 105841. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105841>
- Phan, D. C., Trung, T. H., Truong, V. T., Sasagawa, T., Vu, T. P. T., Bui, D. T., Hayashi, M., Tadono, T., & Nasahara, K. N. (2021). First comprehensive quantification of annual land use/cover from 1990 to 2020 across mainland Vietnam. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89034-5>
- Rimal, B., Rijal, S., & Tiwary, A. (2025). Prediction of Urban Growth and Sustainability Challenges Based on LULC Change: Case Study of Two Himalayan Metropolitan Cities. *Land*, 14(8), 1675. <https://doi.org/10.3390/land14081675>
- Salghuna, N. N., Rama Chandra Prasad, P., & Asha Kumari, J. (2018). Assessing the impact of land use and land cover changes on the remnant patches of Kondapalli reserve forest of the Eastern Ghats, Andhra Pradesh, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(3), 419–429. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.01.005>
- Seyam, M. M. H., Haque, M. R., & Rahman, M. M. (2023). Identifying the land use land cover (LULC) changes using remote sensing and GIS approach: A case study at Bhaluka in Mymensingh,

- Bangladesh. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 7, 100293. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100293>
- Sharma, M., & Kumar, V. (2023). Assessment of urban sprawl, land use/land cover changes and land consumption rate in Hisar City, Haryana, India. *Human Geographies-Journal of Studies and Research in Human Geography*, 17(1), 47–71. <https://doi.org/10.5719/hgeo.2023.171.3>
- Shikoli, S. S., Mark, O. G., & Emmanuel, M. (2024). The Urban Growth and Applied Urban Planning Framework; Case Study: Kakamega Municipality, Kenya. *Africa Habitat Review Journal*, 19(2), 2898–2909.
- Shilibwa, H. K., Masibayi, E., & Neyole, E. (2022). Impact of Spatiotemporal Land Use Land Cover Change on Land under Maize Production in Likuyani Sub-County, Kakamega County, Kenya. *The International Journal of Science & Technoledge*, 10(9). <https://doi.org/10.24940/theijst/2022/v10/i9/ST2209-005>
- Shumila, P. M., Nzisa, M. I., & Masika, D. M. (2024). Effects of Land Use Land Cover Changes on Vegetation Cover Types in Khwisero Sub County, Kakamega County, Kenya. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.12740878>
- Solarin, S. A., Gil-Alana, L. A., & Lafuente, C. (2021). Persistence and non-stationarity in the built-up land footprint across 89 countries. *Ecological Indicators*, 123, 107372. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107372>
- Splinter, E., & Van Leynseele, Y. (2019). The conditional city: Emerging properties of Kenya's satellite cities. *International Planning Studies*, 24(3–4), 308–324. <https://doi.org/10.1080/13563475.2019.1661831>
- UNDESA. (2022). *World Population Prospects, the 2022 Revision*; Population Division, Department of Economic and Social Affairs: New York, NY, USA. Available online: <http://population.un.org/wpp> (accessed on 10 April 2026).
- UN-Habitat. (2018). *Sustainable Development Goal 11+ Make Cities and Human Settlements Inclusive, Safe, Resilient and Sustainable: A Guide to Assist National and Local Governments to Monitor and Report on SDG Goal 11+ Indicators. Monitoring Framework—Definitions—Metadata—UN-Habitat Technical Support*. Available online: https://smartnet.niua.org/sites/default/files/resourcess/sdg_goal_11_monitoring_framework.pdf (accessed on 20/08/2025).
- Van Oostrum, M. (2024). Walkability and colonialism: The divergent impact of colonial planning practices on spatial segregation in East Africa. *Cities*, 144, 104662. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104662>
- Yasin, K. H., Iguala, A. D., & Gelete, T. B. (2025). Spatiotemporal analysis of urban expansion and its impact on farmlands in the central Ethiopia metropolitan area. *Discover Sustainability*, 6(1), 36. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00749-7>
- Yeates, M., & Garner, B. (1976). *The North American City*. New York: Harper and Row Pub.
- Zhang, A., Tariq, A., Quddoos, A., Naz, I., Aslam, R. W., Barboza, E., Ullah, S., & Abdullah-Al-Wadud, M. (2025). Spatio-temporal analysis of urban expansion and land use dynamics using google earth engine and predictive models. *Scientific Reports*, 15(1), 6993. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92034-4>



Térinformatikai módszerek alkalmazása a budapesti forgalomirányítási rendszerben

Farkas-Németh Zoltán^{1,2} – Török Zsolt Győző¹

¹ Eötvös Loránd Tudományegyetem Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet

² Budapest Közút Zrt.

E-mail: zoltorok@inf.elte.hu, zoltanfarkasnemeth@gmail.com

DOI: 10.30921/GK.78.2026.2.4

Absztrakt

A tanulmányban a Budapest Közút Zrt. ITS-rendszerére épülő térinformatikai módszertant ismertettük. A detektoros hálózat egyenetlen térbeli lefedettsége, a rendszeres adatkiesések és az időjárás forgalomra gyakorolt hatása olyan problémák, amelyek kezeléséhez nem elegendő az egyes mérőpontok adatait önállóan vizsgálni. Az általunk kidolgozott megközelítés a hálózat gráf-struktúráját, a csomóponti fokszámon alapuló topológiai adatterjesztést (2°: öröklés, 3°+: megállás, geometriától függetlenül a hálózati szerkesztés alapján), a Voronoi-alapú meteorológiai hozzárendelést és a napszak–naptípus–időjárás szerinti kontextualizálást együttesen alkalmazza. A kontextualizálás szükségességét 160 csomópont több mint 20 millió mérési rekordján végzett, anonimizált elemzéssel igazoltuk: a csapadék a reggeli csúcspanakban a csomópontok 93%-ánál átlagosan 13,6%-os forgalomművekedést okoz, a szabadidős és célforgalmi helyszíneken viszont 10–20%-os csökkenést. A módszertan gyakorlati alkalmazásának kerete a Google–BKK harmonizált lámpahangoló rendszer vizsgálata volt.

Kulcsszavak: térinformatika, forgalomszámláló detektor, topológiai adatterjesztés, térbeli interpoláció, Voronoi-poligon, DATEX II, ITS

Abstract

This study presents a geoinformatics methodology built upon the ITS system operated by Budapest Public Roads (Budapest Közút Zrt.). The uneven spatial coverage of the detector network, recurrent data loss, and the influence of weather conditions on traffic constitute challenges that cannot be adequately addressed by analysing individual measurement points in isolation. The proposed approach integrates the graph structure of the network, topology-based data propagation using node degree (2°: inheritance; 3°+: termination, independent of geometry and based on network editing), Voronoi-based meteorological attribution, and contextualization according to time of day, calendar type, and weather conditions. The necessity of contextualization is demonstrated through an anonymized analysis of more than 20 million measurement records from 160 intersections: precipitation increases traffic volume at 93% of intersections during the morning peak (by 13.6% on average), while recreational and destination-type locations show a decrease of 10–20%. The practical application of the methodology is demonstrated through the analysis of the harmonized traffic signal control system jointly developed by Google and BKK.

Keywords: GIS, traffic detector, topological data propagation, spatial interpolation, Voronoi diagram, DATEX II, ITS

1. Bevezetés

A városi közlekedési rendszerek adatkezelésében az elmúlt évtizedben egyre nagyobb szerepet kapott a térbeli szemlélet. A forgalmi adatokat nem elegendő egyedi mérőpontként kezelni; a hálózati összefüggések ismerete nélkül sem a torlódások terjedése, sem az adathiányok kezelése nem érthető meg megfelelően. A térinformatika ezt a hálózati és területi értelmezést segíti. A hurokdetektor-hálózatok adatminőségi problémáival – hiányzó vagy érvénytelen mérések detektálása és pótlása – a nemzetközi szakirodalomban Chen et al. (2003) foglalkozott először rendszerszinten: a California Department of Transportation közel 15 000 hurokdetektorán kidolgozott

eljárásuk a szomszédos mérőpontok lineáris kapcsolatát használta fel az adathiány pótlásához, az adott napokra és időszakra jellemző, historikus minták alapján. Az elemzés kimutatta, hogy az idősor egészének vizsgálata – szemben az egyéni mérési értékekkel – lényegesen megbízhatóbb hibadetekciót eredményez. A jelen tanulmányban bemutatott módszertan ezekre az elvekre épít, de a budapesti hálózat topológiai sajátosságaihoz alkalmazza azokat.

Budapest úthálózata radiális-koncentrikus szerkezetű, így a belvárosba befutó főutak csomópontjain keletkező torlódás gyorsan hat a szomszédos szakaszokra. A Budapest Közút Zrt. (a továbbiakban: Budapest Közút) ITS (Intelligent Transportation System) fejlesztéseiben ezért egyre inkább érvényesül az az elv, hogy a mért adatokat a hálózat egészének kontextusában kell

értelmezni. A tanulmányunkban bemutatott módszertan ehhez a rendszerhez illeszkedve készült, és jelenleg egy olyan műszaki tervezési fázisban van, amelynek célja a forgalomirányítási rendszerbe való integráció megalapozása.

2. A Budapest Közút Zrt. forgalomfigyelő rendszere

A Budapest Közút intelligens közlekedési rendszere (Intelligent Transportation System, ITS) a 2010-es évek eleje óta folyamatos fejlesztés alatt áll. A rendszer Budapest közigazgatási területét, valamint az agglomerációs főúthálózat egyes szakaszait fedi le.

Az adatgyűjtést mikrohullámú és induktív elvű forgalomszámláló detektorok végzik, amelyek 5 perces aggregált értékeket rögzítenek: forgalomnagyságot (jármű/óra), foglaltságot (%) és átlagsebességet (km/h). Az adatok a TASS (Traffic Analysis Support System) belső platformon tárolódnak és kerülnek minőség-ellenőrzésre. A nyilvánosan közzétett adatkör – forgalmi események és sebességadatok – a TN-ITS (Trans-European Transport Network Intelligent Transport Systems) keretrendszerben, DATEX II formátumban jelenik meg; ezt használja fel többek között a TomTom, a HERE és a Huawei is.

A detektorok térbeli kezelésének alapja a Budapest Közút Zrt. által fenntartott fővárosi tengelyhálózat (axis network), amelyhez minden mérőpont és útszakasz-jellemző hozzá van rendelve. A feldolgozási folyamatokat az FME (Feature Manipulation Engine) szoftver automatizálja: ez az eszköz különböző forrású térbeli és nem térbeli adatokat fűz össze, alakít át és tölt be a célrendszerekbe.

3. Az adatalapú forgalomirányítás nemzetközi előzményei

A forgalomirányítás adatokra épülő, valós idejű vezérlése az 1970-es évek végén jelent meg először városi léptékben. Az első rendszerek hurokdetektorok másodpercenkénti impulzusait dolgozták fel, és a jelzőlámpa-kapcsolási tervet ciklikusan korrigálták a mért forgalomhoz. Az azóta eltelt négy évtizedben a módszerek fokozatosan összetettebbekké váltak: a pontszerű mérésből hálózati koordináció lett, majd a GPS-alapú úsjárműadatok és végül a gépi tanulás is beépült a forgalomirányítási döntéshozatalba.

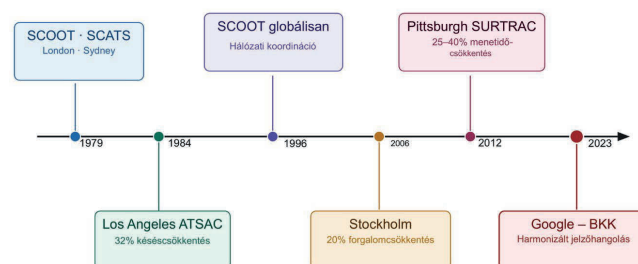
Az adatalapú forgalomirányítás nemzetközi fejlődésének főbb állomásait az 1. ábra foglalja össze.

3.1 SCOOT és SCATS: az első adaptív rendszerek (1979)

1979-ben két, egymástól függetlenül fejlesztett rendszer indult el, amelyek a mai napig a legelterjedtebb adaptív jelzőlámpa-

vezérlők alapját képezik. A brit SCOOT (Split Cycle Offset Optimisation Technique) minden jelzőlámpás csomópontnál a

Az adatalapú forgalomirányítás nemzetközi fejlődése (1979–2023)



1. ábra Az adatalapú forgalomirányítás nemzetközi fejlődése (1979–2023)

hurokdetektorok ciklusszintű forgalomadataiból három paramétert – a zöld idő megosztását (split), a ciklusidőt (cycle) és a léptetési eltolást (offset) – apró lépésekben, folyamatosan igazítja (Hunt et al. 1981).

Az ausztrál SCATS (Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic System) ezzel egyidőben jelent meg: a csomópontokat klaszterekbe fogja, és a klaszterek teltségét (degree of saturation) veszi alapul a kapcsolási terv meghatározásához (Lowrie 1982). A SCOOT mára 350-nél több városban üzemel világszerte (TRL Software 2026); a SCATS pedig az ausztrál és ázsiai nagyvárosok meghatározó rendszere.

3.2 ATSAC: egy nagyvárosi léptékű automatizálás (1984)

Los Angelesben 1984-ben, az olimpia előkészítéseként vezették be az ATSAC (Automated Traffic Surveillance and Control) rendszert. A 118 csomóponttal induló rendszer 2021-re közel 4 850 csomópontra bővült, így a világ legnagyobb összefüggő, központilag irányított adaptív jelzőlámpa-rendszere lett; az artériás utakon a megállási késedelmet 32%-kal csökkentette (LADOT 2022).

3.3 Stockholm: keresletszabályozás valós idejű adatokkal (2006)

A stockholmi dugódíj-kísérlet (2006. január–július) az adatalapú forgalomszabályozás kereslet-oldali alkalmazásának legrészletesebben vizsgált példája: a belvárost körülvevő kordonon napszaktól függő úthasználati díjat szedtek. A kordonon átkelő forgalom 22%-kal csökkent a bevezetés előtti évhez képest, a csúcsidős torlódás mértéke 30–50%-kal mérséklődött, és a kísérletet követő népszavazás a rendszer állandósítása mellett döntött (Eliasson et al. 2009).

3.4 SURTRAC: mesterséges intelligencia a jelzőlámpa-vezérlésben (2012)

A Carnegie Mellon Egyetemen fejlesztett SURTRAC (Scalable URban TRAffic Control) 2012-ben indult kísérleti üzemből Pittsburgh kilenc csomópontján. Újdonsága az elosztott, csomópontonként futó, prediktív ütemező algoritmus: minden jelzőlámpa-vezérlő önállóan, a szomszédos csomópontoktól érkező előrejelzések felhasználásával, 1–2 másodpercenként újraoptimalizálja a kapcsolási ütemtervet (Xie–Smith–Barlow 2012). A teszten a menetidő több mint 25%-kal rövidült, a várakozási idő átlagosan 40%-kal csökkent a korábbi fix kapcsolási tervhez képest (Smith et al. 2013); a rendszer azóta több városban is üzemel (Smart Cities Dive 2017).

4. Forgalmi detektorhálózatok térinformatikai elemzése

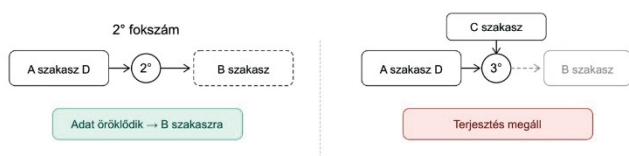
4.1 A térbeli lefedettség problémája

A forgalomszámláló detektorok elhelyezése jellemzően nem statisztikai mintavételezési elvek szerint történik. A telepítési döntéseket a rendelkezésre álló infrastruktúra, a beavatkozási prioritások és a költségvetési lehetőségek határozzák meg, ami egyenetlen térbeli lefedettséghez vezet. Budapesten is kerületenként eltérő a detektorsűrűség, és ez közvetlenül hat arra, hogy az adatok mennyire reprezentálják a valós forgalmi állapotot.

Első lépésként azt határozzuk meg, mely útszakaszok tekinthetők egy adott detektor hatókörén belülnek. A légvonalbeli távolság önmagában félrevezető lehet, mert a hálózati távolság, a csomóponti szerkezet és a forgalom iránya együttesen döntik el, hogy egy útszakasz adata mennyire kötődik az adott mérőponthoz.

4.2 GIS-alapú detektor–útszakasz hozzárendelés

A detektor–útszakasz hozzárendelés elvégzéséhez nem elegendő a geometriai közelség vizsgálata. Egy puffer-alapú megközelítés figyelmen kívül hagyja, hogy az úthálózat gráf, amelyen a kapcsolatok iránya és a csomóponti szerkezet meghatározó (Miller–Shaw 2001). Az itt javasolt módszertan az ESRI ArcGIS Network Analyst bővítményének logikáját követi, de kifejezetten forgalmi alkalmazásokra igazított algoritmusokat alkalmaz.



2. ábra Topológiai adatterjesztés: az örökítési módszer használata

A detektor–útszakasz hozzárendelés során nemcsak a távolságot, hanem az irányultságot is figyelembe vesszük. Ha egy, a detektorhoz közel eső útszakasz iránya a detektor mérési irányához képest $\pm 30^\circ$ -os tartományon belül esik, azt potenciálisan relevánsnak tekintjük. A $\pm 30^\circ$ -os küszöbérték megválasztása korábbi, a Budapest Közút Zrt.-nél végzett fejlesztési munkán alapul: a sebességkorlátozó táblák tengelyhálózathoz való, dinamikus hozzárendelésekor az FME-alapú folyamat ugyancsak $\pm 30^\circ$ -os iránytoleranciával operált (Farkas–Németh–Pusztai–Török 2023). Az örökítési módszer működését a 2. ábra szemlélteti.

4.3 Adathiány-típusok gyakorisági eloszlása

A detektorok kiesése rendszeres jelenség: kommunikációs hiba, szoftverfrissítés vagy fizikai meghibásodás egyaránt okozhat adathiányt. A kiesés időtartama döntően befolyásolja, hogy a hiány melyik módszerrel pótolható ésszerűen. Rövid kiesések esetén a szomszédos detektorok adatai közvetlen alapot adnak a becsléshez; több órás kiesésekre a szomszédsági korreláció gyengül, és historikus mintákon alapuló megközelítés szükséges. Chen et al. (2003) a kaliforniai hurokdetektor-hálózaton kimutatta, hogy az idősor egészére kiterjedő diagnosztika lényegesen megbízhatóbb, és a szomszédos mérőpontok lineáris kapcsolatán, valamint historikus profilokon alapuló kétféle pótlás megbízhatóbb eredményt ad, mint az egyszintű módszerek.

5. Topológiai adatterjesztés a közlekedési hálózatban

5.1 Hálózat-analitikus megközelítés

Habár a nem mért útszakaszok forgalmi adatainak becslése első közelítésben térbeli interpolációs feladatnak látszik, a hagyományos módszerek – kriging, illetve IDW (Inverse Distance Weighting) – közvetlenül nem alkalmazhatók, mert légvonalbeli távolságon alapulnak, nem az úthálózaton megtett tényleges úthosszon. A hálózati távolságra épített interpoláció lényegesen megbízhatóbb eredményt ad, amint ezt Joelianto et al. (2022) szurabájai vizsgálata is megerősíti.

Az általunk alkalmazott topológiai adatterjesztés a gráfelméleti foksám fogalmán alapul. A foksám (jelölése: n°) azt adja meg, hogy egy csomópont-hoz összesen hány útszakasz csatlakozik. Az öröklés feltétele: a csomópont-hoz kizárólag a bemenő és a kimenő szakasz kapcsolódik – ez a 2° eset. Ilyenkor a mért forgalmi értéket átvisszük a szomszédos szakaszra. Ha viszont a csomópont-hoz bármilyen más szakasz is csatlakozik, a foksám 3° vagy magasabb lesz, és a terjesztés megáll. Fontos hangsúlyozni, hogy az öröklés logikája a hálózati szerkesztésen alapul, nem a geometrián (Lóki–Demeter 2009).

5.2 Térbeli autokorrelációs vizsgálatok

A topológiai terjesztés mögötti feltevés – vagyis, hogy a szomszédos szakaszokon hasonló forgalmi viszonyok jellemzőek – statisztikailag igazolt: a közlekedési hálózatokon mért adatok szignifikánsan pozitív térbeli autokorrelációt mutatnak. A Moran-féle I mutató alapján szomszédosnak tekintett útszakaszok értékei szisztematikusan jobban hasonlítanak egymásra, mint a véletlenszerűen kiválasztott pároké (Oláh et al. 2025). A napi, havi és szezonális forgatókönyvekben mért globális Moran-féle I értékek rendre 0,52, 0,34 és 0,35 voltak (Török et al. 2026).

6. Multitemporális térinformatikai adatintegráció

6.1 Az idő-dimenzió térinformatikai kezelése

A forgalom térben és időben együttesen változó jelenség: azonos szakaszon reggel és este, hétköznap és hétvégén, nyáron és télen más-más értékeket mérünk. Az elemzéshez ezért az időbeli dimenziót a térbeli mellé kell rendelni – erre szolgál a téridő-kocka konceptuális modellje (Hägerstrand 1970), amellyel a forgalomirányítási adatok ciklikus mintái feltárhatók.

Saját fejlesztésünkben minden mérési rekordhoz hozzárendeljük az ún. naptípust: munkanap, szombat, vasárnap, munkaszüneti nap, iskolaszünet vagy áthelyezett munkanap. Egy munkaszüneti nap előestéje forgalmi szempontból teljesen más képet mutat, mint egy átlagos hétköznap.

6.2 A forgalmi sebesség változása és a meteorológiai adatok integrációja

A detektoros mérések azt mutatják, hogy esős vagy havas időben a mért átlagsebesség az azonos napszakra és naptípusra jellemző száraz időszaknál alacsonyabb. A HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. mérőállomásai nem egyenletesen fedik le Budapestet és környékét. Az egyes útszakaszokhoz azt az állomást rendeljük, amelyik hozzá a legközelebb esik – ezt a felosztást a Voronoi-polygonok módszerével végezzük el (Okabe et al. 2000).

A számítás során Budapest közigazgatási határát rávetítjük a Voronoi-rácsra, amelyet a fővárosi és a Pest vármegyei állomásokra együttesen határozzunk meg. A Voronoi-alapú hozzárendelés matematikailag a legközelebbi szomszéd elvét valósítja meg, ami az interpolációs módszerek közül a legegyszerűbb – ez azonban ebben a kontextusban tudatos tervezési döntés: a forgalomirányítási rendszer valós idejű döntéstámogatási környezetben fut, ahol a determinisztikus, egyértelműen reprodukálható hozzárendelés fontosabb követelmény, mint a maximális interpolációs pontosság.

A hozzárendelt állomásokról jelenleg egyetlen paramétert veszünk át minden mérési rekordhoz: a csapadékösszeget. A csapadék kiválasztását az indokolja, hogy a forgalomra kettős hatást gyakorol. Egyrészt közvetlenül befolyásolja a forgalmi sebességet: jelenléte csökkenti a tapadást és a látótávolságot, ami mérhető sebességcsökkenéshez vezet. Másrészt a közlekedésmód-választásra is hat, hiszen csapadékos időben többen választják az egyéni gépjárműves közlekedést a tömegközlekedés, a gyaloglás vagy a kerékpározás helyett, ami a hálózat forgalmi terhelését is megnöveli. A HungaroMet állomásai a léghőmérsékletet és a szélsősebességet is szolgáltatják; ezek forgalmi hatásának számszerűsítése – például a fagyveszély vagy a nyílt, hídon futó szakaszok szélterheltségének figyelembevétele – a jövőbeli kutatás irányát jelöli ki, ehhez azonban a meteorológiai és a forgalmi idősorok összekapcsolásának további módszertani fejlesztése szükséges. A minősítés alapegysége a negyedórás mérési rekord: csapadékosnak minősül, ha a hozzárendelt állomáson a csapadékösszeg eléri a 0,1 mm-t, egyébként száraz besorolást kap.

7. Térbeli adathiány-kezelési stratégiák

7.1 Térbeli interpolációs módszerek forgalmi alkalmazásban

Az adathiány-kezelés a detektoros hálózatok visszatérő problémája, amellyel a nemzetközi szakirodalom is kiterjedten foglalkozik. Chen et al. (2003) a szomszédos hurokdetektorok lineáris összefüggésén alapuló, historikus profilokat is felhasználó módszere az egyik legelterjedtebb kiindulópont; Joelianto et al. (2022) szurabájai vizsgálata – 285 urbánus detektor adatain – azt mutatta ki, hogy a városban belüli térbeli hálózat bevonása robusztusabb pótlást ad, mint az egyedi detektorra épülő módszer, különösen egésznapos adathiány esetén. Chen és Sun (2022) Bayes-féle temporális faktorizációs (BTF) kerete, amellyel az alacsony rangú mátrix- és tenzorfaktorizáció vektoros autoregresszív folyamattal integrálódik, városi forgalmi és légszennyezési adatsorokon egyaránt megbízható pótlást és előrejelzést ad.

Az alábbiakban azt a megközelítést ismertetjük, amelyet ezekre az elvekre támaszkodva, a Budapest Közút hálózatának sajátosságaihoz igazítva dolgoztunk ki. A módszer lényege: a kieső detektor helyett a hálózaton keresztül elérhető legközelebbi működő mérőpontok adatait vesszük alapul, de kizárólag akkor, ha azok időbeli és időjárási kontextusa megegyezik a hiányzó mérésével – reggeli csúcsforgalmi adatot csak reggeli csúcsforgalmi referenciával becsülünk.

7.2 Geostatistikai megközelítések adaptációja

A geostatistikai módszerek hálózatokra szabott változata, az ún. network kriging, a hálózati geometriát és a forgalom

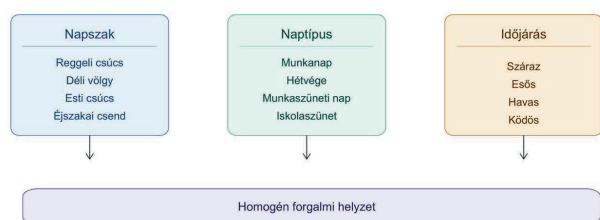
irányultságát is beépíti a variogramba. Sűrű belvárosi hálózatokon, ahol sok szomszédos mérőpont áll rendelkezésre, ez a megközelítés eredményesen alkalmazható: a hálózati távolságon alapuló variogram-számítás szignifikánsan pontosabb interpolációt ad, mint a hagyományos, euklideszi módszer.

8. Gyakorlati alkalmazás és eredmények

8.1 Forgalmi adatok természeti és társadalmi kontextusba helyezése

A forgalomirányítási rendszer által mért, nyers detektoros adatok – forgalomnagyság, foglaltság, átlagsebesség – önmagukban nem értelmezhetők anélkül, hogy ismernénk azt a természeti és társadalmi környezetet, amelyben keletkeztek. Ugyanaz a mért sebességérték más-más jelentéssel bír egy hétköznapi reggeli csúcsban, egy havas vasárnap délelőttön, vagy egy munkaszüneti nap előestéjén.

Az időbeli kontextus három fő dimenzióból épül fel. A napszak meghatározza, hogy a mérés reggeli csúcsforgalmi időszakba (6–9 h), déli völgybe, esti csúcsba (15–18 h) vagy éjszakai csendes időszakba esik-e. A naptípus besorolás – hétköznapi, szombat, vasárnap, ünnepnap, iskolaszünet, áthelyezett munkanap – a keresleti oldal társadalmi mintázatát tükrözi. A szezonális tényező a naptári időszakot jelöli ki. napszak, a naptípus és az időjárás együttese adja azt az értelmezési keretet, amelyben a nyers mérési adatok a harmonizált forgalmi hatássá állnak össze (3. ábra).



3. ábra A forgalmi detektorok mérési adatainak kontextualizált keretrendszere

8.2 Az időjárás hatás számszerűsítése a budapesti detektorhálózaton

A kontextuális megközelítés indokoltságát a detektorhálózat saját mérésein vizsgáltuk. Az elemzés 160 budapesti jelzőlámpás csomópont detektoradataira terjedt ki a 2024. novembere és 2026. márciusa közötti időszakban, összesen több mint 20 millió negyedórás mérési rekord alapján. Csomópontonként a csapadékos és a száraz órák átlagos forgalomnagyságát hasonlítottuk össze; a statisztikai megbízhatóság érdekében csak

a legalább 50 csapadékos órával rendelkező csomópontokat (147 db) értékeltük.

Csapadékos körülmények között a vizsgált csomópontok 84%-ánál nőtt a mért forgalomnagyság a száraz referenciához képest; a növekedés átlagosan 7,3% (medián: 5,0%) volt. A reggeli csúcsidőszakban a növekedés átlagosan 13,6% (medián: 12,4%), és a csomópontok 93%-ánál jelentkezik. A délutáni csúcsban viszont az átlagos eltérés mindössze 4,5%, a medián 0,8%, és a csomópontoknak már csak 54%-ánál mérhető növekedés.

Nagy kapacitású, sugárirányú főúti csomópontokon a reggeli csúcsban 40–60%-os forgalomnövekedést is mértünk csapadékos időben. Ezzel szemben a szabadidős célforgalmú, hegyvidéki helyszíneken 15–20%-os csökkenés jellemző, és a bevásárlóközponti célforgalmat kiszolgáló csomópontokon is 10–20%-kal alacsonyabb a csapadékos időszakok forgalma.

8.3 A Google–BKK harmonizált lámpahangoló rendszer vizsgálata

A kifejlesztett módszertan alkalmazási keretét a Google és a BKK (Budapesti Közlekedési Központ) 2023 októberében elindított, harmonizált lámpahangoló rendszere adja (BKK 2023). A rendszer célja a jelzőlámpák kapcsolásának a tényleges forgalomhoz igazítása volt Budapest több főútvonalán. A Google saját mérései szerint a beavatkozás nyomán az érintett csomópontokon az álló járművek aránya legfeljebb 30%-kal csökkent, a csomóponti emissziók pedig legfeljebb 10%-kal mérséklődtek (Google 2024).

A fentiekben leírt topológiai adatterjesztéssel olyan útszakaszokon is kapunk forgalmi becslést, ahol nincs közvetlen mérés. A szomszédos detektorok adatait hálózati távolság és a csomóponti fokszám alapján súlyozzuk, és az így kapott érték a lámpahangoló rendszer bemeneteként felhasználható. Ez a módszertan jelenleg műszaki tervezési fázisban van; a fővárosi rendszerbe való illesztés részleteinek kimunkálása folyik.

9. Következtetések és kitekintés

A tanulmányban saját kutatásaink alapján három, egymásra épülő módszertani elemet mutattunk be. Az első a detektor–útszakasz hozzárendelés, amely irányalapú szűrővel pontosabb lefedettségű képet ad, mint a hagyományos puffer-alapú megközelítés. A második a topológiai adatterjesztés: az adat akkor öröklődik a szomszédos szakaszra, ha a csomóponthoz a két érintett szakaszon kívül semmi más nem csatlakozik (2°); bármilyen más csatlakozó szakasznál a terjesztés megáll ($3^\circ+$). A harmadik a kontextuális adatkezelés: minden mérési rekordhoz hozzárendeljük a naptípust, a napszakot és az időjárás állapotot.

A Google–BKK lámpahangoló rendszer vizsgálata megmutatta, hogy a lefedetlen szakaszok becslése és az időjárás kontextus kezelése a budapesti forgalomirányítási döntéshozatalban valós, gyakorlati igény. A detektorhálózat 160 csomópontjának másfél éves idősorán végzett elemzésünk számszerűen is igazolta a

kontextualizálás szükségességét: a csapadék hatása a reggeli csúcsban a csomópontok 93%-ánál forgalomnövekedésként (átlagosan +13,6%), a szabadidős és célforgalmi helyszíneken viszont 10–20%-os csökkenésként jelentkeznek. Az új módszertan jelenleg a műszaki tervezési fázisban van; a forgalomirányítási rendszerbe való illesztés részleteinek kidolgozása a Budapest Közútnál folyik.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Budapest Közút Zrt. ITS-csapatának az adatokhoz való hozzáféréseért és a módszertani fejlesztések támogatásáért.

Irodalomjegyzék

- BKK 2023: A Google és a BKK harmonizált lámpahangolással segíti a közlekedőket Budapesten. <https://bkk.hu/hirek/2023/10/a-google-es-a-bkk-harmonizalt-lampahangolassal-segiti-a-kozlekedeket-budapesten.10992/> (Letöltés dátuma: 2024. október 20.)
- Chen, C. – Kwon, J. – Rice, J. – Skabardonis, A. – Varaiya, P. 2003: Detecting errors and imputing missing data for single-loop surveillance systems. *Transportation Research Record* 1855: 160–167. DOI: 10.3141/1855-20
- Chen, X. – Lei, M. – Saunier, N. – Sun L. 2022b: Low-rank autoregressive tensor completion for spatiotemporal traffic data imputation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 23(8): 12301–12310. DOI: 10.1109/TITS.2021.3113608
- Chen, X. – Sun, L. 2022: Bayesian temporal factorization for multidimensional time series prediction. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 44(9): 4659–4673. DOI: 10.1109/TPAMI.2021.3066551
- Chen, Y. 2021: An analytical process of spatial autocorrelation functions based on Moran's index. *PLOS ONE* 16(4): e0249589. DOI: 10.1371/journal.pone.0249589
- Eliasson, J. – Hultkrantz, L. – Nerhagen, L. – Smidfelt Rosqvist, L. 2009: The Stockholm congestion-charging trial 2006: Overview of effects. *Transportation Research Part A* 43(3): 240–250. DOI: 10.1016/j.tra.2008.09.007
- Farkas-Németh, Z. – Pusztai, G. – Török, Zs. Gy. 2023: Sebességkorlátozó táblák dinamikus hozzárendelése tengelyhálózatokhoz. In: Lóki J. (szerk.): *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XIV.* Debreceni Egyetem, Debrecen, pp. 107–112.
- Google 2024: 2024 Environmental Report. Google LLC, Mountain View. <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2024-environmental-report.pdf> (Letöltés dátuma: 2026. március 3.)
- Hägerstrand, T. 1970: What about people in regional science? *Papers of the Regional Science Association* 24(1): 6–21.
- Hunt, P. B. – Robertson, D. I. – Bretherton, R. D. – Winton, R. I. 1981: SCOOT – A traffic responsive method of co-ordinating signals. TRRL Laboratory Report 1014. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- Jaelianto, E. – Fathurrahman, M. F. – Sutarto, H. Y. – Semajnski, I. – Putri, A. – Gautama, S. 2022: Analysis of spatiotemporal data imputation methods for traffic flow data in urban networks. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 11(5): 310. DOI: 10.3390/ijgi11050310
- LADOT 2022: Automated Traffic Surveillance and Control (ATSAC). Los Angeles Department of Transportation, Los Angeles. <https://ladot.lacity.gov/vehicles-streets/traffic-management/automated-traffic-surveillance-and-control-atsac> (Letöltés dátuma: 2024. október 20.)
- Lóki, J. – Demeter, G. 2009: *Geomatematika.* Debreceni Egyetem, Debrecen, 266 p.
- Lowrie, P. R. 1982: SCATS: Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic System – A traffic responsive method of controlling urban traffic. Roads and Traffic Authority, Sydney.
- Miller, H. J. – Shaw, S.-L. 2001: *Geographic Information Systems for Transportation: Principles and Applications.* Oxford University Press, Oxford, 458 p.
- Okabe, A. – Boots, B. – Sugihara, K. – Chiu, S. N. 2000: *Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams.* John Wiley & Sons, Chichester, 671 p.
- Oláh, Sz. – Kozma, K. – Barsi, Á. 2025: Pontfelhők geometriai és attribútumtorzulásai. *Geodézia és Kartográfia* 77(3): 18–26. DOI: 10.30921/GK.77.2025.3.3
- Smart Cities Dive 2017: This AI traffic system in Pittsburgh has reduced travel time by 25%. Smart Cities Dive. <https://www.smartcitiesdive.com/news/this-ai-traffic-system-in-pittsburgh-has-reduced-travel-time-by-25/447494/> (Letöltés dátuma: 2024. október 20.)
- Smith, S. F. – Barlow, G. J. – Xie, X.-F. – Rubinstein, Z. B. 2013: Smart Urban Signal Networks: Initial Application of the SURTRAC Adaptive Traffic Signal Control System. *Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling* 23(1): 434–442. DOI: 10.1609/icaps.v23i1.13594
- Török, Zs. Gy. – Zhang, X. – Wang, X. 2026: Multi-scale spatiotemporal GIS mapping of urban flood risk hotspots in Zhengzhou: implications for adaptation strategies. *Environmental Systems Research* 15: 10. DOI: 10.1186/s40068-025-00447-x
- TRL Software 2026: SCOOT – Intelligent Signal Control. TRL Software, Wokingham. <https://trlsoftware.com/software/intelligent-signal-control/scoot/> (Letöltés dátuma: 2026. március 3.)
- Wang, X. – Jerome, Z. – Wang, Z. – Zhang, C. – Shen, S. – Kumar, V. V. – Bai, F. – Krajewski, P. – Deneau, D. – Jawad, A. – Jones, R. – Piotrowicz, G. – Liu, H. X. 2024: Traffic light optimization with low penetration rate vehicle trajectory data. *Nature Communications* 15: 1306. DOI: 10.1038/s41467-024-45427-4
- Xie, X. – Smith, S. F. – Barlow, G. J. 2012: Schedule-driven coordination for real-time traffic network control. In: *Proceedings of the 22nd International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS 2012).* AAAI Press, Menlo Park, pp. 323–331. DOI: 10.1609/icaps.v22i1.13510

Szemle

Ki volt Bogdanich Imre Dániel és miért méltó az utókor tiszteletére?

Bogdanich Imre Dániel (1760-1802) korának kiemelkedő csillagásza, matematikusa, geodétája volt, aki rövidre szabott életét a tudománynak szentelte. Teljesítményét az utókor (nevezetesen a Geodéziai és Kartográfiai Egyesület és az MTA Csillagászati Kutatóintézete) is elismerte azzal, hogy tiszteletére 1972-ben a Citadellán emléktáblát és emlékoszlopot állíttatott. A Citadella felújítása előtt (1. ábra), 2020-ban, ezeket ideiglenesen raktárba vitték, de csak az emléktáblát állították vissza (2. ábra), az emlékoszlopot nem. Ennek az írásnak az a célja, hogy a Bogdanich-emlékoszlop visszaállítását indokolja, elősegítse.

Az emlékoszlop és az emléktábla avató ünnepségét 1972. június 23-án tartották a Gellért-hegyen, az egykori Uránia csillagvizsgáló helyén – erről szaklapunk, a Geodézia és Kartográfia részletesen beszámolt (Raum 1972). Magyar részről **dr. BendeŸy László** tudománytörténész (BendeŸy 1972), horvát részről **Karsulin** akadémikus mondott beszédet.



1. ábra A Citadella felújítása előtti állapot, 2020

Az emléktáblán fehér márványlapon a következő szöveg áll: „Bogdanich Imre Dániel 1762-1802 csillagász tudományos vizsgálatai alapján készült el hazánk első szabatos térképe. Munkássága emlékére és az Uránia csillagda helyének megjelölésére állította a Geodéziai és Kartográfiai Egyesület és

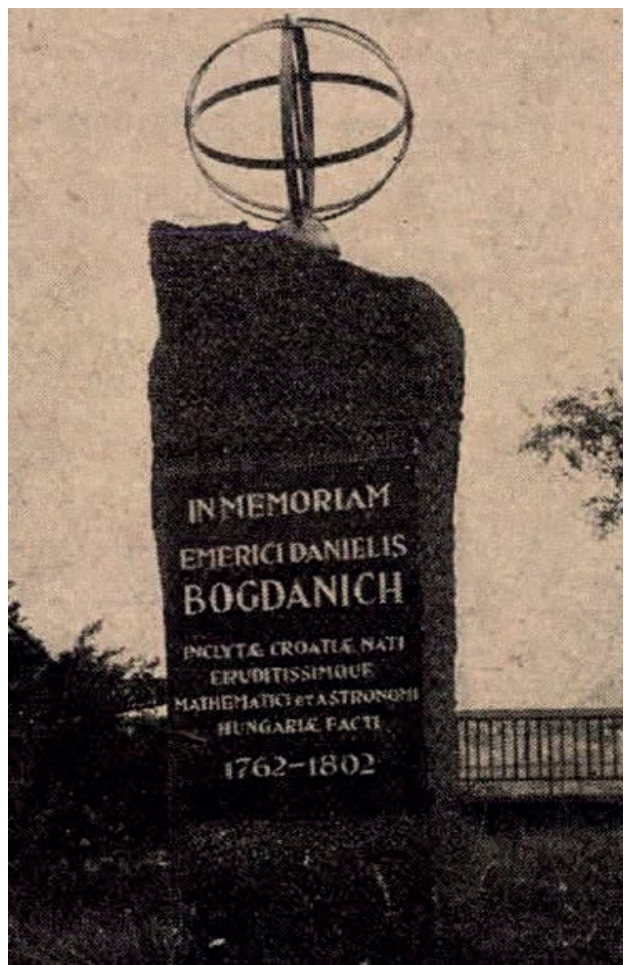


2. ábra A 2026-ban újra felállított emléktábla

a Magyar Tudományos Akadémia Csillagvizsgáló Intézete 1972.”

A fekete színű piroxén-andezit oszlopon (3. ábra) aranybetűkkel egy latin nyelvű felirat volt olvasható, amelynek magyar fordítása: „Bogdanich Imre Dániel a nemes Horvátország szülötte és Magyarország tudós matematikusa és csillagásza munkásságának emlékére 1762-1802”.

Az emlékoszlop tetején az avatáskor az éggömb főköreit – az égi egyenlítőt, ekliptikát, meridiánt – szimbolizáló, stilizált armilláris gömb volt látható. Az armilláris egy 1980-ban készült felvételen (Mizser 2015) még látszik (4. ábra), de később letörték, ellopták.



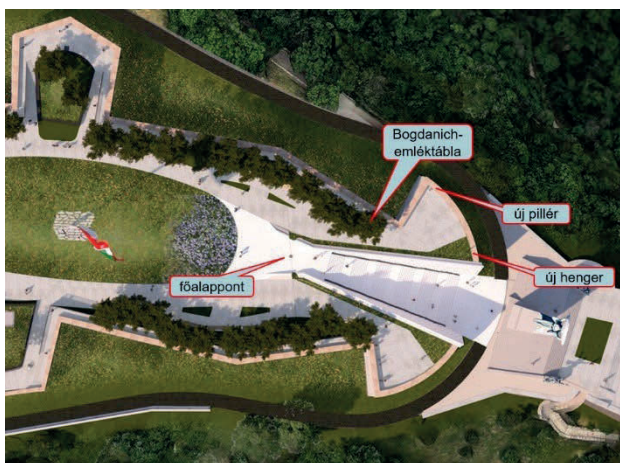
3. ábra Az emlékoszlop teljes állapotban

Tehát most nemcsak az oszlopot kellene felújítva elhelyezni a mai Citadellán, hanem az armillárist is újra kellene gyártatni. Feltehetően az ebből eredő költség az oka, hogy az emlékoszlop visszaállítására 2026-ban nem került sor. Az emléktábla egyébként a keleti rondellához vezető északi sétány végében található (5. ábra), mellette QR kódot tartó oszlopocska is van, amit beszkennelve további információkhoz juthatunk.

A következőkben megpróbálom vázolni *Bogdanich Imre Dániel* élettörténetét, bemutatni jelentőségét, ami nem könnyű feladat, mert bár többen írtak róla (Bartha 1987, Bendefy 1972, Reisz 1995, Vargha 1998), de az adatok néha nem egybehangzóak, és hát két és fél évszázad telt el működése óta.



4. ábra Az armillaris 1980-ban



5. ábra Az emléktábla helye látványterv felülnézetén

A tudóst nemcsak a magyar nemzet, de a horvát nemzet is fiának tartja (horvát neve *Mirko Danijel Bogdanić*), mert a mai Horvátországban, Szlavóniában, Verőce (horvátul: Virovitica) településen született horvát családban. Horvát és magyar levéltárosok kiderítették, hogy *Bogdanich Imre Dániel* nem 1762-ben született (ahogyan az az emléktáblán és az emlékoszlopon szerepel), hanem 1760. november 5-én. Erről konferenciát és kiállítást is rendeztek 2010 novemberében Zágrábban, ahol bemutatták az eredeti anyakönyvet is. Magyar részről *Reisz T. Csaba* főlevéltáros volt a konferencia szervezője (Reisz, Lemic 2010).

Bogdanich fiatal iskolaéveiről nincsenek megbízható adatok, *Bendefy* szerint Magyarországon járta az alsóbb fokú iskolákat és a liceumot, a horvátok szerint valószínűleg Zágrábban (Kren 2010). 1781-82-ben Grácban tanult. 1782-től a pesti egyetem (a mai ELTE) keretén belül akkor alapított Institutum Geometrico-

Hidrotechnicum (a mai BME elődje) első növendékeinek egyike volt.

Matematikai, mérnöki, csillagászati tanulmányokat folytatott, ezekben annyira kitűnt, hogy meghívták magántanárnak. Nyelvtehetség is volt: „A latinon kívül beszélem a magyar, a horvát, a német, a francia, az olasz és amennyiben a matematikához kell, az angol nyelvet is” – írta 1786-ban egy beadványában.

1785-től három évig Nagyváradon a főgimnáziumban görög nyelvet és felsőbb matematikát tanított (tanárjelöltek, humaniorák oktatója, repetense volt), majd 1788-ban a Váradi Kamarai Mérnöki Hivatal szolgálatába állt, mint háromszögoló és folyószabályozó mérnök.

Több alkalommal is pályázott valamilyen tudományos, oktatási intézményben állásra, sikertelenül (1790-ben Nagyváradon a megüresedett fizikai tanszéki katedrára, 1792-ben a budai csillagvizsgáló adjunktusi állására, 1794-ben a pesti egyetem felsőbb matematika tanszékére).

1793 és 1795 között a bécsi csillagvizsgáló munkatársa volt, mint a pesti egyetem ösztöndíjasa, itt könyvet is írt az üstökösök pályájának kiszámításáról.

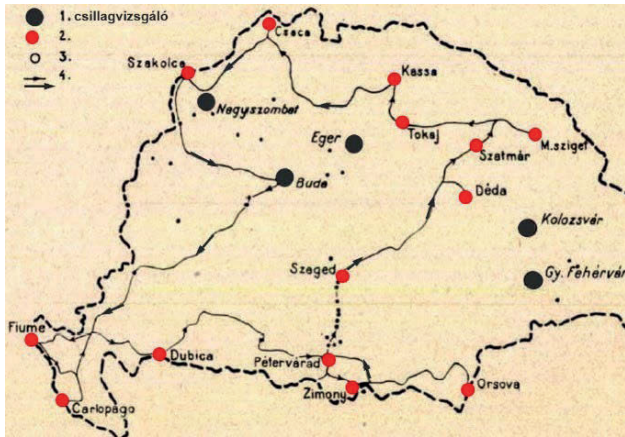
Bogdanich Dániel irodalommal, költéssel is foglalkozott, latin nyelvű cikkeket, verseket írt, néhány költeménye nyomtatásban is megjelent. A horvát nyelvű ismeretterjesztést is próbálta segíteni. Világtörténeti könyvet tervezett kiadni horvát nyelven, de csak az első kötet (*Közép-Ázsia története*) jelent meg Bécsben 1792-ben (*Dogodjaji svieta*).

Több próbálkozás után 1797 második felében lett a budai Várban működő egyetemi csillagvizsgáló munkatársa (1798 novemberétől első adjunktusa), eredményeit a bécsi csillagászati évkönyvekben publikálta.

1798 végén feladta a budai csillagában végzett munkáját, mert *Lipszky János* katona-térképész hívására elvállalta, hogy Magyarország számos pontján csillagok észlelése alapján földrajzi helymeghatározást (földrajzi szélesség- és hosszúságmérést) végezzen a készülő új nagyszabású Magyarország-térképhez (*Mappa generalis Regni Hungariae...*).

A közköltésen, a helytartótanács és személyesen *József nádor* támogatásával indított első expedíció (1798 és 1800 között) célja az volt, hogy lehetőleg az országhatár mentén végezzen földrajzi szélesség- és hosszúságmérést, ami a készülő térkép pontos keretét biztosítaná. Az első állomás Fiumében volt 1799 januárjában, ahol *Bogdanich* három teljes napon át észlelt a zord időben és sikerült is a földrajzi szélesség addig ismert értékét jelentősen (mintegy 16 szögperccel) pontosítani, de súlyosan megbetegedett. Famulusa, segédje a terepi mérésekben és az utazásban (a műszerek felügyeletében) az akkor 21 éves fiatal mérnök, *Huszár Mátyás* volt. Az időjárási és terepi nehézségek, nélkülözések, betegségek nem szegték kedvét. Második állomáshelyéről ezt írta „Sok fáradtság árán sikerült nagy pontossággal a sarkmagasságot meghatározni, mivel teljes négy hetet töltöttem éjszakai alvás nélkül Carlopago erődjének falainál. Csodálkozni fognak, mikor megfigyeléseimet

meglátják, hogyan tudtam ezt elviselni, de mégis, soha nem voltam egészségesebb, mint most, sőt, testi erőm annál inkább növekszik, minél inkább ehhez az életmódhoz szoktatom testemet. De az érzés is, hogy hazámnak valamelyest hasznos lehetek, új erőt adott”. Végül 14 állomáson végzett sikeres mérés után (6. ábra), 1800 januárjában tért vissza Budára.



6. ábra A Bogdanich által mért csillagászati fixpontok (pirossal) és az expedíció útvonala (Glaser (1938) és Reisz (2002) nyomán)

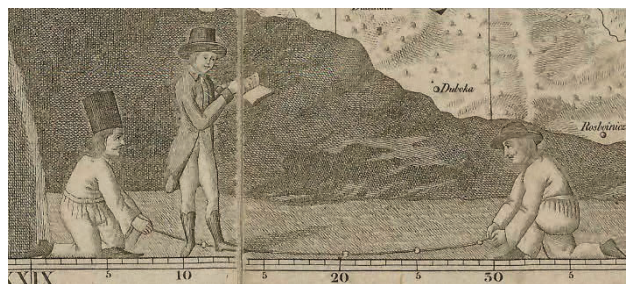
A második expedíció már rövid volt: 1801 júniusában indult az Északi Középhegységbe, ahonnan ősszel tért vissza Budára. A mérések feldolgozását csak ágyban fekve tudta végezni, ebben is *Huszár Mátvás* volt segítségére.

Bogdanich Dániel több hónapnyi szenvedés után, a hosszú kiküldetésben szerzett tüdőbajban, negyvenegy évesen, 1802. január 31-én hunyt el.

Lipszky János huszárkapitány több mint egy évtizedes kitartó munkával szerkesztett Magyarország-térképe végül 1806-ban jelent meg és nagy népszerűségnek örvendett. Többen úgy vélik, hogy *Lipszky* ezen térkép díszítőrajzain állított emléket segítőinek. *Hrenkó Pál* írja a *Lipszky-térkép* 8. szelvényének díszítőrajzán (7. ábra) szereplő alakról (Hrenkó 1998): „Bogdanich most bemutatott képe felett évtizedek óta átsiklottam. Túl egyszerűnek tartottam, mint amely nem illik *Lipszky* huszárnagy zseniális kartográfiai művéhez. Végül is a kezében tartott szextáns rajza vezetett a bizonyossághoz.” Ugyanis dokumentumok igazolják, hogy *Bogdanich Imrének*, a második expedíciójához gróf *Széchenyi Ferenc* egy tükrösszextánszt adományozott. Újra *Hrenkót* idézem: „... nem földmérőt, hanem állig felöltözött (csizmás, kalapos) tudós geodétát látok. Törekény alakja együtt görnyed a menedéket adó fával. Tükrös szextánsát a Nap felé irányozva csillagászati észlelést (szögmérést) végez. A földgömbnél segédkönyvvel és mérőközzel foglalatoskodó puttók mintha számításokat és szerkesztést végeznének. A geodéta vezeti a láncmérést is. Mindez alapvonalméréssel párosult asztrogeodéziai helymeghatározást szemléltet, *Bogdanich Dániel* terepen munkálkodó csillagász kétszer is megrajzolt alakjával.” A láncmérés jelenete a *Lipszky-térkép* ugyanezen díszítőrajzán látható (8. ábra).



7. ábra A *Lipszky-térkép* 8. szelvényén szextáns tartó személy *Hrenkó Pál* szerint *Bogdanich* lehet



8. ábra Láncmérés a *Lipszky-térkép* jelenetén

Bogdanich Imre Dániel életét több okból ismerjük részletesebben. Egyrészt többször pályázott különböző állásokra és ezek dokumentációja a kancellária és a helytartótanács jó bürokráciája révén fennmaradt, amit precíz kutatók, levéltárosok feldolgoztak. Másrészt a tudós az expedíciója során levelezésben volt barátjával, *Schnedius Lajossal*, aki a leveleket *Zach Ferenc* csillagásznak továbbította és azokat az általa alapított szaklapokban megjelentette. *Bogdanichnak* több barátja volt, az ő megemlékezéseik, ajánlásaik is fennmaradtak. A barátok, támogatók közül külön kiemelném a horvát származásúakat (Kren 2010). Név szerint: a baranyai származású *Joseph Mitterpacher* (aki matematika tanára volt, mentorálásával díjazott dolgozatokat írt); a horvát-magyar *Pasquich János* pap, csillagász, matematikus, *Mitterpacher* utóda a matematika tanszéken, igazgató a budai csillagdában; a zágrábi születésű *Bruna Ferenc* szerzetes, csillagász, a budai csillagdában elődje az első adjunktusi poszton; a zágrábi *Domin Ferenc* matematika és fizika tanár, valamint *Horváth János* gradistyei származású tankönyvíró fizikus.

Pasquich János szerint „Bogdanich egy rendkívüli Genie, és bizonyosan az osztrák Monarchia egyik első matematikusa.”

Domin Ferenc Bogdanich egyetemi bizonyítványába ezt írta: "Bogdanich Imre Dániel [...] ma a bölcsészeti fakultáson a differenciál- és integrálszámításból és felsőbb geometriából vizsgát tett, s kiváló eredményt ért el [...] a gyakorlati geometriát olyan szinten tanulta, hogy ebből a tárgyból minden évben jutalmat nyert."

Bendefy László így írt róla: „A tudománytörténet nem sok olyan sziklaszilárd jellemű egyéniséget tud felmutatni, aki versenyezni tudna Bogdanich Dániellel tudás, szerénység és a közjó érdekében áldozatot kívánó tudományos cél eléréséért tanúsítandó rettenthetetlen kitartás dolgában...”.

Szerdahelyi György kanonok, *Bogdanich* egykori esztétika tanára latin nyelvű versében gyászolta halálát:

„A csillagászat miatt, melyben erejét
gyarapítani s életét tölteni kívánta, halt meg
ifjú férfiként Dániel! Túlhajtott munka szakította szét
életét s gyászba borította csillagainkat.”

Ha elolvassuk a levéltárosok által feltárt összes dokumentumot *Bogdanich Imre Dánielről*, egy olyan fiatalember áll előttünk, aki önmagát nem kímélve valóban a tudománynak áldozta életét.

Igazán megérdemelné, hogy emlékoszlopa (az armillárisal kiegészítve) újra ott álljon a Citadellán.

Dr. Busics György

Irodalom

Bendefy László, 1972. A leleplezési ünnepségen elhangzott emlékbeszéd. *Geodézia és Kartográfia*, 1972/5. 364-366.

Bartha Lajos, 1998. Bogdanich Imre Dániel felsőgeodéziai méréseinek eredményei Lipszky Magyarország-térképének tükrében. <http://lazarus.elte.hu/hun/tantort/1998/bartha.htm>

Glaser Lajos, 1938. Lipszky térképe. *Búvár*, 1938/3. 193-197.

Hrenkó Pál, 1998. Prixner magyar rézmetsző térképi illusztrációi. *Geodézia és Kartográfia*, 1998/8. 37-41.

Kren, Tatjana, 2010. Mirko Danijel Bogdanić (1760-1802) Astronom, matematičar, geodet i hrvatski prosvjetitelj. (In English: Astronomer, Mathematician, Surveyor and Croatian Educator). *Kartografija i geoinformacije*, 9 (2010) 14, 196–225. <https://hrcak.srce.hr/64978>

Mizser Attila, 2015. Séta a Citadellán. *Meteor*, 2015/11. 25-27.

Raum Frigyes, 1972. Emlékezés Bogdanich Imre Dánielre. *Geodézia és Kartográfia*, 1972/5. 363. o.

Reisz T Csaba – Vlatka Lemic, 2010. „Tragač za zvijezdama”: Izložba u povodu 250. obljetnice rođenja hrvatskoga astronoma i matematičara Danijela Mirka Bogdanića & 200. obljetnice dovršetka Lipszkyjevoga zemljovida Ugarske. *Zágráb, Horvátország: Magyar Országos Levéltár*, 40 p.

Reisz T. Csaba, 1995. Bogdanich Imre Dániel az osztrák monarchia első matematikusa. *Természet Világa*, 1995/2. 90-93.

Reisz T. Csaba, 2002. Magyarország általános térképének elkészítése a 19. század első évtizedében. Lipszky János és segítői térképészeti vállalkozásának ismertetése. *Cartofil*, Budapest, 2002. https://library.hungaricana.hu/hu/view/MoIDigiLib_VSK_Reisz_Lipszky/?pg=5&layout=s

Vargha Domokosné, 1998. Bogdanich Imre Dániel, a Mappa Hungariae csillagásza. *Élet és Tudomány*, 1998/2.

60 év a GEODÉZIA (BGTV) szolgálatában

A Geodézia és Kartográfia szaklapunk 2015/3-4 számában megjelent egy cikkem, amely címében csak egy karakterrel különbözött a mostanítól, a 6-os szám helyett 5-ös szerepelt, vagyis munkásságom ötven évét tekintette át Cégünknel. Tíz évvel ezelőtt nem lehettem biztos, hogy egyáltalán még élni fogok tíz év múlva, azt meg végképp nem gondolhattam, hogy a Geodézia Zrt. dolgozója leszek 2026. április 13-án is. Hát mindkettő megvalósult: élek, és még mindig a cégünk dolgozója vagyok.

Sokat gondolkoztam azon, hogy e szép jubileum alkalmával írjak-e valamit az elmúlt 60 éves munkásságomról, hiszen az ötven évről, az említett cikkemben nagyon részletesen kifejtettem – a szakmánk fejlődésén keresztül – az én tevékenységemet és karrieremet e Cégünknel. Hogy mégis amellet döntöttem, tudtára kell adni a „világnak” – de legalább a szakmabelieknek –, hogy létezik egy olyan „emberfajta”, aki képes egy Cégnél több mint 60 évet ledolgozni. (Azért jelen megszólalásommal még egy másik célt is szeretnék elérni, amit majd e cikkem végén fejtek ki.)

Az első 50 évről is szeretnék még egy kis összefoglalót írni, a részleteset megtalálják a 10 évvel ezelőtti cikkemben. Az összefoglalást kezdeném a szakmai tevékenységeimmel. Nem tartom túlzásnak, amit írtam az előző cikkemben, hogy a geodézia szinte minden szakterületén dolgoztam, talán annyiban pontosítanám, hogy a gyakorlati geodéziára vonatkoztatva, mert kutatással és elméleti geodéziával nem foglalkoztam. Egy kicsit részletezve: személyesen végeztem ill. irányítottam kataszteri felméréseket, ipari geodéziai munkákat – azon belül közműfelméréseket, közműkutatásokat – pontsűrítéseket, szanalási és kisajátítási munkákat, légi- és földi fotogrammetriát, sík- és térfotogrammetriát, sokszorosítást, valamint geodéziai tervezői és szakértői munkákat.

Beosztásaimmal kapcsolatban elmondhatom, hogy végigjártam a vállalati „ranglétrát”, mert voltam helyben felvett s.m. (vagyis: segédmunkás), segédmunkás, műszaki ügyintéző, brigádvezető, csoportvezető, irodavezető, osztályvezető, időnként főosztályvezető helyettes, termelésirányító, sőt, műszaki ellenőr is. Szóval nagyon elégedett vagyok a vállalati „karrieremmel”, ezzel kapcsolatban eszembe jut egyik régi főnököm mondása: „a mi szakmánkban, ha egy diplomás szakember 10 év után sem kerül valamilyen vezetői pozícióba, akkor jobb, ha másik helyet keres. Én pont tíz év után lettem csoportvezető, de nem hiszem, hogy ellenkező esetben elmentem volna a Cégünkötől. Pedig ajánlatot többször is kaptam.

A Cégnél betöltött egyéb tevékenységeimről is szólnék pár szót. Már csoportvezető koromban megválasztottak szakszervezeti

bizalminak, majd vezetőségi tagnak, később, 1998-ban a Geodéziai Dolgozók Független Szakszervezetének az elnöki tisztségét töltöttem be majd' 25 évig. Szociális érzékenységem miatt védtem a dolgozók érdekeit, de amit külön elismertek, folytattam azt a hagyományt, hogy évente megszerveztem a nyugdíjas találkozókat. Ezeken egy vacsora mellett, néha kis műsorral egybekötve, elbeszélgettek egymással a Cégünkől nyugdíjba ment dolgozók, volt főnökök. Sajnos, nekem kellett végigküzdeni a GDFSZ megszüntetését is. Sportegyesületünket, a Geodézia Sportkört majd 25 éves elnöki tevékenységem után voltam kénytelen felszámolni a lecsökkent taglétszám miatt. Működése alatt viszont igen aktívak voltunk, évközben a vidéki osztályokon sportversenyeket tartottak, minden évben ősszel egy kétnapos sporttalálkozót szerveztem, társvállalatok bevonásával. Öt sportágban voltak versenyek, éles küzdelemmel, komoly díjazással. A legbüszkébb a 2015-ös 50 éves jubileumi sporttalálkozóra vagyok. Ekkor a külső meghívott vendégekkel és résztvevőkkel, összesen kb. 300 fővel – műsorokkal, tűzijátékkal, légballoonozással, ünnepi vacsorával, díjakkal – emlékeztünk meg az 50 évről, természetesen Céges finanszírozással.

A vállalati szaklapunk szerkesztése, nyomtatása, terjesztése mellett majd' 10 évig főszerkesztője voltam a FÖLDMÉRŐ újságnak, mely lassú elhalás mellett 2011-ben szűnt meg véglegesen.

Tagja, majd elnöke voltam a vállalati Lakásbizottságnak. Összekötő szerepet bíztak rám a 90-s években, a magyar-lengyel baráti társaság, a Kereskedelmi és Iparkamara, a Magyar Mérnöki Kamara és az MFTTT tevékenységében. Utóbbi

szervezésében készült el a Magyar Földmérők Arcképcsarnoka IV. és V. kötete, melyek szerkesztőbizottságának tagja voltam.

A Cégünk legutóbbi tíz évének a tevékenységében végzett munkáim már nem voltak olyan színesek és változatosak. Elsősorban a hagyományos geodéziai munkák műszaki ellenőrzését, minőségbiztosítását végeztem és végzem ma is, a terepi mérésekre is kijárok a felmérést végző kollegákkal. Továbbra is kapcsolattartó vagyok a Magyar Mérnöki Kamara és az MFTTT felé. Tehát ameddig az egészségi állapotom megengedi, és a főnökeim is igényt tartanak rám, vagyis ameddig valamennyire hasznos lehetek a Cég tevékenységében, addig szívesen segítem munkájukat, mert nem véletlenül vagyok 60 éve ugyanannak a Cégnek a megelégedett alkalmazottja.

És akkor rátérnék a fentebb jelzett járulékos célmra. Mivel tudomásom szerint még sok régi céges kollegám olvassa ezt a szakmai lapot, előre szeretném jelezni, hogy idén – szeptember 1-jén – lesz 75 éves a BGTV jogutódja, a jelenleg is működő Geodézia Zrt. Ennek vezetője, **Farkas Bálint** vezérigazgató úr felkért, hogy szervezzek meg egy jubileumi nyugdíjas találkozót. Erre valószínűleg idén szeptember közepén fog sor kerülni, melyre a Cégnél korábban állományban volt dolgozókat fogjuk meghívni. Időben fogjuk értesíteni a meglévő címlistáim alapján a meghívottakat. Mivel többen elköltözhetnek, vagy sajnos elhaláloztak, kérem, hogy aki olvassa ezt a cikkemet, továbbítsa volt kollegáink felé, és jelezzék felém telefonon, vagy e-mail-ben a változásokat.

Csabányi Lajos
Geodézia Zrt.

Rendezvények

IUGG Nap rendezvény

2026. április 22.

A Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió Magyar Nemzeti Bizottsága (IUGG MNB, <https://iugg.epss.hu/>) immár második alkalommal szervezte meg az IUGG Nap elnevezésű rendezvényt, amelyre idén szimbolikus módon a Föld napján, 2026. április 22-én került sor. Az esemény célja, hogy erősítse a szakmai kapcsolatokat és az információáramlást a kvantitatív földtudományokkal foglalkozó magyar kutatók között, valamint lehetőséget biztosítson friss kutatási eredményeik bemutatására és megvitatására.

Az idei rendezvénynek a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Általános- és Felsőgeodézia Tanszéke adott otthont. **Rózsa Szabolcs**, az IUGG MNB elnökének megnyitóját követően az érdeklődők három szekcióban összesen 15 szakmai előadást hallgathattak meg. Az első szekcióban az IAGA és az IASPEI nemzeti képviselői által felkért előadók mutatták be eredményeiket űrkutatás, infrahang-monitoring és szeizmológia témakörökben.



A kávészünetet követően az IAG-hoz és az IAHS-hez kapcsolódó előadások következtek különböző geodéziai és hidrológiai témákban. Szó esett többek között szeizmotektonikus események dőlésmérőkkel történő vizsgálatáról, kínai vízgyűjtő területek tömegátrendeződési folyamatainak műholdas megfigyeléséről, valamint – egy Sopron melletti mintavízgyűjtőhöz kapcsolódóan – aktuális kutatási irányokról.

A nap utolsó szekciójában elsősorban meteorológiai és légkörfizikai témájú előadásokat hallhattak a résztvevők, például a magyarországi hóviszonyok alakulásáról, a mediterrán ciklonok kategorizálásáról, valamint a Golf-áramlat lehetséges összeomlásának statisztikus fizikai előrejelzéséről.

Összességében elmondható, hogy a magas színvonalú szakmai előadások iránt jelentős érdeklődés mutatkozott a kutatói

közösség részéről. Ugyanakkor a jövőben érdemes nagyobb hangsúlyt fektetni a rendezvény népszerűsítésére a releváns szakokon tanulmányokat folytató egyetemi hallgatók körében.

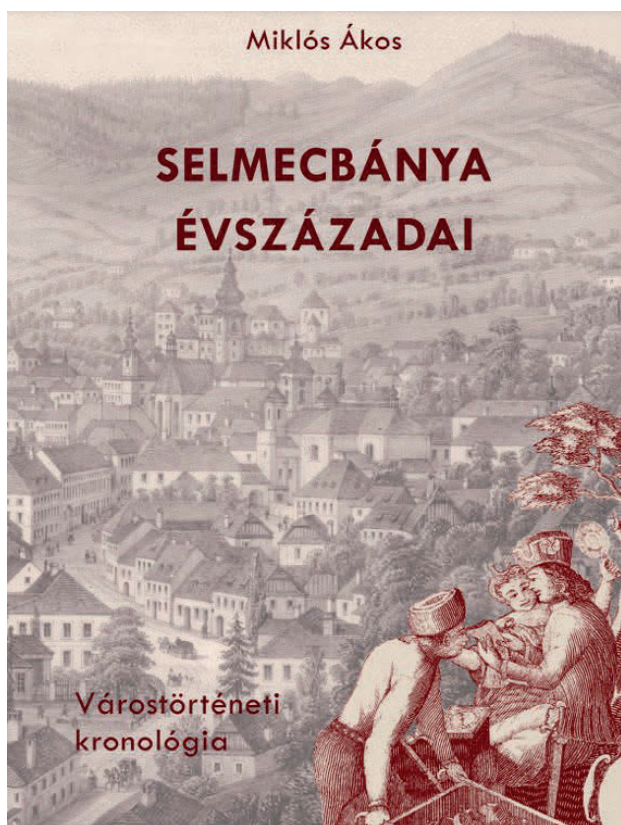
Rózsa Szabolcs és Bozóki Tamás

IUGG MNB elnöke és titkára

Könyvismertetés

Miklós Ákos: Selmecebánya évszázadai

Várostörténeti kronológia



Bányászattörténeti Kutatások Alapítvány, Rudabánya, 2024. 197 oldal. Letölthető a Magyar Elektronikus Könyvtárból: <https://mek.oszk.hu/25500/25595/>

Előbb a szerzőről. Miklós Ákos 2012-ben fejezte be – kiváló eredménnyel – tanulmányait Székesfehérváron, az akkor éppen 50 esztendő GEO-ban. Hallgató korában aktív részese volt a selmeci diákhagyományoknak, szakestélyeken többször töltötte be a nótabíró tisztségét, erre utal alias neve is: *Dalospacsirta*. A végzést követően másfél esztendőt töltött el önkéntesként Selmecebányán, a környék térképezésével, történetének feltárásával foglalkozott, közben szlovákul is megtanult (nyelvismeret nélkül e mű nem jöhetett volna létre). Később elvégezte az ELTE térképész szakát is.

Selmecebánya egykori Akadémiáját négy magyar város (Sopron, Miskolc, Dunaújváros, Székesfehérvár) felsőoktatása tartja elődjének és a selmeci diákhagyományok ma is élnek (szerepelnek az UNESCO Szellemi Kulturális Örökség magyar nemzeti jegyzékében). Az Akadémia sorsa, exodusa és a diákhagyományok múltja iránt ezért van érdeklődés. Jól tette azonban a szerző, hogy nem a szűkebb értelemben vett Akadémia-történetet meséli el, hanem azt sokkal tágabb földrajzi, történeti környezetbe helyezi – ezért gondolom jó választásnak, hogy magának a városnak a történetére koncentrál, amit a cím is kifejez. Az időrend nem a szokásos „első írásbeli említés”-sel kezdődik, hanem magával az ősrobbanással és a földtörténeti korok tájra gyakorolt hatásával. Ez is érthető, hiszen Selmecebánya alapvetően bányaváros volt, az arany- és ezüstművelés fő helyszíne a középkori Magyar Királyságban, így az ércek keletkezéstörténetét is érdemes megismerni.

Maga a várostörténeti kronológia így tagolódik fejezetekre: őskor, római kor, a népvándorlás kora, majd a XI. századtól évszázadok szerinti bontásban máig. Kiemelt szerep, részletesebb bemutatás jut Selmecebánya „aranykorának” (XIV. század), „ezüstkorának” (XVIII. század), az Osztrák-Magyar Monarchia időszakának, az 1918-19-es államfordulatnak (szlovákul: *prevrat*) és az ezt követő időszaknak. Itt külön kiemelném, hogy Selmecebánya Trianon utáni történetét – magyar szemmel legalábbis – senki nem írta meg, erre a Szerzőn kívül bizonyára kevesen lennének képesek. A minket leginkább érdeklő rész, vagyis az Akadémia kényszerű költözködések eseményei is pontosan, részletesen, elfogultság nélkül (a 100 éves évfordulón feltárt új tények beépítésével), a selmeci, budapesti, soproni történeteket párhuzamosan követve kerültek be a kronológiába. A kiadvány tartalmi felépítése egyébként a kronológiáknak megfelelő: vastag betűkkel a dátum, majd kicsit beljebb az esemény rövid tényyszerű leírása. A dátum többnyire napra pontos (van, ahol a napon belüli órát is megadja), de van, ahol a dátumot csak évszámmal, évtizeddel, vagy még nagyobb bizonytalansággal lehet megadni. A dátum előtt kis piktogramok segítik a tematizálást: így tartalmi szempontból például megkülönböztet világtörténelmi és országos eseményeket, királyok uralkodási időszakát (koronával jelölve), bányászati-kohászati, erdészeti vagy építészeti vonatkozásokat, városi vagy városkörnyéki általános eseményeket. Az oktatási eseményeket nyitott könyv, a diákélet eseményeit söröskorsó piktogram jelzi a dátumnál.

Azt gondolnánk, hogy egy várostörténeti kronológia végigolvasása unalmas, és csak olyankor vennénk elő, amikor egy lexikont. Esetünkben azonban ez nem így van. Bár az ismertető szöveg az egyes dátumoknál tömör és szenvtelen, a város története azonban roppant fordulatos, érdekes, az eseményeknek pedig máig kiható következménye és tanulsága van. Segíti a figyelem fenntartását, hogy a szöveg stílusa visszafogott, olvasmányos, sok újdonságot, gyakran pedig elgondolkodtató megállapításokat tartalmaz.

Megtudhatjuk például, hogy a XIV. század közepén az európai aranytermelés 80%-át, az ezüst-termelés 25%-át magyarországi bányák adták. Selmec pedig (a XVI. században) a hét magyar bányaváros összesített ezüst-termelésének kétharmadát adta. Amikor a király (II. Lajos 1524-ben) a várható török támadás elleni fegyverkezéshez kb. 2,5 kilónyi ezüstöt kért, Selmec városa nem adott, mondván saját védelmükről kell gondoskodniuk. („Ez egyrészt mutatja, hogy a polgárokat nem érdekelte az ország egészének védelme, másrészt azt, milyen csekély volt ekkoriban az eladósodott király hatalma és tekintélye.”)

Nagyon érdekes és tanulságos a Rákóczi-szabadságharc és az 1848-49-es szabadságharc selmeci eseményeinek kronológiája. 1848 májusában például volt egy zászló-vita a diákság körében arról, hogy milyen sorrendben tüzzék ki a német, a magyar és a szlovák zászlót egy kávéházon. Ezen összevesztek, és 133 fő nem magyar érzelmű diák elhagyta Selmecet. Ennek következménye lett Stájerországban a leoben, Csehországban pedig az ostravai műszaki egyetem megalakulása...

A kronológiából számos ismert és kevésbé ismert dolgot is megtudhatunk. Selmecen indult meg már az 1560-as években a bányatérképezés, itt rendezték meg 1786-ban az első nemzetközi műszaki-tudományos konferenciát. Selmecen, az evangélikus líceumban tanult Petőfi Sándor (1838 szeptemberétől, de csak fél évig, mert megbuktatták magyar történelemből), ugyanitt tanult és érettségizett Mikszáth Kálmán (1866-ban). Itt festette 1899-ben Csontváry-Kosztka Tivadar híres festményét, rajta az Erzsébet királynéra emlékeztető E jelű erdőirtás-folttal.

Az 1871-es esztendő örömdetes volt abból a szempontból, hogy ősztől már az Akadémia minden szakán és évfolyamán magyar nyelven folyt az oktatás, de ugyanebben az évben a diákság két pártra (két társaságra) szakadt, amit megsínylettek a következő évek. 1879-ben Ifjúsági Kör néven egyesült a két társaság és „ez a kör lett letéteményese mindannak, amit ma Selmeci Hagyományok név alatt ismerünk”.

Oktatóként az 1872-es esztendőnél érdekes volt olvasnom az Akadémián bevezetett átfogó reformokról: a nagyobb autonómiáról, az új szakokról, a diploma bevezetéséről a végbizonyítvány helyett, valamint arról, hogy a hallgatóság nagyobb tanszabadságot kapott (mint az újabb időkben, a kreditrendszerben). Az 1876-os esztendőnél viszont ez olvasható: „Visszaállítják a kötött tanítás rendszerét, mivel az 1872-ben bevezetett tanszabadság nem hozott eredményt: a hallgatók háromnegyede nem kollokvált, és eredmény nélkül távozott az Akadémiáról.”

A kiadvány erényének tartom, hogy – érzésem szerint – a „nehéz” témákat is tényszerűen, pártatlanul, valóságűen mutatja be. Ilyen az evangélikus-katolikus viszony, amely többször megmérgezte a város életét, vagy a magyar-szlovák viszony (az erőltetett magyarosítással és erőltetett szlovákosítással), amelyet máig nem „oldott békévé az emlékezés”.

Számomra a legizgalmasabb volt olvasni a második világháború utáni történeteket leíró, mintegy 20 oldal terjedelmű részt (amely a 2023-as emlékeztető tűzvésszel zárul) – talán azért, mert ezen események jó részét magam is átéltem. Először arra gondoltam, hogy szó szerint idézek néhány bekezdést, bemutatandó a szerző kifinomult stílusát, tömör helyzetleírását, de letettem erről, mert annyi mindent kellene idéznem. Itt is párhuzamosan sorjáznak a közelmúlt eseményei, történései a városra koncentrálva, de kitekintve a világra és a selmeci kötődésekre is. Itt már óvatos értékeléseket, véleményeket is olvashatunk, szóba kerül a jövő, amely mindannyiunk előtt rejtélyes. Csak ajánlani tudom ennek a résznek az olvasását, mert a mai város problémái, a fiatalok gondjai, a diákhagyományok sorvadása, az asszimiláció, a globalizáció, a dzsentifikáció (ezzel a szóval itt találkozom először) voltaképpen mindnyájunkat érintenek.

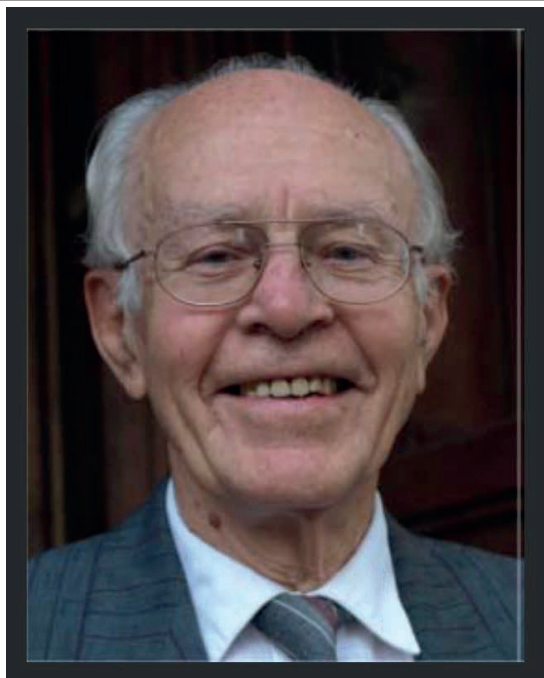
A könyv végén 112 tételes forrásjegyzék és mintegy 30 oldalas függelék található. A függelékben szerepel – többek közt – földtörténeti áttekintés, idővonal, népesség-statisztika, bányászati kitermelési adatsor, névsor a városvezetőkéről, bányagazdátokról, akadémiai vezetőkéről. Ezek mind értékes, konkrét adalékok a történehez. Leginkább azonban azt az öt színes, igényes térképet tudtam értékelni, amelyet a szerző maga készített. Az egyik térkép a selmeci bányavidék áttekintő domborzatos térképe (M=1:90000), a másik négy pedig a belvárost ábrázolja négy időpontban (1400, 1700, 1900, 2000) az akkor használatos helynevekkel és nyelveken. (Utóbbi két térkép e számunk hátlapján is látható.)

Aki megpróbált már kronológiát összeállítani, tudja, hogy ez egy rendkívül időigényes, aprólékos, nagy kitartást kívánó munka, hiába vannak forrásaink, mert azokat fel kell kutatni és ellenőrizni, mivel gyakran találkozunk hiányokkal, ellentmondásokkal, a korabeli elnevezések helytelen használatával. (Magam csak egy kétoldalas kronológiát állítottam össze „A GEO 30 éve” című kiadványba a hazai geodéta-képzés történetéről, de nagyon megszenvedtem vele.) Miklós Ákosnak nagy köszönettel tartozunk azért, hogy időt, fáradságot nem kímélve Selmecbánya kronológiáját megírta, s benne a legújabb kori, a várossal összefüggő történeteket is szerepelteti, felvetve a jövő kérdéseit is (amiben a személyes vélemény is természetesen megjelenik). A selmeci diákhagyományok története is jobban érthető, értékelhető ebbe a történetbe beágyazva.

Biztos vagyok benne, hogy a jövő értő és érdeklődő ifjai, kutatói hasznosnak, értékesnek találják e művet. Kívánom, használják fel sokan, hiszen a Magyar Elektronikus Könyvtárból bárki számára elérhető.

Busics György

Nekrológ



Szabó Zoltán
(1932-2026)

Szabó Zoltán 1932. július 22-én született Budapesten. Tanulmányait a Budapesti Piarista Gimnáziumban kezdte, majd az iskola megszűntetése után az Eötvös József Gimnáziumban érettségizett. 1955-ben az ELTE TTK első geofizikus évfolyamán szerzett diplomát. Pályáját az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben (ELGI) kezdte és egész életében kitartott mellette.

Az ELGI-ben főként gravitációs mérések feldolgozásával és értelmezésével foglalkozott. Az Eötvös-inga laboratóriumban részt vett az E-54 ingák beszügyelésében és hitelesítésében. 1964-ben a Gravitációs Osztály helyettes vezetője, 1967-ben az összevont Gravitációs és Földmágneses Osztály vezetője lett. Később a Földfizikai Osztály élére került, amely az intézet obszervatóriumainak, laboratóriumainak és mérési hálózatainak munkáját fogta össze. Vezetése alatt jött létre többek között a Mátyáshegyi Geodinamikai Állomás, a paleomágneses laboratórium és egy új, abszolút gravitációs méréseken alapuló alaphálózat. Ebben az időszakban készült el Magyarország regionális gravitációs felmérése, az országos gravitációs adatbank, valamint több jelentős gravitációs és földmágneses térkép.

Kutatásai a tektonikai értelmezést segítő gravitációs térképek, Bouguer-anomália térképek és Moho-térképek készítésére, valamint a hazai földrengésveszély vizsgálatára is kiterjedtek. Jelentős szerepet játszott a Paksi Atomerőmű telephelyét

megalapozó szeizmotektonikai kutatásokban, és nyugdíjasként részt vett a bátaapáti radioaktív hulladék-tároló földmágneses méréseinek értelmezésében is.

Nyugdíjas éveiben is aktív maradt, figyelme egyre inkább Eötvös Loránd munkássága felé fordult. Fáradhatatlanul gyűjtötte az Eötvöshöz kapcsolódó emlékeket, és jelentős szerepet játszott az Eötvös Loránd Emlékgyűjtemény létrehozásában és kiállítási anyagainak összeállításában az ELGI Columbus utcai székházában. Az eszközök korhű rekonstrukcióját Ő felügyelte, kiváló szakértelemmel. A gyűjtemény egyik kiemelkedő darabja Eötvös eredeti kézirata a tehetetlen és súlyos tömeg vonatkozásában végzett ekvivalencia-kísérletekről, amelyet az UNESCO 2015-ben a világörökség részévé nyilvánított. A dokumentum „Az Eötvös kísérlet – történelmi keretben” címmel könyv formájában is megjelent, amelynek előszavát Szabó Zoltán írta, a fizika iránt kevésbé érdeklődő olvasó számára is érdekfeszítő stílusban és tartalommal.

Eötvöst szakmai példaképének tekintette. Munkáját szenvedéllyel és örömmel végezte, kerülve minden külsőséget, mégis kivívva kollégái mély tiszteletét. Sokan munkatársként ismerték meg, de barátként búcsúznak tőle. A Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága Szabó Zoltánt saját halottjának tekinti.

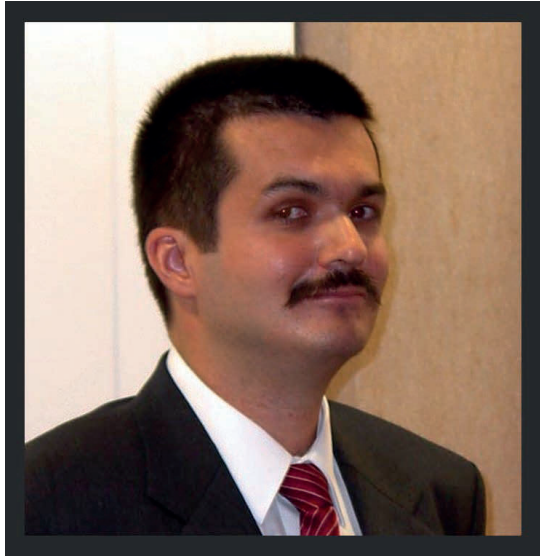
Emlékét és örökségét megőrizzük!

forrás: <https://hugeo.hu/hu/gyaszhir-szabo-zoltan-nekrológ>



Szabó Zoli és társai a Kínai–Magyar Geofizikai Expedíció résztvevőiként átkelnek a Sárge-folyón (1956)

Nekrológ



Dutkó András

(1970–2026)

Földimet, tanítványomat és kollégámat, Dutkó Andrást szerettei, barátai, tisztelői Miskolcon, a Diósgyőri temetőben kísérték végső nyughelyére 2026. március 13-án. Az ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszéke képviselője voltam jelen a polgári temetési szertartáson. A gyászbeszédet felkért rendezvényszervező, Elszászer Anita asszony tartotta. A családtól nyert adatok alapján nagyon szépen és részletesen ismertette elhunyt kollégánk és barátunk szomorúan rövidre sikerült életútját. Ezért felkértem őt, hogy szaklapunk számára adja át közlésre beszéde szövegét, amelyet kissé tömörítettem, illetve néhány helyen kiegészítettem.

„Minden út egy iránytű mozdulatával kezdődik. Egy ponttal a térképen, amelyből később utak, állomások és történetek rajzolódnak ki. Egy ember életének kezdete is ilyen: egy apró jel a világtérképen, amelyből lassan körvonalaódik egy teljes életút.

András története Miskolcon kezdődött. 1970. december 24-én született. Kivételes értelme már kisgyermekként megmutatkozott: alig négyévesen folyékonyan olvasott és írt. Ezek a korai jelek már akkor sejtetni engedték azt az utat, amelyen később tudósként végighaladt. A nyarakat rendszerint Bükk-szentkeresztben töltötte, ahonnan gyakran indult útnak a Bükk erdei ösvényei felé. Már ekkor megszületett benne a természet szeretete és a felfedezés öröme, amely később egész életét végigkísérte.

A miskolci Földes Ferenc Gimnázium speciális matematika tagozatán érettségizett 1989-ben, majd az ELTE-n tanult, ahol három szakon diplomázott: fizikus (1994), térképész (1996) és geográfus (2001). 2004-ben – éppen a nyári napforduló napján –

védte meg doktori értekezését – *A Világóceán földrajzinév-tára és elektronikus atlasza* – summa cum laude minősítéssel. Témavezetője a szintén miskolci Márton Mátyás professzor volt.

Ha egyetlen irányt kellene kijelölnünk ezen a képzeletbeli térképen, amely leginkább meghatározta András életét, az minden bizonnyal a térképészet lenne. A térképek világa nem csupán munkát jelentett – sokkal inkább hivatást. Már diákként több mint 150 szócikket írt a Magyar Nagylexikonba, bizonyítva, hogy a világot nem csupán látni, hanem rendszerezni és megfogalmazni is képes. Elkészítette a Rother túrakalauzok egyetlen magyar szerzőtől származó könyvét *Bükk, Gömör–Tornai-karszt* címmel, amely ötven túraút leírását tartalmazza. 2004 és 2011 között a rangos Földrajzinév-bizottság elnökeként segítette a földrajzi nevek pontos és egységes használatát. Az ELTE doktori iskolájában angol és magyar nyelvű előadásokat tartott, átadva tapasztalatát a következő generációnak.

Szenvedélye volt az utazás és a túrázás: sátorral járta a Bükk- és Budai-hegységet, az Alpok hegyeit, felfedezte Spanyolországot, Portugáliát, a Pireneusokat, Marokkót, Perut, Patagóniát, Japánt, ahol a Fudzsit is megmászta, valamint a Himalája Everest-alaptáborába is eljutott. Gyerekkora óta rajongott a tengeri nagy emlősökért, különösen a bálnákért és a delfinekért. Páratlan tudással rendelkezett róluk, amelyet nemzetközi konferenciákon is megosztott, és tovább gyarapított.

A könyvek szeretete egész életét végigkísérte. Szívét és elméjét egyaránt foglalkoztatták a természettudományok, a csillagászat, az irodalom és a költészet. Kedvenc költője Faludy György volt, verseiből rengeteget tudott idézni. Halála előtt pár nappal még Móricz Zsigmond Erdély-trilógiáját olvasta. András nyelvek iránti érzéke is kiemelkedő volt: németül, angolul, spanyolul és portugálul is jól beszélt. Kivételes emlékezőképessége, őszinte és egyenes jelleme, valamint rendíthetetlen becsületessége mindannyiunk számára példát jelentett. A természet iránti szeretete pedig egész életét áthatotta.

Saját családot nem alapított; számára testvére, annak férje és gyermekeik jelentették a családot, hűgát pedig mindenkinél jobban szerette. Élete hosszú időn át jó egészségben telt, a betegségek elkerülték. Állapotának súlyosságára csak 2025. december közepén derült fény. Szeretett költőjének sorai kifejezik mindazt, amit ilyenkor nehéz szavakba önteni:

A sok milliárd évnyi semmibe úgy sejttem, nem kísér el senki se, de örülök, hogy szeretnek, míg élek, és én is nagyon szerettem, míg éltem. Sokszor álltam a halál közelében. Most közelebb jött, s már kevésbé félek.

A nehéz hónapokban édesanyja mérhetetlen szeretettel és lelki erővel ápolta fiát, aki 2026. március 5-én végleg búcsút vett az élők világától.”

Gercsák Gábor

Nekrológ



Engedy Gyula

(1958–2026)

Engedy Gyula kollégánk 2026. április 15-én, életének 68. évében tragikus hirtelenséggel elhunyt.

1977–1982 között a Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Karának földmérőmérnöki szakán tanult, ahol kimagasló tanulmányi eredményeiért Népköztársasági ösztöndíjban részesült, majd jeles eredménnyel építőmérnöki diplomát szerzett.

2009–2011 között a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán geodéziai térinformatikai szakirányú tanulmányokat folytatott, majd 2011-ben térinformatikai szakmérnöki diplomát szerzett.

Az építőmérnöki diploma megszerzését követően 1982-től egészen 2023-ban történt nyugdíjba vonulásáig – pályájának döntő részében – az UVATERV kötelékében dolgozott. Tervezőmérnöként kezdte pályáját, majd 1997-től irányító tervezőként vett részt a vállalat munkájában. Kiemelkedő szakmai teljesítményét Pro UVATERV díjjal és UVATERV Nívódíjjal ismerték el. Az UVATERV-hez való tartozására egész életében büszkén tekintett.

Pályája kezdetén elsősorban ipari geodéziai feladatokat látott el: részt vett a budapesti Duna-hidak és más jelentős mérnöki létesítmények szerkezetellenőrző méréseiben, valamint közlekedési beruházásokhoz szükséges tervezési alaptérképek készítésében, többek között a Budaörsi Repülőtér és a Ferihegyi

Repülőtér fejlesztéséhez kapcsolódóan. Feladatai közé tartozott a kivitelezések során a tervezői művezetés keretében végzett kitűzési és ellenőrzési munkák ellátása, valamint a beruházásokhoz kapcsolódó ingatlanrendezési feladatok készítése is. Már ezekben az években bekapcsolódott nemzetközi projektekbe is: Líbiában és Törökországban végzett helyszíni geodéziai munkákat.

A későbbi évtizedekben szakmai tevékenysége egyre inkább a nagyléptékű közlekedési infrastruktúra-fejlesztésekhez kapcsolódott. Meghatározó szerepet vállalt számos hazai autópálya – köztük az M0, M1, M3, M5, M7, M15, M35 és M43 – tervezési alaptérképeinek, digitális törzskönyveinek, valamint kisajátítási és vezetékjogi terveinek elkészítésében. Nevéhez fűződik a Ferihegyi Repülőtér fejlesztéséhez kapcsolódó digitális alaptérképek és közműtérképek készítése is.

Szakmai érdeklődése korán a digitális térképezés és az informatikai megoldások felé fordult. Jelentős szerepet játszott a korszerű mérési és feldolgozási technológiák bevezetésében, többek között a GPS-alapú geodéziai módszerek alkalmazásában az UVATERV gyakorlatában. Számos saját fejlesztésű programot és segédalkalmazást készített, elsősorban AutoCAD környezetben, amelyek a geodéziai tervezési feladatok automatizálását és hatékonyabb elvégzését szolgálták. Ezeket a megoldásokat évtizedeken át folyamatosan fejlesztette és a mindenkorai szakmai és jogszabályi követelményekhez igazította.

2005 után munkájában a komplex projektek koordinációja is hangsúlyossá vált. Kiemelt feladata volt a dunántúli szélerőműparkok tervezésének irányítása és a külföldi megrendelőkkel való kapcsolattartás. Nemzetközi tapasztalatait hasznosította a Tripoli metró tanulmánytervének felülvizsgálata során is.

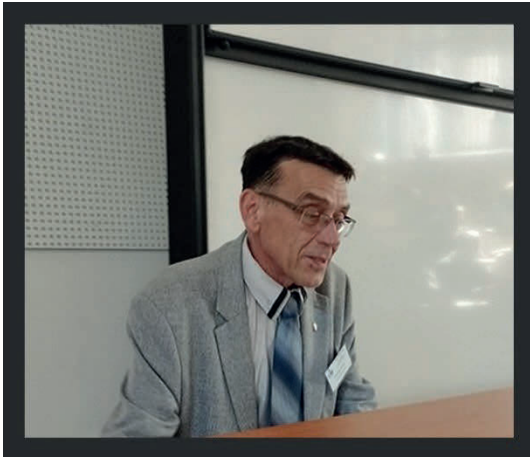
Szakmai pályájának jelentős állomásai közé tartozott a budapesti Kossuth tér rekonstrukciójához, valamint az 1-es villamos pályafelújításához kapcsolódó geodéziai tervezési munkák irányítása.

Élete utolsó aktív éveiben, egészségügyi nehézségei ellenére is töretlen elkötelezettséggel dolgozott. Különösen fontos volt számára a saját készítésű rendszereinek továbbfejlesztése, amelyekkel hatékonyan segítette a szakmai munkáját sok-sok éven át. Eredményeire mindig szerény büszkeséggel tekintett.

Nyugodjon békében!

Siki Zoltán

Nekrológ



Herczeg Ferenc (1962-2026)

2026. február 28-án, életének 64. évében elhunyt egykori szeretett kollégánk, Herczeg Ferenc, aki hatalmas szakmai tudásával, humorával negyven éven át járult hozzá munkájával a földmérési szakma működéséhez és fejlődéséhez, több mint húsz évig a FÖMI, majd a Lechner kötelékében.

Vannak emberek, akiknek a munkája nem csupán feladat, hanem küldetés. Herczeg Ferenc negyven éven át volt közöttünk földmérőként, és ez a négy évtized nemcsak egy szakmai életutat, hanem egy korszakot is lefed szakmánk történetében.

Herczeg Ferenc 2002. február 1-jén került a Bács-Kiskun Megyei Földhivaltól, Kecskemérről a Földmérési és Távérzékelési Intézetbe Budapestre.

Előtte is volt már kapcsolata az Intézettel, a földmérési jogszabályok összeállításában külsős szakértőként vett részt, akkor még, mint a Megyei Földhivatal szakfelügyelője.

A Földmérési és Távérzékelési Intézetben első beosztásaként a Felmérés Szervezési Osztály vezetője lett. Felelős volt az állami alapmunkákért, az alapponthálózati és a topográfiai feladatok ellátásáért.

Az EOMA létesítésének 2004-2005. évi befejező munkálatai is az ő irányítása alatt történtek, valamint az akkoriban még zajló topográfiai térképek helyesbítési feladatai.

Ugyancsak ő felügyelte az Egységes Országos Magassági Alapponthálózat újramérésének 2009-ig tartó munkafázisait is.

A szervezeti változásokat követően a Minőségellenőrzési és Szakfelügyeleti Osztályra került, ahol többek között jogszabályalkotási, kodifikációs feladatai voltak, illetve minőségbiztosítási, auditálással kapcsolatos tevékenységeket végzett.

Részt vett a FÖMI megszűnésével, a Budapest Főváros Kormányhivatalába átkerülésével, majd a Lechner

Tudásközpontba történő átszervezésével kapcsolatos feladatokban.

A fentiek mellett 2009 óta folyamatosan végezte az ingatlanrendező földmérői minősítések feladatait, első időben titkárként, majd bizottsági tagként.

A földmérés szolgálatában töltött eredményes munkájáért 2015-ben megkapta a magyar földmérési és térképészeti szakma egyik legnagyobb kitüntetését, a Fasching Antal-díjat.

Folyamatosan képezte magát, szakmérnöki diplomája megszerzése során is kedvenc topográfiai témáját ötvözte a térinformatikával. 2024. június 28-án átvethette a székesfehérvári alma mater, a „GEO” ezüstdiplomáját.

Megromlott egészségi állapota ellenére is igyekezett feladatait a maximális hatékonysággal, odafigyeléssel, illetve a szakmai szempontok, irányelvek teljes betartásával, betartatásával végezni.

Távozásával egy kedves, jó humorú kollégát, kimagasló szakmai tudású vezetőt veszítettünk el.

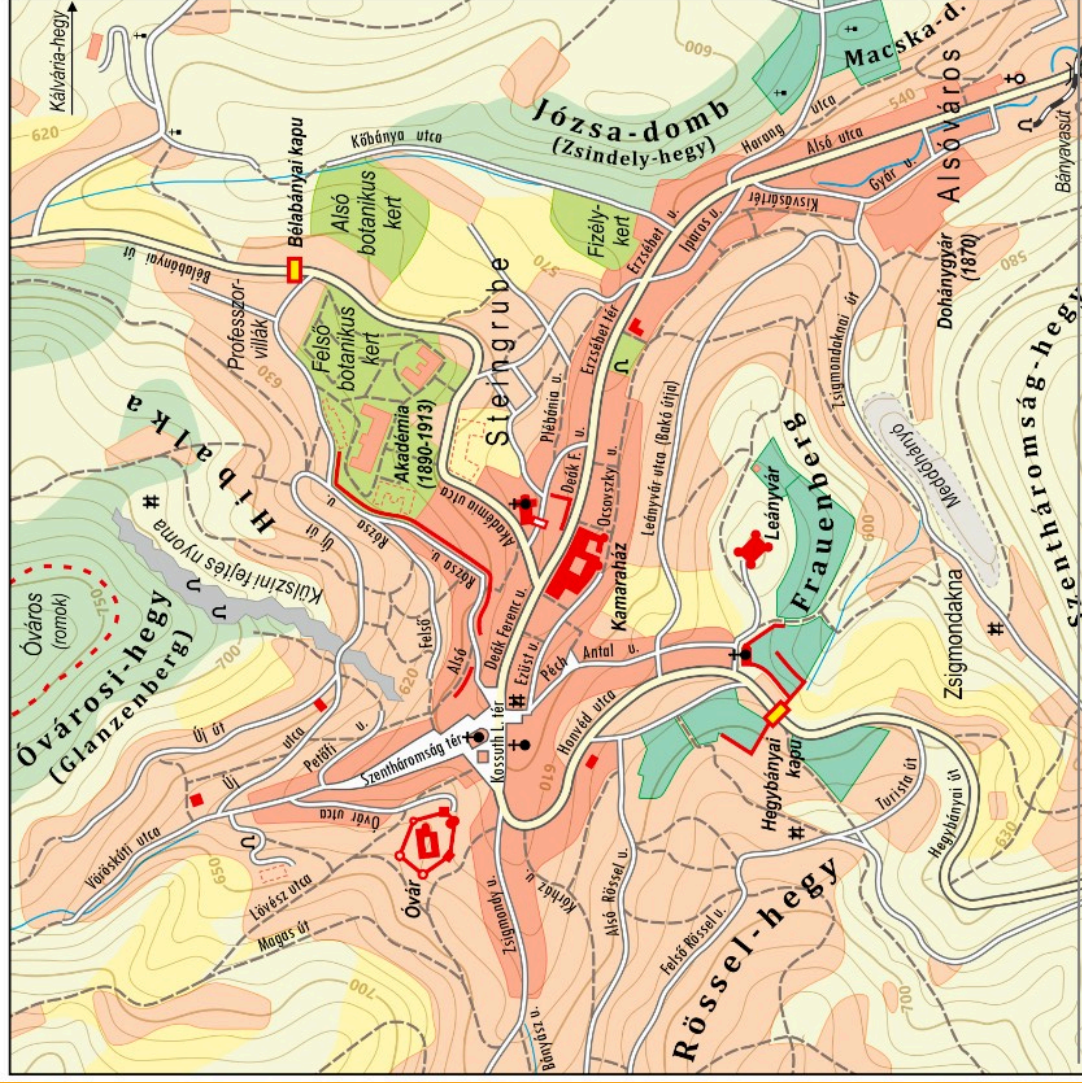
Kedves Feri! Most az utolsó mérése is befejeződött. Letetted a kitűzőrudat, elcsomagoltad a műszert. A munkád eredményei megmaradnak, és az emléked is ugyanilyen kitörölhetetlen marad a szívünkben.

Nyugodj békében!

Varga Felicián
Lechner Nonprofit Kft



1900 körül – Selmecbánya



2000 körül – Banská Stiavnica

